

Was ist Wolframoxid

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Weltweit führend in der intelligenten Fertigung für die Wolfram-, Molybdän- und
Seltenerdmetallindustrie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, eine hundertprozentige Tochtergesellschaft mit unabhängiger Rechtspersönlichkeit, die von CHINATUNGSTEN ONLINE gegründet wurde, widmet sich der Förderung des intelligenten, integrierten und flexiblen Designs und der Herstellung von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets. CHINATUNGSTEN ONLINE, gegründet 1997 mit www.chinatungsten.com als Ausgangspunkt – Chinas erste erstklassige Website für Wolframprodukte – ist das bahnbrechende E-Commerce-Unternehmen des Landes, das sich auf die Wolfram-, Molybdän- und Seltenerdmetallindustrie konzentriert. Mit fast drei Jahrzehnten umfassender Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän erbt die CTIA GROUP die außergewöhnlichen Design- und Fertigungskapazitäten, die hervorragenden Dienstleistungen und den weltweiten Ruf ihrer Muttergesellschaft und wird zu einem umfassenden Anbieter von Anwendungslösungen in den Bereichen Wolframchemikalien, Wolframmetalle, Hartmetalle, Legierungen mit hoher Dichte, Molybdän und Molybdänlegierungen.

In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE mehr als 200 mehrsprachige professionelle Websites für Wolfram und Molybdän eingerichtet, die mehr als 20 Sprachen abdecken und über eine Million Seiten mit Nachrichten, Preisen und Marktanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden enthalten. Seit 2013 hat der offizielle WeChat-Account "CHINATUNGSTEN ONLINE" über 40.000 Informationen veröffentlicht, fast 100.000 Follower bedient und täglich Hunderttausenden von Branchenexperten weltweit kostenlose Informationen zur Verfügung gestellt. Mit kumulativen Besuchen auf seinem Website-Cluster und seinem offiziellen Konto, die Milliarden von Malen erreichen, hat es sich zu einer anerkannten globalen und maßgeblichen Informationsdrehscheibe für die Wolfram-, Molybdän- und Seltenerdmetallindustrie entwickelt, die 24/7 mehrsprachige Nachrichten, Produktleistungen, Marktpreise und Markttrenddienste bietet.

Aufbauend auf der Technologie und Erfahrung von CHINATUNGSTEN ONLINE konzentriert sich die CTIA GROUP darauf, die personalisierten Bedürfnisse der Kunden zu erfüllen. Unter Verwendung der KI-Technologie entwirft und produziert das Unternehmen gemeinsam mit Kunden Wolfram- und Molybdänprodukte mit spezifischen chemischen Zusammensetzungen und physikalischen Eigenschaften (wie Partikelgröße, Dichte, Härte, Festigkeit, Abmessungen und Toleranzen). Das Unternehmen bietet integrierte Dienstleistungen rund um den Prozess, die von der Werkzeugöffnung über die Probeproduktion bis hin zur Endbearbeitung, Verpackung und Logistik reichen. In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE mehr als 130.000 Kunden weltweit F&E-, Design- und Produktionsdienstleistungen für über 500.000 Arten von Wolfram- und Molybdänprodukten erbracht und damit den Grundstein für eine maßgeschneiderte, flexible und intelligente Fertigung gelegt. Auf dieser Grundlage vertieft die CTIA GROUP die intelligente Fertigung und integrierte Innovation von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets.

Dr. Hanns und sein Team bei der CTIA GROUP haben auf der Grundlage ihrer mehr als 30-jährigen Branchenerfahrung auch Wissens-, Technologie-, Wolframpreis- und Markttrendanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden verfasst und veröffentlicht und diese frei mit der Wolframindustrie geteilt. Dr. Han verfügt seit den 1990er Jahren über mehr als 30 Jahre Erfahrung im E-Commerce und internationalen Handel mit Wolfram- und Molybdänprodukten sowie in der Entwicklung und Herstellung von Hartmetallen und hochdichten Legierungen und ist ein anerkannter Experte für Wolfram- und Molybdänprodukte im In- und Ausland. Das Team der CTIA GROUP hält sich an das Prinzip, der Branche professionelle und qualitativ hochwertige Informationen zur Verfügung zu stellen, und verfasst kontinuierlich technische Forschungsarbeiten, Artikel und Branchenberichte, die auf der Produktionspraxis und den Bedürfnissen der Marktkunden basieren und in der Branche weithin gelobt werden. Diese Erfolge sind eine solide Unterstützung für die technologische Innovation, die Produktförderung und den Branchenaustausch der CTIA GROUP und machen sie zu einem führenden Unternehmen bei der Herstellung und Information von Wolfram- und Molybdänprodukten.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Verzeichnis

Kapitel 1 Einleitung

- 1.1 Hintergrund
- 1.2 Forschungsziele und Innovationen
- 1.3 Forschungsstatus im In- und Ausland

Kapitel 2 Grundlegende Informationen über Wolframoxid

- 2.1 Definition von Wolframoxid
- 2.2 Form und Verteilung von Wolframoxid
- 2.2 Wolframtrioxid und Sauerstoff ohne Wolframoxid/defektes Wolframoxid
- 2.3 Die Eigenschaften von Wolframtrioxid hängen mit dem Sauerstoffgehalt zusammen
 - 2.3.1 Zusammenhang zwischen der Struktur von Wolframtrioxid und dem Sauerstoffgehalt
 - 2.3.2 Zusammenhang zwischen den Eigenschaften von Wolframtrioxid und dem Sauerstoffgehalt
 - 2.3.3 Herstellung von Wolframtrioxid und Kontrolle des Sauerstoffgehalts

Kapitel 3 Einstufung von Wolframoxid

- 3.1 Einstufung von Wolframoxid nach chemischer Zusammensetzung
 - 3.1.1 Gelbes Wolframoxid/Wolframtrioxid
 - 3.1.2 Orangefarbenes Wolframoxid
 - 3.1.3 Blaues Wolframoxid
 - 3.1.4 Purpur-Wolframoxid
 - 3.1.5 Weißes Wolframoxid
 - 3.1.6 Tungsten dioxide/brown tungsten oxide
- 3.2 Klassifizierung von Wolframoxid anhand der Kristallstruktur
 - 3.2.1 Monokline Wolframoxid
 - 3.2.2 Orthorhombisches Wolframoxid
 - 3.2.3 Hexagonales Wolframoxid
 - 3.2.4 Kubisches kristallines Wolframoxid
- 3.3 Einstufung von Wolframoxid nach physikalischer Form
 - 3.3.1 Wolframoxid-Nanopartikel
 - 3.3.2 Wolframoxid-Nanoblätter
 - 3.3.3 Wolframoxid-Nanodrähte
 - 3.3.4 Wolframoxid-Nanostäbchen
 - 3.3.5 Wolframoxid-Nanoblüten
 - 3.3.6 Wolframoxid-Film
 - 3.3.7 Wolframoxid-Blöcke
- 3.4 Einstufung von Wolframoxid anhand der Partikelgröße
 - 3.4.1 Grobkörniges Wolframoxid

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 3.4.2 Wolframoxid mit ultrafeinen Partikeln
- 3.4.3 Mikron Wolframoxid
- 3.4.4 Submikron-Wolframoxid
- 3.4.5 Nano-Wolframoxid
- 3.4.6 Wolframoxid im Sub-Nanometerbereich
- 3.5 Einstufung von Wolframoxid nach Reinheit
 - 3.5.1 Gewöhnliches Wolframoxid
 - 3.5.2 Hochreines Wolframoxid

Kapitel 4 Struktur von Wolframoxid

- 4.1 Eigenschaften der Kristallstruktur von Wolframoxid
 - 4.1.1 Die Grundeinheit und Symmetrie der Wolframoxid-Kristallstruktur
 - 4.1.2 Atomare Anordnung von Wolframoxid
 - 4.1.3 Defekte und Leerstellen in der Wolframoxid-Kristallstruktur
- 4.2 Faktoren, die die Kristallstruktur von Wolframoxid beeinflussen
 - 4.2.1 Einfluss der Präparationsbedingungen auf die Kristallstruktur von Wolframoxid
 - 4.2.1.1 Einfluss der Reaktionstemperatur auf die Wolframoxid-Kristallstruktur
 - 4.2.1.2 Einfluss des Reaktionsdrucks auf die Wolframoxid-Kristallstruktur
 - 4.2.1.3 Einfluss der Reaktionszeit auf die Struktur des Wolframoxidkristalls
 - 4.2.1.4 Einfluss der Reaktionsatmosphäre auf die Wolframoxid-Kristallstruktur
 - 4.2.1.5 Einfluss der Reaktionsgeschwindigkeit auf die Struktur des Wolframoxidkristalls
 - 4.2.1.6 Einfluss von Vorläuferstoffen auf die Kristallstruktur von Wolframoxid
 - 4.2.1.7 Einfluss des Lösungsmittels auf die Kristallstruktur von Wolframoxid
 - 4.2.2 Einfluss äußerer Reize auf die Kristallstruktur von Wolframoxid
 - 4.2.2.1 Einfluss optischer Strahlung auf die Kristallstruktur von Wolframoxid
 - 4.2.2.2 Einfluss des elektrischen Feldes auf die Wolframoxid-Kristallstruktur
 - 4.2.2.3 Einfluss des Magnetfeldes auf die Kristallstruktur von Wolframoxid
- 4.3 Die intrinsische Beziehung zwischen Wolframoxid-Kristallstruktur und -eigenschaften
 - 4.3.1 Wolframoxid-Kopplung mit elektronischer Struktur
 - 4.3.1.1 Einfluss der Wolframoxid-Kristallstruktur auf den Elektronentransport

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 4.3.1.2 Zusammenhang zwischen Wolframoxid-Bandenstruktur und Kristallstruktur
- 4.3.2 Bindung des Wolframoxid-Ionentransportniveaus
 - 4.3.2.1 Einfluss der Wolframoxid-Kristallstruktur auf die Ionendiffusion
 - 4.3.2.2 Einfluss des Ioneninterkalations-/Extraktionsprozesses auf die strukturelle Stabilität von Wolframoxidkristallen
- 4.3.3 Zusammenhang zwischen den Oberflächeneigenschaften von Wolframoxid
 - 4.3.3.1 Einfluss der Wolframoxid-Kristallstruktur auf die Oberflächenadsorption
 - 4.3.3.2 Zusammenhang zwischen Wolframoxid-Kristallstruktur und elektronischem Oberflächenzustand

Kapitel 5 Physikalische und chemische Eigenschaften von Wolframoxid

- 5.1 Aussehen und Farbe von Wolframoxid
- 5.2 Dichte/spezifisches Gewicht von Wolframoxid
- 5.3 Thermische Stabilität von Wolframoxid
 - 5.3.1 Schmelzpunkt von Wolframoxid
 - 5.3.2 Zersetzungstemperatur von Wolframoxid
 - 5.3.3 Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframoxid
- 5.4 Löslichkeit von Wolframoxid
- 5.5 Härte und mechanische Festigkeit von Wolframoxid
 - 5.5.1 Mohs-Härte von Wolframoxid
 - 5.5.2 Druckfestigkeit von Wolframoxid
 - 5.5.3 Scherfestigkeit von Wolframoxid
- 5.6 Spezifische Oberfläche von Wolframoxid
- 5.7 Schüttdichte von Wolframoxid
- 5.8 Optische Eigenschaften von Wolframoxid
 - 5.8.1 Lichtabsorption und photokatalytische Eigenschaften von Wolframoxid
 - 5.8.2 Photochrome Eigenschaften von Wolframoxid
- 5.9 Elektrische Eigenschaften von Wolframoxid
 - 5.9.1 Halbleitereigenschaften von Wolframoxid
 - 5.9.2 Elektrochrome Eigenschaften von Wolframoxid
- 5.10 Thermische Eigenschaften von Wolframoxid
 - 5.10.1 Thermische Stabilität von Wolframoxid
 - 5.10.2 Wärmeausdehnungseigenschaften von Wolframoxid
- 5.11 Gasempfindlichkeit von Wolframoxid
- 5.12 Redoxreaktion von Wolframoxid
- 5.13 Säure-Base-Reaktion von Wolframoxid
- 5.14 Katalytische Eigenschaften von Wolframoxid

Kapitel 6 Verfahren zur Herstellung von Wolframoxid

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 6.1 Traditionelle Herstellungsmethoden von Wolframoxid
 - 6.1.1 Das traditionelle Herstellungsverfahren von Wolframoxid - Hochtemperatur-Festphasenreaktionsverfahren
 - 6.1.2 Traditionelles Herstellungsverfahren des Wolframoxid-Sol-Gel-Verfahrens/Sol-Gel-Herstellungsvfahren des Wolframoxids
 - 6.1.3 Traditionelles Herstellungsverfahren von Wolframoxid - hydrothermales Verfahren
 - 6.1.4 Das traditionelle Herstellungsverfahren des Wolframoxid-Ammoniumwolframat-Verfahrens
 - 6.1.5 Traditionelles Herstellungsverfahren für Wolframoxid - Salzsäure-Zeretzungsverfahren für Wolframat
 - 6.1.6 Das traditionelle Herstellungsverfahren für Wolframoxid - Verfahren der thermischen Zersetzung von Ammoniumparawolframat
- 6.2 Neue Verfahren zur Herstellung von Wolframoxid
 - 6.2.1 Ein neues Herstellungsverfahren für Wolframoxid - elektrochemisches Abscheidungsverfahren
 - 6.2.2 Ein neues Herstellungsverfahren für Wolframoxid - Gasphasenabscheidungsverfahren
 - 6.2.3 Ein neues Verfahren zur Herstellung von Wolframoxid - biologische Template-Methode

Kapitel VII Anlagen zur Herstellung von Wolframoxid

- 7.1 Die Hauptausrüstung für die Wolframoxidproduktion
 - 7.1.1 Geräte für den Materialumschlag
 - 7.1.1.1 Brech- und Mahlanlagen
 - 7.1.1.2 Sieb- und Sortiereinrichtungen
 - 7.1.2 Reaktionsgeräte
 - 7.1.2.1 Anlagen für die Alkalihydrolyse und Azidolyse
 - 7.1.2.1 Anlagen für die Alkalihydrolyse und Azidolyse
 - 7.1.2.2 Anlagen zur Kalzinierung und thermischen Zersetzung
 - 7.1.3 Trenn- und Reinigungsgeräte
 - 7.1.3.1 Anlagen zur Fest-Flüssig-Trennung
 - 7.1.3.2 Kristallisations- und Rekristallisationsanlagen
- 7.2 Hilfseinrichtungen zur Herstellung von Wolframoxid
 - 7.2.1 Flurförderzeuge
 - 7.2.1.1 Mechanische Fördereinrichtungen
 - 7.2.1.2 Pneumatische Fördereinrichtungen
 - 7.2.2 Trocknungs- und Kühlgeräte
 - 7.2.2.1 Trocknungsanlagen
 - 7.2.2.2 Kühlgeräte
 - 7.2.3 Geräte zur Behandlung von Umweltschutz
 - 7.2.3.1 Anlagen zur Abgasbehandlung
 - 7.2.3.2 Anlagen zur Abwasseraufbereitung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kapitel 8 Forschung zum Nachweisprinzip von Wolframoxid

- 8.1 Wolframoxid-Detektionspektroskopie
 - 8.1.1 Wolframoxid-Detektion – Röntgenfluoreszenzspektroskopie-Analyse
 - 8.1.2 Wolframoxid-Detektion – Raman-Spektroskopie
- 8.2 Wolframoxid-Detektion – elektrochemische Analyse
 - 8.2.1 Wolframoxid-Detektion – Voltammetrie
- 8.3 Andere Wolframoxid-Nachweismethoden
 - 8.3.1 Wolframoxid-Detektion – thermogravimetrische Analyse

Kapitel 9 Anwendungsgebiete von Wolframoxid

- 9.1 Anwendung von Wolframoxid im Energiebereich
 - 9.1.1 Anwendung von Wolframoxid in Lithium-Ionen-Batterien
 - 9.1.2 Anwendung von Wolframoxid in Superkondensatoren
 - 9.1.3 Anwendung von Wolframoxid bei der photokatalytischen Wasserspaltung zur Herstellung von Wasserstoff
- 9.2 Anwendung von Wolframoxid im Bereich der Umwelt
 - 9.2.1 Anwendung von Wolframoxid in der Luftreinigung
 - 9.2.2 Anwendung von Wolframoxid in der Abwasserbehandlung
- 9.3 Anwendung von Wolframoxid im Bereich der Smart Materials
 - 9.3.1 Anwendung von Wolframoxid in elektrochromen Geräten
 - 9.3.2 Anwendung von Wolframoxid in Gassensoren
- 9.4 Anwendung von Wolframoxid im Bereich der elektronischen Information
 - 9.4.1 Anwendung von Wolframoxid in Feldeffekttransistoren
 - 9.4.2 Anwendung von Wolframoxid in Speicherbausteinen
- 9.5 Anwendung von Wolframoxid im Maschinenbau
 - 9.5.1 Anwendung von Wolframoxid in Werkzeugbeschichtungen
 - 9.5.2 Anwendung von Wolframoxid in verschleißfesten Teilen
- 9.6 Wolframoxid in biomedizinischen Anwendungen
 - 9.6.1 Anwendung von Wolframoxid in Biosensoren
 - 9.6.2 Anwendung von Wolframoxid in der photothermischen Therapie
- 9.7 Anwendung von Wolframoxid im Bereich der optischen Anzeige
 - 9.7.1 Anwendung von Wolframoxid in Displays
- 9.8 Anwendung von Wolframoxid im katalytischen Träger
 - 9.8.1 Anwendung von Wolframoxid in trägergestützten Katalysatoren
- 9.9 Anwendung von Wolframoxid im Bereich feuerfester Gewebe
 - 9.9.1 Anwendung von feuerfesten Wolframoxid-Geweben im industriellen Bereich
 - 9.9.2 Anwendung von feuerfesten Wolframoxidgeweben im täglichen Leben
 - 9.9.3 Anwendung von feuerfesten Wolframoxidgeweben im Bereich des öffentlichen Verkehrs
- 9.10 Anwendung von Wolframoxid in Agrarfolien

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kapitel 10 Sicherheit und Umweltschutz von Wolframoxid

- 10.1 Sicherheit von Wolframoxid
- 10.2 Umweltschutz durch Wolframoxid
- 10.3 Sicherheitsdatenblatt (MSDS) für Wolframoxid

Kapitel 11 In- und ausländische Normen für Wolframoxid

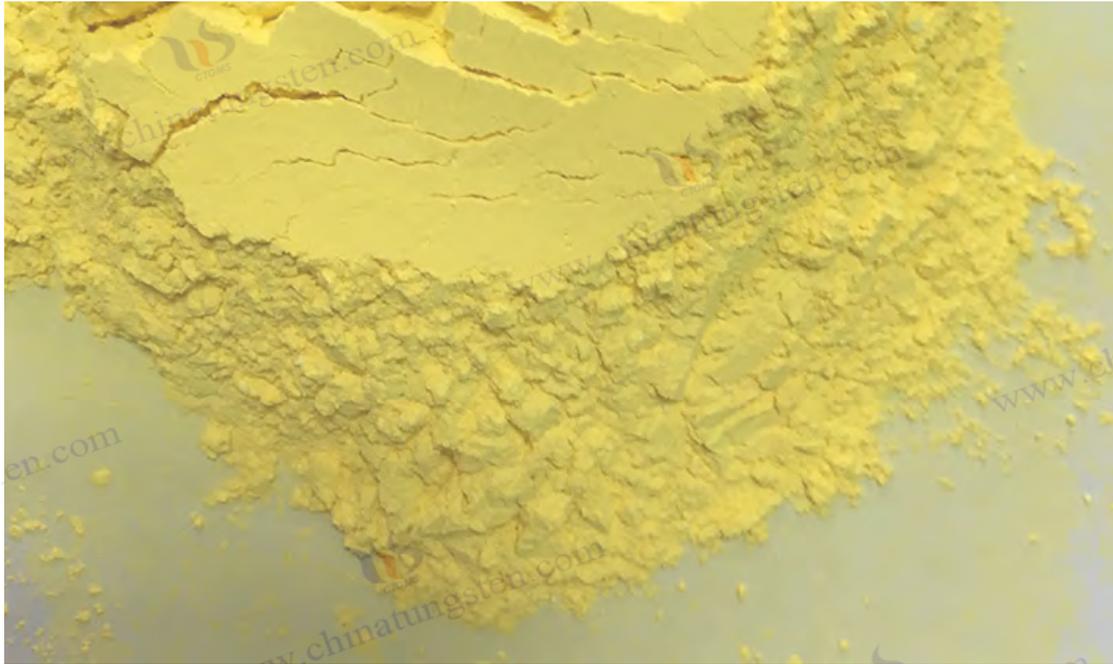
- 11.1 Chinesische nationale Normen
- 11.2 Internationale Normen

Kapitel 12 Wolframoxid Zahlen und Fakten

- 12.1 Was sind die wichtigsten Fakten über Wolframoxid?
- 12.2 Alle Daten von Wolframoxid (physikalisch-chemische Eigenschaften, herstellungs- und anwendungstechnische Parameter)

Anhang: Mehrsprachiges Glossar der Wolframoxid-Begriffe (Chinesisch, Englisch, Japanisch, Koreanisch)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD gelbes Wolframoxid

Kapitel 1 Einleitung

Als wichtiges Übergangsmetalloxid hat sich Wolframoxid (WO_3) aufgrund seiner einzigartigen physikalisch-chemischen Eigenschaften und seines breiten Anwendungspotenzials zu einem Forschungs-Hotspot in den Bereichen Materialwissenschaften, Chemie und Ingenieurwesen entwickelt.

1.1 Untersuchen Sie den Wolframoxid-Hintergrund

Der Forschungshintergrund von Wolframoxid ergibt sich aus seiner Vielseitigkeit im Industrie-, Energie- und Umweltsektor sowie der strategischen Position der Wolframressourcen in der Weltwirtschaft. Wolfram ist bekannt für seinen hohen Schmelzpunkt ($3422^\circ C$), seine hohe Härte und chemische Stabilität, und Wolframoxid als eine der Hauptverbindungen von Wolfram ist nicht nur ein wichtiges Zwischenprodukt bei der Herstellung von Wolframmetall und Hartmetall, sondern zeigt aufgrund seiner Halbleitereigenschaften (Bandlücke 2,6–3,0 eV) und optischen Eigenschaften auch großes Potenzial im High-Tech-Bereich.

Hintergrund in Industrie und Ressourcen

Wolfram ist mit weltweiten Reserven von rund 3,3 Millionen Tonnen, von denen mehr als 60 % auf China entfallen, ein wichtiger Vertreter seltener Metalle und ist der größte Produzent und Exporteur von Wolfram. Laut Tungsten News wird erwartet, dass die weltweite Nachfrage nach Wolfram im Jahr 2025 100.000 Tonnen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pro Jahr erreichen wird, wovon die Wolframoxidproduktion einen wichtigen Teil ausmacht. Traditionell wird Wolframoxid zur Herstellung von Wolframkupfer, Wolframdraht und anderen Produkten verwendet, indem Wolframpulver geröstet oder Wolframit und Scheelit extrahiert werden. Mit der Modernisierung der Industrietechnik hat sich ihre Anwendung jedoch auf die Bereiche neue Energien, elektronische Information und Umweltschutz ausgeweitet.

Wissenschaftlicher und technischer Hintergrund

Die halbleitenden Eigenschaften von Wolframoxid verschaffen ihm einen einzigartigen Vorteil in den Bereichen Photokatalyse, Elektrochromie und Sensorik. Es hat eine moderate Bandlücke und kann sichtbares Licht absorbieren, um photogenerierte Elektron-Loch-Paare zu erzeugen, die zum Abbau von aquatischem Wasserstoff oder zum Abbau von Schadstoffen verwendet werden. Darüber hinaus ist es aufgrund seiner elektrochromen Eigenschaften, die von transparent bis dunkelblau wechseln können, ein ideales Material für intelligente Fenster und Displays. Der Aufstieg der Nanotechnologie hat die Wolframoxidforschung weiter vorangetrieben, und durch Fortschritte in der Wolframtechnologie, wie z. B. hydrothermale und Gasphasenabscheidung, weisen synthetische Nanopartikel eine höhere spezifische Oberfläche und Aktivität auf.

Ökologischer und sozialer Kontext

Mit der weltweiten Betonung der nachhaltigen Entwicklung hat die Anwendung von Wolframoxid im Bereich des Umweltschutzes viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen. So können seine photokatalytischen Eigenschaften beispielsweise für die Abwasseraufbereitung und Luftreinigung genutzt werden, während Anwendungen in feuerfesten Geweben die Sicherheit erhöhen. Gleichzeitig spiegelt die Fluktuation der Wolframpreise (voraussichtlich 20-30 US\$/kg im Jahr 2025) das knappe Angebot und die Nachfrage nach Ressourcen wider und treibt die Erforschung effizienter und kostengünstiger Produktionsprozesse voran. Darüber hinaus eröffnen die biomedizinischen Anwendungen von Wolframoxid, wie z.B. die photothermische Therapie, auch im Bereich der Gesundheit neue Möglichkeiten. Der Hintergrund der Erforschung von Wolframoxid wurzelt daher in seiner multidisziplinären Interdisziplinarität, die von der industriellen Basis getragen, durch technologische Innovation und durch soziale Bedürfnisse angetrieben wird. Dieser Hintergrund bietet eine solide Grundlage für eine eingehende Untersuchung seiner Eigenschaften und Anwendungen.

1.2 Forschung über den Zweck und die Innovation von Wolframoxid

Ziel der Forschung an Wolframoxid ist es, seine Leistungsoptimierungspfade systematisch zu erkunden, seine Anwendungsfelder zu erweitern und die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

bestehenden technischen Engpässe zu beheben. Ziel dieser Studie ist es, nicht nur das Verständnis der Kristallstruktur, Morphologie und Funktion zu vertiefen, sondern auch deren Effizienz und Nachhaltigkeit in der praktischen Anwendung durch innovative Mittel zu verbessern.

Ziel: Aufdeckung des Zusammenhangs zwischen Eigenschaften und Struktur: Durch die Analyse der Auswirkungen der Reaktionsgeschwindigkeit und der Synthesebedingungen auf die Kristallstruktur von Wolframoxid (z.B. monokline und tetragonale) wurde der Regulationsmechanismus seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften geklärt und die theoretischen Grundlagen für die Leistungsoptimierung geklärt. Erweiterung der Anwendungsbereiche: Erweiterung des Wolframoxids von traditionellen industriellen Anwendungen auf neue Energien (z. B. Batterien, Superkondensatoren), intelligente Materialien (z. B. elektrochrome Geräte) und biomedizinische (z. B. Biosensoren), um den Anforderungen mehrerer Bereiche gerecht zu werden. Optimierung des Produktionsprozesses: Entwicklung kostengünstiger, umweltfreundlicher Synthesemethoden (z. B. des grünen Verfahrens mit Ammoniumparawolframat), um die industrielle Machbarkeit von Wolframoxid zu verbessern, den Energieverbrauch und die Abfallemissionen zu senken. Behebung des technischen Engpasses: Angesichts des geringen photokatalytischen Wirkungsgrads und der schlechten Zyklenstabilität wird eine Verbesserung des Schemas vorgeschlagen, um seine Wettbewerbsfähigkeit in der praktischen Anwendung zu verbessern.

Innovation: Reaktionsgeschwindigkeit reguliert Kristallstruktur: Diese Studie untersucht zum ersten Mal systematisch den Einfluss der Reaktionsgeschwindigkeit auf die Kristallform und -defekte von Wolframoxid und schlägt eine Strategie für die kontrollierte Synthese spezifischer Kristallformen mit Hilfe kinetischer und thermodynamischer Analysen vor. So werden beispielsweise hochreaktive kubische Kristalle durch schnelle Oxidation für die Photokatalyse erzeugt; Langsame Synthese von monoklinen Kristallen für Bauelemente mit hohen Stabilitätsanforderungen.

Multifunktionale Verbundwerkstoffe: Innovative Verbundwerkstoffe aus Wolframoxid mit Wolframkunststoff, Wolframkupfer usw., um flexible und hochleitfähige neue Materialien zu entwickeln, die für tragbare Elektronik und feuerfeste Gewebe geeignet sind. Integration der Nanotechnologie: Wolframoxid-Nano wird aus Wolframpartikeln hergestellt, um seine spezifische Oberfläche (>200 m²/g) und seinen photothermischen Umwandlungswirkungsgrad (>50%) zu optimieren und die Leistungsgrenzen herkömmlicher Materialien zu durchbrechen.

Grüner Produktionspfad: Schlagen Sie ein hydrothermales Niedertemperaturverfahren (<200 ° C) in Kombination mit Abfallrecycling (z. B. Wolframnadeloxidation) vor, um den Energieverbrauch (von 2 kWh/kg auf 1 kWh/kg)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

zu senken und keine Abwassereinleitung zu erreichen. Diese Innovationen zielen darauf ab, die Lücken in der bestehenden Forschung zu schließen, Wolframoxid vom Labor in die Industrialisierung zu bringen und neue Ideen für seine vielseitigen Anwendungen zu liefern.

1.3 Stand der Forschung von Wolframoxid im In- und Ausland

Bei der Erforschung von Wolframoxid im In- und Ausland wurden erhebliche Fortschritte erzielt, aber es gibt Unterschiede in Bezug auf Schwerpunkt und Niveau. Die ausländische Forschung konzentriert sich auf Grundlagentheorien und High-Tech-Anwendungen, während China bei der industriellen Produktion und Ressourcennutzung im Vorteil ist. Im Folgenden wird der Forschungsstand aus zwei Dimensionen im In- und Ausland überprüft.

Aktueller Stand der heimischen Forschung

Mit seinen reichhaltigen Wolframressourcen und seiner starken industriellen Basis nimmt China eine führende Position in der Wolframoxidforschung ein. Die Forschungsschwerpunkte liegen in der Optimierung von Produktionsprozessen und der Erweiterung traditioneller Anwendungen.

Produktionsverfahren: Tungsten hat ein hocheffizientes Röstverfahren (800 ° C, Ausbeute >95 %) und ein nasschemisches Verfahren (Reinheit >99,9 %) für die großtechnische Produktion von gelbem Wolfram und blauem Wolfram entwickelt. In den letzten Jahren hat Wolfram über die hydrothermale Synthese von Nano-Wolframoxid (180 °C, 24 Stunden) mit einer Partikelgröße von 10-100 nm berichtet, das in der Photokatalyse eingesetzt wird.

Anwendungsgebiet: Wolframcarbid: Die inländische Forschung konzentriert sich auf die Herstellung von Wolframpulver durch Wolframoxidreduktion, das für Schneidwerkzeuge und verschleißfeste Teile mit einer Härte von 2000 HV verwendet wird. Neue Energie: Die Tsinghua-Universität und andere Institutionen haben ihre Anwendung in Lithium-Ionen-Batterien mit einer theoretischen Kapazität von 693 mAh/g und einer Zyklenlebensdauer von > 500 Mal untersucht. Photokatalyse: Die Chinesische Akademie der Wissenschaften hat Wolframoxid/TiO₂-Komposite mit einer Wasserstoffproduktionseffizienz von 400 μmol/h • g entwickelt.

Nachteile: Der Großteil der inländischen Forschung konzentriert sich auf die industrielle Produktion, die grundlegende Theorie (wie z.B. der Zusammenhang zwischen Kristallstruktur und Leistung) ist schwach, und die Forschung zur nanoskaligen Anwendung und Umweltschutztechnologie hat erst spät begonnen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aktueller Stand der Forschung im Ausland

Die ausländische Forschung konzentriert sich auf die Vereinigten Staaten, Japan und Europa und konzentriert sich auf die theoretische Erforschung und High-Tech-Anwendung von Wolframoxid, insbesondere im Bereich der Nanotechnologie und intelligenter Materialien.

Grundlagenforschung: Das Massachusetts Institute of Technology (MIT) hat die Beziehung zwischen Wolframoxid-Bandlücke und Kristallform durch DFT-Berechnung aufgedeckt und bewiesen, dass die kubische Kristallbandlücke (2,6 eV) geringer ist als die von monoklinen Kristallen (2,8 eV), was die photokatalytische Optimierung leitet. Japan: Die Universität Tokio hat die Gassensoreigenschaften von Wolframoxid-Nanodrähten mit Nachweisgrenzen bis hinunter zum ppb-Bereich für den Einsatz in Sensoren untersucht.

Anwendungen: Elektrochrome: Europäische Forschungsinstitute haben Wolframoxid-Dünnschichten (CVD-Abscheidung) mit einer Lebensdauer von $>10^4$ mal für intelligente Fenster entwickelt. Biomedizin: Die Stanford University nutzt die photothermische Wirkung von Nano-Wolframoxid (Wirkungsgrad $> 40\%$) zur Behandlung von Tumoren. Katalyse: Das Max-Planck-Institut in Deutschland berichtete über einen Pt/Wolframoxid-Katalysator mit einer Hydrierungsumwandlungsrate von $>95\%$.

Vor- und Nachteile: Ausländische Forschung ist führend in der theoretischen Tiefe und High-End-Anwendung, aber durch Ressourcenknappheit begrenzt, der Produktionsumfang ist klein und die Kosten sind hoch (ca. 30 US-Dollar/kg).

Vergleich im In- und Ausland: Forschungsschwerpunkte: inländische Ausrichtung auf industrielle Produktion und traditionelle Anwendungen, ausländische Ausrichtung auf Grundlagenforschung und High-Tech-Bereiche. Technisches Niveau: Das Ausland ist in der Nanotechnologie und Leistungsoptimierung weiter fortgeschritten, und die heimischen Länder sind in Bezug auf Leistung und Kostenkontrolle überlegen. Entwicklungstrend: Beide Parteien entwickeln sich in Richtung grüner Synthese und multifunktionaler Anwendungen, wie z. B. das Recycling von Haushaltsschrott (Wiederverwendung von Wolframheizungen) und ausländische flexible Elektronik.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD Yellow Tungsten Trioxide (YTO, WO₃) Product Introduction

1. Product Overview

CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide is produced by high-temperature calcination process of ammonium paratungstate, which meets the requirements of GB/T 3457-2013 "Tungsten Oxide" first-class product. WO₃ is widely used in the preparation of tungsten powder, cemented carbide, tungsten wire and ceramic colorants. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality yellow tungsten trioxide products to meet the needs of powder metallurgy and industrial manufacturing.

2. product characteristics

High stability: stable in air, insoluble in water and inorganic acids except hydrofluoric acid.

Reactivity: It can be reduced to tungsten powder by hydrogen (>650°C) or carbon.

Uniformity: Uniform particle distribution, suitable for downstream processing.

3. Product specifications

index	CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide first-class product standard
WO ₃ content (wt%)	≥99.95
Impurities (wt% , max.)	Fe≤0.0010, Mo≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005
Particle size	1-10 (μm, FSSS)
Loose density	2.0-2.5 (g/cm ³)
Customization	Particle size or impurity limits can be customized according to customer requirements

4. Packaging and warranty

Packing: Inner sealed plastic bag, outer iron drum or woven bag, net weight 50kg or 100kg, moisture-proof design.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including WO₃ content, impurity analysis, particle size (FSSS method), loose density and moisture data.

5. Procurement information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129696

For more [yellow tungsten oxide](http://www.tungsten-powder.com) information, please visit the China Tungsten online website www.tungsten-powder.com. For more market and real-time information, please follow the WeChat public account "China Tungsten Online".



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD gelbes Wolframoxid

Kapitel 2 Grundlegende Informationen über Wolframoxid

2.1 Definition von Wolframoxid

Wolframoxid Wolframoxid ist eine Klasse von Verbindungen, die aus Wolfram (W) und Sauerstoff (O) bestehen und zur Kategorie der Übergangsmetalloxide gehören. Wolfram ist ein Metall mit hohem Schmelzpunkt und hoher Dichte, das üblicherweise verwendet wird als: Wolframit (Wolframit) oder Scheelit Die Form (Scheelit) kommt in der Natur vor, während Wolframoxid ein wichtiges Zwischenprodukt ist, das aus diesen Erzen durch Schmelzen und chemische Verarbeitung gewonnen wird. Es ist chemisch stabil und weist eine Vielzahl von Oxidationsstufen auf, von denen die häufigste +6-valentes Wolframtrioxid (WO_3) ist, das oft als gelbes Wolframoxid bezeichnet wird.

Aus chemischer Sicht ist die Definition von Wolframoxid nicht auf WO_3 beschränkt, sondern umfasst auch eine Reihe von nicht-ganzzahligen Verbindungen, wie z. B. $WO_{2.9}$, $WO_{2.72}$ usw. variiert der Sauerstoffgehalt dieser Oxide leicht, wodurch eine reiche Variation in Struktur und Eigenschaften entsteht. Seine Farbe variiert von gelb, blau bis violett, was eng mit der Oxidationsstufe und der Kristallstruktur von Wolfram zusammenhängt. Wolframoxid ist in der Industrie ein wichtiger Rohstoff für die Herstellung von Wolframmetall, Wolframpulver, Wolframdraht und anderen Wolframprodukten und auch ein wichtiger Vorläufer von Wolframchemikalien (wie Wolframamat).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Auch die physikalischen Eigenschaften von Wolframoxid können sich sehen lassen: Es hat in der Regel einen Schmelzpunkt über 1470 ° C, eine Dichte von etwa 7,16 g/cm³, eine hohe Härte und Korrosionsbeständigkeit. Diese Eigenschaften machen es stabil in Umgebungen mit hohen Temperaturen oder rauen Bedingungen. Aus Sicht der Anwendung ist Wolframoxid nicht nur ein Grundstoff für die Industrie, sondern aufgrund seiner Halbleitereigenschaften auch in der Photokatalyse, bei Sensoren und Smart Glass weit verbreitet. Man kann sagen, dass Wolframoxid nicht nur der Kernforschungsgegenstand der wissenschaftlichen Wolframforschung, sondern auch der Eckpfeiler der Entwicklung der Wolframtechnologie ist.

Insgesamt ist Wolframoxid eine vielseitige Verbindung, deren Definition nicht nur seine chemische Zusammensetzung umfasst, sondern auch seine Form des Vorkommens in der Natur, seine Rolle im Produktionsprozess und sein breites Anwendungsspektrum. Sie ist eine Brücke zwischen Erzen und Wolframprodukten mit hoher Wertschöpfung und ein unverzichtbarer Bestandteil der modernen Technik.

2.2 Form und Verteilung von Wolframoxid

Als wichtiges Mitglied der Wolframfamilie liegt Wolframoxid in einer Vielzahl von Formen vor, die indirekt in Form von Erzen in der Natur verkörpert werden können und auch durch künstliche Synthese in unterschiedlichen Formen präsentiert werden können. In der Natur kommt Wolfram hauptsächlich in Form von Wolframit und Scheelit vor, wobei Wolframit Eisen-Mangan-Wolframit und Scheelit Calciumwolframit ist. Diese Erze werden aufbereitet, ausgelaugt, kalziniert und anderen Prozessen unterzogen, bevor sie in Wolframoxid umgewandelt werden. China ist das größte Land für Wolframminerale und verfügt über mehr als 60 % der weltweiten Reserven.

In der künstlichen Zubereitung kommt Wolframoxid in einer Vielzahl von chemischen und physikalischen Formen vor. Am gebräuchlichsten ist Wolframtrioxid (WO₃), ein gelbes Wolframoxid in Form eines hellgelben Pulvers. Darüber hinaus gibt es blaues Wolframoxid und violette Wolframoxid, sie variieren in der Farbe, da der Sauerstoffgehalt etwas niedriger ist als bei WO₃. Diese nicht-ganzzahligen Oxide werden in der Regel unter einer reduzierenden Atmosphäre hergestellt und sind bei der Herstellung von Wolframpulver und Wolframmetall weit verbreitet. Darüber hinaus kann Wolframoxid auch in Form von Nanopartikeln, dünnen Filmen usw. vorliegen, insbesondere in der Wolframtechnologie und der akademischen Wolframforschung hat nanoskaliges Wolframoxid aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen.

Aus Vertriebsicht konzentriert sich die industrielle Produktion von Wolframoxid hauptsächlich auf gebiete, die reich an Wolframressourcen sind, wie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

China, Russland und Kanada. Die Produkte der CTIA GROUP LTD decken viele Bereiche ab, von Wolframoxid über Wolframdraht bis hin zu Wolframkupfer und so weiter. Im Labor wird Wolframoxid durch Kalzinierung von Ammoniumparawolframat (APT) oder Ammoniummetawolframat (AMT) hergestellt, das eine stark kontrollierbare Morphologie aufweist.

2.3 Wolframtrioxid und Sauerstoff ohne Wolframoxid/defektes Wolframoxid

Wolframtrioxid (WO_3) ist die stabilste Form der Wolframoxidfamilie und kommt in der Regel in Form von gelbem Wolframoxid vor. Wenn jedoch Sauerstofflücken in seiner Struktur auftreten, bilden sich sogenannte Sauerstofflücken von Wolframoxid oder Wolframoxid im defekten Zustand, wie z. B. blaues Wolframoxid und violettes Wolframoxid. Diese defekten Oxide weisen aufgrund des reduzierten Sauerstoffgehalts ganz andere Eigenschaften auf als Wolframtrioxid.

等级: A1		WO ₃ 含量(%min): 99.90										
密度:2.4-3.0g/cm3		费氏粒度: 12-20um										
杂质(%max)												
元素	Al	As	Bi	Ca	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	K	Mg	Mn
MAX	0.0005	0.0010	0.0001	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0003	0.0010	0.0010	0.0007	0.0010
元素	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Si	Sn	Ti	V	/
MAX	0.0020	0.0010	0.0007	0.0007	0.0010	0.0007	0.0005	0.0010	0.0002	0.0010	0.0010	/

Liste der chemischen Zusammensetzung von gelbem Wolframoxid

Die Kristallstruktur von Wolframtrioxid ist in der Regel ein monoklines Kristallsystem, und das Wolframatom ist von 6 Sauerstoffatomen umgeben, um WO_6 Oktaeder zu bilden, die durch Koangularität oder Kolateralität zu einem dreidimensionalen Netzwerk verbunden sind. Wenn Sauerstofflücken auftreten, verliert ein Teil der WO_6 -Einheit Sauerstoffatome und das Kristallgitter wird verzerrt, was zu einer Veränderung der Farbe und Leistung führt. Zum Beispiel verkleinern die Sauerstofflücken von blauem Wolframoxid die Bandlücke und verbessern die Lichtabsorption, während violettes Wolframoxid aufgrund des geringeren Sauerstoffgehalts eine charakteristische violette Farbe hat. Diese defekten Oxide werden aufgrund ihrer starken Reduzierbarkeit häufig als Zwischenprodukte bei der Herstellung von Wolframpulver in der Industrie eingesetzt.

In Anwendungen verleihen Sauerstofflücken defektem Wolframoxid eine höhere Leitfähigkeit und katalytische Aktivität. So haben Wolfram-Wissensstudien gezeigt, dass sauerstofffreies Wolframoxid sich hervorragend bei der photokatalytischen Wasserspaltung oder Gassensorik eignet, während

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframtrioxid aufgrund seiner Stabilität besser für intelligente Glas- und elektrochrome Geräte geeignet ist. Der Unterschied zwischen den beiden ergibt sich aus dem tiefgreifenden Einfluss von Sauerstoffleerstellen auf die elektronische Struktur, der auch in der Wolframforschung ein heißes Thema ist.

Was die Herstellung betrifft, so wird Wolframtrioxid in der Regel durch Hochtemperaturkalzinierung von Ammoniumparawolframat hergestellt, während defektes Wolframoxid unter einer reduzierenden Atmosphäre wie Wasserstoff verarbeitet werden muss. Dieser Unterschied in den Vorbereitungsbedingungen bestimmt direkt die Anzahl der Sauerstofflücken, was sich wiederum auf die Verwendung des Endprodukts auswirkt.

2.3.1 Zusammenhang zwischen der Struktur von Wolframtrioxid und dem Sauerstoffgehalt

Die Kristallstruktur von Wolframtrioxid ist die Grundlage seiner Funktion, und der Sauerstoffgehalt wirkt sich direkt auf die Stabilität und Diversität der Struktur aus, indem er die Gittersymmetrie und den Defektzustand verändert. Im Folgenden wird die Beziehung aus drei Perspektiven analysiert: Kristallform, Defekt und Morphologie.

Die Beziehung zwischen der Kristallform und dem Sauerstoffgehalt

Zu den Kristallformen von Wolframtrioxid gehören monokline, orthorhombische, tetragonale und kubische, und seine Bildung steht in engem Zusammenhang mit dem Sauerstoffgehalt. Bei idealem stöchiometrischen Verhältnis ($W:O=1:3$) ist der monokline Kristall bei Raumtemperatur eine stabile Phase, und die Gitterparameter betragen $a=7,306\text{\AA}$, $b=7,540\text{\AA}$, $c=7,692\text{\AA}$ und $\beta=90,91^\circ$. Wenn der Sauerstoffgehalt reduziert wird, $WO_{2,98}$ oder $WO_{2,72}$, die Kristallstruktur wird durch die Zunahme der Sauerstoffleerstände transformiert. Zum Beispiel:

- **Hoher Sauerstoffgehalt (WO_3):** Sauerstoffatome nehmen die Gitterposition vollständig ein und bilden ein regelmäßiges WO_6 -Oktaedernetzwerk, das tendenziell monoklin oder orthorhomb ist.
- **Niedriger Sauerstoffgehalt (WO_{3-x}):** Sauerstoffleerstellen stören die Gittersymmetrie, was zur Dominanz metastabiler Phasen wie tetragonaler oder kubischer Kristalle führt. Studien haben gezeigt, dass der Sauerstoffgehalt auf WO_2 reduziert wird? $_{72}$ stieg das kubische Kristallverhältnis signifikant an und der Kristallebenenabstand (d_{100}) änderte sich von 0,38 nm auf 0,39 nm.

Die Wolframforschung hat durch Röntgenbeugung (XRD) bestätigt, dass eine kleine Änderung des Sauerstoffgehalts ($\pm 0,1$) einen Übergang der Kristallform auslösen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

kann. So zeigt beispielsweise Wolframtrioxid, das in einer reduzierenden Atmosphäre hergestellt wird, tetragonale charakteristische Peaks, während unter Oxidationsbedingungen monokline Kristalle dominieren.

Gitterdefekte und Sauerstoffgehalt

Der Sauerstoffgehalt wirkt sich direkt auf die Defektdichte von Wolframtrioxid aus. Sauerstoffleerstellen, als Hauptdefekttyp, verändern die Oxidationsstufe von Wolfram (W^{6+} zu W^{5+} oder W^{4+}), was sich wiederum auf die Gitterstabilität auswirkt:

- **Ausreichend Sauerstoff:** Es gibt keine offensichtlichen Defekte im Kristallgitter, das WO_6 -Oktaeder ist geordnet angeordnet und der Kristall ist gelb (gelbes Wolfram).
- **Sauerstoffmangel:** Sauerstoffleerstellen führen zu lokalen Spannungen, die dazu führen, dass sich das Gitter verformt und blaues Wolframoxid ($W_{20}O_{58}$) bildet. Anzeige der paramagnetischen Elektronenresonanz (EPR), WO_2 Die Konzentration der Sauerstoffleerstellen in ρ kann 10^{18}cm^{-3} erreichen, was deutlich höher ist als die von WO_3 ($<10^{16} \text{cm}^{-3}$).

Die Analyse der Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) zeigte, dass die Grenze zwischen Wolframtrioxidkörnern mit vielen Sauerstofflücken verschwommen war und der Abstand zwischen den Kristallebenen stark schwankte ($\pm 0,02 \text{ nm}$), was die Unordnung der Struktur widerspiegelt.

Mikromorphologie und Sauerstoffgehalt

Der Sauerstoffgehalt beeinflusst auch die Topographie von Wolframtrioxid. Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) ergab:

- **Hoher Sauerstoffgehalt:** Die Körner sind groß ($20\text{--}50 \mu\text{m}$), regelmäßige Flocken oder Stäbchen, aufgrund des ausreichenden Kristallwachstums.
- **Niedriger Sauerstoffgehalt:** Die Körner sind klein ($1\text{--}5 \mu\text{m}$) und unregelmäßig polyederförmig, und die Vermehrung der Körner wird durch den Sauerstoffverlust eingeschränkt. Zum Beispiel sind Wolframtrioxid-Partikel, die durch Oxidation von Wolframpulver unter niedrigem Sauerstoffdruck hergestellt werden, nur $1/5$ der Größe eines hohen Sauerstoffdrucks.

2.3.2 Der Zusammenhang zwischen den Eigenschaften von Wolframtrioxid und dem Sauerstoffgehalt

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Wolframtrioxid, wie z. B. optische, elektrische und katalytische Eigenschaften, hängen eng mit seinem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sauerstoffgehalt zusammen. Änderungen des Sauerstoffgehalts verändern ihre Funktionsfähigkeit erheblich, indem sie ihre elektronische Struktur und ihre Defektzustände beeinflussen.

Optische Eigenschaften

Der Sauerstoffgehalt wirkt sich direkt auf die Bandlücke und die Farbe von Wolframtrioxid aus:

- **Hoher Sauerstoffgehalt (WO_3):** Die Bandlücke beträgt 2,8–3,0 eV, was hellgelb ist, da der elektronische Übergang hauptsächlich zwischen dem $O2p^-$ und dem $W5d$ -Orbital stattfindet. Das UV-Vis-Spektrum zeigt, dass die Absorptionskante zwischen 400 und 450 nm liegt.
- **Niedriger Sauerstoffgehalt (WO_{3-x}):** Sauerstoffleerstellen führen zu Defektenergieniveaus, die Bandlücke verengt sich auf 2,4–2,6 eV und die Farbe ändert sich zu blau oder blau-schwarz. Zum Beispiel ist $WO_{2.9}$. Die Absorptionskante rot bis 500 nm, und die Nahinfrarot-Absorption wird erhöht (> Abschirmrate von 700 nm wird um 50 % erhöht).

Durch diese optische Veränderung unterscheidet es sich in elektrochromen und photothermischen Anwendungen. Wolframtrioxid mit hohem Sauerstoffgehalt hat eine große Änderung der Lichtdurchlässigkeit (80 % → 10 %), was für intelligente Fenster geeignet ist; Blaues Wolfram mit niedrigem Sauerstoffgehalt wird aufgrund der starken Infrarotabsorption für die Isolierung von Agrarfolien verwendet.

Elektrische Eigenschaften

Der Sauerstoffgehalt reguliert die Leitfähigkeit und die Halbleitereigenschaften von Wolframtrioxid:

- **Hoher Sauerstoffgehalt:** Sauerstoffausreichend WO_3 ist ein n-Typ-Halbleiter mit niedriger Trägerkonzentration (10^{15} – 10^{16}cm^{-3}) und hohem spezifischen Widerstand (10^3 – $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$), wodurch er für Isolations- oder Hochwiderstandsanwendungen geeignet ist.
- **Niedriger Sauerstoffgehalt:** Der Sauerstoffleerstand erhöht die Konzentration der freien Elektronen (10^{18} – 10^{19}cm^{-3}) und der spezifische Widerstand sinkt auf 10^{-1} – $10^1 \Omega \cdot \text{cm}$. Zum Beispiel ist WO_2 . Die Leitfähigkeit von ρ ist aufgrund des Beitrags von W^{5+} um 2 Größenordnungen höher als die von WO_3 . Diese Eigenschaft macht es vorteilhafter bei Batterieelektroden (z. B. Lithium-Ionen-Batterien, Kapazität 693 mAh/g) und Sensoren.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Katalytische Leistung

Der Sauerstoffgehalt beeinflusst maßgeblich die photokatalytischen und chemischen katalytischen Aktivitäten von Wolframtrioxid:

- **Photokatalyse:** Wolframtrioxid mit vielen Sauerstoffleerstellen weist aufgrund seiner schmalen Bandlücke und vieler Defektzustände eine hohe Abscheideleistung auf. Zum Beispiel die photokatalytische Wasserstoffproduktionsrate von $WO_{2.9}$ ist höher als der von WO_3 ($300 \mu\text{mol/h} \cdot \text{g}$) als der von WO_3 ($300 \mu\text{mol/h} \cdot \text{g}$)
- **Chemische Katalyse:** Sauerstofflücken werden als aktive Zentren genutzt, um den Säuregehalt der Oberfläche zu verbessern. Zum Beispiel ist $WO_{2.9}$ die Umwandlungsrate von 9 in Hydrierungsreaktionen ($>90\%$) aufgrund der erhöhten Dichte seiner Lewis-Säurestelle besser als die von WO_3 (80%).

Thermische Stabilität

Wolframtrioxid mit hohem Sauerstoffgehalt hat eine bessere thermische Stabilität und Zersetzungstemperatur bis zu 1700°C , während sauerstoffarmes WO_{3-x} leicht auf WO_2 oder W über 1000°C reduziert werden kann. Dieser Unterschied wirkt sich auf die Eignung für Hochtemperaturumgebungen aus, wie z. B. feuerfeste Stoffe.

2.3.3 Herstellung von Wolframtrioxid und Kontrolle des Sauerstoffgehalts

Die Aufbereitungsmethode von Wolframtrioxid bestimmt seinen Sauerstoffgehalt, und eine genaue Kontrolle des Sauerstoffgehalts ist der Schlüssel zum Erreichen spezifischer Strukturen und Eigenschaften. Im Folgenden werden die gängigen Zubereitungsprozesse und der Regulationsmechanismus des Sauerstoffgehalts analysiert.

Röstmethode

- **Verfahren:** Hergestellt durch Rösten von Wolframmetall oder Wolframpulver unter Sauerstoffatmosphäre ($500-800^\circ\text{C}$).
- **Kontrolle des Sauerstoffgehalts:**
 - **Hoher Sauerstoffgehalt:** Sauerstoffpartialdruck $> 0,2\text{atm}$, Temperatur 600°C , Reaktionszeit 2 Stunden, WO_3 wird erzeugt, Reinheit $> 99,9\%$.
 - **Niedriger Sauerstoffgehalt:** Der Sauerstoffpartialdruck $< 0,05\text{atm}$ oder fügen Sie ein Reduktionsmittel (z. B. H_2) hinzu, um $WO_{2.9}$ oder blaues Wolfram ($W_{20}O_{58}$) zu erzeugen. So bereiten Wolframunternehmen blaues Wolfram in einer N_2/O_2 -Mischatmosphäre (O_2 -Verhältnis von 10%) mit einem Sauerstoffindex von $2,72-2,9$ her.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Eigenschaften:** Einfach und effizient, geeignet für die industrielle Produktion, aber die Genauigkeit des Sauerstoffgehalts ist durch die Atmosphärenregelung begrenzt.

Hydrothermales Verfahren

- **Verfahren:** Als Vorstufe wird Natriumwolframat oder Wolframat verwendet und in wässriger Lösung (150–250 ° C, 12–48 Stunden) synthetisiert.
- **Kontrolle des Sauerstoffgehalts:**
 - **Hoher Sauerstoffgehalt:** Oxidationsmittel (z. B. H₂O₂) wird hinzugefügt, pH >7, um die Bildung von WO₃ zu gewährleisten, und die Kristallform ist monoklist.
 - **Niedriger Sauerstoffgehalt:** Passen Sie den pH-Wert <5 an oder fügen Sie ein Reduktionsmittel (z. B. Ethanol) hinzu, um WO_{3-x} mit reichlich Sauerstofflücken zu erzeugen, und die Kristallform ist in Richtung kubischer Kristalle verzerrt. So berichtet die Wolframtechnologie, dass der Sauerstoffgehalt bei 180° C geregelt wird, Ethanol/Wasser (1:1).₈₅-WO₃.
- **Merkmale:** Kontrollierbare Partikelgröße (10–100 nm), geeignet für Nano-Wolframtrioxid, aber geringe Ausbeute.

Gasphasenabscheidung (CVD)

- **Verfahren:** Wolframfilament oder WF₆ wird als Rohmaterial verwendet und unter einer Sauerstoffatmosphäre (400–700° C) abgeschieden.
- **Kontrolle des Sauerstoffgehalts:**
 - **Hoher Sauerstoffgehalt:** Der Sauerstoffdurchfluss > 100 sccm, was zu einem dichten WO₃-Film führt.
 - **Niedriger Sauerstoffgehalt:** Reduziert den Sauerstofffluss (<20 sccm) oder führt H₂ ein, um WO_{3-x} zu erzeugen. So ist beispielsweise ein dünner Film, der von einer Wolframnadel bei niedrigem Sauerstoffdruck abgeschieden wird, blau-schwarz mit einem Sauerstoffgehalt von WO_{2.9}.
- **Eigenschaften:** Geeignet für die Filmvorbereitung, gute Gleichmäßigkeit des Sauerstoffgehalts, aber hohe Kosten.

Erkennung und Validierung des Sauerstoffgehalts

- **Chemische Analyse:** gravimetrische Bestimmung des Sauerstoffgehalts, wie z.B. WO₃-Reduktion auf W nach dem Wiegen.
- **Spektralanalyse:** XPS wurde verwendet, um das W⁵⁺/W⁶⁺-Verhältnis zu detektieren, und EPR wurde verwendet, um die Konzentration von Sauerstoffleerstellen zu messen.
- **Strukturelle Charakterisierung:** XRD und TEM bestätigen die Veränderung der Kristallform.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD gelbes Wolframoxid

Kapitel 3 Einstufung von Wolframoxid

3.1 Einstufung von Wolframoxid nach chemischer Zusammensetzung

Wolframoxid ist eine Klasse von Verbindungen, die aus Wolfram (W) und Sauerstoff (O) bestehen, und seine chemische Zusammensetzung bestimmt seine Art und Eigenschaften. Abhängig von der Oxidationsstufe und dem Sauerstoffgehalt von Wolfram kann Wolframoxid in eine Vielzahl von Typen eingeteilt werden, darunter Wolframtrioxid (WO_3), Wolframdioxid (WO_2) und eine Reihe von nicht-integrierten Verbindungen. Diese Verbindungen variieren in Farbe, Struktur und Anwendung und spiegeln die Vielfalt der Wolframchemie wider. Die Klassifizierung auf der Grundlage der chemischen Zusammensetzung wird im Folgenden erläutert.

In der Natur kommt Wolfram vor allem in Form von Wolframit und Scheelit vor, das nach der Raffination in Wolframoxid umgewandelt wird. Industriell ist Wolframoxid ein wichtiges Zwischenprodukt bei der Herstellung von Wolframprodukten wie Wolframmetall, Wolframpulver und Wolframdraht. Seine chemische Zusammensetzung beeinflusst nicht nur seine physikalischen Eigenschaften, sondern bestimmt auch sein Anwendungspotenzial in der Wolframtechnologie und der Wolframforschung. So kann beispielsweise eine kleine Änderung des Sauerstoffgehalts dazu führen, dass sich die Farbe von gelb zu blau oder violett ändert, ein Phänomen, das eng mit dem Oxidationszustand und der elektronischen Struktur von Wolfram zusammenhängt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Darüber hinaus beeinflusst die Herstellungsmethode von Wolframoxid auch seine chemische Zusammensetzung. So können beispielsweise durch Kalzinierung von Ammoniumparawolframat (APT) in verschiedenen Atmosphären Oxide mit unterschiedlichem Sauerstoffgehalt erhalten werden. Diese Flexibilität ermöglicht es, Wolframoxid in Industrie und Forschung umfassend zu adaptieren. Im Folgenden werden einige der wichtigsten Arten der chemischen Zusammensetzung ausführlich beschrieben.

3.1.1 Gelbes Wolframoxid/Wolframtrioxid

Gelbes Wolframoxid, auch Wolframtrioxid (WO_3) genannt, ist die häufigste und stabilste Form der Wolframoxid-Familie. Seine chemische Zusammensetzung aus Wolfram befindet sich in der Oxidationsstufe +6, und der Sauerstoffgehalt erreicht das theoretische Maximum, so dass es eine leuchtend gelbe Farbe hat. Diese Farbe leitet sich von ihrer Energiebandlücke (ca. 2,5–2,8 eV) ab, die es ihr ermöglicht, ultraviolettes Licht und teilweise sichtbares Licht zu absorbieren.

Die Herstellung von gelbem Wolframoxid wird üblicherweise durch Kalzinierung von Ammoniumparawolframat oder Wolframsäure bei hoher Temperatur an der Luft erhalten. Zu seinen physikalischen Eigenschaften gehören ein hoher Schmelzpunkt (1473 °C), eine hohe Dichte (7,16 g/cm³) und eine gute chemische Stabilität, so dass es in rauen Umgebungen strukturell intakt bleibt. In Bezug auf die Kristallstruktur wird Wolframtrioxid von einem monoklinen Kristallsystem dominiert, und Wolframatome sind von 6 Sauerstoffatomen umgeben, um WO_6 -Oktaeder zu bilden, was ihm hervorragende elektrische und optische Eigenschaften verleiht.

In Bezug auf die Anwendung wird gelbes Wolframoxid aufgrund seiner elektrochromen Eigenschaften, die sich unter Einwirkung eines elektrischen Feldes von gelb zu blau oder grau ändern können, häufig in intelligentem Glas verwendet. Darüber hinaus ist es ein wichtiges Material für Photokatalysatoren, mit denen organische Schadstoffe abgebaut werden können. Gelbwolframoxid ist einzigartig in seiner Kombination aus Stabilität und Vielseitigkeit. Ob es sich um ein Zwischenprodukt von Wolframchemikalien oder eine direkte Anwendung im High-Tech-Bereich handelt, es hat einen unersetzlichen Wert bewiesen.

3.1.2 Orangefarbenes Wolframoxid

Orangefarbenes Wolframoxid ist eine weniger erwähnte Form von Wolframoxid und wird unter bestimmten Präparationsbedingungen oft als Variante von Wolframtrioxid (WO_3) angesehen. Es hat die gleiche chemische Zusammensetzung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

wie gelbes Wolframoxid, jedoch mit einer orangefarbenen Farbe, die mit der Korngröße, Sauerstofflücken oder Spurenverunreinigungen zusammenhängen kann.

Die Herstellung von orangefarbenem Wolframoxid erfolgt in der Regel unter Übergangsbedingungen, wie z. B. beim Kalzinieren von Ammoniumparawolframat, die Temperatur wird zwischen 400 und 500 ° C geregelt, oder in einer Umgebung, in der die Sauerstoffversorgung unzureichend ist. Seine Kristallstruktur wird immer noch von monoklinen Kristallsystemen dominiert, aber Oberflächendefekte oder Unterschiede in der Partikelmorphologie können zu Veränderungen der Lichtstreuung führen, was zu einer orangefarbenen Farbe führt. Studien haben gezeigt (unter Bezugnahme auf Tungsten Academic), dass diese Farbänderung seine chemischen Eigenschaften nicht wesentlich verändert, aber seine optischen Absorptionseigenschaften beeinträchtigen kann.

In Bezug auf die Anwendung ähnelt orangefarbenes Wolframoxid dem gelben Wolframoxid, das in der Photokatalyse, in Sensoren und anderen Bereichen eingesetzt werden kann. Aufgrund seiner instabilen Vorbereitungsbedingungen wird es in der Industrie jedoch selten separat hergestellt und liegt meist als Zwischenzustand von Wolframtrioxid vor. Seine Position auf dem Wolframmarkt ist nicht so bedeutend wie die anderer Typen, aber es hat immer noch einen Wert, der in spezifischen experimentellen Studien untersucht werden muss.

Die Besonderheit von orangefarbenem Wolframoxid liegt in seiner Übergangsfähigkeit, die wichtige Anhaltspunkte für die Untersuchung der Beziehung zwischen der Struktur und den Eigenschaften von Wolframoxid liefert.

3.1.3 Blaues Wolframoxid

Blaues Wolframoxid ist ein ganzzahliges Wolframoxid mit einem Sauerstoffgehalt, der etwas niedriger ist als der von Wolframtrioxid. Seine blaue Farbe rührt von dem Vorhandensein von Sauerstofflücken her, die die elektronische Struktur verändern, die Energiebandlücke verkleinern und den Bereich der Lichtabsorption in den sichtbaren Bereich erweitern.

Blauwolframoxid wird in der Regel durch Erhitzen von Ammoniumparawolframat oder Wolframtrioxid unter einer reduzierenden Atmosphäre, wie z. B. Wasserstoff, hergestellt. Seine Kristallstruktur ähnelt der von WO_3 , aber Sauerstofflücken verursachen lokale Verzerrungen, die die Leitfähigkeit und katalytische Aktivität erhöhen. In Bezug auf die physikalischen Eigenschaften ist es leichter zu reduzieren als gelbes Wolframoxid und wird häufig als Zwischenprodukt bei der Herstellung von Wolframpulver verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In Anwendungen wird blaues Wolframoxid aufgrund seiner hohen Aktivität in Gassensoren und photothermischen Materialien eingesetzt. Es hat eine hohe Empfindlichkeit gegenüber NO_2 und anderen Gasen und hat ein großes Potenzial im Bereich des Umweltschutzes. Darüber hinaus kann es auch als Rohstoff für Wolframchemikalien verwendet und zu Verbundwerkstoffen wie Wolframkupfer weiterverarbeitet werden.

Der Charme von blauem Wolframoxid liegt in seinen fehlerhaften Eigenschaften, die es im Bereich der Funktionsmaterialien einzigartig machen.

3.1.4 Purpur-Wolframoxid

Purpur-Wolframoxid ist ein Wolframoxid mit einem geringeren Sauerstoffgehalt, und seine violette Farbe ist auf eine höhere Konzentration von Sauerstofflücken zurückzuführen. Seine chemische Zusammensetzung liegt zwischen WO_3 und WO_2 , und die Oxidationsstufe von Wolfram liegt teilweise unter +6.

Zur Vorbereitung muss purpurfarbenes Wolframoxid unter stärkeren Reduktionsbedingungen erzeugt werden, wie z. B. bei der Hochtemperaturbehandlung von Wolframtrioxid in Wasserstoff. Seine Kristallstruktur ist komplex, und die Sauerstofflücke führt zu einer starken Verzerrung des Kristallgitters, behält aber dennoch eine gewisse Stabilität. Es ist leichter zu reduzieren als blaues Wolframoxid und ist der bevorzugte Rohstoff für die Herstellung von hochreinem Wolframpulver.

In Bezug auf die Anwendung wird violetteres Wolframoxid häufig in der Wolframforschung verwendet, um die Auswirkungen des Sauerstoffabfalls auf die Leistung zu untersuchen. Auch im Bereich der Photokatalyse und Elektrochemie hat es Potenzial, da es die Bandlücke weiter verkleinert und die Photoempfindlichkeit stärkt.

Die einzigartige Farbe und die Eigenschaften von violetterem Wolframoxid machen es zu einer "Persönlichkeitsschule" in der Wolframoxid-Familie.

3.1.5 Weißes Wolframoxid

Weißes Wolframoxid ist keine Art von Wolframoxid im herkömmlichen Sinne, sondern eine Variante von Wolframtrioxid unter bestimmten Bedingungen, die oft mit Nano- oder hoher Reinheit verbunden ist. Seine chemische Zusammensetzung ist immer noch WO_3 , aber durch die extrem kleinen Körner oder Oberflächeneffekte wird das Streulicht verstärkt und erscheint weiß.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zur Herstellung kann weißes Wolframoxid durch Niedertemperaturzersetzung von Ammoniummetawolframat oder solvothermale Zubereitung hergestellt werden. Seine Kristallstruktur stimmt mit der von gelbem Wolframoxid überein, aber seine nanoskalige Größe führt dazu, dass sich seine optischen Eigenschaften ändern. Physikalisch behält es die hohe Stabilität von WO_3 bei, ist aber in Bezug auf die spezifische Oberfläche und Aktivität überlegen.

In Anwendungen wird weißes Wolframoxid aufgrund seiner hohen Aktivität in Photokatalysatoren und Nanobeschichtungen eingesetzt. Es wird auf dem Wolframmarkt selten gesondert erwähnt, hat aber Potenzial als Material mit hoher Wertschöpfung. Die Besonderheit von weißem Wolframoxid liegt in seinen Nanoeigenschaften, die eine neue Richtung für Wolframoxid-Anwendungen eröffnen.

3.1.6 Tungsten dioxide/brown tungsten oxide

Wolframdioxid (WO_2), auch bekannt als braunes Wolframoxid, ist Wolframoxid in der Oxidationsstufe +4 von Wolfram. Es hat den geringsten Sauerstoffgehalt, eine dunkelbraune Farbe und unterscheidet sich in der Natur deutlich von WO_3 .

Zur Vorbereitung wird Wolframdioxid durch Wolframtrioxid unter starken Reduktionsbedingungen (z. B. Hochtemperaturwasserstoff) hergestellt. Seine Kristallstruktur ist ein monoklines Kristallsystem, aber die WO_4 -Einheit ist anders als WO_6 verbunden, was zu einer höheren elektrischen Leitfähigkeit führt. Physikalisch hat es immer noch einen Schmelzpunkt von bis zu $1700^\circ C$, aber seine chemische Stabilität ist geringer als die von WO_3 .

In Anwendungen wird Wolframdioxid häufig als Zwischenprodukt bei der Herstellung von Wolframmetall verwendet und wird aufgrund seiner elektrischen Eigenschaften auch in Elektrodenmaterialien verwendet (siehe Wolframforschung). Seine Rolle in Wolframchemikalien ist grundlegend, aber unverzichtbar. Wolframdioxid mit seiner niedrigen Oxidationsstufe und seinen einzigartigen Eigenschaften bereichert die Klassifizierung von Wolframoxid.

3.2 Klassifizierung von Wolframoxid anhand der Kristallstruktur

Die Kristallstruktur von Wolframoxid ist ein Schlüsselfaktor bei der Bestimmung seiner Eigenschaften und kann je nach den verschiedenen Kristallformen in verschiedene Typen unterteilt werden, z. B. monokline, orthogonale, hexagonale und kubische. Die Bildung dieser Kristallformen hängt eng mit Temperatur, Druck und Herstellungsprozess zusammen, und jede Struktur verleiht Wolframoxid seine einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften. Die Eigenschaften dieser Polymorphe und ihre Anwendungen werden im Folgenden ausführlich diskutiert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2.1 Monokline Wolframoxid

Die monokline Kristallform ist die Hauptform von Wolframtrioxid (d. h. gelbem Wolframoxid) bei Raumtemperatur. Die Struktur dieser Kristallform besteht aus WO_6 Oktaedern, die durch Winkelverbindungen zu einem asymmetrischen dreidimensionalen Netzwerk verbunden sind. Aufgrund der Asymmetrie seines Kristallgitters weist monoklines Wolframoxid eine hohe Stabilität und hervorragende Eigenschaften auf, was es zur gebräuchlichsten Form in der Praxis macht.

Das monokline Wolframoxid hat typischerweise eine Bandlücke zwischen 2,5–2,8 eV und gute optische und elektrische Eigenschaften. Seine Stabilität lässt es im Bereich Smart Glass glänzen und ermöglicht reversible Farbveränderungen durch elektrochrome Effekte. Darüber hinaus wird im Bereich der Photokatalyse monoklines Wolframoxid aufgrund seiner Absorptionsfähigkeit von ultraviolettem Licht und etwas sichtbarem Licht häufig als Katalysator für die Zersetzung organischer Schadstoffe eingesetzt. In der Industrie ist es auch der Kernrohstoff für die Herstellung von Wolframpulver durch Kalzinierung von Ammoniumparawolframat.

Die Anwendung von monoklinärem Wolframoxid ist aufgrund seiner perfekten Balance zwischen Struktur und Leistung die "Hauptkraft" der Wolframoxidfamilie.

3.2.2 Orthorhombisches Wolframoxid

Orthorhombisches Wolframoxid ist eine Kristallstruktur, die bei höheren Temperaturen (z. B. 300–500 °C) gebildet wird. Im Vergleich zur monoklinen Kristallform ist die Anordnung des WO_6 -Oktaeders symmetrischer und die Symmetrie des Kristallgitters wird verbessert. Diese strukturelle Veränderung ermöglicht es der orthorhombischen Form, einzigartige Vorteile in bestimmten Eigenschaften zu zeigen, insbesondere im Bereich der Photokatalyse.

Das orthorhombische Wolframoxid hat eine offenere Struktur und aktivere Stellen auf der Oberfläche, wodurch es Schadstoffe in photokatalytischen Reaktionen effizienter adsorbieren und zersetzen kann (siehe Tungsten Academic). Seine Herstellung wird in der Regel durch die Phasenumwandlung von Wolframtrioxid bei einer bestimmten Temperatur oder durch die Kontrolle der Zersetzungsbedingungen von Wolframsäure erreicht. Es ist etwas weniger stabil als monokline, eignet sich aber gut für bestimmte Anwendungen. Obwohl die orthorhombische Kristallform als Übergangsform des Wolframoxids in der Industrie nicht so weit verbreitet ist wie die monokline Kristallform, muss ihr Potenzial insbesondere

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

bei der Entwicklung von Hochleistungskatalysatoren noch weiter erforscht werden.

3.2.3 Hexagonales Wolframoxid

Hexagonales Wolframoxid ist eine Kristallstruktur, die durch ein spezielles Herstellungsverfahren (z. B. hydrothermales Verfahren) erhalten wird, und seine Morphologie liegt normalerweise in Form von Nanostäbchen oder Nanoröhren vor. Das WO_6 -Oktaeder dieser Kristallform ist hexagonal symmetrisch angeordnet, um eine offene Kanalstruktur zu bilden, die sich ideal für die Interkalation und den Transport von Ionen eignet.

Die einzigartige Struktur von hexagonalem Wolframoxid verschafft ihm erhebliche Vorteile im Bereich der Batterien und Sensoren. Bei Lithium-Ionen-Batterien erhöhen beispielsweise seine offenen Kanäle die Ionendiffusionsrate und verbessern so die Zyklenleistung der Batterie (siehe Tungsten Research). In Gassensoren vergrößern die hexagonalen Nanostrukturen die spezifische Oberfläche und weisen eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Gasmolekülen auf.

Darüber hinaus kann es auch durch hydrothermale Synthese von Ammoniummetawolframat hergestellt werden, und der Prozess ist sehr gut kontrollierbar. Hexagonales Wolframoxid bietet mit seiner hohen Aktivität und besonderen Morphologie eine breite Möglichkeit für die Anwendung von Wolframoxid im Bereich der Nanotechnologie.

3.2.4 Kubisches kristallines Wolframoxid

Kubisches Wolframoxid ist eine Kristallstruktur, die unter hohen Temperaturbedingungen (z. B. über $900\text{ }^{\circ}\text{C}$) gebildet wird, und ihre WO_6 -Oktaederanordnung erreicht die höchste Symmetrie und stellt ein kubisches symmetrisches Gitter dar. Die Symmetrie dieser Struktur verleiht ihr theoretische Perfektion, ist aber in der Praxis aufgrund der thermodynamischen Instabilität weniger verbreitet.

Die Herstellung von kubischem kristallinem Wolframoxid erfordert oft extreme Bedingungen, wie z. B. die Verarbeitung von Wolframtrioxid bei hohen Temperaturen und Drücken. Seine Bandlücke und seine elektrischen Eigenschaften unterscheiden sich von denen der monoklinen Kristallform, sind aber durch unzureichende Stabilität in der Praxis eingeschränkt. In dieser Studie wird die kubische Kristallform eher verwendet, um das Phasenumwandlungsgesetz und die theoretischen Eigenschaften von Wolframoxid zu untersuchen und Daten zum Verständnis der Beziehung zwischen Kristallstruktur und -eigenschaften zu liefern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mit seiner hohen Symmetrie und Seltenheit demonstriert kubisches Wolframoxid die Vielfalt der Wolframoxid-Kristallstrukturen, und obwohl seine Anwendungsmöglichkeiten begrenzt sind, ist es immer noch ein wichtiges Objekt in der akademischen Forschung.

3.3 Einstufung von Wolframoxid nach physikalischer Form

Die physikalische Form von Wolframoxid ist eine wichtige Verkörperung seiner Anwendungsvielfalt und kann je nach Partikelgröße, Morphologie und Struktur in verschiedene Typen wie Nanopartikel, Nanoblätter, Nanodrähte, Nanostäbchen, Nanoblumen, dünne Filme und Volumen unterteilt werden. Diese Unterschiede in der Morphologie wirken sich nicht nur auf seine physikalischen und chemischen Eigenschaften aus, sondern bestimmen auch direkt seinen spezifischen Einsatz in der Wolframtechnologie und Wolframforschung. Im Folgenden werden die Eigenschaften, Vorbereitungsmethoden und Anwendungsszenarien der einzelnen physikalischen Formen ausführlich erläutert.

3.3.1 Wolframoxid-Nanopartikel

Wolframoxid-Nanopartikel beziehen sich auf kugelförmige oder nahezu kugelförmige Partikel mit einer Partikelgröße von 1-100 Nanometern, die in der Regel von Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) dominiert werden. Aufgrund der geringen Größe wird die spezifische Oberfläche deutlich vergrößert und weist ganz andere Eigenschaften als Schüttgüter auf. Die Herstellung von Nanopartikeln erfolgt in der Regel durch chemische Fällung oder Niedertemperaturkalzinierung von Ammoniumparawolframat, was einfach und kontrollierbar ist.

Die optischen Eigenschaften von Nanopartikel-Wolframoxid werden durch Quanteneffekte verstärkt, und ihre Bandlücke kann sich leicht ändern, und wird häufig in photokatalytischen Bereichen verwendet, z. B. bei der Spaltung von Wasser oder beim Abbau organischer Schadstoffe. Elektrisch eignet er sich aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche hervorragend für Gassensoren, so dass er schnell auf Gase wie NO_2 oder H_2S reagieren kann. Darüber hinaus kann es auch verwendet werden als: Wolframpulvervorläufer für die Zubereitung Wolframtenor.

In der Praxis werden Wolframoxid-Nanopartikel aufgrund ihrer Gleichmäßigkeit und Dispersion häufig in Verbundwerkstoffe wie Wolframkupfer oder Wolframkautschuk dotiert, um deren Leistung zu verbessern. Seine Nanoeigenschaften haben es zu einer Quelle des Interesses auf dem Wolframmarkt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

gemacht, insbesondere im High-End-Segment, das von der Nanotechnologie angetrieben wird.

Wolframoxid-Nanopartikel sind aufgrund ihrer hohen Aktivität und einfachen Verarbeitung zur Starform der Nanomaterialforschung geworden.

3.3.2 Wolframoxid-Nanoblätter

Wolframoxid-Nanoblätter sind zweidimensionale Strukturen mit einer Dicke von Nanometern und Querabmessungen bis in die Mikrometergröße. Diese Blattform wird in der Regel durch solvothermale oder Exfoliation hergestellt, z. B. aus einer Wolframsäurelösung gezüchtet. Die Kristallstruktur von Nanoblättern ist meist monokline oder orthorhombische Kristallform mit einer großen freiliegenden Oberfläche.

Der Vorteil von Nanoblatt-Wolframoxid liegt in seinen zweidimensionalen Eigenschaften und den reichlich vorhandenen oberflächenaktiven Zentren, die sich sehr gut für katalytische Reaktionen eignen. Studien haben gezeigt (siehe Wolfram akademisch), dass es beim photokatalytischen Abbau von Farbstoffen oder bei der Photolyse von Wasser zu Wasserstoff effizienter ist als Schüttgüter. Darüber hinaus bietet ihm seine lamellare Struktur das Potenzial, im Bereich der elektrochemischen Energiespeicherung, wie z. B. bei Lithiumbatterieelektroden, mehr Ioneninterkalationsstellen bereitzustellen.

In Anwendungen können Wolframoxid-Nanoblätter aufgrund ihrer mechanischen Flexibilität und elektrischen Eigenschaften auch zur Herstellung flexibler elektronischer Geräte verwendet werden. Es kann auch mit anderen Materialien wie Molybdänoxid compoundiert werden, um Hochleistungssensoren herzustellen. Wolframoxid-Nanoblätter liefern mit ihren zweidimensionalen Eigenschaften und ihrer hohen Aktivität neue Ideen für die Entwicklung von Funktionsmaterialien.

3.3.3 Wolframoxid-Nanodrähte

Wolframoxid-Nanodrähte sind eindimensionale Strukturen mit Durchmessern im Nanometerbereich und Längen von mehreren Mikrometern oder sogar länger. Zu den Herstellungsmethoden gehören das Gasphasenabscheidungsverfahren und das hydrothermale Verfahren, und Ammoniummetawolframat wird häufig als Rohstoff verwendet, und eine längliche lineare Struktur wird durch Kontrolle der Reaktionsbedingungen gezüchtet. Das Polymorph ist meist monokline oder hexagonale, abhängig von der Syntheseumgebung.

Nanodraht-Wolframoxid zeichnet sich in elektronischen Geräten aufgrund seines hohen Aspektverhältnisses und seiner unidirektionalen Leitfähigkeit aus. Es

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

kann beispielsweise als Kanalmaterial für Feldeffekttransistoren oder für die hochempfindliche Detektion in Gassensoren verwendet werden (siehe Wolframforschung). Seine eindimensionale Struktur trägt auch zur Effizienz der Photokatalyse bei, da der Weg der photogenerierten Ladungsträger entlang der Linie kürzer ist. In industriellen Anwendungen können Wolframoxid-Nanodrähte zu nanoskaligen Vorläufern von Wolframfilamenten oder für die Entwicklung von Wolframchemikalien weiterverarbeitet werden. Seine Morphologie macht es auch zu einem potenziellen Einsatz in flexiblen Displays und Nanokompositen, z. B. in Kombination mit Wolframkunststoff zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften. Wolframoxid-Nanodrähte sind aufgrund ihrer eindimensionalen Eigenschaften und hervorragenden Eigenschaften zu einem wichtigen Mitglied der Nanotechnologie geworden.

3.3.4 Wolframoxid-Nanostäbchen

Wolframoxid-Nanostäbchen ähneln Nanodrähten insofern, als sie ebenfalls eindimensionale Strukturen sind, aber ihre Länge ist kürzer und das Aspektverhältnis beträgt normalerweise weniger als 10. Bei der Herstellung erfolgt meist ein hydrothermales oder solvothermales Verfahren, bei dem Natriumwolframat oder Wolframtrioxid als Rohstoffe verwendet werden und die Morphologie durch Einstellung des pH-Werts und der Temperatur gesteuert wird. Die Kristallform ist hauptsächlich hexagonal oder monoklin. Wolfram-Nanostäbchenoxid zeichnet sich sowohl durch Eindimensionalität als auch durch hohe Stabilität aus und eignet sich daher für Anwendungen zur Ioneninterkalation. Im Bereich der Batterien ist seine stabförmige Struktur in der Lage, die Zyklenleistung von Elektrodenmaterialien zu verbessern. Darüber hinaus eignet es sich aufgrund seiner moderaten Oberfläche und seiner leichten Dispergierbarkeit auch gut in der Photokatalyse.

In Bezug auf die Anwendung können Wolframoxid-Nanostäbchen zur Herstellung von Katalysatoren auf Wolframatbasis oder als nanoskalige Komponenten von Wolframheizungen verwendet werden. Es kann auch mit Wolframkupfer compoundiert werden, um die Wärmeleitfähigkeit zu verbessern. Industriell hat die CTIA GROUP LTD ein starkes Interesse an ihrem Potenzial im Bereich der neuen Energie gezeigt. Wolframoxid-Nanostäbchen sind mit ihrer bescheidenen Größe und Vielseitigkeit zu einer praktischen Wahl unter den eindimensionalen Materialien geworden.

3.3.5 Wolframoxid-Nanoblüten

Wolframoxid-Nanoblüten sind eine dreidimensionale hierarchische Struktur, die durch Nanoblätter oder Nanostäbchen zu blütenähnlichen Formen zusammengefügt wird und in der Regel durch hydrothermale oder selbstorganisierende Methoden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hergestellt wird. Sein Rohstoff kann Wolframsäure oder Ammoniummetawolframat sein, das durch die Steuerung der Reaktionszeit und der Additive gebildet wird. Die Kristallform ist meist monokline oder hexagonale.

Das größte Merkmal von Nanoflower-Wolframoxid ist seine ultrahohe spezifische Oberfläche und poröse Struktur, wodurch es erhebliche Vorteile im Bereich der Katalyse hat. So weist es beispielsweise eine extrem hohe Aktivität bei der photokatalytischen Zersetzung von Schadstoffen oder der elektrokatalytischen Wasserstoffproduktion auf (siehe Tungsten Academic). Darüber hinaus erhöht seine blütenartige Struktur die Gasadsorptionskapazität, wodurch es für hochempfindliche Sensoren geeignet ist.

In der Praxis können Wolframoxid-Nanoblumen zur Umweltbehandlung, wie z. B. zur Luftreinigung, oder als funktionelle Additive für Wolframchemikalien verwendet werden. Seine schöne Form und sein praktischer Nutzen haben nach und nach Aufmerksamkeit auf dem Wolframmarkt auf sich gezogen. Mit ihrer komplexen Struktur und hohen Leistungsfähigkeit sind Wolframoxid-Nanoblüten zu "Kunstwerken" unter den Nanomaterialien geworden.

3.3.6 Wolframoxid-Film

Wolframoxid-Dünnschichten sind zweidimensionale makroskopische Formen mit einer Dicke von Nanometern bis Mikrometern und werden typischerweise durch Sputtern, chemische Gasphasenabscheidung (CVD) oder Sol-Gel-Verfahren hergestellt. Seine chemische Zusammensetzung wird von Wolframtrioxid dominiert, und die Kristallform ist meist monokline oder orthogonale.

Die elektrochromen Eigenschaften von Dünnschicht-Wolframoxid sind seine Kernstärken, die in intelligenten Gläsern und Anzeigegeräten genutzt werden können, um Farbänderungen durch elektrische Felder zu steuern. Darüber hinaus hat es ein breites Anwendungsspektrum in optoelektronischen Bauelementen, wie z.B. als Elektronentransportschicht für Solarzellen. Durch ihre hohe Planlage und Stabilität eignet sich die Folie für die großflächige Integration.

Industriell werden Wolframoxidfilme häufig für die Oberflächenbeschichtung von Wolframprodukten verwendet oder mit Wolframkupfer zur Herstellung von Verbundwerkstoffen kombiniert. Wolframoxidfilme sind aufgrund ihrer Ebenheit und Funktionalität Schlüsselmaterialien in der Dünnschichttechnologie.

3.3.7 Wolframoxid-Blöcke

Wolframoxidblöcke beziehen sich auf die feste Form makroskopischer Größe, die normalerweise durch Hochtemperatursintern nach dem Pulverpressen und -formen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hergestellt wird. Seine chemische Zusammensetzung besteht hauptsächlich aus Wolframtrioxid, und die Kristallform ist hauptsächlich monoklin. Schüttgüter haben große Partikelgrößen und es fehlen Nanoeffekte.

Wolframoxid zeichnet sich durch eine hohe Dichte und hohe Stabilität aus und wird häufig als Rohstoff für die Herstellung von Wolframmetall oder Ferrowolfram verwendet. Es kann die strukturelle Integrität in Umgebungen mit hohen Temperaturen aufrechterhalten und eignet sich für die Herstellung von feuerfesten Materialien oder Strahlenschutzmaterialien. Darüber hinaus ist die Blockform leicht zu transportieren und zu verstauen.

Wolframoxidblöcke sind in der Industrie die Grundrohstoffe für die Herstellung von Wolframpulver und Wolframdraht und werden auf dem Wolframmarkt häufig eingesetzt. Obwohl seine Aktivität nicht so gut ist wie die der Nanoform, ist es im traditionellen Bereich immer noch unersetzlich. Wolframoxid-Blöcke haben mit ihrer Solidität und Praktikabilität ihren Grundstein in der Branche gelegt.

3.4 Einstufung von Wolframoxid anhand der Partikelgröße

Die Partikelgröße von Wolframoxid ist eine wichtige Determinante für seine physikalischen Eigenschaften und Anwendungsszenarien. Je nach Größe der Partikel können sie in verschiedene Typen unterteilt werden, wie z. B. grob, ultrafein, Mikron und Submikron. Diese Größenunterschiede wirken sich nicht nur auf die spezifische Oberfläche und Reaktivität aus, sondern stehen auch in direktem Zusammenhang mit seiner spezifischen Verwendung in der Wolframtechnologie, der Wolframforschung und der industriellen Produktion. Die Klassifizierung von Wolframoxid anhand der Partikelgröße und seiner Eigenschaften wird im Folgenden ausführlich erläutert.

3.4.1 Grobkörniges Wolframoxid

Grobkörniges Wolframoxid bezieht sich in der Regel auf die Form der Partikelgröße im Dutzend Mikrometer oder sogar größer, hauptsächlich Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid). Diese Partikel werden in der Regel durch Kalzinierung von Ammoniumparawolframat (APT) bei hohen Temperaturen (z. B. über 800 ° C) über einen längeren Zeitraum oder durch direktes Sintern aus Wolframit und Scheelit gewonnen. Aufgrund der großen Größe der Partikel ist ihre spezifische Oberfläche relativ gering und die Oberflächenaktivität schwach.

Zu den physikalischen Eigenschaften von grobkörnigem Wolframoxid gehören eine hohe Dichte (ca. 7,16 g/cm³) und eine ausgezeichnete thermische Stabilität mit einem hohen Schmelzpunkt von 1473 ° C, der es ermöglicht, die strukturelle Integrität bei hohen Temperaturen aufrechtzuerhalten. Diese Eigenschaft macht

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

es zu einem idealen Rohstoff für die Herstellung von Wolframmetall, Wolframpulver und Wolframdraht. In der Industrie eignet sich die grobkörnige Form für die Lagerung und den Transport und wird häufig bei der Herstellung von Legierungen wie Ferrowolfram oder Wolfram-Kupfer verwendet. Darüber hinaus kann es als Substrat für feuerfeste oder strahlenabschirmende Materialien in der metallurgischen und nuklearen Industrie verwendet werden. Aufgrund der größeren Partikelgröße ist grobkörniges Wolframoxid jedoch weniger reaktiv, was es für Anwendungen, die eine hohe Oberflächenaktivität erfordern, wie z. B. Photokatalyse oder Sensoren, ungeeignet macht. Seine Kristallstruktur ist größtenteils monokline und stabil, wird aber in nanotechnologiegetriebenen Bereichen allmählich durch feinere Partikel ersetzt. Trotzdem bleibt seine Position in der Herstellung traditioneller Wolframprodukte unerschütterlich. Grobkörniges Wolframoxid hat sich aufgrund seiner Festigkeit und Wirtschaftlichkeit zu einem "Urgestein" in industriellen Anwendungen entwickelt.

3.4.2 Wolframoxid mit ultrafeinen Partikeln

Unter ultrafeinen Partikeln Wolframoxid versteht man Partikel im Bereich von 1-100 Nanometern Größe, meist in Form von Wolframtrioxid oder blauem Wolframoxid. Partikel dieser Größe werden durch chemische Fällung, solvothermale oder Niedertemperaturzersetzung von Ammoniummetawolframat hergestellt. Aufgrund der extrem geringen Größe der Partikel vergrößert sich ihre spezifische Oberfläche erheblich, was zu signifikanten Nanoeffekten führt.

Die optischen Eigenschaften von Wolframoxid aus ultrafeinen Partikeln werden durch den Quantengrößeneffekt verbessert, und die Energiebandlücke kann leicht vergrößert werden, was für photokatalytische Anwendungen geeignet ist, wie z. B. die Zersetzung organischer Schadstoffe oder die Herstellung von Wasserstoff durch Photolyse von Wasser. Elektrisch eignet es sich aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche hervorragend für Gassensoren, mit hoher Empfindlichkeit und schneller Reaktion auf Gase wie NO_2 und H_2S . Darüber hinaus kann es auch als Rohstoff für Wolframchemikalien bei der Herstellung von Wolframat oder Wolframsäure verwendet werden. In Anwendungen werden ultrafeine Partikel aus Wolframoxid häufig in Verbundwerkstoffe wie Wolframkunststoff oder Wolframkautschuk dotiert, um die Leistung zu verbessern. Ultrafeines Teilchen Wolframoxid hat sich aufgrund seiner hohen Aktivität und Nanoeigenschaften zu einem "neuen Stern" im Bereich der Funktionsmaterialien entwickelt.

3.4.3 Mikron Wolframoxid

Wolframoxid in Mikrometergröße bezieht sich auf die Form einer Partikelgröße zwischen 1 und 10 Mikrometern, die normalerweise von Wolframtrioxid (gelbes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframoxid) oder violetter Wolframoxid dominiert wird. Die Partikel werden durch Kalzinieren von Ammoniumparawolframat bei mittlerer Temperatur (500–700 ° C) oder durch mechanisches Mahlen aus groben Partikeln gewonnen. Seine spezifische Oberfläche liegt zwischen groben und ultrafeinen Partikeln und es hat eine bestimmte Oberflächenaktivität.

Mikron-Wolframoxid hat sowohl stabile als auch mäßig aktive physikalische Eigenschaften mit einem Schmelzpunkt und einer Dichte, die mit groben Partikeln vergleichbar sind, aber kleinere Partikel erleichtern die Dispergierung während der Verarbeitung. Es wird häufig bei der Herstellung von Wolframpulver und Wolframmetall verwendet und kann auch als Rohstoff für Wolframheizungen oder Wolframnadeln verwendet werden. Im Bereich der Photokatalyse sind mikrometergroße Partikel nicht so aktiv wie Nanopartikel, aber sie können dennoch in einigen Szenarien mit geringer Nachfrage eingesetzt werden.

In Bezug auf die Anwendung nimmt Mikron-Wolframoxid eine wichtige Position auf dem Wolframmarkt ein, da es aufgrund seines ausgewogenen Kosten- und Leistungsverhältnisses für die Großproduktion geeignet ist. Es kann auch mit Wolframkupfer zur Verwendung in leitfähigen Materialien oder als Vorläufer für die Herstellung von Natriumwolframat compounding werden. Seine Kristallstruktur besteht größtenteils aus einem monoklinen Kristallsystem, und die Partikelmorphologie ist relativ regelmäßig.

Mikron-Wolframoxid ist aufgrund seiner moderaten Größe und Praktikabilität zum "Rückgrat" der Industrie und der wissenschaftlichen Forschung geworden.

3.4.4 Submikron-Wolframoxid

Submikron-Wolframoxid bezieht sich auf die Form einer Partikelgröße zwischen 100 Nanometern und 1 Mikrometer, die normalerweise von Wolframtrioxid oder blauem Wolframoxid dominiert wird. Die Partikel werden durch kontrollierte Ammoniumparawolframat-Kalzinierung (z. B. 500–600 ° C, kurzes Erhitzen) oder Nasschemie hergestellt. Seine spezifische Oberfläche ist größer als die von Mikrometern, aber kleiner als die von ultrafeinen Partikeln, was ihm das Beste aus beiden Welten verleiht.

Wolframoxid im Submikron-Bereich hat bessere optische und elektrische Eigenschaften als grobe Partikel und eignet sich daher für Photokatalysatoren und elektrochemische Sensoren. So weist es beispielsweise eine hohe Sensitivität für den Nachweis von CO oder VOCs (flüchtige organische Verbindungen) auf (siehe Wolframforschung). Im Batteriebereich bieten Submikron-Partikel einen bescheidenen Ionentransportkanal und eignen sich als

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Additive für Elektrodenmaterialien. Darüber hinaus ist es ein hervorragender Rohstoff für die Herstellung von kugelförmigem Wolframpulver.

In industriellen Anwendungen wird Wolframoxid im Submikron häufig bei der Feinverarbeitung von Wolframprodukten eingesetzt, wie z.B. als Zwischenprodukt von Wolframdraht oder als Basis für die Herstellung von Wolframkörnern. Es kann auch mit Wolfram-Kunststoff kombiniert werden, um die Homogenität des Verbundwerkstoffs zu verbessern. Die Kristallstruktur ist hauptsächlich monoklin oder orthogon, und die Partikelmorphologie ist vielfältig. Submikron-Wolframoxid ist mit seiner Übergangsgröße und Vielseitigkeit zu einer "Brücke" zwischen Nano- und Mikroanwendungen geworden.

3.4.5 Nano-Wolframoxid

Nanowolframoxid bezieht sich auf Wolframoxid mit einer Partikelgröße im Bereich von 1-100 Nanometern, normalerweise in Form von Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid), blauem Wolframoxid oder violetter Wolframoxid. Partikel in diesem Größenbereich weisen aufgrund ihrer Nanoeffekte völlig andere Eigenschaften auf als herkömmliche Materialien, was in der Wolframforschung und der Wolframtechnologie zu einem heißen Thema geworden ist.

Es gibt verschiedene Aufbereitungsmethoden für Nano-Wolframoxid, darunter chemische Fällung, hydrothermale und Niedertemperaturzersetzung von Ammoniumparawolframat. So können beispielsweise durch die Steuerung des pH-Werts und der Reaktionstemperatur einer Wolframsäurelösung homogene Nanopartikel erzeugt werden. Aufgrund der extrem kleinen Partikelgröße nimmt seine spezifische Oberfläche erheblich zu und erreicht oft Dutzende bis Hunderte von Quadratmetern pro Gramm, und diese hohe Oberfläche verleiht ihm eine hervorragende Oberflächenaktivität. In Bezug auf die Kristallstruktur ist Nanowolframoxid je nach Präparationsbedingungen meist monokline oder hexagonal.

In Bezug auf die Leistungsfähigkeit sind die optischen Eigenschaften von Nano-Wolframoxid besonders hervorzuheben. Die Bandlücke kann aufgrund von Quantengrößeneffekten leicht vergrößert werden (2,5-3,0 eV), wodurch sie sich hervorragend im Bereich der Photokatalyse eignet, z. B. für die Photolyse von Wasser zur Erzeugung von Wasserstoff oder den Abbau organischer Schadstoffe. Elektrisch verbessern seine hohe spezifische Oberfläche und Oberflächendefekte wie Sauerstoffleerstellen seine Leitfähigkeit und seine Ionentransportfähigkeiten, was es ideal für Gassensoren und Elektrodenmaterialien für Lithiumbatterien macht. Darüber hinaus verfügt Nanowolframoxid über eine gute Dispergierbarkeit und kann als Additiv für Wolframchemikalien bei der Herstellung von Wolframat oder Verbundwerkstoffen verwendet werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In Anwendungen wird Nanowolframoxid häufig in High-Tech-Bereichen eingesetzt. Zum Beispiel kann es mit Wolframkunststoff oder Wolframkautschuk gemischt werden, um die Leistung des Materials zu verbessern; Es kann auch als Vorläufer von Wolframpulver für die Herstellung von Wolframdraht oder Wolframnadeln verwendet werden. Mit seiner geringen Größe, hohen Aktivität und Vielseitigkeit ist Nano-Wolframoxid die perfekte Kombination aus Nanotechnologie und traditioneller Industrie und der "Spitzenvertreter" der Wolframoxid-Familie.

3.4.6 Wolframoxid im Sub-Nanometerbereich

Wolframoxid im Sub-Nanometerbereich bezieht sich auf Wolframoxid mit einer Partikelgröße von weniger als 1 Nanometer, normalerweise in geclusterter oder molekularer Form. Materialien in diesem Größenbereich liegen nahe an der atomaren Skala, mit Eigenschaften, die denen von Molekülen näher sind als denen herkömmlicher Feststoffe. Aufgrund seiner extrem geringen Größe befindet sich die Erforschung und Anwendung von Wolframoxid im Sub-Nanometer-Bereich noch in der Explorationsphase, ist jedoch in der wissenschaftlichen Wolframforschung von großer Bedeutung.

Die Herstellung von Wolframoxid im Sub-Nanometerbereich erfordert hochpräzise Techniken wie die Gasphasenabscheidung (CVD), die Molekularstrahlepitaxie oder die Lösungsschemie. Das Ausgangsmaterial kann Ammoniummetawolframat oder Natriumwolframat sein, und Sub-Nanopartikel werden durch genau kontrollierte Reaktionsbedingungen wie extrem niedrige Konzentrationen und schnelles Abschrecken erzeugt. Aufgrund der extrem kleinen Partikelgröße ist die Kristallstruktur oft unvollständig und kann amorph oder teilweise geordnet sein, mit einer spezifischen Oberflächenfläche, die die theoretische Grenze erreicht, und einem sehr hohen Anteil an Oberflächenatomen.

In Bezug auf die Leistungsfähigkeit werden die optischen und elektrischen Eigenschaften von Wolframoxid im Sub-Nanometerbereich durch signifikante Quanteneinschlusseffekte beeinflusst. Seine Bandlücke kann weiter vergrößert werden und weist starke Fluoreszenzeigenschaften auf, was es zu einer potenziellen Anwendung in optoelektronischen Bauelementen wie LEDs macht (siehe Tungsten Academic). Im Bereich der Katalyse ist Sub-Nano-Wolframoxid aufgrund seiner extrem hohen Oberflächenaktivität äußerst selektiv für Einzelmolekülreaktionen, wie z. B. bei der CO-Oxidation oder der organischen Synthese. Darüber hinaus hat die hohe Abstimmbarkeit seiner elektronischen Struktur es auch zu einer Quelle des Interesses für elektrochemische Sensoren gemacht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In Bezug auf die Anwendung wird Wolframoxid im Sub-Nanometerbereich derzeit hauptsächlich in der Laborforschung verwendet, da die industrielle Anwendung aufgrund seiner hohen Herstellungskosten und schlechten Stabilität noch nicht ausgereift ist. Es kann jedoch als Funktionseinheit von Wolframchemikalien, die mit Wolframkupfer oder Wolframkunststoff verbunden sind, verwendet werden, um die Möglichkeiten neuer Materialien auszuloten. In Zukunft wird erwartet, dass sich Wolframoxid im Sub-Nanometerbereich mit der Weiterentwicklung der Präparationstechnologie im Bereich der Nanomedizin (z. B. Drug Delivery) oder des Quantencomputings einen Namen machen wird.

Wolframoxid im Sub-Nanometerbereich ist aufgrund seiner extremen Größe und einzigartigen Eigenschaften zum "Zukunftsstar" in der Klassifizierung von Wolframoxid geworden und stellt die Spitzenrichtung der Materialwissenschaft dar.

3.5 Einstufung von Wolframoxid nach Reinheit

Die Reinheit von Wolframoxid ist ein wichtiger Indikator für seine Leistung und Anwendung und kann in zwei Kategorien unterteilt werden: gewöhnliches Wolframoxid und hochreines Wolframoxid entsprechend dem unterschiedlichen Verunreinigungsgehalt. Unterschiede in der Reinheit haben einen direkten Einfluss auf ihre Anwendbarkeit in Industrie und Forschung, auf die im Folgenden ausführlich eingegangen wird.

3.5.1 Gewöhnliches Wolframoxid

Gewöhnliches Wolframoxid bezieht sich auf Wolframoxid mit geringer Reinheit (normalerweise zwischen 95 % und 99 %), hauptsächlich in Form von Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) oder blauem Wolframoxid. Zu den Verunreinigungen gehören Elemente wie Eisen, Molybdän, Natrium usw. und stammen in der Regel aus dem Raffinationsprozess von Wolframit oder Scheelit oder Rückständen, die bei der Kalzinierung von Ammoniumparawolframat nicht vollständig entfernt werden.

Der Herstellungsprozess von gewöhnlichem Wolframoxid ist relativ einfach, zum Beispiel wird es durch direkte Kalzinierung von Wolframsäure oder durch extensive Reduktionsmethode hergestellt. Seine physikalischen Eigenschaften ähneln denen der hochreinen Version, mit einem Schmelzpunkt von etwa 1473 ° C und einer Dichte von 7,16 g/cm³, aber aufgrund des Vorhandenseins von Verunreinigungen kann seine Farbe leicht abweichen (z. B. grau oder mattgelb), und die Kristallstruktur ist meist ein monoklines Kristallsystem. Aufgrund des Einflusses von Verunreinigungen sind seine elektrischen und optischen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Eigenschaften denen von hochreinen Produkten etwas unterlegen, aber es ist immer noch in weniger anspruchsvollen Szenarien praktisch.

In Anwendungen wird gewöhnliches Wolframoxid vor allem in der industriellen Produktion eingesetzt, z.B. als Rohstoff für Wolframpulver, Wolframmetall oder Ferrowolfram. Es kann auch bei der Herstellung von Low-End-Produkten wie Wolframat für feuerfeste Materialien oder Wolframchemikalien verwendet werden. Es ist kostengünstig und eignet sich für die Großserienproduktion, aber seine Leistungsfähigkeit in hochpräzisen Bereichen wie der Photokatalyse oder Elektronik ist begrenzt.

Gewöhnliches Wolframoxid hat sich aufgrund seiner Wirtschaftlichkeit und breiten Anwendbarkeit zu einem "grundlegenden Akteur" im industriellen Bereich entwickelt.

3.5.2 Hochreines Wolframoxid

Hochreines Wolframoxid bezieht sich auf Wolframoxid mit einer Reinheit von 99,9 % oder höher, das in der Regel von Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) dominiert wird. Es hat einen sehr geringen Gehalt an Verunreinigungen (<0,1%) und wird durch einen mehrstufigen Reinigungsprozess, z.B. aus Ammoniummetawolframat oder Natriumwolframat durch Ionenaustausch, mehrfache Wäschen und Hochtemperaturkalzinierung hergestellt.

Die physikalischen Eigenschaften von hochreinem Wolframoxid sind äußerst gut, die Farbe ist rein, die Kristallstruktur ist regelmäßig und die meisten von ihnen sind monokline Kristallsysteme. Seine optischen Eigenschaften sind stabil, und die Energiebandlücke ist präzise und kontrollierbar, was für optoelektronische Bauelemente und Photokatalysatoren geeignet ist. Elektrisch führt die Reduzierung von Verunreinigungen zu einer besseren Leitfähigkeit und einem besseren Ionentransport und wird häufig in Hochleistungssensoren und Batteriematerialien eingesetzt. Darüber hinaus sorgt seine hohe Reinheit für chemische Stabilität und ist für raue Umgebungen geeignet. In Anwendungen ist hochreines Wolframoxid der Kernrohstoff für High-End-Wolframprodukte, wie z. B. bei der Herstellung von Wolframdraht, Wolframnadeln oder Wolframheizungen. Es wird auch häufig in intelligentem Glas, elektrochromen Geräten und Nanobeschichtungen verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD Yellow Tungsten Trioxide (YTO, WO₃) Product Introduction

1. Product Overview

CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide is produced by high-temperature calcination process of ammonium paratungstate, which meets the requirements of GB/T 3457-2013 "Tungsten Oxide" first-class product. WO₃ is widely used in the preparation of tungsten powder, cemented carbide, tungsten wire and ceramic colorants. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality yellow tungsten trioxide products to meet the needs of powder metallurgy and industrial manufacturing.

2. product characteristics

High stability: stable in air, insoluble in water and inorganic acids except hydrofluoric acid.

Reactivity: It can be reduced to tungsten powder by hydrogen (>650°C) or carbon.

Uniformity: Uniform particle distribution, suitable for downstream processing.

3. Product specifications

index	CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide first-class product standard
WO ₃ content (wt%)	≥99.95
Impurities (wt% , max.)	Fe≤0.0010, Mo≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005
Particle size	1-10 (μm, FSSS)
Loose density	2.0-2.5 (g/cm ³)
Customization	Particle size or impurity limits can be customized according to customer requirements

4. Packaging and warranty

Packing: Inner sealed plastic bag, outer iron drum or woven bag, net weight 50kg or 100kg, moisture-proof design.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including WO₃ content, impurity analysis, particle size (FSSS method), loose density and moisture data.

5. Procurement information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129696

For more [yellow tungsten oxide](http://www.tungsten-powder.com) information, please visit the China Tungsten online website www.tungsten-powder.com. For more market and real-time information, please follow the WeChat public account "China Tungsten Online".



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTDgelbes Wolframoxid

Kapitel 4 Struktur von Wolframoxid

4.1 Eigenschaften der Kristallstruktur von Wolframoxid

Die Kristallstruktur von Wolframoxid ist die Grundlage seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften, die seine Leistung in der Wolframtechnologie, in der Wolframforschung und in industriellen Anwendungen direkt bestimmen. Abhängig von den Präparationsbedingungen und der Umgebungstemperatur kann Wolframoxid eine Vielzahl von Kristallformen aufweisen, darunter monokline, orthogonale, hexagonale und kubische. Diese Kristallformen zeichnen sich durch die Anordnung von Wolfram- und Sauerstoffatomen und ihre chemischen Bindungseigenschaften aus. Im folgenden Abschnitt werden die Kristallstruktureigenschaften von Wolframoxid in Bezug auf Grundeinheiten, Symmetrie, atomare Anordnung, Defekte und Leerstellen erörtert.

Wolframoxid wird normalerweise durch Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) repräsentiert, und seine Kristallstruktur wird durch die Kombination von Wolframatom und Sauerstoffatomen in bestimmten Anteilen und auf bestimmte Weise gebildet.

In der Natur existiert Wolfram in Form von Wolframit oder Scheelit, der raffiniert und in Wolframoxid umgewandelt wird. Seine Kristallstruktur beeinflusst nicht nur seine optischen Eigenschaften (z. B. elektrochrome Eigenschaften), sondern bestimmt auch seine elektrischen und katalytischen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Eigenschaften, wodurch es in Bereichen wie intelligentem Glas, Photokatalysatoren und Sensoren weit verbreitet ist.

4.1.1 Die Grundeinheit und Symmetrie der Wolframoxid-Kristallstruktur

Die Grundeinheit der Wolframoxid-Kristallstruktur ist das WO_6 -Oktaeder, d. h. ein Wolframatom ist von sechs Sauerstoffatomen umgeben, um eine oktaedrische Koordinationsstruktur zu bilden. Diese Elemente sind durch Koangulation, Koseite oder Koplanarität verbunden, um ein dreidimensionales Kristallnetzwerk zu bilden. Das Vorhandensein von WO_6 -Oktaeder ist von zentraler Bedeutung für die strukturelle Stabilität von Wolframoxid und die Grundlage seines Polymorphismus.

Bei der monoklinen Kristallform des Wolframtrioxids (gelbes Wolframoxid) ist das WO_6 -Oktaeder durch eine koangulare Verbindung zu einem asymmetrischen dreidimensionalen Gerüst verbunden, das eine geringe Symmetrie aufweist und zum monoklinen Kristallsystem gehört. Diese Asymmetrie macht monokline Kristallformen bei Raumtemperatur am stabilsten und wird häufig in der industriellen Produktion (z. B. Wolframpulver und Wolframpräparation) und in Funktionsmaterialien (z. B. intelligentes Glas) verwendet. Mit steigender Temperatur, z. B. bei 300–500 ° C, kann Wolframoxid in eine orthorhombische Kristallform umgewandelt werden, die Symmetrie der WO_6 -Einheit wird verbessert und die Kristallgitteranordnung ist regelmäßiger, was zum orthorhombischen Kristallsystem gehört.

Hexagonales Wolframoxid wird durch hydrothermales Verfahren hergestellt (z. B. Ammoniummetawolframat als Rohstoff), und WO_6 -Oktaeder ist symmetrisch in hexagonaler Symmetrie angeordnet, um eine offene Kanalstruktur zu bilden, die eine hohe Symmetrie aufweist und für Ioneneinbettungsanwendungen (z. B. Batteriematerialien) geeignet ist. Bei höheren Temperaturen (z. B. über 900 ° C) kann Wolframoxid in eine kubische Kristallform umgewandelt werden, und die Symmetrie der WO_6 -Einheit erreicht das Maximum, das zum kubischen Kristallsystem gehört, aber aufgrund der thermodynamischen Instabilität ist die praktische Anwendung geringer (siehe Wolfram Akademisch).

Die Änderung der Symmetrie wirkt sich direkt auf die Eigenschaften von Wolframoxid aus. Zum Beispiel hat die monokline Form mit geringer Symmetrie eine starke elektrochrome Fähigkeit, während die hexagonale Form mit hoher Symmetrie aufgrund ihrer offenen Struktur mehr Vorteile in der Katalyse hat. Industriell ist das Wolframoxid, das durch Kalzinierung von Ammoniumparawolframat hergestellt wird, meist monokline Kristallform, die sich aufgrund ihrer Stabilität am besten für die großtechnische Produktion von Wolframprodukten eignet. Als Grundgerät verleiht der WO_6 Oktaeder Wolframoxid

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

durch unterschiedliche Verbindungsmethoden und Symmetrien eine reiche strukturelle Vielfalt.

Die Grundeinheit und die Symmetrie der Wolframoxid-Kristallstruktur sind der Schlüssel zum Verständnis seiner Vielseitigkeit und legen den Grundstein für seine Anwendung in verschiedenen Bereichen.

4.1.2 Atomare Anordnung von Wolframoxid

Die atomare Anordnung von Wolframoxid ist die Verkörperung seiner Kristallstruktur, die direkt seine Gitterparameter und Leistungsmerkmale bestimmt. Am Beispiel von Wolframtrioxid basiert seine atomare Anordnung auf der räumlichen Verteilung des WO_6 -Oktaeders, und die relativen Positionen von Wolfram- und Sauerstoffatomen in verschiedenen Kristallformen sind unterschiedlich.

Beim monoklinen Wolframoxid befindet sich das Wolframatom im Zentrum des Oktaeders und sechs Sauerstoffatome sind um es herum verteilt, wodurch eine leicht verzerrte WO_6 -Einheit gebildet wird. Diese Elemente sind durch einen Co-Winkel verbunden und in den drei Richtungen des Gitters a, b und c angeordnet, aber aufgrund der geringen Symmetrie des monoklinen Systems beträgt der Gitterwinkel (β -Winkel) nicht 90° , was zu einer Asymmetrie der atomaren Anordnung führt. Diese Anordnung ermöglicht es, dass die monokline Form bei Raumtemperatur stabil ist, wobei die Gitterparameter typischerweise $a \approx 7,3 \text{ \AA}$, $b \approx 7,5 \text{ \AA}$, $c \approx 7,7 \text{ \AA}$ betragen. Diese Struktur eignet sich für elektrische und optische Anwendungen, wie z. B. den Farbwechsel in Smart Glass.

Die atomare Anordnung der orthorhombischen Kristallform ist regelmäßiger, die Verzerrung des WO_6 -Oktaeders ist reduziert, die Positionen der Wolfram- und Sauerstoffatome sind symmetrischer und die Gitterparameter neigen dazu, orthogonal zu sein ($a \neq b \neq c$, aber der Winkel liegt nahe 90°). Diese Anordnung wird bei hohen Temperaturen gebildet, wodurch das aktive Zentrum an der Oberfläche vergrößert wird, wodurch sie sich hervorragend in der Photokatalyse eignet. Das hexagonale Wolframoxid ist in hexagonaler Symmetrie angeordnet, die WO_6 -Einheit bildet eine kanalartige Struktur um die Mittelachse, die Wolfram- und Sauerstoffatome sind entlang der hexagonalen Symmetrieachse verteilt und die c-Achse ist in den Gitterparametern länger. Diese Anordnung ist häufig in der Morphologie von Nanostäbchen oder Nanoröhren zu finden und eignet sich für den Ionentransport.

Die kubische Kristallform des Wolframoxids weist die höchste Symmetrie auf, das WO_6 -Oktaeder ist in drei Richtungen äquidistant angeordnet, die Positionen der Wolfram- und Sauerstoffatome sind vollkommen symmetrisch und der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gitterparameter $a = b = c$. Diese Anordnung wird bei hohen Temperaturen gebildet, aber aufgrund ihrer Instabilität nur für die theoretische Forschung verwendet. In der Industrie ist die atomare Anordnung von Wolframoxid hauptsächlich monokline Kristallform, wie z. B. durch Wolframsäurezersetzung oder Ammoniumparawolframat-Kalzinierung, und seine regelmäßige atomare Anordnung sichert die Qualität der Wolframmetallproduktion.

Die atomare Anordnung von Wolframoxid wird durch die Verbindung und Symmetrie der WO_6 -Einheiten verändert, wodurch eine vielfältige Kristallstruktur entsteht, die sich direkt auf sein Anwendungspotenzial in Wolframprodukten auswirkt.

4.1.3 Defekte und Leerstellen in der Wolframoxid-Kristallstruktur

Defekte und Leerstellen in der Kristallstruktur von Wolframoxid sind wichtige Regulatoren seiner Eigenschaften, insbesondere in Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) und seinen unermüdlichen Verbindungen (wie blaues Wolframoxid, violetteres Wolframoxid). Zu den Defekten gehören hauptsächlich Sauerstoffleerstellen, Wolframlücken und Verunreinigungsatome, wobei Sauerstofflücken der häufigste und einflussreichste Typ sind.

Sauerstoffleerstellen beziehen sich auf die Abwesenheit von Sauerstoffatomen im WO_6 -Oktaeder, was zu einer Abnahme der Koordinationszahl von Wolframatomen und einer lokalen Verzerrung des Kristallgitters führt. In Wolframtrioxid ist der Sauerstoffleerstellengehalt gering, die Struktur relativ intakt und gelb. Und wenn die Sauerstoffvakanz zunimmt, wie beim blauen Wolframoxid oder violetten Wolframoxid, wird das Sauerstoffatom in der Kristallstruktur reduziert, die Oxidationsstufe von Wolfram wird teilweise reduziert und die Farbe und die Eigenschaften ändern sich. Das Vorhandensein von Sauerstoffleerstellen erhöht die Lichtabsorption, indem es die elektronische Struktur verändert und die Energiebandlücke (von 2,5–2,8 eV auf ein niedrigeres Niveau) verringert.

Das Einbringen von Defekten hängt in der Regel mit den Vorbereitungsbedingungen zusammen. Beispielsweise bildet sich bei der Kalzinierung von Ammoniumparawolframat, wenn die Sauerstofflücken beim Betrieb in einer reduzierenden Atmosphäre wie Wasserstoff deutlich erhöht werden, blaues oder violetteres Wolframoxid. Aufgrund ihrer hohen Leitfähigkeit und katalytischen Aktivität werden diese defekten Zustände von Wolframoxid häufig in Gassensoren und photothermischen Materialien verwendet. Darüber hinaus können Verunreinigungsdefekte, wie z. B. mit Natriumwolframat dotierte Natriumionen, die Kristallstruktur beeinflussen, was dazu führen kann, dass sich das Kristallgitter ausdehnt oder zusammenzieht, wodurch seine Stabilität verändert wird.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In Anwendungen wirken sich Sauerstoffleerstellen doppelt auf die Eigenschaften von Wolframoxid aus. Einerseits verbessert es die elektrischen und katalytischen Eigenschaften, wodurch es einfacher wird, es bei der Herstellung von Wolframchemikalien wie Wolframat zu reduzieren. Auf der anderen Seite können zu viele Leerstände die Stabilität der Struktur verringern und ihre Leistung in Umgebungen mit hohen Temperaturen beeinträchtigen. Defekte und Leerstellen in der Kristallstruktur von Wolframoxid sind wichtige Mittel zur Funktionalisierung, die Flexibilität für seine Anwendung in mehreren Bereichen bieten.

4.2 Faktoren, die die Kristallstruktur von Wolframoxid beeinflussen

Die Kristallstruktur von Wolframoxid ist entscheidend für seine Eigenschaften und unterliegt einer Vielzahl von externen Faktoren. Zu diesen Faktoren gehören die Vorbereitungsbedingungen (z. B. Temperatur, Druck und Zeit), die Eigenschaften des Rohmaterials und die Umgebungsbedingungen. Durch die Manipulation dieser Faktoren ist es möglich, eine präzise Kontrolle der Kristallstruktur von Wolframoxid zu erreichen und dadurch seine Leistung in der Wolframtechnologie, in der Wolframforschung und in industriellen Anwendungen zu optimieren. Die spezifischen Auswirkungen der Präparationsbedingungen auf die Kristallstruktur von Wolframoxid werden im Folgenden ausführlich erörtert.

4.2.1 Einfluss der Präparationsbedingungen auf die Kristallstruktur von Wolframoxid

Die Vorbereitungsbedingungen sind einer der wichtigsten Faktoren, die die Kristallstruktur von Wolframoxid beeinflussen, einschließlich Reaktionstemperatur, Druck, Zeit, Atmosphäre und Auswahl der Rohstoffe. Diese Bedingungen bestimmen die Kristallform (z. B. monokline, orthogonale, hexagonale oder kubische), die Korngröße und die Defektverteilung von Wolframoxid. Am Beispiel von Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) wird seine Kristallstruktur in der Regel durch Ammoniumparawolframat oder Wolframsäure unter bestimmten Bedingungen gebildet, und unterschiedliche Präparationsparameter führen zu unterschiedlichen strukturellen Eigenschaften.

In der industriellen Produktion steht die Optimierung der Vorbereitungsbedingungen in direktem Zusammenhang mit der Qualität und dem Einsatz von Wolframoxid. Durch die Steuerung der Kalzinierungsbedingungen ist es beispielsweise möglich, Wolframoxid zu erzeugen, das für die Herstellung von Wolframpulver oder Wolframfilament geeignet ist, oder funktionale Materialien, die für Photokatalysatoren und intelligentes Glas geeignet sind. Im Labor bieten die hydrothermale Methode, die solvothermische Methode und andere

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Präparationstechniken mehr Möglichkeiten für die Kontrolle der Kristallstruktur von nanoskaligem Wolframoxid. Im Folgenden wird der Einfluss von Reaktionstemperatur, -druck und -zeit auf die Kristallstruktur von Wolframoxid analysiert.

4.2.1.1 Einfluss der Reaktionstemperatur auf die Wolframoxid-Kristallstruktur

Die Reaktionstemperatur ist einer der kritischsten Parameter, die die Kristallstruktur von Wolframoxid beeinflussen und nicht nur die Umwandlung der Kristallform bestimmen, sondern auch die Korngröße und die Defektbildung beeinflussen. Am Beispiel von Wolframtrioxid verändert sich seine Kristallstruktur bei unterschiedlichen Temperaturen erheblich.

Im niedrigen Temperaturbereich von Raumtemperatur bis etwa 330 ° C wird Wolframoxid von der monoklinen Kristallform dominiert, die die stabile Form des gelben Wolframoxids ist. Das WO_6 -Oktaeder wird im gleichen Winkel verbunden, um ein asymmetrisches dreidimensionales Netzwerk mit stabilen Gitterparametern zu bilden, das für elektrochrome Anwendungen geeignet ist. Wenn die Temperatur auf 300–500 ° C ansteigt, beginnt sich das Wolframoxid in eine orthorhombische Kristallform umzuwandeln, die Symmetrie der WO_6 -Einheit wird verbessert und die Gitteranordnung ist regelmäßiger. Diese Struktur weist aufgrund ihrer Offenheit, die die Oberfläche vergrößert, eine höhere Aktivität in der Photokatalyse auf. Durch weitere Erwärmung auf 700–900 ° C kann Wolframoxid in hexagonale Kristallformen umgewandelt werden, insbesondere unter hydrothermalen Bedingungen, um Nanostäbchen oder röhrenförmige Strukturen zu bilden, die für Ioneninterkalationsanwendungen geeignet sind.

Bei höheren Temperaturen (z. B. über 900 ° C) kann Wolframoxid kubische Kristallformen bilden, und die Symmetrie des WO_6 -Oktaeders ist maximal, aber aufgrund der thermodynamischen Instabilität nur in theoretischen Studien üblich. Darüber hinaus beeinflusst die Temperatur das Getreidewachstum. Wolframoxidkörner, die bei niedrigen Temperaturen (z. B. 400–600 ° C) hergestellt werden, sind kleiner, z. B. Nanopartikel, die durch Kalzinierung von Ammoniumparawolframat gebildet werden; Die hohe Temperatur (z. B. über 800 ° C) fördert das Wachstum von Körnern und bildet mikrometergroße oder grobe Partikel aus Wolframoxid, das für die Herstellung von Wolframmetall geeignet ist.

Auch die Temperatur beeinflusst den Sauerstoffmangelgehalt. Bei der Behandlung mit Wolframoxid bei hohen Temperaturen in einer reduzierenden Atmosphäre (z. B. Wasserstoff) nehmen Sauerstoffleerstellen zu, was zur Bildung von blauem Wolframoxid oder violettem Wolframoxid führen kann, wodurch die Kristallstruktur verzerrt wird. Die Reaktionstemperatur hat einen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tiefgreifenden Einfluss auf die Kristallstruktur von Wolframoxid, indem sie die Kristallform, die Korngröße und die Defekte reguliert, und ist die zentrale Variable im Vorbereitungsprozess.

4.2.1.2 Einfluss des Reaktionsdrucks auf die Wolframoxid-Kristallstruktur

Der Reaktionsdruck ist ein weiterer wichtiger Faktor, der die Kristallstruktur von Wolframoxid beeinflusst, insbesondere bei Hochdruckaufbereitungsprozessen wie der hydrothermalen oder Hochdruckkalzinierung. Der Druck beeinflusst den Keimbildungs- und Wachstumsprozess von Kristallen, indem er das thermodynamische Gleichgewicht des Reaktionssystems verändert und dadurch seine strukturellen Eigenschaften reguliert.

Unter normalen Druckbedingungen (wie z. B. dem Kalzinieren von Ammoniumparawolframat in Luft) wird Wolframoxid meist in monokliner Kristallform gebildet, und die Anordnung des WO_6 -Oktaeders wird von Temperatur und Atmosphäre dominiert, und der Druck wird weniger beeinflusst. In Hochdruckumgebungen, wie z. B. bei der hydrothermalen Synthese von Wolframnanoxid, verändert der Druck jedoch die Kristallstruktur erheblich. Unter Verwendung von Natriumwolframat als Rohstoff neigt Wolframoxid dazu, in Hochdruckreaktoren (Drücke bis zu mehreren Megapascal) hexagonale kristalline Formen zu bilden. Die WO_6 -Zellen dieser Kristallform sind entlang der hexagonalen Achse angeordnet, um eine offene Kanalstruktur mit einer langen c-Achse in den Gitterparametern zu bilden, wodurch sie für Batterie- und Sensoranwendungen geeignet ist.

Hoher Druck kann sich auch auf die Korngröße und Morphologie auswirken. Unter hydrothermalen Hochdruckbedingungen wird die Keimbildungsrate von Wolframoxid beschleunigt, das Kornwachstum wird eingeschränkt und es bilden sich oft Formen wie Nanostäbchen, Nanoblätter oder Nanoblumen anstelle von großen Partikelstrukturen. Darüber hinaus kann hoher Druck die Verflüchtigung von Sauerstoffatomen hemmen, die Bildung von Sauerstoffleerstellen verringern und die Kristallstruktur von Wolframoxid regelmäßiger machen. Zum Beispiel hat Wolframtrioxid, das unter hohem Druck hergestellt wird, eine höhere Kristallinität und Reinheit als Produkte unter Atmosphärendruck und eignet sich daher für die Herstellung von hochpräzisen Wolframchemikalien.

Bei extrem hohen Drücken (z. B. Multi-Megapascal, im Labor simulierte Krustenbedingungen) kann Wolframoxid kubische Kristalle bilden, da der hohe Druck die WO_6 -Zellen dazu zwingt, enger auszurichten und symmetrisch zu erhöhen. Diese Bedingung ist in der Industrie jedoch nur schwer zu erreichen und wird meist für die theoretische Forschung genutzt. Industriell wird die Druckregelung von Wolframoxid meist in hydrothermalen oder

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gasphasenabscheidungsprozessen konzentriert, um die Struktur von nanoskaligen Wolframprodukten zu optimieren. Durch die Beeinflussung der Kristallformauswahl, der Kornmorphologie und der Defektverteilung bietet der Reaktionsdruck eine zusätzliche Dimension für die Regulation der Wolframoxid-Kristallstruktur, insbesondere bei der Herstellung von Nanomaterialien.

4.2.1.3 Einfluss der Reaktionszeit auf die Struktur des Wolframoxidkristalls

Die Reaktionszeit ist ein wichtiger Parameter bei der Herstellung von Wolframoxid, der sich direkt auf die Kristallinität, die Korngröße und den Phasenübergang der Kristallstruktur auswirkt. Bei verschiedenen Aufbereitungsmethoden spielt die Zeitdauer eine Schlüsselrolle bei der strukturellen Entwicklung von Wolframoxid.

Bei der Kalzinierung von Ammoniumparawolframat zur Herstellung von Wolframoxid ist die Reaktionszeit kurz (z. B. 1-2 Stunden), und es wird normalerweise monoklines Wolframtrioxid mit geringer Kristallinität erzeugt, mit kleineren Körnern (Nano- bis Submikrometer) und vielen Oberflächendefekten. Diese Struktur eignet sich für Anwendungen, die eine hohe Aktivität erfordern, wie z. B. Photokatalysatoren oder Sensoren. Mit der Verlängerung der Reaktionszeit (z. B. 4-6 Stunden) wachsen die Körner allmählich, die Kristallinität nimmt zu, die Kristallstruktur wird regelmäßiger und die Sauerstofflücken nehmen ab. Dieses Wolframoxid mit hoher Kristallinität eignet sich aufgrund seiner besseren Stabilität eher für die Herstellung von Wolframpulver oder Wolframmetall.

Bei der hydrothermalen Aufbereitung von Wolframoxid ist auch die Reaktionszeit entscheidend. Zum Beispiel kann eine Kurzzeitreaktion (2-4 Stunden) mit Wolframsäure als Rohstoff amorphe oder niedrigkristalline Nanopartikel erzeugen, und wenn sie auf 12-24 Stunden ausgedehnt wird, werden hexagonale kristalline Nanostäbchen oder Nanoblumen mit geordneter Gitteranordnung und offensichtlicher Kanalstruktur gebildet. Diese Zeitabhängigkeit spiegelt den dynamischen Prozess von der Keimbildung bis zum Wachstum wider. Zu lange Reaktionszeiten (mehr als 48 Stunden) können zu einer übermäßigen Aggregation von Körnern, zum Verlust der Kontrolle über die Morphologie und zu Leistungseinbußen führen.

Auch die Reaktionszeit beeinflusst den Phasenübergang. Bei der Hochtemperaturkalzinierung können nur monokline Formen für einen kurzen Zeitraum gebildet werden, während längeres Erhitzen (in Kombination mit hohen Temperaturen) einen Übergang zu orthogonalen oder hexagonalen Kristallformen induzieren kann. Darüber hinaus erhöht eine Langzeitreaktion in einer reduzierenden Atmosphäre (z. B. in Wasserstoff) die Sauerstofflücken und bildet

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

blaues oder violette Wolframoxid, das die Kristallstruktur verzerrt und es für bestimmte Anwendungen von Wolframchemikalien geeignet macht.

In der Industrie gleichen Xiamen Tungsten und andere Unternehmen die Kristallinität und Aktivität von Wolframoxid aus, indem sie die Reaktionszeit optimieren, um den Anforderungen verschiedener Wolframprodukte gerecht zu werden. Die Reaktionszeit ist zu einem wichtigen Mittel geworden, um die Kristallstruktur von Wolframoxid zu regulieren, indem sie das Kristallwachstum und die Defektentwicklung kontrolliert.

4.2.1.4 Einfluss der Reaktionsatmosphäre auf die Wolframoxid-Kristallstruktur

Die Reaktionsatmosphäre ist ein wichtiger Parameter bei der Herstellung von Wolframoxid, der sich direkt auf die Kristallstruktur, den Oxidationszustand und die Defektverteilung auswirkt. Unterschiedliche Atmosphären (z. B. oxidierend, reduzierend oder inert) verändern die Art und Weise, wie Wolfram- und Sauerstoffatome kombiniert werden, und regulieren so die Kristallform und die Eigenschaften von Wolframoxid. Am Beispiel von Wolframtrioxid verändert sich seine Kristallstruktur in verschiedenen Atmosphären erheblich.

In einer oxidierenden Atmosphäre (z. B. Luft oder reinem Sauerstoff) wird Wolframoxid in der Regel unter Verwendung von [Ammoniumparawolframat](#) oder [Wolframsäure](#) als Rohstoffe hergestellt, und monokline Wolframtrioxid wird durch Kalzinierung erzeugt. Unter solchen Bedingungen ist Sauerstoff reichlich vorhanden, die Struktur des WO_6 -Oktaeders ist intakt, die Sauerstofflücken sind sehr gering und die Anordnung des Kristallgitters ist regelmäßig und zeigt eine hellgelbe Farbe. Diese Kristallstruktur ist hochstabil und eignet sich für die Herstellung von intelligentem Glas und Photokatalysatoren. Je höher die Sauerstoffkonzentration, desto besser die Kristallinität, und die Körner können auch etwas größer sein, was für die Herstellung von Wolframpulver oder [Wolframfilament](#) geeignet ist.

In reduzierenden Atmosphären wie Wasserstoff oder Gemischen aus Wasserstoff und Stickstoff nimmt der Sauerstoffgehalt von Wolframoxid ab und es bilden sich nicht-ganzzahlige Verbindungen. In einer Wasserstoffatmosphäre von 500–700 ° C kann Wolframtrioxid beispielsweise in [blaues Wolframoxid](#) oder [violette Wolframoxid](#) umgewandelt werden. In diesen Strukturen nehmen die Sauerstofflücken zu, das WO_6 -Oktaeder wird verzerrt, die Gittersymmetrie reduziert und die Energiebandlücke verkleinert sich. Dieser defekte Zustand von Wolframoxid weist eine höhere elektrische Leitfähigkeit und katalytische Aktivität auf und wird häufig in Gassensoren oder als Zwischenprodukt in Wolframmetall verwendet. Je stärker der Reduktionsgrad (z. B. hohe

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wasserstoffkonzentration oder hohe Temperatur), desto mehr Sauerstoffleerstellen und desto signifikanter ändert sich die Kristallstruktur.

Inerte Atmosphären wie Argon oder Stickstoff liegen irgendwo dazwischen und werden typischerweise verwendet, um Sauerstofflücken auf moderaten Niveaus zu kontrollieren. So entstehen beispielsweise durch die Kalzinierung von Wolframoxid in einer inerten Atmosphäre teilweise defekte monokline Kristallformen, bei denen Korngröße und Kristallinität von Temperatur und Zeit dominiert werden. Wolframoxid weist unter diesen Bedingungen sowohl eine Stabilität als auch eine gewisse Aktivität auf, die für die Herstellung bestimmter Wolframchemikalien geeignet ist.

4.2.1.5 Einfluss der Reaktionsgeschwindigkeit auf die Struktur des Wolframoxidkristalls

Als multifunktionales Material hat die Kristallstruktur von Wolframoxid (WO_3) einen wesentlichen Einfluss auf seine physikalischen und chemischen Eigenschaften. In unterschiedlichen chemischen Reaktionen oder physikalischen Prozessen bestimmt die Reaktionsgeschwindigkeit nicht nur die Bildungseffizienz von Wolframoxid, sondern hat auch einen tiefgreifenden Einfluss auf die Bildung, Umwandlung und Stabilität seiner Kristallstruktur. Die Reaktionsgeschwindigkeit wird in der Regel durch Faktoren wie Temperatur, Druck, Reaktantenkonzentration, Katalysator und Synthesemethode reguliert, die zusammen die Kristallform, die Defektdichte und die Mikromorphologie von Wolframoxid durch kinetische und thermodynamische Mechanismen formen. In diesem Artikel werden wir den Einfluss der Reaktionsgeschwindigkeit auf die Kristallstruktur von Wolframoxid im Detail diskutieren und seine internen Gesetze auf der Grundlage von kinetischer Analyse, experimentellen Beweisen und Anwendungshintergrund aufdecken.

1. Grundlegende Eigenschaften der Wolframoxid-Kristallstruktur

Die Kristallstruktur von Wolframoxid ist vielfältig und umfasst hauptsächlich monokline, orthorhombische, tetragonale und kubische. Unter ihnen ist der monokline Kristall die stabilste Kristallform bei Raumtemperatur, die Raumgruppe ist $P2_1/n$ und die Gitterparameter sind $a=7,306 \text{ \AA}$, $b=7,540 \text{ \AA}$, $c=7,692 \text{ \AA}$, $\beta=90,91^\circ$. Wenn die Temperatur steigt, kann Wolframoxid Phasenumwandlungen durchlaufen, wie z. B. orthorhombische Kristalle bei etwa 330° C und tetragonale Kristalle über 740° C . Darüber hinaus weist nanoskaliges Wolframoxid aufgrund seiner höheren Oberflächenenergie und der kleineren Korngröße häufig eine kubische Kristallstruktur auf.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Bildung der Kristallstruktur hängt eng mit der Reaktionsgeschwindigkeit zusammen. Unter schnell reagierenden Bedingungen dominieren kinetische Faktoren das Kristallwachstum, was zu Nichtgleichgewichtsstrukturen (z. B. metastabile Phasen oder Defektzustände) führen kann; Unter der langsamen Reaktionsbedingung herrscht jedoch das thermodynamische Gleichgewicht vor, und es bildet sich tendenziell die stabile Monokline. Die Unterschiede in diesen Strukturen wirken sich direkt auf die Bandlücke, die Leitfähigkeit und die katalytische Aktivität von Wolframoxid aus.

2. Der kinetische Mechanismus der Reaktionsgeschwindigkeit bei der Kristallstrukturbildung

Die Reaktionsgeschwindigkeit bestimmt die Kristallstruktur von Wolframoxid, indem sie den Prozess der Kristallkeimbildung und des Kornwachstums beeinflusst. Im Folgenden finden Sie eine dynamische Analyse des Einflussmechanismus:

- Kernbildungsgeschwindigkeit Bei der Synthese von Wolframoxid (z. B. Wolframpulveroxidation oder thermische Zersetzung von Wolframsäure) bestimmt die Reaktionsgeschwindigkeit die Geschwindigkeit der Kristallkernbildung. Schnelle Reaktionen (z. B. Hochtemperaturröstung > 800 ° C) führen zu einer hohen Übersättigung und einer beschleunigten Geschwindigkeit der Keimbildung, was zu einer großen Anzahl kleiner Körner führt. In diesem Fall haben die Kristalle nicht genügend Zeit zum Wachsen und neigen dazu, metastabile Phasen (z. B. tetragonal oder kubisch) zu bilden. So zeigt die XRD-Analyse von Wolframoxid, das von schnellem Wolframoxidmetall erzeugt wird, dass der Anteil der kubischen Phasen deutlich höher ist als der der langsamen Oxidationsprodukte.
- Die Kornwachstumsrate, die Reaktionsgeschwindigkeit, beeinflusst auch den Kornwachstumsprozess. Unter langsamen Reaktionsbedingungen (z. B. kryogenische Hydrothermie, 150–200 ° C) haben die Kerne genügend Zeit, entlang der thermodynamisch optimalen Ausrichtung zu wachsen, um große und regelmäßige monokline Körner zu bilden. Im Gegenteil, die schnelle Reaktion (z. B. Hochtemperatur-Flash-Oxidation von Wolframfilamenten) schränkt die geordnete Anordnung der Körner ein, und es ist leicht, ungeordnete oder mehrphasige Koexistenzstrukturen zu erzeugen. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Kontrolle der Reaktionszeit (1 Stunde vs. 24 Stunden) die Korngröße von Wolframoxid 20–50 μm für eine langsame Synthese und nur 1–5 μm für eine schnelle Synthese erreichen kann.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die schnelle Reaktionsgeschwindigkeit der Defektentstehung geht oft mit einem hohen Energieeintrag einher, was zu einer Zunahme von Defekten (z. B. Sauerstoffleerstellen oder Wolframversetzungen) in der Kristallstruktur führt. Während der schnellen Oxidation von Wolframpartikeln ist beispielsweise die Sauerstoffdiffusion begrenzt, und das resultierende Wolframoxid kann ein nicht-stöchiometrisches Verhältnis aufweisen, das sich als blaues Wolframoxid ($W_{20}O_{58}$) manifestiert. Diese Defekte verändern die Gittersymmetrie und beeinträchtigen die Stabilität der Kristallform.

3. Die spezifischen Auswirkungen der Reaktionsgeschwindigkeitsregelung

Die Reaktionsgeschwindigkeit wird in der Regel durch die Temperatur, die Reaktantenkonzentration und die Synthesemethode gesteuert, und ihre spezifischen Auswirkungen auf die Kristallstruktur von Wolframoxid werden wie folgt analysiert:

- Einfluss der Temperatur Die Temperatur ist der Haupttreiber der Reaktionsgeschwindigkeit. In langsamen Reaktionen bei niedrigen Temperaturen ($<300\text{ }^{\circ}\text{C}$), wie z. B. durch Niedertemperaturkalzinierung von Ammoniummetawolframat, neigt Wolframoxid dazu, monokline Kristalle mit hoher Gitterordnung zu bilden, wodurch es für Anwendungen geeignet ist, die eine hohe Stabilität erfordern (z. B. elektrochrome Bauelemente). Bei der schnellen Reaktion bei hohen Temperaturen ($>700\text{ }^{\circ}\text{C}$), wie z. B. der sofortigen Oxidation der Wolframnadel unter Sauerstoffatmosphäre, ist das erzeugte Wolframoxid meist ein tetragonaler oder kubischer Kristall mit kleinen Körnern und zahlreichen Defekten. Diese Struktur weist aufgrund ihrer schmalen Bandlücke (ca. 2,6 eV) eine höhere Aktivität im Bereich der Photokatalyse auf.
- Die Reaktantenkonzentrationen beeinflussen hohe Konzentrationen von Reaktanten (z. B. Sauerstoff oder Natriumwolframatlösung) beschleunigen die Reaktionsgeschwindigkeit, wodurch die Kristallstruktur in Richtung einer metastabilen Phase verzerrt wird. Zum Beispiel eine schnelle Oxidation bei hohem Sauerstoffdruck ($>1\text{ atm}$). Wolframpulver, erzeugt Wolframoxid Es handelt sich hauptsächlich um kubischen Kristall und die Korngröße beträgt weniger als $10\text{ }\mu\text{m}$. Während Reaktionen mit niedriger Konzentration (z. B. Verdünnung Wolframsäure Die langsame Ausfällung der Lösung) ist förderlich für das Wachstum von monoklinen Kristallen, und die Korngröße kann mehr als $50\text{ }\mu\text{m}$ erreichen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Wirkung der Synthesemethode Verschiedene Synthesemethoden beeinflussen die Kristallstruktur erheblich, indem sie die Reaktionsgeschwindigkeit steuern:
 - Röstverfahren: Das Wolframoxid, das durch Hochtemperatur-Schnellröstung (800° C, 1 Stunde) erzeugt wird, ist meist tetragonale oder gemischte Phase, die für die Herstellung von Wolframpulver geeignet ist.
 - Hydrothermales Verfahren: Das Wolframoxid, das durch niedrige Temperaturen und langsame hydrothermale Wärme erzeugt wird, wird von monoklinen Kristallen mit regelmäßigen Körnern dominiert, die für Nanoanwendungen geeignet sind.
 - Bedampfung: Wolframoxidschichten, die durch schnelle Abscheidung gebildet werden, sind oft kubische Kristalle und werden in elektronischen Geräten verwendet.

4.2.1.6 Einfluss von Vorläuferstoffen auf die Kristallstruktur von Wolframoxid

Vorläufer sind die Ausgangsstoffe für die Herstellung von Wolframoxid, und ihre chemische Zusammensetzung, Struktur und Zersetzungseigenschaften wirken sich direkt auf die Bildung der endgültigen Kristallstruktur aus. Zu den gängigen Vorläufern gehören Ammoniumparawolframat, Ammoniummetawolframat, Wolframsäure und Natriumwolframat, und die Wahl verschiedener Vorläufer führt zu Unterschieden in der Wolframoxidkristallform, der Korngröße und der Reinheit.

Nehmen wir als Beispiel Ammoniumparawolframat (APT), es wird kalziniert und bei 500–700 ° C an der Luft zu monoklinischem Wolframtrioxid zersetzt. Die Molekularstruktur von APT ist regelmäßig, und Ammoniak und Wasserdampf werden bei der Zersetzung freigesetzt, was zu kleinen Wolframoxidkörnern (Mikrometer- bis Submikrometerskala), hoher Kristallinität und wenigen Sauerstofflücken führt. Diese Kristallstruktur eignet sich für die industrielle Herstellung von Wolframpulver oder Wolframmetall. Wenn APT in Wasserstoff kalziniert wird, entsteht blaues oder violette Wolframoxid, und die Kristallstruktur wird durch Sauerstoffleerstellen verzerrt.

Ammoniummetawolframat (AMT) eignet sich besser für die Herstellung von nanoskaligem Wolframoxid. Bei hydrothermalen oder solvothermalen Verfahren hat das durch die AMT-Zersetzung erzeugte Wolframoxid oft die Form eines hexagonalen Kristalls, und die Körner liegen in Form von Nanostäbchen oder Nanoblättern vor, da die Anordnung von Wolfram-Sauerstoff-Einheiten im Molekül dazu beiträgt, eine offene Struktur zu bilden. Diese Kristallstruktur eignet sich hervorragend für Batterien und Sensoren. Im Gegensatz dazu produziert Wolframsäure bei thermischer Zersetzung größere Wolframoxidkörner mit geringer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kristallinität und kann eine geringe Menge an amorpher Phase enthalten, wodurch sie eher für die Laborforschung als für industrielle Anwendungen geeignet ist.

Wenn Natriumwolframat als Vorläufer verwendet wird, wird die Kristallstruktur von Wolframoxid durch Natriumionen beeinflusst. Wenn Natriumverunreinigungen nicht vollständig entfernt werden, kann das Kristallgitter aufquellen, die Kristallinität kann abnehmen und es kann sich sogar eine Heterophase bilden. Nach dem Waschen und Reinigen kann jedoch hochreines monoklines Wolframoxid erhalten werden, das für optoelektronische Bauelemente geeignet ist. Die Löslichkeit und Zersetzungsgeschwindigkeit von Vorläufern wirken sich auch auf die Kristallstruktur aus, z. B. erzeugt eine schnelle Zersetzung (z. B. Kurzzeitkalzinierung bei hohen Temperaturen) kleine Körner mit vielen Defekten, während eine langsame Zersetzung zu regelmäßigen großen Körnern führt.

4.2.1.7 Einfluss des Lösungsmittels auf die Kristallstruktur von Wolframoxid

Lösungsmittel spielen eine Schlüsselrolle bei der Herstellung von Wolframoxid durch nasschemische Verfahren (z. B. hydrothermale, solvothermische Verfahren), und ihre Eigenschaften (wie Polarität, Siedepunkt und Koordinationsfähigkeit) wirken sich direkt auf die Keimbildung und das Wachstum von Kristallstrukturen aus. Bei Wolframtrioxid können unterschiedliche Lösungsmittel zu Unterschieden in der Kristallform, Morphologie und Korngröße führen.

Wasser ist das am häufigsten verwendete Lösungsmittel, und hexagonale Nanostäbchen oder Nanoröhren werden in der Regel erzeugt, wenn Wolframoxid durch ein hydrothermales Verfahren hergestellt wird (z. B. Ammoniummetawolframat als Rohstoff). Die starke Polarität des Wassers und die überkritischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen und Drücken begünstigen die geordnete Anordnung der WO_6 -Zellen zu einer offenen Kanalstruktur. Diese Kristallstruktur eignet sich für Anwendungen zur Ioneneinbettung, wie z. B. Batterieelektrodenmaterialien. Wenn der wässrigen Lösung eine Säure (z. B. Salzsäure) zugesetzt wird, können monokline Nanopartikel gebildet werden, die aufgrund des sauren Milieus die Keimbildung beschleunigen und das Kornwachstum hemmen.

Organische Lösungsmittel wie Ethanol oder Ethylenglykol erzeugen aufgrund ihrer niedrigen Polarität und ihres hohen Siedepunkts Wolframoxid-Kristallstrukturen, die meist monokline Kristallformen haben, und die Morphologie ist in Richtung Nanoblätter oder Nanoblumen verzerrt. Zum Beispiel wird Natriumwolframat für die solvothermale Reaktion in Ethanol gelöst, und die Koordination von Ethanol verlangsamt die Geschwindigkeit des Kristallwachstums und bildet eine Schichtstruktur. Diese Kristallstruktur hat eine hohe spezifische Oberfläche und eignet sich für Photokatalysatoren oder Sensoren. Darüber hinaus können

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

organische Lösungsmittel auch das Wachstum von Kristallebenen durch Oberflächenadsorption regulieren, wie z. B. das bevorzugte Freilegen bestimmter Kristallebenen und das Ändern der Kristallsymmetrie.

Gemischte Lösungsmittel, wie z. B. Wasser-Ethanol-Mischungen, haben das Beste aus beiden Welten und erzeugen Übergangskristalle zwischen monoklinen und hexagonalen Kristallen mit einer einfacheren Kontrolle der Korngröße und Morphologie. So kann beispielsweise durch eine Erhöhung des Ethanolanteils die Korngröße verringert und die Kristallinität erhöht werden. Die Viskosität und Flüchtigkeit von Lösungsmitteln wirkt sich auch auf die Kristallstruktur aus, wobei hochviskose Lösungsmittel wie Glycerin zu amorphem oder niedrigkristallinem Wolframoxid führen, während niedrigviskose Lösungsmittel die Bildung von strukturierten Kristallen fördern.

4.2.2 Einfluss äußerer Reize auf die Kristallstruktur von Wolframoxid

Äußere Reize (wie Licht, mechanische Kraft, elektromagnetisches Feld, etc.) spielen eine wichtige Rolle bei der Bildung und späteren Entwicklung der Wolframoxid-Kristallstruktur. Diese Reize können die Gitteranordnung verändern, Phasenübergänge induzieren oder Defekte einführen, die ihre Leistung beeinträchtigen können. Die Wirkung von Licht auf die Kristallstruktur von Wolframoxid spiegelt sich vor allem im Prozess der photokatalytischen Vorbereitung oder Verwendung wider. Unter ultraviolettem Licht kann beispielsweise die hydrothermale Reaktion von Wolframsäure als Rohstoff die Keimbildung von Wolframoxid zu monoklinen Nanopartikeln beschleunigen. Lichtinduzierte Elektronenanregung kann das selektive Wachstum von Kristallebenen fördern und die Morphologie von Kristallen verändern. Darüber hinaus kann bei langfristiger Lichteinwirkung Sauerstofflücken auf der Oberfläche von Wolframtrioxid entstehen, und die Kristallstruktur kann lokal verzerrt werden, wodurch die Lichtabsorptionskapazität verbessert wird.

Der Einfluss mechanischer Kräfte (z.B. Schleifen oder Beschallung) auf die Kristallstruktur von Wolframoxid sollte nicht außer Acht gelassen werden. Das Hochenergie-Kugelmahlen zerkleinert Wolframoxid im Mikrometerbereich in Submikron- oder Nanopartikel und führt gleichzeitig Gitterspannungen und Defekte ein, um die Kristallinität zu verringern. Diese strukturelle Veränderung macht es aktiver und eignet sich für katalytische Anwendungen. Die Beschallung kann eine Umlagerung der Körnung induzieren, wie z. B. die Umwandlung von amorphem Wolframoxid in eine monokline Form mit geringer Kristallinität.

Elektromagnetische Felder spielen eine bedeutende Rolle bei der Herstellung von Wolframoxid durch Gasphasenabscheidung oder Plasmaverfahren. Zum Beispiel neigt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die Kristallstruktur von Wolframoxidschichten mit Hilfe elektromagnetischer Felder zur monoklinen Kristallbildung, und die Kornanordnung ist dichter, was für optoelektronische Bauelemente geeignet ist. Darüber hinaus kann das starke elektrische Feld die Phasenumwandlung von Wolframoxid, beispielsweise von der monoklinen in die orthorhombische Kristallform, induzieren und seine elektrischen Eigenschaften verbessern. Externe Reize eröffnen einen neuen Weg zur dynamischen Regulation der Wolframoxid-Kristallstruktur durch physikalische oder chemische Einwirkungen, insbesondere bei der Entwicklung von Funktionsmaterialien.

4.2.2.1 Einfluss optischer Strahlung auf die Kristallstruktur von Wolframoxid

Als externer Reiz hat Lichtstrahlung einen signifikanten Einfluss auf die Bildung und Entwicklung der Wolframoxid-Kristallstruktur, insbesondere wenn sie in der photokatalytischen Vorbereitung oder unter Lichtbedingungen verwendet wird. Optische Strahlung beeinflusst die Kristallform, die Defekte und die Morphologie von Wolframoxid, indem sie Elektronen anregt, Oberflächenreaktionen induziert oder die Wachstumsrichtung der Kristallebene verändert. Am Beispiel von gelbem Wolframoxid steht die Veränderung seiner Kristallstruktur unter Lichtstrahlung in direktem Zusammenhang mit seinen optischen und katalytischen Eigenschaften.

Während der Aufbereitung beschleunigt optische Strahlung (z. B. ultraviolettes oder sichtbares Licht) die Keimbildung und das Wachstum von Wolframoxid. So wird beispielsweise bei der hydrothermalen Herstellung von Wolfram-Nanooxid Wolframsäure als Rohstoff verwendet, und ultraviolettes Licht kann die Polymerisation von Wolframoxid-Einheiten zu monoklinen Nanopartikeln fördern. Lichtinduzierte Elektronenanregung verstärkt Redoxreaktionen in Lösung, indem sie bevorzugt bestimmte Kristallebenen (z. B. (002)-Ebenen) freilegt, wodurch die Kristallmorphologie und -symmetrie verändert wird. Studien haben gezeigt, dass Lichtstrahlung auch die Größe von Körnern regulieren kann, indem sie nach kurzzeitiger Bestrahlung kleine Partikel bildet und die Aggregation von Körnern zu Nanoblumen oder Nanoblättern durch Langzeitbestrahlung fördert.

Bei der Anwendung ist die Wirkung optischer Strahlung auf die Kristallstruktur von Wolframoxid komplexer. Langfristiges ultraviolettes Licht kann Sauerstofflücken auf der Oberfläche von Wolframtrioxid einführen, und Defekte können aufgrund der Reaktion von photoerzeugten Elektronen mit Gittersauerstoff gebildet werden. Diese strukturelle Veränderung verzerrt das Kristallmuster, verkleinert die Energiebandlücke und erweitert den Lichtabsorptionsbereich bis in den sichtbaren Bereich. Dieser Effekt ist besonders wichtig bei photokatalytischen Anwendungen, wie z.B. der Zersetzung organischer Schadstoffe oder der Photolyse von Wasser zur Herstellung von Wasserstoff, bei denen die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zunahme der Sauerstoffleerstellen die katalytische Aktivität deutlich erhöht. Darüber hinaus kann optische Strahlung auch Phasenübergänge induzieren, wie z. B. die Umwandlung von monoklinen Kristallformen in orthorhombische Kristallformen unter bestimmten Bedingungen, und die Gittersymmetrie wird erhöht. In der Industrie wird der Einfluss optischer Strahlung vor allem genutzt, um die funktionellen Eigenschaften von Wolframoxid zu optimieren. Bei der Herstellung von Photokatalysatoren oder optoelektronischen Bauelementen kann beispielsweise die Leistung von Wolframprodukten verbessert werden, indem die Kristallstruktur durch Beleuchtung manipuliert wird. Optische Strahlung bietet eine einzigartige Möglichkeit zur dynamischen Regulierung der Wolframoxid-Kristallstruktur durch Energieeintrag und Elektronenanregung.

4.2.2.2 Einfluss des elektrischen Feldes auf die Wolframoxid-Kristallstruktur

Als externer Stimulus spiegelt sich der Einfluss des elektrischen Feldes auf die Kristallstruktur von Wolframoxid hauptsächlich in der Gitteranordnung, der Phasenumwandlung und der Defektkontrolle in der Vorbereitung und Anwendung wider. Das elektrische Feld beeinflusst die strukturellen Eigenschaften von Wolframoxid, indem es die Ionenmigrationsrate und die Kristallwachstumsrichtung ändert, insbesondere bei der elektrochemischen oder galvanischen Abscheidungs-vorbereitung.

Während des Vorbereitungsprozesses kann das elektrische Feld die Kristallform und Morphologie von Wolframoxid regulieren. Zum Beispiel wird bei der elektrochemischen Abscheidungsmethode Ammoniumparawolfram als Rohmaterial verwendet, und die Anwendung eines elektrischen Gleichstromfeldes kann das bevorzugte Wachstum von Wolframtrioxid entlang der Richtung des elektrischen Feldes induzieren, wodurch monokline Nanodrähte oder dünne Schichten gebildet werden. Das elektrische Feld fördert die gerichtete Wanderung von Wolfram- und Sauerstoffionen, die Anordnung des WO_6 -Oktaeders ist dichter und die Gitterparameter sind leicht angepasst. Studien haben gezeigt, dass starke elektrische Felder (z. B. Kilovolt/Meter) auch die Keimbildung beschleunigen und kleinere Körner aus Wolframoxid erzeugen können, was für die Herstellung von hochpräzisen Wolframchemikalien geeignet ist.

In der Anwendung ist der dynamische Einfluss des elektrischen Feldes auf die Kristallstruktur von Wolframoxid besonders ausgeprägt. Am Beispiel elektrochromer Geräte kann Wolframtrioxid die Umwandlung von einer monoklinen Kristallform in eine defekte Struktur unter Einwirkung eines elektrischen Feldes realisieren. Wenn eine Spannung angelegt wird, werden Ionen (wie Li^+ oder H^+) in das Kristallgitter eingebettet, einige WO_6 -Zellen werden verzerrt und die Sauerstofflücken nehmen zu, wodurch sich die Farbe von gelb zu blau oder grau ändert. Diese Strukturänderung ist reversibel und spiegelt die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

elektrische Reaktionsfähigkeit von Wolframoxid wider. Darüber hinaus können starke elektrische Felder Phasenübergänge induzieren, wie z. B. die Umwandlung von monoklin in orthorhombische Kristallin unter elektrischen Hochtemperaturfeldern, wodurch die Gittersymmetrie und die elektrische Leitfähigkeit verbessert werden. Das elektrische Feld beeinflusst auch die Defektverteilung von Wolframoxid. Bei elektrochemischen Reaktionen kann die durch elektrische Felder angetriebene Ionenmigration Sauerstoff- oder Wolfram-Leerstellen auf der Kristalloberfläche erzeugen, die die lokale Struktur verändern. Dieser defekte Zustand von Wolframoxid eignet sich gut für Batterieelektroden oder Sensoren. Das elektrische Feld stellt ein wirksames Mittel zur Feinststeuerung der Wolframoxid-Kristallstruktur durch Ionenmobilität und Gitterspannung dar.

4.2.2.3 Einfluss des Magnetfeldes auf die Kristallstruktur von Wolframoxid

Das Magnetfeld hat einen relativ geringen Einfluss auf die Kristallstruktur von Wolframoxid, spielt aber dennoch eine wichtige Rolle in bestimmten Präparationsprozessen, wie z.B. dem Magnetron-Sputtern oder der magnetfeldgestützten Abscheidung. Das Magnetfeld reguliert indirekt das Kristallwachstum und die strukturellen Eigenschaften von Wolframoxid, indem es die Flugbahn von Ionen oder Teilchen beeinflusst.

Während des Aufbereitungsprozesses optimiert das Magnetfeld die Kristallanordnung von Wolframoxid. Beim Magnetron-Sputterverfahren wird beispielsweise Wolframmetall als Zielmaterial verwendet, und das Magnetfeld schränkt die Bewegung des Plasmas ein, wodurch die abgeschiedenen Wolframoxid-Dünnschichtkörner dichter werden und sich zu monoklinen Kristallformen neigen. Die Anordnung des WO_6 -Oktaeders wird durch den durch das Magnetfeld induzierten Ionenstrom beeinflusst, und die Gitterrichtung wird erhöht und die Kristallinität erhöht. Starke Magnetfelder (z. B. mehrere Teslas) können auch das Überwachsen von Körnern hemmen und nanoskaliges Wolframoxid erzeugen, das für optoelektronische Geräte oder Sensoren geeignet ist. Das Magnetfeld hat einen geringeren dynamischen Einfluss auf die Kristallstruktur, kann aber unter bestimmten Bedingungen mikroskopische Veränderungen hervorrufen. Beispielsweise kann das Magnetfeld bei einer magnetfeldgestützten hydrothermalen Reaktion die Koordinationsumgebung von Wolframionen in Lösung verändern, die Keimbildungsrichtung von Wolframoxid beeinflussen und hexagonale Nanostäbchen oder Nanoblätter bilden. Darüber hinaus kann die Sauerstoff-Fehlstellenverteilung von Wolframoxid, wenn das Magnetfeld mit dem elektrischen Feld gekoppelt ist, durch den magnetoelektrischen Effekt verändert werden, und das Kristallmuster kann verzerrt werden, um die elektrische Leistung zu verbessern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In Anwendungen spiegelt sich der Einfluss von Magnetfeldern vor allem in Verbundwerkstoffen wider. Durch die Kombination von Wolframoxid mit einem magnetischen Material wie Molybdänverbindungen kann das Magnetfeld beispielsweise die Kristallorientierung der Verbundstruktur modulieren, um die katalytische Leistung oder die Energiespeicherleistung zu verbessern. Industriell werden magnetfeldgestützte Verfahren häufig zur Herstellung von Hochleistungsprodukten eingesetzt, wie z. B. Wolfram-Kupfer-Beschichtungen, aber ihre direkten Auswirkungen auf die Kristallstruktur von Wolframoxid müssen noch weiter untersucht werden. Das Magnetfeld spielt eine unterstützende Rolle bei der Optimierung der Wolframoxid-Kristallstruktur durch Teilchenbewegung und mikroskopische Orientierung, insbesondere bei der Herstellung von dünnen Schichten und Nanomaterialien.

4.3 Die intrinsische Beziehung zwischen Wolframoxid-Kristallstruktur und -eigenschaften

Es besteht eine tiefe intrinsische Beziehung zwischen der Kristallstruktur von Wolframoxid und seinen Eigenschaften, die sich in der elektronischen Struktur, der Optik, der Elektrizität und der Katalyse widerspiegelt. Am Beispiel von Wolframtrioxid und seinen Varianten (z. B. [blaues Wolframoxid], [violette Wolframoxid]) bestimmt die Veränderung der Kristallstruktur direkt die Anwendbarkeit auf dem Wolframmarkt und im High-Tech-Bereich.

Aufgrund seiner asymmetrischen Struktur hat monoklines Wolframoxid stabile optische und elektrische Eigenschaften, die für intelligentes Glas und Photokatalysatoren geeignet sind. Die sechseckige Struktur mit offenem Kanal verbessert den Ionentransport und eignet sich für Batterien und Sensoren. Defekte in der Kristallstruktur, wie z. B. Sauerstofflücken, modulieren Eigenschaften weiter, wie z. B. die Erhöhung der Leitfähigkeit oder des Lichtabsorptionsbereichs. Diese Verbindung zwischen Struktur und Leistung ist die Wurzel der Vielseitigkeit von Wolframoxid.

4.3.1 Wolframoxid-Kopplung mit elektronischer Struktur

Die elektronische Struktur von Wolframoxid ist die Brücke zwischen Kristallstruktur und Leistung, was sich direkt auf seine optischen, elektrischen und katalytischen Eigenschaften auswirkt. Am Beispiel von Wolframtrioxid wird seine elektronische Struktur durch die Hybridisierung des 5d-Orbitals von Wolfram und des 2p-Orbitals von Sauerstoff gebildet, und die Energiebandlücke beträgt normalerweise 2,5–2,8 eV.

In der monoklinen Kristallform führt die asymmetrische Anordnung des WO_6^- Oktaeders zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Elektronenwolken, wobei der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

obere Teil des Valenzbandes von $02p$ -Orbitalen dominiert wird und der untere Teil des Leitungsbandes aus $W5d$ -Orbitalen besteht. Diese elektronische Struktur verleiht Wolframoxid die Eigenschaften eines Halbleiters mit großer Bandlücke, der ultraviolettes Licht und etwas sichtbares Licht absorbiert und gelb erscheint. Das Einbringen von Sauerstoffleerstellen, wie z. B. blauem Wolframoxid, erzeugt Defektenergieniveaus, die unterhalb des Leitungsbandes liegen, was zu einer Verengung der Bandlücke und einer Ausdehnung der Lichtabsorption in den nahinfraroten Bereich führt. Diese Änderung erhöht die photokatalytische Aktivität und eignet sich für die photothermische Therapie oder die Nutzung von Solarenergie.

Elektrisch verleiht die elektronische Struktur der monoklinen Kristallform ihr eine geringe Ladungsträgerbeweglichkeit, aber elektrochrom kann erreicht werden, indem die Leitfähigkeit durch Ioneninterkalation (z. B. Li^+) in einem elektrischen Feld geändert wird. Die offene Struktur der hexagonalen Kristallform erhöht die Ionendiffusionsrate aufgrund des Kanaleffekts, und der Elektronentransport ist effizienter, was für Batterieelektroden geeignet ist (siehe Elektrochemische Anwendungen von Wolframpulver). Die Sauerstofflücken führen außerdem zusätzliche Elektronenträger ein, um die Leitfähigkeit zu verbessern, wodurch das defekte Wolframoxid im Sensor eine gute Leistung erbringt.

Im Bereich der Katalyse erhöhen lokale Änderungen der elektronischen Struktur (z. B. W bei Sauerstofflücken) das aktive Zentrum an der Oberfläche und erhöhen so die Adsorptions- und Zersetzungskapazität von Gasmolekülen oder organischem Material. Industriell, CTIA GROUP LTD Die Leistung von Wolframoxid in Wolframprodukten wird durch die Steuerung der elektronischen Struktur optimiert.

Die elektronische Struktur von Wolframoxid beeinflusst seine funktionellen Eigenschaften durch den synergistischen Effekt von Kristallform und Defekten tiefgreifend und ist der Kern der Beziehung zwischen Kristallstruktur und Leistung.

4.3.1.1 Einfluss der Wolframoxid-Kristallstruktur auf den Elektronentransport

Die Kristallstruktur von Wolframoxid hat einen tiefgreifenden Einfluss auf seine Elektronentransportleistung, was auf den synergistischen Effekt der Gitteranordnung, der Defektverteilung und der elektronischen Struktur zurückzuführen ist. Am Beispiel von Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) bestimmt seine Kristallstruktur die Migrationsrate und Leitfähigkeit von Elektronenträgern, was ein Schlüsselfaktor für seine Anwendung in Sensoren, Batterien und elektrochromen Bauelementen ist.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In monokline Wolframoxid bildet WO_6 Oktaeder durch koangulare Verbindungen ein asymmetrisches dreidimensionales Netzwerk. Diese Struktur führt zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Elektronenwolken, die Wanderung der Elektronen im Kristallgitter wird behindert und die Ladungsträgerbeweglichkeit ist gering. Diese Kristallform kann jedoch die Elektronentransporteigenschaften durch Ioneninterkalation (z. B. Li^+ oder H^+) als Reaktion auf ein elektrisches Feld verändern. In intelligentem Glas werden beispielsweise Ionen in das Gitter eingebettet, wenn eine Spannung angelegt wird, was zu Sauerstofflücken und Wolfram mit geringer Valenz (z. B. W^{5+}) führt, was den Elektronentransport erheblich verbessert und die Farbe von gelb nach blau ändert. Durch diese dynamische Regelung eignet sich die monokline Kristallform hervorragend für elektrische Anwendungen.

Hexagonales Wolframoxid hat aufgrund seiner offenen Kanalstruktur einen höheren Wirkungsgrad des Elektronentransports. Das WO_6 -Oktaeder ist entlang der sechseckigen Achse angeordnet, um einen eindimensionalen Kanal mit geringerem Migrationswiderstand der Elektronen entlang der Kanalrichtung zu bilden. Diese Struktur zeigt sich besonders in der Morphologie des Nanostäbchens oder Nanodrahtes und eignet sich für hochleitfähige Anwendungen wie Batterieelektroden oder Feldeffekttransistoren. Studien haben gezeigt, dass die Elektronentransferrate der hexagonalen Form um ein Vielfaches höher ist als die der monoklinen Kristallform, da sie weniger Gitterdefekte und eine geringere Elektronenstreuung aufweist.

Sauerstofflücken sind ein wichtiger Faktor, der den Elektronentransport von Wolframoxid beeinflusst. In blauem Wolframoxid oder violettem Wolframoxid führt das Vorhandensein von Sauerstoffleerstellen zusätzliche Elektronenträger ein, die die Leitfähigkeit deutlich erhöhen. Obwohl die Kristallstruktur von Wolframoxid in diesem defekten Zustand verzerrt ist, wird der Elektronentransportweg durch die Bildung von Defektenergieniveaus optimiert und wird häufig in Gassensoren verwendet, da er schneller auf Gasmoleküle reagiert.

Die Kristallstruktur von Wolframoxid bestimmt direkt die Effizienz und Anwendungsrichtung des Elektronentransports durch die Regulierung der Kristallform und der Defekte.

4.3.1.2 Zusammenhang zwischen Wolframoxid-Bandenstruktur und Kristallstruktur

Die Bandstruktur von Wolframoxid ist der Kern seiner elektronischen Struktur, die eng mit der Kristallstruktur verwandt ist und deren optische und elektrische Eigenschaften direkt beeinflusst. Am Beispiel von Wolframtrioxid

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

wird die Position von Bandlücke, Leitungsband und Valenzband durch die Symmetrie, die atomare Anordnung und die Defekte des Kristallgitters bestimmt.

Bei monoklinärem Wolframoxid führt die asymmetrische Anordnung des WO_6 -Oktaeders zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Elektronenniveaus. Die Oberseite des Valenzbandes besteht hauptsächlich aus 2p-Orbitalen von Sauerstoff, und die Unterseite des Leitungsbandes wird durch das 5d-Orbital von Wolfram beigesteuert, und die Energiebandlücke beträgt normalerweise 2,5-2,8 eV. Diese Bandstruktur ermöglicht es Wolframoxid, ultraviolettes Licht und etwas sichtbares Licht zu absorbieren. Die geringe Symmetrie der monoklinen Kristallform macht die Übergangseffizienz zwischen Leitungsband und Valenzband gering und die Trennung von photogenerierten Ladungsträgern ist begrenzt, hat aber aufgrund ihrer hohen Stabilität dennoch Vorteile im Bereich der Photokatalyse.

Hexagonales Wolframoxid hat aufgrund seiner hohen Symmetrie und offenen Struktur eine leicht andere Bandstruktur. Die regelmäßige Anordnung der WO_6 -Zellen reduziert die Elektronenstreuung, die Energiebandlücke kann etwas kleiner sein (2,4-2,7 eV) und die Energie am unteren Rand des Leitungsbandes wird reduziert. Diese Änderung macht die hexagonale Kristallform etwas stärker in der Lichtabsorption, insbesondere in der Nanoform, und der Quanteneffekt passt die Position des Energiebandes weiter an, was für optoelektronische Bauelemente oder Photohydrolyseanwendungen geeignet ist. Die Bandenstruktur der orthorhombischen Kristallform liegt dazwischen, und die verbesserte Symmetrie führt zu einer glatteren Ladungsträgermigration und einer höheren photokatalytischen Aktivität.

Besonders signifikant ist der Einfluss von Sauerstoffleerstellen in der Kristallstruktur auf die Bandstruktur. In blauem oder violetterem Wolframoxid führen Sauerstoffleerstellen zu Defektenergieniveaus, die unterhalb des Leitungsbandes liegen und so eine weitere Verkleinerung der Energiebandlücke (bis auf 2,0 eV) ermöglichen. Diese Defektzustände erhöhen den Lichtabsorptionsbereich von Wolframoxid und erstrecken sich bis in den nahen Infrarotbereich, der sich für die photothermische Therapie oder die Nutzung von Solarenergie eignet. Gleichzeitig wirkt das Defektenergieniveau als Elektronenfalle, um die Lebensdauer von photogenerierten Ladungsträgern zu verlängern und den katalytischen Wirkungsgrad zu verbessern. Industriell optimiert CTIA GROUP LTD die optischen Eigenschaften von Wolframoxid in Wolframchemikalien, indem es die Bandenstruktur durch die Kristallstruktur manipuliert. Die enge Beziehung zwischen der Bandstruktur und der Kristallstruktur von Wolframoxid ist die theoretische Grundlage für seine Vielseitigkeit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.2 Bindung des Wolframoxid-Ionentransportniveaus

Die Kristallstruktur von Wolframoxid hängt eng mit seiner Ionentransportkapazität zusammen, und diese Verbindung bestimmt sein Potenzial für Anwendungen in Batterien, elektrochromen Bauelementen und Ionenleitern. Am Beispiel von Wolframtrioxid wird seine Ionentransportleistung durch Gitterkanäle, Defekte und Morphologie beeinflusst, was ein wichtiger Aspekt seiner Funktionalisierung ist.

Monokline Wolframoxid hat aufgrund seiner dichten Struktur einen schmalen Ionentransportkanal und eine geringe Diffusionsrate. Unter der Einwirkung eines elektrischen Feldes können jedoch kleine Ionen (z. B. H^+ oder Li^+) in das Kristallgitter eingebettet werden und langsam entlang der acht hellen Kanäle von WO_6 wandern. Diese Ionentransportfähigkeit ermöglicht es, dass monokline Kristallformen in elektrochromen Bauelementen, wie z. B. der Li^+ -Einbettung in intelligentes Glas, gut funktionieren. Das Vorhandensein von Sauerstoffleerstellen verbessert den Ionentransport weiter und bietet einen zusätzlichen Diffusionsweg aufgrund von Defekten.

Hexagonales Wolframoxid hat aufgrund seiner offenen hexagonalen Kanalstruktur hervorragende Ionentransporteigenschaften. Die nanoskaligen Kanäle, die von der WO_6 -Einheit gebildet werden, ermöglichen eine schnelle Diffusion von Ionen (z. B. Li^+ oder Na^+) mit einem Diffusionskoeffizienten von bis zu $10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$, der viel höher ist als der von monoklinen Kristallformen. Diese Struktur macht es zu einem idealen Material für Lithium-Batterieelektroden mit hervorragenden Zykleneigenschaften. Hexagonales Wolframoxid in Form von Nanostäbchen oder Nanoröhren verbessert die Effizienz des Ionentransports weiter, indem es aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche die Kontaktfläche vergrößert.

Defektes Wolframoxid, wie z. B. blaues Wolframoxid, hat aufgrund von Sauerstoffleerstellen und Gitterverzerrung komplexere Ionentransportwege, aber die Diffusionsrate wird durch zusätzliche Kanäle erhöht. Diese Eigenschaft macht es hervorragend für elektrochemische Sensoren geeignet. In der Industrie wird die Ionentransportleistung von Wolframpulver häufig durch die Kristallstruktur optimiert, um die Batterieleistung zu verbessern. Die Ionentransportkapazität von Wolframoxid steht in direktem Zusammenhang mit den Kanälen und Defekten seiner Kristallstruktur, was der Schlüssel zu seiner Anwendung im Bereich der Energiespeicherung und -erfassung ist.

4.3.2.1 Einfluss der Wolframoxid-Kristallstruktur auf die Ionendiffusion

Der Einfluss der Kristallstruktur von Wolframoxid auf die Ionendiffusion spiegelt sich in der Größe, Symmetrie und Defektverteilung der Gitterkanäle

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

wider, die die Migrationsrate und den Diffusionsweg der Ionen direkt bestimmen. Am Beispiel von Wolframtrioxid weisen verschiedene Kristallformen und -morphologien erhebliche Unterschiede in den Ionendiffusionsseigenschaften auf.

Aufgrund seines dichten dreidimensionalen Netzwerks weist monoklines Wolframoxid enge Ionendiffusionskanäle und einen niedrigen Diffusionskoeffizienten (ca. 10^{-10} cm²/s) auf. Durch die Winkelverbindung des WO₆-Oktaeders entsteht ein begrenzter Hohlraum, der nur kleine Ionen wie H⁺ oder Li⁺ langsam passieren lässt. Diese Struktur ist in elektrochromen Anwendungen immer noch effektiv, da die Ionendiffusion langsam, aber ausreichend ist, um die elektronische Struktur und Farbe zu verändern. Das Einbringen von Sauerstoffleerstellen kann die Diffusionsrate leicht erhöhen, wodurch aufgrund von Defekten zusätzliche Sprungstellen entstehen.

Hexagonales Wolframoxid hat erhebliche Vorteile, mit hexagonalen Kanälen mit einem Durchmesser von bis zu mehreren Nanometern und einer schnellen Diffusion von Ionen (z. B. Li⁺ oder K⁺) entlang der Kanäle mit Diffusionskoeffizienten von bis zu 10^{-8} cm²/s. Diese offene Struktur funktioniert besser in Nanostäbchen oder Nanoröhren, da der eindimensionale Kanal den Diffusionswiderstand reduziert. In der Batterie verbessert die hohe ionenische Diffusivität von hexagonalem Wolframoxid die Lade-Entlade-Leistung erheblich.

Das orthorhombische Wolframoxid liegt dazwischen, der Kanal ist lockerer als bei der monoklinen Kristallform, aber nicht so offen wie bei der hexagonalen Kristallform, und die Ionendiffusionsrate ist moderat, was für einige spezifische Anwendungen geeignet ist. Nanoskaliges Wolframoxid (z. B. Nanoblätter) optimiert die Ionendiffusions-effizienz aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche und seines kurzen Diffusionswegs weiter. Die Kristallstruktur von Wolframoxid reguliert die Ionendiffusion durch Kanalgröße und Defekte, was der Kernfaktor bei Ionentransportanwendungen ist.

4.3.2.2 Einfluss des Ioneninterkalations-/Extraktionsprozesses auf die strukturelle Stabilität von Wolframoxidkristallen

Der Prozess der Ioneninterkalation und -extraktion ist der Kernmechanismus der Wolframoxid-Anwendung in elektrochromen Geräten, Batterien und Ionenleitern, und dieser Prozess hat einen erheblichen Einfluss auf die Stabilität seiner Kristallstruktur. Am Beispiel von Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) verändert das wiederholte Einbringen und Ausstoßen von Ionen (wie H⁺, Li⁺ oder Na⁺) die Gitterparameter, führt zu Spannungen und sogar zu strukturellen Schäden, die in direktem Zusammenhang mit der Langzeitleistung des Materials stehen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In monokline Wolframoxid bildet WO_6 Oktaeder durch koangulare Verbindungen ein dichtes dreidimensionales Netzwerk, und die Ioneninterkalationskanäle sind schmal. Wenn kleine Ionen (z. B. Li^+) in das Gitter eingebettet sind, das von einem elektrischen Feld angetrieben wird, besetzen sie die Lücken zwischen den WO_6 -Zellen, wodurch sich das Gitter ausdehnt. Während elektrochromer Prozesse ändert die Li^+ -Einbettung beispielsweise das Wolframoxid von gelb nach blau, wodurch die Gitterparameter a , b und c um etwa 0,1 bis 0,3 Å erhöht werden. Diese Expansion führt zu lokalen Spannungen, und wenn die Menge der Einbettung moderat ist (z. B. $<0,5 \text{ mol/Li}^+$), bleibt die Kristallstruktur stabil und die Ionen kehren in ihren ursprünglichen Zustand zurück, nachdem sie entfernt wurden. Ist jedoch die Menge der Ioneneinbettung zu groß oder die Anzahl der Zyklen zu groß, akkumuliert sich die Gitterspannung, was zu Mikrorissen oder irreversiblen Verzerrungen der Kristallstruktur führen kann, wodurch die Stabilität verringert wird.

Hexagonales Wolframoxid hat aufgrund seiner offenen Kanalstruktur eine stärkere Anpassungsfähigkeit an die Ioneninterkalation. Die Anordnung der WO_6 -Zellen entlang der hexagonalen Achse, um nanoskalige Kanäle zu bilden, ermöglicht ein schnelles Ein- und Ausstoßen von Ionen mit geringer Gitterausdehnung (ca. 0,05–0,1 Å Variation in der c -Achse) und gleichmäßiger Spannungsverteilung. Diese Struktur funktioniert gut in Lithiumbatterien und ist über Hunderte von Zyklen stabil. Wenn jedoch die Ionengröße zu groß oder die Interkalationsrate zu schnell ist, kann der Kanal blockiert werden, was zu einem lokalen strukturellen Kollaps und Langzeitstabilität führt.

Die Ioneninterkalation führt auch zu Sauerstofflücken, insbesondere in blauem Wolframoxid oder violettem Wolframoxid ist stärker ausgeprägt. Der Einbettungsprozess geht einher mit der Reduktion von Wolfram ($W^{6+} \rightarrow W^{5+}$), der Sauerstoffleerstand nimmt zu und die Kristallstruktur wird verzerrt. Dies verbessert zwar die Leitfähigkeit, aber zu viele Leerstellen können die Verbindungsstärke der WO_6 -Zelle schwächen, was dazu führt, dass die Kristallstruktur bei wiederholten Zyklen allmählich destabilisiert wird. Der Prozess der Ioneninterkalation/-extraktion hat einen doppelten Effekt auf die Stabilität der Wolframoxidkristallstruktur durch Gitterspannung und Defektänderungen, was ein wichtiger Aspekt bei der Anwendungsentwicklung ist.

4.3.3 Zusammenhang zwischen den Oberflächeneigenschaften von Wolframoxid

Die Oberflächeneigenschaften von Wolframoxid hängen eng mit seiner Kristallstruktur zusammen, was sich direkt auf seine Adsorptionskapazität, seine katalytische Aktivität und seinen elektronischen Zustand auswirkt. Am Beispiel von Wolframtrioxid bestimmen die Art der Kristallstruktur, die Exposition in der Kristallebene und die Defektverteilung die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Koordinationsumgebung und das aktive Zentrum von Oberflächenatomen, die die Grundlage für ihre Leistung in der Photokatalyse, bei Sensoren und Oberflächenbeschichtungen bilden.

Die Oberfläche von Wolframoxid in der monoklinen Kristallform besteht aus einer koangularen Verbindung von WO_6 -Oktaeder, und die freiliegende Kristallebene weist aufgrund der Ungesättigkeit der Koordination von Wolfram- und Sauerstoffatomen eine hohe Oberflächenenergie auf. Diese Oberflächeneigenschaft verleiht ihm eine starke Adsorptionskapazität für Gasmoleküle (z. B. NO_2) oder organische Stoffe, wodurch er für Gassensoren und Photokatalysatoren geeignet ist. Hexagonales Wolframoxid hat aufgrund seiner Kanalstruktur eine größere spezifische Oberfläche und aktivere Stellen, was eine höhere Effizienz bei katalytischen Reaktionen zeigt.

Oberflächenfehler verbessern die Oberflächeneigenschaften von Wolframoxid zusätzlich. In blauem Wolframoxid werden die Wolframotope, die durch Sauerstoffleerstellen freigelegt werden, zu starken Adsorptionszentren, und die Adsorptionskapazität von Wassermolekülen wird deutlich verbessert. Diese Oberflächeneigenschaft macht es hervorragend für Feuchtesensoren geeignet. Die Oberflächenaktivität von nanoskaligem Wolframoxid wird durch den hohen spezifischen Oberflächen- und Kanteneffekt weiter verbessert.

Die Oberflächeneigenschaften von Wolframoxid werden auch von der Topographie beeinflusst. Das Wolframoxid hat eine flache Oberfläche und wenige aktive Zentren, während das Wolframoxid in Form von Nanoblüten oder dünnen Filmen aufgrund seiner Porosität und hohen Rauheit bessere Oberflächeneigenschaften aufweist. Industriell, [CTIA GROUP LTD](#) Durch die Anpassung der Kristallstruktur werden die Oberflächeneigenschaften optimiert und die Wettbewerbsfähigkeit von Wolframoxid auf dem Wolframmarkt verbessert. Die Oberflächeneigenschaften von Wolframoxid werden durch die Kristallstruktur gesteuert, was sein Hauptvorteil bei oberflächenbezogenen Anwendungen ist.

4.3.3.1 Einfluss der Wolframoxid-Kristallstruktur auf die Oberflächenadsorption

Der Einfluss der Wolframoxid-Kristallstruktur auf seine Oberflächenadsorptionskapazität spiegelt sich hauptsächlich in der Art der Kristallebene, der Oberflächenenergie und der Defektverteilung wider, die direkt die Adsorptionsleistung für Gase, flüssige Moleküle oder Ionen bestimmt. Am Beispiel von Wolframtrioxid unterscheiden sich die Oberflächeneigenschaften verschiedener Kristallformen und Morphologien erheblich.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Oberfläche von monoklinen Wolframoxid besteht aus WO_6 -Oktaeder, und die üblichen freiliegenden Kristallebenen wie (002) und (200) weisen aufgrund der ungesättigten Koordination von Wolfram- und Sauerstoffatomen auf der Oberfläche eine hohe Oberflächenenergie auf. Diese Struktur hat eine starke Adsorptionskapazität für polare Moleküle (wie H_2O , NH_3), und die Adsorptionswärme kann Dutzende von kJ/mol erreichen. In Gassensoren hat monoklines Wolframoxid eine besonders hervorragende Fähigkeit, NO_2 zu adsorbieren, da die Sauerstoffatome auf seiner Oberfläche chemische Bindungen mit NO_2 eingehen können. Das Vorhandensein von Sauerstoffleerstellen erhöht die Adsorption weiter, da die W^{5+} -Stelle eine starke Affinität zu Elektronendonormolekülen (z. B. H_2S) aufweist.

Aufgrund seiner Kanalstruktur ist die Oberfläche von hexagonalem Wolframoxid meist (001) eben, mit starker Offenheit, und die spezifische Oberfläche kann 50–100 m^2/g erreichen. Diese Kristallebene hat nicht nur eine starke physikalische Adsorptionskapazität, sondern verbessert auch die molekulare Diffusion aufgrund von Kanaleffekten, wodurch sie bei der Adsorption von Makromolekülen (z. B. organischen Farbstoffen) effizienter wird.

Im Bereich der Photokatalyse ist die Adsorption von Schadstoffen durch hexagonales Wolframoxid die Voraussetzung für dessen effiziente Zersetzung. Das hexagonale Wolframoxid in Form von Nanostäbchen oder Nanoröhren hat die Adsorptionskapazität aufgrund der Vergrößerung der Randstellen weiter erhöht.

Die Oberflächeneigenschaften von orthorhombischem Wolframoxid liegen dazwischen, mit hoher Regelmäßigkeit der Kristallebene und moderaten Adsorptionsstellen, die für spezifische katalytische Reaktionen geeignet sind. Nanoskalige Wolframoxide (z. B. Nanoblätter) haben aufgrund ihrer hohen spezifischen Oberfläche und freiliegenden Randkristallebenen eine deutlich bessere Adsorptionskapazität als Schüttgüter. Industriell, Wolframpulver Die Adsorptionsleistung der Oberfläche wird häufig durch die Kristallstruktur optimiert, um die Effizienz von Katalysatorträgern zu verbessern. Die Kristallstruktur von Wolframoxid reguliert die Oberflächenadsorption durch Kristallebenen und Defekte, was ein Schlüsselfaktor für seine adsorptionsbezogenen Anwendungen ist.

4.3.3.2 Zusammenhang zwischen Wolframoxid-Kristallstruktur und elektronischem Oberflächenzustand

Die Beziehung zwischen der Struktur von Wolframoxidkristallen und ihrem Oberflächenelektronenzustand ist der Kern ihrer funktionellen Oberflächeneigenschaften, die ihre katalytische Aktivität, ihre photoelektrischen Eigenschaften und ihre chemische Reaktionsfähigkeit durch die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Exposition in der Kristallebene, die Defektverteilung und die Elektronenwolkenverteilung beeinflussen. Am Beispiel von Wolframtrioxid bestimmt die Änderung des elektronischen Zustands der Oberfläche direkt seine Leistung in den Bereichen Photokatalyse, Sensoren und Elektrochemie.

Bei monoklinen Wolframoxid besteht die Oberfläche aus WO_6 -Oktaeder, und die Wolfram- und Sauerstoffatome der exponierten Kristallebene (wie (002) oder (020)) sind ungesättigt, und es gibt suspendierte Bindungen. Das 2p-Orbital von Sauerstoff und das 5d-Orbital von Wolfram bilden einen lokalisierten elektronischen Zustand auf der Oberfläche, und das Oberflächenenergieniveau ist etwas niedriger als das der Volumenphase, und die Bandlücke kann um 0,1–0,2 eV reduziert werden. Dieser Elektronenzustand macht die Oberfläche anfällig für den Elektronentransfer mit externen Molekülen. Bei der Photokatalyse werden beispielsweise OberflächenElektronen durch Licht zum Leitungsband angeregt, wodurch Löcher entstehen, um reaktive Sauerstoffspezies zu erzeugen (z. B. $\cdot OH$), das organische Schadstoffe zersetzt. Das Vorhandensein von Sauerstoffleerstellen verändert den elektronischen Zustand der Oberfläche erheblich, und das Vorhandensein der W^{5+} -Stelle führt zu einem defekten Energieniveau, das sich unterhalb des Leitungsbandes befindet, was die Elektronendonationsempfangskapazität erhöht und das Wolframoxid empfindlicher gegenüber reduzierenden Gasen wie CO macht.

Die Oberfläche von hexagonalem Wolframoxid ist größtenteils (001) eben, da die Kanalstruktur mehr Wolframatom freilegt und der elektronische Oberflächenzustand aktiver ist. Das Energieniveau des Defekts wird weiter verteilt und die Elektronentransferrate beschleunigt, wodurch es in optoelektronischen Bauelementen eine höhere Photostromreaktion aufweist. Aufgrund des Quanteneffekts wird der elektronische Oberflächenzustand von nanoskaligem Wolframoxid (z. B. Nanodrähten oder Nanoblättern) weiter lokalisiert und die Elektronendichte nimmt zu, was die Oberflächenreaktivität verbessert. Bei der Herstellung von Wasserstoff aus der Photolyse von Wasser optimiert beispielsweise der elektronische Oberflächenzustand von hexagonalem Wolframoxid die Effizienz der Elektron-Loch-Trennung. Im Gegensatz dazu hat orthorhombisches Wolframoxid einen gleichmäßigeren elektronischen Oberflächenzustand, eine hohe Kristallebenensymmetrie und eine stabile Elektronenverteilung, was für Anwendungen geeignet ist, die geringe Defekte erfordern, wie z. B. einige photoelektrische Beschichtungen.

Der elektronische Zustand der Oberfläche wird auch von der Topographie beeinflusst. Der elektronische Oberflächenzustand von Wolframoxid in großen Mengen ist gleichmäßiger und die Aktivität ist geringer, während der elektronische Oberflächenzustand von Wolframoxid in Form von Nanoblumen oder dünnen Filmen aufgrund der hohen spezifischen Oberfläche und des Kanteneffekts

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

reichhaltiger und reaktiver ist. Bei Gassensoren wirkt sich beispielsweise die Manipulation des elektronischen Zustands der Oberfläche direkt auf die Detektionsempfindlichkeit und -selektivität aus.

Die Kristallstruktur von Wolframoxid reguliert den elektronischen Zustand der Oberfläche durch die Belichtung der Kristallebene und die Defektverteilung, was die theoretische Grundlage und der Anwendungsschlüssel der Oberflächenfunktionalisierung ist. Diese Beziehung offenbart nicht nur die Vielseitigkeit von Wolframoxid, sondern gibt auch eine Richtung für seine weitere Entwicklung im High-Tech-Bereich vor. Auf dem Wolframmarkt beispielsweise wird Wolframoxid mit optimiertem elektronischen Oberflächenzustand allmählich zu einem Forschungs-Hotspot für Materialien mit hoher Wertschöpfung.



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatun



www.chinatungsten.com

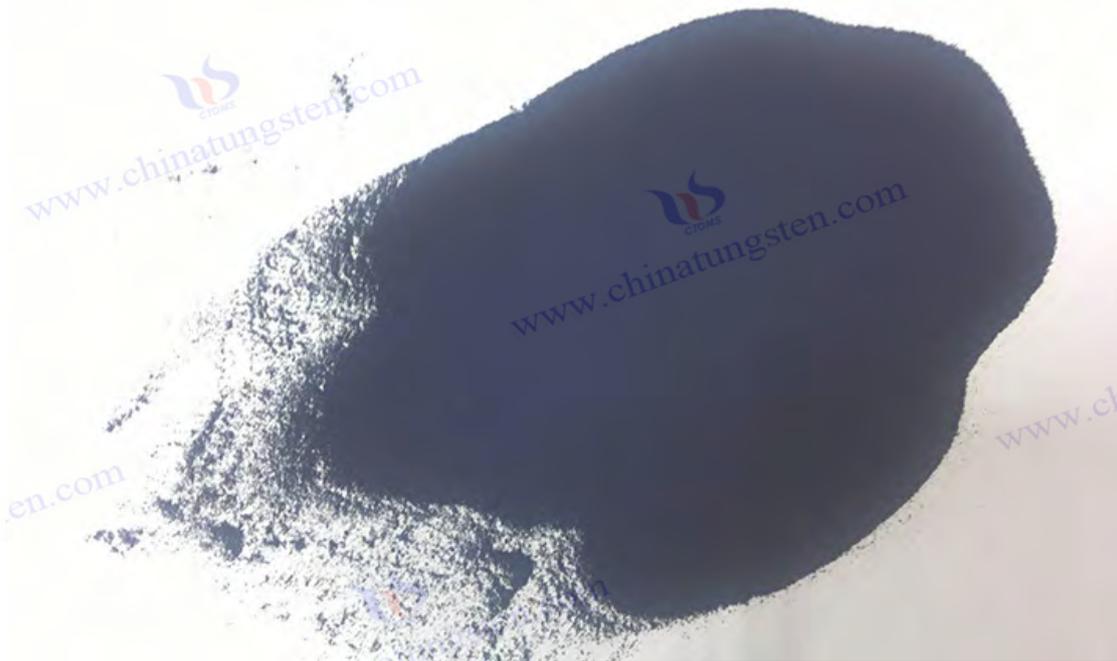


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



CTIA GROUP LTD WO_{2.72}

Kapitel 5 Physikalische und chemische Eigenschaften von Wolframoxid

5.1 Aussehen und Farbe von Wolframoxid

Das Aussehen und die Farbe von Wolframoxid ist eine seiner intuitivsten physikalischen Eigenschaften, die seine chemische Zusammensetzung, seine Kristallstruktur und seinen Sauerstoffgehalt direkt widerspiegelt. Wolframtrioxid (WO₃) zum Beispiel ist in seiner üblichen Form als gelbes Pulver allgemein als gelbes Wolframoxid bekannt, da es bei natürlichem Licht eine leuchtend gelbe Farbe hat. Diese Farbe ist auf ihre Fähigkeit zurückzuführen, ultraviolettes Licht und teilweise sichtbares Licht zu absorbieren, da sie ultraviolettes Licht und teilweise sichtbares Licht absorbieren kann, was sie in optischen Anwendungen wertvoll macht. Wolframoxid hat jedoch keine monolithische Farbe, und Änderungen des Sauerstoffgehalts führen dazu, dass sich sein Aussehen von gelb zu blau, violett und sogar braun ändert, was eine reiche Vielfalt zeigt.

Gelbwolframoxid ist die stabilste Form, die normalerweise durch Kalzinierung von Ammoniumparawolframat (APT) in Luft erhalten wird, und seine Kristallstruktur ist meist ein monoklines Kristallsystem mit Partikelgrößen von Nanometern bis Mikrometern und einem zarten und einheitlichen Aussehen. Bei einer leichten Verringerung des Sauerstoffgehalts, z. B. bei der Herstellung unter wasserstoffreduzierender Atmosphäre, entsteht blaues Wolframoxid (WO₂), dessen Farbe durch Veränderungen in der elektronischen Struktur verursacht wird, die durch Sauerstoffleerstellen verursacht werden, als dunkelblaues oder blauschwarzes Pulver. Diese Form wird aufgrund ihrer starken Reduzierbarkeit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

häufig als Zwischenprodukt bei der Herstellung von Wolframpulver in der Industrie verwendet. Durch die weitere Reduzierung des Sauerstoffgehalts erhält man purpurfarbenes Wolframoxid (WO_2), violette oder purpurschwarzes Aussehen, feinere Partikel und wird häufig bei der Untersuchung hochaktiver Katalysatoren verwendet.

Das Erscheinungsbild von Wolframoxid hängt auch eng mit seiner Topographie zusammen. Wolframoxid in großen Mengen ist in der Regel ein mattgelber Feststoff mit einer glatten Oberfläche, während nanoskaliges Wolframoxid (z. B. Nanopartikel oder Nanodrähte) aufgrund von Lichtstreuung heller oder sogar weiß erscheinen kann, insbesondere bei hohen Reinheitsbedingungen. Zum Beispiel kann ein dünner Film, der durch Sputtern hergestellt wird, auf einem transparenten Substrat blassgelb oder farblos erscheinen, aber er wird während elektrochromer Prozesse blau oder grau. Darüber hinaus hat Wolframdioxid als niedrig oxidative Form von Wolframoxid ein braunes oder dunkelbraunes Pulveraussehen, und seine Kristallstruktur ist ein monoklines Kristallsystem, das gröber aussieht.

In der Praxis sind Aussehen und Farbe von Wolframoxid nicht nur sein Erkennungszeichen, sondern auch eng mit seiner Funktion verbunden. Zum Beispiel wird gelbes Wolframoxid aufgrund seiner Stabilität und optischen Eigenschaften häufig in intelligentem Glas und Photokatalysatoren verwendet. Blaues und violette Wolframoxid werden aufgrund ihrer hohen Aktivität häufig in der Elektrochemie und Katalyse verwendet.

5.2 Dichte/spezifisches Gewicht von Wolframoxid

Die Dichte oder das spezifische Gewicht von Wolframoxid ist seine wichtige physikalische Eigenschaft, die seine Molekülmasse und die Kompaktheit seiner Kristallstruktur widerspiegelt. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) liegt seine theoretische Dichte bei etwa $7,16 \text{ g/cm}^3$, was typisch für die Wolframoxidfamilie ist, da es sich um eine stabile Verbindung mit hoher Oxidationsstufe von Wolfram handelt. Die Dichte hängt nicht nur mit der chemischen Zusammensetzung zusammen, sondern wird auch von der Kristallform, der Partikelgröße und der Morphologie beeinflusst, was ein wichtiger Parameter ist, um die Leistung von Wolframoxidmaterialien zu messen.

Die Dichte von Wolframtrioxid ist in der monoklinen Kristallform aufgrund seiner dichten Anordnung von WO_6 -Oktaeder und kleinen Gitterhohlräumen am gebräuchlichsten. Die tatsächliche Dichte von gelbem Wolframoxid, das durch Kalzinierung von Ammoniumparawolframat hergestellt wird, kann aufgrund des Vorhandenseins von Mikroporen oder Oberflächendefekten zwischen den Partikeln etwas niedriger sein als der theoretische Wert (etwa $7,0-7,1 \text{ g/cm}^3$). Blaues Wolframoxid und Purpurwolframoxid mit einer leichten Abnahme der Dichte von 6,8-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7,0 g/cm³ bzw. 6,5-6,8 g/cm³ aufgrund einer leichten Lockerung des Gitters aufgrund erhöhter Sauerstoffleerstellen. Die Dichte von Wolframdioxid (WO₂) ist mit etwa 6,3 g/cm³ sogar noch geringer, da sich die Kristallstruktur aufgrund der Verringerung des Wolfram-Sauerstoff-Verhältnisses von WO₆-Oktaeder zu WO₄-Einheit ändert.

Die Dichte von Wolframoxid wird auch von der Topographie und der Partikelgröße beeinflusst. Die Dichte von Wolframoxid liegt aufgrund seiner kleinen inneren Poren und seiner kompakten Struktur nahe am theoretischen Wert. Die scheinbare Dichte von nanoskaligem Wolframoxid (z.B. Nanopartikel oder Nanostäbchen) ist jedoch aufgrund der großen Anzahl von Hohlräumen zwischen den Nanopartikeln und der geringen Schüttdichte deutlich reduziert, möglicherweise nur 4-5 g/cm³. Dieser Unterschied ist besonders wichtig in praktischen Anwendungen, wie z. B. bei der Herstellung von Wolframpulver, wo Wolframoxid hoher Dichte anfälliger für Sedimentation und Verarbeitung ist, während Wolfram-Nanooxid niedriger Dichte aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche für Katalysatoren oder Beschichtungen geeignet ist.

In industriellen Anwendungen wirkt sich die Dichte von Wolframoxid direkt auf seine Verarbeitungs- und Verwendungsleistung aus. Wolframoxid mit hoher Dichte eignet sich für die Herstellung von Wolframmetall oder Wolframdraht, da der Massenverlust im Reduktionsprozess kontrollierbar ist. Wolframoxid-Nano mit niedriger Dichte wird aufgrund seiner leichten Eigenschaften in Verbundwerkstoffen wie Wolframkunststoff oder Wolframkautschuk eingesetzt. CTIA GROUP LTD passt die Dichte von Wolframoxid an, indem es die Kristallstruktur und die Partikelmorphologie optimiert, um den Anforderungen verschiedener Wolframprodukte gerecht zu werden. Die Dichte von Wolframoxid spiegelt nicht nur seine physikalischen Eigenschaften wider, sondern ist auch ein wichtiger Parameter bei der Gestaltung seiner Anwendung.

5.3 Thermische Stabilität von Wolframoxid

Die thermische Stabilität von Wolframoxid ist eine wichtige Eigenschaft von Wolframoxid in Hochtemperaturumgebungen, die direkt seine Anwendbarkeit in feuerfesten Materialien, optoelektronischen Geräten und Hochtemperaturkatalyse bestimmt. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO₃) weist es eine hohe thermische Stabilität auf und kann die Integrität der Kristallstruktur bei hohen Temperaturen aufrechterhalten, aber seine spezifische Leistung hängt eng mit seiner chemischen Zusammensetzung, Kristallform und Zubereitungsbedingungen zusammen. Dabei wird unter drei Aspekten ausführlich diskutiert: Schmelzpunkt, Zersetzungstemperatur und Wärmeausdehnungskoeffizient.

Die thermische Stabilität von Wolframtrioxid bei Atmosphärendruck ist wie folgt:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Unterhalb von etwa 1000 ° C bleibt seine Kristallstruktur (in der Regel monokline Kristallform) stabil, und es findet keine signifikante Zersetzung oder Phasenumwandlung statt. Wenn die Temperatur auf 1000–1200 ° C ansteigt, kann eine kristalline Umwandlung auftreten, z. B. von einer monoklinen zu einer orthogonalen oder hexagonalen Kristallin, die sich jedoch immer noch nicht zersetzt. Blaues Wolframoxid und violette Wolframoxid haben eine etwas geringere thermische Stabilität, da sie mehr Sauerstofflücken aufweisen, die bei hohen Temperaturen leicht weiter Sauerstoff verlieren und in Wolframdioxid oder Wolframmetall umgewandelt werden können. Wolframdioxid (WO₂) ist thermisch stabiler, da seine niedrigoxidative Struktur in einer reduzierenden Umgebung schwieriger zu zersetzen ist.

Die thermische Stabilität von Wolframoxid wird auch von der Atmosphäre beeinflusst. In oxidierenden Atmosphären (z. B. Luft) kann Wolframtrioxid bis nahe seinem Schmelzpunkt stabil sein, während in reduzierenden Atmosphären (z. B. Wasserstoff) die Sauerstoffleerstellen zunehmen und die thermische Stabilität abnehmen und sich bei niedrigeren Temperaturen (z. B. 700–800 ° C) in Wolframmetall zersetzen können. Diese Eigenschaft wird häufig bei der Herstellung von Wolframpulver genutzt, wo die Reduzierung von Wolframoxid durch die Kontrolle der Atmosphäre und der Temperatur erreicht wird. Die thermische Stabilität von nanoskaligem Wolframoxid ist etwas geringer als die von Schüttgütern, da es aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche und Oberflächenenergie anfälliger für Kornkoaleszenz oder Strukturveränderungen bei hohen Temperaturen ist.

In der Praxis ist Wolframoxid aufgrund seiner thermischen Stabilität ein ideales Material für Hochtemperaturumgebungen. Bei der Herstellung von Wolframdraht oder Wolframheizung gewährleistet beispielsweise die hohe Temperaturstabilität die Zuverlässigkeit des Bearbeitungsprozesses. Im Bereich der Photokatalyse sorgt seine strukturelle Stabilität für eine langfristige Leistungsfähigkeit.

5.3.1 Schmelzpunkt von Wolframoxid

Der Schmelzpunkt von Wolframoxid ist ein wichtiger Indikator für seine thermische Stabilität und spiegelt seine strukturelle Retentionsfähigkeit bei extrem hohen Temperaturen wider. Im Fall von Wolframtrioxid (WO₃) beispielsweise wird sein Schmelzpunkt typischerweise mit 1473 ° C (etwa 1700 K) bestimmt, ein Wert, der ihm in Hochtemperaturwerkstoffen einen deutlichen Vorteil verschafft. Der Schmelzpunkt hängt eng mit der chemischen Bindungsstärke und der Kristallstruktur von Wolframoxid zusammen, da die Wolfram-Sauerstoff-Bindung (W-O) hohe kovalente und ionische Eigenschaften aufweist und die Bindungsenergie stärker ist.

Der Schmelzpunkt von Wolframtrioxid ist am typischsten in der monoklinen Kristallform, und seine oktaedrische dreidimensionale Netzwerkstruktur WO₆

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

erfordert extrem hohe Energie, um zerstört zu werden. Der Schmelzpunkt von gelbem Wolframoxid, das durch Ammoniumparawolframat kalziniert wird, kann aufgrund von Spurenverunreinigungen oder Partikelgröße leicht schwanken, liegt aber in der Regel zwischen 1470 und 1480 ° C. Blaues Wolframoxid und violetteres Wolframoxid haben einen etwas niedrigeren Schmelzpunkt von 1450–1470 ° C bzw. 1430–1460 ° C, was auf das Vorhandensein von Sauerstoffleerstellen zurückzuführen ist, die die Gesamtstabilität des Kristallgitters schwächen. Wolframdioxid (WO_2) hat einen höheren Schmelzpunkt von etwa 1700 ° C und lässt sich aufgrund seiner niedrigen Oxidationszustandsstruktur schwieriger bei hohen Temperaturen schmelzen, lässt sich aber in einer oxidierenden Atmosphäre leicht in Wolframtrioxid umwandeln.

Der Schmelzpunkt von Wolframoxid wird auch von der Topographie beeinflusst. Der Schmelzpunkt von Wolframoxid liegt aufgrund seiner dichten Struktur und gleichmäßigen Wärmeleitung nahe am theoretischen Wert. Der Schmelzpunkt von nanoskaligem Wolframoxid kann um 50–100 ° C gesenkt werden, da die große Oberfläche und Oberfläche es den Körnern erleichtert, bei hohen Temperaturen zusammenzuwachsen oder zu schmelzen. Dieser Unterschied muss in der Praxis besonders beachtet werden, z. B. bei Wolframoxid mit hohem Schmelzpunkt bei der Wolframmetallherstellung, das sich besser für Hochtemperaturreduktionsprozesse eignet.

In industriellen Anwendungen eignet sich Wolframoxid aufgrund seines hohen Schmelzpunkts ideal für feuerfeste Materialien wie Wolframheizungen oder Hochtemperatur-Ofenauskleidungsmaterialien. CTIA GROUP LTD verbessert die Schmelzpunktleistung von Wolframoxid weiter, indem es die Kristallstruktur und -reinheit kontrolliert, um den Anforderungen rauer Hochtemperaturumgebungen gerecht zu werden. Der Schmelzpunkt von Wolframoxid ist ein direktes Spiegelbild seiner thermischen Stabilität und die Grundlage für seine Hochtemperaturanwendungen.

5.3.2 Zersetzungstemperatur von Wolframoxid

Die Zersetzungstemperatur von Wolframoxid bezieht sich auf die Temperatur, bei der es beginnt, Sauerstoffatome zu verlieren oder unter bestimmten Bedingungen chemische Veränderungen zu durchlaufen, was eng mit der thermischen Stabilität zusammenhängt. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) ist seine Zersetzungstemperatur in einer atmosphärischen oxidierenden Atmosphäre extrem hoch und überschreitet in der Regel den Schmelzpunkt (1473 ° C), da seine Struktur stabil ist und es nicht leicht ist, sich direkt zu zersetzen. In einer reduzierenden Atmosphäre sinkt die Zersetzungstemperatur jedoch deutlich und wird zu einem Schlüsselparameter für die Herstellung von Wolframpulver.

An der Luft ist die Zersetzungstemperatur von Wolframtrioxid schwer definitiv zu

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

bestimmen, da es nach dem Schmelzen seine WO_3 -Zusammensetzung beibehält und eine kleine Menge Sauerstoff bis etwa $1500-1600^\circ C$ langsam verflüchtigen kann. In einer reduzierenden Atmosphäre wie Wasserstoff beginnt Wolframtrioxid bei $700-900^\circ C$ zu zersetzen, um blaues Wolframoxid ($WO_{2.9}$) oder violetteres Wolframoxid zu bilden und schließlich bei $1000-1200^\circ C$ in Wolfram umzuwandeln. Dieser Zersetzungsprozess hängt eng mit der Bildung von Sauerstoffleerstellen zusammen, und je höher die Temperatur, desto tiefer der Grad der Reduktion. Blaues Wolframoxid und violetteres Wolframoxid zersetzen sich bei einer niedrigeren Temperatur, und weiterer Sauerstoff geht im Bereich von $800-1000^\circ C$ verloren, um Wolframdioxid oder Wolfram zu bilden. Wolframdioxid (WO_2) hat eine höhere Zersetzungstemperatur und ist in einer inerten Atmosphäre bis etwa $1500^\circ C$ stabil, oxidiert aber in einer oxidierenden Atmosphäre schnell zu Wolframtrioxid.

Die Zersetzungstemperatur von Wolframoxid wird auch von der Partikelgröße beeinflusst. Aufgrund der hohen Oberfläche und Oberflächenaktivität kann die Zersetzungstemperatur von nanoskaligem Wolframoxid um $50-100^\circ C$ gesenkt werden, und die Reduktion beginnt bei $600-800^\circ C$. Das Wolframoxid hat eine dichte Struktur, eine höhere Zersetzungstemperatur und eine stärkere Stabilität. Diese Eigenschaft wird bei der industriellen Reduktion von Wolframmetall voll ausgenutzt, z.B. für die schrittweise Zersetzung durch präzise Temperaturregelung.

In der Praxis bestimmt die Zersetzungstemperatur von Wolframoxid sein Verhalten im Hochtemperaturreduktionsprozess. Die Zersetzungstemperatur von Wolframoxid ist der Schnittpunkt zwischen seiner thermischen Stabilität und seiner chemischen Reaktivität.

5.3.3 Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframoxid

Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframoxid ist der Grad seiner volumetrischen oder linearen Ausdehnung bei Temperaturänderungen, der die Fähigkeit der Kristallstruktur widerspiegelt, auf thermische Belastung zu reagieren. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) liegt sein Wärmeausdehnungskoeffizient bei etwa $6-8 \times 10^{-6} K^{-1}$ im Bereich der Raumtemperatur bis $1000^\circ C$, was relativ niedrig ist, was darauf hindeutet, dass es eine gute Dimensionsstabilität bei hohen Temperaturen aufweist, was eine wichtige Grundlage für seine Anwendung in Hochtemperaturgeräten ist.

Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframtrioxid ist typisch für die monokline Kristallform, da die enge Anordnung des WO_6 -Oktaeders die Wärmeausdehnung des Kristallgitters begrenzt. Es gibt einen geringfügigen Unterschied im Ausdehnungskoeffizienten entlang der drei Achsen A, B und C, z. B. kann er entlang der C-Achse etwas höher sein (ca. $8 \times 10^{-6} K^{-1}$) ist die thermische Spannung aufgrund der Gitterasymmetrie ungleichmäßig verteilt. Der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wärmeausdehnungskoeffizient von gelbem Wolframoxid, das durch Wolframsäurezerersetzung hergestellt wird, kann je nach Partikelgröße und Verunreinigungen leicht variieren, bleibt aber im Allgemeinen zwischen $6-9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Blaues Wolframoxid und violette Wolframoxid haben einen etwas höheren Wärmeausdehnungskoeffizienten (etwa $8-10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), und das Gitter ist aufgrund von Sauerstofflücken entspannt, und die Wärmeausdehnung ist offensichtlicher. Wolframdioxid (WO_2) hat einen Wärmeausdehnungskoeffizienten von etwa $5-7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ und ist aufgrund seiner einfacheren Struktur etwas weniger expansiv.

Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframoxid wird auch von der Morphologie und den Vorbereitungsbedingungen beeinflusst. Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframoxid liegt aufgrund seiner gleichmäßigen inneren Spannung nahe am theoretischen Wert. Nanoskaliges Wolframoxid (z. B. nanodünne Schichten) kann jedoch den Wärmeausdehnungskoeffizienten aufgrund der Zunahme von Oberflächeneffekten und Korngrenzen um 10-20 % erhöhen, und es ist einfacher, sich bei hohen Temperaturen zu verformen. Diese Eigenschaft wird insbesondere bei Dünnschichtanwendungen berücksichtigt, wie z. B. bei Smart Glass, bei denen thermisch spannungsinduzierte Rissbildung vermieden wird.

In industriellen Anwendungen eignet sich Wolframoxid aufgrund seines niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten für empfindliche Bauteile in Hochtemperaturumgebungen, wie z. B. Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffe oder optoelektronische Bauelemente. CTIA GROUP LTD verbessert die Leistung von Wolframoxid in Hochtemperatur-Wolframprodukten, indem es die Kristallstruktur optimiert und den Wärmeausdehnungskoeffizienten von Wolframoxid reduziert. Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframoxid ist eine wichtige Ausprägung seiner thermischen Stabilität und seiner mechanischen Eigenschaften.

5.4 Löslichkeit von Wolframoxid

Die Löslichkeit von Wolframoxid ist ein wichtiger Aspekt seiner chemischen Eigenschaften, der sich direkt auf sein Verhalten in der Hydrometallurgie, bei chemischen Reaktionen und bei der Lösungsherstellung auswirkt. Am Beispiel Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) ist es in Wasser nahezu unlöslich und hat eine sehr geringe Löslichkeit (ca. 0,02 g/100 mL, 25 ° C), was eine schwer lösliche Verbindung ist. Diese Eigenschaft beruht auf seiner starken kovalent-ionischen Hybridbindung (W-O-Bindung) und seiner stabilen Kristallstruktur, die es schwierig macht, unter herkömmlichen Bedingungen von Wassermolekülen zu dissoziieren.

In sauren Lösungen schwankt die Löslichkeit von Wolframoxid leicht, ist aber immer noch begrenzt. So nimmt beispielsweise in verdünnter Salzsäure oder Schwefelsäure die Löslichkeit von Wolframtrioxid nur geringfügig zu, da sich an

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

der Oberfläche Spuren von Wolframsäure bilden können, das Ganze aber unlöslich bleibt. In starken Säuren (z. B. konzentrierter Salpetersäure) reagiert Wolframoxid jedoch langsam, insbesondere unter Erhitzungsbedingungen, zu löslicher Wolframsäure oder Wolframat. Diese Reaktion wird häufig bei der Nassraffination von Wolframit oder Scheelit eingesetzt, um Wolframoxid durch Säurelaugung in ein Lösungszwischenprodukt umzuwandeln, das zu Wolframmetall weiterverarbeitet wird. Im Gegensatz dazu ist Wolframdioxid (WO₂) aufgrund seiner niedrigen Oxidationszustandsstruktur in starken Säuren etwas löslicher und reaktiver.

Die Löslichkeit von Wolframoxid in alkalischen Lösungen wird deutlich verbessert, insbesondere in starken Basen wie NaOH oder KOH. Wolframtrioxid kann mit Natriumhydroxid zu Natriumwolframat (Na₂WO₄) reagieren, und die Löslichkeit kann Dutzende von Gramm pro 100 ml erreichen. In einer konzentrierten alkalischen Lösung bei 80 ° C löst sich Wolframtrioxid beispielsweise schnell mit den folgenden Reaktionen: $WO_3 + 2NaOH \rightarrow Na_2WO_4 + H_2O$. Diese Eigenschaft ist die Grundlage für die industrielle Herstellung von Wolframat, beispielsweise bei der Herstellung von Wolframverbindungen aus Ammoniumparawolframat, was häufig durch Alkalisierung von Wolframoxid erreicht wird. Blaues Wolframoxid und violetteres Wolframoxid haben eine ähnliche Löslichkeit in Alkalien, aber die Reaktionsgeschwindigkeit ist aufgrund von mehr Sauerstofflücken etwas schneller.

Die Löslichkeit von Wolframoxid wird auch von der Topographie und der Partikelgröße beeinflusst. Aufgrund der hohen spezifischen Oberfläche von nanoskaligen Wolframoxiden (z. B. Nanopartikeln) ist die Auflösungsrate in Säure-Base-Lösung höher als die von Schüttgütern, liegt aber immer noch im unlöslichen Bereich. In organischen Lösungsmitteln wie Ethanol oder Aceton ist Wolframoxid fast vollständig unlöslich, da es kein aktives Zentrum hat, um mit organischen Molekülen zu reagieren. Die Löslichkeit von Wolframoxid spiegelt seine chemische Stabilität und Reaktionsselektivität wider, was ein wichtiges Merkmal seiner Anwendung in chemischen und metallurgischen Bereichen ist.

5.5 Härte und mechanische Festigkeit von Wolframoxid

Die Härte und mechanische Festigkeit von Wolframoxid sind wichtige Manifestationen seiner physikalischen Eigenschaften, die seine Eignung für verschleißfeste Werkstoffe, Beschichtungen und Strukturbauteile bestimmen. Wolframtrioxid (WO₃), eine häufige Form von Wolframoxid, hat eine hohe Härte und mechanische Festigkeit, aber die spezifischen Werte variieren je nach Kristallform, Morphologie und Vorbereitungsbedingungen.

Die Härte von Wolframtrioxid beruht auf seiner WO₆-Oktaeder-Kristallstruktur, und die starken kovalenten und ionischen Eigenschaften der Wolfram-Sauerstoff-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bindung verleihen ihm eine hohe Verformungsbeständigkeit. In der monoklinen Kristallform hat Wolframoxid eine dichte Gitteranordnung und bessere mechanische Eigenschaften als nicht-ganzzahlige Verbindungen wie blaues Wolframoxid oder violetteres Wolframoxid. Die Härte und Festigkeit von Wolframoxid in großen Mengen liegen nahe an denen von keramischen Materialien, während sich die mechanischen Eigenschaften von nanoskaligem Wolframoxid aufgrund der Zunahme der Korngrenzen und des Partikeleffekts ändern. Die Härte von Wolframoxid macht es zu einer Verstärkungsphase in Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen, die die allgemeine Verschleißfestigkeit verbessert.

In Bezug auf die mechanische Festigkeit weist Wolframoxid eine gute Druckfestigkeit, aber eine schwache Scher- und Zugfestigkeit auf. Diese Eigenschaft hängt mit der Anisotropie seiner Kristallstruktur zusammen, wie z. B. der Schichtanordnung der monoklinen Kristallform, die sie anfälliger für Brüche in bestimmte Richtungen macht. Industriell wird Wolframoxid häufig durch Ammoniumparawolframat zu Pulver kalziniert und dann zu Formteilen gepresst, und seine mechanische Festigkeit wird durch die Pressdichte und die Sinterbedingungen beeinflusst. Der bei hohen Temperaturen gesinterte Wolframoxidblock ist stärker, während das lose Nano-Wolframoxidpulver zerbrechlicher ist.

Auch die Härte und mechanische Festigkeit von Wolframoxid wird durch Defekte beeinträchtigt. Aufgrund der Gitterverzerrung sind die Härte und Festigkeit von violetterem Wolframoxid mit mehr Sauerstoffleerstellen etwas geringer als die von Wolframtrioxid, aber es ist immer noch ausreichend, um die Anforderungen an die Katalysatorunterstützung zu erfüllen. In der Praxis werden die mechanischen Eigenschaften von Wolframoxid häufig durch Compoundieren, wie z. B. die Kombination mit Wolframkunststoff oder Wolframkautschuk, verstärkt, um die Zähigkeit und Festigkeit zu verbessern. CTIA GROUP LTD verbessert die mechanischen Eigenschaften von Wolframoxid in Wolframprodukten durch Optimierung der Kristallstruktur und der Partikelmorphologie. Die Härte und mechanische Festigkeit von Wolframoxid sind Schlüsselindikatoren für seine Haltbarkeit und spiegeln die Kombination aus seiner Kristallstruktur und Praktikabilität wider.

5.5.1 Mohs-Härte von Wolframoxid

Die Mohs-Härte von Wolframoxid ist ein wichtiger Parameter zur Messung seiner Kratzfestigkeit, da sie seine Oberflächenbeständigkeit gegen äußere Erosion widerspiegelt. Im Fall von Wolframtrioxid (WO_3) liegt die Mohs-Härte typischerweise zwischen 4,5 und 5,5 und damit etwas niedriger als bei herkömmlichen keramischen Materialien (z. B. Aluminiumoxid, Härte 9), aber höher als bei vielen Metalloxiden. Dieser Härtegrad macht es wertvoll für verschleißfeste Beschichtungen und mechanische Bauteile.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Mohs-Härte von Wolframtrioxid ist hauptsächlich auf seine WO_6 -Oktaederkristallstruktur zurückzuführen, und die starke Kovalentität der Wolfram-Sauerstoff-Bindung sorgt für eine hohe Kratzfestigkeit. In der monoklinen Form hat Wolframoxid aufgrund seiner dichten Gitteranordnung und der starken interatomaren Adhäsion auf der Oberfläche eine Härte von etwa 5. Die Härte von Wolfram-Nanooxid, das durch das hydrothermale Verfahren des Ammoniummetawolframats hergestellt wird, kann aufgrund des Korngrenzeffekts und der Oberflächenfehler der Nanopartikel, die die Gesamtfestigkeit schwächen, etwas geringer sein (etwa 4,5). Wolframdioxid (WO_2) hat aufgrund seiner niedrigen Oxidationsstufe und seiner kompakteren Struktur eine etwas höhere Härte von etwa 5,5-6.

Die Mohs-Härte von Wolframoxid wird auch von der Topographie und der Partikelgröße beeinflusst. Die Härte von Wolframoxid in großen Mengen liegt aufgrund seiner strukturellen Integrität und der geringen Oberflächenfehler nahe 5,5. Die Härte von nanoskaligem Wolframoxid (z.B. Nanofilme oder Nanopartikel) kann auf 4-4,5 sinken, wodurch die Oberfläche aufgrund der hohen spezifischen Oberfläche und der erhöhten Korngrenzen anfälliger für Kratzer wird. Darüber hinaus haben blaues Wolframoxid und violette Wolframoxid, die mehr Sauerstofflücken aufweisen, eine etwas geringere Härte (etwa 4-5), und die interatomare Bindungskraft wird durch Gitterverzerrung verringert.

In der Praxis eignet sich Wolframoxid aufgrund seiner Mohs-Härte als Verstärkungsphase für verschleißfeste Beschichtungen oder Verbundwerkstoffe. So kann beispielsweise die Zugabe von Wolframoxid zu Ferrowolfram oder Goldwolfram die Oberflächenhärte und Verschleißfestigkeit verbessern. Die Mohs-Härte von Wolframoxid ist die Grundlage für seine mechanischen Eigenschaften, die sich direkt auf seine Haltbarkeit auswirken.

5.5.2 Druckfestigkeit von Wolframoxid

Die Druckfestigkeit von Wolframoxid ist der Kernindex seiner mechanischen Festigkeit und spiegelt seine Beständigkeit gegen Verformung und Quetschung unter Druck wider. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) liegt seine Druckfestigkeit in der Regel zwischen 500 und 800 MPa, was es unter den keramischen Materialien zu einer mäßig hohen Leistung macht und für Hochdruckumgebungen geeignet ist.

Die Druckfestigkeit von Wolframtrioxid hängt eng mit seiner monoklinen Kristallstruktur zusammen, und das dreidimensionale Netzwerk des WO_6 -Oktaeders sorgt für eine hohe Druckfestigkeit. Die Druckfestigkeit von Wolframoxid, das durch Kalzinierung von Wolframsäure hergestellt wird, kann aufgrund seiner engen Bindung zwischen den Körnern und der geringen inneren Defekte 700-800 MPa erreichen. Die Druckfestigkeit von nanoskaligem Wolframoxid ist deutlich

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

reduziert (etwa 300–500 MPa), und die interkristallinen Hohlräume und Korngrenzeffekte machen es anfälliger für Brüche unter Druck. Wolframdioxid (WO_2) hat aufgrund seiner einfacheren Struktur und stärkeren Gitterstabilität eine etwas höhere Druckfestigkeit, etwa 800–900 MPa.

Auch die Druckfestigkeit von Wolframoxid wird durch den Aufbereitungsprozess beeinflusst. Aufgrund der hohen Dichte liegt die Druckfestigkeit des gesinterten Hochtemperatur-Wolframoxidblocks nahe der oberen Grenze, während die Druckfestigkeit von losem pulverförmigem Wolframoxid (z. B. Wolframpulvervorläufer) mit nur 200–300 MPa gering ist. Darüber hinaus weisen blaues Wolframoxid und violette Wolframoxid mit mehr Sauerstoffleerstellen eine etwas geringere Druckfestigkeit (etwa 400–600 MPa) auf, was die Gesamtfestigkeit des Kristallgitters aufgrund von Defekten schwächt.

In der Praxis eignet sich Wolframoxid aufgrund seiner Druckfestigkeit für Hochdruckumformverfahren, wie z. B. als Rohstoff für gepresste Rohlinge bei der Herstellung von Wolframdraht. CTIA GROUP LTD verbessert die Druckfestigkeit von Wolframoxid durch Optimierung der Sinterbedingungen, um den Bedarf von Wolframunternehmen an druckfesten Materialien zu erfüllen. Die Druckfestigkeit von Wolframoxid ist eine wichtige Ausprägung seiner mechanischen Eigenschaften, die seine Zuverlässigkeit in Hochdruckumgebungen bestimmen.

5.5.3 Scherfestigkeit von Wolframoxid

Die Scherfestigkeit von Wolframoxid ist ein weiterer wichtiger Parameter seiner mechanischen Festigkeit, die seine Fähigkeit widerspiegelt, Verformungen oder Brüchen durch Scherspannung zu widerstehen. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) liegt seine Scherfestigkeit in der Regel zwischen 200 und 300 MPa, was niedriger ist als die Druckfestigkeit, was eine gewisse Anisotropie zeigt. Diese Eigenschaft macht es bei Anwendungen mit höheren Scherkräften etwas weniger effektiv, aber es ist immer noch praktisch.

Die Scherfestigkeit von Wolframtrioxid hängt mit seiner monoklinen Kristallstruktur zusammen, und die Schichtanordnung des WO_6 -Oktaeders macht es in einigen Richtungen schwach. Die Scherfestigkeit des Wolframoxids, das durch Kalzinierung von Ammoniumparawolframat erhalten wird, beträgt etwa 250–300 MPa, da die Bindekraft zwischen den Körnern ausreicht, um einer bestimmten Scherspannung zu widerstehen. Die Scherfestigkeit von nanoskaligem Wolframoxid wird aufgrund der Zunahme der Korngrenzen und der losen Verbindungen zwischen den Partikeln erheblich reduziert (ca. 100–200 MPa), was das Gleiten unter der Scherung erleichtert. Wolframdioxid (WO_2) hat aufgrund seiner homogeneren Struktur eine etwas höhere Scherfestigkeit von etwa 300–350 MPa.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Scherfestigkeit von Wolframoxid wird auch durch Morphologie und Defekte beeinflusst. Aufgrund seiner Schichtstruktur ist die Scherfestigkeit von Dünnschicht-Wolframoxid gering (ca. 150–200 MPa) und es ist leicht, entlang der Zwischenschichten zu brechen. Die Scherfestigkeit von blauem Wolframoxid und violetter Wolframoxid mit mehr Sauerstoffleerstellen ist jedoch weiter reduziert (ca. 120–180 MPa), und die Scherfestigkeit wird durch Gitterverzerrung geschwächt. In Verbundwerkstoffen kann die Scherfestigkeit von Wolframoxid durch die Zugabe von Wolfram-, Kupfer- oder Silberwolfram erhöht werden, um die Gesamteigenschaften zu verbessern.

In praktischen Anwendungen sorgt die Scherfestigkeit von Wolframoxid dafür, dass es in Szenarien mit geringen Scherspannungen, wie z. B. Wolframheizungen, gut funktioniert. Die Scherfestigkeit von Wolframoxid ergänzt seine mechanischen Eigenschaften und spiegelt seine Grenzen und sein Potenzial in komplexen Belastungsumgebungen wider.

5.6 Spezifische Oberfläche von Wolframoxid

Die spezifische Oberfläche von Wolframoxid ist ein wichtiger Parameter seiner physikalischen Eigenschaften, der seine Partikelgröße, Morphologie und Oberflächenaktivität direkt widerspiegelt und einen entscheidenden Einfluss auf seine Anwendung in der Katalyse, Adsorption und Energiespeicherung hat. Am Beispiel von Wolframtrioxid variiert seine spezifische Oberfläche je nach Herstellungsmethode und Partikelgröße und variiert in der Regel im Bereich von 1–100 m²/g, was ein wichtiger Indikator für seine Funktionalität ist.

Wolframoxid in großen Mengen hat eine geringe spezifische Oberfläche, typischerweise zwischen 1 und 5 m²/g, aufgrund seiner großen Partikel (Mikrometerskala) und der begrenzten Oberflächenexposition der aktiven Zentren. Die spezifische Oberfläche von gelbem Wolframoxid, die durch Hochtemperaturkalzinierung von Ammoniumparawolframat erhalten wird, beträgt im Allgemeinen 2–10 m²/g, was für Wolframpulvervorläufer geeignet ist, da es während des Reduktionsprozesses keine übermäßige Oberflächenaktivität erfordert. Im Gegensatz dazu wird die spezifische Oberfläche von nanoskaligem Wolframoxid, wie z. B. Nanopartikeln oder Nanostäbchen, die durch das hydrothermale Verfahren des Ammoniummetawolframats hergestellt werden, mit einer spezifischen Oberfläche von 50–100 m²/g signifikant vergrößert. Diese hohe spezifische Oberfläche ist auf eine Verringerung der Partikelgröße (10–100 nm) und der morphologischen Diversität (z. B. Nanodrähte oder Nanoblumen) zurückzuführen, was zu einem deutlich höheren Anteil an Oberflächenatomen führt.

Die spezifische Oberfläche von Wolframoxid hängt auch mit seiner Kristallform und seiner Sauerstofflücke zusammen. Das monokline Wolframoxid hat eine relativ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

stabile spezifische Oberfläche, während die hexagonale Nanostruktur aufgrund des Kanaleffekts eine höhere spezifische Oberfläche aufweist und häufig in Photokatalysatoren oder Gassensoren eingesetzt wird (siehe Wolframtechnologie). Die spezifische Oberfläche von blauem Wolframoxid und violetter Wolframoxid ist etwas größer als die von Wolframtrioxid gleicher Größe (etwa 10–20 % Zunahme), und die Oberflächenrauheit nimmt aufgrund von Sauerstoffleerstellen und aktiveren Stellen zu. Wolframdioxid (WO_2) hat aufgrund seiner einfachen Kristallstruktur und der Neigung der Partikel zur Koaleszenz eine geringere spezifische Oberfläche (5–20 m^2/g).

In der Praxis eignet sich Wolframoxid aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche hervorragend im Bereich der Katalyse, z. B. bei der Zersetzung organischer Schadstoffe, kann die große Oberfläche von Nanowolframoxid mehr Reaktanten adsorbieren und die Effizienz verbessern. Die spezifische Oberfläche von Wolframoxid ist ein direktes Spiegelbild seiner Oberflächenfunktionalität und ein Schlüsselparameter für seine Anwendung in der Nanotechnologie.

5.7 Schüttdichte von Wolframoxid

Die Schüttdichte von Wolframoxid bezieht sich auf die Dichte seines Pulvers im natürlichen Packungszustand, die die Hohlraum- und Akkumulationseigenschaften zwischen den Partikeln widerspiegelt und einen wichtigen Einfluss auf seine Lager-, Transport- und Verarbeitungseigenschaften hat. Im Fall von Wolframtrioxid (WO_3) beispielsweise liegt die Schüttdichte in der Regel zwischen 1,0 und 2,5 g/cm^3 und damit aufgrund der großen Anzahl von Hohlräumen zwischen den Partikeln deutlich unter seiner theoretischen Dichte (7,16 g/cm^3).

Wolframoxid in großen Mengen hat eine hohe Schüttdichte, wie z. B. mikrometergroßes gelbes Wolframoxid, das durch Kalzinierung von Wolframsäure hergestellt wird, mit einer losen Dichte von etwa 2,0 bis 2,5 g/cm^3 . Diese höhere Schüttdichte ist auf die größeren Partikel (1–10 μm), die dichtere Packung und weniger Hohlräume zurückzuführen, wodurch es für die industrielle Herstellung von Wolframmetall oder Wolframdraht geeignet ist. Zum Beispiel wird die Schüttdichte von nanoskaligem Wolframoxid erheblich reduziert, zum Beispiel beträgt die Schüttdichte von Nanopartikeln, die nach hydrothermale Verfahren hergestellt werden, nur 0,5–1,0 g/cm^3 , aufgrund der Vergrößerung der Lücken zwischen den Nanopartikeln (10–100 nm) und der losen Akkumulation. Diese geringe Dichte macht es einfach, es in Wolframkunststoff oder Wolframkautschuk zu dispergieren.

Die Schüttdichte von Wolframoxid wird auch von der Morphologie und der Kristallform beeinflusst. Die monoklinen Wolframoxid-Partikel sind regelmäßig und haben eine hohe Schüttdichte (1,5–2,5 g/cm^3), während die hexagonalen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nanostäbchen bzw. Nanoröhren aufgrund ihrer komplexen Morphologie eine geringe Schüttdichte ($0,8-1,5 \text{ g/cm}^3$) aufweisen. Blaues Wolframoxid und violetteres Wolframoxid haben eine etwas geringere Dichte ($1,0-2,0 \text{ g/cm}^3$), da die Sauerstoffleerstellen die Partikeloberfläche rauer machen und die Akkumulationseffizienz abnimmt. Wolframdioxid (WO_2) hat eine Dichte von etwa $1,5-2,2 \text{ g/cm}^3$, da seine Partikel zu Agglomeraten neigen.

In der Praxis wirkt sich die Schüttdichte von Wolframoxid auf die Verarbeitungstechnologie aus. So ist Wolframoxid mit hoher Schüttdichte beim Pressen leichter zu gewinnen, während Nanowolframoxid mit geringer Schüttdichte für leichte Beschichtungen geeignet ist. CTIA GROUP LTD optimiert die Schüttdichte von Wolframoxid, indem es die Partikelgröße und -morphologie an die Bedürfnisse der verschiedenen Wolframmärkte anpasst. Die Dichte von Wolframoxid ist eine wichtige Brücke zwischen seinen physikalischen Eigenschaften und der Praktikabilität.

5.8 Optische Eigenschaften von Wolframoxid

Die optischen Eigenschaften von Wolframoxid sind die Grundlage für seine Anwendung in der Photokatalyse, photochromen und optoelektronischen Bauelementen und stehen in engem Zusammenhang mit seiner Kristallstruktur und elektronischen Struktur. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3), einer weit verbreiteten Form von Wolframoxid, gehören zu seinen optischen Eigenschaften Lichtabsorptions-, Transmissions- und Reflexionseigenschaften, und es weist aufgrund der Bandlücke und des Defektzustands eine Vielfalt auf.

Wolframtrioxid hat eine Energiebandlücke von etwa $2,5$ bis $2,8 \text{ eV}$, was ein Halbleiter mit großer Bandlücke ist, der ultraviolettes Licht und etwas sichtbares Licht absorbieren kann und ein gelbes Aussehen hat. Diese optische Eigenschaft verschafft ihm Vorteile im Bereich der Photokatalyse, wie z.B. bei der Spaltung von Wasser oder dem Abbau organischer Schadstoffe. Aufgrund der asymmetrischen Struktur hat das monokline Wolframoxid eine etwas breitere Lichtabsorptionskante, während die hexagonale Nanostruktur aufgrund des Quanteneffekts eine etwas kleinere Bandlücke ($2,4-2,7 \text{ eV}$) und einen breiteren Absorptionsbereich aufweisen kann. Die Bandlücke zwischen blauem Wolframoxid und violetterem Wolframoxid wird weiter verkleinert ($2,0-2,5 \text{ eV}$), und die Lichtabsorption dehnt sich aufgrund der Einführung von Defektenergieniveaus durch Sauerstoffleerstellen in den nahinfraroten Bereich aus.

Die optischen Eigenschaften von Wolframoxid manifestieren sich auch in der elektrochromen Fähigkeit. Unter der Einwirkung eines elektrischen Feldes kann Wolframtrioxid durch ionische Interkalation (z. B. Li^+) seine Farbe von gelb nach blau oder grau ändern. Diese Eigenschaft macht es weit verbreitet in

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

intelligentem Glas, wo die Durchlässigkeit von 80 % auf weniger als 10 % reduziert werden kann. Die optischen Eigenschaften von Wolframoxid in Form von dünnen Schichten sind besser, und die Reflexions- und Transmissionseigenschaften lassen sich aufgrund der kontrollierbaren Dicke leicht einstellen. Nanoskaliges Wolframoxid hat einen verstärkten Lichtstreuungseffekt und kann durchscheinend oder weiß erscheinen.

In der Praxis glänzen die optischen Eigenschaften von Wolframoxid im Bereich der Optoelektronik. So nutzen beispielsweise Photokatalysatoren auf Wolframoxidbasis ihre lichtabsorbierenden Eigenschaften, um Verunreinigungen abzubauen, während die optischen Beschichtungen von Wolframoxid ihre farbverändernden Eigenschaften nutzen. CTIA GROUP LTD verbessert die optischen Eigenschaften von Wolframoxid in Wolframunternehmen durch Optimierung der Kristallstruktur. Die optischen Eigenschaften von Wolframoxid stehen im Mittelpunkt seiner High-Tech-Anwendungen

5.8.1 Lichtabsorption und photokatalytische Eigenschaften von Wolframoxid

Die Lichtabsorption und die photokatalytischen Eigenschaften von Wolframoxid sind wichtige Manifestationen seiner optischen Eigenschaften, die direkt seine Effizienz bei der Photolyse von Wasser, den Schadstoffabbau und die Nutzung der Sonnenenergie bestimmen. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) konzentriert sich sein Lichtabsorptionsbereich hauptsächlich im ultravioletten Licht und in einigen Bereichen des sichtbaren Lichts, und die Energiebandlücke beträgt 2,5-2,8 eV, was es zu einem effektiven photokatalytischen Material macht.

Die Wolframoxid-Lichtabsorptionskante der monoklinen Kristallform beträgt etwa 400-500 nm, und aufgrund der asymmetrischen Anordnung des WO_6 -Oktaeders gehen die Elektronen vom $O2p$ -Orbital zum $W5d$ -Orbital über, um photogenerierte Elektron-Loch-Paare zu erzeugen. Diese Eigenschaft macht es hocheffizient beim Abbau von organischen Farbstoffen wie Methylenblau unter UV-Licht. Aufgrund des Nanoeffekts und der Kanalstruktur weist das hexagonale Wolframoxid einen etwas breiteren Lichtabsorptionsbereich (bis 550 nm) und eine stärkere photokatalytische Aktivität auf, insbesondere in Form von Nanostäbchen oder Nanoblumen, mit einer höheren spezifischen Oberfläche und aktiveren Stellen. Die Lichtabsorption von blauem Wolframoxid und violetterem Wolframoxid mit mehr Sauerstoffleerstellen erstreckt sich bis in den nahen Infrarotbereich, und die Photoreaktivität wird durch das Defektenergieniveau verstärkt.

Die photokatalytischen Eigenschaften von Wolframoxid werden auch durch Morphologie und Defekte beeinflusst. Aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche und seines kurzen Trägerdiffusionswegs hat nanoskaliges Wolframoxid eine höhere Effizienz bei der photogenerierten Elektronen-Loch-Trennung, und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

seine photokatalytische Leistung ist besser als die von Schüttgütern. Die Sauerstofflücke wird als Elektronenfalle genutzt, um die Lebensdauer des Trägers zu verlängern und den katalytischen Wirkungsgrad weiter zu verbessern. Bei der Herstellung von Wasserstoff aus der Photolyse von Wasser kann beispielsweise die Wasserstoffproduktionsrate von hexagonalem Wolframoxid Dutzende $\mu\text{mol/h}\cdot\text{g}$ erreichen. Industriell, Calciumwolfram In Kombination mit Wolframoxid optimiert es die Lichtabsorption und die katalytische Leistung weiter.

5.8.2 Photochrome Eigenschaften von Wolframoxid

Die photochromen Eigenschaften von Wolframoxid beziehen sich auf seine Fähigkeit, seine Farbe unter Licht reversibel zu ändern, was eine einzigartige Manifestation seiner optischen Eigenschaften ist. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) ergeben sich seine photochromen Eigenschaften aus dem lichtinduzierten Elektronentransfer und der Bildung von Sauerstoffleerstellen, was es zu einer potenziellen Anwendung in intelligenten Glas- und Anzeigegeräten macht.

Monokline Wolframoxid wechselt unter ultraviolettem Licht von gelb zu blau oder grau, und Sauerstofflücken entstehen durch die Reaktion von photoerzeugten Elektronen mit Gittersauerstoff, und Wolfram wird von W^{6+} auf W^{5+} reduziert. An diesem Verfärbungsprozess sind typischerweise Wasser oder eine Protonenquelle (z. B. oberflächenadsorbiertes H_2O) an der folgenden Reaktion beteiligt: $\text{WO}_3 + h\nu \rightarrow \text{WO}_{3-x} + x/2 \text{O}_2$. Nanoskaliges Wolframoxid hat stärkere photochrome Eigenschaften, da die hohe spezifische Oberfläche die Oberflächenreaktion beschleunigt und die Farbwechselzeit auf wenige Sekunden verkürzt werden kann. Aufgrund der Kanalstruktur ist die Verfärbungseffizienz von hexagonalem Wolframoxid etwas höher, die Stabilität jedoch etwas schlechter.

Die photochromen Eigenschaften von Wolframoxid werden auch durch Sauerstoffleerstellen und Topographie beeinflusst. Die anfänglichen Sauerstofflücken von blauem und violetter Wolframoxid verleihen ihnen eine niedrigere photochrome Schwelle und können sich bei niedrigeren Lichtintensitäten verfärben. Wolframoxid in Form von dünnen Schichten wird aufgrund seiner kontrollierbaren Dicke und der einfacheren Einstellung von Farbtiefe und -geschwindigkeit häufig in optischen Geräten verwendet. Im Vergleich zur Elektrochromie ist die Photochromie weniger reversibel, und eine langfristige Beleuchtung kann zu irreversiblen Strukturveränderungen führen. In der Praxis ist Wolframoxid aufgrund seiner photochromen Eigenschaften vielversprechend für lichtgesteuerte Fenster und Sensoren. CTIA GROUP LTD verbessert die farbverändernden Eigenschaften von Wolframoxid in Wolframchemikalien durch Optimierung der Nanostruktur. Die photochromen Eigenschaften von Wolframoxid sind ein einzigartiger Vorteil für seine optischen Anwendungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.9 Elektrische Eigenschaften von Wolframoxid

Die elektrischen Eigenschaften von Wolframoxid sind die Kerneigenschaften von Wolframoxid in elektronischen Geräten, Sensoren und elektrochromen Anwendungen und stehen in engem Zusammenhang mit seiner Kristallstruktur, seiner elektronischen Struktur und seinem Defektzustand. Am Beispiel von Wolframtrioxid sind seine elektrischen Eigenschaften typisch für das Verhalten von Halbleitern, und die Leitfähigkeit und Ladungsträgerbeweglichkeit werden durch die Kristallform und die Umgebungsbedingungen beeinflusst, was auf Diversität und Abstimmbarkeit hinweist.

Als n-Typ-Halbleiter liegt die Leitfähigkeit von Wolframtrioxid in Abhängigkeit von Temperatur, Sauerstoffvakanz und Dotierung in der Regel im Bereich von 10^{-7} – 10^{-3} S/cm. In der monoklinen Kristallform werden die Elektronen des Wolframoxids hauptsächlich aus dem Defektzustand der Sauerstoffvakanz, und W^{6+} wird teilweise zu W^{5+} reduziert, wodurch zusätzliche Elektronenträger bereitgestellt werden. Diese Eigenschaft macht es hervorragend in Gassensoren geeignet, z.B. kann die Reaktion auf NO_2 oder H_2S die Leitfähigkeit erheblich verändern. Aufgrund der Kanalstruktur weist das hexagonale Wolframoxid eine höhere Elektronenbeweglichkeit und Leitfähigkeit von bis zu 10^{-2} S/cm auf, was für hochempfindliche Anwendungen geeignet ist.

Die elektrischen Eigenschaften von Wolframoxid haben auch elektrochrome Eigenschaften. Unter der Einwirkung eines elektrischen Feldes werden Ionen (wie z.B. Li^+ oder H^+) in das Kristallgitter eingebettet, und mit der Elektronenimplantation steigt die Leitfähigkeit deutlich an. In intelligentem Glas wechselt beispielsweise Wolframtrioxid von einem isolierenden Zustand in einen leitenden Zustand und eine Farbe wechselt von gelb zu blau. Diese dynamische Veränderung ergibt sich aus der Abstimmbarkeit der elektronischen Struktur, die sie in elektrochemischen Geräten weit verbreitet macht. Nanoskaliges Wolframoxid hat bessere elektrische Eigenschaften und wird aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche und seines kurzen Trägerwegs häufig bei der Funktionalisierung von Wolframchemikalien verwendet, um die Effizienz des Elektronentransports zu verbessern.

In der Praxis haben die elektrischen Eigenschaften von Wolframoxid im Bereich der Elektronik viel Aufmerksamkeit erregt. So eignen sich beispielsweise blaues Wolframoxid und violettes Wolframoxid aufgrund ihrer höheren Leitfähigkeit aufgrund von mehr Sauerstoffleerstellen für Elektrodenmaterialien. Die elektrischen Eigenschaften von Wolframoxid sind die Grundlage für seine High-Tech-Anwendungen und spiegeln die Flexibilität seiner Halbleitereigenschaften wider.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.9.1 Halbleitereigenschaften von Wolframoxid

Die halbleitenden Eigenschaften von Wolframoxid sind für seine elektrischen Eigenschaften von zentraler Bedeutung, was es in Sensoren, Solarzellen und optoelektronischen Geräten wichtig macht. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) als n-Halbleiter mit großer Bandlücke beträgt die Energiebandlücke 2,5–2,8 eV, und die elektronische Leitfähigkeit wird von den Ladungsträgern abgeleitet, die durch Sauerstoffleerstellen oder Dotierung eingeführt werden.

Monoklines Wolframoxid ist die häufigste Form von Halbleitern, und sein Leitungsband besteht aus W 5d-Orbitalen und das Valenzband wird von O2p-Orbitalen dominiert. Sauerstoffleerstellen, als Donordefekte, geben freie Elektronen ab, um ihre Leitfähigkeit zwischen 10^{-7} – 10^{-4} S/cm zu erreichen. Diese Eigenschaft macht es empfindlich gegenüber oxidierenden Gasen wie NO_2 , die Elektronen adsorbieren und einfangen und so die Leitfähigkeit verringern. Aufgrund der Kanalstruktur weist das hexagonale Wolframoxid eine höhere Elektronenbeweglichkeit und Leitfähigkeit von 10^{-3} – 10^{-2} S/cm auf, was für hochempfindliche Sensoren geeignet ist. Wolframdioxid (WO_2) kommt einem Metallleiter nahe und hat eine höhere elektrische Leitfähigkeit, aber schwächere Halbleitereigenschaften.

Die Halbleitereigenschaften von Wolframoxid werden auch von der Temperatur und der Topographie beeinflusst. Bei Raumtemperatur ist seine Leitfähigkeit gering, und mit steigender Temperatur (auf 200–400 ° C) nehmen die thermisch angeregten Elektronen zu und die Leitfähigkeit nimmt deutlich zu. Nanoskaliges Wolframoxid (z. B. Nanodrähte oder Nanoblätter) kann aufgrund von Quanteneffekten und Oberflächenzuständen, höheren Ladungsträgerkonzentrationen und besserer Halbleiterleistung eine etwas kleinere Bandlücke (2,4–2,7 eV) aufweisen. In [Sensoren auf Wolframpulverbasis](#) kann Nanowolframoxid beispielsweise CO Dutzende Mal empfindlicher nachweisen als Schüttgüter. In der Praxis eignet sich Wolframoxid aufgrund seiner halbleitenden Eigenschaften hervorragend für die Gasdetektion und photoelektrische Umwandlung. CTIA GROUP LTD optimiert die Leitfähigkeit und Reaktionsfähigkeit von Wolframoxid durch Dotierung (z. B. Natriumwolframat) oder durch Manipulation von Sauerstoffleerstellen, um den Anforderungen des Wolframmarktes gerecht zu werden. Die halbleitenden Eigenschaften von Wolframoxid sind die Grundlage für seine elektrischen Anwendungen und spiegeln die Vielfalt seiner elektronischen Struktur wider.

5.9.2 Elektrochrome Eigenschaften von Wolframoxid

Die elektrochromen Eigenschaften von Wolframoxid beziehen sich auf seine Fähigkeit, seine Farbe unter Einwirkung eines elektrischen Feldes reversibel zu ändern, was eine einzigartige Manifestation seiner elektrischen Eigenschaften

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ist. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) sind seine elektrochromen Eigenschaften auf die Veränderungen der elektronischen Struktur zurückzuführen, die durch Ioneninterkalation und Elektronenimplantation verursacht werden, wodurch es in intelligenten Glas- und Anzeigegegeräten weit verbreitet ist.

Monoklines Wolframoxid ist ein typisches Material für Elektrochromie. Wenn eine Spannung (z. B. 1-3 V) angelegt wird, werden kleine Ionen (z. B. Li^+ oder H^+) in den Oktaederraum zwischen WO_6 eingebettet, und Elektronen werden in das Kristallgitter injiziert, und Wolfram wird von W^{6+} auf W^{5+} reduziert, wodurch Sauerstofflücken entstehen. Die Reaktion ist: $WO_3 + xLi^+ + xe^- \rightarrow Li_xWO_3$. Durch diese Änderung ändert sich Wolframoxid von gelb zu blau oder grau, und die Durchlässigkeit sinkt von 80 % auf weniger als 10 %. Nachdem die Ionen abgelöst wurden, erholt sich die Farbe reversibel, was ihre elektrische Einstellbarkeit widerspiegelt. Nanoskaliges Wolframoxid hat stärkere elektrochrome Eigenschaften, da der kurze Diffusionsweg die Ioneninterkalation beschleunigt und die Verfärbungszeit auf wenige Sekunden reduziert werden kann.

Die elektrochromen Eigenschaften von Wolframoxid werden auch durch die Kristallform und die Defekte beeinflusst. Aufgrund der Kanalstruktur weist das hexagonale Wolframoxid eine schnellere Ionendiffusion und eine höhere Verfärbungseffizienz auf, die Zyklenstabilität ist jedoch etwas schlechter. Die anfänglichen Sauerstofflücken von blauem und violetter Wolframoxid sorgen dafür, dass sie eine niedrigere Verfärbungsschwelle und eine schnellere Reaktion aufweisen. Wolframoxid in Form eines dünnen Films wird aufgrund seiner kontrollierbaren Dicke, der einfachen Einstellung der Farbtiefe und -geschwindigkeit häufig in optischen Geräten verwendet. Im Vergleich zur Photochromie ist die Elektrochromie besser kontrollierbar und reversibel.

In der Praxis ist Wolframoxid aufgrund seiner elektrochromen Eigenschaften in energieeffizienten Gebäuden und in der Displaytechnik sehr begehrt. Zum Beispiel werden Elektroden auf Wolfram-Kupfer-Basis mit Wolframoxid compoundiert, um die Leitfähigkeit und die Farbwechseleigenschaften zu verbessern. Die elektrochromen Eigenschaften von Wolframoxid sind fortschrittliche Anwendungen seiner elektrischen Eigenschaften, die seine Vielseitigkeit demonstrieren.

5.10 Thermische Eigenschaften von Wolframoxid

Die thermischen Eigenschaften von Wolframoxid sind seine Schlüsseleigenschaften in Hochtemperaturumgebungen, die seine Eignung für feuerfeste Materialien, thermoelektrische Geräte und Hochtemperaturprozesse bestimmen. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3), einer häufigen Form von Wolframoxid, gehören zu seinen thermischen Eigenschaften die thermische Stabilität, die Wärmeausdehnungseigenschaften und die Wärmeleitfähigkeit, die eng mit der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kristallstruktur und der chemischen Zusammensetzung zusammenhängen.

Die thermischen Eigenschaften von Wolframtrioxid zeichnen sich durch eine hohe thermische Stabilität aus, mit einem Schmelzpunkt von etwa 1473 ° C, und die Kristallstruktur bleibt unterhalb von 1000 ° C intakt. Diese Eigenschaft ermöglicht es ihm, seine Funktion auch bei hohen Temperaturen beizubehalten, z. als stabiles Vorprodukt in der Wolframproduktion. Wolframoxid hat einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten (ca. $6-8 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) und eine gute Dimensionsstabilität, die für Präzisionsgeräte geeignet ist. In Bezug auf die Wärmeleitfähigkeit hat Wolframoxid aufgrund seiner begrenzten Wärmeübertragungseffizienz durch Gittervibrationen eine geringe Wärmeleitfähigkeit, ist jedoch ausreichend, um einige Anforderungen an das Wärmemanagement zu erfüllen.

Die thermischen Eigenschaften von Wolframoxid variieren je nach Kristallform und Morphologie. Die monokline Form weist die beste thermische Stabilität von Wolframoxid auf, während die hexagonale Form der Nanostruktur aufgrund ihrer hohen Oberflächenenergie eine etwas geringere thermische Stabilität aufweist. Blaues Wolframoxid und violette Wolframoxid neigen bei hohen Temperaturen zum Sauerstoffverlust, und ihre thermischen Eigenschaften sind denen von Wolframtrioxid etwas unterlegen. Nanoskaliges Wolframoxid hat aufgrund der verbesserten Korngrenzstreuung eine geringere Wärmeleitfähigkeit (ca. 0,5-2 W/m • K), hat aber Vorteile bei der leichten Wärmedämmung.

In der Praxis eignet sich Wolframoxid aufgrund seiner thermischen Eigenschaften hervorragend im Bereich hoher Temperaturen. Zum Beispiel wird Ferro-Wolfram-Wolframoxid zugesetzt, um die Hitzebeständigkeit zu verbessern. CTIA GROUP LTD OPTIMIERT DIE THERMISCHEN EIGENSCHAFTEN VON WOLFRAMOXID IM WOLFRAMPREIS DURCH MANIPULATION DER KRISTALLSTRUKTUR. Die thermischen Eigenschaften von Wolframoxid sind der Eckpfeiler seiner Hochtemperaturanwendungen.

5.10.1 Thermische Stabilität von Wolframoxid

Die thermische Stabilität von Wolframoxid ist von zentraler Bedeutung für seine thermischen Eigenschaften und spiegelt seine Fähigkeit wider, Struktur und Funktion bei hohen Temperaturen beizubehalten. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) hat es eine hohe thermische Stabilität, einen Schmelzpunkt von 1473 ° C und keine signifikante Zersetzung oder Phasenumwandlung unter 1000 ° C, was es für feuerfeste Materialien und die Hochtemperaturkatalyse von großem Wert macht.

Monokline Wolframoxid ist die thermisch stabilste Form, und sein WO_6 -Oktaedernetzwerk bleibt bis etwa 1200 ° C stabil, mit nur Kristallübergängen (z. B. zu orthogonalen oder hexagonalen Kristallformen). Das durch Kalzinierung von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ammoniumparawolframat gewonnene gelbe Wolframoxid kann hohen Temperaturen über 1000 ° C an der Luft standhalten und beginnt sich bei 700–900 ° C in Wasserstoff in blaues Wolframoxid oder violettes Wolframoxid und schließlich in Wolframmetall zu zersetzen. Wolframdioxid (WO₂) ist in einer inerten Atmosphäre bis zu 1500 ° C thermisch stabil.

Die thermische Stabilität von Wolframoxid wird durch die Topographie beeinflusst. Aufgrund seiner dichten Struktur hat Wolframoxid eine bessere thermische Stabilität als nanoskaliges Wolframoxid. Aufgrund der hohen Oberflächenenergie von Nanopartikeln kann es bei 600–800° C zu einer Verschmelzung oder Zersetzung von Körnern kommen. Wolframoxid mit mehr Sauerstoffleerstellen ist bei hohen Temperaturen anfälliger für Sauerstoffverluste und seine thermische Stabilität nimmt ab. Die thermische Stabilität von Wolframoxid ist der Schlüssel zu seinen Hochtemperaturanwendungen, was sich direkt auf seine Zuverlässigkeit in rauen Umgebungen auswirkt.

5.10.2 Wärmeausdehnungseigenschaften von Wolframoxid

Die Wärmeausdehnungseigenschaften von Wolframoxid sind ein wichtiger Aspekt seiner thermischen Eigenschaften und spiegeln seine Dimensionsstabilität bei Temperaturänderungen wider. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO₃) liegt sein Wärmeausdehnungskoeffizient zwischen $6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, einem Material mit geringer Ausdehnung, das sich hervorragend für Hochtemperaturgeräte eignet.

Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframoxid in monoklinen Formen variiert aufgrund der Asymmetrie der Kristallachse leicht, z. B. etwa $8 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ entlang der c-Achse und etwas niedriger entlang der a- und b-Achse ($6-7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$). Diese geringe Ausdehnung ist auf die starke Bindung des WO₆-Oktaeders zurückzuführen, die die thermische Schwingung des Kristallgitters begrenzt. Wolframoxid, das mit Wolframsäure hergestellt wird, hat eine stabile Wärmeausdehnung und eignet sich für Präzisionsteile. Wolframdioxid (WO₂) hat einen etwas niedrigeren Wärmeausdehnungskoeffizienten ($5-7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), während blaues und violettes Wolframoxid etwas höhere Sauerstofflücken aufweisen.

Die Wärmeausdehnungseigenschaften von Wolframoxid werden durch die Topographie beeinflusst. Die Ausdehnung von Wolframoxid ist gleichmäßig, während der Wärmeausdehnungskoeffizient von nanoskaligem Wolframoxid aufgrund des Korngrenzeffekts um 10–20% ansteigen kann und leicht zu verformen ist. In der Praxis ermöglicht die geringe Wärmeausdehnung von Wolframoxid die Reduzierung der thermischen Spannungsrissbildung in Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen. Die Wärmeausdehnung von Wolframoxid ist eine wichtige Ergänzung zu seinen thermischen Eigenschaften, die seine Stabilität in der Umgebung von Temperaturänderungen gewährleistet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.11 Gasempfindlichkeit von Wolframoxid

Die Gasempfindlichkeit von Wolframoxid bezieht sich auf seine Fähigkeit, seine elektrischen Eigenschaften in einer bestimmten Gasumgebung zu ändern, was ein wesentliches Merkmal seiner Anwendung im Bereich der Gassensoren ist. Zum Beispiel ist Wolframtrioxid (WO_3), eine häufige Form von Wolframoxid, ein n-Typ-Halbleiter mit hoher Empfindlichkeit gegenüber oxidierenden Gasen (z. B. NO_2) und reduzierenden Gasen (z. B. H_2S), was auf seine Oberflächenadsorptions- und Elektronentransfermechanismen zurückzuführen ist. Die Gasempfindlichkeit von Wolframtrioxid hängt hauptsächlich von seiner Kristallstruktur und seinen Oberflächeneigenschaften ab. Durch die asymmetrische Anordnung des WO_6 -Oktaeders aus monoklinschwerem Wolframoxid befindet sich auf der Oberfläche eine Vielzahl von koordinationsungesättigten Wolfram- und Sauerstoffatomen, die Gasmoleküle effektiv adsorbieren können. In der NO_2 -Umgebung fängt Wolframoxid beispielsweise Elektronen auf der Oberfläche ein, die Leitfähigkeit nimmt ab und die Empfindlichkeit kann das Zehnfache erreichen. Hexagonales Wolframoxid ist aufgrund seiner Kanalstruktur und der höheren spezifischen Oberfläche, insbesondere in Form von Nanostäbchen oder Nanoblättern, gasempfindlicher und reagiert schneller auf niedrige Konzentrationen von Gasen (z. B. CO im ppm-Bereich). [Blaues Wolframoxid](#) und [Purpurwolframoxid](#), die mehr Sauerstoffleerstellen aufweisen, verbessern ihre Gasempfindlichkeit aufgrund der Zunahme der oberflächenaktiven Zentren weiter.

Die Gasempfindlichkeit von Wolframoxid wird durch Temperatur und Topographie beeinflusst. Bei einer Betriebstemperatur von 200–400 °C hat es die beste Gasempfindlichkeit, da die thermische Anregung die Gasadsorption und den Elektronentransfer verbessert. Aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche und seines kurzen Trägerwegs hat nanoskaliges Wolframoxid eine kürzere Reaktionszeit auf ein Gas von Sekunden und eine schnellere Erholungszeit. In [Sensoren auf Wolframpulverbasis](#) kann Nanowolframoxid beispielsweise H_2 mit einer Empfindlichkeit von mehr als 100 nachweisen. Im Gegensatz dazu ist Wolframoxid weniger gasempfindlich und reagiert aufgrund weniger aktiver Stellen langsamer. In der Praxis eignet sich Wolframoxid aufgrund seiner Gasempfindlichkeit hervorragend für die Umweltüberwachung und den Arbeitsschutz. So wird beispielsweise [Wolframkupfer](#) mit Wolframoxid compoundingiert, um die elektrische Leitfähigkeit zu verbessern und die Sensorleistung weiter zu optimieren. Die Gasempfindlichkeit von Wolframoxid ist eine Erweiterung seiner elektrischen Eigenschaften, was seinen praktischen Wert in der Gasetektion widerspiegelt.

5.12 Redoxreaktion von Wolframoxid

Die Redoxreaktion von Wolframoxid ist eine wichtige Ausprägung seiner chemischen

[COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)

Eigenschaften und spiegelt seine Umwandlungsfähigkeit zwischen verschiedenen Oxidationsstufen wider. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) kann es als hochoxidative Verbindung auf eine niedrige Oxidationsstufe (wie WO_2) oder Wolframmetall reduziert werden und kann auch andere Substanzen oxidieren, was seine Grundreaktion in der Metallurgie und Katalyse ist.

Bei der Reduktionsreaktion zeigt Wolframtrioxid in einer Wasserstoffatmosphäre eine signifikante Redoxaktivität. Bei 700–900 ° C verliert Wolframtrioxid beispielsweise allmählich Sauerstoff und bildet blaues Wolframoxid (WO_2), purpurfarbenedes Wolframoxid, das schließlich bei 1000–1200 ° C in Wolframmetall umgewandelt wird, und die Reaktion ist: $WO_3 + 3H_2 \rightarrow W + 3H_2O$. Dieser schrittweise Reduktionsprozess ist der Kernschritt in der industriellen Herstellung von Wolframfilamenten, und die Zunahme der Sauerstoffleerstellen geht einher mit einer Veränderung der Kristallstruktur von monokline zu einer lockeren Morphologie. Die Reduktionsrate hängt eng mit der Temperatur und der Wasserstoffkonzentration zusammen, und hohe Temperaturen beschleunigen die Reaktion, können aber eine Partikelagglomeration verursachen.

Wolframoxid kann auch als Oxidationsmittel an der Reaktion beteiligt sein. So kann z.B. Wolframdioxid (WO_2) bei Erhitzung auf 500–700° C in Sauerstoff oder Luft mit der folgenden Reaktion zu Wolframtrioxid oxidiert werden: $2WO_2 + O_2 \rightarrow 2WO_3$. Diese Oxidationsreaktion wird häufig als Zwischenschritt bei der Wolframherstellung eingesetzt. Aufgrund der großen Oberfläche hat nanoskaliges Wolframoxid eine schnellere Reduktions- und Oxidationsreaktionsgeschwindigkeit, die Stabilität ist jedoch etwas schlechter. Sauerstoffleerstellen spielen eine Schlüsselrolle bei Redoxreaktionen, so wird z.B. blaues Wolframoxid aufgrund defekter Zustände leichter reduziert.

In der Praxis wird die Redoxreaktion von Wolframoxid häufig in der Wolframmetallurgie und bei der Katalysatorregeneration eingesetzt. CTIA GROUP LTD verbessert die Umwandlungseffizienz von Wolframoxid auf dem Wolframmarkt durch Optimierung der Reduktionsbedingungen wie Atmosphäre und Temperatur. Die Redoxreaktion von Wolframoxid ist das Herzstück seiner chemischen Aktivität und zeigt seine Vielseitigkeit in der Industrie.

5.13 Säure-Base-Reaktion von Wolframoxid

Die Säure-Base-Reaktion von Wolframoxid ist ein wichtiger Aspekt seiner chemischen Eigenschaften und spiegelt die Eigenschaften seiner amphoteren Oxide wider, die mit Säuren oder Basen reagieren können, um entsprechende Wolframverbindungen zu bilden. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) spielt es aufgrund seiner Säure-Base-Reaktionsfähigkeit eine wichtige Rolle in der Hydrometallurgie und der chemischen Wolframaufbereitung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Unter sauren Bedingungen ist Wolframtrioxid nur begrenzt reaktiv, da es in Wasser nahezu unlöslich ist. In verdünnten Säuren wie HCl oder H₂SO₄ weist Wolframtrioxid eine sehr geringe Löslichkeit auf und Spuren von Wolframsäure können sich nur an der Oberfläche bilden. In konzentrierten Säuren (z. B. HNO₃) kann Wolframtrioxid jedoch langsam zu Wolframsäure in den folgenden Reaktionen reagieren: $WO_3 + H_2O \rightarrow H_2WO_4$. Diese Reaktion wird bei der Raffination von Wolframit oder Scheelit genutzt, um Wolframoxid durch Säurelaugung in lösliche Verbindungen umzuwandeln. Wolframdioxid (WO₂) ist in Säuren etwas reaktiver, da es aufgrund seiner niedrigen Oxidationszustandsstruktur besser löslich ist.

Unter alkalischen Bedingungen weist Wolframoxid eine höhere Reaktivität auf. Wolframtrioxid reagiert mit einer starken Base (z. B. NaOH) zu Natriumwolframat, und die Reaktion ist: $WO_3 + 2NaOH \rightarrow Na_2WO_4 + H_2O$. In einer konzentrierten alkalischen Lösung bei 80 °C ist die Reaktion schnell abgeschlossen, um wasserlösliches Wolframat zu erzeugen. Diese Eigenschaft ist ein grundlegender Schritt in der industriellen Herstellung von Ammoniumparawolframat. Aufgrund der großen Oberfläche von nanoskaligem Wolframoxid ist die alkalische Reaktionsgeschwindigkeit schneller, kann aber von lokalen strukturellen Schäden begleitet sein. Blaues Wolframoxid und violette Wolframoxid sind in der Alkalireaktivität ähnlich, lösen sich aber aufgrund von mehr Sauerstofflücken gründlicher auf.

In der Praxis wird die Säure-Base-Reaktion von Wolframoxid bei der Extraktion und Reinigung von Wolfram eingesetzt. Die Säure-Base-Reaktion von Wolframoxid spiegelt seine amphoteren Eigenschaften und seine chemische Flexibilität wider, was der Schlüssel zu seiner Nassverarbeitung ist.

5.14 Katalytische Eigenschaften von Wolframoxid

Die katalytische Leistung von Wolframoxid ist eine hohe Verkörperung seiner chemischen Eigenschaften, was es in den Bereichen Photokatalyse, thermische Katalyse und Elektrokatalyse weit verbreitet macht. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO₃), einer häufigen Form von Wolframoxid, beruht seine katalytische Leistung auf seinen halbleitenden Eigenschaften, seiner großen Oberfläche und seinen oberflächenaktiven Stellen, die seine Kernvorteile im Bereich Umweltschutz und Energie sind.

Wolframtrioxid hat eine hervorragende photokatalytische Leistung, da seine Bandlücke (2,5–2,8 eV) für die Absorption von ultravioletterem Licht und etwas sichtbarem Licht geeignet ist. Bei Licht erzeugt Wolframoxid photogenerierte Elektron-Loch-Paare, die Wasser zersetzen oder organische Schadstoffe abbauen. Zum Beispiel kann monoklines Wolframoxid Methylenblau mit einem Wirkungsgrad von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mehr als 90 % unter ultraviolettem Licht zersetzen. Hexagonales Wolframoxid Nanowolframoxid hat aufgrund seiner Kanalstruktur und seiner hohen spezifischen Oberfläche eine höhere katalytische Aktivität und wird häufig zur Wasserstofferzeugung durch Photolyse von Wasser verwendet. Blaues Wolframoxid und violette Wolframoxid haben eine stärkere photokatalytische Leistung aufgrund der verlängerten Lichtabsorption im nahen Infrarotbereich aufgrund von Sauerstoffleerstellen.

Die thermokatalytischen Eigenschaften von Wolframoxid sind bei Hochtemperaturreaktionen hervorragend. Bei 500–700 °C katalysiert Wolframtrioxid beispielsweise die Oxidation oder Dehydrierung von Kohlenwasserstoffen aufgrund der starken oxidierenden Eigenschaften von Sauerstoffatomen auf seiner Oberfläche. Aufgrund der großen Anzahl aktiver Zentren und des höheren thermischen katalytischen Wirkungsgrads wird nanoskaliges Wolframoxid häufig mit Calciumwolframat kombiniert, um die Stabilität zu verbessern. Im Bereich der Elektrokatalyse wird Wolframoxid als Katalysator für Sauerstoffentwicklungsreaktionen (OER) eingesetzt und schneidet aufgrund seiner hohen Leitfähigkeit und Stabilität in alkalischen Elektrolyten gut ab.

In der Praxis hat die katalytische Leistung von Wolframoxid bei der Kontrolle der Umweltverschmutzung und der neuen Energie viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen. So nutzen beispielsweise Katalysatoren auf Wolfram-Kunststoff-Basis ihre hohe Aktivität, um VOCs zu zersetzen. CTIA GROUP LTD optimiert die katalytische Leistung von Wolframoxid im Wolframpreis durch Manipulation der Kristallstruktur und -morphologie. Die katalytischen Eigenschaften von Wolframoxid sind eine konzentrierte Reflexion der chemischen Eigenschaften von Wolframoxid und demonstrieren sein Potenzial in der modernen Technologie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD WO_{2.72}

Kapitel 6 Herstellungsverfahren für Wolframoxid

6.1 Traditionelle Herstellungsmethoden von Wolframoxid

Die traditionelle Herstellungsmethode von Wolframoxid ist ein gängiges technisches Mittel in Industrie und Labor, das darauf abzielt, Wolframoxid mit spezifischen Eigenschaften durch ein einfaches und effizientes Verfahren herzustellen. Am Beispiel von Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) umfassen die traditionellen Herstellungsmethoden die Hochtemperatur-Festphasenreaktionsmethode, die Sol-Gel-Methode und die hydrothermale Methode usw., die ihre eigenen Eigenschaften haben und für verschiedene Anwendungsszenarien geeignet sind, wie z. B. die Herstellung von Wolframpulver, die Herstellung von Photokatalysatoren usw.

Das Hochtemperatur-Festphasenreaktionsverfahren ist das gebräuchlichste traditionelle Verfahren in der Industrie, bei dem in der Regel Ammoniumparawolframat oder Wolframsäure als Rohstoff verwendet und bei hoher Temperatur kalziniert und zersetzt wird, um Wolframoxid herzustellen. Dieses Verfahren ist einfach und hat eine hohe Ausbeute, die für die großtechnische Produktion von Wolframmetall-Vorläufermaterialien geeignet ist, aber die Produktpartikel sind groß (Mikrometer) und haben eine geringe spezifische Oberfläche. Das Sol-Gel-Verfahren bereitet Wolframoxid durch chemische Lösungsreaktion vor, und das Rohmaterial ist hauptsächlich Natriumwolframat oder Wolframaloxid, und das Produkt wird durch Wärmebehandlung nach der Solisierung und Gelierung erhalten. Dieses Verfahren kann nanoskaliges Wolframoxid mit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

gleichmäßigen Partikeln herstellen, was für hochpräzise Anwendungen geeignet ist, aber der Prozess ist komplex und die Kosten sind hoch.

Das hydrothermale Verfahren ist ein weiteres traditionelles Herstellungsverfahren, bei dem eine wässrige Hochtemperatur- und Hochdrucklösungsumgebung verwendet wird, um Wolframoxid in einem Reaktionskessel unter Verwendung von Ammoniummetawolframat oder Wolframat als Rohstoff zu synthetisieren. Mit diesem Verfahren kann Wolframoxid mit speziellen Morphologien wie Nanostäbchen und Nanoblättern erzeugt werden, und die Kristallform ist kontrollierbar (z. B. hexagonale oder monokline Kristallform), die in Photokatalysatoren und Sensormaterialien weit verbreitet ist. Das hydrothermale Verfahren hat die Vorteile einer hohen Reinheit und Morphologiekontrolle, aber die Reaktionszeit ist länger und die Anforderungen an die Ausrüstung sind höher.

In der Praxis hängt die Wahl der traditionellen Zubereitungsmethoden von der Art und Verwendung des Zielprodukts ab. Laboratorien bevorzugen Sol-Gel- und hydrothermale Methoden, um Hochleistungs-Wolframprodukte herzustellen. Die traditionelle Herstellungsmethode von Wolframoxid hat den Grundstein für seine Industrialisierung und Funktionalisierung gelegt, und jede hat ihre eigenen Vor- und Nachteile.

6.1.1 Das traditionelle Herstellungsverfahren von Wolframoxid – Hochtemperatur-Festphasenreaktionsverfahren

Das Hochtemperatur-Festphasenreaktionsverfahren ist eines der traditionellsten und am weitesten verbreiteten Verfahren zur Herstellung von Wolframoxid, das für sein einfaches Verfahren, seine geringen Kosten und seine hohe Ausbeute bekannt ist. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) wird dieses Verfahren häufig bei der industriellen Herstellung von Wolframdraht und Wolframmetallvorläufern eingesetzt, indem wolframhaltige Rohstoffe bei hohen Temperaturen kalziniert werden, um sie zu Wolframoxid zu zersetzen oder zu oxidieren.

Typische Ausgangsstoffe für dieses Verfahren sind Ammoniumparawolframat (APT) und Wolframsäure. Am Beispiel von Ammoniumparawolframat wird es bei 500–700 ° C an der Luft kalziniert und in Wolframtrioxid zersetzt, und die Reaktion ist: $(NH_4)_{10}(H_2W_{12}O_{42}) \cdot 4H_2O \rightarrow 12WO_3 + 10NH_3 + 7H_2O$. Das resultierende Wolframoxid hat meist eine monokline Kristallform mit einer Partikelgröße zwischen 1 und 10 μm und ist gelb (d. h. gelbes Wolframoxid). Wenn es in einer wasserstoffreduzierenden Atmosphäre kalziniert wird, kann blaues Wolframoxid (WO_2 .) kann erzeugt werden) oder violettes Wolframoxid, der Sauerstofffehlstellengehalt variiert mit der Temperatur und der Atmosphäre (siehe Wolframforschung). Wolframsäure wird bei 600–800 ° C direkt in Wolframoxid zersetzt, und die Reaktion ist: $H_2WO_4 \rightarrow WO_3 + H_2O$, das Produkt ist von hoher

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Reinheit, aber die Partikel sind grob.

Der Vorteil des Hochtemperatur-Festphasenreaktionsverfahrens besteht darin, dass die Ausrüstung einfach ist (z. B. Muffelofen ist ausreichend), was für die Großproduktion geeignet ist. Kalzinationstemperatur und Haltezeit sind Schlüsselparameter, z. B. kann Wolframoxid mit hoher Kristallinität durch Halten bei 600 ° C für 2 Stunden erhalten werden, während über 800 ° C ein übermäßiges Kornwachstum auftreten kann. Die Atmosphärenkontrolle ist ebenfalls von entscheidender Bedeutung, wobei oxidierende Atmosphären (z. B. Luft) Wolframtrioxid erzeugen und reduzierende Atmosphären (z. B. H₂/N₂-Gemische) ganzzahliges Wolframoxid erzeugen. Diese Methode wird häufig bei der Verarbeitung von Wolframverbindungen verwendet, die aus Wolframit oder Scheelit gewonnen werden.

Die Einschränkungen dieses Verfahrens bestehen jedoch darin, dass das Produkt eine große Partikelgröße und eine geringe spezifische Oberfläche (typischerweise < 10 m²/g) aufweist, wodurch es für Anwendungen, die eine hohe Aktivität erfordern, wie z. B. Photokatalysatoren, ungeeignet ist. CTIA GROUP LTD verbessert die Qualität von Wolframoxid in Wolframunternehmen durch Optimierung der Kalzinierungsbedingungen wie z. B. des Temperaturanstiegs im Gradienten. Die Hochtemperatur-Festphasenreaktionsmethode ist der Eckpfeiler der industriellen Wolframoxid-Präparation, die einfach und effizient ist, aber nur eine begrenzte Morphologiekontrolle bietet.

6.1.2 Traditionelles Herstellungsverfahren des Wolframoxid-Sol-Gel-Verfahrens/Sol-Gel-Herstellungsverfahren des Wolframoxids

Das Sol-Gel-Verfahren ist ein traditionelles Verfahren zur Herstellung von Wolframoxid durch chemische Reaktion der Lösung und ist bekannt für seine Fähigkeit, nanoskaliges und hochreines Wolframoxid herzustellen. Wolframtrioxid (WO₃) zum Beispiel ist ein Verfahren, das durch Solbildung, Gelierung und Wärmebehandlung homogene Partikel oder dünne Schichten erzeugt, die für Photokatalysatoren, Sensoren und elektrochrome Materialien geeignet sind.

Typische Ausgangsstoffe für dieses Verfahren sind Natriumwolframat und Wolframalkoxide (z. B. Wolframethanol). Nehmen Sie Natriumwolframat als Beispiel, lösen Sie es zuerst in Wasser auf, fügen Sie Säure (z. B. HCl) hinzu, um den pH-Wert auf 1-2 einzustellen, und hydrolysieren Sie Natriumwolframat zu Wolframsäuresol, die Reaktion ist: Na₂WO₄ + 2HCl → H₂WO₄ + 2NaCl. Das Sol aggregiert unter Rühren oder Stehen allmählich zu einem Gel, gefolgt von der Trocknung (100-150 ° C) und der Wärmebehandlung (400-600 ° C), um Wolframoxid zu erzeugen. Die meisten der erhaltenen Produkte sind monokline Kristallformen, die Partikelgröße kann bei 10-50 nm gesteuert werden und die spezifische Oberfläche

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

beträgt bis zu 50–100 m²/g. Wolframalkoxid wird direkt durch Alkoholisierung und Polykondensation gebildet, und Wolframoxid wird nach der Wärmebehandlung gebildet, was eine höhere Reinheit, aber höhere Kosten aufweist.

Der Vorteil des Sol-Gel-Verfahrens besteht darin, dass die Produktpartikel klein und homogen sind und die Morphologie durch Zugabe eines Matrizenmittels (z. B. Tensid) manipuliert werden kann, z. B. zur Herstellung von porösem Wolframoxid oder dünnen Filmen. So können beispielsweise Wolframoxidschichten für die Elektrochromie hergestellt werden, indem Gele auf Glassubstraten mit Dicken bis in den Nanometerbereich gesponnen werden. Temperatur und Zeit der Wärmebehandlung sind Schlüsselparameter, 500 °C für 2 Stunden können zu einer mäßigen Kristallinität von Wolframoxid führen, während eine zu hohe Temperatur (z. B. 800 °C) zum Kornwachstum führen kann. Die Atmosphäre besteht in der Regel aus Luft, aber eine inerte Atmosphäre (z. B. N₂) reduziert Verunreinigungen.

Die Einschränkungen dieser Methode bestehen darin, dass der Prozess komplex ist, der Zyklus lang ist und die Rohstoffkosten hoch sind, so dass er nicht für die industrielle Produktion in großem Maßstab geeignet ist. Im Labor wird die Sol-Gel-Methode häufig zur Herstellung von Nano-Wolframoxid verwendet, z. B. durch Wolfram-Kunststoff-Verbundwerkstoff zur Verbesserung der Leistung. Das Sol-Gel-Verfahren ist die traditionelle Wahl für die hochpräzise Herstellung von Wolframoxid, die Flexibilität und Finesse vereint.

6.1.3 Traditionelles Herstellungsverfahren von Wolframoxid - hydrothermales Verfahren

Das hydrothermale Verfahren ist ein traditionelles Verfahren zur Herstellung von Wolframoxid unter Verwendung einer wässrigen Hochtemperatur- und Hochdrucklösungsumgebung, die für ihre Fähigkeit bekannt ist, spezielle Morphologie und Produkte mit hoher Kristallinität zu erzeugen. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO₃) wird bei diesem Verfahren Wolframoxid in Form von Nanostäbchen, Nanoblättern oder Nanoblumen hergestellt, indem wolframhaltige Vorläufer in einem geschlossenen Reaktionskessel umgesetzt werden, was in Photokatalysatoren und Batteriematerialien weit verbreitet ist.

Typische Rohstoffe für den hydrothermalen Prozess sind Ammoniummetawolframat und [Natriumwolframat]. Am Beispiel von Ammoniummetawolframat lösen Sie es in Wasser auf, fügen Sie Säure (z. B. HNO₃) hinzu, um den pH-Wert auf 2–4 einzustellen, bilden Sie eine Vorläuferlösung und reagieren Sie bei 150–200 °C und hohem Druck (1–5 MPa) für 12–24 Stunden zu Wolframoxid. Die Reaktion ist: $(\text{NH}_4)_5\text{H}_5[\text{H}_2(\text{WO}_4)_6] \rightarrow \text{WO}_3 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Das resultierende Wolframoxid ist größtenteils hexagonal, und seine Morphologie kann durch Zugabe von Strukturleitmitteln (z. B. CTAB) modifiziert werden, wie z. B. die Erzeugung von Nanostäbchen mit einem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Durchmesser von 20–50 nm. Natriumwolframat bildet unter ähnlichen Bedingungen monoklines Wolframoxid, und die Partikel sind gleichmäßiger.

Die Vorteile der hydrothermalen Methode bestehen darin, dass die Kristallform und -morphologie kontrollierbar sind, die spezifische Oberfläche des Produkts hoch ist (50–150 m²/g) und die Kristallinität gut ist. Reaktionstemperatur, -zeit und -pH-Wert sind Schlüsselparameter, z. B. können hexagonale kristalline Nanostäbchen durch eine Reaktion bei 180 ° C für 24 Stunden erhalten werden, während amorphes Wolframoxid durch eine kurze Reaktion bei 120 ° C gebildet werden kann. Der Druck wird durch den Reaktor selbst erzeugt, wodurch die Keimbildung und das Wachstum beschleunigt werden. Die Hochdruckumgebung reduziert zudem Sauerstofflücken und sorgt für die Reinheit des Produkts. Wird blaues oder violett Wolframoxid benötigt, kann der Nachbehandlung ein Reduktionsmittel (z. B. NaBH₄) zugesetzt werden.

Die Einschränkungen dieses Verfahrens sind die hohen Anforderungen an die Ausrüstung (z. B. Hochdruckreaktoren) und der lange Reaktionszyklus, der es für die Großproduktion ungeeignet macht. Industriell wird das hydrothermale Verfahren hauptsächlich zur Herstellung von Wolframoxid mit hoher Wertschöpfung verwendet, wie z. B.: Calciumwolframat-Verbundwerkstoffe. CTIA GROUP LTD verbessert Wolframoxid durch Optimierung der hydrothermalen Bedingungen Leistung von Wolframchemikalien. Das hydrothermale Verfahren ist ein traditionelles Werkzeug für die Wolframoxid-Nanofabrikation, das sowohl eine hohe Qualität als auch eine hohe Vielfalt aufweist.

6.1.4 Das traditionelle Herstellungsverfahren des Wolframoxid-Ammoniumwolframat-Verfahrens

Das Ammoniumwolframat-Verfahren ist eines der traditionellen Verfahren zur Herstellung von Wolframoxid, das aufgrund seiner leichten Verfügbarkeit von Rohstoffen und seiner ausgereiften Technologie in Industrie und Labor weit verbreitet ist. Am Beispiel von Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) wird bei diesem Verfahren Wolframoxid durch chemische Umwandlung oder Wärmebehandlung von Ammoniumwolframat erzeugt, das häufig als Vorläufermaterial für die Herstellung von Wolframpulver und Wolframdraht verwendet wird.

Bei der Ammoniumwolframat-Methode werden in der Regel Ammoniumparawolframat (APT) oder Ammoniummetawolframat als Rohstoffe verwendet. Am Beispiel von Ammoniumparawolframat reagiert es mit Säuren (wie HCl) in Lösung unter Bildung von unlöslichem Wolframsäureniederschlag, der dann durch Wärmebehandlung in Wolframoxid umgewandelt wird. Der typische Prozess ist: Ammoniumparawolframat wird in Wasser gelöst, Salzsäure wird hinzugefügt, um den pH-Wert auf 2–3 einzustellen, um Wolframsäure zu erzeugen, und die Reaktion ist:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$(\text{NH}_4)_{10}(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}) \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 10\text{HCl} \rightarrow 12\text{H}_2\text{WO}_4 + 10\text{NH}_4\text{Cl}$ 。 Anschließend wird Wolframsäure bei 400–600 ° C kalziniert, um sich zu Wolframoxid zu zersetzen: $\text{H}_2\text{WO}_4 \rightarrow \text{WO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 。 Das erhaltene Wolframoxid ist meist monokline Kristalle mit einer Partikelgröße von 1–5 μm, hellgelber Farbe und hoher Reinheit.

Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass das Verfahren einfach ist und die Rohstoffe weit verbreitet sind, wie z. B. Wolframverbindungen, die aus Wolframit oder Scheelit gewonnen werden. Der Säuregehalt, die Reaktionstemperatur und die Kalzinierungsbedingungen sind wichtige Parameter, z. B. kann ein zu niedriger pH-Wert zur Ausfällung von Verunreinigungen führen, und eine zu hohe Kalzinierungstemperatur (z. B. 800 ° C) kann zu Getreidewachstum führen. Ammoniummetawolframat reagiert unter ähnlichen Bedingungen schneller, da seine Molekularstruktur leichter zu zersetzen ist und es sich für die Herstellung von feinkörnigem Wolframoxid eignet. Wenn blaues Wolframoxid benötigt wird, kann das Produkt in einer reduzierenden Atmosphäre (z. B. H_2) behandelt werden.

Die Einschränkung des Ammoniumwolframat-Verfahrens besteht darin, dass das Produkt eine große Partikelgröße und eine geringe spezifische Oberfläche (5–20 m^2/g) aufweist, was für hochaktive Anwendungen nicht geeignet ist. Das Ammoniumwolframat-Verfahren ist ein klassisches Verfahren zur traditionellen Herstellung von Wolframoxid, das sowohl eine hohe Effizienz als auch eine hohe Wirtschaftlichkeit aufweist.

6.1.5 Traditionelles Herstellungsverfahren für Wolframoxid - Salzsäure-Zersetzungsverfahren für Wolframat

Das Salzsäure-Zersetzungsverfahren des Wolframats ist ein traditionelles nasschemisches Verfahren zur Herstellung von Wolframoxid, das für seine hohe Reinheit und Kontrollierbarkeit bekannt ist. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) wird bei diesem Verfahren Wolframat (z. B. Natriumwolframat) mit Salzsäure zu Wolframoxid oder dessen Vorläufern umgesetzt, das häufig in Laboratorien und feinchemischen Bereichen eingesetzt wird.

Der typische Prozess dieser Methode ist wie folgt: Natriumwolframat wird in Wasser gelöst, die Konzentration beträgt normalerweise 0,1–0,5 mol/L, Salzsäure (1–2 mol/L) wird langsam zugegeben, der pH-Wert wird auf 1–2 eingestellt, und der Wolframsäurefällung wird erzeugt, und die Reaktion ist: $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4 + 2\text{NaCl}$ 。 Nach dem Waschen und Filtrieren wird Wolframsäure kalziniert und bei 400–600 ° C zu Wolframoxid zersetzt: $\text{H}_2\text{WO}_4 \rightarrow \text{WO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 。 Der größte Teil des erhaltenen Wolframoxids hat eine monokline Kristallform, die Partikelgröße beträgt 0,5 bis 2 μm und die Reinheit kann mehr als 99% erreichen. Wenn nanoskaliges Wolframoxid erforderlich ist, kann der Reaktion ein Tensid (z. B. CTAB) zugesetzt werden, um die Partikelgröße auf 50–100 nm zu steuern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Vorteile der Salzsäure-Zersetzungsmethode des Wolframats bestehen darin, dass das Produkt aus hochreinen und feinen Partikeln besteht, die für die Herstellung hochwertiger Wolframchemikalien geeignet sind. Die Reaktionsbedingungen sind kritisch, z. B. kann ein zu niedriger pH-Wert (<1) zur Heterophasenbildung führen, und eine zu hohe Kalzinierungstemperatur (z. B. 700 ° C) kann zu einer Kornagglomeration führen. Natriumwolframat ist weit verbreitet und wird oft aus Kalziumwolframat verarbeitet. Bei der Wärmebehandlung in einer reduzierenden Atmosphäre kann purpurfarbendes Wolframoxid für spezifische katalytische Anwendungen hergestellt werden. Die Konzentration der Lösung und die Beschleunigung der Tropfen beeinflussen auch die Morphologie der Produkte, und das langsame Tropfen kann gleichmäßigere Partikel erhalten.

Die Einschränkung dieses Verfahrens besteht darin, dass es viele Prozessschritte gibt und die Kosten für die Behandlung von Abfallflüssigkeiten hoch sind, was für die industrielle Produktion in großem Maßstab nicht geeignet ist. Im Labor wird dieses Verfahren häufig zur Herstellung von hochreinem Wolframoxid eingesetzt, z.B. als Verstärkungsphase in Wolfram-Kunststoff-Verbundwerkstoffen. CTIA GROUP LTD verbessert die Qualität von Wolframoxid in Wolframunternehmen durch Optimierung der Reaktionsparameter. Das Salzsäure-Zersetzungsverfahren des Wolframats ist eine hochreine Option für die traditionelle Herstellung von Wolframoxid, die sowohl empfindlich als auch kontrollierbar ist.

6.1.6 Das traditionelle Herstellungsverfahren für Wolframoxid - Verfahren der thermischen Zersetzung von Ammoniumparawolframat

Das thermische Zersetzungsverfahren von Ammoniumparawolframat ist ein traditionelles Hochtemperaturverfahren zur Herstellung von Wolframoxid, das aufgrund seiner Direktheit und industriellen Anwendbarkeit weit verbreitet ist. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) zersetzt dieses Verfahren Ammoniumparawolframat (APT), um Wolframoxid bei hohen Temperaturen zu erzeugen, was die Hauptmethode zur Herstellung von Wolframmetall und Wolframdrahtvorläufern in der Industrie ist.

Der Prozessablauf ist wie folgt: Ammoniumparawolframat wird in einen Muffelofen gegeben, bei 500-700 ° C an der Luft für 2-4 Stunden kalziniert, in Wolframoxid zersetzt und die Reaktion ist: $(NH_4)_{10}(H_2W_{12}O_{42}) \cdot 4H_2O \rightarrow 12WO_3 + 10NH_3 + 7H_2O$. Das resultierende Wolframoxid ist monokline Partikelgröße von 1-10 μm und einer hellgelben Farbe (d. h. gelbes Wolframoxid). Bei der Kalzinierung in einer Wasserstoffatmosphäre entsteht blaues Wolframoxid (WO_2) oder violettes Wolframoxid, wobei der Sauerstoffleerstellengehalt mit der Temperatur und der Reduktionszeit zunimmt. Ammoniumparawolframat wird in der Regel aus Scheelit gewonnen und verfügt über hochreine und stabile Zersetzungsprodukte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Vorteile dieses Verfahrens sind, dass das Verfahren einfach ist, die Anforderungen an die Ausrüstung gering sind (z. B. gewöhnliche Kalzinatoren) und dass es für die Großproduktion geeignet ist. Kalzinationstemperatur und Atmosphäre sind Schlüsselparameter, z. B. wird Wolframoxid mit hoher Kristallinität in Luft bei 600 ° C und ganzzahliges Wolframoxid in Wasserstoff bei 800 ° C gebildet. Die Haltezeit beeinflusst die Partikelgröße, wobei feine Partikel in kurzer Zeit (1 Stunde) gebildet werden und die Körner in einem langen Zeitraum (4 Stunden) wachsen. Die Reinheit und der Feuchtigkeitsgehalt des Rohstoffs wirken sich ebenfalls auf die Qualität des Produkts aus, und 99,9 % Wolframoxid kann aus hochreinem Ammoniumparawolframat gewonnen werden.

Die Einschränkung besteht darin, dass das Produkt große Partikel und eine geringe spezifische Oberfläche (2-10 m²/g) aufweist, was es für Nanoanwendungen ungeeignet macht. Industriell wird CTIA GROUP LTD Wolframoxid durch Gradientenheizung und Atmosphärenkontrolle optimiert Wolfram Preisleistung. Die thermische Zersetzung von Ammoniumparawolframat ist das industrielle Rückgrat der traditionellen Aufbereitung von Wolframoxid, die effizient und wirtschaftlich ist.

6.2 Neue Verfahren zur Herstellung von Wolframoxid

Das neue Herstellungsverfahren für Wolframoxid ist eine fortschrittliche Technologie, die auf der Grundlage der traditionellen Technologie entwickelt wurde und darauf abzielt, Hochleistungs-Wolframoxid mit einer speziellen Morphologie herzustellen, um den Anforderungen der modernen Wissenschaft und Technologie gerecht zu werden. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO₃), einer häufigen Form von Wolframoxid, umfassen neue Methoden die Gasphasenabscheidung, die mikrowellenunterstützte und die elektrochemische Abscheidung, die der Nano- und Funktionalisierung mehr Aufmerksamkeit schenken als herkömmliche Methoden.

Die Gasphasenabscheidung (z. B. chemische Gasphasenabscheidung, CVD) ist die Zersetzung und Abscheidung von Wolframoxid auf einem Hochtemperatursubstrat durch einen gasförmigen Wolframvorläufer (z. B. WF₆) und wird häufig bei der Herstellung von dünnen Schichten oder Nanodrähten verwendet. Bei 500-700 ° C reagiert WF₆ beispielsweise mit Sauerstoff zu einem Wolframoxidfilm mit der folgenden Reaktion: $WF_6 + 3/2O_2 \rightarrow WO_3 + 3F_2$. Das resultierende Produkt hat eine hohe Kristallinität und eine kontrollierbare Dicke bis in den Nanometerbereich, die für elektrochrome Bauelemente geeignet ist. Das mikrowellenunterstützte Verfahren verwendet Mikrowellenerwärmung, um die Reaktion zu beschleunigen, und verwendet Wolframsäure als Rohstoff, um schnell Nanowolframoxid in Lösung zu erzeugen, die Reaktionszeit wird auf mehrere Minuten verkürzt und die spezifische Oberfläche kann 100 m²/g erreichen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die elektrochemische Abscheidung ist die Elektrolyse von wolframhaltigen Lösungen (z. B. Natriumwolframat), um Wolframoxid auf Elektroden abzuscheiden. Beispielsweise werden Wolframat-Ionen bei 1–3 V an der Kathode reduziert und als dünne Schicht aus Wolframoxid mit einstellbarer Morphologie (z. B. Nanoblätter oder poröse Strukturen) abgeschieden, die für Batterieelektroden geeignet ist. Mit dem neuen Verfahren kann auch spezielles Wolframoxid wie Cäsium-Wolframbronze hergestellt werden, das dotiert werden kann, um die photothermischen Eigenschaften zu verbessern. Die Produkte dieser Methoden sind von hoher Reinheit und unterschiedlicher Morphologie, aber die Ausrüstung ist komplex und die Kosten sind hoch.

6.2.1 Ein neues Herstellungsverfahren für Wolframoxid – elektrochemisches Abscheidungsverfahren

Die elektrochemische Abscheidung ist ein neues Verfahren zur Herstellung von Wolframoxid, das aufgrund seiner hohen Effizienz, Kontrollierbarkeit und morphologischen Vielfalt in der modernen Materialwissenschaft viel Aufmerksamkeit erregt hat. Am Beispiel von Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) wird dieses Verfahren verwendet, um Wolframoxid auf der Oberfläche der Elektrode durch Elektrolyse einer wolframhaltigen Lösung abzuscheiden, die häufig zur Herstellung dünner Schichten oder Nanostrukturen verwendet wird und für elektrochrome Bauelemente, Batterieelektroden und Sensoren geeignet ist.

Der typische Prozess dieser Methode besteht darin, einen Elektrolyten von 0,01–0,1 mol/l unter Verwendung von Natriumwolframat oder Wolframsäure als Rohstoff herzustellen und Säure (z. B. H₂SO₄) hinzuzufügen, um den pH-Wert auf 1–3 einzustellen. Unter einem elektrischen Gleichstromfeld (1–3 V) werden Wolframat-Ionen an der Kathode reduziert und als Wolframoxid mit folgender Reaktion abgeschieden: $WO_4^{2-} + 2H^+ + 2e^- \rightarrow WO_3 + H_2O$. Das resultierende Wolframoxid hat meist eine monokline Kristallform, und seine Morphologie kann durch elektrolytische Bedingungen modifiziert werden, wie z. B. Niederspannung (1 V), um dichte dünne Schichten zu bilden, und Hochspannung (3 V), um poröse Strukturen zu erzeugen. Nach der Abscheidung wird es in der Regel bei 300–500 °C wärmebehandelt, um die Kristallinität und Stabilität zu verbessern.

Die Vorteile der elektrochemischen Abscheidung bestehen darin, dass der Prozess einfach ist, die Topographie kontrollierbar ist und Wolframoxidfilme direkt auf leitfähigen Substraten wie ITO-Glas erzeugt werden können. Elektrolytkonzentration, Spannung und Abscheidezeit sind Schlüsselparameter, z. B. ergibt die Abscheidung von 0,05 mol/L Natriumwolframat bei 2 V für 30 Minuten einen homogenen Film mit einer Dicke von etwa 200 nm. Unter Zugabe einer Vorlage (z. B. Polyethylenglykol) können Nanostäbchen oder Nanoblätter mit einer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

spezifischen Oberfläche von 50–100 m²/g hergestellt werden. Auch das Elektrodenmaterial beeinflusst das Produkt, z. B. ist Wolframoxid, das auf einer Wolfram-Kupfer-Elektrode abgeschieden wird, leitfähiger.

Die Einschränkung dieses Verfahrens besteht darin, dass es eine geringe Ausbeute hat, die für die hochpräzise Aufbereitung in kleinem Maßstab geeignet ist, und nicht für die industrielle Massenproduktion geeignet ist. Im Labor wird die elektrochemische Abscheidung häufig eingesetzt, um funktionelle dünne Schichten aus Wolframchemikalien herzustellen, z. B. als Elektrodenmaterial in Batterien zur Verbesserung der Zyklenleistung. Die elektrochemische Abscheidung ist eine neue und effiziente Methode zur Herstellung von Wolframoxid, die sowohl präzise als auch funktional ist.

6.2.2 Ein neues Herstellungsverfahren für Wolframoxid – Gasphasenabscheidungsverfahren

Die Gasphasenabscheidung ist ein fortschrittliches neuartiges Verfahren zur Herstellung von Wolframoxid-Dünnschichten oder Nanostrukturen, das sich im Bereich der optoelektronischen Bauelemente und der Katalyse aufgrund seiner hohen Reinheit, hohen Kristallinität und Substratkompatibilität auszeichnet. Wolframtrioxid (WO₃) wird beispielsweise häufig zur Herstellung von Wolframfilamentbeschichtungen oder photokatalytischen Dünnschichten verwendet, indem gasförmige Wolframvorläufer bei hohen Temperaturen zersetzt und abgeschieden werden.

Typische Verfahren für dieses Verfahren sind die chemische Gasphasenabscheidung (CVD) und die physikalische Gasphasenabscheidung (PVD). Bei CVD werden Wolframmetall oder Wolframverbindungen (z. B. WF₆) als Vorläufer verwendet und auf einem Substrat (z. B. Siliziumwafer) bei 400–700 ° C in einer Sauerstoffatmosphäre mit folgender Reaktion abgeschieden: $WF_6 + 3/2O_2 \rightarrow WO_3 + 3F_2$. Das resultierende Wolframoxid ist ein monokliner kristalliner Film mit einer Dicke von 10–500 nm und hoher Kristallinität. PVD reagiert in Sauerstoff zu Wolframoxid durch Sputtern von Wolframpulvertarget, das sich für die Herstellung ultradünner Schichten eignet. Wenn Nanodrähte benötigt werden, kann dies durch Anpassung des Luftstroms und der Temperatur (z. B. 600 ° C, niedriger Druck) erreicht werden.

Die Vorteile des Gasphasenabscheidungsverfahrens sind die hohe Reinheit des Produkts (>99,9%), die Vielfalt der Morphologien (dünne Schichten, Nanodrähte, Nanopartikel) und die Möglichkeit, die Dicke genau zu steuern. Abscheidungstemperatur, Luftdruck und Sauerstofffluss sind wichtige Parameter, z. B. 500 ° C, niedrige Sauerstoffdurchflussraten erzeugen dichte Filme, und hohe Temperaturen und hohe Durchflussraten erzeugen poröse Strukturen. Bei

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dotierung mit Calciumwolframat kann die photokatalytische Leistung verbessert werden. Die Wahl des Substrats ist ebenfalls wichtig, z. B. ist Wolframoxid, das auf einem [Wolframkupfer]-Substrat abgeschieden wird, leitfähiger.

Die Einschränkungen dieser Methode bestehen darin, dass die Ausrüstung komplex ist (z. B. Vakuumsysteme), die Kosten hoch sind und sie nicht für die Massenproduktion geeignet ist. Industriell wird die Gasphasenabscheidung vor allem für Anwendungen mit hoher Wertschöpfung eingesetzt, wie z. B. die Herstellung von photoelektrischen Beschichtungen auf dem Wolframmarkt. CTIA GROUP LTD verbessert die Qualität von Wolframoxid in Wolframunternehmen durch Optimierung der Abscheidungsbedingungen. Die Gasphasenabscheidung ist ein neues Präzisionsverfahren zur Herstellung von Wolframoxid, das sich für High-Tech-Bereiche eignet.

6.2.3 Ein neues Verfahren zur Herstellung von Wolframoxid - biologische Template-Methode

Die Biotemplate-Methode ist eine aufstrebende neue Methode zur Herstellung von Wolframoxid unter Verwendung natürlicher biologischer Strukturen, die aufgrund ihres Umweltschutzes und ihrer einzigartigen Morphologie im Bereich der Nanomaterialien viel Aufmerksamkeit erregt hat. Am Beispiel von Wolframtrioxid (WO_3) leitet dieses Verfahren die Abscheidung und Umwandlung von Wolframvorläufern durch biologische Matrizen (wie Bakterien und Pflanzenfasern), um eine poröse oder komplexe Struktur von Wolframoxid zu erzeugen, das für Photokatalysatoren und Energiespeichermaterialien geeignet ist.

Der typische Prozess dieses Verfahrens ist wie folgt: Natriumwolframat oder Ammoniummetawolframat wird als Wolframquelle verwendet, eine 0,1-0,5 mol/L-Lösung wird hergestellt und eine biologische Matrize (wie Cellulose oder Protein) wird darin eingetaucht, um Wolframionen an der Oberfläche der Matrize zu adsorbieren. Anschließend zersetzt sich die Matrize durch Wärmebehandlung (400-600 ° C) oder hydrothermale Reaktion (150-200 ° C) und erzeugt Wolframoxid. Zum Beispiel wird eine bakterielle Zellulosevorlage verwendet, um bei 500° C nach 12 Stunden Wassererhitzung bei 180° C zu kalzinieren, um poröses Wolframoxid mit einer Porengröße von 20-100 nm und einer spezifischen Oberfläche von 80-150 m²/g zu erhalten. Das erhaltene Wolframoxid hat meist monokline oder hexagonale Kristallform, und die Morphologie erbt die Matrizenstruktur.

Die Vorteile der biologischen Template-Methode bestehen darin, dass sie umweltfreundlich ist und das Produkt eine einzigartige Morphologie (z. B. porös, retikuliert) aufweist, die für hochaktive Anwendungen geeignet ist. Der Matrizentyp und die Reaktionsbedingungen sind entscheidend, z. B. erzeugen Pflanzenfasern makroporöse Strukturen, und bakterielle Matrizen erzeugen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

nanoskalige Poren. Wird ein Reduktionsmittel (z.B. Glukose) zugesetzt, kann blaues Wolframoxid oder violetteres Wolframoxid hergestellt werden. Die Temperatur der Wärmebehandlung wirkt sich auf den Porenerhalt aus, und eine zu hohe Temperatur (z. B. 800 ° C) kann die poröse Struktur zerstören. Die Lösungskonzentration und die Imprägnierzeit wirken sich ebenfalls auf die Wolframbeladung aus, und nach der Optimierung kann hochreines Wolframoxid erhalten werden. Die Einschränkung dieser Methode besteht darin, dass die Matrizenvorbereitung aufwendig und die Ausbeute gering ist, was für die Produktion im industriellen Maßstab nicht geeignet ist. Im Labor wird die Biotemplate-Methode häufig verwendet, um Katalysatoren auf Wolfram-Kunststoffbasis herzustellen, um die photokatalytische Leistung zu verbessern.

en.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD Yellow Tungsten Trioxide (YTO, WO₃) Product Introduction

1. Product Overview

CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide is produced by high-temperature calcination process of ammonium paratungstate, which meets the requirements of GB/T 3457-2013 "Tungsten Oxide" first-class product. WO₃ is widely used in the preparation of tungsten powder, cemented carbide, tungsten wire and ceramic colorants. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality yellow tungsten trioxide products to meet the needs of powder metallurgy and industrial manufacturing.

2. product characteristics

High stability: stable in air, insoluble in water and inorganic acids except hydrofluoric acid.

Reactivity: It can be reduced to tungsten powder by hydrogen (>650°C) or carbon.

Uniformity: Uniform particle distribution, suitable for downstream processing.

3. Product specifications

index	CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide first-class product standard
WO ₃ content (wt%)	≥99.95
Impurities (wt% , max.)	Fe≤0.0010, Mo≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005
Particle size	1-10 (μm, FSSS)
Loose density	2.0-2.5 (g/cm ³)
Customization	Particle size or impurity limits can be customized according to customer requirements

4. Packaging and warranty

Packing: Inner sealed plastic bag, outer iron drum or woven bag, net weight 50kg or 100kg, moisture-proof design.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including WO₃ content, impurity analysis, particle size (FSSS method), loose density and moisture data.

5. Procurement information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129696

For more [yellow tungsten oxide](http://www.tungsten-powder.com) information, please visit the China Tungsten online website www.tungsten-powder.com. For more market and real-time information, please follow the WeChat public account "China Tungsten Online".



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTDgelbes Wolframoxid

Kapitel VII Anlagen zur Herstellung von Wolframoxid

7.1 Die Hauptausrüstung für die Wolframoxidproduktion

Die Herstellung von Wolframoxid umfasst mehrere Prozessschritte, und seine Hauptausrüstung ist der Schlüssel zum Prozess von der Rohstoffverarbeitung bis zur Vorbereitung des Endprodukts. Am Beispiel von Wolframtrioxid, einer häufigen Form von Wolframoxid, umfasst die Hauptausrüstung Rohstoffverarbeitungsanlagen, Reaktionsgeräte und Nachbearbeitungsgeräte, die zusammenarbeiten, um die Produktionseffizienz und Produktqualität sicherzustellen, und die in der industriellen Produktion von Wolframpulver und Wolframdraht weit verbreitet sind.

Rohmaterialflussgeräte sind der erste Schritt in der Produktion und werden verwendet, um Erze wie Wolframit oder Scheelit in körnige oder Lösungszustände umzuwandeln, die für nachfolgende Reaktionen geeignet sind. Es umfasst hauptsächlich Brecher, Mühlen und Siebanlagen zum Zerkleinern, Klassieren und Reinigen von Rohstoffen. So zerkleinert beispielsweise ein Backenbrecher das Erz bis auf den Zentimeter und eine Kugelmühle mahlt es weiter auf den Mikrometerbereich, um sicherzustellen, dass die Rohstoffpartikel gleichmäßig und bequem für die anschließende Auslaugung oder Kalzinierung sind. Diese Geräte müssen verschleißfest sein und eine hohe Verarbeitungskapazität haben, um das härtere Wolframerz bewältigen zu können.

Reaktionsanlagen sind das Herzstück der Wolframoxidproduktion und werden zur chemischen Umwandlung oder thermischen Zersetzung eingesetzt. Am Beispiel des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

thermischen Zersetzungsverfahrens des Ammoniumparawolframat kalziniert der Muffelofen oder Drehrohrofen das Rohmaterial bei 500–700 ° C zu Wolframoxid. Der Muffelofen eignet sich für die Produktion kleiner Chargen mit hoher Temperaturregelungsgenauigkeit (± 5 ° C). Der Drehrohrofen ist für die kontinuierliche Produktion mit einer Leistung von bis zu einer Tonnage geeignet. Für die Herstellung von blauem Wolframoxid oder violetter Wolframoxid muss es mit einer Wasserstoffreduktionsvorrichtung ausgestattet werden, um die Atmosphäre und die Temperatur zu kontrollieren. Beim Nassverfahren wird ein Reaktor, wie z. B. eine Säurelaugungs- oder Alkalilöseanlage, verwendet, um Wolframsäure in einen Wolframoxid-Vorläufer umzuwandeln.

Für die Raffination und Formgebung von Wolframoxid werden Nachbearbeitungsanlagen eingesetzt, unter anderem in Trockenöfen, Siebmaschinen und Pressen. Der Trockenschrank trocknet das nass aufbereitete Wolframoxid bei einer Temperatur von 100–200° C in den pulverförmigen Zustand, um eine Agglomeration zu vermeiden. Die Siebmaschine trennt Wolframoxide mit unterschiedlichen Partikelgrößen, um den vielfältigen Anforderungen des Wolframmarktes gerecht zu werden. Pressen hingegen pressen das Pulver in Klumpen, um es leicht transportieren oder weiterverarbeiten zu können.

7.1.1 Geräte für den Materialumschlag

Rohmaterialhandhabungsgeräte sind der erste Schritt bei der Wolframoxidproduktion, die verwendet wird, um wolframhaltige Erze oder Verbindungen in Formen zu verarbeiten, die für nachfolgende Reaktionen geeignet sind. Am Beispiel der Wolframtrioxid-Produktion umfasst die Rohstoffaufbereitungsanlage Brech- und Mahlanlagen, Sieb- und Sortieranlagen sowie Zusatzgeräte, die zur Verarbeitung von Rohstoffen wie Scheelit oder Ammoniumparawolframat verwendet werden, um sicherzustellen, dass die Partikelgröße und -reinheit den Prozessanforderungen entspricht.

Brech- und Mahlanlagen sind für die Zerkleinerung von Rohmaterial oder groben Partikeln verantwortlich. Zum Beispiel zerkleinert ein Backenbrecher Wolframit auf 5–10 cm, ein Hammerbrecher reduziert ihn weiter auf 1–2 cm und dann wird er von einer Kugelmühle oder Stabmühle auf 50–200 μm zerkleinert. Dieser abgestufte Brech- und Mahlprozess verbessert die Effizienz der anschließenden Auslaugung, da feine Partikel die Oberfläche vergrößern und chemische Reaktionen fördern. Die Ausrüstung sollte aus verschleißfestem Stahl oder Keramik bestehen, um der hohen Härte von Wolframit (Mohs-Härte 5–7) standzuhalten. Bei chemischen Rohstoffen wie Wolframat ist der Bedarf an Vermahlung gering und es ist in der Regel nur eine leichte Vermahlung erforderlich.

Sieb- und Sortieranlagen werden eingesetzt, um Rohstoffe mit unterschiedlichen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Partikelgrößen zu trennen und die Produktqualität zu verbessern. Ein Vibrationssieb oder Windsichter sortiert die gemahlene Partikel nach Größe, z. B. < 100 µm feines Pulver für die Hydrometallurgie und 100 µm grobes Pulver, das zur Vermahlung zurückgeführt >. Bei Nassprozessen klassiert ein Absetzbecken oder eine Zentrifuge die Partikel in der Suspension, um die Homogenität zu gewährleisten. Für die Herstellung von nanoskaligem Wolframoxid muss es mit ultrafeinen Siebanlagen (z. B. Ultraschallsieben) mit einer Genauigkeit von 10–50 µm ausgestattet werden. Diese Geräte haben einen direkten Einfluss auf die Partikelverteilung von Wolframchemikalien.

Zu den Zusatzgeräten gehören Förderbänder, Staubabscheider und Lagersilos. Bandförderer transportieren Rohstoffe zu jedem Prozess, und Staubabscheider (z. B. Schlauchfilter) sammeln den durch das Mahlen erzeugten Staub, um die Umweltsicherheit zu gewährleisten. Die Lagerung der verarbeiteten Rohstoffe reicht von einigen Tonnen bis zu Dutzenden von Tonnen. CTIA GROUP LTD hat die Produktionseffizienz von Wolframoxid in Wolframunternehmen durch die Optimierung der Rohstoffhandhabungsausrüstung verbessert. Rohmaterialflussgeräte sind der Eckpfeiler der Wolframoxidproduktion und sorgen für einen reibungslosen Ablauf des nachfolgenden Prozesses.

7.1.1.1 Brech- und Mahlanlagen

Brech- und Mahlanlagen sind die Kernausrüstung für die Rohstoffaufbereitung in der Wolframoxid-Produktion und werden eingesetzt, um wolframhaltige Erze oder grobe Partikel auf eine für die Weiterverarbeitung geeignete Größe zu zerkleinern. Am Beispiel der Wolframoxid-Produktion werden mit diesen Anlagen harte Rohstoffe wie Wolframit oder Scheelit zu feinen Partikeln für die Nasslaugung oder thermische Zersetzung verarbeitet, die ein wichtiger Bestandteil der Herstellung von Wolframmetall und Wolframpulver ist.

Zu den Brechanlagen gehören hauptsächlich Backenbrecher, Kegelbrecher und Hammerbrecher. Der Backenbrecher ist die Hauptprimärbrechkraft, die Erz von 50–100 cm bis 5–10 cm zerkleinert, mit einer Verarbeitungskapazität von 100–500 t/h, geeignet für Wolfram Erz mit hoher Härte (Mohs-Härte 5–7). Der Kegelbrecher wird für die Nachzerkleinerung verwendet, wodurch die Partikel auf 1–3 cm reduziert werden, ein hohes Zerkleinerungsverhältnis erreicht wird und für die kontinuierliche Produktion geeignet ist. Der Hammerbrecher eignet sich für weichere Wolframverbindungen (z. B. Calciumwolframat), die auf einmal auf 1–2 cm zerkleinert werden können, mit einem einfachen Aufbau, aber hoher Verschleißfestigkeit. Die Auskleidungsplatte der Ausrüstung besteht meist aus Manganstahl oder einer Legierung mit hohem Chromgehalt, um die Lebensdauer zu verlängern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zu den Mahlanlagen gehören Kugelmühlen, Stabmühlen und Vibrationsmühlen. Die Kugelmühle ist das am häufigsten verwendete Gerät, das die zerkleinerten Partikel auf 50–200 μm mahlt, das Mahlmedium sind Stahlkugeln oder Keramikugeln, und die Geschwindigkeit und das Pellet-Material-Verhältnis (z. B. 10:1) beeinflussen die Partikelfeinheit. Die Stabmühle ist für das Nassmahlen geeignet, und die Produktgröße ist gleichmäßig (100–300 μm), was häufig bei der Vorbereitung vor der Hydrometallurgie verwendet wird. Vibrationsmühlen werden für die Feinstvermahlung bis zu 10–50 μm verwendet, was für die Herstellung von nanoskaligem Wolframoxid geeignet ist, aber der Energieverbrauch ist hoch. Walzauskleidungen erfordern verschleißfeste Materialien wie Aluminiumoxid, um Verunreinigungen zu reduzieren.

Die Wahl der Brech- und Mahlanlage hängt von der Art des Rohmaterials und der angestrebten Korngröße ab. Bei der Herstellung von Wolfram-Kunststoff werden beispielsweise ultrafeine Partikel benötigt, und Vibrationsmühlen werden bevorzugt. Kugelmühlen werden meist auf Industriewaagen eingesetzt. Brech- und Mahlanlagen sind das Rückgrat der Wolframoxid-Rohstoffbehandlung, was sich direkt auf den nachfolgenden Prozesseffekt auswirkt.

7.1.1.2 Sieb- und Sortiereinrichtungen

Sieb- und Sortieranlagen sind ein wichtiger Bestandteil der Rohstoffaufbereitung bei der Wolframoxid-Produktion, da sie zur Trennung von zerkleinerten und gemahlten Partikeln eingesetzt werden und sicherstellen, dass die Partikelgrößenverteilung den Prozessanforderungen entspricht. Am Beispiel der Herstellung von Wolframtrioxid verarbeitet diese Anlage Ammoniumparawolframat oder Erzpulver, um einen homogenen Rohstoff für nachfolgende Reaktionen bereitzustellen, was ein kritischer Schritt bei der Herstellung von Wolframchemikalien und Wolframfilamenten ist.

Die Siebanlagen umfassen hauptsächlich Vibrationssiebe, Trommelsiebe und Ultraschallsiebe. Vibrationssiebe sind die am häufigsten verwendeten Geräte, bei denen die Partikel mittels Mehrschichtsieben (Porengröße 10 μm –5 mm) in verschiedene Sorten aufgeteilt werden, z.B. werden < 100 μm Feinanteile für die Hydrometallurgie ausgesiebt und 200 μm grobe Pulver > zur Vermahlung zurückgeführt. Die Häufigkeit der Vibrationen (1000–3000 Halbschwingungen/min) und das Material des Siebes (z.B. Edelstahl) beeinflussen den Abscheidegrad. Trommelsiebe eignen sich für die großvolumige Siebung mit einer Kapazität von 50–200 t/h und werden häufig in der industriellen Herstellung von Wolframpulver-Vorprodukten eingesetzt. Ultraschallsiebe werden für ultrafeine Partikel (<50 μm) eingesetzt und eignen sich für die Aufbereitung von Nano-Wolframoxid mittels Ultraschallvibration, um Verstopfungen zu verhindern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zu den Sortiergeräten gehören Luftstromsichter und Zentrifugen. Der Windsichter nutzt die Luftströmung, um die Partikel nach Größe zu trennen, z. B. bei einer Windgeschwindigkeit von 10–100 m/s, wodurch 20–50 μm feines Pulver abgeschieden werden, das für die Herstellung von hochreinem Wolframoxid geeignet ist. Zentrifugen werden für die Nassklassierung verwendet, bei der die Zentrifugalkraft (500–2000 g) zur Abscheidung von Partikeln in Suspension verwendet wird, oft in Kombination mit der Nasszerkleinerung, mit einem Klassifizierungsbereich von 10–300 μm . Diese Bausteine gewährleisten eine gleichmäßige Partikelgröße und verbessern die Effizienz der Wolframatumwandlung.

Die Leistungsfähigkeit von Sieb- und Sortieranlagen hat einen direkten Einfluss auf die Produktqualität. So können beispielsweise zu feine Partikel die Staubverluste erhöhen, während zu grobe Partikel die Reaktionseffizienz verringern können. CTIA GROUP LTD OPTIMIERT DIE PARTIKELVERTEILUNG VON WOLFRAMOXID IN WOLFRAMPRODUKTEN DURCH DIE INTEGRATION VON HOCHEFFIZIENTEN SIEB- UND SORTIERANLAGEN. Sieb- und Sortieranlagen sind ein wichtiger Garant für die Wolframoxid-Produktion, der die Qualität der Rohstoffe und die Prozessstabilität sicherstellt.

7.1.2 Reaktionsgeräte

Reaktionsanlagen sind die Kernausrüstung bei der Wolframoxid-Produktion, mit der die chemische oder physikalische Umwandlung von Rohstoffen in Wolframoxid realisiert wird. Am Beispiel von Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) umfasst die Reaktionsausrüstung alkalische Hydrolyse- und Acidolysegeräte, Kalzinierungs- und thermische Zersetzungsgeräte sowie Hilfsreaktionsgeräte, die in der industriellen Herstellung von Wolframpulver und Wolframdraht weit verbreitet sind, um die hohe Effizienz des Prozesses und die Produktqualität zu gewährleisten.

Alkalihydrolyse- und Säurehydrolyseanlagen werden in der Hydrometallurgie eingesetzt, um Erze wie Wolframit oder Scheelit in lösliche Wolframverbindungen oder Wolframsäure umzuwandeln. Alkalihydrolysegeräte (z. B. Hochdruckreaktoren) behandeln Erz mit Natriumhydroxid bei hoher Temperatur und hohem Druck, um Natriumwolframat zu erzeugen, das für die Behandlung unlöslicher Erze geeignet ist. Acidolysegeräte (z. B. säurebeständige Reaktionstanks) verwenden Salzsäure oder Salpetersäure zur Auslaugung von Wolframat, die für Calciumwolframat und andere Rohstoffe geeignet ist. Diese Maschinen müssen aus korrosionsbeständigen Materialien wie Edelstahl oder Emaille gefertigt sein und sind mit Misch- und Heizsystemen mit einem Fassungsvermögen von mehreren zehn Litern bis zu mehreren Tonnen ausgestattet.

Kalzinierungs- und Pyrolyseanlagen werden eingesetzt, um Vorläuferstoffe wie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ammoniumparawolframat oder Wolframsäure in Wolframoxid umzuwandeln. Der Muffelofen, mit einer Temperaturregelung von 400–800 ° C und einer Genauigkeit von ± 5 ° C, eignet sich für die Labor- oder hochreine Wolframoxid-Vorbereitung. Drehrohröfen werden für die industrielle kontinuierliche Produktion mit einer Länge von 10–50 Metern und einer Kapazität von mehreren Tonnen pro Tag eingesetzt, die blaues Wolframoxid oder violette Wolframoxid in einer Luft- oder Wasserstoffatmosphäre herstellen können. Diese Geräte erfordern eine hohe Temperaturbeständigkeit und Atmosphärenkontrollsysteme, um die Gleichmäßigkeit der Reaktion und die Kristallinität des Produkts zu gewährleisten.

Zu den Hilfsreaktionseinheiten gehören Gasversorgungssysteme (z. B. Wasserstoff- oder Sauerstoffleitungen), Rührwerke und Temperaturregelgeräte. Das Gasversorgungssystem regelt die Reaktionsatmosphäre, z.B. Wasserstoff zur Reduktion von Wolframoxid, bei einem Volumenstrom von 0,1–10 m³/h. Das Rührwerk sorgt dafür, dass die Lösung gleichmäßig reagiert und dass ein Temperiergerät (z. B. ein Thermoelement) die Reaktionsbedingungen aufrechterhält. Reaktionsanlagen sind das technische Herzstück der Wolframoxidproduktion, was sich direkt auf die Umwandlungseffizienz und die Produktleistung auswirkt.

7.1.2.1 Anlagen für die Alkalihydrolyse und Azidolyse

Alkalihydrolyse- und Säurehydrolyseanlagen sind eine wichtige Reaktionsanlage im Nassprozess der Wolframoxidherstellung, der zur Umwandlung wolframhaltiger Rohstoffe in lösliche Zwischenprodukte oder zur direkten Erzeugung von Wolframoxid-Vorläufern verwendet wird. Am Beispiel der Herstellung von Wolframtrioxid verarbeitet diese Anlage Rohstoffe wie Scheelit oder Ammoniumparawolframat und realisiert die Extraktion von Wolfram durch alkalische oder saure Medien, was ein wichtiger Bestandteil der Herstellung von Wolframchemikalien ist .

Die Anlage zur Alkalihydrolyse umfasst im Wesentlichen einen Hochdruckreaktor und einen atmosphärischen Rührbehälter. Der Hochdruckreaktor wird zur Verarbeitung unlöslicher Erze (wie Wolframit) verwendet, und das Erz wird mit Natriumhydroxid (10–20% Konzentration) bei 150–200 ° C und 1–5 MPa zersetzt, um [Natriumwolframat] zu erzeugen, und die Reaktion ist: $\text{CaWO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$. Das Gerät besteht aus alkalibeständigem Edelstahl (z. B. 316 l) mit einem Volumen von 50 l bis zu mehreren tausend Litern und ist mit einem Hochdruck-Dichtungs- und Heizsystem ausgestattet, während der atmosphärische Rührbehälter für die anschließende Einstellung der Lösung verwendet wird und die Rührgeschwindigkeit 100–500 U/min beträgt, um eine homogene Reaktion zu gewährleisten. Alkalische Hydrolyseanlagen eignen sich für Prozesse mit hoher Rückgewinnung, verbrauchen aber mehr Energie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Acidolyseanlage umfasst einen säurebeständigen Reaktionsbehälter und eine Filtrationseinheit. Wolframsäure wird mit Salzsäure oder Salpetersäure (1-6 mol/L), z. B. aus Wolframat, ausgelaugt: $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4 + 2\text{NaCl}$. Der Tank besteht aus Emaille oder PTFE, ist sehr korrosionsbeständig, hat ein Volumen von 10-1000 L, ist mit einem Rührwerk (50-200 U/min) und einer Heizvorrichtung (50-100° C) ausgestattet. Filtrationsgeräte (z. B. Platten- und Rahmenfilterpressen) scheiden Wolframsäurefällungen mit einer Verarbeitungskapazität von 1-10 t/h ab, um die Reinheit des Produkts zu gewährleisten. Soll Wolframoxid direkt erzeugt werden, kann Wolframsäure weiter kalziniert werden.

Die Ausrüstung für die Alkalihydrolyse und die Säurehydrolyse müssen nach den Eigenschaften der Rohstoffe ausgewählt werden. Zum Beispiel ist Scheelit meist alkalisiert, und Calciumwolframat ist angesäuert. CTIA GROUP LTD verbessert die Effizienz der Wolframoxidproduktion in Wolframunternehmen durch Optimierung des Anlagendesigns, z. B. durch Hinzufügen einer druckfesten Schicht. Alkalihydrolyse- und Säurehydrolyseanlagen sind die Grundlage des Wolframoxid-Nassprozesses, der die effiziente Extraktion und Umwandlung von Wolfram gewährleistet.

7.1.2.2 Anlagen zur Kalzinierung und thermischen Zersetzung

Die Kalzinierungs- und thermische Zersetzungsanlage ist die zentrale Reaktionsanlage bei der Herstellung von Wolframoxid, das zur Umwandlung der Vorläufer-Wärmebehandlung in Wolframoxid verwendet wird, das ein wichtiges Glied im Trockenprozess ist. Am Beispiel der Herstellung von Wolframtrioxid verarbeiten diese Geräte Ammoniumparawolframat oder Wolframsäure, um Wolframoxid durch Hochtemperaturzersetzung herzustellen, das bei der Herstellung von Wolframmetall- und Wolframpulvorkurvorläufern weit verbreitet ist.

Die Kalzinierungsanlagen umfassen hauptsächlich Muffelöfen und Drehrohröfen. Der Muffelofen eignet sich für kleine Chargen oder die Laborproduktion, mit einem Temperaturbereich von 300-1000 ° C, einer Temperiergenauigkeit von ± 5 ° C und einem Volumen von 10-500 L. Zum Beispiel wird Ammoniumparawolframat bei 500-700 ° C für 2-4 Stunden kalziniert, um Wolframtrioxid herzustellen: $(\text{NH}_4)_{10}(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}) \cdot 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 12\text{WO}_3 + 10\text{NH}_3 + 7\text{H}_2\text{O}$. Der Drehrohrföfen wird für die industrielle kontinuierliche Produktion eingesetzt, mit einer Länge von 10-50 Metern, einem Innendurchmesser von 1-3 Metern, einer Temperatur von 400-800 ° C und einer Leistung von bis zu 1-10 t/Tag. Der Drehrohrföfen ist mit einem Drehtrieb (1-5 U/min) und einer Atmosphärenregelung ausgestattet, um gelbes Wolframoxid in Luft und blaues oder violett Wolframoxid in Wasserstoff zu erzeugen.

Thermische Zersetzungsanlagen erfordern hochtemperaturbeständige Materialien (z.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

B. feuerfeste Steine oder Nickelbasislegierungen) und sind mit einer Abgasnachbehandlungseinheit (z. B. Wäscher) zur Behandlung von NH_3 oder H_2O , das durch Zersetzung entsteht, ausgestattet. Temperatur und Atmosphäre sind Schlüsselparameter, z. B. $600\text{ }^\circ\text{C}$ Luftatmosphäre zur Herstellung von Wolframoxid mit hoher Kristallinität, $800\text{ }^\circ\text{C}$ Wasserstoffatmosphäre zur Herstellung von ganzzahligem Wolframoxid. Die Haltezeit beeinflusst die Partikelgröße, so dass in 2 Stunden $1\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$ Partikel und in 4 Stunden $10\text{ }\mu\text{m}$ Partikel entstehen. Wenn nanoskaliges Wolframoxid benötigt wird, kann es mit einer Sprühtrocknungsvorbehandlung kombiniert werden.

Kalzinierungs- und thermische Zersetzungsanlagen haben den Vorteil eines einfachen Prozesses und einer hohen Ausbeute, aber eines hohen Energieverbrauchs und einer begrenzten Partikelkontrolle. Kalzinierungs- und thermische Zersetzungsanlagen sind das Rückgrat des Wolframoxid-Trockenprozesses und gewährleisten eine effiziente Umwandlung und industrielle Eignung.

7.1.3 Trenn- und Reinigungsgeräte

Trenn- und Reinigungsanlagen sind die Schlüsselausrüstung bei der Herstellung von Wolframoxid, das zur Extraktion und Raffination von Wolframoxid oder seinen Vorläufern aus den Reaktionsprodukten verwendet wird. Am Beispiel von Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) umfassen diese Geräte Fest-Flüssig-Trenngeräte sowie Kristallisations- und Rekrystallisationsanlagen, die in der Hydrometallurgie und im Trockenprozess weit verbreitet sind, um die Reinheit und Qualität von Wolframpulver und Wolframfilamentvorläufern sicherzustellen.

Fest-Flüssig-Trennanlagen werden verwendet, um Feststoffe (z. B. [Wolframsäure](#)) von Flüssigkeiten (z. B. Abfallflüssigkeiten) zu trennen, die durch Reaktionen entstehen. Zu den typischen Geräten gehören Platten- und Rahmenfilterpressen und Zentrifugen, die Suspensionen bei einem Druck ($0,5\text{--}1\text{ MPa}$) mit einer Kapazität von $1\text{--}10\text{ t/h}$ filtrieren, die für die Extraktion von Wolframsäure aus Wolframsäurehydrolysat geeignet sind. Zentrifugen verwenden eine Zentrifugalkraft ($500\text{--}2000\text{ g}$) für eine schnelle Trennung, die für kleine Chargen mit hochreiner Produktion geeignet ist. Diese Geräte müssen aus korrosionsbeständigen Materialien wie Polypropylen oder Edelstahl bestehen, um mit sauren und alkalischen Umgebungen zurechtzukommen. Die Abscheideeffizienz hat einen direkten Einfluss auf die nachfolgende Reinigung.

Kristallisations- und Rekrystallisationsanlagen werden zur Reinigung von löslichen Wolframverbindungen wie Natriumwolframat oder Ammoniumparawolframat eingesetzt. Durch die Steuerung der Temperatur ($20\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$) und der Konzentration ermöglicht der Kristallisationsbehälter die Ausfällung von Wolframverbindungen aus der Lösung, wie z. B. Ammoniumparawolframat, das beim Abkühlen auf $30\text{ }^\circ\text{C}$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mit einer Reinheit von bis zu 99,5 % kristallisiert. Rekristallisationsgeräte (z. B. Verdampfungskristallisator) entfernen Verunreinigungen durch mehrfache Auflösung-Kristallisation und eignen sich für die Herstellung von hochreinem Wolframoxid. Das Gerät ist mit einem Rührwerk (50–200 U/min) und einem Temperaturregelsystem ausgestattet, um ein gleichmäßiges Kristallwachstum zu gewährleisten.

Die Trenn- und Reinigungsausrüstung muss auf den Prozess abgestimmt sein. So beruht beispielsweise der Nassprozess zur Herstellung von Wolframchemikalien auf der Fest-Flüssig-Trennung, während sich der Trockenprozess auf die Kristallisation und Reinigung konzentriert. Trenn- und Reinigungsanlagen sind ein wichtiges Glied in der Wolframoxidproduktion und gewährleisten die Reinheit und Rückgewinnung des Produkts.

7.1.3.1 Anlagen zur Fest-Flüssig-Trennung

Die Fest-Flüssig-Trennanlage ist eine wichtige Anlage zur Trennung und Reinigung bei der Wolframoxid-Produktion, die zur Extraktion fester Produkte aus Reaktionsgemischen eingesetzt wird. Am Beispiel der Herstellung von Wolframtrioxid verarbeiten diese Anlagen die Suspension nach der Scheelit-Azidolyse oder Alkalihydrolyse und trennen Wolframsäure- oder Wolframoxidpartikel ab, was den Kernschritt bei der Herstellung von Wolframmetallvorläufern darstellt.

Zu den gängigen Geräten zur Fest-Flüssig-Trennung gehören Platten- und Rahmenfilterpressen, Zentrifugen und Vakuumfilter. Die Platten- und Rahmenfilterpresse presst die Feststoffe (z. B. Wolframsäure) in der Suspension durch Druck (0,5–1,5 MPa) zu einem Filterkuchen, und das Filtrat wird mit einer Verarbeitungskapazität von 1–20 t/h ausgetragen, die für die Großproduktion geeignet ist. Zentrifugen verwenden eine Hochgeschwindigkeitsrotation (1000–3000 U/min), um eine Zentrifugalkraft (500–2000 g) zu erzeugen, um feine Partikel wie Wolframsäure schnell aus Wolframatlösungen zu trennen, und sind für hohe Reinheitsanforderungen geeignet. Der Vakuumfilter wird durch Unterdruck (0,01–0,08 MPa) gefiltert, der für die Labor- oder Kleinserienproduktion geeignet ist, und die Filtrationsgenauigkeit beträgt bis zu 1–10 μm .

Die Geräte müssen aus korrosionsbeständigen Materialien wie Polypropylen-Filtertuch oder 316L-Edelstahlgehäuse bestehen, um saure (z. B. HCl) oder alkalische (z. B. NaOH) Umgebungen zu bewältigen. Die Porengröße (5–50 μm) des Filtermediums (z. B. Filtertuch oder Membran) beeinflusst die Abscheidewirkung, und es kann leicht verstopfen, wenn es zu fein ist, und es leckt aus, wenn es zu grob ist. Betriebsparameter wie Druck, Drehzahl und Filtrationszeit müssen optimiert werden, z. B. kann nach 30 Minuten Filtration bei 1 MPa ein Kuchen mit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

einem Feuchtigkeitsgehalt von < 20 % erzielt werden. Beim Trocknen kann es mit dem Wolfram-Kunststoff-Verfahren kombiniert werden.

Die Effizienz von Fest-Flüssig-Trennanlagen wirkt sich direkt auf die Wolframrückgewinnung aus. So können Zentrifugen beispielsweise mehr als 95 % der Feinstaub zurückgewinnen. CTIA GROUP LTD optimiert den Produktionsprozess von Wolframoxid in einem Wolframunternehmen, indem es mit einer mehrstufigen Fest-Flüssig-Trennanlage ausgestattet wird. Die Fest-Flüssig-Trennung ist der Eckpfeiler des Wolframoxid-Nassprozesses und gewährleistet die effiziente Extraktion fester Produkte.

7.1.3.2 Kristallisations- und Rekrystallisationsanlagen

Kristallisations- und Rekrystallisationsanlagen sind eine Schlüsselausrüstung für die Reinigung bei der Wolframoxidproduktion, die zur Ausfällung hochreiner Wolframverbindungen aus der Lösung verwendet wird. Am Beispiel der Herstellung von Wolframtrioxid verarbeiten diese Geräte Natriumwolframat oder Ammoniumparawolframatlösung, um reine Kristalle zu erzeugen, indem sie die Kristallisationsbedingungen kontrollieren, was ein wichtiger Bestandteil der Herstellung hochwertiger Wolframchemikalien ist.

Die Kristallisationsanlage umfasst einen Kristallisationstank und einen Kühlkristallisator. Der Kristallisationsbehälter fällt Wolframverbindungen durch Abkühlen oder Verdampfen aus, z. B. wird Ammoniumparawolframatlösung von 80 ° C auf 30 ° C abgekühlt, um nadelförmige Kristalle mit einer Reinheit von bis zu 99,5 % auszufällen. Das Tankvolumen beträgt 50-5000 L, ausgestattet mit einem Rührwerk (50-200 U/min) und einem Temperaturregelungssystem, um ein gleichmäßiges Kristallwachstum zu gewährleisten. Die Kühlform beschleunigt die Ausfällung durch zirkulierendes Kühlwasser, das für eine kontinuierliche Produktion mit einer Verarbeitungskapazität von 1-10 t/Tag geeignet ist. Wird blaues Wolframoxid benötigt, können die Kristalle weiter wärmebehandelt werden.

Die Rekrystallisationsanlage umfasst einen Verdampfungskristallisator und einen Lösebehälter. Der Verdampfungskristallisator konzentriert die Lösung durch Erhitzen (50-100 ° C), rekrystallisiert nach dem Entfernen von Verunreinigungen, wie z. B. Natriumwolframatlösung, verdampft bis zur Sättigung, und kühlt dann ab, um hochreine Kristalle auszufällen, und die Reinheit kann auf 99,9 % erhöht werden. Der Lösebehälter dient zum Wiederauflösen der Primärkristalle, zur Wiederholung des Kristallisationsprozesses und ist mit korrosionsbeständigen Materialien (z. B. Emaille) und Heizvorrichtungen ausgestattet. Verdampfungsrate und Abkühlgeschwindigkeit sind entscheidend, zu schnell kann zu Kristalldefekten führen, und zu langsam kann zu Ineffizienz führen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der Vorteil von Kristallisations- und Rekrystallisationsanlagen besteht darin, dass der Reinigungseffekt bemerkenswert ist, der Energieverbrauch jedoch hoch ist und sie für Produkte mit hoher Wertschöpfung geeignet sind. Kristallisations- und Rekrystallisationsgeräte sind ein Präzisionswerkzeug für die Wolframoxidreinigung, das die Produktqualität sicherstellt.

7.2 Hilfseinrichtungen zur Herstellung von Wolframoxid

Wolframoxid-Hilfsproduktionsanlagen sind ein Gerät, das die Hauptausrüstung unterstützt und für den Materialtransport, die Umweltkontrolle und die Verarbeitung des Endprodukts verwendet wird. Am Beispiel der Wolframtrioxid-Produktion umfassen diese Geräte Materialhandhabungsgeräte, Entstaubungsgeräte und Verpackungsanlagen, um die Kontinuität und Sicherheit der Produktionslinien für Wolframmetall und Wolframpulver zu gewährleisten.

Materialflussgeräte sind für den Transport von Rohstoffen, Zwischenprodukten und Fertigprodukten verantwortlich, einschließlich mechanischer Fördergeräte (z. B. Bandförderer) und pneumatischer Fördergeräte (z. B. Luftströmungsleitungen), um sicherzustellen, dass alle Prozesse nahtlos ablaufen. Entstaubungsgeräte (z. B. Beutelfilter) sammeln Staub aus dem Schleifen oder Kalzinieren mit einer Verarbeitungskapazität von 10–100 m³/min, was den Anforderungen des Umweltschutzes entspricht. Verpackungsanlagen (z. B. automatische Absackmaschinen) füllen Wolframoxidpulver in Säcke oder Fässer mit einer Effizienz von 100–500 Säcken/Stunde, was für die vielfältigen Verpackungsanforderungen des Wolframmarktes geeignet ist.

Das Zusatzgerät muss mit dem Hauptgerät übereinstimmen. So muss die Fördertechnik verschleißfest sein und sich an harte Partikel wie Calciumwolframat anpassen; Die Entstaubungsanlage muss < 10 µm Staub effizient filtern. CTIA GROUP LTD erhöht die Produktionseffizienz von Wolframoxid in Wolframprodukten durch die Integration von Produktionszusatzgeräten. Die zusätzliche Produktionsausrüstung aus Wolframoxid ist die Garantie der Produktionslinie und optimiert den gesamten Prozessablauf.

7.2.1 Flurförderzeuge

Die Flurförderzeuge sind ein wichtiges Gerät für die Herstellung von Wolframoxid-Hilfsmitteln, das zum Transport von Rohstoffen, Zwischenprodukten und Fertigprodukten zwischen verschiedenen Prozessen verwendet wird. Am Beispiel der Wolframtrioxid-Produktion umfassen diese Anlagen mechanische Förderanlagen und pneumatische Förderanlagen zur Verarbeitung von Materialien wie Scheelit oder Wolframsäure, um die Kontinuität der chemischen Wolfram-Produktionslinien zu gewährleisten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mechanische Fördereinrichtungen wie Gurtförderer und Schneckenförderer transportieren Granulate oder Pulver mit einer Förderleistung von 10–500 t/h, geeignet für die Massenproduktion, von der Zerkleinerung zu Reaktionsprozessen. Pneumatische Fördergeräte, wie z. B. Luftströmungsleitungen, verwenden Druckluft (0,1–0,5 MPa), um feine Pulver (z. B. Wolframpulver) zu transportieren, die für die Übertragung über große Entfernungen oder geschlossene Übertragungen geeignet sind. Die Fördertechnik muss aus verschleißfesten Materialien (z. B. Gummibändern oder Edelstahlrohren) bestehen, um der hohen Härte des Wolframmaterials gerecht zu werden. Die Wahl der Flurförderzeuge hängt von der Art des Materials und dem Layout des Prozesses ab. So werden beispielsweise Förderschnecken für nasse Materialien und pneumatische Förderer für trockene Pulver eingesetzt. Flurförderzeuge sind das Bindeglied zwischen der Wolframoxidproduktion und sorgen für einen reibungslosen Ablauf.

7.2.1.1 Mechanische Fördereinrichtungen

Mechanische Fördergeräte sind die wichtigsten Hilfsmittel für den Materialtransport in der Wolframoxidproduktion, die für Kurzstrecken- und Großtransporte verwendet werden. Am Beispiel der Wolframtrioxid-Produktion gehören zu diesen Anlagen Bandförderer, Schneckenförderer und Becherwerke, die Materialien wie Wolframit oder Wolframsäure verarbeiten und eine wichtige Unterstützung für Wolframmetall-Produktionslinien darstellen.

Der Gurtförderer transportiert Materialien über Gummi- oder Polyesterbänder mit einer Breite von 0,5–2 m, einer Geschwindigkeit von 1–5 m/s und einer Förderleistung von 50–1000 t/h, die für den kontinuierlichen Transfer von der Zerkleinerung zur Vermahlung geeignet sind. Die Förderschnecke verwendet eine rotierende Schnecke zum Schieben von Materialien mit einem Rohrdurchmesser von 0,1–0,5 m und einer Förderleistung von 1–50 t/h, die für nasse Materialien oder Pulver (z. B. Wolframit) geeignet ist. Das Becherwerk hebt Materialien vertikal mit einer Höhe von 5–50 m, was für Szenarien mit begrenztem Platzangebot geeignet ist. Die Ausrüstung benötigt verschleißfeste Auskleidungen (z. B. Manganstahl), um den Verschleiß zu reduzieren.

Die Vorteile mechanischer Fördergeräte sind der einfache Aufbau und die einfache Wartung, aber sie sind nicht für den Transport von Langstrecken oder feinem Pulver geeignet. CTIA GROUP LTD ist mit hocheffizienten mechanischen Förderanlagen ausgestattet, um die Produktionseffizienz von Wolframoxid im Wolframpreis zu verbessern. Mechanische Fördereinrichtungen sind ein zuverlässiger Helfer bei der Wolframoxid-Produktion und sorgen für den Materialfluss.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.2.1.2 Pneumatische Fördereinrichtungen

Pneumatische Fördergeräte sind ein fortschrittliches Hilfsgerät für den Materialtransport in der Wolframoxidproduktion, das den Luftstrom zum Transport von feinen Partikeln nutzt. Am Beispiel der Wolframtrioxid-Produktion umfassen diese Anlagen pneumatische Überdruckfördersysteme und pneumatische Unterdruckfördersysteme, die Wolframpulver oder Purpurwolframoxid verarbeiten, das für die geschlossene Übertragung von Wolframchemikalien geeignet ist.

Das pneumatische Überdruckfördersystem drückt das Material durch Druckluft (0,1–0,5 MPa) mit einem Rohrdurchmesser von 50–300 mm, einer Förderstrecke von 10–500 m und einer Kapazität von 1–50 t/h, die für den Langstreckentransport geeignet ist. Das pneumatische Unterdruck-Fördersystem verwendet eine Vakuumpumpe (0,01–0,08 MPa), um das Material über eine kürzere Strecke, aber mit besserer Staubkontrolle zu saugen, wodurch es für Labore oder saubere Umgebungen geeignet ist. Die Rohre bestehen aus Edelstahl oder Polyurethan, die verschleißfest und verstopfungsfest sind. Pneumatische Förderanlagen haben den Vorteil, dass sie luftdicht und frei von Staubaustritt sind, verbrauchen jedoch mehr Energie und erfordern eine regelmäßige Reinigung der Rohrleitung. Pneumatische Förderanlagen sind eine effiziente Unterstützung für die Wolframoxidproduktion und erhöhen den Grad der Prozessmodernisierung.

7.2.2 Trocknungs- und Kühlgeräte

Trocknungs- und Kühlgeräte sind ein wichtiges Hilfsmittel bei der Herstellung von Wolframoxid, das zur Behandlung der Feuchtigkeit und Temperatur von Reaktionsprodukten oder Zwischenprodukten verwendet wird. Nehmen Sie Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) als Beispiel, zu diesen Geräten gehören Trocknungsgeräte und Kühlgeräte, die bei der Herstellung von Wolframpulver und Wolframdraht weit verbreitet sind, um sicherzustellen, dass der physikalische Zustand des Materials den Anforderungen der nachfolgenden Verarbeitung oder Lagerung entspricht.

Trocknungsanlagen werden verwendet, um nass aufbereitetes Wolframoxid oder Vorläuferstoffe wie Wolframsäure von Wasser zu befreien. Zu den typischen Geräten gehören ein Sprühtrockner und ein Ofen, der Sprühtrockner zerstäubt die Suspension und trocknet sie dann sofort in heißer Luft (150–300 °C) mit einer Verarbeitungskapazität von 1–10 t/h, und das resultierende Pulver hat eine einheitliche Partikelgröße (10–50 μm), die für die kontinuierliche Produktion geeignet ist. Der Ofen wird statisch bei 100–200 °C mit einem Volumen von 50–5000 L getrocknet, geeignet für kleine Chargen oder hochreines Wolframoxid, mit einer Trocknungszeit von 2–8 Stunden. Die Trocknungsanlagen müssen genau temperiert werden (± 5 °C) und korrosionsbeständige Materialien (z. B. Edelstahl)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

verwendet werden, um eine durch Feuchtigkeitsrückstände verursachte Agglomeration zu vermeiden.

Kühlgeräte werden verwendet, um den Hochtemperaturzustand von Wolframoxid nach dem Kalzinieren oder Trocknen zu reduzieren, Oxidation zu verhindern oder das Verpacken zu erleichtern. Zu den gängigen Geräten gehört eine Kühltrömmel, die Wolframoxid von 500 ° C auf 50 ° C reduziert, indem die Trömmel und kalte Luft (20-50 ° C) mit einer Kapazität von 5-20 t/h gedreht werden. Der Wirbelschichtkühler verwendet einen Luftstrom (0,5-2 m/s) zur Kühlung feiner Pulver, die für blaues Wolframoxid oder violettes Wolframoxid geeignet sind, mit gleichmäßiger Kühlung und Anbackungsschutz. Das Gerät benötigt ein effizientes Wärmeaustauschsystem, um sicherzustellen, dass die Temperatur schnell abfällt.

Trocknungs- und Kühlgeräte müssen auf den Prozess abgestimmt sein. So beruht beispielsweise die Nassherstellung von Wolframchemikalien auf der Sprühtrocknung, während der Trockenprozess eine Kühlung der Trömmel erfordert. Trocknungs- und Kühlanlagen sind die tragende Säule der Wolframoxid-Produktion, die die Stabilität und Verarbeitbarkeit des Materials gewährleisten.

7.2.2.1 Trocknungsanlagen

Trocknungsanlagen sind ein wichtiges Hilfsmittel bei der Herstellung von Wolframoxid, das zur Entfernung von Wasser aus Nasspräparaten verwendet wird. Bei der Wolframtrioxid-Herstellung werden mit diesen Anlagen beispielsweise die Kristallisationsprodukte der Wolframsäure oder der Ammoniumparawolframatlösung nach der Scheelit-Acidolyse aufbereitet, um den Trockenzustand von Wolframmetall-Vorläufern sicherzustellen.

Zu den gängigen Trocknungsgeräten gehören Sprühtrockner, Öfen und Vakuumtrockner. Der Sprühtrockner zerstäubt die Suspension durch eine Hochdruckdüse (0,5-2 MPa), und das Wasser wird sofort durch heiße Luft (150-300 ° C) mit einer Verarbeitungskapazität von 1-10 t/h verdampft, und die resultierende Pulverpartikelgröße beträgt 10-50 µm, was für die kontinuierliche Produktion von Wolframpulver geeignet ist. Der Ofen wird statisch bei 100-200 ° C getrocknet, mit einem Volumen von 50-5000 L und einer Trocknungszeit von 2-8 Stunden, was für kleine Chargen von hochreinem Wolframoxid geeignet ist. Der Vakuumtrockner arbeitet mit einem Unterdruck von 0,01-0,08 MPa und 50-100° C, was für wärmeempfindliche Materialien wie Wolframat geeignet ist und eine Zersetzung bei hohen Temperaturen vermeidet.

Trocknungsanlagen erfordern korrosionsbeständige Materialien (z. B. Edelstahl 316L) und ein präzises Temperatursystem (± 5 ° C), um Rückstände oder Überhitzungsagglomeration zu vermeiden. Heißluftstrom, Fördergeschwindigkeit und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Temperatur sind wichtige Parameter, z. B. kann ein Sprühtrockner ein Pulver mit einem Feuchtigkeitsgehalt von $<1\%$ bei einer Zuführung von 5 l/min bei $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ herstellen. Wenn nanoskaliges Wolframoxid benötigt wird, kann die Trocknungstemperatur auf $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ gesenkt werden, um die Partikelkoaleszenz zu reduzieren. Das Gerät muss auch mit einem Staubabscheider (z. B. einem Zyklonabscheider) ausgestattet sein, um die Feinanteile zurückzugewinnen.

Die Effizienz der Trocknungsanlage wirkt sich direkt auf die Qualität des Produkts aus. Ein Sprühtrockner kann beispielsweise Wolframsäure schnell zu einem homogenen Pulver trocknen, wodurch die Effizienz der anschließenden Kalzinierung verbessert wird. CTIA GROUP LTD verbessert die Qualität der Wolframoxidproduktion in Wolframunternehmen durch die Optimierung der Parameter der Trocknungsanlage. Die Trocknungsanlage ist die Garantie für den Wolframoxid-Nassprozess, der die Trocknung und Fließfähigkeit des Pulvers gewährleistet.

7.2.2.2 Kühlgeräte

Kühlgeräte sind ein wichtiges Hilfsmittel bei der Herstellung von Wolframoxid, das zur Senkung der Temperatur von Hochtemperaturprodukten oder Zwischenprodukten verwendet wird. Am Beispiel der Herstellung von Wolframtrioxid verarbeiten diese Geräte das kalzinierte Wolframoxid oder Wolframpulver und reduzieren es von 500 bis $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf Raumtemperatur, was ein notwendiger Bestandteil der Herstellung von Wolframchemikalien und Wolframfilament ist.

Zu den gängigen Kühlgeräten gehören Kühltrommeln, Wirbelschichtkühler und wassergekühlte Schneckenmaschinen. Die Kühltrommel kühlt Wolframoxid durch Drehen des Zylinders ($1\text{--}5\text{ U/min}$) und kalter Luft ($20\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$) mit einem Durchmesser von $0,5\text{--}2\text{ m}$ und einer Verarbeitungskapazität von $5\text{--}20\text{ t/h}$, die für die Großserienproduktion geeignet ist. Der Wirbelschichtkühler verwendet einen Luftstrom ($0,5\text{--}2\text{ m/s}$), um das Pulver $10\text{--}30$ Minuten lang von $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu suspendieren und abzukühlen, und ist für blaues oder violett Wolframoxid mit gleichmäßiger Kühlung und Anbackungsschutz geeignet. Die wassergekühlte Schneckenmaschine drückt das Kühlgut durch den wassergekühlten Mantel ($10\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$) und die Schnecke, was für die Kleinserien- oder Dauerproduktion geeignet ist.

Kühlgeräte erfordern effiziente Wärmetauschersysteme (z. B. Kupferrohrwärmetauscher) und hochtemperaturbeständige Materialien (z. B. feuerfester Stahl), um eine schnelle Abkühlung zu gewährleisten und Oxidation zu verhindern. Das Kühlmedium (Luft oder Wasser), die Durchflussmenge und die Länge der Anlage sind entscheidend, z. B. kann die Kühltrommel 10 t/h Wolframoxid bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s verarbeiten. Wenn die Temperatur zu langsam absinkt, kann dies zu einer Verringerung der Sauerstofflücken führen, was sich auf die Leistung von Wolframkunststoff auswirkt. Das Gerät muss außerdem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

staubdicht sein, um Pulververluste zu vermeiden.

Die Leistungsfähigkeit der Kühlanlage wirkt sich auf die anschließende Verarbeitung und Lagerung aus. Zum Beispiel hält ein Wirbelschichtkühler das Pulver locker, um es einfach zu verpacken. Die Kühlanlage ist der Stabilisator der Wolframoxidproduktion, der den Aggregatzustand des Materials sicherstellt.

7.2.3 Geräte zur Behandlung von Umweltschutz

Umweltschutzbehandlungsanlagen sind ein notwendiges Hilfsmittel bei der Herstellung von Wolframoxid, das zur Behandlung der im Produktionsprozess anfallenden Abgase und Abwässer verwendet wird. Im Falle der Wolframtrioxid-Produktion gehören zu diesen Anlagen beispielsweise Abgasbehandlungsanlagen und Abwasserbehandlungsanlagen zur Behandlung von Verunreinigungen aus Wolframit- oder Ammoniumparawolframat-Reaktionen, zur Sicherstellung der Einhaltung von Umweltstandards und zur Unterstützung der nachhaltigen Entwicklung des Wolframmarktes.

Abgasbehandlungsanlagen behandeln NH_3 , SO_2 oder Stäube aus der Kalzinierung oder Acidolyse. Der Schlauchfilter sammelt Feinstaub ($<10 \mu\text{m}$) mit einer Verarbeitungskapazität von $10\text{--}100 \text{ m}^3/\text{min}$ und einem Wirkungsgrad von mehr als 99%. Der Wäscher absorbiert saure Gase (z. B. HCl) mit Lauge (z. B. NaOH) in einer Höhe von $5\text{--}20 \text{ m}$ und einer Gasgeschwindigkeit von $1\text{--}3 \text{ m/s}$, um sicherzustellen, dass der Austrag der Norm entspricht. Die Kläranlage behandelt saure und alkalische Abfälle von flüssigen oder Schwermetallionen, neutralisiert das saure Abwasser (pH $2\text{--}4$ bis $7\text{--}8$) mit Kalk im Absetzbecken und fällt Wolframrückstände mit einer Reinigungskapazität von $10\text{--}1000 \text{ m}^3/\text{h}$ aus.

Umweltfreundliche Aufbereitungsanlagen erfordern korrosionsbeständige Materialien (wie PP oder GFK) und hocheffiziente Filtersysteme, um eine Entfernungsrate von $> 95 \%$ zu gewährleisten. Betriebsparameter wie das Flüssig-Gas-Verhältnis ($2\text{--}5 \text{ L/m}^3$) und die Sedimentationszeit ($1\text{--}4$ Stunden) müssen optimiert werden. Handelt es sich um Calciumwolframat-Abfälle, ist eine zusätzliche Ionenaustauschervorrichtung erforderlich, um Ca^{2+} zu entfernen. CTIA GROUP LTD hat das grüne Produktionsniveau von Wolframoxid in Wolframprodukten durch die Integration von Umweltschutzausrüstung verbessert. Die Umweltschutzbehandlungsanlage ist die Umweltschutzgarantie für die Wolframoxidproduktion, die die Umweltbelastung reduziert und die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens erhöht.

7.2.3.1 Anlagen zur Abgasbehandlung

Die Abgasbehandlungsanlage ist eine Zusatzausrüstung für die Umwelt bei der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Herstellung von Wolframoxid, das zur Behandlung des durch Reaktion und Kalzinierung entstehenden Abgases verwendet wird. Am Beispiel der Wolframtrioxid-Produktion behandeln diese Geräte NH_3 , HCl oder Staub, die durch Scheelit-Azidolyse oder thermische Wolframsäurezersetzung entstehen, um sicherzustellen, dass die Emission den Umweltschutzstandards entspricht, was die grüne Garantie für die Herstellung von Wolframchemikalien darstellt.

Zu den gängigen Abgasbehandlungsanlagen gehören Schlauchfilter, Wäscher und Aktivkohleadsorber. Der Schlauchfilter fängt Staub durch einen Polyesterfilterbeutel (Porengröße 1-5 μm) mit einer Verarbeitungskapazität von 10-100 m^3/min und einer Abscheiderate von >99 % auf, der für den Wolframpulvermahlprozess geeignet ist. Der Wäscher absorbiert saure Gase (z. B. SO_2) mit Lauge (5-10 % NaOH) mit einem Durchmesser von 1-3 m, einem Flüssig-Gas-Verhältnis von 2-5 L/m^3 und einer Behandlungskapazität von 50-500 m^3/h . Aktivkohleadsorber adsorbieren flüchtige Bestandteile (z.B. Lösemittelrückstände) und eignen sich für die Abgasreinigung in kleinem Maßstab.

Die Ausrüstung erfordert korrosionsbeständige Materialien (z. B. GFK) und hocheffiziente Filtersysteme, um sicherzustellen, dass die Abgase bis zum Standard (z. B. $\text{NH}_3 < 10 \text{ mg}/\text{m}^3$) abgeführt werden. Luftvolumen, Sprühstrom und Beutelwechselintervalle sind entscheidend, z. B. kann der Wäscher 200 m^3/h Abgas bei einer Geschwindigkeit von 3 m^3/s verarbeiten. CTIA GROUP LTD optimiert die Umweltverträglichkeit von Wolframoxid in Wolframunternehmen, indem es mit mehrstufigen Abgasbehandlungsanlagen ausgestattet wird. Die Abgasnachbehandlungsanlage ist eine Umweltbarriere für die Wolframoxidproduktion und sichert die Luftqualität.

7.2.3.2 Anlagen zur Abwasseraufbereitung

Die Abwasseraufbereitungsanlage ist eine umweltfreundliche Zusatzausrüstung bei der Wolframoxidproduktion, die zur Aufbereitung von Abwässern aus Nassprozessen eingesetzt wird. Am Beispiel der Wolframtrioxid-Produktion behandelt diese Anlage saure und alkalische Abfallflüssigkeiten und Schwermetallionen nach der Reaktion von Natriumwolframat oder Ammoniumparawolframat, um sicherzustellen, dass das Abwasser gemäß den Standards eingeleitet wird, was der Schlüssel zu einer umweltfreundlichen Produktion auf dem Wolframmarkt ist.

Zu den gängigen Abwasseraufbereitungsanlagen gehören Neutralisationssedimentationsbecken, Ionenaustauschsäulen und Membrantrennvorrichtungen. Das Neutralisationssedimentationsbecken neutralisiert saure Abwässer (pH 2-4 bis 7-8) mit Kalk oder NaOH , fällt Wolframrückstände und Schwermetalle (z.B. Pb^{2+}) aus, mit einem Tankinhalt von 10-1000 m^3 und einer Behandlungsleistung von 5-500 m^3/h . Die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ionenaustauschersäule adsorbiert restliche Wolframionen (z. B. WO_4^{2-}) durch Harz, und der Wolframgehalt des Abwassers beträgt $< 1 \text{ mg/L}$, was für hohe Reinheitsanforderungen geeignet ist. Membrantrenngeräte (z. B. Umkehrosmose) filtern Spurenverunreinigungen mit einer Kapazität von $1-100 \text{ m}^3/\text{h}$ und einer Rückgewinnungsrate von $>90 \%$.

Abwasseraufbereitungsanlagen erfordern korrosionsbeständige Materialien (wie PE oder PVC) und hocheffiziente Sedimentationssysteme, um eine Abscheiderate von CSB und Schwermetallen von $> 95 \%$ zu gewährleisten. Die Menge des Neutralisators ($0,1-1 \text{ kg/m}^3$) und die Sedimentationszeit (1-4 Stunden) müssen optimiert werden. Ist Calciumwolframat im Abwasser enthalten, sollte Flockungsmittel zugesetzt werden, um die Sedimentationseffizienz zu verbessern. Abwasseraufbereitungsanlagen sind der Eckpfeiler des Umweltschutzes bei der Wolframoxidproduktion und gewährleisten die Wassersicherheit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD gelbes Wolframoxid

Kapitel 8 Forschung zum Nachweisprinzip von Wolframoxid

8.1 Wolframoxid-Detektionsspektroskopie

Die Spektroskopie ist eine wichtige Technik zum Nachweis von Wolframoxid, da sie seine Zusammensetzung, Struktur und Eigenschaften durch die Analyse seiner Wechselwirkung mit elektromagnetischen Wellen einer bestimmten Wellenlänge aufdeckt. Am Beispiel von Wolframtrioxid (gelbes Wolframoxid) gehören zu den spektroskopischen Analysemethoden die Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA), die Raman-Spektroskopie und die Ultraviolett-sichtbare Spektroskopie usw., die in der Qualitätskontrolle und Forschung von Wolframpulver und Wolframfilamenten weit verbreitet sind.

Die Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA) regt die Atome im Wolframoxid durch Röntgenstrahlen an, detektiert seine charakteristischen Fluoreszenzstrahlen und analysiert quantitativ den Gehalt an Wolfram und Verunreinigungselementen. Eine Wolframtrioxid-Probe zeigt beispielsweise eine $K\alpha$ -Wolframlinie (ca. 59 keV) in RFA, die zur Bestimmung der Reinheit (>99 %) und der Spurenelemente (z. B. Fe, Ca) verwendet werden kann. Diese Methode ist zerstörungsfrei, schnell und eignet sich für die industrielle Inspektion von Produkten auf dem Wolframmarkt. Geräte wie RFA-Handanalysatoren haben Nachweisgrenzen von nur ppm und eine praktische Zeit von nur wenigen Minuten.

Die Raman-Spektroskopie regt die molekulare Schwingung von Wolframoxid per Laser an, um seine Kristallstruktur und seine chemischen Bindungseigenschaften zu

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

analysieren. Zum Beispiel zeigt die monokline Form von Wolframtrioxid Raman-Peaks der W-O-W-Bindung bei 807 cm^{-1} und 717 cm^{-1} , was den strukturellen Unterschied zu blauem Wolframoxid oder violetter Wolframoxid unterscheiden kann. Diese Methode ist empfindlich gegenüber der Kristallform und eignet sich zur Untersuchung der mikroskopischen Eigenschaften von Wolframchemikalien. Raman-Spektrometer (z. B. 532-nm-Laser) haben eine hohe Auflösung und sind in der Lage, nanoskalige Proben zu detektieren.

Die Ultraviolett-sichtbare Spektroskopie (UV-Vis) wurde verwendet, um die Lichtabsorptionseigenschaften von Wolframoxid zu detektieren und seine Bandlücke und optischen Eigenschaften widerzuspiegeln. Wolframtrioxid hat eine Absorptionskante von 400–450 nm und eine Energiebandlücke von etwa 2,5–2,8 eV, die zur Überprüfung seiner photokatalytischen Leistung verwendet werden kann. Für die Laboranalytik eignen sich Instrumente wie Spektralphotometer mit Detektionswellenlängen von 200 bis 800 nm. Die Spektroskopie ist der wissenschaftliche Eckpfeiler der Wolframoxid-Detektion und liefert mehrdimensionale Informationen.

8.1.1 Wolframoxid-Detektion – Röntgenfluoreszenzspektroskopie-Analyse

Die Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA) ist ein hocheffizientes spektroskopisches Verfahren zum Nachweis von Wolframoxid, das Probenatome durch Röntgenstrahlen anregt, ihre charakteristischen Fluoreszenzstrahlen misst und die elementare Zusammensetzung und den Gehalt analysiert. Am Beispiel der Wolframtrioxid-Produktion wird RFA verwendet, um die Reinheit von Wolframoxid nach der Wolframit- oder Scheelit-Verarbeitung zu ermitteln, und ist eine Schlüsseltechnologie für die Qualitätskontrolle von Wolframmetallen.

Das Nachweisprinzip der RFA basiert auf Übergängen auf atomarer Ebene. Röntgenstrahlen (Energie 10–50 keV) bestrahlen Wolframoxid, um die inneren Elektronen des Wolframatoms (z. B. L-Schale) anzuregen, und emittieren charakteristische Fluoreszenz, wenn die äußeren Elektronen die Lücken füllen, wie z. B. die $K\alpha$ -Linie (59,3 keV) und die $K\beta$ -Linie (67,2 keV) des Wolframs. Die Fluoreszenzintensität kann mit einem Detektor (z. B. Si(Li)-Detektor) aufgezeichnet werden, um den Wolframgehalt (Genauigkeit $\pm 0,1\%$) und die Verunreinigungselemente (z. B. $K\alpha$ -Linie von Fe, 6,4 keV) zu quantifizieren. Für die schnelle Analyse eignen sich Geräte wie RFA-Tischanalysatoren mit einer Leistung von 50–100 W und Nachweisgrenzen bis in den ppm-Bereich.

Die Stärke der RFA liegt in ihren zerstörungsfreien, schnellen und mehrelementigen Detektionsfähigkeiten. So kann beispielsweise der Nachweis von Wolframoxid, das durch Kalzinierung von Ammoniumparawolframat entsteht, den Wolframgehalt $> 99,5\%$ bestätigen und Spuren von Mo oder Si innerhalb von 5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Minuten identifizieren. Die Probenvorbereitung ist einfach, entweder als Pulvertablette oder als direkter Block, aber ein Standard (z. B. reines WO_3) muss kalibriert werden, um Matrixeffekte zu vermeiden. Wird Calciumwolframat nachgewiesen, kann gleichzeitig der Ca-Gehalt analysiert werden, um die Reinheit des Rohstoffs zu überprüfen. Geräteparameter wie Röhrenspannung (40–60 kV) und Strom (1–2 mA) müssen optimiert werden, um die Empfindlichkeit zu gewährleisten.

Die Einschränkung der RFA besteht darin, dass sie nicht empfindlich gegenüber leichten Elementen wie O ist und es notwendig ist, die Oxidationsstufe in Kombination mit anderen Methoden zu bestätigen. INDUSTRIELL VERWENDET DIE CTIA GROUP LTD RFA, UM DIE QUALITÄTSKONSISTENZ VON WOLFRAMOXID IN DEN WOLFRAMPREISEN ZU ÜBERWACHEN. Die Röntgenfluoreszenzspektroskopie ist der Branchenmaßstab für die Wolframoxid-Detektion und liefert schnelle und zuverlässige Elementinformationen.

8.1.2 Wolframoxid-Detektion – Raman-Spektroskopie

Die Raman-Spektroskopie ist eine wichtige spektroskopische Methode zur Detektion von Wolframoxid, die die molekulare Schwingung der Probe per Laser anregt, um ihre Kristallstruktur und chemischen Bindungseigenschaften zu analysieren. Am Beispiel der Herstellung von Wolframtrioxid wird die Raman-Spektroskopie verwendet, um die durch Wolframsäurepyrolyse erzeugte Wolframoxidkristallform zu unterscheiden, die ein präzises Werkzeug zur Untersuchung der mikroskopischen Eigenschaften von Wolframchemikalien und Wolframpulver ist.

Das Detektionsprinzip der Raman-Spektroskopie beruht auf der inelastischen Streuung des Lichts. Ein Laser (z. B. 532 nm oder 785 nm) bestrahlt Wolframoxid, um die Schwingung der W-O-Bindungen anzuregen, und die Wellenlängenverschiebung des gestreuten Lichts spiegelt die molekularen Eigenschaften wider. Zum Beispiel betragen die Raman-Peaks der monoklinen Wolframtrioxid-Kristallform 807 cm^{-1} (W-O-W-Teleskopschwingung) und 717 cm^{-1} (W-O-Biegeschwingung), und die hexagonale Kristallform hat einen charakteristischen Peak um 690 cm^{-1} . Wenn blaues Wolframoxid oder violettes Wolframoxid nachgewiesen wird, kann der Defektzustand beurteilt werden, wenn der Sauerstoffleerstand eine Zunahme der Peakbreite oder -verschiebung verursacht. Für die Mikroanalytik eignen sich Instrumente wie die Raman-Mikroskopie mit einer Auflösung von $<1\text{ cm}^{-1}$.

Der Vorteil der Raman-Spektroskopie liegt in ihrer hohen Empfindlichkeit und Zerstörungsfreiheit. Nachweis von Wolframat Umgewandeltes Wolframoxid kann die Kristallform in Sekundenschnelle bestätigen und kann ohne aufwändige Probenvorbereitung direkt aus Pulver oder Film gemessen werden. Die Laserleistung (1–50 mW) und die Integrationszeit (5–60 s) müssen angepasst werden, um eine Überhitzung der Probe zu vermeiden. Für die Detektion von Nano-Wolframoxid bieten

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

beispielsweise ein 10-mW-Laser und eine 20-s-Integration eine klare Auflösung des W-O-Bindungspeaks. Enthält die Probe fluoreszierende Verunreinigungen (z. B. organische Rückstände), sollte der Hintergrund mit einem 785-nm-Laser unterdrückt werden. Die Einschränkung der Raman-Spektroskopie besteht darin, dass es keine direkten Informationen über den Gehalt an Metallelementen gibt, so dass sie in Verbindung mit RFA verwendet werden muss.

8.2 Wolframoxid-Detektion – elektrochemische Analyse

Wolframoxid (WO_3) ist ein wichtiges Funktionsmaterial, das aufgrund seiner einzigartigen Eigenschaften bei Licht, Strom und Wärme in Katalysatoren, Sensoren, Energiespeichermaterialien und anderen Bereichen weit verbreitet ist. Um ihre Eigenschaften genau zu charakterisieren und zu detektieren, ist die elektrochemische Analyse zu einer effizienten und sensitiven Methode geworden. Die elektrochemische Analyse basiert auf den elektrochemischen Eigenschaften einer Substanz in Lösung und analysiert die Zusammensetzung und Konzentration einer Substanz durch Messung der elektrischen Parameter (wie Strom, Potential oder elektrische Menge) während der Elektrodenreaktion. Dieses Verfahren eignet sich besonders gut, um die Redoxeigenschaften von Wolframoxid und sein chemisches Verhalten unter bestimmten Bedingungen zu untersuchen.

Das Grundprinzip der elektrochemischen Analyse leitet sich aus elektrochemischen Reaktionen ab. In einem typischen elektrochemischen System besteht die Zelle aus einer Arbeitselektrode, einer Referenzelektrode und einer Hilfselektrode, die zusammen als Drei-Elektroden-System bezeichnet werden. Die Arbeitselektrode ist der Ort, an dem das Wolframoxid reagiert, die Referenzelektrode (z. B. die kalomelgesättigte Elektrode) wird verwendet, um eine stabile Potentialreferenz bereitzustellen, und die Hilfselektrode (z. B. Platinelektrode) vervollständigt den Schaltungsschluss. Wenn ein angelegtes Potential an die Arbeitselektrode angelegt wird, kann Wolframoxid eine Oxidations- oder Reduktionsreaktion durchlaufen, die ein messbares Stromsignal erzeugt. Durch die Aufzeichnung von Änderungen dieser Signale können die Konzentration der Substanz, der Reaktionsmechanismus und die elektrochemischen Eigenschaften abgeleitet werden.

Wenn es um den Nachweis von Wolframoxid geht, bietet die elektrochemische Analyse erhebliche Vorteile. Erstens ist es hochempfindlich und in der Lage, Substanzen im Spurenbereich zu detektieren, was besonders wichtig ist, um das Verhalten von Wolframoxid in Nanomaterialien oder dünnen Schichten zu untersuchen. Zweitens ist die elektrochemische Methode einfach zu bedienen und die Kosten des Instruments sind relativ niedrig, wodurch es für Labor- und Industrieanwendungen geeignet ist. Darüber hinaus liefert das Verfahren dynamische Informationen, wie z.B. Änderungen der Reaktionsgeschwindigkeiten und Elektrodenoberflächen, was für die Untersuchung des elektrochemischen Verhaltens von Wolframsäure oder

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframchemikalien von großer Bedeutung ist.

Zu den gängigen elektrochemischen Analysetechniken gehören zyklische Voltammetrie, Polarographie und potentiometrische Titration. Unter ihnen wird die zyklische Voltammetrie aufgrund ihrer Intuitivität und breiten Anwendbarkeit häufig bei der Detektion von Wolframoxid eingesetzt. Die zyklische Voltammetrie zeichnet die Stromantwort auf, indem sie ein Potential anlegt, das sich linear mit der Zeit ändert, was zu einer charakteristischen Voltammeterkurve führt. Diese Kurven zeigen nicht nur das Redoxpotential von Wolframoxid, sondern auch sein Adsorptions- oder Diffusionsverhalten an der Elektrodenoberfläche. Wenn beispielsweise Wolframoxid als Elektrodenmaterial verwendet wird, kann seine Volt-Ampere-Kurve signifikante Oxidations- und Reduktionsspitzen aufweisen, was auf seine reversiblen elektrochemischen Reaktionen hinweist.

In der Praxis erfordert die elektrochemische Detektion von Wolframoxid häufig eine Optimierung der Versuchsbedingungen. Zum Beispiel beeinflusst die Wahl des Elektrolyten (z. B. Schwefelsäure oder Salpetersäurelösung) die Reaktivität, während der Oberflächenzustand des Elektrodenmaterials (z. B. Wolframmetall- oder glasige Kohlenstoffelektrode) die Detektionsempfindlichkeit direkt beeinflusst. Darüber hinaus haben Untersuchungen im Bereich der Wolframforschung gezeigt, dass die Kristallform von Wolframoxid (z.B. monokline oder orthorhomb) einen signifikanten Einfluss auf seine elektrochemischen Eigenschaften hat, so dass es notwendig ist, die strukturellen Eigenschaften der Probe vor der Detektion abzuklären.

Um die Detektionsgenauigkeit weiter zu verbessern, können weitere Technologien kombiniert werden. Durch die Kombination mit jüngsten Fortschritten in der Wolframtechnologie, wie z. B. der Verwendung von nanostrukturierten Wolframoxid-Elektroden, kann die Signalintensität erheblich erhöht werden. Darüber hinaus bietet das elektrochemische Verhalten von Wolfram auch theoretische Unterstützung für den Nachweis von Wolframoxid. Zum Beispiel können elektrochemische Reaktionen in Natriumwolframatlösung als Kontrollexperiment verwendet werden, um den Reaktionsmechanismus von Wolframoxid zu verstehen.

Im Bereich der Umweltüberwachung kann die elektrochemische Prüfung von Wolframoxid auch verwendet werden, um seine Leistung als Sensormaterial zu bewerten. So können beispielsweise Gassensoren auf Wolframoxid-Basis durch elektrochemische Methoden Änderungen der Konzentration bestimmter Gase erkennen. Diese Anwendung ist auf die hohe Selektivität von Wolframprodukten in elektrochemischen Reaktionen zurückzuführen. Darüber hinaus können sich Schwankungen der Wolframpreise auch auf die Kosten von Inspektionsgeräten auswirken, so dass bei industriellen Anwendungen die Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden muss.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die elektrochemische Analyse hat jedoch Grenzen. So kann beispielsweise eine schlechte Selektivität zu den Auswirkungen von störenden Substanzen führen, insbesondere beim Nachweis von Wolframoxid in komplexen Matrices. Darüber hinaus kann die Elektrodenoberfläche im Laufe der Zeit passiviert werden, was die Stabilität der Langzeitdetektion beeinträchtigt. Als Reaktion auf diese Probleme schlugen die Forscher eine Vielzahl von Verbesserungen vor, wie z. B. die Verwendung von Wolfram-Kupfer-Kompositelektroden zur Verbesserung der elektrischen Leitfähigkeit oder die Einführung von Kalziumwolframat als Stabilisator.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die elektrochemische Analyse ein leistungsfähiges Werkzeug für den Nachweis von Wolframoxid darstellt. Seine hohe Empfindlichkeit, seine einfache Bedienung und seine dynamischen Analysemöglichkeiten machen ihn zu einer wichtigen Position in der akademischen Forschung und in industriellen Anwendungen von Wolfram. Durch die kontinuierliche Optimierung der experimentellen Bedingungen und Elektrodenmaterialien soll die elektrochemische Methode den Anwendungswert der Wolframoxid-Detektion weiter steigern.

8.2.1 Wolframoxid-Detektion – Voltammetrie

Die Voltammetrie ist ein wichtiger Zweig der elektrochemischen Analyse, der sich besonders für die Detektion der elektrochemischen Eigenschaften von Wolframoxid eignet. Es misst das Verhältnis zwischen dem Elektrodenpotential und dem Strom, um eine Volt-Ampere-Kurve zu erzeugen, die die qualitative und quantitative Analyse von Materie ermöglicht. Bei der Detektion von Wolframoxid wird die Voltammetrie wegen ihrer hohen Empfindlichkeit und schnellen Reaktion bevorzugt, insbesondere bei der Untersuchung des Redoxverhaltens und der elektrokatalytischen Eigenschaften.

Die Grundprinzipien der Voltammetrie basieren auf dem Ohmschen Gesetz und der elektrochemischen Reaktionskinetik. In Experimenten wird in der Regel ein Drei-Elektroden-System verwendet: eine Arbeitselektrode (z. B. Wolframmetall- oder Wolframoxid-Dünnschichtelektrode), eine Referenzelektrode und eine Hilfselektrode. Durch Anlegen eines zeitlich veränderlichen Potentials, wie z. B. eines linearen Sweeps oder eines zyklischen Sweeps, wird der Strom aufgezeichnet, der sich aus der Oxidations- oder Reduktionsreaktion von Wolframoxid auf der Elektrodenoberfläche ergibt. Die resultierende Strom-Potential-Kurve (d. h. Voltammetrie) bietet eine visuelle Darstellung der elektrochemischen Eigenschaften der Substanz.

Die zyklische Voltammetrie (CV) ist eine der am häufigsten verwendeten Techniken

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

bei der Voltammetrie-Detektion von Wolframoxid. Es erzeugt eine symmetrische Volt-Ampere-Kurve, indem es wiederholt über einen Bereich von Potentialen scannt. Wenn beispielsweise die kapazitiven Eigenschaften von Wolframoxid untersucht werden, kann die Volt-Ampere-Kurve rechteckig sein, was darauf hindeutet, dass es über hervorragende elektrochemische Energiespeicherfähigkeiten verfügt. Bei der Untersuchung der katalytischen Leistung zeigen die Redox-Peaks in der Kurve das spezifische Reaktionspotenzial und die Geschwindigkeit an.

Die Vorteile der Voltammetrie liegen in der einfachen Bedienung und dem informativen Charakter. Bei Wolframoxid kann es nicht nur seine Konzentration bestimmen, sondern auch seinen Reaktionsmechanismus auf der Elektrodenoberfläche analysieren. Zum Beispiel kann die Voltammetriekurve einer Wolframoxidelektrode, die aus Wolframpulver in einem sauren Elektrolyten hergestellt wurde, mehrere Peaks aufweisen, die unterschiedlichen Oxidationszustandsübergängen entsprechen. Diese Eigenschaft ist besonders wichtig in Wolframdatenstudien, da sie hilft, das polyvalente Verhalten von Wolframoxid zu verstehen.

Die Optimierung der Versuchsbedingungen ist für die Voltammetrie-Detektion unerlässlich. So hat beispielsweise die Wahl der Abtastrate einen direkten Einfluss auf die Form der Volt-Ampere-Kurve und den Spitzenstrom. Im Allgemeinen eignet sich eine langsamere Abtastrate für die Untersuchung des Diffusionskontrollprozesses von Wolframoxid, während eine schnellere Abtastrate besser für die Analyse von Oberflächenreaktionen geeignet ist. Darüber hinaus können auch der pH-Wert und die Ionenstärke des Elektrolyten die Testergebnisse beeinflussen. In einer Wolframsäurelösung kann beispielsweise das Voltammetrieverhalten von Wolframoxid in Abhängigkeit von der Protonenkonzentration variieren.

Die Anwendung der Voltammetrie bei der Wolframoxiddetektion spiegelt sich auch in der Kombination mit anderen Technologien wider. Durch die Kombination mit der von Wolframunternehmen entwickelten Nanotechnologie ist es beispielsweise möglich, Wolframoxid-Elektroden mit einer großen Oberfläche herzustellen und dadurch die Nachweisempfindlichkeit zu verbessern. Darüber hinaus kann durch die Einführung von Verbundwerkstoffen wie Ferrowolfram oder Wolframkunststoff auch die Stabilität und Leitfähigkeit der Elektrode verbessert werden.

In der Praxis wurde die Voltammetrie eingesetzt, um die Leistungsfähigkeit von Wolframoxid im Bereich der Photoelektrokatalyse zu testen. Durch die Analyse seiner Volt-Ampere-Kurve ist es beispielsweise möglich, die Ladungsübertragungseffizienz von Wolframoxid unter Beleuchtung zu bestimmen. Diese Anwendung ist auf dem Wolframmarkt von großer Bedeutung, da sie die Entwicklung von Wolframoxid im Bereich der neuen Energie fördert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Voltammetrie steht jedoch auch vor einigen Herausforderungen. So kann beispielsweise eine Kontamination oder Alterung der Elektrodenoberfläche zu Signaldrift führen, die die Wiederholbarkeit des Assays beeinträchtigen kann. Darüber hinaus kann sich Wolframoxid in komplexen Proben mit den elektrochemischen Signalen anderer Substanzen überlappen, wodurch die Selektivität verringert wird. Um diese Probleme zu lösen, experimentierten die Forscher mit Wolframnadeln als Mikroelektroden, um Interferenzen zu reduzieren und die räumliche Auflösung zu verbessern.

8.3 Andere Wolframoxid-Nachweismethoden

Neben der elektrochemischen Analyse kann Wolframoxid mit einer Vielzahl von physikalischen und chemischen Methoden nachgewiesen werden. Jede dieser Methoden hat ihre eigenen Eigenschaften und eignet sich für unterschiedliche Anwendungsszenarien und Prüfanforderungen. Im Folgenden werden weitere Detektionstechniken neben der Voltammetrie ausführlich diskutiert, wobei wir uns auf deren Prinzipien, Vorteile und Grenzen konzentrieren und eine Vielzahl von Optionen für die umfassende Charakterisierung von Wolframoxid aufzeigen.

Bei der Erforschung des Wolframwissens ist die Spektroskopie eine häufig verwendete nicht-elektrochemische Nachweismethode. So können beispielsweise mit der Ultraviolett-sichtbaren Spektroskopie (UV-Vis) und der Infrarotspektroskopie (IR) die optischen Eigenschaften und chemischen Bindungseigenschaften von Wolframoxid nachgewiesen werden. Die UV-Vis-Spektroskopie kann die Konzentration von Wolframoxid indirekt abschätzen, indem sie seine Absorptionsspitzen bei bestimmten Wellenlängen misst, während die IR-Spektroskopie W-O-Bindungsschwingungen in seiner Kristallstruktur identifizieren kann. Diese Verfahren kommen ohne Elektrodenreaktionen aus und eignen sich besonders für die Analyse von Farbvariationen von gelbem oder blauem Wolframoxid.

Die Röntgenbeugung (XRD) ist eine weitere wichtige Detektionstechnik zur Analyse der Kristallstruktur von Wolframoxid. Durch die Messung des Beugungsmusters von Röntgenstrahlen ist es möglich, ihre Kristallform (z. B. monokline oder hexagonale) und ihren Kristallinitätsgrad zu bestimmen. Diese Methode ist auf dem Gebiet der Wolframforschung weit verbreitet, insbesondere bei der Untersuchung von Wolframoxid, das durch die thermische Zersetzung von Ammoniumparawolframat gebildet wird. Darüber hinaus kann die XRD Verunreinigungen in der Probe nachweisen, wie z. B. Wolframitrückstände.

Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) und die Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) konzentrieren sich auf die mikroskopische Morphologie und Partikelgrößenanalyse von Wolframoxid. REM liefert Informationen zur Oberflächentopographie, während TEM Einblicke in nanoskalige Strukturen bietet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dies ist besonders wichtig für die Untersuchung von Wolframoxid, das durch die Oxidation von kugelförmigem Wolframpulver entsteht, da die Partikelgröße und -morphologie seine Eigenschaften direkt beeinflussen. Darüber hinaus ist es in Kombination mit der Energiespektroskopie (EDS) möglich, die Elementverteilung zu quantifizieren.

Im Bereich der chemischen Analytik werden auch gravimetrische und titrierende Methoden zum Nachweis von Wolframoxid eingesetzt. Das gravimetrische Verfahren wandelt Ammoniummetawolframat durch Hochtemperaturrösten in Wolframoxid um und wiegt anschließend dessen Masse. Diese Methode ist einfach und unkompliziert, erfordert aber eine hohe Probenreinheit. Das Titrationsverfahren bestimmt den Wolfrangehalt durch Reaktion mit Natriumwolframat, das für die Analyse in Lösungssystemen geeignet ist.

Der Verdienst dieser Methoden liegt in ihrer Vielfalt und Komplementarität. So eignet sich beispielsweise die Spektroskopie für ein schnelles Screening, während XRD und REM strukturelle Informationen liefern. Sie sind jedoch oft weniger empfindlich als elektrochemische Methoden, und einige Techniken (z. B. TEM) erfordern teure Geräte und eine komplexe Vorbehandlung, was in den Wolframnachrichten oft als Engpass für industrielle Anwendungen genannt wird.

Bei der Wahl einer Nachweismethode gibt es einen Kompromiss zwischen dem Probenstatus und dem Testziel. Zum Beispiel eignet sich Wolframoxid, das auf der Oberfläche von Wolframfilamenten oxidiert ist, besser für die REM-Analyse, während Wolframoxid in Lösung eher für die chemische Titration geeignet ist. Darüber hinaus hat die Diversifizierung der Nachfrage auf dem Wolframmarkt auch Innovationen bei den Detektionstechnologien vorangetrieben, wie z. B. die Entwicklung tragbarer Spektrometer.

8.3.1 Wolframoxid-Detektion - thermogravimetrische Analyse

Die thermogravimetrische Analyse (TGA) ist eine auf Massenänderungen basierende Nachweisteknik, die in der Forschung zur thermischen Stabilität, zum Zersetzungsverhalten und zur Gehaltsbestimmung von Wolframoxid weit verbreitet ist. Es liefert detaillierte Informationen über die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Wolframoxid, indem es die Änderung der Probenmasse in Abhängigkeit von Temperatur oder Zeit unter einem kontrollierten Temperaturprogramm misst. Dieses Verfahren hat wichtige Anwendungen im Bereich der Wolframtechnologie, insbesondere bei der Analyse des Syntheseprozesses und der Wärmebehandlungseigenschaften.

Das Grundprinzip der thermogravimetrischen Analyse besteht darin, die Änderung der Masse einer Substanz während des Erhitzens zu nutzen. Zum Beispiel kann

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframoxid aufgrund von Wasserverflüchtigung, Kristallformübergang oder chemischer Zersetzung schwerelos sein. Die Experimente werden in der Regel in einem thermogravimetrischen Analysator durchgeführt, bei dem die Probe auf eine Mikrowaage gelegt und mit einer konstanten Rate in einer Stickstoff- oder Luftatmosphäre erhitzt wird. Durch die Aufzeichnung des Masse-Temperatur-Profiles (TG-Kurve) kann das thermische Verhalten von Wolframoxid analysiert werden.

Bei der Detektion von Wolframoxid wird die thermogravimetrische Analyse in den folgenden Szenarien häufig eingesetzt. Zunächst werden die flüchtigen Bestandteile in der Probe bestimmt. Zum Beispiel kann violetteres Wolframoxid beim Erhitzen gebundenes Wasser freisetzen, und die TG-Kurve zeigt die entsprechenden Schwerelosigkeitsstufen. Zweitens kann die Methode die Redoxreaktion von Wolframoxid untersuchen. Zum Beispiel kann Wolframoxid in einer reduzierenden Atmosphäre (z. B. Wasserstoff) in Wolframmetall umgewandelt werden, und der Grad der Massenreduktion kann zur Berechnung seiner Reinheit verwendet werden.

Der Vorteil der thermogravimetrischen Analyse liegt in ihrer hohen Genauigkeit und Zerstörungsfreiheit. Für die Detektion von Wolframtrioxid kann TGA kleine Massenänderungen mit einer Empfindlichkeit im Mikrogrammbereich genau messen. Darüber hinaus kann es in Verbindung mit der dynamischen Differenzkalorimetrie (DSC) verwendet werden, um die thermischen Effekte von Wolframoxid, wie z. B. Schmelz- oder Phasenwechseltemperaturen, weiter zu analysieren. Diese Technik mit Bindestrich ist besonders häufig in Wolfram-Datenstudien zu finden.

Die Kontrolle der Versuchsbedingungen ist für die thermogravimetrische Analyse von entscheidender Bedeutung. Zum Beispiel beeinflusst die Geschwindigkeit des Hochlaufs die Auflösung der Zersetzungsreaktion, und 5-10 °C/min wird normalerweise gewählt, um Genauigkeit und Effizienz auszugleichen. Auch die Wahl der Atmosphäre ist entscheidend: In Luft kann Wolframoxid stabil bleiben, während es sich in einer inerten Atmosphäre unterschiedlich verändern kann. Darüber hinaus muss die Probengröße (in der Regel 5-10 mg) moderat sein, um eine ungleichmäßige Wärmeübertragung zu vermeiden.

In der Praxis wird die thermogravimetrische Analyse häufig für die Qualitätsanalyse von Wolframoxid eingesetzt, das durch die Oxidation von Wolframpulver entsteht. Durch die Messung des Gewichtsverlusts von Wolframpactel bei hohen Temperaturen kann beispielsweise die Menge an Wolframoxid abgeschätzt werden. Darüber hinaus hängt die thermische Stabilität von Wolframheizungen auch von TGA ab, um ihre Leistung in Hochtemperaturumgebungen zu gewährleisten.

Die thermogravimetrische Analyse hat jedoch Grenzen. So kann es beispielsweise den Beitrag von Wolframoxid nicht direkt von anderen schwerelosen Substanzen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

unterscheiden, so dass es oft in Kombination mit XRD oder Spektroskopie verifiziert wird. Darüber hinaus können hohe Temperaturen zur Verflüchtigung der Probe oder zur Kontamination der Ausrüstung führen, was die langfristige Zuverlässigkeit beeinträchtigt. Um diese Probleme zu lösen, werden in der Wolfram-Produktforschung häufig Vorbehandlungsschritte wie die Niedertemperaturtrocknung eingesetzt.

CTIA GROUP LTD Yellow Tungsten Trioxide (YTO, WO₃) Product Introduction

1. Product Overview

CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide is produced by high-temperature calcination process of ammonium paratungstate, which meets the requirements of GB/T 3457-2013 "Tungsten Oxide" first-class product. WO₃ is widely used in the preparation of tungsten powder, cemented carbide, tungsten wire and ceramic colorants. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality yellow tungsten trioxide products to meet the needs of powder metallurgy and industrial manufacturing.

2. product characteristics

High stability: stable in air, insoluble in water and inorganic acids except hydrofluoric acid.

Reactivity: It can be reduced to tungsten powder by hydrogen (>650°C) or carbon.

Uniformity: Uniform particle distribution, suitable for downstream processing.

3. Product specifications

index	CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide first-class product standard
WO ₃ content (wt%)	≥99.95
Impurities (wt% , max.)	Fe≤0.0010, Mo≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005
Particle size	1-10 (μm, FSSS)
Loose density	2.0-2.5 (g/cm ³)
Customization	Particle size or impurity limits can be customized according to customer requirements

4. Packaging and warranty

Packing: Inner sealed plastic bag, outer iron drum or woven bag, net weight 50kg or 100kg, moisture-proof design.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including WO₃ content, impurity analysis, particle size (FSSS method), loose density and moisture data.

5. Procurement information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129696

For more [yellow tungsten oxide](http://www.tungsten-powder.com) information, please visit the China Tungsten online website www.tungsten-powder.com. For more market and real-time information, please follow the WeChat public account "China Tungsten Online".



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD gelbes Wolframoxid

Kapitel 9 Anwendungsgebiete von Wolframoxid

Als multifunktionaler Werkstoff hat Wolframoxid (WO_3) aufgrund seiner einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften, wie z. B. hohe chemische Stabilität, hervorragende elektrische Eigenschaften und photokatalytische Aktivität, in vielen Bereichen ein breites Anwendungsspektrum gezeigt. Von Energie über Umweltschutz bis hin zu elektronischen Geräten nimmt die Anwendung von Wolframoxid weiter zu und fördert die Innovation und Entwicklung verwandter Industrien. In diesem Kapitel werden die wichtigsten Anwendungsbereiche ausführlich erörtert, wobei der Schwerpunkt auf dem spezifischen Einsatz im Energiesektor liegt.

9.1 Anwendung von Wolframoxid im Energiebereich

Energie ist der Kern der modernen gesellschaftlichen Entwicklung, und die Anwendung von Wolframoxid im Energiebereich konzentriert sich hauptsächlich auf die Energiespeicherung, die Energieumwandlung und die Entwicklung erneuerbarer Energien. Seine multivalenten Eigenschaften, halbleitenden Eigenschaften und seine große Oberfläche machen es zu einem idealen Material für Batterien, Kondensatoren und Photokatalyse. Im Folgenden werden die spezifischen Anwendungen im Energiesektor aus verschiedenen Perspektiven analysiert.

Wolframoxid wird dank seiner hervorragenden elektrochemischen Eigenschaften zur Energiegewinnung genutzt. Als n-Typ-Halbleiter hat er beispielsweise eine

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

moderate Bandlücke (etwa 2,6–3,0 eV), die sowohl sichtbares Licht absorbieren als auch an Elektronentransferreaktionen teilnehmen kann. Darüber hinaus hat die Wolframforschung gezeigt, dass Wolframoxid-Nanostrukturen (wie Nanostäbchen oder Nanoblätter) ihre spezifische Oberfläche und Reaktivität erheblich erhöhen können, was zu einer höheren Effizienz von Energiegeräten führt.

Im Bereich der Energiespeicherung wird Wolframoxid häufig in Lithium-Ionen-Batterien und Superkondensatoren verwendet, und seine hohe theoretische Kapazität und seine schnelle Ionentransportfähigkeit haben viel Aufmerksamkeit erregt. In Bezug auf die Energieumwandlung bieten die photokatalytischen Eigenschaften von Wolframoxid Potenzial für die Herstellung von Wasserstoff aus Wasserspaltung. Darüber hinaus haben Fortschritte in der Wolframtechnologie auch die Erforschung von Solarzellen und Brennstoffzellen vorangetrieben.

In der Praxis hängt die Leistungsoptimierung von Wolframoxid vom Syntheseprozess ab. Beispielsweise kann durch thermische Zersetzung von Ammoniumparawolframat oder Ammoniummetawolframat Wolframoxid mit unterschiedlichen Kristallformen hergestellt werden, um den Anforderungen spezifischer Energiegeräte gerecht zu werden. Darüber hinaus wirkt sich die Fluktuation der Wolframpreise auch auf den Kommerzialisierungsprozess im Energiebereich aus, so dass die Kostenkontrolle in den Fokus der Forschung gerückt ist.

9.1.1 Anwendung von Wolframoxid in Lithium-Ionen-Batterien

Lithium-Ionen-Batterien (LIBs) sind die zentrale Energiespeichertechnologie moderner tragbarer elektronischer Geräte und Elektrofahrzeuge. Wolframoxid Als Hochleistungselektrodenmaterial hat es erhebliche Vorteile bei der Verbesserung der Batteriekapazität und der Zyklenstabilität. Seine hohe theoretische Kapazität (ca. 693 mAh/g) und seine Fähigkeit zum Multielektronentransfer machen es zu einer beliebten Wahl für Anodenmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien.

In Lithium-Ionen-Batterien speichert Wolframoxid Lithium-Ionen durch eine reversible Redoxreaktion. Der Reaktionsmechanismus kann wie folgt ausgedrückt werden: $\text{WO}_3 + 6\text{Li}^+ + 6\text{e}^- \rightleftharpoons \text{W} + 3\text{Li}_2\text{O}$. Diese Reaktion sorgt nicht nur für eine hohe Kapazität, sondern erhöht auch die elektrische Leitfähigkeit durch die Bildung von Wolframmetall. Die Volumenausdehnung und die geringe Leitfähigkeit von reinem Wolframoxid schränken jedoch die praktische Anwendung ein, so dass die Leistung oft durch Verbundwerkstoffe oder Nanologisierung optimiert wird.

Nanostrukturiertes Wolframoxid, wie Nanopartikel oder Nanodrähte, verbessert seine Eigenschaften erheblich. Beispielsweise können Wolframoxid-Nanopartikel, die durch die Oxidation von Wolframpulver erzeugt werden, aufgrund ihrer großen Oberfläche und ihres kurzen Diffusionswegs die Volumenänderung beim Laden und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Entladen effektiv abschwächen. Darüber hinaus kann die Compoundierung mit Kohlenstoffmaterialien wie Graphen oder Wolframkupfer die Leitfähigkeit und Strukturstabilität weiter verbessern.

In der praktischen Anwendung hat der Herstellungsprozess von Wolframoxid einen erheblichen Einfluss auf seine Eigenschaften. Zum Beispiel zeigen Wolframoxid-Nanostäbchen, die durch ein hydrothermales Verfahren synthetisiert werden, eine hervorragende Zyklenleistung in Lithium-Ionen-Batterien mit einer Kapazitätserhaltungsrate von mehr als 80 %. Darüber hinaus kann die von Tungsten entwickelte Dotierungstechnologie (z. B. Molybdändotierung) ihre elektronische Struktur anpassen und den Wirkungsgrad der Zelle weiter verbessern.

Die Verwendung von Wolframoxid in Lithium-Ionen-Batterien spiegelt sich auch in der Schnelllade- und Entladeleistung wider. Studien haben gezeigt, dass sein pseudo-kapazitives Verhalten es ihm ermöglicht, eine hohe Kapazität bei hohen Raten aufrechtzuerhalten, was für den Schnellladebedarf von Elektrofahrzeugen unerlässlich ist. Darüber hinaus weist Wolframoxid eine geringere Toxizität und eine höhere Stabilität als andere Übergangsmetalloxide auf, was dem Entwicklungstrend der grünen Energie entspricht.

Es gibt jedoch nach wie vor Herausforderungen. Zum Beispiel weist Wolframoxid im ersten Zyklus einen großen irreversiblen Kapazitätsverlust auf, der durch die Bildung einer Festelektrolyt-Grenzflächenmembran (SEI) noch verschärft werden kann. Um dieses Problem zu lösen, versuchten die Forscher, Wolfram-Kunststoff als Pufferschicht oder durch Vorlithiierungstechnologie zu verwenden, um den ersten Wirkungsgrad zu verbessern. Darüber hinaus Wolframmarkt Die Nachfrage treibt die Forschung nach kostengünstigen Synthesemethoden voran, wie z. B. die Verwendung Wolframite Direct Preparation Wolframoxid.

9.1.2 Anwendung von Wolframoxid in Superkondensatoren

Superkondensatoren (SCs) sind aufgrund ihrer hohen Leistungsdichte und langen Lebensdauer die Starttechnologie in der Energiespeicherung. Wolframoxid nimmt aufgrund seiner hohen Pseudokapazitätsleistung und guten chemischen Stabilität eine wichtige Position in den Elektrodenmaterialien von Superkondensatoren ein. Im Vergleich zu herkömmlichen kohlenstoffbasierten Materialien kann Wolframoxid durch die Faraday-Reaktion für zusätzliche Kapazität sorgen, was zu einer deutlichen Erhöhung der Energiedichte führt.

In Superkondensatoren kombiniert der Energiespeichermechanismus von Wolframoxid elektrische Doppelschichtkapazität und Pseudokapazität. Seine Pseudokapazität leitet sich aus einer schnellen Redoxreaktion auf der Oberfläche oder in der Bulk-Phase ab, z. B. $\text{WO}_3 + \text{H}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{HWO}_3$. Diese Reaktion ist besonders ausgeprägt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

in sauren Elektrolyten, wo Wolframoxid eine spezifische Kapazität von bis zu 500–700 F/g aufweist. Darüber hinaus vergrößert seine poröse Struktur, wie z. B. Wolframoxid, das aus kugelförmigem Wolframpulver hergestellt wird, die Elektrolytkontaktfläche und verbessert die Leistung weiter. Die Nanotransformation von Wolframoxid ist der Schlüssel zur Verbesserung der Leistung seiner Superkondensatoren. Zum Beispiel können Wolframoxid-Nanoblätter, die durch Wolframfilamentoxidation hergestellt werden, aufgrund ihrer hohen spezifischen Oberfläche und ihres schnellen Ionendifusionswegs die Lade-Entlade-Rate erheblich erhöhen. Darüber hinaus kann die Compoundierung mit Silber-Wolfram oder Ferro-Wolfram die elektrische Leitfähigkeit verbessern und die inhärenten Defekte der geringen Leitfähigkeit von Wolframoxid ausgleichen.

In der praktischen Anwendung hat das Herstellungsverfahren von Wolframoxid einen tiefgreifenden Einfluss auf seine Eigenschaften. Wolframoxidfilme, die durch elektrochemische Abscheidung auf der Oberfläche von Wolframnadeln erzeugt werden, weisen beispielsweise eine ausgezeichnete Zyklenstabilität auf und können Zehntausende von Zyklen überdauern. Darüber hinaus haben Fortschritte in der Wolframtechnologie auch zur Entwicklung asymmetrischer Superkondensatoren geführt, bei denen Wolframoxid als negative Elektrode mit Kohlenstoffmaterial gepaart ist, wodurch das Betriebsspannungsfenster erheblich erweitert wird.

Zu den Vorteilen von Wolframoxid in Superkondensatoren gehört auch seine Umweltfreundlichkeit. Im Vergleich zu nickel- oder kobalthaltigen Materialien ist Wolframoxid aus einer Vielzahl von Rohstoffen (z.B. Scheelit) verfügbar und wird umweltschonend hergestellt. Darüber hinaus weist Tungsten News darauf hin, dass sich sein Potenzial für den Einsatz in flexiblen elektronischen Geräten, wie z. B. Netzteilen für tragbare Geräte, abzeichnet.

Die geringe Leitfähigkeit von Wolframoxid und die strukturelle Degradation während des Zyklus bleiben jedoch Engpässe. Zu diesem Zweck versuchten die Forscher, seine Eigenschaften durch Dotierung von Cäsiumwolfram oder die Einführung von Kalziumwolfram zu verbessern. Darüber hinaus haben Wolfram-Wissensstudien gezeigt, dass Oberflächenmodifikationen, wie z. B. das Beschichten leitfähiger Polymere, ebenfalls wirksam zur Verbesserung der Stabilität beitragen können. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Anwendung von Wolframoxid in Superkondensatoren sein Potenzial für hohe Kapazität und lange Lebensdauer demonstriert. Mit der Optimierung des Materialdesigns und der Bauelementstruktur werden die Aussichten im Bereich der Hochleistungs-Energiespeicherung besser.

9.1.3 Anwendung von Wolframoxid bei der photokatalytischen Wasserspaltung zur Herstellung von Wasserstoff

Die photokatalytische Wasserspaltung zur Herstellung von Wasserstoff ist ein

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

wichtiger Weg, um saubere Energie aus Sonnenenergie zu erzeugen, und Wolframoxid hat sich aufgrund seiner hervorragenden photokatalytischen Leistung und chemischen Stabilität zu einem Star material in diesem Bereich entwickelt. Seine moderate Bandlücke (2,6-2,8 eV) ermöglicht es ihm, sichtbares Licht effektiv zu absorbieren, was ihm einen erheblichen Vorteil bei solarbetriebenen Wasserspaltungsreaktionen verschafft.

Im photokatalytischen Prozess wirkt Wolframoxid als Photokatalysator, um Photonen zu absorbieren und Elektron-Loch-Paare zu erzeugen. Elektronen sind an der Reduktion von Wassermolekülen zu Wasserstoff (H_2) beteiligt, während Löcher Wasser oxidieren, um Sauerstoff (O_2) zu erzeugen. Die Reaktion kann wie folgt ausgedrückt werden: $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$. Die hohe Rekombinationsrate von photogenerierten Trägern aus reinem Wolframoxid schränkt jedoch deren Wirkungsgrad ein, so dass die Leistung oft durch Modifikation oder Rekombination optimiert wird.

Nanostrukturiertes Wolframoxid verbesserte seine photokatalytische Aktivität erheblich. Zum Beispiel können Wolframoxid-Nanostäbchen, die durch solvothermale Methode synthetisiert werden, die Effizienz der Wasserstoffproduktion aufgrund ihrer großen Oberfläche und ihres optimierten Trägertransportwegs erheblich verbessern. Darüber hinaus eignen sich Wolframoxidfilme, die mit Wolframsäurevorläufern hergestellt wurden, gut bei der photokatalytischen Wasserspaltung, insbesondere mit Hilfe des Vorspannungsdrucks.

Die Modifikation von Wolframoxid ist der Schlüssel zur Verbesserung seiner photokatalytischen Leistung. Zum Beispiel durch die Dotierung von Wolframgold oder Wolframdisulfid, wodurch die Bandlücke verringert und die Effizienz der Lichtabsorption verbessert werden kann. Darüber hinaus kann mit TiO_2 oder Wolframat Der durch die Rekombination gebildete Heteroübergang kann photogenerierte Elektronen und Löcher effektiv trennen und dadurch die Quantenausbeute verbessern.

In der Praxis ist die Stabilität von Wolframoxid einer seiner Vorteile. Im Vergleich zu anderen Photokatalysatoren (z.B. CdS) ist Wolframoxid in sauren oder oxidierenden Umgebungen weniger anfällig für Korrosion. Darüber hinaus haben Untersuchungen an Wolframprodukten gezeigt, dass seine Kombination mit Strahlenschutzmaterialien auch bei der Konstruktion von photokatalytischen Reaktoren verwendet werden kann.

Wolframoxid hat jedoch ein vorgespanntes Leitungsband, was seine Effizienz bei der direkten Reduzierung von Wasser einschränkt. Zu diesem Zweck setzen Forscher häufig Cokatalysatoren wie Pt- oder Wolframpartikel ein, um die Wasserstoffproduktion zu verbessern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.2 Anwendung von Wolframoxid im Bereich der Umwelt

Wolframoxid (WO_3) weist aufgrund seiner hervorragenden photokatalytischen Eigenschaften, chemischen Stabilität und Vielseitigkeit ein breites Spektrum an potenziellen Anwendungen im Umweltbereich auf. Ob Luftreinigung oder Abwasserbehandlung, Wolframoxid kann durch seine einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften Schadstoffe effektiv entfernen und bietet so eine effiziente Lösung für den Umweltschutz. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Diskussion seiner spezifischen Anwendungen im Umweltbereich.

Im Umweltbereich sind die Halbleitereigenschaften von Wolframoxid seine Kernstärke. Seine Bandlücke (ca. 2,6–3,0 eV) ermöglicht es ihm, sichtbares Licht zu absorbieren und photogenerierte Elektronen und Löcher anzuregen, die Redoxreaktionen auslösen, um Schadstoffe zu zersetzen. Darüber hinaus hat die Wolframforschung gezeigt, dass Wolframoxid-Nanostrukturen (wie Nanopartikel oder dünne Filme) ihre spezifische Oberfläche und katalytische Aktivität erheblich erhöhen können, was sie hervorragend im Umweltmanagement macht.

In der Praxis ist die Herstellungsmethode von Wolframoxid entscheidend für seine Eigenschaften. So können beispielsweise die Kristallform und die Morphologie von Wolframoxid, das durch thermische Zersetzung von Ammoniumparawolframat oder hydrothermales Verfahren hergestellt wird, entsprechend den spezifischen Umweltauforderungen optimiert werden. Darüber hinaus wirkt sich die Fluktuation der Wolframpreise auch auf den Kommerzialisierungsprozess im Bereich des Umweltschutzes aus, so dass die kostengünstige Synthesetechnologie viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat.

9.2.1 Anwendung von Wolframoxid in der Luftreinigung

Luftverschmutzung ist ein globales Problem, und Wolframoxid spielt aufgrund seiner photokatalytischen Eigenschaften und gasempfindlichen Eigenschaften eine wichtige Rolle bei der Luftreinigung. Es kann flüchtige organische Verbindungen (VOCs), Stickoxide (NO_x) und andere schädliche Gase effektiv zersetzen und bietet technische Unterstützung bei der Verbesserung der Luftqualität in Innen- und Außenbereichen.

Bei der photokatalytischen Luftreinigung absorbiert Wolframoxid Lichtenergie und bildet Elektron-Loch-Paare, die wiederum reaktive Sauerstoffspezies (z. B. $\cdot\text{OH}$ und O_2^-) können diese Spezies oxidieren und Schadstoffe in CO_2 und H_2O zersetzen. So können beispielsweise Wolframoxid-Nanopartikel, die durch die Oxidation von Wolframpulver hergestellt werden, VOCs wie Formaldehyd und Benzol unter Bestrahlung mit ultraviolett oder sichtbarem Licht effizient zersetzen. Darü

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ber hinaus haben Wolfram-Wissensstudien gezeigt, dass die Dotierung von Molybdän oder Wolframkupfer die photokatalytische Effizienz weiter verbessern kann.

Die poröse Struktur von Wolframoxid ist der Schlüssel zu seiner Luftreinigungsleistung. Zum Beispiel haben Wolframoxid-Nanoblätter, die durch solvothermale Methode synthetisiert werden, eine große Oberfläche, die mehr Schadstoffmoleküle adsorbieren kann, wodurch die Zersetzungseffizienz verbessert wird. Darüber hinaus können die von Tungsten entwickelten Verbundwerkstoffe (wie z. B. der Heteroübergang von Wolframoxid und TiO_2) die Lebensdauer von photogenerierten Ladungsträgern verlängern und den Reinigungseffekt weiter verstärken.

In der Praxis wird Wolframoxid häufig zu dünnen Filmen oder Beschichtungen verarbeitet, die in Luftreinigern oder Baumaterialien verwendet werden. Wolframoxid-Beschichtungen auf Basis der Wolframfilament-Oxidation können beispielsweise Schadstoffe im Sonnenlicht kontinuierlich zersetzen und eignen sich für Fenster oder Wände. Darüber hinaus berichtete Tungsten News, dass sein Potenzial bei der Abgasreinigung von Autos ebenfalls erforscht wird, z. B. durch die Compoundierung mit Ferrotram zur Behandlung von NO_x .

Die photokatalytische Aktivität von Wolframoxid ist jedoch durch seine Bandlücke und die Ladungsträgerrekombinationsrate begrenzt. Dazu versuchten die Forscher, seine Eigenschaften durch Dotierung von Cäsium-Wolfram oder Oberflächenmodifikation zu optimieren. Darüber hinaus schränkt seine geringe Aktivität bei schlechten Lichtverhältnissen das breite Anwendungsspektrum in Innenräumen ein, und die Weiterentwicklung von auf sichtbares Licht reagierenden Varianten von Wolframoxid, wie z. B. gelbem Wolframoxid, ist erforderlich.

9.2.2 Anwendung von Wolframoxid in der Abwasserbehandlung

Die Abwasserbehandlung ist ein wichtiger Bestandteil des Umweltschutzes, und Wolframoxid hat aufgrund seiner photokatalytischen Abbaufähigkeit und Adsorptionsleistung eine hervorragende Leistung bei der Entfernung organischer Schadstoffe, Schwermetallionen und Farbstoffe im Wasser. Sie leistet technische Unterstützung für die nachhaltige Nutzung der Wasserressourcen.

Bei der photokatalytischen Abwasserbehandlung zersetzt Wolframoxid organische Schadstoffe durch eine lichtinduzierte Reaktion. So können seine Nanopartikel unter Lichteinwirkung Farbstoffe wie Rhodamin B oder Methylenblau zu harmlosen kleinen Molekülen oxidieren. Die Ergebnisse zeigten, dass Wolframoxid-Nanostäbchen, die aus Wolframsäure-Vorläufern hergestellt wurden, eine hervorragende Abbaueffizienz unter sichtbarem Licht aufwiesen. Darüber hinaus zeigen Wolframdaten, dass die photokatalytische Aktivität nach der Kombination

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mit Wolframdisulfid um mehr als 30 % gesteigert werden kann.

Auch bei der Abwasserbehandlung spielen die Adsorptionseigenschaften von Wolframoxid eine Rolle. Seine poröse Struktur ermöglicht beispielsweise eine effiziente Adsorption von Schwermetallionen (z. B. Pb^{2+} und Cd^{2+}) und die Entfernung durch Oberflächenkoordination oder Ionenaustausch. Darüber hinaus kann der Verbund aus Wolframkunststoff und Wolframoxid die Adsorptionskapazität weiter erhöhen, was für eine hochkonzentrierte Abwasserbehandlung geeignet ist.

In der Praxis ist die Stabilität von Wolframoxid einer seiner Vorteile. So kann beispielsweise die photokatalytische Leistung von Wolframoxid, das auf der Basis von kugelförmigem Wolframpulver in saurem Abwasser hergestellt wurde, über mehrere Zyklen andauern. Die photokatalytische Effizienz von Wolframoxid wird jedoch durch den Trägerrekombinations- und Lichtabsorptionsbereich begrenzt. Zu diesem Zweck versuchten die Forscher, seine Eigenschaften zu verbessern, indem sie Wolframgold dotierten oder Wolfram-Heteroübergänge konstruierten. Darüber hinaus ist es schwierig, es zu recyceln und wiederzuverwenden, und es ist notwendig, Immobilisierungstechnologien zu entwickeln, wie z. B. das Laden von Wolframoxid auf ein Wolframadelsubstrat.

9.3 Anwendung von Wolframoxid im Bereich der Smart Materials

Die Anwendung von Wolframoxid im Bereich der intelligenten Materialien spiegelt sich vor allem in seinen elektrochromen und gasempfindlichen Eigenschaften wider. Diese Eigenschaften machen sie wertvoll für intelligente Fenster, Sensoren und Displays und treiben die Entwicklung intelligenter Technologien voran.

Die Vielseitigkeit von Wolframoxid in intelligenten Materialien beruht auf seiner einstellbaren elektronischen Struktur und seinen optischen Eigenschaften. So ermöglicht sein elektrochromes Verhalten beispielsweise Farbänderungen als Reaktion auf ein angelegtes elektrisches Feld, während seine gasempfindlichen Eigenschaften es für bestimmte Gase hochempfindlich machen. Darüber hinaus haben Untersuchungen von Wolframprodukten gezeigt, dass die nanochemische Energie von Wolframoxid seine Reaktionsgeschwindigkeit und Stabilität deutlich verbessern kann.

In der Praxis ist der Herstellungsprozess von Wolframoxid entscheidend für seine Leistung. Wolframoxidfilme, die durch Sputtern oder chemische Gasphasenabscheidung (CVD) hergestellt werden, weisen beispielsweise eine hervorragende Gleichmäßigkeit und Haftung für intelligente Geräte auf. Darüber hinaus haben die Fortschritte in der Wolframtechnologie auch die Erforschung der flexiblen Elektronik vorangetrieben.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.3.1 Anwendung von Wolframoxid in elektrochromen Geräten

Elektrochrome Geräte (ECDs) werden häufig in intelligenten Fenstern und Displays verwendet, da sie unter einem angelegten elektrischen Feld ihre Farbe ändern können. Wolframoxid hat sich aufgrund seiner hervorragenden elektrochromen Eigenschaften zu einem Mainstream-Material in diesem Bereich entwickelt. Seine Farbe kann von klar bis dunkelblau wechseln, mit einer kurzen Reaktionszeit und einer langen Lebensdauer.

Der elektrochrome Mechanismus von Wolframoxid beruht auf der Ioneninterkalation und dem Elektronentransfer. Wenn z. B. Li^+ oder H^+ eingebettet ist, lautet die Reaktion: $\text{WO}_3 + x\text{M}^+ + x\text{e}^- \rightleftharpoons \text{M}_x\text{WO}_3$ (M ist Li oder H). Diese reversible Reaktion ermöglicht es, den Lichtdurchlässigkeitsgrad im intelligenten Fenster dynamisch anzupassen und so den Energieverbrauch des Gebäudes zu senken. Darüber hinaus haben akademische Wolframstudien gezeigt, dass die poröse Struktur von Wolframoxid die Ionendiffusion beschleunigen und die Verfärbungseffizienz verbessern kann.

In der praktischen Anwendung ist die Herstellung des Wolframoxidfilms der Schlüssel. Wolframoxid beispielsweise, das durch elektrochemische Abscheidung auf einem Wolframmetallsubstrat erzeugt wird, weist einen hohen optischen Kontrast auf. Darüber hinaus kann die wolframheizungsgestützte Wärmebehandlung die Kristallstruktur optimieren und die Leistung weiter verbessern.

Zu den Vorteilen von Wolframoxid gehört auch seine Stabilität. In Natriumwolframat-Elektrolyten zum Beispiel können die Farbwechselzyklen tausendfach reichen. Darüber hinaus wies Tungsten News darauf hin, dass seine Anwendung in flexiblen ECD-Displays, wie z. B. tragbaren Displays, im Entstehen begriffen ist.

Es gibt jedoch noch Raum für Verbesserungen bei der Reaktionsgeschwindigkeit und dem Farbbereich von Wolframoxid. Zu diesem Zweck versuchten die Forscher, seine Eigenschaften zu optimieren, indem sie violette Wolframoxid dotierten oder mit Wolframkautschuk compoundierten.

9.3.2 Anwendung von Wolframoxid in Gassensoren

Gassensoren werden zur Detektion schädlicher Gase in der Umwelt eingesetzt, und Wolframoxid hat aufgrund seiner hohen Empfindlichkeit und Selektivität wichtige Anwendungen in diesem Bereich. Er kann Gase wie NO_2 , H_2S und CO effektiv detektieren und eignet sich für den Arbeitsschutz und die Umweltüberwachung.

Der Gassensormechanismus von Wolframoxid basiert auf Oberflächenadsorption und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Leitfähigkeitsänderungen. Wenn beispielsweise NO_2 an der Oberfläche von Wolframoxid adsorbiert, führen seine eingeschlossenen Elektronen zu einer Erhöhung des Widerstands, was zu einem nachweisbaren Signal führt. Studien haben gezeigt, dass blaue Wolframoxid-Nanodrähte aufgrund ihrer großen Oberfläche eine Nachweisgrenze von NO_2 bis hinunter zu ppb aufweisen können. In der praktischen Anwendung hat die Morphologie von Wolframoxid einen wesentlichen Einfluss auf seine Eigenschaften. Wolframoxid-Nanoarrays beispielsweise, die durch Gasphasenabscheidung auf Wolframfilamenten erzeugt werden, haben schnelle Reaktions- und Rückgewinnungseigenschaften.

Zu den Vorteilen von Wolframoxid gehört auch die Hochtemperaturstabilität. Wolframoxid-Sensoren auf einem Wolframpartikelsubstrat sind beispielsweise bei 300°C stabil und eignen sich für industrielle Umgebungen. Darüber hinaus zeigen Wolframdaten, dass seine Beständigkeit gegen Feuchtigkeitsstörungen besser ist als die vieler Metalloxide. Die Basisdrift und die Langzeitstabilität von Wolframoxid müssen jedoch noch verbessert werden. Dazu versuchen die Forscher, seine Eigenschaften durch Oberflächenmodifikation oder in Kombination mit Strahlenschutzmaterialien zu verbessern.

9.4 Anwendung von Wolframoxid im Bereich der elektronischen Information

Als Material mit hervorragenden Halbleitereigenschaften hat Wolframoxid (WO_3) ein breites Anwendungspotenzial im Bereich der elektronischen Information gezeigt. Seine hohe chemische Stabilität, die moderate Bandlücke (2,6–3,0 eV) und die guten elektrischen Eigenschaften machen es ideal für Feldeffekttransistoren, Speicherbausteine und andere elektronische Bauteile. Mit der rasanten Entwicklung der Informationstechnologie ist die Rolle von Wolframoxid in elektronischen Hochleistungsgeräten immer wichtiger geworden.

Im Bereich der elektronischen Information beruht die Vielseitigkeit von Wolframoxid auf seiner abstimmbaren elektronischen Struktur und seinen Möglichkeiten zur Herstellung von Dünnschichten. So ermöglicht es beispielsweise seine n-Typ-Halbleitereigenschaften, Elektronen effizient zu transportieren, während nanostrukturierte Strukturen wie Nanodrähte oder dünne Schichten die Leistung der Bauelemente deutlich verbessern. Darüber hinaus hat die Wolframforschung gezeigt, dass die Wolframoxid-Dotierungs- und Compoundiertechnologie seine Leitfähigkeit und Stabilität weiter optimieren kann, um den hohen Anforderungen elektronischer Geräte gerecht zu werden.

In der praktischen Anwendung hat der Herstellungsprozess von Wolframoxid einen tiefgreifenden Einfluss auf seine Eigenschaften. So eignen sich beispielsweise Wolframoxidschichten, die durch chemische Gasphasenabscheidung oder Sputtern hergestellt werden, aufgrund ihrer hohen Gleichmäßigkeit und Kompaktheit für

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mikroelektronische Bauelemente. Darüber hinaus haben Fortschritte in der Wolframtechnologie die Erforschung flexibler Elektronik und tragbarer Geräte vorangetrieben, und der schwankende Preis von Wolfram hat die Forscher auch dazu veranlasst, kostengünstige Synthesemethoden zu entwickeln.

9.4.1 Anwendung von Wolframoxid in Feldeffekttransistoren

Feldeffekttransistoren (FETs) sind die Kernkomponenten moderner elektronischer Geräte und werden häufig in Verstärkern, Schaltern und integrierten Schaltkreisen eingesetzt. Aufgrund seiner hervorragenden Halbleitereigenschaften und seiner hohen Ladungsträgermobilität hat Wolframoxid ein erhebliches Potenzial als Kanalmaterial oder Gate-Medium in Feldeffekttransistoren gezeigt. Seine Anwendungen verbessern nicht nur die Geräteleistung, sondern treiben auch die Entwicklung von stromsparenden und hochintegrierten elektronischen Geräten voran.

In Feldeffekttransistoren spiegelt sich die Rolle von Wolframoxid vor allem in seiner Fähigkeit wider, als Kanalschicht zu wirken. Als n-Typ-Halbleiter verfügt er über eine moderate Bandlücke und kann den Elektronenfluss beim Anlegen einer Gate-Spannung effektiv regulieren und so eine Schaltfunktion ermöglichen. Zum Beispiel können Wolframoxid-Dünnschichten, die durch thermisches Wolframoxidmetall erzeugt werden, eine Ladungsträgerbeweglichkeit von 10–20 $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ aufweisen, was viel höher ist als die von herkömmlichem amorphem Silizium. Darüber hinaus haben Wolfram-Wissensstudien gezeigt, dass die Nanodrahtstruktur von Wolframoxid aufgrund seiner eindimensionalen Transporteigenschaften den Streueffekt deutlich reduzieren und die Beweglichkeit weiter verbessern kann.

Die Verwendung von Wolframoxid in Feldeffekttransistoren profitiert auch von seiner hohen Dielektrizitätskonstante (ca. 20–50), die es ermöglicht, es als Gate-Dielektrikum als Ersatz für herkömmliches SiO_2 zu verwenden. Zum Beispiel haben Wolframoxidschichten, die durch Atomlagenabscheidung (ALD) hergestellt werden, einen niedrigen Leckstrom und eine hohe Durchbruchspannung, wodurch die Gate-Dicke reduziert und die Schaltgeschwindigkeit und Energieeffizienz des Geräts verbessert werden können. Darüber hinaus kann die von Tungsten entwickelte Dotierungstechnologie (z.B. Molybdändotierung) die dielektrischen Eigenschaften weiter optimieren.

In der Praxis ist der Herstellungsprozess von Wolframoxid entscheidend für seine Leistung. Zum Beispiel weisen Wolframoxid-Nanostäbchen, die durch solvothermes Verfahren synthetisiert werden, dank ihrer hohen Kristallinität und geringen Defektdichte hervorragende Ein/Aus-Verhältnisse (bis zu mehr als 10^6) in Feldeffekttransistoren auf. Darüber hinaus kann die poröse Struktur von Wolframoxid, die durch die Oxidation von Wolframpulver erzeugt wird, die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oberfläche des Kanals vergrößern und das aktuelle Ansprechverhalten weiter verbessern.

Der Vorteil von Wolframoxid spiegelt sich auch in der Kompatibilität mit bestehenden Prozessen wider. So können beispielsweise dünne Schichten durch Sputtern oder Verdampfen auf einem Siliziumsubstrat abgeschieden werden und sich so nahtlos in den CMOS-Prozess integrieren. Darüber hinaus zeigen Wolframdaten, dass Wolframoxid bei Präparationen bei niedrigen Temperaturen eine hervorragende Leistung beibehält, was es im Bereich der flexiblen Elektronik, wie z. B. biegsamer Transistoren auf Basis von Wolframkunststoff, potenziell macht.

In bestimmten Fällen wurde Wolframoxid zur Entwicklung von Hochleistungs-Dünnschichttransistoren (TFTs) verwendet. Wolframoxidfilme auf Basis der Wolframfilamentoxidation zeigen beispielsweise ein schnelles Ansprechverhalten und eine hohe Stabilität in Display-Backplanes. Darüber hinaus berichtete Tungsten News, dass seine Anwendung in transparenten elektronischen Geräten, wie z. B. volltransparenten FETs, für die nächste Generation der Display-Technologie ebenfalls auf dem Vormarsch ist.

Wolframoxid steht bei Feldeffekttransistoren jedoch noch vor einigen Herausforderungen. So kann beispielsweise die von Natur aus niedrige Leitfähigkeit zu hohen Widerstandsverlusten führen, die sich auf die Effizienz des Geräts auswirken. Dazu versuchten die Forscher, die Leitfähigkeit zu verbessern, indem sie Wolfram-, Kupfer- oder Silberwolfram dotierten. Darüber hinaus können Grenzflächendefekte eine Schwellenspannungsdrift induzieren, die durch Oberflächenpassivierung oder Compoundierung mit Calciumwolframat verbessert werden muss.

Im Hinblick auf die Leistungsoptimierung ist das Nanostrukturdesign von Wolframoxid der Schlüssel. Zum Beispiel können Wolframoxid-Nanoarrays, die auf dem Substrat von Wolframnadeln gezüchtet werden, aufgrund ihres hohen Aspektverhältnisses die Fähigkeit, elektrische Felder zu manipulieren, erheblich verbessern. Darüber hinaus treiben Fortschritte in der Wolframtechnologie den Einsatz in Hochfrequenzgeräten wie HF-FETs für die 5G-Kommunikation voran.

Auch die Anwendung von Wolframoxid in Feldeffekttransistoren ist umweltfreundlich. Im Vergleich zu Materialien, die seltene Elemente enthalten, sind ihre Rohstoffe reichlich vorhanden (wie Wolframit), und der Herstellungsprozess ist umweltfreundlicher. Darüber hinaus hat die wachsende Nachfrage nach Wolfram die Forscher dazu veranlasst, kostengünstige Präparationsmethoden zu erforschen, wie z. B. die direkte Synthese von Wolframoxidfilmen unter Verwendung von Ammoniumparawolframat. In Zukunft wird mit der Verbesserung der Miniaturisierung und Integration von Bauelementen die Rolle von Wolframoxid in

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Feldeffekttransistoren an Bedeutung gewinnen. Sein Potenzial in hochleistungsfähigen elektronischen Geräten mit geringem Stromverbrauch eröffnet neue Entwicklungsmöglichkeiten im Bereich der elektronischen Information.

9.4.2 Anwendung von Wolframoxid in Speicherbausteinen

Speicherbausteine sind das Herzstück des Bereichs der elektronischen Information und umfassen sowohl nichtflüchtige Speicher (z. B. Flash-Speicher) als auch neue Speichertechnologien (z. B. resistiver Speicher). Wolframoxid hat aufgrund seiner Widerstandsschalteigenschaften, seines schnellen Ansprechverhaltens und seiner hohen Stabilität ein wichtiges Anwendungspotenzial in Speichergeräten. Seine einzigartigen physikalisch-chemischen Eigenschaften machen es zu einem Kandidatenmaterial für die nächste Generation der High-Density-Speichertechnologie.

In Speicherbauelementen wird Wolframoxid hauptsächlich in resistiven Random Access Memory (RRAM) verwendet. RRAM schaltet basierend auf dem Widerstandszustand des Materials zwischen hochohmigen und niederohmigen Zuständen um, um die Datenspeicherung zu ermöglichen. Der Widerstandsschaltmechanismus von Wolframoxid beruht auf der Migration von Sauerstoffleerstellen und der Bildung leitfähiger Filamente. Unter einem angelegten elektrischen Feld bewegen sich beispielsweise Sauerstoffionen in einem dünnen Film aus Wolframoxid und bilden eine leitende Bahn, die einen "Schreib"-Vorgang ermöglicht. Die Ergebnisse zeigen, dass Wolframoxid, das mit Wolframsäurevorläufer hergestellt wurde, ein stabiles Schaltverhältnis (bis zu mehr als 10^3) aufweist.

Die Nanostruktur von Wolframoxid verbessert die Speicherleistung erheblich. Beispielsweise können Wolframoxid-Nanopartikel, die durch elektrochemische Abscheidung erzeugt werden, aufgrund ihrer hohen Oberfläche und Defektdichte die Konzentration von Sauerstoffleerstellen erhöhen und dadurch die Schaltgeschwindigkeit und Haltbarkeit verbessern. Darüber hinaus hat die Wolframforschung gezeigt, dass der poröse Film aus Wolframoxid eine niedrige Betriebsspannung (<1 V) in RRAM aufweist und somit für Anwendungen mit geringer Leistung geeignet ist.

In der praktischen Anwendung hat der Herstellungsprozess von Wolframoxid einen tiefgreifenden Einfluss auf seine Eigenschaften. Zum Beispiel weisen Wolframoxidfilme, die durch Magnetron-Sputtern auf Wolframmetallektroden abgeschieden werden, eine hohe Gleichmäßigkeit und niedrige Defektraten auf, und ihre Lagerfenster können über Tausende von Zyklen aufrechterhalten werden. Darüber hinaus kann die von Tungsten entwickelte Composite-Technologie (z.B. in Kombination mit Ferrotram) die Stabilität leitfähiger Filamente erhöhen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zu den Vorteilen von Wolframoxid in Speicherbausteinen gehört auch die hohe Temperaturstabilität. Wolframoxid-Speicher auf Basis von Wolframkornsubstraten können beispielsweise bei 200 ° C betrieben werden und sind für raue Umgebungen geeignet. Darüber hinaus zeigen Wolframdaten, dass es eine schnellere Löschgeschwindigkeit (<10 ns) und eine höhere Speicherdichte als herkömmlicher Flash-Speicher aufweist.

In bestimmten Fällen wurde Wolframoxid verwendet, um RRAM-Arrays mit hoher Dichte zu entwickeln. Zum Beispiel weisen Wolframoxidschichten, die durch Wolframheizungs-unterstütztes Glühen hergestellt werden, eine ausgezeichnete Antiinterferenzfähigkeit in Cross-Array-Strukturen auf. Darüber hinaus berichtet Tungsten News, dass sich sein Potenzial im neuromorphen Computing abzeichnet, wie z. B. analoge synaptische Bauelemente für Chips der künstlichen Intelligenz.

Wolframoxid steht jedoch bei Speichergeräten immer noch vor Herausforderungen. So kann beispielsweise die Zufälligkeit seiner Widerstandsschaltung zu Inkonsistenzen bei der Datenspeicherung führen. Zu diesem Zweck versuchten die Forscher, die Leistung zu optimieren, indem sie Cäsiumwolfram dotierten oder eine Wolframat-Pufferschicht einbrachten. Darüber hinaus kann es nach langfristigen Zyklen zu Ermüdung kommen, die durch Grenzflächentechnik (z. B. Verbindung mit Wolframgold) verbessert werden muss.

Im Hinblick auf die Leistungsoptimierung ist das mehrschichtige Strukturdesign von Wolframoxid der Schlüssel. Zum Beispiel können Wolframoxid/Wolframdisulfid-Heteroübergänge, die durch ALD hergestellt werden, die Schaltkonsistenz erheblich verbessern. Darüber hinaus haben Fortschritte in der Wolframtechnologie den Einsatz in dreidimensionalen Lagern, wie z. B. vertikalem RRAM, für die Lagerung mit extrem hoher Dichte vorangetrieben.

Die Anwendung von Wolframoxid in Speichergeräten hat auch wirtschaftliche Vorteile. Die Rohstoffquellen sind reichlich vorhanden (z. B. Scheelit) und die Produktionskosten sind kontrollierbar. Darüber hinaus hat die wachsende Nachfrage nach Wolfram die Forscher dazu veranlasst, industrielle Präparationsmethoden zu erforschen, wie z. B. die direkte Synthese von Wolframoxid-Speicherschichten unter Verwendung von Ammoniummetawolframat.

9.5 Anwendung von Wolframoxid im Maschinenbau

Wolframoxid (WO_3) ist ein Werkstoff mit hervorragenden Eigenschaften, der seinen einzigartigen Wert im Bereich des Maschinenbaus zeigt. Seine hohe Härte, hohe Temperaturbeständigkeit und chemische Stabilität machen es ideal für Werkzeugbeschichtungen und verschleißfeste Bauteile. Da die Nachfrage nach

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hocheffizienten und langlebigen Werkzeugen in der modernen Fertigung steigt, wird die Verwendung von Wolframoxid allmählich ausgeweitet und bietet eine wichtige Unterstützung für die Verbesserung der Bearbeitbarkeit und der Haltbarkeit der Ausrüstung.

Im Maschinenbau hängt die Anwendung von Wolframoxid vor allem von seinen physikalisch-chemischen Eigenschaften ab. Als Übergangsmetalloxid verleiht ihm seine Kristallstruktur eine hohe mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Darüber hinaus hat die Wolframforschung gezeigt, dass die Eigenschaften von Wolframoxid durch Dotierungs- oder Compoundiertechnologien weiter optimiert werden können, um den Anforderungen anspruchsvoller industrieller Umgebungen gerecht zu werden. Ob als Beschichtungswerkstoff oder als funktionelles Additiv, Wolframoxid kann die Haltbarkeit und Verarbeitungseffizienz mechanischer Bauteile deutlich verbessern.

In der praktischen Anwendung hat der Herstellungsprozess von Wolframoxid einen erheblichen Einfluss auf seine Eigenschaften. Wolframoxid-Beschichtungen, die durch thermisches Spritzen oder chemische Gasphasenabscheidung (CVD) hergestellt werden, weisen beispielsweise eine hohe Haftung und Homogenität auf, wodurch sie für Hochgeschwindigkeitsschneiden und schwere Beanspruchung geeignet sind. Darüber hinaus haben Fortschritte in der Wolframtechnologie zu seinem Einsatz in der Präzisionsfertigung geführt, und schwankende Wolframpreise haben die Forscher dazu veranlasst, wirtschaftlichere Synthesemethoden zu entwickeln, wie z. B. die direkte Herstellung von Wolframoxid mit Ammoniumparawolframat.

9.5.1 Anwendung von Wolframoxid in Werkzeugbeschichtungen

Die Werkzeugbeschichtung ist eine Schlüsseltechnologie im Maschinenbau, um die Zerspanungsleistung zu verbessern und die Standzeit der Werkzeuge zu verlängern, und Wolframoxid hat in diesem Bereich aufgrund seiner hohen Härte, Verschleißfestigkeit und thermischen Stabilität erhebliche Vorteile. Es kann die Reibung zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück effektiv reduzieren, die Schnitttemperatur senken und so die Bearbeitungseffizienz und Oberflächenqualität verbessern.

In Werkzeugbeschichtungen wird Wolframoxid typischerweise als dünner Film auf ein Hartmetall- oder Schnellarbeitsstahlsubstrat aufgebracht. Seine hohe Härte (nahe 9 auf der Mohs-Skala) macht es widerstandsfähig gegen Verschleiß und Verformung während des Schneidens. So weisen Wolframoxidschichten, die durch physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) auf Wolframmetallwerkzeugen abgeschieden werden, eine Oberflächenhärte von 2000–2500 HV auf, was deutlich höher ist als die von unbeschichteten Werkzeugen. Darüber hinaus haben Wolfram-Wissensstudien gezeigt, dass der niedrige Reibungskoeffizient von Wolframoxid

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(ca. 0,4–0,6) die Schnittkräfte erheblich reduzieren und die Standzeit verlängern kann.

Die hohe Temperaturbeständigkeit von Wolframoxid ist ein weiterer Vorteil bei Werkzeugbeschichtungen. Beim Hochgeschwindigkeitsschneiden kann die Oberflächentemperatur des Werkzeugs mehr als 800 °C erreichen, während der Schmelzpunkt von Wolframoxid bis zu 1473 °C beträgt und die strukturelle Stabilität bei hohen Temperaturen aufrechterhalten werden kann. Wolframoxid-Beschichtungen, die durch die Oxidation von Wolframpulver hergestellt werden, sind beispielsweise wirksam bei der Beständigkeit gegen thermische Ermüdung und oxidativen Verschleiß bei der Bearbeitung von Titanlegierungen oder rostfreien Stählen.

In der Praxis wird Wolframoxid häufig mit anderen Materialien compoundiert, um die Leistung zu optimieren. So behält eine Verbundbeschichtung mit Wolframkupfer oder Ferrowolfram nicht nur die hohe Härte von Wolframoxid bei, sondern verbessert auch die Wärmeleitfähigkeit und reduziert den Wärmestau in der Schneidzone. Darüber hinaus kann die von Tungsten entwickelte Dotierungstechnologie (z. B. Molybdän) die Zähigkeit der Beschichtung weiter verbessern und einen Sprödbruch verhindern.

Der Herstellungsprozess der Wolframoxidbeschichtung ist entscheidend für ihre Leistung. Wolframoxidschichten, die durch Magnetron-Sputtern erzeugt werden, weisen beispielsweise eine hohe Kompaktheit und Gleichmäßigkeit auf, und ihre Dicke kann präzise zwischen 1 und 5 µm gesteuert werden, wodurch sie für die Präzisionsbearbeitung geeignet sind. Darüber hinaus weist die durch Wolframfilamentoxidation erzeugte Wolframoxidbeschichtung beim Drehen und Fräsen hervorragende Antihafteigenschaften auf, wodurch das Anhaften des Werkstückmaterials reduziert wird.

In bestimmten Fällen sind wolframoxidbeschichtete Werkzeuge in der Luft- und Raumfahrt und im Automobilbau weit verbreitet. Bei der Bearbeitung von Aluminiumlegierungen können beispielsweise wolframoxidbeschichtete Werkzeuge auf Basis von Wolframmadelsubstraten die Oberflächenrauheit um mehr als 20 % reduzieren. Darüber hinaus berichtete Tungsten News, dass sich seine Anwendung im Hochgeschwindigkeits-Trockenschnitt abzeichnet, wodurch die Abhängigkeit von Kühlmittel verringert wird, was dem Trend der umweltfreundlichen Fertigung entspricht.

Wolframoxid-Beschichtungen bringen jedoch auch einige Herausforderungen mit sich. Zum Beispiel ist es spröde und kann sich beim schweren Schneiden ablösen. Zu diesem Zweck versuchten die Forscher, die Zähigkeit zu verbessern, indem sie Silberwolfram dotierten oder eine Wolfram-Kunststoff-Pufferschicht einbrachten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Darüber hinaus muss die Haftung auf dem Substrat weiter optimiert werden, und durch thermisches Spritzen oder Ionenstrahlgestützte Abscheidung kann die Haftung effektiv verbessert werden.

Im Hinblick auf die Leistungsoptimierung ist das mehrschichtige Strukturdesign von Wolframoxid der Schlüssel. So vereinen beispielsweise Wolframoxid/Wolframdisulfid-Verbundschichten hohe Härte und Selbstschmierung, um die Standzeit deutlich zu erhöhen. Darüber hinaus zeigen Wolframdaten, dass es sich hervorragend bei der Verarbeitung von superharten Materialien wie Keramik eignet, was seinen Einsatz in der High-End-Fertigung vorantreibt.

Der Einsatz von Wolframoxid in Werkzeugbeschichtungen bietet auch wirtschaftliche Vorteile. Seine Rohstoffe sind reichlich vorhanden (wie Wolframit), und die Produktionskosten sind kontrollierbar. Mit dem Wachstum der Nachfrage auf dem Wolframmarkt wird die Position von Wolframoxid-beschichteten Werkzeugen im Maschinenbau weiter gefestigt und bietet eine zuverlässige Unterstützung für eine effiziente Bearbeitung.

9.5.2 Anwendung von Wolframoxid in verschleißfesten Teilen

Verschleißfeste Bauteile sind Schlüsselkomponenten im Maschinenbau, die einer hohen Reibung und einem hohen Verschleiß ausgesetzt sind, wie z. B. Lager, Zahnräder und Dichtungen. Wolframoxid hat aufgrund seiner hohen Härte, Korrosionsbeständigkeit und Ermüdungsbeständigkeit ein wichtiges Anwendungspotenzial in verschleißfesten Teilen. Es verlängert die Lebensdauer der Komponenten erheblich, reduziert die Wartungskosten und eignet sich für schwere Maschinen und extreme Bedingungen.

In verschleißfesten Bauteilen wird Wolframoxid häufig in Form von Beschichtungen oder Verbundwerkstoffen eingesetzt. Seine hohe Härte und seine geringen Reibungseigenschaften machen es widerstandsfähig gegen abrasiven Verschleiß und adhäsiven Verschleiß. So sind Wolframoxid-Beschichtungen, die durch Plasmaspritzen auf einem Wolframmetallsubstrat entstehen, 3-5-mal verschleißfester als herkömmliche Stähle. Darüber hinaus haben wissenschaftliche Wolframstudien gezeigt, dass die Kristallstruktur von Wolframoxid bei hoher Belastung stabil bleiben kann, wodurch ein Ablösen der Oberfläche verhindert wird.

Die Korrosionsbeständigkeit von Wolframoxid ist ein weiterer großer Vorteil bei verschleißfesten Teilen. In feuchten oder sauren Umgebungen ist seine Beständigkeit gegen Oxidation und chemische Angriffe der vieler metallischer Werkstoffe überlegen. Wolframoxidbeschichtungen, die durch Wolframpartikeloxidation hergestellt werden, eignen sich beispielsweise gut für

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Offshore-Anlagen und sind wirksam bei der Korrosion durch Salzsprühnebel. Darüber hinaus weist Wolframoxid, das mit Wolframheizung mit Hilfe einer Wolframheizung gegläht wurde, eine höhere Dichte auf, was die Korrosionsbeständigkeit weiter verbessert.

In der Praxis wird Wolframoxid häufig mit anderen Materialien compoundiert, um die Leistung zu optimieren. So weist eine Verbundschicht mit Calciumwolframat eine hervorragende Schlagzähigkeit in verschleißfesten Teilen auf und eignet sich für Baggerzähne. Darüber hinaus wird das von Tungsten entwickelte Wolframoxid/kugelförmige Wolframpulvergemisch durch Pulvermetallurgie hergestellt, das eine hohe Dichte und Gleichmäßigkeit aufweist und für Hochleistungslager geeignet ist.

Der Herstellungsprozess von Wolframoxid hat einen erheblichen Einfluss auf dessen Verschleißfestigkeit. So bildet beispielsweise eine durch Laserauftragschweißen erzeugte Wolframoxidschicht eine metallurgische Verbindung mit dem Substrat mit einer Haftfestigkeit von mehr als 500 MPa. Darüber hinaus kann eine Mischung aus Wolframpachtel und Wolframoxid gesintert werden, um eine verschleißfeste Auskleidung herzustellen, die für den Einsatz in der Mühle geeignet ist.

In bestimmten Fällen wurde Wolframoxid verwendet, um die Haltbarkeit von Baumaschinen zu verbessern. Wolframoxid-Beschichtungen auf Basis von Wolfram-Gold-Substraten verlängern beispielsweise die Lebensdauer von Zahnrädern für Bergbaumaschinen um mehr als 50 %. Darüber hinaus berichtet Wolfram News, dass seine Verwendung in hochtemperaturverschleißfesten Komponenten, wie z. B. Turbinenschaufeln, auf dem Vormarsch ist, um den Anforderungen der Luft- und Raumfahrtindustrie gerecht zu werden.

Wolframoxid stellt jedoch auch bei verschleißfesten Bauteilen eine Herausforderung dar. So kann seine Sprödigkeit bei hohen Stößen zu Rissen führen. Um dies zu erreichen, versuchten die Forscher, die Zähigkeit zu verbessern, indem sie Wolframat dotierten oder eine Wolframkautschuk-Pufferschicht einbrachten. Darüber hinaus sind die Verarbeitungskosten hoch, und der Vorbereitungsprozess muss optimiert werden, um eine großtechnische Anwendung zu erreichen.

Im Hinblick auf die Leistungsoptimierung ist das Mikrostrukturdesign von Wolframoxid der Schlüssel. So werden beispielsweise Wolframoxid/Natrium-Wolframat-Verbundbeschichtungen wärmebehandelt, um eine Gradientenstruktur zu bilden, die die Ermüdungsbeständigkeit deutlich verbessert. Darüber hinaus zeigen Wolframdaten, dass seine Verschleißfestigkeit unter geschmierten Bedingungen besser ist als die vieler keramischer Werkstoffe, was seine Verwendung in gleitenden Teilen vorantreibt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Auch die Anwendung von Wolframoxid in verschleißfesten Teilen ist umweltfreundlich. Die Rohstoffe sind reichlich vorhanden (z. B. Scheelit) und der Produktionsprozess ist kontrollierbar. Mit der Expansion des Wolframmarktes wird Wolframoxid seine Position im Maschinenbau weiter ausbauen und eine zuverlässige Lösung für hochbelastbare Komponenten bieten.

9.6 Wolframoxid in biomedizinischen Anwendungen

Als multifunktionaler Werkstoff zeigt Wolframoxid (WO_3) ein immer wichtigeres Anwendungspotenzial im biomedizinischen Bereich. Seine einzigartigen physikalisch-chemischen Eigenschaften, wie z. B. hohe Biokompatibilität, optische Reaktionsfähigkeit und elektrochemische Aktivität, verleihen ihm erhebliche Vorteile in Biosensoren, photothermischer Therapie und anderen medizinischen Technologien. Mit der steigenden Nachfrage nach hochempfindlichen und niedrig-invasiven Materialien in der Biomedizin expandiert die Erforschung und Anwendung von Wolframoxid rasant.

In der Biomedizin sind die halbleitenden Eigenschaften von Wolframoxid seine Kernstärke. Seine Bandlücke (ca. 2,6–3,0 eV) ermöglicht es ihm, sichtbares Licht zu absorbieren und an photoelektrischen Reaktionen teilzunehmen, während Nanostrukturen wie Nanopartikel oder dünne Filme ihre Oberfläche und Reaktivität deutlich vergrößern. Darüber hinaus hat die Wolframforschung gezeigt, dass Wolframoxidoberflächen funktionalisiert werden können, um die Biokompatibilität zu verbessern, wodurch es für In-vitro- und In-vitro-Anwendungen geeignet ist.

In der praktischen Anwendung hat der Herstellungsprozess von Wolframoxid einen tiefgreifenden Einfluss auf seine Eigenschaften. So eignen sich beispielsweise Wolframoxid-Nanomaterialien, die durch hydrothermale oder solvothermische Verfahren synthetisiert werden, aufgrund ihrer hohen Reinheit und kontrollierbaren Morphologie für biomedizinische Anforderungen. Darüber hinaus haben Fortschritte in der Wolframtechnologie die Erforschung tragbarer medizinischer Geräte vorangetrieben, und der schwankende Preis von Wolfram hat Forscher dazu veranlasst, kostengünstige Synthesemethoden zu entwickeln, wie z. B. die direkte Herstellung von Wolframoxid unter Verwendung von Ammoniumparawolframat.

9.6.1 Anwendung von Wolframoxid in Biosensoren

Biosensoren sind wichtige Werkzeuge im biomedizinischen Bereich, um Biomarker zu erkennen, Krankheitszustände zu überwachen und die personalisierte Medizin zu unterstützen. Aufgrund seiner hohen Empfindlichkeit, seines schnellen Ansprechverhaltens und seiner elektrochemischen Stabilität hat Wolframoxid als empfindliches Material in Biosensoren eine hervorragende Leistung gezeigt. Es

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

kann eine Vielzahl von Biomolekülen wie Glukose, Enzyme und DNA effektiv nachweisen und bietet eine zuverlässige Unterstützung für die Diagnose von Krankheiten und das Gesundheitsmanagement.

In Biosensoren beruht die Rolle von Wolframoxid hauptsächlich auf seinen elektrochemischen und optoelektronischen Eigenschaften. Da es sich um einen n-Typ-Halbleiter handelt, findet ein Ladungstransfer auf seiner Oberfläche statt, wenn er mit dem interessierenden Analyten in Kontakt kommt, was zu einer Änderung der Leitfähigkeit oder des optischen Signals führt. So können beispielsweise Wolframoxid-Nanofilme, die durch elektrochemische Abscheidung auf Wolframmetallelektroden erzeugt werden, Nachweisgrenzen bis hinunter in den μM -Bereich aufweisen. Darüber hinaus haben Wolfram-Wissensstudien gezeigt, dass die Nanodrahtstruktur von Wolframoxid aufgrund ihrer hohen Oberfläche und der schnellen Elektronentransportfähigkeit die Empfindlichkeit von Sensoren deutlich verbessern kann.

Die poröse Struktur von Wolframoxid ist sein entscheidender Vorteil bei Biosensoren. Zum Beispiel weisen Wolframoxid-Nanopartikel, die durch solvothermische Verfahren synthetisiert werden, reichlich aktive Zentren auf, die Enzymmoleküle (z. B. Glukoseoxidase) für einen hochselektiven Nachweis effektiv adsorbieren können. Darüber hinaus weist der durch die Oxidation von Wolframpulver erzeugte poröse Wolframoxidfilm eine hervorragende Reaktionsgeschwindigkeit beim Nachweis von H_2O_2 auf, was auf seine schnelle Redoxreaktion zurückzuführen ist.

In der Praxis wird Wolframoxid häufig mit anderen Materialien compoundiert, um die Leistung zu optimieren. So behält die aus Wolframkupfer geformte Kompositelektrode nicht nur die hohe Empfindlichkeit von Wolframoxid bei, sondern verbessert auch die elektrische Leitfähigkeit, wodurch sie für die Echtzeitüberwachung geeignet ist. Darüber hinaus kann die von Tungsten entwickelte Dotierungstechnologie (z. B. dotiert mit Silberwolfram) ihre Antiinterferenzfähigkeiten weiter verbessern und falsch positive Signale in komplexen biologischen Matrices reduzieren.

Der Herstellungsprozess von Wolframoxid-Biosensoren ist entscheidend für ihre Leistung. Zum Beispiel weisen Wolframoxidfilme, die durch Sprühen auf Wolframfilamentsubstrate hergestellt werden, eine hohe Gleichmäßigkeit und Stabilität auf, und ihr Nachweisbereich kann Biomolekülkonzentrationen von nM bis mM abdecken. Darüber hinaus zeigen Wolframdaten, dass Wolframoxid in sauren oder neutralen Umgebungen aktiv bleibt, wodurch es für die Analyse von Blut oder Körperflüssigkeiten geeignet ist.

In bestimmten Fällen wurde Wolframoxid bei der Entwicklung von tragbaren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Glukosesensoren verwendet. Wolframoxid-Sensoren auf Basis von Wolframmadelektroden weisen beispielsweise eine schnelle Reaktion (<5 Sekunden) und eine hohe Wiederholgenauigkeit bei der Diabetesüberwachung auf. Darüber hinaus berichtete Tungsten News, dass sich sein Potenzial bei der Erkennung von Krebszellmarkern wie CEA abzeichnet und einen neuen Weg für die Früherkennung eröffnet.

Wolframoxid steht jedoch auch bei Biosensoren vor Herausforderungen. Zum Beispiel kann die Oberfläche im Laufe der Zeit biofouliert werden, was die Genauigkeit der Inspektion beeinträchtigt. Zu diesem Zweck versuchten die Forscher, die Beständigkeit gegen Verschmutzung durch Oberflächenmodifikation (z.B. PEGifizierung) oder Compoundierung mit Wolfram-Kunststoff zu verbessern. Darüber hinaus kann seine Selektivität in komplexen biologischen Umgebungen unzureichend sein und muss durch Dotierung von Calciumwolframat oder den Aufbau von Heteroübergängen optimiert werden.

Im Hinblick auf die Leistungsoptimierung ist das Nanostrukturdesign von Wolframoxid der Schlüssel. Beispielsweise können Wolframoxid/Wolframdisulfid-Komposit-Nanoarrays aufgrund ihrer hohen spezifischen Oberfläche und ihres synergistischen Effekts die Nachweisgrenze und die Reaktionsgeschwindigkeit erheblich verbessern. Darüber hinaus treibt die wachsende Nachfrage nach Wolfram den Einsatz in tragbaren Sensoren voran, wie z. B. kostengünstigen Geräten auf Basis von Wolframit-Rohstoffen.

Die Anwendung von Wolframoxid in Biosensoren hat auch Vorteile für die biologische Sicherheit. Aufgrund seiner geringen Toxizität und Abbaubarkeit eignet es sich für den Einsatz in vivo, wie z. B. implantierbare Überwachungsgeräte. Mit der Weiterentwicklung der biomedizinischen Technologie wird Wolframoxid eine größere Rolle in der Präzisionsmedizin und im Gesundheitsmonitoring spielen.

9.6.2 Anwendung von Wolframoxid in der photothermischen Therapie

Die photothermische Therapie (PTT) ist eine nicht-invasive Therapie, die photothermische Effekte nutzt, um Krebszellen abzutöten, und Wolframoxid hat aufgrund seiner hervorragenden photothermischen Umwandlungseffizienz und seiner Absorptionskapazität im nahen Infrarot (NIR) ein wichtiges Anwendungspotenzial in diesem Bereich. Es kann Lichtenergie unter Lichteinwirkung in Wärmeenergie umwandeln und lokal hohe Temperaturen erreichen, um Tumore abzutöten, was eine effiziente Option für die Krebsbehandlung darstellt.

In der photothermischen Therapie sind die photothermischen Eigenschaften von Wolframoxid auf seine starken NIR-Absorptionseigenschaften (700-1100 nm)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

zurückzuführen. Zum Beispiel können Wolframoxid-Nanopartikel, die durch hydrothermale Verfahren synthetisiert werden, einen photothermischen Umwandlungswirkungsgrad von 40–50 % unter 808-nm-Laserbestrahlung erreichen, was viel höher ist als der von herkömmlichen Goldnanomaterialien. Darüber hinaus haben akademische Studien zu Wolfram gezeigt, dass der Sauerstoffdefekt von Wolframoxid seinen Effekt der lokalen Oberflächenplasmonenresonanz (LSPR) verstärken kann, was die photothermische Leistung weiter verbessern kann.

Die Nanostruktur von Wolframoxid ist sein entscheidender Vorteil in der photothermischen Therapie. Zum Beispiel können Wolframoxid-Nanostäbchen, die durch Wolframpartikeloxidation hergestellt werden, aufgrund ihres hohen Aspektverhältnisses und ihrer Oberflächenaktivität schnell auf 50–60 °C ansteigen, was ausreicht, um die Apoptose von Tumorzellen zu induzieren. Darüber hinaus zeigten Wolframoxid-Nanoblätter, die mit Wolframsäurevorläufern hergestellt wurden, in vivo eine gute Dispersion und photothermische Stabilität.

In der Praxis wird Wolframoxid häufig oberflächenmodifiziert, um die Biokompatibilität zu optimieren. So können beispielsweise Wolframoxid-Nanopartikel, die mit Polyethylenglykol (PEG) oder Wolframkautschuk beschichtet sind, über lange Zeiträume im Blut zirkulieren, ohne dass sie schnell entfernt werden müssen. Darüber hinaus weist Wolframoxid, das mit Hilfe einer Wolframheizung synthetisiert wird, eine höhere Kristallinität auf, was den photothermischen Wirkungsgrad weiter verbessert.

Zu den Vorteilen von Wolframoxid in der photothermischen Therapie gehört auch seine Vielseitigkeit. Zum Beispiel haben Wolframoxid-Nanokomposite, die durch Dotierung von Cäsium und Wolfram gebildet werden, nicht nur hervorragende photothermische Eigenschaften, sondern können auch als Kontrastmittel in der CT-Bildgebung verwendet werden, wodurch die Integration von Diagnose und Behandlung realisiert wird. Darüber hinaus haben Studien an Wolframprodukten gezeigt, dass seine Kombination mit Strahlenschutzmaterialien verwendet werden kann, um die Wirkung der Strahlentherapie zu verstärken.

In bestimmten Fällen wurde Wolframoxid in photothermischen Therapieexperimenten in Mausmodellen verwendet. So können Wolframoxid-Nanopartikel auf Basis von kugelförmigem Wolframpulver unter NIR-Bestrahlung die Temperatur der Tumorstelle auf 55 °C anheben, was das Tumorwachstum deutlich hemmen kann.

Wolframoxid steht jedoch auch in der photothermischen Therapie vor Herausforderungen. So ist beispielsweise die Lichtdurchdringung in tiefe Gewebe begrenzt und erfordert eine Kombination aus faseroptischer Technologie oder Lasern mit höherer Wellenlänge. Darüber hinaus sind die langfristigen In-vivo-Stoffwechselwege noch nicht vollständig verstanden, und die Biosicherheit muss

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

weiter bewertet werden. Dazu versuchten die Forscher, seine Eigenschaften zu optimieren, indem sie Wolframat dotierten oder mit Wolframgold compoundierten.

Wenn es um die Leistungsoptimierung geht, ist die Topographiekontrolle von Wolframoxid von entscheidender Bedeutung. So können beispielsweise nanoflorale Strukturen aus Wolframoxid aufgrund ihrer Porosität und hohen Absorption die photothermische Umwandlungseffizienz erheblich verbessern. Darüber hinaus hat das Wachstum der Nachfrage auf dem Wolframmarkt die Kommerzialisierung von photothermischen Therapiegeräten vorangetrieben, wie z. B. kostengünstigen Nanomaterialien auf Basis von Scheelit-Rohstoffen.

Die Anwendung von Wolframoxid in der photothermischen Therapie hat auch synergistisches Potenzial. Zum Beispiel kann seine photothermische Wirkung in Kombination mit Chemotherapeutika (wie Doxorubicin) die Freisetzungseffizienz des Arzneimittels erhöhen und eine Wärme-Chemotherapie-Kombinationstherapie erreichen. Mit der Entwicklung der Nanomedizin wird Wolframoxid eine wichtige Position bei der Präzisionsbehandlung von Krebs einnehmen.

9.7 Anwendung von Wolframoxid im Bereich der optischen Anzeige

Wolframoxid (WO_3) weist aufgrund seiner hervorragenden optischen Eigenschaften und elektrochromen Eigenschaften ein breites Anwendungsspektrum im Bereich der optischen Darstellung auf. Seine einzigartigen physikalisch-chemischen Eigenschaften, wie z. B. einstellbare Lichtdurchlässigkeit, hoher optischer Kontrast und schnelle Reaktionsfähigkeit, machen es zu einem wichtigen Material für Displays, intelligente Fenster und andere optische Geräte. Mit der Entwicklung der Display-Technologie in Richtung High Definition, geringem Stromverbrauch und Intelligenz wird die Rolle von Wolframoxid immer wichtiger.

Im Bereich der optischen Anzeige, Wolframoxid Die Kernstärke sind seine elektrochromen Eigenschaften. Durch Anlegen eines elektrischen Feldes kann seine Farbe reversibel zwischen transparent und dunkelblau umgeschaltet werden, eine Eigenschaft, die auf Ioneninterkalations- und Elektronentransferprozesse zurückzuführen ist. Darüber hinaus hat die Wolframforschung gezeigt, dass Wolframoxid-Nanostrukturen, wie Nanofilme oder Nanopartikel, die optische Reaktionsgeschwindigkeit und -stabilität deutlich verbessern können und damit den hohen Anforderungen moderner Anzeigegeräte gerecht werden.

In der praktischen Anwendung hat der Herstellungsprozess von Wolframoxid einen tiefgreifenden Einfluss auf seine Eigenschaften. Wolframoxidfilme beispielsweise, die durch Sputtern oder chemische Gasphasenabscheidung (CVD) hergestellt werden, weisen eine hohe Gleichmäßigkeit und optische Transparenz auf und eignen sich daher für großflächige Anzeigegeräte. Darüber hinaus haben Fortschritte in der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframtechnologie die Erforschung flexibler Displays gefördert, und der schwankende Wolframpreis hat die Forscher dazu veranlasst, kostengünstige Synthesemethoden zu entwickeln, wie z. B. die direkte Herstellung von Wolframoxid unter Verwendung von Ammoniumparawolframat.

9.7.1 Anwendung von Wolframoxid in Displays

Displays sind eine Kernanwendung im Bereich optischer Displays, einschließlich Flüssigkristalldisplays (LCDs), organischer Leuchtdiodendisplays (OLEDs) und aufstrebender elektrochromer Displays. Wolframoxid ist aufgrund seiner elektrochromen Eigenschaften und seines hohen optischen Kontrasts als Dimmschicht oder Pixelmaterial in Displays wertvoll. Es ermöglicht eine dynamische Farbanpassung und Energieeinsparungen und bietet eine innovative Lösung für die nächste Generation der Displaytechnologie.

In Displays beruht der elektrochrome Mechanismus von Wolframoxid auf einer reversiblen Ioneninterkalationsreaktion. Wenn z. B. Li^+ oder H^+ eingebettet ist, lautet die Reaktion: $\text{WO}_3 + x\text{M}^+ + x\text{e}^- \rightleftharpoons \text{M}_x\text{WO}_3$ (M ist Li oder H). Durch dieses Verfahren wird die Lichtdurchlässigkeit von mehr als 80 % auf weniger als 10 % reduziert, was zu einem extrem hohen optischen Kontrast führt. Zum Beispiel können Wolframoxidfilme, die durch elektrochemische Abscheidung auf Wolframmetallsubstraten erzeugt werden, eine Farbwechselreaktionszeit von nur Millisekunden haben, wodurch sie für Hochgeschwindigkeitsdisplays geeignet sind. Darüber hinaus haben Wolfram-Wissensstudien gezeigt, dass die poröse Struktur von Wolframoxid die Ionendiffusion beschleunigen und die Schalteffizienz weiter verbessern kann.

Die Verwendung von Wolframoxid in Displays profitiert auch von seiner breiten spektralen Reaktionsfähigkeit. Seine Bandlücke (2,6–3,0 eV) verleiht ihm eine gute Transparenz im sichtbaren Bereich, während er nach dem Einstecken dunkel erscheint, wodurch er sich zum Dimmen oder zum Schutz der Privatsphäre eignet. Wolframoxid-Nanofilme, die durch die Oxidation von Wolframpulver hergestellt werden, können beispielsweise die Helligkeit in intelligenten Displays dynamisch anpassen, wodurch Blendung reduziert und der Sehkombfort verbessert wird.

In der Praxis wird Wolframoxid häufig mit anderen Materialien compoundiert, um die Leistung zu optimieren. So behält die aus Wolframkupfer gebildete Verbundfolie nicht nur den hohen Kontrast von Wolframoxid bei, sondern verbessert auch die elektrische Leitfähigkeit und ist für die großflächige Darstellung geeignet. Darüber hinaus kann die von Tungsten entwickelte Dotierungstechnologie (z. B. Molybdändotierung) ihren Farbwechselbereich anpassen und die Vielfalt der Anzeigefarben, wie z. B. von Blau nach Grün oder Grau, erhöhen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der Vorbereitungsprozess von Wolframoxid-Displays ist entscheidend für ihre Leistung. Zum Beispiel haben Wolframoxidfilme, die durch Magnetron-Sputtern auf Wolframfilamentsubstraten abgeschieden werden, eine hohe Adhäsion und Gleichmäßigkeit, und ihre Dicke kann präzise zwischen 50 und 200 nm gesteuert werden, wodurch sie für hochauflösende Displays geeignet sind. Darüber hinaus zeigen Wolframdaten, dass Wolframoxid seine optischen Eigenschaften unter Vorbereitungsbedingungen bei niedrigen Temperaturen beibehält, was es für flexible Displays, wie z. B. biegsame Bildschirme auf Basis von Wolframkunststoff, potenziell macht.

In bestimmten Fällen wurde Wolframoxid bei der Entwicklung elektrochromer Displays verwendet. Wolframoxid-Beschichtungen auf Basis von Wolframnadelnsubstraten weisen beispielsweise eine hervorragende Pixelschaltgeschwindigkeit und einen geringen Stromverbrauch im E-Paper auf. Darüber hinaus berichtet Tungsten News, dass die Verwendung in transparenten Displays, wie z. B. holografischen Displays oder Augmented-Reality-Geräten (AR), auf dem Vormarsch ist.

Wolframoxid stellt jedoch auch bei Displays eine Herausforderung dar. Zum Beispiel kann die Lebensdauer seines farbverändernden Zyklus durch Ermüdung der Ioneninterkalation reduziert werden, und die Stabilität kann durch Dotierung von Calciumwolframat oder Optimierung eines Elektrolyten wie Natriumwolframat verbessert werden. Darüber hinaus kann die anfängliche Transparenz in einigen Anwendungen unzureichend sein und muss durch Oberflächenmodifikation oder Compoundierung mit Silber-Wolfram verbessert werden.

Im Hinblick auf die Leistungsoptimierung ist das Nanostrukturdesign von Wolframoxid der Schlüssel. So können beispielsweise Wolframoxid-Nanoarrays aufgrund ihrer großen Oberfläche und ihres schnellen Ionentransports die Bildwiederholfrequenz des Displays erheblich verbessern. Darüber hinaus treibt die wachsende Nachfrage nach Wolfram den Einsatz in flexiblen OLED-Rückseitenfolien voran, wie z. B. bei der Herstellung kostengünstiger dünner Schichten aus Wolframit-Rohstoffen.

Die Verwendung von Wolframoxid in Displays hat auch energiesparende Vorteile. Die dynamische Dimmfunktion reduziert den Energieverbrauch der Hintergrundbeleuchtung und verlängert die Lebensdauer des Geräts. Mit der Entwicklung der Displaytechnologie hin zu Intelligenz und Flexibilität wird Wolframoxid eine größere Rolle im Bereich der optischen Displays spielen.

9.8 Anwendung von Wolframoxid im katalytischen Träger

Wolframoxid hat einen wichtigen Anwendungswert auf dem Gebiet des katalytischen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Trägers, und seine hohe Oberfläche, chemische Stabilität und saure Seite machen es zu einem hervorragenden Trägermaterial für Trägerkatalysatoren. In den Bereichen Chemie, Energie und Umwelt bietet Wolframoxid eine zuverlässige Plattform für eine Vielzahl von Reaktionen, indem es aktive Komponenten zur Verbesserung der katalytischen Effizienz unterstützt.

Unter den katalytischen Trägern sind die poröse Struktur und die Oberflächenaktivität von Wolframoxid seine Hauptvorteile. Seine spezifische Oberfläche kann 50–200 m²/g erreichen, was die aktive Phase von Metallen oder Oxiden effektiv dispergieren und die Aktivität und Selektivität des Katalysators erhöhen kann. Darüber hinaus haben Wolframstudien gezeigt, dass die sauren Stellen von Wolframoxid, wie Lewis-Säure und Brønsted-Säure, eine Vielzahl von säurekatalysierten Reaktionen wie Alkylierung und Isomerisierung fördern können.

In der praktischen Anwendung hat der Herstellungsprozess von Wolframoxid einen erheblichen Einfluss auf seine Eigenschaften. Zum Beispiel weist Wolframoxid, das durch solvothermische oder thermische Zersetzung von Ammoniummetawolframat hergestellt wird, eine hohe Porosität und thermische Stabilität auf, wodurch es für katalytische Hochtemperaturumgebungen geeignet ist. Darüber hinaus hat die Forschung an Wolframprodukten zu seiner Anwendung in der industriellen Katalyse geführt, z. B. in der Erdölraffination und der Abgasbehandlung.

9.8.1 Anwendung von Wolframoxid in trägergestützten Katalysatoren

Wolframoxid (WO₃) hat aufgrund seiner hervorragenden physikalischen und chemischen Eigenschaften einen wichtigen Anwendungswert im Bereich der unterstützten Katalysatoren. Als multifunktionales Trägermaterial kann Wolframoxid aufgrund seiner hohen Oberfläche, chemischen Stabilität und oberflächensauren Stellen aktive Komponenten effektiv unterstützen und die Aktivität, Selektivität und Stabilität von Katalysatoren verbessern. Es wird häufig in einer Vielzahl von katalytischen Reaktionen in der chemischen Produktion, der Energieumwandlung und der Umweltpolitik eingesetzt und bietet eine effiziente Unterstützung industrieller Prozesse.

Unter den unterstützten Katalysatoren sind die Hauptvorteile von Wolframoxid seine poröse Struktur und sein hohes Dispersionsvermögen. Seine spezifische Oberfläche liegt typischerweise zwischen 50 und 200 m²/g und bietet ausreichend Anheftungsstellen für aktive Komponenten wie Edelmetalle oder Übergangsmetalloxide, verhindert Agglomeration und erhöht die Ausnutzung. Darüber hinaus hat die Wolframforschung gezeigt, dass die Lewis-Säure- und die Brønsted-Säure-Stellen von Wolframoxid synergistisch wirken können, um säurekatalysierte Reaktionen wie Alkylierung, Isomerisierung und Dehydratisierung zu fördern. Diese Eigenschaft macht es in der petrochemischen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und organischen Synthese sehr gefragt.

Die thermische Stabilität von Wolframoxid ist ein weiteres Highlight des unterstützten Katalysators. Seine Struktur bleibt bei hohen Temperaturen (bis zu 600–700 °C) intakt und eignet sich für raue katalytische Bedingungen. Zum Beispiel weisen Wolframoxidträger, die durch thermische Zersetzung von Ammoniummetawolframat hergestellt werden, eine ausgezeichnete Sinterbeständigkeit in Hochtemperaturhydrierungsreaktionen auf. Darüber hinaus haben Fortschritte in der Wolframtechnologie die Topographiesteuerung, wie z. B. Nanostäbchen- oder Nanoblattstrukturen, vorangetrieben und ihre katalytischen Eigenschaften weiter verbessert.

In der Praxis wird Wolframoxid häufig durch Imprägnierung, Mitfällung oder solvothermale Methode mit der aktiven Komponente kombiniert. Beispielsweise weist ein Katalysator, der mit Pt oder Pd auf Wolframoxid beladen ist, eine hohe Umwandlung und Beständigkeit gegen Schwefelvergiftung bei Hydrodesulfurierungsreaktionen (HDS) auf. Dies ist auf die starke Wechselwirkung zwischen Wolframoxid und Metall (SMSI) zurückzuführen, die das aktive Zentrum stabilisiert und die Lebensdauer des Katalysators verlängert. Darüber hinaus kann der durch die Oxidation von Wolframpulver erzeugte Wolframoxidträger aufgrund seiner hohen Porosität, die für katalytische Reaktionen in der Gasphase geeignet ist, die Diffusionseffizienz von Gasmolekülen erheblich verbessern.

In bestimmten Fällen wurden Wolframoxid-gestützte Katalysatoren in großem Umfang in der Erdölraffination eingesetzt. So können Ni/Wolframoxid-Katalysatoren beim Kohlenwasserstoff-Cracken Schweröl mit einer Umwandlungsrate von mehr als 90 % in leichte Fraktionen umwandeln. Darüber hinaus zeigen Wolframdaten, dass der durch Wolframoxid und Ferrowolfram hergestellte Träger eine ausgezeichnete Beständigkeit gegen Kohlenstoffabscheidung bei der Methan-Trockenreformierung aufweist, was auf die Hemmung der Kohlenstoffabscheidung durch seinen Oberflächensäuregehalt zurückzuführen ist.

Wolframoxid hat auch wichtige Anwendungen in der Umweltkatalyse. So kann der Pd/Wolframoxid-Katalysator Toluol bei der Oxidation flüchtiger organischer Verbindungen (VOCs) vollständig in CO₂ und H₂O umwandeln, mit einer Umwandlungsrate von mehr als 95 %. Die hohe Homogenität des Wolframoxidträgers, der durch Sprühen auf einem Wolframfilamentsubstrat erzeugt wird, sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der Wirkstoffe. Darüber hinaus berichtet Tungsten News, dass sich sein Potenzial bei der selektiven katalytischen Reduktion (SCR) von NO_x abzeichnet, wie z. B. die Compoundierung mit Wolframkupfer zur Verbesserung der Aktivität bei niedrigen Temperaturen.

Es gibt jedoch auch einige Herausforderungen für Wolframoxid als Träger. Zum

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beispiel kann eine zu saure Oberfläche Nebenreaktionen auslösen, die die Selektivität verringern. Dazu versuchten die Forscher, die Stärke und Verteilung der sauren Stellen durch Dotierung mit Cäsium, Wolfram oder Alkalimetallen einzustellen. Darüber hinaus kann seine spezifische Oberfläche bei langfristig hohen Temperaturen reduziert werden, und die Porenstruktur muss durch Compoundieren mit Wolframdisulfid oder durch Optimierung der Kalzinierungsbedingungen erhalten werden.

Im Hinblick auf die Leistungsoptimierung ist das mikroskopische Topographiedesign von Wolframoxid von entscheidender Bedeutung. So können beispielsweise Wolframoxid-Nanoröhren, die nach der Template-Methode hergestellt werden, aufgrund ihrer hohen Porosität und gerichteten Kanäle die Dispersion und Zugänglichkeit von Wirkstoffen deutlich verbessern. Darüber hinaus wird der von der Firma Tungsten entwickelte Wolframoxid/Wolframat-Verbundträger durch Heißpressverfahren hergestellt, der eine hohe mechanische Festigkeit aufweist und für Festbettreaktoren geeignet ist.

Der Herstellungsprozess eines Wolframoxid-gestützten Katalysators hat einen tiefgreifenden Einfluss auf seine Leistung. So können beispielsweise die Kristallinität und Porosität von Wolframoxid-Trägern, die mit Hilfe von Wolframheizungen kalziniert werden, präzise gesteuert werden, um die Stabilität des Katalysators bei hohen Temperaturen und Drücken zu gewährleisten. Darüber hinaus hat Wolframoxid, das durch Wolframpartikeloxidation hergestellt wird, auch Anwendungen im Bereich der Photokatalyse, wie z. B. die Unterstützung von TiO_2 für den Abbau organischer Schadstoffe, und sein synergistischer Effekt verbessert die photokatalytische Effizienz erheblich.

Im Bereich der grünen Chemie zeigen Wolframoxid-gestützte Katalysatoren das Potenzial für eine nachhaltige Entwicklung. So weist beispielsweise der Cu/Wolframoxid-Katalysator eine hohe Selektivität (>80 %) bei der CO_2 -Hydrierung zu Methanol auf und bietet damit einen neuen Ansatz für die Kohlenstoffabscheidung und -nutzung.

Wolframoxid verfügt über reichlich vorhandene Rohstoffe und kontrollierbare Produktionskosten, was den Grundstein für seine großtechnische Anwendung legt. Darüber hinaus hat die wachsende Nachfrage nach Wolframmarkt Forscher dazu veranlasst, neuartige Verbundstoffe wie die Kombination von Wolframoxid und Wolframingold für effiziente Oxidationsreaktionen zu erforschen.

In der tatsächlichen Industrialisierung ist die Haltbarkeit von Wolframoxid-gestützten Katalysatoren von entscheidender Bedeutung. Der Wolframoxid-Träger, der aus Wolfram-Kunststoff als Bindemittel hergestellt wird, weist im Langzeitbetrieb eine hervorragende Verschleißfestigkeit auf. Darüber hinaus kann

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframoxid, das aus Wolframsäurevorläufern hergestellt wird, mehr aktive Zentren beibehalten und die katalytische Effizienz durch einen Niedertemperatursyntheseprozess verbessern.

Auch die Anwendung von Wolframoxid in trägergestützten Katalysatoren ist umweltfreundlich. Der Produktionsprozess vermeidet den Einsatz traditioneller hochgiftiger Trägerstoffe und steht im Einklang mit den Prinzipien der grünen Chemie. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der katalytischen Technologie wird Wolframoxid eine größere Rolle in den Bereichen chemische Industrie, Energie und Umweltschutz spielen und vielfältige Optionen für eine effiziente Katalyse bieten.

9.9 Anwendung von Wolframoxid im Bereich feuerfester Gewebe

Wolframoxid (WO_3) bietet aufgrund seiner hervorragenden thermischen Stabilität und chemischen Inertheit ein einzigartiges Potenzial im Bereich der feuerfesten Gewebe. Als Übergangsmetalloxid ist Wolframoxid in der Lage, die strukturelle Integrität bei hohen Temperaturen aufrechtzuerhalten und die flammhemmenden Eigenschaften von Geweben durch seine Oberflächeneigenschaften zu verbessern. Mit der steigenden Nachfrage nach feuerfesten Werkstoffen in der Arbeitssicherheit, im täglichen Leben und im öffentlichen Verkehr gewinnt Wolframoxid als funktionelles Additiv oder Beschichtungsmaterial allmählich an Bedeutung.

In feuerfesten Geweben spiegelt sich die Rolle von Wolframoxid vor allem in seinem hohen Schmelzpunkt ($1473\text{ }^{\circ}\text{C}$) und seiner Oxidationsbeständigkeit wider, die es ihm ermöglicht, die Brenngeschwindigkeit von Geweben unter Brandbedingungen zu verlangsamen. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass Wolfram in seiner Nanopartikelform aufgrund seiner großen Oberfläche und Wärmeleitfähigkeit wirksam bei der Wärmeableitung und der Flammenausbreitung ist. Unabhängig davon, ob es mit einem Fasersubstrat compoundingiert oder als Beschichtung verwendet wird, verbessert Wolframoxid das Brandverhalten von Geweben.

In der Praxis ist der Aufbereitungsprozess von Wolframoxid entscheidend für seine Wirkung. So werden beispielsweise Wolframoxid-Nanopartikel, die durch solvothermische Synthese synthetisiert werden, gleichmäßig in Gewebefasern dispergiert, während dünne Filme, die durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD) hergestellt werden, für Oberflächenbeschichtungen geeignet sind. Darüber hinaus haben Fortschritte in der Wolframtechnologie seine Anwendung in flexiblen Geweben gefördert, während der schwankende Preis von Wolfram die Forscher dazu veranlasst hat, kostengünstige Synthesewege zu erforschen, wie z. B. die direkte Herstellung mit Ammoniumparawolframat.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.9.1 Anwendung von feuerfesten Wolframoxid-Geweben im industriellen Bereich

Die Nachfrage nach feuerfesten Geweben ist im Industriesektor besonders akut, insbesondere in Hochrisikobranchen wie Petrochemie, Metallurgie und Energiewirtschaft. Aufgrund ihrer hohen Temperaturbeständigkeit und flammhemmenden Eigenschaften zeigen Wolframoxid-Brandschutzgewebe in diesen Szenarien deutliche Vorteile als Material für Schutzkleidung, Arbeitskleidung oder Geräteabdeckungen. Es schützt die Arbeiter nicht nur vor Funken und hohen Temperaturen, sondern verlängert auch die Lebensdauer der Geräte.

In industriellen Anwendungen ist die thermische Stabilität von Wolframoxid sein zentraler Vorteil. In einem Stahlwerk oder einer Schweißerei können Gewebe beispielsweise Momentantemperaturen von bis zu 1000 ° C ausgesetzt werden. Die Hitzebeständigkeit der Wolframoxidbeschichtung, die durch Oxidation auf einem Wolframmetallsubstrat entsteht, kann die Rate der thermischen Zersetzung des Gewebes erheblich reduzieren. Darüber hinaus hat die Wolfram-Wissensforschung gezeigt, dass Wolframoxid-Nanopartikel bei hohen Temperaturen eine dichte Oxidschicht bilden, die Sauerstoff effektiv isolieren und die Verbrennung hemmen kann.

Die Herstellung von feuerfesten Geweben aus Wolframoxid wird in der Regel durch die Compoundierung mit Fasern wie Aramid oder Baumwolle erreicht. Zum Beispiel kann die Oxidation von Wolframpulver durch Imprägnierung von Wolframoxid-Nanopartikeln auf der Oberfläche der Faser den begrenzenden Sauerstoffindex (LOI) des Gewebes erhöhen, so dass es den Industriestandard erfüllt oder übertrifft (z. B. LOI > 28%). Darüber hinaus kann die von der Tungsten Company entwickelte Compoundierungstechnologie, wie z. B. dotiertes Molybdän, die Temperaturwechselbeständigkeit des Gewebes weiter verbessern.

In bestimmten Szenarien werden feuerfeste Gewebe aus Wolframoxid häufig in Schutzkleidung verwendet. Auf Bohrinseln beispielsweise können wolframoxidbeschichtete Gewebe auf Basis der Wolframfilamentoxidation Ölbränden widerstehen, und ihre Wärmeleitfähigkeit trägt dazu bei, lokal hohe Temperaturen schnell zu verteilen und Verbrennungen zu vermeiden. Darüber hinaus berichtete Wolfram News, dass es in der Energiewirtschaft als Kabelummantelungsmaterial verwendet wird, das Brände durch Lichtbögen wirksam verhindern kann.

Wolframoxid hat jedoch auch Einschränkungen in industriellen feuerfesten Geweben. So kann beispielsweise sein Gewicht die Belastung des Stoffes erhöhen und den Tragekomfort beeinträchtigen. Um dies zu erreichen, versuchten die Forscher, das Gewicht zu reduzieren, indem sie mit leichtem Wolframkupfer compoundierten oder die Größe der Nanopartikel optimierten. Darüber hinaus sind die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vorbereitungskosten hoch, und es ist notwendig, die Kosten durch Großproduktion zu senken.

Im Hinblick auf die Leistungsoptimierung ist das mehrschichtige Strukturdesign von Wolframoxid der Schlüssel. So bleiben beispielsweise Wolframoxid-Nanobeschichtungen, die auf dem Substrat von Wolframmadeln gewachsen sind, nach wiederholter Hochtemperatureinwirkung aufgrund ihrer hohen Haftung intakt. Darüber hinaus zeigen Wolframdaten, dass es in sauren oder öligen Umgebungen immer noch eine ausgezeichnete Stabilität aufweist, was seinen Einsatz in der petrochemischen Industrie vorantreibt. Wolframoxid-Feuerschutzgewebe haben auch in industriellen Anwendungen Nachhaltigkeitsvorteile. Sein Rohstoff kann aus Wolframit gewonnen werden und hat ein großes Recyclingpotenzial. Mit dem Wachstum der Nachfrage auf dem Wolframmarkt wird die Position des Unternehmens im Bereich des industriellen Sicherheitsschutzes weiter gestärkt und bietet eine zuverlässige Garantie für risikoreiche Operationen.

9.9.2 Anwendung von feuerfesten Wolframoxidgeweben im täglichen Leben

Im Bereich des täglichen Lebens umfasst die Anwendung von feuerfesten Stoffen Heimtextilien, Bekleidung und Dekorationsmaterialien, und Wolframoxid-Feuerschutzgewebe haben aufgrund ihrer Flammwidrigkeit und Sicherheit Aufmerksamkeit erregt. Es kann die Brandgefahr in der Wohnung effektiv reduzieren und den Sicherheitsfaktor des Wohnumfelds verbessern, insbesondere bei brennbaren Materialien wie Vorhängen, Teppichen und Bettwäsche.

In alltäglichen Anwendungen beruht der Flammenschutzmechanismus von Wolframoxid auf seiner thermischen Abschirmung und Sauerstoffisoliationsfähigkeit. In den frühen Stadien eines Brandes kann die Beschichtung beispielsweise eine Schutzschicht auf der Oberfläche des Gewebes bilden, die die Ausbreitung von Flammen verlangsamt. Der LOI-Wert des Wolframvorläufers kann auf mehr als 30 % erhöht werden, indem der Wolframsäurevorläufer in eine Nanobeschichtung aus Wolframoxid gesprüht wird, die die Brandschutzanforderungen von Heimtextilien erfüllen kann. Darüber hinaus haben akademische Studien an Wolfram gezeigt, dass seine Nanopartikel einen Teil der Wärmestrahlung absorbieren und den Zündpunkt des Gewebes verringern können.

Bei der Herstellung von feuerfesten Geweben aus Wolframoxid müssen Komfort und Funktionalität berücksichtigt werden. So werden beispielsweise Wolframoxid-Nanopartikel mit der Sol-Gel-Methode in Baumwollfasern eingebettet, die ihre Weichheit und Atmungsaktivität beibehält und gleichzeitig eine flammhemmende Wirkung bietet. Darüber hinaus kann die durch Wolframpartikeloxidation erzeugte Wolframoxidbeschichtung durch das Heißpressverfahren auf dem Vorhangstoff verklebt werden, wodurch dessen Haltbarkeit verbessert wird.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In bestimmten Szenarien werden feuerfeste Wolframoxidgewebe in Haushaltsgegenständen verwendet. So können sich beispielsweise mit Wolframoxid beschichtete Teppiche, die auf dem Wolframheizverfahren basieren, schnell selbst verlöschen, wenn eine Zigarette oder ein Funke in Kontakt kommt, um die Ausbreitung eines Feuers zu verhindern. Darüber hinaus haben Studien zu Wolframprodukten gezeigt, dass seine Verwendung in Kinderpyjamas das Risiko von Verbrennungen erheblich verringern und strenge Sicherheitsstandards für Heimtextilien erfüllen kann.

Wolframoxid stellt jedoch auch bei alltäglichen feuerfesten Geweben eine Herausforderung dar. Zum Beispiel kann seine Farbe (normalerweise gelb oder blau) die Ästhetik des Stoffes beeinträchtigen, und er muss mit Wolframkunststoff verbunden werden. Darüber hinaus muss die Waschbarkeit weiter verbessert werden, um eine häufige Reinigung zu ermöglichen, und die Forscher versuchen, dieses Problem durch Oberflächensilanisierung zu verbessern.

Im Hinblick auf die Leistungsoptimierung ist das Mikrostrukturdesign von Wolframoxid von entscheidender Bedeutung. So werden beispielsweise Wolframoxid-Nanofasern durch Elektrospinntechnologie, die Feuerbeständigkeit und Weichheit kombiniert, mit Baumwollgeweben kombiniert. Darüber hinaus treibt die wachsende Nachfrage nach Wolfram den Einsatz in kostengünstigen Heimtextilien voran, wie z. B. die Verwendung von Scheelit-Rohstoffen zur Herstellung wirtschaftlicher Beschichtungen.

Die Anwendung von feuerfesten Geweben aus Wolframoxid im täglichen Leben birgt auch Potenzial für den Umweltschutz. Sein Produktionsprozess kann das Toxizitätsproblem herkömmlicher Halogenflammschutzmittel vermeiden, was dem Trend zu grünen Heimtextilien entspricht. Mit dem steigenden Sicherheitsbewusstsein der Verbraucher wird Wolframoxid einen Platz im Bereich des täglichen Brandschutzes einnehmen.

9.9.3 Anwendung von feuerfesten Wolframoxidgeweben im Bereich des öffentlichen Verkehrs

Besonders hoch ist die Nachfrage nach feuerfesten Stoffen im Bereich des öffentlichen Verkehrs, wo Polster- und Sitzmaterialien in Fahrzeugen wie Flugzeugen, Zügen und Automobilen zum Einsatz kommen. Aufgrund seiner hohen Flammhemmung und Langlebigkeit weisen Wolframoxid-Feuerschutzgewebe ein großes Potenzial als Sicherheitsmaterial in diesem Bereich auf. Es kann die Brandgefahr effektiv reduzieren und das Leben der Passagiere schützen.

Im öffentlichen Verkehr beruht das Brandverhalten von Wolframoxid auf seiner

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Stabilität bei hohen Temperaturen. Bei Flugzeugsitzstoffen bildet die Beschichtung beispielsweise bei kurzzeitiger Flammeneinwirkung eine Verkohlungsschicht, die die Ausbreitung eines Feuers verhindert. Der LOI-Wert der Nanobeschichtung, die Wolframat durch das Sprühverfahren in Wolframoxid umwandelt, kann mehr als 35 % erreichen, was den Luftfahrtnormen (z. B. FAR 25.853) entspricht. Darüber hinaus zeigen Wolframdaten, dass seine geringen Toxizitätsemissionen in Rauchgasumgebungen mit hohen Temperaturen die Sicherheit weiter erhöhen.

Bei der Herstellung von feuerfesten Geweben aus Wolframoxid müssen Leichtigkeit und Abriebfestigkeit berücksichtigt werden. Wolframoxidfilme, die durch Aufdampfen auf einem kugelförmigen Wolframpulversubstrat hergestellt werden, können beispielsweise an Polyesterfasern mit weniger als 10 % mehr Gewicht haften und eignen sich daher für den Flugzeuginnenraum. Darüber hinaus wird die Verbundbeschichtung aus Ferrowolfram und Wolframoxid durch ein Heißpressverfahren hergestellt, das eine hohe Verschleißfestigkeit aufweist und für Zugsitze geeignet ist.

In bestimmten Szenarien werden feuerfeste Wolframoxid-Gewebe im Fahrzeuginnenraum eingesetzt. So können wolframoxidbeschichtete Vorhänge auf Basis der Wolfram-Gold-Technologie Zündquellen in Hochgeschwindigkeitszügen widerstehen, und ihre thermische Abschirmwirkung senkt die Kabinentemperatur erheblich.

Wolframoxid hat jedoch auch bei feuerfesten Geweben für den öffentlichen Verkehr Einschränkungen. Zum Beispiel kann seine Steifigkeit die Weichheit des Gewebes beeinträchtigen, die durch eine Mischung mit Wolframkautschuk verbessert werden muss. Darüber hinaus muss die Leistungsstabilität bei extremer Luftfeuchtigkeit weiter überprüft werden, und die Forscher versuchten, sie durch Dotierung von Cäsiumwolfram zu optimieren.

In Bezug auf die Leistungsoptimierung ist das poröse Strukturdesign von Wolframoxid der Schlüssel. So werden beispielsweise Wolframoxid-Nanogitter nach der Template-Methode hergestellt, die sowohl leicht als auch stark schwer entflammbar ist. Darüber hinaus treibt das Wachstum der Wolframmarktnachfrage seine großflächigen Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt voran, wie z. B. die Verwendung von Wolframsäure-Vorläufern für kostengünstige Beschichtungen.

Die Anwendung von feuerfesten Geweben aus Wolframoxid im öffentlichen Verkehr ist auch regulatorisch anpassbar. Es entspricht den internationalen Brandschutznormen (z. B. IMO FTPC) und fördert deren Förderung im globalen Transportsektor. Mit der Verschärfung der Sicherheitsvorschriften wird Wolframoxid eine größere Rolle für die Sicherheit im öffentlichen Verkehr spielen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.10 Anwendung von Wolframoxid in Agrarfolien

Als multifunktionales Übergangsmetalloxid hat Wolframoxid (WO_3) aufgrund seiner einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften in vielen Bereichen ein breites Anwendungspotenzial gezeigt, einschließlich der Herstellung und Leistungsoptimierung von Agrarfolien (sogenannte Agrarfolien). Als wichtiges Material in der modernen Landwirtschaft wird Agrarfolie hauptsächlich zum Mulchen von Gewächshäusern, zum Mulchen von Kunststofffolien und zum Pflanzenschutz verwendet, und ihre Leistung wirkt sich direkt auf die Wachstumseffizienz und den Ertrag von Pflanzen aus. Mit der Verschärfung des globalen Klimawandels und der Ressourcenknappheit ist die Entwicklung von leistungsfähigen und nachhaltigen Agrarfolien in den Fokus der agrartechnischen Forschung gerückt. In den letzten Jahren hat Wolframoxid aufgrund seiner Lichtabsorptionseigenschaften, seiner thermischen Stabilität und seines nanotechnologischen Potenzials Aufmerksamkeit für seine Anwendung in Agrarfolien erregt. In dieser Arbeit werden wir den Mechanismus, die Herstellungsmethode, die Leistungsvorteile und die praktischen Anwendungsperspektiven von Wolframoxid in Agrarfolien ausführlich diskutieren und seine Potenziale und Herausforderungen auf der Grundlage wissenschaftlicher Daten und der industriellen Praxis umfassend analysieren.

1. Die grundlegenden Eigenschaften von Wolframoxid entsprechen den Anforderungen an landwirtschaftliche Folien

Wolframoxid ist ein Halbleiter mit großer Bandlücke (Bandlücke 2,6–3,0 eV) mit guter Lichtabsorptionskapazität (insbesondere im nahen Infrarotbereich, 700–2500 nm), Wärmeleitfähigkeit (ca. 1,6 W/m·K) und chemischer Stabilität. Diese Eigenschaften verleihen ihnen natürliche Vorteile bei der Regulierung von Licht und Wärme, der Blockierung ultravioletter Strahlen und der Verbesserung der Haltbarkeit von Materialien. Zu den Hauptfunktionen von Agrarfolien gehören Wärmekonservierung, Lichtlenkung, UV-Schutz, Anti-Aging und antibakteriell usw., und die Eigenschaften von Wolframoxid sind in hohem Maße mit diesen Anforderungen kompatibel.

- Landwirtschaftliche Folien zur Licht- und Wärmelenkung müssen die Lichtdurchlässigkeit und die Wärmedämmleistung an die Bedürfnisse der Pflanzen anpassen. Die starke Absorption von Nahinfrarotlicht (NIR) in Wolframoxid macht es zu einem idealen photothermischen Umwandlungsmaterial. Studien haben beispielsweise gezeigt, dass mit Wolframoxid dotierte landwirtschaftliche Folie aus Polyethylen (PE) Infrarotlicht in Wärme umwandeln kann, wodurch die Nachttemperatur im Gewächshaus um 2–5 °C erhöht und der Wachstumszyklus der Pflanzen verlängert wird.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Ultraviolette (UV) Strahlen sind schädlich für die DNA von Nutzpflanzen und landwirtschaftliche Filmmaterialien. Die Bandlücke von Wolframoxid macht es wirksam bei der Absorption von UV-B (280–315 nm) und einem Teil von UV-A (315–400 nm), schützt die Pflanzen und verzögert die Alterung von landwirtschaftlichen Filmen. Experimente haben gezeigt, dass eine 50 nm dicke Wolframoxid-Beschichtung die UV-Durchlässigkeit um etwa 95 % reduzieren kann.
- Die photokatalytische Aktivität von antimikrobiellem und langlebigem Wolframoxid kann als Reaktion auf Licht reaktive Sauerstoffspezies (ROS) erzeugen, die antibakteriell wirken und die Ausbreitung von Schädlingen und Krankheiten reduzieren. Gleichzeitig verbessern die hohe Härte (8,5–9 auf der Mohs-Skala) und die chemische Stabilität die Witterungsbeständigkeit von Agrarfolien und verlängern die Lebensdauer.

Diese Eigenschaften zeigen, dass Wolframoxid nicht nur die Funktion von Agrarfolien optimieren, sondern auch ihre Anpassungsfähigkeit an die Umwelt verbessern kann, was den Bedürfnissen einer nachhaltigen Entwicklung der modernen Landwirtschaft entspricht.

2. Herstellung und Anwendung von Wolframoxid in landwirtschaftlichen Folien

Wolframoxid wird auf landwirtschaftliche Folien aufgebracht, in der Regel durch Einarbeiten in Matrixmaterialien (z. B. Polyethylen, Polymilchsäure (PLA) usw.) in Form von Nanopartikeln, dünnen Filmen oder Verbundwerkstoffen. Die Wahl der Zubereitungsmethode wirkt sich direkt auf die Leistung und die Kosten aus.

- **Die Nanopartikel-Dotierung** ermöglicht die Herstellung von verbundstofflichen Agrarfolien durch Dispergieren von nanoskaligem Wolframoxid (Partikelgröße 10–100 nm) in einer Polymermatrix. Zu den häufig verwendeten Methoden gehören das Schmelzmischen und das Lösungsmischen. So berichtet die Wolframforschung, dass durch das Mischen von Wolframoxid-Nanopartikeln (spezifische Oberfläche 50–200 m²/g) mit PE durch Hochgeschwindigkeitsrühren die vorbereitete landwirtschaftliche Folie die Abschirmungsrate im nahen Infrarot um 60 % verbessert und eine hohe Durchlässigkeit für sichtbares Licht (ca. 70 %) beibehalten hat. Dieses Verfahren ist kostengünstiger und eignet sich für die Großserienproduktion.
- Dünnschichtbeschichtungen werden durch physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) oder chemische Gasphasenabscheidung (CVD) mit präziser Kontrolle der Dicke (25–100 nm) und Struktur auf der Oberfläche von Agrarfolien abgeschieden. So wurde beispielsweise die Sauerstoffdurchlässigkeit (OP) einer 50-nm-Wolframoxidbeschichtung auf einer PLA-Substratfolie auf $0,46 \times 10^{-16} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ reduziert. Unterhalb von PA wird die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Luftdichtheit deutlich verbessert. Diese Methode eignet sich für hochwertige Agrarfolien, aber die Kosten für die Ausrüstung sind hoch.

- Verbundwerkstoffe kombinieren Wolframoxid mit anderen Materialien wie TiO_2 , ZnO oder Graphen, um die Leistung weiter zu verbessern. So kombiniert beispielsweise die Wolframoxid/ TiO_2 -Verbundbeschichtung die photokatalytische Aktivität beider und hat eine Hemmrate (gegen E. coli) von mehr als 99 %, während die photothermische Wirkung von Wolframoxid erhalten bleibt. Diese Verbundform hat eine glänzende Zukunft bei funktionalen Agrarfolien.

Diese Zubereitungsmethoden haben ihre eigenen Vor- und Nachteile, und es ist notwendig, das geeignete Verfahren entsprechend der spezifischen Verwendung von Agrarfolien (z. B. Gewächshausfolie, Kunststofffolie) auszuwählen. Die Dotierung von Nanopartikeln eignet sich für kostensensitive Szenarien, während Dünnschichtbeschichtungen besser für Hochleistungsanforderungen geeignet sind.

3. Leistungsvorteile von Wolframoxid in landwirtschaftlichen Folien

Die Anwendung von Wolframoxid in landwirtschaftlichen Folien hat eine Reihe von Schlüsseleigenschaften erheblich verbessert, und die folgenden Daten und Fallstudien werden verwendet, um seine Vorteile zu analysieren.

- Die spektrale Manipulation und der LSPR-Effekt (Local Surface Plasmon Resonance) von isoliertem Wolframoxid sorgen für eine hohe Absorption im nahen Infrarotbereich. Zum Beispiel betrug eine mit Cäsium-dotierte Wolframoxid-Nanopartikel-dotierte landwirtschaftliche Folie bei 1100 nm 90 %, während die Durchlässigkeit für sichtbares Licht über 75 % blieb. Diese selektive spektrale Manipulation garantiert nicht nur das für die Photosynthese benötigte Licht, sondern erhöht durch Wärmeumwandlung auch die Nachttemperatur, insbesondere in kalten Regionen. Experimente zeigen, dass im nördlichen Wintergewächshaus die Temperatur im Gewächshaus mit Wolframoxid-Agrarfolie 3-4 ° C höher ist als die von gewöhnlichen PE-Folien.
- Der UV-Schutz und die Anti-Aging-UV-Absorptionsfähigkeit von Wolframoxid reduzieren die Alterungsrate von Agrarfolien erheblich. Bei PLA/Wolframoxid-Verbundfolien sank die Durchlässigkeit im UV-B-Bereich von 90 % auf 5 %, und nach 6 Monaten Exposition im Freien nahm die mechanische Festigkeit (Zugfestigkeit) nur um 10 % ab, während die von reinen PLA-Folien um mehr als 40 % abnahm. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Wolframoxid den photooxidativen Abbau effektiv verlangsamen und die Lebensdauer von Agrarfolien verlängern kann.
- Nano-Wolframoxid kann die Produktion von ROS unter Licht katalysieren und bakterielle Zellmembranen zerstören. Die Studie zeigte, dass die PE-Folie,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die 2 Gew.-% Wolframoxid enthielt, innerhalb von 24 Stunden eine Abtötungsrate von $5 \log_{10}$ KBE/cm² gegen E. coli aufwies, was das Risiko einer Erregerübertragung deutlich reduzierte. Dies ist besonders wichtig für die Gesundheit des mit Mulch bedeckten Bodens.

- Sauerstoffbarriere und -konservierung In Obst- und Gemüsefrischhaltefolie verringert die dichte Beschichtung aus Wolframoxid die Sauerstoffdurchlässigkeit. So reduziert die 50 nm dicke Wolframoxid-Beschichtung die Sauerstoffdurchlässigkeit von PLA-Membranen um 80%, verzögert die Atmung von Obst und Gemüse und verlängert die Haltbarkeit um 1-2 Wochen.

4. Praktische Anwendungsfälle und Auswirkungen

Die Anwendung von Wolframoxid in landwirtschaftlichen Folien wurde in vielen Szenarien verifiziert, und das Folgende wird mit tatsächlichen Fällen kombiniert, um seine Wirkung zu analysieren.

- Gewächshaus-Mulchfolie Im Nordwesten Chinas erhöhte die Verwendung von Wolframoxid-Nanopartikel-dotierten PE-Gewächshausfolien die Temperatur im Gewächshaus im Winter um 3,5 ° C und die Tomatenausbeute stieg um 15 %. Gleichzeitig reduziert die UV-Blockierungsfunktion die Sonnenbrandrate der Pflanzen und verbessert die Qualität der Früchte.
- Wolframoxid/TiO₂-Verbundmulchfolie wurde beim Reisanbau in Südchina verwendet, um die Bodentemperatur um 2 ° C zu erhöhen und das Wachstum der Sämlinge zu fördern. Seine bakteriostatische Wirkung reduzierte das Auftreten von Wurzelkrankheiten und steigerte den Reisertrag um etwa 10%.
- Obst- und Gemüse-Frischhaltefolie In der Exportfruchtverpackung verlängert die PLA/Wolframoxid-Verbundfolie die Haltbarkeit von Erdbeeren auf 20 Tage (gewöhnliche Folie beträgt nur 12 Tage), reduziert die Fäulnisrate und wird vom Markt gut angenommen.

Diese Fälle zeigen, dass Wolframoxid den Gebrauchswert von Agrarfolien in der tatsächlichen landwirtschaftlichen Produktion erheblich verbessern kann, insbesondere bei der Verbesserung von Ertrag und Qualität.

5. Herausforderungen und Lösungen in der Anwendung

Obwohl Wolframoxid erhebliche Vorteile in landwirtschaftlichen Folien hat, steht seine Anwendung noch vor einigen Herausforderungen und muss angegangen werden.

- Kostenproblem Die Herstellung von Wolframoxid (z. B. Nanopartikel oder Dünnschichtabscheidung) ist kostspielig, und der aktuelle Marktpreis liegt bei etwa 20-30 US-Dollar/kg, während die gewöhnliche PE-Agrarfolie nur 1-2 US-Dollar/kg beträgt. Zu den Lösungen gehören die Optimierung von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produktionsprozessen (z. B. kryogenes hydrothermales Verfahren zur Reduzierung des Energieverbrauchs auf 1 kWh/kg) und die Nutzung von recycelten Ressourcen aus dem Wolframmarkt (z. B. Wolframschrott).

- Dispersion und Kompatibilität Wolframoxid-Nanopartikel lassen sich leicht in der Polymermatrix agglomerieren, was sich auf die Gleichmäßigkeit des Films auswirkt. Die Verträglichkeit kann durch Oberflächenmodifikation (z. B. Silan-Haftvermittler) oder Zugabe von Dispergiermitteln (z. B. PVP) verbessert werden, und Experimente haben eine 50%ige Erhöhung der Dispersion nach der Modifikation gezeigt.
- Auswirkungen auf die Umwelt Die potenzielle Ökotoxizität von Nanowolframoxid muss bewertet werden. Studien haben gezeigt, dass seine Akkumulation im Boden < 10 mg/kg keine signifikanten Auswirkungen auf Mikroorganismen hat, aber die langfristige Anwendung muss überwacht werden. Die Verwendung von biologisch abbaubaren Substraten reduziert das Risiko einer Verschleppung.

Durch technische Verbesserungen und Umweltverträglichkeitsprüfungen können diese Herausforderungen schrittweise überwunden werden, was zur flächendeckenden Anwendung von Wolframoxid-Agrarfolien führt.

6. Zukünftige Entwicklungsperspektiven

Die Anwendung von Wolframoxid in landwirtschaftlichen Folien hat breite Perspektiven, insbesondere in die folgenden Richtungen:

- Intelligente Agrarfolie: In Kombination mit den elektrochromen Eigenschaften von Wolframoxid wird eine intelligente Agrarfolie entwickelt, die die Lichtdurchlässigkeit dynamisch anpassen kann, um sich an unterschiedliche Lichtverhältnisse anzupassen.
- Nachhaltigkeit: Nutzen Sie die Altrecyclingtechnologie von Wolfram, um Kosten zu senken und eine Kreislaufwirtschaft zu erreichen.
- Multifunktionale Integration: In Kombination mit der Sensortechnologie ist die landwirtschaftliche Folie, die Temperaturregelung, Bakteriostatik und Überwachung integriert, darauf vorbereitet, das Niveau der Präzisionslandwirtschaft zu verbessern.

Mit dem Fortschritt der Wolframtechnologie und dem Wachstum der Marktnachfrage wird erwartet, dass Wolframoxid zum Kernmaterial einer neuen Generation von Agrarfolien wird und den Prozess der landwirtschaftlichen Modernisierung fördert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD Yellow Tungsten Trioxide (YTO, WO₃) Product Introduction

1. Product Overview

CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide is produced by high-temperature calcination process of ammonium paratungstate, which meets the requirements of GB/T 3457-2013 "Tungsten Oxide" first-class product. WO₃ is widely used in the preparation of tungsten powder, cemented carbide, tungsten wire and ceramic colorants. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality yellow tungsten trioxide products to meet the needs of powder metallurgy and industrial manufacturing.

2. product characteristics

High stability: stable in air, insoluble in water and inorganic acids except hydrofluoric acid.

Reactivity: It can be reduced to tungsten powder by hydrogen (>650°C) or carbon.

Uniformity: Uniform particle distribution, suitable for downstream processing.

3. Product specifications

index	CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide first-class product standard
WO ₃ content (wt%)	≥99.95
Impurities (wt% , max.)	Fe≤0.0010, Mo≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005
Particle size	1-10 (μm, FSSS)
Loose density	2.0-2.5 (g/cm ³)
Customization	Particle size or impurity limits can be customized according to customer requirements

4. Packaging and warranty

Packing: Inner sealed plastic bag, outer iron drum or woven bag, net weight 50kg or 100kg, moisture-proof design.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including WO₃ content, impurity analysis, particle size (FSSS method), loose density and moisture data.

5. Procurement information

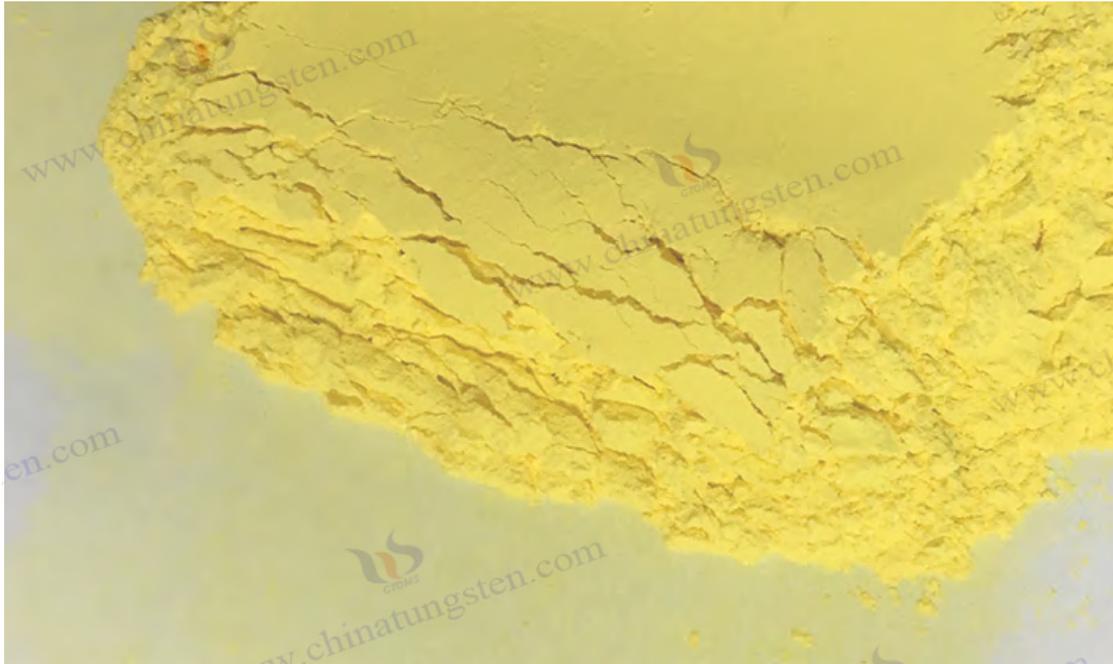
Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129696

For more [yellow tungsten oxide](http://www.tungsten-powder.com) information, please visit the China Tungsten online website www.tungsten-powder.com. For more market and real-time information, please follow the WeChat public account "China Tungsten Online".



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD gelbes Wolframoxid

Kapitel 10 Sicherheit und Umweltschutz von Wolframoxid

Wolframoxid (WO_3) ist ein weit verbreitetes Material, das in den Bereichen Energie, Umwelt, Elektronik und Biomedizin hervorragende Leistungen zeigt. Die Sicherheits- und Umweltaspekte, die mit der Herstellung, Verwendung und Entsorgung verbunden sind, können jedoch nicht ignoriert werden. Von potenziellen Gesundheitsrisiken bis hin zu Umweltauswirkungen ist die Sicherheit und Nachhaltigkeit von Wolframoxid zu einem wichtigen Aspekt für Forschung und Industrialisierung geworden. In diesem Kapitel werden diese Fragen im Detail untersucht und Anleitungen für ihre korrekte Anwendung gegeben.

Im Bereich der Sicherheit und des Umweltschutzes sind die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Wolframoxid sowohl Vorteile als auch Herausforderungen. Seine hohe Stabilität und geringe Löslichkeit verringern einen Teil des Toxizitätsrisikos, aber nanoskaliges Wolframoxid kann aufgrund seiner großen Oberfläche und potenziellen biologischen Aktivität spezifische Auswirkungen auf Mensch und Umwelt haben. Darüber hinaus hat die Wolframforschung gezeigt, dass auch der Energieverbrauch und die Abfallemissionen im Produktionsprozess optimiert werden müssen, um den Prinzipien der grünen Chemie zu entsprechen.

In der Praxis beruht das Sicherheits- und Umweltmanagement von Wolframoxid auf wissenschaftlichen Bewertungs- und Kontrollmaßnahmen. So können beispielsweise die Emissionen von Nebenprodukten durch die Verbesserung des Syntheseprozesses

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

der Wolframtechnologie reduziert werden, während Schwankungen der Wolframpreise die Entwicklung kostengünstiger, umweltfreundlicher Produktionsmethoden, wie z. B. die effiziente Umwandlung von Ammoniumparawolframat, vorantreiben.

10.1 Sicherheit von Wolframoxid

Die Sicherheitsbedenken von Wolframoxid beziehen sich hauptsächlich auf seine potenziellen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit während der Herstellung, des Transports und der Verwendung. Da es sich um ein Metalloxid handelt, hängt seine Sicherheit eng mit der physikalischen Form (z. B. Pulver, Film oder Nanopartikel), dem Expositionsweg (Inhalation, Hautkontakt oder Verschlucken) und der Dosis zusammen. Das Verständnis dieser Risiken und das Ergreifen geeigneter Vorsichtsmaßnahmen ist der Schlüssel zur Gewährleistung sicherer Anwendungen.

In seiner makroskopischen Form liegt Wolframoxid in der Regel in Form eines gelben oder blauen Pulvers vor, das eine hohe chemische Stabilität und eine geringe akute Toxizität für den Menschen aufweist. Wolframoxidpulver beispielsweise, das durch thermische Oxidation von Wolframmetall hergestellt wird, hat eine sehr geringe Löslichkeit ($<0,1$ g/L) und wird nicht leicht über die Haut oder den Verdauungstrakt aufgenommen. Wolfram-Wissensstudien haben jedoch gezeigt, dass das Einatmen in Form von Staub Atemwegsreizungen verursachen kann, insbesondere wenn es hohen Konzentrationen ausgesetzt ist (z. B. in einer Produktionshalle), was zu leichten Lungenentzündungen führen kann.

Nanoskaliges Wolframoxid ist aufgrund seiner großen Oberfläche und biologischen Aktivität komplexer. So können beispielsweise Wolframoxid-Nanopartikel (Partikelgröße < 100 nm), die durch hydrothermale Verfahren synthetisiert werden, Zellmembranen durchdringen und oxidativen Stress oder Entzündungsreaktionen auslösen. In-vitro-Experimente zeigten, dass hohe Dosen (>100 μ g/ml) von Wolframoxid-Nanopartikeln für Lungenzellen (z. B. A549-Zellen) toxisch sind und Apoptose durch die Erzeugung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) induzieren können. Darüber hinaus deuten die Daten darauf hin, dass eine langfristige Akkumulation im Blut die Leber- und Nierenfunktion beeinträchtigen kann, obwohl die aktuellen In-vivo-Forschungsdaten noch begrenzt sind.

Im industriellen Umfeld betreffen Wolframoxid-Sicherheitsrisiken auch den Produktionsprozess. Wenn beispielsweise Wolframpulver oxidiert wird, um Wolframoxid zu erzeugen, kann der Staub bei unsachgemäßer Kontrolle zu der Gefahr des Einatmens durch Arbeiter führen. Zu diesem Zweck wird die Verwendung von Belüftung und persönlicher Schutzausrüstung (z. B. N95-Masken und Handschuhe) empfohlen. Darüber hinaus verlangen Wolframunternehmen routinemäßig eine regelmäßige Überwachung der Partikelkonzentrationen in der Luft, um die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Einhaltung der Grenzwerte für die Exposition am Arbeitsplatz (z. B. 5 mg/m^3 , wie von der OSHA festgelegt) sicherzustellen.

In Bezug auf Transport und Lagerung ist Wolframoxid eine nicht brennbare und nicht explosive Substanz und relativ sicher. Wenn jedoch die Verpackung beschädigt ist und das Pulver austritt, das die Umwelt verunreinigen oder eingeatmet werden kann, verwenden Sie einen luftdichten Behälter mit einer Warnung. Darüber hinaus berichteten Wolfram-Nachrichten, dass beim Transport in seiner Nanoform besondere Vorsicht geboten ist, um eine Diffusion durch statische Elektrizität oder Wind zu vermeiden.

Für die biologische Sicherheit von Nano-Wolframoxid versuchten die Forscher, die Toxizität durch Oberflächenmodifikation zu verringern. Zum Beispiel haben Wolframoxid-Nanopartikel, die mit Wolframkunststoff oder PEG verbunden sind, eine signifikant reduzierte Zytotoxizität. Darüber hinaus treibt das Wachstum der Wolframmarktnachfrage die Entwicklung von Sicherheitsbewertungen voran, wie z. B. die Entwicklung von Synthesewegen mit geringer Toxizität (unter Verwendung von Wolframit-Rohstoffen).

In praktischen Anwendungen, wie z. B. bei Biosensoren oder der photothermischen Therapie, muss die Sicherheit von Wolframoxid anwendungsspezifisch bewertet werden. Wolframoxid in implantierbaren Geräten muss beispielsweise eine langfristige Biokompatibilität gewährleisten und Immunreaktionen vermeiden. Studien haben gezeigt, dass seine Toxizität viel geringer ist als die von Schwermetalloxiden (z. B. CdO), aber es sind noch weitere klinische Daten erforderlich.

10.2 Umweltschutz durch Wolframoxid

Die Umweltprobleme von Wolframoxid umfassen die Auswirkungen auf das Ökosystem während der Produktions-, Nutzungs- und Entsorgungsphase. Trotz der geringen Toxizität können der Energieverbrauch, die Abwasser- und Abgasemissionen bei der Herstellung sowie die Art und Weise, wie es nach der Entsorgung entsorgt wird, eine Belastung für die Umwelt darstellen. Die Auseinandersetzung mit diesen Fragen ist unerlässlich, um eine nachhaltige Anwendung zu erreichen.

In der Produktionsphase kommt es bei der Herstellung von Wolframoxid in der Regel zu Hochtemperaturröstungen oder chemischen Reaktionen. So erfordert beispielsweise die thermische Zersetzung von Wolframsäure zur Herstellung von Wolframoxid eine große Menge an Energie (ca. $500\text{--}800^\circ \text{C}$) und CO_2 -Emissionen. Darüber hinaus wies der Wolframwissenschaftler darauf hin, dass bei der Extraktion von Wolframoxid mit Säure-Base-Lösungsmitteln wie HCl oder NaOH wolframhaltiges Abwasser entstehen kann, das zu Boden- und Wasserverschmutzung führt, wenn es

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

direkt ohne Behandlung eingeleitet wird. Studien haben gezeigt, dass Wolframkonzentrationen über 10 mg/L für Wasserorganismen wie Fische giftig sein können.

Die Umweltauswirkungen der Produktion von Nano-Wolframoxid sind noch bedeutender. Beispielsweise können Wolframoxid-Nanopartikel, die durch solvothermische Prozesse synthetisiert werden, organische Lösungsmittel (wie Ethanol oder DMF) in dem Prozess verwenden, die sich in der Atmosphäre verflüchtigen oder in Wassersysteme gelangen können, wenn sie nicht zurückgewonnen werden. Wenn Wolframpartikel zu Nano-Wolframoxid oxidiert werden, kann sich der Staub mit dem Wind ausbreiten und die Luftqualität beeinträchtigen, wenn er nicht richtig kontrolliert wird.

In der Nutzungsphase hat Wolframoxid weniger Auswirkungen auf die Umwelt, da es chemisch stabil ist und sich nicht leicht auflöst oder zersetzt. So setzt es beispielsweise als katalytischer Träger oder feuerhemmende Beschichtung während des Gebrauchs nahezu keine Schadstoffe frei. Gelangen Wolframoxid-Nanopartikel jedoch in die Umwelt (z.B. durch Abrieb oder Waschen), können sie in Böden oder Gewässer gelangen und durch eine langfristige Anreicherung das ökologische Gleichgewicht gestört werden. Studien haben gezeigt, dass seine Ablagerung im Boden die mikrobielle Aktivität beeinflussen kann, aber der spezifische Mechanismus muss noch weiter erforscht werden.

Die Entsorgung steht im Mittelpunkt der Fragen des Wolframoxid-Umweltschutzes. Wenn es nicht recycelt und deponiert wird, werden die Wolframressourcen verschwendet, und die Nanopartikel können mit dem Sickerwasser migrieren. So können beispielsweise Wolframoxid-Beschichtungen, die durch Wolframfilamentoxidation hergestellt werden, mit Abfällen in die Umwelt gelangen, wenn sie sich ablösen. Zu diesem Zweck deutet die Forschung zu Wolframprodukten darauf hin, dass Wolfram durch Säurelaugung oder Hochtemperaturreduktion zurückgewonnen werden kann, z. B. durch die Umwandlung von Wolframoxidabfällen in Wolframkupfer, um ein Recycling zu erreichen.

In Bezug auf die Umweltoptimierung ist die umweltfreundliche Produktion von Wolframoxid der Schlüssel. So kann beispielsweise die Niedertemperatursynthese mit Wolframheizungen den Energieverbrauch senken, während Wolfram im Abwasser durch Fällung zurückgewonnen werden kann.

Der Umweltschutz von Wolframoxid bedarf noch politischer Unterstützung. So kann beispielsweise die Festlegung von Emissionsnormen und Recyclingnormen ihren ökologischen Fußabdruck effektiv reduzieren. Mit der wachsenden Nachfrage nach Wolfram werden umweltfreundliche Verfahren wie die direkte Extraktion aus Scheelit zum Trend.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.3 Sicherheitsdatenblatt (MSDS) für Wolframoxid

Das Sicherheitsdatenblatt (MSDS) ist ein wichtiges Dokument für das Chemikaliensicherheitsmanagement, das standardisierte Sicherheitsinformationen für die Herstellung, den Transport und die Verwendung von Wolframoxid enthält. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Liste der wichtigsten Inhaltsstoffe des Sicherheitsdatenblatts für Wolframoxid entsprechend seiner Art und internationalen Praktiken, um sicherzustellen, dass Betreiber und relevante Parteien die Risiken und Schutzmaßnahmen verstehen.

1. Kennzeichnung von Chemikalien

- Name: Wolframtrioxid, WO_3)
- CAS-Nummer: 1314-35-8
- Aussehen: Gelbes oder blaues Pulver, feine Partikel in Nanogröße.

2. Überblick über die Gefahren

- Umweltgefahren: Wenn es in Wasser oder Boden gelangt, kann es das Ökosystem beeinträchtigen und sollte vermieden werden.
- Physikalische Gefahren: Nicht brennbar und nicht explosiv, aber Staub kann eine geringe Brandgefahr darstellen.

3. Zusammensetzung/Informationen zur Zusammensetzung

- Reinheit: >99% (industriell oder nanoskalig).
- Verunreinigungen: Kann Spuren von Wolframat oder unumgesetztem Wolframmetall enthalten.

4. Erste-Hilfe-Maßnahmen

- Inhalation: Begeben Sie sich an einen beatmeten Ort und suchen Sie sofort einen Arzt auf, wenn Sie Atembeschwerden haben.
- Hautkontakt: Mit Seifenwasser waschen und kontaminierte Kleidung ausziehen.
- Blickkontakt: Mindestens 15 Minuten lang mit viel Wasser spülen und bei anhaltenden Reizungen einen Arzt aufsuchen.
- Verschlucken: Spülen Sie Ihren Mund aus, verdünnen Sie ihn mit Wasser und suchen Sie bei Bedarf einen Arzt auf.

5. Brandschutzmaßnahmen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Feuerlöschmethode: Verwenden Sie trockenes Pulver oder Sand, nicht brennbar, aber vermeiden Sie fliegenden Staub.
- Besonderes Risiko: Wolframoxid-Dämpfe können bei hohen Temperaturen freigesetzt werden.

6. Notfallbehandlung von Leckagen

- Methode: Reinigen Sie mit einem Staubsauger oder einer Nassmethode, um flüchtigen Staub zu vermeiden, und sammeln Sie ihn in einem verschlossenen Behälter.
- Schutz: Tragen Sie eine Staubmaske und Handschuhe.

7. Handhabung und Lagerung

- Betrieb: Vermeiden Sie Staubentwicklung, verwenden Sie lokale Lüftungsgeräte und tragen Sie Schutzausrüstung.
- Lagerung: An einem kühlen, trockenen Ort, fern von Säuren und starken Oxidationsmitteln, in einem luftdichten Behälter lagern.

8. Expositionskontrolle/Persönlicher Schutz

- Expositionsgrenzwerte: OSHA PEL beträgt 5 mg/m^3 (in Wolfram).
- Schutzausrüstung: N95-Masken, Schutzbrille, Handschuhe und ggf. Staubkleidung.

9. Physikalisch-chemische Eigenschaften

- Schmelzpunkt: 1473°C ; Dichte: $7,16 \text{ g/cm}^3$; Löslichkeit: schwer löslich in Wasser ($<0,1 \text{ g/L}$).
- Stabilität: Chemisch stabil, nicht leicht zu zersetzen.

10. Toxikologische Informationen

- Akute Toxizität: LD50 (Ratte, oral) $> 2000 \text{ mg/kg}$, geringe Toxizität.
- Chronische Wirkungen: Eine langfristige Inhalation kann zu Lungenreizungen führen, und Zytotoxizität sollte auf der Nanoskala ein Problem darstellen.

11. Ökologische Informationen

- Ökotoxizität: Geringe Toxizität für Wasserorganismen, aber hohe Konzentrationen ($>10 \text{ mg/L}$) können schädlich sein.
- Langlebig: Nicht leicht biologisch abbaubar und kann sich in der Umwelt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

anreichern.

12. Entsorgung

- Methode: Priorisieren Sie das Recycling oder die Deponierung gemäß den örtlichen Vorschriften, um eine direkte Entladung zu vermeiden.
- Hinweis: Um die Ausbreitung von Staub zu verhindern, verwenden Sie eine luftdichte Verpackung.

13. Versandinformationen

- Klassifizierung: kein Gefahrgut, muss aber feuchtigkeits- und auslaufsicher verpackt sein.
- Transportanforderungen: Gekennzeichnet mit "Wolframoxid" und gekennzeichnet mit Schutzvorschlägen.

14. Regulatorische Informationen

- Die Einhaltung von OSHA, REACH und anderen Vorschriften sowie das nanoskalige Risiko muss je nach Anwendung weiter bewertet werden.

15. Sonstige Informationen

- Datum der Erstellung: 29. März 2025 (unter der Annahme des aktuellen Datums).
- Hinweis: Das Sicherheitsdatenblatt wird regelmäßig aktualisiert, um sicherzustellen, dass die Informationen mit dem neuesten Stand der Forschung übereinstimmen.

Durch die Befolgung des Sicherheitsdatenblatts und Wolframoxid kann das Sicherheitsmanagement standardisiert werden, um potenzielle Risiken zu reduzieren. Darüber hinaus können Wolframunternehmen spezifische Sicherheitsempfehlungen für bestimmte Anwendungen (z. B. Wolfram-Nadelbasisbeschichtungen) ergänzen, um einen sicheren Einsatz in verschiedenen Bereichen zu gewährleisten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD gelbes Wolframoxid

Kapitel 11 In- und ausländische Normen für Wolframoxid

Als wichtiger industrieller Rohstoff und Funktionswerkstoff wird Wolframoxid (WO_3) weltweit in der Hartmetallherstellung, bei Katalysatoren, elektronischen Geräten und optischen Displays eingesetzt. Um die Qualität, Leistung und Sicherheit zu gewährleisten, wurden im In- und Ausland eine Reihe von Normen formuliert. Diese Normen standardisieren die chemische Zusammensetzung, die physikalischen Eigenschaften, den Produktionsprozess und die Prüfverfahren von Wolframoxid und bieten eine einheitliche Grundlage für Produktion, Handel und Anwendung. In diesem Kapitel werden die Anforderungen und Unterschiede zwischen chinesischen nationalen und internationalen Normen für Wolframoxid erörtert.

Im Normungsprozess stehen die Eigenschaften von Wolframoxid, wie Reinheit, Partikelgröße und Morphologie, im Mittelpunkt. Die Länder formulieren Normen entsprechend ihren eigenen industriellen Bedürfnissen und technischen Niveaus, wobei China als weltgrößter Wolframproduzent über ein relativ vollständiges Normensystem verfügt, während internationale Normen der Universalität des Welthandels mehr Aufmerksamkeit schenken. Darüber hinaus hat die Wolframforschung gezeigt, dass Umweltschutz- und Sicherheitsfaktoren bei der Formulierung von Normen berücksichtigt werden müssen, um den Anforderungen einer modernen nachhaltigen Entwicklung gerecht zu werden.

In der Praxis hängt die Umsetzung von Wolframoxid-Normen vom Fortschritt der Prüftechnik und der Produktionstechnik ab. So kann beispielsweise die Optimierung der Wolframtechnologie die Produktqualität verbessern, um Standards zu erfüllen,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

während Schwankungen der Wolframpreise die Entwicklung kostengünstiger, konformer Prozesse vorantreiben, wie z. B. die effiziente Herstellung von Wolframoxid aus Ammoniumparawolframat.

11.1 Chinesische nationale Normen

Als das Land mit den weltweit größten Wolframreserven und -produktionen verfügt China über eine tiefe Grundlage für die Produktion und Anwendung von Wolframoxid, und sein nationales Normensystem hat eine Schlüsselrolle bei der Sicherung der Produktqualität und der Förderung der industriellen Entwicklung gespielt. Die chinesische nationale Norm (GB/T) enthält detaillierte Bestimmungen über die Klassifizierung, Qualitätsanforderungen und Prüfmethode von Wolframoxid, die hauptsächlich vom Nationalen Technischen Komitee für die Normung von Nichteisenmetallen (TC243) formuliert und verwaltet wird.

Hauptnorm: GB/T 3457-2013 "Wolframoxid"

Die Hauptnorm in China ist GB/T 3457-2013 "Wolframoxid", eine Überarbeitung der Ausgabe von 1998 (GB/T 3457-1998), die 2013 herausgegeben und implementiert wurde. Es unterteilt Wolframoxid in zwei Arten: Wolframtrioxid (gelbes Wolfram, WO_3) und blaues Wolframoxid (blaues Wolfram, $W_{20}O_{58}$), die für unterschiedliche industrielle Anwendungen geeignet sind.

- **Klassifizierung & Spezifikationen**

- Gelbes Wolfram (WO_3): hellgelbes kristallines Pulver mit hohen Reinheitsanforderungen, das hauptsächlich bei der Herstellung von Wolframmetallpulver und Hartmetall verwendet wird. Die Norm schreibt vor, dass der Wolframgehalt (in WO_3) nicht weniger als 99,9 % beträgt (erstklassiges Produkt), und es gibt strenge Grenzwerte für den Gehalt an Verunreinigungen (wie Fe, Mo, S usw.). So darf der Gehalt an Eisen (Fe) 0,001 % nicht überschreiten.
- Blaues Wolfram ($W_{20}O_{58}$): dunkelblaues oder blauschwarzes kristallines Pulver, ist eine gemischte Oxidationsstufe von Wolframverbindung, die häufig zur Reduktion zur Herstellung von Wolframpulver verwendet wird. Die Norm verlangt einen Wolframgehalt von mindestens 98,5 % und enthält spezifische Bestimmungen für den Sauerstoffindex und die Partikelgrößenverteilung.
- Physikalische Eigenschaften Standardpaare Wolframoxid, die Partikelgröße, die lose Dichte und die Morphologie wurden standardisiert. Zum Beispiel sollte die durchschnittliche Partikelgröße von gelbem Wolfram bei 5-25 μ m kontrolliert werden und die lose Dichte sollte 1,5-3,0 g/cm^3 betragen, um seine Eignung für die nachfolgende Verarbeitung zu gewährleisten. Darüber hinaus muss Wolframpulver, das durch Oxidation erzeugte Wolframoxid,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

den Siebttest bestehen, um die Gleichmäßigkeit der Partikelgröße zu gewährleisten.

- Die chemische Zusammensetzung GB/T 3457-2013 listet eine detaillierte Tabelle der Grenzwerte für Verunreinigungen auf. So sollte beispielsweise der Gehalt an Arsen (As) in gelbem Wolfram 0,0005 % und der Gehalt an Phosphor (P) 0,001 % nicht überschreiten. Diese Anforderungen spiegeln die Nachfrage nach hochreinem Wolframoxid in China wider, insbesondere in High-End-Anwendungen wie elektronischen Materialien.
- Die Prüfverfahrensnorm legt die spezifischen Verfahren der chemischen Analyse und der physikalischen Prüfung fest. So wird beispielsweise der Wolframgehalt mit gravimetrischen und spektrophotometrischen Methoden bestimmt, und Störelemente werden mit der optischen Emissionsspektroskopie mit Wolframfilamenten (ICP-OES) analysiert. Darüber hinaus kann die Partikelgrößenverteilung mit einem Laser-Partikelgrößenanalysator bestimmt werden, um genaue und reproduzierbare Ergebnisse zu gewährleisten.

Weitere relevante Normen

- GB/T 4196-2011 "Wolframsäure": Spezifiziert die Qualitätsanforderungen an Wolframsäure als Vorläufer von Wolframoxid, da sie häufig bei der Herstellung von hochreinem Wolframoxid verwendet wird.
- GB / T 26038-2010 "Technische Bedingungen für Wolframpulver": indirekt betrifft Wolframoxid, da es der Hauptrohstoff für Wolframpulver ist, sind die Standardanforderungen eng mit der Reinheit von Wolframoxid verbunden.

Eigenschaften und Anwendung: Die chinesische nationale Norm konzentriert sich auf die industrielle Praktikabilität, mit besonderem Schwerpunkt auf der Qualitätskontrolle von Wolframoxid bei der Herstellung von Hartmetall- und Wolframprodukten. Zum Beispiel halten sich Wolframunternehmen wie die Zhuzhou Cemented Carbide Group in der Produktion strikt an GB / T 3457-2013, um sicherzustellen, dass die Produkte den Anforderungen der in- und ausländischen Märkte entsprechen. Darüber hinaus berichtete Tungsten News, dass die Überarbeitung der chinesischen Standards auch Anforderungen des Umweltschutzes berücksichtigt, wie z. B. die Reduzierung der Einleitung von sauren Abwässern aus der Produktion.

Entwicklungstrend: Mit der Entwicklung der Nanotechnologie formuliert China Standards für Nano-Wolframoxid. Aufgrund des Potenzials von Wolframoxid im Bereich der Photokatalyse muss beispielsweise die Detektion der Partikelgrößenverteilung (<100 nm) und der spezifischen Oberfläche hinzugefügt werden. Darüber hinaus hat die Globalisierung des Wolframmarktes die Bemühungen um eine Angleichung an internationale Standards vorangetrieben.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11.2 Internationale Normen

Internationale Normen bieten einen einheitlichen Rahmen für den globalen Handel und die Anwendung von Wolframoxid, der hauptsächlich von der Internationalen Organisation für Normung (ISO) und anderen maßgeblichen Stellen entwickelt wurde. Diese Standards sind in der Regel allgemeiner gehalten und konzentrieren sich auf länderübergreifende Konsistenz und technische Kompatibilität, um den industriellen Anforderungen und regulatorischen Anforderungen der verschiedenen Länder gerecht zu werden.

Hauptnorm: ISO 10477-1 Allgemeine Spezifikation für Wolframverbindungen

Die ISO hat keine eigenständige Norm für Wolframoxid, aber die verwandten Verbindungen, wie Wolframat und Wolframpulver, werden indirekt in der ISO 10477-1 Allgemeine Spezifikation für Wolframverbindungen behandelt. Diese Norm wurde vom ISO/TC 119 (Technical Committee for Powder Metallurgy) entwickelt und gilt für wolframbasierte Werkstoffe einschließlich Wolframoxid.

- **Klassifizierung und Spezifikation** Die ISO 10477-1 betrachtet Wolframoxid als Vorläufermaterial für die Herstellung von Wolframpulver, das als industrietauglich und hochreine Qualität eingestuft ist. Die Gehaltsanforderungen für WO_3 in Industriequalität betragen $\geq 98\%$, die hochreine Qualität $\geq 99,95\%$, und der Grenzwert für Verunreinigungen (z. B. $Fe \leq 0,005\%$) ist etwas breiter als der chinesische Standard, was das Gleichgewicht zwischen Kosten und Anwendbarkeit im internationalen Handel widerspiegelt.
- **Die physikalischen Eigenschaftsnormen** erfordern eine flexible Partikelgröße von Wolframoxid, in der Regel $1-50\ \mu m$, und eine Schüttdichte von $1,0-3,5\ g/cm^3$, die je nach Anwendung angepasst werden kann. Darüber hinaus muss der Wolframoxidfilm, der durch die Oxidation des Wolframadelsubstrats erzeugt wird, die Anforderungen an optische Klarheit und Gleichmäßigkeit erfüllen.
- **Detektionsmethoden** Die ISO-Norm verwendet international anerkannte Analysemethoden, wie z. B. Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA) zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung und Laserbeugung zur Bestimmung der Partikelgröße. Diese Methoden sind auf die neueste Technologie von Tungsten Academic abgestimmt und gewährleisten eine globale Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Andere internationale Normen

- **ASTM B771-11 Prüfverfahren für Wolframmaterialien:** Ein von der American Society for Testing and Materials (ASTM) entwickelter Standard zur Prüfung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

der Reinheit und der physikalischen Eigenschaften von Wolframoxid. So wird z. B. der Sauerstoffgehalt durch eine Reduktion von Wolframheizungen getestet.

- JIS H 1403 "Wolframpulver- und Wolframoxid-Analyseverfahren": Der japanische Industriestandard (JIS) enthält detaillierte Vorschriften für die chemische Analyse von Wolframoxid, wobei der Schwerpunkt auf hochreinen Anwendungen (z. B. Halbleitern) liegt.

Merkmale und Anwendungen:

Internationale Standards konzentrieren sich stärker auf Gemeinsamkeit und Kompatibilität. So haben beispielsweise ISO-Normen lockere Grenzwerte für Verunreinigungen für eine Vielzahl von industriellen Anwendungen, während ASTM- und JIS-Normen auf High-End-Anwendungen ausgerichtet sind, wie z. B. die Herstellung von Wolfram-Gold-Verbundwerkstoffen.

Unterschiede zu chinesischen Standards

- **Reinheitsanforderungen:** Die Reinheitsanforderungen der chinesischen Norm für gelbes Wolfram ($\geq 99,9\%$) sind höher als die der ISO-Industriequalität ($\geq 98\%$), was Chinas führende Position im Bereich der High-End-Wolframprodukte widerspiegelt.
- **Nachweismethoden:** Internationale Standards verwenden stärker automatisierte Instrumente (z. B. RFA), während chinesische Standards traditionelle chemische Methoden (z. B. gravimetrische Methoden) berücksichtigen, die für Laboratorien unterschiedlicher technischer Niveaus geeignet sind.
- **Umweltaspekte** Internationale Normen stellen strengere Anforderungen an den Umweltschutz des Produktionsprozesses, wie z. B. ISO 14001 muss bewertet werden Wolframoxid die Umweltauswirkungen des Lebenszyklus, und die chinesischen Normen werden in dieser Hinsicht noch verbessert.

Tendenzen

Mit dem Aufstieg von Nanowolframoxid im Bereich der Optoelektronik und Biomedizin rücken die internationalen Standards näher an die Eigenschaften von Nanomaterialien. So plant beispielsweise das ISO/TC 229 (Nanotechnology Council), spezifische Anforderungen an Oberflächen- und Toxizitätstests hinzuzufügen. Darüber hinaus hat die Globalisierung des Wolframmarktes die Vereinheitlichung von Standards gefördert, wie z. B. die schrittweise Integration chinesischer GB/T-Standards und ISO-Standards.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD WO₃

Kapitel 12 Wolframoxid Zahlen und Fakten

Als wichtiger industrieller Werkstoff und Funktionsstoff hat Wolframoxid (WO₃) aufgrund seiner einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften in vielen Bereichen vielfältige Anwendungen gezeigt. Der Zweck dieses Kapitels besteht darin, die grundlegenden Fakten und detaillierten Daten von Wolframoxid, einschließlich seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften, Produktionsparameter und anwendungstechnischen Indikatoren, systematisch zu sortieren und Forschern, Ingenieuren und Praktikern aus der Industrie ein umfassendes Nachschlagewerk zu bieten. Die Genauigkeit der Daten basiert auf der aktuellen wissenschaftlichen Literatur und der industriellen Praxis, um die Autorität und Nützlichkeit der Inhalte zu gewährleisten.

Bei der Zusammenstellung von Zahlen und Fakten steht die Vielseitigkeit von Wolframoxid im Mittelpunkt. Seine hohe Stabilität, seine Halbleitereigenschaften und seine optischen Eigenschaften haben es zu einer Quelle des Interesses in den Bereichen Energie, Elektronik und Katalyse gemacht. Darüber hinaus bereichert der Fortschritt der Wolframforschung weiterhin ihr Datensystem, und die Optimierung der Wolframtechnologie fördert die Präzision von Produktion und Anwendung. Die Volatilität der Wolframpreise spiegelt auch die Marktnachfrage wider und bietet einen wirtschaftlichen Hintergrund für die Datenanalyse.

12.1 Was sind die wichtigsten Fakten über Wolframoxid?

Als wichtiges Mitglied der Familie der Wolframverbindungen umfassen die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

grundlegenden Fakten von Wolframoxid die chemische Zusammensetzung, die physikalische Form, den historischen Hintergrund und die industrielle Verwendung. Hier sind die wichtigsten Fakten über Wolframoxid, die ein umfassendes Verständnis seiner Natur vermitteln sollen.

- Chemische Zusammensetzung und Struktur von Wolframoxid liegt hauptsächlich in Form von Wolframtrioxid (WO_3) mit einem Molekulargewicht von 231,84 g/mol vor, das sich aus einem Wolframatom und drei Sauerstoffatomen zusammensetzt. Seine Kristallstruktur ist vielfältig, darunter monokline, orthorhombische und kubische, wobei monokline Kristallstruktur bei Raumtemperatur am stabilsten ist. Darüber hinaus sind auch blaues Wolframoxid ($W_{20}O_{58}$) und gelbes Wolframoxid als Varianten in spezifischen Anwendungen üblich. Blauwolframoxid ist ein nicht-stöchiometrisches Mischoxid, das die Bestandteile W^{5+} und W^{6+} enthält.
- Die physikalische Form von Wolframoxid liegt in der Regel in Form eines Pulvers oder eines dünnen Films vor. Gelbwolfram in Industriequalität ist ein hellgelbes kristallines Pulver, und Nanowolfram ist ein feines Partikel (<100 nm). Blaues Wolframoxid ist ein dunkelblaues oder blauschwarzes Pulver mit einer etwas größeren Partikelgröße. Dünnschichtmorphologien werden meist durch Abscheidungstechniken für optische und elektronische Anwendungen präpariert.
- Entdeckung und Geschichte des Wolframs wurde erstmals 1781 von dem schwedischen Chemiker Carl Wilhelm Scheerer entdeckt, und Wolframoxid als seine wichtige Verbindung begann im frühen 19. Jahrhundert industriell hergestellt zu werden. In den Anfängen wurde es durch die thermische Zersetzung von Wolframsäure hergestellt und in der Pigment- und Keramikindustrie eingesetzt. Heute hat sich der Produktionsprozess dahingehend entwickelt, dass er aus Wolframmetalloxidation oder Erz wie Wolframit gewonnen wird.
- Die Hauptquellen für Wolframoxid sind hauptsächlich Wolframerze, darunter Scheelit ($CaWO_4$) und Wolframit ($FeMnWO_4$). China ist der weltweit größte Produzent von Wolfram und macht zusammen mit Russland, Kanada und Australien etwa 80 % der Weltproduktion aus. Darüber hinaus ist auch recyceltes Wolframpulver oder -schrott (z. B. Wolframfilament) eine wichtige Quelle.
- Wolframoxid für den industriellen Einsatz ist ein wichtiges Zwischenprodukt bei der Herstellung von Wolframprodukten wie Wolframkupfer und Hartmetall. Im Energiesektor wird es in Lithium-Ionen-Batterien und in der Photokatalyse eingesetzt; Im Bereich der Elektronik wird es für Feldeffekttransistoren und -speicher verwendet; Im Umweltbereich wird es für Katalysatoren und feuerhemmende Gewebe verwendet. Darüber hinaus wenden Wolframunternehmen es auf elektrochrome Geräte wie intelligente Fenster an.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Sicherheit und Umweltschutz Wolframoxid hat eine geringe akute Toxizität (LD50 >2000 mg/kg, Ratte oral), aber das Einatmen von Staub kann zu Atemwegsreizungen führen. Nanoskaliges Wolframoxid ist aufgrund seiner potenziellen Zytotoxizität besonders besorgniserregend. Im Hinblick auf den Umweltschutz ist der Energieverbrauch bei der Herstellung hoch (z. B. 500–800 °C beim Rösten), und die Abwassereinleitung muss streng kontrolliert werden.
- Markt und Wirtschaft Laut Wolframmachrichten hat der globale Wolframoxidmarkt einen jährlichen Bedarf von etwa 5–70.000 Tonnen, der hauptsächlich von der Hartmetall- und Elektronikindustrie angetrieben wird. China dominiert das Angebot, wobei die Preise im Jahr 2025 voraussichtlich zwischen 20 und 30 US-Dollar pro kg schwanken werden, was das Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage und die Produktionskosten widerspiegelt.
- Technologischer Fortschritt Die Nanotransformation von Wolframoxid war in den letzten Jahren ein Forschungsschwerpunkt, wie z.B. die Nanopartikel, die durch die Oxidation von Wolframpartikeln für die photothermische Therapie entstehen. Darüber hinaus hat die Globalisierung des Wolframmarktes seine Anwendung in neuen Energien und intelligenten Materialien gefördert, wie z. B. die Compoundierung mit Wolframkunststoff zur Verbesserung der Flexibilität.

Diese Tatsachen haben Wolframoxid in Wissenschaft und Industrie etabliert und in seiner Vielfalt und seinem Entwicklungspotenzial zu einem zentralen Gegenstand interdisziplinärer Forschung gemacht.

12.2 Alle Daten von Wolframoxid (physikalisch-chemische Eigenschaften, herstellungs- und anwendungstechnische Parameter)

Im Folgenden finden Sie umfassende Daten von Wolframoxid, die seine physikalisch-chemischen Eigenschaften, produktionstechnischen Parameter und Schlüsselindikatoren in der Anwendung abdecken. Die Daten basieren auf den neuesten Forschungs- und Industriestandards (z.B. GB/T 3457–2013 und ISO 10477–1) und sind in Kombination mit realen Anwendungsszenarien organisiert.

Physikalisch-chemische Eigenschaften

- Summenformel: WO_3 (hauptsächlich Wolframtrioxid, blaues Wolframoxid ist $W_{20}O_{58}$).
- Molekulargewicht: 231,84 g/mol
- Aussehen: Gelbes Wolfram ist hellgelbes Pulver, blaues Wolfram ist dunkelblaues Pulver, Nanoebene sind feine Partikel
- Kristallstruktur: monoklin (stabil bei Raumtemperatur, Raumgruppe $P2_1/n$),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

orthorhombisch (Hochtemperaturphase), kubischer Kristall (häufig in Nanoform).

- Schmelzpunkt: 1473 ° C (ca. 1700 K).
- Siedepunkt: ca. 1700 ° C (zersetzt sich zu W und O₂).
- Dichte: 7,16 g/cm³ (gelbes Wolfram), 7,0–7,2 g/cm³ (blaues Wolfram).
- Löslichkeit: Schwer löslich in Wasser (<0,1 g/L, 25 ° C), löslich in starkem Alkali (z. B. NaOH) zu Wolframat.
- Härte: ca. 8,5–9 auf der Mohs-Skala (nahe an Aluminiumoxid).
- Bandlückenenergie: 2,6–3,0 eV (n-Typ-Halbleiter, Reaktion auf sichtbares Licht).
- Wärmeleitfähigkeit: ca. 1,6 W/m • K (Raumtemperatur)
- Spezifische Oberfläche: 50–200 m²/g in Nanometern und 5–20 m²/g in Industriequalität
- Partikelgröße: Industriequalität 5–25 μm, Nanoskala 10–100 nm
- Lose Dichte: 1,5–3,0 g/cm³ (abhängig von der Korngröße).
- Brechungsindex: 2,2–2,5 (sichtbarer Bereich).
- Dielektrizitätskonstante: 20–50 (Dünnschichtzustand, frequenzabhängig).

Produktionstechnische Parameter

- **Zutaten:**
 - A: Wolframat, Scheelit
 - Vorläufer: Wolframsäure, Ammoniummetawolframat
 - Rezyklat: Wolframnadel, Wolframheizung
- **Herstellungsverfahren:**
 - **Röstmethode:**
 - Rohstoff: Wolframpulver oder Wolframsäure
 - Temperatur: 500–800° C
 - Atmosphäre: Luft oder Sauerstoff
 - Ertrag: >95%
 - Energieverbrauch: ca. 1,5–2 kWh/kg
 - **Nasschemie:**
 - Rohstoff: Natriumwolframat
 - Prozess: saure Fällung + Kalzinierung (400–600° C)
 - Reinheit: >99,9%
 - Abwasser: Enthält Wolframionen, die recycelt werden müssen
 - **Nanosynthese:**
 - Methoden: solvothermische Methode, hydrothermale Methode
 - Temperatur: 150–250° C
 - Lösungsmittel: Wasser, Ethanol
 - Kontrolle der Partikelgröße: 10–100 nm
- **Anforderungen an die Reinheit:**
 - Industriequalität: WO₃ ≥ 98%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Hohe Reinheit: $WO_3 \geq 99,95\%$
- Grenzwerte für Verunreinigungen (z. B. Fe): $\leq 0,001\%$ (chinesische Norm), $\leq 0,005\%$ (ISO)
- **Ausstattung:**
 - Röster, Wolframerhitzer, Autoklav (nanoskalig)
 - Detektion: RFA, ICP-OES, Laser-Partikelgrößenmessgerät

Technische Parameter anwenden

1. Energiesektor

- **Lithium-Ionen-Batterie-Anode:**
 - Theoretische Kapazität: 693 mAh/g
 - Lebensdauer: 500–1000 Mal (80 % Kapazität bleiben erhalten)
 - Betriebsspannung: 0,01–3,0 V vs. Li/Li⁺
- **Superkondensatoren:**
 - Spezifischer Kondensator: 500–700 F / g
 - Zyklenfestigkeit: > 10.000 Zyklen
 - Leistungsdichte: 5–10 kW/kg
- **Photokatalytische Spaltung von Wasser:**
 - Photothermischer Wirkungsgrad: 20–40% (808 nm)
 - Wasserstoffproduktionsrate: 100–500 $\mu\text{mol} / \text{h} \cdot \text{g}$

2. Elektronisches Informationsfeld

- **FETs:**
 - Mobilität des Trägers: 10–20 $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$
 - Ein/Aus-Verhältnis: 10^5 – 10^6
 - Betriebsfrequenz: MHz–GHz-Bereich
- **Speichergerät (RRAM):**
 - Schaltverhältnis des Widerstands: 10^3 – 10^4
 - Löscheschwindigkeit: <10 ns
 - Haltbarkeit: > 10^5 mal

3. Im Bereich Maschinenbau

- **Werkzeug-Beschichtung:**
 - Härte: 2000–2500 HV
 - Reibungskoeffizient: 0,4–0,6
 - Temperaturbeständigkeit: >800° C
- **Verschleißfeste Teile:**
 - Haftfestigkeit: >500 MPa
 - Verschleißrate: <0,01 $\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$

4. Biomedizinischer Bereich

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

○ **Biosensoren:**

- Nachweisgrenze: μM - nM -Güte (z. B. Glukose)
- Reaktionszeit: <5 Sekunden
- Empfindlichkeit: $10\text{--}50 \mu\text{A}/\text{mM} \cdot \text{cm}^2$

○ **Photothermische Therapie:**

- Licht-Wärmewandler-Wirkungsgrad: 40-50% (NIR)
- Heizbereich: $50\text{--}60^\circ\text{C}$
- Biokompatibilität: PEG-Modifikation erforderlich

5. Optisches Anzeigefeld

○ **Elektrochrome Geräte:**

- Änderung des Transmissionsgrads: 80%→10%
- Reaktionszeit: Millisekunden-Sekunden
- Lebensdauer: $>10^4$ mal

6. Katalytische Träger

○ **Unterstützte Katalysatoren:**

- Spezifische Oberfläche: $50\text{--}200 \text{m}^2/\text{g}$
- Umwandlungsrate der Hydrierung: $>90\%$
- Temperaturbeständigkeit: $500\text{--}700^\circ\text{C}$

7. Feuerhemmende Gewebe

- **Bis:** 28-35%
- Hitzebeständigkeit: $>1000^\circ\text{C}$ (kurzzeitig)
- Wärmeleitfähigkeit: $1,5\text{--}2 \text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang: Mehrsprachiges Glossar der Wolframoxid-Begriffe (Chinesisch, Englisch, Japanisch, Koreanisch)

Kategorie	Chinesisch	Englisch	Japanisch	Deutsch
Der Name der Basis	氧化钨	Tungsten Trioxide	三酸化タングステン	Wolframtrioxid
	三氧化钨	Tungsten Trioxide	三酸化タングステン	Wolframtrioxid
	钨	Tungsten	タングステン	Wolfram
	黄钨	Yellow Tungsten Oxide	黄色酸化タングステン	Wolframgelboxid
	蓝钨	Blue Tungsten Oxide	青色酸化タングステン	Wolframblau-Oxid
Physikalische Form	纳米氧化钨	Nano Tungsten Trioxide	ナノ三酸化タングステン	Nano-Wolframtrioxid
	粉末	Powder	粉末	Pulver
	薄膜	Thin Film	薄膜	Dünne Schicht
	晶体	Crystal	結晶	Entscheidung
	颗粒	Particle	粒子	Teilchen
Produktionsprozess	焙烧	Calcination	焼成	Verkalkung
	水热法	Hydrothermal Method	水熱法	Hydrothermales Verfahren
	溶剂热法	Solvothermal Method	溶媒熱法	Lösungsmittel-Wärmeverfahren
	化学气相沉积	Chemical Vapor Deposition (CVD)	化学気相蒸着	Chemische Gasphasenabscheidung
	钨酸	Tungstic Acid	タングステン酸	Wolframatsäure
Anwendungsgebiete	锂离子电池	Lithium-Ion Battery	リチウムイオン電池	Lithium-Ionen-Akku Lithium-Ionen-Akku
	超级电容器	Supercapacitor	スーパーキャパシタ	Superkondensatoren
	光催化	Photocatalysis	光触媒	Photokatalysator

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

				Photokatalysator
	场效应晶体管	Field-Effect Transistor (FET)	電界効果トランジスタ	Feldeffekt-Transistor
	存储器件	Memory Device	メモリデバイス	Speichergerät
	刀具涂层	Tool Coating	工具コーティング	Werkzeug-Beschichtung
	生物传感器	Biosensor	バイオセンサー	Biosensoren
	光热治疗	Photothermal Therapy	光熱療法	Photothermische Therapie
	电致变色器件	Electrochromic Device	電気変色デバイス	Elektrochromes Gerät
	催化载体	Catalyst Support	触媒担体	Catalyst-Unterstützung
	防火面料	Fire-Resistant Fabric	防火ファブリック	Feuerhemmendes Gewebe
Andere verwandte Begriffe	钨粉	Tungsten Powder	タングステン粉末	Wolfram-Pulver
	钨丝	Tungsten Wire	タングステンワイヤー	Wolframdraht
	钨铜	Tungsten Copper	タングステン銅	Wolfram-Kupfer
	硬质合金	Hard Alloy	硬質合金	Harte Legierungen
	纳米颗粒	Nanoparticle	ナノ粒子	Nanopartikel

illustrieren

- Chinesisch:** Basierend auf chinesischen nationalen Standards (z. B. GB/T 3457-2013) und Branchenpraktiken, um die Standardisierung der Terminologie zu gewährleisten.
- Englisch:** Übernimmt die internationale Terminologie, entspricht den ISO- und ASTM-Standards und wird in der wissenschaftlichen Literatur häufig verwendet.
- Japanisch:** Beziehen Sie sich auf japanische Industrienormen (z. B. JIS H 1403) und Fachliteratur und achten Sie auf Aussprache und Schreibgewohnheiten.
- Koreanisch:** Basierend auf den Ausdrücken, die im Bereich der koreanischen Chemie und Materialien gebräuchlich sind, um die Konsistenz mit praktischen Anwendungen zu gewährleisten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com