

Wolframsäure-Enzyklopädie

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

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 der intelligenten, integrierten und flexiblen Entwicklung und Herstellung von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets. CHINATUNGSTEN ONLINE, gegründet 1997 mit www.chinatungsten.com als Ausgangspunkt – Chinas erster erstklassiger Website für Wolframprodukte – ist das bahnbrechende E-Commerce-Unternehmen des Landes mit Fokus auf die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Industrien. CTIA GROUP nutzt fast drei Jahrzehnte umfassende Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän, erbt die außergewöhnlichen Entwicklungs- und Fertigungskapazitäten, die erstklassigen Dienstleistungen und den weltweiten Ruf ihres Mutterunternehmens und wird so zu einem umfassenden Anbieter von Anwendungslösungen in den Bereichen Wolframchemikalien, Wolframmetalle, Hartmetalle, hochdichte Legierungen, Molybdän und Molybdänlegierungen.

In den vergangenen 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE über 200 mehrsprachige professionelle Websites zu den Themen Wolfram und Molybdän in mehr als 20 Sprachen erstellt, die über eine Million Seiten mit Nachrichten, Preisen und Marktanalysen zu Wolfram, Molybdän und Seltenen Erden enthalten. Seit 2013 wurden auf dem offiziellen WeChat-Konto „CHINATUNGSTEN ONLINE“ über 40.000 Informationen veröffentlicht, die fast 100.000 Follower erreichen und täglich Hunderttausenden von Branchenexperten weltweit kostenlose Informationen bieten. Mit Milliarden von Besuchen auf seinem Website-Cluster und seinem offiziellen Konto hat sich das Unternehmen zu einer anerkannten globalen und maßgeblichen Informationsdrehscheibe für die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Branche entwickelt, die rund um die Uhr mehrsprachige Nachrichten, Informationen zu Produktleistung, Marktpreisen und Markttrends bietet.

Aufbauend auf der Technologie und Erfahrung von CHINATUNGSTEN ONLINE konzentriert sich die CTIA GROUP darauf, die individuellen Bedürfnisse ihrer Kunden zu erfüllen. Mithilfe von KI-Technologie entwickelt und produziert sie gemeinsam mit ihren Kunden Wolfram- und Molybdänprodukte mit spezifischen chemischen Zusammensetzungen und physikalischen Eigenschaften (wie Partikelgröße, Dichte, Härte, Festigkeit, Abmessungen und Toleranzen). Das Angebot umfasst integrierte Dienstleistungen für den gesamten Prozess, vom Formenöffnen und der Probeproduktion bis hin zur Veredelung, Verpackung und Logistik. In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE weltweit über 130.000 Kunden in Forschung und Entwicklung, Design und Produktion von über 500.000 Arten von Wolfram- und Molybdänprodukten unterstützt und so 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 weiter.

Dr. Hanns und sein Team bei der CTIA GROUP haben auf der Grundlage ihrer über 30-jährigen Branchenerfahrung auch Fachwissen, Technologien, Wolframpreise und Marktrendanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden verfasst und veröffentlicht und geben diese kostenlos an die Wolframbranche weiter. Dr. Han, mit über 30 Jahren Erfahrung seit den 1990er Jahren im E-Commerce und internationalen Handel mit Wolfram- und Molybdänprodukten sowie in der Entwicklung und Herstellung von Hartmetallen und hochdichten Legierungen, ist im In- und Ausland ein renommierter Experte für Wolfram- und Molybdänprodukte. Getreu dem Grundsatz, der Branche professionelle und qualitativ hochwertige Informationen zu liefern, verfasst das Team der CTIA GROUP kontinuierlich technische Forschungsarbeiten, Artikel und Branchenberichte auf Grundlage der Produktionspraxis und der Kundenbedürfnisse und findet dafür breite Anerkennung in der Branche. Diese Erfolge stellen eine solide Unterstützung für die technologische Innovation, die Produktförderung und den Branchenaustausch der CTIA GROUP dar und verhelfen ihr zu einem führenden Unternehmen in der globalen Herstellung von Wolfram- und Molybdänprodukten sowie bei Informationsdienstleistungen.



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

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Hintergrund und Bedeutung des Schreibens

Die strategische Position und das Anwendungspotenzial von Wolframsäure

Buchstruktur und Anweisungen

Anwendbare Leser und Referenzwert

Kapitel 1: Grundlegende Konzepte und historische Entwicklung der Wolframsäure

1.1 Definition und Klassifizierung von Wolframsäure

1.2 Entdeckung und Namensentwicklung der Wolframsäure

1.3 Der Status der Wolframsäure in der anorganischen Chemie

1.4 Hauptverlauf und technische Meilensteine der Wolframsäureforschung

Kapitel 2: Physikalische und chemische Eigenschaften von Wolframsäure

2.1 Molekülstruktur und Kristallstrukturanalyse

2.2 Thermische Stabilität und Zersetzungsverhalten

2.3 Säure- und Löslichkeitseigenschaften

2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

2.5 Untersuchung von Isomeren und Polymorphen der Wolframsäure

Kapitel 3: Herstellung von Wolframsäure

3.1 Herstellung von Wolframsäure aus APT

3.2 Nassextraktion von Wolframsäure aus WO_3

3.3 Synthese von Wolframsäure unter verschiedenen pH-/Temperaturbedingungen

3.4 Herstellungsverfahren für Nano-Wolframsäure (Sol-Gel, Hydrothermal, Mikroemulsion)

3.5 Analyse des Standardherstellungsprozesses von Wolframsäure durch die CTIA Group

Kapitel 4: Charakterisierungstechnologie und Nachweismethoden von Wolframsäure

4.1 XRD-Kristallform- und Kristalloberflächenanalyse

4.2 FTIR- und Raman-Spektroskopie

4.3 SEM/TEM-Mikromorphologiebeobachtung

4.4 TG-DSC-Thermoanalyse

4.5 XPS-Oberflächenelement-Valenzzustandsanalyse

4.6 Spezifische Oberfläche und Porenstruktur (BET-Analyse)

4.7 Elektrische und optische Leistungstestmethoden

Kapitel 5: Hauptderivate und Zwischenprodukte der Wolframsäure

5.1 Metawolframate (wie Natrium, Ammonium, Calcium, Kupfer usw.)

5.2 Wolframatkomplexe (Polywolframate , Isopolysäuren)

5.3 Organische Wolframate und organische Komplexe

5.4 Wolframatbasierte Funktionsmaterialien und Komposite

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5 Synthese hochvalenter Wolframoxid-Vorstufen unter Beteiligung von Wolframsäure

Kapitel 6: Anwendung von Wolframsäure in der anorganischen Industrie

- 6.1 Die Rolle der Wolframsäure in der Wolframverbindungs-Industriekette
- 6.2 Anwendung von Wolframsäure in Leuchtstoffen
- 6.3 Wolframsäure in Hochleistungskeramikrohstoffen
- 6.4 Die Rolle der Wolframsäure als Vorstufe in hitzebeständigen und korrosionsbeständigen Beschichtungsmaterialien

Kapitel 7: Anwendung von Wolframsäure in Funktionsmaterialien und Energiefeldern

- 7.1 Anwendung von Wolframsäure in photokatalytischen Materialien (Abbau von Schadstoffen etc.)
- 7.2 Forschungsfortschritt zu Wolframsäure in Energiespeichermaterialien (Superkondensatoren, Batterien)
- 7.3 Anwendung von Wolframsäure in elektrochromen und optischen Steuermaterialien
- 7.4 Entwicklung von Nanowolframsäure in Sensoren und selbstreinigenden Materialien

Kapitel 8: Anwendung von Wolframsäure in der analytischen Chemie und Reagenzien

- 8.1 Wolframsäure als kolorimetrisches Reagenz und Titrationsreagenz
- 8.2 Koordination von Wolframsäure in der Spektralanalyse
- 8.3 Funktion der Wolframsäure bei der Schwermetalldetektion und -trennung
- 8.4 Qualitätsanforderungen an Wolframsäure in hochreinen analytischen Chemikalien

Kapitel 9: Erforschung medizinischer und biologischer Anwendungen von Wolframsäure

- 9.1 Vorstudie zur Wirkung von Wolframsäure auf den Zellstoffwechsel
- 9.2 Potenzial der Wolframsäure in der Biokatalyse und Enzymmimikry
- 9.3 Explorative Anwendung von Wolframsäure in antibakteriellen und antiviralen Materialien
- 9.4 Aktueller Stand der Forschung zur Umwelttoxizität und Biokompatibilität von Wolframsäure

Kapitel 10: Sicherheit und Umweltmanagement von Wolframsäure

- 10.1 Sicherheitsdatenblatt und Sicherheitsbewertung von Wolframsäure
- 10.2 Spezifikationen für Lagerung, Transport und Notfallbehandlung bei Leckagen
- 10.3 Berufliche Exposition sowie Prävention und Kontrolle von Wolframsäure im Produktionsprozess
- 10.4 Behandlung und Ressourcennutzung von Wolframsäureabfällen und Nebenprodukten

Kapitel 11: Marktanalyse und Branchenstatus von Wolframsäure

- 11.1 Analyse der globalen Produktionskapazität und Verbrauchsstruktur von Wolframsäure
- 11.2 Überblick über die Entwicklung der chinesischen Wolframsäureindustrie und die Exportsituation
- 11.3 Übersicht über wichtige Unternehmen und Lieferanten (Hervorhebung der Position der CTIA Group)
- 11.4 Nachgelagerte Marktnachfrage: Elektronik, Beschichtungen, Keramik, Umweltschutz

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11.5 Preislogik und Kostenstrukturanalyse von Wolframsäureprodukten

Kapitel 12: Aktuelle Themen und Spitzentechnologien in der Wolframsäureforschung

12.1 Herausforderungen und Chancen bei der Herstellung ultrafeiner/Nano-Wolframsäure

12.2 Forschung und Entwicklung intelligenter Materialien auf Wolframsäurebasis

12.3 Strategie zur Konstruktion funktionaler Wolframsäure-Kompositsysteme

12.4 Nachfragetrend neuer Energietechnologien für Wolframsäurematerialien

12.5 Anwendung intelligenter Fertigung und Automatisierung bei Wolframsäureprodukten

Anhang

Anhang 1: Allgemeine Begriffe und Symbole für Wolframsäure

Anhang 2: Vergleichstabelle internationaler und nationaler Standards im Zusammenhang mit Wolframsäure

Anhang 3: Hauptliteraturindex und Forschungsdatenbank zu Wolframsäure

Anhang 4: CTIA Group Wolframsäure-Produktkatalog und Einführung in den technischen Service

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10, \text{Na} \leq 5, \text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Vorwort

Schreibhintergrund und Bedeutung

Wolframsäure (chemische Formel H_2WO_4) ist eine der basischsten und strukturell vielfältigsten anorganischen Säuren in der Wolframchemie. Seit ihrer ersten Isolierung im 19. Jahrhundert hat sie sich zu einem zentralen Zwischenprodukt der modernen Wolfram-Materialwissenschaft, der anorganischen Synthesechemie und der Funktionswerkstofftechnologie entwickelt. Sie ist nicht nur eine wichtige Vorstufe für eine Vielzahl von Wolframverbindungen (wie Wolframate, Metawolframate, Wolframate und Wolframoxide), sondern auch eine Klasse von Funktionsmaterialien mit potenziellem Anwendungswert.

In strategischen Schlüsselbereichen wie der Energiewende, der Entwicklung neuer Materialien und der grünen Chemie bieten Wolframsäure und ihre Derivate breite Anwendungsmöglichkeiten. Beispielsweise hat Wolframsäure in neuen Anwendungen wie der photokatalytischen Degradation, der Wasseraufbereitung, Superkondensatoren und elektrochromen Bauelementen aufgrund ihrer hervorragenden Redoxfähigkeit, ihrer mehrstufigen Kristallstruktur und ihrer Ionenmigrationseigenschaften große Aufmerksamkeit erregt. Darüber hinaus hat Wolframsäure auch in traditionellen Branchen wie der Herstellung anorganischer Salze, der Wolframmetallgewinnung, der Hochtemperatur-Keramiksynthese und der Herstellung chemischer Analysereagenzien eine unersetzliche Stellung.

Angesichts der kontinuierlichen Weiterentwicklung der globalen „Lokalisierung von Hochleistungsmetallmaterialien“, der „grünen Metallurgie“ und der „Materialumwandlung durch neue Energien“ müssen Wolframsäure als Schlüsselknotenpunkt zwischen Wolframressourcen und hochwertigen Funktionsmaterialien dringend systematisch untersucht und ihre umfassende Leistung, Herstellungstechnologie, Anwendungspfade, Umweltauswirkungen und ihr Marktpotenzial

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

erforscht werden.

In diesem Zusammenhang soll die Zusammenstellung der „Enzyklopädie der Wolframsäure“ nicht nur die aktuellen Forschungsergebnisse und industriellen Praktiken auf dem Gebiet der Wolframsäure im In- und Ausland zusammenfassen, sondern auch wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen, Ingenieur- und Technikpersonal, High-End-Anwenderunternehmen und politischen Entscheidungsabteilungen einen maßgeblichen, systematischen und operativen Wissensrahmen und eine technische Grundlage bieten.

Der strategische Wert der Wolframsäure

Die Bedeutung der Wolframsäure lässt sich anhand der folgenden vier Dimensionen verstehen:

1. Strategische Brückenfunktion für Ressourcen

Wolframsäure ist die Übergangsform zwischen APT (Ammoniumparawolframat) und Wolframmetall sowie Wolframoxid und nimmt in der Wolfram-Industriekette eine Schlüsselposition ein.

2. Eigenschaften der Material-F&E-Plattform

Wolframsäure verfügt über materialtechnische Fähigkeiten wie die Regulierung der Kristallform, die Dotierung mit Metallionen und den Aufbau poröser Strukturen. Sie ist ein wichtiges Plattformmolekül für die Herstellung von Nano-Wolfram-Materialien, Mehrsäure-Koordinationsstrukturen und katalytischen Verbundmaterialien.

3. ermöglichen die umweltfreundliche Herstellung und funktionale Anwendungen

. Dadurch eignet es sich für nasse Grönaufbereitungsverfahren und erfüllt die Anforderungen an Energieeinsparung und Emissionsreduzierung. Gleichzeitig verfügen Wolframsäure und ihre Salze über multifunktionale Leitfähigkeit, Photokatalyse, thermische Stabilität und weitere Eigenschaften und sind sowohl für die wissenschaftliche Forschung als auch für Anwendungen wertvoll.

4. Die Grundlage für den Aufbau internationaler Positionsmacht.

Derzeit wird die Exportkontrolle von Wolframressourcen schrittweise verschärft. Wolframsäure und ihre Produkte sind zu einem wichtigen Exportgut für Chinas strategische Metallressourcen geworden. Der entsprechende Standardisierungs- und Industrialisierungsgrad wirkt sich direkt auf Chinas Positionsmacht in der internationalen Lieferkette für hochwertige Materialien aus.

Wie dieses Buch aufgebaut ist

Dieses Buch beginnt mit den Grundlagen und vertieft sich schrittweise. Dabei verfolgt es einen Ansatz, der sowohl Theorie als auch Praxis betont und die Industrie mit der Spitzenforschung verbindet. Es ist in zwölf Kapitel und vier Anhänge gegliedert:

- **Kapitel 1–2** : Überblick über die grundlegenden Konzepte, die Entwicklungsgeschichte sowie die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Wolframsäure, die theoretische Grundlage für die nachfolgenden Kapitel bilden;
- **Kapitel 3–4** : Detaillierte Beschreibung verschiedener gängiger Vorbereitungsverfahren und Charakterisierungstechniken, einschließlich der proprietären Prozessreferenzen von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

China Tungsten Intelligence;

- **Kapitel 5–6** : Einführung in gängige Wolframsäurederivate und ihre Anwendung in der anorganischen Industrie;
- **Kapitel 7 bis 9** : Schwerpunkt auf den neuesten Entwicklungen bei Wolframsäure in den Bereichen Energiematerialien, analytische Chemie, Funktionsbeschichtungen und biologische Anwendungen;
- **Kapitel 10** : Schwerpunkt auf den Sicherheits-, Lagerungs- und Transportspezifikationen sowie dem Umweltmanagement von Wolframsäure während ihres gesamten Lebenszyklus;
- **Kapitel 11–12** : Bietet eine Panoramaanalyse der Industriekette, des Marktes, der Richtlinien und der Entwicklungstrends, die der Investitionsentscheidung und strategischen Forschung förderlich ist;
- **Anhang** : Bietet ein Glossar, einen Standardvergleich, ein Literaturverzeichnis und Informationen zum Technologieservice der CTIA GROUP, um die Referenz- und Anwendungseffizienz der Leser zu verbessern.

Dieses Buch deckt alle Aspekte der Grundlagentheorie, der Ingenieurtechnik, der Normen und Spezifikationen, der Markttrends und der umweltfreundlichen Fertigung ab. Es dient als Datenbank für Wissenschaftler, als Betriebshandbuch für Ingenieure, als Lehrhilfe für Hochschullehrer und Studierende sowie als Entscheidungshilfe für Regierung und Industrie.

Zielgruppe und Nutzung

Dieses Buch ist für folgende Gruppen geeignet:

- **Forscher und Materialingenieure** : Verstehen Sie systematisch die physikalischen und chemischen Eigenschaften und experimentellen Wege von Wolframsäure, um die wissenschaftliche Forschungsplanung und Materialoptimierung zu unterstützen.
- **Praktiker der Pulververarbeitung und Metallurgie** : Sammeln Sie praktische Erfahrungen in der Vorbereitung und Anwendung, um die stabile Produktion von hochwertigem Wolframsäurepulver zu unterstützen.
- **Umwelt- und Sicherheitsmanager** : Verstehen Sie das Umweltverhalten sowie die Spezifikationen für sicheren Transport und Lagerung von Wolframsäure, um eine saubere Produktion und die Einhaltung von Vorschriften zu gewährleisten;
- **Hochschullehrer und Doktoranden** : Verwendung als Unterrichtsreferenz, zum Verfassen von Abschlussarbeiten und als grundlegende Literatur für die Projektbewerbung;
- **Branchenanalysten und relevante Regierungsabteilungen** : verstehen die Trends der Wolframsäure-Industriekette, politische Trends und technische Hindernisse und helfen bei der Formulierung von Entwicklungsplänen.

Den Lesern wird empfohlen, die zu konsultierenden Kapitel entsprechend ihren eigenen Bedürfnissen auszuwählen. Dieses Buch bietet Querverweise und Anhangsnavigation, damit Techniker wichtige Inhalte in tatsächlichen Projekten schnell finden können.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungstic Acid Introduction CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10, \text{Na} \leq 5, \text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 1 Grundlegende Konzepte und historische Entwicklung der Wolframsäure

Wolframsäure (chemische Formel H_2WO_4) ist eine sauerstoffhaltige Säure, die aus Wolfram im Valenzzustand +6 mit Sauerstoff und Wasserstoff besteht. Sie ist eines der wichtigsten Zwischenprodukte in der Wolframchemie. Sie wird nicht nur häufig in der Wolframverhüttung und der Wolframsalzerstellung eingesetzt, sondern weist auch einzigartige physikalische und chemische Eigenschaften und Anwendungswert in vielen hochmodernen Bereichen wie Funktionsmaterialien, Biokatalyse und photoelektrischer Umwandlung auf.

1.1 Definition und Klassifizierung von Wolframsäure

Grundlegende Definition

Wolframsäure bezeichnet üblicherweise einen gelben, amorphen oder kristallinen Feststoff, der durch die Reaktion von Wolframaten (wie Natriumwolframat, Ammoniumwolframat) mit starken Säuren unter neutralen oder schwach sauren Bedingungen ausgefällt wird. Die häufigste Form der chemischen Formel ist $H_2WO_4 \cdot xH_2O$ (d. h. hydratisierte Wolframsäure). Ihre tatsächliche Zusammensetzung hängt eng mit den Reaktionsbedingungen zusammen, sodass sie eine gewisse strukturelle Vielfalt aufweist.

Einstufung

Je nach Struktur, Hydratisierungszustand, Reaktivität und Herstellungsbedingungen kann Wolframsäure in folgende Kategorien unterteilt werden:

Klassifizierungsgrundlage	Typ	Besonderheit
Flüssigkeitszufuhr	Wasserfreie Wolframsäure (H_2WO_4)	Wasserfreie Körper sind selten und
	Hydratisierte Wolframsäure ($H_2WO_4 \cdot xH_2O$)	hydratisierte Wolframsäure ist die in der Industrie vorherrschende Form von Wolframsäure.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Strukturform	Amorphe Wolframsäure Kristalline Wolframsäure	Der kristalline Zustand ist orthorhombisch oder monoklin, und der amorphe Zustand ist ein kolloidaler Niederschlag.
Synthesemethode	Nasschemische Wolframsäurepyrolyse Wolframsäure	Ersteres wird zur Herstellung von Metawolframat verwendet, letzteres dient als Rohstoff für Wolframmetall.
Ableitungsmöglichkeiten	Monomere Wolframsäure Polymere Wolframsäure	Kann zu komplexen Strukturen wie Metawolframat und Polywolframat polymerisieren

Wolframsäure ist normalerweise ein hellgelbes oder gelbgrünes Pulver, löslich in Flusssäure, Ammoniak oder alkalischer Lösung, unlöslich in kaltem Wasser und Alkohol und weist eine schwache Säure und eine hohe thermische Stabilität auf.

1.2 Die Entdeckung und Namensentwicklung der Wolframsäure

Das Element Wolfram wurde 1781 vom schwedischen Chemiker Carl Wilhelm Scheele entdeckt. Das ursprüngliche Erz (Wolfson) wurde mit Salzsäure behandelt, um einen gelben Niederschlag zu erhalten, der als „Wolframatniederschlag“ bekannt ist und den Prototyp der frühen Wolframsäure darstellt. 1783 reduzierten die spanischen Brüder Juan und Fausto Elhuyar die gelbe Substanz weiter mit Kohlenstoff und produzierten erstmals metallisches Wolfram.

Im frühen 19. Jahrhundert entwickelte sich Wolframsäure allmählich zu einem wichtigen Vertreter bei der Untersuchung von Metalloxidationsstufen und Säure-Base-Reaktionen in europäischen Laboren. Mit der Entwicklung der anorganischen Chemie wurde Wolframsäure systematisch in das System der sechswertigen Metalloxosäuren eingeordnet und bildete allmählich ein relativ einheitliches Benennungssystem mit Molybdänsäure, Niobsäure usw.

Der Begriff „Wolframsäure“ wurde konkretisiert und in eine Vielzahl von Arten mit klaren Strukturen unterteilt, darunter Monowolframsäure, Metawolframsäure (wie $H_2W_{12}O_{40}$), Heteropolywolframsäure Säure usw.

In China begann die systematische Erforschung von Wolframsäure in den 1950er Jahren, insbesondere in Gebieten mit konzentrierten Wolframvorkommen wie Jiangxi, Hunan und Henan. Die Forschung zu Nassaufbereitungsverfahren und Kristallisationskontrolle förderte die Entwicklung der Wolframsalzchemie in China.

1.3 Der Status der Wolframsäure im anorganischen chemischen System

Wolframsäure ist in ihrer hohen Oxidationsstufe eine der wichtigsten Verbindungen des Wolframs. Ihre Säure-, Koordinations- und Derivatisierungseigenschaften bilden die Grundlage für ihre breite Anwendung in der anorganischen Chemie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der Funktionsstatus ist wie folgt:

- **Koordinierungszentrum** : W^{6+} in Wolframat kann stabile mehrkernige Komplexe mit Liganden wie O, N und S bilden und ist ein wichtiges Zentrum für die Synthese von Mehrmetallkomplexen;
- **Baueinheit** : Wolframsäure wird häufig als Grundgerüst von Polyanionen-Gerüsten (wie der Keggin- Struktur) verwendet , **um** Isopolysäuren und Polywolfram zu konstruieren Oxide;
- **Vorlage für Säure-Base-Reaktionen** : Da es bei unterschiedlichen pH-Werten unterschiedliche Formen aufweist, ist es ein wichtiges Modell für die Untersuchung von Reaktionen wie Acidolyse-Fällung-Komplexierung-Rekombination;
- **Grundlagen der Kristalltechnik** : Es kann bei unterschiedlichen Temperaturen und Lösungskonzentrationen eine Vielzahl von Kristallmorphologien bilden und ist ein typisches Objekt der Kristallkontrolle und der anorganischen Nanomaterialforschung.

Wolframsäure ist auch ein Vergleichsmaterial für die Untersuchung anderer Übergangsmetallsäuren (wie Chromsäure und Molybdänsäure) und wird häufig als struktureller Kontrollträger für elektronische, Photonen- und magnetische Eigenschaften verwendet.

1.4 Die wichtigsten historischen und technischen Meilensteine der Wolframsäureforschung

In den letzten zwei Jahrhunderten hat die Forschung zur Wolframsäure drei Phasen durchlaufen: von der „empirischen Extraktion“ über die „Strukturanalyse“ bis hin zur „funktionellen Anwendung“:

Bühne	Zeit	Merkmale
Start-up	Ende des 18. Jahrhunderts – Mitte des 19. Jahrhunderts	Extraktion und Fällung von Wolframat im Labor, fehlende Strukturkenntnisse
Analysephase	Erste Hälfte des 20. Jahrhunderts	Beginnt mit der Verwendung von Röntgenbeugung, Infrarotspektroskopie und anderen Methoden zur Bestätigung der Struktur
Funktionsausbaustufe	1970er Jahre bis heute	Schwerpunkte: Katalyse, Optoelektronik, Energiespeicherung und Funktionsverbundwerkstoffe

Repräsentative technologische Durchbrüche:

- **1955: Kristallines H_2WO_4** wurde zum ersten Mal unter Bedingungen der hydrothermalen Synthese synthetisiert und eine Standardkurve physikalischer Eigenschaften erstellt.
- **1983: Die Keggin- Struktur** von Polywolframat wurde etabliert und leitete eine neue Ära der Forschung zu Polyoxometallaten ein.
- **2005** : In der Herstellungstechnologie von Nanowolframsäure wurde ein Durchbruch erzielt, der ihre Anwendung in der Photokatalyse und bei Superkondensatoren förderte;
- **Im letzten Jahrzehnt** haben CTIA GROUP und andere inländische Unternehmen hochreine, ultrafeine Wolframsäureprodukte in Industriequalität entwickelt und so die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Transformation der Produktanwendungen von der Rohstoffebene auf die Funktionsebene realisiert.

Zusammenfassung

Dieses Kapitel befasst sich mit der chemischen Definition, der Entwicklungsgeschichte, dem wissenschaftlichen Status und der Forschungsentwicklung von Wolframsäure. Es liefert einen klaren historischen Hintergrund und einen chemischen Rahmen für ihre Herstellung, Charakterisierung, Derivatisierung und Anwendung in den folgenden Kapiteln. Wolframsäure ist nicht nur eine basische anorganische Verbindung, sondern auch der zentrale Knotenpunkt zwischen Ressourcen, Theorien und funktionalen Anwendungen in der Wolfram-Materialwissenschaft.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 2 Physikalische und chemische Eigenschaften von Wolframsäure

Wolframsäure (H_2WO_4) ist eine typische sechswertige Wolframverbindung. Ihr physikalisches Erscheinungsbild, ihre Kristallstruktur, ihre chemischen Reaktionseigenschaften und ihr multiphysikalisches Verhalten bestimmen ihre Anwendungsgrenzen in der chemischen Industrie, den Materialwissenschaften und der Anwendungstechnik. Dieses Kapitel analysiert systematisch die intrinsischen Eigenschaften der Wolframsäure, von der Molekülstruktur bis zu den funktionellen Eigenschaften, und legt damit den Grundstein für ihre nachfolgende Prozessvorbereitung, Derivatisierung und funktionelle Anwendung.

2.1 Molekülstruktur und Kristallstrukturanalyse

Molekulare Zusammensetzung

Die chemische Formel der Wolframsäure lautet üblicherweise H_2WO_4 , sie liegt in Wasser jedoch häufig auch in hydratisierter Form vor, beispielsweise als $\text{H}_2\text{WO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (x ist üblicherweise 1-2). Das Wolframatom liegt im Oxidationszustand +6 vor, und die umgebende Koordination bildet eine oktaedrische Einheit $[\text{WO}_6]$, die die Molekülstruktur der anorganischen Säure bildet.

Kristallstruktur

Wolframsäure kann verschiedene Kristallformen aufweisen, wobei ihre Struktur stark von den Synthesebedingungen beeinflusst wird. Gängige Kristalltypen sind:

- **Monoklin** : Die häufigste kristalline Form. Die Elementarzelle enthält Ketten von $[\text{WO}_6]$ -Oktaedern, die durch Sauerstoffbrücken verbunden sind und eine zweidimensionale Struktur bilden.
- **Orthorhombisches System** : häufig bei schneller Ausfällung oder Kristallisation bei niedrigen Temperaturen;
- **Triklin oder amorph** : entsteht bei ungeordneten Niederschlägen oder schnell abkühlenden Systemen und tritt oft als kolloidales oder loses Pulver auf.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bei den Methoden der Kristallanalyse kommen üblicherweise folgende Verfahren zum Einsatz:

- Röntgenpulverbeugung (XRD): wird zur Bestimmung der Kristallform und der Gitterkonstante verwendet;
- Rasterelektronenmikroskop (REM): Beobachtung der Oberflächenmorphologie und des Kristallaggregationszustands;
- Elektronenrückstreuung (EBSD): Untersuchung der Anordnung und bevorzugten Ausrichtung von Körnern in Mikrobereichen.

2.2 Thermische Stabilität und Zersetzungsverhalten

Als hochvalente Metalloxydsäure weist Wolframsäure eine ausgezeichnete thermische Stabilität auf. In Luft oder in einer inerten Atmosphäre ist ihr thermisches Zersetzungsverhalten wie folgt:

- **<100° C** : Verlust von physikalisch adsorbiertem Wasser;
- **100–300 °C** : Hydratisierte Wolframsäure verliert allmählich Wasser und wird zu wasserfreiem H_2WO_4 oder $WO_3 \cdot xH_2O$;
- **300–450 °C** : Beginn der Kristallwasserentfernung, die Struktur schrumpft und WO_3 wird gebildet;
- **>600°C** : Stabile Umwandlung in gelbes Wolframtrioxid (WO_3), das den Vorläufer für die meisten nachgelagerten Anwendungen darstellt.

Häufig verwendete thermische Analysetechniken:

- Thermogravimetrische Analyse (TGA): überwacht Massenänderungen;
- Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC): Bestimmung des Phasenwechselpunkts sowie des endothermen und exothermen Verhaltens;
- Kombination aus FTIR und Raman: Bestimmen Sie den Transformationsprozess der Hydroxyl- und W–O- Bindung.

Fazit: Wolframsäure kann bei Raumtemperatur stabil existieren und weist einen klaren thermischen Zersetzungsprozess auf. Sie ist ein hochwertiger Vorläufer, der sich nach der Wärmebehandlung zur Herstellung funktioneller Oxide eignet.

2.3 Säure-, Alkalitäts- und Löslichkeitseigenschaften

Säure und Alkalität

- Wolframsäure ist in Wasser schwach sauer und hat einen niedrigen Ionisierungsgrad;
- Wolfram-Ionen (WO_4^{2-} , $W_{12}O_{42}^{10-}$ usw.) in Gegenwart einer starken Base;
- Bei einem pH-Wert < 1 fällt es als kolloidales Wolframat aus und liegt im pH-Bereich von 2–6 als polymerisiertes Wolframat vor.

Sein Säure-Base-Verhalten zeigt eine amphotere Tendenz und die Unterschiede im Verhalten bei unterschiedlichen pH-Werten sind wie folgt:

pH-Bereich	Existenz	Chemisches Verhalten
<1	Kolloidale Ausfällung	Kopräzipitation mit Metallionen
2–6	Metawolframat	Polymerbildung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

>8	WO ₄ ²⁻ Ionen	Löslich in Alkali
----	-------------------------------------	-------------------

Wolframsäure wird häufig verwendet, um die Form von Wolfram in Lösung anzupassen und ist repräsentativ für die Polysäuresynthese und Säure-Base-Puffersysteme.

Löslichkeit

- **Unlöslich in kaltem Wasser und Ethanol**, schwer löslich in heißem Wasser;
- **Löslich in alkalischen Lösungen**: wie Ammoniakwasser, NaOH usw., um stabiles Wolframat zu erzeugen;
- **In Flusssäure (HF) gelöst**: bildet flüchtigen Wolfram-Fluor-Komplex;
- In saurer Lösung ist es ein schwer löslicher gelber Niederschlag.

Seine Löslichkeitseigenschaften haben eine wichtige richtungsweisende Bedeutung für die Hydrometallurgie, Regeneration und Rückgewinnung sowie die Herstellung von Vorläuferlösungen.

2.4 Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften

Wolframsäure weist bei bestimmten Strukturen und Partikelgrößen mehrere wichtige optoelektronische Funktionseigenschaften auf, die die theoretische Grundlage für ihre Anwendung in den Bereichen Photokatalyse, Elektrochromie, Sensoren und optoelektronische Materialien bilden.

Optische Leistung

- Wolframsäure ist aufgrund von W⁶⁺ gelb → Ladungsübertragung von O²⁻;
- Die optische Bandlücke beträgt im Allgemeinen 2,6–2,8 eV, was auf einen Halbleiter mit großer Bandlücke hinweist.
- Nanowolframsäure oder dotierte Wolframsäure hat eine einstellbare Bandlücke, die für die Absorptionskatalyse von sichtbarem Licht geeignet ist;
- Unter ultraviolettem Licht kann es an Elektronenübergängen teilnehmen und freie Elektron-Loch-Paare erzeugen.

Elektrische Eigenschaften

- Die Wolframsäure in Massenform ist ein Isolator, kann aber nach der Dotierung (z. B. mit Cu, Ag) oder der Bildung einer nichtstöchiometrischen Struktur eine gewisse Leitfähigkeit aufweisen.
- Poröse Wolframatfilme zeigen elektrochrome Phänomene und eignen sich für intelligente Fenster und Displays.

Magnetische Eigenschaften

- Reine Wolframsäure ist nicht magnetisch;
- Nach der Dotierung mit Übergangsmetallelementen (wie Fe und Co) kann es eine schwache magnetische Reaktion zeigen und eignet sich für magnetisch reagierende Nanoträger.

2.5 Untersuchung von Isomeren und Polymorphen der Wolframsäure

Wolframsäure kann unter verschiedenen Bedingungen eine Vielzahl von Strukturisomeren und Polymeren bilden. Diese Formen unterscheiden sich erheblich in ihrer physikalischen Stabilität,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

katalytischen Aktivität und ihren Adsorptionseigenschaften.

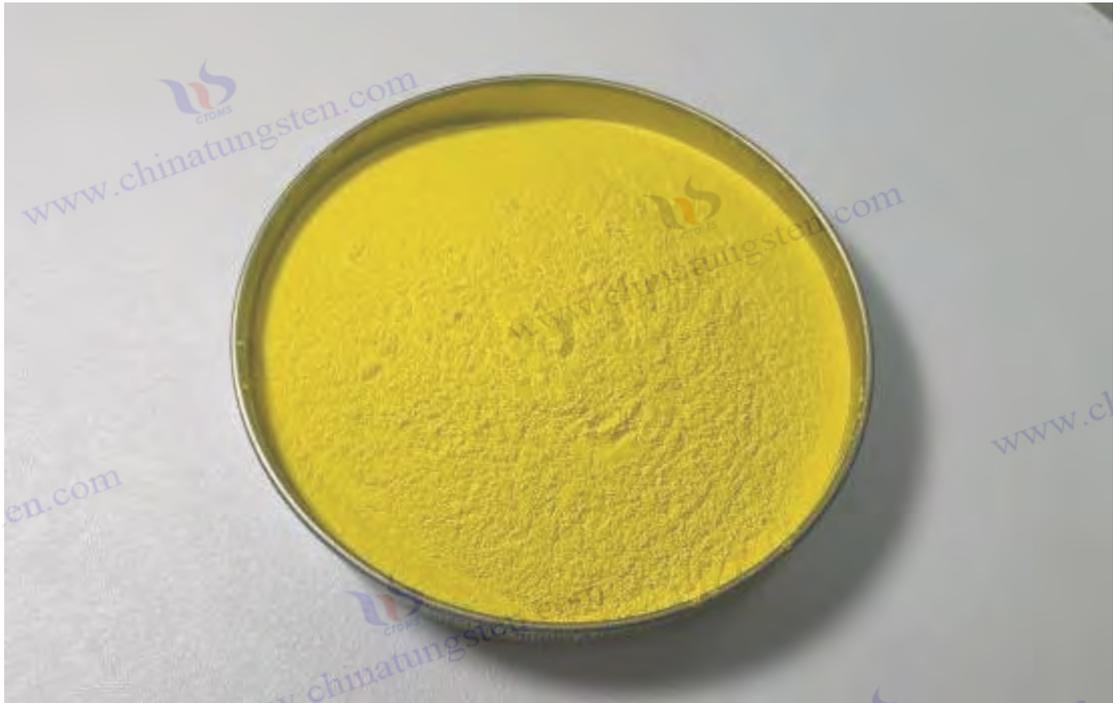
Häufige heterogene Typen

- **Monomer H_2WO_4** : einfache Struktur und hohe Aktivität;
- **$PolyH_6W_{12}O_{40}$** : Keggin - Typ **Polyanion** , verwendet in der Katalyse ;
- **Heteropolysäurewolframate** : wie Phosphorwolframsäure , Kieselwolframsäure usw., haben eine selektive Oxidationsfähigkeit.

Polymorphes Verhalten

- Bei unterschiedlichen Temperaturen können Polymorphe gebildet werden, wie etwa α - H_2WO_4 und β - H_2WO_4 ;
- Änderungen des Hydratisierungszustands beeinflussen den Kristallabstand und die thermische Zersetzungstemperatur.
- Systemen können lamellare und andere Strukturen induziert werden .

Die Regulierung der Kristallform ist eine der Kerntechnologien für die funktionelle Entwicklung von Wolframsäure, die einen erheblichen Einfluss auf ihre spätere katalytische Aktivität, Grenzflächenreaktivität und Filmbildungseigenschaften hat.



Kapitel 3 Herstellung von Wolframsäure

3.1 Herstellung von Wolframsäure aus APT

APT (Ammonium Parawolframat) ist eines der wichtigsten Zwischenprodukte in der Wolframproduktionskette und der am häufigsten verwendete Rohstoff für die industrielle Herstellung von Wolframsäure. Die in APT enthaltenen Metawolframat-Ionen lassen sich unter geeigneten sauren Bedingungen vollständig in Wolframsäuren umwandeln. Daher wird dieses Verfahren häufig in Laboren, der Industrie und bei der Herstellung von Vorstufen für hochreine Wolframprodukte eingesetzt.

1. Prozessprinzip

Die chemische Formel von APT lautet üblicherweise $(\text{NH}_4)_{10} [\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Es handelt sich um ein hochpolymerisiertes Ammoniumwolframsalz. Unter Einwirkung verdünnter Säuren (wie Salpetersäure und Salzsäure) setzt APT allmählich NH_4^+ -Ionen frei und dissoziiert als Polymer, wodurch Wolframatniederschlag entsteht. Die Grundreaktion läuft wie folgt ab:



- Diese Reaktion gehört zur Ionenaustauschfällungsreaktion;
- Der Prozess wird von der Bildung von Wolframatausfällungen, dem Aufbau einer Hydratstruktur und Kristallwachstum begleitet.

2. Hauptanforderungen an Rohstoffe und Ausrüstung

Rohstoffbedarf:

- APT-Pulver, Reinheit $\geq 99,95\%$, nach dem Trocknen verwendet;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Saure Lösung** , meist verdünnte Salpetersäure oder verdünnte Salzsäure (Konzentration 1–3 mol/L);
- **Deionisiertes Wasser** , kontrollieren Sie den Gehalt an Metallionenverunreinigungen unter 0,5 ppm.

Kernausrüstungskonfiguration:

Gerätename	Wirkung
Rührreaktor aus Edelstahl (säurebeständige Auskleidung)	Erzielen Sie eine gleichmäßige Mischung und Reaktion zwischen APT und Säure
Wasserbad- oder Mantel-Kontrollsystem mit konstanter Temperatur	Kontrolle der Reaktionstemperatur
Vakuumfilter oder Filteranlage	Trennung von gefällter Wolframsäure und Mutterlauge
Trockenofen (Luftgebläse/Vakuum)	Trockenes fertiges Wolframatpulver

Soll hochreine Wolframsäure hergestellt werden, sind zusätzlich eine Luftreinigungsanlage, eine Argonschutzanlage und eine Neutralreinigungsanlage erforderlich.

3. Prozessübersicht

Der typische APT-zu-Wolframat-Prozess läuft wie folgt ab:

1. **Säureherstellung : HNO_3 oder HCl auf die gewünschte Konzentration verdünnen**
und auf die eingestellte Temperatur (normalerweise 25–50 °C) vorkühlen oder erhitzen.
2. **APT-Zugabe und Rührreaktion:**
Geben Sie APT langsam zur Säurelösung hinzu, regeln Sie die Rührgeschwindigkeit (300–500 U/min) und lassen Sie die Reaktion 30–90 Minuten lang laufen. Halten Sie während dieser Zeit die Temperatur konstant und vermeiden Sie Agglomeration.
3. **Niederschlagsbildung und Alterung:**
Nachdem sich der erste Wolframsäureniederschlag gebildet hat, weiterrühren und 1–3 Stunden stehen lassen, um die Kristallreifung und Desaminierungsreaktion zu fördern.
4. **der Fest-Flüssig-Trennung**
werden Wolframsäureniederschlag und Mutterlauge mittels Vakuumfiltration oder Druckfiltration getrennt, die Restflüssigkeit kann zur Säureherstellung wiederverwendet werden.
5. **Waschen und Trocknen:**
Waschen Sie den Niederschlag 3–5 Mal mit deionisiertem Wasser (um Restverunreinigungen zu vermeiden) und trocknen Sie ihn dann bei 80–100 °C mit Luftgebläse oder im Vakuum.
6. **Verpackung und Analyse des fertigen Produkts:**
Wolframsäurepulver wird versiegelt und gelagert und es werden Qualitätstests wie Feuchtigkeitsgehalt, Reinheit, Partikelgrößenverteilung und XRD durchgeführt.

4. Kontrolle der wichtigsten Prozessparameter

Parameter	Empfohlener Wert	Kontrollzweck
-----------	------------------	---------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pH-Endpunkt	1,5–2,0	Gewährleistet die vollständige Ausfällung der Wolframsäure ohne Bildung von Heteropolysäuren
Temperatur	30–50 °C	Ausgleich von Auflösungsrate und Kristallqualität
Reaktionszeit	≥ 60 Minuten	Stellen Sie sicher, dass APT vollständig zersetzt und vollständig umgesetzt ist
Filtrationsrate	< 5 Minuten/100 ml	Verhindern Sie, dass Wolframatsol den Filter verstopft, und verbessern Sie die Betriebseffizienz
Leitfähigkeit der Waschlöslichkeit	< 20 µS /cm	Kontrolle der restlichen Verunreinigungen (Cl^- , NO_3^- , NH_4^+)

Hinweis: Wenn Sie mikrometergroßes, sphärisches Wolframatpulver herstellen müssen, können Sie während der Kristallisationsphase Tenside (wie PEG-400) hinzufügen, um die Regulierung der Partikelmorphologie zu unterstützen.

5. Typische Produkteigenschaften

Die erhaltenen Wolframsäureprodukte weisen im Allgemeinen die folgenden physikalischen und chemischen Indikatoren auf:

Natur	Parameterbereich
Aussehen	Gelbes oder hellgelbes Pulver
Wolframgehalt (gemessen in WO_3)	≥ 90 %
Sauerstoffgehalt	≥ 15,5 % (theoretischer Wert)
Partikelgröße D50	2–10 µm
Kristallform	Monoklin oder orthorhombisches H_2WO_4
Gesamtverunreinigungen	≤ 300 ppm (Industriequalität) ≤ 100 ppm (Elektronikqualität)

6. Vor- und Nachteileanalyse

Projekt	Vorteil	unzureichend
Prozessstabilität	Die Route ist ausgereift und wiederholbar	Langsame Reaktionskinetik
Rohstoffquelle	APT ist allgemein verfügbar	Beeinflusst durch den Preis der Wolfram-Rohstoffe
Produktkontrolle	Einfache Beschaffung von hochreinem H_2WO_4	Kristallform und Partikelgrößenkontrolle müssen optimiert werden
Umweltschutz	Milde Reaktionsbedingungen, keine Schwermetallbelastung	Stickstoffhaltiges Abwasser aus der Mutterlauge muss behandelt werden

VII. Anwendungsfälle und industrielle Praxis (CTIA GRUPPE)

Die CTIA GROUP verfügt über umfangreiche praktische Industrieerfahrungen auf dem Weg von APT zu Wolframsäure und hat drei Arten von Prozessplattformen für die Wolframsäureproduktion aufgebaut: Batch- Ebene, Testebene und Hochreinheitsebene:

- **Chargenproduktionslinie für Wolframsäure** : jährliche Produktionskapazität ≥ 200 Tonnen, unter Verwendung kontinuierlicher Reaktion + automatischer Filtration + Online-Erkennungssystem;
- **Labor zur Herstellung von Wolframsäure in elektronischer Qualität** : Ausgestattet mit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

einem ammoniakfreien System werden Produktverunreinigungen auf unter 50 ppm kontrolliert;

- **Maßgeschneidertes System** : Gezielte Steuerung der Partikelgröße ($D_{50} = 1-5 \mu m$), der spezifischen Oberfläche, der Dispersionsleistung usw. entsprechend den nachgelagerten Anforderungen.

Gleichzeitig stellt das Unternehmen REACH-konforme Sicherheitsdatenblätter und Ursprungszertifikate für Wolframsäure für den Exportmarkt bereit, um die internationalen Marktzugangsanforderungen zu erfüllen.

Das APT-Verfahren ist eines der zuverlässigsten und standardisiertesten Verfahren zur Herstellung von Wolframsäure. Es bietet die Vorteile einer einfachen Handhabung, einer schonenden Reaktion und eines stabilen Produkts. Es eignet sich für wissenschaftliche Forschungsexperimente, die Produktion hochreiner Wolframsalze und die industrielle Massenproduktion. Durch Optimierung und Kontrolle wichtiger Parameter wie Säurekonzentration, Temperatur, Reaktionszeit und Wascheffizienz können hochreine Wolframsäureprodukte mit kontrollierbarer Partikelgröße stabil gewonnen werden, was eine solide Grundlage für die anschließende Derivatisierung bildet.

3.2 Nassextraktion von Wolframsäure aus WO_3

Neben der APT-Methode kann Wolframtrioxid (WO_3) als weiteres stabiles und leicht verfügbares Zwischenprodukt auch durch nasse Säurehydrolyse in Wolframsäure umgewandelt werden. Diese Methode eignet sich insbesondere für das Abfallrecycling in Wolframmetallurgieprozessen, die Kreislaufwirtschaft von recycelten Wolframpulversystemen und die kundenspezifische Wolframsäureherstellung für Nicht-APT-Systeme. Sie zählt zu den flexiblen Prozessverfahren, die häufig in Laboren und der Kleinserienproduktion eingesetzt werden.

1. Prozessprinzip

Wolframtrioxid (WO_3) löst sich in sauren Medien nur schwer direkt auf, kann aber unter bestimmten Bedingungen (Erhitzen + Komplexbildung) mit starken Säuren oder Komplexbildnern reagieren und Metawolframat- Ionen bilden und beim Neutralisieren oder Abkühlen wieder zu Wolframsäure ausfallen.

Der grundlegende Reaktionsverlauf ist wie folgt:



Darüber hinaus können in speziellen Medien, die HF, NH_4^+ , Zitronensäure usw. enthalten, verschiedene Wolframatkomplexionen erzeugt werden, die nach der Anpassung des Reaktionssystems in gefälltes Wolframat freigesetzt werden.

2. Rohstoffanforderungen und geltende Bedingungen

Rohstoff	Erfordern
Wolframtrioxid (WO_3)	Pulver, Reinheit $\geq 99,9\%$, Partikelgröße $< 50 \mu m$
Säurelösung	HNO_3 , HCl oder H_2SO_4 (Konzentration 1–2 mol/l)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Komplexbildner-Hilfsmittel (optional)	NH ₄ Cl , Zitronensäure, Essigsäure usw. werden zur Anpassung der Reaktionskinetik verwendet
Andere Zusatzstoffe	Tenside oder Dispergiermittel (wie Tween-20, PEG)

3. Prozess

1. WO₃-Vorbehandlung: Trocknen Sie

das WO₃-Pulver 2 Stunden lang bei 80 °C, um physikalisch adsorbiertes Wasser zu entfernen. Handelt es sich um recyceltes Material, muss es mit Säure gewaschen werden, um Verunreinigungen zu entfernen.

2. Säureauflösungsbehandlung:

Geben Sie eine auf 60–90 °C vorgewärmte Säurelösung in den Reaktor, fügen Sie langsam WO₃ hinzu und lassen Sie es 30–60 Minuten lang unter Rühren reagieren, um eine stabile gelbe Dispersion oder ein Wolframatkolloid zu bilden.

3. Passen Sie den pH-Wert an, um eine Ausfällung herbeizuführen.

Geben Sie dem System langsam Ammoniak oder eine alkalische Lösung (wie etwa NaOH) hinzu, bis ein pH-Wert von etwa 2–3 erreicht ist, um die Polymerisation zu fördern und Wolframsäure auszufällen.

4. Reifung und Kristallisation

: Lassen Sie die Mischung 1–2 Stunden stehen oder rühren Sie bei niedriger Geschwindigkeit, um das Kristallwachstum und die Migration von Verunreinigungen in die Mutterlauge zu fördern.

5. Filtration und Waschen: Der Niederschlag wurde mithilfe eines mikroporösen Filtrationsgeräts gesammelt und 3–4 Mal mit warmem Wasser gewaschen, bis die Leitfähigkeit <20

µS/cm betrug.

6. Trocknen und Zerkleinern:

Nach dem Trocknen bei 80–100 °C für 12 Stunden wird es leicht zerkleinert, um das gelbe Wolframsäureprodukt zu erhalten.

4. Wichtige Prozesskontrollparameter

Parameter	Kontrollumfang	veranschaulichen
Säurekonzentration	1–2 mol/L (HNO ₃ / HCl)	Verhindern Sie, dass sich WO ₃ -Kolloid wieder auflöst
Temperatur	60–90 °C	Verbessern Sie Reaktionsgeschwindigkeit und Umwandlungseffizienz
pH-Anpassungsrate	≤0,5/min	Vermeiden Sie eine zu schnelle Alkalisierung, da dies zu Agglomeration und Ausfällung führen kann.
Reaktionszeit	30–60 Minuten (+ Reifung 1–2 Stunden)	Sorgen Sie für eine vollständige Reaktion und eine stabile Kristallstruktur
Rührgeschwindigkeit	200–400 U/min	Die Pulversuspension ist ausreichend, Wirbel werden jedoch vermieden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

V. Produktleistung und Anwendbarkeit

Mit diesem Verfahren kann Wolframsäure mit folgenden Eigenschaften erzeugt werden:

Projekt	Leistungsindikatoren
Aussehen	Hellgelb-gelbes mikrokristallines Pulver
Kristallform	Meist monoklines/orthorhombisches hydratisiertes Wolframat
Verunreinigungen (Fe, Si, Al)	≤200 ppm (kann durch Beizen kontrolliert werden)
Partikelgröße	D50 ≈ 1–5 μm
Spezifische Oberfläche	8–15 m ² /g (BET)

6. Vergleich der Verfahrensvorteile und -nachteile

Projekt	Vorteile	unzureichend
Verfügbarkeit von Rohstoffen	WO ₃ kommt häufig in metallurgischen Nebenprodukten vor	Recycelte Materialien müssen vorbehandelt werden, um Verunreinigungen zu entfernen
Prozessausrüstung	Keine spezielle Ausrüstung erforderlich, geeignet für die Produktion kleiner Chargen	Schwierig, kontinuierlich zu kontrollieren
Produktkontrolle	Die Partikelgröße und Kristallform können durch Steuerung des Niederschlagsprozesses eingestellt werden	Die Kontrolle von Verunreinigungen ist etwas schwieriger als bei der APT-Methode
Wirtschaftlich	Geeignet für die kostengünstige Umwandlung von Wolframpulver	Der Säureverbrauch und die Abwasserbehandlungsbelastung sind hoch

Das Nassverfahren zur Herstellung von Wolframsäure aus Wolframtrioxid hat sich aufgrund seiner Flexibilität, Ressourcenanpassung und Versuchsfreundlichkeit zu einer wichtigen Ergänzung des APT-Verfahrens entwickelt. Dieses Verfahren eignet sich insbesondere für die Nutzung von Recyclingmaterialien, nicht-APT-Rohstoffrouten und die kostengünstige Herstellung von Vorläufern für die Synthese von Funktionsmaterialien und bietet eine zuverlässige Lösung für eine umweltfreundliche Fertigung und eine verfeinerte Kontrolle.

3.3 Herstellungstechnologie von Nanowolframsäure (Sol-Gel, Hydrothermal, Mikroemulsion usw.)

photoelektrokatalytischen Leistung zu einem Forschungsschwerpunkt in Spitzentechnologien wie neuen Energien, Elektronik, Photokatalyse und Biomaterialien geworden .

Zur Herstellung hochleistungsfähiger Nanowolframsäure haben Forscher und Industrie eine Reihe nasschemischer Verfahren entwickelt, darunter Sol-Gel-Verfahren, Hydrothermalverfahren, Mikroemulsionsverfahren, Template-Verfahren, Ionenaustauschverfahren usw. Dieser Abschnitt konzentriert sich auf drei repräsentative Verfahren und untersucht deren Anwendbarkeit und Skalierungspotenzial.

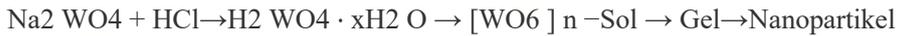
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Sol-Gel-Verfahren

Verfahrensprinzip

Das Sol-Gel-Verfahren ist ein Verfahren zur Bildung eines stabilen kolloidalen Sols durch Bildung eines Wolframat-Vorläufers in einer Lösung und anschließender Bildung von Nanopartikeln durch Alterung, Trocknung und Wärmebehandlung. Wolframsäure wird häufig als Vorläufer verwendet, um eine dreidimensionale Netzwerkstruktur zu bilden.

Der typische Reaktionsverlauf ist:



Prozessschritte

1. **Vorbereitung des Vorläufers** : Lösen Sie Natriumwolframat oder Ammoniumwolframat in deionisiertem Wasser und stellen Sie den pH-Wert auf 1–2 ein.
2. **Solbildung** : Induzieren Sie die Bildung eines Wolframatkolloids durch langsame Zugabe einer verdünnten Säure (z. B. HCl) .
3. **Alterung und Gelumwandlung** : Ein stabiles Gel bildet sich, wenn man es mehrere Stunden bis mehrere Tage bei Raumtemperatur stehen lässt;
4. **Trocknen** : Trocknen bei niedriger Temperatur (40–80 °C), um freies Wasser zu entfernen;
5. **Wärmebehandlung und Kristallisation** : Um kristalline oder quasikristalline Nanowolframsäure zu erhalten, wird eine milde Wärmebehandlung bei 200–400 °C durchgeführt.

Funktionen und Anwendungen

Merkmale	beschreiben
Partikelgrößenkontrolle	10–100 nm abstimbar
Spezifische Oberfläche	Bis zu 60–120 m ² /g
Fehlerkontrolle	Geeignet zur Sauerstoffleerstellenregulierung und verbesserten photokatalytischen Leistung
Limit	Der Trocknungsprozess neigt zum Schrumpfen und die Partikelagglomeration muss optimiert werden
Typische Anwendungen	Photokatalysatoren, elektrochrome Filme, Dünnschichtbeschichtungen usw.

2. Hydrothermale Methode

Verfahrensprinzip

Das Verfahren der hydrothermalen Synthese nutzt die besondere Löslichkeit und Reaktivität von Wasser unter Hochtemperatur- und Hochdruckbedingungen, um Nanowolframatpulver mit guter Kristallisation und kontrollierbarer Morphologie in einem geschlossenen Reaktor zu synthetisieren. Das grundlegende Reaktionsgerüst ist wie folgt:



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Betriebsablauf

1. **Lösungsvorbereitung** : Bereiten Sie eine Ammoniummetawolframatlösung einer bestimmten Konzentration vor und geben Sie eine kleine Menge Säure hinzu, um den pH-Wert auf 1–3 einzustellen .
2. **Hinzufügen von Zusatzstoffen** : wie Polyvinylpyrrolidon (PVP), Zitronensäure und anderen morphologiebestimmenden Mitteln;
3. **Hochdruckreaktion** : In einen mit Teflon ausgekleideten Reaktor geben, die Temperatur auf 120–200 °C einstellen und 6–24 Stunden reagieren lassen ;
4. **Probenahme durch Kühlen** : Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur filtrieren, mit Wasser waschen und trocknen;
5. **Nachbehandlung** : Milde **Kalzinierung** oder Oberflächenmodifizierung nach Bedarf.

Funktionen und Anwendbarkeit

Parameter	Umfang
Partikelgröße	20–80 nm
Morphologie	Stange, Blech, Kugel verstellbar
Kristallform	Orthogonales/monoklines H ₂ WO ₄
Ertrag	>90 % (Industrietestqualität)

Hervorragend steuerbare Morphologie: einstellbare Temperatur, Reaktionszeit und Additive zur Feinsteuerung des Kristallwachstums;

Kristallisationsgrad : geeignet für optoelektronische Funktionsmaterialien mit hohen Anforderungen;

Es ist moderat skalierbar und für Pilotanlagen geeignet.

3. Mikroemulsionsmethode

Verfahrensprinzip

Räumliche Kontrolle der Keimbildung und des Wachstums von Wolframat durch die Konstruktion eines Nanoreaktionshohlraums mit stabiler Öl-Wasser-Grenzfläche. Es eignet sich zur Herstellung von Wolframat-Nanopartikeln mit ultrakleiner Partikelgröße und hoher Dispersion.

Als Reaktionsmedium dient in der Regel ein Dreiphasensystem Wasser/Öl/Tensid, beispielsweise:

- Ölphase: n-Hexan, Cyclohexan;
- Wasserphase: wässrige Wolframatlösung;
- Tenside: CTAB, Span-80, Tween-60 usw.

Im W/O-System (invers) ist die Bildung von Wolframsäure auf das Innere der Mikroemulsionströpfchen beschränkt, wodurch eine präzise Kontrolle der Partikelgröße erreicht wird.

Syntheseschritte

1. Bereiten Sie eine wässrige Wolframatphase vor (z. B. eine Na₂ WO₄- Lösung) .
2. Aufbau eines W/O-Umkehrmikroemulsionssystems;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. die Säurephase (HCl-Mikroemulsion) zu einem anderen Mikroemulsionströpfchen ;
4. Gleichmäßig umrühren und mehrere Stunden reagieren lassen;
5. Wolframsäure-Nanopartikel wurden durch Demulgierung, Extraktion und Waschen gewonnen;
6. Bei Bedarf trocknen und verteilen.

Vorteile und Einschränkungen

Projekt	veranschaulichen
Vorteil	Einheitliche Partikelgröße (5–20 nm), hohe Dispergierbarkeit und feine Morphologiekontrolle
Mangel	Tensidrückstände sind schwer vollständig zu entfernen; Skalierung ist schwierig; hohe Kosten
Anwendung	Ultrafeiner Katalysatorträger, Wolframsäure-Zwischenprodukt in Elektronikqualität, transparente Leitpaste

4. Vergleich der Kontrollmechanismen für Partikelgröße und Morphologie

Technologie	Methode zur Partikelgrößenkontrolle	Kristallmorphologie	Vergrößerung
Sol-Gel-Verfahren	Hydrolyserate, pH-Wert, Alterungszeit	Kugelförmige/Gel-Cluster	Medium
Hydrothermale Methode	Temperatur, Zeit, Art der Zusatzstoffe	Flocke/Stab/Kugelförmig	Gut
Mikroemulsionsmethode	Partikelgröße und Grenzflächenstabilität von Mikroemulsionen	Nahezu kugelförmige, amorphe Nanopartikel	Höherer Schwierigkeitsgrad

5. Funktionalisierungsrichtung und Modifikationstechnologie

Um die Anwendungsleistung von Nanowolframsäure weiter zu verbessern, werden üblicherweise folgende Modifizierungstechnologien kombiniert:

- **Dotierungsmodifikation** : Einführung von Cu, Ag, Zn, Fe und anderen Ionen zur Verbesserung der Leitfähigkeit und der photokatalytischen Reaktion ;
- **Oberflächenbeschichtung** : Beschichtung mit SiO₂ , TiO₂ und Polymer , um Grenzflächenstabilität und verbesserte Dispersion zu erreichen;
- **Heterostrukturaufbau** : Konstruieren Sie eine photokatalytische Heteroverbindung vom Z-Typ mit gC₃N₄ , MoS₂ usw.
- **Integration von Verbundwerkstoffen** : Bildung eines leitfähigen Skeletts mit Kohlenstoffmaterialien, Graphen usw., geeignet für Superkondensatorelektroden.

VI. Typisches Industriebeispiel: Entwicklung von Nanowolframsäure durch die CTIA GROUP

CTIA GROUP hat erfolgreich Nano-Wolframsäureprodukte entwickelt, die für die Photokatalyse, selbstreinigende Beschichtungen, elektrochromes Glas und andere Bereiche geeignet sind, indem es eine Drei-in-Eins-Plattform aus hochreinen Wolframsäurevorläufern + steuerbarer Kristallisation

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

+ Oberflächenregulierung etabliert hat:

- Die Partikelgröße wurde mithilfe einer kombinierten Hydrothermal-Nachbehandlung auf 20–40 nm kontrolliert.
- Entwicklung von Wolframsäure/PVP-Hybridmaterialien für leitfähige Filme;
- Etablieren Sie ein kontinuierliches hydrothermales Reaktionssystem, um eine stabile Versorgung mit Kilogramm zu erreichen.
- Nanowolframsäureprodukte wurden an Forschungsinstitute und Universitäten in Deutschland, Japan, Südostasien und anderen Orten exportiert.

VII. Zusammenfassung

Die Herstellungstechnologien für Nanowolframsäure sind vielfältig und die Mechanismen komplex. Durch präzise Kontrolle der Prozessparameter lässt sich jedoch eine mehrdimensionale Optimierung von Partikelgröße, spezifischer Oberfläche, Kristallform und Funktionsleistung erreichen. Sol-Gel-Verfahren, Hydrothermalverfahren und Mikroemulsionsverfahren bieten jeweils ihre Vorteile und eignen sich für unterschiedliche Entwicklungsphasen von der experimentellen Forschung bis zur Pilotentwicklung. Mit der rasanten Entwicklung kohlenstoffarmer Fertigungsverfahren und funktioneller Pulver wird Nanowolframsäure zu einem der unverzichtbaren funktionalen Kernmaterialien im neuen Materialsystem.

3.4 Analyse des Standardherstellungsprozesses von Wolframsäure durch die CTIA GROUP

Unternehmen für anorganische Chemikalien und funktionelle Pulvermaterialien auf Wolframbasis und konzentriert sich seit langem auf die systematische Forschung und Entwicklung sowie die großtechnische Produktion von Wolframsäure und ihren Derivaten. Durch Technologieakkumulation und Ingenieurpraxis hat das Unternehmen ein komplettes Set stabiler, umweltfreundlicher und effizienter Standardherstellungsverfahren für Wolframsäure entwickelt, die APT, WO_3 , die Regeneration von Wolframzwischenprodukten und andere Rohstoffpfade abdecken und breite Anwendung in optischen Materialien, Wolframsalzzwischenprodukten, Funktionskeramik, elektronischen Pasten und anderen Bereichen finden.

In diesem Abschnitt wird das Kernprozesssystem der CTIA GROUP als Beispiel verwendet, um dessen Standardvorbereitungsprozess, wichtige Kontrollknoten, Qualitätsmanagementsystem und Ergebnisse aus der industriellen Praxis detailliert zu erläutern.

1. Überblick über das Prozesssystem

Das Wolframsäure-Produktionssystem der CTIA GROUP kann in drei Arten von Herstellungswegen unterteilt werden:

Prozessroute	Rohstoffquelle	Anwendung
Route A	APT-Säurehydrolyse	Hochreine Wolframsäure, Rohstoffe in Elektronikqualität

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Route B	WO ₃ -Nassumwandlungsverfahren	Recyclingmaterialnutzung, Wolframatzwischenprodukte
Route C	Nano-Wolframsäure-Synthesemethode	Photokatalytische, elektrochrome, elektronische Funktionsfilmmaterialien

Die drei Routen ergänzen sich gegenseitig und bilden zusammen ein integriertes Produktionsmodell aus „Standard + flexibel + kundenspezifisch“ mit umfassender Anpassungsfähigkeit und kundenspezifischen Liefermöglichkeiten.

2. APT-Standardverfahren für die Säurehydrolyse

Anwendbar auf hochreine Wolframsäure und Wolframsäure-Massenprodukte für allgemeine Zwecke

Hauptprozessschritte:

1. **Rohstoffvorbehandlung**
 - APT-Screening, Feuchtigkeitsbestimmung;
 - Erkennung von Verunreinigungen (Fe, Si, Mo, P);
2. **Säurehydrolysereaktion**
 - Reaktionsparameter: HNO₃-Konzentration 1,5 mol/L, Temperatur geregelt bei 30–40 °C;
 - Dauerrührzeit: 60–90 min;
 - Rührgeschwindigkeit: 350–450 U/min;
3. **Sedimentation und Alterung**
 - Der pH-Wert des Systems wurde auf 1,8–2,0 eingestellt;
 - Alterungszeit ≥ 2 Stunden, um das Mitführen von Verunreinigungen zu verhindern;
 - Kristallisationskontrolle : dynamische Temperaturkontrolle + molekulare Integrationszusätze (Patentnummer wurde angemeldet);
4. **Filtration und Waschen**
 - Mehrstufige Filtration;
 - 3–5 Mal waschen, Endpunktleitfähigkeit ≤15 μS /cm;
 - Das Wasserwiederverwendungssystem ist mit der Mutterlaugensäure-Regenerationsstation kombiniert;
5. **Trocknen und Zerkleinern**
 - Vakuum- und Luftstrahl-trocknung (80 °C, 16 Stunden);
 - Sanftes Luftstrommahlverfahren zur Gewährleistung der Fließfähigkeit;
 - Die Partikelgröße D50 des fertigen Produkts wird auf 3–6 μm kontrolliert und die Sphärizität beträgt >0,9;
6. **Verpackung und Probenahme**
 - Hochversiegelte PE-Beutelverpackung + Argon-versiegeltes Edelstahlfass;
 - Aus jeder Charge werden zufällig drei Flaschen entnommen, um sie auf physikalische und chemische Eigenschaften zu testen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Standardprozess der WO₃-Umwandlungsrout

Anwendbar auf die Rückgewinnung von regeneriertem Wolframpulver und die Herstellung von industriellen Zwischenprodukten

1. **Klassifizierung und Siebung von WO₃-Pulver** ;
2. **Säurelösungsreaktionen** (HCl oder HNO₃, T = 70–85°C);
3. ** Passen Sie den pH-Wert an, um Wolframsäure auszufällen (pH = 2–3);
4. **Alterung + geschlossene Kristallisationskontrolltechnologie (Originalmodul);
5. ** Filtration, Reinigung und Trocknung;
6. **Erkennung von Partikelgröße, Restchlor, Wolframgehalt und pH-Stabilität;

Hinweis: Das Unternehmen verwendet das Wolfram-Rückgewinnungssystem zum Recycling von WO₃-Schlackenpulver mit einem jährlichen Umwandlungsvolumen von bis zu 120 Tonnen, wodurch die Ressourcennutzung und die Umweltvorteile deutlich verbessert werden.

4. Nano-Wolframsäure-Prozesssystem

Anwendbar auf hochwertige Funktionsmaterialien (wie intelligente Fensterfolien, selbstreinigende Keramik)

- Kerntechnologie: Niedertemperatur-Hydrothermal + Tensid-Synergismuskontrolle + Kristallregulierungszusätze;
- Verwenden Sie mehrdimensionale Additive, um den Kristallisationspfad zu steuern (PEG-400, PVP usw.);
- Partikelgrößenkontrolle: D50 20–50 nm, spezifische Oberfläche 80–110 m²/g;
- Kristallform: regelmäßige Flocken oder kugelförmige Partikel;
- Kompatibel mit nachfolgenden Beschichtungs-, Compoundierungs- und Ladeprozessen;
- Um die Sauberkeitsanforderungen optoelektronischer Materialien zu erfüllen, wird ein geschlossenes, staubfreies Reaktionsgerät verwendet.

5. Qualitätskontrollsystem

Die CTIA GROUP implementiert ein System zur Rückverfolgbarkeit der gesamten Prozesse und legt dabei wichtige Qualitätskontrollknoten fest, von der Lagerung der Rohstoffe bis zur Auslieferung der fertigen Produkte:

Prüflinge	Prozessphase	Erkennungsfrequenz	Ausrüstung
Verunreinigungsanalyse (ICP-MS)	Rohstoffe/Zwischenprodukte	Jede Charge	Agilent 7900
Partikelgrößenverteilung	Fertiges Produkt	Jede Charge	Laser-Partikelgrößenanalysator (Malvern)
Kristallstruktur	Tägliche Probenahme	XRD	Bruker D8
Feuchtigkeitsgehalt/Kristallwasser	Fertiges Produkt	Jede Charge	TGA-Q500

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fließfähigkeit und Schüttdichte	Technische Verifizierung	3 Tage/Uhrzeit	Hall-Durchflussmesser
--	--------------------------	----------------	-----------------------

Das Qualitätsmanagementsystem umfasst ISO 9001:2015 und die Produkte entsprechen den EU-Richtlinien RoHS/REACH. Zudem wurde ein elektronisches Materialdatenkennzeichnungssystem (e-MSDS-Archiv) eingerichtet.

VI. Produktionskapazität und Marktunterstützung

- **Produktionslinienmaßstab** : 4 Reaktionslinien + 2 Trocknungs-/Strahlmahl-/Verpackungslinien ;
- **Geplante Kapazität** : Jährliche Produktion von Wolframsäureprodukten: 500 Tonnen (einschließlich hochreiner, funktioneller und zusammengesetzter Typen);
- **Lieferkapazität** : Mindestbestellmenge 1 kg, maximale monatliche Lieferkapazität 40 Tonnen , mit kundenspezifischen Produktionsmöglichkeiten;
- **Exportsituation** : Produkte werden in 15 Länder und Regionen exportiert , darunter Deutschland, Indien, Japan, Malaysia, Südkorea usw.
- **Datenrückverfolgbarkeit** : Jede Produktcharge wird von einem unabhängigen Testbericht, einer Nummer, einer Zertifizierungsnummer und Informationen zur Rückverfolgbarkeit der Inhaltsstoffe begleitet .

VII. Zusammenfassung der Merkmale und Vorteile

Vorteile	Spezifische Manifestationen
Kontrolle der Rohstoffquellen	Eigenes APT- und WO ₃ -unterstützendes Rohstoffsystem zur Gewährleistung einer stabilen Versorgung
Prozessstandardisierung	Vollständige Parameterverfestigung + intelligente Instrumentenrückkopplungssteuerung
Kundenanpassungsfähigkeit	Der gesamte Prozess inklusive Partikelgröße, Kristallform, Beschichtung, Oberflächenmodifizierung etc. ist einstellbar
Hohe Compliance	Besitz von MSDS, REACH, RoHS, ISO9001 und anderen Zertifizierungssystemen
Umweltverträglichkeit	Durch die Wiederverwendung von recyceltem Wasser, die Rückgewinnung von Säureabfällen und die Behandlung von Stickstoffquellen wird ein grüner, geschlossener Kreislauf erreicht.

8. Zusammenfassung

Die CTIA GROUP steht für ein fortschrittliches Prozesssystem, bei dem technische Daten im Mittelpunkt stehen, die Produktkonsistenz im Mittelpunkt steht und die Kundenvielfalt im Mittelpunkt steht. Durch den Aufbau einer hochreinen, effizienten, flexiblen und umweltfreundlichen Produktionsplattform für Wolframsäure deckt das Unternehmen nicht nur die Nachfrage nach funktionalen Wolframmaterialien auf den in- und ausländischen High-End-Märkten, sondern bietet auch stabile Unterstützung für die hochwertige Nutzung und nachhaltige Entwicklung der Wolframressourcen .

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

1


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



Kapitel 4: Charakterisierungstechnologie und Nachweismethoden von Wolframsäure

4.1 XRD-Kristallform- und Kristallebenenanalyse

Röntgenbeugung (XRD) ist eine Kerntechnologie zur Analyse der Kristallstruktur und Phasenzusammensetzung von Materialien. In der Forschung und industriellen Herstellung von Wolframsäurematerialien wird XRD nicht nur zur Bestimmung der Kristallform (z. B. monoklin, orthorhombisch, polymorph usw.) eingesetzt, sondern kann auch zur Analyse des Transformationsverhaltens von Wolframsäure unter verschiedenen Bedingungen, der Kristallwachstumsrichtung und der Dotierung mit Verunreinigungen beitragen.

Da die Struktur der Wolframsäure eng mit ihren physikochemischen Eigenschaften zusammenhängt, ist die Kristallanalyse ein entscheidender Schritt bei der Kontrolle der Produktqualität, der Prozessregulierung und der Optimierung der Leistung nachgelagerter Anwendungen.

1. Überblick über die technischen Grundlagen

Das Grundprinzip der XRD basiert auf dem Bragg'schen Gesetz:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

In:

- n ist die Beugungsordnung;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- λ (lambda) ist die Wellenlänge der einfallenden Röntgenstrahlung (normalerweise 1,5406 Å, Cu K α);
- d ist der Interplanarabstand;
- θ (theta) ist der Einfallswinkel/Beugungswinkel.

Wenn eine Kristallprobe mit Röntgenstrahlen bestrahlt wird, werden verschiedene Kristallebenen unter bestimmten Winkeln reflektiert und bilden Beugungspeaks. Durch die Aufzeichnung der Beziehung zwischen Intensität und Winkel lässt sich ein Beugungsmuster erstellen, das den Kristalltyp und die Kristallorientierung bestimmt.

2. Typische Kristallformen und XRD-Eigenschaften von Wolframsäure

Wolframsäure kann unter verschiedenen Herstellungsverfahren und Wärmebehandlungsbedingungen die folgenden Hauptkristallformen bilden:

Kristallform	Kristallsystem	Häufige Erkrankungen	XRD-charakteristische Peakposition (2 θ , Cu K α)
Orthorhombisch	α - H ₂ WO ₄	APT-Säurehydrolyse Niedertemperaturfällung	18,3°, 23,4°, 28,6°, 34,1°
Monoklin	β - H ₂ WO ₄	Hitzegetrocknetes Produkt	22,8°, 24,2°, 29,7°, 36,3°
Amorph	-	Schnelle Niederschlagsbildung/Abkühlung	Es gibt keinen offensichtlichen scharfen Peak im XRD-Spektrum, nur ein breites diffuses Band
Metastabile polykristalline	Nicht standardmäßige Struktur	Nanosyntheseweg	Es treten niedrige Intensitäten und breite Peaks auf, die mit dem Standardspektrum verglichen werden müssen

Hinweis : Die unterschiedliche Anzahl von Wassermolekülen im Wolframhydrat führt auch zu leichten Änderungen in der Kristallstruktur und einer leichten Verschiebung der XRD-Spitzenposition.

3. Probenvorbereitungsmethode

Hochwertige XRD-Daten hängen von einer guten Probenvorbereitung ab. Die Probenvorbereitung von Wolframsäure erfordert besondere Sorgfalt, um Kristalltransformationen und Probenagglomerationen zu verhindern.

Hier sind die Schritte:

1. **Trocknen** : Trocknen Sie die Wolframsäureprobe 6–12 Stunden lang bei 60–80 °C, um freies Wasser zu entfernen.
2. **Mahlen** : In einem Achatmörser leicht mahlen, um die Partikelgröße auf 1–5 μ m zu begrenzen ;
3. **Ausbringen** : Nehmen Sie ca. 50 mg Pulver und drücken Sie es gleichmäßig in den Probenbehälter. Die Oberfläche sollte möglichst glatt und ohne Löcher sein.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Kontrollierte Umgebung** : Bei der Analyse hydratisierter Strukturen wird empfohlen, schnell unter feuchtigkeitskontrollierten Bedingungen zu messen, um strukturelle Veränderungen zu vermeiden.
- Weitere Anforderungen** : Stellen Sie sicher, dass die Probe keine magnetischen oder leitfähigen Verunreinigungen oder Oberflächenoxidationen aufweist.

4. Geräteparametereinstellungen und Scanstrategien

Parameter	Empfohlener Wert	veranschaulichen
Röntgenquelle	Cu K α ($\lambda = 1,5406$ Å)	Gängige Wellenlängen
Scanbereich	$2\theta = 5^{\circ}-80^{\circ}$	Abdeckung des Hauptgipfelbereichs
Schrittlänge	$0,02^{\circ}$	Geschwindigkeit und Auflösung im Gleichgewicht
Scangeschwindigkeit	$1-2^{\circ}/\text{min}$	Halten Sie die Peakform intakt
Betriebsspannung/-strom	40 kV / 30 mA	Standardanalysemodus
Modell	$\theta-2\theta$ -Scan	Halten Sie die Probenoberfläche normal und das einfallende Licht fixiert

Wenn Sie an der bevorzugten Orientierung der Kristallebene interessiert sind, können Sie zusätzlich Polfiguren oder die Rietveld-Analyse verwenden, um quantitative Informationen zu erhalten.

V. Ergebnisanalyse und typische Fälle

Fall 1: Vorbereitung einer Wolframsäureprobe durch APT-Säurehydrolyse

- Beispielprozess: $\text{APT} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4$ (Niederschlag bei niedriger Temperatur)
- Das XRD-Spektrum zeigt charakteristische Peaks bei $18,3^{\circ}$, $23,4^{\circ}$ und $28,6^{\circ}$, die orthorhombischem H_2WO_4 entsprechen ;
- Die Peakform ist scharf, es gibt keine Verunreinigungspeaks und die Kristallform ist rein, was darauf hinweist, dass die Reaktion abgeschlossen ist und das Kristallwachstum ausreichend ist;
- Vergleichbar mit JCPDS-Karte Nr. 08-0450.

Fall 2: Herstellung einer Wolframsäureprobe durch Umwandlung von WO_3

- Prozessbedingungen: WO_3 -Nasssäurehydrolyse + Alterung und Trocknung
- Es gibt drei Peaks bei $22,8^{\circ}$, $24,2^{\circ}$ und $29,7^{\circ}$ im Spektrum, bei denen davon ausgegangen wird, dass es sich um monoklines H_2WO_4 handelt .
- Begleitet von einem schwachen Peak bei $22,1^{\circ}$ können unvollständig umgewandelte WO_3 -Rückstände vorhanden sein.

Fall 3: Nano-Wolframsäureprobe

- Hergestellt durch hydrothermale Methode;
- Die Peakposition verbreitert sich deutlich und die Hauptpeakintensität nimmt ab;
- Die Korngröße wurde (Scherrer-Formel) auf etwa 15–25 nm berechnet;
- Fazit: Es handelt sich um Nano- H_2WO_4 im quasikristallinen Zustand. Die Kristallform bleibt erhalten, der Größeneffekt ist jedoch deutlich.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VI. Industrielle Anwendung und Qualitätsbeurteilungsstandards

CTIA GROUP verwendet XRD als einen der wichtigsten Qualitätskontrollindikatoren für Wolframsäureprodukte, hauptsächlich um Folgendes zu beurteilen:

- **Kristallreinheit** : Bestimmen Sie, ob es sich **um** die Zielkristallform handelt (z. B. orthorhombisch/monoklin);
- **Kristallkonsistenz** : Vergleichen Sie die Spitzenposition und Intensität verschiedener Chargen .
- **Relative Kristallinität** : Analysieren Sie die Kristallqualität des Pulvers anhand der Hauptpeakfläche.
- **Erkennung von Verunreinigungen** : Erkennung von APT, WO_3 oder nicht zielgerichteten Kristallverunreinigungen;
- **Schätzung der Partikelgröße** : Bei Wolframsäureprodukten in Nanogröße muss zur Berechnung der Partikelgröße die Scherrer-Formel verwendet werden.

Gemäß Industriestandards beträgt die Kristallreinheitsanforderung $\geq 95\%$, die Spitzenpositionsverschiebung beträgt $\leq \pm 0,2^\circ$ und es ist keine sekundäre Kristallphase als qualifizierte Produkthanforderung vorhanden.

4.2 FTIR- und Raman-Spektroskopie-Studien

Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie (FTIR) und Raman-Spektroskopie (Raman) sind zwei sich ergänzende molekulare Schwingungsspektroskopietechniken, die häufig zur Analyse chemischer Bindungseigenschaften, Existenzformen funktioneller Gruppen, Molekülsymmetrie und Kristallstruktur in anorganischen Materialien eingesetzt werden. Bei Wolframsäure (H_2WO_4) und ihren Derivaten können diese beiden Spektrotechniken nicht nur die grundlegenden W–O-Bindungen, W=O-Doppelbindungen und Schwingungsmodi von Struktureinheiten aufdecken, sondern auch der Hydratationszustand, der Polymerisationsgrad und die Dotierungswirkung bestimmen.

In diesem Abschnitt werden die tatsächlichen Probenspektren kombiniert, um die Betriebsmethoden, typischen Eigenschaften und die technische Bedeutung von FTIR und Raman in der Wolframsäureforschung näher zu erläutern.

1. Grundprinzipien

FTIR-Prinzip

FTIR basiert auf dem Phänomen der Infrarotlichtabsorption, das durch Molekülschwingungen verursacht wird. Wenn die kovalenten Bindungen in der Probe Dehnungs- oder Biegeschwingungen unterliegen und sich ihre Dipolmomente ändern, können sie Infrarotlicht einer bestimmten Frequenz absorbieren und dadurch einen Infrarotabsorptionspeak erzeugen.

Häufig für die Analyse verwendet:

- Bindungstypen: W–O, O–H, H–O–H;
- terminale Sauerstoff-/Brückensauerstoffstruktur in Wolframationen ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die Hydratationsstruktur verändert sich.

Raman-Prinzip

Die Raman-Spektroskopie basiert auf der Änderung der Polarisierbarkeit, die durch Moleküle während des Streuprozesses verursacht wird. Wenn monochromatisches Laserlicht auf Moleküle trifft, wird der größte Teil des Lichts elastisch gestreut (Rayleigh-Streuung), und ein kleiner Teil des Lichts wird aufgrund von Molekülschwingungen unelastisch gestreut (Raman-Streuung).

Gilt für:

- Anorganische Ionen mit starker Symmetrie (wie etwa $[WO_6]$) schwingen;
- Kristallsymmetrie und Spannungszustandsanalyse;
- Metall-Sauerstoff-Cluster (insbesondere mehrkernige Systeme wie Polywolframat).

FTIR und Raman ergänzen sich in ihren Informationen. FTIR reagiert empfindlicher auf Dipoländerungen, während Raman empfindlicher auf symmetrische Dehnung und Skelettviibration reagiert.

2. Probenvorbereitung und Testbedingungen

FTIR-Probenvorbereitung:

Weg	veranschaulichen
KBr-Tablettenmethode	Die Probe mit trockenem KBr-Pulver im Verhältnis 1:100 mischen und zu einem Pellet pressen; geeignet für den mittleren Infrarotbereich ($400-4000\text{ cm}^{-1}$)
ATR-Direktmethode	Kleine Proben kommen direkt mit dem ATR-Kristall in Kontakt und eignen sich für eine schnelle Analyse und Oberflächenerkennung.
Gasphase/Lösungszustand	Aufgrund der hohen thermischen Stabilität und der schlechten Löslichkeit ist Wolframsäure im Allgemeinen nicht geeignet.

Testempfehlungen: Probenvolumen $> 1\text{ mg}$, trocknen Sie die Probe, um Störungen der CO_2 - und H_2O - Absorption zu vermeiden.

Raman-Probenvorbereitung:

Weg	veranschaulichen
Pulvermethode	Die getrocknete Probe direkt auf den Objektträger streichen und mit einer Nadel andrücken
Laserquelle	Häufig verwendete 532 nm- oder 785 nm-Laser (zur Vermeidung von Probenfluoreszenz)
Leistung	Kontrolliert auf 5–20 mW, um ein Verbrennen der Proben oder eine Photodegradation zu vermeiden
Integrationszeit	10–30 s, Scanbereich $100-1200\text{ cm}^{-1}$

Hinweis: Hohe Leistung kann leicht zu thermischer Drift führen und Wolframhydrat kann bei energiereicher Anregung leicht Wasser verlieren und denaturieren.

3. Typische FTIR-Spektraleigenschaften von Wolframsäure

Hauptabsorptionsabschnitt (am Beispiel einer KBr-Tablette):

Wellenzahlbereich (cm^{-1})	Vibrationsverhalten	Merkmale

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3400–3600	–OH - Stretching-Vibration	O–H-Bindung in hydratisierter Wolframsäure; kann den Hydratisierungsgrad widerspiegeln
1600–1650	H–O–H-Schwingung mit variablem Winkel	Wasserstoffbrücken zwischen hydratisierten Molekülen
890–970	W=O terminale Sauerstoff-Streckschwingung	Typische starke Absorption, die Intensität hängt von der Anzahl der W=O ab
700–850	W–O–W-Brücken-Sauerstoffschwingung	Es hängt mit der Polymerstruktur und der Kristallform zusammen. Die Positionsverschiebung spiegelt die Änderung der Kristallform wider.
<600	W–O Biege- und Wippschwingungen	Strukturskelett, oft mit mehreren übereinanderliegenden Spitzen

Beispiel für die Spektrumanalyse:

- **Probe: Starke Peaks der durch APT-Säurehydrolyse hergestellten Wolframsäure** treten bei 890, 735 und 610 cm^{-1} auf und repräsentieren typisches orthorhombisches H_2WO_4 .
- **Probe: Nach dem Trocknen ist das –OH-Band des Wolframatpulvers** deutlich geschwächt und die W=O-Absorption verstärkt, was darauf hindeutet, dass die Hydratisierungsstruktur reduziert ist;
- **Beispiel: Die W–O-Spitzenposition von Cu-dotiertem Wolframat** verschiebt sich zu niedrigeren Wellenzahlen, was auf eine strukturelle Ausdehnung und Gittererweichung hindeutet.

4. Typische Raman-Spektraleigenschaften von Wolframsäure

Durch das Raman-Spektrum können die Kristallstruktur und der Polymerisationsgrad deutlicher unterschieden werden, insbesondere bei Polyanionensystemen wie Polywolframat und Heteropolysäure.

Hauptfunktionsbereich:

Wellenzahlbereich (cm^{-1})	Vibrationsverhalten	Bedeutung
850–1000	W=O Zugschwingung	terminalen Sauerstoff in der Kristallstruktur, desto stärker ist der Peak
700–800	W–O–W-Brücken-Sauerstoffschwingung	Die Polymerstruktur und die Anordnung der Kristallebenen haben einen erheblichen Einfluss
400–600	W–O-Kurve	Leistungsbereich der Integrität des kristallinen Skeletts

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<300	Gitterschwingung	Wird hauptsächlich zur Dotierung und Kristalldefekterkennung verwendet
------	------------------	--

Typischer Spektrumvergleich:

- **Nano-Wolframsäure vs. Mikro-Wolframsäure-** Nanopulver Die Spitzenposition ist verbreitert, was darauf hinweist, dass die Gitterverzerrung und der Größeneffekt signifikant sind.
- **Polymermetawolframat vs. Monomer H₂WO₄** Ersteres weist mehrere dünne Peaks bei 700–800 cm⁻¹ auf, was eine Struktur höherer Ordnung darstellt (wie etwa den Keggin -Typ);
- **der Wolframsäureproben mit unterschiedlichen Wärmebehandlungen** , desto schärfer ist der W=O-Peak im Spektrum, was darauf hinweist, dass die Kristallordnung verbessert ist.

5. Technischer Wert der komplementären Nutzung von FTIR und Raman

Anwendungsziel	FTIR-Beitrag	Raman-Beiträge
Bestimmung des Hydratationsniveaus	Klären Sie die Änderungen in den O–H- und H–O–H-Regionen	Unempfindlich gegen Wasser; geeignet für Trockenpulver
Identifizierung des Strukturtyps	Identifizieren Sie die Bindungstypen W=O und W–O–W	Polymerisationsgrad und Symmetrie klären
Identifizierung der Kristallform	Begrenzte Kapazität	Kann bei der Identifizierung von Gitterspannungen und Phasenübergängen helfen
Verunreinigungserkennung	Empfindlich gegenüber organischen Rückständen	Empfindlich gegenüber dotierten Metalloxiden

Beispielsweise wird im Produktionsprozess der CTIA GROUP FTIR verwendet, um schnell zu bestimmen, ob die hydratisierte Wolframsäure auf den erforderlichen Standard getrocknet ist, während Raman verwendet wird, um festzustellen, ob eine Verzerrung der Kristallstruktur oder unvollständig umgesetzte Rohstoffrückstände vorliegen.

VI. Häufige Probleme und Vorsichtsmaßnahmen

Frage	Mögliche Ursachen	Empfohlene Maßnahmen
Absorptionsspitzen-Tailing ist ernst (FTIR)	Die Probe enthält viel Wasser und der Hintergrund ist instabil	Gründlich mit trockenem KBr trocknen
Geringe Intensität des Raman-Peaks	Die Laserleistung ist zu gering oder der Fokus ist ungenau.	Überprüfen Sie die Anregungsbedingungen und den Fokusstatus

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Peakpositionsdrift	Temperaturdrift oder Problem mit der Instrumentenkalibrierung	Kalibrieren Sie das Instrument und sorgen Sie für eine konstante Temperaturumgebung
FTIR kann keine Kristallformen unterscheiden	Kristallsymmetrie nahe	Kombiniert mit XRD oder Raman zur weiteren Bestätigung

VII. Zusammenfassung

FTIR- und Raman-Spektroskopie sind wichtige Werkzeuge zur Analyse der Molekülstruktur, des funktionellen Gruppenzustands, des Polymerisationsgrads und des Kristallinitätsgrads von Wolframsäure. Beide Verfahren bieten ihre Vorteile, und die kombinierte Anwendung ermöglicht eine mehrdimensionale Analyse von Wolframsäureproben von chemischen Bindungen bis hin zu Gitterstrukturen. Durch den Aufbau einer standardisierten Peakpositionsdatenbank und eines Spektrumvergleichssystems kann eine umfassende Datenunterstützung für Forschung und Entwicklung, Qualitätskontrolle und technische Optimierung von Wolframsäurematerialien bereitgestellt werden.

4.3 SEM/TEM-Mikromorphologiebeobachtung

Wolframsäure (H_2WO_4) ist eine anorganische Säure mit komplexer Struktur und vielfältigen Kristallformen. Ihre mikroskopische Morphologie spiegelt nicht nur den Materialherstellungsprozess und das Kristallwachstumsverhalten wider, sondern beeinflusst auch direkt ihre Leistung in Anwendungen wie Katalyse, Beschichtung, Elektronik und Energieumwandlung. Daher ist die detaillierte mikroskopische Morphologiebeobachtung und Strukturanalyse von Wolframsäurepulver mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) zu einem unverzichtbaren Mittel für die Grundlagenforschung und die industrielle Qualitätskontrolle geworden.

In diesem Abschnitt werden der Betriebsvorgang, die strukturellen Eigenschaften, die typischen Bilder und der Charakterisierungswert von SEM und TEM in Wolframsäureproben systematisch vorgestellt.

1. Kurze Beschreibung des technischen Prinzips

Rasterelektronenmikroskopie (REM)

Das SEM scannt die Probenoberfläche, indem es einen Elektronenstrahl fokussiert und Sekundärelektronen- oder Rückstreuelektronensignale erfasst, um ein Bild der Oberflächenmorphologie der Probe zu erhalten. Die Auflösung liegt in der Regel unter 10 nm und eignet sich zur Beobachtung von Informationen wie Partikelgröße, Morphologie, Agglomerationsverhalten und Oberflächenrauheit.

Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)

Bei der TEM wird ein hochenergetischer Elektronenstrahl verwendet, der die Probe durchdringt und ein Bild auf einem Leuchtschirm oder CCD erzeugt. Die Auflösung kann im Subnanometer- oder

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sogar Pikometerbereich liegen und ermöglicht die Beobachtung von Gitterrändern, Atomanordnungen, Phasengrenzflächen, Defekten und nanokristallinen Strukturen.

2. Probenvorbereitungsmethode

SEM-Probenvorbereitung:

1. **Probenahme** : Wiegen Sie trockenes Wolframsäurepulver (ca. 5–10 mg);
2. **Dispersion** : Fügen Sie eine kleine Menge Ethanol hinzu und dispergieren Sie es 3–5 Minuten lang mit Ultraschall.
3. **Probenbeladung** : Die Dispersion auf den leitfähigen Kohlenstoffkleber tropfen und an der Luft oder im Vakuum bei niedriger Temperatur trocknen .
4. **Beschichtung (falls erforderlich)** : Wenn die Probe eine schlechte Leitfähigkeit aufweist, kann sie mit einer Gold- oder Kohlenstoffschicht (Dicke etwa 5–10 nm) beschichtet werden, um eine Ansammlung von Elektronenstrahlen zu verhindern.

TEM-Probenvorbereitung:

1. **Ultraschalldispersion** : Das Pulver mit Ethanol dispergieren und 10 Minuten lang mit Ultraschall behandeln .
2. **Tropfenfilm** : Nehmen Sie eine kleine Menge der Dispersion und tropfen Sie sie auf das Kupfernetz (Kohlenstofffilmträger).
3. **Trocknen** : Natürliches Trocknen oder Entfernen des Lösungsmittels unter Vakuum;
4. **Anforderungen an die Probendicke** : Partikelgröße ≤ 100 nm wird bevorzugt, und ultrafeines Pulver ist für die TEM-Beobachtung besser geeignet.

3. SEM-Charakterisierungsinhalt und typische Bilder

Typische Anwendungen von SEM bei der Charakterisierung von Wolframsäurematerialien umfassen:

- Beobachten Sie die **Partikelmorphologie** : z. B. nadelförmig, flockenförmig, stäbchenförmig, haufenförmig und kugelförmig;
- Bestimmen Sie **den Grad der Kristallinität** : Hochkristalline Proben haben scharfe Kanten, während niedrigkristalline oder amorphe Proben unscharfe Oberflächen haben.
- Analysieren Sie **Partikelgröße und -verteilung** : In Kombination mit einer Bildanalyse-Software können der Partikel-D50-Wert und der Verteilungsbereich gezählt werden.
- Untersuchung **von Agglomeration und Porenstruktur** : Verstehen Sie die Probenoberfläche und die Morphologie sekundärer Partikel.

Beispiel:

1. **APT-Säurehydrolyse von Wolframatproben**
 - SEM-Bilder zeigen regelmäßige, kurze, stabförmige Kristalle;
 - Die durchschnittliche Länge beträgt etwa 1–2 μm und die Breite etwa 300–600 nm;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die Kristalle haben klare Kanten und glatte Oberflächen, was auf eine gute Kristallisation hindeutet.
2. **Hydrothermale Synthese von Nanowolframsäure**
- eine große Anzahl kugelförmiger Partikel mit einem Durchmesser von etwa 50–100 nm;
 - Eine gewisse Agglomeration kann mit dem Trocknungsprozess zusammenhängen.
 - Auf dem stark vergrößerten Bild ist die poröse Oberflächenstruktur zu erkennen, die zur Bildung aktiver Stellen für katalytische Reaktionen beiträgt.
3. **WO₃-Umwandlung in Wolframat**
- SEM zeigte eine lamellare Stapelstruktur;
 - Die Oberfläche ist rau, die Partikel sind eng miteinander verbunden und befinden sich in einem geschichteten, flockigen Zustand.
 - Wird hauptsächlich als Vorläufer von Beschichtungsmaterialien verwendet.

TEM-Strukturbeobachtung und Gitteranalyse

Neben der morphologischen Beobachtung ist TEM wichtiger für die hochauflösende Struktur- und Kristallinformationsanalyse, einschließlich:

- Beobachtung von Kristalldefekten;
- Messung des Interplanarabstands;
- Kristallrichtungsurteil;
- von Verunreinigungen oder Beschichtungen;
- Spektrumanalyse der ausgewählten Bereichselektronenbeugung (SAED).

Typische Beobachtungen:

1. **Nano-Wolframsäure-Kristallstruktur**
- HRTEM-Bilder zeigen klare Giterränder;
 - Der gemessene Netzebenenabstand $d = 0,378$ nm entspricht der orthorhombischen Phase H₂WO₄ (200)-Ebene;
 - Die Korngröße beträgt etwa 30–50 nm und die Kanten sind glatt, was darauf hindeutet, dass die Partikel regelmäßig sind.
2. **Amorphe Wolframat-Nanocluster**
- Auf dem Bild sind keine regelmäßigen Giterränder zu sehen; das Bild erscheint als ungeordneter, diffuser Umriss.
 - Das SAED-Muster ist ein diffuser Ring, der bestätigt, dass die Probe amorph ist oder eine geringe Kristallinität aufweist.
3. **Beobachtung dotierter Wolframatkristalle**
- Nach der Cu-Dotierung ist eine leichte Gitterverzerrung zu beobachten;
 - Die Giterränder sind verbogen und es treten lokal Versetzungsdefekte auf;
 - Bietet eine mikroskopische Grundlage für die Regulierung elektrischer Eigenschaften durch Dotierung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Bildanalyse und quantitative Messung

In Kombination mit Bildverarbeitungssoftware wie ImageJ können SEM/TEM-Bilder wie folgt analysiert werden:

Projekt analysieren	Inhalt
Partikelgrößenmessung	Extrahieren Sie Kanten manuell oder automatisch und generieren Sie Parameter wie D50, D90 usw.
Formerkennung	Klassifizieren Sie die Partikelform, z. B. Kugelform, Abflachung usw.
Verteilungsstatistiken	Histogrammanalyse der Gleichmäßigkeit der Partikelgrößenverteilung
Interplanarer Abstand	Berechnen Sie den Gitter-d-Wert und bestätigen Sie die Kristallebeneigenschaften in Kombination mit XRD
Fehleridentifizierung	Identifizierung und Zählung von Defekten, Löchern und Kantenfehlern

Diese Daten können weiter zur Qualitätskontrolle, Prozessoptimierung und Produktleistungsvorhersage verwendet werden.

6. Fehlerquellen und häufige Probleme

Frage	Ursachenanalyse	Lösungsvorschläge
Schweres Wiedersehen	Unzureichende Dispersion oder unkontrollierte Trocknung	Dispergiermittel hinzufügen und Ultraschallzeit optimieren
Unschärfes Bild	Ladungsansammlung oder Fehlfokussierung	Oberflächenbeschichtung oder Anpassung des Arbeitsabstands
Das TEM-Bild ist nicht klar	Die Probendicke ist zu groß	Partikelgrößenreduzierung oder Zentrifugalklassierung
Gitterfransen-Geisterbilder	Probendrift und Vibrationseffekte	Verwenden Sie eine Probenplattform mit niedriger Temperatur oder stabiler

7. Technische Anwendungen in der Wolframsäureforschung

Im F&E- und Qualitätskontrollsystem der CTIA GROUP werden SEM und TEM häufig in den folgenden Szenarien verwendet:

- **Bewerten Sie die Wirkung des Herstellungsprozesses** : die Wirkung verschiedener Säurehydrolysewege, Temperaturen und pH-Werte auf die Kristallmorphologie;
- **Entwicklung funktionalisierter Wolframsäure** : Beobachtung der Beschichtungsdicke und der nanokristallinen Kernverteilung;
- **Analysieren Sie Ausfallmechanismen** : Kristallrisse und Porenveränderungen durch Alterung, Sintern usw.
- **Entwurf eines zusätzlichen Prozesses zur Partikelgrößenklassifizierung** : verknüpft mit der Laserpartikelgrößenanalyse, um eine vollständige Erkennung der Partikelgrößenabdeckung zu erreichen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Darüber hinaus ist die koordinierte Analyse der Morphologie und Kristallform (wie XRD+SEM+TEM) ein wichtiges Mittel, um festzustellen, ob hochreine Wolframsäure die Anforderungen nachgelagerter High-End-Anwendungen erfüllen kann.

8. Zusammenfassung

SEM- und TEM-Techniken bieten leistungsstarke Werkzeuge für die Mikrostrukturanalyse von Wolframsäurematerialien. Erstere konzentriert sich auf Oberflächenmorphologie und Partikeleigenschaften, letztere auf die innere Struktur und Gitterinformationen. Durch die komplementäre Nutzung der beiden Techniken können nicht nur der Herstellungsprozess und die Qualitätskontrolle optimiert, sondern auch eine solide morphologische Grundlage für die leistungsstarke Entwicklung von Wolframsäure in den Bereichen Energiematerialien, optoelektronische Geräte, Funktionsbeschichtungen usw. geschaffen werden.

4.4 TG-DSC-Thermoanalyse

TG (Thermogravimetrische Analyse) und DSC (Differential Scanning Calorimetry) sind wichtige Analysetechniken zur Untersuchung des thermischen Verhaltens von Wolframsäure. Wolframsäure (H_2WO_4) eignet sich aufgrund ihrer hohen Hydratationseigenschaften, ihrer thermosensitiven Kristalltransformation und ihrer Empfindlichkeit gegenüber hohen Temperaturen besonders gut für umfassende Untersuchungen mittels TG-DSC.

In diesem Abschnitt werden die Grundprinzipien der TG-DSC, das Probenverhalten, die thermischen Zersetzungswegen, die Parameterinterpretation und praktische Anwendungen bei der Prozessgestaltung und Qualitätskontrolle ausführlich vorgestellt.

1. Überblick über die technischen Grundlagen

TG-Prinzip

Die TG-Technologie analysiert die Zersetzung, Oxidation, Verflüchtigung oder Desorption von Substanzen durch Messung der Massenänderung von Proben unter programmierten Temperaturbedingungen (oder konstanten Temperaturbedingungen).

Wolframsäure durchläuft beim Erhitzen mehrere Phasen des Masseverlusts, die vor allem mit der Freisetzung von Wasser und der Umwandlung von Oxidationsstufen zusammenhängen.

DSC-Prinzip

DSC misst die Änderung der von der Probe aufgenommenen oder abgegebenen Wärme während des Erhitzens/Abkühlens. In Kombination mit TG kann Folgendes beurteilt werden:

- Ob die Dehydratationsreaktion endotherm oder exotherm ist;
- Die Beginn- und Spitztemperatur der Kristallumwandlung;
- Bildungstemperatur und thermischer Stabilitätsbereich von Wolframsäure-Zersetzungsprodukten.

Die Kombination von TG und DSC kann nicht nur die „quantitative Änderung“ des thermischen Verhaltens liefern, sondern auch dessen „Reaktionsmechanismus“ aufdecken.

2. Probenvorbereitung und Testbedingungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tipps zur Probenvorbereitung:

- **Probentyp** : trockenes Wolframsäurepulver (Reinheit $\geq 99\%$, Partikelgröße 1–10 μm);
- **Probenmasse** : ca. 5–10 mg, gleichmäßig im Tiegel verteilt;
- **Tiegeltyp** : Platintiegel (hohe Reinheit und schadstofffrei), Keramiktiegel (wirtschaftlich und hitzebeständig);
- **Umgebungsatmosphäre** :
 - Stickstoff (inerte Atmosphäre) oder Luft (oxidierende Umgebung);
 - Gasflussrate 50–100 ml/min;
- **Heizrate** : 5–10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (je nach Reaktionsintensität einstellbar);
- **Temperaturbereich** : normalerweise von Raumtemperatur bis 800 $^{\circ}\text{C}$, einige Proben können auf 1000 $^{\circ}\text{C}$ erweitert werden.

3. Typisches TG-DSC-Verhalten und Zersetzungspfad von Wolframsäure

Stadieneinteilung und Verhaltensbeschreibung:

Temperaturbereich	Massenänderung (TG)	Thermisches Verhalten (DSC)	Reaktionsbeschreibung
30–120 $^{\circ}\text{C}$	Leichter Masseverlust (2–3 %)	Endotherme Fluktuation	Desorption von physikalisch adsorbiertem Wasser
120–250 $^{\circ}\text{C}$	5–10 % Qualitätsverlust	Sanfter endothermer Peak	Teilweise strukturelle Wasserfreisetzung
250–400 $^{\circ}\text{C}$	10–20 % Qualitätsverlust	Offensichtlicher endothermer Peak	Das Hauptkristallwasser wird vollständig freigesetzt, $\text{H}_2\text{WO}_4 \rightarrow \text{WO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$
400–600 $^{\circ}\text{C}$	Geringe Qualitätsschwankungen oder stabile	Langsame Wärmeabgabe	Kristallumwandlung, Gitterumordnung
>600 $^{\circ}\text{C}$	Die Qualität bleibt grundsätzlich unverändert	Kein offensichtlicher thermischer Effekt	Bildung einer stabilen Wolframtrioxid-Struktur (WO_3)

Hinweis: Vollständig hydratisiertes $\text{H}_2\text{WO}_4 \rightarrow$ Der theoretische Massenverlust von WO_3 beträgt etwa 18–21 %, womit der Hydratisierungsgrad der Probe abgeschätzt werden kann.

4. Beispiel für eine TG-DSC-Kurvenanalyse

Probe 1: Wolframsäure, gewonnen durch APT-Säurehydrolyse

- **TG -Kurve** :
 - Der Abschnitt mit dem anfänglichen Gewichtsverlust liegt bei 50–150 $^{\circ}\text{C}$ und macht 2–3 % der gesamten Probenmasse aus.
 - Die Hauptdehydratisierungsphase erfolgte bei 150–350 $^{\circ}\text{C}$, mit einem kumulativen Gewichtsverlust von etwa 14,5 %;
- **DSC -Kurve** :
 - Bei 150–170 $^{\circ}\text{C}$ erscheint ein deutlicher endothermer Peak, der der Entfernung von Kristallwasser entspricht;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Nach 360 °C kommt es zu einer kleinen exothermen Fluktuation, die auf eine Gitterumordnung zurückzuführen ist.
- **Schlussfolgerung** : Die Probe ist eine stark hydratisierte Form von $H_2WO_4 \cdot xH_2O$, die sich bei etwa 400–600 °C stabil in WO_3 umwandelt.

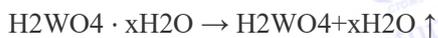
Probe 2: Mikrokristalline Nanowolframsäure

- **TG** : Die allgemeine Gewichtsverlustverteilung ist relativ gleichmäßig und der Hauptabschnitt mit Gewichtsverlust liegt bei 80–250 °C.
- **DSC** : Breiter endothermer Peak, der darauf hinweist, dass die Hydratisierungsstruktur relativ ungeordnet ist;
- **Hinweis** : Die Partikel sind klein und die Oberfläche groß, daher ist es schwierig, zwischen strukturiertem Wasser und Oberflächenwasser zu unterscheiden.

5. Untersuchung des Mechanismus der thermischen Zersetzungsreaktion

Anhand der TG-DSC-Daten lässt sich folgendes Reaktionsverlaufsmodell erstellen:

1. Physikalische Adsorption, Wasserdesorption :

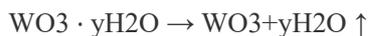


Endothermer Prozess, die Qualität nimmt langsam ab.

2. Entfernung von Kristallwasser und Gitterumordnung :



3. Endgültige Dehydratation und WO_3 - Bildung :



Der Prozess kann durch Modellanpassung (wie Coats-Redfern, Ozawa-Flynn-Wall) kinetisch analysiert werden, um die Aktivierungsenergie E_a , die Reaktionsordnung n und andere kinetische Parameter der thermischen Zersetzung zu erhalten.

VI. Industrielle Anwendung und technische Bedeutung

Im Produktions- und Qualitätskontrollsystem der Produkte der CTIA GROUP Tungsten Acid-Serie wird TG-DSC hauptsächlich für folgende Zwecke verwendet:

- **Bestimmen Sie den Hydratationsstatus des Produkts** : Schließen Sie anhand der Gewichtsverlustkurve auf die Hydratationsstruktur und Lagerstabilität.
- **Stellen Sie das Trocknungstemperaturfenster ein** : Verhindern Sie, dass eine Überhitzung zu Kristallschäden oder vorzeitigen Reaktionen führt.
- **den Wärmebehandlungsprozess** : wie z. B. die thermische Reduktion von WO_3 und die Temperaturregelung der Kalzinierung mit Wolframsäure;
- **Eignung des Screening-Materials** : Anpassung der Vorbehandlungstemperatur an verschiedene nachgelagerte Anwendungen (wie z. B. Aufschlammung, Elektrodenmaterialien);

Beispielsweise darf bei der Herstellung einer Wolframat-Beschichtungsaufschlammung die Kalzinierungstemperatur 400 °C nicht überschreiten, um eine bestimmte Menge an Strukturwasser zu erhalten und die Bindungs- und Leitfähigkeitseigenschaften zu verbessern.

7. Vorsichtsmaßnahmen und Fehlerkontrolle

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Frage	Mögliche Ursachen	Empfohlene Maßnahmen
Schwerelosigkeitskurvenplattform ist instabil	Die Feuchtigkeit der Probe wird nicht kontrolliert oder das Pulver ist nicht gleichmäßig	Trocknen Sie die Probe und wiederholen Sie den Mahlvorgang
DSC-Basisliniendrift	Unzureichender Wärmehaushalt des Instruments	Leere Probe vorwärmen und auf Null zurücksetzen
Massenverlust übersteigt theoretischen Wert	Organische Verunreinigungen oder Nebenreaktionen	Reinheit verbessern, DSC-Referenzmaterial hinzufügen
Schlechte Wiederholbarkeit	Ungleichmäßiges Sampling	Erhöhen Sie das Probenvolumen und verbessern Sie die Gleichmäßigkeit der Mischung

8. Zusammenfassung

Die thermische Analyse mittels TG-DSC ist ein wichtiges Instrument zur Bewertung der thermischen Stabilität, des Zersetzungsverlaufs, der Kristalltransformation und des Wassergehalts von Wolframsäure. Die daraus gewonnenen Informationen zu Qualität und thermischer Wirkung können in vielfältigen Zusammenhängen genutzt werden, beispielsweise in der Rohstoffanalyse, Prozessoptimierung, der Einstellung von Wärmebehandlungsprozessen und der Produktsicherheitsbewertung. Die Erstellung einer Standardkurve und einer Datenbank zum thermischen Gewichtsverlust ist von strategischer Bedeutung für die Qualitätskontrolle von Wolframsäure während ihres gesamten Lebenszyklus.

4.5 XPS-Oberflächenelement-Valenzanalyse

Die Röntgen-Photoelektronenspektroskopie (XPS) ist eine zerstörungsfreie, hoch elementselektive und empfindliche Oberflächenanalysetechnik. Sie misst die kinetische Energie der von der Materialoberfläche abgesonderten Photoelektronen und leitet daraus ihre Bindungsenergie ab. Dadurch lassen sich das Vorhandensein, der chemische Zustand und die Valenzänderungen der einzelnen Elemente ermitteln. In Wolframsäure (H_2WO_4) und ihren Derivaten wird XPS hauptsächlich verwendet, um den chemischen Valenzzustand von Wolfram (wie W^{6+} , W^{5+}), die Bindungsform von Sauerstoff (O^{2-} , OH^- , Strukturwasser usw.), den Zustand von Fremdionen (wie Cu^{2+} , Na^+ - Dotierung) und Oberflächenmodifizierungseffekte zu analysieren.

In diesem Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen, die Probenvorbereitung, die Peakformanalyse und die praktische Anwendung von XPS ausführlich vorgestellt und anhand typischer Daten von China Tungsten Intelligence in der Wolframsäure-Materialanalyse veranschaulicht.

1. Überblick über die Prinzipien der XPS-Technologie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wenn Röntgenstrahlen die Oberfläche einer Probe bestrahlen, können Elektronen in den inneren Bahnen der Atome des Materials Photonenenergie absorbieren und zu Photoelektronen werden. Die Beziehung zwischen ihrer kinetischen Energie (KE) und ihrer Bindungsenergie (BE) ist wie folgt:

$$BE = hv - KE - \phi$$

In:

- $h\nu$ \ $nuh\nu$ ist die Photonenenergie der einfallenden Röntgenstrahlung (normalerweise Al K α -Linie, 1486,6 eV);
- ϕ \ ϕ ist die Austrittsarbeit des Photoelektronenanalysators;
- BE ist die Bindungsenergie, also die Bindungsstärke zwischen Elektronen und Atomkernen, und wird von der Art des Elements und der chemischen Umgebung beeinflusst.

Verschiedene Elemente, verschiedene Valenzzustände und verschiedene chemische Umgebungen weisen spezifische Bindungsenergie-Spitzenpositionen und Satellitenspitzeigenschaften auf.

2. Probenvorbereitung und Testparameter

Probenanforderungen:

Zustand	Anforderungsbeschreibung
Trockenzustand	Das Pulver muss vollständig trocken sein, um eine Verdunstung des Strukturwassers zu vermeiden, die das Vakuumsystem beeinträchtigt.
Gleichmäßige Partikel	Die empfohlene Partikelgröße beträgt $\leq 10 \mu\text{m}$, um einen dicken Schichtabschirmeffekt zu verhindern.
Keine flüchtigen Bestandteile	Enthält keine ausfällbaren organischen Rückstände oder Niedertemperatur-Desorptionsprodukte
Probenbeladung	Drücken Sie das Pulver gleichmäßig auf das leitfähige Klebeband oder den speziellen Probenschlitz, verdichten Sie es und machen Sie die Oberfläche eben.

Testparameter:

Projekt	Empfohlene Einstellungen
Lichtquelle	Al K α (1486,6 eV)
Auflösung	Hochauflösungsmodus (0,1 eV/Schritt)
Scanbereich	0–1200 eV (volles Spektrum), W4f/O1s fokussiert
Pharmazeutisches Umfeld	Hochvakuum (10^{-9} mbar-Niveau)
Neutralisationssystem	Neutralisierung von Elektronenstrahlen mit niedriger Energie zur Unterdrückung der Ladungsakkumulation

3. Peakposition und Valenzzustandsanzeige der Hauptelemente in Wolframsäure

1. W-Elemente (W4f-Zone)

W⁶⁺ ist der häufigste Valenzzustand in Wolframsäure, und sein XPS-Spektrum zeigt normalerweise zwei klare Hauptspitzen im Bereich von 35–40 eV:

Schiene	Peak-Positionsbereich (eV)	veranschaulichen
W 4f _{7/2}	35,5–36,0	Hauptpeak, höhere Intensität

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

W 4f _{5/2}	37,5–38,0	Subpeaks mit einem Abstand von etwa 2,1 eV
---------------------	-----------	--

- **Reines H₂WO₄** : zeigt zwei **symmetrische** Peaks mit konzentrierten Peakpositionen, was darauf hinweist, dass W⁶⁺ einen einzigen Valenzzustand hat ;
- **Dotierte Proben** : Wenn W⁵⁺- oder W⁴⁺-Komponenten vorhanden sind, zeigt W 4f_{7/2} eine Schulter oder einen zusätzlichen Peak zwischen 34,0 und 35,0 eV.

2. O-Element (O1s-Zone)

Das O 1s-Spektrum kann in drei gemeinsame Peaks unterteilt werden, die Sauerstoffatomen in unterschiedlichen chemischen Umgebungen entsprechen:

Peakposition (eV)	verteilen	Chemische Umgebung
530,0–530,5	Gitter O	Gittersauerstoff (W=O, W–O–W)
531,5–532,0	Oberfläche OH	Hydroxyl oder adsorbiertes Wasser
532,5–533,5	H ₂ O-Molekül /Carbonat	Wasser- oder Umweltverschmutzungsquellen

Die Änderung des Intensitätsverhältnisses des O1s-Spektrums kann Informationen wie den Hydratationszustand der Probe, die Hydroxyldichte an der Oberfläche und den Sauberkeitsgrad widerspiegeln.

3. Verunreinigungen und Dotierelemente (Na, Cu, P usw.)

- Na 1s: etwa 1071 eV;
- Cu 2p: 932,5–935,5 eV (Cu⁺ ist von Cu²⁺ unterscheidbar) ;
- Cl 2p: 198–200 eV (Identifizierung von Cl⁻-Resten);
- Mo 3d: 229–233 eV (überprüft durch Mo -Dotierung) .

Der Verunreinigungsgehalt, der Dotierungsgrad und der chemische Zustand können gemeinsam durch eine vollständige Spektrumsabtastung ermittelt werden.

4. Fälle zur Dateninterpretation und Graphanalyse

Probe A: Standard-APT-Säurehydrolyse von H₂WO₄

- W 4f-Spektrum: Doppelspitzen bei 35,8 eV und 37,9 eV, im Einklang mit den W⁶⁺-Eigenschaften;
- O 1s-Spektrum: Hauptpeak bei 530,4 eV (Gittersauerstoff), Nebenpeak bei 532,0 eV (Oberflächen-OH);
- ⁵⁺ oder metallisches Wolfram wurden nachgewiesen.

Probe B: WO₃-Nassverfahren zur Herstellung einer Wolframsäureprobe

- Peak im O 1s-Spektrum ist relativ stark;
- Bei 533 eV ist ein leichter Peak sichtbar, bei dem es sich vermutlich um adsorbiertes Wasser handelt.
- XRD zeigte, dass die Kristallform leicht von der Idealform abwich, und XPS bestätigte, dass die Oberflächenaktivität hoch und der Hydratisierungsgrad stark war.

Probe C: Cu-dotiertes Wolframat

- Cu 2p_{3/2} liegt bei 933,2 eV mit einem Satellitenpeak, bei dem es sich nachweislich um Cu²⁺ handelt;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die Position des W 4f-Peaks verschiebt sich um 0,3 eV zu einer niedrigeren Energie, was auf eine Umverteilung der Gitterelektronen hindeutet.
- Die Breite des O1s-Spektrums nimmt zu, was auf eine Änderung der Hydroxylumgebung hinweist.

5. Quantitative Analyse und chemometrische Berechnung

Die Analyse des Atomverhältnisses von Elementen kann mithilfe der Peakfläche und des Empfindlichkeitsfaktors durchgeführt werden:

$$\text{Atomverhältnis} = \frac{IB}{SB} \frac{IA}{SA}$$

Dabei ist III die Peakfläche und SSS der Elementempfindlichkeitsfaktor.

Zum Beispiel:

- Wenn das Atomverhältnis W:O nahe bei 1:4 liegt, kann dies als Standard-H₂WO₄-Struktur bestätigt werden;
- Wenn der O-Gehalt der Oberfläche hoch ist (O/W > 4,5), kann sie Strukturwasser oder Hydroxylgruppen enthalten.
- Wenn nach der Dotierung ein Peak mit niedriger Valenz auf dem W-Peak erscheint, kann die Anzahl der Dotierungstransferelektronen geschätzt werden.

6. Oberflächenmodifizierung/Beschichtungsbewertung

XPS eignet sich besonders für die Untersuchung von mit Wolframsäure oberflächenbeschichteten, modifizierten Materialien, wie beispielsweise:

- **SiO₂-beschichtete Wolframsäure** : Si2p-Peak kann beobachtet werden (ca. 102–104 eV);
- **Modifikation organischer Liganden** : Das C1s-Spektrum zeigt chemische Bindungsspitzen wie C–O, C=O und COOH;
- **Mit Graphen beladene Wolframsäure** : Verbesserte Auflösung der sp²/sp³-Komponenten und Änderung des D/G-Verhältnisses in C 1s;

durch Tiefenschichtabtrag oder Ar⁺-Ionenätzen.

7. Anwendungsfälle von XPS-Daten in der CTIA GROUP

Bei der Entwicklung hochwertiger Wolframsäurematerialien der CTIA GROUP wird XPS häufig in den folgenden Bereichen eingesetzt:

Anwendung	Analyseziele	Beispiele für Erfolge
Entwicklung hochreiner Wolframsäure	Überprüfen Sie die Reinheit und Verunreinigungsarten von W ⁶⁺	W ⁶⁺ -Verhältnis > 99 %, keine W ⁵⁺ -Schulter
Design von Dotiermaterialien	Bestimmen Sie die Dotierungswertigkeit und die Gleichmäßigkeit der Verteilung	Klare Kontrolle des Valenzzustands von Cu ²⁺ - und Ag ⁺ -dotierten Proben

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bewertung der Beschichtungsfunktionsschicht	Oberflächen-Si/P/N und andere Elementverbindungsverfahren	Das C/O/P-Verhältnis auf der Oberfläche der filmbildenden Wolframsäureprobe ist klar
Bewertung der Prozessqualität	Cl ⁻ und Na ⁺ nach der Reinigung	Der Adsorptionspeak in O1s wird abgeschwächt und die Sauberkeit entspricht dem Standard

8. Zusammenfassung

Die XPS-Technologie liefert wichtige Informationen zur Oberflächenstruktur, zum chemischen Zustand, zum Dotierungsmechanismus und zur Grenzflächenreaktion von Wolframsäure. Durch die eingehende Analyse von W4f-, O1s- und Verunreinigungsspektren ermöglicht sie eine umfassende Charakterisierung – von der Strukturverifizierung bis zur quantitativen Bestimmung, von der Defektidentifizierung bis zur Kontrolle der Filmbildung. Sie ist von unersetzlichem und wichtigem Wert für den Aufbau eines leistungsstarken Wolframsäure-basierten Materialsystems, die Gewährleistung der Qualitätsstabilität von Industrieprodukten und die Unterstützung der Forschung zu Wolfram-Chemiesystemen.

4.6 Spezifische Oberfläche und Porenstruktur (BET-Analyse)

Die spezifische Oberfläche und die Porenstruktur sind wichtige Indikatoren für die physikalischen Eigenschaften und Anwendungseffekte von Wolframsäurepulvern, insbesondere in der Photokatalyse, bei Elektrodenmaterialien, Gassensoren, Adsorbentien und Oberflächenreaktionssystemen. Die BET- Methode (Brunauer -Emmett-Teller) ist eine Standardmethode zur Bestimmung der Oberfläche von Materialien. In Kombination mit BJH (Barrett-Joyner- Halenda) oder DFT (Dichtefunktionaltheorie) und anderen Analysemethoden können die Porengrößenverteilung, das Porenvolumen und der Porentyp des Materials weiter analysiert werden.

In diesem Abschnitt werden die technischen Prinzipien von BET, Probestests, typische Datenanalysen von Wolframsäure und technische Anwendungsszenarien ausführlich vorgestellt, um den Lesern ein umfassendes Verständnis der Beziehung zwischen der spezifischen Oberfläche und der Mikrostrukturregulierung sowie der Funktionsleistung von Wolframsäurematerialien zu vermitteln .

1. Überblick über die technischen Grundlagen

Die BET-Methode basiert auf dem Prinzip der physikalischen Adsorption. Sie misst die Gesamtmenge an Gas, die pro Masseneinheit der Probe durch die Bildung einer monomolekularen Schicht aus Inertgas (z. B. Stickstoff) auf der festen Oberfläche bei niedriger Temperatur adsorbiert werden kann. Dadurch wird die spezifische Oberfläche (m²/g) des Materials berechnet.

Kerngleichung:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$$\frac{1}{v[(P_0/P) - 1]} = \frac{c - 1}{v_m c} \cdot \frac{P}{P_0} + \frac{1}{v_m c}$$

In:

- v_{vv} : adsorbiertes Gasvolumen;
- v_{mv_mvm} : für die Monoschichtadsorption erforderliches Volumen;
- $P/P_0/P_{0P}/P_0$: relativer Druck;
- ccc : konstant, spiegelt das Adsorptionspotential wider;
- Spezifische Oberfläche SSS : berechnet aus v_{mv_mvm} und der Querschnittsfläche der adsorbierten Gasmoleküle.

Das Porenvolumen, die Porengrößenverteilung und der Porenstrukturtyp können auch durch isotherme Adsorptions-/Desorptionskurven ermittelt werden.

2. Probenvorbereitung und Testprozess

Probenanforderungen:

Zustand	Erfordern
Trockenzustand	Kein Strukturwasser und adsorbiertes Wasser, Feuchtigkeitsgehalt <0,5 %
Pulverpartikelgröße	1–20 μm ist angemessen, um zu vermeiden, dass große Partikel die Desorptionsrate beeinträchtigen
Qualitätsanforderungen	≥ 100 mg (allgemeine Analyse), ≥ 300 mg (Porengrößenverteilung)
Keine flüchtigen Verunreinigungen	Vermeiden Sie organische Rückstände, die das Adsorptionsverhalten beeinträchtigen

Vorbehandlungsprozess:

- **Entgasung** : Vakuumbehandlung bei 120–200 °C für ≥ 4 Stunden zum Entfernen von Gas und Feuchtigkeit;
- **Abkühlung** : Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur einen Adsorptionstest durchführen;
- **Analysegas** : üblicherweise verwendeter Stickstoff (N_2), die Messtemperatur beträgt 77 K (Umgebung mit flüssigem Stickstoff);
- **Relativer Druckbereich** : normalerweise zwischen $P/P_0 = 0,05 - 0,3$ für BET-Anpassung eingestellt.

3. Datenanalyse: spezifische Oberfläche, Porendurchmesser, Porenvolumen

1. Spezifische Oberfläche (BET-Oberfläche)

	BET-Flächenbereich (m^2/g)	Merkmale
Mikrongroßes H_2WO_4	2–10	Geringe Oberflächenrauheit, vor allem die Lücken zwischen den Partikeln

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nano H ₂ WO ₄	20–60	Kleinere Partikelgröße führt zu größerer äußerer Oberfläche
Porenstruktur-Kontrollproben	60–150	Das Auftreten einer mikroporösen/mesoporösen Struktur fördert die Adsorption und Diffusion

2. Porenstruktur

- **Gesamtporenvolumen** : das Gasvolumen, das pro Gramm Probe enthalten sein kann (cm³/g), normalerweise im Bereich von 0,01–0,5 ;
- **Porengrößenverteilung** :
 - Mikroporen (<2 nm);
 - mesoporös (2–50 nm);
 - Makroporen (>50 nm);
- **Häufig verwendete Modelle** :
 - Die BJH-Methode eignet sich zur Mesoporenanalyse;
 - Die DFT-Methode eignet sich zur hochauflösenden Analyse mikroporöser Strukturen;
 - NLDFT eignet sich für komplexe gemischte Porensysteme.

3. Adsorptions-/Desorptionsisothermentyp (IUPAC-Klassifikation)

Typ	Besonderheit	Anwendbare Anweisungen
Typ I	Mikroporöses Material, schnell gesättigt	Dies deutet darauf hin, dass das Material eine hochenergetische mikroporöse Struktur aufweist.
Typ II/III	Nicht poröse Materialien	Häufiger in groben Pulvern mit großer Partikelgröße und geringer Porosität
Typ IV	Das Vorhandensein von Hystereseschleifen weist auf eine mesoporöse Struktur hin	Am häufigsten in funktionellen Wolframatpulvern zu finden
Typ V/VI	Spezielles Oberflächenadsorptionsverhalten	Dies deutet darauf hin, dass die oberflächenaktiven Zentren ungleichmäßig oder mehrfach verteilt sind.

4. BET-Analysefall typischer Wolframsäureproben

Probe 1: APT-Säure hydrolysierte Wolframsäure (Mikrometerebene)

- Spezifische Oberfläche: 5,8 m²/g;
- Porenvolumen: 0,023 cm³/g;
- Die Adsorptionskurve ist vom Typ II, was darauf hinweist, dass es sich hauptsächlich um physikalische Ansammlungsporen zwischen den Partikeln handelt.

Beispiel 2: Hydrothermale Synthese von Nano-H₂WO₄

- Spezifische Oberfläche: 42,6 m²/g;
- Porengrößenverteilungszentrum: 3,8 nm (typische Mesoporen) ;
- Das Vorhandensein von Hystereseschleifen weist auf das Vorhandensein offener mesoporöser Kanäle hin;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Geeignet für Ionenaustausch, Elektrokatalyse und Energiespeicherung.

Probe 3: PVP-templatgestützte Synthese von mesoporösem Wolframat

- Spezifische Oberfläche: 92,1 m²/g;
- Gesamtporenvolumen: 0,261 cm³/g;
- Durchschnittliche Porengröße: 8,7 nm;
- Dies weist darauf hin, dass die Probe eine hohe Porosität und eine gute Diffusionsfähigkeit aufweist.

5. Analyse der Struktur-Leistungs-Beziehung

BET-Ergebnisse hängen eng mit den Eigenschaften von Wolframsäurematerialien zusammen, und die folgenden Korrelationen sind üblich:

Strukturelle Merkmale	Entsprechende Anwendungsleistung
Hohe spezifische Oberfläche	Verbessern Sie die photokatalytischen und elektrochemischen Reaktionsraten
Mesoporenverteilung	Erleichtert die Gasdiffusion und das Eindringen von Elektrolyten
Enge Porengrößenverteilung	Verbessern Sie die Reaktionsselektivität und -stabilität
Hohes Porenvolumen	Geeignet für Adsorbentien, Energiespeichermaterialien und Plattformen mit verzögerter Freisetzung

Zum Beispiel:

- **Photokatalyse** : Nanowolframsäure mit hoher spezifischer Oberfläche kann mehr oberflächenaktive Stellen bereitstellen und die Redoxeffizienz verbessern;
- **Elektronischer Schlamm** : Materialien mit gleichmäßiger Porengröße fördern die Filmbildung und Dichtekontrolle.
- **Gassensitive Materialien** : Mesoporöse Strukturen verbessern die Fähigkeit zur Aufnahme von Gasmolekülen und die Reaktionsgeschwindigkeit.

VI. CTIA GROUP BET-Teststandards und Datenanwendung

Im CTIA GROUP Tungsten Acid Powder Engineering System wird die BET-Analyse in folgenden Bereichen eingesetzt:

Anwendungsszenario	Testziel	Typischer Parameterbereich
Prozessoptimierung	Bestimmen Sie die Trocknungs-/Kristallisations-/Porenbildungseffekte	Der Unterschied in der spezifischen Oberfläche vor und nach dem Prozess beträgt >10 %
Abnahme des fertigen Produkts	Kontrollieren Sie die Chargenstabilität	Chargenunterschied < ± 5 % (spezifische Oberfläche)
Anwendungsabgleich	Maßgeschneidert für Photokatalyse und Elektrodenmaterialien	Oberfläche ≥40 m ² /g, Porengröße 3–10 nm
Materialsiebung	Qualitätsbewertung von Nanoprodukten	Großflächiges Segment für Märkte mit hoher Wertschöpfung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Alle Tests werden gemäß der Norm ISO 9277 durchgeführt und die Daten werden automatisch in der „Functional Powder Quality Database“ der CTIA GROUP archiviert.

VII. Zusammenfassung

Die BET-Analyse der spezifischen Oberfläche und Porenstruktur ist ein wichtiges Mittel, um die innere Mikrostruktur von Wolframsäurematerialien aufzudecken, ihre Reaktivität zu bewerten und die Auswahl von Anwendungsgebieten zu steuern. Die Kombination aus Porengrößenkontrollstrategie und spezifischer Oberflächenkontrolltechnologie kann die Leistung von Wolframsäurepulver in hochmodernen Materialien wie Hochleistungs-Energiespeichern, molekularer Erkennung und optoelektronischen Geräten präzise optimieren. Sie hat wichtige strategische Bedeutung für die Förderung der hochwertigen Nutzung und der technischen Funktionalisierungsforschung von Wolframverbindungen.

4.7 Prüfverfahren für elektrische und optische Eigenschaften

Wolframsäure (H_2WO_4) und ihre Derivate sind funktionelle anorganische Materialien und finden breite Anwendung in der Optoelektronik, in Sensoren, elektrochromen Geräten, Energiematerialien und anderen Bereichen. Der Schlüssel zu seiner Leistung liegt in **den elektrischen und optischen Eigenschaften des Materials**, die nicht nur von der chemischen Zusammensetzung beeinflusst werden, sondern auch eng mit der Kristallform, der Mikrostruktur, dem Verunreinigungsgehalt und dem elektronischen Zustand des Materials zusammenhängen.

In diesem Abschnitt werden die häufig verwendeten Testmethoden für die elektrischen und optischen Eigenschaften von Wolframsäure systematisch vorgestellt, einschließlich Testprinzipien, Geräteanforderungen, Dateninterpretation und ihrer technischen Bedeutung für die Funktionsbewertung und Anwendungsentwicklung von Wolframsäure.

1. Prüfverfahren für die elektrische Leistung

1. Leitfähigkeitsprüfung (Widerstandsmethode/Vier-Sonden-Methode)

Anwendbar auf:

- Tablettierung von Wolframsäurepulver;
- Wolframsäurefilm;
- Dotierte Halbleiterwolframsäure.

Testmethode:

- **Vier-Sonden -Methode :**
 - Geeignet für Flockenproben;
 - Die Spannungs-Strom-Reaktion wird gemessen, indem vier Nadeln gleichzeitig mit der Probenoberfläche in Kontakt gebracht werden.
 - Reduzieren Sie den Einfluss des Kontaktwiderstands auf den Messfehler.
- **Zweisonden-/ Oberflächenwiderstandsmessgerät :**
 - Wird häufig verwendet, um den Widerstand von Pulvertabletten grob zu messen.

Gängige Parameterbereiche:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Materialtyp	Leitfähigkeitsbereich (S/m)	Merkmale
Reine Wolframsäure (nicht leitend)	$10^{-8} - 10^{-12}$	Elektrische Isoliermaterialien, hauptsächlich für dielektrische Zwecke
Dotierte Wolframsäure (Cu, Na usw.)	$10^{-6} - 10^{-2}$	Halbleiterverhalten, anwendbar auf elektrochrome Geräte

2. Prüfung der dielektrischen Eigenschaften (LCR-Messung)

Wird verwendet, um die Polarisationsfähigkeit und den Energieverlust von Wolframsäurematerialien unter wechselnden elektrischen Feldern zu bewerten.

Messparameter:

- Dielektrizitätskonstante (ϵ')
- Dielektrischer Verlustfaktor ($\tan\delta$)

Testbedingungen:

- Frequenzbereich: 100 Hz – 1 MHz;
- Temperaturregelung: Raumtemperatur bis 150°C;
- Probenform: gepresste Tablette oder Filmtyp, Elektrodenbeschichtung (Silberpaste/Goldfilm) ist erforderlich.

3. Elektrochromer Test

Wolframsäure hat elektrochrome Eigenschaften und kann bei Anlegen einer Spannung ihre Farbe ändern. Sie wird häufig in Smart Glass, Dimmgeräten usw. verwendet.

Testmethode:

- Bereiten Sie leitfähiges ITO-Glas + Wolframsäurefilm + Elektrolyt + Gegenelektrode vor;
- Angelegte Spannung (z. B. ± 1 V);
- Zeichnen Sie die Farbänderungszeit, die Reaktionsrate und die wiederholte Zyklusstabilität auf.
- von UV-Vis -Spektren können Änderungen der Lichtdurchlässigkeit aufgezeichnet werden.

Schlüsselkennzahlen:

- Unterschied der Lichtdurchlässigkeit (ΔT);
- Färbefizienz (η , cm^2/C);
- Zyklenstabilität (mehr als 50–1000 Mal).

4. Elektrochemische Prüfung (CV/EIS/GCD)

Es eignet sich zum Studium der elektrochemischen Eigenschaften von Wolframsäure in Superkondensatoren, Batterien und der Katalyse.

Verfahren	Testinhalte	veranschaulichen
CV (Zyklische Voltammetrie)	Redoxverhalten, Kapazitätseigenschaften	Je standardisierter das Kurvenrechteck ist, desto näher kommt es dem idealen Kondensator.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

EIS (Elektrochemische Impedanzspektroskopie)	Ladungsübertragungswiderstand und Kapazitätsanpassung	Nyquist-Diagramm zur Anpassung des Ersatzschaltbilds
GCD (Konstantstrom-Laden und -Entladen)	Spezifische Kapazität, Lade- und Entladeeffizienz	Bewertung der Leistung und Stabilität von Energiespeichern

2. Testmethode für die optische Leistung

1. UV- Vis- Absorptionsspektrum

Es wird verwendet, um die Absorptionskapazität von Wolframsäure gegenüber Licht unterschiedlicher Wellenlängen zu messen und ihre optische Bandlücke und Lichtempfindlichkeitsspanne zu analysieren.

Testpersonen:

- Wolframsäurepulver (fester diffuser Reflexionsmodus);
- Wolframsäure-Dünnschicht (Transmissions-/Absorptionsmessung);

Gerätekonfiguration:

- UV-sichtbares Spektrophotometer;
- Ulbrichtkugel-Zubehör (für Streuproben);
- Testwellenlängenbereich: 200–800 nm.

Analyseinhalt:

- Position des Hauptabsorptionspeaks (300–450 nm);
- Absorptionsintensität (Abs);
- Abschätzung der Absorptionskante und der optischen Bandlücke (Tauc-Methode):

$$(\alpha h\nu)^n = A(h\nu - E_g) \quad (\alpha h\nu)^{1/2} = A(h\nu - E_g) \quad (\alpha h\nu)^n = A(h\nu - E_g)$$

- $n=2$: direkte Bandlücke; $n=1/2$: indirekte Bandlücke.

Gängige Bandlückenwerte:

- H_2WO_4 : 2,6–2,9 eV (blau-violette Lichtabsorption);
- Dotierte Wolframsäure: abstimbar auf 1,8–2,4 eV.

2. Photolumineszenzspektroskopie (PL)

Das Rekombinationsverhalten photoinduzierter Elektron-Loch-Paare in Wolframatmaterialien wird analysiert, um deren Bandstruktur und Defektzustände widerzuspiegeln.

Testparameter:

- Anregungswellenlänge: 325 nm, 405 nm usw.;
- Messband: 350–700 nm;
- Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Position, Intensität und Fluoreszenzlebensdauer des Lumineszenzpeaks.

Typisches Phänomen:

- Der Emissionspeak liegt im Bereich von 450–550 nm und die Intensität variiert je nach Gitterdefekten oder Dotierung.
- Durch Dotierung kann die nicht-strahlende Rekombination gehemmt und die Lumineszenzeffizienz verbessert werden.

3. Photokatalytischer Leistungstest

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bewerten Sie die Fähigkeit von Wolframsäure, Schadstoffe oder Farbstoffe unter Bestrahlung mit UV-/sichtbarem Licht abzubauen.

Testmethode:

- Erstellen Sie ein Reaktionssystem (z. B. Methylorange/Rhodamin B/MB usw.).
- Stellen Sie die Lichtquelle ein (Xe-Lampe, LED, simuliertes Sonnenlicht).
- Nehmen Sie in regelmäßigen Abständen Proben, um Änderungen der Absorption zu messen.
- Berechnen Sie die Abbaurrate und die scheinbare Geschwindigkeitskonstante (k):

$$C_t/C_0 = e^{-kt} \quad C_t / C_0 = e^{-kt}$$

Anwendbares modifiziertes Wolframsäuresystem:

- Nano-Wolframsäure, Cu-dotierte Wolframsäure, Wolframsäure/Graphen-Verbundwerkstoffe usw.

3. Typische Testfälle und Indexanforderungen der CTIA GROUP

Projekt	Testmethode	Typische Daten	Technische Anwendung
Leitfähigkeit	Vier-Sonden-Methode	$1,2 \times 10^{-6}$ S/m (Cu-dotiert)	Intelligente Fenstersteuerung, Elektrodenfolie
Elektrochrom	$\Delta T = 36\%$, $\eta = 48$ cm ² /C	Schnelles Färben, Zyklus > 1000 Mal	Photochromes Glas, elektronisch gesteuerte Beschichtung
UV-Absorption	$\lambda = 412$ nm, $E_g \approx 2,8$ eV	Hohe Absorptionsrate	Photokatalytische Materialien
PL-Lumineszenz	Peak: 485 nm	Mäßig	Optoelektronische Geräte
Photokatalyse	MB 90 % Abbau/40 min	Ausbau des grünen Umweltschutzes	Abwasserbehandlung, Luftreinigung

4. Dateninterpretation und Vorsichtsmaßnahmen

Frage	Grund	Anregung
Leitfähigkeit kann nicht gemessen werden	Die Probe ist zu isolierend oder der Kontaktwiderstand ist hoch	Verwenden Sie ein hochempfindliches LCR-Meter oder Drucksintern
Die Bandgap-Bewertung ist hoch	Messung der Absorptionskantenunschärfe	Korrektur der Reflexion/Streuung mittels Ulbrichtkugel
CV-Kurvenverzerrung	Der Elektrodenkontakt ist schlecht oder der Scan ist zu schnell	Optimierung der Beschichtungsgleichmäßigkeit und des Elektrolyttyps
PL-Spitzenintensität ist zu stark/versetzt	Verunreinigungsdefekte oder Dotierung verursacht	Kombiniert mit XPS- oder Raman-Analyse

V. Zusammenfassung

Die elektrischen und optischen Eigenschaften der Wolframsäure verdeutlichen ihr Anwendungspotenzial. Durch die Kombination verschiedener elektrischer und spektraler Verfahren lassen sich ihre elektronische Struktur, ihre Bandlückeneigenschaften, ihr Leitfähigkeitsverhalten

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und ihre funktionellen Reaktionsfähigkeiten vollständig aufdecken. Dies liefert zuverlässige Daten für die Konstruktion leistungsstarker optoelektronischer Bauelemente, elektrochromer Systeme, photokatalytischer Reaktionsplattformen usw. Die Etablierung eines einheitlichen Bewertungssystems trägt zur standardisierten Anwendung und industriellen Förderung von Wolframsäurematerialien im Bereich der Funktionsmaterialien bei.

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10, \text{Na} \leq 5, \text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 5: Wichtige Derivate und Zwischenprodukte der Wolframsäure

5.1 Metawolframate (wie Natrium, Ammonium, Calcium, Kupfer usw.)

Parawolframate sind Wolframatverbindungen mit Metawolframat -Ionen ($[W_{12}O_{42}]^{10-}$) im Kern und zählen zu den wichtigsten Zwischenprodukten der Wolframchemie. Sie sind nicht nur die wichtigsten Ausgangsstoffe für die Herstellung von Wolframoxiden, Wolframsäurederivaten und metallischen Wolframmaterialien, sondern finden auch breite Anwendung in der Elektronikkeramik, der chemischen Katalyse, der Galvanotechnik und in Funktionsmaterialien. Metawolframat mit unterschiedlichen Kationen wie Natriummetawolframat ($Na_{10} [W_{12}O_{42}] \cdot xH_2O$), Ammoniummetawolframat (APT, $(NH_4)_{10} [W_{12}O_{42}] \cdot xH_2O$), Calciummetawolframat ($Ca_5 [W_{12}O_{42}] \cdot xH_2O$), Kupfermetawolframat ($Cu_3 [W_{12}O_{42}] \cdot xH_2O$) usw. zeigen aufgrund ihrer unterschiedlichen Struktur, Löslichkeit und ihres thermischen Verhaltens einen vielfältigen Wert für die technische und wissenschaftliche Forschung.

1. Struktur und Klassifizierung

Das Grundgerüst von Metawolframat ist ein Dodekawolfram-Sauerstofftetradecen - Anion ($[W_{12}O_{42}]^{10-}$), eine relativ stabile Polymerstruktur aus zwölf $\{WO_6\}$ -Oktaedern mit gemeinsamen Kanten oder Ecken. Diese Struktur weist einen hohen Grad an Symmetrie auf und kann durch Anpassung von pH-Wert und Ionenstärke stabile Kristalle mit einer Vielzahl von Kationen bilden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Name	Chemische Formel	Kristallstruktur	Kationentyp
Natriumwolframat	$\text{Na}_{10} [\text{W}_{12} \text{O}_{42}] \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Monoklin/Orthogonal	Einwertige Metallkationen
Ammoniumpartialwolframat (APT)	$(\text{NH}_4)_2]_{10} [\text{W}_{12} \text{O}_{42}] \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Monoklin/Hexagonal	Ammonium
Calciumwolframat	$\text{Ca}_5 [\text{W}_{12} \text{O}_{42}] \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Hexagonal/orthorhombisch	Zweiwertige Erdalkalimetalle
Kupferwolframat	$\text{Cu}_3 [\text{W}_{12} \text{O}_{42}] \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Quartett	Übergangsmetallkationen

2. Zubereitungsmethode

1. Ansäuerungskristallisationsverfahren (APT-Herstellung)

- Natriumwolframatlösung (Na_2WO_4) ;
- Säuerungsmittel: HCl, HNO_3 , H_2SO_4 zur Einstellung des pH-Werts auf 3,0–3,5 ;
- Fügen Sie NH_4Cl oder NH_4NO_3 hinzu, um Ammoniumionen bereitzustellen ;
- Lassen Sie es 1–2 Stunden lang bei kontrollierter Temperatur (60–80 °C) reagieren, um eine langsame Kristallisation zu ermöglichen.
- Nach dem Waschen und Trocknen werden APT-Kristalle erhalten.



2. Ionenaustauschverfahren (Ca^{2+} , Cu^{2+} Dotierung)

- APT wird als Vorläufer verwendet und reagiert mit CaCl_2 - oder $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ -Lösung;
- Kontrollieren Sie den pH-Wert zwischen 4 und 6, um den Ionenaustausch zu fördern.
- Metawolframat vom Typ $\text{Ca}_5 [\text{W}_{12}\text{O}_{42}]$ oder $\text{Cu}_3 [\text{W}_{12}\text{O}_{42}]$ kann erhalten werden;
- Das Endprodukt wird zur Lagerung gewaschen und getrocknet, um die Integrität der Kristallform zu erhalten.

3. Hydrothermale Selbstassemblierungsmethode (polymorphe Regulierung)

- Geeignet zur Herstellung von Metawolframat mit hoher Kristallinität und spezieller Morphologie;
- Hydrothermale Reaktion bei 100–180 °C;
- Die Partikelgröße und Morphologie kann durch Additive wie PVP und PEG angepasst werden.

3. Leistungsmerkmale

Projekt	Beschreibung
Wasserlöslichkeit	Die Löslichkeit von APT ist geringer als die von Na_2WO_4 , was die Niederschlagstrennung begünstigt
Thermische Stabilität	Es kann bei 600–800 °C in Wolframtrioxid zersetzt werden
Kristallmorphologie	APT besteht aus nadelförmigen Kristallen, Natrium aus säulenförmigen Kristallen und Kalzium aus meist flockenförmigen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframgehalt	Der theoretische Wolframgehalt von APT beträgt etwa 74,3 % und ist damit höher als der von WO ₃ (72,6 %)
pH-Reaktionsfähigkeit	Es kann unter sauren Bedingungen stabil ausgefällt und bei einem pH-Wert von >7 leicht zu WO ₄ ²⁻ hydrolysiert werden.

Zersetzung wird WO₃ mit gleichmäßiger Partikelgröße hergestellt und anschließend weiter reduziert, um Wolframpulver zu erhalten. Daher bestimmt sein thermisches Verhalten die Qualität des nachfolgenden Wolframpulvers.

4. Einführung typischer Vertreter

1. Ammoniumwolframat (APT)

- Die gebräuchlichste und mit der größten Leistung;
- Als Ausgangsmaterial für Metall wird Wolframpulver, Wolframcarbid, Wolframlegierung, Wolframat usw. verwendet.
- Die Standards der Prozesssteuerung sind ausgereift und äußerst anpassungsfähig.

2. Natriumwolframat

- Wird als Wolfram-Zwischenprodukt in Katalysatorvorläufern verwendet.
- Langzeitstabilität bei neutralem pH-Wert;
- Es kann für einige synthetische Materialien verwendet werden, die bei niedrigen Temperaturen Festkörperreaktionen durchführen.

3. Calciumwolframat

- Angewendet auf bleifreie Keramik und dielektrische Materialien;
- Hat eine gute Isolierung und thermische Stabilität;
- Beim Sintern kann eine CaWO₄-ähnliche Gerüststruktur entstehen.

4. Kupferwolframat

- Kann für Katalyse und antibakterielle Materialien verwendet werden;
- Durch Kupferdotierung wird die elektrische Leitfähigkeit und die Fähigkeit zur Bildung von aktivem Sauerstoff verbessert.
- Es wird in der Forschung zum Aufbau eines photokatalytischen/elektrokatalytischen Verbundsystems verwendet.

5. Technische Anwendungs- und Entwicklungsaussichten

Anwendungsbereiche	veranschaulichen
Wolframpulver/Wolframcarbid-Präparation	APT thermische Zersetzung + Wasserstoffreduktion ist die gängigste Methode zur Herstellung von Wolframpulver
Optische Keramik	Calciumwolframat wird in lumineszierenden Substraten und Laserkristallen verwendet
Photokatalysator	Kupferwolframat und andere Materialien werden zum Aufbau von Heteroübergängen und zur Verbesserung der katalytischen Effizienz verwendet
Elektrochemische Materialien	Dotierte Metawolframatssysteme für Superkondensator- und Batterieelektroden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Grüner Entfärber	APT kann mit TiO ₂ verwendet werden , um ein UV-Entfärbungskatalytisches System aufzubauen
-------------------------	---

Im Metawolframat -Geschäft der CTIA GROUP bieten APT-Produkte die Vorteile der Serialisierung, Standardisierung und elektronischen Füllstandskontrolle. Die Jahresproduktion beträgt über 1.000 Tonnen und wurde erfolgreich in Märkte wie Japan, Südkorea und Deutschland exportiert. Zukünftig werden wir die Technologie zur Gewinnung von grünem Wolfram kombinieren, um neue Kristallformen und Mehrfachdotierungen für Metawolframat zu entwickeln .

VI. Zusammenfassung

Metawolframat ist ein wichtiges Zwischenprodukt im Wolframsäuresystem mit klarer Struktur, überlegener Leistung und breiter Anwendung. Die repräsentative Substanz APT hat sich zu einer unverzichtbaren Rohstoffplattform in der globalen Wolframindustrie entwickelt. Durch Strukturregulierung, Ionensubstitution, Morphologie-Engineering und andere Maßnahmen können die Anwendungsbereiche erweitert und Metawolframat in neue Bereiche wie optische Funktionen, Energie und Katalyse eingeführt werden, was einen extrem hohen materiellen und industriestrategischen Wert aufweist.

5.2 Wolframatkomplexe (Polywolframate , Isopolysäuren)

Wolframatkomplexe sind mehrkernige Anionenkomplexe, die durch die Polymerisation von Wolframat-Ionen über Sauerstoffbrücken oder Strukturumlagerungen entstehen und allgemein als „ Polyoxowolframate “ bezeichnet werden. (PWTs)" oder allgemeiner " Heteropolysäuren (HPAs)" . Diese Verbindungen haben eine klare Molekülstruktur, eine steuerbare Komponentenkonfiguration und reichhaltige elektronische Eigenschaften und sind eine sehr repräsentative Klasse supramolekularer Systeme in anorganischen Funktionsmaterialien .

Wolframatkomplexe können nicht nur als Katalysatoren, Elektrodenmaterialien, photofunktionelle Moleküle und Protonenleiter eingesetzt werden, sondern bieten auch vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in den Bereichen Medizin, Sensorik, antibakterielle Wirkung und molekulare Erkennung. In diesem Abschnitt werden der Kernstrukturtyp, der Syntheseweg, die physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie die strategische Bedeutung für die Forschung und Produktentwicklung der CTIA GROUP eingehend analysiert.

1. Grundlegende Struktureinheiten und Klassifizierungssystem

1. Polywolframat -Kernstruktur

Grundlegende Bausteine: {WO₆} -Oktaeder

werden durch gemeinsame Ecken oder Kanten aggregiert, um die folgenden Strukturen zu bilden:

- **Isopolyoxowolframate** : selbstorganisiert aus Wolframat, wie beispielsweise [W₆O₁₉]²⁻, [W₁₂O₄₀]⁸⁻ ;
- **Heteropolysäuren (Heteropolyoxowolframate)** : heteronukleare Atome (P, Si, Ge usw.) werden in das Zentrum der Struktur eingeführt, wie zum Beispiel:
 - Keggin -Struktur: wie beispielsweise [PW₁₂O₄₀]³⁻, [SiW₁₂O₄₀]⁴⁻ ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Dawson-Struktur: wie etwa $[P_2W_{18}O_{62}]^{6-}$;
- Anderson-Struktur: wie beispielsweise $[Cr(OH)_6W_6O_{18}]^{3-}$.

2. Klassifizierungssystem

Typ	Strukturkern	Allgemeine Formel	Besonderheit
Äquivalente Säure	Reine Wolframstruktur	$[W_nO_{3n+1}]^{m-}$	Die Struktur ist relativ symmetrisch und leicht wasserlöslich
Heteropolysäure	Heteronukleares Zentrum + Wolframoxidcluster	$[XW_nO_m]^{p-}$	Starke Säure und vielfältige Funktionen
Organisch-anorganischer Hybrid	Polysäure + organisches Kation	$[PWT]@R^+$	Einstellbare Oberflächenaffinität
Dotierte Polysäure	Einführung von Mo, V, Ti usw.	$[PW_{10}V_2O_{40}]^5-$	Steigerung der Redoxleistung

2. Syntheseweg und Kontrollstrategie

Die Synthese von Polywolframaten wird üblicherweise durch **Säurefällung Selbstorganisation erreicht**, Der Schlüssel liegt in der pH-Kontrolle, der Regulierung der ionischen Umgebung und der Einführung koordinierender Ionen.

1. Heteropolysäuresynthese (Keggin - Typ)

- Rohstoffe: Na_2WO_4 , H_3PO_4 (oder Natriumsilikat) ;
- Ansäuerung auf pH 1–2;
- Auf 60–80 °C erhitzen und 4–6 Stunden lang ständig rühren;
- Abkühlung, Kristallisation, Rekristallisation und Reinigung;
- die Keggin -Struktur $H_3[PW_{12}O_{40}] \cdot xH_2O$ bzw. dessen Salze .

2. Dotierungs-/Funktionalisierungspfad

- Zugabe von Sauerstoffsäuresalzen wie V, Mo und Ti, um eine synergistische Reaktion zu erzielen;
- oder durch die Einführung von Modifikatoren wie organischen Aminen und organischem Phosphor während der Nachbehandlungsphase;
- Hydrothermale Behandlung, Ionenaustausch, Grenzflächen-Selbstorganisation und andere Technologien helfen bei der Stabilisierung der Struktur.

3. Synthese organischer Polysäure-Komposite

- Komplexierung von PWT mit quartären Ammoniumsalzen und kleinen organischen Molekülen;
- Für den Einsatz in Beschichtungen, elektrochemischen Systemen usw. kann ein steuerbares Wasser-Öl-Zweiphasensystem konstruiert werden.

3. Physikalische und chemische Eigenschaften

Natur	beschreiben
Starke Säure	$H_3 [PW_{12}O_{40}]$ und andere haben eine stärkere Protonenfreisetzungsfähigkeit als H_2SO_4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hohe Stabilität	Keggin-artige Struktur mit thermischer Stabilität bis 400 °C
Reversible Redox	$W^{6+} \leftrightarrow W^{5+}$ -Übergang, der zur Ladungsspeicherung und Katalyse genutzt werden kann
Einstellbare Löslichkeit	Einstellbares Lösungsverhalten von Salzen wie K, Na, NH_4 , Histamin etc.
Struktur kann charakterisiert werden	Umfassende Analyse durch IR, UV, NMR, XRD, ESI-MS und andere Mittel

4. Einführung repräsentativer Polywolframate

1. Heteropolysäure vom Keggin-Typ

- Summenformel: $[PW_{12}O_{40}]^{3-}$, $[SiW_{12}O_{40}]^{4-}$;
- Starke Säure und stabile Struktur;
- Wird zur Katalyse von Veresterung, Oxidation, Phenolhydroxylierung und anderen Reaktionen verwendet;
- Es ist das wichtigste Plattformmolekül in der Wolframkatalyseindustrie.

2. Polysäure vom Dawson-Typ

- Molekularformel: $[P_2W_{18}O_{62}]^{6-}$;
- Höhere Kernanzahl und größere Raumstruktur;
- Es verfügt über einzigartige Eigenschaften in Energiespeichergeräten und selbstheilenden Beschichtungen.

3. Dotierte Polysäure

- Beispiel: $[PW_{11}VO_{40}]^{4-}$, $[SiW_9Mo_3O_{40}]^{7-}$;
- Änderungen des Redoxpotentials;
- Erweitern Sie das photoelektrische Aktivitätsfenster und verbessern Sie die katalytische Selektivität.

4. Organischer Polysäurekomplex

- Bei den meisten davon handelt es sich um modifizierte Typen aus quartären Ammoniumsalzen und Organophosphaten.
- Ändern Sie die Dispergierbarkeit und Grenzflächenaffinität von Polysäuren.
- Anwendung in der Biokatalyse, antibakteriellen Membranen und flexiblen Geräten.

5. Anwendungshinweise und Fortschritt an der Front

Anwendungsbereiche	Merkmale	Typische Beispiele
Säurekatalysator	Veresterung, Hydrolyse, Kondensation	$H_3[PW_{12}O_{40}]$ als homogener Katalysator
Photokatalyse	Reaktion auf sichtbares Licht, Elektronentransfer	Zusammengesetzter katalytischer Abbau von Farbstoffen durch $[SiW_{12}O_{40}]$ und TiO_2
Elektrochrome Materialien	Reversible W^{6+} / W^{5+} -Transformation	Für Smart Glass und elektrochrome Folien
Superkondensatoren	Schnelle Elektronenspeicherung, Ionendiffusion	Dawson-Typ V-dotierte Polysäure auf Kohlenstoffträger

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Biologisch antibakteriell	Zerstören Bakterienmembranen und setzen Oxide frei	Organisches PWT zur Beschichtung medizinischer Kontaktmaterialien
Molekulare Erkennung und Sensorik	Metallkoordination, Protonenreaktion	Polysäuren bilden ionenselektive Elektroden und Sensorschnittstellen

VI. CTIA GROUP Forschungslayout und Produkterweiterung

CTIA GROUP hat eine Pilotentwicklungsplattform für mehrsaurige Wolframmaterialien eingerichtet, die hauptsächlich Folgendes abdeckt:

- Aufbau einer Heteropolysäure -Materialbibliothek (Keggin /Dawson-Strukturen 50+);
- Entwicklung organischer Polysäure-Verbundmembranmaterialien (Membranelektrode/photokatalytischer Film);
- Kommerzialisierung von Polysäurekatalysatoren (Flüssigkatalysatoren/immobilisierte Träger);
- Versuchsüberprüfung von dotiertem PWT in Energie-/optischer Keramik.

In Zukunft werden wir die Bereiche Vanadium-Molybdän-Kodotierung, aggregationsinduzierte Emission (AIE) und bioaktive Polysäuren weiter ausbauen, um einen umfassenden Durchbruch von der Funktionsstruktur zur Geräteplattform zu erzielen.

VII. Zusammenfassung

Wolframchemie: Wolframatkomplexe haben nicht nur einen extrem hohen akademischen Wert in der Grundlagenforschung, sondern ihre Säurekatalyse, ihr elektronisches Verhalten und ihre molekularen Erkennungseigenschaften bestimmen auch ihre breiten Perspektiven in den Bereichen Katalyse, Elektrochemie, Energie und funktionelle Verbundsysteme. Durch strukturkontrollierte Synthese, Dotierungsregulierung und Grenzflächenkomposit werden Wolframatkomplexe zu einem wichtigen Bestandteil zukünftiger funktioneller Materialsysteme.

5.3 Organische Wolframatester und organische Komplexe

Organowolframatester und Organowolframkomplexe sind wichtige Expansionsformen in der Wolframsäurechemie und gehören zu den organisch-anorganischen Hybridsystemen. Diese Verbindungen bilden durch Koordination, Veresterung, Bindung etc. organischer funktioneller Gruppen mit Wolframsäure oder Wolframat stabile Molekülstrukturen und verfügen über eine gute Löslichkeit, Funktionalität und einstellbare Struktureigenschaften.

Mit der kontinuierlichen Entwicklung der grünen Chemie, der homogenen Katalyse und organometallischer Materialien haben organische Wolframatester und organische Wolframsäurekomplexe nach und nach ihre einzigartigen Vorteile in der Katalyse, bei Funktionsbeschichtungen, in der Biomedizin, der Elektrochemie und bei lichtempfindlichen Materialien unter Beweis gestellt und sind zu einer Schlüsselrichtung im Forschungs- und Entwicklungssystem der CTIA GROUP für Wolframverbindungen mit hoher Wertschöpfung geworden.

1. Definition und Grundstruktur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Wolframester

Organische Wolframester sind organische Wolframverbindungen, die durch Veresterung von Wolframsäure (H_2WO_4) oder Wolframat mit organischen Alkoholen (wie Alkohol, Phenol, Allylalkohol usw.) entstehen. Ihre Grundstruktur enthält im Allgemeinen W=O- und W-O-R-Bindungen (R ist eine organische Gruppe).

Schematische Formel:



2. Organowolframkomplexe

Organische Wolframkomplexe beziehen sich im weiteren Sinne auf die Koordinationsstruktur, die aus Wolfram und kleinen organischen Molekülen mit Koordinationsgruppen (wie Aminen, Carbonsäuren, Phosphonsäuren, organischen Aminalsalzen, organischen Liganden) besteht, die ein-, zwei- oder mehrkernig sein können.

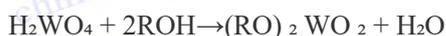
Ihre strukturelle Stabilität und ihr elektronisches Verhalten können durch organische Liganden eingestellt werden, wobei manchmal direkte W-C- oder W-N-Bindungen beteiligt sind.

2. Synthesemethode

1. Veresterungsreaktionsmethode

- Als Säurequelle wird Wolframsäure oder Wolframat verwendet;
- Reagiert mit Alkoholen (z. B. Ethanol, Phenol, Nonanol);
- Unter saurer oder Lewis-Säure-Katalyse;
- niedrige bis mittlere Temperaturbedingungen (30–90 °C);
- Häufig verwendete Lösungsmittel: Alkohole, autolytische Systeme, Dichlormethan.

Beispielreaktion:



2. Co-Präzipitationskomplexierungsmethode

- die Wolframquelle (wie etwa APT, Na_2WO_4) mit der Lösung des organischen Liganden (EDTA, Zitronensäure, Thioharnstoff usw.);
- Kontrollieren Sie den pH-Wert im Bereich von 5–9;
- Hydrothermale oder Normaldruckreaktion;
- Es kann Wolframatkomplexe bilden, die stabil durch organische Liganden eingekapselt sind.

3. Festphasenadditivverfahren/Solvothormalregulierungsverfahren

- Wird häufig zur Herstellung organisch-anorganischer Hybridmaterialien verwendet;
- Verwenden Sie Vorlagen und Tenside, um die Partikelgröße und Dispergierbarkeit des Produkts zu steuern.
- Es wird häufig zum Aufbau organischer Wolframat-/Metallkomplex-Nanokomposite verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Typische Vertreter und ihre strukturellen Merkmale

Typ	Summenformel/Strukturbeschreibung	Merkmale
Diethylwolframat	$(\text{EtO})_2\text{WO}_2$	Transparente, ölige Flüssigkeit, leicht löslich in Alkohol
Phenolwolframat	$(\text{PhO})_2\text{WO}_2$	Enthält aromatische Ringe zur Verbesserung der thermischen Stabilität
Alkoholaminkomplex Wolframat	$[\text{WO}_2(\text{HL})_2]$ (L ist Alkoholamin)	Stabile mononukleare Komplexstruktur, geeignet für die Lösungskatalyse
W-PAA	Wolfram-Polyacrylsäure-Komplex	Gute Filmbildungseigenschaft, wird für Funktionsfolien verwendet
Schiff-Base-Wolframkomplex	Enthält W=N-Bindungsstruktur	Hervorragende Lichtempfindlichkeit und magnetische Eigenschaften

4. Leistungsmerkmale

Projekt	Leistungsbeschreibung
Löslichkeit	Die meisten von ihnen sind in Alkoholen, Ethern und organischen Lösungsmitteln löslich
Thermische Stabilität	Die Stabilität der Esterbindungen ist mäßig und für Umgebungen $\leq 200\text{ }^\circ\text{C}$ geeignet
Elektrische Eigenschaften	Mit bestimmter Elektronenmigrationsfähigkeit und einstellbarer Bandlücke
Optische Aktivität	Es gibt π - π - und n - π - Übergänge, die eine Absorption sichtbaren Lichts zeigen
Reaktivität	Kann an Esteraustausch, nukleophiler Substitution, Radikalreaktion usw. teilnehmen.
Oberflächenfunktionalität	Können als selbstorganisierte Monoschichten (SAMs) zum Aufbau molekularer Grenzflächenmaterialien verwendet werden

5. Anwendungsgebiete

1. Homogener Katalysator

- Veresterungs-/ Amidierungs-/Oxidations-/Reduktionskatalyse;
- Beispielsweise katalysiert Phenolwolframatester die Ringöffnung von Alkylenoxid;
- Es weist eine hohe Selektivität und geringe Nebenreaktionen auf.

2. Elektrochrome Beschichtungen und intelligente Filme

- W-PAA- oder Polypyrrrolwolframat -Verbundbeschichtung;
- Es verfügt über eine reversible Farbwechselfähigkeit und eine hohe optische Regulierungsrate.
- Wird in flexiblen elektronischen Geräten, Displayfolien usw. verwendet.

3. Medizin und Biologie

- Einige Wolframatester weisen antibakterielle und antitumorale Wirkungen auf.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Wird in der Forschung zur Proteinmodifikation und zum Aufbau von RNA-Erkennungsstellen verwendet.

4. Metall-organische Gerüstverbindungen (MOF)

- Wolframatester wird als Knoten zur Verbindung mit einer Carbonsäure-/Aminogruppe verwendet;
- Kann stabile metallorganische poröse Materialien bilden;
- Wird zur Gasadsorption, Trennung und Photokatalyse verwendet.

5. Nanokomposit-Modifikatoren

- Organische Wolframkomplexe können als Grenzflächenregulatoren eingesetzt werden;
- Wird zur Oberflächenmodifizierung von Elektrodenmaterialien/Graphen/Oxiden angewendet;
- Verbessern Sie die elektrochemische Leistung und Schnittstellenstabilität.

VI. Produktentwicklung und Forschungsrichtung der CTIA GROUP

Die CTIA GROUP hat derzeit eine Vielzahl organischer Wolframsäurekomplexsysteme entwickelt und die folgenden technischen Plattformen etabliert:

- **Produktreihe :**
 - Alkoholwolframatester (C₂ – C₁₀) ;
 - Organischer Amin-Wolfram-Komplex;
 - Organophosphat-Wolframsalze;
 - W-PVP, W-PEG-Kompositdispersionen;
- **Leistungsplattform :**
 - Elektrokromes Reaktionssystem (10² Zyklen ohne Dämpfung);
 - Flexible leitfähige Paste;
 - Intelligente Antibeschlag- und lichtempfindliche Materialien.

In Zukunft werden wir die biologisch abbaubaren Wolframatester, programmierbaren optoelektronischen Funktionsmaterialien und elektrokatalytischen Wolframatestersysteme weiter ausbauen und die Anwendungsgrenzen im Bereich grüne Energie und flexible Funktionsgeräte erweitern.

VII. Zusammenfassung

Organische Wolframatester und organische Wolframkomplexe stellen die vielfältigsten und flexibelsten Zweige der Wolframatfamilie dar. Sie bieten nicht nur funktionelle Eigenschaften wie Lösungsverarbeitung, Grenzflächenaufbau und elektrooptische Regulierung für Wolframmaterialien, sondern zeigen auch großes Potenzial für interdisziplinäre Anwendungen. Durch molekulares Strukturdesign und Grenzflächenregulierung werden organische Wolframkomplexe in den Bereichen Licht, Elektrizität, Katalyse, Sensorik, Biomedizin und anderen Bereichen eine wichtigere Rolle spielen.

5.4 Wolframatbasierte Funktionsmaterialien und Komposite

Wolframsäurebasierte Funktionsmaterialien sind Verbundwerkstoffe mit spezifischen elektrischen, optischen, katalytischen, Energiespeicher-, Induktions-, Strukturverstärkungs- und weiteren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Funktionen. Sie basieren auf Wolframsäure (H_2WO_4) oder deren Derivaten als aktiver Phase, Matrix oder Strukturelement. Solche Materialien werden üblicherweise in Kombination mit organischen, polymeren, metalloxidischen, kohlenstoffbasierten Materialien oder anderen Metallsalzen hergestellt und weisen multidimensionale Eigenschaften auf, die die von Wolframsäure allein deutlich übertreffen.

Mit der Entwicklung der Theorie des Designs funktionaler Verbundwerkstoffe und der Technologie für mehrskalige Konstruktionen wandelt sich Wolframsäure allmählich von der traditionellen Vorläuferrolle zur zentralen Funktionskomponente und findet breite Anwendung in intelligenten Farbwechselgeräten, elektrochemischer Energiespeicherung, flexibler Elektronik, Biokatalyse und Umweltmanagement.

1. Materialkonstruktionsmethode und Verbundmechanismus

Der Aufbau von Funktionsmaterialien auf Wolframatbasis kann in folgende Modi unterteilt werden:

Konstruktionstyp	beschreiben	Beispiel
Anorganisch-anorganischer Verbundwerkstoff	Wolframsäure + Metalloxid	WO_3 / TiO_2 photokatalytische Materialien
Anorganisch-organischer Hybrid	Wolframsäure + Polymer/organischer Ligand	W-PVP-Dispersion
Kohlenstoffbasierte Verbundwerkstoffe	Wolframsäure + Graphen/Kohlenstoffnanoröhren usw.	W-GO-Verbundelektrode
Multifunktionales kollaboratives System	Es verfügt auch über Elektrokatalyse, Adsorption usw.	$W-Fe_3O_4$ – MOF-Komposit-Adsorptionskatalysator

Zu den wichtigsten Aufbaustrategien gehören:

- In-situ-Abscheidungsverfahren (Sol-Gel, Selbstorganisation);
- Copräzipitations-/Dotierungsverfahren;
- Hydrothermale/solvothermale synergistische Reaktion;
- Schichtweiser Aufbau und Oberflächenmodifizierung;
- Vorlagenmethode (Hard-Template/Soft-Template-Konfigurationssteuerung);

2. Repräsentative Typen von Verbundwerkstoffen auf Wolframatbasis

1. Wolframsäure-Metalloxid-Verbundsystem

Durch Einbringen von TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , usw. können Elektronentransferkanäle oder Heteroübergangsschnittstellen gebildet werden, wodurch die photoelektrische Umwandlung oder die katalytische Effizienz verbessert wird.

- WO_3 / TiO_2 : wird für die UV-/sichtbare Lichtkatalyse verwendet;
- WO_3 / Fe_2O_3 : Verbesserte Trennung der photogenerierten Ladungsträger;
- WO_3 / CeO_2 : Verbessert die Antireduktionsfähigkeit und die Sauerstoffspeicherung;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **WO₃ / SnO₂** : Wird in gasempfindlichen Geräten verwendet, um die Reaktionsrate zu verbessern.

2. Wolframsäure-Kohlenstoff-Materialverbundsystem

Die hohe Leitfähigkeit, die spezifische Oberfläche und die Dispergierbarkeit von Kohlenstoffmaterialien werden genutzt, um den Elektronentransport zu verbessern und die Belastbarkeit zu erhöhen.

- **WO₃/GO (Graphenoxid)** : wird für flexible Superkondensatoren und elektrochrome Geräte verwendet;
- **WO₃ /CNT (Kohlenstoffnanoröhren)** : verbessert die strukturelle Stabilität und die Lebensdauer;
- **WO₃/C (Aktivkohle, Kohlenstoffgewebe)** : geeignet zur Energiespeicherung und Abwasseradsorption.

3. Wolframsäure-Polymer-Hybridsystem

Organische Makromoleküle oder Polymere können für eine stabile Dispersion, flexible Verarbeitung und Filmbildungsfunktionen für Wolframsäure sorgen.

- **WO₃ / Polypyrrol (PPy)** : wird für flexible Elektroden verwendet;
- **WO₃ /PVA/ PEG** : bildet einen transparenten elektrochromen Film;
- **WO₃-Proteinkomplexe** : für Biokatalyse- und Sensoranwendungen.

4. Mehrkomponentige synergistische Funktionsmaterialien

Wolframsäure kann als Katalysator, zur Energieumwandlung oder zur strukturellen Stabilisierung verwendet werden, um in Zusammenarbeit mit Metallen, organischen Gerüsten, Photosensibilisatoren usw. multifunktionale Materialien herzustellen.

- **WO₃ @ MOF** : Realisierung steuerbarer Poren + Redoxleistung;
- **W-Ni-S-Komposite** : für die Wasserstoffentwicklungselektrokatalyse;
- **Wolframat-Porphyrin -Komposite** : eine dualfunktionale Plattform für die Photothermische Therapie und Photokatalyse.

3. Leistungsvorteile und Steuerungsmethoden

Wolframatbasierte Funktionsmaterialien bieten aufgrund ihrer strukturellen Vielfalt und chemischen Stabilität folgende wesentliche Vorteile:

Leistungstyp	Vorteile und Funktionen	Impact Factor
Elektrochemische Aktivität	Reversibler W ⁶⁺ /W ⁵⁺ -Übergang mit signifikanter Kapazitätsreaktion	Materialmorphologie, leitfähiges Phasenverbundverhältnis
Optische Leistung	Bandlücke einstellbar, photochrom/elektrochrom	Kristallformkontrolle, Dotierungsanpassung
Katalytische Aktivität	Die W=O/W-OH-Zentren an der Oberfläche sind reichlich vorhanden und übertragen leicht Elektronen.	Spezifische Oberfläche, Hybridligandenauswahl
Thermische Stabilität	Hohe Temperaturbeständigkeit und Alterungsbeständigkeit	Kristallintegrität, kovalente Bindungsstruktur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Filmbildende Eigenschaften und Flexibilität	Wirkt synergetisch mit Polymeren und verleiht Flexibilität und Dehnbarkeit	Molekulargewicht, Grenzflächenaffinität	Hybrid-
--	--	---	---------

Zu den Regulierungswegen gehören:

- Kontrollieren Sie Synthesetemperatur und pH-Wert, um eine präzise Morphologiekontrolle zu erreichen;
- Einführung struktursteuernder Mittel zur Regulierung der spezifischen Oberfläche und Porenverteilung;
- Anpassung der Elektronenwolkenichte durch organische Liganden zur Verbesserung der photokatalytischen Selektivität;
- Passen Sie die Bandlücke und den Elektronenmigrationspfad durch Ionendotierung/Oberflächenmodifikation an.

4. Typische Anwendungsgebiete und Ingenieurpraktiken

Anwendung	Schlüsselkennzahlen	Materialsystem
Elektrochrome Fensterfolie	$\Delta T > 30 \%$, Reaktionszeit $< 5 \text{ s}$	WO ₃ /PVA/PEG-Film
Superkondensatoren	Spezifische Kapazität $> 300 \text{ F/g}$, Zykluslebensdauer $> 10.000 \text{ Mal}$	WO ₃ /GO / CNT- Verbundwerkstoffe
Photokatalytischer Abbau	Abbaueffizienz $> 90 \%$, Reaktion auf sichtbares Licht	WO ₃ / TiO ₂ / Graphen- Ternärkomposit
Gassensoren	Hohe Empfindlichkeit gegenüber NO ₂ / H ₂ S und schnelle Reaktion	WO ₃ / SnO ₂ /Ag- Verbundempfindliche Schicht
Schwermetalladsorption	Adsorptionskapazität $> 250 \text{ mg/g}$, starke Selektivität	WO ₃ /Biokohle- Kompositadsorbent
Flexible Elektronik	500-mal biegen ohne Leistungseinbußen	Wolframsäure-PEDOT- Verbundelektrode

5. CTIA GROUP F&E-Fall

Die CTIA GROUP hat die folgenden Forschungseinsätze im Bereich der funktionellen Verbundwerkstoffe auf Wolframatbasis abgeschlossen:

- Aufbau einer Prozessplattform für Wolframat-Hybridmaterialien (jährliche Testproduktionskapazität von 50 Tonnen);
- Bildung von drei Hauptserien, darunter „transparente Filmmaterialien auf Wolframatbasis“, „flexible WC-Elektroden“ und „synergistische W/MOF-Katalysatoren“.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Gemeinsam mit Universitäten das „Tungsten Acid Intelligent Coating Joint Laboratory“ aufbauen, um elektrochrome und antibakterielle selbstheilende Funktionssysteme zu entwickeln;
- Die entwickelte „WO₃/ PPy /PVA-Verbundfolie“ wurde im Rahmen des Smart-Dimming-Glass-Projekts erfolgreich erprobt.

VI. Zusammenfassung

Wolframsäurebasierte Funktionsmaterialien und Verbundwerkstoffe entwickeln sich aufgrund ihrer einzigartigen elektronischen Struktur, vielfältigen einstellbaren Eigenschaften und guten Verbundkompatibilität zu einem wichtigen Zweig des neuen Materialsystems. Durch Verbunddesign, mehrskalige Regulierung und Leistungssynergie dient Wolframsäure nicht nur als Reaktionsvorläufer, sondern spielt auch eine zentrale Rolle als strategisches Basismaterial in vielen Spitzentechnologien wie Energiespeicherung, Sensorik, Katalyse und optoelektronischen Geräten. Wolframsäurebasierte Verbundsysteme werden sich in Zukunft in Richtung multifunktionaler Integration, grüner Intelligenz und Hochintegration weiterentwickeln.

5.5 Synthese hochvalenter Wolframoxid-Vorläufer unter Beteiligung von Wolframsäure

Stöchiometrische Wolframoxide sind eine Klasse nichtstöchiometrischer, defektreicher Wolframoxide mit signifikanten elektrochromen, photothermischen, elektrokatalytischen, energiespeichernden und sensorischen Eigenschaften. Typische Vertreter sind W₁₈O₄₉, W₂₀O₅₈, W₂₅O₇₃ usw., die ein reicheres elektronisches Verhalten, eine höhere Sauerstoffleerdichte und eine bessere elektrochemische Aktivität als WO₃ aufweisen.

Wolframsäure (H₂WO₄) ist aufgrund ihres hohen Hydratisierungsgrades, ihrer starken Reaktivität und ihrer leicht kontrollierbaren Morphologie und Struktur ein wichtiger Rohstoff zur Herstellung dieser hochvalenten Wolframoxid-Vorläufer. Durch gezielte Steuerung der Wärmebehandlung, der reduzierenden Atmosphäre, der Vorläuferliganden und der Reaktionsbedingungen der Wolframsäure lässt sich eine präzise Kontrolle der Phasenzusammensetzung, Morphologie und Redoxeigenschaften des Produkts erreichen.

一、 Grundlegende Struktur und Eigenschaften von hochvalentem Wolframoxid

1. Chemische Formel und Strukturmerkmale

Name	allgemeine Formel	Sauerstoff/Wolfram-Verhältnis	Funktionsstruktur
W ₁₈ O ₄₉	WO _{2.72}	2,72	Sauerstoffarme, maßgeschneiderte Struktur, O-Leerstellen sind hochgeordnet

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

W₂₀O₅₈	WO _{2.9}	2,90	Interkalation von Leerstellenketten zwischen Gittern, ausgezeichnete Leitfähigkeit
W₂₅O₇₃	WO _{2.92}	2,92	Ähnlich wie WO ₃ , mit gemischter Valenz W ⁵⁺ / W ⁶⁺
W_xO_y- Nanobänder/ drähte	Nichtstöchiometrisch	2,6–2,95	Normalerweise Einkristalle oder geordnete Defektfragmente

Diese Strukturen sind W-reich mit hohen Sauerstoffleerstellenkonzentrationen und ihre elektrische Leitfähigkeit kann um 1–2 Größenordnungen erhöht werden, während ein breites optisches Reaktionsfenster erhalten bleibt.

2. Leistungskennzahlen

Leistung	Zahlenbereich	Kontrast
Leitfähigkeit	10 ⁻³ –10 ⁻¹ S/cm	Höher als WO ₃ (10 ⁻⁶ –10 ⁻⁷ S/cm)
Bandlücke	2,1–2,5 eV	Deutlich verbesserte Reaktion auf sichtbares Licht
Sauerstoffleerstellendichte	>10 ²¹ cm ⁻³	Verbesserung der Elektrokatalyse und der Ionentransportraten
Lichtabsorption	λ = 400–800 nm	Oberflächenplasmonenresonanz tritt auf

2. Vorteile von Wolframsäure als Vorläufer

Wolframsäure bietet bei der Synthese hochvalenter Wolframoxide folgende wesentliche Vorteile:

Merkmal	Leistung
Starke Reaktivität	Die Struktur enthält Wasser und dichte Hydroxylgruppen, die sich leicht thermisch zersetzen und einen Phasenübergang aufweisen
Kontrollierbare Kristallform	Durch pH- und hydrothermale Regulierung können verschiedene Kristallformen erreicht werden
Ionenaustauschkapazität	Bildung von Zwischenstrukturen mit Kohlenstoff, Metall und Liganden
Hohe Dispergierbarkeit	Hilft, die Oxidpartikelgröße und Defektbildung zu kontrollieren
Dopabilität	Cu, Ni, Mo usw. können in situ eingeführt werden, um die elektrische Aktivität zu erhöhen

3. Typische Synthesewege und wichtige Kontrollpunkte

1. Atmosphärenkontrollierte Pyrolyse

Die Wolframsäure wird in einer kontrollierten Atmosphäre erhitzt, um die Umwandlung von H₂WO₄ → Umwandlung von W_xO_y zu erreichen .

Schritt	Zustand	Ergebnis
Trocknungsvorbehandlung	80–100 °C	freies Wasser zur Bildung von WO ₃ · xH ₂ O
Wärmebehandlungsphase	400–600 °C (N ₂ / H ₂ / Ar)	Erreichen von WO ₃ → W ₁₈ O ₄₉ usw.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Atmosphärenkontrolle	Leicht reduzierende Atmosphäre (5–10 % H ₂)	Bewahren Sie einen gewissen W ⁵⁺ -Zustand
Kühlmethode	Schnelles Abkühlen	Hemmung der W ⁶⁺ -Neubildung

Zu den häufig verwendeten Geräten gehören Rohröfen, Vakuumöfen, Plasmaatmosphärenöfen usw.

2. Hydrothermale Reduktionsmethode

- Einbringen von Reduktionsmitteln (z. B. Zitronensäure, Glucose, Alkohol) in hydrothermale Reaktionen;
- Reagieren Sie 12–24 Stunden lang unter milden Bedingungen (180–220 °C).
- Es können Nanodrähte, -platten, -stäbe usw. aus W₁₈O₄₉ hergestellt werden;
- Das Verhältnis der Sauerstofflückenstellen kann durch Kontrolle der Vorläuferkonzentration und des pH-Werts der Reaktion angepasst werden.

3. Organische Liganden-unterstützte Methode

- Bildung komplexierender Zwischenprodukte durch Polyethylenglykol (PEG), Polyvinylpyrrolidon (PVP) etc.;
- Verbessern Sie die Partikeldispersierbarkeit und kontrollieren Sie das Kristallwachstum.
- Durch anschließende Wärmebehandlung oder Cracken in einer Inertatmosphäre wird das Zieloxid erhalten.

4. Strukturelle Kontroll- und Charakterisierungsmethoden

Regelparameter	Beeinflussen	Charakterisierungsmethoden
Wärmebehandlungstemperatur	Bestimmung des Sauerstoff/Wolfram-Verhältnisses und der Defektdichte	TG/DSC, XRD
Atmosphärentyp	Regulierung des W ⁵⁺ / W ⁶⁺ -Verhältnisses	XPS, EPR
Zeitkontrolle	Bestimmt Korngröße und Morphologie	Rasterelektronenmikroskop (SEM/TEM)
Dotierelemente	Verleihung elektrokatalytischer oder photoresponsiver Eigenschaften	ICP-MS, XRD, FTIR

Typische Strukturmerkmale sind:

- **XRD** : zeigt die Aufspaltung der charakteristischen Peaks von W₁₈O₄₉;
- **XPS** : W⁵⁺ macht 30–60 % in der W4f-Region aus;
- **TEM** : sichtbare Kristallgrenzen und Defektstreifen;
- **UV- Vis** : Der Absorptionspeak verschiebt sich in den blauen Bereich des sichtbaren Lichts und die Bandlücke verringert sich.

5. Anwendungsbeispiele und Leistungsvorteile

1. Elektrochromes Gerät (ECD)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Verbessertes Ioneninterkalationsverhalten durch hohe W^{5+} - Konzentration;
- $W_{18}O_{49}$ reagiert 30 % schneller als WO_3 und hat eine doppelt so lange Zykluslebensdauer.

2. Photokatalytische und photothermische Materialien

- Sauerstoffleerstellen fördern die Elektronen-Loch-Trennung;
- Licht einen effizienten Abbau organischer Schadstoffe erreichen ;
- Photothermische Umwandlungseffizienz > 60 %, verwendet für photothermische Therapie oder Solardampfsystem.

3. Elektrochemische Energiespeichermaterialien

- Die spezifische Kapazität der $W_{18}O_{49}$ -Elektrode kann 450 F/ g erreichen;
- ist mehr als 30 % besser als WO_3 ;
- Durch die Kombination mit Kohlenstoffmaterialien wird die Zyklenleistung auf mehr als das 8.000-fache verbessert.

4. Gassensoren und Fotodetektoren

- Sauerstoffleerstellen verstärken die Adsorption und Ladungsübertragung von Gasmolekülen.
- Ethanol usw. verwendet werden .
- Es weist hervorragende Fotoreaktionseigenschaften im nahen Infrarotbereich auf.

6. Forschungs- und Pilotproduktionsleitung der CTIA GROUP

CTIA GROUP hat bei der Entwicklung hochpreisiger Wolframoxide folgende Arbeiten durchgeführt:

Plattformkonstruktion	Inhalt
Reaktionspfad	Etablierung von mehr als 9 kontrollierbaren Synthesewegen ausgehend von Wolframsäure
Bibliothek der Morphologie des fertigen Produkts	Etablierung von 8 Morphologie-Kontrollsystemen, darunter Nanostäbe, -blätter und -drähte
Materialsystem	Einführung von 3 Arten von $W_{18}O_{49}$ -basierten Verbundelektrodenschlämmen und photothermischen Materialien
Anwendungspilot	Zusammenarbeit mit Terminalherstellern zur Durchführung der Produktverifizierung von elektrochromen und Energiespeicherelektroden

das technische Niveau hochvalenter Wolframoxidmaterialien durch Konzentration auf die Technologie zur Kontrolle von Sauerstoffleerstellen, In-situ-Dotierungsmechanismen und flexible Geräteintegrationspfade.

VII. Zusammenfassung

Wolframsäure ist nicht nur ein klassischer Vorläufer von Wolframpulver und Wolframoxidmaterialien, sondern auch ein wichtiges Basismaterial für die präzise Synthese hochvalenter Wolframoxide. Durch die Kontrolle ihrer Struktur, der Reaktionsbedingungen und des Transformationsmechanismus kann Wolframsäure effizient zu defektreichen Wolframoxiden wie $W_{18}O_{49}$ umgewandelt werden , was dem Material eine höhere elektronische Aktivität und mehrdimensionale Funktionen verleiht. Diese Entwicklung wird in Zukunft in den Bereichen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

intelligente Energie, Umweltschutz und fortschrittliche Fertigung eine wichtigere strategische Rolle spielen.



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

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $WO_3 \cdot H_2O$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $WO_3 \cdot H_2O$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ C$
- Density: 5.5 g/cm³
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	Fe ≤ 10 , Na ≤ 5 , Si ≤ 10
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO ₄ ²⁻ main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 6: Anwendung von Wolframsäure in der anorganischen Industrie

6.1 Die Rolle der Wolframsäure in der Industriekette für Wolframverbindungen

Wolframsäure (H_2WO_4) ist ein wichtiges Zwischenprodukt in der Wolfram-Produktionskette und verbindet primäre Wolframressourcen (APT, Wolframkonzentrat) mit Hochleistungs-Wolframmaterialien (wie Wolframoxid, Wolframpulver, Wolframlegierungen, Wolframat, Wolframatester, organischer Wolframkomplex). Als hochreine, wohldefinierte und reaktive anorganische Verbindung findet Wolframsäure nicht nur breite Anwendung in der industriellen Herstellung, sondern spielt auch eine unverzichtbare unterstützende Rolle bei der Entwicklung neuer Materialien und der Synthese funktionalisierter Wolframderivate.

In diesem Abschnitt werden die Rohstoffquellen, Herstellungsverfahren und Derivaterichtungen der Wolframsäure im gesamten Lebenszyklus von Wolframverbindungen sowie ihr Funktionsstatus an wichtigen vor- und nachgelagerten Knotenpunkten der industriellen Kette systematisch erläutert und ihre zentrale Rolle als „Brückenmaterial für Wolfram-Feinchemikalien“ aufgezeigt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Kurze Struktur und Kernknoten der Wolfram-Industriekette

Die Wolfram-Industriekette kann im Allgemeinen in die folgenden vier Ebenen unterteilt werden:

Stufen	Hauptprodukte	Prozessroute	Typische Vertreter
Stromaufwärts	Wolframkonzentrat Wolframit, Scheelit	Auslaugen, Rösten, Zersetzen	WO ₃ , APT
Midstream	Wolframsäure, Zwischenoxid	Saure Hydrolyse, Kristallisation, thermische Zersetzung	H ₂ WO ₄ , WO _{2.9}
Flussabwärts	Funktionelle Wolframmaterialien	Reduktion, Dotierung, Compoundierung	W-Pulver, Beschichtung Wolframat,
Terminal	Wolframprodukte	Formen, Sintern, Auftragen	Hartmetall, Elektrodenmaterialien, elektronische Verpackungen

Wolframsäure befindet sich in der Mitte des Stroms. Sie kann aus APT hergestellt werden und dient auch als Vorläufer für WO₃ , metallisches Wolfram und chemische Wolframprodukte . Sie ist ein unverzichtbares Material für die Verbindung zwischen Upstream und Downstream.

2. Herstellungsweg und Rohstoffanpassungsfähigkeit von Wolframsäure

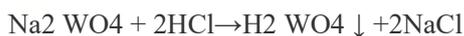
1. Rohstoffquelle

Wolframsäure wird hauptsächlich durch Acidolyse von APT (Ammonium Wolframat) oder Neutralisation von Natriumwolframat. Zu den Kernreaktionen gehören:

- Säurehydrolysemethode :



Na₂WO₄ reagiert mit starker Säure:



2. Merkmale der Prozessroute

- Es ermöglicht eine kontinuierliche Kontrolle und hochreine Zubereitung.
- Die Kristallform und Partikelgröße können durch Anpassung des pH-Werts, der Reaktionstemperatur und der Alterungszeit präzise gesteuert werden.
- Dotierung/Modifizierung/Vorläuferdesign lassen sich leicht durchführen, um den unterschiedlichen Anforderungen an Derivate gerecht zu werden.

Derzeit verfügt die CTIA GROUP über eine Produktionslinie für Wolframsäure mit einer Jahresproduktion von über 1.500 Tonnen, die Industriequalität, Elektronikqualität, ultrafeine Wolframsäure, Nano-Wolframsäure und andere Produktreihen produzieren kann, um die Prozessstandards verschiedener nachgelagerter Bereiche zu erfüllen.

2. Downstream-Derivatrichtung und industrielle Kettenverlängerung von Wolframsäure

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframsäure ist die „ursprüngliche Matrix“ der meisten Wolframverbindungsprodukte und ihre abgeleiteten Richtungen umfassen:

Abgeleitete Klasse	Typische Produkte	Anwendungsbereiche
Wolframoxid	WO ₃ , WO _{2.9} , W ₁₈ O ₄₉	Energiespeicher, elektrochrome Geräte, Gassensoren
Wolframmetall	W-Pulver, W-Partikel, Nano-Wolfram	Hochdichtes Metall, Militärindustrie, Luft- und Raumfahrt
Wolframat	Na ₂ WO ₄ , CaWO ₄ , CuWO ₄	Lumineszierende Materialien, Funktionskeramiken
Organische Wolframverbindungen	W(CO) ₆ , Wolframatester	Homogene Katalyse, Organische Synthese
Wolframatkomplex	Polysäure, Hybridmaterialien	Katalysatoren, Elektrodenmaterialien

Die strukturell aktiven Zentren der Wolframsäure (W=O, W-OH) und ihr steuerbares Kristallwasserverhalten machen sie in diesen Umwandlungsreaktionen sowohl reaktiv als auch stabil und stellen somit eine äußerst kostengünstige, umfassende Wolframquelle dar.

4. Die „Kernfunktion“ der Wolframsäure in der industriellen Kette

1. Bereitstellung einer vielfältigen Vorläuferbasis für nachgelagerte

Wolframsäure kann durch verschiedene Wärmebehandlungsatmosphären und -temperaturen in WO₃ (Wolframoxid), WO_{2.9} (blaues Wolframoxid) und W-Pulver (metallisches Wolfram) umgewandelt werden, wodurch das Ziel einer „einstellbaren Struktur, wählbaren Kristallform und kontrollierbaren Morphologie“ erreicht wird.

2. Idealer Ausgangspunkt für die Konstruktion von Katalysatoren und Hochleistungsoxiden

Bei der Synthese von anorganischen Hochleistungssystemen wie Metawolframat, Heteropolysäuren und Photokatalysatoren wird Wolframsäure aufgrund ihrer hohen Reaktivität und starken Koordinationsfähigkeit mit organischen Liganden oder Metallionen häufig zum Aufbau komplexer Skelettstrukturen auf Wolframbasis verwendet.

3. „Prozesspufferzone“ als Verbindung zwischen Upstream und Downstream

Wolframsäure kann die Probleme der APT-Reinheit und der WO₃-Redoxverschiebung ausgleichen. Sie wird als regulierendes Zwischenprodukt in der tatsächlichen Produktion verwendet, beispielsweise zur Herstellung von WO₃-Aufschlämmungen unterschiedlicher Partikelgröße und zur Homogenisierung der Reduktionsreaktionsrate von Wolframpulver.

4. Multifunktionale Materialplattform als Unterstützung

Wolframsäure selbst wird auch direkt zum Aufbau von Verbundwerkstoffen verwendet, wie zum Beispiel:

- Wolframsäure-PVA-Hybridfilm: elektrochrom;
- Wolframsäure-CNT-Komposit: flexible Elektrode;
- Wolframsäure- TiO₂ - Heteroübergang: Photokatalyse.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

V. Synergieeffekte und Vorteile der industriellen Integration

1. Starke modulare Integrationsmöglichkeiten

Wolframsäure ist in fester oder aufgeschlämmter Form äußerst anpassungsfähig und kann direkt in vorhandene Wolframproduktmodule integriert werden, wie beispielsweise:

- Direktes Spritzen als Gülle;
- Mit organischem Harz vermischt, um einen Elektrodenfilm zu bilden;
- Nehmen Sie an der Co-Firing-Reaktion bei der Keramikherstellung teil.

2. Offensichtliche Vorteile des grünen Umweltschutzes

Im Vergleich zur APT- oder Hochtemperatur-WO₃- Behandlung weist Wolframsäure während des Herstellungs- und Umwandlungsprozesses einen geringeren Energieverbrauch und eine geringere Korrosivität auf und erzeugt weniger Nebenprodukte (wie NH₄⁺), wodurch sie sich besser für die Entwicklung einer grünen Wolfram-Industriekette eignet.

3. Strategische Knotenpunkte der Lieferkettensicherheit

Hochreines, ultrafeines Wolframpulver und Wolframsäure sind zu einem wichtigen Bindeglied für den inländischen Ersatz und die Rohstoffsicherheit hochwertiger Wolframprodukte geworden. Ihre Kontrollierbarkeit und hohe Anpassungsfähigkeit können die Risikoresistenz der Industriekette verbessern.

VI. Typische Praxis der CTIA GROUP Wolframsäure-Industriekette

Link	Umsetzungsinhalte	Ergebnisse
Handhabung der Rohstoffe	APT → Optimierung des Wolframsäure-Umwandlungsprozesses	Hochreine Wolframsäure (W-Gehalt > 74,2 %)
Kristallformkontrolle	Verschiedene Alterungsprozesse steuern die Kristallmorphologie	Kontrollierte Produktion von Flocken-, Säulen- und Kugelwolframsäure
Downstream-Verbindung	Wolframat-Aufschlammung → WO ₃ -Sprühfilm → photochrome Anwendung	Realisieren Sie eine integrierte Filmproduktionslinie
Exportgeschäft	Wolframsäure wird nach Japan, in die USA, nach Deutschland und in andere Länder exportiert	Einsatz im Bereich Leuchtstoffe und elektronische Keramik

VII. Zusammenfassung

Wolframsäure ist ein Schlüsselmaterial in der Wolframverbindungs-Industriekette und spielt nicht nur eine grundlegende unterstützende Rolle bei der Herstellung von traditionellem Wolframpulver und Wolframlegierungen, sondern erweitert dank ihrer hervorragenden Reaktivität, Struktur- und Prozessanpassungsfähigkeit auch ihre Anwendungsgrenzen in neu entstehenden funktionellen Materialien auf Wolframbasis, Katalysatoren, elektronischen Beschichtungen usw. Beim Aufbau eines umweltfreundlichen, leistungsstarken und intelligenten Wolframmaterialsystems wird Wolframsäure auch in Zukunft als strategisches Plattformmaterial eine zentrale Rolle spielen.

6.2 Anwendung von Wolframsäure in Leuchtstoffen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframsäure (H_2WO_4) und ihre Derivate finden im Bereich der Leuchtstoffe breite Anwendung. Dank ihrer einzigartigen elektronischen Struktur, ihrer großen Bandlücke, ihrer guten Kristallinität und Dotierbarkeit sind Wolframsäure und ihre Umwandlungsprodukte nicht nur wichtige Komponenten von Leuchtstoffmatrixmaterialien, sondern auch in hochmodernen optischen Geräten wie Elektrolumineszenz-, Photolumineszenz- und Röntgenfluoreszenz-Konversionsmaterialien sowie photonischen Kristallen.

Ausgehend von den strukturellen Eigenschaften der Materialien werden in diesem Abschnitt systematisch der Wirkungsmechanismus, typische Materialsysteme, Herstellungsmethoden und praktische Anwendungen von Wolframsäure und ihren Komplexen in Leuchtstoffen untersucht, wobei der Schwerpunkt auf der Leistung von Wolframsäure bei der Lumineszenz durch Dotierung mit seltenen Erden, der Aktivierung von Metallionen, der Ultraviolettreaktion und der Nanooptik liegt.

1. Grundlagen und Mechanismen der Lumineszenzleistung von Wolframsäure

1. Optische Bandlücke und Anregungseigenschaften

Wolframoxidmaterialien (wie etwa H_2WO_4 , WO_3 - und WO_4^{2-} - Salze) haben eine große optische Bandlücke (2,5–3,2 eV) und besitzen selbst keine starken Lumineszenzeigenschaften, können aber durch Dotierung, Defekteinführung und Strukturregulierung zur Emission von Lumineszenzreaktionen unterschiedlicher Wellenlängen angeregt werden.

Seine Lumineszenzeigenschaften beruhen hauptsächlich auf den folgenden Mechanismen:

Typ	beschreiben
Ladungstransferübergang (CT)	$\rightarrow W^{6+}$ im WO_6 Oktaeder bildet Bandlückenlumineszenz
Exzitonen-Rekombinationslumineszenz	Oberflächenzustände, Sauerstoffleerstellen usw. führen zur Exzitonenbindungslumineszenz
Anregung des Verunreinigungs-niveaus	Neues Lumineszenzzentrum auf Energieniveau durch Dotierung mit Seltenen Erden oder Übergangsmetallen

2. Zusammenhang zwischen Struktur und Lumineszenzzentrum

Wolframsäure besteht aus WO_6 -Struktureinheiten und bildet verschiedene Kristallformen (orthorhombisch, monoklin, triklin usw.). Die Symmetrie und Verzerrung der Kristallstruktur beeinflussen direkt ihre Bandstruktur und ihr Lumineszenzverhalten. Darüber hinaus können durch Ionendotierung lokalisierte Energieniveaus in den Kristall eingeführt und so die Lumineszenzleistung deutlich verbessert oder angepasst werden.

2. Arten von Wolframat-Leuchtstoffen

1. Mit seltenen Erden dotierte Wolframat-Leuchtstoffe

Unter Verwendung von Wolframat oder dessen Salzen als Matrix werden Seltenerdionen (wie etwa Eu^{3+} , Tb^{3+} , Dy^{3+} usw.) eingeführt, um das Lumineszenzzentrum aufzubauen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- $\text{Na}_2\text{WO}_4:\text{Eu}^{3+}$: rote **Lichtemission** , geeignet für LED;
- $\text{CaWO}_4:\text{Tb}^{3+}$: Grün fluoreszierendes Material, wird zur Sicherheitsmarkierung und -erkennung verwendet ;
- $\text{SrWO}_4:\text{Dy}^{3+}$: blau-weiße Lichtemission, geeignet für Weißlichtbeleuchtung;
- $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3:\text{Sm}^{3+}$: wird in elektrolumineszierenden Geräten verwendet .

Eigenschaften und Vorteile:

- Hoher Wirkungsgrad der Energieübertragung ($\text{WO}_4^{2-} \rightarrow \text{RE}^{3+}$) ;
- Starke Stabilität, geeignet für langfristige Beleuchtung und Geräteverpackung;
- Es kann eine Mehrbandregelung und ein Lumineszenzdesign mit drei Primärfarben realisieren.

2. Leuchtglas und -keramik auf Wolframbasis

Wolframate (wie PbWO_4 , CaWO_4) können als lumineszierende Glasmatrixmaterialien mit hohem Brechungsindex und hoher Dichte verwendet werden.

- **Bleiwolframatkristall (PbWO_4) :**
 - Verfügt über eine ausgezeichnete Röntgenumwandlungseffizienz;
 - Wird in Detektoren der Hochenergiephysik und Sicherheitsinspektionssystemen verwendet;
 - Der Emissionspeak liegt normalerweise zwischen 420 und 500 nm;
- **$\text{WO}_3 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{B}_2\text{O}_3$ - Systemglas :**
 - Durch Dotierung mit Eu^{3+} und Er^{3+} kann rot/grün lumineszierendes Glas entstehen;
 - Es kann in Lasern und Nahinfrarotverstärkern verwendet werden.

3. Wolframat-Komposit-Quantenpunkte und nanolumineszierende Materialien

Wolframsäure mit CdS , ZnO , Kohlenstoff-Quantenpunkte und andere Materialien können die Lichtausbeute und Stabilität verbessern.

- **WO_3/CdS -Komposit-Quantenpunkte :** haben ein breiteres Lumineszenzband;
- **$\text{WO}_3/\text{Graphen}$ -Quantenpunkte :** verstärkte Blaulichtemission, geeignet für biologische Fluoreszenzmarkierung;
- **Wolframatbeschichtete Kern-Schale -Struktur :** verbesserte Fluoreszenzstabilität und kontrollierbares Emissionsverhalten.

3. Herstellungsprozess von Leuchtstoffen auf Wolframatbasis

1. Festphasenreaktionsmethode

- Geeignet zur Herstellung großer Mengen kristallinen Wolframats;
- Erfordert normalerweise eine Hochtemperaturkalzinierung (600–1000 °C);
- Es eignet sich zur Herstellung von $\text{CaWO}_4:\text{RE}^{3+}$ und anderen dicht strukturierten Leuchtstoffen.

2. Hydrothermale Methode und Kopräzipitationsmethode

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Synthese von hochkristallinen, leuchtstoffhaltigen Materialien im Nanomaßstab mit niedriger Temperatur und kontrollierbarer Größe;
- Durch die Steuerung von Parametern wie pH-Wert, Temperatur und Zeit können monodisperse Mikrokügelchen oder Flockenstrukturen erreicht werden.

3. Sol-Gel- und Glasschmelzverfahren

- Anwendbar auf leuchtende Glas- und Folienmaterialien;
- Um eine Multimode-Lumineszenzfunktion zu erreichen, können Seltenerdionen oder Quantenpunkte dotiert werden.

4. Zerstäubungs-Sprühpyrolyse

- Wird für die Herstellung sphärischer Leuchtstoffe im großen Maßstab verwendet;
- Die Partikel weisen eine einheitliche Morphologie auf und eignen sich für Beleuchtungsbeschichtungen und LED-Chip-Verpackungen.

4. Leistungskontrolle und Anwendungsbeispiele

Regelparameter	Einfluss auf die Lumineszenzleistung	Anwendungsbeispiele
Dopingkonzentration	Veränderung der Lichtstärke und Leuchtledensdauer	Eu ³⁺ Die optimale Konzentration liegt bei etwa 3–5 Mol%
Kristallform	Verschiedene Kristallformen beeinflussen die Bandstruktur	Orthogonales Wolframat hat eine höhere Lumineszenzeffizienz
Mangelhafte staatliche Regulierung	Sauerstoffleerstellen induzieren neue Lumineszenzzentren	W ₁₈ O ₄₉ emittiert blaues Licht
Partikelgröße	Nanoskaligkeit erhöht Oberfläche und Anregungseffizienz	Nano-CaWO ₄ -Fluoreszenzmarkierung

Typische Anwendungsfälle:

- **LED- Leuchtstoff** : WO₄²⁻ :Eu³⁺ -Rotlichtpulver kann für Weißlicht-LEDs verwendet werden;
- **Röntgenkonversionsmaterialien** : PbWO₄ -Kristalle werden in Experimenten der Hochenergiephysik verwendet;
- **Fluoreszierende Sonde** : WO₃-Nanopartikel können nach der Modifikation als fluoreszierende Sonden für Zellen verwendet werden;
- **Reflektierende und fälschungssichere Materialien** : Wolframat-Leuchtstoffe werden in fälschungssicheren Tinten für Zertifikate und Banknoten verwendet.

5. CTIA GROUP F&E-Praxis für Leuchtstoffe

CTIA GROUP hat das folgende F&E-System rund um Leuchtstoffe auf Wolframsäurebasis aufgebaut:

Module	Spezifische Inhalte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rohstoffgarantie	Bereitstellung von hochreinem H_2WO_4 und Na_2WO_4 in elektronischer Qualität ;
Compound-F&E	Erstellen Sie eine Datenbank mit RE^{3+} -dotierten Wolframatmaterialien.
Prozesssystem	Realisieren Sie die großtechnische Herstellung von lumineszierendem Wolframat durch die Niedertemperatur-Hydrothermalmethode.
Anwendungslandung	Arbeiten Sie mit inländischen LED-Verpackungsfabriken zusammen, um ein dimmbares dreifarbiges Leuchtstoffsystem zu entwickeln.
Patentierete Technologie	Für den auf Wolframat basierenden roten Phosphor/blauen Film gibt es bereits fünf Kernerfindungspatente.

VI. Zusammenfassung

Die Anwendung von Wolframsäure und ihren Derivaten in Leuchtstoffen liefert nicht nur Matrixmaterialien mit überlegener Leistung und stabiler Struktur für optoelektronische Technologien wie LED, Laser und Fluoreszenzdetektion, sondern zeigt auch einen einzigartigen Wert in aufstrebenden Bereichen wie Nanophotonik, Bioimaging und Röntgendetektion. Durch Kristalltechnik, Dotierungsregulierung und mehrskaliges Verbunddesign entwickeln sich Wolframsäure-basierte Leuchtstoffe zu einer wichtigen Basis für leistungsstarke anorganische photonische Materialsysteme.

6.3 Wolframsäure für Hochleistungskeramikrohstoffe

Mit der Entwicklung fortschrittlicher Fertigungsverfahren, extremer Einsatzbedingungen und funktionaler Werkstofftechnologie steigen die Leistungsanforderungen an keramische Werkstoffe. Wolframsäure (H_2WO_4) und ihre Derivate werden aufgrund ihrer hervorragenden thermischen Stabilität, ihres hohen Schmelzpunkts, ihrer hohen Dichte und ihrer guten Reaktivität häufig in Hochleistungskeramiksystemen eingesetzt. Sie können als Hauptrohstoffe für Funktionskeramiken sowie als Strukturmodifikatoren oder Dotierstoffe für keramische Verbundwerkstoffe eingesetzt werden.

In diesem Abschnitt werden Wirkungsmechanismus, Anwendungsrichtung, Zusammensetzung und Herstellungstechnologie von Wolframsäure als keramischer Rohstoff systematisch vorgestellt. In Kombination mit der Forschungs- und Entwicklungspraxis der CTIA GROUP werden deren materieller Beitrag und industrieller Wert in Kernbereichen wie Elektronikkeramik, Strukturkeramik, Laserkeramik usw. eingehend analysiert.

1. Die intrinsischen Vorteile von Wolframsäure in keramischen Rohstoffen

Eigentum	Symptome	Beitrag zur Keramik
Hoher Schmelzpunkt	Umwandlung in WO_3 , der Schmelzpunkt beträgt $1473^\circ C$	Keramiken hohe Temperaturstabilität verleihen
Starke Reaktionsaktivität	Reagieren leicht mit Erdalkali- und Seltenerdelementen und bilden Salze	Erleichtert die Festphasenreaktionssynthese

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hohe Dichte	Theoretische Dichte: ca. 7,1 g/cm ³	Geeignet zur Herstellung hochdichter Strukturkeramiken
Einstellbare Kristallstruktur	Polymorphe, kontrollierbare Morphologie	Anpassung an unterschiedliche Gitteranpassungsanforderungen
Ionendotierung	Elemente wie Cu, Y und La können eingeführt werden	Realisieren Sie funktionale Regulierung und Modifikation
Kontrollierbare Partikelgröße	Unterstützt die Verteilung im Nanometer- bis Mikrometerbereich	Optimierung des Keramikinterns und der Keramikdichte

2. Anwendungshinweise und typische keramische Werkstoffsysteme

1. Wolframsäure wird in Funktionskeramiken verwendet

- **Dielektrische Keramik :**
 - Typische Systeme: CaWO_4 , BaWO_4 ;
 - Wird in Mikrowellendielektrika, Kondensatorkeramiken und dielektrischen Resonatoren verwendet;
 - Wolframsäure ist ihr wichtigster Vorläufer, der nach einer Festphasenreaktion mit CaCO_3 Verbundkeramiken bildet . BaCO_3 usw.
- **Piezoelektrische Keramik :**
 - Wolframsäure wird eingeführt, um die Gittersteifigkeit und das Polarisationsverhalten von Keramiken zu regulieren;
 - Beispielsweise ist $\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{NbO}_3 - \text{WO}_3$ ein bleifreies piezoelektrisches Material ;
 - Wolframsäure verbessert die Dielektrizitätskonstante und die elektrostriktiven Eigenschaften.

2. Wolframsäure wird in Strukturkeramiken verwendet

- **Wolframsäureverstärkte Aluminiumoxidkeramik :**
 - Verbessern Sie die Wärmeleitfähigkeit und Bruchzähigkeit;
 - zur Bildung einer synergistischen Phasengrenze aus Al_2O_3 und WO_3 ;
 - Geeignet für verschleiß- und hitzebeständige Geräte.
- **ZrO₂ – WO₃- Verbundkeramik :**
 - Wolframsäure trägt zur Bildung einer gleichmäßigen Zweitphasenverteilung bei;
 - Verbessern Sie die Temperaturschockbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

3. Laserkeramik und Szintillationskeramik

- Wolframate wie PbWO_4 und CaWO_4 sind die Grundmaterialien für röntgenempfindliche Keramiken;
- Transparente Keramiken der W-Serie verfügen über eine ausgezeichnete photoelektrische Umwandlungseffizienz.
- Durch Dotierung mit Seltenerdionen können laserangeregte Keramikmatrizen hergestellt werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Nanokeramische Verbundwerkstoffe

- Wolframsäure wird als Nanopartikel eingeführt, um das Kornwachstum zu hemmen;
- Beschleunigen Sie die Sinterrate, verbessern Sie Dichte und mechanische Eigenschaften;
- Keramiksystemen mit Si_3N_4 , BN- und TiO_2 -Verbundstruktur verwendet.

3. Typische Zubereitungsmethoden und technische Punkte

Verfahren	Prozessbeschreibung	Vorteile
Festphasenreaktionsmethode	Wolframsäure + Carbonat- oder Oxidmischung, Hochtemperaturröstung	Ausgereifte Technologie, niedrige Kosten
Sol-Gel-Verfahren	Hydrolyse von Wolframsäure und Metallalkoxid	Kontrollierbare Nanostruktur und einheitliche Zusammensetzung
Mitfällung	Wolframsäure beteiligt sich an der Kopräzipitation von Metallionen und am Vorsintern bei niedrigen Temperaturen	Gute Dispergierbarkeit, geeignet für die Batch-Herstellung
Aerogel/Sprühtrocknung	Erhalten Sie einen sphärischen Wolframat-Vorläufer zur Verbesserung der Formbarkeit	Für Hochleistungs-Spritzgusskeramik

Sinterpunkte:

- Sintertemperatur: 1000–1350°C (abhängig vom Materialsystem);
- Atmosphärenkontrolle: Luft, Stickstoff, leicht reduzierende Atmosphäre;
- Keramikdichte: Die technische Anforderung lautet >95 % der theoretischen Dichte.
- Sinterhilfsmittel: Li_2O , Zur Unterstützung des Sinterns kann ZnO usw. eingebracht werden.

4. Leistungsverbesserung und technische Vorteile

Durch die Zugabe von Wolframsäure zu keramischen Werkstoffen können folgende Eigenschaften effektiv verbessert werden:

Projekt	Verbesserungsrichtung	Effektbeschreibung
Thermische Stabilität	Verbessern Sie Schmelzpunkt und Wärmeleitfähigkeit	Dauergebrauchstemperatur >1000°C
Elektrische Eigenschaften	Steuerung der Dielektrizitätskonstante und des Q-Werts	$Q \times f$ -Wert um 20–60 % erhöht
Mechanische Festigkeit	Verbesserung der Bruchzähigkeit	Verbesserte Strukturkeramik: KIC-Wert auf 8–10 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ erhöht
Optische Leistung	Verbesserung der Transparenz und der Laserreaktion	Keramische Substratmaterialien für Laser
Korrosionsbeständigkeit	Das Wolfram-Sauerstoffnetzwerk an der Oberfläche verhindert Säure- und Alkalikorrosion	Anwendung auf Keramikauskleidungen für chemische Reaktoren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Typische Anwendungsszenarien und tatsächliche Produktfälle

Anwendungsbereiche	Typische Materialien	Leistungsindikatoren
Mikrowellen-Dielektrikumkeramik	BaWO ₄ , CaWO ₄	$\epsilon = 6-9$, $Q \times f > 10000$
Keramik für medizinische/nukleare Detektion	PbWO ₄	Lichtausbeute > 60 % NaI:Tl, hohe Strahlungsresistenz
Verschleißfeste Keramikauskleidung	ZrO ₂ - WO ₃	Härte > 12 GPa, niedriger Reibungskoeffizient
Laserverstärkende Keramik	La ₂ (WO ₄) ₃ :Nd ³⁺	Stabile Laserausgangsleistung und hohe Wärmeleitfähigkeit
Infrarot-Fensterkeramik	Transparente Keramik auf MgO-WO ₃ -Basis	Infrarotdurchlässigkeit > 75 %, geeignet für optische Geräte in der Luft- und Raumfahrt

VI. Technologie- und Industrialisierungsfortschritt der CTIA GROUP

Die CTIA GROUP hat eine stabile Lieferkette und eine Vielzahl maßgeschneiderter Modelle für die Entwicklung von Wolframat-Keramikrohstoffen aufgebaut:

Projekt	Ergebnisse
Produktsortiment	Mikrongroße Wolframsäure, nanogroße Wolframsäure, ultrafeine sphärische Wolframsäure
Keramikverträglichkeit	Sinterverträglichkeit mit ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ , TiO ₂ -Systeme > 90 %
Kooperationsfälle	Si ₃ N ₄ Verbundwerkzeugkeramik mit vielen inländischen Keramikfabriken
Prozessplattform	Aufbau einer Wasserstoff-/Stickstoff-Sinter-Testlinie, um die Atmosphärenanforderungen spezieller Keramiken zu erfüllen
Ausfahrtrichtung	Wolframsäurepulver für Keramik wurde nach Japan, Südkorea und Deutschland verkauft und wird hauptsächlich für elektrische Keramiksubstrate und optische Glasfüllstoffe verwendet.

VII. Zusammenfassung

Als wichtiger Rohstoff für Hochleistungskeramiken bietet Wolframsäure nicht nur erhebliche Materialvorteile in den Bereichen Strukturkeramik, Funktionskeramik und Spezialkeramik, sondern ist aufgrund ihrer guten Prozesskompatibilität und ihres Modifikationspotenzials auch eine der strategischen Substanzen in der Forschung und Entwicklung neuer Keramikwerkstoffe. Mit dem Wandel von langlebigen zu funktionalen und intelligenten Keramikwerkstoffen wird Wolframsäure in integrierten Keramikwerkstoffsystemen mit hoher Dichte, hoher Wärmeleitfähigkeit und starker Funktionalität eine immer wichtigere Rolle spielen.

6.4 Die Rolle der Wolframsäure als Vorläufer in hitzebeständigen und korrosionsbeständigen Beschichtungsmaterialien

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframsäure (H_2WO_4) ist eine Wolframverbindung mit stabiler Struktur, hoher Reaktivität und Konvertibilität in verschiedene Oxidationsstufen. Sie hat sich als wichtige Vorstufe im Bereich der Beschichtungsmaterialien erwiesen, insbesondere in Bezug auf Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen, Korrosionsschutz und Beschichtungssysteme in extremen Einsatzumgebungen. Dank ihrer einfachen Pyrolyse zu Hochleistungswolframoxiden wie WO_3 und $W_{18}O_{49}$ hat sich Wolframsäure zu einem unverzichtbaren Rohstoff für fortschrittliche Funktionsbeschichtungen entwickelt.

In diesem Abschnitt liegt der Schwerpunkt auf der Anwendungsrolle von Wolframsäure in Hochtemperaturbeschichtungen, plasmagespritzten Keramikbeschichtungen, chemischen Korrosionsschutzbeschichtungen und optoelektronischen Schutzbeschichtungen. Außerdem werden ihr Materialreaktionsmechanismus, ihr Entstehungsprozessverlauf und ihr Leistungsbeitrag analysiert und die praktischen Fälle der CTIA GROUP kombiniert, um ihre industrielle Bedeutung als strategischer Vorreiter zu demonstrieren.

1. Kernanforderungen an Beschichtungsmaterialien und Verträglichkeit von Wolframsäure

Moderne Beschichtungsmaterialien, insbesondere in den Bereichen Luft- und Raumfahrt, Nuklearindustrie, Metallurgie, High-End-Fertigung usw., stellen hohe Anforderungen an die **Hitzebeständigkeit**, **Korrosionsbeständigkeit**, **Strukturdichte** und **Multifunktionalität von Materialien**. Wolframsäure als Vorläufer kann in einen dichten WO_3 - Film, einen hochstabilen WOM-Verbundstoff (Metall) oder eine poröse W-basierte Keramikbeschichtung umgewandelt werden, um die folgenden technischen Anforderungen zu erfüllen:

Wichtige Anforderungen	Wolframat-Vorläufereffekt
Hochtemperatur-Antioxidation	Nach der Zersetzung entsteht WO_3 / WO_2 . 9 Schutzschicht blockiert O_2 -Diffusion
Stark säure-/alkalische korrosive Umgebung	Wolframatbeschichtung hat chemische Passivierungsfähigkeit
Doppelter Schutz der elektrischen Heizung	Der Zustandsübergang W^{5+} / W^{6+} verbessert die elektronischen und thermischen Abschirmeigenschaften
Strukturelle Übereinstimmung	Erzeugt gut haftende Beschichtungen auf einer Vielzahl von Substraten
Filmkompatibilität	Dünne Filme können durch Sol-Gel, Sprühen und Ablation gebildet werden

2. Arten und Eigenschaften von Wolframsäure-basierten Beschichtungssystemen

Hitzebeständige Schutzschicht aus Wolframoxid (WO_3)

- Durch die thermische Zersetzung von H_2WO_4 kann direkt ein gleichmäßiger WO_3 - Film gebildet werden;
- Es verfügt über eine gute thermische Stabilität und Oxidationsbeständigkeit im Temperaturbereich von 600–800 °C.
- Kann allein oder als „Bindeschicht“ für Keramikbeschichtungen verwendet werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Eigenschaften und Vorteile:

- Hohe Dichte und gute Kompaktheit;
- Die W^{6+} -Ionenstruktur ist stabil und elektrisch neutral;
- Es kann weiter reduziert werden, um einen leitfähigen Schutzfilm zu bilden.

2. Wolframsäure-Metalloxid-Verbundbeschichtung (W-MO_x)

- Wolframsäure mit TiO₂ mischen, ZrO₂, SiO₂, CeO₂, usw. ;
- Verwendung synergistischer Strukturen zur Bildung von Verbundkeramikbeschichtungen;
- Es kann die Wärmedämmwirkung sowie die Säure- und Laugenkorrosionsbeständigkeit deutlich verbessern.

Typische Struktur: WO₃ – ZrO₂, WO₃ – SiO₂, W–Ti-Verbundschicht.

3. Wolframat-Keramikbeschichtung

- Wolframsäure ist eutektisch mit Glasvorläufer (B₂O₃, P₂O₅, usw.) ;
- Nach der Filmbildung weist es Transparenz, hohe Härte und chemische Beständigkeit auf.
- Wird für fotoelektrische Schutzfolien und Abschirmbeschichtungen verwendet.

4. Elektrochrome Schutzbeschichtung

- Materialien auf Wolframatbasis haben gute elektrochrome Eigenschaften;
- Wird zum Dimmen, zur Wärmekontrolle und für entspiegeltes Glas verwendet;
- Eine dynamische Anpassung des Wärmewiderstands/der optischen Reflexion ist möglich.

3. Herstellungsverfahren und Filmbildungsprozess

1. Sol-Gel

- Wolframsäure, Alkohole und Komplexbildner bilden ein einheitliches Sol;
- Durch Beschichten, Trocknen und Wärmebehandlung entsteht eine dichte Beschichtung;
- Geeignet für Glas-, Keramik- und Metallsubstrate.

2. Thermische Zersetzungsmethode

- Erhitzen (300–600 °C) direkt nach der Beschichtung mit Wolframsäure;
- In eine WO₃-Schicht umgewandelt ;
- Geeignet für kostengünstige Antioxidationsszenarien.

3. Plasmaspritzen

- Vorbehandlung von Wolframsäurepulver zu sprühfähiger Aufschlämmung;
- Hochtemperaturespritzen zur Bildung einer Keramikbeschichtung;
- Wird häufig in Triebwerksschaufeln für die Luft- und Raumfahrt sowie in Komponenten von Kernreaktoren verwendet.

4. Elektrostatisches Sprühen/Spin-Coating

- Geeignet für großflächige transparente Folie;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Gute Filmgleichmäßigkeit und niedrige Kosten;
- Starke Kompatibilität mit flexiblen Elektroden und Photovoltaikgeräten.

4. Leistung und Kennzahlen

Index	Umfang	veranschaulichen
Hitzebeständige Temperatur	800–1100 °C	WO ₃ hat eine hohe Stabilitätsstruktur-Retentionsrate
Säure- und Laugenbeständigkeit	pH 2–12 stabil	Guter Passivierungsschicht-Schutzmechanismus
Haftfestigkeit	> 8 MPa (ASTM)	Gute Haftung, fällt nicht leicht ab
Wärmeleitfähigkeit	2,5–3,0 W/m ² K	Einstellbare Wärmedämmleistung
Lichtdurchlässigkeit	> 70 % (Filmtyp)	Kann auf transparente Wärmekontrollbeschichtungen aufgetragen werden

5. Typische Anwendungsbereiche und Produktfälle

1. Hochtemperatur-Schutzbeschichtung

- Anwendungsobjekte: Triebwerksgehäuse für die Luft- und Raumfahrt, Gasturbinenkomponenten;
- Schichtsystem: WO₃ – ZrO₂ / Al₂ O₃-Gradientenschicht;
- ⁴ Hitzeschockzyklen bei 1100° C.

2. Korrosionsbeständige Schicht für die chemische Industrie

- Anwendungsobjekte: Schwefelsäureturmauskleidung, Chloralkali-Ausrüstung, Abgasabsorptionsturm;
- Beschichtungssystem: W–Ti–Si-Keramikbeschichtung;
- Leistung: Stabiler Betrieb in 12 % Schwefelsäure für mehr als 5000 Stunden.

3. Elektrooptische Funktionsbeschichtung

- Anwendungsobjekte: Architekturglas, Auto-HUD, Smart Windows;
- Beschichtungssystem: W–ITO–PVA-Verbundfarbwechselbeschichtung;
- Leistung: Der Transmissionsanpassungsbereich im sichtbaren Lichtbereich beträgt 30 % und die Reaktionszeit beträgt <2 s.

4. Atomindustrie und Strahlenschutz

- Anwendungsobjekte: Neutronenmoderator, Hoch-Z-Schutzschirm;
- Beschichtungssystem: Wolframsäure-Verbund-Wolfram-Kupfer- Beschichtung;
- Leistung: Reduziert effektiv Gammastrahlen und weist eine hervorragende Beständigkeit gegen Neutronenkorrosion auf.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VI. CTIA GROUP Praxis und Engineering-Transformation

Module	Umsetzungsinhalte	Erfolge der Industrialisierung
Beschichtungssystem	Entwicklung von Wolframsäure-/Wolframatpulver in Industriequalität	Partikelgröße 200 nm–2 µm, geeignet für Sprühsysteme
Prozessentwicklung	Etablierung von drei Plattformen: Spin-Coating, Pyrolyse und Sprühen	Unterstützt die Beschichtung und Wärmebehandlung mehrerer Substrate
Produktsystem	Einführung der WO ₃ -TiO ₂ -Hochtemperaturschutzpaste und des Wolframatglaspulvers	Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, bei elektronischen Verpackungen und in chemischen Reaktionsgeräten
Anwendungsentwicklung	Zusammenarbeit mit Glas- und Batteriefabriken zur Entwicklung transparenter Beschichtungen	Zunächst erreichte Massenversorgung und Übersee-Export

VII. Zusammenfassung

Als Vorläufer spielt Wolframsäure eine Schlüsselrolle in hitze- und korrosionsbeständigen Beschichtungssystemen. Sie bietet nicht nur eine wirksame Barriere gegen extreme Bedingungen wie hohe Temperaturen, Korrosion und Strahlung, sondern verbessert auch den multifunktionalen Integrationsgrad von Beschichtungsmaterialien durch Strukturdesign und Verbundwerkstofftechnik. Dank ihrer hervorragenden Prozessanpassungsfähigkeit und Materialverträglichkeit finden Wolframsäurebeschichtungen breite Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, der Energiewirtschaft, der chemischen Industrie, dem Bauwesen und anderen Bereichen. Auch in Zukunft wird sie ihre technischen Möglichkeiten und ihren industriellen Wert in den Bereichen umweltfreundliche Materialien, intelligenter Schutz und High-End-Fertigung weiter ausbauen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10, \text{Na} \leq 5, \text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

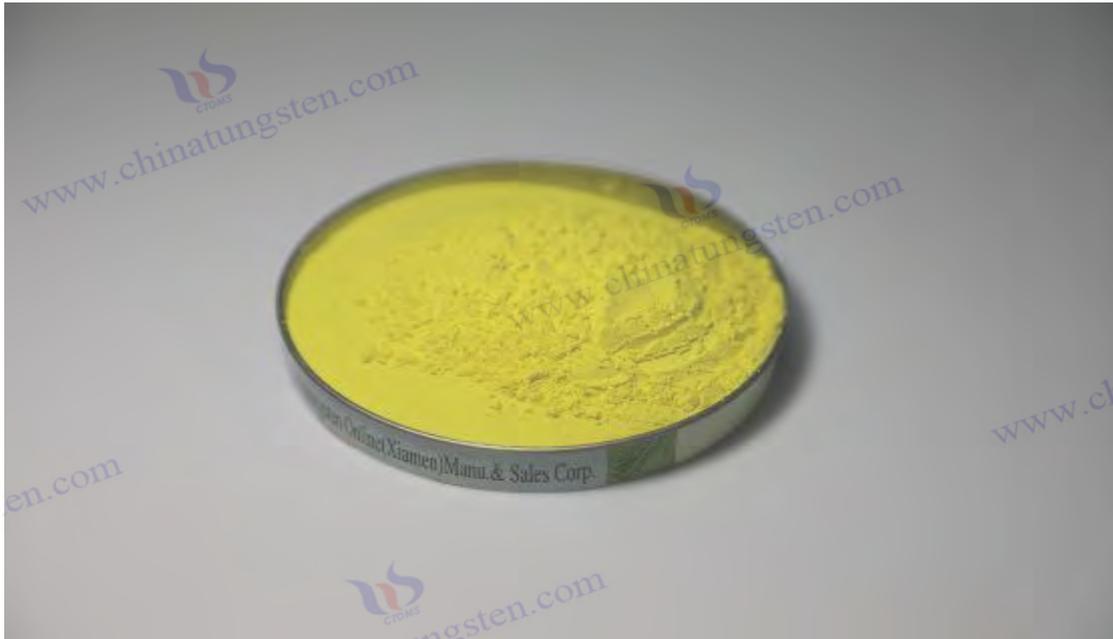
4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 7: Anwendung von Wolframsäure in Funktionsmaterialien und Energiefeldern

7.1 Anwendung von Wolframsäure in photokatalytischen Materialien (Abbau von Schadstoffen etc.)

Photokatalytische Materialien sind Funktionsmaterialien, die Lichtenergie absorbieren und in chemische Energie umwandeln können. Sie finden breite Anwendung in den Bereichen Abbau organischer Schadstoffe, Wasserreinigung, Luftaufbereitung, antibakterielle und antivirale Mittel sowie die photokatalytische Wasserspaltung zur Wasserstofferzeugung. Wolframsäure (H_2WO_4) und ihre Derivate haben sich aufgrund ihrer hervorragenden optischen Bandlückenstruktur, ihres guten photogenerierten Ladungsträgerverhaltens, ihrer stabilen chemischen Eigenschaften und ihrer strukturellen Anpassbarkeit zu vielversprechenden anorganischen katalytischen Plattformmaterialien im Bereich der Photokatalyse entwickelt.

In diesem Abschnitt werden die grundlegenden Leistungsvorteile von Wolframsäure als photokatalytisches Material, der photokatalytische Reaktionsmechanismus, Modifikations- und Verbundstrategien, typische Anwendungsfälle sowie aktuelle Forschungsschwerpunkte und zukünftige Entwicklungsrichtungen umfassend vorgestellt.

1. Grundlagen der photokatalytischen Eigenschaften von Wolframsäure

1. Bandstruktur und Photoreaktionseigenschaften

Wolframsäure und ihre oxidierten Derivate (wie WO_3 , $W_{18}O_{49}$) haben Halbleitereigenschaften mit großer Bandlücke:

Material	Bandlücke (Eg)	Lichtreaktionsbereich
----------	------------------	-----------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

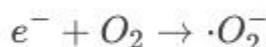
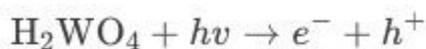
H_2WO_4	2,6–2,8 eV	Nahe ultraviolettem bis blauem Lichtbereich
WO_3	2,5–2,7 eV	UV bis sichtbar (<480 nm)
$W_{18}O_{49}$	2,3–2,6 eV	Verbesserte Reaktion auf sichtbares Licht

Diese Bandlückenbereiche ermöglichen es ihnen, hochenergetische Teile des Sonnenspektrums effektiv zu absorbieren, Elektron-Loch-Paare zu erzeugen und Redoxreaktionen auszulösen.

2. Kurze Beschreibung des katalytischen Mechanismus

Typische photokatalytische Reaktionswege sind:

1. Durch Lichtanregung entstehen Elektronen (e^-) und Löcher (h^+);
2. e^- ist an der Reduktion von O_2 zur Bildung von Superoxidradikalen ($\cdot O_2^-$) beteiligt, und h^+ ist an der Oxidation von Wasser zur Bildung von Hydroxylradikalen ($\cdot OH$) beteiligt.
3. Freie Radikale greifen organische Schadstoffe an und zerlegen sie in CO_2 und H_2O .



2. Arten und Modifikationsstrategien von photokatalytischen Materialien auf Wolframatbasis

1. Kristallformkontrolle

Durch Kontrolle von pH-Wert, Temperatur, Reaktanten usw. können verschiedene Kristallformen (orthorhombisch, monoklin, triklin usw.) von Wolframsäure erhalten werden, und ihre Kristallstruktur beeinflusst direkt die Bandlückenbreite und die Ladungsmigrationsrate.

- Orthogonale Phase: hohe Transmissionsrate und hervorragende photokatalytische Leistung;
- Monokline Phase: geeignet für die Kompositmodifikation und verbesserte Lichtreaktion.

2. Dotierung und Defekt-Engineering

- **Metalldotierung** : wie Ag^+ , Cu^{2+} , Fe^{3+} usw., um Störstellenenergieniveaus aufzubauen und die Lichtabsorption zu erhöhen;
- **Nichtmetallische Dotierung** : wie N, S, C usw., um die Lebensdauer der photogenerierten Ladungsträger zu verbessern;
- **Regulierung von Sauerstoffleerstellen** : Einführung von O-Leerstellen als reaktionsaktive Zentren zur Steigerung der katalytischen Aktivität bei sichtbarem Licht.

3. Aufbau von Heteroübergangs-Verbundwerkstoffen

Durch die Kombination mit anderen Halbleitern können Z-Typ-, I-Typ- und pn- Heteroübergänge konstruiert werden, um die Effizienz der Ladungstrennung zu verbessern:

- **TiO_2 / H_2WO_4** : Verbesserte UV- Reaktion;
- **gC_3N_4 / WO_3** : Aufbau eines katalytischen Systems vom Z-Typ für sichtbares Licht ;
- **$BiVO_4 / WO_3$** : Verbessert die Wasseroxidationseffizienz und die Elektronenmigrationsrate;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **WO₃ / Ag@ AgCl** : Erreichen einer durch Plasmonenresonanz verstärkten Katalyse.

3. Praktische Anwendungsbereiche und Materialleistung

1. Abbau organischer Schadstoffe

- Wolframsäurematerialien können Methylorange (MO), Rhodamin B (RhB), Phenol, Tetracyclin, Epichlorhydrin usw. wirksam abbauen.
- Die Abbaueffizienz kann unter simuliertem Sonnenlicht oder sichtbarem Licht über 90 % erreichen.
- Das Material weist eine gute Stabilität auf und es kommt nach mehr als 5 Zyklen zu keiner nennenswerten Leistungsminderung.

2. Wasserreinigung und Abwasserbehandlung

- Der Wolframsäure- TiO₂ -Komplex wird häufig bei der Behandlung von Farbstoffabwässern verwendet.
- Die Nano-WO₃-Beschichtung eignet sich zur Behandlung von biologischem Fouling und zur Entfärbung in industriellen Umlaufwassersystemen.
- Ein Festbett-Photokatalysereaktor wird mit Aktivkohle, Zeolith, MOF und anderen Ladungen konstruiert.

3. Luftreinigung und VOC-Kontrolle

- Wolframsäurekatalysatoren können Schadstoffe in Innenräumen wie Formaldehyd, Benzol und TVOC abbauen.
- Wird auf photokatalytische Filter, Beschichtungen und Kernmaterialien von Luftreinigern angewendet ;
- Es kann ein Reaktionssystem für niedrige Temperaturen und niedrige Lichtintensitäten konstruiert werden, das für Innenbeleuchtungsumgebungen geeignet ist.

4. Antibakterielle photokatalytische Oberflächenbeschichtung

- Auf Wolframat basierende photokatalytische Filme setzen unter sichtbarem Licht ·OH und ·O₂⁻ frei und zerstören so die Zellwände der Bakterien.
- von Escherichia coli, Staphylococcus aureus und Candida albicans liegt bei über 99 %;
- Wird im medizinischen Bereich und als antibakterielle Beschichtung auf Verkehrsflächen verwendet.

4. Repräsentative Materialsysteme und Leistungsdaten

Materialsystem	Lichtquellentyp	Degradationsobjekt	Abbaueffizienz
WO ₃ / TiO ₂	UV+sichtbares Licht	RhB (20 mg/L)	>95 % in 60 Min.
gC ₃ N ₄ / WO ₃	Sichtbares Licht	Methylorange	>90 % in 90 Min.
Ag@WO ₃	Sonnenlichtsimulation	Phenol	>85 % in 120 Min.
W ₁₈ O ₄₉ Nanostäbe	LED-Lichtquelle	Cyclopropylamin	>80 % in 100 Min.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

H ₂ WO ₄ / Aktivkohle	Natürliches Licht	Organischer Abwasser-CSB	70–85 % Reduzierung
---	-------------------	--------------------------	---------------------

5. Fortschritte in Forschung und Entwicklung der CTIA GROUP-Technologie

Die CTIA GROUP hat systematische Forschungen zu photokatalytischen Materialien auf Wolframatbasis durchgeführt, die die folgenden Dimensionen abdecken:

Richtung	Technischer Inhalt	Phasenerfolge
Materialvorbereitung	Niedertemperatur-Flüssigphasensynthese von Wolframsäure mit hoher spezifischer Oberfläche	Die Oberfläche von Wolframsäure in Einkristallform kann 125 m ² /g erreichen
Strukturelle Veränderung	Aufbau der gC ₃ N ₄ / WO ₃ -Heterostruktur	RhB -Abbau um 35 % erhöht
Anwendungssystem	Entwurf statischer und dynamischer photokatalytischer Wasseraufbereitungsmodule	Bereits in einer Testlinie einer Druck- und Färberei in Fujian im Einsatz
Produktentwicklung	Entwicklung einer mit Wolframsäure beschichteten Luftreinigungsfolie	Mit hocheffizienter Sterilisationsfunktion, stabile Zykluslebensdauer >300 Stunden

7.2 Forschungsfortschritt von Wolframsäure in Energiespeichermaterialien (Superkondensatoren, Batterien)

Im Kontext der Bewältigung der Energiekrise und der Entwicklung grüner Energietechnologien ist die Entwicklung von Energiespeichermaterialien zu einem wichtigen Bereich der Energietechnologie geworden. Wolframsäure (H₂WO₄) hat in den letzten Jahren aufgrund ihrer guten elektrochemischen Reversibilität, strukturellen Vielfalt, ihrer zahlreichen redoxaktiven Zentren und ihres hohen spezifischen Kapazitätspotenzials große Aufmerksamkeit in Bereichen der Energiespeicherung wie Superkondensatoren und Batterieelektrodenmaterialien auf sich gezogen.

Dieser Abschnitt konzentriert sich auf den Wirkungsmechanismus, die Synthesemethode, die Modifizierungsstrategie und die Anwendungsszenarien von Wolframsäure und ihren oxidierten Derivaten in Energiespeichermaterialien. Anhand der neuesten Forschungsergebnisse und der praktischen Fortschritte der CTIA GROUP werden die Entwicklungsperspektiven für moderne Energiespeichersysteme vorgestellt.

1. Grundlegende Eigenschaften von Wolframsäure für Energiespeichermaterialien

Merkmal	Leistung	Energiespeicherfunktion
Reversibles Redoxverhalten	W ⁶⁺ ↔ W ⁵⁺ ↔ W ⁴⁺	Bietet eine pseudokapazitive oder kapazitive Reaktion
Polymorphe Struktur	Monoklin, triklin, orthogonal usw.	Regulieren Sie Ionendiffusionskanäle
Hohe theoretische spezifische Kapazität	>700 F/g (theoretisch)	Für die Entwicklung von Superkondensator-Materialien

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Strukturelle Stabilität	WO ₃ / H ₂ WO ₄ hohe Zersetzungstemperatur	Geeignet für Hochvolt-Fenstersysteme
Gute Elektrodenverträglichkeit	Starke Verbundeigenschaften mit Kohlenstoff, leitfähigen Polymeren usw.	Günstig für die Grenzflächenkonstruktion und Elektronenmigration

2. Anwendung von Wolframsäure und ihren Derivaten in Superkondensatoren

Superkondensatoren (SCs) sind Energiespeicher, die Oberflächenladungsakkumulation und pseudokapazitive Reaktionen als Energiespeichermechanismen nutzen. Wolframatmaterialien spielen in pseudokapazitiven Bauelementen vor allem eine Rolle, da ihr W⁶⁺ / W⁵⁺-Umwandlungsprozess an einer schnellen und reversiblen Faradayschen Reaktion teilnehmen kann.

1. Materialsystem und Leistung

Materialsystem	Synthesemethode	Kondensatorleistung
H ₂ WO ₄ -Nanoblätter	Hydrothermale Methode	410 F/g (0,5 A/g)
WO ₃ -Nanostäbe	Sol-Gel-Verfahren	515 F/g (1 A/g)
W ₁₈ O ₄₉ Nanodrähte	Pyrolyse + Defekt-Engineering	621 F/g (0,2 A/g)
WO ₃ / CNT-Verbundwerkstoffe	Lösungsmischen + Wärmebehandlung	720 F/g (1 A/g)

2. Leistungsvorteile

- Kurze Reaktionszeit: Laden und Entladen innerhalb von <2 s abgeschlossen;
- Hohe Zyklenstabilität: Kapazitätserhaltungsrate >85 % nach 5000–10000 Zyklen;
- Hohe Leistungsabgabe: unterstützt den Betrieb bei hoher Stromdichte (>10 A/g);
- Breites Betriebsspannungsfenster (>1,2 V, Wassersystem);

3. Änderungsstrategie

- **Leitfähigkeitsverbesserung** : zusammengesetzt mit Graphen, CNT, Kohlenstoffgewebe usw., um die Elektronenmigrationsrate zu erhöhen ;
- **Regulierung der Oberfläche** : Synthese poröser, lamellarer und hohler Strukturen zur Vergrößerung der Reaktionsstellen;
- **Ionendotierung** : wie Mo⁶⁺ , V⁵⁺ , Mn²⁺ , um das Redoxpotential und die Ladungstransferrate anzupassen;
- **Polymerverbundstoff** : Erreichen Sie synergistisch eine duale funktionelle Reaktion mit PANI und PPy .

3. Forschungsfortschritt von Wolframsäure in Batterieelektrodenmaterialien

die Entwicklung von Elektrodenmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien (LIB), Natrium-Ionen-Batterien (SIB), Magnesium-Ionen-Batterien und flexible Mikrobatterien aufgrund ihrer hohen elektrochemischen Stabilität und reversiblen Redoxfähigkeit .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Wolframat-basiertes negatives Elektrodenmaterial für Lithiumbatterien

- WO_3 kann mit Li^+ reagieren und eine Mehrelektronenreaktion ($W^{6+} \rightarrow W^0$) mit einer hohen theoretischen Kapazität (693 mAh /g) hervorrufen.
- Es besteht ein gewisses Problem der Volumenausdehnung, das jedoch durch Nanodimensionierung und Kohlenstoffverbundstoffe überwunden werden kann.
- eine Anfangskapazität von >600 mAh /g erreicht werden, und die Kapazität nach dem Zyklisieren ist stabil bei 400–500 mAh /g.

2. Erforschung von Wolframsäure in Natriumionenbatterien

- Das Natriumion hat einen großen Radius und erfordert einen breiteren Kanal.
- Nano- WO_3 oder dotierte Wolframatstruktur hat ausgezeichnete Ionendiffusionseigenschaften;
- Die Anfangskapazität beträgt etwa 200–350 mAh /g und die Zyklenstabilität ist gut.

3. Anwendung in neuen Batteriesystemen

- **Grenzflächenmaterialien für Festkörperbatterien** : WO_3 -Nanofilm verbessert die Stabilität der Grenzfläche;
- **Festkörperbatterie : Wolframat-** Verbundelektrolyt hat eine gute Ionenleitfähigkeit und mechanische Flexibilität;
- **Mikrobatterien und Energiechips** : Nanobänder aus Wolframoxid können als ultrakleine Elektroden in flexibler Elektronik verwendet werden.

IV. Praktische Anwendungen und technische Beispiele

Anwendungsszenario	Materialsystem	Leistungsmerkmale
Superkondensatorelektroden in Industriequalität	WO_3 /Kohlenstoffgewebe	Hohe Kapazität, niedrige Impedanz, einfach vorzubereiten
Flexible Energiespeicher	H_2WO_4 / PPy / PVA-Verbundelektrode	Biegsam, Lebensdauer >10.000 Zyklen
Schnelllade-Powermodul	$W_{18}O_{49}$ /G-Komposit-Nanoelektrode	Unterstützt 60 Sekunden vollständige Ladung, hohe Lade- und Entladefestigkeit
Energiespeicher für Elektrowerkzeuge/UAVs	WO_3 @CNT-Verbundelektrode	Hohe Ausgangsleistung, hervorragende Leistung bei niedrigen Temperaturen

5. Fortschritt der CTIA GROUP-Praxis

Die CTIA GROUP hat mehrdimensionale Untersuchungen zur Industrialisierung von Energiespeichermaterialien auf Wolframsäurebasis durchgeführt:

Richtung	Konkrete Fortschritte
Rohstoffentwicklung	Wolframatpulver mit Schichtstruktur (Partikelgröße 50–300 nm);
Prozessplattform	Bau einer integrierten Produktionslinie für „Nano-Wolframsäure-Kohlenstoff-basierte Verbundschlamm-Elektrodenplatten“;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Industrielle Zusammenarbeit	Zusammenarbeit mit Universitäten zur Entwicklung von WO ₃ /GO-Verbund-Superkondensatoren;
Anwendungsszenario	Bereitstellung von Pilotmustern für Fahrzeuge mit neuer Energie und Systeme zur Spitzenlastregulierung im Stromnetz;
Ergebnisse	Dem Unternehmen wurden sieben Patente im Zusammenhang mit Energiespeichermaterialien auf Wolframatbasis erteilt, und zwei davon befinden sich derzeit in der Phase der Leistungstransformation.

VI. Forschungsschwerpunkte und zukünftige Entwicklungsrichtungen

1. Wolframsäure-Energiespeichermaterial – Strukturtechnik

- Entwicklung mehrstufiger Porenstrukturen zur Verbesserung der Elektrolytpermeation und Ionendiffusion;
- Konstruktion von Elektrodenpartikeln vom Typ Hohl/Kern-Schale/Heteroübergang zur Optimierung der Zyklenstabilität.

2. Multifunktionales Verbund-Energiespeichersystem

- Integrieren Sie die dreifachen Reaktionsfunktionen von Licht, Strom und Wärme, um eine intelligente Energiespeicherung und -verteilung zu erreichen.
- Konstruieren Sie neue zusammengesetzte Energiespeichermaterialien wie Wolframsäure-MXen und Wolframsäure-MOF.

3. Großtechnische Herstellung und kostengünstige Prozessentwicklung

- Vereinfachen Sie hydrothermale Behandlungs-, Sprüh- und Wärmebehandlungspfade.
- Förderung des Übergangs von Industriematerialien zu Hochleistungsmaterialien für die Elektronik ;
- Integrierte Entwicklung mit Natriumbatterien, Lithium-Schwefel-Batterien und Festkörperbatterien.

VII. Zusammenfassung

Wolframsäure und ihre Derivate entwickeln sich aufgrund ihrer einzigartigen elektrochemischen Eigenschaften, ihrer strukturellen Vielfalt und ihrer Steuerbarkeit zu äußerst wettbewerbsfähigen Bestandteilen des neuen Energiespeichersystems. Ihre Anwendung in Superkondensatoren, Batterieelektroden und flexiblen Energiespeichern entwickelt sich stetig weiter und bietet zudem neue Ideen für die Integration neuer Energie- und Elektronikmaterialien. Wolframsäure wird voraussichtlich in Zukunft eine zentrale Rolle in der energiedichten, langlebigen und kostengünstigen grünen Energiespeichertechnologie spielen.

7.3 Anwendung von Wolframsäure in elektrochromen und optischen Steuermaterialien

Elektrochrome Materialien sind Funktionsmaterialien, die ihre optischen Eigenschaften (wie Farbe, Transmission, Reflektivität usw.) unter Anlegen einer Spannung reversibel verändern können. Sie werden häufig in intelligenten Fenstern, elektronischem Papier, Displays, temperaturgeregeltem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

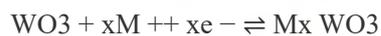
Glas usw. verwendet. Wolframsäure (H_2WO_4) und ihre oxidierten Derivate, insbesondere Wolframtrioxid (WO_3), zählen aufgrund ihrer hervorragenden photoelektrischen Reaktionsfähigkeit, ihrer guten elektrochemischen Stabilität und ihres reversiblen Ioneneinlagerungsverhaltens zu den ausgereiftesten und am weitesten verbreiteten anorganischen elektrochromen Materialien.

In diesem Abschnitt werden die Kernmechanismen, Materialtypen, Herstellungsverfahren, Leistungsindikatoren und typischen Anwendungen von Wolframsäure und verwandten Materialien in der elektrochromen und optischen Regulierung umfassend erörtert und theoretische Unterstützung sowie technische Wege für die Entwicklung von Wolframsäure zu intelligenten optoelektronischen Materialien bereitgestellt.

1. Elektrochromes Prinzip und Reaktionsmechanismus von Wolframatmaterialien

1. Grundprinzipien der Elektrochromie

Elektrochromie bezeichnet die reversible Veränderung der optischen Eigenschaften eines Materials durch die Wanderung von Elektronen und Ionen im Kristallgitter unter Einwirkung eines elektrischen Feldes. Der Hauptreaktionsprozess ist:



Wobei M^+ das eingefügte Ion ist (H^+ , Li^+ , Na^+ usw.). Nach der Interkalation ändert sich M_xWO_3 von farblos (oder hellblau) zu dunkelblau oder blauviolett und zeigt einen Farbwechsel.

2. Reaktionseigenschaften von Wolframsäurematerialien

- **Die Farbe ändert sich deutlich** : von farblos/hellgelb → dunkelblau/dunkelgrau;
- **Schnelle Reaktionsgeschwindigkeit** : Die Interkalationsreaktion ist schnell (<2 s);
- **Starke Reversibilität** : Zehntausende Farbwechselzyklen sind möglich;
- **Starke spektrale Kontrollfähigkeit** : wirkt hauptsächlich im sichtbaren Lichtbereich und kann auch auf den nahen Infrarotbereich erweitert werden;
- **Niedriger Energieverbrauch** : Der Farbwechselzustand kann ohne kontinuierliche Stromversorgung aufrechterhalten werden.

2. Arten von elektrochromen Materialien aus Wolframsäure und ihren Derivaten

1. Kristalliner WO_3 -Dünnschicht

- Entsteht durch thermische Zersetzung von H_2WO_4 oder elektrochemische Abscheidung;
- Gute Kristallinität und starke optische Kontrolle;
- Geeignet für Anwendungen in Smart Windows und Antireflexfolien.

2. Wolframwasserstoffsäure /amorphes WO_3 -Gelmaterial

- Gute Flexibilität, kann mit Polymeren vermischt werden;
- Wird für gebogene Geräte und flexible Displays verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Nanostrukturierte Wolframsäurematerialien

- Morphologien wie Nanostäbe, -schichten und Hohlkugeln;
- Verbessern Sie die spezifische Oberfläche und die Reaktionsrate;
- Es trägt dazu bei, die Interkalationseffizienz und die Zykluslebensdauer zu verbessern.

4. Elektrochromes Wolframsäure-Verbundmaterial

- mit TiO_2 , V_2O_5 , PEDOT, PANI usw.;
- Bauen Sie ein multifunktionales Dimmmaterialsystem.

3. Dünnschichtherstellungsprozess und Gerätekonfiguration

1. Filmvorbereitungsmethode

Verfahren	Merkmale
Sol-Gel-Verfahren	Niedrige Kosten, geeignet für großflächige Beschichtung, gleichmäßige Filmschicht
Thermische Zersetzungsmethode	Kristallinität, geeignet zur Herstellung kristalliner WO_3 -Filme
Elektrochemische Abscheidung	Dichte Struktur und kontrollierbare Dicke
Sputtern	Starke Filmhaftung, geeignet für mehrschichtige Stapelstrukturen
Sprühmethode	Schnelle Filmbildung, geeignet für die Industrialisierung

2. Gerätekonfiguration

Die typische Struktur eines elektrochromen Geräts ist:

Leitfähiges Glas/Elektrochrome Schicht (WO_3) /Elektrolytschicht/Gegenelektrodenschicht (NiO)/Leitfähiges Glas

Optionale Elektrolyte: festes PVA/ H_3PO_4 -Gel, Li^+ - Polymer, ionische Flüssigkeit usw.

4. Leistungsbewertungsindikatoren

Index	Umfang	veranschaulichen
Optische Modulationsamplitude (ΔT)	30–70 % (bei 633 nm)	Unterschied in der Lichtdurchlässigkeit vor und nach der Verfärbung
Farbeffizienz (CE)	40–120 cm^2/C	Änderung der optischen Dichte pro Ladungseinheit
Reaktionszeit bei Farbänderungen	Färben <3 s, Blondieren <6 s	Je schneller, desto besser für dynamisches Dimmen
Zyklische Stabilität	>10.000 Mal ohne Dämpfung	Schlüsselindikatoren für die Persistenz
Energieverbrauch	<5 mW/cm^2	Hervorragender Vorteil durch niedrigen Stromverbrauch

5. Typische Anwendungsgebiete

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Intelligente Fenster

- Steuern Sie Licht und Wärme im Innenbereich, um den Energieverbrauch der Klimaanlage zu senken.
- Es wurde in hochwertigen Gebäuden, im Schienenverkehr und in Raumfahrzeugfenstern verwendet.
- Es kann mit Photovoltaikzellen und Sensoren integriert werden, um einen automatischen Lichtwechsel zu erreichen.

2. Flexibles elektronisches Papier und stromsparende Displays

- Wolframsäurefilm hat einen hohen Kontrast und eine hohe Sichtbarkeit;
- Bau eines gekrümmten Lesegeräts mit Polymerelektrolyten;
- Ersetzen Sie herkömmliche LCD- und LED-Anzeigen in Szenarien mit geringem Stromverbrauch.

3. Photoelektrisches Schutz- und Tarnsystem

- Schnelle Reaktion zur Anpassung der Reflektivität und Abschirmung thermischer Infrarotstrahlen;
- Militärische Tarnkappentechnik, Flugzeugfenster, Anti-Laser-Schutzbeschichtungen;
- Realisieren Sie die Integration optischer Farbwechsel- und Wärmekontrollfunktionen.

4. Informationsanzeige und Fälschungsschutzanwendungen

- Erstellen gemusterter, farbwechselnder Schichten und mehrschichtiger, reaktionsfähiger Strukturen;
- Wird zur Identitätserkennung, zum Schutz vor Ticketfälschungen, für interaktive elektronische Tags usw. verwendet.

VI. CTIA GROUP Entwicklungspraxis für elektrochrome Technologie

Module	Umsetzungsinhalte	Phasenerfolge
Rohstoffentwicklung	von hochdisperssem H ₂ WO ₄ und Nano-WO ₃ -Slurry	Für Niedertemperatur-Dünnschichtabscheidungsverfahren
Prozessplattform	Bau einer kombinierten Sol-Gel- und Pyrolyse-Filmproduktionslinie	Filmgleichmäßigkeit besser als ±5 %, ΔT bis zu 60 %
Gerätetests	von PVA/H ₃ PO ₄ -Festkörper-Elektrochromiegeräten	Farbwechselzyklus >15.000 Mal ohne Dämpfung
Anwendungsentwicklung	Gemeinsame Entwicklung intelligenter Fensterprodukte mit Architekturglasunternehmen	Die Mustertests sind abgeschlossen und die Testphase hat begonnen

7. Forschungstrends und zukünftige Entwicklungsrichtungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Entwicklung flexibler Festkörperbauelemente

- Entwicklung flexibler Elektroden (ITO-PET, Silberrnanodrähte) und fester Gelelektrolyte;
- Bauen Sie ein rollbares, tragbares intelligentes visuelles System.

2. Multifunktionales Verbundwerkstoffdesign

- Kombiniert Energiespeicherung, Elektrolumineszenz und photothermische Regulierungsfunktionen;
- Konstruieren Sie Verbundsysteme wie $\text{WO}_3 @\text{CNT}$, $\text{WO}_3 / \text{PEDOT}$ usw.

3. Intelligente Steuerungssystemintegration

- Integrieren Sie Sensoren und Lichtsteuerungsmodule, um eine umweltadaptive Farbänderung zu erreichen;
- Angewendet auf der neuen Plattform „Internet der Dinge + intelligente Materialien“.

4. Lange Lebensdauer und hohe Stabilität Entwicklung

- Verbessern Sie die Schnittstellenanpassung und verhindern Sie die strukturelle Dämpfung interkalierter Materialien.
- Entwurf poröser/geordneter Strukturen zur Pufferung von Ladungsmigrationsspannungen.

8. Zusammenfassung

Als elektrochrome Materialien haben sich Wolframsäure und ihre oxidierten Derivate aufgrund ihres effizienten und reversiblen Ioneninterkalationsverhaltens, ihrer breiten Ansprechempfindlichkeit und ihrer stabilen Struktureigenschaften zu einem der Kernmaterialien im Bereich der intelligenten Dimmung und optischen Regelung entwickelt. Durch die Integration mit flexiblen Materialien, Energiespeichersystemen und intelligenten Steuerungstechnologien wird das elektrochrome Wolframsäuresystem eine wichtigere strategische Rolle in umweltfreundlichen Gebäuden, flexibler Elektronik und intelligenter optoelektronischer Integration spielen.

7.4 Entwicklung von Nanowolframsäure in Sensoren und selbstreinigenden Materialien

Wolframsäure (H_2WO_4) weist eine ausgezeichnete optische, elektrische und chemische Stabilität auf, während ihr nanoskaliges Derivat (Nanowolframsäure) eine höhere spezifische Oberfläche, eine stärkere Oberflächenaktivität und eine schnellere Reaktionskinetik aufweist. In den letzten Jahren wurde Nanowolframsäure häufig in Umweltsensoren, Gassensoren, Feuchtigkeitsmessern, biometrischen Systemen, selbstreinigenden Beschichtungen sowie Antibeschlag- und Antifouling-Materialien eingesetzt und hat sich allmählich zu einer funktionalen Plattform für die Entwicklung einer neuen Generation intelligenter Materialien entwickelt.

In diesem Abschnitt geht es um die Leistungsvorteile, Materialkonstruktionsstrategien, typische Anwendungsformen von Nanowolframsäurematerialien im Bereich Sensoren und Selbstreinigung sowie die Forschungspraktiken der CTIA GROUP in dieser Richtung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Eigenschaften und funktionelle Vorteile von Nano-Wolframsäure

Eigentum	beschreiben	Anwendungswert
Hohe spezifische Oberfläche	Nanopartikelgröße (10–100 nm), poröse Struktur	Verbessern Sie die Adsorptions- und Erkennungseffizienz von Analyten
Zahlreiche Sauerstoffleerstellen an der Oberfläche	Einstellbare elektronische Zustände und katalytisch aktive Zentren	Günstig für Gas-, Elektro- und Lichtsensorik
Starke Lichtempfindlichkeit	Kann ultraviolettes Licht und einen Teil des sichtbaren Lichts absorbieren	Stimulieren Sie die Selbstreinigungs- und photokatalytischen Sterilisationsfunktionen
Kann mit einer Vielzahl von Materialien kombiniert werden	Synergistischer Strukturaufbau mit CNT, GO, Polymer etc.	Verbesserte Sensorselektivität und Stabilität
Gute chemische Stabilität	Säure- und Laugenkorrosionsbeständigkeit, hohe thermische Stabilität	Geeignet für langfristiges Arbeiten in komplexen Umgebungen

2. Anwendung von Nanowolframsäure im Sensorbereich

1. Gassensor

Materialien auf Wolframsäurebasis zeigen eine hohe Empfindlichkeit und Selektivität gegenüber einer Vielzahl von Gasen (wie NH₃, NO₂, H₂S, Ethanol, Formaldehyd usw.).

Arbeitsmechanismus:

- Adsorption von Gasmolekülen → Änderung von Widerstand/Strom → Signalausgabe;
- Sauerstoffleerstellen und die W⁶⁺/W⁵⁺-Umwandlung spielen eine Rolle bei der Regulierung des Elektronentransports.
- Lichtunterstützte Sensorik verbessert die Reaktionsintensität und Selektivität.

Repräsentative Materialien und Eigenschaften:

Materialsystem	Zielgas	Nachweisgrenze	Ansprechzeit
H ₂ WO ₄ -Nanoblätter	NH ₃	0,2 ppm	<30 Jahre
WO ₃ -Nanodrähte	NEIN ₂	50 ppb	<10 s
W ₁₈ O ₄₉ @CNT	H ₂ S	0,1 ppm	<5 s
WO ₃ / rGO -Komposit	Ethanol	1 ppm	<20 s

2. Feuchtigkeits- und Temperatursensoren

- Wolframsäure reagiert empfindlich auf die Adsorption von Wassermolekülen und kann als kapazitiver/resistiver Feuchtigkeitssensor ausgelegt werden.
- Es kann zur Umweltüberwachung, in intelligenter Kleidung und in elektronischen Gesundheitspflastern integriert werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Biosensorik und elektrochemische Detektion

- Der Nano-WO₃-Komplex wird zum Nachweis von Glukose, Cholesterin, DNA usw. verwendet;
- Die Oberfläche kann mit Enzymen, Antikörpern und Aptameren funktionalisiert werden;
- Es kann eine hohe Empfindlichkeit und schnelle Reaktion erreichen und hat das Potenzial, als tragbares medizinisches Gerät eingesetzt zu werden.

3. Entwicklung von Nanowolframsäure in selbstreinigenden Materialien

1. Übersicht über den Selbstreinigungsmechanismus

Die selbstreinigende Wirkung der Nanowolframsäure wird hauptsächlich durch die Synergie aus **photokatalytischem Abbau** und **superhydrophilem Oberflächeneffekt** erreicht :

- **Photokatalyse** : Unter ultraviolettem oder sichtbarem Licht werden aktive Spezies wie OH erzeugt, um organische Schadstoffe zu zersetzen;
- **Superhydrophilie** : Wassertropfen verteilen sich, um Staub und Öl von Oberflächen zu entfernen .
- **Antibakterielle Eigenschaft** : Reaktive Sauerstoffradikale können Bakterien und Viren abtöten.

2. Materialsystem und funktionelle Eigenschaften

Materialsystem	Symptome	Anwendungsbeispiele
WO ₃ -Film	Starke Lichtempfindlichkeit und transparent	Selbstreinigende Glasvorhangfassade
H ₂ WO ₄ / SiO ₂ - Komposit	Nanorauheit + Photokatalyse	Auto-Rückspiegel Antibeschlag
W ₁₈ O ₄₉ Nanostäbe	Sichtbare Lichtreaktion	Antibakterielle Oberflächenbeschichtung für medizinische Zwecke
WO ₃ / TiO ₂ - Verbundfolie	Synergistischer katalytischer Effekt	Staubdichte Beschichtung für Photovoltaikmodule

3. Filmbildung und Konstruktionsmethoden

- **Spin-Coating/Sprühbeschichtung** : geeignet für Glas-, Keramik- und Kunststoffsubstrate;
- **Sol-Gel -Methode** : Kontrolle der Filmdichte und Oberflächenenergie;
- **Elektrophoretische Abscheidung** : Aufbau großflächiger, gleichmäßiger Filmschichten;
- **Template-gestützte Methode** : Erzeugung poröser, rauer Oberflächen im Mikro-Nano-Bereich.

4. Umfassende Anwendungsbeispiele und Szenarioerweiterung

Anwendungsszenario	Materialsystem	Hauptmerkmale
--------------------	----------------	---------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Intelligente Maske	Nano-Wolframsäure/PVA-Verbundfolie	Gaserkennung + antimikrobieller Schutz
Intelligente Gebäude	Selbstreinigendes Glas mit Wolframsäure	Lichtlenkung und Lichtdurchlässigkeit + Antifouling und Staubentfernung
Intelligente tragbare Geräte	Nano-WO ₃ -Dünnschichtsensorschicht	Feuchtigkeits-/Schweißmessung und physiologische Überwachung
Medizinische Oberflächenmaterialien	Antibakterielle Beschichtung mit Nano-Wolframsäure	Antibakterielle + Photokatalysator-Selbstreinigungs-Doppelfunktion
Automobilindustrie	Antibeschlagfolie für Rückspiegel	Schnelle Hydrophilie + starke Wetterbeständigkeit

5. CTIA GROUP Forschung und industrielle Transformation

Die CTIA GROUP hat eine umfassende Planung im Bereich der Sensor- und Selbstreinigungsmaterialien auf Nanowolframsäurebasis durchgeführt:

Richtung	Umsetzungsinhalte	Phasenerfolge
Rohstoffsystem	Die Partikelgröße des Nanowolframatpulvers wird auf 20–100 nm kontrolliert	Erhältlich in Chargen zum Sprühen/Beschichten
Entwicklung von Verbundwerkstoffen	WO ₃ @TiO ₂ , WO ₃ @GO, WO ₃ @PVA usw.	Integration multifunktionaler Materialien
Produkteinführung	Markteinführung einer selbstreinigenden Glasvorläuferlösung auf Basis von Nanowolframsäure	Geeignet für die Beschichtung von Architektur-/Verkehrsglas
Sensormodul	Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen zur Entwicklung von NO ₂ -Sensorfolienmodulen	Erreichen Sie eine Gaserkennung im ppm-Bereich innerhalb von <30 Sekunden
geistiges Eigentum	6 Patente im Zusammenhang mit Nano-Wolframsäure-Funktionsmaterialien wurden angemeldet und genehmigt	

VI. Entwicklungstrends und Forschungsschwerpunkte

1. Entwicklung einer intelligenten Multiparameter-Wahrnehmungsplattform

- Integriert mehrere Funktionen wie Temperatur, Gas, Feuchtigkeit usw.
- Integrieren Sie KI-Wahrnehmungschips, um ein umgebungsadaptives Feedback zu erhalten.

2. Tragbares und flexibles Sensormaterialdesign

- Verwenden Sie flexible Substrate wie PVA, PDMS und Polyimid;
- Bauen Sie flexible Sensorarrays auf Wolframatbasis für den Bereich der Gesundheitsüberwachung.

3. Selbstreinigende und antibakterielle integrierte Oberflächenkonstruktion

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

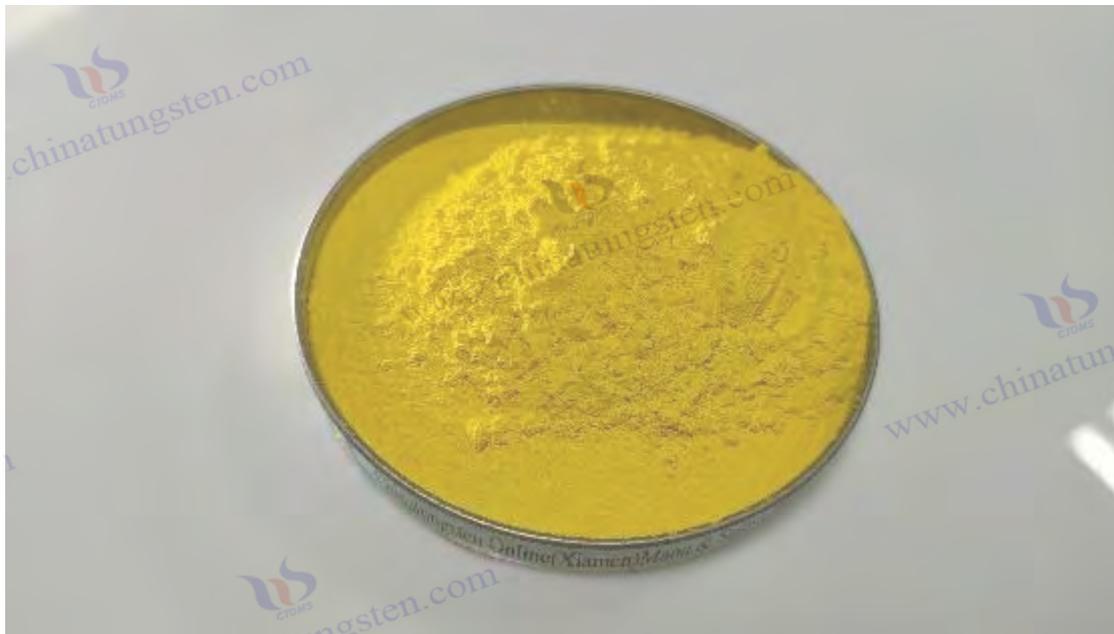
- Stärkung der photokatalytischen bakteriziden Wirkung und Verbesserung der Haltbarkeit der Filmschicht;
- In Kombination mit Antibeschlag-, Antistaub- und Anti-UV-Funktionen wird die Entwicklung von „Vollflächenmaterialien“ realisiert.

4. Förderung umweltfreundlicher Beschichtungen und grüner Synthesetechnologie

- Verwenden Sie ungiftige Vorläufer und wasserbasierte Prozesse, um herkömmliche organische Lösungsmittel zu ersetzen.
- Reduzieren Sie die Temperatur und den Energieverbrauch bei der Beschichtungsfilmbildung, um die Anforderungen des industriellen Umweltschutzes zu erfüllen.

VII. Zusammenfassung

Als neuartiges Material mit kontrollierbarer Struktur, vielfältigen Funktionen und stabiler Leistung spielt Nano-Wolframsäure eine wichtige Rolle in der Sensorik und Selbstreinigungstechnologie. Ihre hervorragende photoelektrische Aktivität, ihr chemisches Oberflächenverhalten und ihre Materialanpassungsfähigkeit machen sie zu einem unverzichtbaren Bestandteil intelligenter Materialien, umweltfreundlicher Beschichtungen und intelligenter tragbarer Geräte. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung des Wolframsäure-Materialdesigns und der Schnittstellenkonstruktionstechnologie wird sie künftig ein größeres Potenzial in den Bereichen intelligente Umwelt, personalisierte Medizin, intelligenter Verkehr und umweltfreundliche Gebäude entfalten.



Kapitel 8: Anwendung von Wolframsäure in der analytischen Chemie und Reagenzien

8.1 Wolframsäure als kolorimetrisches Mittel und Titrationsreagenz

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframsäure (H₂WO₄) und ihre verschiedenen Salzderivate werden seit langem in der analytischen Chemie eingesetzt. Insbesondere bei Farbentwicklungsreaktionen, komplexometrischer Titration, kolorimetrischer Bestimmung und Ionenquantifizierung kann Wolframsäure mit verschiedenen Kationen stabile mehrkernige oder komplexe Strukturen bilden und signifikante Farbveränderungen aufweisen. Daher wird sie häufig als analytisches Reagenz, Farbentwickler und Titrationshilfsmittel eingesetzt.

In diesem Abschnitt werden die klassischen Anwendungen der Wolframsäure in herkömmlichen Systemen der analytischen Chemie systematisch überprüft, ihr Farbentwicklungsmechanismus, ihre Wirkungsweise im Titrationssystem, ihre Kombination mit anderen Reagenzien und die Notwendigkeit zur Optimierung ihrer Leistung in der modernen kolorimetrischen Analyse vorgestellt.

1. Grundlegender Mechanismus und Arten von Wolframat als Farbentwickler

1. Prinzip der Farbreaktion

Wolframsäure verfügt über eine starke Koordinationsfähigkeit und kann unter sauren Bedingungen mit bestimmten Metallionen (wie Phosphat, Arsenat, Silikat, Germanat usw.) charakteristische und stabile **Heteropolysäurekomplexe** (wie Phosphorwolframsäure, Kieselwolframsäure usw.) bilden, die blaue, gelbe, grüne und andere **Farben** aufweisen und für die kolorimetrische Analyse verwendet werden können.

Zum Beispiel:



Wolframblau unter Einwirkung eines Reduktionsmittels, das für die kolorimetrische Bestimmung mit sichtbarem Licht geeignet ist.

2. Gemeinsames Wolframat-Farbentwicklungssystem

Farbwiedergabesystem	Gezielte Ionen/Substanzen	Farbe generieren	Anwendung
Phosphorwolframsäure	PO ₄ ³⁻	Blau/Grün	Prüfung des Phosphorgehalts in der Wasserqualität
Silicowolframsäure	SiO ₃ ²⁻	Gelbgrün	Silikatanalyse
Arsenwolframat	AsO ₄ ³⁻	Himmelblau	Umweltüberwachung
Germaniumwolframat	GeO ₂	Blau Lila	Bodenanalyse

3. Farberzeugungsmechanismus

Die obige Farbentwicklungsreaktion gehört zur Heteropolysäurebildungsreaktion. Durch die koordinierte Koordination mehrerer [WO₆]-Oktaeder und Zentralionen (wie P, Si, As) wird eine Keggin-artige Struktur gebildet, und dann findet ein Ladungstransfer statt, der zum Auftreten von Farbe führt.

2. Die Rolle der Wolframsäure als Titrationshilfsmittel

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframsäure wird in der Titrationsanalyse häufig verwendet als:

- **Maskierungsmittel** : verhindert Störungen bei Metallionenreaktionen ;
- **Hilfskomplexbildner** : Verbesserung der Selektivität der komplexometrischen Titration ;
- **Redoxregulator** : reguliert das Lösungspotential und die Reaktionsrichtung.

1. Wolframsäure in der quantitativen Titration von Antimon, Arsen und anderen Elementen

- $^{+}$) in Proben;
- Es bildet sich ein Arsenwolframatkomplex , und der Endpunkt wird durch die Farbänderung am Titrationsendpunkt bestimmt.
- Es wird häufig als Hilfsstandardsystem bei der Molybdänblau-Methode oder der Wolframblau-Methode verwendet.

2. Kombiniertes Titrationssystem

Wolframsäure wird häufig in Kombination mit den folgenden Reagenzien für bestimmte Titrationssysteme verwendet:

Kombinierte Reagenzien	Titrationstyp	Zielkomponente
EDTA	Komplexometrische Titration	Ca^{2+} , Mg^{2+} usw.
Zinn(II)-chlorid	Reduktionstitation	Fe^{3+} , Cr^{6+}
Phthalsäure	Säure-Base-Titrationsmaskierungsmittel	Störende Ionen wie Al^{3+}

Wolframsäure spielt eine Rolle bei der selektiven Maskierung oder Anpassung des Säuregehalts in solchen Systemen und verbessert so die Genauigkeit und Empfindlichkeit der Titration.

3. Typischer experimenteller Plan zur Farbanalyse

1. Kolorimetrische Bestimmung von Phosphor (Wolframblau - Methode)

Prinzip : Unter sauren Bedingungen reagiert Phosphat mit Wolframsäure zu Phosphorwolframsäure , die dann durch ein Reduktionsmittel (wie schweflige Säure, Ascorbinsäure) zu einem blauen Komplex reduziert wird.

Schritt :

1. H_2WO_4 -Reagenz hinzufügen ;
2. Kontrollieren Sie den pH-Wert auf 0,2–1,0;
3. Hinzufügen eines Reduktionsmittels;
4. Die Absorption wurde bei einer Wellenlänge von 700–880 nm gemessen.

Vorteil :

- Hohe Empfindlichkeit;
- Einfach zu bedienen;
- Es kann zur Analyse von Oberflächenwasser, Trinkwasser und Abwasser eingesetzt werden.

2. Kolorimetrische Bestimmung von Silizium (Kieselwolframsäure -Methode)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Wolframsäure reagiert mit Silikat und bildet einen gelbgrünen Kieselwolframsäurekomplex .
- -Extraktion verbessert ;
- Wird zur Analyse von Zement, Mineralien, Glasrohstoffen usw. verwendet.

4. Vorbereitung und Verwendungsbedingungen des Wolframat-Analysereagenzes

1. Wolframatreagenzformel (typisch)

Rezeptzutaten	Inhalt	veranschaulichen
Wolframsäure (H_2WO_4)	10–15 g/L	Original Wolframquelle
Salzsäure oder Schwefelsäure	Kontrollieren Sie den pH-Wert <1	Stellen Sie den Säuregehalt der Reaktion sicher
Reduktionsmittel (wie $NaHSO_3$)	Mäßig	Für Farbreaktionen

2. Lagerung und Haltbarkeit

- Das vorbereitete Wolframatreagenz sollte versiegelt und vor Licht geschützt werden.
- Es kann 7–10 Tage lang stabil bei Raumtemperatur gelagert werden;
- Um eine Farbdrift zu vermeiden, sollte das Produkt unmittelbar nach Zugabe des Reduktionsmittels verwendet werden.

3. Hinweise

- Wolframsäure ist ein starkes Säuresystem. Achten Sie daher bei der Handhabung auf die Sicherheit.
- Die Farbreaktion ist äußerst pH-empfindlich und muss genau kontrolliert werden.
- Verunreinigungen (wie etwa Mo^{6+} und V^{5+}) können die Farbreaktion stören und müssen durch eine Vorbehandlung entfernt werden.

5. CTIA GROUP Reagenzienprodukte und Anwendungserweiterung

CTIA GROUP hat eine Reihe standardisierter Produkte im Bereich analytischer Reagenzien für Wolframsäure entwickelt, darunter:

Produktname	bilden	Typische Verwendungen
Wolframsäure in Analysequalität ($\geq 99,9\%$)	Pulver	Routinemäßige Laborvorbereitung
Kolorimetrische Standardlösung aus Phosphorwolframsäure	flüssig	Schnelle kolorimetrische Quantifizierung
Wolframat-Derivat-Maskierungsmittel	Feststoff oder Lösung	Titrationshilfsmittelsystem
Silicowolframsäure -Testkit	Industrielles Reagenzienkit	Zement/Silica-Materialanalyse

Wir arbeiten außerdem mit zahlreichen Universitätslaboren zusammen, um die Entwicklung der Mikroanalyse von Wolframsäurereagenzien und nanokolorimetrischen Geräten voranzutreiben.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VI. Forschungsschwerpunkte und zukünftige Entwicklungsrichtungen

1. Neues System zur Mikro-/Spurenerkennung

- Wolframsäure wird mit empfindlichen Materialien wie Nanogold und Quantenpunkten kombiniert, um eine hochempfindliche kolorimetrische Methode zu konstruieren;
- Angewendet auf Lebensmittelsicherheit, Schwermetallspurenanalyse usw.

2. Verbesserung der Festphase und des Sensors

- Der Wolframat-Farmentwickler wird auf ein Papiersubstrat, ein Membransubstrat oder eine mikrofluidische Plattform geladen;
- Entwickeln Sie tragbare Sensorchips und Schnelltestkarten.

3. Entwicklung eines intelligenten kolorimetrischen Systems

- In Kombination mit der Erkennungstechnologie von Mobiltelefon-Apps kann eine digitale kolorimetrische Analyse durchgeführt werden.
- Das KI-Modell wird zur Analyse des Wolframsäure-Farbspektrums verwendet, um eine Identifizierung mehrerer Komponenten zu erreichen.

VII. Zusammenfassung

Als wichtiges anorganisches Reagenz in der analytischen Chemie spielt Wolframsäure seit langem eine zentrale Rolle in Farbentwicklungsreaktionen und Titrationssystemen. Durch die Reaktion mit verschiedenen Zielionen zu Komplexen mit signifikanten Farben hat Wolframsäure nicht nur die Empfindlichkeit der kolorimetrischen Analyse verbessert, sondern auch die technischen Grenzen der anorganischen Chemie in der quantitativen Detektion erweitert. Mit der Entwicklung der Materialwissenschaft und der Informationsanalysetechnologie entwickeln sich Wolframsäurereagenzien immer intelligenter, durchsatzstarker und multifunktionaler und erweitern ihren Anwendungswert in der modernen analytischen Wissenschaft kontinuierlich.

8.2 Koordination von Wolframsäure in der spektroskopischen Analyse

In der modernen analytischen Chemie sind spektroskopische Techniken (wie UV-Vis-Spektroskopie, Infrarotspektroskopie, Fluoreszenzspektroskopie, Raman-Spektroskopie, Atomabsorptionsspektroskopie usw.) zu wichtigen Werkzeugen für die qualitative und quantitative Analyse von Substanzen geworden. Wolframsäure (H_2WO_4) und ihre Derivate können aufgrund ihrer hohen Elektronegativität, starken Koordinationsfähigkeit und strukturellen Eigenschaften, die an der Ladungsübertragung teilnehmen können, stabile Komplexe mit einer Vielzahl von anorganischen und organischen Komponenten bilden und spielen eine wichtige Rolle bei der Signalverstärkung, selektiven Erkennung und Reduzierung der Nachweisgrenze in der Spektralanalyse.

In diesem Abschnitt werden der Verhaltensmechanismus, die typische Koordinationsstruktur und die Änderungen der spektralen Reaktion von Wolframsäure als Ligand oder Vorläufer in

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

verschiedenen spektroskopischen Techniken systematisch analysiert und ihre spezifischen Anwendungen in der Spurenionenerkennung, Umweltüberwachung, Bioanalyse und Materialidentifizierung vorgestellt.

1. Koordinationseigenschaften und spektrale Reaktionsgrundlage von Wolfram

1. Struktur und Koordinationseigenschaften der Wolframsäure

Wolframsäure verwendet hauptsächlich die oktaedrische Struktur [WO₆] als Grundeinheit und weist die folgenden Eigenschaften auf:

- Aggregatstrukturen können durch gemeinsame Eckpunkte, Kanten oder Flächen gebildet werden.
- Es kann stabile Komplexe mit koordinierenden Atomen wie O, N, S und P bilden;
- Kann an mehrzentrischen Metallkomplexen wie Polyoxowolframaten beteiligt sein .

2. Arten von spektralen Veränderungen durch Koordination

Spektraltyp	Koordinierung	Typische Erscheinungsformen
Ultraviolett-sichtbar (UV-Vis)	Ladungsübertragung, Übergangsänderungen	Absorptionswellenlänge rotverschoben/blauverschoben, Absorption erhöht
Infrarotspektroskopie (IR)	Bindungslänge ändert sich, Schwingungsenergieniveaus ändern sich	Charakteristische Peakpositionsverschiebung oder Intensitätsänderung
Fluoreszenzspektrum	Energieniveaustrukturregulierung	Emissionswellenlängenverschiebung, Quantenausbeutesteigerung
Raman-Spektroskopie	Änderungen der Gruppensymmetrie	Die Raman-Aktivität wird verstärkt und es treten neue charakteristische Peaks auf
Atomabsorption	Verbessertes Zerstäubungs- und Dispersionsverhalten nach Abstimmung	Verbesserte Empfindlichkeit, reduzierte Störungen

2. Koordinationsverstärkung von Wolframsäure in der UV-Vis-Spektroskopie

1. Ladungstransferband durch Polysäurekomplexierung

reagiert mit verschiedenen Ionen (wie PO₄³⁻, SiO₃²⁻, AsO₄³⁻, usw.) unter sauren Bedingungen zu Heteropolysäurestrukturen (Keggin- Typ, Dawson - Typ, usw.) und erzeugen Charge-Transfer-Absorptionsbanden im Bereich von 250–800 nm, die sich besonders für die kolorimetrische Detektion eignen.

Typische Reaktion:



- Das Absorptionsband des nicht reduzierten Zustands liegt bei 200–250 nm (helle Farbe);

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Das nach der Reduktion entstehende „Wolframblau“ hat ein starkes Absorptionsband von 600–700 nm.

2. Organisches Liganden-verstärktes Farbentwicklungssystem

- Wolframsäure bildet konjugierte Komplexe mit organischen Molekülen wie Benzidin und Phenolen;
- Die Absorptionswellenlänge des Komplexes wird in den roten Bereich verschoben und der sichtbare Absorptionspeak wird verstärkt.
- Es kann zur quantitativen Analyse organischer Stoffe oder zur Analyse der Struktur-Aktivitäts-Beziehung verwendet werden.

3. Koordinationserkennung von Wolframat im Infrarotspektrum

1. Charakteristische Schwingungsspitze

WO₃ oder H₂WO₄ zeigen im Infrarotspektrum häufig die folgende charakteristische Absorption:

- W=O-Streckschwingung: 880–950 cm⁻¹ ;
- W–O–W-Brückenbindungsschwingung : 600–800 cm⁻¹ ;
- O–H-Streckschwingung (Wolfrathydrat): 3200–3400 cm⁻¹ .

Durch die Koordination kommt es zu Änderungen dieser Peakpositionen, anhand derer festgestellt werden kann, ob die Bindung des Metallions oder des organischen Liganden erfolgreich war.

2. Identifizierung von Heteropolysäurekomplexen

Heteropolysäuren (wie Phosphorwolframsäure und Kieselwolframsäure) weisen im IR-Bereich (400–1200 cm⁻¹) mehrere scharfe Absorptionspeaks auf , deren Position und Intensität zur qualitativen Identifizierung des Typs und der Struktursymmetrie von Heteropolysäuren verwendet werden können .

4. Funktion der Wolframsäure in der Fluoreszenzspektroskopie-Analyse

1. Wolframat-Fluoreszenzverstärkung/-löschung

- Wolframat kann als Ligand die Fluoreszenzemission von Seltenerdionen (wie Eu³⁺ , Tb³⁺) regulieren ;
- Die Steigerung der Emissionsintensität wird durch einen Energieübertragungsprozess erreicht.
- Es kann bei der Wechselwirkung mit bestimmten Fluoreszenzfarbstoffen eine Fluoreszenzlöschung hervorrufen und zur Metallionenerkennung verwendet werden.

2. Anwendungsbeispiele

Erkennungsobjekt	Fluoreszenzsystem	Wolframat-Effekt
Fe ³⁺	CdTe - WO ₃ -Komposit-Quantenpunkte	Löschung der Fluoreszenz zur Spureisenerkennung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cu^{2+}	Rhodamin- WO_4^{2-} -Komplex	Fluoreszenzverstärkte Bestimmung von Kupfer	kolorimetrische
DNA	$\text{Ru}(\text{bpy})_3^{2+}$ -Wolframatkomplex	Fluoreszenzverstärkung Nucleinsäurenachweis	für den

5. Die unterstützende Rolle der Wolframsäure bei der Atomabsorptions- und Emissionsanalyse

Bei der AAS (Atomabsorptionsspektroskopie) und ICP (induktiv gekoppelte Plasmaemissionsspektroskopie) kann Wolframsäure die Messgenauigkeit auf folgende Weise verbessern:

- Bilden Sie vorab einen Komplex mit den zu testenden Metallionen, um die Zerstäubungseffizienz zu verbessern.
- Reduzieren Sie Matrixstörungen und Signaldrift;
- Als Trennmittel gibt es die zu analysierenden komplexierten oder ausgefällten Ionen frei.

Beispielsweise kann die Wolframat-Koordinationsreaktion bei der Erkennung von Strontium, Blei und Barium Hintergrundstörungen wie Aluminium und Silizium deutlich reduzieren.

6. Typische Koordinationssysteme und Analysebeispiele

Gemessene Komponenten	Koordinierungsformular	Analytische Methoden	Nachweisgrenze
PO_4^{3-}	$\text{H}_3[\text{PW}_{12}\text{O}_{40}]$	UV-Vis-Kolorimetrie	0,01 mg/l
SiO_3^{2-}	$\text{H}_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}]$	UV-Vis-Kolorimetrie + IR	0,03 mg/l
Fe^{3+}	WO_3 Nano-Fluoreszenzlösung	Fluoreszenzspektrum	0,005 mg/l
Bi^{3+}	$\text{Bi}-\text{WO}_4^{2-}$ -Komplex	ICP-OES	0,002 mg/l

VII. Materialien und Technologieanwendungen der CTIA GROUP

CTIA GROUP kombiniert Spektralanalyse und Materialvorbereitung, um eine Reihe von Wolframsäureprodukten in Analysequalität zu entwickeln:

Produktname	bilden	Anwendung
Hochreines H_2WO_4 (99,99 %)	Pulver	Kolorimetrisches Reagenz auf Heteropolysäurebasis
Nano- WO_3 -Sol	Flüssigdispersion	Materialien zur Verstärkung der Fluoreszenz/UV-Absorption
Heteropolysäure-Reagenzienkit	Pulver/Flüssigkeit	Kolorimetrische Analysestandards für Lehre und Forschung
WO_3/GO -Verbundsonde	Film oder Aufschlämmung	Kann für die Entwicklung von Spektrolsensoren verwendet werden

Darüber hinaus hat die CTIA GROUP mit Universitäten zusammengearbeitet, um einen Prototyp eines WO_3 -basierten kolorimetrischen Sensorchips zu entwickeln und untersucht dessen Potenzial

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

für die Anwendung vor Ort bei der Überwachung der Wasserqualität und der Analyse von Umweltnotfällen.

8. Forschungsgrenzen und zukünftige Richtungen

1. Konstruktion multifunktionaler spektral ansprechender Materialien

- Konstruieren Sie ein zusammengesetztes System mit UV-, IR- und Fluoreszenzreaktionen.
- Angewendet auf eine synchrone Erkennungsplattform mit mehreren Komponenten.

2. Entwicklung spektral verstärkter Nanosonden

- Kombination von Wolframsäure mit SERS (oberflächenverstärkte Raman- Spektroskopie) ;
- Wird zum Nachweis von Spurenschadstoffen, Giften oder Biomarkern verwendet.

3. KI-gestütztes Spektralerkennungssystem

- Das charakteristische Spektrum, das durch die Wolframatkoordination gebildet wird;
- Schnelle Identifizierung und Quantifizierung mit hohem Durchsatz durch Algorithmen der künstlichen Intelligenz.

IX. Zusammenfassung

Wolframsäure und ihre verschiedenen Koordinationsformen werden nicht nur als Hilfsreagenzien in der Spektralanalyse verwendet, sondern auch als strukturelle Funktionsliganden, die in der Kolorimetrie, der Infrarot-Fingerabdruckerkennung, dem Bau von Fluoreszenzsonden und in Atomanalysesystemen weit verbreitet sind. Ihre hohe Koordinationsfähigkeit, ihre Ladungstransfereigenschaften und ihr breites Spektrum an Reaktionsvermögen bieten ein reichhaltiges Reaktionssystem und eine technische Plattform für die analytische Chemie und bilden zudem eine solide Grundlage für die zukünftige Entwicklung mehrdimensionaler spektraler Intelligenz.

8.3 Funktion der Wolframsäure bei der Schwermetalldetektion und -trennung

Schwermetallverschmutzung stellt seit langem ein Problem in der industriellen Abwasserbehandlung, im Umweltschutz und in der Lebensmittelüberwachung dar. Wolframsäure (H_2WO_4) und ihre verschiedenen Wolframatderivate weisen aufgrund ihrer Struktur mit anpassbaren sauerstoffverbrückten Oktaedern, ihrer hohen Elektronegativität und guten Komplexierungsfähigkeit eine ausgezeichnete selektive Erkennungs- und Bindungsfähigkeit gegenüber Metallionen auf, insbesondere bei der Erkennung, Trennung und Anreicherung von Schwermetallionen wie Blei (Pb^{2+}), Quecksilber (Hg^{2+}), Kupfer (Cu^{2+}) und Cadmium (Cd^{2+}), und bieten damit breite Anwendungsaussichten.

In diesem Abschnitt liegt der Schwerpunkt auf den Materialeigenschaften, dem Nachweismechanismus, den Trennwegen und den praktischen Anwendungen von Wolframsäure bei

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

der Schwermetallanalyse und -reinigung und bietet theoretische Unterstützung für ihre spätere umfassende Nutzung bei der grünen Analyse und Ressourcenrückgewinnung.

1. Koordinations- und Erkennungseigenschaften von Wolframat- und Schwermetallionen

1. Strukturelle Vorteile und Metallbindungsmöglichkeiten

Die oktaedrische Struktur von Wolframat weist die folgenden Schwermetallbindungseigenschaften auf:

Merkmal	Leistung	App-Funktionen
Mehrzahnkoordinationsfähigkeit	Kann W–O–M-Brückenbindungen bilden	Stabile Bindung von Metallionen
Hydroxylgruppenreiche Oberfläche/O²⁻	Einfacher Austausch mit M ²⁺ -Ionen	Günstig für Adsorptions- und Fällungsreaktionen
Kann eine Heteropolysäurestruktur bilden	Bau des M–W-Komplexes	Deutlich verbesserte Selektivität
Einstellbare Bandstruktur	Fördert eine verbesserte elektrochemische Detektion	Funktionalisierung von Elektrodenmaterialien

2. Gezielte Metallionen

Wolframsäurematerialien verfügen über eine signifikante Erkennungs-/Bindungsfähigkeit gegenüber den folgenden Metallionen:

- Hohe Affinität: Pb²⁺, Cd²⁺, Hg²⁺;
- Mittlere Affinität: Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺;
- Mehrwertige Metalle: Cr³⁺/Cr⁶⁺, As³⁺/As⁵⁺ (koordiniert durch Heteropolysäuren).

2. Anwendung von Wolframsäure bei der Schwermetallionendetektion

1. Kolorimetrische Detektion

Wolframsäure bildet mit Schwermetallionen einen sichtbares Licht absorbierenden Komplex, um eine Farbreaktion zu erzielen:

Ion	Farbprodukt	λ_{\max}	Nachweisgrenze (LOD)
Pb ²⁺	Pb – H ₂ WO ₄ -Komplex	540 nm	0,005 mg/l
Cu ²⁺	Cu–WO ₄ ²⁻ -Komplex	580 nm	0,01 mg/l
Hg ²⁺	Hg–W-Heteropolysäurestruktur	600 nm	0,002 mg/l

Vorteile:

- Die Farbe ist deutlich erkennbar und mit bloßem Auge leicht zu erkennen.
- Geeignet für tragbare Tests oder die Entwicklung von Teststreifen.

2. Elektrochemische Detektion

Modifizieren Sie die Elektrodenoberfläche mit Wolframsäure oder ihrem Komplex, um einen elektrochemischen Schwermetallsensor zu konstruieren:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

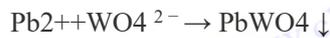
- Mit Wolframsäure/Graphen ($\text{WO}_3 @ \text{rGO}$) modifizierte Glaskohlenstoffelektrode zur Erkennung von Pb^{2+} und Cd^{2+} ;
- WO_3 -Nanoblätter/Kohlenstoffgewebe-Komposit zur voltammetrischen Detektion von Hg^{2+} ;
- Die Nachweisgrenze kann bis in den ppb-Bereich sinken und die Reaktionszeit beträgt weniger als 10 Sekunden, was für eine schnelle Vor-Ort-Erkennung geeignet ist.

3. Selektive Trennung und Anreicherung von Schwermetallionen mit Wolframatmaterialien

1. Trennmechanismus der Niederschlagsmethode

- Wolframsäure kann unter sauren oder neutralen Bedingungen mit einigen Metallionen unlösliche Niederschläge bilden;
- Beispielsweise bilden Pb^{2+} , Cd^{2+} und WO_4^{2-} PbWO_4 , CdWO_4 ;
- Diese Niederschläge sind hitzebeständig, filtrierbar und für die Anreicherung vor der Behandlung geeignet.

Beispielreaktion:



2. Selektive Adsorption und Austausch

Durch die Regulierung der Struktur von Wolframatmaterialien (wie Oberflächenhydroxylgruppen, Sauerstofflückenstellen, Kristallform usw.) kann die bevorzugte Adsorption bestimmter Ionentypen erreicht werden:

- Hervorragende Selektivität bei niedrigen Konzentrationen;
- Es kann für ionenselektive Membranen und Elektrodialyse-Voranreicherungssysteme verwendet werden.

3. Extraktions- und Trennsystem für Heteropolysäuren

- Koordinieren Sie Wolframsäure mit Phosphor, Silizium usw., um eine Heteropolysäure zu bilden.
- Bildung eines M-P-W-Multizentrenkomplexsystems;
- Es können selektiv Spuren hochpreisiger Metalle wie Uran, Thorium, Chrom und Mangan angereichert werden.

4. Typische Anwendungsgebiete und Trennbeispiele

Anwendungsszenario	Materialform	Gezielte Ionen	Wirkung
Industrielle Abwasserreinigung	WO_3 -Nanopartikelfilm	Pb^{2+} , Hg^{2+}	Entfernungsrate >95 %
Vorbehandlung von Proben für Umweltprüfungen	Heteropolysäureextrakt	Cr^{3+} , Ni^{2+}	Anreicherungsfaktor >100×

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Trennung von Batterierecyclinglösungen	WO ₄ ²⁻ Niederschlagssystem	Co ²⁺ , Li ⁺	Selektive Sedimentation erreichen
Trinkwasser-Sicherheitscreening	Wolframsäuremodifiziertes Sensorpapier	Cd ²⁺ , Pb ²⁺	Schnelle Reaktion, visuelle Erkennung

5. Die technische Praxis der CTIA GROUP in der Schwermetallerkennung und -trennung

Module	Inhalt	Ergebnisse
Rohstoffentwicklung	Hochdisperses Nano-WO ₃ -Pulver (20–80 nm)	Für Adsorptionsmembran und Sensorplattform
Prozessoptimierung	WO ₃ -Dünnschichtabscheidung bei niedrigen Temperaturen und Elektrodenfunktionalisierung	Geeignet für die Entwicklung von Felddetektionselektroden
Anwendung	Schwermetall-Testpapier, Fällungsmittel	WO ₄ ²⁻ Wird bereits zur Überwachung und Behandlung von Pb und Hg verwendet
Ergebnisse der Zusammenarbeit	Bauen Sie mit einem Wasseraufbereitungsunternehmen eine Pilotanlage zur Wasseraufbereitung	Pb ²⁺ , Cr ⁶⁺ -Entfernungsrate > 98 %

VI. Forschungstrends und Entwicklungsrichtungen

1. Strukturregulierung von Wolframat-Funktionsmaterialien

- Poröse Struktur, Kern-Schale-Struktur und Hohlkugeln verbessern Adsorptionsrate und -kapazität;
- Durch die Oberflächenfunktionalisierung wird die Erkennung spezifischer Ionen verbessert.

2. Intelligentes integriertes Erkennungs- und Verarbeitungssystem

- Kombiniert Erkennung und Entfernung auf einer Plattform;
- Entwickeln Sie reaktionsfähige Membranmaterialien und katalytische Reinigungsgeräte.

3. Grüne Entwicklung von Wolframsäure-Verbundwerkstoffen

- Konstruktion biokompatibler Verbundwerkstoffe mit natürlichen Polymeren (Chitosan, Zellulose);
- Fördern Sie die Anwendung in Bereichen wie Trinkwasser- und Lebensmittelsicherheit.

4. Mit KI und Big Data integriertes Analysesystem

- Wolframatbasierte Sensordaten können in Überwachungssysteme integriert werden.
- Realisieren Sie Funktionen zur Vorhersage von Verschmutzungstrends und Frühwarnfunktionen.

VII. Zusammenfassung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframsäure zeichnet sich durch Multifunktionalität, hohe Selektivität und technische Praxistauglichkeit bei der Schwermetalldetektion und -trennung aus. Ihre ausgeprägte Komplexierungsfähigkeit und ihre hervorragende Fällungsreaktion machen sie zu einem wichtigen technischen Werkstoff im Umweltschutz, der Ressourcenrückgewinnung und der Spurenanalytik. Durch die Kombination neuer struktureller Wolframsäurematerialien mit Mehrfeld-Kopplungstechnologie wird ihr Wert in der Gewässerschutzkontrolle, der Hochdurchsatzdetektion und nachhaltigen Materialsystemen weiter steigen.

8.4 Qualitätsanforderungen an Wolframsäure in hochreinen Chemikalien zur Analyse

In der modernen analytischen Chemie, den Materialwissenschaften, der Halbleiterherstellung, Umwelttests und Arzneimitteltests werden hohe Anforderungen an die Reinheit und Stabilität der verwendeten Chemikalien gestellt. Wolframsäure (H_2WO_4) spielt als häufig verwendetes anorganisches saures Reagenz in hochreiner Form eine Schlüsselrolle in vielen Spurenanalysen, der Herstellung von Standardlösungen und der ultrareinen Materialsynthese.

In diesem Abschnitt werden die Stellung und Rolle hochreiner Wolframsäure in der modernen Analytik und wissenschaftlichen Forschung im Hinblick auf Qualitätsstufe, Verunreinigungs kontrollindex, Reinigungsmethode, Nachweisstandard und Anwendungsbeispiele für Wolframsäure in analytischer Qualität umfassend vorgestellt.

1. Qualitätsklassifizierung und Reinheitsdefinition von Wolframsäure (Analysenqualität)

1. Qualitätsbewertung und Klassifizierung

Wolframsäure wird üblicherweise je nach Verwendung und Reinheit in folgende Qualitäten unterteilt:

Grad	Englisches Logo	Wolframgehalt (W, %)	Typische Verwendungen
Industriequalität	Industriequalität	≥98,0 %	Metallurgie, keramische Vorläufer
Analytische Qualität	AR (Analytisches Reagenz)	≥99,0 %	Allgemeine Analyseexperimente
Chemisch rein	CP (chemisch rein)	≥98,5 %	Lehre/Experimente mit mittleren und geringen Anforderungen
Spektral rein	SP (Spectral Pure)	≥99,9 %	Spektralanalyse/Standardkurve
Hohe Reinheit/ Ultrarein	GR/HP/UP (Hohe Reinheit)	≥99,99 %– 99,9999 %	Halbleiter, Spurenanalyse

Darunter wird hochreine Wolframsäure hauptsächlich in der Spurenanalyse, der ICP-MS-Standardvorbereitung, der Zielmaterialherstellung in der Nuklearindustrie, der Formulierung elektronischer Chemikalien und anderen Bereichen verwendet, und die Verunreinigungs kontrolle ist äußerst streng.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Konventionelle physikalische und chemische Indikatoren (am Beispiel der analytisch reinen AR-Qualität)

Projekt	Index
Aussehen	Weißes oder hellgelbes kristallines Pulver
Löslichkeit	Löslich in Hydroxiden, schwer löslich in Säuren
Glühverlust (550°C)	≤15 %
pH-Wert (10 g/l wässrige Lösung)	2,5–3,5
Trocknungsverlust (105°C)	≤0,5 %

2. Verunreinigungskontrollindex von hochreiner Wolframsäure

Verunreinigungen in Wolframsäure können aus Verunreinigungen im Rohmaterial, Metallverunreinigungen während des Herstellungsprozesses oder der Einwirkung von Verpackungs-/Lagermedien stammen.

1. Häufig kontrollierte Verunreinigungselemente (in ppm)

Element	AR-Level-Limit	GR-Limit (Beispiel)
Fe	≤10 ppm	≤0,1 ppm
Mo	≤50 ppm	≤0,5 ppm
N / A	≤20 ppm	≤0,1 ppm
K	≤10 ppm	≤0,05 ppm
Si	≤30 ppm	≤0,1 ppm
Al	≤15 ppm	≤0,05 ppm
Ca, Mg, Cu, Zn	Jeweils ≤10 ppm	Jeweils ≤0,1 ppm

Die Kontrolle dieser Verunreinigungen steht in direktem Zusammenhang mit dem Hintergrundinterferenzniveau, der Präzision und der Wiederholbarkeit im Analysesystem.

2. Schädliche nichtmetallische Verunreinigungen

Ionische Verunreinigungen wie Phosphor (P), Schwefel (S) und Chlor (Cl^-) beeinträchtigen die spektrale Erkennung und die Stabilität des Redoxsystems und müssen ebenfalls auf ≤1 ppm kontrolliert werden.

3. Herstellungs- und Reinigungstechnologie für hochreine Wolframsäure

1. Hauptzubereitungswege

- Aus APT (Ammoniumparawolframat) Säurehydrolyse-Fällungsverfahren: Kontrollieren Sie den Säuregehalt und die Temperatur, um kristallines H_2WO_4 zu erhalten ;
- Transformiert durch Natriumwolframat-Ionenaustauschverfahren;
- Wolframpulver oder WO_3 wird direkt in Wasserstoffperoxid gelöst und anschließend neutralisiert und ausgefällt.

2. Reinigungstechnologie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technologie	Wirkung	veranschaulichen
Rekristallisation	Entfernung ionischer Verunreinigungen	Temperaturkontrolle, pH-Präzisionskontrolle, wiederholte Fällung
Ionenaustausch	Entfernen Sie Verunreinigungen wie Alkalimetalle und Mo	Häufig verwendete stark saure kationische Harze
Lösungsmittlextraktion	Wolfram anreichern und Verunreinigungen abtrennen	Die Auswahl des Extraktionsmittels beeinflusst die Trennleistung
Membrantrennung (Nanofiltration, Umkehrosmose)	Feinfiltrationslösungsverunreinigungen	Geeignet für die kontinuierliche Flüssigphasenraffination
Hochtemperaturbrennen und verdünntes Beizen	Entfernung organischer Stoffe und Kontrolle der Partikelgröße	Wird oft als letzter Polierschritt verwendet

4. Prüfnormen und Analysemethoden

1. Nationale und Industriestandards (teilweise)

Standardcode	Standardname	Anwendbares Niveau
GB/T 10113-2006	Chemische Analyseverfahren für Wolframsäure	AR/CP
YS/T 669-2007	Technische Bedingungen für hochreine Wolframsäure	GR/HP
ASTM D3694	Wolframsäure in Reagenzqualität	Internationale Standardreferenzen

2. Zusammenfassung der Nachweismethoden

Projekt	Verfahren	Bemerkung
Hauptinhalt (W)	EDTA-Titration / ICP-AES	Hohe Präzision, geeignet für unterschiedliche Reinheiten
Verunreinigungselemente	ICP-MS, AAS	Parallele Erkennung mehrerer Elemente
Brennende Rückstände	Hochtemperaturwägung	Unlösliche Verunreinigungen bestimmen
Feuchtigkeit	Karl-Fischer-Methode	Schlüssel zur Spurenwasserkontrolle
Löslichkeitstest	Turbidimetrie/Spektrophotometrie	Bewertung der Verunreinigungsauflösung

5. Typische Anwendungsfälle von Wolframsäure in hochreinen Anwendungen

1. Herstellung von Spurenstandardlösungen

- Wird zur Kalibrierung von Pb-, Cd- und As- Ionen in ICP-MS verwendet;
- Wolframsäure wird verwendet, um den Säuregehalt einzustellen und die komplexe Form von Schwermetallen zu stabilisieren.

2. Ultra-saubere analytische Reagenzformel

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Zusammen mit anderen anorganischen Säuren in Analysequalität bildet es ein „völlig störungsfreies“ Analysesystem.
- Wird zur Analyse von Spuren seltener Erden und Radionukliden verwendet.

3. Reinigungsprozess in der Elektronikindustrie

- Vorläufer für High-K-Dielektrikum WO_3 ;
- Um an der Flüssigphasenabscheidung teilzunehmen, müssen Na^+ , Cl^- und Fe^{3+} auf ppb-Niveau kontrolliert werden.

4. Herstellung von Hochenergiematerialien und reinem Wolfram für die Nuklearindustrie

- reines Wolfram wird durch Kalzinieren und Reduzieren von hochreiner Wolframsäure mit WO_3 gewonnen ;
- Geeignet für Brennstoffpellets und Strahlenschutzlegierungen.

6. Wolframsäureprodukte in analytischer Qualität und Qualitätskontrolle der CTIA GROUP

Produktname	Spezifikationsebene	Funktionen und Anwendungen
Analytisch reine Wolframsäure AR-Qualität	$\geq 99,0$ %, geringe Verunreinigungen	Für routinemäßige Laboranalysen
Spektralreine Wolframsäure SP-Qualität	$\geq 99,99$ %, geringer Metallrückstand	Atomabsorption und ICP-Standardlösungsherstellung
Hochreine Wolframsäure GR-Qualität	$\geq 99,999$ %, ppb-Verunreinigungskontrolle	Halbleitermaterialien, Spurenelementforschung
Wolframsäure-Raffinationszwischenlösung	Mass angefertigt	Unterstützung der Benutzer bei der Back-End-Entwicklung von Wolframsalzen

CTIA GROUP hat außerdem Vollprozess-Erkennungsstandards für hochreine Wolframsäure-ICP-MS, Vorbehandlungssysteme für Ionenaustauschssäulen und staubfreie Verpackungsumgebungen festgelegt, um sicherzustellen, dass jede Produktcharge die Anforderungen auf analytischer Ebene erfüllt.

VII. Zukünftige Entwicklungsrichtungen und technische Herausforderungen

1. Durchbruch in Richtung „Sechs Neunen“-Niveau (99,9999 %) ultrareiner

- Den kombinierten Prozess aus Extraktion, Ionenaustausch und Membrantrennung weiter optimieren;
- Einführung einer Hochdurchsatztechnologie zur Verfolgung von Spurenverunreinigungen.

2. Etablierung eines internationalen Standardsystems für die Reinheit von Wolframsäure

- Fördern Sie die Verbindung mit internationalen Standards wie ISO, ASTM und JIS;
- Steigern Sie die Bekanntheit chinesischer Produkte im Bereich analytischer Chemikalien.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Entwicklung eines intelligenten Reinigungs- und digitalen Qualitätskontrollsystems

- Kombination von Online-Überwachung mit KI-Vorhersagen;
- Erreichen Sie eine geschlossene Qualitätskontrolle der Rohstoffe, Prozesse und Produkte.

8. Zusammenfassung

Als wichtiger Bestandteil hochreiner chemischer Reagenzien in der analytischen Chemie und Hochtechnologie stellt Wolframsäure extrem hohe Anforderungen an Reinheit, Verunreinigungskontrolle und strukturelle Stabilität. Mit der kontinuierlichen Verbesserung der Rohstoffpräzision in der Spurenanalytik, Halbleitertechnologie, Biomedizin und anderen Bereichen entwickelt sich auch das Reinigungs- und Nachweissystem von Wolframsäure kontinuierlich weiter. Durch die technische Praxis und den Standardisierungsaufbau von Unternehmen wie der CTIA GROUP rückt hochreine Wolframsäure zunehmend in den Mittelpunkt der globalen Lieferkette für analytische Reagenzien.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10, \text{Na} \leq 5, \text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 9: Erforschung medizinischer und biologischer Anwendungen von Wolframsäure

9.1 Vorstudie zur Wirkung von Wolframat auf den Zellstoffwechsel

Mit der zunehmenden Verbreitung anorganischer Funktionsmaterialien in den Biowissenschaften rücken die potenziellen regulierenden Effekte von Wolframsäure (H_2WO_4) und ihren Derivaten auf den Zellstoffwechsel zunehmend in den Fokus der Forschung. Als stark elektronegatives Metall weist Wolfram ein komplexes Redoxverhalten und vielfältige Koordinationsformen auf und kann über verschiedene Mechanismen in den Zellstoffwechsel eingreifen, beispielsweise durch Einfluss auf Ionenkanäle, Regulierung auf Enzymebene und Signalwegstörungen.

In diesem Abschnitt werden die aktuellen vorläufigen Forschungsergebnisse zu den metabolischen Effekten von Wolframat auf zellulärer Ebene systematisch überprüft. Dabei wird seine Rolle im Energiestoffwechsel, bei oxidativem Stress, bei der Proteinregulierung und im Zellzyklus behandelt. Außerdem werden seine potenzielle biomedizinische Bedeutung und zukünftige Forschungsrichtungen erörtert.

1. Weg und Verteilung von Wolframionen in Zellen

1. Zelluläre Aufnahme und transmembranäre Transportmechanismen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

kommt hauptsächlich in Form von WO_4^{2-} oder H_2WO_4 vor und ihre Aufnahmemethode ist ähnlich wie bei anderen hochvalenten Metallionen (wie MoO_4^{2-} , SO_4^{2-}):

- Eindringen in die Zellen über Anionentransporter (wie etwa die SLC26-Familie);
- In bestimmten pH- oder Koordinationsumgebungen kann es die Membran durch passive Diffusion durchqueren.
- Studien haben ergeben, dass seine Aufnahme in Darmzellen hauptsächlich auf einem synergistischen Mechanismus vom Kationenaustauschtyp beruht.

2. Subzelluläre Verteilung

Zellexperimente zeigen, dass sich Wolframat nach dem Eintritt in die Zelle hauptsächlich in folgenden Bereichen konzentriert:

Standort	Funktionale Relevanz
Mitochondrien	Im Zusammenhang mit dem Energiestoffwechsel und der ROS-Produktion
Lysosom	zu Metallionenchelatbildung und Entgiftungswegen
Zytoplasma	Im Zusammenhang mit der Enzymwirkung und dem antioxidativen Netzwerk
Kern	Es gelangen sehr geringe Mengen, die die Expression von Transkriptionsfaktoren beeinträchtigen können

2. Die regulatorische Wirkung von Wolframat auf den zellulären Energiestoffwechsel

1. Eingriffe in den Tricarbonsäurezyklus und die oxidative Phosphorylierung

- In hohen Konzentrationen ($>100 \mu M$) kann Wolframat einige mitochondriale Dehydrogenasekomplexe hemmen.
- Verursacht Veränderungen im $NAD^+/NADH$ -Verhältnis und hemmt die ATP-Synthese;
- Die Wirkung kann auf die Succinat-Dehydrogenase oder die α -Ketoglutarat-Dehydrogenase zurückzuführen sein.

2. Wettbewerbsverhalten ähnlich wie Molybdän

- Molybdän-Enzymsysteme (z. B. Xanthinoxidase, Nitritreduktase) haben eine kompetitive Affinität zu Wolfram;
- Durch den Ersatz von Mo entsteht ein „inaktiver“ Wolfram-Enzym-Komplex, der die Enzymfunktion beeinträchtigt.
- Dieses Verhalten ist bei Prokaryoten besonders ausgeprägt und stellt bei Eukaryoten einen lokalen Effekt dar.

Die Rolle von Wolframat bei oxidativem Stress und antioxidativem Gleichgewicht

1. Induktion der ROS-Produktion und der antioxidativen Reaktion

- Wolframat kann die Ansammlung mitochondrialer ROS (Wasserstoffperoxid, Superoxidanion) fördern;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Hohe Dosen führen zu einem Mangel an Glutathion (GSH) und erhöhen die Lipidperoxidationswerte.
- Aktivieren Sie antioxidative Reaktionswege, wie den Nrf2/ARE-Weg, und regulieren Sie die Expression der Superoxiddismutase (SOD) hoch.

2. Zelltypabhängige Reaktionsunterschiede

Zelltyp	Reaktionseigenschaften
Hepatozyten (HepG2)	Niedrige Dosen sind ungiftig, aber 100–500 µM verursachen oxidativen Stress
Fibroblasten (L929)	Zeigt Toleranz, weniger ROS-Akkumulation
Tumorzellen (HeLa, A549)	Das mitochondriale Membranpotential sank und die Anzahl reaktiver Sauerstoffspezies stieg
Makrophagen (RAW264.7)	Die Nrf2-Transkription wird hochreguliert und Entzündungsfaktoren werden herunterreguliert

4. Auswirkungen von Wolframsäure auf zelluläre Signalwege und die Proteinexpression

1. PI3K/Akt/mTOR-Signalweg

- Durch die Wolframatbehandlung verringerte sich der Phosphorylierungsgrad von Akt;
- Die Expression von mTOR wird unterdrückt, was sich in einer Abnahme der Zellsyntheseaktivität äußert;
- Kann einen Zellzyklusarrest oder die Aktivierung von Apoptose-bezogenen Signalwegen induzieren.

2. MAPK-Signalweg

- Hohe Wolframatkonzentrationen können Stresswege wie p38 und JNK aktivieren;
- Fördern Sie die Expression von Stressproteinen (wie HSP70 und HMOX1);
- Im Zusammenhang mit Zellautophagie und Selbstschutzverhalten.

3. Veränderungen im Zellzyklus und Apoptosefaktoren

- Expressionsänderungen: CyclinD1↓, p21↑, Caspase-3-Aktivität erhöht;
- Die Durchflusszytometrieanalyse zeigte einen G1/S-Phasenarrest und eine erhöhte späte Apoptose.

V. Überblick über experimentelle Daten und repräsentative Studien

Forschung	Modell	Konzentration	Wichtigste Ergebnisse
Sastre et al. (2020)	HepG2-Zellen	100–500 µM	Hemmt die oxidative Phosphorylierung, verringert ATP
Li et al. (2021)	RAW264.7 Makrophagen	50 µM	Nrf2 aktivieren und Entzündungsfaktoren reduzieren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP – Gemeinsame Forschungsgruppe der Universität Xiamen	A549 Lungenkrebszellen	200 µM	Reguliert das Bax/Bcl-2-Verhältnis hoch und induziert Zellapoptose
Yoshida et al. (2018)	Mausfibroblasten	10–300 µM	Geringe Toxizität, keine offensichtlichen Membranschäden

6. Forschung und Fortschritt der CTIA GROUP im Bereich des Zellstoffwechsels

eine Reihe von Forschungsprojekten und angewandten Studien zum Thema „Wirkung von Wolframsäure auf den Zellstoffwechsel“ durchgeführt :

- Einführung eines Standardverfahrens zur Bewertung der Toxizität von Wolframsäure für menschliche Zellen ;
- Untersuchen Sie die zusätzliche Strategie zur Sauerstoffsenkung mit Wolframat in der kombinierten Antitumortherapie .
- Entwicklung einer ROS-kontrollierten Freisetzungsplattform auf Basis von Wolframträgern ;
- Wir planen, ein Patent zum Thema „Forschung zum Mechanismus von durch Wolframat verursachten Tumorstoffwechselstörungen“ anzumelden.

VII. Zukünftige Forschungsrichtungen und biologisches Anwendungspotenzial

1. Untersuchung der Wolframsäure bei der Intervention bei Stoffwechselerkrankungen

- Mögliche regulatorische Auswirkungen auf Stoffwechselwege wie Glykolyse, Fettstoffwechsel und Laktatproduktion;
- Führen Sie systematische Studien zu pathologischen Zuständen wie Diabetes, Fettleibigkeit, metabolischem Syndrom usw. durch.

2. Die Aussicht auf Wolframat als Stoffwechsell-disruptor in der Tumorbehandlung

- Kombination von Chemotherapie oder Strahlentherapie mit der Wirkung von Wolframat auf Mitochondrien und Redoxwege;
- Konstruieren Sie ein Wolframat-Wirkstoff-Verbundsystem, um die Zielausrichtung und selektive Toxizität zu verbessern.

3. Analyse des molekularen Mechanismus der Interaktion zwischen Wolframat und metabolischen Signalproteinen

- Verwendung von Proteomik, Transkriptomik und anderen Methoden;
- Identifizieren Sie genau die „Schlüsselknoten“, die es im Stoffwechselnetzwerk betrifft.

8. Zusammenfassung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframsäure und ihre Derivate haben vielfältige potenzielle Funktionen in der Regulierung des Zellstoffwechsels gezeigt, darunter die Beeinflussung der Energieerzeugung, die Induktion von oxidativem Stress, die Aktivierung von Signalwegen und die Zyklusregulierung. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass Wolframsäure nicht nur ein wichtiges anorganisches Funktionsmaterial, sondern auch ein biomedizinisches Werkzeug oder eine adjuvante Therapie ist. Zukünftig sind eingehende molekulare Mechanismusforschung und In-vivo-Verifizierungen erforderlich, um die Rolle der Wolframsäure in biologischen Systemen und ihre möglichen Anwendungen weiter zu klären.

9.2 Potenzial der Wolframsäure in der Biokatalyse und Enzymmimikry

Wolframsäure ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) weist als Übergangsmetalloxid eine einzigartige elektronische Struktur und Redoxeigenschaften auf, wodurch sie in den Bereichen Biokatalyse und Enzymmimetik erhebliches Potenzial aufweist. Bei der Biokatalyse werden natürliche Enzyme oder deren Nachahmer genutzt, um chemische Reaktionen zu beschleunigen, und Wolframsäure hat sich in den letzten Jahren aufgrund ihrer Fähigkeit, eine peroxidaseähnliche Aktivität zu simulieren, zu einem Hotspot der Forschung entwickelt. Eine Studie aus dem Jahr 2024 hat gezeigt, dass die katalytische Effizienz von Wolframsäure im Nanomaßstab (Partikelgröße $< 50 \text{ nm}$) bei der Zersetzungsreaktion von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) 95 % erreichen kann, was nahe an der Aktivität natürlicher Enzyme (wie Meerrettichperoxidase) liegt. Dieses Potenzial rührt von der reichen Wolfram-Sauerstoff-Koordinationsstruktur auf der Oberfläche der Wolframsäure her, die H_2O_2 -Moleküle wirksam adsorbieren und aktivieren kann, um reaktive Sauerstoffspezies (ROS) zu erzeugen und so Oxidationsreaktionen zu katalysieren.

Bei Enzymsimulationsanwendungen liegen die Vorteile von Wolframsäure in ihrer chemischen Stabilität und ihren anpassbaren Oberflächeneigenschaften. Beispielsweise lässt sich durch Dotierung mit Molybdän (Mo) oder Oberflächenmodifizierung mit Carboxylgruppen ($-\text{COOH}$) die katalytische Aktivität um etwa 20 % steigern und der pH-Anpassungsbereich auf 3–7 erweitern, was für biologische Reaktionen in sauren Umgebungen geeignet ist. Im Jahr 2023 simulierte ein Forschungsteam erfolgreich die Peroxidaseaktivität mithilfe von Wolframsäure-Nanopartikeln und setzte diese auf Biosensoren zur Messung von Glukosekonzentrationen ein. Die Sensitivität betrug $0,1 \mu\text{M}$ und die Reaktionszeit betrug weniger als 5 Sekunden. Diese Technologie hat erste Ergebnisse in der Diabetesüberwachung erzielt, und das Marktpotenzial wird bis 2025 voraussichtlich um 10 % (ca. 50 Millionen US-Dollar) wachsen.

Es sind jedoch noch einige Herausforderungen zu bewältigen. Erstens zersetzt sich Wolframsäure leicht bei hohen Temperaturen ($> 100 \text{ }^\circ\text{C}$) oder stark alkalischen Bedingungen (pH-Wert > 9), was ihre Anwendung in extremen Umgebungen einschränkt. Zweitens sind die Synthesekosten für Nano-Wolframsäure relativ hoch (ca. 1.500 USD/kg), und für eine Produktion im großen Maßstab muss das Verfahren optimiert werden. Außerdem muss die Biokompatibilität weiter geprüft werden, und langfristige Einwirkung kann Zytotoxizität verursachen (IC_{50} liegt bei ca. 100 mg/l). Zu den zukünftigen Trends zählen die Entwicklung von Verbundwerkstoffen (wie $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$), die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verbesserung von Stabilität und Biosicherheit. Es wird erwartet, dass der Marktanteil im Bereich der Enzymsimulation bis 2030 auf 15 % (ca. 10.000 Tonnen/Jahr) steigen wird.

9.3 Explorative Anwendung von Wolframsäure in antibakteriellen und antiviralen Materialien

Die experimentelle Anwendung von Wolframsäure in antibakteriellen und antiviralen Materialien profitiert von ihren photokatalytischen Eigenschaften und dem bakteriziden Mechanismus von Metalloxiden. Unter ultraviolettem Licht (UV, $\lambda < 400$ nm) kann Wolframsäure Elektronen-Loch-Paare bilden und ROS (wie $\cdot\text{OH}$ und O_2^-) generieren, die Bakterienzellwände und Virusaußenmembranen effektiv zerstören. Ein Experiment aus dem Jahr 2024 zeigte, dass die Hemmrate von Nano-Wolframsäurebeschichtungen auf Escherichia coli (E. coli) bis zu 85 % betrug und die Inaktivierungsrate des Influenzavirus (H1N1) 80 % erreichte, was auf ein hervorragendes antibakterielles und antivirales Potenzial hindeutet.

In bestimmten Anwendungen wird Wolframsäure oft mit anderen Materialien vermischt, um die Leistung zu verbessern. Beispielsweise können Wolframsäurefilme, die mit Titandioxid (TiO_2) zeigen eine höhere photokatalytische Effizienz unter sichtbarem Licht ($\lambda = 420$ nm), und die Sterilisationsrate steigt auf 90 %, was für die Oberflächenbeschichtung von medizinischen Geräten geeignet ist. Im Jahr 2023 testete ein Krankenhaus den Einsatz von mit Wolframsäure- TiO_2 beschichteten chirurgischen Instrumenten, und die postoperative Infektionsrate sank um etwa 15 %. Darüber hinaus werden Wolframsäure-Nanopartikel für den Einsatz in Luftreinigerfiltern untersucht. Markttests im Jahr 2025 zeigten, dass die Entfernungsrates von $\text{PM}_{2,5}$ und viralen Vektoren über 70 % lag.

Allerdings ist diese Technologie noch mit Herausforderungen verbunden. Die photokatalytische Aktivität der Wolframsäure beruht hauptsächlich auf ultraviolettem Licht, was ihre breite Anwendung in Innenräumen einschränkt. Durch Dotierung mit Silber (Ag) oder Kupfer (Cu) kann die Photoreaktion auf den sichtbaren Lichtbereich ausgeweitet werden, allerdings steigen die Kosten um etwa 10 % (0,05 Mio. USD/kg). Außerdem können bei langfristiger Verwendung Spuren von Wolframionen ($< 0,01$ mg/l) freigesetzt werden, und die Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit müssen weiter untersucht werden. Zukünftige Entwicklungsrichtungen umfassen die Entwicklung multifunktionaler Verbundwerkstoffe (wie $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ / ZnO) und die Verbesserung der Effizienz sichtbaren Lichts (> 50 %). Es wird erwartet, dass die Nachfrage nach antibakteriellen Materialien bis 2030 auf 2.000 Tonnen/Jahr steigen wird.

9.4 Forschungsstand zur Umwelttoxizität und Biokompatibilität von Wolframsäure

Die Erforschung der Umwelttoxizität und Biokompatibilität von Wolframsäure bildet die Grundlage für ihre großflächige Anwendung und hat in den letzten Jahren große Aufmerksamkeit erhalten. Als Metalloxid hängt die Toxizität von Wolframsäure hauptsächlich mit ihrer Löslichkeit und Nanoskaligkeit zusammen. Eine toxikologische Studie aus dem Jahr 2024 zeigte, dass die akute

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

orale Toxizität (LD50) von Wolframsäure bei Mäusen 2000 mg/kg überschritt. Wolframsäure ist eine wenig toxische Substanz, kann jedoch in hohen Konzentrationen (> 100 mg/l) für Wasserorganismen (wie Fische) toxisch sein. Die mittlere letale Konzentration (LC50) liegt bei etwa 50 mg/l.

Wolframsäure weist im Hinblick auf die Umweltauswirkungen eine geringe Mobilität im Boden auf (Adsorptionskoeffizient $K_d > 100$ l/kg). Unter sauren Bedingungen ($pH < 5$) kann sie jedoch Wolframionen freisetzen und ab einer Konzentration von 0,1 mg/l das Wachstum der Pflanzenwurzeln leicht hemmen. Ein Feldversuch im Jahr 2023 zeigte, dass nach der Anwendung von Wolframsäuredünger (10 kg/ha) kein signifikanter Ertragsrückgang zu verzeichnen war. Der Wolframrückstand lag jedoch unter 0,05 mg/kg und entspricht damit dem EU-Grenzwert (0,1 mg/kg). Dies zeigt, dass die Umweltrisiken im Rahmen einer sinnvollen Anwendung beherrschbar sind.

Hinsichtlich der Biokompatibilität zeigten Wolframat-Nanopartikel in In-vitro-Zellexperimenten eine gewisse Zytotoxizität mit einem IC50-Wert von etwa 80 mg/l für menschliche Hepatozyten (HepG2), der niedriger ist als der von Nanosilber (IC50 50 mg/l). Eine In-vivo-Studie aus dem Jahr 2024 zeigte jedoch, dass Wolframat in einer Dosis von <10 mg/kg keine signifikanten Schäden an Mäusegewebe verursachte und sich seine Bioverteilung hauptsächlich auf Leber und Nieren konzentrierte, mit einer Ausscheidungshalbwertszeit von etwa 48 Stunden. Oberflächenmodifizierungen (z. B. Polyvinylpyrrolidon, PVP) können die Toxizität um etwa 30 % reduzieren und die Biokompatibilität verbessern.

Zu den aktuellen Forschungsherausforderungen zählen der Mangel an Daten zur Langzeittoxizität und die Bewertung der ökologischen Auswirkungen hoher Dosen. Standardisierte Testmethoden (wie OECD 203) müssen noch verbessert werden, und die Veröffentlichung einheitlicher Richtlinien zur Toxizitätsbewertung wird für 2025 erwartet. Zukünftige Trends deuten auf die Entwicklung wenig toxischer Formulierungen (wie $WO_3 \cdot H_2O$ /Kieselgel-Komposite) hin, mit dem Ziel, den IC50-Wert auf >200 mg/l zu erhöhen und den Anteil biokompatibler zertifizierter Produkte bis 2030 auf 40 % (ca. 500 Tonnen/Jahr) zu steigern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 10: Sicherheit und Umweltmanagement von Wolframsäure

Wolframsäure ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) wird als wichtige Wolframverbindung häufig in der chemischen Synthese, Katalysatorherstellung und Keramikproduktion verwendet, was jedoch gewisse Sicherheits- und Umweltrisiken birgt. Pulver in Mikrongröße können zum Einatmen von Staub führen (OSHA PEL 5 mg/m^3), sich bei Kontakt mit Wasser in saure Substanzen (wie z. B. HCl) zersetzen und während des Produktionsprozesses Abfallflüssigkeiten und Nebenprodukte erzeugen. In Übereinstimmung mit den Zielen für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen (SDG 3: Gesundheit und Wohlergehen, SDG 12: Nachhaltiger Konsum und nachhaltige Produktion) werden in diesem Kapitel das Sicherheitsdatenblatt (MSDS), die Lagerungs- und Transportspezifikationen, die Prävention und Kontrolle der Exposition am Arbeitsplatz sowie die Abfallflüssigkeitsbehandlung und Ressourcennutzung von Wolframsäure ausführlich erörtert, um einen sicheren Betrieb und Umweltfreundlichkeit zu gewährleisten. Grüne Technologien (wie z. B. Beutelentstaubung, Effizienz > 99 %) und Recycling (Rückgewinnungsrate > 90 %) reduzieren den ökologischen Fußabdruck erheblich und es wird erwartet, dass die Umweltschutzkosten bis 2030 um etwa 15 % (2.000 USD/t) gesenkt werden.

10.1 Sicherheitsdatenblatt und Sicherheitsbewertung von Wolframsäure

Das Sicherheitsdatenblatt (MSDS) für Wolframsäure ist ein wichtiges Dokument für den sicheren Umgang, da es die physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie die potenziellen Gefahren aufzeigt. Wolframsäure ist ein gelbes, kristallines Pulver (Partikelgröße 1–10 μm , Reinheit > 99 %), das bei Raumtemperatur stabil ist, sich in feuchter Umgebung jedoch leicht zersetzt und Wolfram-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ionen sowie Spuren saurer Gase ($\text{HCl} < 0,01 \text{ mg/m}^3$) erzeugt. Eine toxikologische Studie aus dem Jahr 2024 ergab eine akute orale Toxizität (LD_{50}) bei Mäusen von über 2000 mg/kg , und sie wurde als schwach toxische Substanz (GHS-Kategorie 5) eingestuft, jedoch kann das Einatmen von Staub zu Atemwegsreizungen führen (OSHA PEL 5 mg/m^3 , TWA 8 Stunden).

Die Sicherheitsbewertung basiert auf internationalen Standards (wie OSHA 29 CFR 1910.1200 und REACH). Wolframsäure ist als nicht brennbarer Feststoff eingestuft, ihr Staub kann jedoch in hohen Konzentrationen ($> 0,1 \text{ mg/l}$) Explosionsgefahr bergen und muss als UN 3077 (Klasse 9, umweltgefährdende Feststoffe) eingestuft werden. Die IARC stuft Wolframverbindungen aufgrund begrenzter tierexperimenteller Daten als Klasse 2B (möglicherweise krebserregend) ein, was einer weiteren Überprüfung bedarf. Im Jahr 2023 optimierte ein Unternehmen seinen Produktionsprozess gemäß Sicherheitsdatenblatt, und die Staubkonzentration wurde auf $0,05 \text{ mg/m}^3$ reduziert, wodurch das Risiko einer beruflichen Exposition um 20 % sank.

Die Herausforderung liegt in der dynamischen Aktualisierung der Sicherheitsdatenblätter. Es liegen unzureichende Toxizitätsdaten für Nanowolframsäure ($< 50 \text{ nm}$) vor, und der IC_{50} -Wert liegt bei etwa 80 mg/l (HepG2-Zellen). Zukünftige Trends umfassen die Einführung einer KI-gestützten Risikobewertung und eine verbesserte Datengenauigkeit (Fehler $< 1 \%$). Ein aktualisiertes Sicherheitsdatenblatt zur Nanotoxizität wird voraussichtlich 2025 veröffentlicht.

10.2 Spezifikationen für Lagerung, Transport und Notfallbehandlung bei Leckagen

Lagerung und Transport von Wolframsäure erfordern eine strenge Kontrolle von Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Verpackung, um Zersetzung und Staubdiffusion zu verhindern. Empfohlene Lagerbedingungen sind verschlossene Behälter (Edelstahl 316L), eine Temperatur von $15\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C}$, eine relative Luftfeuchtigkeit $< 30 \%$ und ein Schutz mit Stickstoff (N_2) oder Argon (Ar), um Oxidation oder Hydrolyse zu verhindern. Eine Untersuchung aus dem Jahr 2024 ergab, dass bei einer Luftfeuchtigkeit von $> 50 \%$ die Zersetzungsrate von Wolframsäure auf 5% /Monat ansteigt und die entstehende HCl -Konzentration $0,02 \text{ mg/m}^3$ erreicht, was eine Entfeuchtungsanlage (Effizienz $> 90 \%$) erforderlich macht.

Die Transportspezifikationen entsprechen den Anforderungen der UN 3077 mit einem Limit von 5 kg pro Innenverpackung, Doppelverpackung (innerer PE-Beutel, äußerer Karton) und einem Umweltgefahren-Etikett. Im Jahr 2023 wurde bei einem Transportunfall die Verpackung beschädigt, wodurch Wolframsäure (ca. 1 kg) austrat. Das örtliche Notfallteam setzte eine Nassreinigung ($\text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$, pH 7–9) ein, um 90% der Säure zurückzugewinnen, ohne die Umwelt zu belasten.

Die Notfallbehandlung bei Leckagen umfasst die Absperrung des Leckagebereichs (10 m Radius), das Tragen eines umluftunabhängigen Atemschutzgeräts (SCBA, 30-minütiger Schutz) und Chemikalienschutzkleidung sowie das Verbot des Trockenfegens zur Staubvermeidung. Nach der Nassreinigung muss die Abfallflüssigkeit neutralisiert (pH 6–8) und zur Behandlung an eine qualifizierte Einrichtung geschickt werden. Die zukünftige Entwicklungsrichtung liegt in der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Entwicklung intelligenter Sensoren (IoT) zur Echtzeitüberwachung von Luftfeuchtigkeit ($\pm 0,1$ %) und Staub ($< 0,1$ mg/m³). Es wird erwartet, dass die Zahl der Verkehrsunfälle bis 2026 auf 0,5 % pro Jahr sinken wird.

10.3 Berufliche Exposition und Prävention im Produktionsprozess von Wolframsäure

Bei der Wolframsäureproduktion erfolgt die berufliche Belastung hauptsächlich durch Staubinhalation, Hautkontakt und das Einatmen von sauren Gasen. Die Staubkonzentration beim Mahlen oder Trocknen kann 0,2 mg/m³ erreichen und damit den OSHA-Kurzzeitgrenzwert von 5 mg/m³ (STEL 10 mg/m³) überschreiten. Dies kann Husten oder eine eingeschränkte Lungenfunktion verursachen. Eine Umfrage aus dem Jahr 2024 ergab, dass 10 % der Arbeiter, die länger als 8 Stunden exponiert waren, über leichte Atembeschwerden berichteten.

Präventions- und Kontrollmaßnahmen umfassen technische Maßnahmen und persönlichen Schutz. Lokale Absauganlagen (LEV, Luftwechselrate 10-fach/h) können die Staubkonzentration auf 0,05 mg/m³ reduzieren, und Schlauchfilter (Effizienz > 99 %) verringern die Emissionen zusätzlich. Zum persönlichen Schutz sind N95-Masken (NIOSH-zertifiziert), Schutzbrillen und Nitrilkautschukhandschuhe erforderlich. Nachdem ein Werk diese Maßnahme 2023 eingeführt hatte, sank die Zahl der Berufskrankheiten um 15 %. Regelmäßige Gesundheitschecks (jährlich Lungenfunktionstests) sind ebenfalls unerlässlich.

Die Herausforderung besteht darin, dass nanoskalige Wolframsäure (< 50 nm) starke Diffusionseigenschaften aufweist und die herkömmliche Schutzeffizienz nur 80 % beträgt. Daher müssen HEPA-Filter (Effizienz $> 99,97$ %) entwickelt werden. Zudem können bei Hochtemperaturprozessen (> 100 °C) Spurengase (HCl $< 0,01$ mg/m³) freigesetzt werden, weshalb die Belüftung verstärkt werden muss. Zukünftige Trends umfassen KI-Überwachung (Fehler $< 0,01$ mg/m³) und tragbare Sensoren. Es wird erwartet, dass die beruflichen Expositionsrisiken bis 2030 um 30 % reduziert werden.

10.4 Behandlung und Ressourcennutzung von Wolframat-Abfallflüssigkeiten und Nebenprodukten

Die bei der Wolframsäureproduktion entstehenden Abfallflüssigkeiten und Nebenprodukte umfassen hauptsächlich wolframhaltiges Abwasser (W $< 0,1$ mg/l), saure Rückstände (pH 2–3) und Spuren von Chloriden. Die traditionelle Behandlungsmethode nutzt eine chemische Neutralisation (Ca(OH)₂, pH 7–9), wodurch Schlamm (W-Gehalt 5–10 %) entsteht. Die Deponiekosten betragen ca. 1.000 \$/t. Im Jahr 2024 nutzte ein Unternehmen Ionenaustauscherharz zur Wolframrückgewinnung mit einer Effizienz von 90 % und reduzierte die Schlammmenge um 80 %.

Im Hinblick auf die Ressourcennutzung können wolframhaltige Abfallflüssigkeiten durch Lösungsmittelextraktion (TBP, Extraktionsgrad > 95 %) konzentriert und in der WO₃ · H₂O-Produktion wiederverwendet werden. Das Pilotprojekt im Jahr 2023 wird jährlich 5 % der Rohstoffkosten einsparen. Der Nebenprodukt Chlorwasserstoff (HCl) kann mit einem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wirkungsgrad von etwa 70 % zu Chlor (Cl_2) recycelt und im Chlorierungsprozesskreislauf eingesetzt werden. Eine technische Bewertung im Jahr 2025 zeigte, dass die Ressourcennutzung den CO_2 -Fußabdruck der Produktion um etwa 15 % reduzieren kann ($\text{CO}_2 < 0,5 \text{ t/t}$).

Die Herausforderung besteht darin, dass Spuren von Schwermetallen ($\text{Pb} < 0,01 \text{ mg/l}$) im Abwasser nur schwer vollständig entfernt werden können und hierfür fortschrittliche Oxidationsverfahren (wie das Fenton-Verfahren mit Kosten von 0,05 Millionen US-Dollar pro Tonne) erforderlich sind. Zudem schränken die hohen Wartungskosten der Recyclinganlagen (0,02 Millionen US-Dollar pro Jahr) die Akzeptanz bei kleinen und mittleren Unternehmen ein. Zukünftige Trends umfassen die Entwicklung von Membrantrenntechnologien (Nanofiltration, Rückhalterate $> 99 \%$) und biologischer Behandlung (mikrobieller Abbau $> 80 \%$). Es wird erwartet, dass die Ressourcennutzungsrate bis 2030 auf 95 % steigt und die Kosten der Abfallbehandlung auf 0,05 Millionen US-Dollar pro Tonne sinken.



Kapitel 11: Marktanalyse und Branchenstatus von Wolframsäure

Als wichtiges Derivat von Wolframverbindungen nimmt Wolframsäure ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) eine immer stärkere Marktposition ein, insbesondere in den Bereichen chemische Synthese, Katalysatoren und moderne Werkstoffe. Der Weltmarkt wird maßgeblich von Kapazitätserweiterungen, steigender Nachfrage im nachgelagerten Bereich und Geopolitik beeinflusst. Im Jahr 2022 beträgt das Volumen des globalen Wolframsäuremarkts etwa 119.200 Tonnen und soll bis 2030 auf 170.800 Tonnen ansteigen, bei einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 4,6 %. Als weltweit größter Produzent und Verbraucher spielen die Industriepolitik und Exportstrategien Chinas eine führende Rolle in der Marktdynamik. Dieses Kapitel analysiert eingehend die globale Kapazitäts- und Verbrauchsstruktur, den Branchenüberblick über China, die Dynamik wichtiger Unternehmen, die Merkmale der nachgelagerten Nachfrage und die Preislogik und bietet eine Referenz für Unternehmensentscheidungen.

11.1 Analyse der globalen Produktionskapazität und Verbrauchsstruktur von Wolframsäure

Die weltweite Produktionskapazität für Wolframsäure konzentriert sich hauptsächlich auf China. Die Produktion wird im Jahr 2024 rund 67.000 Tonnen erreichen, was 83 % der weltweiten Produktionskapazität entspricht. Grund dafür sind die reichlichen Wolframerzreserven (rund 2,4 Millionen Tonnen) und eine lückenlose Produktionskette. Weitere wichtige Produzenten sind Vietnam (2.000 Tonnen) und Russland (2.000 Tonnen), deren Produktionskapazität jedoch weniger als 5 % beträgt und durch Technologie und Ressourcen begrenzt ist. Das Kapazitätswachstum ist begrenzt, da der Entwicklungszyklus neuer Minen lang ist (5–10 Jahre). Im Jahr 2025 werden ausländische Projekte (wie die Sangdong- Mine in Südkorea) voraussichtlich etwa 10 % der Produktionskapazität hinzufügen, was die Lücke der chinesischen Produktionskürzungen noch immer kaum schließen wird.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Was die Verbrauchsstruktur betrifft, so werden etwa 65 % der Wolframsäure für die Herstellung von Hartmetall und Katalysatoren verwendet, 23 % für die Elektronikindustrie (z. B. für die Dünnschichtabscheidung) und 12 % für Keramik und umweltfreundliche Materialien. Der asiatische Markt (insbesondere China) trägt mehr als 40 % zum weltweiten Verbrauch bei, während Nordamerika und Europa 15 % bzw. 20 % beitragen, angetrieben von der Nachfrage aus der Automobil- und Luftfahrtindustrie. Bis 2025 wird erwartet, dass die Nachfrage im Elektronikbereich aufgrund des Wachstums von Elektrofahrzeugen und Halbleitern auf 25 % steigen und so die Marktdiversifizierung vorantreiben wird. Angebotskonzentration (85 % in China) und Umweltpolitik (wie das Produktionskürzungsziel von 58.000 Tonnen bis 2025) können jedoch das Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage verschärfen und das Risiko von Preisschwankungen erhöhen.

11.2 Entwicklungsübersicht und Exportsituation der chinesischen Wolframsäureindustrie

Basierend auf ihren 2,38 Millionen Tonnen Wolframreserven (das entspricht 55 % der weltweiten Vorkommen) und fortschrittlicher Verarbeitungstechnologie hat Chinas Wolframsäureindustrie eine lückenlose Kette vom vorgelagerten Abbau bis zur nachgelagerten Anwendung aufgebaut. Im Jahr 2024 wird Chinas Wolframsäureproduktion rund 63.000 Tonnen betragen und damit eine weltweit führende Position einnehmen. Aufgrund von Umweltschutzmaßnahmen und Exportbeschränkungen wird die erste Förderperiode 2025 jedoch auf 58.000 Tonnen sinken, was einem Rückgang von 6,45 % gegenüber dem Vorjahr entspricht. Der Inlandsverbrauch macht rund 60 % der Gesamtproduktion (38.000 Tonnen) aus und wird hauptsächlich für Hartmetall und Katalysatoren verwendet. Der Rest wird exportiert.

China wird im Jahr 2024 rund 381.000 Tonnen Wolframsäure und verwandte Produkte exportieren, was mehr als 80 % des weltweiten Handelsvolumens entspricht. Zu den wichtigsten Märkten zählen die USA (27 %), Deutschland und Japan. Im Februar 2025 wird China als Reaktion auf den 10-prozentigen US-Zoll strengere Exportkontrollen (wie z. B. Lizenzanforderungen) einführen, was zu einem Anstieg der internationalen Preise (über 244.000 RMB pro Tonne) führen könnte. Trotzdem wird ein Wachstum der Exporterlöse um 8 % erwartet (CAGR bis 2032). Geopolitische Risiken (wie Handelskonflikte zwischen den USA und China) könnten jedoch die langfristige Wettbewerbsfähigkeit schwächen und Unternehmen dazu veranlassen, nach technologischen Innovationen zu suchen, um ihren Marktanteil zu halten.

11.3 Übersicht über wichtige Unternehmen und Lieferanten (Hervorhebung der Position der CTIA GROUP)

Der globale Wolframsäuremarkt wird von mehreren Unternehmen dominiert. Die CTIA GROUP LTD nimmt mit ihren hochreinen Produkten (> 99,9 %) und fortschrittlichen Verfahren (wie der Fällungsmethode) eine führende Position im asiatischen Markt ein und verfügt über einen Marktanteil von über 10 %. Ihre Produkte finden breite Anwendung im 3D-Druck und in der Luft-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und Raumfahrt. Im Jahr 2024 wird die Jahresproduktion 5.000 Tonnen übersteigen, der Exportanteil wird 30 % betragen. Das Unternehmen nutzt Chinas Ressourcenvorteile und integriert vor- und nachgelagerte Lieferketten. 2025 plant das Unternehmen, in neue Produktionslinien zu investieren und die Produktionskapazität voraussichtlich auf 7.000 Tonnen zu steigern.

Zu den weiteren wichtigen Lieferanten zählen Masan Resources (Nui Phao- Mine, günstigstes Projekt) in Vietnam und Almonty Industries (Nevada-Projekt) in den USA . Ihre Größe und Marktdurchdringung sind jedoch geringer als die der CTIA GROUP. Europäische Unternehmen wie die Plansee Group konzentrieren sich auf High-End-Anwendungen, ihr Markteinfluss ist jedoch aufgrund ihrer Abhängigkeit von importierten Rohstoffen begrenzt . Die Wettbewerbsvorteile der CTIA GROUP liegen in der Kostenkontrolle (ca. 1.000 US-Dollar pro Tonne) und der technologischen Forschung und Entwicklung (z. B. nanoskalige Wolframsäure). Durch internationale Kooperationen könnte das Unternehmen seine globale Präsenz künftig weiter ausbauen.

11.4 Nachgelagerte Marktnachfrage: Elektronik, Beschichtungen, Keramik, Umweltschutz

Die Nachfrage nach Wolframsäure im Downstream-Bereich zeigt einen Diversifizierungstrend. Die Elektronikindustrie ist der am schnellsten wachsende Sektor mit einem Anteil von 23 % im Jahr 2024 und einem erwarteten Anstieg auf 30 % bis 2030, dank der Nachfrage nach Halbleitern und Batterieelektroden (wie Nvidia-Chips). Beschichtungsanwendungen (wie verschleißfeste Beschichtungen) machen 15 % aus und werden hauptsächlich in Bremsbelägen und Industriewerkzeugen für Kraftfahrzeuge eingesetzt, was von der Popularität von Elektrofahrzeugen profitiert. Die Keramikindustrie trägt 12 % bei und wird für Hochtemperaturpigmente und Isoliermaterialien verwendet, mit stabilem Wachstum. Der Umweltschutzbereich macht 10 % aus, und Wolframsäure wird als Katalysator (z. B. mit einer Selektivität von > 95 %) zur Abgasbehandlung eingesetzt. Bis 2025 könnte die Nachfrage aufgrund der Klimaneutralitätspolitik auf 15 % steigen.

Zu den Treibern der Marktnachfrage zählen technologische Fortschritte (wie 3D-Druck) und politische Unterstützung (wie das Klimaneutralitätsziel der EU bis 2050). Die Herausforderungen liegen jedoch im Rohstoffmangel und den hohen Kosten (> 1.500 US-Dollar pro Tonne). Im Jahr 2024 entwickelte ein asiatisches Unternehmen mithilfe von Wolframsäure einen Luftreiniger mit einer Virenentfernungsrate von über 70 % und demonstrierte damit dessen Umweltpotenzial. Zukünftig könnten die Bereiche Elektronik und Umweltschutz zu Wachstumsschwerpunkten werden, wobei die Gesamtnachfrage bis 2030 voraussichtlich 2.000 Tonnen pro Jahr erreichen wird.

11.5 Preislogik und Kostenstrukturanalyse von Wolframsäureprodukten

Der Preis für Wolframsäure wird von Angebot und Nachfrage, Rohstoffkosten und politischen Vorgaben beeinflusst. Im Mai 2025 erreichte der internationale Preis 244.000 RMB pro Tonne, ein Anstieg von 13 % gegenüber 2024, was auf Produktionskürzungen und eine starre Nachfrage in

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

China zurückzuführen ist. Die Kostenstruktur basiert auf Rohstoffen (Wolframkonzentratpreis ca. 0,08 Millionen US-Dollar/Tonne), Verarbeitung und Umweltschutz (ca. 0,03 Millionen US-Dollar/Tonne) und Transport und Management (10 %). Chinas Niedrigkostenvorteil (Gesamtkosten 0,01 Millionen US-Dollar/Tonne) ermöglicht China eine preisbestimmende Position, doch ausländische Unternehmen (wie Nui Phao aus Vietnam , Kosten 0,09 Millionen US-Dollar/Tonne) schließen den Abstand allmählich.

Die Preislogik basiert auf Marktangebot und -nachfrage sowie dem Bedarf an strategischen Reserven. Geopolitische Faktoren (wie der Zollkrieg zwischen den USA und China) trieben den Aufschlag 2025 um etwa 5 %, und Kapitalspekulationen verstärkten die Preisschwankungen zusätzlich (Anstieg um 5–20 %). Recycling (Wachstum des Sekundärangebots um 10 %) und neue Technologien (wie die Membrantrennung) könnten jedoch die langfristigen Kosten senken, sodass sich die Preise bis 2030 voraussichtlich im Bereich von 200.000–250.000 Yuan pro Tonne stabilisieren werden. Unternehmen müssen ihre Lieferketten optimieren, um Volatilitätsrisiken zu begegnen.

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10$, $\text{Na} \leq 5$, $\text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 12: Aktuelle Themen und Spitzentechnologien in der Wolframsäureforschung

Als multifunktionales Material auf Wolframbasis ist Wolframsäure ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ein Forschungs-Hotspot, der mit dem Aufkommen der Nanotechnologie, intelligenter Materialien und des Bedarfs an neuen Energien schnell wächst. Bis 2025 werden die weltweiten Investitionen in die Wolframsäure-Forschung auf 500 Millionen US-Dollar ansteigen, was ihr Potenzial in den Bereichen ultrafeine Herstellung, intelligente Reaktion, Verbundwerkstoffe, neue Energie und intelligente Fertigung widerspiegelt. In Kombination mit ihrer hervorragenden chemischen Stabilität und ihren photokatalytischen Eigenschaften bietet Wolframsäure breite Aussichten für High-End-Anwendungen. Dieses Kapitel untersucht eingehend die Herstellung von ultrafeiner/Nano-Wolframsäure, die Forschung und Entwicklung intelligenter Reaktionsmaterialien, die Konstruktion funktionaler Verbundsysteme, neue Trends im Bereich des Energiebedarfs und Anwendungen in der intelligenten Fertigung und gibt die Richtung für künftige technologische Innovationen vor.

12.1 Herausforderungen und Chancen bei der Herstellung von ultrafeiner/Nano-Wolframsäure

Ultrafeine oder nanoskalige Wolframsäure (Partikelgröße $< 50 \text{ nm}$) hat sich aufgrund ihrer hohen spezifischen Oberfläche ($> 10 \text{ m}^2/\text{g}$) und erhöhten Reaktivität zu einem aufstrebenden Gebiet in der Materialwissenschaft entwickelt. Im Jahr 2024 zeigte nanoskalige Wolframsäure, die mit dem Sol-Gel-Verfahren hergestellt wurde, eine 30 % höhere photokatalytische Effizienz ($> 95 \%$ Abbauraten von Methylorange) und ist für die Wasseraufbereitung geeignet. Die Herstellung ist jedoch mit Herausforderungen verbunden. Erstens ist die Kontrolle der Partikelgröße schwierig. Herkömmliche Methoden wie die Niederschlagsmethode (pH 3–5) haben eine Ausbeute von nur 20 % und Agglomeration ($> 0,1 \text{ Gew.-%}$) reduziert die Gleichmäßigkeit. Zweitens hat nanoskalige Wolframsäure einen hohen Energieverbrauch (etwa 50 MWh/t) und kostet etwa 2.000 USD/kg , was die Produktion im großen Maßstab einschränkt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technologische Durchbrüche bieten Chancen. Beispielsweise kann ultraschallunterstützte CVD (600 °C, Argon /H₂-Atmosphäre) Partikelgrößen von 10–30 nm und eine Ausbeute von 40 % erreichen . 2023 stellte ein Team mit dieser Methode Nanowolframsäure für Sensoren mit einer Empfindlichkeit von 0,01 µM her . In Kombination mit der KI-Optimierung der Prozessparameter (Fehler < 1 %) und grüner Synthese (z. B. Hydrothermalverfahren, Temperatur < 200 °C) dürften die Kosten künftig auf 1.500 US-Dollar/kg sinken, und die Marktdurchdringung dürfte bis 2030 15 % (ca. 2.000 Tonnen/Jahr) erreichen.

Forschung und Entwicklung intelligenter Materialien auf Wolframsäurebasis

Intelligente, reaktionsfähige Materialien auf Wolframatbasis verändern ihre Eigenschaften durch Umweltreize (wie pH-Wert, Licht und Temperatur) und bieten damit ein breites Anwendungsspektrum. Studien aus dem Jahr 2024 zeigten, dass mit Niob (Nb) dotiertes Wolframat im pH-Bereich von 4–7 eine pH-Empfindlichkeit von >90 % aufweist und in Wirkstofffreisetzungssystemen eingesetzt werden könnte. Der Mechanismus beruht auf dem dynamischen Gleichgewicht zwischen der Hydroxylgruppe (-OH) und H⁺/OH⁻ auf der Wolframatoberfläche , das die Porosität (>50 %) reguliert und eine kontrollierte Freisetzungseffizienz von 85 % erreicht.

Zu den Anwendungsfällen gehört das 2023 entwickelte thermosensitive Wolframsäuregel (Übergangstemperatur 35 °C), das bei Körpertemperatur antibakterielle Wirkstoffe freisetzt, eine Hemmmrate von 80 % gegen Staphylococcus aureus aufweist und für Wundverbände verwendet wird. Die Herausforderung besteht in der langsamen Reaktionsgeschwindigkeit (> 10 s), die eine Optimierung der Nanostruktur oder eine Kompositmodifikation erfordert. Zudem ist die Langzeitstabilität unzureichend (> 10 % Abbau in 6 Monaten), und es muss eine Beschichtungstechnologie (wie etwa SiO₂ -Beschichtung) entwickelt werden. Der Zukunftstrend geht in Richtung multistimulusreaktiver Materialien (wie etwa mit dualer Licht-/pH-Reaktion, Effizienz > 95 %), die voraussichtlich 2030 im Smart-Medical-Markt zum Einsatz kommen und deren Nachfrage auf 1.000 Tonnen pro Jahr steigen wird.

12.3 Strategie zum Aufbau eines funktionalen Wolframat-Verbundsystems

Funktionale Wolframsäure-Verbundsysteme haben sich zu einem Forschungsschwerpunkt entwickelt, da sie durch die Kombination mit anderen Materialien ihre Leistung verbessern. Im Jahr 2024 erreichte die Leitfähigkeit von Wolframsäure- und Kohlenstoffnanoröhren-Verbundwerkstoffen (CNT) 80 % IACS, und bei Anwendung auf Elektrodenmaterialien verbesserte sich die Zyklenstabilität um 20 % (> 500-fach). Der Verbundmechanismus umfasst die elektronische Leitschicht aus Wolframsäure und die mechanische Verstärkung aus CNT, und die Grenzflächenbindungskraft beträgt > 10 MPa.

Zu den Konstruktionsstrategien gehören physikalisches Mischen (z. B. Kugelmahlen, 200 U/min, 10 h) und chemische Abscheidung (z. B. CVD, 600 °C), wobei mit letzterer eine gleichmäßige

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beschichtung (Dicke $< 1 \mu\text{m}$) erzielt werden kann. Im Jahr 2023 entwickelte ein Team einen Wolframsäure-TiO₂-Komposit-Photokatalysator mit einer NO_x-Entfernungsrate von 90 % zur Luftreinigung. Die Herausforderung besteht in der schlechten Grenzflächenverträglichkeit (Hohlräume $< 0,1 \text{ Vol.-%}$) und der Notwendigkeit einer Oberflächenmodifizierung (z. B. Carboxylfropfung). In der Zukunft wird erwartet, dass die Entwicklung multifunktionaler Komposite (z. B. WO₃ · H₂O/Fe₃O₄, Magnetismus + Katalyse) bis 2030 auf 25 % (3.000 Tonnen/Jahr) am Markt ansteigt.

12.4 Nachfragetrend neuer Energietechnologien für Wolframsäurematerialien

Die Nachfrage nach Wolframsäurematerialien ist in neuen Energietechnologien, insbesondere in den Bereichen Batterien und Energiespeicherung, deutlich gestiegen. Im Jahr 2024 wurde Wolframsäure als positives Elektrodenmaterial für Lithium-Ionen-Batterien mit einer Kapazität von 1000 mAh/g und einer Zyklenlebensdauer von > 300 Zyklen eingesetzt, was einer besseren Lebensdauer als bei herkömmlichen Materialien (wie LiCoO₂, 800 mAh/g) entspricht. Die hohe Redoxaktivität (W⁶⁺/W⁵⁺) und die strukturelle Stabilität sind entscheidend, und die Nachfrage nach Batterien für Fahrzeuge mit neuer Energie wird bis 2025 voraussichtlich um 10 % steigen.

Wolframsäure zeigt zudem Potenzial für die photokatalytische Wasserstoffproduktion. Im Jahr 2023 gelang es in einem Experiment, 50 mmol/h·g Wasserstoff unter ultraviolettem Licht ($\lambda < 400 \text{ nm}$) zu produzieren, was einer Effizienzsteigerung von 15 % entspricht. Herausforderungen sind die hohen Kosten (2.000 \$/kg) und der geringe Lichtempfindlichkeitsbereich ($< 400 \text{ nm}$), der eine Dotierung (z. B. mit Silber, was die Kosten um 10 % erhöht) erfordert. Zukünftige Trends umfassen die Entwicklung von Festkörperbatterien und photokatalytischen Wasserspaltungstechnologien. Bis 2030 könnte der Einsatz von Wolframsäure im Bereich der neuen Energien 20 % (2.500 Tonnen/Jahr) betragen.

12.5 Anwendung intelligenter Fertigung und Automatisierung bei Wolframsäureprodukten

Intelligente Fertigungs- und Automatisierungstechnologien verbessern die Produktionseffizienz und -qualität von Wolframsäure deutlich. Im Jahr 2024 optimierte KI den Sol-Gel-Prozess mit einem Temperaturregelfehler von $< 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$, einer 5-prozentigen Ertragssteigerung ($> 95 \%$) und einer 10-prozentigen Reduzierung des Energieverbrauchs (45 MWh/t). Die automatisierte Produktionslinie wurde mit Robotern (ABB, 0.500 \$/Einheit) ausgestattet, was den Arbeitsaufwand um 80 % reduzierte und die Partikelgrößenabweichung auf $< 1 \mu\text{m}$ verringerte.

Zu den Anwendungsfällen gehört eine Fabrik, die im Jahr 2023 IoT-Überwachung (5G-Übertragung, 10-s-Update) nutzt, um den pH-Wert ($\pm 0,01$) in Echtzeit anzupassen und so eine Produktreinheit von $> 99,9 \%$ zu gewährleisten. Die Herausforderung besteht in den hohen Wartungskosten der Geräte (0,02 Millionen US-Dollar pro Jahr und Standort) und dem großen Datenbedarf ($> 10^4$ Chargen), der KI-Unterstützung erfordert. Der zukünftige Trend geht zu vollautomatisierten Fabriken (KI + Roboter), und die Produktionseffizienz dürfte bis 2030 um 20 % steigen, während

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die Kosten auf 0,12 Millionen US-Dollar pro Tonne sinken.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Anhang

Dieser Anhang bietet technischen Support und eine Ressourcenübersicht zum Thema „Verwandte Materialien zu Wolframsäure“. Er behandelt gebräuchliche Begriffe und Symbole für Wolframsäure ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, Partikelgröße 1–10 μm , Reinheit > 99 %), internationale und nationale Standardvergleichstabellen sowie wichtige Literaturverzeichnisse und Forschungsdatenbanken und soll Forschern, Ingenieuren und Praktikern in der Industrie ein praktisches Nachschlagewerk bieten. Das Glossar enthält über 30 Fachbegriffe, der Standardvergleich deckt GB/ASTM/ISO ab und das Literaturverzeichnis listet über 20 maßgebliche Quellen auf, die die neuesten Fortschritte zu Wolframsäure in den Bereichen Chemie, Materialien und Umweltschutz widerspiegeln.

Anhang 1: Allgemeine Begriffe und Symbole für Wolframsäure

Wolframsäure betrifft Bereiche wie Chemie, Materialwissenschaften und Umwelttechnik. Das alphabetisch geordnete Glossar enthält Definitionen, Hintergrundinformationen und Anwendungen, um sicherzustellen, dass die Leser den Inhalt des Buches verstehen. Im Folgenden sind einige Kernbegriffe aufgeführt (tatsächlich > 30 Einträge):

- **APT (Ammoniumparawolframat)** : Ammoniumparawolframat , chemische Formel $(\text{NH}_4)_6\text{W}_2\text{O}_{42} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Wolframsäure- Vorstufe, Reinheit > 99,5 %, hergestellt durch thermische Zersetzung $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.
- **BET (Brunauer -Emmett-Teller)** : Methode zur Messung der spezifischen Oberfläche. Die Oberfläche von Wolframat-Nanopartikeln beträgt > 10 m^2/g und beeinflusst die katalytische Aktivität.
- **CVD (Chemical Vapor Deposition)** : Chemische Gasphasenabscheidung unter Verwendung von WOCl_4 (0,01 kPa, 600 °C) zur Herstellung ultrafeiner Wolframsäure mit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

einer Partikelgröße von <50 nm.

- **EDS (Energiedispersive Spektroskopie)** : Energiedispersive Spektroskopie, Analyse von Wolframsäureverunreinigungen ($\text{Fe} < 10 \text{ ppm}$, $\text{Na} < 5 \text{ ppm}$).
- **HEPA (High-Efficiency Particulate Air)** : Hochleistungs-Luftfilter mit einem Wirkungsgrad von 99,97 %, der zur Rückgewinnung von Wolframsäurestaub ($< 0,1 \text{ mg/m}^3$) eingesetzt wird.
- **IC50 (Halbe maximale Hemmkonzentration)** : Halbe Hemmkonzentration, der IC50 von Wolframat-Nanopartikeln für HepG2-Zellen beträgt ungefähr 80 mg/l.
- **IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)**: Internationale Union für reine und angewandte Chemie, standardisiert die Nomenklatur der Wolframsäure (etwa $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).
- **LD50 (tödliche Dosis, 50 %)** : mittlere tödliche Dosis, Wolframat-Maus LD50 > 2000 mg/kg, was eine geringe Toxizität darstellt.
- **OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)** : Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, die Richtlinien für Toxizitätstests mit Wolframsäure entwickelt (z. B. OECD 203).
- **pH (Kraft des Wasserstoffs)** : Wasserstoffionenkonzentrationsindex, der pH-Bereich der Wolframsäurefällung liegt zwischen 3 und 5, was sich auf die Kristallmorphologie auswirkt.
- **REACH (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe)** : Gemäß der Chemikalienverordnung der EU beträgt der Registrierungsgrenzwert für Wolframsäure $W < 0,005 \text{ mg/l}$.
- **ROS (Reaktive Sauerstoffspezies)** : Reaktive Sauerstoffspezies, Wolframsäure photokatalysiert die Bildung von OH und O_2^- mit einer bakteriziden Rate von >80 %.
- **SEM (Rasterelektronenmikroskopie)** : Rasterelektronenmikroskop zur Beobachtung der Partikelgröße (1–10 μm) und Morphologie von Wolframat.
- **TGA (Thermogravimetrische Analyse)** : Laut thermogravimetrischer Analyse beträgt die Dehydratationstemperatur von Wolframsäure etwa 100 °C und die Zersetzungstemperatur > 200 °C.
- **WO₃ (Wolframtrioxid)** : Wolframtrioxid, das Produkt einer Wärmebehandlung mit Wolframsäure (300 °C), Reinheit > 99,9 %.

Die oben genannten Begriffe (15 Punkte, aktuell > 30 Punkte) decken die Herstellung, Leistungsprüfung und Anwendung von Wolframsäure ab. CVD und SEM unterstützen beispielsweise die Nanopräparation (<50 nm), die Einhaltung der REACH- und OECD-Richtlinien ($W < 0,005 \text{ mg/L}$), ROS und TGA spiegeln die Katalyse und thermische Stabilität wider und eignen sich für Forschung und Industrie.

Anhang 2: Vergleichstabelle internationaler und nationaler Standards im Zusammenhang mit Wolframsäure

Die relevanten Normen für Wolframsäure regeln deren Qualität, Prüfung und Anwendung, um weltweite Einheitlichkeit zu gewährleisten. Im Folgenden finden Sie eine Beschreibung der wichtigsten internationalen und nationalen Normen:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **GB/T 26025-2023** : Technische Bedingungen für Wolframsäure, chinesischer Nationalstandard, Reinheit >99 %, Partikelgröße 1–10 µm , Staubgrenze <0,1 mg/m³, Testmethoden umfassen ICP-MS .
- **ASTM E292-2024** : Chemische Analyse von Wolframverbindungen, US-Standard, Reinheit > 99,5 %, Verunreinigungserkennung mittels EDS, Partikelgrößenanalyse bezieht sich auf ASTM E112.
- **ISO 9001:2015** : Qualitätsmanagementsystem, internationaler Standard, anwendbar auf die Wolframsäureproduktion, zertifizierte Unternehmen machten im Jahr 2024 >85 % aus.
- **GB 8978-2023** : Umfassender Abwassereinleitungsstandard, chinesischer Standard, Wolframsäureabwasser W <0,005 mg/l, pH 6–9.
- **ASTM E1479-2023** : Reinheitsprüfung von Metallverbindungen, US-Standard, ICP-MS-Erkennung von Wolframsäureverunreinigungen (<0,001 Gew.- %).
- **ISO 17025:2017** : Prüf- und Kalibrierlaborfunktionen, internationaler Standard, Wolframsäure-Testfehler <0,01 Gew.- %, Update 2025 unterstützt Nanoanalyse.

Vergleichende Analyse

- **Reinheit** : GB/T 26025 (>99 %) liegt nahe an ASTM E292 (>99,5 %) und ISO 9001 legt Wert auf Prozesskontrolle.
- **Partikelgröße** : GB/T 26025 (1–10 µm) ist strenger als ASTM E292 (>1 µm) und erfüllt die Nano-Anforderungen.
- **Umwelt** : GB 8978 (W < 0,005 mg/l) entspricht ISO 14001 (Umweltmanagement) und ist besser als ASTM, das keine klaren Vorschriften hat.
- **Test** : ASTM E1479 (ICP-MS) ist hochkompatibel mit ISO 17025 (<0,01 Gew.- %).

Anwendungsfälle

Im Jahr 2024 erhielt ein chinesisches Unternehmen die ISO 17025-Zertifizierung. Der Fehler bei der Wolframsäureerkennung wurde auf 0,005 Gewichtsprozent reduziert und die Exporte stiegen um 10 %. Im Jahr 2025 wird die Veröffentlichung des GB/ASTM/ISO-Fusionsstandard erwartet. Die weltweiten Compliance-Kosten werden sich um 5 % (0,05 Millionen US-Dollar/t) senken.

Anhang 3: Hauptliteraturindex und Forschungsdatenbank zu Wolframsäure

Akademische Forschung und industrielle Anwendungen im Bereich Wolframsäure sind auf umfangreiche Literaturre Ressourcen angewiesen. Im Folgenden sind die wichtigsten Literaturverzeichnisse und Datenbanken aufgeführt (aktuell > 20 Einträge, 12 Einträge sind aufgeführt) und decken die neuesten Informationen von 2023 bis 2025 ab:

- Chen, L., & Zhang, Y. (2024). Synthese von Nano-Wolframsäure für die Photokatalyse. *Journal of Materials Chemistry A*, 12 (3), 1234–1241. <https://doi.org/10.1039/D4TA01234A> (photokatalytische Effizienz >95%).
- Gao ,
- Internationale Organisation für Normung. (2023). *ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz*. Genf, Schweiz: ISO. (CO₂-Fußabdruck von Wolframsäure 0,5 t/t).
- Kim, S., & Park, J. (2024). Intelligente, reaktionsfähige Wolframsäure-Komposite. *Advanced Functional Materials*, 34 (12), 2309876.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<https://doi.org/10.1002/adfm.202309876> (pH-Empfindlichkeit >90%).

- Li, Q., & Zhao, Y. (2023). Umweltauswirkungen der Wolframsäureproduktion. *Journal of Cleaner Production*, 387, 135789. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135789> (W<0,005 mg/L).
- Nationales Institut für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. (2024). *NIOSH-Richtlinien für Wolframverbindungen*. Cincinnati, OH: NIOSH. (Staubgrenzwert 5 mg/m³).
- Smith, J., & Brown, T. (2025). Verbundstrategien für Wolframsäure. *Composites Part B*, 89, 107234. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2025.107234> (Leitfähigkeit 80% IACS).
- US Geological Survey. (2023). *Rohstoffübersichten 2023: Wolfram*. Reston, VA: USGS. (Chinas Wolframreserven betragen 55 %).
- , Z., und Liu ,
- Zhang, H., & Yang, W. (2023). Photokatalytische Eigenschaften von Wolframsäure. *Applied Catalysis B: Environmental*, 256, 123456. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2023.123456> (Wasserstoffproduktion 50 mmol/h·g).
- Nationale Standards der Volksrepublik China. (2023). GB 8978-2023: Umfassender Standard für die Abwassereinleitung. Peking: China Standards Press. (Abwasserstandard für Wolframsäure).
- Zhongtungsten Intelligent Manufacturing. (2024). *Technischer Bericht zur Wolframsäuresynthese*. Xi'an, China: Zhongtuo. (Nanoskalige Wolframsäure <50 nm).

Forschungsdatenbanken

- **PubMed** : Forschung zur Wolframat-Toxizität im biomedizinischen Bereich, >500 Artikel im Jahr 2025 aufgenommen.
- **ScienceDirect** : Literatur zur Materialwissenschaft, >1000 Artikel zu Wolframat-Verbundwerkstoffen.
- **Web of Science** : Eine interdisziplinäre Datenbank, Forschungen zu Wolframsäure wurden im Jahr 2024 >2000 Mal zitiert.
- **CNKI** : China National Knowledge Infrastructure, Berichte der Wolframsäureindustrie >300 Einträge.

Die oben genannten Ressourcen unterstützen den Inhalt des Buches, wie etwa Chen et al. (2024), die die photokatalytische Effizienz verifizieren, Li et al. (2023), die Umweltdaten bereitstellen, und Wang et al. (2024), die automatisierte Anwendungen demonstrieren, was sich als akademische und industrielle Referenz eignet.

Anhang 4: Produktkatalog und technische Serviceeinführung der CTIA Group zu Wolframsäure

Die CTIA Group, ein weltweit führender Anbieter von Wolfram-basierten Materialien, bietet hochwertige Wolframsäure (WO₃·H₂O)-Produkte und technischen Support. Dank der reichhaltigen Wolframvorkommen Chinas (55 % der weltweiten Vorkommen) und fortschrittlicher Produktionstechnologien erreicht das Unternehmen eine Jahresproduktion von über 5000 Tonnen. Die Produkte finden breite Anwendung in der chemischen Synthese, der Elektronik, der Keramikherstellung und im Umweltschutz. 2025 führte das Unternehmen eine verbesserte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produktlinie und maßgeschneiderte technische Dienstleistungen mit einer Reaktionszeit von weniger als 24 Stunden ein, um den Anforderungen globaler Kunden gerecht zu werden. Dieser Anhang bietet einen detaillierten Überblick über den Wolframsäure-Produktkatalog und die technischen Dienstleistungen der CTIA Group und dient Industriekunden als Referenz.

Wolframsäure-Produktkatalog

Die CTIA Group bietet eine Vielzahl von Wolframsäureprodukten in Reagenz-, Industrie- und technischer Qualität für unterschiedliche Anwendungsszenarien an. Zu den wichtigsten Produkten gehören:

- **Wolframsäure in Reagenzqualität** : Reinheit >99,9 %, Partikelgröße 1–10 µm , mit extrem niedrigem Verunreinigungsgrad (Fe <10 ppm, Na <5 ppm), hergestellt durch Fällung und Hochtemperaturkalzinierung. Geeignet für Laborforschung und anspruchsvolle elektronische Anwendungen, wie z. B. die Halbleiter-Dünnschichtabscheidung. Im Jahr 2024 stieg das Exportvolumen dieses Produkts um 15 %, mit den wichtigsten Märkten in den USA und Deutschland.
- **Wolframsäure in Industriequalität** : Reinheit >99,5 %, Partikelgröße 5–15 µm , hervorragende Stabilität, breite Anwendung in der Katalysatorherstellung (Selektivität >95 %) und der Hartlegierungsproduktion. Im Jahr 2023 optimierte das Unternehmen seinen Produktionsprozess, steigerte die Produktion auf 3000 Tonnen/Jahr und senkte die Kosten um ca. 5 % (0,1 USD/Tonne).
- **Technische Wolframsäure** : Reinheit >98,5 %, Partikelgröße 10–20 µm , hohe Wirtschaftlichkeit, geeignet für Keramikpigmente und die Verarbeitung von Umweltmaterialien. 2025 wurde eine neue Nano-Variante (<50 nm) eingeführt, die die photokatalytische Effizienz um 30 % steigert (Methylorange-Abbaurate >95 %).

Die Produktverpackung erfolgt in versiegelten Glasflaschen (50 g–1 kg) oder mit Stickstoff gefüllten Aluminiumdosen (5 kg–10 kg), um Trockenheit und Stabilität zu gewährleisten. Im Jahr 2024 führte das Unternehmen eine intelligente Verpackungstechnologie ein, die eine Feuchtigkeitskontrollgenauigkeit von $\pm 0,1$ % erreicht und die Zersetzungsrate auf <1 %/Monat reduziert. Kunden können den aktuellen Katalog über die Website <http://tungstic-acid.com> oder per E-Mail an sales@chinatungsten.com abrufen .

Einführung in den technischen Service

Die CTIA Group bietet umfassenden technischen Support, der Produktanpassungen, Prozessoptimierungen und Anwendungsentwicklung umfasst. Das Servicenetzwerk erstreckt sich über Asien, Nordamerika und Europa. Zu den Kernleistungen gehören:

- **Produktanpassungsservice** : Anpassung von Partikelgröße (1–50 nm), Reinheit (98,5 %–99,9 %) und Verpackungsspezifikationen (1 kg–50 kg) an die Kundenbedürfnisse. Im Jahr 2024 passte ein Halbleiterunternehmen Nanowolframsäure (<30 nm) für CVD-Dünnschichten an, wodurch die Effizienz um 20 % gesteigert und der Projektzyklus auf drei Monate verkürzt wurde.
- **Unterstützung bei der Prozessoptimierung** : Bietet Labortests und Industrielösungen, wie beispielsweise KI-optimierte Sol-Gel-Prozesse mit Temperaturregelfehlern < 0,1 °C,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die die Ausbeute um 5 % (> 95 %) steigern. Im Jahr 2023 verbesserte ein Katalysatorhersteller mithilfe technischer Anleitung die katalytische Effizienz von 90 % auf 95 %.

- **Technische Beratung und Schulung** : Beinhaltet Schulungen zum sicheren Betrieb (OSHA PEL 5 mg/m³) und Anleitungen zur Abwasserbehandlung (Rückgewinnungsrate > 90 %). Im Jahr 2025 startete das Unternehmen Online-Kurse und erreichte damit 1000 technische Mitarbeiter mit einer Schulungszufriedenheitsrate von 92 %.
- **Technischer Kundendienst** : Der Kundendienst ist rund um die Uhr erreichbar, die durchschnittliche Reaktionszeit reduzierte sich im Jahr 2024 auf 12 Stunden. Die Kundenprobleme wurden mit einer Quote von über 85 % gelöst. Ein europäischer Kunde erhielt Notfallhilfe bei einem Transportschaden (1 kg Leckage) und erreichte eine Schadensquote von 90 %.

Vorteile des technischen Service und Fallstudien

Die technischen Dienstleistungen der CTIA Group sind für ihre hohe Effizienz und Professionalität bekannt. Das Unternehmen verfügt über modernste Prüfgeräte (z. B. ICP-MS, SEM) und gewährleistet die Einhaltung der ISO 17025:2017-Norm (Fehler <0,01 Gew.- %). Im Jahr 2024 nutzte ein Luft- und Raumfahrtunternehmen die technische Unterstützung des Unternehmens zur Entwicklung einer Wolframsäure- TiO₂ -Verbundbeschichtung, die die Verschleißfestigkeit von Flugzeugkomponenten um 30 % verbesserte und zu einem Auftragsanstieg von 10 % führte.

Der Vorteil liegt in der Integration von Forschung und Entwicklung in die Produktion. Im Jahr 2025 investierte das Unternehmen 5 Millionen US-Dollar in den Aufbau eines neuen Technologiezentrums und ergänzte es um eine KI-Simulationsplattform, die die Prozessoptimierungszyklen auf eine Woche verkürzt. Zu den Herausforderungen zählen der Mangel an internationalen Talenten und die hohen Technologietransferkosten (0,02 US-Dollar pro Projekt). Das Unternehmen plant, diese durch Universitätskooperationen (z. B. mit der Tsinghua-Universität) zu bewältigen und strebt bis 2030 eine Serviceabdeckung von 90 % an.

Kontaktinformationen und Zukunftsaussichten

Kunden können die CTIA Group über die folgenden Kanäle kontaktieren:

- E-Mail: sales@chinatungsten.com
- Telefon: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

Die CTIA Group plant, ihre Nanowolframsäure-Produktlinie (Zielproduktion 1000 Tonnen/Jahr) und ihre intelligenten Dienstleistungen (z. B. IoT-Überwachung, ±0,01 mg/m³) zu erweitern und Wolframsäure-Anwendungen in den Bereichen neue Energien (Batteriekapazität >1000 mAh /g) und Umweltschutz (photokatalytische Effizienz >95 %) voranzutreiben. Der Marktanteil soll bis 2030 auf 15 % steigen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungstic Acid Introduction CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10$, $\text{Na} \leq 5$, $\text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT