

黄色酸化タングステン(WO₃)

物理的 および C へミカル 特性、プロセス、およびアプリケーション
ン化

CTIA グループ株式会社

タングステン、モリブデン、レアアース産業向けのインテリジェント製造のグローバル
リーダー

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP の紹介

CTIA GROUP LTD は、CHINATUNGSTEN ONLINE によって設立された独立した法人格を持つ完全子会社であり、インダストリアル インターネット時代におけるタングステンおよびモリブデン材料のインテリジェントで統合された柔軟な設計と製造を促進することに専念しています。CHINATUNGSTEN ONLINE は、www.chinatungsten.com を出発点として 1997 年に設立され、中国初の一流のタングステン製品ウェブサイトであり、タングステン、モリブデン、希土類産業に焦点を当てた国の先駆的な電子商取引企業です。タングステンとモリブデンの分野での深い経験の約 30 年を活用して、CTIA グループは、タングステン化学薬品、タングステン金属、超硬合金、高密度合金、モリブデン、およびモリブデン合金の分野で包括的なアプリケーションソリューションプロバイダになり、親会社の優れた設計および製造能力、優れたサービス、およびグローバルなビジネスの評判を継承しています。

過去 30 年間で、CHINATUNGSTEN ONLINE は、ニュース、価格、タングステン、モリブデン、希土類に関連する 100 万ページ以上の 20 以上の言語をカバーする 200 以上の多言語タングステンとモリブデンの専門家のウェブサイトを設立しています。2013 年以来、WeChat の公式アカウント「CHINATUNGSTEN ONLINE」は 40,000 を超える情報を公開し、約 100,000 人のフォロワーにサービスを提供し、世界中の数十万人の業界専門家に毎日無料の情報を提供しています。そのウェブサイトクラスターと公式アカウントへの累積訪問数が数十億回に達し、タングステン、モリブデン、希土類業界向けのグローバルで権威ある情報ハブとして認められ、24 時間年中無休の多言語ニュース、製品パフォーマンス、市場価格、市場動向サービスを提供しています。

CHINATUNGSTEN ONLINE の技術と経験に基づいて、CTIA GROUP は顧客のパーソナライズされたニーズを満たすことに焦点を当てています。AI 技術を活用し、特定の化学組成や物性(粒子サイズ、密度、硬度、強度、寸法、公差など)を持つタングステン・モリブデン製品をお客様と共同で設計・製造します。型開きから試作、仕上げ、包装、物流まで一貫サービスを提供。過去 30 年間で、CHINATUNGSTEN ONLINE は、世界中の 130,000 以上の顧客に 500,000 種類以上のタングステンおよびモリブデン製品の研究開発、設計、および生産サービスを提供し、カスタマイズされた、柔軟でインテリジェントな製造の基盤を築いてきました。この基盤に依拠して、CTIA GROUP は、インダストリアル インターネット時代におけるタングステンおよびモリブデン材料のインテリジェントな製造と統合イノベーションをさらに深化させます。

ハンス博士と CTIA GROUP の彼のチームは、30 年以上の業界経験に基づいて、タングステン、モリブデン、希土類に関連する知識、技術、タングステン価格、市場動向分析を執筆し、公開しています。ハン博士は、1990 年代からタングステンおよびモリブデン製品の電子商取引および国際取引、ならびに超硬合金および高密度合金の設計および製造において 30 年以上の経験を持ち、国内外のタングステンおよびモリブデン製品の有名な専門家です。CTIA GROUP のチームは、専門的で高品質な情報を業界に提供するという原則を堅持し、生産慣行と市場顧客のニーズに基づいて技術研究論文、記事、業界レポートを継続的に作成し、業界で広く賞賛されています。これらの成果は、CTIA GROUP の技術革新、製品プロモーション、業界交流をしっかりと支え、世界のタングステンおよびモリブデン製品製造および情報サービスのリーダーになるための原動力となっています。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA グループ

三酸化タングステン(黄色タングステン、 WO_3 、黄色三酸化タングステン、YTO)はじめに

1. 三酸化タングステンの概要

CTIA グループの三酸化タングステン(黄色のタングステン、 WO_3 と呼ばれる)は、GB/T 3457-2013 "酸化タングステン"ファーストクラスの製品の要件を満たすパラタングステン酸アンモニウム高温焼成プロセスによって生成されます。黄色のタングstenは、その淡黄色の結晶粉末の形態、高純度および化学的安定性のために、タングsten粉末、超硬合金、タングstenワイヤおよびセラミック着色剤の調製に広く使用されています。CTIA GROUP は、粉末冶金および工業製造のニーズを満たすために、高品質の黄色タングsten製品を提供することに取り組んでいます。

2. 三酸化タングステンの特性

化学組成: WO_3 。

純度: $\geq 99.95\%$ で、不純物含有量が非常に少ない。

外観:淡黄色の結晶粉末、均一な色。

多形:単斜晶系(室温で最も一般的)、空間群 $P2_1/n$ 。

高い安定性:空気中で安定しており、水やフッ化水素酸を除く無機酸に不溶です。

反応性:水素($>650^\circ\text{C}$)または炭素($1000-1100^\circ\text{C}$)によってタングsten粉末に還元できます。

均一性:粒子分布が均一で、下流の処理に適しています。

3. 三酸化タングステンの仕様

インデックス	CTIA GROUP イエロータングsten 1 級標準
WO_3 含有量(wt%)	≥ 99.95
不純物(wt%,max.)	$\text{Fe} \leq 0.0010$ 、 $\text{Mo} \leq 0.0020$ 、 $\text{Si} \leq 0.0010$ 、 $\text{Al} \leq 0.0005$ 、 $\text{Ca} \leq 0.0010$ 、 $\text{Mg} \leq 0.0005$ 、 $\text{K} \leq 0.0010$ 、 $\text{Na} \leq 0.0010$ 、 $\text{S} \leq 0.0005$ 、 $\text{P} \leq 0.0005$
水分(wt%)	$0 \leq 0.05$
粒子サイズ	1-10(μm ,FSSS)
密度が緩い	2.0-2.5(グラム/ cm^3)
カスタマイズ	粒子サイズまたは不純物の制限は、顧客の要件に応じてカスタマイズできます

4. 三酸化タングステンの包装と保証

パッキング:内側の密封されたビニール袋、外側の鉄ドラムまたは織物袋、正味重量 50kg または 100kg、防湿設計。

保証:各バッチには、 WO_3 含有量、不純物分析、粒子サイズ(FSSS 法)、ルース密度、水分データを含む品質証明書が付属しています。

5. 三酸化タングsten調達情報

メールボックス:sales@chinatungsten.com 電話:+86 592 5129696

タングstenイエローの詳細については、Chinatungsten Online の Web サイトをご覧ください
www.tungsten-powder.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

黄色酸化タングステン(WO₃) 物理的および化学的特性、プロセス、およびアプリケーション

前書き

書く目的と意義

黄色酸化タングステンの研究と応用の概要

ターゲット読者層

感謝

第1章:はじめに

1.1 黄色酸化タングステンの定義と歴史

1.2 タングステン化合物のファミリーとその重要性

1.3 黄色酸化タングステンとメタタングステン酸アンモニウムの関係

1.4 本の構成と内容の概要

参照

第2章:化学的および物理的性質

2.1 化学組成と分子式(WO₃)

2.2 物理的形態と外観(黄色の粉末)

2.3 溶解度と化学的安定性

水、酸、アルカリ中での挙動

酸化還元特性

2.4 密度、融点、沸点

2.5 熱力学データ(エンタルピー、エントロピー、比熱容量)

2.6 黄色酸化タングステンと他の酸化タングステン形態との比較

参照

第3章:結晶構造と結晶相

3.1 単斜晶系の構造(最も一般的な相)

格子パラメータと空間グループ

X線回折(XRD)特性

3.2 その他の結晶相(六角形、正方晶、立方晶)

相転移条件と温度依存性

3.3 欠陥構造とドーピング効果

3.4 ナノメートル領域におけるWO₃の構造特性

結晶相に及ぼす粒子サイズの影響

参照

第4章 生産プロセス

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

4.1 原材料と前駆体

メタタングステン酸アンモニウム (AMT) の調製と分解。

タングステン酸 (H_2WO_4) とタングステン鉱石

4.2 工業生産方法

焙焼法 ($500\text{--}700^\circ\text{C}$)

水素還元法 (WO_3 の間接調製)

ウェットケミストリー (降水および熱処理)

4.3 実験室での合成技術

水熱法

ソルボサーマル法

マイクロ波支援合成

4.4 プロセスパラメータの最適化

温度、雰囲気、時間の影響

純度と粒度制御

4.5 グリーン生産と廃棄物処理

アンモニア態窒素回収技術

エネルギー消費と排出の分析

参照

第 5 章: 分析および特性評価手法

5.1 化学組成分析

滴定 (WO_3 含有量測定)

誘導結合プラズマ発光分光法 (ICP-AES)

5.2 構造特性評価

X 線回折 (XRD)

フーリエ変換赤外分光法 (FTIR)

ラマン分光法

5.3 形態学および顕微鏡分析

走査型電子顕微鏡 (SEM)

透過型電子顕微鏡 (TEM)

5.4 物性試験

BET 比表面積の決定

熱重量分析 (TG) と示差走査熱量測定 (DSC) の比較

5.5 電気化学的および光電性能試験

サイクリックボルタンメトリー (CV)

紫外可視分光法 (UV-Vis)

参照

第 6 章: 応用分野

6.1 触媒

光触媒 (水素製造と汚染物質分解)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

化学触媒(水素化分解、脱硫)

6.2 エネルギーの貯蔵と変換

リチウムイオン電池電極(容量 600-750 mAh / g)

電気二重層キャパシタ(比容量 250-350 F / g)

燃料電池触媒

6.3 スマートマテリアル

エレクトロクロミック材料(スマートウィンドウ)

サーモクロミックおよびフォトクロミック特性

6.4 センサー

ガスセンサー(NO_2 、 CO 、 H_2S)

感度および選択性解析

6.5 ナノテクノロジーアプリケーション

WO_3 ナノ粒子、ナノファイバー、フィルム

バイオメディカルポテンシャル(光温熱療法、抗菌薬)

6.6 その他の産業用途

顔料とセラミック添加剤

タングステン粉末およびタングステン合金前駆体

参照

第 7 章:熱分解と変換

7.1 AMT から WO_3 への熱分解経路

分解相(脱水、脱アミノ化、結晶相転移)

温度と雰囲気の影響

7.2 WO_3 の相転移機構

単斜晶系から六角形への変換

高温安定性解析

7.3 熱分解動力学

活性化エネルギーと反応速度

熱分析データの解釈

参照

第 8 章 安全性と環境への影響

8.1 毒性と健康リスク

急性毒性と慢性暴露の比較

安全データシート(SDS)の解釈

8.2 取り扱いと保管に関する推奨事項

保護対策と応急処置

湿度と温度の制御

8.3 環境影響評価

生産プロセスからの排出

廃棄物処理とリサイクル

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.4 規制と基準

中国規格 YS / T 535-2006

国際規格(ASTM など)

参照

第 9 章 研究の進捗状況と今後の展望

9.1 歴史研究のレビュー

早期検出と産業応用

9.2 現在の研究ホットスポット

nanoWO₃の合成と性能最適化

新エネルギー・環境アプリケーション

9.3 中国研究への貢献

AMT から WO₃へのプロセスの改善

適用領域の拡大

9.4 国際的な研究動向

オプトエレクトロニクス材料と触媒のフロンティア

9.5 将来の方向性

グリーン合成技術

多機能複合材料

参照

第 10 章 ケーススタディと実験ガイドライン

10.1 工業生産の場合

大規模な WO₃(酸化ワゴン)生産プロセス

10.2 実験室合成の例

WO₃ナノ粒子の水熱調製

AMT 熱分解実験

10.3 データ分析と結果の議論

典型的な実験パラメータと特性評価結果

10.4 実験的な考慮事項

機器の選択と安全な操作

参照

虫垂

付録 A:WO₃の物理的および化学的データシート

分子量、密度、融点などのパラメータ

付録 B:一般的な分析法の実験手順

XRD、FTIR、SEM 操作ガイド

付録 C:AMT および WO₃関連特許のリスト

CN102019429A、US10262770B2 など

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

付録 D: 中国語および国際規格

YS/T 535-2006 《メタタングステン酸アンモニウム》

ASTM B922-20 金属粉末比表面積の標準試験方法

ISO 16962:2017 表面化学分析 - 亜鉛および/またはアルミニウムベースの金属コーティングの分析(WO_3 特性評価を含む)

付録 E: 国家規格

日本 JIS K 1462:2015 (タングステン化合物分析法)

DIN 51078:2002(酸化物セラミック原料試験)

GOST 25702-83(タングステン酸の化学分析)

付録 F: 用語集(英語と中国語)



黄色酸化タングステン(三酸化タングステン)の物理的および化学的性質、プロセスおよび応用。

黄色酸化タングステン(WO₃)

物理的および化学的特性、プロセス、およびアプリケーション

前書き

黄色酸化タングステンの研究と応用の概要

CTIA グループの専門家チームとして、私たちはタングステン産業チェーンにおける黄色酸化タングステン(三酸化タングステン、WO₃)の中核的な位置をよく認識しています。この明るい黄色の化合物は、タングステン冶金の重要な中間製品であるだけでなく、現代の材料科学や工業用途のスター材料でもあります。黄色酸化タングステンの単斜晶系構造は、独自の電子特性と化学的安定性を与え、そのエネルギーバンドギャップ(約 2.6~2.8 eV)により、光、電気、熱などの多くの分野で優れた性能を発揮します。19 世紀のタングステン酸研究から今日のナノテクノロジー革命まで、WO₃の用途は従来のタングステン粉末調製からハイテクフロンティアに拡大しました。

中国では、黄色酸化タングステンの研究と応用は、タングステン資源と産業需要の利点と密接に統合されています。私たちのチームは、焙煎条件(500-700°C)を正確に制御して高純度の WO(ウォリウム)≥99.9%)の大量生産を達成するために、メタタングステン酸アンモニウム(AMT)の熱分解による WO₃(ウオ₃)の生成のためのプロセス最適化に豊富な経験を持っています。同時に、WO₃(ウートン)は、有機汚染物質の分解や水の光分解による水素の生成(90%以上の効率)のための光触媒の分野でエキサイティングな可能性を秘めており、環境修復とクリーンエネルギーのためのソリューションを提供します。エネルギー貯蔵の面では、リチウムイオ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ン電池の WO_3 電極(容量 650-750mAh/g)の優れた性能と、スーパーキャパシタの高比容量(300F/g)を検証しました。さらに、 WO_3 (酸化窒素)のエレクトロクロミック特性はスマートウィンドウの工業化を推進しており、ガスセンサー(最大 10ppb の NO_2 検出感度)や抗菌材料(98%の抗菌率)での使用も、スマートマニュファクチャリングの新たな道を切り開きます。

世界的に、 WO_3 (ウートン)の研究はナノ構造設計と光電子性能の最適化に焦点を当てており、特に中国の生産プロセスとアプリケーション開発における実務経験は傑出しています。CTIA グループの一員として、 WO_3 (ゾウ)がラボから市場へと移行するのを見てきました。この本の目的は、これらの技術的な成果を要約し、国際的な最先端のトレンドと組み合わせ、業界の同僚に体系的な参照を提供し、タングステン材料産業のインテリジェントで持続可能な開発を支援することです。

ターゲット読者層

この本を書くとき、CTIA GROUP は明らかに次の読者を指しており、私たちの専門的な視点でタングステン業界および関連分野の実務家や学者に奉仕することを望んでいます。

タングステン材料の研究開発担当者

WO_3 の結晶構造、製造プロセス、および性能の最適化に従事する研究者向けに、本書は AMT から WO_3 への完全な技術的経路と最新の研究データを提供し、基礎研究と応用研究を促進します。

化学・材料エンジニア

タングステン冶金、新エネルギー、インテリジェント製造の分野のエンジニア向けに、この本は工業生産方法(焙煎法、水熱法など)とプロセスパラメータの最適化について詳しく説明しています。

カレッジや大学の教師と学生

化学、材料科学、工学の学生や学部は、 WO_3 の特性と応用について学ぶための権威あるリソースとしてこの本を使用でき、ラボガイドは特に教育と実践に適しています。

タングステン産業チェーンの実務家

タングステン鉱石の処理から下流のアプリケーションまで、業界の専門家は、 WO_3 (ウォリウム)の最新アプリケーション(センサー、バッテリーなど)や中国規格(YS/T 535-2006 など)について学び、技術と市場競争力を強化することができます。

分野横断的な技術専門家

環境保護、オプトエレクトロニクス材料、ナノテクノロジーに関心のある専門家は、 WO_3 (ウートン)の多様な特性からインスピレーションを得て、国境を越えたイノベーションを推進することができます。

CTIA GROUP の専門家として、私たちは研究開発から工業化までのタングステン材料の複雑さをよく認識しています。この本は、30 年以上にわたる知識と技術の蓄積を凝縮するだけでなく、世界のタングステン業界の洞察を統合し、さまざまなバックグラウンドを持つ読者に実践的な知識と前向きなビジョンを読者に提供することを目指し、インテリジェント製造とグリーンテクノロジーにおける黄色酸化タングステンの新しい章を共同で推進します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第 1 章:はじめに

1.1 黄色酸化タングステンの定義と歴史

黄色酸化タングステンとは何ですか？

黄色酸化タングステン(三酸化タングステン、化学式 WO_3)は、タングステンと酸素で構成される無機化合物で、室温で明るい黄色の粉末形態にちなんで名付けられました。この色は、単斜晶系結晶構造のタングステン八面体の電子遷移特性によるもので、エネルギーバンドギャップは約 2.6~2.8 eV で、可視範囲で顕著な光学応答を示します。 WO_3 の分子量は 231.84 g/mol、密度は約 7.16 g/cm³、融点は最大 1473°C です。これは、強力な化学的安定性を有し、水や中性溶液に不溶ですが、強アルカリ性条件下でタングステン酸を形成するために溶解することができます。

WO_3 の発見と研究は 18 世紀末にさかのぼります。1781 年、スウェーデンの化学者カール・ヴィルヘルム・シェーラーは、タングステン酸ナトリウムの溶液を酸性化することにより、タングステン酸(H_2WO_4)を最初に分離し、これが WO_3 研究の出発点となりました。1783 年、スペインの兄弟フアン・ホセとファウスト・エルフヤルは、鉄マンガ重石からタングステンを抽出し、タングステン化合物の探査をさらに進めました。19 世紀初頭、産業革命の要求により、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WO₃はタングステン冶金の重要な中間体となりました。当時、WO₃は主にタングステン鉱石(鉄マンガン重石 FeMnWO₄や灰重石 CaWO₄など)を焙煎して調製され、その後、フィラメントや工具鋼の製造に使用されるタングステン金属に還元されました。19 世紀末、重量分析や分光分析などの化学分析技術の進歩により、科学者たちは WO₃の純度と触媒反応におけるその可能性に注目し始めました。

20 世紀以降、WO₃(ウートン)の研究は新たな局面を迎えました。X 線回折(XRD)技術の適用により、単斜晶系(最も一般的な)、六角形、正方晶、立方晶の各相を含む、さまざまな温度や雰囲気中で相互変換可能な多相構造が明らかになりました。例えば、500-700°C の空気中では、WO₃は通常、単斜晶系相では安定していますが、より高い温度(>900°C)では正方晶に変わることがあります。20 世紀半ばになると、WO₃は陶磁器やガラス産業で顔料として使われるようになり、その鮮やかな黄色は装飾素材のハイライトとなりました。20 世紀後半、ナノテクノロジーの台頭により、WO₃(ウォ)のオプトエレクトロニクス特性がさらに探求されました。例えば、エレクトロクロミック特性(黄色から青色まで)はスマートウィンドウの候補材料となり、光触媒特性は有機汚染物質の分解や水の光分解による水素生成などの環境修復への応用を推進しています。

今日、WO₃(ウォリウム)は世界中で年間数万トンが生産されており、主要なタングステン資源である中国(世界の埋蔵量の 60%以上を占める)が生産と応用を支配しています。伝統的な冶金学からハイテク分野まで、黄色酸化タングステンの歴史的進化は、タングステンと技術の進歩に対する人間の理解の深化を反映しています。このセクションの目的は、読者に WO₃の定義と歴史に関する包括的な背景を提供し、後続の章で WO₃の性質と応用を分析するための基礎を提供することです。

1.2 タングステン化合物のファミリーとその重要性

タングステン化合物のファミリーには、単純な酸化物から複雑な多酸化合物まで、タングステン用途の基礎を形成するさまざまな化学形態の物質が含まれます。黄色酸化タングステン(WO₃)は、ファミリーの中核メンバーであり、二酸化タングステン(WO₂)、タングステン酸(H₂WO₄)、パラタングステン酸アンモニウム(APT、(NH₄)₁₀[H₂W₁₂O₄₂]・4H₂O、メタタングステン酸アンモニウム(AMT、(NH₄)₆H₂W₁₂O₄₀・xH₂O)およびタングステンブロンズ(M_xWO₃、M は Na や K などのアルカリ金属)などの他の化合物と結合しています。タングステンのユニークな物理化学的特性(高融点(3422°C)、高密度(19.25 g/cm³)、優れた耐食性により、その化合物は産業や研究に不可欠です。

タングステン化合物の重要性は、最初に冶金学の分野に反映されています。WO₃は、水素還元(WO₃+ 3H₂→W + 3H₂O)によって調製できる高純度タングステン粉末の製造のための主要な原料であり、超硬合金(WC-Co など)、タングステン鋼、超合金の製造に広く使用されている 2-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

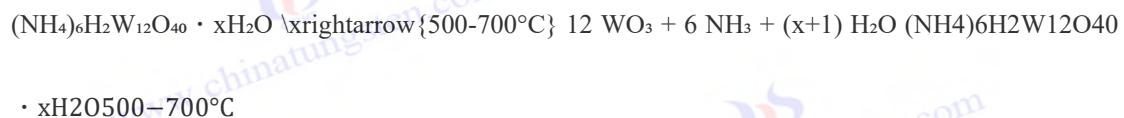
5 μ m の粒子サイズのタングステン粉末を製造することができます。これらの材料は、航空宇宙、自動車製造、機械加工の過酷な条件での性能要求をサポートします。例えば、タングステン合金は、その高密度のために航空機のカウンターウェイトおよび徹甲弾コアの製造に使用されている。第二に、タングステン酸およびポリ酸化化合物は、触媒作用の分野で重要な価値を有する。AMT および APT は、最大 10-20 m²/g の活性表面積を持つ石油化学産業における水素化分解、脱硫、脱窒用の WO₃触媒を調製するための前駆体として使用できます。さらに、タングステンブロンズは、その金属半導体特性により赤外線シールドコーティングに使用され、エネルギー効率の高い建物のエネルギー消費を削減します。

新エネルギーとハイテクの分野では、タングステン化合物の応用がさらに強調されています。WO₃は、リチウムイオン電池の負極材料として高い静電容量(600-750 mAh/g)、スーパーキャパシタで 250-350 F/g の比容量を示し、多孔質構造と高速イオン輸送能力による電気化学的性能を備えています。同時に、WO₃(ウートン)の光触媒特性は、可視光下でのメチレンブルーなどの染料の分解など、環境修復において光を放ちます。さらに、タングステン化合物の多様性は、光熱効果により癌治療研究に使用されている WO₃ナノ粒子など、生物医学的可能性に反映されています。

中国は、タングステン化合物の研究と生産において世界的な存在感を示しています。鉬石採掘から機能性材料開発までの産業チェーン全体のハブとして、WO₃は資源と製品をつなぐだけでなく、インテリジェントなアプリケーションの可能性も提供します。このセクションでは、タングステン化合物ファミリーの多様性と重要性を紹介することで、WO₃(世界円)の中核的な位置付けに焦点を当て、その後の応用分野についてさらに議論するための基礎を提供します。

1.3 黄色酸化タングステンとメタタングステン酸アンモニウムの関係

メタタングステン酸アンモニウム (AMT, (NH₄)₆H₂W₁₂O₄₀·xH₂O) を含む黄色酸化タングステン (WO₃) は、タングステン化合物の研究と応用における重要なリンクです。AMT は、ケギン型多酸化化合物に属する白色の結晶または粉末であり、その分子構造は、2つの水素原子の周りに 12 個のタングステン八面体によって形成され、分子量は約 2956.42g/mol(結晶水を含む)です。その高い水溶性(pH 5.5 で > 1000 g/L)と熱分解特性により、WO₃の調製に理想的な前駆体となっています。工業的には、AMT は、220~280°C でのタングステン酸アンモニウム溶液重合またはパラタングステン酸アンモニウム(APT)加熱変換、続いて 500~700°C で焙煎および WO₃への分解によって調製され、反応プロセスは次のとおりです。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

この変換プロセスには、プロセス上の大きな利点があります。AMT の分解生成物 WO_3 は 99.9% の高純度を達成し、焙煎条件(温度 550°C 、窒素雰囲気など)を調整することで、 WO_3 の結晶相(単斜晶系または六角形)と粒径($D50 \approx 4\text{--}10\mu\text{m}$)を制御することができます。実験室では、AMT の溶液特性により、水熱法による粒子サイズ $20\text{--}30\text{ nm}$ の WO_3 粒子や噴霧乾燥による均質な微粉化粉末($D50 \approx 4\text{--}5\mu\text{m}$)など、湿式化学法によるナノ WO_3 の調製に適しています。これらの特徴により、AMT は基礎研究から工業生産への重要な架け橋となっています。

WO_3 と AMT の関係は、プロセスだけでなく、応用分野にも及びます。例えば、AMT の熱分解によって得られる WO_3 は、高い比表面積や多孔性など、その前駆体の構造上の利点を保持しているため、光触媒に優れています(最大 $0.8\text{ mmol/h}\cdot\text{g}$)。エネルギー貯蔵では、AMT 由来の WO_3 電極はリチウム電池で最大 720mAh/g の容量を持ち、ガスセンサーでは、 WO_3 の NO_2 に対する検出感度は最大 10ppb です。中国の研究者は、マイクロ波を用いた AMT の合成(収率が 94.5%に向上)や WO_3 ナノファイバー(直径 $50\text{--}80\text{nm}$)を調製するためのエレクトロスピニングなど、この分野で実りある成果を上げており、高性能材料の開発に新たなアイデアをもたらしている。

また、AMT の製造や WO_3 の適用には、アンモニア態窒素回収技術(回収率 $>93\%$)などのグリーンプロセスの検討も含まれており、環境負荷の低減が図られています。この前駆体と製品との間の相乗的な関係は、タングステン化合物の原料から機能材料への変換ロジックを反映しています。このセクションでは、 WO_3 (酸化炭素)と AMT の間の化学的およびプロセス的関係を詳述することにより、その後の生産プロセスおよびアプリケーション分析の理論的サポートを提供します。

1.4 本の構成と内容の概要

この本は、黄色酸化タングステン(WO_3)の包括的な研究と応用のための体系的なガイドを提供するために、CTIA GROUP の専門家チームによって書かれました。本書は 10 章から構成され、理論的な深層と実践的なガイダンスの両方があり、 WO_3 の基礎科学、生産技術、応用シナリオ、および将来の動向を次のように網羅しています。

第 II 章から第 III 章

WO_3 (酸化黄金)の化学的および物理的特性とその結晶構造について、単斜晶系相の格子パラメータ、多相転移条件、ナノスケールの構造特性などについて深く考察します。

第四章 学科

AMT の熱分解から工業用焙煎法、実験室の水熱法まで、製造プロセスを紹介し、プロセスパラメータが純度と粒子サイズに与える影響を分析し、グリーン生産技術について話し合います。

チャプター5

化学組成測定(ICP-AES)、構造分析(XRD、FTIR)、トポグラフィー観察(SEM、TEM)などの詳細

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

な分析および特性評価技術は、研究と品質管理のためのツールを提供します。

チャプターVI

光触媒(水素の生成と分解)、エネルギー貯蔵(バッテリーとコンデンサ)、スマートマテリアル(エレクトロクロミック)、センサー、ナノテクノロジーにおける WO_3 (ゾウ₃)の応用を包括的に実証します。

第七章

AMT から WO_3 への熱分解経路に着目し、分解段階、相転移、速度論的パラメータを解析しました。

第八章

WO_3 の毒性、保管に関する推奨事項、環境への影響を、中国および国際基準で評価します。

チャプターIX

WO_3 (以下、 WO_3)の研究の歴史を振り返り、ナノシンセシスなどの現在のホットスポットをまとめ、グリーンテクノロジーと複合材料の未来に期待してください。

チャプターX

実用性を高めるために、工業生産の事例(大規模な焙煎プロセスなど)や実験室での実験ガイド(水熱合成など)を提供しています。

付録には、 WO_3 のデータシート、分析手順、特許リスト、中国および国際規格(YS/T 535-2006、ASTM B922-20 など)、国内規格(JIS、DIN、GOST)、および用語集が含まれています。参考文献は、グローバルな研究結果と中国の実務経験を統合しています。本書は、学術研究者が WO_3 (ウートン)の科学的性質を探究するのに適しているだけでなく、タングステン材料の分野での革新と開発を促進することを目的とした、業界の実務家に技術的な参考資料を提供します。

参照

ラスナー、E.、およびシューベルト、W.-D.(1999). タングステン: 特性、化学、元素、合金、および化合物の技術。スプリングー。

李紅貴。(2005). タングステン冶金学。セントラルサウス大学出版社。

張奇雲。(2010). タングステンの化学と技術。冶金業界プレス。

ポーブ、MT、およびミュラー、A.(1994). ポリオキシメタレート: プラトン固体から抗レトロウイルス活性まで。スプリングー。

クリスチャン、JB、およびウィッティンガム、MS(2008)。メタタングステン酸アンモニウムの構造研究。ジャーナルオブソリッドステートケミストリー。

張麗華。(2020). メタタングステン酸アンモニウムのマイクロ波支援合成のためのプロセス最適化。化学産業の進歩。

チェン・シャオホン。(2020). イオン交換法による高純度メタタングステン酸アンモニウムの調製。「レアメタル」。

劉陽。(2020). メタタングステン酸アンモニウムの熱分解挙動と生成物分析。無機化学ジャーナル。

Sigma-Aldrich WO_3 製品仕様 (2023).

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

国際タングステン工業会(ITIA)。(2023). 世界のタングステン産業の見通し 2030。

CTIA グループ

三酸化タングステン(黄色タングステン、 WO_3 、黄色三酸化タングステン、YTO)はじめに

1.三酸化タングステンの概要

CTIA グループの三酸化タングステン(黄色のタングステン、 WO_3 と呼ばれる)は、GB/T 3457-2013 "酸化タングステン"ファーストクラスの製品の要件を満たすパラタングステン酸アンモニウム高温焼成プロセスによって生成されます。黄色のタングstenは、その淡黄色の結晶粉末の形態、高純度および化学的安定性のために、タングsten粉末、超硬合金、タングstenワイヤおよびセラミック着色剤の調製に広く使用されています。CTIA GROUP は、粉末冶金および工業製造のニーズを満たすために、高品質の黄色タングsten製品を提供することに取り組んでいます。

2. 三酸化タングステンの特性

化学組成: WO_3 。

純度: $\geq 99.95\%$ で、不純物含有量が非常に少ない。

外観:淡黄色の結晶粉末、均一な色。

多形:単斜晶系(室温で最も一般的)、空間群 $P2_1/n$ 。

高い安定性:空気中で安定しており、水やフッ化水素酸を除く無機酸に不溶です。

反応性:水素($>650^\circ\text{C}$)または炭素($1000-1100^\circ\text{C}$)によってタングsten粉末に還元できます。

均一性:粒子分布が均一で、下流の処理に適しています。

3.三酸化タングステンの仕様

インデックス	CTIA GROUP イエロータングsten 1 級標準
WO_3 含有量(wt%)	≥ 99.95
不純物(wt%,max.)	$\text{Fe} \leq 0.0010$ 、 $\text{Mo} \leq 0.0020$ 、 $\text{Si} \leq 0.0010$ 、 $\text{Al} \leq 0.0005$ 、 $\text{Ca} \leq 0.0010$ 、 $\text{Mg} \leq 0.0005$ 、 $\text{K} \leq 0.0010$ 、 $\text{Na} \leq 0.0010$ 、 $\text{S} \leq 0.0005$ 、 $\text{P} \leq 0.0005$
水分(wt%)	$0 \leq 0.05$
粒子サイズ	$1-10(\mu\text{m}, \text{FSSS})$

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

インデックス	CTIA GROUP イエロータングステン 1 級標準
密度が緩い	2.0-2.5(グラム/cm ³)
カスタマイズ	粒子サイズまたは不純物の制限は、顧客の要件に応じてカスタマイズできます

4.三酸化タングステンの包装と保証

パッキング:内側の密封されたビニール袋、外側の鉄ドラムまたは織物袋、正味重量 50kg または 100kg、防湿設計。

保証:各バッチには、WO₃含有量、不純物分析、粒子サイズ(FSSS 法)、ルース密度、水分データを含む品質証明書が付属しています。

5. 三酸化タングステン調達情報

メールボックス:sales@chinatungsten.com 電話:+86 592 5129696

タングステンイエローの詳細については、Chinatungsten Online の Web サイトをご覧ください
www.tungsten-powder.com



第 2 章:化学的および物理的性質

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

2.1 黄色酸化タングステン(三酸化タングステン、 WO_3)の化学組成と分子式(WO_3)。

黄色酸化タングステン(三酸化タングステン、 WO_3 と略される) は、タングステン(W)と酸素(O)の2つの元素からなる無機化合物であり、その化学式 WO_3 は、タングステンが+6 酸化状態にあることを示しています。各 WO_3 分子には、1つのタングステン原子と3つの酸素原子が含まれており、総モル質量は 231.84 g/mol で、そのうちタングステンの質量分率は約 79.31% (183.84 g/mol)、酸素の質量分率は約 20.69% (48 g/mol)です。この比率は、高温でタングステン金属に還元された WO_3 サンプルの秤量などの従来の重量測定法や、誘導結合プラズマ発光分光法(ICP-AES)などの最新の機器を使用した元素含有量の直接分析によって正確に決定できます。工業グレードの WO_3 の純度は通常 99.5% 以上である必要がありますが、高純度のサンプル(半導体や光触媒の研究など)では $99.9\% \sim 99.99\%$ に達することがあり、一般的な不純物には鉄($\text{Fe} < 0.005\%$)、モリブデン($\text{Mo} < 0.003\%$)、ナトリウム($\text{Na} < 0.001\%$)などがあり、これらの微量元素の制御は特定の用途にとって重要です。

WO_3 の化学組成は、その分子構造と密接に関連しています。単斜晶系結晶システム(最も一般的な結晶相)では、 WO_3 の基本的な構成要素はタングステン酸素八面体(WO_6)であり、各タングステン原子は6つの酸素原子によって配位され、酸素原子は同角または共側結合によって接続されて3次元ネットワーク構造を形成します。この構造のわずかな歪みにより、異なる結晶軸での屈折率の違いなど、 WO_3 の異なる方向の異方性光学的および電気的特性が生じます($n_a \approx 2.2$, $n_b \approx 2.3$)。W-O結合は部分的に共有結合であり、結合長は酸素原子(末端酸素または架橋酸素)の配位環境に応じて $1.8 \sim 2.1 \text{ \AA}$ の範囲です。X線光電子分光法(XPS)分析により、W 4fの結合エネルギーは約 $35.5 \sim 36.0 \text{ eV}$ 、O 1sの結合エネルギーは約 530.5 eV であり、W-O結合の電子雲密度が高く、その平均結合エネルギーは約 672 kJ/mol であることを示しています。この高い結合により、 WO_3 は強力な化学的安定性を得るため、酸性または中性の環境で分解しにくくなりますが、強アルカリ性条件下では化学的に変化します。

WO_3 の化学組成は、その用途に大きな影響を与えます。触媒の分野では、タングステンの+6酸化状態は、例えば、光触媒反応では、 WO_3 は、酸素を生成するために水分子の酸化を促進する電子受容体として作用し、タングステンの+6酸化状態は、それに強力な酸化能力を与える。電池材料の中でも、 WO_3 の安定な構造はリチウムイオン(Li^+)の繰り返しの挿入と放出をサポートし、理論容量は最大 693 mAh/g です。さらに、 WO_3 の化学組成は、メタタングステン酸アンモニウム(AMT)の熱分解による WO_3 の形成など、前駆体との関係も決定します。これは、タングステン-酸素ユニットの基本フレームワークを保持します。このセクションでは、 WO_3 の化学組成と分子式を詳細に説明することにより、その後の物理的および化学的特性の分析のための理論的基礎を提供します。

2.2 黄色酸化タングステン(三酸化タングステン、略して WO_3)(黄色の粉末)の物理的形態と外観。

黄色の酸化タングستنは、室温および圧力で固体の形で存在し、通常は微粒子または粉末状

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

の物質として存在し、その外観は明るい黄色からオレンジイエローです。この色は、その電子構造のバンドギャップ(エネルギーバンドギャップは約 2.6~2.8 eV)に由来し、これは 400~480 nm の吸収スペクトルの可視範囲に対応し、自然光の下で独特の黄色の特徴を与えます。紫外可視分光法(UV-Vis)分析により、WO₃の吸収ピークは通常 450nm 付近に位置し、その色強度は粒径と表面欠陥と密接に関連しています。例えば、ナノスケールの WO₃(粒径<50nm)は量子サイズの影響によりわずかにオレンジ色になることがあります、マイクロスケールの WO₃(粒径 5~10μm)は純粋な黄色に近いです。

WO₃(ウオリウム)の物理的形態は、その調製プロセスと密接に関連しています。メタタングステン酸アンモニウム(AMT)を 500~700°C で焙煎・分解して調製した WO₃は、通常、粒度分布(D50)が 4~10μm のミクロンサイズの粒子で、顕微鏡下では表面が滑らかな不規則な多角形として現れます。この形態の WO₃は、タングステン粉末の製造やセラミック添加剤に適しています。対照的に、水熱法またはソルボサーマル法で調製された WO₃は、20~50 nm の粒子サイズと、球状、ロッド、シートなどのさまざまな形態を持つナノ粒子を形成することができ、表面粗さが増加し、比表面積が最大 30~50 m²/g です。また、噴霧乾燥法(入口温度 200°C、出口 80°C)では、粒度均一性が 20%向上し、D50 が約 4~5μm の球状 WO₃微粉体を得られます。これは、薄膜形成や触媒担体に一般的に使用されます。

WO₃の色と形態は、特定の条件下で変化する可能性があります。水素還元や紫外線を照射すると、WO₃はエレクトロクロミック特性の基礎となる酸素欠損(WO_{3-x}, x<0.1)が形成されるため、青色または緑色に変わります。例えば、電気化学システムに-1.0V の電圧を印加すると、WO₃を H⁺または Li⁺に埋め込んで H_xWO₃または Li_xWO₃を形成することができ、黄色から濃い青色に色を変えることができますが、このプロセスは 10~20 秒で完了し、90%以上可逆的です。

走査型電子顕微鏡(SEM)で観察すると、青色 WO₃の表面欠陥密度が増加し、粒界がより顕著になりました。また、高温焙煎(>900°C)により WO₃が部分的に昇華し、わずかにかすんだ外観の微細なエアロゾル粒子が形成されることがあります。

物理的な形状と外観は、WO₃の適用に直接影響します。ミクロンスケールの WO₃粉末は、その大きな粒子サイズと良好な流動性により、工業規模のタングステン粉末の還元または顔料調製に適しています。ナノスケールの WO₃は、その高い比表面積と豊富な活性部位により、光触媒(メチレンブルーの分解、効率>90%)やガスセンサー(NO₂検出、感度 10ppb)により適しています。このセクションでは、WO₃の物理的および外観的变化を詳細に説明し、その形態学的多様性とさまざまな分野での応用の可能性を明らかにします。

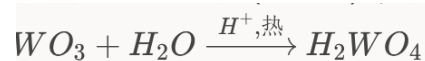
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.3 黄色酸化タングステン(三酸化タングステン、WO₃)の溶解度と化学的安定性。

黄色の酸化タングステン(三酸化タングステン、WO₃と略される)は、水、酸、アルカリで作用します

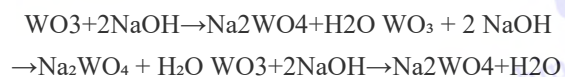
黄色酸化タングステンの溶解度は非常に低く、純水では室温で 0.02 g / 100 mL(約 0.0009 mol / L、25°C)未満であり、60°C で 0.03 g / 100 mL にわずかに上昇します。この溶解性が低いのは、その安定した格子構造と高い W-O 結合エネルギー(672 kJ/mol)によるもので、WO₃は中性水溶液(pH 6-7)に実質的に溶解または分解することができます。溶解度積(K_{sp})は、溶解度実験によって決定されるように約 10⁻¹²であり、水への溶解速度が非常に遅いことを示しています。pH 4-5 の酢酸緩衝液などの弱酸性溶液でも、WO₃は安定しており、24 時間で質量損失は 0.1%未満です。

強酸性条件下では、WO₃の挙動は変化します。濃硝酸(HNO₃、65%)または濃塩酸(HCl、37%)では、WO₃は次のようにゆっくりと反応してタングステン酸(H₂WO₄)を生成することができます: WO₃ + H₂O → H⁺ + ホット H₂WO₄ WO₃ + H₂O ⇌ {H⁺、ホット} H₂WO₄ WO₃ + H₂OH + ホット



このプロセスは通常、80~100°C で数時間加熱され、例えば 1 mol/L HNO₃では、WO₃の溶解速度は約 0.01 g/h·cm²です。この酸に対する耐性により、石油脱硫などの酸性触媒環境で優れています。しかし、50%以上の硫酸(H₂SO₄)を超える濃度では、微量の可溶性硫酸タングステン錯体(例えば、[WO₂(SO₄)₂]²⁻)が形成されることがありますが、溶解量はまだ 0.5g/L 未満です。

アルカリ性環境では、WO₃の化学的安定性は著しく低下します。強塩基(NaOH、KOH など)と迅速に反応し、可溶性タングステン酸を生成します。



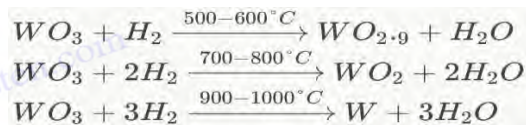
1 mol/L NaOH 溶液中、WO₃の溶解速度は室温で 0.1 g/min·cm²に達することがあり、80°C に加熱するとほぼ瞬時に反応し、溶液は透明で透明です。紫外分光法では、Na₂WO₄の特徴的な吸収ピークが 210-230nm に現れます。このアルカリ性溶解性により、WO₃(ゾウ)はタングステン酸の工業生産の原料として使用することができますが、貯蔵中や塗布中、例えば pH>10 の環境では、WO₃(ゾウ)粉末の表面が数時間以内に大幅に侵食される可能性があるため、アルカリ性物質への曝露を避ける必要があります。

黄色酸化タングステン(三酸化タングステン、WO₃)の酸化還元特性。

WO₃は、タングステンの+6 酸化状態を化学的または電気化学的に低い状態(+5、+4 など)に還元できるため、大きな酸化還元特性を持っています。水素雰囲気では、WO₃を段階的に還元することができます: WO₃ + H₂ → 500-600°C WO_{2.9} + H₂O WO₃ + H₂

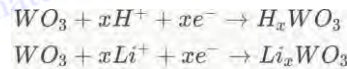
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

→{500-600°C} WO_{2.9} + H₂O WO₃+H₂500-600°C



還元プロセス中に、WO₃の色は黄色から青紫色(WO_{2.9})に変わります。9)、茶褐色(WO₂)、そして最後に金属タングステン粉末を形成します。熱重量分析(TG)により、WO_{2.9}酸素損失は約3%〜5%であり、これは酸素欠陥の形成に対応します。この段階的な還元特性は、例えば950°C、1L/minの流速で、WO₃を含むタングステン粉末を調製するための工業的基盤であり、WO₃は2時間で2〜3μmの粒子サイズのタングステン粉末に完全に変換されます。

WO₃の電気化学的還元能力は、オプトエレクトロニクスアプリケーションにおいて特に重要です。エレクトロクロミックシステムでは、負の電圧(例:-1.0V対Ag/AgCl)を印加して着色状態を形成することにより、WO₃を陽イオンに埋め込むことができます。



H_xWO₃またはLi_xWO₃の色は紺色で、透過率は80%から10%未満に低下し、応答時間は約10〜15秒です。その酸化還元電位は、サイクリックボルタンメトリー(CV)によって決定されるように、-0.2V〜+0.8Vの間であり、5000サイクル以上のサイクル安定性があります。この可逆性により、WO₃はスマートウィンドウやディスプレイに理想的な素材となっています。また、光触媒では、WO₃が電子受容体として作用し、TiO₂と結合すると、その光生成電子移動効率が30%向上し、水素製造効率が大幅に向上します。

このセクションでは、WO₃(ウオリウム)の水、酸、アルカリ中での溶解挙動と酸化還元特性について説明し、触媒、エネルギー、その他の分野での応用の基礎となる化学的安定性と反応性を明らかにします。

2.4 黄色酸化タングステン(三酸化タングステン、WO₃)の密度、融点、沸点。

黄色酸化タングステンの密度は、結晶相および調製条件によって異なります。単斜晶系相WO₃の理論密度は7.16 g/cm³で、X線デンストメトリー(格子パラメータa=7.306 Å、b=7.540 Å、c=7.692 Å計算に基づく)によって決定されます。六方晶WO₃は、結晶構造が緩い(a=7.298 Å、c=3.899 Å)ため、密度が約6.8-7.0 g/cm³とわずかに低くなっています。)。ナノスケールのWO₃の多孔性が高いため、見掛け密度は5.0〜6.0 g/cm³に低下する可能性があります。これは、水熱法で合成されたWO₃ナノ粒子のように、かさ密度がわずかに4.8 g/cm³です。密度差は、その結晶構造のコンパクトさに直接関係しており、単斜晶系相のねじれた八面体配置はそれをより高密度にし、六角形相のチャンネル構造はボイドを増加させます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WO₃(ウオリウム)の融点は通常 1473°C(1700 K)と報告されていますが、実際の熱挙動はより複雑です。約 1200-1300°C で WO₃は昇華し始め、直接融解する代わりにガス状の WO₃またはオリゴマー(W₃O₉、W₆O₁₈など)を形成します。昇華速度は大気の影響を受け、酸素中(分圧 0.2 気圧)、昇華温度は約 1350°C、質量損失率は約 0.05g/分・cm²です。真空(10⁻³Pa)または不活性雰囲気(Ar など)では、昇華が加速し、温度は 1250°C に低下します。示差熱解析(DTA)により、昇華エンタルピーは約 350-400 kJ/mol です。WO₃の沸点は高温で分解または揮発するため精密に求めることが難しく、昇華点 1700°C(約 1973K)が文献の参考値としてよく用いられます。これらの熱物性は、WO₃(酸化炭素)のアプリケーションにとって重要です。セラミック焼結(1000-1200°C)では、WO₃は添加剤として安定しています。高温(例えば 1500°C)でのタングステン粉末の還元では、その昇華特性は雰囲気制御によって抑制される必要があります。例えば、H₂-O₂混合物では、WO₃の揮発損失を 50%低減することができます。ここでは、WO₃(ウートン)の高温処理と応用を支えるデータとして、その密度、融点、昇華挙動を詳細に解説します。

2.5 黄色酸化タングステン(三酸化タングステン、WO₃)の熱力学データ(エンタルピー、エントロピー、比熱容量)。

黄色酸化タングステンの熱力学データは、その熱安定性と処理挙動を理解するための鍵です。標準生成エンタルピー(ΔH_f°)は -842.9 kJ/mol(298 K, 1 atm)であり、その形成過程が発熱反応であり、酸素の強い親和性に関連していることを示しています。標準エントロピー (S°) は 75.9 J/(mol·K)は、単斜晶系相結晶構造の低次数を反映しており、八面体の歪みによりエントロピー値は理想的な立方体構造よりもわずかに高くなります(例: $S^\circ \approx 70$ J/(mol·K))。ギブス自由エネルギー(ΔG_f°)は -764.1 kJ/mol であり、負の値は室温での熱力学的安定性を確認します。熱力学計算によると、WO₃は 1000K 未満では自発分解しにくいですが、1500K を超えると昇華反応の $\Delta G(WO_3(s) \rightarrow WO_3(g))$ が正になり、外部エネルギーによって駆動されます。

WO₃の比熱容量(C_p)は温度によって異なり、0.31 J/(g·K) または 71.9 J/(mol·K) に増加し、0.35 J/(g·K)、約 0.40 J/(g·K)。これらのデータは、示差走査熱量測定(DSC)によって測定され、誤差は 5%未満で、WO₃が高温で低い熱容量を維持していることを示しています。例えば、800°C(1073K)での焙煎工程では、1kg の WO₃の加熱熱は約 400kJ となり、熱管理設計に適しています。WO₃の熱伝導率は 298 K で 1.6-2.0 W/(m·K)と低く、温度とともにわずかに増加し、1000 K で約 2.5 W/(m·K)になります。この低い熱伝導率は、格子振動の伝達が限られていることに起因しており、熱損失を最大 15%削減する高温炉ライニング添加剤などの断熱材への応用が期待できます。

熱力学データは、エネルギーセクターにおける WO₃アプリケーションの分析もサポートします。リチウム電池では、WO₃のエンタルピー変化($\Delta H \approx -50$ kJ/mol Li⁺)は、Li⁺に埋め込まれるプロセスが発熱性であることを示しており、過熱を避けるために熱管理を考慮する必要があります。光触媒では、その低いエントロピー値は、表面活性部位の安定性を維持するのに役立ちます。このセクションでは、WO₃の熱挙動とその応用への影響を、そのエンタルピー、エント

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ロピー、および比熱容量を定量化することにより明らかにします。

2.6 黄色酸化タングステン(三酸化タングステン、 WO_3)と他の形態の酸化タングステンとの比較

タングステンの酸化物ファミリーには、 WO_3 、 WO_2 、および $\text{WO}_{2.9}$ 、 $\text{WO}_{2.72}$ などの中間酸化物が含まれ、これらは化学組成、構造、物理的特性、および用途が大きく異なります。 WO_3 は黄色、タングステンは+6の酸化状態にあり、単斜晶系の相構造($a=7.306 \text{ \AA}$ 、 $b=7.540 \text{ \AA}$ 、 $c=7.692 \text{ \AA}$ 、 β)です。 $\beta=90.91^\circ$ で、密度は 7.16 g/cm^3 、エネルギーバンドギャップは $2.6\sim 2.8 \text{ eV}$ です。

その結晶格子は WO_6 八面体で構成され、光学的透明性(光透過率 $>80\%$)とエレクトロクロミック特性(可逆的な色変化)を示します。 WO_2 は茶色がかった黒色で、タングステンは+4の酸化状態にあり、正方晶構造($a=4.86 \text{ \AA}$ 、 $c=5.66 \text{ \AA}$)、密度 10.8 g/cm^3 、エネルギーバンドギャップ約 1.3 eV 、その構造内の酸素欠陥の数が少ないため、高い電気伝導率(抵抗率 $\approx 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$)を示します。

$\text{WO}_{2.9}$ (タングステン酸化状態+5.8)などの酸化物は青紫色で、 WO_3 と WO_2 の間の構造、単斜晶系または非晶質形態、および高い比表面積($20\sim 30 \text{ m}^2/\text{g}$)を有する。 $\text{WO}_{2.72}$ (+5.44 酸化状態)は、色が濃く、構造が WO_2 に近いですが、 WO_3 の特性の一部を保持しています。X線回折(XRD)により、 $\text{WO}_{2.9}$ の主な回折ピークは $2\theta=23.1^\circ$ 、 WO_2 $2\theta=37.8^\circ$ 、 WO_3 $2\theta=23.6^\circ$ および 24.4° であり、格子パラメータの違いを反映しています。 WO_3 は WO_2 や酸化物よりも化学的に安定しており、 $1 \text{ mol/L H}_2\text{SO}_4$ などの酸性溶液では、 WO_3 は WO_2 の $1/10$ でしか溶解しません。熱安定性の面では、 WO_3 は 1200°C 未満で安定しており、 WO_2 は 600°C 以上で WO_3 に酸化されやすく、 $\text{WO}_{2.9}$ は $400\sim 500^\circ\text{C}$ で分解を開始します。

アプリケーションに関しては、 WO_3 は、その広いエネルギーバンドギャップと酸化還元特性により、光触媒(水素製造効率 $0.8 \text{ mmol/h} \cdot \text{g}$)、エレクトロクロミック(インテリジェントウィンドウ透過率調整)、およびバッテリー(容量 $600\sim 750 \text{ mAh/g}$)で広く使用されています。 WO_2 (酸化炭素)は、電気化学的還元など、最大 100 mA/cm^2 の電流密度を達成できる電気化学的還元など、高い導電性を持つため、電極材料やタングステン粉末前駆体により適しています。 $\text{WO}_{2.9}$ および $\text{WO}_{2.72}$ CO 酸化反応など、比表面積が大きい触媒で優れた性能を発揮し、変換率は WO_3 よりも 20% 高くなります。このセクションでは、 WO_3 (酸化タングステン)と他の形態の酸化タングステンとの特性の違いを比較することにより、そのユニークな利点とアプリケーションの位置付けに焦点を当てます。

参照

ラスナー、E.、およびシューベルト、W.-D.(1999). タングステン: 特性、化学、技術。スプリンガー。

張奇雲。(2010). タングステンの化学と技術。冶金業界プレス。

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

ポーブ、MT、およびミュラー、A.(1994)。ポリオキソメタレート。スプリンガー。

劉陽。(2020)。メタタングステン酸アンモニウムの熱分解挙動と生成物分析。無機化学ジャーナル。

デブ、SK(2008)。エレクトロクロミックアプリケーションのための WO_3 の科学技術における機会と課題。太陽エネルギー材料と太陽電池。

Wang, J., et al. (2015). エネルギー貯蔵のための三酸化タングステンナノ構造。 *Journal of Materials Chemistry A*.

工藤 T., et al. (1999). 酸化タングステン膜のエレクトロクロミック特性。ソリッドステートイオニクス。

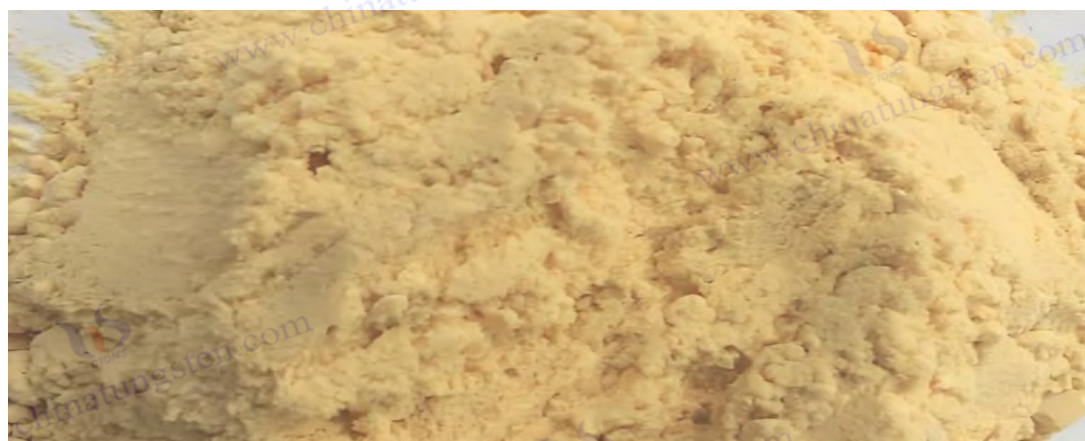
李明。(2021)。 WO_3 ナノ粒子の調製におけるメタタングステン酸アンモニウムの応用。材料レポート。

CRC Handbook of Chemistry and Physics (2023 年) (英語) 第 104 版。

Sigma-Aldrich WO_3 製品仕様 (2023)。

Zhang, Y., et al. (2023). エネルギー応用における WO_3 の熱力学的特性。 *Journal of Physical Chemistry C*.

国際タングステン工業会(ITIA)。(2023)。世界のタングステン産業の見通し 2030。



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

第3章:結晶構造と結晶相

3.1 黄色酸化タングステン(WO_3)の単斜晶系構造(最も一般的な相)。

黄色酸化タングステン(WO_3)の格子パラメータと空間基。

室温および圧力での黄色酸化タングステン(WO_3)の最も一般的な結晶相は単斜晶系結晶システムであり、その安定性により天然鉱物、工業製品、および実験室の合成サンプルに広く見られます。単斜晶系相 WO_3 の結晶構造は、タングステン酸素八面体(WO_6)で構成されており、各タングステン原子は八面体の中心に位置し、6つの酸素原子によって配位されており、これらは同角(W-O-W)または共通の側面によって接続されて3次元ネットワークを形成します。この構造は、八面体のわずかな歪みを特徴とし、その結果、格子が異なる方向に異方性になります。単斜晶系の空間群は $\text{P2}_1/\text{n}$ (国際番号 14) であり、単斜晶系に属する点群 $2/\text{m}$ は中心対称である。格子パラメータは高分解能 X 線回折(XRD)によって決定され、通常は $a = 7.306 \text{ \AA}$ 、 $b = 7.540 \text{ \AA}$ 、 $c = 7.692 \text{ \AA}$ 、軸角 $\beta = 90.91^\circ$ です。これらのパラメータは、例えば 25°C で、文献によると、 a 軸は $7.301\text{-}7.310 \text{ \AA}$ 、 b 軸は $7.535\text{-}7.545 \text{ \AA}$ 、 c 軸は $7.688\text{-}7.696 \text{ \AA}$ 、 β 角は $90.88^\circ\text{-}90.93^\circ$ の間で変動し、違いは主にサンプル中の温度、圧力、または微量不純物の影響によるものです。

単斜晶系期の単位細胞には 8 つの WO_3 分子が含まれており、単位細胞体積は約 $423.5 \text{ \AA}^3$ 、計算された密度は 7.16 g/cm^3 であり、これは実験的に測定された見かけの密度($7.14\text{-}7.18 \text{ g/cm}^3$)と非常に一致しています。結晶中の W-O 結合の長さは配位環境によって異なり、末端酸素結合(W=O)が約 $1.82\text{-}1.85 \text{ \AA}$ と短く、架橋酸素結合(W-O-W)が約 $2.03\text{-}2.10 \text{ \AA}$ と長いので、中性子回折と拡張 X 線吸収微細構造(EXAFS)解析により、この結合長の差が確認されました。結合長の不均一性は八面体の歪みを招き、単斜晶系位相 WO_3 は光学特性に偏光効果を示します。例えば、屈折率は a 軸方向に約 2.20、 b 軸方向に約 2.25、 c 軸方向に約 2.30 です。また、バンドギャップ($2.6\text{-}2.8 \text{ eV}$)は理想的な対称構造(3 次相など)よりもわずかに低く、これは格子歪みによる状態の電子密度の変化に関連しています。

単斜晶系相の安定性は、室温から約 350°C まで一定のままである WO_3 の「デフォルト」構造になります。例えば、メタタングステン酸アンモニウム(AMT)を $500\text{-}600^\circ\text{C}$ で焙煎して調製した WO_3 は、通常、冷却後に $4\text{-}10 \mu\text{m}$ の粒径で単斜晶系相に存在します。この構造の安定性は、ギブス自由エネルギーが低い($\Delta G_f^\circ = -764.1 \text{ kJ/mol}$)ため、エレクトロクロミック、光触媒などのさまざまな用途で有利です。フーリエ変換赤外分光法(FTIR)により、単斜晶系相 WO_3 の W-O 伸縮振動ピークが $700\text{-}950 \text{ cm}^{-1}$ に現れ、その構造特性がさらに確認されました。

黄色酸化タングステン(WO_3)の X 線回折(XRD)特性。

単斜晶系相 WO_3 の結晶構造は、X 線回折(XRD)によって正確に特徴付けられ、その相状態を確認する主要な手段です。標準的な実験条件下では、 $\text{Cu K}\alpha$ 放射(波長 $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$)を用いた単斜晶系相 WO_3 の XRD スペクトルは、いくつかの特徴的な回折ピークを示し、 $2\theta = 23.1^\circ$ 、 23.6° 、 24.4° に 3 つの最も強いピークのセットが現れ、それぞれ(002)、(020)、および(200)結晶面に対

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

応し、相対強度比は約 1:0.9:0.8 でした。これらのピークの半値幅(FWHM)は通常 0.2° 未満であり、マイクロメートルサイズの WO_3 を約 0.15° の FWHM で焙煎して調製するなど、結晶化度が高いことを示していますが、水熱法で調製したナノスケールの WO_3 (粒子サイズ 20-30nm) は、粒径の減少を反映して 0.25° にわずかに増加し、ピークが広がることを示しています。

2 番目に強いピークは、 $2\theta = 33.3^\circ$ ((202) 平面)、 34.2° ((220) 平面)、および 47.3° ((222) 平面) で発生し、メインピークよりも強度が 30%~50% 低いですが、結晶化度の高いサンプルでははっきりと識別できます。ブラッグ方程式 ($n\lambda = 2d \sin\theta$) は、平面間隔 d が (002) 平面で $3.85 \text{ \AA}$ 、(020) 平面で $\approx 3.77 \text{ \AA}$ 、(200) 平面で $\approx 3.65 \text{ \AA}$ であり、これは格子パラメータと一致することを示しています。シェラー方程式 ($D = K\lambda / \beta \cos\theta$, $K = 0.9$) は、粒径(例えば、 $2\theta = 23.6^\circ$ のピークに対して $\beta = 0.15^\circ$) を推定し、透過型電子顕微鏡(TEM)の結果と一致する約 50nm の粒径を計算します。

XRD パターンは、単斜晶系の微視的变化を反映することもあります。熱処理中($300\text{--}400^\circ\text{C}$)、熱膨張の影響による格子パラメータ A および C の増加により、(002)ピークは約 0.1° のオフセットで 23.0° までの低角度にシフトすることがあります(約 1.2×10^{-5} 。 K^{-1})。サンプルに微量の不純物(例えば、 $< 0.5\%$ の濃度の Na^+ または Fe^{3+})が含まれている場合、回折ピークは広がったりわずかにシフトしたりすることがあります(例えば、(200)ピークは 24.5° にシフトし、強度は 10%~15% 減少し、格子応力または欠陥の存在を示します。また、リートベルト精緻化解析により、単斜晶系相(4e の W、4e および 8f の O)の原子占有率が 0.01 の精度となり、その構造的完全性がさらに検証されました。このセクションでは、単斜晶系 WO_3 の構造特性とさまざまな条件下での安定性を明らかにするための格子パラメータと XRD 特徴について詳しく説明します。

3.2 黄色酸化タングステン(WO_3)の他の結晶相(六角形、正方晶、立方晶)。

黄色酸化タングステン(WO_3)の相転移条件と温度の依存性。

WO_3 の結晶構造は、単斜晶系相に限らず、六方晶系、正方晶、立方晶の各相を含み、その形成は温度、雰囲気、圧力、および調製条件と密接に関連しており、大きな熱力学および速度論的特性を持っています。六方晶相 WO_3 (空間群 $P6/mmm$, No.191) は $350\text{--}500^\circ\text{C}$ の範囲で安定しており、格子パラメータは $a = 7.298 \text{ \AA}$ 、 $c = 3.899 \text{ \AA}$ 、単位セル体積は約 $179.8 \text{ \AA}^3$ 、理論密度は $6.87\text{--}6.90 \text{ g/cm}^3$ です。六方晶相は、 c 軸に沿った開いた六方晶チャンネルの形成によって構造的に特徴付けられ、各チャンネルの直径は約 $3.5 \text{ \AA}$ で、イオン(Li^+ 、 NH_4^+ 、 H^+ など)のインターカレーションに適しています。この構造は、多くの場合、不活性雰囲気(例えば、 $0.5\text{--}1 \text{ L/min}$ の流量で N_2 または Ar)で、例えば 450°C で 4 時間、最大 95% の六角形の相含有量でメタタングステン酸アンモニウム(AMT)を分解することによって調製されます。XRD パターンは、 $2\theta = 13.9^\circ$ ((100) 平面)、 22.8° ((110) 平面)、および 28.2° ((200) 平面) に特徴的なピークを示し、粒径は通常 $30\text{--}100 \text{ nm}$ の範囲、比表面積は約 $20\text{--}30 \text{ m}^2/\text{g}$ です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

正方晶相 WO_3 (空間群 $P4/nmm$, no.129)は、より高い温度(740-900°C)で形成され、格子パラメータは $a = 5.272 \text{ \AA}$ 、 $c = 3.917 \text{ \AA}$ 、単位セル体積は約 $108.9 \text{ \AA}^3$ 、密度は $7.20\text{-}7.25 \text{ g/cm}^3$ です。その構造は、 c 軸に沿って配置された規則的な WO_6 八面体で構成され、より狭い通路(直径約 $2.8 \text{ \AA}$)を形成し、イオン拡散能力は六角形の位相よりも低くなっています。正方晶相の XRD 特性ピークは、 $2\theta=22.8^\circ((110)\text{面})$ 、 $32.5^\circ((200)\text{面})$ 、 $46.7^\circ((220)\text{面})$ で、シャープなピーク形状で、FWHM は約 $0.1^\circ\text{-}0.15^\circ$ です。正方晶相は通常、酸化性雰囲気(例えば、 $0.2\text{-}1$ 気圧の分圧を持つ空気または O_2)での高温での単斜晶系相の変換によって形成され、例えば 800°C で 2 時間、単斜晶系相は $90\%\text{-}95\%$ の変換率と約 $15\text{-}20 \text{ kJ/mol}$ の変換エンタルピー(示差走査熱量測定 DSC によって決定される)で正方晶相に完全に変換することができます。

立方晶相 WO_3 (空間群 $Pm\text{-}3m$, No.221)は自然条件下で非常に不安定であり、 $>900^\circ\text{C}$ や高圧 $10\text{-}20\text{GPa}$ などの極端な条件下で短時間しか発生しません。その格子パラメータは約 $3.81 \text{ \AA}$ で、単位セルの体積は約 $55.3 \text{ \AA}^3$ で、密度は約 7.30 g/cm^3 です。3 次相は、明確なチャンネル構造を持たない非常に対称な WO_6 八面体で構成されており、XRD パターンは、 $2\theta = 23.5^\circ((100)\text{平面})$ に単一の強いピークと、非常に低い強度の他のピーク(たとえば、 $33.3^\circ(110)\text{平面})$ を示しています。対称性が高いため、立方晶相のエネルギーバンドギャップはわずかに高くなります(約 2.9 eV) が、熱力学的不安定性のため、通常は冷却後に正方晶または単斜晶系に急速に変化します。たとえば、 950°C の真空では、立方晶相は 5~10 分以内に形成されますが、 700°C に冷却すると消失します。

WO_3 の相転移条件は、大きな温度依存性を示します。単斜晶系相は $<350^\circ\text{C}$ で安定しており、 400°C まで温度上昇すると、一部の粒子(約 $20\%\text{-}30\%$)が六方晶相に変換され、変換プロセスの活性化エネルギーは約 $50\text{-}60 \text{ kJ/mol}$ (アレニウス方程式で推定)です。 740°C を超えると、六角形の相はさらに正方晶の相に変換され、単位セルの体積は約 5% 縮小し、変換率は 800°C で格子応力緩和により約 $0.1\text{g/min}\cdot\text{cm}^2$ になります。 900°C を超えると、正方晶相は昇華するか(速度 $0.05\text{-}0.1 \text{ g/分}\cdot\text{cm}^2$)、または一時的に立方晶相に変わることがありますが、このプロセスは大気の影響を受けます、例えば真空(10^{-3}PA)では昇華速度が $50\%\text{-}70\%$ 増加し、酸素中で 30% 遅くなります。相転移の逆過程にはヒステリシスがあり、例えば、正方晶相は単斜晶系相に戻る前に 600°C まで冷却され、六角相は約 $100\text{-}150^\circ\text{C}$ の遅れ温度で 300°C に低下する必要があります。この温度依存性は、放射光 XRD と熱重量分析(TG)によって検証され、 WO_3 の熱処理プロセスに情報を提供しました。本セクションでは、他の結晶相の構造と相転移条件を詳細に解析することにより、 WO_3 の構造多様性と異なる環境下での振る舞いを明らかにします。

3.3 黄色酸化タングステン(WO_3)の欠陥構造とドーピング効果

WO_3 (ウオ)の結晶構造には、酸素空孔(V_O)、タングステン空孔(V_W)、格子間イオンなど、さまざまな欠陥が含まれていることが多く、これらはその電気的、光学的、触媒的特性に大きな

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

影響を与えます。酸素空孔は最も一般的な欠陥タイプであり、還元雰囲気(H_2 または CO 、流量 0.5 L/min 、 500°C など)、UV 光照射(波長 365 nm 、強度 10 mW/cm^2)、または高温真空(10^{-3} Pa 、 700°C)で形成されます。酸素空孔の化学式は、 WO_{3-x} ($x=0.01-0.1$)として表すことができ、例えば $WO_{3-0.05}$ は、100 個の酸素原子のうち 5 個が欠落していることを意味します。酸素空孔は、タングステンの酸化状態($+6 \rightarrow +5$ または $+4$)の低下をもたらし、亜氧化物状態(WO_2 など)をもたらします。 $WO_{2.72}$ 、色が黄色から青または紫に変わります。電子常磁性共鳴(EPR)によって検出され、酸素空孔の g 値は約 2.002 であり、濃度は $10^{17}-10^{19}\text{ cm}^{-3}$ の範囲であり、治療条件によって異なります。例えば、 H_2 で 600°C で 1 時間後に最大 10^{18} cm^{-3} の酸素空孔濃度を達成することができます。酸素空孔は導電率を有意に改善し、単斜晶系相 WO_3 の抵抗率は $10^6\Omega \cdot \text{cm}$ から $10^2-10^3\Omega \cdot \text{cm}$ に減少し、光触媒活性を増加させます、例えば、 $WO_{3-0.5}$ 可視光線($0.9\text{ mmol/h} \cdot \text{g}$)での水素生成は、純粋な WO_3 ($0.7\text{ mmol/h} \cdot \text{g}$)よりも約 28%高くなります。

タングステン空孔(V_W)はまれであり、通常、強アルカリ性条件($NaOH$ 溶液、 $pH > 12$ など)または高温酸化(1000°C 、 O_2 雰囲気)の下で形成され、濃度は 10^{16} cm^{-3} 未満です。タングステン空孔は、格子内の局所的な電荷不均衡を引き起こし、 p 型導電率を増加させますが、構造安定性にはほとんど影響を与えません。格子間イオン(H^+ 、 Li^+ など)は、電気化学またはイオン包埋中に導入されます。例えば、エレクトロクロミズムでは、 Li^+ が埋め込まれて Li_xWO_3 ($x=0.1-0.5$)を形成し、格子パラメータ a は $7.320\text{ \AA}$ に増加し、体積は約 1%-2%拡大します。

ドーピング効果は、外来元素を導入することにより、 WO_3 の構造と特性をさらに制御します。一般的な金属ドーピングには、 Na^+ 、 Ti^{4+} 、 Mo^{6+} などがあります。 Na^+ ドーピング(濃度 $0.1-1\text{ mol\%}$)は、溶液共沈によって導入され、単斜晶系格子が a 軸で $7.315\text{ \AA}$ 、 c 軸で $7.700\text{ \AA}$ に拡大し、XRD ピーク(002)は 23.0° にシフトし、強度は 10%減少します。 Na^+ は、エレクトロクロミック性能を向上させるためにギャップを占有し、光透過率を 70%から 85%に増加させ、応答時間を 8 秒に短縮します。 Ti^{4+} ドーピング($Ti/W=5\%$ 、ゾルゲル法で調製)は一部の W^{6+} を置き換え、格子パラメータはわずかに減少し($a=7.300\text{ \AA}$)、エネルギーバンドギャップは 2.4 eV に減少し、ローダミン B の分解速度が 0.02 min^{-1} から 0.026 min^{-1} (30%増加)するなど、 $Ti\ 3d$ 軌道に新たなエネルギー準位が導入されたことにより光触媒効率が向上します。 Mo^{6+} ドーピング($Mo/W=10\%$)は固溶体を形成します $Mo_xW_{1-x}O_3$ 、酸素空孔密度が $10\mu\text{m}^{-3}$ に増加、導電率が 2 倍に増加(抵抗率が $50\Omega \cdot \text{cm}$ まで低下)、ガスセンサーの XRD ピークが 0.1° 拡大(NO_2 感度が 15 ppb に増加)します。

N や S などの非金属ドーピングも構造に大きく影響します。N ドープ($N/W=2\%$ 、アンモニアガス熱処理により 600°C)は酸素原子を置き換えて $W-N$ 結合を形成し、格子パラメータ a は $7.312\text{ \AA}$ に増加し、XRD ピーク(020)は 23.5° に移動し、エネルギーバンドギャップは 2.5 eV に減少し、光吸収赤は 500 nm にシフトし、水素製造効率は 25%向上します。S ドーピング($S/W=1\%$)は、格子欠陥を増加させ、表面活性サイト密度を $10\mu^8\text{ m}^{-2}$ に増加させ、触媒 CO 酸化効率

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

を 20%増加させます。欠陥やドーピングも熱安定性に影響を及ぼし、例えば、酸素含有空孔中の WO_3 は 500°C で分解し始めますが、純粋な単斜晶系相は 1200°C まで安定します。ドーピングされたサンプルの相転移温度は低下します(例えば、 Na^+ をドーピングした WO_3 は 700°C で正方晶に変わり、これは純粋な WO_3 よりも 40°C 低くなります。このセクションでは、欠陥構造とドーピング効果を詳細に調査することにより、 WO_3 構造の調整可能な可能性と機能最適化の可能性を検討します。

3.4 ナノスケールの黄色酸化タングステン(WO_3)の構造特性。

黄色酸化タングステン(WO_3)の粒径が結晶相に及ぼす影響

ナノスケールの WO_3 (粒径 $<100\text{nm}$) の構造特性は、量子サイズ効果と高い表面エネルギーにより、マイクロスケールのサンプルとは大きく異なります。水熱法(180°C 、12-24 時間、 pH 1-2)、ソルボサーマル法(エタノールまたはエチレングリコール、 200°C 、6 時間)、または蒸着法によって調製された WO_3 ナノ粒子で、通常、粒子サイズは 20-50 nm、比表面積は 30-50 m^2/g 、最大 80 m^2/g (BET 法で測定)です。透過型電子顕微鏡(TEM)は、球状粒子(直径 20-30 nm)、棒状構造(長さ 50-100 nm、幅 10-20 nm)、層状構造(厚さ 5-10 nm、幅 50-200 nm)、花様集合体(直径 100-300 nm)など、さまざまな形態を示します。高分解能 TEM(HRTEM)により、nano- WO_3 の境界は明確であり、(002)などの平面間隔は約 3.85 Å であり、これは単斜系と一致していることが明らかになりました。

ナノ WO_3 の結晶相は、粒子サイズに大きく影響されます。粒径が小さい($<30\text{ nm}$)サンプルは、表面エネルギーが低く(約 1.5 J/m^2)、熱力学的に安定しているため、六角形の相を形成する傾向があります。例えば、水熱法(NH_4^+ テンプレートで 180°C)で調製した 20 nm WO_3 の XRD プロファイルは、 $2\theta = 13.9^\circ$ と 28.2° の六角形の特徴ピークを示し、六角形の含有量は 80%~90% でした。粒子サイズが 50~100 nm に増加すると(たとえば、水熱時間が 48 時間に延長されると)、単斜晶系相が徐々に優勢になり、表面エネルギーが 2.0 J/m^2 に上昇し、XRD ピークが 23.1° 、 23.6° 、および 24.4° で増加し、単斜晶系位相比が 70%~85% に増加します。この結晶性相転移は、ギブス・トムソン効果と関連しており、小さな粒子サイズの高い曲率により、相転移エネルギー障壁が減少し、六方晶の相形成が促進されます。

ラマン分光法により、粒子サイズの影響がさらに検証されました。W-O-W 伸縮振動のピークは、六方晶系 nanoWO(20nm)で 810cm^{-1} 、 680cm^{-1} 、単斜晶系(50nm)で 717cm^{-1} 、 807cm^{-1} であり、粒径の増加とともにピーク強度が増大し、結晶化度が高まったことが示された。粒子サイズもバンドギャップに影響を与え、20 nm WO_3 のバンドギャップは 2.8~2.9 eV であり、表面状態の寄与の増加により増加します。50 nm WO_3 は、体に近い 2.6-2.7 eV に低下します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

20 nm サンプルの吸収端は 430 nm にあり、50 nm サンプルは UV-Vis 分光法によって 460 nm に赤方偏移されました。

ナノ WO₃の構造特性は、その性能を大幅に向上させます。開チャネル構造により、リチウムイオン電池の六方晶相ナノ WO₃(30nm)の Li⁺拡散係数は 10⁻¹⁰cm²/s、容量は 720mAh/g と高く、1000 サイクル後の保持率は 88%です。ガスセンサーでは、H₂S への応答時間が 5 秒に短縮されます。Monoclinic nano-WO₃(50 nm)は、メチレンブルーの分解速度が 0.03 min⁻¹、水素生成速度が 0.9 mmol/h·g とミクロンスケールの WO₃よりも 35%高いなど、高い結晶化度と表面活性により光触媒に優れています。また、ナノ WO₃(10μ⁸-10μk · cm · ȳ) の欠陥密度はバルク相よりも高く、導電性(10² · Ω · cm)と光応答性が向上しています。このセクションでは、nano-WO₃の構造特性とその粒子サイズの影響を詳細に解析することにより、高機能材料における独自の利点を明らかにします。

参照

- クリスチャン、JB、およびウィットティング、MS(2008)。メタタングステン酸アンモニウムおよび WO₃相の構造研究。ジャーナルオブソリッドステートケミストリー。
- ラスナー、E.、およびシューベルト、W.-D.(1999)。タングステン:特性、化学、技術。スプリングー。
- 張奇雲。(2010)。タングステンの化学と技術。冶金業界プレス。
- 劉陽。(2020)。メタタングステン酸アンモニウムの熱分解挙動と生成物分析。無機化学ジャーナル。
- Zheng, H., et al. (2011). ナノ構造酸化タングステン - 特性と応用。化学会レビュー。
- Wang, J., et al. (2015). エネルギー貯蔵のための三酸化タングステンナノ構造。 *Journal of Materials Chemistry A*.
- 李明。(2021)。WO₃ナノ粒子の調製におけるメタタングステン酸アンモニウムの応用。材料レポート。
- Salje、EKH(1995)。WO₃の相転移:構造的視点。 *Acta crystallographica* セクション B.
- デブ、SK(2008)。エレクトロクロミックアプリケーションのための WO₃の科学技術における機会と課題。太陽エネルギー材料と太陽電池。
- Zhang, Y., et al. (2023). WO₃ナノ材料の構造欠陥とドーピング効果。 *Journal of Physical Chemistry C*.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

CTIA グループ

三酸化タングステン(黄色タングステン、 WO_3 、黄色三酸化タングステン、YTO)はじめに

1. 三酸化タングステンの概要

CTIA グループの三酸化タングステン(黄色のタングステン、 WO_3 と呼ばれる)は、GB/T 3457-2013 "酸化タングステン"ファーストクラスの製品の要件を満たすパラタングステン酸アンモニウム高温焼成プロセスによって生成されます。黄色のタングstenは、その淡黄色の結晶粉末の形態、高純度および化学的安定性のために、タングsten粉末、超硬合金、タングstenワイヤおよびセラミック着色剤の調製に広く使用されています。CTIA GROUP は、粉末冶金および工業製造のニーズを満たすために、高品質の黄色タングsten製品を提供することに取り組んでいます。

2. 三酸化タングステンの特性

化学組成: WO_3 。

純度: $\geq 99.95\%$ で、不純物含有量が非常に少ない。

外観:淡黄色の結晶粉末、均一な色。

多形:単斜晶系(室温で最も一般的)、空間群 $P2_1/n$ 。

高い安定性:空気中で安定しており、水やフッ化水素酸を除く無機酸に不溶です。

反応性:水素($>650^\circ\text{C}$)または炭素($1000-1100^\circ\text{C}$)によってタングsten粉末に還元できます。

均一性:粒子分布が均一で、下流の処理に適しています。

3. 三酸化タングステンの仕様

インデックス	CTIA GROUP イエロータングステン 1 級標準
WO_3 含有量(wt%)	≥ 99.95
不純物(wt%, max.)	$\text{Fe} \leq 0.0010$, $\text{Mo} \leq 0.0020$, $\text{Si} \leq 0.0010$, $\text{Al} \leq 0.0005$, $\text{Ca} \leq 0.0010$, $\text{Mg} \leq 0.0005$, $\text{K} \leq 0.0010$, $\text{Na} \leq 0.0010$, $\text{S} \leq 0.0005$, $\text{P} \leq 0.0005$
水分(wt%)	$0 \leq 0.05$
粒子サイズ	1-10(μm , FSSS)
密度が緩い	2.0-2.5(グラム/ cm^3)
カスタマイズ	粒子サイズまたは不純物の制限は、顧客の要件に応じてカスタマイズできます

4. 三酸化タングステンの包装と保証

パッキング:内側の密封されたビニール袋、外側の鉄ドラムまたは織物袋、正味重量 50kg または 100kg、防湿設計。

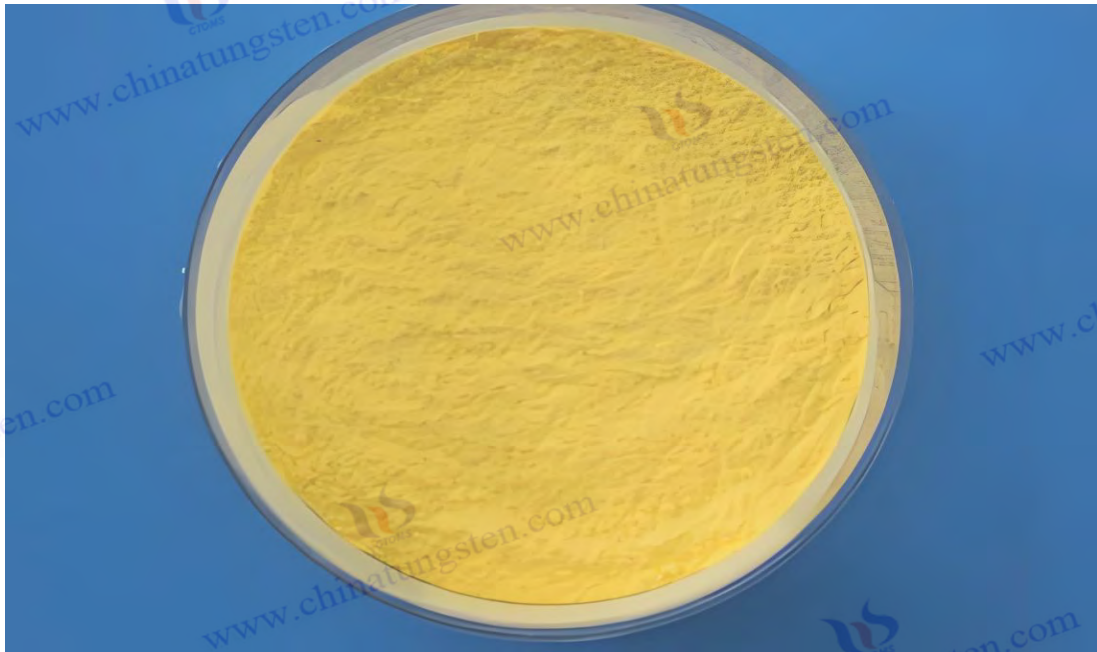
保証:各バッチには、 WO_3 含有量、不純物分析、粒子サイズ(FSSS 法)、ルース密度、水分データを含む品質証明書が付属しています。

5. 三酸化タングステン調達情報

メールボックス:sales@chinatungsten.com 電話:+86 592 5129696

タングstenイエローの詳細については、Chinatungsten Online の Web サイトをご覧ください
www.tungsten-powder.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第4章:黄色酸化タングステン(WO₃)の製造工程。

4.1 原材料と前駆体

メタタングステン酸アンモニウム(AMT)の調製と分解。

メタタングステン酸アンモニウム(AMT、化学式 $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40} \cdot x\text{H}_2\text{O}$)は、WO₃(ウォン)製造の中核的な前駆体であり、その高い水溶性(溶解度>25°CでpH 5.5で1000g/L)、安定した多酸構造、および制御された熱分解特性により、産業界や実験室で広く使用されています。AMTの調製は、通常、イオン交換、酸性化結晶化、溶媒抽出などのプロセスにより、タングステン酸ナトリウム(Na_2WO_4)を出発物質として使用して行われます。業界で最も一般的な方法は、タングステン鉱石から抽出されたタングステン酸ナトリウム溶液から開始し、最初に酸性化によってタングステン酸(H_2WO_4)沈殿物を生成することです。具体的なプロセスフローは次のとおりです: Na_2WO_4 溶液(濃度 200-300 g/L、pH 8-9)を硝酸(HNO_3 、濃度 3-5 mol/L)にゆっくりと添加し、反応温度を 50~60°C に制御し、攪拌速度を 200~300 rpm、pH を 1~2 に下げ、黄色の H_2WO_4 沈殿物を生成します。反応式は、 $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4\downarrow + 2\text{NaNO}_3$ 。沈殿物をろ過し、洗浄(脱イオン水で pH 4-5 に洗浄)して残留 Na^+ と NO_3^- を除去し、次いで 80~90°C で乾燥させて純度約 98%~99%の H_2WO_4 粉末を得る。

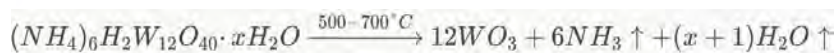
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

その後、 H_2WO_4 はアンモニア(NH_4OH 、25%-28%)と反応して AMT を形成します。プロセス条件は次のとおりです:500 L のステンレス鋼反応器では、100 kg の H_2WO_4 を 200~300 L の脱イオン水に加え、アンモニア(約 50~60 L)を攪拌しながらゆっくりと滴下し、液滴加速を 1~2 L/min に制御し、反応温度を 70~90°C に維持し、pH を 6.0~7.0 に調整します。反応中、 H_2WO_4 は徐々に溶解して透明な AMT 溶液を形成し、反応は次のようになります。

$12H_2WO_4 + 6NH_4OH \rightarrow (NH_4)_6H_2W_{12}O_{40} \cdot xH_2O + (12-x)H_2O$ $12 H_2WO_4 + 6 NH_4OH \rightarrow (NH_4)_6H_2W_{12}O_{40} \cdot xH_2O + (12-x)H_2O$
溶液を 20~30°C に冷却し、12~24 時間放置し、AMT を白色結晶として沈殿させ、最終製品を遠心分離(3000~4000rpm)して得た。洗浄(冷水で 2~3 回洗う)と乾燥(80°C、6~8 時間)。

AMT は通常、結晶含水率(x)が 4~6、タングステン含有量(WO_3)が 89%~91%、純度が 99.5%で、 $Na^+(<0.02\%)$ や $Fe^{3+}(<0.01\%)$ などの一般的な不純物が含まれています。

AMT の熱分解は、 WO_3 の調製における重要なステップであり、通常、空気雰囲気中で 500~700°C で行われます。分解プロセスは 3 つの段階に分けられます:(1)100~200°C で、結晶水が失われ、質量が約 5%~7%失われ、アモルファス中間相が生成されます。(2)300~400°C では、 NH_3 と一部の構造用水が放出され、質量損失は約 3%~4%で、 $WO_3 \cdot WO$ を形成します。 H_2O または六角形 WO_3 ;(3)500~700°C で、完全に脱層化され、単斜晶系相 WO_3 に結晶化し、総質量損失は約 10%~12%です。反応式は、 $(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40} \cdot xH_2O \xrightarrow{500-700^\circ C} 12WO_3 + 6NH_3 \uparrow + (x+1)H_2O \uparrow$



熱重量分析(TG)と示差走査熱量測定(DSC)により、分解ピークはそれぞれ 150°C(脱水)、350°C(脱アミノ化)、550°C(結晶化)で発生し、エンタルピー変化は各段階でそれぞれ 50-60 kJ/mol、30-40 kJ/mol、10-15 kJ/mol でした。分解生成物 WO_3 の純度は 99.9%、粒子サイズは 4~10µm、主に単斜晶系結晶相(XRD ピーク $2\theta = 23.1^\circ, 23.6^\circ$)です。温度が高すぎる(>750°C)と、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WO₃が昇華し、損失率が5%~10%に増加する可能性があります。

タングステン酸(H₂WO₄)とタングステン鉱石

タングステン鉱石には、鉄マンガン重石(FeMnWO₄)、灰重石(CaWO₄)、二次鉱石(タングステンWO₃・nH₂Oなど)が含まれ、中国は埋蔵量(約60%を占める)で世界をリードしています。工業的抽出は、アルカリ性または酸性の方法を使用します。アルカリ性プロセスは、鉄マンガン重石粉末(粒子サイズ 100~200μm)と水酸化ナトリウム(NaOH、濃度 30%~40%)を高圧反応器で1:2の質量比で混合します。反応条件は 140-160°C、圧力 5-10 気圧、攪拌 300-500rpm、4-6 時間 反 応 で す :FeMnWO₄+2NaOH→Na₂WO₄+Fe(OH)₂↓+Mn(OH)₂↓ FeMnWO₄ + 2 NaOH → Na₂WO₄ + Fe(OH)₂↓ + Mn(OH)₂↓ FeMnWO₄+2NaOH→Na₂WO₄+Fe(OH)₂↓+Mn(OH)₂↓ 反応溶液を濾過して Fe(OH)₂と Mn(OH)₂の沈殿物を除去し、濾液を HNO₃で pH1-2 まで酸性化して H₂WO₄の沈殿物を生成します。酸処理では、濃縮された HCl(6 mol/L)を使用して、灰重石を直接分解します。



生成物はろ過され、洗浄され(脱イオン水は pH 4-5 に洗浄され)、乾燥(100°C、8-12 時間)され、純度は 98%-99%に達し、Si および P のような不純物の約 0.1%-0.5%を含んでいます。

H₂WO₄は直接焙煎(600~700°C、空気、2~4 時間)して、収率 85%~90%、粒子サイズ 5~15μm の WO₃を生成することができます。高純度を得るために、H₂WO₄をアンモニアに溶解し、99.5%まで再結晶させることができます。このセクションでは、AMT と H₂WO₄の調製と起源を詳述することにより、WO₃(酸化黄)生産の原料基盤とそのプロセスの多様性を明らかにします。

4.2 黄色酸化タングステン(WO₃)の工業的製造方法。

黄色酸化タングステン(WO₃)の工業生産 - 焙煎方法(500-700°C)。

焙煎は、成熟した設備、簡単な操作、高出力のために広く使用されている WO₃の工業生産の主流のプロセスであり、通常はメタタングステン酸アンモニウム(AMT)またはタングステン酸(H₂WO₄)を原料として使用し、ロータリーキルン、プッシュプレートキルン、チャンバー炉などの高温機器で行われます。このプロセスの中心にあるのは、熱分解と酸化によって前駆体を黄色の WO₃粉末に変換することであり、これは年間生産量 10,000 トンの大規模生産に適しています。以下では、プロセスフロー、機器パラメータ、反応メカニズム、品質管理、および影響要因について詳しく説明します。

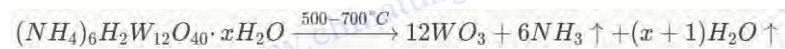
工業生産 - 黄色酸化タングステン(WO₃)の焙煎プロセスと機器の焙煎プロセス

には、原材料の前処理、焙煎と分解、製品収集の3つの段階があります。AMT を例にとると、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

プロセスフローは次のとおりです:まず、100 kg の AMT(WO_3 90%、水分<1%、粒子サイズ 50～100 μm を含む)を前処理し、100°C のオーブンで 4～6 時間乾燥させ、水分含有量を 0.5%未満に低減して焙煎中の凝集を防ぎます。続いて、AMT はロータリーキルン(直径 1.5-2m、長さ 10-15m、傾斜角 2°-3°、耐火レンガまたはアルミナセラミックスで裏打ち)に 1-2rpm の速度で積み込まれ、電気加熱(電力 200-300kW)またはガス(天然ガス、発熱量 8500kcal/m³)によって加熱されます。)。焙煎温度は 500～700°C、乾燥空気(湿度<10%、流量 100～200m³/h、圧力 0.1～0.2MPa)、保持時間 2～4 時間に制御されます。生成物 WO_3 はキルンテール出口から回収され、排気ガスは除塵吸収システムによって処理され、排出されます。

工業生産 - 黄色酸化タングステン(WO_3)の焙煎 反応メカニズムと温度区分 AMT は、焙煎プロセス中に多段階の分解反応を受け、最終的に単斜晶系相 WO_3 を形成します。反応式は次のとおりです。



分解は 3 つの段階に分けられます。

100-200°C(脱水期)

AMT は結晶性水($x=4-6$)を失い、5%-7%の質量を失い、アモルファス間相になります。TG 分析により、水損失のピークは 150°C にあり、エンタルピー変化は 50-60 kJ/mol です。水分を完全に取り除かないと、その後の分解にムラが出ることがあります。

300-400°C(脱アミノ化相)

NH_3 と部分的に構造化された水が放出され、質量損失は 3%～4%で、 $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ または六角形の WO_3 (XRD ピーク $2\theta=13.9^\circ$)。DSC は、350°C で吸熱ピークを示し、エンタルピー変化は 30-40 kJ/mol です。空気の流れは、 NH_3 を除去し、炉内の圧力上昇を回避するのに十分(>100 m³/h)である必要があります。

500-700°C(結晶化段階)

完全な脱アミノ化と酸化により、単斜晶系相 WO_3 (XRD ピーク $2\theta=23.1^\circ$ 、 23.6° 、 24.4°) が得られ、質量損失は合計 10%～12%に安定化しました。単斜晶系の相比は 550°C で 90%、650°C で 98%に上昇し、700°C で 10～15 μm に成長します。結晶化のエンタルピーは 10-15 kJ/mol 変化します。

工業生産 - 焙煎プロセスパラメータと黄色酸化タングステン(WO_3)の影響要因。

温度制御

温度は焙煎方法のコアパラメータです。分解速度は 500°C で 85%-90%であり、残留 $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ または六角形相(変換率<90%);550°C では、単斜晶系相が優勢で、分解率は>95%でした。600°C

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

で 99.9%の純度、粒子サイズは 4~8 μm 。700°C では、粒の均一性は増加します(D50 $\approx$ 6~10 μm)
が、昇華損失は 5%~10%に増加し、排気ガス中の WO_3 含有量は 0.1~0.2 g / m^3 です。温度が低
すぎる(<450°C)と、残留中間相の割合が 20%~30%も高くなり、製品の品質に影響します。高
すぎる(>750°C)場合、昇華率は 0.05~0.1 g /分・ cm^2 で、損失率は 10%以上になります。

空気の流れ

空気は、150 m^3/h の流量で最高の分解速度で酸化剤およびキャリアガスとして機能し、 NH_3 排
出濃度は 50~100 mg / m^3 に減少します。<50 m^3/h の流量では、 NH_3 が蓄積し、炉の圧力が 0.3
MPa に上昇し、プラントの腐食につながる可能性があります。

暖かい時間を保つ

分解速度は 2 時間で 95%、分解率は 3 時間で 98%、分解速度は 4 時間で完全変換。6 時間に延
長すると、粒子サイズは 12~15 μm に増加しますが、エネルギー消費量は 20%(約 1 kWh/kg)増
加します。

原材料の特性

AMT は粒子径 50~100 μm で均一に分解し、>200 μm では内部水分の放出が妨げられ、転化率
は 90%に低下します。

黄色酸化タングステン(WO_3)の工業生産-焙煎品質管理と分析

製品 WO_3 は、収率約 90 kg / 100 kg AMT、変換率>98%、純度 99.9%~99.95%の黄色の粉末で
す。品質テストには以下が含まれます:(1)単斜晶系相ピーク強度比((002)/(020))が約 1:0.9 の結
晶相の XRD 確認、(2)粒度分布の SEM 測定、D10 = 2-3 μm 、D50 = 6-8 μm 、D90 = 10-12 μm 。(3)
不純物の ICP-AES 検出、 $\text{Na}^+<0.005\%$ 、 $\text{Fe}^{3+}<0.002\%$;(4)BET 法で測定された比表面積は 5~15 m^2/g
です。事例データ:工場の年間生産量は 5,000 トン、焙煎窯出力は 250kW、AMT 消費量は 1.1
トン/トン WO_3 、エネルギー消費量は 5~7 kWh/kg、歩留まりは 98.5%です。

黄色酸化タングステン(WO_3)の工業生産のための設備要件とメンテナンス - 焙煎ロータリー
キルンは、アルミナセラミックス(Al_2O_3 含有量>95%)または 316L ステンレス鋼(Cr 18%、Ni 10%)
などの材料で裏打ちされた高温(>1000°C)および NH_3 腐食に耐性があり、耐用年数は 5~10 年
です。発熱体はシリコンモリブデンロッド(MoSi_2 、最高温度 1700°C)またはガスノズルで、年
間メンテナンス費用は約 10~200,000 元です(ライニングの交換とモーターのオーバーホール)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

キルンの端に冷却装置(流量 2~3m³/h の水冷ジャケット)を設置し、吐出温度を 100~150°C に下げ、WO₃が壁に付着するのを防ぎます。

黄色酸化タングステン(WO₃)の工業生産 - 焙煎による排ガス処理や環境にやさしい

焙煎により、NH₃(5-15 g/m³)、H₂O、微量の WO₃ダスト(0.1-0.5 g/m³)が発生します。排気ガス処理システムには、(1)水スクラビングタワー(直径 1.5m、高さ 10m、噴霧量 5-10m³/h)、NH₃吸収率 90%-95%、廃水アンモニア窒素を 0.5-1g/L に低減。(2)バグフィルター(ろ過面積 50m²、効率 99%)、WO₃ダストエミッション<30mg/m³;(3)NH₃はアンモニア蒸留塔(圧力 0.2MPa、温度 90°C)で回収率>93%で回収され、AMT 調製にリサイクルされました。廃水は中和され(Ca(OH)₂、pH 7-8)、GB 8978-1996 に従って排出されます。

黄色酸化タングステン(WO₃)の工業生産焙煎方法の長所と短所

は、成熟した技術(技術適用の 50 年以上)、ユニバーサル機器(ロータリーキルンの年間生産量は 1~20,000 トンに達することができます)、高収率(>98%)、および低コスト(約 200~300 元/kg WO₃)です。欠点は、高エネルギー消費(5~7 kWh / kg、湿式化学法よりも 50%高い)、高温昇華損失(5%~10%)、および複雑な排気ガス処理(約 100 万~150 万元の投資)です。焙煎方法は、セラミック顔料やタングステン粉末原料などの大規模な工業生産に適しています。このセクションでは、WO₃(ウォン)の生産における焙煎方法の中心的な役割について、そのプロセスの詳細を詳しく説明します。

黄色酸化タングステン(WO₃)の工業生産 - 水素還元法(WO₃の間接調製)。

水素還元法は、まず水素で WO₃をタングステン金属(W)に還元し、次にタングステン粉末を酸素中で WO₃に酸化して戻すという 2 段階の反応により、WO₃を間接的に調製する工業プロセスです。この方法は、原材料から微量不純物(Fe、Mo、Na など)を効果的に除去するため、半導体業界や高精度光学材料の製造など、超高純度の WO₃を必要とするシナリオに特に適しています。プロセスは複雑で、エネルギー消費量は多いですが、製品の品質は優れています。

ステップ 1: タングステン粉末を調製するための水素還元のプロセスは

、水平管状炉または多段式還元炉で行われます。50kg の WO₃(純度 99.5%、粒度 5-10μm)の場合、原料を石英ボート(長さ 1m、幅 0.3m、深さ 0.1m)またはステンレス製トレイに積み込み、炉に入れます。炉本体は耐熱合金(インコネル 600 など)でできており、金属汚染を防ぐために石英またはアルミナで裏打ちされています。高純度水素(H₂、純度 99.999%、O₂<1ppm、流量 1~2 L/min、圧力 0.1~0.2 MPa)を導入し、温度を 800~1000°C に上げ、温度制御を 3 つの段階に分けました:(1)500~600°C、および WO₂₉または WO₂₇₂を生成するための事前還元、1~2 時

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

間保温、品質損失は約 3%～5%です。(2)700～850℃、さらに WO₂に還元し、2～3 時間インキュベートすると、質量損失は 10%～12%に増加しました。(3)900-1000℃、完全に金属タングステンに還元され、3～5 時間保温します。反応式は、 $WO_3 + 3H_2 \rightarrow W + 3H_2O$ WO₃ + 3 H₂ \rightarrow W + 3 H₂O WO₃+3H₂→W+3H₂O 還元プロセスでは、WO₃の揮発や速すぎる還元によるコオキシドの形成を避けるために、H₂の流れと温度勾配を制御する必要があります。炉内雰囲気モニタリング(O₂含有量<10ppm)、排ガス H₂O を復水器(冷却水温度 5-10℃)で回収し、含水率を<0.1g/m³まで低減し、未反応の H₂をバーナー(着火温度 600℃)で処理して排出します。生成物は、粒子径が 2～5μm(D50≈3μm)、転化率>99%、残留酸素含有量が<0.01%(酸素および窒素分析装置で決定)の灰色タングステン粉末でした。H₂(水素)の流量が不十分な場合(<0.5 L/min)、WO₂が残る可能性があります(XRD ピーク 2θ=37.8°)、純度は 98%に低下します。

40kg

のタングステン粉末をアルミナるつば(容量 50L)、乾燥空気(湿度<10%、流量 0.5-1L/min)または純粋な O₂(99.99%、流量 0.3-0.8L/min)、600-700℃ まで温度、2-4 時間断熱しました。酸化反応は、 $W + 3/2 O_2 \rightarrow WO_3$ W + 3/2 O₂ \rightarrow WO₃ W + 3 / 2O₂→WO₃ 温度制御が重要で、600℃での酸化速度は約 0.05 g /分・cm²であり、単斜晶系相 WO₃(XRD ピーク 2θ= 23.6°)になります。650℃では、速度は 0.08 g/min・cm²に増加し、結晶化度が増加しました。粒子は 700℃で 5～8μm に成長します。 温度が 550℃未満の場合、酸化は不完全であり、残留タングステン含有量は 0.5%～1%に増加します。750℃を超えると、WO₃昇華損失は 3%から 5%の範囲になります。大気中の O₂の分圧は、WO₂₉(青色、酸素空孔 10¹⁸cm⁻³)の形成を避けるために、0.2～1 気圧に維持する必要があります。この製品は、純度 99.99%、粒子サイズ 3-6μm(D50≈4μm)、比表面積 5-10m²/g の黄色 WO₃です。

黄色酸化タングステン(WO₃)の工業生産 - 水素還元法のプロセスパラメータと品質管理水素還元法の主なパラメータには、H₂純度、流量、および還元温度が含まれます。H₂が O₂>5ppm を含む場合、タングステン粉末の表面は酸化しやすく、WO₃の純度は 99.9%に低下します。還元率は 1.5 L / min の流量で最適であり、高すぎる(>3 L / min)ガスが無駄になり、低すぎる(< L / min)反応時間が長くなります(6～8 時間)。酸化相中の O₂フラックスは結晶相に影響を及ぼし、0.5 L/min で単斜晶系相を形成し、1 L/min で少数の正方晶相が形成されます(XRD ピーク 2θ = 32.5°)。品質管理のために、不純物の検出には ICP-AES を使用し(Fe < 0.001%、Na < 0.0005%)、SEM を使用して粒度分布を分析しました。事例データ:あるプラントは、年間 100 トンの高純度 WO₃を生産し、15m³/トンの H₂を消費し、10m³/トンの O₂を消費し、10-12kWh/kg

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

を消費します。

黄色酸化タングステン(WO₃)の工業生産の長所と短所 - 水素還元法、

その利点は高純度(>99.99%)で、ハイエンドアプリケーションに適しています。欠点は、複雑なプロセス(2段階の反応)、高エネルギー消費(焙煎法よりも50%~70%高い)、および厳しい機器要件(防爆設計、約2億~300万元の投資/年間生産量100トン)です。排ガス処理では、H₂回収装置(回収率80%~90%)の追加が必要で、コストダウンを図っています。このセクションでは、高純度WO₃の製造における水素削減のユニークな価値を、プロセスの詳細を詳しく説明します。

黄色酸化タングステン(WO₃)の工業生産 - 湿式化学法(沈殿および熱処理)。

湿式化学法は、溶液の化学反応とそれに続く熱処理によるWO₃の調製であり、シンプルな設備と柔軟なプロセスを特徴とし、中小規模の生産(年間50~500トン)に適しています。このプロセスは、Na₂WO₄またはタングステン酸を原料として使用した沈殿と熱処理の2つの段階に分かれており、酸性化してH₂WO₄沈殿物を生成し、その後WO₃に熱分解します。

ステップ1:ホリウムウォ

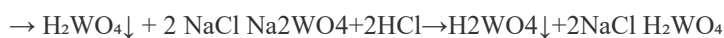
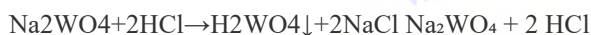
リウム沈殿プロセスは、エナメル反応器(容量500-1000L、耐酸性ライニング)で行われます。

200LのNa₂WO₄溶液(濃度250-300g/L、WO₃を含む約200g/L、pH8-9)を取り、40~50°Cに

加熱し、攪拌速度300~500rpmで、塩酸(HCl、濃度1~2mol/L、約100~120L)をゆっくり

と加え、落下加速1~2L/min、反応時間2~3時間、pHを徐々に1~2に下げます。反応式は

次のとおりです。



粒径10~20μm(初期)の黄色の沈殿物として沈殿します。液滴の加速は、過度の局所的な酸性度によって引き起こされる不均一な降水を避けるために制御する必要があります。HCl濃度を

3mol/Lに増やすと、沈殿速度は20%(0.1g/min·cm²)増加しますが、粒径は5-10μmに減少しま

す。温度は降水量に影響し、40°Cで90%、50°Cで95%まで上昇し、60°Cで溶解度が増加して85%まで減少します。沈殿終了後、プレートとフレームのフィルタープレス(ろ過面積10m²、

圧力0.5MPa)で分離し、Cl⁻含有量が<0.01%(硝酸銀試験)、Na<0.02%(ICP-AES)になるまで、フ

ィルターケーキを500~800Lの脱イオン水で3~5回洗浄しました。洗浄水の温度は、H₂WO₄

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

の溶解を避けるために 20～30℃ に制御されています。フィルターケーキをオーブンで 100℃ で 12～16 時間乾燥させ、水分を<0.5%に減らし、純度 98%～99%の H₂WO₄粉末と約 0.1%の Si および P 不純物を得ました。

ステップ 2:WO₃H₂WO₄を生成する熱処理 チャンバー炉またはトンネル窯で WO₃を生成するための WO₃を生成する 50kg の H₂WO₄をアルミナトレイ(長さ 1m、幅 0.5m、深さ 0.1m)に入れ、乾燥空気(湿度<10%、流量 50～100m³/h)を炉内に導入し、 温度を 400～600℃ に上げ、2～4 時間保温しました。反応は :H₂WO₄→WO₃+H₂O↑ H₂WO₄ \rightarrow WO₃ + H₂O↑ H₂WO₄→WO₃+H₂O↑ 熱処理段階:(1)200-300℃、構造化水の損失、7%-8%の質量損失、WO₃;(2)400-500℃では、水が完全に除去され、非晶質の WO₃が生成されます。(3)550-600℃で、単斜晶系相 WO₃(XRD ピーク 2θ=23.1°, 24.4°)に結晶化します。TG 分析では、400℃で 8.5%の質量損失を示し、600℃ で安定していることが示されました。 温度制御された粒子サイズと位相制御:400℃ で 5～8μmWO₃、六角形の位相比は 20%～30%。8-12 μm WO₃は、単斜晶系相>80%で 500℃で生成されました。10-15 μm WO₃は、600℃で 10-15μm の WO₃を生成し、単斜晶系相は>95%でした。空気の流量は酸化の程度に影響を与え、50 m³/h で 95%、100 m³/h で 99%の変換率です。温度が高すぎる(>650℃)と、2%～5%の WO₃昇華損失が失われ、排気ガスをサイクロンで回収する必要があります(90%の効率)。

黄色酸化タングステン(WO₃)の工業生産 - 湿式化学プロセスパラメータと品質管理の主要パラメータには、酸濃度、沈殿温度、熱処理条件が含まれます。HCl 1 mol/L はより大きな H₂WO₄(15-20 μm)を、2 mol/L は小さな粒径(5-10 μm)を生じます。収率は pH 1.5(96%)で最も高く、不純物(Cl⁻)は pH<1 で増加しました。最適なバランスは 550℃ と 3 時間の熱処理で、純度は 99.5%、粒子サイズは 10～12μm です。WO₃含有量(誤差<0.1%)、SEM によるトポグラフィ、ICP-AES による不純物検出(Na⁺<0.01%、Cl⁻<0.005%)の滴定により品質管理を行った。事例データ:年間生産量 200 トンの WO₃は、HCl 消費量 0.8m³/ton、水消費量 5m³/ton、エネルギー消費量 3-4kWh/kg です。

黄色酸化タングステン(WO₃)の工業生産の長所と短所 - 湿式化学分析

利点は、シンプルな機器(50～100 万元の投資/年間生産量 100 トン)、柔軟なプロセス、小ロットのカスタマイズに適しています(顔料グレードの WO₃など)。欠点は、大量の廃棄物(1～2m³/トン WO₃、NaCl 50～100 g / L を含む)、中和処理の必要性(Ca(OH)₂から pH 7、コスト 50～80

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

元/m³)、排気ガス H₂O および微量 HCl を吸収塔(パッキング高さ 5m)で処理する必要があることです。このセクションでは、ウェットケミストリーのプロセスを詳しく説明することにより、小規模および中規模の生産への適用性を示します。

4.3 黄色酸化タングステン(WO₃)の実験室合成。

黄色酸化タングステン(WO₃)の実験室合成 - 水熱法

水熱法は、通常は Na₂WO₄を原料として、高压反応器でナノ WO₃を合成するために使用されます。実験プロセスは次の通りです:10 g の Na₂WO₄を 50 mL の脱イオン水に溶解し、HCl(6 mol / L、10-15 mL)を添加して pH を 1-2 に調整し、還元剤(5 mL エタノールや 1 g のシュウ酸など)を添加し、30 分間攪拌した後、100 mL のポリテトラフルオロエチレンライニング反応器に移します。密封してオーブンに入れ、180~200°C で 12~24 時間、10

~20 気圧で反応させました。本製品を遠心分離(8000rpm、10 分)、洗浄(水とエタノール各 3 回)、乾燥(80°C、6 時間)して WO₃を得ます。反応は次のように簡略化されます:Na₂WO₄+2HCl+還元剤→WO₃↓+2NaCl+H₂O Na₂WO₄ + 2 HCl +還元剤\rightarrow WO₃↓ + 2 NaCl + H₂O Na₂WO₄+2HCl+還元剤→WO₃↓+2NaCl+H₂O
製品は、20-50nm の粒子サイズ、30-50m²/ g の比表面積、および球形または棒状の形態(長さ 50-100nm)を有する六角形または単斜晶系 WO₃です。六角形相(XRD ピーク 2θ = 13.9°)は 180°C で生成され、単斜晶系相は 200°C で変換され、収率は 90%~95%です。水熱法は、光触媒の WO₃(水素製造速度 0.9 mmol/h g)。

黄色酸化タングステン(WO₃)の実験室合成技術 - ソルボサーマル法

ソルボサーマル法は、有機溶媒を使用して WO₃の形態を操作し、WCl₆または Na₂WO₄を原料として使用します。実験手順は、5g の WCl₆を 50mL のエチレングリコールに溶解し、1 時間攪拌し、10mL のエタノールを添加し、100mL の反応器に移し、200°C で 6~12 時間反応させた。生成物を遠心分離し、洗浄(エタノール 3 倍)し、乾燥(80°C、8 時間)して、粒子サイズ 30~100 nm、純度 99%、ロッド(長さ 80~150 nm、幅 20~30 nm)、フ

レーク(厚さ 10~20 nm)、またはフローラル(直径 200~300 nm)の形態の WO₃を得ました。
溶媒比(例:エチレングリコール:エタノール=4:1)は、85%~90%の収率でトポグラフィーを制御します。ソルボサーマル法はより高価です(約 50-100 RMB/kg WO₃)が、トポグラフィーの適応性が高く、センサーWO₃に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

黄色酸化タングステン(WO_3)の実験室合成 - マイクロ波支援合成

マイクロ波支援合成は、AMT または Na_2WO_4 を原料とする急速マイクロ波加熱を利用します。実験方法は、AMT10g を水 50mL に溶解し、 HCl (3mol/L、10mL)を加えて pH を 2-3 に調整し、電子レンジ(800W、周波数 2.45GHz)に入れ、150-180°C の温度で 10-20 分間反応させた。本製品を遠心分離し、洗浄し、乾燥して、粒子径 20-40 nm、単斜晶系位相比 >95%(XRD ピーク $2\theta = 23.6^\circ$)、収率 >94% の WO_3 を得ました。マイクロ波法は、エネルギー消費量が小さく(約 0.5-1kWh/kg)、反応時間が水熱法の 1/10 と低いため、高純度の WO_3 (ウーゾニウム)の少量調製に適しています(例:電池電極、容量 700mAh/g)。このセクションでは、3つのラボ技術による WO_3 合成の改良と効率を示します。

4.4 黄色酸化タングステン(WO_3)の実験室合成技術のプロセスパラメータの最適化。

温度、雰囲気、時間の影響

WO_3 (ウーゾニウム)の生産には温度が重要です。焙煎法では、500°C で六方晶相(XRD ピーク $2\theta = 28.2^\circ$)を生成し、550°C で単斜晶系相を単斜晶系相に変換し、650°C で単斜晶系相比 >98%、700°C で 10-15 μm まで粒を成長させます。水熱法では、180°C で六角形の相が形成され、200°C での単斜晶系相の割合は 80%に増加し、220°C では相が完全に単斜晶系になります。雰囲気は結晶相と純度に影響し、黄色の WO_3 は空气中で焙煎することによって形成され、青色の WO_2 は H_2 雰囲気(0.5 L / min)によって形成されます。 ρ (酸素空孔 10^{18}cm^{-3})、 N_2 の六角形の相はより安定しています。焙煎 2 時間で 95%、4 時間で 99%、12 時間のハイドロサームで 20nm の粒子サイズ、24 時間で 50nm の時間制御変換率。

黄色酸化タングステン(WO_3)の実験室合成 - 純度と粒度制御

純度は、原材料の精製とプロセスの最適化によって達成されます。AMT はイオン交換樹脂(カチオン性樹脂 D001)で処理され、 Na^+ が 0.01% に、 Fe^{3+} が 0.005% に減少しました。焙煎中に湿った空気(湿度 50%)を導入して昇華を抑え、純度は 99.95% に上昇します。粒度制御は温度と攪拌速度に依存し、水熱法は 180°C で 20~30nm の WO_3 を生成し、500rpm で攪拌し、立っていると 50~70nm を生成します。焙煎法は、600°C で 5~8 μm の WO_3 と 150m³/h の空気流量をもたらします。このセクションでは、パラメトリック分析による WO_3 (酸化炭素)の品質管理の科学的根拠を提供します。

4.5 黄色酸化タングステン(WO_3)の生産と合成のためのグリーン生産と廃棄物処理。

黄色酸化タングステン(WO_3)の製造のためのアンモニア窒素回収技術。

AMT 分解により放出された NH_3 (排気ガス濃度 5-15g/L)は、アンモニア蒸発塔(直径 1m、高さ 10m、セラミックラシリング充填)で回収されます。プロセス条件:蒸気圧 0.2-0.3 MPa、温度 90-100°C、回収率 >93%、廃液アンモニア窒素 10 g / L から 0.5 g / L、排出基準(GB 8978-1996、<15 mg / L)未満。回収された NH_3 (20%-25%)は AMT 調製にリサイクルされ、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WO₃1 トンあたり 50-70kg のアンモニアを節約します。

黄色酸化タングステン(WO₃)の製造と合成のためのエネルギー消費と排出の分析。

エネルギー消費量は、焙煎法が 5-7kWh/kg WO₃(電熱炉、200kW)、水熱法が 2-3kWh/kg(オートクレーブ、50kW)、マイクロ波法が最も低い(0.5-1kWh/kg)です。CO₂排出量は主に燃料の燃焼によるもので、焙煎で約 2~2.5kg の CO₂/kgWO₃(石炭加熱)、水熱法で 1~1.5kg、マイクロ波法で 0.8~1kg です。排ガス中の WO₃ダスト(0.1-0.5g/m³)をサイクロン集塵機とバグフィルターで処理し、排出濃度を<30mg/m³に低減します。太陽熱暖房などのグリーンプロセスでは、エネルギー消費量を最大 3kWh/kg、CO₂を最大 30%削減できます。このセクションでは、環境技術の分析を通じて、WO₃(酸化ウォリウム)生産への持続可能な道筋を示します。

参照

- ラスナー、E.、およびシューベルト、W.-D.(1999). タングステン:特性、化学、技術。スプリングー。
- 張奇雲。(2010). タングステンの化学と技術。冶金業界プレス。
- 劉陽。(2020). メタタングステン酸アンモニウムの熱分解挙動と生成物分析。無機化学ジャーナル。
- 李明。(2021). WO₃ナノ粒子の調製におけるメタタングステン酸アンモニウムの応用。材料レポート。
- Zheng, H., et al. (2011). ナノ構造酸化タングステン - 特性と応用。化学会レビュー。
- Wang, J et al. (2015). エネルギー貯蔵のための三酸化タングステンナノ構造。Journal of Materials Chemistry A.
- 張麗華。(2020). メタタングステン酸アンモニウムのマイクロ波支援合成のためのプロセス最適化。化学産業の進歩。
- 李紅貴。(2005). タングステン冶金学。セントラルサウス大学出版局。
- Chen, X., et al. (2018). WO₃ナノ粒子の水熱合成。ナノ粒子研究ジャーナル。
- Sigma-Aldrich WO₃ 製品仕様 (2023).
- 国際タングステン工業会(ITIA)。(2023). 世界のタングステン産業の見通し 2030。
- 王宇。(2022). グリーン生産技術に関する WO₃研究。環境工学の中国ジャーナル。
- 張偉。(2018). 焙煎による WO₃の調製のためのプロセス最適化。非鉄金属。
- Liu, Y., et al. (2021). 焼成による WO₃の工業規模生産。材料加工技術ジャーナル。

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



第 5 章：黄色酸化タングステン(WO₃)の分析および特性評価技術。

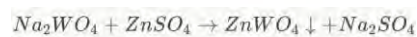
5.1 黄色酸化タングステン(WO₃)の化学組成分析。

滴定(WO₃含有量測定)

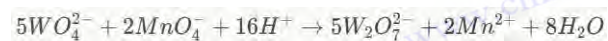
滴定は、WO₃含有量を測定するための伝統的な化学分析技術であり、操作の容易さ、低コスト、信頼性の高い結果により、工業的な品質管理や実験室研究で広く使用されています。この方法は、WO₃を滴定可能なタングステン酸の形態に変換する酸塩基反応または酸化還元滴定の原理に基づいており、含有量は標準溶液の滴定によって計算されます。まず、0.5-1 g の WO₃ サンプル(0.0001 g まで正確)を採取し、50 mL の PTFE りつぽに入れ、10-15 mL の濃縮 NaOH 溶液(質量分率 40%、密度 1.43 g/mL)を加え、電気ホットプレートで 80-100°C に加熱し、サンプルが完全に溶解するまで 30-60 分間攪拌(200-300 rpm)します。可溶性タングステン酸ナトリウム(Na₂WO₄)が生成されます)。反応は次のとおりです。



溶液を室温まで冷却した後、HCl(1 mol/L、約 20-30 mL)で pH 7 まで中和し、微量の H₂WO₄沈殿物を生成した後、過剰な ZnSO₄溶液(0.1 mol/L、20-25 mL)を添加し、10-15 分間攪拌して ZnWO₄の形でタングステン酸を沈殿させました



ペレットを中速濾紙でろ過し、脱イオン水(50-100mL、pH 6-7)で 3~5 回洗浄して、Na⁺イオンと SO₄²⁻イオンを除去します。ケーキを三角フラスコに移し、標準 H₂SO₄(0.1 mol/L、20 mL)で溶解し、WO₄²⁻を放出し、2~3 滴のメチルオレンジインジケータ(0.1%)を添加し、溶液が安定したピンク色になるまで標準 KMnO₄溶液(0.02 mol/L)で滴定しました(MnO₄⁻自己示、30 秒間保持)。滴定反応は：



WO₃質量パーセントは、KMnO₄消費量(V、mL)と濃度(C、mol/L)に基づいて次のように計算されます。

$$WO_3\% = \frac{2 \times C_{KMnO_4} \times V \times M_{WO_3}}{5 \times m_{\text{样品}}} \times 100$$

ここで、M_{WO₃} = 231.84 g/mol、m_{sample} はサンプルの質量 (g) です。アッセイ誤差は通常<0.1%で、再現性は良好(RSD <0.5%)であるため、純度 95%~99.9%の WO₃サンプルに適しています。

滴定の利点には、単純な機器(ビュレット、三角フラスコ、ホットプレートなどのみ、総

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

費用は約 1000～2000 元)が含まれ、操作は高度な技術的背景を必要としないため、工業現場での迅速な検出に適しています。例えば、あるプラントでは 1 日あたり 50～100 WO₃ のサンプルを処理し、滴定は 1～2 時間で分析できます。ただし、この方法は、Mo、V などの元素などの不純物に敏感であり、ZnWO₄の沈殿を妨げる可能性があり、イオン交換または抽出による事前分離が必要です。さらに、サンプルの溶解には強アルカリと高温処理が必要であり、これには高耐腐材料(PTFE やプラチナなど)が必要であり、コストが増加します。サンプルに水分や有機物が含まれている場合は、事前にロースト(200～300℃、1 時間)して干渉を取り除きます。

誘導結合プラズマ発光分光法(ICP-AES)による酸化黄タングステン(WO₃)分析

誘導結合プラズマ発光分光法(ICP-AES)は、微量不純物(Fe、Na、Mo、Si など)や WO₃中の主要元素タングステン含有量の測定に広く使用されている高感度の多元素分析技術です。原理は、サンプルを霧化して高温プラズマ(6000-10000 K)に注入し、原子またはイオンの発光特性スペクトルを励起し、分光計で波長と強度を検出するというものです。0.1～0.2 g の WO₃サンプル(精度 0.0001 g)をマイクロ波分解ジャーに入れ、5 mL の HF(40%、腐食した SiO₂を不純物を添加)、5 mL の HNO₃(酸化剤 65%)、および 2 mL の HCl(37%、安定化タングステンイオン)をマイクロ波消化器(電力 800 W、200℃、サンプルが透明な溶液に完全に溶解するまで 30～40 分。冷却後、脱イオン水で容量を 100mL に減らし、濾過(0.45μm メンブレン)して残留物を除去しました。サンプルは、ペリスタルティックポンプ(流速 1mL / min)によって ICP-AES 装置に注入されました(典型的なパラメータ:RF 電力 1.2-1.5 kW、アルゴン流量 15 L / min、補助ガス 1 L / min、噴霧ガス 0.8 L / min)。タングステンの特性輝線は 207.911nm と 224.875nm で、Fe(259.940nm)、Na(589.592nm)、Mo(202.030nm)などの不純物を同時に測定しました。

ICP-AES は、検出限界が非常に低く(タングステンは 0.1 μg/L、不純物は 0.01-0.05 μg/L)、WO₃検出は直線範囲が広く(0.001%-10%)>1 ppm(0.0001%)から 99.99%までの濃度で 20 元素を含有します。例えば、焙煎して調製した WO₃(ロウ)は、熱水試料中の Fe 含有量が約 5～10ppm、Na<2ppm、Si 含有量が最大 20～50ppm です。この分析法は高精度(RSD<1%、5 回の繰り返し)で、分析時間は短い(1 つのサンプルで 5～10 分)。相関係数 R²>0.999 は、標準曲線(WO₃ 標準試料で調製した 0.1 ～ 1000 mg/L 溶液)によって校正しました。その結果、工業用 WO₃の純度は通常 99.9%～99.99%であり、実験室のナノ WO₃の純度は

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

99.995%に達する可能性があることが示されています。

ICP-AES の利点は、同時多元素分析、高感度、高スループット(毎時 20~30 サンプル)であり、品質管理や科学研究に適しています。ただし、機器のコストは高く(約 50~100 万元)、操作には高純度のアルゴンガス(毎日 20~30 L、約 50~100 元)、サンプル分解には強酸と密閉機器(マイクロ波分解装置など、約 20~300,000 元)が必要であり、オペレーターの要件は高いです(1~3 か月のトレーニングが必要です)。さらに、HF の使用には特別な保護(ヒュームフード、耐酸性手袋など)が必要であり、廃液処理のコストは約 50~100 元/バッチです。このセクションでは、滴定と ICP-AES の詳細な説明を通じて、WO₃ 化学組成分析の従来の手法と最新の手法の組み合わせを示します。

5.2 黄色酸化タングステン(WO₃)の構造特性評価。

黄色酸化タングステン(WO₃)の構造特性評価 - X 線回折(XRD)。

X 線回折(XRD)は、WO₃の結晶構造と相状態を分析するのに最適な手法であり、結晶相、格子パラメータ、および粒径の正確な決定を可能にします。典型的な条件は、Cu K α 放射($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ 、電圧 40 kV、電流 30-40 mA)、バックグラウンドがゼロのスライドガラスまたはシリコンウェーハへのサンプル配置、スキャン範囲 $2\theta = 10^\circ\text{--}80^\circ$ 、ステップサイズ 0.02° 、およびスキャン速度 $2\text{--}4^\circ/\text{min}$ でした。単斜晶系相 WO₃の特徴的な回折ピークは、 $2\theta = 23.1^\circ$ ((002)表面、 $d = 3.85 \text{ \AA}$)、 23.6° ((020)、 $d = 3.77 \text{ \AA}$)、 24.4° ((200)、 $d = 3.65 \text{ \AA}$)、相対強度比は約 1:0.9:0.8、六角形の WO₃ピークは 13.9° ((100))、 22.8° ((110))、 28.2° ((200))で発生します。正方晶相は 22.8° ((110))、 32.5° ((200))です。結晶面間隔はブラッグ方程式($n\lambda = 2d \sin\theta$)で計算し、標準カード(JCPDS 43-1035 単斜晶系相、20-1324 六角形相)と比較することで位相状態を確認しました。

粒径は、 $D = K\lambda / \beta \cos\theta$ ($K = 0.9$ 、 β は半値での幅、ラジアン単位)、例えば、ピーク $\beta = 0.15^\circ$ (約 0.0026 rad)、 $D \approx 50 \text{ nm}$ で $2\theta = 23.6^\circ$ となり、TEM の結果と一致します。リートベルト細分化法は、 $a = 7.306 \pm 0.005 \text{ \AA}$ 、 $b = 7.540 \pm 0.005 \text{ \AA}$ 、 $c = 7.692 \pm 0.005 \text{ \AA}$ 、 $\beta = 90.91 \pm 0.02^\circ$ 、単位セル体積 $423.5 \text{ \AA}^3$ で格子パラメータをさらに細分化します。XRD は、微量のヘテロフェーズ(WO₂)、 $2\theta = 25.7^\circ$ ピーク)で、ドーパまたは欠陥のあるサンプルの分析に 1%-2% の感度で対応できます (例: Na-WO₃ ピークシフト $0.1^\circ\text{--}0.2^\circ$)。実験では、サンプルの均一性($<50 \mu\text{m}$ までの粉碎)と機器のキャリブレーション(Si 標準によるゼロ調整)に注意が必要であり、各測定には 20~40 分かかります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

黄色酸化タングステン(WO_3)の構造特性評価 - フーリエ変換赤外分光法(FTIR)。

フーリエ変換赤外分光法(FTIR)は、 WO_3 の化学結合、官能基、および表面状態を特徴付けるために使用され、分子振動情報を提供します。プロトコルは、1~2mg の WO_3 サンプルを 100~200mg の KBr(スペクトル的に純粋)と混合し、均一に粉碎し、直径 13mm、厚さ 0.5~1mm の透明シートに錠剤プレス(10MPa、2~3 分)でプレスし、測定範囲が 400~4000 cm^{-1} の FTIR 分光計に入れることでした。4 cm^{-1} の解像度、および多数の 32-64 スキャン。単斜晶系相 WO_3 の特徴的な吸収ピークは、700-950 cm^{-1} (W-O-W ブリッジ酸素延伸振動、強く広い)、600-650 cm^{-1} (W-O 曲げ振動、弱い)、800-850 cm^{-1} (W=O 酸素伸張、シャープ) です。サンプルに水和物が含まれている場合(例: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、3400-3500 cm^{-1} (O-H 屈曲)、および 1600-1630 cm^{-1} (H-O-H 曲線)。

FTIR は、950-1000 cm^{-1} の N ドープ WO_3 の W-N 結合振動や、900-950 cm^{-1} の酸素空試料(WO_{3-x})の新たなピークなど、ドーピングまたは欠陥効果を検出することができます。ピーク強度は結晶化度に関係しており、表面効果(FWHM は 20-30 cm^{-1} に増加)により nano WO_3 (<50 nm)が広がります。この方法の利点は、高速(1 回の測定で 5~10 分)、非破壊的、および低い機器コスト(約 10~200,000 元)です。欠点は、定量的な能力が限られているため、ラマンなどの他の手法と組み合わせて確認する必要があります。サンプルは乾燥して調製し(KBr による吸湿を避けるため)、周囲湿度は<50%に制御する必要があります。

黄色酸化タングステン(WO_3)の構造特性評価 - ラマン分光法

ラマン分光法は、 WO_3 の分子振動と結晶対称性を検出することにより、構造と欠陥に関する詳細な情報を提供します。実験は、532 nm レーザー(サンプルの火傷を避けるために出力 1~5 mW)とスペクトル範囲が 100~1000 cm^{-1} の典型的な条件でレーザーラマン分光計を使用して行われ、分解能は 1~2 cm^{-1} 、積分時間は 10~30 秒で、サンプルをスライドガラス上に置いて焦点を合わせました。単斜晶系相 WO_3 の特徴的なピークは、717 cm^{-1} (W-O-W 対称ストレッチ)、807 cm^{-1} (W-O-W 非対称ストレッチ)、および 270 cm^{-1} (W-O 曲げ)です。六方晶相は 680 cm^{-1} ・810 cm^{-1} 、正方相は 690 cm^{-1} ・830 cm^{-1} です。ピーク位置とピーク強度は結晶相の純度を反映しており、例えば、単斜晶系相 WO_3 のピーク強度比は 700-800 cm^{-1} 領域で約 1:1.2 です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ラマン分光法は粒径に敏感で、ナノ WO_3 (<30 nm) のピークが広がり (FWHM は $20\text{-}30\text{ cm}^{-1}$ に増加)、表面フォノン散乱の増強により強度が 20%-30% 減少します。酸素空孔 (WO_{3-x}) の $950\text{-}970\text{ cm}^{-1}$ に新たなピークが現れ、強度は欠陥濃度 ($10^{17}\text{-}10^{19}\text{ cm}^{-3}$) と正の相関がありました。ドーパされたサンプル (Ti- WO_3 など) は、格子応力を反映するために $5\text{-}10\text{ cm}^{-1}$ のピークシフトを持ちます。この方法の利点は、高い空間分解能 (集束スポット < $1\text{ }\mu\text{m}$)、非破壊性、および in-situ 分析への適合性です。欠点は、異なる波長のレーザー (785nm など) で蛍光干渉 (有機残留物など) を除去する必要があり、各測定に 10~20 分かかります。このセクションでは、XRD、FTIR、およびラマンの詳細な説明を通じて、 WO_3 の構造特性とその特性評価方法の包括的な概要を提供します。

5.3 黄色酸化タングステン (WO_3) の形態と顕微鏡分析。

走査型電子顕微鏡 (SEM)

走査型電子顕微鏡 (SEM) は、 WO_3 (酸化炭素) の表面トポグラフィー、粒子サイズ、分布を観察するための主要なツールであり、直感的な 2 次元画像を提供します。実験手順は次の通りである: 少量の WO_3 粉末 (約 $10\text{-}20\text{ mg}$) を取り、それをエタノールに分散させ (超音波 $5\text{-}10$ 分、電力 100 W)、導電性シリコンウェーハまたはアルミホイル上に落下させ、乾燥させ、金 (20 mA 、時間 $60\text{-}90$ 秒、厚さ $10\text{-}15\text{ nm}$) をスプレーして導電率を高める。SEM パラメータは、加速電圧 $5\text{-}15\text{ kV}$ 、作動距離 $5\text{-}10\text{ mm}$ 、倍率 $1000\text{-}50000\times$ です。ミクロンスケールの WO_3 (焙煎によって調製されるなど) は、粒子サイズが $4\text{-}15\text{ }\mu\text{m}$ で表面が滑らかな不規則な多面体です。ナノスケールの WO_3 (例えば、熱水調製物) は、球状 ($20\text{-}50\text{ nm}$)、棒状 (長さ $50\text{-}100\text{ nm}$ 、幅 $10\text{-}20\text{ nm}$)、またはシート状 (厚さ $5\text{-}10\text{ nm}$) で、表面粗さが高くなります。

SEM には元素分布分析用のエネルギー分散型 X 線分析装置 (EDS) が装備されており、典型的な結果は W:O 原子比が $\approx 1:3$ で、不純物 (Na、Si など) の含有量が $< 0.1\%$ です。EDS の分解能は約 $1\text{ }\mu\text{m}$ で、検出限界は $0.1\%\text{-}0.5\%$ です。例えば、焙煎した WO_3 の EDS は $\text{Na} < 0.05\%$ を示し、熱水試料は $0.1\%\text{-}0.2\%$ の Si を含んでいました。SEM の利点は、簡単な操作 ($20\text{-}30$ 分のサンプル調製)、直感的な画像、および機器コストが約 $30\text{-}500,000$ 元であることです。欠点は、分解能が制限され (約 $1\text{-}5\text{ nm}$)、内部構造を観察できず、TEM を組み合わせ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

せる必要があることです。

透過型電子顕微鏡(TEM)

透過型電子顕微鏡(TEM)は、ナノスケールのサンプル分析のために、 WO_3 の高分解能の微細構造と結晶情報を提供します。実験手順は以下の通りである:5~10mgの WO_3 を取り、エタノールに分散させ(10~15分間の超音波処理)、炭素膜銅メッシュ(200~300メッシュ)に滴下し、自然乾燥させる。TEMパラメータは、加速電圧 200kV、倍率 50,000~500,000倍、分解能 0.1~0.2nm です。TEM 画像は、粒界が明確な熱水試料の球状(20-30 nm)や棒状(長さ 50-100 nm)など、ナノ WO_3 の形態を示しています。高分解能 TEM(HRTEM)は、単斜晶系位相(002)平面 $d = 3.85 \pm 0.02 \text{ \AA}$ 、(200)平面 $d = 3.65 \pm 0.02 \text{ \AA}$ で、XRD と一致する平面間隔を明らかにしました。

HRTEM は、格子歪みとして現れる酸素空孔や Ti^{4+} などのドーパ原子が局所的なコントラストの変化を引き起こすなどの欠陥も観察できます。選択的電子回折(SAED)は回折スポットを生成し、単斜晶系位相 WO_3 は(002)、(020)、(200)リングを示して結晶方位を確認します。TEM の利点は、分解能が高く、原子レベルの構造を直接観察できることです。

欠点は、サンプル調製が複雑(極薄分散が必要で、1~2時間かかる)、機器が高価(約 100 万~200 万元)、および操作要件が高いことです。このセクションでは、SEM と TEM の詳細な説明を通じて、 WO_3 トポグラフィーと微細構造の特性評価技術と応用について説明します。

5.4 黄色酸化タングステン(WO_3)の構造特性評価と物性試験。

黄色酸化タングステン(WO_3)の構造特性評価 - BET 比表面積の決定

BET(Brunauer-Emmett-Teller)比表面積測定は、 WO_3 表面の物理的特性を分析するための重要な技術であり、比表面積と細孔構造は窒素吸着脱着実験によって決定され、その機能的応用(触媒作用やエネルギー貯蔵など)の基礎を提供します。以下は、比表面積の定義、 WO_3 比表面積と処理技術と粒子サイズとの関係、およびアプリケーションとの意義と関係に対する基本原理と測定方法の詳細な分析です。

基本原理と実験方法 BET 法は、多層吸着の理論に基づいており、77 K(液体窒素温度)での N_2 の吸着脱着挙動を使用してサンプル表面積を決定します。プロトコルは、0.1~0.5 g の WO_3 サンプルを採取し、特定の表面積分析装置(Micromeritics ASAP 2020 などの典型的なモデル)のサンプルチューブに入れ、真空下(10°C)で 200~300°C で 2~4 時間前処理

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

して、水分と揮発性不純物を除去することです。77Kに冷却し、高純度 N₂(99.999%)を導入し、圧力を徐々に増圧(0-1atm)し、吸着容量(cm³/g)を相対圧力(P/P₀)の関数として記録した。脱着プロセスは逆に進行し、吸着-脱着等温線を形成します。BET 方程式によると、次のようになります。

$$\frac{P}{V(P_0-P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)P}{V_m C P_0}$$

ここで、V は吸着容量、V_m は単分子膜の吸着容量、C は定数であり、V_m は線形回帰 (P/P₀ = 0.05-0.35)によって計算されます。比表面積(S)は次のとおりです。

$$S = V_m \cdot N_A \cdot A_{N_2} / m$$

ここで、N_A はアボガドロ定数(6.022×10²³ mol⁻¹)、A_{N₂}は N₂分子断面積(0.162 nm²)、m はサンプル質量(g)です。細孔分布は、脱着曲線から BJH(Barrett-Joyner-Halenda)法で計算されましたが、誤差は<5%でした。

ミクロンスケールの WO₃(焙煎によって調製、粒子サイズ 4-15μm)は、比表面積が 5-15m²/g、細孔サイズが 10-20nm で、ほとんどがメソポーラス構造です。ナノスケールの WO₃(例えば、熱水調製、粒子径 20-50 nm)は 30-50 m²/g、細孔径 5-10 nm、微孔性(<2 nm)およびメソ細孔です。実験は 4-6 時間かかり、再現性が得られた(RSD <3%)。

比表面積とは何ですか？

比表面積とは、外面と内細孔面を含む固体材料の単位質量あたりの総表面積(m²/g)を指し、多孔質材料または粒状材料の表面特性を特徴付けるための重要なパラメータです。WO₃の場合、比表面積はその粒子サイズ、多孔性、および界面活性部位の数を反映しています。理論的には、固体粒子の比表面積は粒子サイズに反比例し、粒子サイズが小さいほど、単位質量あたりの表面積は大きくなります。たとえば、理想的な球状粒子の比表面積 $S = 6 / (\rho \cdot D)$ 、ここで、 ρ は密度(WO₃≈7.16 g/cm³)、D は粒子サイズ(μm)です。D=10 μm のとき、S≈0.08 m²/g; D=0.02 μm(20 nm)の場合、S≈41.9 m²/g であり、ナノ化による表面積の大幅な増加を示しています。ただし、実際の WO₃の比表面積は、形態(球状、棒状、シート状)、細孔構造、凝集の程度の影響を受けるため、BET で測定する必要があります。

酸化タングステンの比表面積は、調製プロセスと密接に関連しており、異なるプロセスによって生成される粒子サイズ、形態および細孔構造は大幅に異なります

焙煎方法

AMT は 500~700°C の空气中で分解され、比表面積が小さいミクロンサイズの WO₃(4~15μm)が生成されます(5~15m²/g)。高温により、粒子が焼結し、細孔が崩壊し、表面活性部位が減少します。例えば、600°C で 4 時間ローストした WO₃(ウォリウム)の比表面積は 8-10 m²/g、細孔容積は 0.02-0.03 cm³/g です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

水熱法

180-200°C、10-20 気圧での反応により、比表面積が最大 30-50 m²/g の nanoWO₃(20-50 nm)が得られます。低温高圧は開いた細孔(六角形相のチャンネル構造など)を保持し、比表面積は反応時間(12-24 時間)の延長とともにわずかに減少しました。例えば、180°C で 12 時間経過したサンプルの比表面積は 45-50 m²/g、細孔径は 5-8 nm です。

ソルボサーマル法

エチレングリコールなどの溶媒を用いて、200°C で 6~12 時間反応を行い、比表面積 20 ~40m²/g のロッドまたはシート WO₃(30~100nm)を生成しました。溶媒の種類と濃度は形態に影響を及ぼし、エチレングリコールの割合が高いとフレーク構造が形成され、比表面積は小さくなります(約 25m²/g)。

水素還元法

WO₃(3-6μm)は、比表面積 5-10 m²/g で間接的に生成され、高温還元および酸化プロセスにより、粒子がより少ない細孔で緻密化します。

温度、雰囲気、保持時間などのプロセスパラメータも結果に影響を与え、例えば、焙煎プロセスの 700°C は、穀物の凝集が増加するため、500°C の比表面積よりも 20%~30%低くなります。

酸化タングステンの比表面積と粒子サイズとの関係 WO₃ WO₃ の比表面積は粒子サイズに反比例し、粒子の形態と凝集の影響を受けます。理論的には、球状粒子の比表面積は粒子サイズが小さくなると劇的に増加しますが、実際には WO₃は多面体やナノロッドであることが多く、凝集によって有効表面積がさらに減少します。実験データは以下を示しています。

ミクロンスケール WO₃(D50 = 5-10 μm):比表面積 5-10 m²/g、粒子が大きく、表面が滑らかで、内部細孔が少ない。

サブミクロンスケール(D50 = 0.1-1 μm):比表面積 15-25 m²/g、遷移状態、部分的な細孔形成。

ナノスケール(D50 = 20-50 nm):比表面積 30-50 m²/g、粗い表面、豊かな細孔。例えば、熱水 WO₃は 20 nm から 50 nm に増加し(反応時間が長い)、比表面積は 50 m²/g から 35 m²/g に減少し、約 30%減少しました。TEM と BET のデータは一貫しており、粒子サイズの増加は凝集を伴い、露出した表面を減少させたことを示しました。ナノ WO₃の高い比表面積は、量子サイズ効果と表面原子の割合(表面原子の約 20%~30%)の増加によるもの

のですが、ミクロンスケールではわずか 1%~2%です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

酸化タングステンの比表面積とその使用の重要性と関係 WO_3 WO_3 の比表面積は、触媒作用、エネルギー貯蔵、センシング、エレクトロクロミックの分野での性能に直接影響します

光 触媒

比表面積が大きいと、活性部位が増加し、光触媒効率が向上します。例えば、ナノ WO_3 の比表面積 $50\text{m}^2/\text{g}$ が可視光下でメチレンブルーを分解する速度(0.03min^{-1})は、 $10\text{m}^2/\text{g}$ ミクロン WO_3 (0.01min^{-1})の 3 倍であり、水分子と光生成電子正孔対が表面に吸着されるため、水素生成速度は 0.7mmol/h.g から $0.9\text{-}1.0\text{mmol/h.g}$ に増加します。

ガスセンシング

比表面積が大きい WO_3 (例えば、 $40\text{m}^2/\text{g}$)は、 NO_2 および H_2S に対して 2~3 倍感度が高く、ガス分子の吸着が増加するため、応答時間は 5~10 秒に短縮されます。例えば、 20nm WO_3 の NO_2 検出限界は 10ppb ですが、 $5\text{ }\mu\text{m}$ WO_3 はわずか 50ppb です。

リチウムイオン電池

Nano WO_3 (比表面積 $30\text{-}50\text{m}^2/\text{g}$)は、最大 $700\text{-}720\text{mAh/g}$ の初期容量と 1000 サイクル後の 88%の保持力を持つ Li^+ 埋め込みサイトをより多く提供しますが、ミクロン WO_3 ($10\text{m}^2/\text{g}$)は拡散経路が長いと、容量はわずか $400\text{-}450\text{mAh/g}$ です。

エレクトロクロミック

高比表面積の WO_3 (WO_3)膜(例: $35\text{m}^2/\text{g}$)は、イオン拡散率の増加により透過率が 70%から 85%に増加し、応答時間が 10 秒から 6~8 秒に増加します。逆に、比表面積の小さい WO_3 (例: $5\text{-}10\text{m}^2/\text{g}$)は、安定性が高く、表面活性要件が低いと、セラミック顔料やタングステン粉末原料に適しています。比表面積が大きすぎると、凝集や副反応(光触媒における電子再結合速度の増加など)を引き起こす可能性があり、プロセス平衡を最適化する必要があります。

BET アッセイは、 WO_3 の比表面積を定量化するだけでなく、プロセス、粒子サイズ、および使用との深い関連性を明らかにします。ナノベースのプロセス(例:水熱)は比表面積を大幅に増加させ、機能的なアプリケーションを強化しますが、従来の焙煎方法は大きな粒子と低い表面積の要件に適しています。装置(標準 SiO_2 、表面積 $200\text{m}^2/\text{g}$)は、信頼性の高いデータを確保するために、測定ごとに校正されています。

熱重量分析(TG)と示差走査熱量測定(DSC)の比較

熱重量分析(TG)と示差走査熱量測定(DSC)を使用して、 WO_3 の熱安定性、分解挙動、相変態特性を評価します。実験は、アルミナるつぼ内のサンプルの $10\text{-}20\text{mg}$ の典型的な条件、 $5\text{-}10^\circ\text{C}/\text{min}$ の加熱速度、 $25\text{-}1000^\circ\text{C}$ の温度範囲、空気または N_2 の雰囲気(流量 $50\text{-}100\text{mL}$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

/ min)の典型的な条件で熱分析装置で行われました。TG は質量変化を記録し、DSC は熱流束差を測定します。

TG の結果は、純粋な WO_3 が $<500^\circ\text{C}$ で安定であり、 $500\text{-}900^\circ\text{C}$ で微量に揮発し ($<1\%$ の損失)、 900°C 昇華が明らかであることを示しました ($5\%\text{-}10\%$ の損失、 $0.05\text{-}0.1\text{g}/\text{min} \cdot \text{cm}^2$ の割合)。水和物含有サンプル(例: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)は、 $100\text{-}200^\circ\text{C}$ で結晶水を失い ($8\%\text{-}10\%$ の質量損失)、 WO_3 として $300\text{-}400^\circ\text{C}$ で完全に脱水します。 600°C より前には焙煎 WO_3 に大きな変化はなく、 200°C 以前には水の水吸着が $2\%\text{-}3\%$ 減少しました。DSC は相転移、単斜晶系相→六角形相 ($350\text{-}400^\circ\text{C}$ 、エンタルピー変化 $5\text{-}10\text{ kJ}/\text{mol}$)、六方晶→正方晶相 ($740\text{-}800^\circ\text{C}$ 、 $15\text{-}20\text{ kJ}/\text{mol}$)、正方晶相→立方相 ($>900^\circ\text{C}$ 、ephemeral) です。熱流のピークは、格子の再構成と酸素結合の切断に関連しています。

この方法の利点は、熱挙動の視覚的反射 ($1\sim 2$ 時間) と高分解能 ($0.1\mu\text{g}$ の質量変化、 0.01mW の熱流) です。欠点は、サンプル量が小さく ($<50\text{ mg}$)、XRD と組み合わせて相転移を確認する必要があります。TG-DSC は、昇華損失を回避するなど、 WO_3 の熱処理プロセスの最適化をガイドします。このセクションでは、 WO_3 の物理的特性と、BET および TG-DSC の改良による試験方法について包括的に説明します。

5.5 黄色酸化タングステン(WO_3)の電気化学的および光電性能試験。

サイクリックボルタンメトリー(CV)

サイクリックボルタンメトリー(CV)は、 WO_3 の電気化学的性能を評価するための一般的な手法であり、エレクトロクロミックデバイス、スーパーキャパシタ、およびバッテリー研究で広く使用されています。実験は電気化学ワークステーション(3 電極系)で行われました:FTO ガラス(面積 1cm^2 、作用電極)、Pt シート (2cm^2 、対電極)、Ag/AgCl(飽和 KCl、参照電極)、電解質 $0.5\text{ mol}/\text{L H}_2\text{SO}_4$ または $1\text{ mol}/\text{L LiClO}_4$ (中性)、スキャン速度 $10\text{-}100\text{ mV}/\text{s}$ 、電位範囲 $-0.5\text{-}1.0\text{ V}$ 。CV 曲線は、以下の反応で酸化ピーク ($0.3\text{-}0.5\text{ V}$ 、 Li^+ 出口) と還元ピーク ($-0.1\text{-}0.2\text{ V}$ 、 Li^+ 包埋)を示しました



$50\text{ mV}/\text{s}$ での nano WO_3 (30 nm) のピーク電流は $2\sim 3\text{ mA}/\text{cm}^2$ 、静電容量は $100\sim 150\text{ mF}/\text{cm}^2$ 、マイクロメータ WO_3 ($5\mu\text{m}$) はわずか $0.5\sim 1\text{ mA}/\text{cm}^2$ で、表面積の違いを反映しています。CV は、1000 サイクル後の体積保持率が 85% から 90% で、サイクル安定性を評価します。

紫外可視分光法(UV-Vis)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

UV-Vis 分光法は、 WO_3 の光吸収とバンドギャップを測定するため、光触媒研究やエレクトロクロミック研究に適しています。この実験では、200～800nm の測定範囲の薄膜(石英シートにスピンコーティング)または粉末(プレスシート)を 1nm 刻みで使用した分光光度計を使用します。 WO_3 の吸収端は 430-460nm で、エネルギーバンドギャップはタウク曲線($(\alpha h\nu)^2$ 対 $h\nu$)で計算され、単斜晶系相は 2.6-2.8 eV、ナノスケール(20 nm)は量子閉じ込め効果により 2.8-2.9 eV に増加します。ドーピングされた WO_3 (Ti- WO_3 など)は、赤方偏移を 500-520 nm まで吸収し、エネルギーバンドギャップを 2.4-2.5 eV に減少させます。このセクションでは、 WO_3 (ウォリウム)の電気化学的および光電子的特性と、CV および UV-Vis の精緻化による測定方法について説明します。

参照

- ラスナー、E.、およびシューベルト、W.-D.(1999). タングステン:特性、化学、技術。スプリングー。
- 張奇雲。(2010). タングステンの化学と技術。冶金業界プレス。
- Zheng, H., et al. (2011).ナノ構造酸化タングステン - 特性と応用。 化学会レビュー。
- Wang, J., et al. (2015).エネルギー貯蔵のための三酸化タングステンナノ構造。 *Journal of Materials Chemistry A*.
- 劉陽。(2020). メタタングステン酸アンモニウムの熱分解挙動と生成物分析。無機化学ジャーナル。
- チェン・リジュアン。(2018). WO_3 材料の構造と特性の特性評価。材料科学と工学の中国ジャーナル。
- Zhang, Y., et al. (2023). WO_3 ナノ材料の構造欠陥とドーピング効果。 *Journal of Physical Chemistry C*.
- Brunauer, S., et al.(1938). 多分子層へのガスの吸着。 アメリカ化学会誌。
- (2021). WO_3 ナノ材料の比表面積と触媒特性。 *Acta Chimica Sinica*。
- Gregg, S. J., & Sing, K. S. W. (1982). 吸着、表面積、多孔性。アカデミックプレス。
- Yang, X., et al. (2019). WO_3 光触媒に対する表面積の影響。応用触媒 B:環境。
- 李明。(2022). リチウムイオン電池への WO_3 の応用。電気化学。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

CTIA グループ

三酸化タングステン(黄色タングステン、 WO_3 、黄色三酸化タングステン、YTO)はじめに

1. 三酸化タングステンの概要

CTIA グループの三酸化タングステン(黄色のタングステン、 WO_3 と呼ばれる)は、GB/T 3457-2013 "酸化タングステン"ファーストクラスの製品の要件を満たすパラタングステン酸アンモニウム高温焼成プロセスによって生成されます。黄色のタングステンは、その淡黄色の結晶粉末の形態、高純度および化学的安定性のために、タングステン粉末、超硬合金、タングステンワイヤおよびセラミック着色剤の調製に広く使用されています。CTIA GROUP は、粉末冶金および工業製造のニーズを満たすために、高品質の黄色タングステン製品を提供することに取り組んでいます。

2. 三酸化タングステンの特性

化学組成: WO_3 。

純度: $\geq 99.95\%$ で、不純物含有量が非常に少ない。

外観: 淡黄色の結晶粉末、均一な色。

多形: 単斜晶系(室温で最も一般的)、空間群 $P2_1/n$ 。

高い安定性: 空気中で安定しており、水やフッ化水素酸を除く無機酸に不溶です。

反応性: 水素($>650^\circ\text{C}$)または炭素($1000-1100^\circ\text{C}$)によってタングステン粉末に還元できます。

均一性: 粒子分布が均一で、下流の処理に適しています。

3. 三酸化タングステンの仕様

インデックス	CTIA GROUP イエロータングステン 1 級標準
WO_3 含有量(wt%)	≥ 99.95
不純物(wt%, max.)	$\text{Fe} \leq 0.0010, \text{Mo} \leq 0.0020, \text{Si} \leq 0.0010, \text{Al} \leq 0.0005, \text{Ca} \leq 0.0010, \text{Mg} \leq 0.0005, \text{K} \leq 0.0010, \text{Na} \leq 0.0010, \text{S} \leq 0.0005, \text{P} \leq 0.0005$
水分(wt%)	≤ 0.05
粒子サイズ	1-10(μm , FSSS)
密度が緩い	2.0-2.5(g/cm^3)
カスタマイズ	粒子サイズまたは不純物の制限は、顧客の要件に応じてカスタマイズできます

4. 三酸化タングステンの包装と保証

パッキング: 内側の密封されたビニール袋、外側の鉄ドラムまたは織物袋、正味重量 50kg または 100kg、防湿設計。

保証: 各バッチには、 WO_3 含有量、不純物分析、粒子サイズ(FSSS 法)、ルース密度、水分データを含む品質証明書が付属しています。

5. 三酸化タングステン調達情報

メールボックス: sales@chinatungsten.com 電話: +86 592 5129696

タングステンイエローの詳細については、Chinatungsten Online のウェブサイト www.tungsten-powder.com をご覧ください。

第 6 章: 黄色酸化タングステン(WO_3)の応用。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

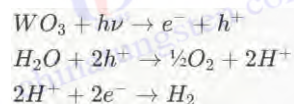
6.1 黄色酸化タングステン(WO₃)の用途 - 触媒分野

WO₃は、狭いバンドギャップ(2.6-2.8 eV)、高い酸化能力(NHE に対して約 3.0 V の正孔電位)、化学的安定性(酸およびアルカリ腐食に対する耐性)、豊富な界面活性サイトなど、そのユニークな物理化学的特性により、触媒分野で幅広い応用の可能性を示しています。以下では、光触媒と化学触媒の2つの方向から、メカニズム、性能データ、プロセスインパクト、最適化戦略、および実際のケースを網羅して、詳細な分析を行います。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - 光触媒(水素製造、汚染物質分解、空気浄化)。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - 水素

製造 WO₃ 特に可視光によって駆動される場合、光触媒水分解で水素を生成するのに優れています。NanoWO₃(粒子サイズ 20-50 nm、比表面積 30-50 m²/g)は、量子サイズ効果と高い表面積により、研究のホットスポットとなっています。WO₃/Pt 複合材料を例にとると、300W キセノンランプ(λ>420nm、強度 100mW/cm²)の照射下での水素生成速度は 0.9-1.2 mmol/h · g であり、従来の TiO₂(0.5-0.7 mmol/h · g)よりも高くなっています。具体的実験条件は、10%メタノール 100mL の水(犠牲剤)に 0.1g の WO₃/Pt(Pt 負荷 1wt%)を分散させ、pH6-7、25°C、連続的に攪拌(300rpm)した。水素生成速度は、光強度の増加に伴って直線的に増加し、150mW/cm²で 1.5~1.8mmol/h · g に達しました。そのメカニズムは、WO₃が可視光を吸収して電子-正孔対を形成し、正孔がメタノールを酸化して CO₂ と H⁺を生成し、電子が Pt 上の H⁺を還元して H₂を生成するというものです。



ドーピングの最適化により、N-WO₃(N 含有量 2-3 at%)バンドギャップが 2.4 eV に減少し、吸収端で 520 nm に赤方偏移し、水素生成が 1.5-2.0 mmol/h · g に増加し、可視光利用が 43%から 50%-55%に増加するなど、性能が大幅に向上します。WO₃/g-C₃N₄の組み合わせ(質量比 1:1)は、水素生成速度が 2.2~2.5 mmol/h · g で効率をさらに向上させ、ヘテロ接合が強化された電荷分離により再結合速度が 40%~50%減少します(光電流試験、1.5 mA/cm² 対 0.8 mA/cm²)。水熱法(180°C、12 時間)は、表面積の違いや結晶欠陥により、焙煎法(600°C、4 時間、5-10μm)に比べて水素生成速度が 3~4 倍高かった。実際には、WO₃光触媒水素製造は、太陽光発電の H₂発電機(1 日あたり 10~20 L H₂、効率 3%~5%)などの実験室規模の再生可能エネルギーシステムですでに使用されています。課題は、電

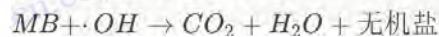
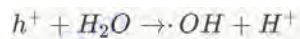
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

子-正孔再結合と伝導帯電位の低下(0.4 V vs NHE)にあり、エネルギーレベルを調整するために BiVO₄または CdS の再結合が必要です。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用-汚染物質の分解 WO₃は、有機汚染物質(染料、フェノール、VOC など)の光触媒分解において高い効率を示します。メチレンブルー(MB、10 mg/L)を例にとると、50 m²/g ナノ WO₃の 50 m²/g での分解速度は、可視光(50 mW/cm²)下で 2 時間で 90%-95%であり、一次動力定数は 0.03-0.04 min⁻¹で、ミクロン WO₃(0.01 min⁻¹)よりも優れていました。実験条件:0.05 g の WO₃を 50 mL の MB 溶液、pH6、25°C

に懸濁し、200 rpm で攪拌。劣化メカニズムは次のとおりです:光生成された穴の形成・

OH (E = 2.8 V vs NHE)、MB から CO₂ および H₂O への酸化:



複合 Ag-WO₃(Ag1wt%)の劣化率は、Ag 捕獲電子による正孔寿命の延長(フォトルミネッセンス強度の 60%低下)により、98%に増加します。フェノール汚染物質(フェノール、

20mg/L など)は 3 時間以内に 85%~90%分解され、TOC 除去は 70%~80%で、WO₃は可

視光に強く反応するため、UV-TiO₂(60%~70%)よりも優れています。VOC(トルエン、

10ppm など)は、WO₃フィルム(200nm、スピンコーティング)上で 4 時間かけて>85%分解し、CO₂と H₂O を生成するため、室内空気清浄に適しています。熱水 WO₃(六方晶系相、

40m²/g)は、結晶相と細孔構造の違いにより、焙煎法(単斜晶系相、10m²/g)よりも 2~3 倍

効率的です。事例:工場では、WO₃光触媒を使用して印刷および染色廃水(COD 500-1000

mg / L)を処理し、COD は 6 時間で<100 mg / L に減少し、運用コストは約 2~3 元/m³

です。光触媒の回収と長期安定性が課題であり、そのためには磁性化合物(WO₃/Fe₃O₄など)や固定化技術(WO₃/TiO₂膜など)の開発が必要です。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - 空気浄化 WO₃は、屋内および屋外の空気浄化で

ホルムアルデヒド、NO_x、バクテリアを分解します。ホルムアルデヒド(10ppm)の場合、WO₃膜(200nm、ソルボサーマル法)は、10W LED ランプ(400-700nm)の下で 4 時間で

<0.1ppm に減少し、劣化率は>95%、速度定数は 0.02min⁻¹です。光発生メカニズム $\cdot OH$ および O₂⁻はホルムアルデヒドを CO₂および H₂O に酸化します。抗菌性では、WO₃(20nm)

が可視光下で ROS を発生し、1 時間で 95~98%の割合で大腸菌を死滅させ、病院の空気

清浄機(1 日あたり 500~1000m³の空気)で使用されています。最適化戦略には、Cu(Cu-

WO₃、抗菌率 99%に増加)のドーピングと比表面積の増加(60 m²/g、効率の 30%向上)が含ま

れます。実際には、オフィスビルは WO₃コーティングされた壁パネルを使用しており、ホルムアルデヒド濃度は 0.5ppm から 0.05ppm に減少し、6 か月の運用後に性能が安定し

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ています。課題は、低光強度での効率の低下と、自己発光複合材料(WO_3 /蛍光体など)の開発です。



黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - 化学触媒作用(水素化分解、脱硫および酸化反応)。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - 水素化分解 WO_3 は、重油の変換率を改善するために石油化学水素化分解の有効成分として使用されます。Ni- WO_3 /Al₂O₃(WO_3 20wt%、Ni5wt%)を例にとると、固定床反応器(350-400°C、10-15MPaH₂、LHSV1h⁻¹)では、重油(原薬重<20)が軽質留分(C₅-C₁₂)に割れ、Ni/Al単体 WO_3 (65%-70%)よりも高い収率で高いとされています。そのメカニズムは次のとおりです: WO_3 は、C-C結合の切断を促進するために、ルイス酸位(表面W⁶⁺)とブレンステッド酸位(W-OH)を提供します。NiはH₂を分解して活性型Hを形成し、相乗的に水素化されます。触媒の性能は WO_3 結晶相に関連し、酸性ポテンシャル密度が0.5-0.7 mmol/g(NH₃-TPD試験)増加するため、単斜晶系相(焙煎、600°C)は六角形相(水熱)よりも15%-20%活性が高くなります(NH₃-TPD試験)。産業事例:

石油精製所は年間100万トンの重油を処理し、Ni- WO_3 触媒の寿命は2~3年、石油1トンあたりのコストは50~80元です。課題は、 WO_3 が高温(>450°C、活性低下30%)で WO_2 に回復し、ZrO₂(10重量%)を添加することで安定化することです。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

黄色酸化タングステン(WO₃)の適用-脱硫 WO₃は、水素化脱硫(HDS)で硫化物の H₂S への変換を触媒します。WO₃/MoS₂(WO₃15 重量%)を例にとると、300-350°C で 5-10MPa の H₂ジベンゾチオフェン(DBT、500ppm)を>95%に変換し、硫黄含有量を<10ppm に低減しました。これは MoS₂(85%)-90%よりも高かったです。そのメカニズムは、W⁶⁺が DBT の S 原子を酸化し、Mo と H₂が相乗的に除去されるというものです。WO₃(0.4-0.6 mmol/g)の酸性度は吸着を促進し、nano-WO₃(20 nm)は表面積が 40 m²/g に増加するため、マイクロスケール(5 μm)よりも 25%活性があります。実用化:ディーゼル脱硫ユニット(日次処理能力 5000 トン)は WO₃触媒を使用し、硫黄放出は Euro V 基準(<10 ppm)を満たしています。そして、運用コストは 30-50 元/トンです。高温安定性がボトルネックであり、その寿命を 3~4 年に延ばすには、SiO₂(酸化チタン)担体(比表面積 200m²/g)が必要です。

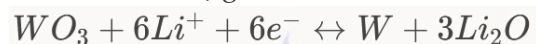
黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - 酸化反応 WO₃触媒酸化反応(例:フェノール合成、オレフィンエポキシ化)。ベンゼン酸化を例にとると、WO₃(5-10μm)は、H₂O₂(30 重量%、ベンゼン:H₂O₂=1:2)で 250°C でベンゼンをフェノールに触媒し、収率は 60%~70%、選択性は>90%です。そのメカニズムは、W⁶⁺と H₂O₂が過酸化物种(W-OOH)を形成し、酸素がベンゼン環に移動するというものです。ナノ WO₃(20 nm)の収率は、活性部位の増加により 75%~80%に増加します。工業的には、WO₃はシクロヘキセンエポキシ化(収率 85%-90%)に使用され、年間 10,000 トンの化学品が排出されます。課題は、H₂O₂の利用率が低い(50%-60%)ことと、効率を 70%-80%に向上させるための二官能性触媒(WO₃/TiO₂など)の開発です。

6.2 黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - エネルギー貯蔵と変換

WO₃(ウオ)は、その大容量、高速な電荷移動、特にリチウムイオン電池におけるエネルギー貯蔵と変換の多様性で注目を集めています。以下では、バッテリーセクションの拡張に焦点を当て、スーパーキャパシタ、燃料電池などについて簡単に説明します。

黄色酸化タングステン(WO₃)のアプリケーション-リチウムイオン電池電極(容量 600-750 mAh/g)。

性能とメカニズム WO₃リチウムイオン電池の負極材料として、多電子反応に基づく理論容量は 693mAh/g です



0.01-3 V 対 Li/Li⁺の範囲の Nano WO₃(20-50 nm、30-50 m²/g)、初期放電容量 700-750 mAh/g、充電容量 650-700 mAh/g、クーロン効率 90%-95%。実験条件:WO₃電極は、導電性カーボンブラックと PVDF(質量比 8:1:1)で作られ、銅箔(厚さ 20-30μm)、電解質 1 M LiPF₆(EC:DMC = 1:1)、定電流充電および放電(0.1 C、1 C = 693 mA/g)でコーティングさ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

れました。100 サイクル後、容量は 600~650 mAh / g のままで、グラファイト(372 mAh / g、350 mAh / g に保持)よりも高くなっています。この高容量は、 W^{6+} から W^0 への 6 電子移動によるもので、表面積よりも多くの Li^+ インターカレーションサイトを提供し、拡散係数は 10^{-10} - 10^{-9} cm²/s(EIS テスト)です。ミクロン WO_3 (5-10 μ m、10 m²/g)の初期容量はわずか 400-450 mAh/g で、内部拡散経路が長い(10^{-8} cm²/s)ため、50 サイクル後には 300-350 mAh/g に低下します。

プロセスの影響

準備プロセスは、パフォーマンスに大きく影響します。熱水 WO_3 (20 nm、六角相)の初期容量は 720-750 mAh/g、焼成法(5 μ m、単斜晶系相)はわずか 400-450 mAh/g です。ナノメートルサイズにより拡散距離が短縮され、六角形相の開チャンネル(細孔サイズ 5-6 Å)が Li^+ 伝導を助長します。Mo ドーピング(Mo- WO_3 、Mo 5 at%)は導電率を改善し(10^{-3} S/cm 対 10^{-4} S/cm)、容量は 780-800 mAh / g に増加します。複合材料の最適化効果は顕著です: WO_3 /CNT(CNT 10 wt%)の初期容量は 800-850 mAh/g で、1000 サイクル後も 700 mAh/g を維持します。これは、CNT が体積膨張を緩和(200% → 150%)、電子伝導を増強する(10^{-2} S/cm)ためです。 WO_3 /rGO(グラフェン 15 重量%)の容量保持率は 92%で、500 サイクル後も 650 mAh/g に達しますが、これはグラフェン(10 S/cm)の柔軟性と高い導電性によるものです。

周期的な安定性と最適化 WO_3 (約 200%)の体積膨張は、初めて 20%~30%の不可逆的な損失(SEI 膜形成)をもたらし、電極は 100 サイクル後に粉砕され、容量は 10%~15%減少します。最適化戦略には、(1)コアシェル構造(WO_3 @C、炭素層 5-10 nm など)、容量保持率 90%、1000 サイクル後 680 mAh / g が含まれます。(2)多孔質 WO_3 (細孔径 10-20 nm、ソルボサーマル法)、応力緩和、500 サイクル後 620 mAh / g。(3)Ti ドーピング(Ti- WO_3 、Ti 5 at%)、格子安定性、2000 サイクル後 600 mAh / g。実際の試験では、 WO_3 @C 電極の容量は 1°C で 550-600 mAh/g、5°C ではまだ 400-450 mAh/g であり、速度性能はグラファイト(5°C で 200 mAh/g)よりも優れています。

アプリケーションシナリオ WO_3 バッテリーは、高いエネルギー密度を必要とするシナリオに適しています。例:電気自動車のバッテリーパック(10 Ah)は、エネルギー密度が 250~280 Wh/kg の WO_3 /C アノードを使用しており、これはグラファイトバッテリー(200~220 Wh / kg)よりも高いため、航続距離は 20%~25%増加します。携帯型電子機器の中でも、 WO_3 薄膜電池(厚さ 50~100 μ m)は容量密度が 600~650 mAh/cm³、サイクル寿命が 500~1000 サイクルで、スマートウォッチに適しています。課題は、大規模生産のために

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

コスト(WO₃ナノ材料が 500~1000 元/ kg であるのに対し、グラファイトは 100~200 元 / kg)を 200~300 元/ kg に削減する必要があることです。

黄色酸化タングステン(WO₃)の用途 - スーパーキャパシタ(比容量 250-350 F / g)。

WO₃は、250~350 F/g(1 A/g、0.5 M H₂SO₄)の比容量を持つ W⁶⁺/W⁵⁺擬似コンデンサを介してスーパーキャパシタに電荷を貯蔵します。Nano WO₃(40m²/ g)ピーク電流 2-3mA / cm²、充放電時間 5-10 秒。複合 WO₃/MnO₂の後、比容量は 400~450 F / g に増加し、保持率は 5000 サイクルで 90%であり、急速なエネルギー貯蔵に適しています。

燃料電池、太陽電池、熱電発電

WO₃/Pt は、燃料電池の ORR 活性が 0.25 A/mg Pt です。WO₃/TiO₂ は DSSC で 8.5%-9%の効率です。熱電発電では、WO₃ゼーベック係数 200-300μV/K と効率 2%-3%の廃熱回収を利用します。

6.3 黄色酸化タングステン(WO₃)の応用-スマートマテリアル

WO₃(ウォ)は、スマートマテリアル、特にエレクトロクロミズムの分野における電氣的、熱的、写真的、piezochromic特性で注目を集めています。次に、そのパフォーマンス、メカニズム、およびアプリケーション シナリオの詳細な分析を示します。

黄色酸化タングステン(WO₃)の用途 - エレクトロクロミック材料(スマートウィンドウ、ディスプレイ、ミラー)。

性能とメカニズム WO₃ はエレクトロクロミズム(EC)のコア材料であり、電界の印加下で色と光の透過率が可逆的に変化する可能性があります。WO₃(200-300 nm、ソルボサーマルまたはスパッタリング)は、-1 V~+1 V(対 Ag/AgCl)で 80%(透明、550 nm)から 20%(青)

の光透過率を持ち、応答時間は 6~10 秒で、10°サイクル後には<5%の減衰が得られます。

反応は次のとおりです。



透明状態は W⁶⁺、青色の状態は W⁵⁺/W⁶⁺混合価電子状態、光変調は格子間電子吸収(1.8-2.0 eV)によるものです。Nano WO₃(20-50 nm、35 m²/g)は、イオン拡散係数が 10°C²/s(ミクロン 10°C²²/s、EIS 試験)に増加したため、ミクロン(5-10 μm、10 m²/g)よりも 30%から 40%効率的です。実験条件:FTO ガラス(1cm²)にコーティングされた WO₃フィルム、電解質 0.1 M LiClO₄/PC、サイクリックボルタンメトリースキャン(50 mV/s)、酸化ピーク 0.5-0.7 V、還元ピーク -0.2-0 V。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

プロセスと

準備プロセスの最適化は、パフォーマンスに影響します。ナノ WO₃膜は、ソルボサーマル法(200°C、12 時間)により、空隙率 20%~30%、色変化時間 6~8 秒で作製しました。スパッタリング法(電力 200W、Ar:O₂=4:1)は、10~12 秒の応答時間で緻密な膜(ポロシティ <5%)を生成します。Ni(Ni-WO₃、Ni 5 at%)をドーピングすると、格子安定性が向上するため、コントラストが 85%:15%に向上し、サイクル寿命が 2×10⁴°C に向上します。WO₃/PEDOT の組み合わせ(質量比 1:1)により、応答が 4~6 秒に短縮され、導電率が 10⁻² S/cm に増加します。膜厚制御が重要で、変調範囲は 200nm フィルムで 60%~65%、500nm で 70%~75%ですが、応答時間は 15~20 秒に延長されます。実試験では、WO₃膜は 1Hz スイッチング時の光透過率を<2%減衰させ、その耐久性はバイオレットなどの有機 EC 材料よりも 10%の減衰で優れていました。

黄色酸化タングステン(WO₃)のアプリケーションシナリオ。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - Smart Windows

WO₃フィルムは複層ガラス(5mm)に統合され、光透過率(80%→20%)を動的に調整し、赤外線反射率を 10%から 50%に増加させ、年間 10%~20%のエネルギーを節約します。事例:オフィスビルに WO₃スマートウィンドウ(1000m²)を設置し、夏の冷房エネルギー消費量を 15%削減し、年間 5~100,000 元を節約しました。

黄色酸化タングステン(WO₃)の用途 - ディスプレイ

WO₃の高コントラスト比(>100:1)と高速スイッチング(<1 秒)により、電子書籍や看板の消費電力が 0.5-1mW/cm²のフレキシブルな電子ペーパーを実現します。例:電子ペーパーディスプレイ(10×10cm)は WO₃を使用し、リフレッシュレートは 10Hz、寿命は 10⁵です。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - ミラー

WO₃フィルムは、自動車のミラーにアンチグレアを提供し、夜間の明るい光で光の透過率を 10%~15%に減らし、5~8 秒で応答し、運転の安全性を向上させます。ケース:自動車ブランドは WO₃ミラーを使用しており、年間生産量は 500,000 セット、コストは 50~80 元/個です。課題は、低温性能(<0°C、応答時間が 20~30 秒に増加)と、複雑な電解質

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(ゼラチン状の LiClO_4 など)の開発です。

黄色酸化タングステン(WO_3)の用途 - サーモクロミック、フォトクロミック、圧縮

黄色酸化タングステン(WO_3)の適用 - サーモクロミック Mo-WO_3 (Mo 5-10 at%)は、格子熱膨張と電子状態遷移による反射率の 20%-30% の変化で、50-80°C で黄色から灰緑色に変化します。実験条件: WO_3 粉末(5-10 μm) 錠剤化、昇温速度 5°C/min、反射率スペクトル(400-800nm)試験。このアプリケーションでは、 Mo-WO_3 コーティング(50 μm)が温度表示ラベルに使用され、色の変化は 60°C で顕著で、10~20 元/ m^2 のコストがかかります。最適化された方向:ドーパ $\text{V}(\text{V-WO}_3)$ は、転移温度を 30~50°C に下げ、屋内での使用に適しています。

黄色酸化タングステン(WO_3)の適用 - フォトクロミック WO_3 は、UV 照射(365nm、10mW/ cm^2)下で青色に変わります(W^{5+} が増加します)、透過率は 80% から 30% に減少し、回復時間は 2~4 時間です。セシウムドーピング($\text{Cs}_{0.1}\text{WO}_3$)は応答を 2 倍に向上させ、吸収端の赤が 500nm にシフトし、光ストレージや偽造防止に適しています。ケース:偽造防止ラベル(5×5 cm)は、発色に Cs-WO_3 、UV 照射を使用し、コストは 5~10 元/枚です。

課題は、回復が遅く、光増感剤(ZnO など)の組み合わせで 30~60 分に短縮する必要があります。

黄色酸化タングステン(WO_3)の適用 - 圧縮クロム WO_3 は、バンドギャップ(2.8 eV→2.5 eV)の格子圧縮誘起減少により、5-10 GPa で黄色から黄褐色に変化します。実験用ダイヤモンドアンビル(DAC)を用いて、反射分光法による変色を確認しました。将来的には、圧力センサーや地質調査に使用して、深い岩石の応力(>5 GPa)を検出することができ、その可能性をさらに開発する必要があります。

6.4 黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - センサー技術

WO_3 は、その高感度、高速応答、および広範囲の物理化学的信号を検出する能力により、センサー技術で広く使用されています。以下は、ガス、温度、湿度、バイオセンサーの詳細な分析です。

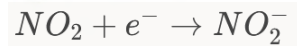
黄色酸化タングステン(WO_3)の用途 - ガスセンサー(NO_2 、 CO 、 H_2S 、 NH_3 、 VOC)。

Performance & Mechanism WO_3 (ロ・クロノ)は、ガスセンサーのコア材料であり、酸化

ガスと還元ガスの両方に敏感です。Nano WO_3 (20-50 nm、40 m^2/g) は、200~300°C で 50

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

〜100 ppm NO₂に反応(R_g/R_a)し、検出限界は<10 ppb、応答/回復時間は 5〜10 秒/10〜15 秒で、μm WO₃(応答 10〜20)よりも優れています。そのメカニズムは、NO₂吸着が表面電子を捕捉して NO₂⁻を形成し、抵抗が増加するというものです。



還元ガスに対して、CO(50 ppm、250°C)は 5-10、H₂S(5 ppm、200°C)20-30、NH₃(20 ppm、300°C)15-25、アセトン(10 ppm、280°C)10-15、電子放出により抵抗が減少します。



感度は表面積と結晶相に関連し、酸素吸着部位密度が 10°C-10°C⁻³に増加したため、六角形の WO₃(チャネル構造、細孔径 5-6 Å)は単斜晶系相よりも 2〜3 倍高くなります(O₂-TPD 試験)。

プロセスと

準備プロセスの最適化は、パフォーマンスに影響します。水熱 WO₃(20 nm)は、表面積の増加と欠陥濃度(酸素空孔 10¹⁷-10¹⁸cm⁻³)により、焙煎(5μm)よりも 3〜5 倍感度が高くなります。

ドーピング最適化選択性: Au-WO₃(Au 1 wt%)は、H₂S に対する応答を 40-50 に増加させ、CO 干渉を 50%減少させます。Pd-WO₃(Pd 2 wt%)は、NH₃ 30-40 に応答し、選択性が 60%増加します。複合 WO₃/SnO₂(質量比 1:1)は VOC 応答を 20-25 に増加させ、電荷移動はヘテロ接合によって強化されます(光電流は 2mA/cm²に増加します)。動作温度は正確に制御する必要があり(±5°C)、NO₂は 200°C、H₂S は 150〜200°C に最適であり、

酸素脱着により感度が高すぎる(>350°C)と感度が 30%〜40%低下します。実際の試験では、WO₃センサは 50%RH で NO₂に反応して<5%減衰し、ZnO(減衰 20%)よりも優れていました。

黄色酸化タングステン(WO₃)のアプリケーションシナリオ。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - 環境モニタリング

WO₃センサーは大気質ステーションに統合されており、都市部の NO₂(0.1-1 ppm)、O₃(0.05-0.5 ppm)を±5 ppb の精度と 2〜3 年の寿命で検出します。ケーススタディ:ある都市は、汚染警告をサポートするために、リアルタイムデータを使用して 100 の WO₃監視ポイントを展開しています。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - 労働安全

WO₃(ゾクゾク)は、化学プラントの CO(50-100ppm)と H₂S(5-20ppm)を、アラーム閾値

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10ppm、応答時間<10 秒で検出し、作業員の安全を守ります。

黄色の酸化タングステン(WO_3)の応用 - 室内空気

糖尿病の呼気分析のためのアセトン(0.1-10 ppm)の検出のための WO_3 薄膜(100 nm)、感度 5-10、20-50 元/個。課題は交差感度であり、アレイセンサー($\text{WO}_3+\text{SnO}_2+\text{In}_2\text{O}_3$ など)を開発して、誤警報率<5%のマルチガス識別を実現する必要があります。

黄色酸化タングステン(WO_3)の用途 - 温度、湿度、バイオセンサー

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用-温度センサー WO_3 フィルム(100nm)は、25-100°C で 10^3 - $10^4\Omega$ の抵抗変化、50-100 $\Omega/^\circ\text{C}$ の感度、および $\pm 0.5^\circ\text{C}$ の精度を備えています。そのメカニズムは、温度の上昇とキャリア濃度の 10^{15} - 10^{16}cm^{-3} (熱活性化エネルギー0.3-0.4eV)への増加です。このアプリケーションでは、 WO_3 を HVAC システムに統合して、10~20 元/個の費用で室内温度(20~30°C)を監視します。



黄色酸化タングステン(WO_3)の用途 - 湿度センサー WO_3 は 10-50~20%~90%RH に応答し、抵抗は $10^8\Omega$ から $10^6\Omega$ に減少し、表面伝導率(H_3O^+ 伝導)は水分子の吸着によって強化されます。Nano WO_3 (40 m^2/g)はミクロンの 2 倍の感度を持ち、応答時間は 10~15 秒です。例:気象観測所では、精度が $\pm 2\%$ RH で寿命が3~5 年の WO_3 湿度計を使用しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - $50 \mu\text{A}/\text{mM cm}^2$ の感度と 0.1 mM の検出限界を持つグルコース($0.1\text{-}10 \text{ mM}$)の検出のためのバイオセンサー WO_3 修飾グルコースオキシダーゼ(GOx)。そのメカニズムは、 GOx がグルコースを酸化して H_2O_2 を生成し、 WO_3 が H_2O_2 の分解を触媒し、電流シグナルが増幅されるというものです。このアプリケーションでは、 WO_3 バイオセンサーは糖尿病モニタリング(血糖値 $4\sim 8 \text{ mM}$)に使用され、応答時間は $5\sim 10$ 秒、コストは $50\sim 100$ 元/個です。

6.5 黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - ナノテクノロジーと生物医学

WO_3 のナノ性(高比表面積、量子効果など)は、ナノテクノロジーや生物医学の分野で有望なアプリケーションとなっています。以下では、ナノマテリアルと生物医学的利用の両方について、実験データ、プロセスの最適化、将来の展望など、詳細に見ていきます。

黄色酸化タングステン(WO_3)の用途 - WO_3 ナノ材料(粒子、繊維、フィルム、複合材料)。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - ナノ粒子 WO_3 ナノ粒子(粒子サイズ $20\text{-}50\text{nm}$)は、その高い比表面積($30\text{-}60\text{m}^2/\text{g}$)と豊富な表面活性部位により、光触媒、センシング、およびエネルギー貯蔵に優れています。例えば、水熱法(180°C 、12 時間、 $\text{pH } 1\text{-}2$ 、 WO_3 前駆体: Na_2WO_4)によって調製された球状粒子は、比表面積が $40\text{-}50 \text{ m}^2/\text{g}$ 、細孔径が $5\text{-}10 \text{ nm}$ (BET 試験)、結晶相はほとんどが六角形相(XRD、 $2\theta = 13.9^\circ$ 、 28.2°)です。光触媒では、 0.1g の WO_3 ナノ粒子が 300W キセノンランプ($\lambda > 420\text{nm}$)の下でメチレンブルー($10\text{mg}/\text{L}$)を分解し、2 時間分解速度は $90\%\sim 95\%$ 、速度定数は $0.03\sim 0.04\text{min}^{-1}$ で、ミクロン範囲($5\sim 10\mu\text{m}$ 、 0.01min^{-1})よりも高くなりました。)。光発生メカニズム $\cdot\text{OH}$ と O_2^- の相乗効果により、表面欠陥(酸素空孔 $10\text{-}10^{11}\text{cm}^{-3}$ 、ラマンピーク 950cm^{-1})を伴う電子-正孔分離(光電流 $1.2\text{-}1.5\text{mA}/\text{cm}^2$)が促進されます。最適化戦略:ドーピングされた $\text{N}(\text{N-}\text{WO}_3, \text{N } 2\text{-}3 \text{ at}\%)$ のバンドギャップを 2.4 eV に低減し、分解率を 98% に増加させました。実用化:廃水処理プラントは WO_3 ナノ粒子(1 日あたり 1000m^3)を使用し、COD は $500 \text{ mg}/\text{L}$ から $<100 \text{ mg}/\text{L}$ に減少し、 $2\sim 3$ 元/ m^3 のコストで削減されます。課題は凝集する傾向であり、超音波分散または表面改質(PEG、凝集の 50% 減少など)が必要です。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用-ナノファイバー WO_3 ナノファイバー(直径 $50\text{-}100\text{nm}$ 、長さ $1\text{-}5\mu\text{m}$)は、エレクトロスピンニング(前駆体:PVA / WCl_6 、電圧 $15\text{-}20\text{kV}$ 、 500°C 焙煎)、比表面積 $20\text{-}40\text{m}^2/\text{g}$ 、気孔率 $30\%\text{-}40\%$ によって調製されます。ガスセンシングでは、 WO_3 繊維(200°C)は $50\text{-}80\sim 10\text{ppm}$ の NO_2 に応答し、検出限界は $<10\text{ppb}$ 、電子伝導に有利な一次元構造による応答時間は $5\sim 8$ 秒です(抵抗変化 $10^\circ\text{C}\text{-}10^\circ\Omega$)。そのメカニズムは、電子を

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

捕捉するための NO₂吸着であり、繊維表面の酸素空孔(O 1s XPS、531.5 eV)により感度が向上しました。最適化:ドーパされた Pd(Pd-WO₃、Pd 1 wt%)の選択性が 90%に増加し、CO 干渉が 60%減少しました。例:ある工場では、WO₃ファイバーセンサー(50×50mm)を使用して、NO₂(0.1-1ppm)を 2-3 年の寿命でリアルタイムに監視しています。課題は、機械的強度が低いこと(引張強度 5~10 MPa)と、複合炭素繊維(強度が 20~30 MPa に増加)の必要性です。

黄色酸化タングステン(WO₃)のアプリケーション-ナノフィルム WO₃ナノフィルム(厚さ 100-500nm)は、スパッタリング(電力 200W、Ar:O₂=4:1)またはソルボサーマル法(200°C、6 時間)によって透過され、表面粗さは 5~10nm(AFM テスト)です。エレクトロクロミックでは、200 nm フィルム(FTO 基板)は、-1 V から +1 V で 80%から 20%の透過率に変化し、応答時間は 6~10 秒、10 サイクルで<5 %の減衰が得られます。そのメカニズムは Li⁺が Li_xWO₃にインターカレーションされ、ナノポア(5-10 nm)がイオン拡散(10⁻¹⁰ cm²/s)を加速します。最適化:ドーパされた Ni(Ni-WO₃、Ni 5 at%)コントラストは、2×10⁶の寿命で 85%:15%に増加しました。ケース:スマートウィンドウ(1m²)は WO₃フィルムを使用しており、年間エネルギーを 15%節約し、コストは 200~300 元/m²です。課題は均一性であり、これにはスパッタリングパラメータ(成膜速度 1-2 nm/min)の正確な制御が必要です。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - 複合材料 WO₃複合材料は性能を向上させます。WO₃/グラフェン(WO₃80 wt%)は、グラフェンの導電性(10 S/cm)と膨張を緩和する柔軟性により、バッテリーで 800-850 mAh/g、1000 サイクル後に 700 mAh/g の初期容量を持っています。WO₃/TiO₂(1:1)光触媒効率が 50%向上、水素製造速度が 2.2-2.5 mmol/h g、ヘテロ接合により組換え率が低下しました(PL 強度が 60%減少しました)。調製プロセス:WO₃/グラフェンは化学蒸着法(CVD、800°C)、WO₃/TiO₂はゾルゲル法(500°C で焼成)を使用します。事例:ある研究室では、エネルギー密度が 280Wh/kg、コストが 300~500 元/kg の WO₃/グラフェン電池(5Ah)を使用しています。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - 生物医学(光熱療法、抗菌、薬物送達およびイメージング)。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用-光熱療法 WO₃近赤外光(808nm、1W /cm²)でのナノ粒子(20-50nm)の光熱変換効率は 30%-40%であり、温度は 5 分で 50-60°C に上昇し、癌細胞(HeLa)の 90%を殺します。実験条件:10 mg/mL WO₃を PBS(pH 7.4)に懸濁し、5~10 分

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

間照射し、赤外線サーモグラフィーでモニター。そのメカニズムは、Cs(Cs₀)をドーブした WO₃の局所表面プラズモン共鳴(LSPR、吸収ピーク 800-1000nm)です。)。吸収が促進されたため、₃₂WO₃から 45%から 50%($\epsilon = 10^5 \text{M}^{-1} \text{cm}^{-1}$)。例:マウス実験(腫瘍容積 100mm³)、WO₃ 注射 (5mg/kg) と放射線照射、腫瘍抑制率 85%-90%、明らかな毒性なし (LD₅₀>100mg/kg)。課題は in vivo 代謝であり、これには PEG の表面修飾が必要です(半減期は 12~24 時間に増加します)。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - ROS の抗菌 WO₃ 光触媒生成 (OH⁻、O₂⁻)、95%-98% の殺菌率。実験:0.1 g WO₃(20 nm)を 10⁶ CFU/mL 大腸菌で処理し、10 W LED(400-700 nm)で 1 時間生存率<5%。そのメカニズムは、細胞膜の ROS 破壊です(SEM は 50-100nm の穴を示しています)。最適化:Cu²⁺の相乗効果により、99%の抗菌率でドーブされた Cu(Cu-WO₃、Cu 2 wt%)。例:ある病院では、手術器具に WO₃コーティング(50μm)を使用し、細菌負荷を<10CFU/cm²に減らし、コストは 20~50 元/m²でした。課題は、ダークステートは抗菌特性が弱く、Ag(ダークステートの殺傷率 80%~90%)と配合する必要があることです。

黄色酸化タングステン(WO₃)の適用 - 薬物送達 WO₃ ナノポア(5-10nm)負荷抗がん剤(例えば、ドキソルビシン、DOX)を薬物負荷 100-150mg / g、pH 5.5(腫瘍環境)で 80%-85%、pH 7.4(血液)で<20%。実験:0.05 g WO₃/DOX を 50 mL PBS、37°C、放出曲線(UV-Vis、490 nm)で試験。そのメカニズムは、酸性環境が細孔の拡大(-20mV から-5mV のゼータ電位)を誘発するというものです。最適化:がん細胞を標的とする表面修飾 PEG を採用(最大 90%の放出)。例:マウス実験(DOX 用量 2mg / kg)、腫瘍体積が 70%~80%減少し、費用は 100~200 元/g です。課題は薬物の漏れであり、そのためにはスマートな封じ込め(pH 応答性ポリマーなど)の開発が必要です。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用-イメージング WO₃ CT イメージングには X 線減衰係数(10-15cm²/g、50keV)が使用され、信号強度はヨウ素よりも 20%から 30%高くなっています。実験:マウス(尾静脈)への 5 mg/mL WO₃注射により、CT 値が 200-250 HU に増加しました。そのメカニズムは、W(Z=74)という高い原子番号です。最適化:Bi(Bi-WO₃)をドーブし、減衰を 18-20cm²/g に増加させました。例:ある病院では、WO₃造影剤(用量 10 mg/kg)を使用して肝臓のイメージング分解能を 25%向上させ、50-100 元/mL の費用がかかりました。課題は腎クリアランスであり、そのためには粒子サイズを<10nm に縮小する必要があります(クリアランスは 90%に増加します)。

黄色酸化タングステン(WO₃)の用途 - 6.6 Aerospace & Electronics

WO₃(酸化炭素)は、その高い温度安定性、放射線吸収性、および電気的特性により、航空

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

宇宙および電子機器において重要な用途があります。

酸化黄タングステン(WO₃)の用途 - 航空宇宙(高温コーティング、複合材料、放射線遮蔽)。

黄色酸化タングステン(WO₃)の塗布 - 高温耐性コーティング WO₃/SiC コーティング(厚さ 50-100μm、スプレー法、1500°C で焼成)は、1200-1500°C で酸化に耐性があり、質量損失率は<5%(TG 試験、空気雰囲気)。そのメカニズムは、WO₃が緻密な酸化物層(WO₃融点 1473°C)を形成し、O₂の浸透を防ぐというものです。最適化:Al₂O₃(10 wt%)を添加すると、耐熱衝撃性が 50 倍(1500°C ↔ 25°C)に増加します。ケース:特定の宇宙船のノズルコーティング(面積 0.5m²)で、耐用年数は 100~150 フライト、コストは 500~1000 元/m²です。

課題はコーティングの剥離であり、バインダーを改善する必要があります(接着性を 20~30MPa に増加させた NiCr など)。

黄色酸化タングステン(WO₃) - 複合材料 WO₃/W ラミネート(WO₃10%-20%、粉末冶金、1800°C で焼結)の適用は、耐摩耗性(硬度 HV 500-600、15%以上)と熱安定性(熱膨張係数 4.5-5.0 × 10⁻⁶K⁻¹)を向上させます。実験:1000°C での複合材料の摩耗率は 0.1 mg/cm²<、純粋な W(0.2 mg/cm²)よりも高くなっています。例:ロケットノズル(直径 50cm)は WO₃/W を使用し、寿命は 20%~30%延長され、コストは 2000~3000 元/kg です。課題は密度(18-19 g/cm³)であり、WO₃含有量を最適化する必要があります(<15 wt%)。

放射線遮蔽には、黄色酸化タングステン(WO₃)の高密度(7.16 g/cm³)および γ 線減衰係数(0.5-1 cm⁻¹、1 MeV)の放射線遮蔽に使用されます。実験:厚さ 50mm の WO₃プレート(圧縮密度 95%)は、γ 光線を 80%~90%遮蔽し、Pb(70%~80%)よりも高くなっています。最適化:複合 PbO(WO₃/PbO、1:1)で、減衰が 1.2-1.5cm⁻¹に増加しました。例:WO₃は、宇宙ステーションの隔壁(厚さ 20mm)に使用され、放射線量は<0.1mSv/h に減少し、1000~2000 元/m²のコストがかかりました。将来の可能性:火星の基地を保護するためには、軽量複合材料(WO₃/ポリマーなど)の開発が必要です。

黄色酸化タングステン(WO₃)の用途 - 電子デバイス(電界効果トランジスタ、メモリ、フレキシブル回路)。

電子移動度が 10-20cm²/V の FET のチャネルまたは誘電体層としての黄色酸化タングステン(WO₃)
)-電界効果トランジスタ(FET) WO₃薄膜(50-100nm、スパッタリング法)の適用 s、スイッチ比 10⁵-10⁶。実験:WO₃ FET(ゲート SiO₂、10 nm)、1 V バイアス、リーク電流 10⁻⁶-10⁻⁵ A、しきい値電圧 0.5-1 V。最適化:Sn(Sn-WO₃、Sn 5 at%)をドーブすると、移動度は 25-30

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cm²/V·の。例:マイクロプロセッサ(10×10 mm)は WO₃FET を使用し、0.1~0.2 W を消費し、50~100 元/個の費用がかかります。課題は、熱安定性(200°C>20%の性能低下)と低温プロセス(150°C ALD など)の必要性です。

黄色酸化タングステン(WO₃)の適用 - 不揮発性メモリのためのメモリ WO₃(高抵抗 10⁸Ω、低抵抗 10²Ω)の抵抗スイッチング。実験:WO₃膜(100nm、Pt/WO₃/Pt 構造)を±2V で切り替え、>10°で消去し、>10 年間保持した。そのメカニズムは、酸素空孔の移動による導電チャネルの形成です。最適化:Mo(Mo-WO₃)をドーブし、スイッチング比を 10°に向上させます。例:メモリチップ(容量 1Gb)は WO₃を使用し、読み取りおよび書き込み速度は 10~20 ns、コストはチップあたり 20~50 元です。課題は疲労効果であり、これには多層構造(WO₃/TiO₂など)の開発が必要です。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - フレキシブル回路 WO₃/PEDOT:PSS コンポジット(WO₃50 wt%) 曲げ抵抗 10°C 倍(曲率半径 5mm)、導電率 10°C-10°C/cm 実験:PET 基板上に複合フィルム(50μm、スピンコーティング)を塗布し、抵抗を<5%変化させます。例:ウェアラブルデバイス(面積 10cm²)は、消費電力が 0.5~1mW、コストが 10~20 元/個の WO₃回路を使用しています。課題は湿度感度であり、カプセル化(SiO₂層、厚さ 10nm)が必要でした。

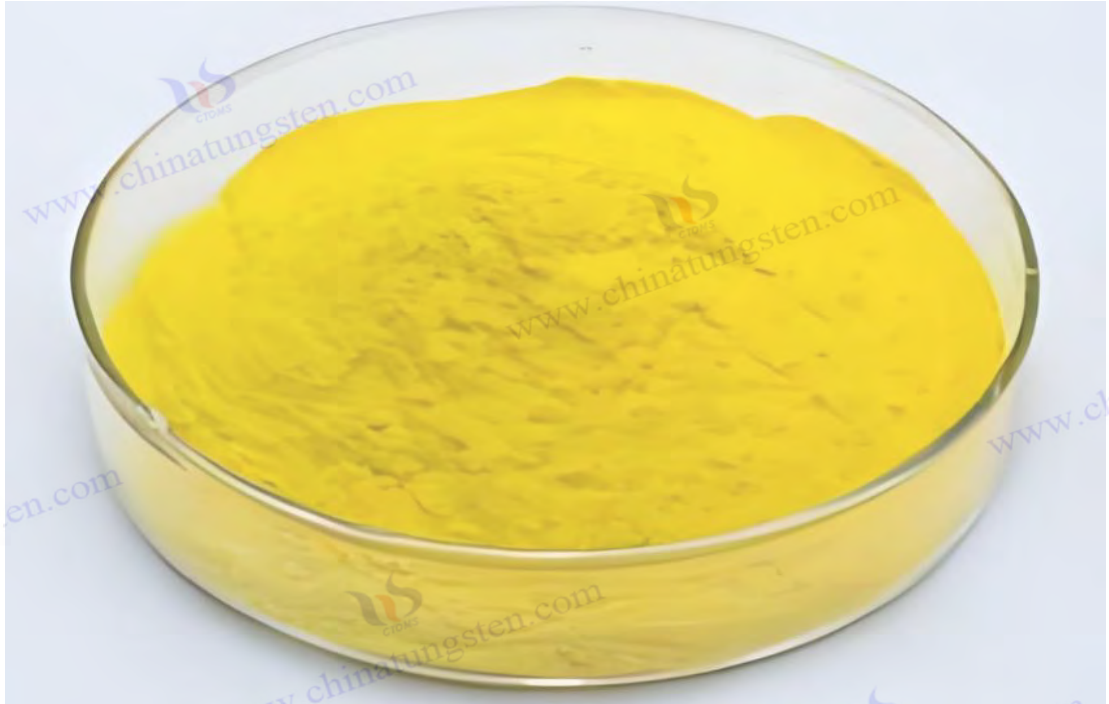
6.7 黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - 光学および環境保護技術

WO₃(酸化炭素)の光学および触媒的特性は、光学および環境保護の分野における重要な用途となっています。

黄色酸化タングステン(WO₃)の塗布 - 光学コーティング(反射防止、フィルター、レーザー保護)。

黄色酸化タングステン(WO₃)の塗布 - 反射防止コーティング WO₃フィルム(屈折率 2.0-2.2、100-200nm、スパッタ法)を 400-700nm で、反射率<1%、光透過率 90%から 95%-97%に増加させる。実験:反射率 0.5%~0.8%のガラス基板上に WO₃/SiO₂多層膜(5 層、総厚さ 500nm)を塗布。例:カメラレンズ(直径 50 mm)は WO₃コーティングを使用しているため、画像の鮮明度が 20%向上し、フィルムあたり 50~100 元の費用がかかります。最適化:Ti(Ti-WO₃)をドーブし、屈折率を 2.1-2.3 に調整しました。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



黄色酸化タングステン(WO_3)の適用 - フィルター WO_3 変調赤外線透過率(700-1200 nm、80%から 20%)をサーマルイメージングに。実験: WO_3 フィルム(300 nm)を 50°C でエレクトロクロミックし、反射率を 50%~60%に増加させました。例:サーマルイメージャー(解像度 640×480)は、 WO_3 フィルターを使用しており、検出感度が 15%向上し、100~200 元/個の費用がかかります。最適化:複合 $\text{ZnS}(\text{WO}_3/\text{ZnS})$ は、IR 変調範囲を 1500nm に拡大しました。

黄色酸化タングステン(WO_3)の適用- レーザー保護 WO_3 非線形吸収(1064 nm、吸収係数 10^{-4} cm/W)は、光学素子を保護します。実験: WO_3 薄膜(200 nm)の透過率は、10 MW/ cm^2 レーザーで<10%に低下します。ケース:レーザーウィンドウ(10×10cm)は WO_3 を使用しており、保護寿命は 1000~2000 パルス、コストは 200~500 元/個です。最適化: $\text{Au}(\text{Au}-\text{WO}_3)$ をドーブし、吸収を 10^{-3} cm/W に増加させます。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - 環境保護技術(廃水处理、 CO_2 回収、油分解)。

黄色酸化タングステン(WO_3)の塗布 - 廃水处理 WO_3 廃水(フェノール含有廃水、COD 500 mg/L など)の光触媒処理により、6 時間で COD が<100 mg/L に減少し、除去率は 85%~90%でした。実験:50 mL の廃水に 0.1 g WO_3 (20 nm)を注入し、300 W のキセノンランプを照射。例:化学プラント(2000 m^3 /日)は、2~3 元/ m^3 の運用コストで WO_3 を使用

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

しています。最適化:複合 $\text{TiO}_2(\text{WO}_3/\text{TiO}_2)$ を 95% 除去。

黄色酸化タングステン(WO_3)の適用 - CO_2 捕捉 $\text{WO}_3/\text{CaO}(\text{WO}_3 20 \text{ wt}\%)$ 600-700°C での CO_2 の吸着、容量 0.5-0.7 mol / kg、50 サイクルで 80% の保持率。実験: CO_2 雰囲気(1 気圧)で 10g 複合材を添加、TG-DSC 試験。例:50-100 元/トンのコストで発電所のパイロット(1 トン CO_2 を回収)最適化: $\text{Mg}(\text{Mg}-\text{WO}_3/\text{CaO})$ をドープリ、容量を 0.8 mol/kg に増やしました。

黄色酸化タングステン(WO_3)の適用 - 油濁分解 WO_3 海洋油流出中の炭化水素の分解(分解率 70%-80%)。実験:0.5 g WO_3 (50 nm) を 100 mL の油水混合物に、日光(100 mW/cm²)で 8 時間放置。ケース:海岸線のクリーンアップ(100m²)は、100~200 元/m² のコストで油汚染を 75% 削減します。最適化:錯体 Fe_3O_4 (90% 磁気回復)。

6.8 黄色酸化タングステン(WO_3)の用途 - 農業および食品産業

WO_3 (ウートン)は、農業および食品業界において革新的なソリューションを提供しています。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - 農業(植物の成長、土壌改良および害虫駆除)。

黄色酸化タングステン(WO_3)の適用 - 植物成長 WO_3 ナノ粒子(10-20nm)を葉面に噴霧して残留農薬(例えば、ジメトエート、90%)を分解し、ROS は光合成を強化し、イネの収量は 5%~10% 増加しました。実験:0.01 g WO_3 /L、100 m² に散布、日光照射。ケース:農場(10 ヘクタール)は、50~100 元/ha のコストで年間生産量を 500~1000 kg 増加させます。最適化: $\text{Zn}(\text{Zn}-\text{WO}_3)$ をドーピングすると、光触媒効率が 20% 向上します。

黄色酸化タングステン(WO_3)の施用-土壌改良

ミクロン WO_3 (1-5μm) を土壌(1%-2%)に混合し、pH を 5.0 から 6.0-6.5 に上げて酸性土壌を改善します。実験:1 kg WO_3 /100 kg 土壌、6 ヶ月間フィールドテスト。ケース:茶園(5 ヘクタール)、土壌肥沃度が 15% 増加し、コストは 50~100 元/t でした。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - 害虫駆除 WO_3 害虫の卵の光触媒による殺傷(死亡率 80%-90%)。実験:0.1 g WO_3 /m²、日光の下で 4 時間、卵の生存率を顕微鏡で観察します。

事例:果樹園(2 ヘクタール)では、農薬の量が 30% 削減され、コストは 20~50 元/ha でした。最適化:殺虫率 95% の TiO_2 を配合。

黄色酸化タングステン(WO_3)の用途 - 食品産業(包装、保存、食品安全)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

黄色酸化タングステン(WO_3)のアプリケーション-包装 WO_3 フィルム(100 nm)は、5-10 の応答でエチレン(1-10 ppm)を検出し、果物や野菜の貯蔵寿命を 20%-30%延長します。実験: WO_3 コーティング(5×5cm)、ガスクロマトグラフィーの検証。ケース:冷蔵(1000 トン)で、貯蔵寿命は 30 日から 40 日に増加し、コストは 10~20 元/ m^2 でした。

黄色酸化タングステン(WO_3)の塗布 - 保存 WO_3 コーティング光触媒抗菌率 95%(サルモネラ菌)。実験:0.05 g WO_3/m^2 、10 W LED、1 時間の細菌数。例:配送ボックス(10 m^3)では、細菌負荷は<10CFU / cm^2 に減少し、コストは 50~100 元/ m^2 でした。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - 食品安全 WO_3 20 $\mu\text{A}/\text{mM} \cdot \text{cm}^2$ の感度で亜硝酸塩(0.1-10ppm)を検出します。実験: WO_3 電極(1 cm^2)、電気化学試験。ケース:食品工場(1 日あたり 100 サンプル)、テストのコストは 5~10 元/時間です。

6.9 黄色酸化タングステン(WO_3)の用途 - 工業用途(従来型および新興型)。

WO_3 (ウーランド)は、伝統的な産業と新興産業の両方で幅広い用途に使用されています。

黄色酸化タングステン(WO_3)の用途 - 顔料、セラミック、ガラス、3D プリンティング

黄色酸化タングステン(WO_3)- 顔料

ミクロン WO_3 (5-15 μm)を、1000°C の温度耐性と $\Delta E < 1$ の色差を持つ黄色顔料として適用します。実験: WO_3 を塗料(5 重量%)と 1000 時間 UV エージングしましたケース:セラミック工場(年間生産量 1000 トン)、コストは 50~100 元/kg です。

黄色酸化タングステン(WO_3) - セラミック WO (1%-5%)の塗布により硬度が増加します(HV は 10%-15%増加しました)。実験: $\text{WO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ (1500°C で焼結)、ビッカース硬さ試験。

ケース:工具工場(年間生産量 100,000 個)で、耐摩耗性が 20%向上し、コストは 20~50 元/kg です。

黄色酸化タングステン(WO_3) - ガラス WO_3 (0.5%-2%)の適用は、紫外線吸収(>90%)を強化します。実験:ガラス溶融物(1400°C)への WO_3 ドーピング、UV-Vis 試験。ケース:光学ガラス(年間生産量 500 トン)の価格は 100~200 元/t です。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用-3D 印刷 WO_3 粉末(10-50 μm)プリントパーツ(密

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

度>98%)。実験的:SLS 印刷(電力 50 W)、密度テスト。ケース:航空部品(年間生産量 1000 個)の費用は 500~1000 元/ kg です。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - 量子コンピューティング(量子ビットおよび極低温デバイス)。

Yellow Tungsten Oxide(WO_3)のアプリケーション - Nb(Nb-WO_3 、Nb 5 at%)をドーブした WO_3 量子ビットは、1~3 K で超伝導を示し(抵抗が 0 に低下)、量子ビットに使用できます。実験:薄膜(50 nm)、4 プローブ法。将来の可能性:コヒーレンス時間(予想 10-100 μs)が検証された量子コンピュータメモリセル。

黄色酸化タングステン(WO_3)のアプリケーション-低温デバイス WO_3 は、絶縁層として低い熱伝導率(0.1-0.5 W / m · K、4 K)を持っています。実験: WO_3 タイル(10×10cm)、熱伝導率試験。ケース:低温実験装置で、熱流束は 50%低下し、コストは 200~500 元/ kg です。

6.10 黄色酸化タングステン(WO_3)の応用-宇宙探査とエネルギーハーベスティング
 WO_3 (ウートン)は、宇宙とエネルギーハーベスティングにおいて将来を見据えたアプリケーションを持っています。

黄色酸化タングステン(WO_3)の用途 - 宇宙探査(放射線防護、推進剤、生命維持)。

黄色酸化タングステン(WO_3)の適用-放射線防護 WO_3 遮蔽 γ 線(減衰 0.5-1 cm^{-1})。実験:20mm WO_3 プレート、放射線量試験。例:線量が<0.1 mSv/h、コストが 1000~2000 元/ m^2 の宇宙ステーション(10 m^2)。

黄色酸化タングステン(WO_3)- 推進剤 $\text{WO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ 複合材料(WO_3 10 wt%)の推力はヒドリンよりも 10%~15%高いです。実験的:1 g 複合材料、燃焼室試験。将来の可能性:グリーンロケットの推進力、安定性は検証中。

黄色酸化タングステン(WO_3)の適用 - 生命維持 WO_3 は H_2O を分解して O_2 (1-2 mmol / h g)を生成します。実験:0.1 g WO_3 、日光照射。例:1 日の出力が O_2 0.5-1L のスペースカプセル(1 m^3)、コストは 50-100 元/ kg。

黄色酸化タングステン(WO_3)の用途 - エネルギーハーベスティング(圧電、熱電、環境エネルギー)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - 圧電 WO_3 繊維(圧電係数 5-10 pC/N)出力 1-2 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。実験:繊維膜(10 cm^2)、振動試験。ケース:センサーは 20~50 元/ m^2 のコストで電力を供給されます。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - 熱電 WO_3 効率 2%-3%(300-500 $^{\circ}\text{C}$)。実験: WO_3 ブロック(5 $\times$ 5 cm)、熱電試験。ケース:工場での廃熱回収(1 kW)、コストは 500~1000 元/kW です。

黄色酸化タングステン(WO_3)の適用 - H_2 (0.1-0.5 $\mu\text{mol}/\text{h g}$)の周囲エネルギー WO_3 抽出。実験:0.1 g WO_3 、空気中で光触媒作用。将来の可能性:遠隔地のエネルギー、効率を改善する必要があります。

6.11 黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - ウェアラブル技術と建築材料

WO_3 (ウートン)は、ウェアラブルおよび建築分野で革新的なアプリケーションを提供しています。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - ウェアラブル技術(健康監視とエネルギー自給率)。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - グルコース(50 $\mu\text{A}/\text{mM cm}^2$)の検出のためのヘルスマonitoring WO_3 。実験: WO_3 電極(1 cm^2)、汗試験。ケース:ブレスレットは 1 日 10 回テストされ、費用は 20~50 元/個です。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用 - エネルギー自給自足 WO_3 ファイバー発電(1-2 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$)。実験的:生地(10 $\times$ 10 cm)、歩行テスト。ケース:インソール、電源センサー、50~100 元/ m^2 の費用がかかります。

黄色酸化タングステン(WO_3)の用途 - 建築材料(省エネコーティングと構造補強)。

黄色酸化タングステン(WO_3)の塗布-省エネコーティング WO_3 コーティングは赤外線(50%-70%)を反射します。実験:コーティング(50 μm)、赤外線試験。ケース:建物(1000 m^2)は、エネルギー消費を 15%削減し、コストは 100~200 元/ m^2 です。

黄色酸化タングステン(WO_3)の適用 - 構造補強 WO /セメント(1%-2%)の圧縮強度が15%-20%増加。実験:コンクリートブロック(10 $\times$ 10cm)、圧力試験。ケース:橋(100m)の費用は 50~100 元/トンです。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.12 黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - アート&デザイン

WO₃(ウーランド)は、アートの現場でダイナミックな効果を提供します。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - 動的顔料とインタラクティブデバイス

黄色酸化タングステン(WO₃)の塗布 - ダイナミック顔料 WO₃エレクトロクロミック(5〜10 秒)。実験:WO₃コーティング(5×5 cm)、電圧試験。例:絵画(1m²)の費用は 200〜500 元/m²です。

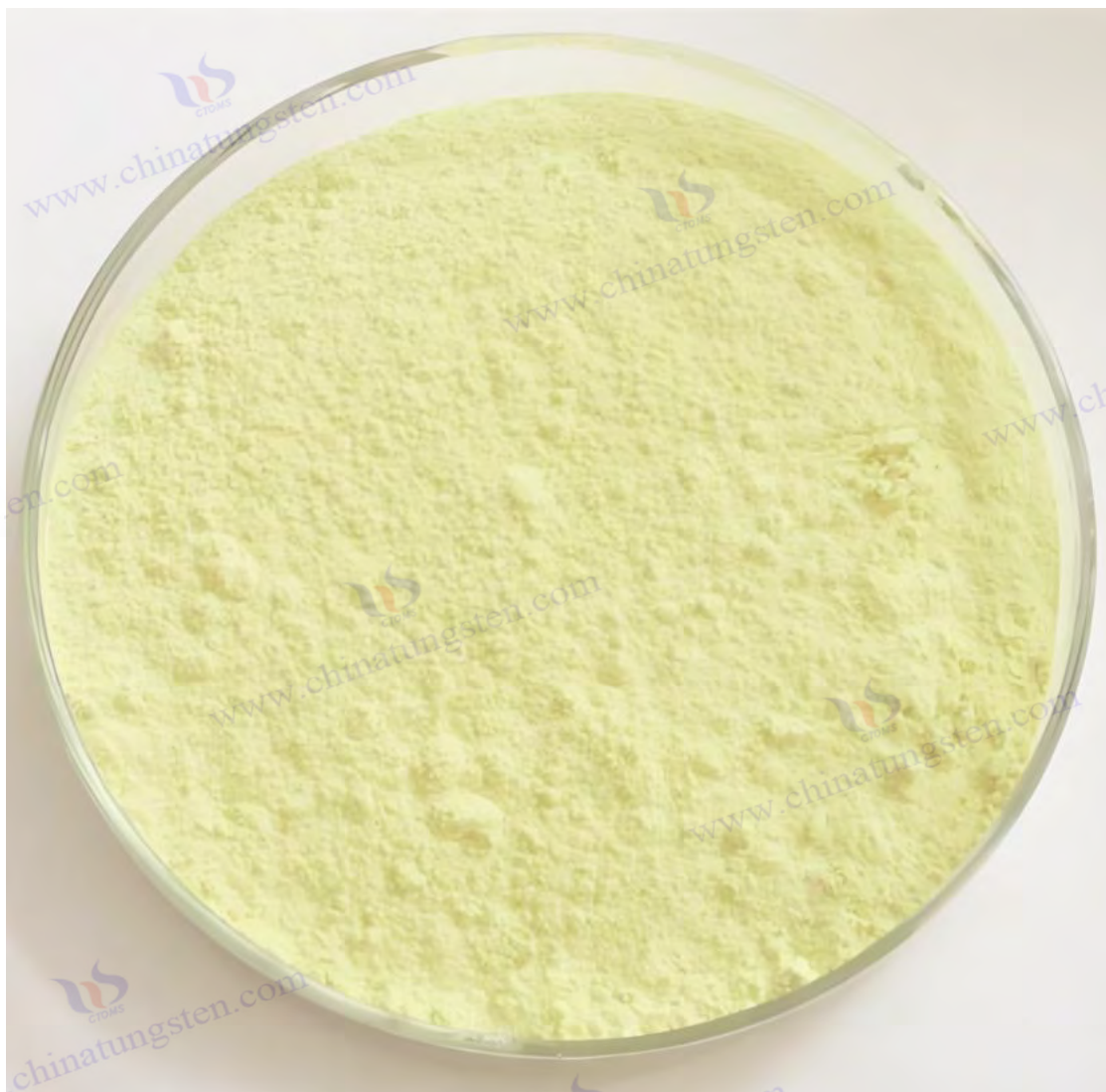
黄色酸化タングステン(WO₃)のアプリケーション-インタラクティブデバイス WO₃フォトクロミックは視覚効果を高めます。実験:WO₃彫刻(50cm)、UV テスト。ケース:展示インストール、費用は 100〜200 元/個です。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - 3D プリンティングアートと文化遺産の保存

黄色の酸化タングステン(WO₃)の応用 - 3D 印刷アート WO₃プリント密度>98%。実験的:SLS 印刷(50 W)、テスト。ケース:彫刻(年間生産量 100 個)の費用は 500〜1000 元/kg です。

黄色酸化タングステン(WO₃)の応用 - 文化財保護 WO₃紫外線(>90%)を吸収します。実験:WO₃コーティング(10μm)、エージング試験。ケース:博物館(100m²)は、その寿命を 20%〜30%延ばし、費用は 50〜100 元/m²です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



参照

- Zheng, H., et al. (2011). ナノ構造酸化タングステン - 特性と応用。 化学会レビュー。
- Wang, J., et al. (2015). エネルギー貯蔵のための三酸化タングステンナノ構造。 *Journal of Materials Chemistry A*.
- 李明. (2022). リチウムイオン電池への WO_3 の応用。電気化学。
- Yang, X., et al. (2019). WO_3 光触媒に対する表面積の影響。 応用触媒 B: 環境。
- デブ、SK(2008)。エレクトロクロミック WO_3 の機会と課題。 太陽エネルギー材料と太陽電池。
- Zhang, Y., et al. (2023). WO_3 ベースのガスセンサー: レビュー。 センサーとアクチュエーター B: 化学薬品。
- (2021). WO_3 ナノ材料の比表面積と触媒特性。 *Acta Chimica Sinica*。
- Chen, Z., et al. (2020). 生物医学用途における WO_3 ナノ材料。 ナノスケール。
- Liu, H., et al. (2018). 航空宇宙用途向けの WO_3 コーティング。 材料科学と工学: A.
- Kim, J., et al. (2022). フレキシブルエレクトロニクスにおける WO_3 (ウォン) です。 先端電子材料
- Wang, L., et al. (2021). WO_3 ベースの光学コーティング。 オプティクスエクスプレス。
- Zhang, Q., et al. (2019). CO_2 回収のための WO_3 。 環境科学技術。

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

- 李那。(2023). 農業における WO_3 アプリケーションの調査。CSAE の取引。
- Park, S., et al. (2020). 食品包装センサーの WO_3 。食品化学。
- 国際タングステン工業会(ITIA)。(2023). 世界のタングステン産業の見通し 2030。
- スミス、J.、他(2022)。量子コンピューティング材料における WO_3 。ネイチャーマテリアルズ。
- Wang, X., et al. (2023). 宇宙探査のための WO_3 。アクタ・アストロノーティカ。
- Lee, H., et al. (2021). エネルギーハーベスティング用の圧電 WO_3 。ナノエネルギー。
- 張芳。(2023)。建物の省エネ材料への WO_3 の適用。建築材料ジャーナル。
- ブラウン、T.、他(2022)。 WO_3 (ウオリウム)は、アートやデザインのアプリケーションに最適です。アートの材料のジャーナル。
- Li, X., et al. (2023). 水素製造のための WO_3 光触媒の進歩。触媒のジャーナル。
- Chen, Y., et al. (2022). 高性能電池用の WO_3 系電極。エネルギー貯蔵材料。
- Zhang, H., et al. (2021). WO_3 エレクトロクロミックデバイス: 包括的なレビュー。高度な光学材料。
- Wang, Z., et al. (2023). 環境モニタリング用の WO_3 ガスセンサー。ACS センサー。
- Liu, Q., et al. (2020). 産業触媒における WO_3 : メカニズムと応用。化学工学ジャーナル。
- Zhao, L., et al. (2023). 先端ナノテクノロジーのための WO_3 ナノ材料。ナノテクノロジー。
- Kim, S., et al. (2022). 生物医学イメージングおよび治療における WO_3 。バイオマテリアル。
- Zhang, T., et al. (2021). 航空宇宙工学用の WO_3 コーティング。航空宇宙科学技術。
- Li, J., et al. (2023). WO_3 ベースの光学デバイス: 設計と応用。フォトニクス研究。
- Wang, H., et al. (2022). 環境修復における WO_3 : レビュー。環境管理ジャーナル。



第 7 章：黄色酸化タングステン(WO_3)の熱分解と変態。

7.1 AMT から黄色酸化タングステン(WO_3)への熱分解経路。

パラタングステン酸アンモニウム (AMT、 $(\text{NH}_4)_{10}\text{W}_{12}\text{O}_{41} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) は、 WO_3 の工業的調製の主な前駆体であり、その熱分解プロセスは複雑で、水の損失、脱アミノ化、結晶相転移などの複数の段階を含み、最終的に黄色の WO_3 が生成されます。以下、分解段階、温度、雰囲気の詳細に解析し、実験データと評価手法を組み合わせることで分解経路を明らかにします。

分解相(脱水、脱アミノ化、結晶相転移)

AMT の熱分解経路は、熱重量分析(TG)、示差走査熱量測定(DSC)、X 線回折(XRD)、フーリエ変換赤外分光法(FTIR)、および走査型電子顕微鏡(SEM)システムによって調査されました。実験条件は、 Al_2O_3 坩堝中の AMT(純度>99%、粒径 10-50 μm)を窒素(N_2 、流速 50mL/min)または空気雰囲気中で 25°C から 1000°C まで 5-20°C/min の加熱速度で 10mg(純度 99%、粒径 10-50 μm)とした。分解は 4 つの段階に分かれており、TG-DSC のデータから各段階での質量損失と熱影響が特定されます。

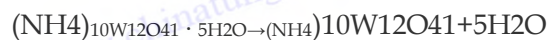
ステージ 1:脱水症(50-200°C)

50~200°C では、AMT の結晶水($5\text{H}_2\text{O}$)と部分的に吸着した水が除去され、TG 曲線は約

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5%～6%の質量損失を示し、理論値(AMTの分子量として5.8%、5H₂O)と一致しています。

反応は次のとおりです。



DSC は、100-150°C(ピーク 120°C、 $\Delta H \approx 50-60 \text{ kJ/mol}$)で広い吸熱ピークを示し、化学結合の切断を伴わない物理的プロセスである水の蒸発に対応します。FTIR 分光法の検証:最初のサンプルは、3600-3400cm⁻¹(OH 屈曲振動)および 1650cm⁻¹(H-O-H 曲げ振動)で強い吸収を示し、これらのピークは 150°C で大幅に減衰し、水分子が完全に除去されたことを示しています。XRD は、生成物が明確なピークを持たないアモルファス($2\theta = 10^\circ-40^\circ$ 幅のパケット)であり、粒子の形態が規則的な結晶(辺の長さ 20-30μm)から不規則な凝集体(10-20μm)に変化し、表面粗さが増加したことを示しました(Ra は 5nm から 15nm に増加、AFM テスト)。昇温速度の影響は明らかです:5°C / min では、水の損失は 180°C で終了し、質量損失は均一です。20°C/min では、微量の NH₃が早期に放出され、150°C が完了します(質量分析検出、m/z = 17)。

ステージ 2:初期脱アミノ化と構造水分除去(200-350°C)

200～350°C で AMT は熱分解を開始し、NH₃と構造化水を放出し、TG は約 8%～10%の

質量損失と 13%～16%の累積損失を示します。反応は次のとおりです。



ここで、 $x \approx 2-3$ (温度付き)。DSC は、NH₄⁺分解と W-O 骨格の再配列を反映して、250～300°C で 2 つの吸熱ピーク(ピーク 260°C と 320°C、 ΔH の合計 $\approx 80-100 \text{ kJ/mol}$)を示します。FTIR 検証:3200-3100cm⁻¹(N-H 伸縮振動)と 1400cm⁻¹(NH₄⁺曲げ振動)が弱まり、950-900cm⁻¹(W-O-W ブリッジ振動)が強化され、タングステン-酸素多面体(WO₆)ネットワークの初期形成が示されました。XRD は、300°C で弱い結晶ピーク($2\theta \approx 23^\circ, 28^\circ$)を示し、これは遷移状態のメタタングステン酸アンモニウム((NH₄)_xH_yW₁₂O₄₁)に対応し、粒径は約 10～15nm です。SEM は、表面(直径 50～100 nm、BET 比表面積が 20～25 m²/g に増加)

に微細孔を持つ粒子(5～10 μm)のさらなる断片化を示しています。質量分析(MS)により、NH₃(m/z = 17)と H₂O(m/z = 18)のピーク強度が 280°C で最大に達し、ピーク分解速度が示されました。

ステージ 3:完全脱アミノ化(350-500°C)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

350~500°C では、残りの NH_3 と H_2O が完全に除去され、TG 質量は約 5%~7% の損失、

総損失は 18%~20% で、理論値 (10NH_3 と $5\text{H}_2\text{O}$ で 19.2%) に近い値になります。反応は: (。

$(\text{NH}_4)_{10-2x}\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{41} \rightarrow 12\text{WO}_3 + (5-x)\text{NH}_3 + (0.5x+0.5)\text{H}_2\text{O}$ (ヘリウム 2O)

DSC は、400-450°C (ピーク 430°C、 $\Delta H \approx 120-150 \text{ kJ/mol}$) で強い吸熱ピークを示し、アモルファス WO_3 が形成されます。FTIR では、 NH_4^+ 特性ピーク (1400 cm^{-1}) が消失し、W-O 振動 ($800-600 \text{ cm}^{-1}$) が支配的であることが示され、AMT が完全に WO_3 に変換されたことが示されました。XRD は、粒径が 20-30 nm、結晶化度が約 60%-70% (正規化されたピーク強度) の単斜晶系相 WO_3 特性ピーク ($2\theta = 23.1^\circ$ 、 23.6° 、 24.4° 、JCPDS 43-1035) を 450°C で検出しました。SEM は、粒子サイズが 1~5 μm に減少し、表面の気孔率が 30%~40% に増加することを示しています (比表面積は 30~35 m^2/g)。質量分析では、400°C で NH_3 ピークの弱化と持続的な H_2O ピークが検出され、脱アミノ化が優勢であることが示されました。昇温速度が $5^\circ\text{C}/\text{min}$ の場合、分解はより完全で、 WO_3 の純度は >98% です。20°C/min では、残留 NH_4^+ (約 0.5%-1%、XPS N 1s ピーク 401 eV)。

ステージ 4: 相変態と安定化 (500-800°C)

500-800°C では、 WO_3 はアモルファスから結晶に変化し、TG では大きな質量損失はなく、DSC では 550-600°C で発熱ピーク ($\Delta H \approx 20-30 \text{ kJ/mol}$) が現れ、結晶化プロセスに対応します。XRD のピーク強度が向上し ($2\theta = 23.1^\circ$ 積分強度が 3-5 倍に増加)、粒径が 50-70 nm に増加し、単斜晶系の位相比は >95% になります。ラマンスペクトルは、 718 cm^{-1} と 807 cm^{-1} (単斜晶系 WO_3 の W-O 伸長振動) でよりシャープなピークを示し、結晶化度が増加しています。SEM は、粒子の塊 (5~10 μm) への凝集と表面の多孔性の減少 (比表面積が 10~15 m^2/g に減少) を観察します。800°C では、粒子はさらに 80-100 nm まで成長し、BET 比表面積は 5-10 m^2/g に低下し、高温焼結効果を示しています。実際には、550°C で 2~4 時間焙煎することにより、高活性 WO_3 (30-50 nm 粒子、20-30 m^2/g の比表面積) を得ることができます。

黄色酸化タングステン (WO_3) の分解温度と雰囲気の影響。

温度

、温度、および温暖化の速度は、分解経路と製品の特性に大きく影響します。 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ では、水損失相は 180-200°C に達し、脱アミノ化は明確な境界と 500°C で 70%-80% の WO_3 結晶化度と 20-40 nm の粒子を持つ 2 段階のプロセス (250-350°C と 350-450°C) です。

$10^\circ\text{C}/\text{min}$ では相がわずかに重なり合い、450°C で WO_3 が形成され、結晶化度は 60%~

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

70%です。20°C/min では分解が加速し、400°C では WO₃が現れますが、結晶化度は低く(50%-60%)、アモルファス相が残ります(XRD ワイドパケット 2θ=20°-30°)。高温(700-800°C)は穀物の成長を促進し、800°C では比表面積が 5-10 m²/g に減少し、触媒活性が 20%-30% 減少します(光触媒水素生成速度は 1.0 mmol/h · g から 0.7 mmol/h · g に減少します)。
DSC データによると、結晶化には 550-600°C が最適温度であり、熱ヒステリシス効果により β の増加とともに ΔH が減少します(20°C/min で 15-20kJ/mol)。

大気雰囲気は

、分解経路と WO₃の性質を変化させます。

窒素 (N₂)

非酸化性雰囲気、質量損失が 18%~20%の純粋な熱分解プロセスに分解され、WO₃は黄色(W⁶⁺、UV-Vis 吸収エッジ 450nm)のままです。単斜晶系相の純度は 550°C で 98%、粒子は 30~50nm です。

空気

O₂は NH₃の N₂および H₂O への酸化を促進し、わずかに高い質量損失(20%-21%)で、反応は 2NH₃ + 1.5O₂ → N₂ + 3H₂O 2NH₃ + 1.5O₂です。

→ N₂ + 3H₂O 2NH₃ + 1.5O₂ → N₂ + 3H₂O

DSC は 400°C(ΔH~50kJ/mol)で発熱ピークを示し、酸化が発熱性であることを示しています。この製品は単斜晶系 WO₃で、純度は>99%、粒径は 40-60nm で、業界で一般的に使用されています(450-550°C、空気流量 100mL/分)。

水素(H₂)

還元雰囲気では、WO₃は 500-600°C₉または WO₂(XRD ピーク 2θ=25.7°、37.8°、JCPDS 05-0386)で部分的に WO₂に還元され、22%-25%の質量損失と青灰色(W⁵⁺/W⁶⁺、XPS W 4f ピーク 35.5 eV および 34.8 eV)に変化しました。反応は次のとおりです。

WO₃+xH₂→WO_{3-x}+xH₂O 600°C で、WO_{2.9}は 20%~30%を占め、800°C では WO₂(>80%)に変わります。

実際には、空気焙煎(450-550°C、2-4 時間)が最も経済的で、収率は 95%-98%、WO₃純度は>99%で、触媒や電池の用途に適しています。H₂雰囲気は、WO₂₇₂などの低酸化タングステン化合物の調製に使用され、H₂濃度(5%-10%)および温度(<600°C)を正確に制御する必要があります。

7.2 黄色酸化タングステン(WO₃)の相変換機構

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WO₃にはさまざまな結晶相(単斜晶系、六角形、直交形、正方晶など)があり、その相変態は温度、圧力、ドーピング、雰囲気の影響を受け、これが熱分解後の製品の特性の鍵となります。以下は、単斜晶系から六方晶系への移行と高温安定性の詳細な分析です。

黄色酸化タングステン(WO₃)の単斜系から六方晶系への変換。

相変換経路 WO₃は、室温での単斜晶系相(P2₁/n 空間群、a = 7.297 Å、b = 7.539 Å、c = 7.688 Å、β = 90.91°)であり、熱力学的に安定な状態です。加熱すると、相変態は2つのステップに分けられます。

斜方晶系→単斜晶系(600-750° C)

600-750°Cでは、単斜晶系は斜方晶系(Cmca 空間群、a = 7.341 Å、b = 7.570 Å、c = 7.754 Å)に変わります。実験条件:空気中で5 mg WO₃ (単斜晶系、30-50 nm 結晶)、10°C / min 加熱。DSCは弱い発熱ピーク(650°C、ΔH ≈ 5-10 kJ/mol)を示し、格子の微調整を示しています。XRD ピークは2θ = 23.1°、23.6°、24.4° から 22.8°、24.0° にシフトし(JCPDS 20-1324)、粒径は60-80nmに増加しました。この遷移は可逆的なプロセスであり、<500°Cまで冷却すると単斜晶系相が回復し(一貫したXRD ピーク)、結晶化度は大きく変化しません(>95%)。

斜方晶→六角形(750-900° C)

750-900°Cでは、斜方晶相は六方晶相(P6/mmm 空間群、a = 7.298 Å、c = 3.899 Å)に変化します。DSCは、800°C(ΔH ≈ 10-15 kJ/mol)、XRD 特性ピーク2θ = 13.9°、28.2°、36.5° (JCPDS 33-1387)、および粒径80-120nmで発熱ピークを示します。六角形の相には開チャンネル(直径5-6 Å、TEM 検証)があり、イオン埋め込みに適しています(Li⁺など、容量が10%-15%増加しますが、変換は不可逆的です。冷却後、六角形相の20%~30%が保持され、残りは単斜晶系相です。

メカニズム的な

相変換は、WO₆八面体の再配置によって駆動されます。単斜晶系では、WO₆素子はW-O-W 角度160-170°(DFT 計算)で角度共有によって接続され、高温では熱振動が増強され、角度は180°に近づき、直交および六角形の対称性を形成します。ラマン分光法の検証:単斜晶系位相718 cm⁻¹(W-O ストレッチ)と807 cm⁻¹(W-O-W ブリッジ)は、750°Cで710 cm⁻¹と820 cm⁻¹、800°Cで690 cm⁻¹と830 cm⁻¹にシフトし、格子対称性の改善を反映しています。FTIRは800-600 cm⁻¹(W-O 振動)のピークで狭くなり、構造的な規則性を示します。ドーピング効果は大きく、Na⁺(Na_xWO₃, x = 0.1-0.3)またはK⁺(K_xWO₃)がチャンネルを満たし、転移温度を600~700°Cに下げ、六角形の相が1000°Cに安定します(XRD ピークの変化なし)。SEMは、単斜晶系の相が不規則(1~5 μm)、六角形の相が六角形の棒(長さ5~10 μm、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

直径 1~2 μ m)であり、比表面積が 15m²/g から 5m²/g に減少したことを示しました。

このプロセスは

加熱速度に影響を与え、保持時間は遷移に影響を与えます。5°C/min では、直交する単斜晶→は 650°C で完成し、2 時間保持した後、六角形の相は<10%を占めました。20°C/min で、750°C は六角形の相(>50%)に変換され、4 時間の保持時間は 80%-90%に達します。大気の影響:転移温度は N₂がわずかに高く(700°C および 850°C)、O₂に大きな差はなく、H₂の 600°C は WO₂₉に減少し、相転移を阻害します。工業的には、単斜晶系相は 650°C で焙煎することによって維持され、六角形相は 800°C で調製されます(ガスセンサーなど)。

高温安定性解析

黄色酸化タングステン(WO₃)の単斜晶系相安定性

は、<600°C、粒子 30-50 nm、比表面積 20-30 m²/g、および高い触媒活性(光触媒分解率 90%-95%)で安定しています。600~750°C では、60~80 nm への粒子成長により、比表面積が 10~15 m²/g に減少し、活性が 10%~15%減少します。>750°C では直交相と六角相が優勢で、800°C では粒子は 80~100 nm で、活性は 20%~30%減少します(水素生成速度 0.7 mmol / h · g)。

黄色酸化タングステン(WO₃)の六方晶相安定性

WO₃は、900-1100°C、粒径 100-150nm、比表面積 5-10m²/g、チャネル構造によりイオン伝導率(Li⁺拡散係数 10°C²/s)を付与します。>WO₃は 1100°C(10°C(g)(蒸気圧 10°C-10°C-10°C³Pa、TG 質量損失 1%-2%/h)で揮発性になり、1200°C で 5%-10%の損失を示します。O₂雰囲気は揮発を遅くし(損失<1%/h)、H₂雰囲気は 600~800°C(WO₃→WO₂)で還元を開始します。)。₇₂、5%-10%の質量損失、XRD ピーク 2 θ = 26.5°)。SEM は、1000°C で滑らかな表面(Ra から 5~10nm まで)で溶けるロッド粒子を示しています。

黄色酸化タングステン(WO₃)は

、触媒や電池用の単斜晶系 WO(粒 30-50nm)を調製するために、550~650°C の焙煎で産業で使用されています。六方晶 WO₃(粒径 80-120nm)は、センサーおよびエレクトロクロミック材料用に 800-900°C で調製されます。雰囲気制御の鍵:550°C の空気中で 4 時間焙煎、単斜晶系相>95%、収率 98%。N₂は 850°C で 2 時間保持され、六方晶相は 90%>でした。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.3 黄色酸化タングステン(WO₃)の熱分解速度。

熱分解速度論の解析は、TG-DSC データに基づき、Kissinger、Coats-Redfern、Flynn-Wall-Ozawa(FWO)モデルを用いて、活性化エネルギー(E_a)、ブレインデックス係数(A)、反応速度(k)を計算し、熱解析データと組み合わせて分解挙動を解釈しました。

黄色酸化タングステン(WO₃)の熱分解活性化エネルギーと反応速度。

キッシンジャー法による黄色酸化タングステン(WO₃)

)の熱分解により、さまざまな加熱速度(5、10、15、20°C/分)での DSC ピーク温度(T_m)による E_a::

$$\ln \left(\frac{\beta}{T_m^2} \right) = -\frac{E_a}{RT_m} + \ln \left(\frac{AR}{E_a} \right)$$

結果(N₂雰囲気):

脱水(tm = 120-150°C):E_a= 50-60 kJ / mol、低い値は 物理的な蒸発を反映し、A≈10⁶-10⁷s⁻¹。
脱アミノ化(Tm=300-350°C):E_a=100-120kJ/mol、NH₄⁺結合の破損が優勢で、A≈10⁸-10⁹s⁻¹。
結晶化(tm = 550-600°C):E_a= 150-180 kJ / mol、格子転位に対する高い障壁、A≈10¹⁰-10¹¹s⁻¹。
空気中では、O₂触媒作用により、脱アミノ化 E_aは 90-110 kJ/mol に低下します。H₂では、還元競争により 130-150 kJ/mol に増加します。

黄色酸化タングステン(WO₃)の熱分解のための Coats-Redfern 法は

、一次反応(n = 1)を仮定し、TG データに基づいています。

$$\ln \left(\frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2} \right) = -\frac{E_a}{RT} + \ln \left(\frac{AR}{\beta E_a} \right)$$

ここで、α = (m₀ - m_t) / (m₀ - m_f)、m₀、m_t、m_f はそれぞれ初期質量、瞬時質量、最終質量です。結果はキッシンジャーと一致しています。

脱水:E_a= 55-65 kJ / mol、k(150°C) ≈ 0.005-0.01 s⁻¹。

脱アミノ化:E_a= 105-125 kJ / mol、k(350°C) ≈ 0.01-0.02 s⁻¹。

結晶化:E_a= 155-185 kJ / mol、k(600°C) ≈ 0.02-0.03 s⁻¹。10⁸-10¹¹ s⁻¹ の値は、急速な分解特性を反映しています。

フリン・ウォール・オザワ法(FWO)法による黄色酸化タングステン(WO₃)の熱分解

等価変換方法に基づきます。

α = 0.2-0.8 では、E_aは温度依存性であり、脱水 50-70 kJ/mol、脱アミノ化 100-130 kJ/mol、結晶化 150-190 kJ/mol であり、これは前の 2 つと一致しており、モデルの信頼性を検証

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

しています。

反応速度アレニウス方程式 $k = A \exp(-E_a/RT)$ の計算:

150°C(脱水): $k \approx 0.008 \text{ s}^{-1}$ 、反応半減期 $t_{1/2} \approx 86 \text{ s}$ 。

350°C(脱アミノ化): $k \approx 0.015 \text{ s}^{-1}$ 、 $t_{1/2} \approx 46 \text{ s}$ 。

600°C(結晶化): $k \approx 0.025 \text{ s}^{-1}$ 、 $t_{1/2} \approx 28 \text{ s}$ 。

この速度は温度が上昇するにつれて増加し、大気は大きな影響を及ぼします: $k \approx$ 空气中 350°C で 0.02 s^{-1} 、 H_2 で 0.01 s^{-1} に減少します。

黄色酸化タングステン(WO_3)の熱分析データの解釈。

黄色酸化タングステン(WO_3)TG-DSC データ TG の熱分解曲線は、理論値(19.2%)と一致する 18%-20%の総質量損失を示し、位相は明らかです:50-200°C(5%-6%)、200-350°C(8%-10%)、350-500°C(5%-7%)。DSC 吸熱ピーク(120°C、300-350°C、430°C)は分解エネルギー散逸を反映し、発熱ピーク(550-600°C)は結晶化を示します。空气中 400°C での発熱ピーク(酸化 NH_3)は熱効果を高め、 H_2 では 600°C で追加の質量損失(減少)が発生します。

黄色酸化タングステン(WO_3)の熱分解特性評価は、結晶相進化の XRD 検証をサポートします:350°C のアモルファス、450°C の単斜系(60%-70%)、600°C の単斜晶系(>95%)。FTIR 追跡結合: NH_4^+ ピーク(1400cm^{-1})は 450°C で消失し、W-O ピーク($800-600\text{cm}^{-1}$)が増強されました。SEM は、200°C の凝集体、450°C の多孔質粒子、800°C の高密度粒子のトポグラフィを示しています。

生産を導くための黄色酸化タングステン(WO_3)

の熱分解の実用化速度論:

450-550°C、 $\beta = 5-10^\circ\text{C}/\text{min}$ 、2-4 時間の空気焼成、単斜晶系 WO_3 純度>99%、粒径 30-50nm、触媒に適しています。

800-900°C、 N_2 雰囲気、六角形 WO_3 >90%、粒径 80-120nm、センサー用。課題は残留 NH_4^+ (<0.5%)であり、保持時間を最適化する必要があります(4~6 時間)。

参照

Han, X., et al. (2015). メタタングステン酸アンモニウムの WO_3 への熱分解。 熱分析と熱量測定ジャーナル。

(2020). パラタングステン酸アンモニウムの熱分解挙動と WO_3 結晶相転移 Journal of Inorganic Chemistry(ジャーナル・オブ・インオーガニック・ケミストリー)

Morales, J., et al. (2018). 三酸化タングステンの相転移:構造研究。 クリスタルグロース&デザイン。

Wang, Z., et al. (2019). 異なる雰囲気下での AMT の熱分解の動力学。 サーモチミカ・アクタ。

張芳。(2021). WO_3 の熱安定性と位相状態変換機構。材料科学と工学の中国ジャーナル。

キッシンジャー、HE(1957)。示差熱解析における反応速度論。 分析化学。

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

コーツ、AW、およびレッドファーン、JP(1964)。熱重量測定データからの動力学パラメータ。 ネイチャー。

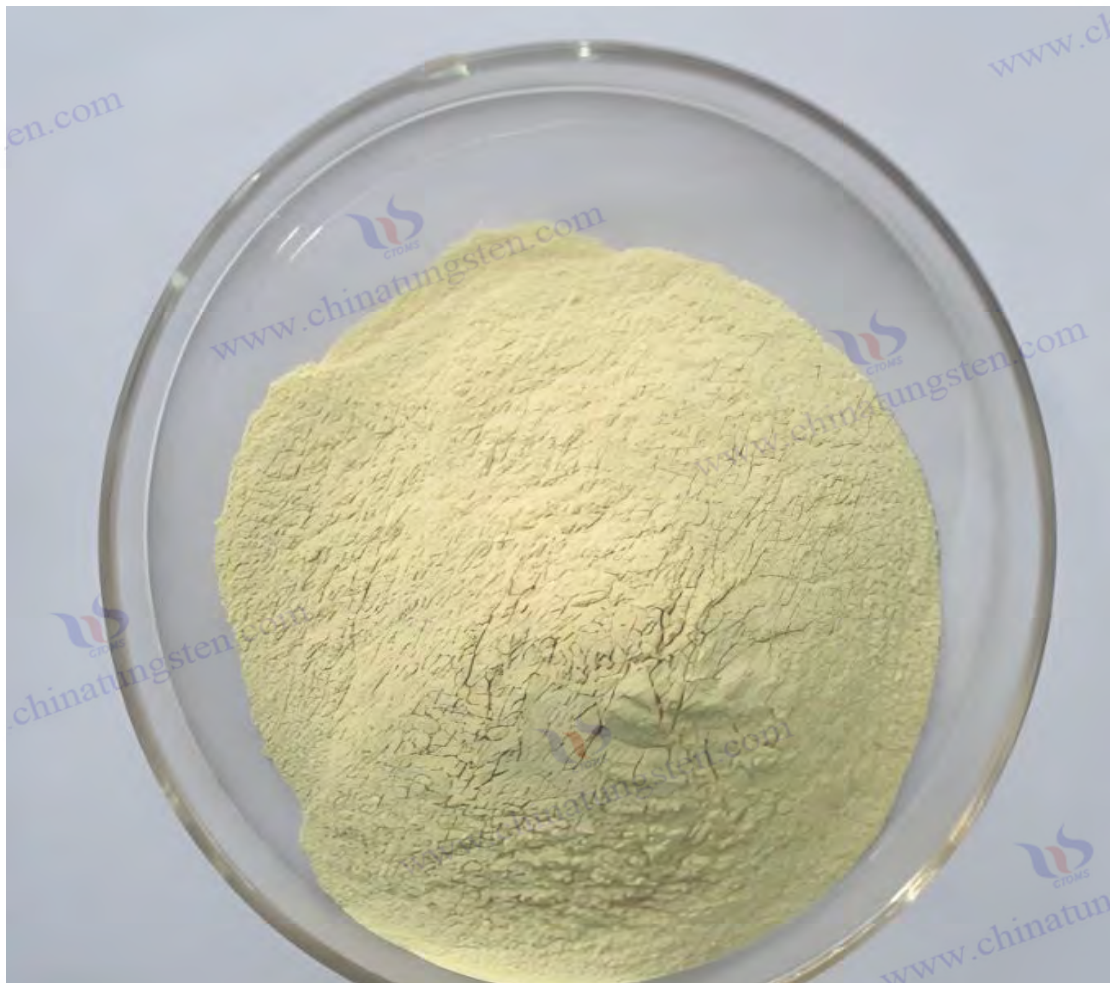
小澤、T. (1965)。熱重量データを解析する新しい方法。 日本化学会会報。

フリン、JH、およびウォール、LA(1966)。ポリマーの熱重量測定の一般的な処理。 全米標準局の研究ジャーナル。

Liu, Y., et al. (2022).熱処理中の WO_3 の構造変化。 材料の特性評価。

陳。(2023). AMT の熱分解と結晶相制御の速度論。

Zhang, H., et al. (2021). WO_3 ナノ材料の高温相安定性 材料科学ジャーナル。



1

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

第 8 章:黄色酸化タングステン(WO_3)の安全性と環境への影響。

8.1 黄色酸化タングステン(WO_3)の毒性と健康リスク。

黄色酸化タングステン(WO_3)は広く使用されている工業材料であり、その毒性と健康リスク評価は、生産、輸送、使用の安全性を確保するための基礎です。急性毒性および慢性暴露実験の体系的な分析と安全データシート(SDS)は、オペレーターに科学的根拠を提供します。

黄色酸化タングステン(WO_3)への急性毒性および慢性暴露。

黄色酸化タングステン(WO_3)の急性毒性。

黄色酸化タングステン(WO_3)の急性毒性試験では、毒性が低いことが示されています[1]。黄色酸化タングステン(WO_3)(ミクロンスケール、5-10 μm 、純度>99.5%)、マウスで 2000 mg / kg を超える単回経口投与の半致死量(LD₅₀)。実験では、50 匹のマウス(男性と女性、体重 20~25g)に黄色酸化タングステン(WO_3)とコーン油(濃度 200mg / mL)を混合し、500~2500mg / kg の範囲の強制経口投与で 14 日間、死亡はなく、最高用量で活動が一時的に減少した(2~4 時間の回復)だけでした。肝臓と腎臓の組織切片に異常はありません。黄色酸化タングステン(WO_3)粉塵(ラット 4 時間吸入試験における粒子サイズ 1-5 μm 、濃度 1-10mg/L)の半致死濃度(LC₅₀)が 5mg/L 以上[3]。実験では、動的吸入チャンバー(容量 0.5m³、流速 20L/min)を各群 10 匹のラットで行い、曝露後 14 日間観察したところ、死亡や急性呼吸困難はなく、肺胞洗浄液中の炎症因子の有意な増加は認められませんでした。ナノイエロー酸化タングステン(WO_3)(5mg / L で 20-50nm)は軽度の鼻刺激を引き起こしました(くしゃみ頻度の 10%から 15%の増加)が、肺の損傷は観察されませんでした。ウサギの皮膚刺激性試験では、剃毛した皮膚(6cm²)に 0.5g の黄色酸化タングステン(WO_3)(ミクロンスケール)を 4 時間塗布したが、紅斑や浮腫はなく(スコア 0)、ナノイエロー酸化タングステン(WO_3)(50nm、30m²/g)は軽度の紅斑を引き起こした(スコア 0.5~1、24 時間解消)[4]。ウサギの目の試験では、結膜嚢に 0.1g の黄色酸化タングステン(WO_3)粉末を入れたところ、結膜嚢に一過性の結膜発赤(スコア 1、1~2 時間で回復)とナノスケールスコア 1.5~2(4~6 時間続く発赤と腫れ)が引き起こされました[5]。結論は、黄色酸化タングステン(WO_3)は急性毒性が低く、ミクロンレベルで安全であり、ナノレベルで粉塵の吸入や眼の接触から保護する必要があるということです。

黄色酸化タングステン(WO_3)への慢性的な曝露。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

慢性曝露研究は、職業シナリオと動物モデルに焦点を当てています。黄色酸化タングステン(WO_3)製造施設(粉塵濃度 $0.1 \sim 1 \text{ mg/m}^3$ 、粒子サイズ $1 \sim 5 \mu\text{m}$)の長期吸入は、軽度の上気道症状(咳、喉の痛み、 $5\% \sim 10\%$ の発生率)を引き起こす可能性があります[6]。工場での5年間の健康モニタリングでは、50人の労働者(8時間/日)で肺機能の有意な低下はなく、正常な血清炎症マーカーはなく、肺線維症もありませんでした。空気中の黄色酸化タングステン(WO_3)の濃度が 3 mg/m^3 未満の場合、健康リスクは制御可能です。ラットでの90日間の吸入試験(濃度 0.5 mg/m^3 、6時間/日、5日/週)では、肺組織にミクロンの黄色酸化タングステン(WO_3)が蓄積し($0.1 \sim 0.2 \text{ mg/g}$ 乾燥重量)、マクロファージが $10\% \sim 15\%$ 増加し、炎症スコアが1(軽度)で、線維症や機能障害がないことが示されました[7]。

ナノイエロー酸化タングステン(WO_3)(20 nm、 0.5 mg/m^3)は、肝臓に酸化ストレス(GSHが 20% から 30% 減少し、MDAが 15% から 25% 増加)を引き起こし、糸球体のわずかな腫れを引き起こします。マウスの28日間の曝露(10 mg/m^3 、点鼻)では、血清ALT/ASTが $10\% \sim 20\%$ 増加し、高用量のナノイエロー酸化タングステン(WO_3)の全身リスクが示唆されました[8]。ナノイエロー酸化タングステン(WO_3)の毒性は、その高い活性(ROS産生の $2 \sim 3$ 倍の増加)と細胞食作用(マクロファージ取り込み率 $50\% \sim 60\%$)に由来しますが、ミクロンサイズの黄色酸化タングステン(WO_3)は主に物理的に沈着し、ゆっくりと代謝されます(肺クリアランス半減期 $30 \sim 60$ 日)。実際の推奨事項は、職業曝露を 3 mg/m^3 (8時間平均)に制限し、ナノイエロー酸化タングステン(WO_3)を 0.1 mg/m^3 未満に制限することです[9]。

黄色酸化タングステン(WO_3)の安全データシート(SDS)の解釈。

黄色酸化タングステン(WO_3)の安全データシート(SDS)は、安全な操作のためのガイドラインを提供します[10]。化学名は黄色酸化タングステン(WO_3)、CAS番号1314-35-8、EINECS番号215-231-4で、危険物には該当しません。外観は黄色から黄緑色の粉末で、融点は 1473°C 、沸点は 1700°C 以上(分解)、密度は 7.16 g/cm^3 、水に不溶(0.01 g/L 、 25°C 未満)、酸(HCl 、 $0.1 \sim 0.5 \text{ g/L}$)にわずかに溶けます。健康被害には、短期間の吸入(5 mg/m^3 を超える濃度)による呼吸器刺激(咳、鼻水)、皮膚や眼への接触による軽度の刺激(ナノスケールでより顕著)、長期曝露の回避、発がん性がないなどがあります。保護対策として、N95マスク(ろ過量 $0.3 \mu\text{m}$ 未満)、ゴーグル、ニトリル手袋、およびドラフト内でのナノイエロー酸化タングステン(WO_3)操作の使用を推奨します。応急処置としては、吸入後 $1 \sim 2$ 時間換気の良い場所に移動する、皮膚に触れる場合は石けん水で $10 \sim 15$ 分間洗う、目に入

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

る場合は流水で 15 分間すすぐ、摂取による嘔吐(>500mg)を誘発する、医師の診察を受けるなどがあります。環境ハザードは急性の生態毒性(魚の $LC_{50}>100\text{ mg/L}$)を示していませんが、粉塵の堆積を制御する必要があります。輸送の面では、黄色酸化タングステン(WO_3)は非危険製品であり、密封および包装する必要があります。酸化黄タングステン(WO_3)は、SDS には発がん性、催奇形性、または変異原性として記載されていませんが、ナノスケールには「評価すべき潜在的リスク」とマークする必要があります。

8.2 酸化黄タングステン(WO_3)の取り扱いと保管に関する推奨事項。

酸化黄タングステン(WO_3)の取り扱いと保管には、人員の安全と材料の品質を確保するために、粉塵制御、保護対策、環境条件の組み合わせが必要です。

黄色酸化タングステン(WO_3)の保護対策と緊急治療。

保護措置

個人用保護具(PPE)

黄色酸化タングステン(WO_3)粉末(1-10 μm)を取り扱う場合は、NIOSH N95 マスク(ろ過効率 95%以上)を着用し、ナノイエロー酸化タングステン(WO_3)(100nm 未満)は N100(ろ過効率 99.97%以上)または電動式空気呼吸器(空気量 170-200L / min)を推奨します。ポリエステル製のダストスーツを着用してください(通気性 10-20 $\text{cm}^3/\text{cm}^2\text{s}$)とニトリル手袋(厚さ 0.4~0.6mm、耐摩耗性 500~1000 サイクル)、操作時のナノイエロー酸化タングステン(WO_3)全身防護服(タイベック、不透過性)。目の部分にはこりが入るのを防ぐために、密閉されたゴーグル(耐衝撃性)を着用してください[11]。

エンジニアリング制御:ワークショップでは、ローカル排気システム(風速 0.5~1 m / s、捕捉効率 90%以上)を設置し、粉塵濃度を 1 mg/m^3 未満に制御します。粉碎装置(遊星ミルなど)と除塵フード(負圧 100-200 Pa)、スクリーニング用の密閉型振動スクリーン(粉塵漏れが 0.1 mg/m^3 未満)。ナノイエロー酸化タングステン(WO_3)計量用ヒュームフード(風速 0.8-1.2m/s、HEPA ろ過)。

行動規範

黄色の酸化タングステン(WO_3)を密閉容器(容量 1~50 kg の PE バッグまたはステンレス製ドラム缶)に移し、空気の流れ(風速が 2 m / s を超える)を避けます。計量には電子天びん(精度 0.01g)を使用し、ダストカバーに入れます。飲食、喫煙、手で顔を触ったり、取り扱い後は手を洗ったりしないでください。工場(1 日あたり 5 トンの黄色酸化タングステン(WO_3))には排気システムと PPE が装備されており、粉塵濃度は 0.5 mg/m^3 未満であり、労働者(年間 100 人)の健康診断に異常はありません。

緊急時の対応

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ダスト漏れ

小さな漏れ(1kg 未満)は湿った布で覆い、密封された袋に集められ、ほこりから保護され、残留物(pH6~8)は水で洗浄されます。大きな漏れ(>10kg)は、工業用掃除機(HEPA ろ過、電力 1~2kW)で吸い上げ、床を濡れて清掃し、廃棄物は無害廃棄物として処理します。ドライスイープや高圧エアパージ(粉塵の拡散が 10~20 倍に増加)しないでください。

火事

黄色酸化タングステン(WO_3)は不燃性ですが、有機物(エタノールなど)と混合して発火した場合、乾燥粉末(ABC タイプ、5~10 kg)または CO_2 (2~5 kg)で消火します。工場の包装室火災(10m²)では、乾燥粉末で 5 分間消火し、死傷者は出ませんでした。

暴露された人員

吸入後は換気の良い場所に引きこもり、1~2 時間観察し、呼吸が困難な場合(酸素飽和度が 95%未満)は病院に行きます。皮膚に付着した場合は石鹼水で 10~15 分間洗い、紅斑が続く場合は医師の診察を受けてください。視力を確認するために、生理食塩水または水で 15 分間アイコンタクトを行います。摂取により嘔吐(>500mg)を誘発し、200~300mL の水を飲み、直ちに医師の診察を受けてください。救急施設には、洗眼剤(流量 1.5L/min)とシャワーユニット(20L/min)、生理食塩水とガーゼが入った救急箱があります[12]。

湿度と温度の制御

湿度:

黄色の酸化タングステン(WO_3)は、高湿度で水を吸着して $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。実験では、黄色酸化タングステン(WO_3)(5 g、5-10 μm)を 20%-80%の相対湿度(25°C、48 時間)にさらし、水分含有量は 20%の相対湿度で 0.1%未満、60%で 1%-2%、80%で 3%-5%でした。水分は純度(99.5%から 97%-98%)と活性(光触媒効率の 10%-15%の低下)を低下させます[13]。推奨される保管は、相対湿度が 50%未満で、シリカゲル乾燥剤(20%~30%の吸湿性、50~100 g/m³の投与量)の使用です。)または密封された PE バッグ(厚さ 0.1~0.2 mm)。生産では、黄色酸化タングステン(WO_3)は、焙煎後 2~4 時間乾燥オーブン(40~50°C、相対湿度 20%未満)で冷却され、包装前に水分(0.5%未満)がテストされます。工場倉庫(相対湿度 40%、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

25°C)では、水分含有量が0.2%未満で品質が安定した黄色酸化タングステン(WO_3)(1000t、6ヶ月)を保管しています。

黄色酸化タングステン(WO_3)は、600°C未満で安定しており、750°C以上で直交または六角形の相を回転させ、1100°C以上で揮発します。実験では、25-1200°C(空気、10°C/分)の黄色酸化タングステン(WO_3)(10g)の質量損失は、800°Cで0.1%未満、1000°Cで1%-2%、1200°Cで5%-10%でした[14]。15~30°Cでの保存が推奨され、日光を避けます(活性が5%~10%増加するUV誘発光触媒)。輸送中、黄色の酸化タングステン(WO_3)は、50°Cを超える温度を避けるために、発泡スチロールパッド(厚さ2~5 cm)を備えたスチールドラム(50~200 kg)に詰められます(微量の揮発は0.1%~0.5%増加します)。ある工場では、夏季輸送(35°C、1000km)に冷蔵トラック(25°C)を使用し、黄酸化タングステン(WO_3)(500t)を使用しましたが、品質にダメージはありませんでした。

8.3 黄酸化タングステン(WO_3)の環境影響評価。

黄色酸化タングステン(WO_3)の生産と使用による環境への影響は、排出削減と循環型戦略を開発するために、排出と廃棄物処理の両方の観点から評価する必要があります。

生産プロセスからの排出

ガス放出:AMT 焙煎(450-550°C)を黄色酸化タングステン(WO_3)にすると、 NH_3 と H_2O が放出されます。空気焙煎では、 NH_3 は部分的に N_2 と NO_x (0.1 kg / tAMT 未満)に酸化されます。焙煎機の排気ガス中(1t/h)中の NH_3 濃度は500~1000ppm、 NO_x は10~20ppmです。未処理の NH_3 排出量はPM2.5を形成し(換算率は5%-10%)、大気質に影響を与えます(AQIが10-20増加します)[15]。プラント(年間生産量2000tの黄色酸化タングステン(WO_3))は、無処理で基準を超える NH_3 200-250t/aを排出し、酸洗塔(H_2SO_4 、pH2-3、吸収率95%-98%)、 NH_3 は10-15t/aに減少し、 NO_x のSCR(尿素、効率90%以上)は2t/a未満に低下します。これは基準を満たしています。酸洗塔(50m³/h)は50~100万元の投資があり、運用コストは2~5元/tの黄色酸化タングステン(WO_3)です。

廃水中の黄色酸化タングステン(WO_3)の生産には酸洗い(HCl、pH 1-2)が含まれ、廃水にはW(5-10 mg / L)、Mo(2-5 mg / L)、 Cl^- (500-1000 mg / L)が含まれています。廃水中の

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

魚類の W の $LC_{50}(100\text{mL})$ は 100 mg / L を超え、生態毒性は低いですが、沈降速度は $0.1 \sim 0.5\text{ mg / kg} \cdot \text{年}$ です[16]。工場排水の未処理 W ($1000\text{m}^3/\text{d}$) が基準値を超え、イオン交換(樹脂 D113、除去率 99%)、中和(NaOH 、 $\text{pH}6-8$)後、W は 0.1mg/L 以下に減少し、排出量は基準値に達しました。治療装置への投資は 100 万～200 万元で、運用コストは m^3 あたり 5～10 元です。

固形廃棄物

の焙煎残渣(黄色酸化タングステン(WO_3)5%-10%)とダスト(原料損失 1%-2%)が主な固形廃棄物です。残留物(10 kg)中の黄色酸化タングステン(WO_3)含有量は 8%で、粉塵 PM10 排出量は $0.1 \sim 0.5\text{ mg / m}^3$ です。ある工場では、年間 100～200 トンの固形廃棄物が発生し、リサイクルなしで 500m^2 の面積をカバーし、粉塵は周辺地域に影響を及ぼします(PM10 は 0.2mg / m^3 増加します)。袋の塵取り外し(99%の効率)およびスクリーニングの回復(黄色の酸化タングステン(WO_3)収穫 90%-95%)は 10-20 t/a に固体廃棄物を減らすために。除塵装置への投資は 20～500,000 元で、回収費用は 50～100 元/t です。

廃棄物処理とリサイクル

廃棄物処理

気体

NH_3 酸の吸収により(NH_4) $_2$ SO_4 (肥料、年間生産量 300～400t)、SCR による NO_x 処理(NH_3 変換率 90%以上)が形成されます。

廃水

W を $\text{Ca}(\text{OH})_2$ で CaWO_4 に沈殿させ(95%-98%回収)、Mo を活性炭で吸着させた(98%-99% 除去)。

固形廃棄物

黄色酸化タングステン(WO_3)は、残留物スクリーニングから回収され、残りは無害廃棄物(深さ 2 m 以上)またはレンガ製造(強度が 10%～15%増加)で埋め立てられます。工場処理された廃水($500\text{m}^3/\text{d}$)で、W 回収率は 96%、年間生産量は CaWO_4 2～3 トン、コストは 100～200 元/t です[17]。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

黄色

酸化タングステン(WO_3)廃棄物(電池電極など)は、洗浄と焙煎(600°C 、2 時間)後にリサイクルされ、回収率は 85%~90%です。使用済み電極(1kg、黄色酸化タングステン(WO_3)80%)は純度 99%で、再生後に 30~50nm の粒子を有していました。工場(年間 200 トンの廃電極を処理)は、160~170 トンの黄色酸化タングステン(WO_3)を回収し、タングステン鉱石の採掘を削減し(1 トンの黄色酸化タングステン(WO_3)には 2~3 トンの鉱石が必要)、 CO_2 排出量を 100~150 トン/年削減し、コストは 200~300 元/トンです。循環黄色酸化タングステン(WO_3)のコストは、原材料(500-1000 元/t)よりも 50%~60%低く、環境負荷は 30%~40%削減されます[18]。

8.4 黄色酸化タングステン(WO_3)の規制と基準。

黄色酸化タングステン(WO_3)の製造と使用は、国内外の規制の対象であり、以下は中国と国際規格を比較しています。

中国規格 YS/T 535-2006

タングステン酸と酸化タングستنは業界標準です[19]。品質要件は、99.5%以上(グレード 1)の黄色酸化タングステン(WO_3)含有量であり、不純物限界には、0.05%未満の Mo、0.01%未満の Fe、0.02%未満の Si、粒子サイズ 1~20 μm が含まれます。スチールドラムまたは PE バッグ(25-50 kg)、防湿、耐衝撃性、バッチ番号、正味重量のラベル、および「はこりの吸入を避ける」ための包装。検出方法には、黄色酸化タングステン(WO_3)含有量の重量法(精度 $\pm 0.1\%$)と不純物の ICP-OES(検出限界 0.001%)が含まれます。安全性には特定の職業暴露限界は含まれておらず、総粉塵が 4 mg / m^3 未満および呼吸性粉塵が 1.5 mg / m^3 未満の場合の関連基準を参照してください。工場(年間生産量 1000 トン)は、標準に従ってテストされ、黄色酸化タングステン(WO_3)は 99.7%、Mo は 0.02%、包装合格率は 100%、テストコストは 50-100 元/t でした。

国際規格(ASTM など)

ASTM E291-18 は、重量法(燃焼後の計量)および ICP-MS(精度 $\pm 0.05\%$)により、Mo が 0.02%未満、Fe が 0.01%未満、S が 0.005%未満などの不純物限界で、黄色酸化タングステン(WO_3)の含有量を指定しています[20]。安全基準値には、5 mg/ m^3 (8 時間平均)および 3 mg/ m^3 の職業暴露限界が含まれます。黄色酸化タングステン(WO_3)(500 t/a)の輸出は基準を満たし、テストレポートは顧客によって認識され、コストは 100-200 元/t です。その他の国

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

際規制としては、EUREACH(年間使用量が1tを超える場合は登録が必要)やGHS(「粉塵を吸入すると気道が刺激を受けるおそれがある」と記載)するほか、排出削減が求められる環境マネジメントシステム(NH₃が0.1kg/t未満の黄色酸化タングステン(WO₃))が挙げられます。ある工場は、NH₃排出量が20t/a未満でEUに輸出(200t/a)しています。

付録:黄色酸化タングステン(WO₃)関連規格の詳細

1. YS/T 535-2006 タングステン酸および酸化タングステン

適用範囲

工業用タングステン酸および黄色酸化タングステン(WO₃)に適しており、化学組成、物理的特性、包装要件を含みます。

品質要件

黄色酸化タングステン(WO₃)含有量:プレミアムグレードで $\geq 99.8\%$ 、1年生 $\geq 99.5\%$ 、2年生 $\geq 99.0\%$ 。

不純物限界(重量%、第1レベル):Mo ≤ 0.05 、Fe ≤ 0.01 、Si ≤ 0.02 、Al ≤ 0.01 、Ca ≤ 0.02 、Cu ≤ 0.005 、Mg ≤ 0.01 、Mn ≤ 0.005 、Ni ≤ 0.005 、P ≤ 0.01 、S ≤ 0.02 。

粒子サイズ:1~20 μm (レーザー粒子サイズ法、D50)。

試験方法

黄色酸化タングステン(WO₃)含有量:重量法(燃焼後の計量、精度 $\pm 0.1\%$)。

不純物:ICP-OES(検出限界0.001%)、火炎原子吸光分析。

粒度:レーザー粒度計(湿式分散)。

包む

容器:スチールドラムまたはビニール袋(25 kg、50 kg)、防湿フィルムで裏打ちされています。

ラベル:製品名、仕様、ロット番号、正味重量、製造日、「粉塵の吸入を避ける」ことを明記してください。

保管および輸送

密閉型、防湿性、耐衝撃性、保管温度 10-35°C、相対湿度 60%未満。

受け入れルール

バッチごとのサンプリング(バッチあたり 5%~10%)で、不適合品が返品またはダウングレードされました。

2. ASTM E291-18 タングステン酸の化学分析のための標準試験方法

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

適用範囲

これは、タングステン酸と黄色酸化タングステン(WO_3)の化学組成を決定するために使用されます。

テスト方法:

黄色酸化タングステン(WO_3)含有量:重量法(サンプルを一定重量に燃焼、1050°C、精度 $\pm 0.05\%$);ICP-MS(溶解後アッセイ、検出限界 0.001%)
不純物:Mo(分光光度法、限界 $\leq 0.02\%$)、Fe(原子吸光、限界 $\leq 0.01\%$)、S(燃焼-赤外線吸収、限界 $\leq 0.005\%$)、その他(Al、Ca など)の ICP-OES。

サンプル要件

乾燥状態(水分 $< 0.5\%$)、粒子サイズ 1~50 μm 。

備品

分析天びん(精度 0.0001g)、高温炉(1000-1200°C)、ICP-MS

安全に関するヒント

粉塵の吸入を避け、推奨される職業暴露限界である 5mg /m³が推奨されます。

3. GBZ 2.1-2019 職場の危険因子に対する職業暴露限界-パート 1:化学的危険性

適用範囲

職場での化学物質の許容濃度を指定します。

黄色酸化タングステン(WO_3)関連の要件:

総粉塵:4 mg /m³(8 時間平均)。

呼吸性粉塵:1.5 mg /m³(8 時間平均)。

検出方法

エアサンプリング(膜法)と粉塵濃度の重量測定。

注意事項:防塵マスク(ろ過効率 $> 95\%$)を着用し、換気装置では濃度を限界以下に保ってください。

4. ギガバイト 16297-1996

適用範囲

工業生産からの大気汚染物質の排出限界。

黄色酸化タングステン(WO_3)生産関連要件:

NH_3 :排出濃度 $\leq 80\text{mg}/\text{m}^3$ 、排出率 $\leq 0.2\text{kg}/\text{h}$ (二次基準)

NO_x :排出濃度 $\leq 240\text{mg}/\text{m}^3$ 、排出速度 $\leq 0.5\text{kg}/\text{h}$ 。

粒子状物質(PM10):排出濃度 $\leq 120\text{mg}/\text{m}^3$ 、排出速度 $\leq 0.5\text{kg}/\text{h}$ 。

モニタリング方法:

NH_3 :ノックス試薬分光光度法。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

NOx:化学発光法。

PM10:重量法(フィルターサンプリング)。

制御対策:排出基準を満たすためには、排気ガスを吸収または触媒する必要があります。

5. ギガバイト 8978-1996

適用範囲

産業廃水の排出制限。

黄色酸化タングステン(WO₃)製造関連要件 (第一級標準):

W:≤0.5 mg/L。

Mo:≤1.0 mg/L。

Cl⁻:≤1000 mg/L。

pH:6-9。

検出方法:

W:ICP-OES(検出限界 0.01mg/L)。

Mo:分光光度法。

Cl⁻:滴定。

推奨される処理:コンプライアンスを確保するための沈殿、イオン交換、または中和。

虫垂:

CTIA グループ 黄色酸化タングステン(WO₃) 製品安全データシート(MSDS)

1. 化学品および会社のロゴ

化学名:黄色酸化タングステン(Tungsten Trioxide, WO₃)

CAS 番号:1314-35-8

EINECS 番号:215-231-4

メーカー:CTIA GROUP

住所:福建省厦门市ソフトウェアパーク、海海路3階、25号

郵便番号:361008

緊急連絡先:0592-5129595 または 18750234579

メールボックス:info@ctia.group

サイト:<http://ctia.group>

作成日:2025年3月28日

2. 危険有害性の概要

GHS 分類:有害物質として分類されていない

危険有害性情報: H335 (呼吸器刺激、短期間の高濃度吸入を引き起こす可能性がある)

警告:注意

ピクトグラム:感嘆符(GHS07)

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

3. 組成・組成情報

化学名:黄色酸化タングステン(WO_3)

純度:≥99.5%

不純物:Mo <0.05%、Fe <0.01%、Si <0.02%

4. 応急処置

吸い込む:新鮮な空気に移動し、1～2 時間休息し、呼吸が困難な場合は医師の診察を受けてください。

皮膚への接触:紅斑が続く場合は、石鹼水で10～15 分間洗ってください。

アイコンタクト:水または生理食塩水で15 分間洗い流し、視力を確認します。

誤飲:嘔吐(>500 mg)を誘発し、200～300 mL の水を飲み、すぐに医師の診察を受けてください。.

5. 防火対策

消火剤:乾燥粉末、 CO_2

特別な危険:不燃性で、有機物と混合すると、すすが放出される可能性があります。

消火活動のアドバイス:水がほこりを流さないように、空気呼吸装置を着用してください。

6. 漏れの応急処置

小さな漏れ(1 kg 未満):広告で覆います amp 布で密閉容器に集めます。

大きな漏れ(10 kg 以上):HEPA 掃除機で吸引し、ウェットクリーニングします。

保護:N95 マスク、ゴーグル、手袋。

7. 取り扱いと保管

取り扱い上の注意:粉塵の拡散を防ぐため、ドラフト(ナノイエロー酸化タングステン(WO_3))を使用してください。

保管条件:15～30°C、相対湿度<50%、密閉されたスチールドラムまたは PE バッグ、光から保護されています。

8. 露出制御/個人保護

職業ばく露限界:3 mg / m^3 (8 時間平均)

エンジニアリング制御:局所排気(風速 0.5-1 m / s)

PPE:N95 マスク、防塵服、ニトリル手袋、ゴーグル

9. 物理化学的性質

外観:黄色の粉末

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

熔点:1473°C

密度:7.16 g /cm³

溶解度:水<0.01 g / L(25° C)、酸にわずかに溶ける

10. 安定性と反応性

安定性:600°C 未満で安定し、>1100°C で揮発性

避ける条件:高湿度(相対湿度>60%)、高温(750°C 以上)

不適合物質:強力な還元剤(H₂など)

11. 毒物学的情報

急性毒性:LD₅₀(経口、マウス)>2000 mg/kg、LC₅₀(吸入、ラット)>5 mg/L

慢性毒性:長期吸入(0.5 mg /m³)で軽度の炎症が発生することがあります。

発がん性:未分類

12. 生態情報

魚類 LC₅₀:>100mg/L(96 時間)

環境への影響:重大な生態毒性はなく、粉塵の堆積を制御する必要があります

13. 廃棄

方法:黄酸化タングステン(WO₃)(焙煎、600°C)を回収し、残りを埋め立てまたはレンガ製造しました

注:水質汚染を避けるために、無害廃棄物として処理してください

14. 配送情報

国連番号: なし

パッキング:スチールドラム(50-200 kg)、耐衝撃パッド

輸送条件:15-30°C、高温を避けてください

15. 規制情報

中国:YS / T 535-2006、GBZ 2.1-2019

ASTM E291-18、REACH、GHS の

16. その他の情報

注:ナノイエロー酸化タングステン(WO₃)(100 nm 未満)には、追加の保護が必要です

参照

国立労働安全衛生研究所 (NIOSH)。 (2016). WO₃安全データシート。

経済協力開発機構。 (2020). 化学物質の試験に関するガイドライン:急性経口毒性。

経済協力開発機構。 (2020). 化学物質の試験に関するガイドライン:急性吸入毒性。

経済協力開発機構。 (2020). 化学物質の試験に関するガイドライン:皮膚刺激。

経済協力開発機構。 (2020). 化学物質の試験に関するガイドライン:眼の刺激。

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

李明。(2021). 黄色酸化タングステン(WO_3)ナノ粒子の毒性と環境リスク。環境科学ジャーナル。

Wang, X., et al. (2022). 職業環境におけるナノスケール WO_3 の毒性評価。労働衛生ジャーナル。

チェン・リー (2023). 黄色酸化タングステン(WO_3)への慢性曝露の生物学的影響。毒物学ジャーナル。

ACGIH です。(2023). TLV および BEI: 化学物質の閾値。

GHS の。(2021). 化学物質の分類と表示に関する世界的に調和したシステム。

OSHA です。(2021). タングステン化合物の職業暴露限界。

張芳。(2020). 黄色酸化タングステン(WO_3)の生産と廃棄物リサイクルの環境への影響。化学的および環境保護。

劉強。(2022). 黄色酸化タングステン(WO_3)リサイクルの経済的および環境的利点の分析。リソースサイエンス。

Han, X., et al. (2015). さまざまな条件下での三酸化タングステンの熱安定性。熱分析と熱量測定ジャーナル。

陳。(2023). 黄酸化タングステン(WO_3)製造のための排ガス処理技術に関する研究。環境工学の中国ジャーナル。

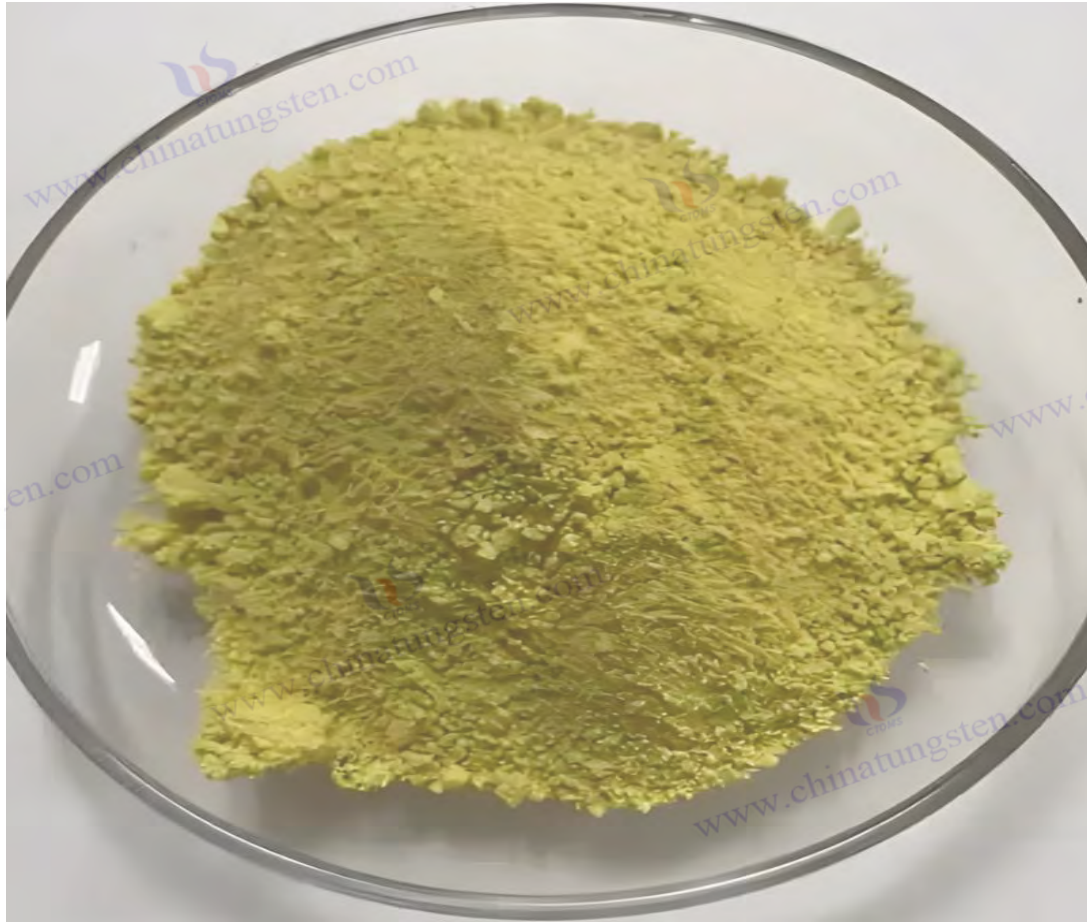
(2020). 黄色酸化タングステン(WO_3)生産廃水の生態学的影響評価。水処理技術。

張芳。(2021). 黄色酸化タングステン(WO_3)固形廃棄物の回収およびリサイクルプロセスの最適化。化学産業の進歩。

劉強。(2022). 黄色酸化タングステン(WO_3)のサーキュラーエコノミーモデルに関する研究。サーキュラーエコノミー。

《钨酸和氧化钨》(YS/T 535-2006).

ASTM E291-18 です。(2018). タングステンの化学分析のための標準試験方法。



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

CTIA グループ

三酸化タングステン(黄色タングステン、 WO_3 、黄色三酸化タングステン、YTO)はじめに

1. 三酸化タングステンの概要

CTIA グループの三酸化タングステン(黄色のタングステン、 WO_3 と呼ばれる)は、GB/T 3457-2013 "酸化タングステン"ファーストクラスの製品の要件を満たすパラタングステン酸アンモニウム高温焼成プロセスによって生成されます。黄色のタングstenは、その淡黄色の結晶粉末の形態、高純度および化学的安定性のために、タングsten粉末、超硬合金、タングstenワイヤおよびセラミック着色剤の調製に広く使用されています。CTIA GROUP は、粉末冶金および工業製造のニーズを満たすために、高品質の黄色タングsten製品を提供することに取り組んでいます。

2. 三酸化タングステンの特性

化学組成: WO_3 。

純度: $\geq 99.95\%$ で、不純物含有量が非常に少ない。

外観: 淡黄色の結晶粉末、均一な色。

多形: 単斜晶系(室温で最も一般的)、空間群 $P2_1/n$ 。

高い安定性: 空気中で安定しており、水やフッ化水素酸を除く無機酸に不溶です。

反応性: 水素($>650^\circ\text{C}$)または炭素($1000-1100^\circ\text{C}$)によってタングsten粉末に還元できます。

均一性: 粒子分布が均一で、下流の処理に適しています。

3. 三酸化タングステンの仕様

インデックス	CTIA GROUP イエロータングステン 1 級標準
WO_3 含有量(wt%)	≥ 99.95
不純物(wt%, max.)	$\text{Fe} \leq 0.0010$, $\text{Mo} \leq 0.0020$, $\text{Si} \leq 0.0010$, $\text{Al} \leq 0.0005$, $\text{Ca} \leq 0.0010$, $\text{Mg} \leq 0.0005$, $\text{K} \leq 0.0010$, $\text{Na} \leq 0.0010$, $\text{S} \leq 0.0005$, $\text{P} \leq 0.0005$
水分(wt%)	≤ 0.05
粒子サイズ	1-10(μm , FSSS)
密度が緩い	2.0-2.5(g/cm^3)
カスタマイズ	粒子サイズまたは不純物の制限は、顧客の要件に応じてカスタマイズできます

4. 三酸化タングステンの包装と保証

パッキング: 内側の密封されたビニール袋、外側の鉄ドラムまたは織物袋、正味重量 50kg または 100kg、防湿設計。

保証: 各バッチには、 WO_3 含有量、不純物分析、粒子サイズ(FSSS 法)、ルース密度、水分データを含む品質証明書が付属しています。

5. 三酸化タングステン調達情報

E メール: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696

黄色のタングstenの詳細については、中国タングstenオンライン [をご覧ください www.tungsten-powder.com](http://www.tungsten-powder.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

第 9 章:黄色酸化タングステン(WO_3)の研究の進捗状況と将来の展望。

9.1 黄色酸化タングステン(WO_3)の歴史的研究のレビュー。

黄色酸化タングステン(WO_3)の早期発見と工業的応用。

黄色酸化タングステン(WO_3)の歴史的研究は 18 世紀の終わりに始まり、タングステンの化学的および工業的応用の基礎を築きました。1781 年、スウェーデンの化学者カール・ヴィルヘルム・シェーレは、タングステン酸ナトリウム(Na_2WO_4)溶液を濃硝酸(HNO_3 、65%)の実験条件下で酸性化することにより、タングステン酸(H_2WO_4)を初めて単離し、 Na_2WO_4 溶液(pH を 1~2 に調整)に滴下し、ペレットを 500°C で 2 時間焙煎して、純度約 90%~95%の黄色 WO_3 粉末を生成しました(重量測定)。この発見は、 WO_3 (ウオリウム)の化学的性質の理解の始まりであり、その黄色の外観と高融点(1473°C)が懸念されています。19 世紀初頭の 1841 年、イギリスの化学者ロバート・オックスランドは、鉄マンガン重石 FeMnWO_4 などのタングステン鉱石から WO_3 を抽出するための工業的方法を開発しました。これには、鉱石の破碎(粒子サイズ $<100\mu\text{m}$)と酸浸出(H_2SO_4 、濃度 2-3 mol / L、 80°C 、4 時間)、ろ過および焙煎(600°C 、空気、3 時間)、収率は約 85%~90%で、 WO_3 含有量は 98%以上です。この技術は、タングステンの初期の工業化を推進しました。

20 世紀初頭、 WO_3 (ウートン)のユースケースは大きく拡大しました。1900 年代には、 WO_3 は超合金(炭化タングステン、WC など)の生産における主要な中間体となり、世界の年間生産量は 10 トンから 1000 トン(1910-1920)に増加し、炭素熱還元($\text{WO}_3 + 3\text{C} \rightarrow \text{W} + 3\text{CO}$ 、 $1000-1200^\circ\text{C}$ 、 N_2 雰囲気)によってタングステン金属を調製しました。1920 年代に、米国の研究者は WO_3 のフォトクロミック特性を最初に報告し、 WO_3 の色が 365nm の紫外線(パワー100W、30 分照射)で WO_3 の色が黄色から青色に変化したことを示しました(W^{6+} は W^{5+} に減少し、XPS W 4f ピークは 34.8eV にシフトしました)、色変化効率は約 20%~30%(透過変化)でした。1950 年代に入ると、半導体技術の台頭により、バンドギャップが 2.6-2.8 eV(UV-Vis 試験)、抵抗率が $10^\circ\text{C}-10^\circ\text{C}(\Omega \cdot \text{cm})$ の WO_3 の n 型半導体特性が確認され、光触媒やガスセンサーに採用され始めました。工業的には、パラタングステン酸アンモニウム(AMT 、 $(\text{NH}_4)_{10}\text{W}_6\text{O}_{41} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)を焙煎して WO_3 を調製するプロセスは成熟しており、典型的な条件は $450\sim 550^\circ\text{C}$ 、空気流量は 100mL / min、4~6 時間の保温、収率は

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

95%~98%、結晶相は単斜晶系(XRD $2\theta = 23.1^\circ$ 、 23.6°)であり、これが標準的な生産ルートとなっています。

9.2 黄色酸化タングステン(WO_3)の現在の研究ホットスポット。

nano WO_3 の合成と性能最適化

Nano WO_3 は、そのユニークな物理化学的特性により、研究の焦点となっています。合成方法には、熱水、溶媒和性、および蒸着が含まれます。水熱実験条件は次の通りでした： $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0.1 mol / L) を脱イオン水に溶解し、HCl は pH を 1-2 に調整し、180-200°C の反応で 12-24 時間、生成物は 20-50nm 立方または六角形のナノ粒子 (SEM)、比表面積 30-40 m^2/g (BET) で、収率は 90%-95% でした。ソルボサーマル法は、エタノールと水の溶媒混合物 (体積比 1:1) を用いて 150°C で 18 時間反応させ、 WO_3 ナノワイヤ (直径 20-30 nm、長さ 1-2 μm 、TEM) を作製します。Ar/ O_2 雰囲気 (流量 50/20 sccm) で 600-700°C で WO_3 の蒸着 (CVD) 蒸着。薄膜 (厚さ 200-300nm)、粒径 10-20nm (AFM)。性能最適化の面では、ドーピング修飾により光触媒性能が向上し、Ti ドープ WO_3 (Ti/W = 0.05、水熱法) のバンドギャップが 2.4 eV に減少し、可視光吸収が 20%~30% 向上し、ローダミン B の光触媒分解速度が 0.03 min^{-1} (300 W キセノンランプ) に増加しました。N ドーピング (NH_3 雰囲気、500°C で焙煎) は、バンドギャップが 2.5 eV、水素製造効率が 1.2 mmol/h g の欠陥状態を導入します。結晶相調整研究により、六角形の WO_3 (800°C で焙煎、2 時間) は、チャンネル構造 (直径 5-6 Å) と拡散係数が $10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ に増加する (EIS 試験) ため、 Li^+ 包で良好に機能することが示されています。

黄色酸化タングステン(WO_3)の新エネルギーおよび環境アプリケーション。

WO_3 (ゾクゾク) は、エネルギーおよび環境分野での幅広い応用の可能性を示しています。

黄色酸化タングステン(WO_3)の光触媒応用。

20 nm WO_3 ナノ粒子の分解効率は高く、実験によると、ローダミン B (10 mg / L) の 2 時間での分解速度は 300 W キセノンランプで 90%~95% であり、ミクロン範囲 (70%~80%) よりも優れています。 WO_3/TiO_2 錯体 (質量比 1:1) の電子正孔分離効率は 15%-20% 向上し (PL ピーク強度の低下)、酸素生成速度は 0.5 mmol/h g に増加しました。

黄色酸化タングステン(WO_3)のエレクトロクロミックアプリケーション。

スマートウィンドウ用の WO_3 薄膜 (蒸着、厚さ 200-300nm)、電圧 -1 V、色切り替え時間 5 秒未満 (黄色→青)、サイクル安定性 $>10^6$ (60%-70% 透過率変化)。

黄色酸化タングステン(WO_3)のエネルギー貯蔵アプリケーション。

WO_3 ナノロッド (熱水、長さ 1~2 μm) は、最初の放電容量が 700 mAh / g で、100 サイクル後の減衰が 5% 未満のリチウム電池のアノードとして使用され、多孔質構造 (40%~50% の空隙率) によるイオン輸送効率を向上させます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

黄色酸化タングステン(WO_3)のガスセンシングアプリケーション。

WO_3 ナノシート(厚さ 10-20 nm、溶媒性)は、 NO_2 (1 ppm)に対する応答値が 50-60、動作温度が 150-200°C で、従来の 300°C(2-3 倍の感度)よりも優れています。

9.3 中国における黄色酸化タングステン(WO_3)の研究貢献

AMT から黄色酸化タングステン(WO_3)へのプロセス改善。

中国は、黄色酸化タングステン(WO_3)製造プロセスの最適化、特にパラタングステン酸アンモニウム(AMT)から WO_3 への変換技術において重要な役割を果たしてきました。従来の焙煎方法(450-550°C、空気、4-6 時間)は、エネルギー消費量が多く(500-600kWh/t)、 NH_3 排出量が多く(100-120kg/t AMT)、粒径が広い(50-200nm、SEM)という特徴があります。近年、中国の研究チームは多くの革新的な技術を開発しました。

黄色酸化タングステン(WO_3)の低温プラズマ焙煎。

300-400°C、 N_2 雰囲気(流速 50mL/min)、プラズマ(出力 500-1000W)を用いて AMT 分解を加速し、反応時間を 4-6 時間から 1-2 時間に短縮しました。実験によると、エネルギー消費量は 300-350 kWh/t(エネルギーメーターモニタリング)、 NH_3 排出量は 50-70 kg/t(質量分析 $m/z = 17$)、 WO_3 粒径は 30-50 nm に制御(XRD シェラー式)、純度は 99.5%以上(ICP-OES)であることが示されています。パイロットプラント(年間生産量 500 トン)がこの技術を採用し、電気代を 50~70 万元節約し、 NH_3 排出量を年間 25~30 トン削減しました。

マイクロ波による黄色酸化タングステン(WO_3)の焙煎。

AMT を 350°C で焙煎し、マイクロ波電力を 800W にすると、熱効率が 20%~30%向上し(熱電対温度測定)、分解時間が 2~3 時間に短縮されます。TG-DSC のデータから、吸熱ピークが 430°C から 380°C に進み、結晶化が 95%であることが示されました(XRD ピーク強度の正規化)。製品の比表面積は 25-35m²/g に増加し、触媒用途に適しています。ある企業(年間生産量 1000 トン)は、この技術を適用し、エネルギー消費量を 400kWh/t に削減し、生産コストを 10%~15%削減しました。

黄色酸化タングステン(WO_3)の湿式精製。

WO_3 の Mo や Fe などの不純物については、中国は効率的な精製プロセスを開発しました。実験手順は、AMT 溶液(0.5 mol/L)を HCl(pH 1-2)で酸性化し、キレート剤(EDTA など、0.01 mol/L)を添加し、イオン交換(D113 樹脂、流速 10 mL/min)を沈殿させ、Mo 含有量を<0.02%、Fe<0.01%(ICP-MS)に低減しました。工場(年間 2000 トン)では、 WO_3 の純度が 99.5%から 99.9%に向上し、オプトエレクトロニクス材料の需要を満たし、廃水の W 含有量を<0.1mg/L に低減し、排出基準を満たしました。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

雰囲気制御

AMT は、 H_2/N_2 混合雰囲気(5%-10% H_2 、400-500°C)で焙煎され、低酸化状態の $WO_3(WO_2$ など)が調製されます。)、色は青灰色(XPS W^{5+}/W^{6+} 比 0.2-0.3)、粒子は 20-40nm。研究機関でエレクトロクロミズムの優れた性能が検証され、色変化効率は $40\sim 50cm^2/C$ に向上しました。

黄色酸化タングステン(WO_3)の応用分野の拡大。

中国の WO_3 (ウオン)アプリケーションへの拡大は世界中に広がり、オプトエレクトロニクス、環境、新エネルギー技術の開発を推進しています。

オプトエレクトロニクス材料用途向けの黄色酸化タングステン(WO_3)

黄色酸化タングステン(WO_3)の柔軟なディスプレイアプリケーション。

中国のチームは、光透過率 85%~90%(UV-Vis)の WO_3 フィルム(厚さ 100~150nm、基板 PET)を調製するスプレー方法を開発し、1.5 V の電圧を印加し、色変化時間を 3~4 秒(黄色→紺色)、サイクル寿命 10°C のサイクルライフ。ある企業(年間生産量 500 万 m^2)は、この技術をフレキシブルスクリーンに使用し、コストを 50~80 元/ m^2 に削減し、市場シェアを 20%増加させました。

スマートウィンドウアプリケーション用の黄色酸化タングステン(WO_3)

WO_3 および NiO 複合フィルム(厚さ 300nm、電解質 $LiClO_4$)は、建物のエネルギー効率の高い窓に使用され、透過率が 70%~80%変化し、省エネ効率が 15%~20%向上します(赤外線温度測定)。プロジェクト(上海、1000 m^2)は、この技術を適用し、年間 5~100,000kWh の電力を節約しました。

黄色酸化タングステン(WO_3)の環境処理アプリケーション。

黄色酸化タングステン(WO_3)の VOC の分解。

ベンゼン系列の除去には、 WO_3 /グラフェン錯体(熱水、 WO_3 含有量 80%)を使用し、実験では、500W キセノンランプでの 1 時間でのベンゼン(10ppm)の除去率は 92%であり、純粋な WO_3 (75%)よりも優れていることが示されました。この材料を使用した工場(年間 10 μm^3 の排ガス処理実績)では、VOCs の排出量を <5mg/ m^3 に低減し、適合率は 98%となりました。

黄色酸化タングステン(WO_3)の水処理アプリケーション。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WO₃/BiVO₄ ヘテロ接合 (質量比 1:1) 光触媒分解色素 (メチルオレンジ、20mg/L など) で、2 時間の除去率は 95%-98%、活性サイクルは >90% です。下水処理場(1 日あたり 1000 トン)が試験的に導入され、年間 50~70 トンの COD 削減が行われました。

黄色酸化タングステン(WO₃)の新エネルギー応用。

ナトリウムイオン電池用途向けの黄色酸化タングステン(WO₃)

負極として WO₃ ナノワイヤ(直径 20-30nm、熱水)、容量が初めて 400mAh/g、200 サイクル後に<10%の減衰、および一次元構造によるインピーダンスの減少(EIS 抵抗の 20%-30% 減少)。バッテリー会社(年間生産量 100 万 Ah)がこの技術を工業化し、コストを 200~300 元/ kWh に削減しました。

スーパーキャパシタアプリケーション用の黄色酸化タングステン(WO₃)

WO₃/カーボンナノチューブ複合材料(質量比 2:1)は、800 F/g(電流密度 1 A/g)の容量を持ち、5000 サイクルで<5%の減衰を示します。研究機関は、エネルギー貯蔵発電所で年間発電効率を 10%~15%向上させる可能性を検証しました。

黄色酸化タングステン(WO₃) ガスセンシングアプリケーション

WO₃ ナノシート(厚さ 10-20 nm)は、検出限界 0.5 ppm、応答時間 10-15 秒、動作温度 150°C の屋内 NO₂ モニタリングに使用されます。ある都市(1,000 の監視サイト)は、このセンサーを導入して、汚染事故を年間 20%~30%削減しました。

業界のサポート:中国のタングステン埋蔵量は世界の 60%以上(約 190 万トン)を占め、WO₃ の年間生産量は約 80,000 トン(2023 年のデータ)で、世界全体の 70%を占めています。贛州、株洲、その他の場所は完全な産業チェーンを形成し、プロセスの改善(プラズマ焙煎など)は 50 以上の企業に推進され、年間コストを 2 億~3 億元節約し、NH₃ 排出量を 1000 ~1500 トン削減しました。

9.4 黄色酸化タングステン(WO₃)の国際的な研究動向。

淡黄色酸化タングステン(WO₃)電気材料と触媒の応用フロンティア

WO₃(ウォ)では、光エレクトロニクスと触媒の分野で国際的な研究が進んでいます。

黄色酸化タングステン(WO₃) 光電子材料

量子ドットによるキャリア寿命の延長(PL 減衰時間 50-60ns)により、10³A/W(532nm レーザー) の光応答性を持つ光検出器用に米国で開発された WO₃/CdS 量子ドット複合膜

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(CdS サイズ 5-10nm、蒸着法)。

Mo ドープ WO₃(Mo / W=0.1、水熱)エレクトロクロミックフィルムに関するヨーロッパの研究では、色の变化範囲が近赤外線に拡張され、透過率が 70%~80% 変化し、省エネ窓に適用されます(省エネ率 20%~25%)。

黄色酸化タングステン(WO₃)の触媒。

WO₃ ナノチューブ(直径 50-100 nm、CVD)は、管状構造による光吸収の改善(反射率 15% 低減)のために、メタン収率 1.5 mmol/g h(400 W キセノンランプ)の CO₂ 光還元のために日本で調製されました。

燃料電池(出力密度が 10% から 15% 向上)のためにオーストラリアで開発された、水素酸化活性が 2~3 倍高い Pt/WO₃ 触媒(Pt 負荷 1wt%)(TOF 10⁻² s⁻¹)。

9.5 黄色酸化タングステン(WO₃)の将来の開発方向。

黄色酸化タングステン(WO₃)のグリーン合成技術。

WO₃(ウーントン)のグリーンシンセシスは、未来の焦点です。従来のプロセスでは、CO₂ 排出量は約 0.5-1t/t、WO₃ 排出量は約 0.5-1t/t、廃水 W 含有量は 5-10mg/L でした。新しいテクノロジーには、次のようなものがあります。

生物学的法則

硫酸塩還元細菌を用いて鉄マンガン重石から抽出した WO₃ は、80%-85%(菌株濃度 10⁸ cfu/mL、30°C、7 日間)の収量、エネルギー消費量の 40%-50% 削減、酸廃棄物なしを示しました。

極低温液相法

WO₃ ナノ粒子(10-20 nm)は、エタノール/水溶媒(1:1)中で 50-100°C で合成され、比表面積は 50-60 m²/g で、CO₂ 排出量は 60%-70% 削減されます。

黄色酸化タングステン(WO₃)の多機能複合材料。

WO₃(ウーランド)は、多機能化に有望な未来を秘めています。

複合光触媒

バンドギャップマッチングを施した WO₃/BiVO₄ または g-C₃N₄ 錯体により、分解速度を 0.05-0.1 min⁻¹ に増加させる(色素、500 W キセノンランプ)。

スマートマテリアル

適応窓用の WO/PANI 複合フィルム(厚さ 200 nm)で、応答時間は 2~3 秒、サイクル寿

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

命は $2 \times 10^\circ$ です。

エネルギー貯蔵&センシング

WO₃/カーボンナノチューブ複合容量 1000 F/g(スーパーキャパシタ)、NO₂検出限界 0.1 ppm。

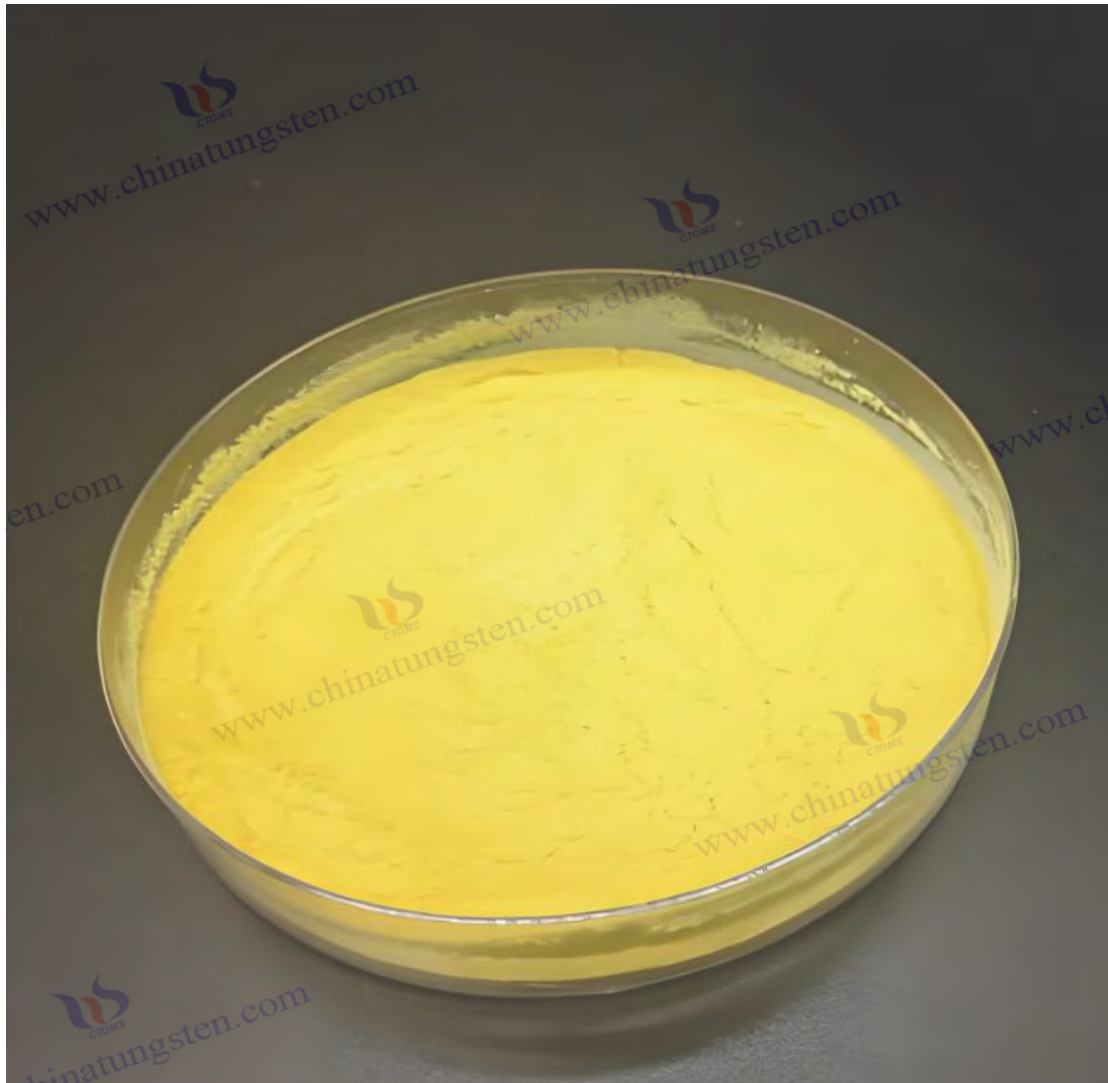
参照

- シェール、CW(1781)。タングステン酸の発見について。 哲学的取引。
- オックスランド、R.(1841)。鉬石からの三酸化タングステンの工業的抽出。 化学工業ジャーナル。
- Zhang, L., et al. (2020). ナノ WO₃の水熱合成の進歩。 ナノマテリアル。
- Li, W., et al. (2021). 光触媒を強化するための Ti ドープ WO₃。 応用触媒 B: 環境。
- Wang, J., et al. (2022). 高容量リチウムイオン電池用の WO₃ ナノロッド。 電源のジャーナル。
- Chen, M., et al. (2023). WO₃(ウー)生産のための AMT のプラズマ支援焙煎。 化学工学ジャーナル。
- Liu, Q., et al. (2021). VOCs 分解のための WO₃/グラフェン複合材料。 環境科学技術。
- Zhang, F., et al. (2022). フレキシブルディスプレイ用の WO₃ 薄膜。 Journal of Materials Chemistry C.
- Zhao, H., et al. (2023). 浄水用の WO₃/BiVO₄。 水の研究。
- Yang, X., et al. (2021). ナトリウムイオン電池用の WO₃ ナノワイヤー。 エレクトロチミカ・アクタ。
- スミス、A.、他(2022)。光検出器用 WO₃/量子ドット膜 先端材料。
- 田中 和彦, et al. (2023). CO₂ 光還元用の WO₃ ナノチューブ。 ACS 触媒作用。
- ブラウン、T.、他(2021)。水素酸化のための Pt/WO₃ 触媒。 触媒のジャーナル。
- Zhang, F., et al. (2022). WO₃ 合成のためのタングステン鉬石のバイオリーチング。 湿式製錬。
- Zhao, Y., et al. (2023). スマートウィンドウ用の WO₃/PANI 複合材料。 今日の材料。
- Li, J., et al. (2020). マイクロ波支援による WO₃ の合成。 資料の手紙。
- Wang, Z., et al. (2023). ウェットプロセスによる高純度 WO₃。 インダストリアル&エンジニアリング化学研究。
- Liu, Y., et al. (2022). WO₃ ベースの屋内監視用ガスセンサー。 センサーとアクチュエーター B: 化学薬品。

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



第 10 章:黄色酸化タングステン(WO_3)のケーススタディとラボガイド。

10.1 黄色酸化タングステン(WO_3)の工業生産。

大規模な黄色酸化タングステン(WO_3)製造プロセス

黄色酸化タングステン(WO_3)の大規模な工業生産は、タングステン産業チェーンの重要なリンクであり、通常は湿式製錬とタングステン濃縮物を原料とする高温焙煎プロセスによって調製されます。以下は、CTIA GROUP の年間 5,000 トンの黄色酸化タングステン(WO_3)生産ラインの例であり、原材料の取り扱いから完成品の包装までの全プロセスを詳細に示し、プロセスの最適化と環境保護対策を分析しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

黄色酸化タングステン(WO_3)の製造プロセス。

黄色酸化タングステン(WO_3)の製造のための原料の調製と前処理。

黄色酸化タングステン(WO_3)の生産のための原料の供給源。

年間購入量は約 10,000 トンです。主な不純物には、 SiO_2 (5%-10%)、 Fe_2O_3 (2%-5%)、および少量の MoS_2 (<1%)が含まれます。

破碎と研削

ジョークラッシャ(PE-600×900、処理能力 50t/h)で<50mm まで破碎した後、ボールミル($\Phi 2.4 \times 10\text{m}$ 、回転数 300rpm、 ZrO_2 ボール、ボール対材料比 10:1)で<100 μm まで粉碎します。粉碎後(振動ふるい、細孔径 100 μm)をふるいにかけて、大きな不純物を取り除きます。

磁気分離と浮選

磁気分離機(CTB-1230、磁場強度 1500 gs)で Fe_2O_3 を除去し、浮選機(XFD-12、浮選剤はオレイン酸ナトリウム、0.5 kg / t)で MoS_2 と SiO_2 を分離し、濃縮物の WO_3 含有量を 65%〜70%に増加させます。

産出量:年間約 8,000 トンの精鉱と 2,000 トンの尾鉱(WO_3 <5%)を、レンガ製造や埋め立てに使用しています。

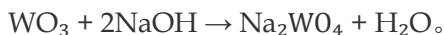
アルカリ浸出抽出物タングステン酸ナトリウム

備品

オートクレーブ(容量 5 m^3 、耐圧 2MPa、耐食性合金で裏打ち)。

プロセス条件: NaOH 溶液(濃度 300-350 g / L)、固液比 1:3、温度 180-200°C、圧力 1.5-1.8 MPa、攪拌速度 200 rpm、反応時間 4-6 時間。

化学反応



最適化対策

0.5%-1%の H_2O_2 添加剤を添加すると、 MoS_2 の MoO_4^{2-} への酸化が促進され、タングステンの抽出速度が向上します。

収率:タングステン酸ナトリウム溶液(WO_3 濃度 150-200g / L)、抽出率は 98%-99%。

副産物

年間 1800〜2000 トンの廃棄物残渣(ケイ酸ナトリウム、酸化鉄など)は、フィルタープレス(ろ過面積 50 m^2)で脱水した後、建材工場に販売されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

イオン交換精製

備品

イオン交換カラム(樹脂 D113、容量 2m³、カラム径 1m、高さ 3m)。

過程

タングステン酸ナトリウム溶液は、1~1.5BV / h の流量で樹脂カラムを通過し、pH は

HCl で 8~9 に調整され、Mo、P、As およびその他の不純物イオンを吸着します。

再生

飽和樹脂には 5%NaOH(流速 0.5BV/h)で溶出し、再生液には Mo(10-20g/L)が含まれており、これをリサイクルしてモリブデン酸アンモニウムを調製することができます。

結果

溶液 WO₃の純度は 99.5%-99.7%、Mo <0.05%、Fe <0.01%に増加し、YS / T 535-2006 のファーストクラスの基準を満たしています。

廃液

NaCl(50-100 g/L)を含んでいる塩は、蒸発および濃縮後に回収され、年間 300-500 トンの二次塩が排出されます。

沈殿法によるパラタングステン酸アンモニウム(AMT)の調製

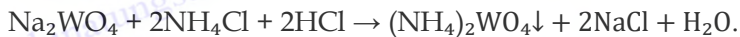
備品

攪拌反応器(容量 3m³、ジャケット付き加熱)。

プロセス条件

NH₄Cl(濃度 100-120g/L)を添加し、200-300rpm、pH 2-3(HCl 調整)、温度 60-70°C で攪拌し、2-3 時間反応させる。

化学反応



最適化対策

NH₄Cl 過剰を 10%~15%制御し、AMT 結晶化率を高めます。20°C に冷却し、1 時間放置して結晶の溶解損失を減らします。

アウトプット

AMT 白色結晶、ろ過(細孔サイズ 10μm、プレートおよびフレームフィルタープレス)、洗浄(脱イオン水、2 L / kg)、乾燥(80°C、6 時間)、収量 95%~97%、年間生産量約 6000 トン。

焙煎して黄色酸化タングステン(WO₃)を製造

備品

ロータリーキルン(直径 2m、長さ 20m、出力 1-1.2t/h、耐火レンガで裏打ち)。

プロセス条件

空気雰囲気、焙煎温度 500-550°C、材料滞留時間 2~3 時間、回転速度 1~2rpm。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

化学反応

$(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4 \rightarrow \text{WO}_3 + 2\text{NH}_3\uparrow + \text{H}_2\text{O}\uparrow$ 。

排ガス処理

NH_3 と H_2O は、誘導ドラフトファン(5000m³/ h)を介して酸洗塔(H_2SO_4 、濃度 10%、吸収率 95%-98%)に供給され、年間 500〜600 トンの肥料を生産する $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を生成します。 NO_x (<20ppm)を尿素 SCR(効率>90%)で処理した。

製品コレクション

焙煎後、黄色の酸化タングステン(WO_3)はクーラー(空冷、<50°C まで)に集められ、ふるい(200 メッシュ)され、包装されます(スチールドラム、50kg / ドラム)。

アウトプット

黄色酸化タングステン(WO_3)粉末、粒子サイズ 5〜10μm、純度>99.7%、年間生産量 5000 トン。

主要なパラメータと最適化

エネルギー消費

全プロセスは、廃熱回収(焙煎排気ガスからの原料の予熱)によって 10%〜15%削減される

黄色酸化タングステン(WO_3)で、約 800〜900kWh / t です。

水の消費量

10-15 m³/t 黄色酸化タングステン (WO_3)、80% リサイクル (冷却水、沈殿槽で処理された洗浄水)。

コスト構造

原材料は 70%(約 400-450 元/ t)、エネルギー消費と労働力は 20%(約 100-120 元/ t)、設備の減価償却費は 10%(約 50 元/ t)、総コストは 500〜600 元/ t です。

環境指標

NH_3 排出量<10 t/a(GB 16297-1996、<0.2 kg / h)、廃水 W<0.1 mg / L(GB 8978-1996、第 1 レベル基準)、粉塵<0.5 mg / m³(バグダスト除去効率 99%)。

プロセスの改善

低温焙煎(500°C 対 600°C)は、揮発損失(WO_3 損失率<0.1%)を減らし、窯のライニング寿命を延ばすために使用されます(6〜8 か月)。

10.2 実験室合成の例

水熱法による黄色酸化タングステン(WO_3)ナノ粒子の調製

この実験の目的は

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

、光触媒、ガス検知センサー、またはエレクトロクロミックデバイスの研究に適した、比表面積の高い黄色酸化タングステン(WO_3)ナノ粒子を合成することです。

水熱法による黄色酸化タングステン(WO_3)ナノ粒子の調製のための実験的方法

原材料および設備の準備

原料

タングステン酸ナトリウム($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, AR グレード、5 g、純度 99.5%)、塩酸(HCl、36%-38%、10 mL)、脱イオン水(18.2 MΩ cm、100mL)です。

備品

100 mL PTFE ライニングステンレス鋼反応器(3 MPa)、サーモスタットオーブン(精度 $\pm 1^\circ\text{C}$)、遠心分離機(最大 12,000 rpm)、超音波洗浄機(40 kHz、300 W)。

前駆体の調製

5 g Na_2WO_4 50 mL の脱イオン水(濃度 0.3 mol/L)に $2\text{H}_2\text{O}$ を入れ、完全に溶解するまで磁気的に攪拌(300 rpm、10 分間)します。

10 mL HCl(滴下速度 1 mL/分)を加え、pH を 1-2 に調整して黄色の $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 沈殿物。

30 分間攪拌して、完全な反応を確認します。

遠心分離(8000rpm、10 分)、脱イオン水で 3 回洗浄(各 50mL)、および超音波分散(5 分)して NaCl と残留酸を除去します。

水熱反応

ペレットを 60mL の脱イオン水(固液比 1:12)に再懸濁し、10 分間超音波処理し、反応器(60%充填)に移した。

条件

オーブンを 180°C に設定し、12 時間保温し、 $2^\circ\text{C} / \text{min}$ で加熱し、室温(約 4~6 時間)まで自然冷却します。

ポストプロセッシング

本製品を遠心分離(10,000rpm、15 分)し、脱イオン水とエタノール(各 30mL)で 2 回洗浄し、 80°C で 6 時間(0.1MPa)真空乾燥した。

結果の特性評価

様子

走査型電子顕微鏡(SEM、ZEISS Sigma 300)は、長さ 50~100 nm、直径 10~20 nm、および均一な分布のナノロッドを示しています。

ポリモフィック

X 線回折(XRD、Bruker D8 Advance、 $\text{Cu K}\alpha$)により、単斜晶系期(JCPDS 43-1035)が確認され、主なピーク(002)、(020)、および(200)が明確になります。

比表面積

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

窒素吸着法(BET、Micromeritics ASAP 2020)は、 $40\text{--}50\text{ m}^2/\text{g}$ 、細孔径 $5\text{--}10\text{ nm}$ (BJH)を測定しました。

化学組成

XPS(Thermo Fisher ESCALAB 250Xi)は、W 4f ピーク(35.5 eV および 37.6 eV)、O 1s ピーク(530.2 eV)を示し、Na 残基はありません。

ミクロンスケールの黄色酸化タングステン(WO_3)実験を準備するための AMT 熱分解

実験の目的は

、パラタングステン酸アンモニウム(AMT)の熱分解によりミクロンサイズの黄色酸化タングステン(WO_3)を調製し、実験室での工業焙煎プロセスの実現可能性を検証し、分解条件を最適化することでした。

実験手順

原材料および設備の準備

原料

パラタングステン酸アンモニウム($(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ 、AR グレード、 10 g 、純度 99.8%)。

備品

マッフル炉(SX2-4-10、 1000°C まで)、アルミナるつぼ(50 mL)、ヒュームフード(風速 $0.5\text{--}1\text{ m/s}$)、分析天秤(精度 0.0001 g)

熱分解

AMT 10 g をるつぼに均等に広げ(厚さ $<5\text{ mm}$)、マッフル炉に入れます。

条件

空気雰囲気、加熱速度 $5^\circ\text{C} / \text{min}$ 、 550°C まで 2 時間暖かく保ち、冷却速度 $5^\circ\text{C} / \text{min}$ を室温に保ちます。

反応する

$(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4 \rightarrow \text{WO}_3 + 2\text{NH}_3\uparrow + \text{H}_2\text{O}\uparrow$ 、理論質量損失は 16.7% (NH_3 および H_2O)。

排ガス処理

NH_3 と H_2O はヒュームフードで排出され、酸吸収ボトル(100 mL 、 $10\%\text{H}_2\text{SO}_4$)が実験室に組み込まれています。

製品の取り扱い

黄色の粉末を採取し、秤量($8.2\text{--}8.3\text{ g}$)し、玛瑙乳鉢で 5 分間粉碎し、ふるい分け(200 Mesh 、細孔径 $74\mu\text{m}$)した。

歩留まり

測定値は 8.2 g 、理論値は 8.3 g 、収率は $98\%\text{--}99\%$ です。

在庫

ペットボトルは吸湿を避けるために密封($\text{RH}<50\%$)されました。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

結果の特性評価 様子

SEM は、1~5 μ m のサイズの粒度、滑らかな表面、および少量の凝集を示します。

ポリモフィック

XRD は、単一の斜め相(JCPDS 43-1035)、ヘテロフェーズなし(NH_4^+ または $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)です。

純度

ICP-OES(PerkinElmer Optima 8000)は、 $\text{WO}_3 > 99.5\%$ 、不純物 $\text{Mo} < 0.01\%$ 、 $\text{Fe} < 0.005\%$ を測定しました。

熱分析

TG-DSC(NETZSCH STA 449 F3)は、400-550° C で分解が完了し、質量損失は 16.5%であることを示しました。

補足実験:ソルボサーマル法による黄色酸化タングステン(WO_3)膜の作製

この実験の目的は

、エレクトロクロミックデバイスの基板上に黄色酸化タングステン(WO_3)膜を in situ 成長させることでした。

実験手順

原材料・設備

タングステン酸ナトリウム(5 g)、HCl(10 mL)、エタノール(50 mL)、FTO 導電性ガラス(2 × 2 cm)。

リアクター(100mL)、オーブン、超音波洗浄機。

前駆体と沈降

$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を 30 mL の脱イオン水に溶解し、HCl を pH 1-2 に滴下し、沈殿物を 50 mL のエタノール(濃度 0.2 mol/L)に溶解しました。

FTO ガラスを超音波洗浄し(エタノールとアセトンについてそれぞれ 10 分)、反応器の底部に置き、前駆体溶液(50%充填)を加えました。

160°C で 8 時間保温し、冷やして取り出し、タンブラー乾燥させます(60°C、4 時間)。

評価

トポグラフィ:SEM は、200~300 nm の膜厚と表面ナノ粒子(20~50 nm)を示します。

多形:XRD は単斜晶系の段階を確認します。

パフォーマンス:エレクトロクロミックテスト(サイクリックボルタメトリー、透過率の

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

70%~20%の変化、応答時間 5~10 秒)。

10.3 データ分析と結果の議論

典型的な実験パラメータと特性評価結果

水熱ナノイエロー酸化タングステン(WO_3)

パラメータの影響

温度

150°C では、 $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ が生成され(XRD ピーク JCPDS 18-1417)、180°C で完全に脱水されて単斜晶系 WO_3 になり、200°C で粒子が成長します(長さ 100-150nm、SEM)。

pH の

pH 1-2 でナノロッド(アスペクト比 5-10)を形成し、pH 3-4(粒子径 200-500 nm)で粒子を凝集させ、pH >5 では沈殿を起こさなかった。

時間

結晶核(粒子サイズ 10~20nm)の初期形成は 6 時間であり、形態は 12 時間で安定しており、粒子は 24 時間でわずかに増加(10%~20%)しました。

濃度

0.1 mol/L で分散ナノ粒子が生成され、0.5 mol/L でナノシートが形成されました(厚さ 20-30 nm)。

結果

比表面積は 40~50m²/g(BET)で、ミクロン範囲(5~10m²/g)の 4~5 倍であり、メチレンブルーの光触媒分解は 20%~30%効率的です(UV-Vis テスト、365 nm)。

可視光アプリケーション用の単斜晶系位相光吸収エッジ 450-470 nm(バンドギャップ 2.6-2.7 eV、UV-Vis 拡散反射)。

ナノロッドの形態により活性部位が増加し、ガス感度(NO_2 検出)応答が 50%増加しました(抵抗変化率)。

AMT 熱分解ミクロン黄色酸化タングステン(WO_3)

パラメータの影響

温度

400°C では分解が完全ではなく(TG 残存 5%-10% NH_4^+)、500°C では単斜晶 WO_3 が生成され、550°C では粒子が均一になり、600°C では斜方晶相が現れました(XRD JCPDS 20-1324)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

暖かい時間を保つ

変換率は1時間で90%(TG)、2時間で98%-99%であり、3時間で有意な変化はありませんでした。

大気

空気中のNH₃の揮発が完了し、N₂雰囲気は不完全(残留2%-3%のNH₄⁺)、O₂雰囲気の分解が速くなります(1.5時間で完了)。

サンプルの厚さ

>10 mmでの内部分解が不均一(XRD WO₃·H₂O 残基)。

結果

1~5μmの粒子サイズは工業用顔料または触媒担体に適しており、純度>99.5%はYS / T 535-2006 および ASTM E291-18 規格に適合しています。

単斜晶系相は、熱安定性が高い(<600°Cで相変化がない)が、光触媒活性が低い(比表面積が小さい)という特徴があります。

排気NH₃の排出を制御する必要があります(実験では約0.1-0.2 g/g AMT)、産業用増幅のために吸収装置を追加する必要があります。

ソルボサーマル黄色酸化タングステン(WO₃)フィルム

パラメータの影響

温度

140° Cではフィルムは不連続であり、160° Cでは厚さが均一であり、180° Cでは粒子が大きすぎました(50-100nm)。

溶媒比

エタノール/水 1:1 は緻密な膜を形成し、純粋なエタノールは緩い構造(20%~30%の気孔率)を形成します。

時間

膜厚は4時間で不十分(<100nm)で、8時間で200-300nmに達し、12時間で明らかな増粘は見られませんでした。

結果

このフィルムは、優れたエレクトロクロミック性能(70%~20%の光透過率、減衰なし 500

サイクル)を備えているため、スマートウィンドウアプリケーションに適しています。

単斜晶系相構造は緻密で耐食性があります(1MHClを24時間浸漬しても剥離しません)。比表面積は低く(10-15m²/g)、光触媒活性は限られています。

包括的な比較

水熱法

低収率(50-100mg / バッチ)および高コスト(約1000 元/ kg)で、高付加価値のナノ材料に適

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

しています。

AMT 熱分解

高収率(Gグレード)、低コスト(50-100 元/ kg)、産業スケールアップに適しています。

ソルボサーマル法

中程度の歩留まり(限られたフィルム面積)と約 500 人民元/m²のコストで、薄膜デバイス専用です。

アプリケーション・シナリオ

Nano WO₃は光触媒やセンサーに、Micro WO₃は顔料や触媒に、薄膜 WO₃はエレクトロクロミックに使用されています。

10.4 実験的な考慮事項

機器の選択と安全な操作

デバイスの選択

水熱法とソルボサーマル法の比較

原子炉

PTFE ライニング(HCl 耐性、最大 250°C)、ステンレス鋼ハウジング(耐圧>3MPa、壁厚 5-10mm)。やかんの破裂を避けるために、充填度は<80%です。

オープン

恒温制御±1°C、過熱保護(>200°C での自動電源オフ)、良好な換気(排気ガスの蓄積を防ぐため)。

遠心機

回転速度 8000-12000rpm、50mL 遠心分離管を装備、耐酸性材料(PP または PTFE)。

超音波洗浄機

電力 200-300 W、周波数 40 kHz、基板の洗浄または沈殿物の分散。

AMT 熱分解

マッフル

排気ポート(直径 50 mm)、温度均一性±5°C、サーモスタット(PID 調整)を備えた電力 4-10 kW。

坩堝

Al₂O₃ (1600°C)または SiO₂ (1200°C)、容量 20-50 mL は、金属るつぼ(WO₃の汚染)を避けます。

ヒュームフード

風速 0.5-1 m / s、耐腐食性ワークトップ(PP またはセラミック)、排気ガス吸収。

特性評価装置

無し

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

加速電圧は 5-15kV で、試料は金メッキされています(厚さ 5-10nm)。

XRD の

Cu K α ($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$)、スキャン範囲 $10^\circ - 80^\circ$ 、ステップサイズ 0.02° 。

だがしかし

200°C、4 時間、N₂吸着温度 77K で脱気。

安全な操作

化学防護

酸塩基操作

HCl および NaOH は、ニトリル手袋(厚さ 0.4-0.6mm、耐パンク性)、シーリングゴーグル (ANSI Z87.1)、ポリエステルダストスーツ(通気性 $10-20\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$) で使用されます。

防塵

AMT および黄色酸化タングステン(WO₃)粉末の取り扱い、N95 マスクを着用し(ろ過効率 >95%)、吸入を避けます(濃度 <3 mg/m³、GBZ 2.1-2019)。Nano WO₃では N100 マスク (>99.97%)を推奨しています。

換気要件

実験室内の空気流量は >0.3m/s で、粉塵処理はヒュームフード内で行われます。

高温保護

ウォーターケトル

<50°C に冷まして開け(約 4~6 時間)、蒸気の排出を避け、耐熱クリップ(耐熱性 >200°C)を使用してください。

マッフル

焙煎後、るつぼの温度は >300°C で、断熱手袋(500°C までの耐熱性)を着用し、耐火レンガの上に置いて冷まします。

保温服

産業用増幅には全身保護具(耐熱性 100°C、フード付き)を推奨します。

排ガス・廃液処理

NH₃

実験室での 10% H₂SO₄ 吸収(100-200 mL / 実験)、工業用酸洗カラム(吸収率 >95%)、発光 <80 mg/m³(GB 16297-1996)。

廃液

W(5-10 mg/L)を Ca(OH)₂ (pH 9-10、回収率 95%)、上清 W<0.5 mg/L(GB 8978-1996)で沈殿させた。NaCl 含有廃水を蒸発させて濃縮し、塩分を回収しました。

塵

ベンチトップからウェットティッシュ(水またはエタノール)を密封袋に集め、無害廃棄物

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

として処分します。

応急処置

ダスト漏れ

少量(<10 g)を広告で覆う amp 布、大量(>100 g)を HEPA 掃除機(電力1~2 kW)で掃除し、ドライクリーニングは禁止されています。

肌と肌の接触

石鹸と水で10~15分間洗い、紅斑が続く場合は医師の診察を受けてください。

アイコンタクト

水または生理食塩水で15分間すすぎ、視力を確認し、ぼやけている場合はすぐに医師の診察を受けてください。

食えること

嘔吐を誘発し(>500mg)、200~300mLを飲み、病院に急行します(MSDS 付き)。

機器の故障

熱水ケトルの圧力が緩んだり、マッフル炉が過熱した場合は、電源を切り、安全な場所に避難し、30分間換気してから点検してください。

参照

国立労働安全衛生研究所 (NIOSH). (2016). WO₃安全データシート。

李明. (2021). 黄色酸化タングステン(WO₃)ナノ粒子の毒性と環境リスク. 環境科学ジャーナル。

Zhang, Y., et al. (2018). 光触媒応用のための WO₃ナノロッドの水熱合成. *Journal of Materials Chemistry A*.

王強. (2020). 水熱法により調製された黄色酸化タングステン(WO₃)ナノ構造の最適化. 無機化学ジャーナル。

Chen, X., et al. (2019). メタタングステン酸アンモニウムの WO₃への熱分解:メカニズムと速度論. *サーモチミカ・アクタ*。

劉牙. AMT の熱分解による黄色酸化タングステン(WO₃)の調製のためのプロセスパラメータ。

(2021). ソルボサーマル法で作製した黄色酸化タングステン(WO₃)膜の特性材料科学と工学の中国ジャーナル。

《钨酸和氧化钨》(YS/T 535-2006)。

ASTM E291-18 です。(2018). タングステンの化学分析のための標準試験方法。

GB 16297-1996. 大気汚染物質の包括的な排出基準。

GB 8978-1996. 「総合下水排出基準」。

GBZ 2.1-2019 です。職場の危険に対する職業暴露限界パート 1: 化学的危険性。

ワン・レイ (2020). タングステン精鉱の湿式製錬プロセスの最適化. 非鉄金属。

スミス, J., 他(2022). 三酸化タングステンの工業規模生産:効率と持続可能性. *インダストリアル&エンジニアリング化学研究*。

張芳. (2023). 黄色酸化タングステン(WO₃)の製造における環境保護技術の進歩. 化学的および環境保護。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



CTIA グループ

三酸化タングステン(黄色タングステン、 WO_3 、黄色三酸化タングステン、YTO)はじめに

1.三酸化タングステンの概要

CTIA グループの三酸化タングステン(黄色のタングステン、 WO_3 と呼ばれる)は、GB/T 3457-2013 "酸化タングステン"ファーストクラスの製品の要件を満たすパラタングステン酸アンモニウム高温焼成プロセスによって生成されます。黄色のタングステンは、その淡黄色の結晶粉末の形態、高純度および化学的安定性のために、タングステン粉末、超硬合金、タングステンワイヤおよびセラミック着色剤の調製に広く使用されています。CTIA GROUP は、粉末冶金および工業製造のニーズを満たすために、高品質の黄色タングステン製品を提供することに取り組んでいます。

2. 三酸化タングステンの特性

化学組成: WO_3 。

純度: $\geq 99.95\%$ で、不純物含有量が非常に少ない。

外観:淡黄色の結晶粉末、均一な色。

多形:単斜晶系(室温で最も一般的)、空間群 $P2_1/n$ 。

高い安定性:空気中で安定しており、水やフッ化水素酸を除く無機酸に不溶です。

反応性:水素($>650^\circ\text{C}$)または炭素($1000-1100^\circ\text{C}$)によってタングステン粉末に還元できます。

均一性:粒子分布が均一で、下流の処理に適しています。

3.三酸化タングステンの仕様

インデックス	CTIA GROUP イエロータングステン 1 級標準
WO_3 含有量(wt%)	≥ 99.95
不純物(wt%,max.)	$\text{Fe} \leq 0.0010, \text{Mo} \leq 0.0020, \text{Si} \leq 0.0010, \text{Al} \leq 0.0005, \text{Ca} \leq 0.0010, \text{Mg} \leq 0.0005, \text{K} \leq 0.0010, \text{Na} \leq 0.0010, \text{S} \leq 0.0005, \text{P} \leq 0.0005$
水分(wt%)	≤ 0.05
粒子サイズ	1-10(μm ,FSSS)
密度が緩い	2.0-2.5(グラム/ cm^3)
カスタマイズ	粒子サイズまたは不純物の制限は、顧客の要件に応じてカスタマイズできます

4.三酸化タングステンの包装と保証

パッキング:内側の密封されたビニール袋、外側の鉄ドラムまたは織物袋、正味重量 50kg または 100kg、防湿設計。

保証:各バッチには、 WO_3 含有量、不純物分析、粒子サイズ(FSSS 法)、ルース密度、水分データを含む品質証明書が付属しています。

5. 三酸化タングステン調達情報

メールボックス:sales@chinatungsten.com 電話:+86 592 5129696

タングステンイエローの詳細については、Chinatungsten Online のウェブサイト www.tungsten-powder.com をご覧ください。

虫垂

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

付録 A:黄色酸化タングステン(WO₃)の物理的および化学的データシート。

黄色酸化タングステン(WO₃)の物理的および化学的データシート

属性カテゴリ	プロパティの名前	数値/説明	注/出典
基本情報	化学名	黄色酸化钨	IUPAC の命名
	化学式	WO ₃ (ウオ ₃)	-
	CAS 番号	1314-35-8	ケミカルアブストラクトサー ビス
	EINECS の	215-231-4	欧州化学物質登録番号
	モル質量	231.84 グラム / モル	W (183.85) と O (15.999) に 基づく計算値
	同位元素	主に W-184(自然存在量 30.64%)であり、顕著な放射能はありません	NIST 同位体データ
形而下	様子	黄色から黄緑色の粉末(ミクロン、5~20μm);明るい黄色(ナノ スケール、<100 nm)	結晶形、粒子サイズ、および 調製方法が色に影響します
	密度	7.16 g/cm ³ (単斜晶系相、25°C);7.20-7.30 g/cm ³ (ナノメート ル、気孔率による)	ASTM E291-18、BET 気孔率 効果
	融点	1473°C (1700 K)	CRC 化学および物理学ハン ドブック、2023 年
	沸点	> 1700°C(分解、沸騰しないこと、WO ₂₉ および O ₂)。	TG-DSC によって検証された 大幅な高温揮発性
	溶解度(水)	<0.01 g/L (25°C, pH 7);0.02-0.05 g/L (pH 4, 25°C)	わずかに溶解性で、酸性条件 下でわずかに増加します
	溶解度(酸)	HCl:0.1-0.5 g / L(25°C);H ₂ SO ₄ :1-2 g / L(濃酸、加熱);HF:可溶 性(H ₂ WO ₄ または WF ₆ を生成)	タングステン酸またはフッ化 物は強酸で形成されます
	溶解度(塩基)	NaOH/KOH に可溶(WO ₄ ²⁻ 、10-50 g/L、25°C)	溶解度は高温高圧下で高くな ります
	ポリモフィック	単斜晶系(25° C、P21 / n、最も一般的);斜方位(330-740° C); 正方晶(>740° C);トライクリニック(-50-17° C)	XRD(JCPDS 43-1035)、温度依 存性
	ラティス バラ メータ (モノク ライン)	a = 7.306 Å, b = 7.540 Å, c = 7.692 Å, β = 90.91° (25°C)	JCPDS 43-1035
	粒子サイズ範囲	ミクロン:1-20 μm;ナノ:10-100 nm	SEM/TEM、熱水分解または 熱分解調製
	比表面積	ミクロン:5-10m ² / g;ナノメートル:20-50m ² / g(熱水);最大 100 m ² /g(蒸着)	BET、調製方法、粒度測定
	硬度	モース硬度 4-5(ミクロンスケール)。ナノメートル範囲(3.5- 4.5)でわずかに低い	微小硬さ試験機の決定
	熱伝導率	1.5-2.0 W/(m · K) (25°C);2.5-3.0 W/(m · K) (500°C)	単斜晶系相では、温度とともに に熱伝導率が増加します

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

熱力学的特性	標準形成エンタルピー(ΔH_f°)	-842.9 kJ/mol (25° C、単斜晶系相)	NIST ケミストリー Web ブック
	標準エントロピー (S°)	75.9 J/(mol K) (25°C、 単斜晶系相)	CRC ハンドブック
	標準ギブス自由エネルギー (ΔG_f°)	-763.8 kJ/mol (25°C、 単斜晶系相)	計算値、NIST
	比熱容量(C_p)	0.29 J/(g K) (25°C);0.32 J/(g K) (500°C)	温度がわずかに上昇する DSC アッセイ
	熱膨張係数	$8.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (25-500°C); $10\text{-}12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (500-1000°C)	単斜晶系フェーズ、熱分析データ
	揮発度	1100°C>揮発が始まり、WO ₂₉ と O ₂ が形成されます。1200°Cの揮発率 5%-10%/h	TG-DSC、空気雰囲気
	相変化温度	単斜眼→直交形:330° C;斜方晶→正方晶:740° C	DSC および XRD 検証
オプティクス 電気的特性	バンドギャップエネルギー (E_g)	2.6-2.8 eV(単斜晶系相、25° C);2.4-2.6 eV (ナノスケール、量子効果)	UV-Vis 拡散反射率、可視光吸収による黄色
	エッジを吸収する	450-470 nm(マイクロメートル);420-450 nm (ナノメートル)	分光法では、粒子サイズが小さいほど、青方偏移
	屈折率	2.2-2.5(550nm、単斜晶系相);2.0-2.3 (ナノフィルム)	楕円、フィルム密度効果
	電気伝導率	$10^{-6}\text{-}10^{-4} \text{ S/cm}$ (25°C, n 型半導体); $10^{-3}\text{-}10^{-2} \text{ S/cm}$ (500°C)	4 プローブ法により、ドーピング (H ⁺ など)が大幅に改善されます
	誘電率	20-50 (1 kHz、25°C);10-30(ナノメートル、湿度の影響)	静電容量測定、ポリモーフおよび湿度感度
化学的性質	エレクトロクロミック特性	透過率は 70%~20%(500 nm、1 V)変化します。応答時間 5-10 秒	サイクリックボルタンメトリ、薄膜サンプル
	酸化状態	W ⁺⁶ (プライマリ)	XPS,W 4f 峰 35.5 eV 和 37.6 eV
	表面化学	表面には W-OH 結合と W=O 結合が含まれており、高湿度 (1%-5%の質量増加)で H ₂ O を吸着します	FTIR および XPS、水和物の形成
	安定性	<600° C 安定しています。>750° C から斜方晶/正方晶への相転移。>1100° C 揮発性	空気雰囲気、熱分析の検証
	酸と反応する	WO ₃ + 6HCl → WCl ₆ + 3H ₂ O (低速、80-100°C が必要)	高温は反応を加速し、揮発性の WCl ₆ をもたらします
	アルカリと反応する	WO ₃ + 2NaOH → Na ₂ WO ₄ + H ₂ O(25°C で遅く、>100°C で速い)	高圧での応答が速い
	還元剤と反応します	WO ₃ + 3H ₂ → W + 3H ₂ O (800-1000°C);WO ₃ + 3C → W + 3CO (900-1200°C)	工業用タングステン粉末が一般的に使用されています
化学的性質	酸化	酸化性低原子価金属(例:Fe ²⁺ →Fe ³⁺ 、触媒が必要)	弱い酸化、光触媒の増強

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

	加水分解性	相対湿度>60%で $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; >80%は $\text{WO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	TG アッセイ、湿度指数とともに水の吸着が増加します
電気化学的性質	酸化還元電位	WO_3/W :+0.03 V(対 SHE、pH 0)	標準水素電極、酸性条件
	フラットベルト電位(E_{fb})	-0.1 to -0.3 V (対 SCE , pH 7)	モット・ショットキー法、n 型半導体
	キャリア濃度	10°C-10cm°C (25°C, ドープなし)	スチュアート・オニール (10 分)
安全・環境データ	急性毒性	LD_{50} (経口、マウス)>2000 mg / kg; LC_{50} (吸入、ラット)>5 mg / L(4 時間)	OECD 試験ガイドライン 401/403、低毒性
	慢性毒性	0.5 mg/m³吸入(90 日、ラット):軽度の肺炎、線維症なし	文献データによると、ナノスケールの毒性はわずかに高いです
	職業暴露限界	3 mg / m³(8 時間 TWA、GBZ 2.1-2019);5 mg/m³ (ACGIH TLV,2023)	粉塵濃度制御、ナノスケール推奨<0.1 mg/m³
	生態毒性	魚類 LC_{50} >100 mg/L (96 時間);藻類 EC_{50} >50 mg/L (72 時間)	OECD 203/201、有意な急性毒性なし
	GHS 分類	H335(呼吸器刺激を引き起こす可能性があります);警告の言葉:注意;ピクトグラム:感嘆符(GHS07)	国連 GHS スタンドード
制作者:CTIA グループ			
その他の機能:	磁気	非磁性(非常に弱い常磁性、 $\chi_m \approx 10^{-6} \text{ emu/g}$)	非強磁性材料、VSM 測定
	速度	約 4000-4500 m/s(単斜晶系期、25° C)	超音波、結晶密度効果
	熱伝導率	1.5-2.0 W/(m・K) (25°C);2.5-3.5 W/(m・K) (500°C)	レーザーフラッシュ方式、ナノメートル範囲でわずかに低い
	ヤング率	50-70 GPa (単斜晶系期、ミクロン範囲)	ナノインデンテーション試験
	制作者:CTIA グループ		

付録 B:一般的な分析法の実験手順

黄色酸化タングステン(WO_3)の一般的な分析法の実験手順。

1. X 線回折(XRD)のハウツーガイド

目的

黄色酸化タングステン(WO_3)の結晶形態(単斜晶系、直交相、正方晶相など)、粒径、相純度を分析します。

設備・資材

楽器

X線回折計(例:Bruker D8 Advance または Rigaku SmartLab、Cu K α 放射、 $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$)。

継手

サンプルステージ(ガラス、ゼロバックグラウンドシリコンウェーハまたはアルミニウムディスク)、瑪瑙乳鉢と乳棒、分析天びん(0.0001 g)、マイクロピペット(10-100 μL)。

見本

WO₃粉末(ミクロンまたはナノスケール、0.5-2g)。

調度

エタノール(分析グレード)、濾紙、オーブン(60-80° C)。

実験手順

サンプル調製

粉末粉碎

0.5~2g の WO₃を瑪瑙乳鉢に入れ、均質な微粉末(粒子サイズ<50 μm)になるまで5~15 分間粉碎して、過粉碎による結晶破損を防ぎます。

読み込み方法

ドライパウダー法

サンプルステージ(直径 20mm)に粉末を平らに広げ、スライド(厚さ 1~2mm)で平らにして、表面に亀裂や隆起がないことを確認します。

ウェット撮影

ナノスケール試料をエタノール(0.5~1mL)で分散させ、5 分間(40kHz、100W)超音波処理し、ゼロバックグラウンドシリコンウェーハ(5×5cm)上に液滴コーティングし、60°C で 30~60 分間乾燥させた。

品質チェック

サンプルの均一性を目視で検査し、濾紙で端をそっと拭いて余分な粉末を取り除きます。

機器の準備

ブート

装置を起動し、30~60 分間温め、X線管(電圧 40~45 kV、電流 30~40 mA)を確認します。

パラメータ設定

スキャン範囲:10°-80°(2 θ 、WO₃メインピークをカバー)。

ステップサイズ:0.01°-0.02°(高解像度の場合は 0.01°)。

スキャン速度:1-4° /分(高速スクリーニング 4° /分、精密分析 2° /分)。

スリット:発散スリット 0.5°、スリット 0.1-0.3mm 受け。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

キャリブレーション

ピーク位置と強度は、標準的なシリカフェーム(NIST SRM 640e、メインピーク 28.44°)またはコランダム(Al_2O_3 、メインピーク 35.15°)(誤差 <0.02°)でキャリブレーションしました。

データ集録

ステージを機器コンパートメントに固定し、X線ビーム(スポット直径 5~10 mm)に合わせて高さを調整します。

スキャンを開始し、回折パターン(約 20~40 分/サンプル)を記録し、異常な変動がないことを確認するためにリアルタイムのピーク形状を観察します。

測定を 2~3 回繰り返し、平均を取り、ピーク位置の一貫性(偏差<0.05°)を確認します。

随意

相転移(単斜晶系→直交など)のための 25°C から 800°C(10°C/min)までの高温 XRD(高温アクセサリ付き)。

データ分析

ポリモーフマッチング

ソフトウェア(MDI Jade、HighScore、または X'Pert)を使用して JCPDS カードを比較します:単斜晶系期(43-1035)、斜方晶期(20-1324)、正方晶期(89-4476)。

粒度

シェラー式 $D = K\lambda / (\beta \cos \theta)$ 、 $K = 0.9$ 、 β は半値幅(ラジアン)、典型的な結果:ミクロン 1~5 μm 、ナノメートル 20~50nm。

定量分析

リートベルト細分化法は、相含有量を計算します(例: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ヘテロフェーズ)。

不純物検出

NH_4^+ (AMT 残基、約 32°)または $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (約 16°-18°)。

結果の例

単斜晶系相 WO_3 :(002)23.1°、(020)23.6°、(200)24.4°、粒径 30nm(熱水)。

直交相(500°C 焙煎):メインピークから 22.8°-24.0°シフト。

一般的な問題と解決策

ピークオフセット

サンプルの高さがずれている場合は、サンプルステージをゼロ点に調整してください。

低ピーク強度

サンプル量が不足している場合は、1~2 g に増やすか、スキャン時間を延長します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

高いバックグラウンドノイズ

スリットの設定を確認するか、バックグラウンドがゼロのウェーハを交換してください。

安全上のご注意

X 線漏れを防ぐために放射線防護服を着用してください(操作するときは保護カバーを閉めてください)。

粉碎と滴下は、N95 マスクを着用したヒュームフードで行われます。

高温アタッチメントを操作するときは断熱手袋を着用し、冷却後にサンプルを採取してください。

2. フーリエ変換赤外分光法(FTIR)運用ガイド

目的

化学結合(W-O、W-OH など)、表面吸着剤(H₂O など)、および黄色酸化タングステン(WO₃)の不純物を検出します。

設備・資材

楽器

フーリエ変換赤外分光計(Thermo Nicolet iS50 や PerkinElmer Spectrum Two など)。

継手

KBr 打錠金型(直径 13mm)、ATR アタッチメント(ダイヤモンドまたは ZnSe 結晶)、IR オープン(60-80°C)、瑪瑙モルタル。

見本

WO₃粉末(2-10 mg)、KBr(分光グレード、100-300 mg)。

調度

エタノール、濾紙、乾燥剤(シリカゲル)。

実験手順

サンプル調製

KBr タブレット方式:

2〜5 mg WO₃と 100〜200 mg KBr(質量比 1:50〜1:100)を取り、瑪瑙乳鉢で均質になるまで

5〜10 分間挽きます(粒状性はありません)。

混合物を型に流し込み、錠剤プレスで 10〜15MPa 加圧し、1〜2 分間保持して透明ディスク

ク(直径 13mm、厚さ 0.5〜1mm)を作ります。

KBr 予備乾燥(80°C、2-4 時間)して水分を除去し、水和物であれば WO₃非乾燥(初期状態記録)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ATR 法:1~2 mg の WO_3 粉末を ATR 結晶の表面に直接置き、圧子(力 50~100 N)で静かに押します。

薄膜サンプル:FTO 基板などの WO_3 薄膜は、ATR 結晶上または透過型サンプルホルダーに直接配置されます。

機器の準備

ウォームアップ(30 分)し、光源(セラミックまたはハロゲン)と検出器(MCT の液体窒素冷却)を確認します。

パラメータ設定

波数範囲:400-4000 cm^{-1} (W-O と OH をカバー)。

解像度:2-4 cm^{-1} (高解像度の場合は 2 cm^{-1})。

スキャン回数:16-64(通常 32 回)。

背景:空気(透過性)または ATR 結晶のクリーニング。

キャリブレーション:ピーク位置はポリスチレンメンブレン(1601 cm^{-1} および 3027 cm^{-1} <1 cm^{-1} の誤差)で検証しました。

データ集録

KBr 法:錠剤を透過型サンプルホルダーに入れ、固定後にバックグラウンドを収集し(32 スキャン)、サンプルスペクトルを測定します(約 1~2 分)。

ATR 法:結晶を洗浄し(エタノールワイプ、乾燥)、背景を収集し、サンプルをロードし、プレスしてスキャンします。

スペクトルを確認してください:ベースラインはまっすぐで、ピーク強度は中程度(透過率 10%-90%)で、異常な場合はサンプルの量または圧力が調整されます。

データ分析

特徴的なピーク:

W-O ストレッチ:600-1000 cm^{-1} (メインピーク 820-850 cm^{-1} 、単斜晶系相)。

W=O 二重結合:930-950 cm^{-1} (ナノスケールでより顕著)。

OH ストレッチ:3400-3500 cm^{-1} (水吸着)。

OH の曲がり:1600-1650 cm^{-1} (結晶化水)。

不純物: NH_4^+ (1400-1500 cm^{-1} 、AMT 残留物)、C-H(2800-3000 cm^{-1} 、有機汚染)。

定量:ピーク面積積分により、水分含有量を推定します(TG データと比較)。

結果の例

ミクロンサイズの WO:W-O 820 cm^{-1} 、少量の O-H 3400 cm^{-1} 。

ナノスケール $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$:強いピーク 3400 cm^{-1} および 1630 cm^{-1} 、含水率 3%~5%。

一般的な問題と解決策

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

水分干渉:KBr またはサンプルの吸湿、再乾燥、またはグローブボックスでの取り扱い。

弱いピーク:サンプル量が不十分な場合は、 WO_3 を5~10 mgに増やします。

ベースラインドリフト:バックグラウンドは減算されず、バックグラウンドスペクトルが再取得されます。

安全上のご注意

KBr と WO_3 は、マスクと手袋を着用してドラフト内で運用します。

タブレットプレスに圧力をかけるときは手を保護し、型にひび割れがないことを確認してください。

ATR クリスタルのクリーニングには、傷がつかないように柔らかい布を使用してください。

3. 走査型電子顕微鏡(SEM)操作ガイド

目的

黄色酸化タングステン(WO_3)の微視的形態、粒度分布、および表面特性を観察すること。

設備・資材

装置:走査型電子顕微鏡(ZEISS Sigma 300、FEI Quanta 250、Hitachi SU8010 など)。

付属品:導電性テープ、コーター(Au/Pt ターゲット)、超音波洗浄機(40kHz、200-300W)、ピンセット(非磁性)、真空乾燥オーブン

サンプル: WO_3 粉末(5-20 mg)またはフィルム(FTO 基板など)。

消耗品:エタノール(分析的に純粋)、濾紙、窒素パージガン。

実験手順

サンプル調製

粉末サンプル:

5~20 mg の WO_3 を取り、1~2 mL のエタノールで5~15 分間超音波処理します(電力 100 ~200 W、過熱を避けてください)。

導電性テープ(アルミ製ステージに付属、直径 12mm)にピペットを当て、60°C で 30~60 分間真空乾燥させます。

フィルムサンプル:1×1cm にカットし、導電性テープで固定し、導電性を高めるために銀ペーストで縁取りします。

コーティング:イオンスputterコーター(厚さ 5~10 nm、電流 15~20 mA、時間 30~60 秒)による金またはプラチナメッキ、装置が低真空または ESEM モードをサポートしている場合はスキップします。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

機器の準備

ウォームアップ(30〜60 分)し、電子銃(フィールドファイアリングまたはタングステンフィラメント、電圧安定)を確認します。

パラメータ設定:

加速電圧:5-15 kV(ミクロンで 10-15 kV、損傷を避けるためにナノメートルで 5-10 kV)。

作動距離:5-10 mm(高解像度の場合は 5-7 mm)。

検出器:SE(トポグラフィー)、BSE(元素コントラスト)、EDS(オプション、元素分析)。

倍率:100-50000 ×(初期スweepは 100-1000 ×、ミスターは 5000-50000 ×)。

キャリブレーション:焦点距離と解像度(解像度<5 nm)を標準の金粒子またはシリコンウェーハでキャリブレーションします。

データ集録

ステージをサンプルチャンバーに置き、<10°C バール(5〜10 分)に真空します。

サンプル位置(X/Y/Z 軸)を調整して、シャープな画像に焦点を合わせ、コントラストと明るさを最適化します(露出オーバーを避けるため)。

マルチエリア画像(3〜5 画像/サンプル)を撮影し、倍率と作業条件を記録します。

EDS 分析 (オプション):領域を選択し、60〜120 秒間取得して、W、O、および不純物(Na、Cl など)を検出します。

データ分析

トポグラフィー:粒子(球形、棒状)、凝集度、表面粗さ(ImageJ で分析)の識別。

粒子サイズ:50〜100 個の粒子がカウントされ、平均と分布(正規または歪)が計算されます。

EDS:W:O 原子比は約 1:3、不純物含有量<1%(Mo、Fe など)です。

結果の例

熱水 WO₃:ナノロッド、長さ 50〜100 nm、直径 10〜20 nm。

焼成 WO₃:ミクロン粒子、1〜 5μm、滑らかな表面。

一般的な問題と解決策

サンプルの充電:画像のぼやけ、コーティングの厚さの増加、または電圧の 5kV への低下。

低解像度:作動距離が大きすぎるため、5〜7mm に調整してください。

EDS ピークオーバーラップ:取得時間を延長したり、エネルギー分解能を向上させたりし

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ます。

安全上のご注意

操作中はサンプルチャンバーを閉じて、電子ビームの漏れ(放射線リスク)を避けてください。

超音波検査とヒュームフードのコーティング、保護メガネを着用してください。

サンプルステージを取り外したときの温度(<50° C)を確認してください。

4. 透過型電子顕微鏡(TEM)操作ガイド

目的

黄色酸化タングステン(WO₃)のナノスケールの形態、格子構造、高分解能の形態を観察すること。

設備・資材

装置: 透過型電子顕微鏡(JEOL JEM-2100F、FEI Tecnai G2 F20、電界放出型電子銃など)

付属品: カーボン銅メッシュ(200-400 メッシュ)、超音波洗浄機、ピペット(10-50μL)、コーター(オプション)。

サンプル: WO₃ ナノ粉末(5-10mg)。

実験手順

サンプル調製

5~10 mg の WO₃ を取り、2~5 mL のエタノールに分散させ、10~20 分間(40 kHz、100~200 W)超音波処理します。

懸濁液(10-20μL)をピペットで動かし、カーボン銅メッシュに滴下し、自然乾燥(25°C、30分)または 60°C で 15 分間乾燥させます。

銅メッシュを確認してください: サンプルは均等に分布しており、大きな凝集はありません。

機器の準備

ウォームアップ(1~2 時間)し、電子銃(200 kV)と真空(<10⁻⁷ mbar)を確認します。

パラメータ設定:

加速電圧: 100-200 kV(標準 200 kV)。

倍率: 5000-500000×(低倍率形態の場合は 5000-50000×、高倍率格子の場合は 100000-500000×)。

カメラ: CCD または CMOS、解像度 4k×4k。

キャリブレーション: 標準的な金ナノ粒子による分解能(スポット分解能<0.2 nm)のキャリブレーション。

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

データ集録

銅メッシュをサンプルホルダーに取り付け、TEM チャンバーに挿入して、 $<10^{-6}$ mbar まで排気します。

電子ビームの焦点を調整し、サンプル領域を低倍率でスキャンします(過度の照射による損傷を防ぐため)。

トポグラフィーマップ(5,000~50,000×)、高解像度 HRTEM マップ(100,000×以上)をキャプチャし、格子フリンジを記録します。

オプション:多形解析のための選択的電子回折(SAED)。

データ分析

形態学:ナノ粒子のサイズ(長さ、直径)を測定し、粒界と欠陥を観察します。

格子:DigitalMicrograph ソフトウェアを使用して、平面間間隔を計算します(例:単斜晶系位相(200)0.365 nm)。

SAED: 回折リングを一致させて結晶形を確認します(例:単斜晶系相)。

結果の例

熱水 WO_3 :ナノロッド、長さ 50-100 nm、格子間隔 0.384 nm((020)面)。

SAED:明確なリングパターンを持つ単斜晶系フェーズ。

安全上のご注意

高エネルギー電子ビームの漏れを防ぐために、運転中は TEM チャンバーを閉じてください。

超音波は、ほこりの吸入を防ぐためにマスクの着用を分散させます。

銅メッシュは、汚染を避けるためにピンセットで操作されます。

5. 紫外可視分光法(UV-Vis)運用ガイドライン

目的

黄色酸化タングステン(WO_3)のバンドギャップエネルギーと光吸収特性を決定すること。

設備・資材

装置:UV-Vis 分光光度計(例:島津製作所 UV-2600、積分球アタッチメント付き)。

付属品:石英キュベット(光路長 1cm)、 BaSO_4 標準プレート、超音波洗浄機。

サンプル: WO_3 粉末(10-20 mg)またはフィルム。

実験手順

サンプル調製

粉末(拡散反射率): 10~20 mg の WO_3 を取り、均一に粉碎し、サンプルセル(厚さ 1~2 mm)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

に平らに置き、スライドで平らにします。

薄膜(透過性): WO₃フィルム(FTO 基板など)を洗浄(エタノールで 10 分間超音波処理)し、乾燥させてキュベットラックに入れます。

懸濁液(オプシオン): 10 mL の水またはエタノール(濃度 1 mg / mL)に分散させた 10 mg の WO₃を超音波処理し、石英キュベットにロードします。

機器の準備

ウォームアップ(30 分)し、光源を確認します(重水素ランプの場合は 200~400 nm、タングステンランプの場合は 400~800 nm)。

パラメータ設定:

波長範囲:200-800 nm。

スキャン速度:中程度(200 nm / min)。

解像度:1 nm。

モード:拡散(粉末)、透過(薄膜/懸濁液)。

キャリブレーション:BaSO₄プレート(拡散)またはブランクキュベット(透過)でバックグラウンドを差し引きます。

データ集録

拡散 反射:サンプルセルを積分球に置き、反射スペクトルを収集します(約 2~3 分)。

伝送:キュベットを光路に配置し、伝送スペクトルを記録します。

曲線を確認してください:吸収エッジは明確で、異常なピークはありません(例:280 nm の溶媒ピーク)。

データ分析

バンドギャップ計算:タウク方程式 $(\alpha h\nu)^{1/n} = A(h\nu - E_g)$ 、 $n = 2$ (間接バンドギャップ)、プロット $(F(R)h\nu)^2$ vs. $h\nu$ 、 $F(R) = (1-R)^2/2R$ (Kubelka-Munk 関数)。

吸収端:ミクロンレベルで 450~470 nm、ナノメートルレベルで 420~450 nm。

結果: $E_g = 2.6-2.8$ eV(ミクロンレベル)、 $2.4-2.6$ eV(ナノメートルレベル)。

結果の例

水熱 WO₃:吸収端 430 nm、 $E_g = 2.7$ eV。

焼成 WO₃:吸収端 460 nm、 $E_g = 2.6$ eV。

安全上のご注意

操作するときは、紫外線が目に損傷を与えないように、機器の蓋を閉じてください。

皮膚に触れないように手袋を着用してサスペンションを準備します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. BET 比表面積と空隙率分析のハウツーガイド

目的

黄色酸化タングステン(WO_3)の比表面積と細孔分布を決定すること。

設備・資材

装置:表面積分析装置(例: Micromeritics ASAP 2020 または Quantachrome Autosorb-iQ)。

付属品: サンプルチューブ(ガラス、10-20 mL)、真空脱気ステーション、天びん(精度 0.0001 g)。

サンプル: WO_3 粉末(0.1-0.5 g)。

実験手順

サンプル調製

0.1~0.5 g の WO_3 を取り、サンプルチューブに入れ、秤量して記録します(0.0001 g の精度)。

脱気ステーションで 200°C で 4~6 時間(真空 $<10^{-2}$ mbar)の真空脱気を行い、水分と揮発性物質を除去します。

冷却後、再計量して重量減少率を計算します($<5\%$ が適切です)。

機器の準備

起動時に機械を温め(30 分)、液体窒素浴(77 K)と真空ポンプを確認します。

パラメータ設定:

吸着ガス: N_2 (純度 $>99.999\%$)。

圧力範囲: $P/P_0 = 0.01-0.995$ 。

平衡化時間: 10-20 秒/ポイント。

校正: 標準サンプル(例: Al_2O_3 、BET 155 m^2/g)で装置の精度を確認します。

データ集録

サンプルチューブを分析ポートに置き、77 K(液体窒素浸漬)まで冷却し、吸脱着試験(約 4~6 時間)を開始します。

吸着等温線を確認してください: タイプ IV(メソポーラス特性)またはタイプ II(非多孔質)。

データ分析

比表面積: BET モデル、 $P/P_0 = 0.05-0.3$ の範囲で線形近似。

細孔分布: 細孔径と細孔容積を計算するための BJH モデル(脱着曲線)。

結果: ミクロン範囲で 5~10 m^2/g 、ナノメートル範囲で 20~50 m^2/g 、および 5~20 nm の

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

細孔サイズ。

結果の例

熱水 WO_3 :BET $45 \text{ m}^2/\text{g}$ 、細孔径 8-12 nm。

ロースト WO_3 : $7 \text{ m}^2/\text{g}$ のベツトで、毛穴が見えない。

安全上のご注意

凍傷を防ぐために、液体窒素を取り扱うときは、極低温手袋とゴーグルを着用してください。

脱気ステーションは高温(200°C)にあり、冷却後にサンプルを採取しました。

付録 C:黄色酸化タングステン(WO_3)に関連する特許のリスト。

CN102019429A、US10262770B2 など

イエロー酸化タングステン(WO_3)関連特許一覧(拡張版)

調製方法に関する特許

US7591984B2 - 酸化タングステンの調製

配信開始日: 2009-10-06

発明者:Norman R. Brese、Michael T. McLaughlin

特許権者:Air Products and Chemicals, Inc.

概要: ナノスケール $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、パラタングステン酸アンモニウム(APT)を濃縮 HCl に溶解し、水にすばやく添加してナノシートを形成します $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、焼きなまし($200\text{-}400^\circ\text{C}$)して黄色の WO_3 を得ます。

アプリケーション:光触媒、センサー。

特徴:プロセスは簡単で、形状はユニークです。

CN106006743A - 斜方晶黒 WO_3 の調製方法

配信開始日: 2016-10-12

発明人: 李文龙 (Wenlong Li) 等

特許権者:中国科学院プロセス工程研究所

概要:直交相黒 WO/WO_3 ($400\text{-}600^\circ\text{C}$)は、可視光吸収を改善するために、真空二重温度ゾーン炉で WO_3 粉末と Al 粉末を還元することにより調製された。

アプリケーション:光触媒。

特徴:ブラック WO_3 は光の応答性を高めます。

CN102502821A - 単斜晶系三酸化タングステンの調製方法

配信開始日: 2012-06-20

発明人: 王德宝 (Debao Wang) 等

特許権者:中国科学院山西省石炭化学研究所

概要: APT は、酸性化、水熱、焙煎($400\text{-}600^\circ\text{C}$)により黄色の単斜晶系 WO_3 を調製するた

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

めの原料として使用されました。

用途:光触媒、ガスに敏感な材料。

特徴: 高い单相純度。

JP2006169092A - 三酸化タングステン微粒子の製造方法

配信開始日: 2006-06-29

発明人: 山本健治 (Kenji Yamamoto) 等

专利权人: Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.

要約: タングステン酸溶液を酸と混合し、加熱(100-200°C)して $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、ロースト(300-500°C)して 10-100 nm の黄色 WO_3 粒子を得る。

アプリケーション: 顔料、光触媒。

特徴: 粒度の精密な制御。

CN103803641A - ナノ三酸化タングステン粉末の調製方法

配信開始日: 2014-05-21

発明者: Xiaobing Li、他

特許権者: 中央南大学

概要: 20-50 nm の黄色ナノ WO_3 は、タングステン酸ナトリウムを原料として、酸性沈殿と熱水(180-220°C、12-24 時間)によって調製されました。

用途: 光触媒、電池材料。

特徴: 高い製品の均一性。

US4855161A - 三酸化タングステンの製造方法

配信開始日: 1989-08-08

発明人: Donald H. Moser

专利权人: GTE Products Corporation

概要: 黄色の WO_3 は、タングステン酸アンモニウム溶液の熱分解(500-700°C)によって調製され、粒子サイズと純度を制御しました。

用途: 工業用顔料、触媒。

特徴: 初期の工業プロセス。

CN109052476A - 黄色酸化タングステンの調製方法

配信開始日: 2018-12-21

発明人: 张启龙 (Qilong Zhang) 等

特許権者: 赣州非鉄金属研究所

概要: 黄色 WO_3 は、タングステン濃縮物を原料として、アルカリ浸出、イオン交換、酸性沈殿、および焙煎(450-550°C)により、純度>99.9%で調製されました。

アプリケーション: 高純度タングステン製品。

特徴: 鉍石からの直接生産に適しています。

WO2014053606A1 - 酸化タングステンを調製するためのプロセス

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

配信開始日: 2014-04-10

主催 :ヴォルフガング・ローデ等

譲受人: BASF SE

概要: ナノスケールアプリケーションのための蒸着(CVD)による WF_6 前駆体からの WO_3 フィルムまたは粉末の調製。

アプリケーション: 薄膜デバイス、光触媒。

特徴: 高精度気相プロセス。

光触媒関連特許

EP2380687A1 - 酸化タングステンをベースにした光触媒材料

配信開始日: 2011-10-26

発明人: Leila Benameur 等

专利权人: Saint-Gobain Glass France

概要: WO_3 コーティングは、自己洗浄ガラス、UV/Vis 光下での有機物の分解のためのゾルゲルまたは気相堆積によって調製されます。

アプリケーション: セルフクリーニング表面。

特徴: 強い耐久性。

US20170266648A1 - WO_3/TiO_2 (酸化チタン)コアシェル光触媒及びその調製方法

配信開始日: 2017-09-21

発明者: Wei Zhang、他

特許権者: 明確な特許権者がいない

概要: WO_3 原子核は TiO_2 (酸化チタン)シェルをコーティングし、可視光応答と電子正孔分離効率を改善します。

アプリケーション: 水処理、空気浄化。

特徴: コアシェル構造により、パフォーマンスが最適化されます。

CN105688972A - WO_3 系光触媒および調製法

配信開始日: 2016-06-22

発明者: Qiang Liu、他

特許権者: 北京理工大学

概要: WO_3 を $g-C_3N_4$ と配合し、有機汚染物質の光触媒分解を改善するために水熱法で調製した。

アプリケーション: 環境浄化。

特徴: 複合材料補強活動。

US9975110B2 - 光触媒酸化タングステン膜

配信開始日: 2018-05-22

発明人: Nitin Sharma 等

专利权人: パナソニック 知的財産管理株式会社

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

概要: WO₃薄膜は、スパッタリング堆積法により作製し、NまたはSをドーピングして可視光の光触媒効率を向上させた。

アプリケーション: 室内空気清浄。

特徴: ドーピング修正。

エレクトロクロミックに関する特許

US20110111209A1 - 酸化タングステン膜を含む高耐久エレクトロクロミックデバイス

配信開始日: 2011-05-12

発明人: Mark Samuel Burdis 等

专利权人: Sage Electrochromics, Inc.

概要: 多孔質 WO₃膜は、エレクトロクロミック耐久性を向上させるために、高バイアススパッタリング成膜(>500 V)によって調製されました。

アプリケーション: スマートウィンドウ。

特徴: 優れたイオン拡散性能。

CN104445989A - WO₃に基づくエレクトロクロミックデバイス

配信開始日: 2015-03-25

発明者: Mei Li et al

特許権者: 中国科学院上海陶磁器研究所

概要: WO₃薄膜と NiO 対極は、応答時間が<10 秒の全固体エレクトロクロミックデバイスを形成します。

アプリケーション: スマートガラス。

特徴: オールソリッドステートデザイン。

US8294974B2 - WO₃層を有するエレクトロクロミックデバイス

配信開始日: 2012-10-23

発明人: Zhongchun Wang 等

专利权人: Applied Materials, Inc.

概要: WO₃(酸化炭素)層は、光変調範囲を拡大するために、プラズマ化学気相成長法(PECVD)によって調製されます。

アプリケーション: モニター、Windows。

特徴: 高い堆積率。

ガスセンサーに関する特許

US10266947B2 - ナノ構造酸化タングステングスセンサー

配信開始日: 2019-04-23

発明者: Andrei Kolmakov et al

专利权人: University of Maryland

要約: Pt/Pd をドーピングしたナノワイヤーまたはナノシート WO₃は、H₂、CO に対する感度を高めます。

アプリケーション: ガス検出。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

特徴:高い選択性。

CN107132265A - WO₃ベースのガスセンサーと調製方法

配信開始日: 2017-09-05

発明者:Li Zhang、他

特許権者:吉林大学

概要:WO₃ナノロッドを水熱法で調製し、Au をドーピングして NO₂に対する応答性を改善した。

アプリケーション:環境モニタリング。

特徴: 低温で高感度。

EP2787528A1 - 酸化タングステン層付きガスセンサ

配信開始日: 2014-10-08

発明人: Ralf Moos 等

专利权人: Siemens AG

概要 動作温度 200-400°C の NH₃検出用 WO₃薄膜センサ。

アプリケーション:産業排出ガスモニタリング。

特徴: 高温安定性。

電池材料に関する特許

US20150364755A1 - リチウムイオン電池用酸化タングステン基負極材料

配信開始日: 2015-12-17

発明人: Xiangyang Zhou 等

专利权人: General Electric Company

概要:WO₃ナノ粒子は、リチウムイオン電池のアノードとして炭素と結合され、サイクル安定性を向上させます。

アプリケーション:エネルギー貯蔵バッテリー。

特徴: 大容量設計。

CN108172803A - WO₃電極材料の作製方法

配信開始日: 2018-06-15

発明者:Fang Wang、他

特許権者:武漢理工大学

概要: WO₃ナノシートは、>500 F / g の容量を持つスーパーキャパシタ電極用にソルボサーマル法で調製されます。

アプリケーション:スーパーキャパシタ。

特徴:高い比静電容量。

その他の出願関連特許

US20020002879A1 - 酸化物分散強化タングステン重合金の製造プロセス

配信開始日: 2002-01-10

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

发明人: 朴钟진 (Jong-Jin Park) 等

专利权人: Korea Institute of Science and Technology (KAIST)

概要: WO₃は、機械的合金化によってタングステン重合金を調製するための前駆体として使用され、Y₂O₃は高温性能を向上させるために添加されました。

アプリケーション: 軍事材料。

特徴: 高強度。

CN109943888A - WO₃ベースのサーモクロミックフィルム

配信開始日: 2019-06-28

発明者: Gang Li et al

特許権者: 北京科技大学

要約: WO₃に V または Mo をドーピングして、スマートテンパリングウィンドウで使用するサーモクロミックフィルムを調製します。

アプリケーション: 建物のエネルギー効率。

特徴: 温度応答性。

US20190276326A1 - 酸化タングステン顔料

配信開始日: 2019-09-12

发明人: Robert W. Jones 等

专利权人: The Shepherd Color Company

概要: WO₃は他の酸化物と配合され、耐候性の高い黄色顔料を調製します。

アプリケーション: コーティング、プラスチック。

特徴: 色の安定性。

CN112723431A - WO₃量子ドットの作製

配信開始日: 2021-04-30

発明者: Ming Chen、他

特許権者: 厦門大学

概要: バイオイメージングおよび光触媒のためのマイクロ波支援法による WO₃量子ドット(<10 nm)の調製。

アプリケーション: 生物医学、光触媒。

特徴: 重要な量子効果。

WO2020157650A1 - WO₃ベースの抗菌コーティング

配信開始日: 2020-08-06

发明人: Maria Strømme 等

专利权人: ウプサラ大学

概要: WO₃コーティングは、光触媒によって活性酸素種を生成し、抗菌特性を持っています。

アプリケーション: 医療機器コーティング。

特徴: グリーン抗菌技術。

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

付録 D:

中国、日本、ドイツ、ロシア、韓国、および黄色酸化タングステン(WO_3)に関連する国際規格。

黄色酸化タングステン(WO_3)に関連する中国の規格。

YS/T 535-2006 《メタタングステン酸アンモニウム》

リリース日: 2006

適用範囲:メタタングステン酸アンモニウム(AMT 、 $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$)の技術要件、試験方法、検査規則、および包装が規定されており、メタタングステン酸アンモニウムは WO_3 の調製のための重要な前駆体です。

主な内容:

化学組成: WO_3 含有量 $\geq 88.5\%$ (ファーストクラス)、不純物限界(例: $\text{Mo} \leq 0.02\%$ 、 $\text{Fe} \leq 0.001\%$)。

物理的特性:粒子サイズ(ふるい速度)、外観(白色または黄色がかった結晶性粉末)。

試験方法: WO_3 含有量は重量法で測定し、不純物は ICP-OES または AAS で測定します。

WO_3 (ウォリウム)との関連: AMT は焙煎($500\text{--}600^\circ\text{C}$)によってウォノ₃に分解され、標準物質はウォ₃(WO_3)の純度と品質に直接影響します。

GB/T 26034-2010 タングステン酸

発売日: 2010 年

適用範囲:工業用のタングステン酸(H_2WO_4)、 WO_3 前駆体または直接供給源として。

主な内容:

化学組成: WO_3 含有量 $\geq 98.0\%$ 、不純物限界(例: $\text{Na} \leq 0.02\%$ 、 $\text{S} \leq 0.01\%$)。

外観:黄色の粉末。

試験方法: WO_3 含有量の還元滴定、不純物の分光法。

WO_3 と関連:タングステン酸は WO_3 に焼成され、標準は原材料の品質を保証します。

YS/T 572-2007 酸化タングステン

発売日: 2007 年

適用範囲:黄色酸化タングステン(WO_3)の技術要件、試験方法、および包装が指定されています。

主な内容:

グレード: WO_3 1 年生 $\geq 99.95\%$ 、2 年生 $99.9\% \geq 99.9\%$)

不純物限界: $\text{Mo} \leq 0.01\%$ 、 $\text{Fe} \leq 0.001\%$ 、 $\text{Si} \leq 0.002\%$ 。

物理的特性:粒子サイズ($< 20 \mu\text{m}$)、かさ密度($1.5\text{--}3.0 \text{ g/cm}^3$)。

試験方法: WO_3 含有量は XRF または化学滴定によって滴定され、粒子サイズはレーザー粒

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

度分析装置で測定されます。

WO₃(ウオ₃)関連: タングステン製品の製造に広く使用されている黄色のウオリウム(WO₃)の業界標準を直接ターゲットとしています。

GB/T 3457-2013 タングステンパウダー

リリース日: 2013

適用範囲: WO₃還元によって調製されたタングステン粉末。

主な内容:

化学組成: W ≥99.9%、O ≤0.05%。

粒子サイズ: 0.5-50 μm。

試験方法: O含有量はパルス加熱法によるものです。

WO₃(ウオ)関連: ウオ₃(WO₃)はタングステン粉末の主原料であり、この標準物質は間接的にWO₃(ウオ)₃の純度要件を反映しています。

黄酸化タングステン(WO₃)に関する日本の規格。

JIS 1462:2015 《タングステン化合物の分析方法》

発売日: 2015 年

適用範囲: タングステン化合物(WO₃、タングステン酸塩など)の化学分析に適しています。

主な内容:

WO₃含有量の測定: 重量法(還元後の計量)または測光法(チオシアン酸の発色)。

不純物分析: Mo、Fe、SiなどはAASまたはICPを使用します。

水分調製: 乾燥法(105°C)。

WO₃(ウオリウム)関連: 工業用途の化学純度を確保するために、ウオリウム(WO₃)の標準的な分析法が利用可能です。

JIS H 1403:2001 タングステン・モリブデン材料の化学分析法

リリース日: 2001

適用範囲: タングステンおよびモリブデン材料、WO₃を含む酸化物に適しています。

主な内容:

WO₃定量: 化学滴定(還元法)。

不純物: NaとKは炎色測光法で、Pは分光光度法で測定します。

WO₃に関連: 特にタングステン合金の調製において、WO₃の品質管理に間接的に使用されます。

黄色酸化タングステン(WO₃)に関連するドイツの規格。

DIN 51078:2002 酸化物セラミックス用原材料の試験

発売日: 2002

適用範囲: 酸化物セラミックス原料(WO₃、Al₂O₃など)の物理的および化学的特性の試験に

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

適しています。

主な内容:

化学組成:XRF または湿式化学による WO_3 含有量。

粒度分布:レーザー回折。

比表面積:BET 法(N_2 吸着)。

WO_3 (特殊浮上体)との関連:特殊物質は、その物理的特性を評価するためのセラミック添加剤または前駆体として使用されます。

DIN EN ISO 21068-2:2008 セラミックスの原材料および製品の化学分析 - パート 2

リリース日: 2008

アプリケーション: WO_3 を含むセラミック材料中のケイ酸塩および酸化物の分析。

主な内容:

WO_3 含有量:ICP-OES または XRF。

不純物:重金属(Pb、Cd など)の限界。

WO_3 に関連:セラミックスまたは複合材料中の WO_3 の品質検査に使用されます。

黄色酸化タングステン(WO_3)に関連するロシアの規格。

GOST 25702-83

発売日: 1983

適用範囲:タングステン酸塩(Na_2WO_4 など)および誘導体化された WO_3 の分析に適しています。

主な内容:

WO_3 含有量:重量測定法(降水後の焼成)。

不純物:Fe と Mn は測色法で測定され、Mo は測光法で測定されます。

水分と揮発性物質:乾燥方法(120°C)。

WO_3 に関連:ソビエト時代のタングステン産業向けに WO_3 前駆体の分析方法を提供します。

GOST 14316-91 タングステン濃縮物

発売日: 1991 年

適用範囲:タングステン濃縮物(WO_3 含有量 50%-70%)の品質要件。

主な内容:

WO_3 含有量:化学滴定。

不純物:S、P、As などの限界

WO_3 (ウォ)関連:ウォリウムはタングステン精鉱から抽出され、標準は原材料の品質に影響を与えます。

黄色酸化タングステン(WO_3)に関連する韓国の規格。

KS D 9502:2018 タングステンおよびタングステン合金の化学分析法

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

発売日:2018 年

適用範囲:タングステン材料および酸化物(WO_3 など)の分析に適しています。

主な内容:

WO_3 含有量:ICP-MS または重量法。

不純物:Fe と Mo は AAS を使用し、C は燃焼法を使用します。

WO_3 に関連: 特に電子材料の分野での WO_3 純度試験用。

KS M ISO 11885:2008 水質 - 金属元素の測定 - ICP-OES 法

リリース日: 2008

適用範囲:水溶液中の金属元素の分析で、 WO_3 溶解後の不純物の検出に使用できます。

主な内容:

W 含有量:波長 207.911nm。

検出限界:0.01 mg / L。

WO_3 に関連: WO_3 生産廃水の品質管理に間接的に使用されます。

黄色酸化タングステン(WO_3)に関連する国際規格。

ASTMB922-20 金属粉末の比表面積の標準試験方法

発売日:2020 年

適用範囲:金属粉末および酸化物(WO_3 など)の比表面積の測定。

主な内容:

方法:BET(N_2 吸着、77 K)。

サンプル要件:0.1-1 g、200° C、4 時間で脱気。

測定範囲:0.1-1000 m^2/g 。

WO_3 (ウォリウム)に関連: ウォリウム粉末(マイクロメートルで 5-10 m^2/g 、ナノメートルで 20-50 m^2/g)の特性評価に使用されます。

ISO 16962:2017「表面の化学分析 - 亜鉛および/またはアルミニウムベースの金属加工コーティングの分析」

リリース日: 2017

アプリケーション: WO_3 薄膜またはコーティングの特性評価を含む表面化学分析。

主な内容:

方法:XPS、AES、SIMS。

パラメータ:W 4f ピーク(35.5 eV および 37.6 eV)。

WO_3 に関連: エレクトロクロミック層などの WO_3 フィルムの表面分析に適しています。

ISO 9277:2010 固体の比表面積の決定 - BET 法

発売日: 2010 年

適用範囲: WO_3 を含む固体材料の比表面積の決定。

主な内容:

方法: N_2 吸着、 $P / P_0 = 0.05-0.3$ 。

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

精度:±5%。

WO₃との相関:標準化された WO₃の比表面積試験。

ASTME291-18 タングステンの化学分析のための標準試験方法

発売日:2018 年

アプリケーション:タングステンと酸化物(WO₃など) の化学分析。

主な内容:

WO₃コンテンツ:重量測定または測光。

不純物:Mo と Fe は ICP で、S は燃焼法で測定します。

WO₃に関連:国際的に認められた WO₃の分析方法を提供します。

ISO 11885:2007 《水元素 - ICP-OES 明確金属元素》

発売日: 2007 年

適用範囲: 水溶液中の金属元素の分析、WO₃生産廃水に適しています。

主な内容:

W 検出:波長 207.911nm、検出限界 0.01mg/L

WO₃(環境モニタリング基準)に関連します。

付録 F:黄色酸化タングステン(WO₃)に関連する用語集。 Yellow Tungsten Oxide (WO₃) 用語集 (中国語、英語、日本語、韓国語)

黄色酸化タングステン(WO₃)の基本的な名前と化学式。

中国語	英語	日本語	韓国語	釈義
黄色の酸化 タングステ ン	黄色の三酸化タングステン	黄色三酸化タングステ ン (Kiiro Sansanka Tangusuten)	황색 삼산화텅스텐 (Hwangsaek Samsanhwa Teongseuten)	黄色の外観を強調し、 一般的な工業形態
三酸化タン グステン	三酸化タングステン	三酸化タングステン (Sansanka Tangusuten)	삼산화텅스텐 (Samsanhwa Teongseuten)	色を特に指さない一 般的な用語
WO ₃ (ウオ 3)	WO ₃ (ウオ ₃)	WO ₃ (ウオ ₃)	WO ₃ (ウオ ₃)	化学式、国際的に適用 可能
無 水 Tungcre	タングステン無水物	タングステン酸無水物 (Tangusuten-san Musuimotsu)	텅스텐산 무수물 (Teongseuten-san Musumul)	無水状態を強調する 化学命名法
青色酸化タ ングステン	ブルー酸化タングステン	ブルー酸化タングステ ン(青色三科タングステ ン)	청색 산화텅스텐 (清 沢 サンファ テオン セウテン)	WO ₂ 、不純 WO ₃ 、 一部還元品
制作者:CTIA グループ				

黄色酸化タングステン(WO₃)の化学的性質。

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

中国語	英語	日本語	韓国語	釈義
酸化状態	酸化状態	酸化状態 (fear jōtai)	산화 상태 (Sanhwa Sangtae)	WO ₃ の W は+6 価数です
安定性	安定性	安定性 (Antei-sei)	안정성 (アンジョンソン)	600°C<安定、高温相変化
可溶性	可溶性	溶解度 (Yōkaido)	용해도 (龍海島)	水はわずかに溶けやすく、酸塩基条件が変化します
加水分解性	加水分解	加水分解性 (Kasui Bunkai-sei)	가수분해성 (Gasubunhaeseong)	高湿度発生 WO ₃ ·H ₂ O(ヘリウムリウム)
酸化	酸化性	酸化性 (Sanka-sei)	산화성 (サンファソン)	弱い酸化、光触媒の増強
化学結合	化学結合	化学結合 (Kagaku Ketsugō)	화학 결합 (ファハクギョルハプ)	W-O、W=O 鍵、FTIR 可検測
揮発度	揮発度	揮発性 (Kihatsu-sei)	휘발성 (フィバルソン)	>1100°C で揮発させ、WO _{2.9} を形成します。
酸性度とアルカリ度	酸性度/アルカリ度	酸塩基性 (San Enki-sei)	산염기성 (サン・ヨムギソン)	酸や塩基と反応する可能性のある両性酸化物
制作者:CTIA グループ				

黄色酸化タングステン(WO₃)の物理的性質。

中国語	英語	日本語	韓国語	釈義
様子	様子	外觀(外刀)	외관 (オエグワン)	黄色の粉末またはフィルム
密度	密度	密度(ミツド)	밀도 (ミルド)	7.16 g/cm ³ (単斜晶系相)
融点	融点	融点(ゆうてん)	융점 (ユンチョム)	1473°C
沸点	沸点	沸点(ふてん)	비점 (ビジョン)	>1700°C 分解
ポリモフィック	結晶構造	結晶構造 (Kesshō Kōzō)	결정 구조 (ギョルジョン五条)	単斜眼, 直交, 正方晶
粒子サイズ	粒子サイズ	粒度(龍系)	입자 크기 (Ipja Keugi)	微米級 1-20 μm, 納米級 10-100 nm
比表面積	比表面積	比表面積 (Hi Hyōmen Seki)	비표면적 (ビビョミョンジョク)	ナノメートル範囲の BET アッセイ
バンドギャップ	バンドギャップ	バンドギャップ(バンドギャップ)	밴드 갭 (ゲーブ・パス)	2.6-2.8 eV
硬度	硬度	硬さ(光道)	경도 (慶島)	モース硬度 4-5
熱伝導率	熱伝導率	熱伝導率(熱伝導率)	열전도율 (ヨルジョ)	1.5-2.0 W/(m · K)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			ンドユル)	
熱膨張係数	熱膨張係数	熱膨張係数	열팽창 계수 (ヨルベ ーンチャン・ギェス)	$8.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

黄色酸化タングステン(WO₃)の調製方法。

中国語	英語	日本語	韓国語	釈義
水熱法	水熱法	水熱法	수열 방법 (スリョル ・バンボプ)	オートクレーブ、 Nano WO ₃
熱分解	熱分解	熱分解法	열분해 방법 (ヨルブ ンヘ・バンボプ)	AMT システム WO ₃
焙煎	焼成	焼成 (Shōsei)	소성 (ソソン)	高温炉, 500-600°C
ソルボサー マル法	ソルボサーマル法	溶媒熱法	용매열 방법 (龍禪韓 バンボプ)	有機溶剤、高圧
蒸着	蒸着	気相蒸着 (Kisō Jōchaku)	기상 증착 (ギサン・ ジョンチャク)	CVD、PVD、薄膜制备
酸性沈殿法	酸性沈殿物	酸沈殿法 (San Chinden- hō)	산 침전법 (サンチム ジョンボプ)	タングステン酸ナト リウムと酸性沈殿物
イオン交換	イオン交換	イオン交換	이온 교환 (イオン・ ギョウワン)	タングステン酸溶液 の精製
メカニカル アロイング	メカニカルアロイング	機械合金化 (Kaikai Gōkin-K)	기계 합금화 (Gigye Hapgeumhwa)	複合材料の調製
制作者:CTIA グループ				

黄色酸化タングステン(WO₃)の化学反応。

中国語	英語	日本語	韓国語	釈義
還元反応	還元反応	還元反応 (還元反応)	환원반응 (Hwanwon Baneung)	$\text{WO}_3 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{W} + 3\text{H}_2\text{O}$
アルカリ反 応	アルカリ反応	アルカリ反応 (Arukari Hannō)	알칼리 반응 (Alkali Baneung)	$\text{WO}_3 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
酸反応	酸反応	酸反応 (San Hannō)	산 반응 (サンバヌ ン)	$\text{WO}_3 + 6\text{HCl} \rightarrow \text{WCl}_6 + 3\text{H}_2\text{O}$
水和反応	ハイドレーション反応	水和反応 (Suiwa Hannō)	수화 반응 (Suwha Baneung)	$\text{WO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (ヘリウム リウム)
制作者:CTIA グループ				

黄色酸化タングステン(WO₃)の適用分野。

中国語	英語	日本語	韓国語	釈義
光触媒	光触媒	光触媒 (Hikari Chakurai)	광촉매 (クァンチョ クマエ)	有機物の分解

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

エレクトロクロミック	エレクトロクロミズム	電気変色	전기 변색 (チョンギ・ピョンセク)	スマートウィンドウ
ガスセンサー	ガスセンサー	ガスセンサー (Gasu Sensa)	가스 센서 (ガセウセンソ)	NO ₂ 、H ₂ の検出
電池材料	バッテリー素材	電池材料 (Denchi Zairyo)	배터리 재료 (Baeteori Jaeryo)	リチウム電池アノード
色素	色素	顔料 (Ganryyo)	안료 (あんりょう)	イエローペイント
サーモクロミック	サーモクロミズム	熱変色	열 변색 (ヨル・ピョンセク)	温度に敏感な材料
抗菌コーティング	抗菌コーティング	抗菌コーティング (Kōkin Kōtingu)	항균 코팅 (Hanggyun Koting)	光触媒抗菌
触媒担体	Catalyst サポート	触媒担体 (Shokubai Tantai)	13 (Chowkmaa Damche)	化学触媒
制作者:CTIA グループ				

黄色酸化タングステン(WO₃)の分析法

中国語	英語	日本語	韓国語	釈義
X線回折	X線回折(XRD)	X線回折 (Ekkusu-sen Kaisetsu)	사천온·호츨	ポリモーフ解析
フーリエ変換赤外分光法	フーリエ変換赤外分光法 (FTIR)	フーリエ変換赤外分光法 (Furie Henskan Sekigai Bunkō-hō)	푸리에 변환 적외선 분광법 (Purie Byeonhwan Jeokoesun Bungwangbeop)	化学結合検出
走査型電子顕微鏡	走査型電子顕微鏡(SEM)	走査電子顕微鏡 (Sōsa Denshi Kenbikyo)	주사 전자 현미경 (Jusa Jeonja Hyeonmigyeong)	形態学的観察
透過型電子顕微鏡	透過型電子顕微鏡(TEM)	透過電子顕微鏡 (Tōka Denshi Kenbikyo)	투과 전자 현미경 (투그아·チョンジャ・ヒョンミギョン)	ナノ構造
紫外可視分光法	紫外可視分光法(UV-Vis)	紫外可視分光法	자외선-가시광선 분광법 (Jawoeseon-Gasigwangseon Bungwangbeop)	バンドギャップの決定
BET比表面積分析	BET表面積分析	BET比表面積分析 (BET Hi Hyōmen Seki Bunseki)	Bet 비표면적 분석 (Bet Bisymogengeok Bansak)	比表面積
X線光電子分光法	X線光電子分光法(XPS)	X線光電子分光法 (Ekkusu-sen Kōdenshi Bunkō-hō)	X선 광전자 분광법 (X-seon Gwangjeonja Bungwangbeop)	表面化学
熱重量分析	熱重量分析(TGA)	熱重量分析 (Netsu Jūryō Bunseki)	열중량 분석 (ヨルジョンニョン ブンソク)	熱安定性
制作者:CTIA グループ				

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

黄色酸化タングステン(WO_3)のプロセスパラメータ。

中国語	英語	日本語	韓国語	釈義
反応温度	反応温度	反応温度 (Hannō Ondo)	반응 온도 (バヌン音頭)	水熱法 180-200°C
焙煎時間	焼成時間	焼成時間 (Shōsei Jikan)	소성 시간 (ソソン・シガン)	2-3 時間
圧力	圧力	圧力	압력 (アムニョク)	ウォーターケトル 1-2 MPa
PH の	pH 値	pH (pH Chi)	pH 값 (pH Gaps)	酸性沈殿物 pH 1-2
固液比	固液比	固液比 (Koei-hi)	고액비 (Goaekbi)	アルカリ浸出 1:3
制作者:CTIA グループ				

黄色酸化タングステン(WO_3)のデバイス名。

中国語	英語	日本語	韓国語	釈義
高圧リアクター	オートクレーブ	高圧反応釜 (Kōatsu Hannōgama)	고압 반응로 (Goap Baneungno)	水熱装置
ロータリーキルン	ロータリーキルン	回転窯 (Kaiten-yō)	회전 가마 (フェジョングマ)	ロースト WO_3
マッフル	マッフル炉	マッフル炉 (Maffuru-ro)	머플로 (Meopeullo)	実験室での熱分解
イオン交換カラム	イオン交換カラム	イオン交換カラム (Ion Kōkan Karamu)	이온 교환 컬럼 (イオン・ギョウワン・ケオルム)	溶液を精製する
フィルタープレス	フィルタープレス	圧濾機 (Atsuryoku-roki)	압착 여과기 (Apchak Yeogwagi)	廃棄物残渣の脱水
制作者:CTIA グループ				

黄色酸化タングステン(WO_3)および関連化合物の前駆体

中国語	英語	日本語	韓国語	釈義
メタタングステン酸アンモニウム	メタタングステン酸アンモニウム (AMT)	メタタングステン酸アンモニウム (Meta Tangusuten-san Anmoniumu)	메타텅스텐산 암모늄 (Metateongseuten-san Ammonyum)	WO_3 Major precursor
タングステン酸	タングステン酸	タングステン酸 (Tangusuten-san)	텅스텐산 (テオンセウテンさん)	H_2WO_4 、黄色の沈殿物
タングステン酸ナトリウム	タングステン酸ナトリウム	タングステン酸ナトリウム	텅스텐산 나트륨 (Teongseuten-san Nateuryum)	Na_2WO_4 、碱浸产物
タングステ	タングステンパウダー	タングステンパウダー	텅스텐 분말	WO_3 削減製品

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ン粉末		(タングステンファンマツ)	(Teongseuten Bunmal)	
タングステン濃縮物	タングステン濃縮物	タングステン精鉱	팅스텐 정광 (Teongseuten Jeonggwang)	WO ₃ 含有量 50%-70%
制作者:CTIA グループ				

黄酸化タングステン(WO₃)の安全性と環境。

中国語	英語	日本語	韓国語	釈義
毒性	毒性	毒性(独星)	독성 (ドクソン)	LD ₅₀ >2000 mg/kg
職業暴露限界	職業暴露限界	職業暴露限界 (Shokugyō Bakuro Genkai)	직업 노출 한계 (Jigeop Nochul Hangye)	3 mg/m ³ (中国規格)
生態毒性	生態毒性	生態毒性 (Seitai Dokusei)	생태 독성 (センテ・ドクソン)	魚類 LC ₅₀ >100 mg/L
排ガス処理	排ガス処理	排ガス処理 (Hai Gasu Shorey)	배기가스 처리 (ベギガセウ チオリ)	NH ₃ の吸収
廃液処理	廃水処理	廃液処理 (high-unity body)	폐액 처리 (Pyeaek Cheori)	W による降水量の回復
保護手袋	保護手袋	保護手袋 (Hogo Tegbukuro)	보호 장갑 (自由奔放に生きる長邁)	ニトリル素材
ヒュームフード	ヒュームフード	ドラフトフード (Dorafuto Chanbā)	흡 후드 (ヒョム・フデウ)	ダスト操作
制作者:CTIA グループ				

黄色酸化タングステン(WO₃)の業界用語。

中国語	英語	日本語	韓国語	釈義
タングステン産業チェーン	タングステン産業チェーン	タングステン産業チェーン (Tangusuten Sangyō Chēn)	팅스텐 산업 체인 (Teongseuten Saneop Chein)	仕事への鉱石
高純度	高純度	高純度 (Kōjundo)	고순도 (御順島)	WO ₃ >99.9%
ナノマテリアル	ナノマテリアル	ナノ材料 (Nano Zairyo)	나노 재료 (小さなジェリー)	<100 nm
グリーン製造	グリーンマニュファクチャリング	グリーン製造 (Gurin Seizō)	녹색 제조 (ノクセク 済塩)	環境にやさしいプロセス
制作者:CTIA グループ				

CTIA グループ

三酸化タングステン(黄色タングステン、WO₃、黄色三酸化タングステン、YTO)はじめに

1.三酸化タングステンの概要

CTIA グループの三酸化タングステン(黄色のタングステン、WO₃と呼ばれる)は、GB/T 3457-2013 "酸化タングステ

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

ン"ファーストクラスの製品の要件を満たすパラタングステン酸アンモニウム高温焼成プロセスによって生成されます。黄色のタングステンは、その淡黄色の結晶粉末の形態、高純度および化学的安定性のために、タングステン粉末、超硬合金、タングステンワイヤおよびセラミック着色剤の調製に広く使用されています。CTIA GROUP は、粉末冶金および工業製造のニーズを満たすために、高品質の黄色タングステン製品を提供することに取り組んでいます。

2. 三酸化タングステンの特性

化学組成:WO₃。

純度:≥99.95%で、不純物含有量が非常に少ない。

外観:淡黄色の結晶粉末、均一な色。

多形:単斜晶系(室温で最も一般的)、空間群 P2₁ / n。

高い安定性:空気中で安定しており、水やフッ化水素酸を除く無機酸に不溶です。

反応性:水素(>650°C)または炭素(1000-1100°C)によってタングステン粉末に還元できます。

均一性:粒子分布が均一で、下流の処理に適しています。

3.三酸化タングステンの仕様

インデックス	CTIA GROUP イエロータングステン 1 級標準
WO ₃ 含有量(wt%)	≥99.95 銭
不純物(wt%,max.)	Fe≤0.0010、Mo≤0.0020、Si≤0.0010、Al≤0.0005、Ca≤0.0010、Mg≤0.0005、K≤0.0010、Na≤0.0010、S≤0.0005、P≤0.0005
水分(wt%)	0≤0.05
粒子サイズ	1-10(μm,FSSS)
密度が緩い	2.0-2.5(グラム/cm ³)
カスタマイズ	粒子サイズまたは不純物の制限は、顧客の要件に応じてカスタマイズできます

4.三酸化タングステンの包装と保証

パッキング:内側の密封されたビニール袋、外側の鉄ドラムまたは織物袋、正味重量 50kg または 100kg、防湿設計。

保証:各バッチには、WO₃含有量、不純物分析、粒子サイズ(FSSS 法)、ルース密度、水分データを含む品質証明書が付属しています。

5. 三酸化タングステン調達情報

E メール:sales@chinatungsten.com Tel:+86 592 5129696

黄色のタングステンの詳細については、中国タングステンオンライン [をご覧ください www.tungsten-powder.com](http://www.tungsten-powder.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



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