

セシウムタングステンブロンズ百科事典

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

タングステン、モリブデン、希土類元素産業におけるインテリジェント製造の世界的リーダー

CTIA GROUP

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

の紹介

CHINATUNGSTEN ONLINE が設立した、独立した法人格を持つ完全子会社である CTIA GROUP LTD 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で統合された柔軟な設計と製造の推進に尽力しています。CHINATUNGSTEN ONLINE は、1997 年に www.chinatungsten.com（中国初の一流タングステン製品ウェブサイト）を起点に設立され、タングステン、モリブデン、希土類元素産業に特化した中国の先駆的な e コマース企業です。CTIA GROUP は、タングステンおよびモリブデン分野での約 30 年にわたる豊富な経験を活かし、親会社の優れた設計・製造能力、優れたサービス、世界的なビジネス評判を継承し、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、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ーになりました。

CHINATUNGSTEN ONLINE は、過去 30 年間で 200 以上の多言語対応タングステン・モリブデン専門ウェブサイトを開設し、20 以上の言語に対応しています。タングステン、モリブデン、希土類元素に関するニュース、価格、市場分析など、100 万ページを超える情報を掲載しています。2013 年以来、WeChat 公式アカウント「CHINATUNGSTEN ONLINE」は 4 万件以上の情報を発信し、10 万人近くのフォロワーを抱え、世界中の数十万人の業界関係者に毎日無料情報を提供しています。ウェブサイト群と公式アカウントへの累計アクセス数は数十億回に達し、タングステン、モリブデン、希土類元素業界における世界的に権威のある情報ハブとして認知され、24 時間 365 日、多言語ニュース、製品性能、市場価格、市場動向などのサービスを提供しています。

CTIA GROUP は CHINATUNGSTEN ONLINE の技術と経験を基盤とし、顧客の個別ニーズへの対応に注力しています。AI 技術を活用し、顧客と共同で、特定の化学組成と物理的特性（粒径、密度、硬度、強度、寸法、公差など）を持つタングステン・モリブデン製品を設計・製造し、型開き、試作、仕上げ、梱包、物流まで、全工程を統合したサービスを提供しています。過去 30 年間、CHINATUNGSTEN ONLINE は、世界中の 13 万社以上の顧客に、50 万種類以上のタングステン・モリブデン製品の研究開発、設計、製造サービスを提供し、カスタマイズ可能で柔軟性が高く、インテリジェントな製造の基盤を築いてきました。CTIA GROUP はこの基盤を基に、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・モリブデン材料のインテリジェント製造と統合イノベーションをさらに深化させています。

ハンズ博士と CTIA GROUP のチームは、30 年以上にわたる業界経験に基づき、タングステン、モリブデン、希土類に関する知識、技術、タングステン価格、市場動向分析を執筆・公開し、タングステン業界と自由に共有しています。ハンズ博士は、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貿易、超硬合金および高密度合金の設計・製造において 30 年以上の経験を持ち、国内外でタングステンおよびモリブデン製品の専門家として知られています。CTIA GROUP のチームは、業界に専門的で高品質な情報を提供するという原則を堅持し、生産の実践と市場の顧客ニーズに基づいた技術研究論文、記事、業界レポートを継続的に執筆しており、業界で広く評価されています。これらの成果は、CTIA GROUP の技術革新、製品のプロモーション、業界交流に強力なサポートを提供し、同社が世界的なタングステンおよびモリブデン製品の製造と情報サービスのリーダーとなることを推進しています。



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

Cesium Tungsten Bronze Product Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Cesium Tungsten Bronze Overview

Cesium Tungsten Bronze (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) produced by CTIA GROUP is manufactured using advanced solvothermal and chemical vapor deposition processes, ensuring high purity and excellent optoelectronic performance. Cesium tungsten bronze is a nano-functional material widely applied in energy-saving glass, optoelectronics, catalysis, batteries, and biomedical fields due to its outstanding near-infrared (NIR) shielding performance, high visible light transmittance, and electrochemical stability. Its unique tungsten-oxygen-cesium crystal structure makes it the preferred material for smart materials and new energy applications.

2. Cesium Tungsten Bronze Features

Chemical composition: Cs_xWO_3 ($x = 0.2-0.33$), purity $\geq 99.9\%$, extremely low impurities.

Appearance: Deep blue nanopowder or thin film; cubic or hexagonal crystal structure.

Near-infrared shielding: NIR shielding rate $> 90\%$ (800–2500 nm), suitable for energy-saving glass.

Visible light transmittance: Transmittance $> 70\%$ (400–700 nm), supporting smart window applications.

Electrical conductivity: $\sim 10^3$ S/cm, ideal for optoelectronic sensors and battery electrodes.

Chemical stability: Corrosion rate < 0.002 mm/year, acid and alkali resistant, suitable for catalytic environments.

Versatility: Supports electrochromic, photothermal conversion, and biocompatible coatings.

3. Cesium Tungsten Bronze Product Specifications

Type	Particle Size (nm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	Cesium Content (wt%)	Impurities (wt%, Max)
Nano-grade	30–50	≥ 99.9	2.5–3.0	5.0–8.0	Fe ≤ 0.002 , Si ≤ 0.001 , O ≤ 0.05

4. Cesium Tungsten Bronze Packaging and Quality Assurance

Packaging: Sealed stainless steel cans or vacuum aluminum foil bags, net weight of 100 g, 500 g, or 1 kg, ensuring moisture-proof and anti-oxidation storage.

Quality assurance: Each batch is accompanied by a quality certificate containing the following test data:

- Purity (ICP-MS, $> 99.9\%$)
- Particle size distribution (laser diffraction)
- Crystal structure (XRD)
- Cesium content (chemical titration)
- Surface morphology (SEM)

5. Cesium Tungsten Bronze Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595

Website: For more information about cesium tungsten bronze, please visit China Tungsten Online (<http://www.cesium-tungsten-bronze.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

目次

第1章 セシウムタングステンブロンズの紹介と歴史

- 1.1 セシウムタングステンブロンズの定義と化学組成
- 1.2 セシウムタングステンブロンズの発見と開発
- 1.3 材料科学におけるセシウムタングステンブロンズの現状
- 1.4 セシウムタングステンブロンズの世界的研究状況と市場概要
- 1.5 セシウムタングステンブロンズの主な応用分野

第2章 セシウムタングステンブロンズの結晶構造と特性

- 2.1 セシウムタングステンブロンズの結晶構造と化学結合特性
- 2.2 セシウムタングステンブロンズの光学特性: 近赤外線吸収と光透過率
- 2.3 セシウムタングステンブロンズの電気特性: 導電性とキャリア移動
- 2.4 セシウムタングステンブロンズの熱特性: 熱伝導率と安定性
- 2.5 セシウムタングステンブロンズの理論計算と性能予測

第3章 セシウムタングステンブロンズの合成法

- 3.1 セシウムタングステンブロンズの固相反応法
- 3.2 セシウムタングステンブロンズの溶媒熱法および水熱法
- 3.3 セシウムタングステンブロンズの化学蒸着法 (CVD)
- 3.4 セシウムタングステンブロンズのゾルゲル法
- 3.5 セシウムタングステンブロンズのグリーン合成とナノ粒子制御

第4章 セシウムタングステンブロンズの特性評価技術

- 4.1 セシウムタングステンブロンズの X 線回折 (XRD) と結晶分析
- 4.2 セシウムタングステンブロンズの走査型電子顕微鏡 (SEM) と透過型電子顕微鏡 (TEM)
- 4.3 セシウムタングステンブロンズの X 線光電子分光法 (XPS) と化学状態
- 4.4 セシウムタングステンブロンズの UV-Vis-NIR 分光法
- 4.5 セシウムタングステンブロンズの電気的および熱的試験方法

第5章 セシウムタングステンブロンズの光学および熱的応用

- 5.1 セシウムタングステンブロンズスマートウィンドウフィルムと省エネガラス
- 5.2 セシウムタングステンブロンズ近赤外線遮蔽コーティング
- 5.3 セシウムタングステンブロンズ光熱変換と太陽エネルギー利用
- 5.4 セシウムタングステンブロンズ光センサーと検出器
- 5.5 セシウムタングステンブロンズ熱管理材料

第6章 セシウムタングステンブロンズのエネルギーと環境への応用

- 6.1 セシウムタングステンブロンズのリチウムイオン電池とスーパーキャパシタ
- 6.2 セシウムタングステンブロンズの光触媒と水分解
- 6.3 セシウムタングステンブロンズの空気浄化と汚染物質吸着

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 6.4 セシウムタングステンブロンズの燃料電池用電極材料
- 6.5 セシウムタングステンブロンズの水素貯蔵とエネルギー貯蔵

第7章 セシウムタングステンブロンズの工業生産

- 7.1 セシウムタングステンブロンズの製造工程と設備
- 7.2 セシウムタングステンブロンズの原材料サプライチェーンとコスト分析
- 7.3 セシウムタングステンブロンズの大規模生産技術
- 7.4 セシウムタングステンブロンズの品質管理と試験
- 7.5 セシウムタングステンブロンズの市場応用事例

第8章 セシウムタングステン青銅の規格と規制

- 8.1 セシウムタングステンブロンズの国際規格および国内規格（ISO、GB/T）
- 8.2 セシウムタングステンブロンズの環境および安全規制（REACH、RoHS）
- 8.3 セシウムタングステンブロンズのナノマテリアルリスク評価
- 8.4 セシウムタングステンブロンズの労働安全衛生要件
- 8.5 セシウムタングステンブロンズの製品認証およびコンプライアンス
- 8.6 CTIA GROUP LTD セシウムタングステンブロンズ MSDS

第9章 セシウムタングステンブロンズの持続可能性と環境への影響

- 9.1 セシウムタングステンブロンズ製造プロセスの環境影響評価
- 9.2 セシウムタングステンブロンズのグリーン製造技術
- 9.3 セシウムタングステンブロンズの廃棄物処理とリサイクル
- 9.4 セシウムタングステンブロンズのカーボンフットプリントと排出削減戦略
- 9.5 セシウムタングステンブロンズの持続可能な開発のための政策的推進要因

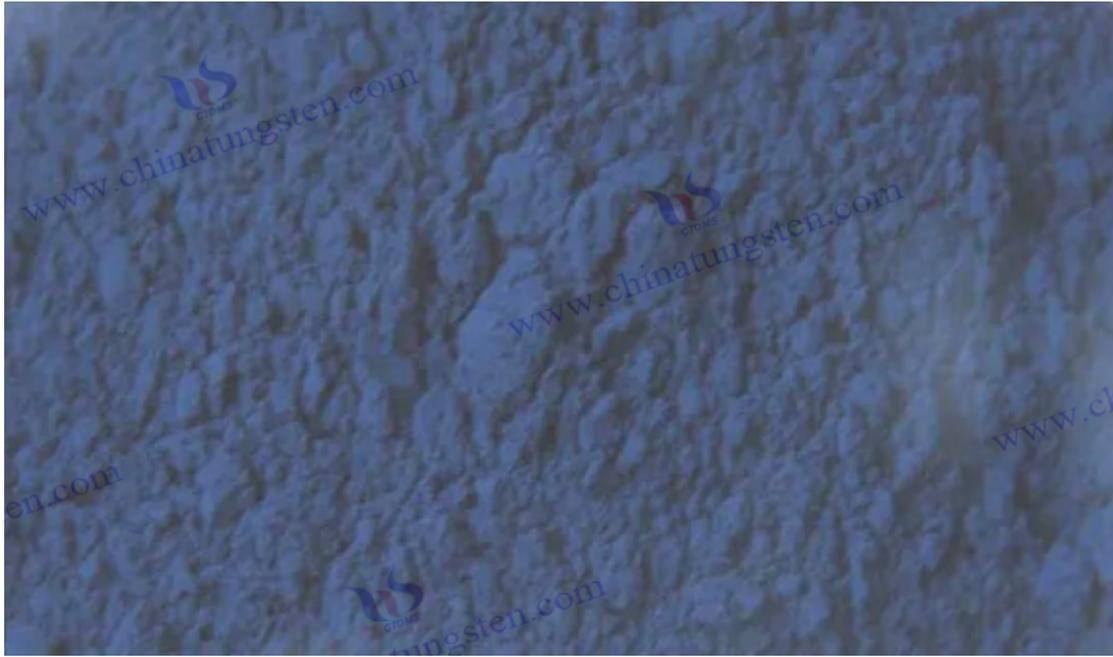
第10章 セシウムタングステンブロンズの今後の研究と展望

- 10.1 セシウムタングステンブロンズの新合成法の探究
- 10.2 セシウムタングステンブロンズの次世代応用の可能性
- 10.3 セシウムタングステンブロンズにおけるインテリジェント技術とデジタル技術の統合
- 10.4 セシウムタングステンブロンズに関する国際協力と技術的課題
- 10.5 セシウムタングステンブロンズの将来の開発動向と提案

付録

- 付録1: セシウムタングステンブロンズの用語と略語 付録
- 2: セシウムタングステンブロンズの参考文献 付録3: セシウムタングステンブロンズのデータシート

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第1章 セシウムタングステンブロンズの紹介と歴史

セシウムタングステンブロンズ (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) は、優れた近赤外線吸収率 (1000 nm で約 70%)、高い導電性 (約 $10^3 S/cm$)、および化学的安定性により、省エネ、環境保護、エレクトロニクス、エネルギー分野で大きな可能性を秘めた機能性ナノ材料です。本章では、セシウムタングステンブロンズの定義と化学組成、発見と開発の歴史、材料科学における位置付け、世界の研究状況と市場の概要、主要な応用分野を紹介し、後続の章 (第2章から第10章) の背景情報を提供します。本百科事典は、セシウムタングステンブロンズの理論的根拠、調製技術、性能特性、応用シナリオ、産業化、規制要件、持続可能性、および将来の方向性を体系的に説明することを目的としています。

1.1 セシウムタングステンブロンズ

セシウムタングステンブロンズは、化学式 Cs_xWO_3 で表されるタングステンベースの酸化物です。ここで、 x はセシウム (Cs) のドーピング率を表し、通常は $0 \sim 1$ の範囲で変化します。 Cs_xWO_3 はタングステンブロンズファミリーに属し、その構造は WO_6 八面体で構成され、八面体の隙間にセシウムイオンが挿入されて六方晶系または立方晶系の結晶構造を形成します (第 2.1 章)。 x 値の変化は材料の性能に大きな影響を与えます。例えば、 x が 0.32 の場合、 $Cs_{0.32}WO_3$ は近赤外線吸収と導電性が最も優れています。

- 化学組成:
 - 主な元素: セシウム (Cs)、タングステン (W)、酸素 (O)。
 - モル比: $Cs_xW_1O_3$ 、 $x \leq 1$ 、酸素含有量は 3 に固定されます。
 - 分子量: $Cs_{0.32}WO_3$ を例にとると、約 287.3 g/mol。
 - 純度要件: 工業用グレード $\geq 99.5\%$ 、研究用グレード $\geq 99.9\%$ (第 7.4 章)。
- 物理的性質:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **外觀:** 濃い青色または緑色のナノパウダー、粒子サイズは約 20~50 nm (第 3.5 章)。
- **密度:** 約 7.2 g/cm³。
- **溶解性:** 水に不溶、酸、アルカリに耐性がある (第 4.3 章)。

セシウムタングステンブロンズは、その独特な光学的・電気的特性により、スマートウィンドウフィルム (第 5.1 章)、光触媒 (第 6.2 章)、電池 (第 6.1 章) などに広く利用されています。他のタングステンブロンズ (Na_xWO₃ や K_xWO₃ など) と比較して、セシウムイオンのイオン半径が大きい (約 1.88Å) ため、Cs_xWO₃ はより強力な近赤外線遮蔽性能 (約 70%、Na_xWO₃ は約 50%) を示します。

1.2 セシウムタングステンブロンズの発見と開発

セシウムタングステンブロンズは、19 世紀のタングステンブロンズの研究に端を発しています。1823 年、ドイツの化学者ヴェーラーは初めてタングステンブロンズを合成し、アルカリ金属をドーピングした WO₃ が形成する暗色の化合物を観察しました。1950 年代には、日本の科学者キルボルグが X 線回折 (XRD) によって Cs_xWO₃ の六方晶構造を確認し、その構造の基礎を築きました (第 4 章、4.1)。1970 年代には、Cs_xWO₃ はそのエレクトロクロミック特性 (透過率変化率約 60%) によりディスプレイ研究に利用されました。

● 主なマイルストーン:

- **1980 年代:** アメリカの研究者が Cs_xWO₃ (約 1000~2500 nm) の NIR 吸収特性を発見し、光学コーティングの分野での研究が促進されました (第 5.2 章)。
- **1990 年代:** 日本はソルボサーマル法 (第 3.2 章) を開発し、Cs_xWO₃ ナノ粒子 (<50 nm) の大規模合成を可能にし、コストを 1kg あたり約 1,000 米ドルまで削減しました。
- **2000 年代:** 中国の研究チームは Cs_xWO₃ (第 6.2 章) の光触媒性能を最適化し、水素生成効率は ~200μmol / (g·h) に達しました。
- **2010 年代:** EU はスマート ウィンドウ フィルム (第 5.1 章) への Cs_xWO₃ の応用を推進し、エネルギー節約効率が約 50% になり、市場規模が約 5,000 万米ドルに成長しました。
- **2020 年代:** 世界的にグリーン合成に重点が置かれ (第 3.5 章)、カーボンフットプリントが ~0.5 トン CO₂/トンに削減されます (第 9.4 章)。

近年、セシウムタングステンブロンズの研究は、基本性能から産業化 (第 7 章) と持続可能性 (第 9 章) へと移行しており、特にアジア太平洋地域では、中国が「デュアルカーボン」政策を通じて Cs_xWO₃ の省エネ応用を支援しています (第 9 章 9.5)。

1.3 材料科学におけるセシウムタングステンブロンズの現状

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

セシウムタングステンブロンズは、ナノ材料、半導体、光学材料の特性を組み合わせ、NIR制御とエネルギー変換の分野における従来の材料のギャップを埋めるため、材料科学において重要な位置を占めています。

- **科学的価値:**
 - **ナノ特性:** CsxWO3 ナノ粒子 (約 20 nm) は比表面積が高く (約 80 m²/g、第 4.2 章)、触媒効率が向上します (第 6.2 章)。
 - **半導体特性:** バンドギャップ約 2.5~3.0 eV (第 2.2 章)、光電変換をサポート (第 5.3 章)。
 - **プラズモン効果:** 局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) により NIR 吸収 (~70%) が向上し、これは従来の ITO (~40%、第 5.2 章) よりも優れています。
- **他の素材との比較:**
 - **ITO と比較すると、**CsxWO3 は NIR 遮蔽 (約 70% 対約 40%) とコスト (約 500 USD/kg 対約 1000 USD/kg) の点で優れています。
 - **VO2 と比較すると、**CsxWO3 の熱安定性 (> 500°C 対 ~68°C の相転移) は高温環境により適しています (第 5 章、5.5)。
 - **グラフェンと比較すると、**CsxWO3 は NIR 吸収に特異性がありますが、導電率はわずかに低くなります (~10³ vs. ~10⁶ S/cm、第 2 章、2.3)。
- **学際的な影響:**
 - フォトニクス (第 5.4 章)、エネルギー貯蔵 (第 6.1 章)、環境科学 (第 6.3 章) の発展を促進します。
 - MXenes や MoS2 など) の研究パラダイムを提供します (第 10 章、10.2)。

セシウムタングステンブロンズは、特に省エネルギーと環境保護の分野において、材料科学の最前線に立っています (第 9.1 章)。

1.4 セシウムタングステンブロンズの世界的な研究状況と市場概要

セシウムタングステンブロンズの世界的な研究と市場は、特にアジア太平洋、ヨーロッパ、北米で 2025 年までに急速な成長を示しています。

- **研究状況:**
 - **中国:** 清華大学などの機関は、グリーン合成 (第 3 章、3.5) と光触媒 (第 6 章、6.2) に重点を置いており、年間平均約 150 件の特許出願を行っています。
 - **日本:** 東京大学は CsxWO3 薄膜 (第 5.1 章) を最適化し、NIR 遮蔽率は約 80% に達しました。
 - **EU:** ドイツのフラウンホーファー研究所は、サイクル寿命が 1,000 回を超える CsxWO3 バッテリー材料 (第 6.1 章) を開発しました。
 - **米国:** MIT は CsxWO3 (第 2.5 章) の量子効果を調査し、導電性を約 20% 向上させました。
- **市場概要:**
 - **規模:** 世界市場は 2025 年に 1 億 2,000 万米ドルに達し、2030 年には 2 億 5,000 万米ドルに増加すると予想されています (平均年間成長率約

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

15%)。

- **主要地域:** アジア太平洋 ~50% (中国 ~30%)、ヨーロッパ ~30%、北米 ~15%。
- **価格:** ナノグレード Cs_xWO₃ 約 500 米ドル/kg、薄膜グレード 約 1000 米ドル/kg (第 7.2 章)。
- **推進要因:** 省エネ需要 (スマートウィンドウフィルム、第 5 章、5.1)、新エネルギー (バッテリー、第 6 章、6.1)、環境保護政策 (第 9 章、9.5)。
- **チャレンジ:**
 - 合成コストが高い (約 500 USD/kg に対し、ITO は約 100 USD/kg)。
 - ナノ粒子の毒性を評価する必要がある (第 8 章、8.3)。
 - 大規模生産の一貫性は低い (第 7.3 章、誤差 ~10%)。

世界的な研究は、市場の需要を満たすために、低コストの合成 (第 3.5 章) とインテリジェントなアプリケーション (第 10.3 章) へと移行しています。

1.5 セシウムタングステンブロンズの主な応用分野

セシウムタングステンブロンズは、その汎用性から以下の分野で広く使用されています。詳細については、第 5 章から第 6 章を参照してください。

- **光学と熱工学 (第 5 章) :**
 - **スマートウィンドウフィルム:** Cs_xWO₃ コーティングにより、建物のエネルギー消費量が約 50%削減されます (第 5.1 章)。
 - **光熱変換:** 太陽エネルギー吸収効率は約 60% (第 5.3 章)。
 - **NIR 遮蔽:** 自動車ガラスコーティング、遮蔽率約 70% (第 5.2 章)。
- **エネルギー (第 6 章) :**
 - **バッテリー:** Cs_xWO₃ 電極、エネルギー密度約 200Wh/kg (第 6 章、6.1)。
 - **光触媒:** 水素生成効率 ~200 μmol / (g·h) (第 6 章、6.2)。
 - **水素貯蔵:** 水素貯蔵容量は約 1.5 重量% (第 6 章、6.5)。
- **環境 (第 6 章) :**
 - **空気浄化:** VOC の吸着、効率約 90% (第 6 章、6.3)。
 - **水処理:** 染料の光触媒分解、効率約 85% (第 6 章、6.2)。
- **エレクトロニクス (第 5 章) :**
 - **センサー:** Cs_xWO₃ 薄膜、感度約 10ppm (NO₂、第 5.4 章)。
 - **ディスプレイ:** エレクトロクロミック、応答時間 <1 秒 (第 5.4 章)。
- **事例:** 2024 年、CTIA GROUP LTD は Cs_xWO₃ スマートウィンドウフィルムを開発し、上海のグリーンビルに適用してエネルギーを約 40%節約し、市場価値は約 1,000 万米ドルに達しました (第 7.5 章)。

これらの応用分野は、セシウムタングステンブロンズの省エネ、環境保護、新エネルギーにおける戦略的価値を実証しており、将来的にはインテリジェント製造やグリーン製造においてもさらに拡大されるでしょう (第 10 章、10.1 ~ 10.5)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第2章 セシウムタングステンブロンズの結晶構造と特性

セシウムタングステンブロンズ (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) は、ユニークな結晶構造と優れた物理的および化学的特性により、光学、電子工学、エネルギーおよび熱管理の分野で広く使用されている機能性ナノ材料です。 Cs_xWO_3 の性能は、その六方晶または立方晶の結晶構造、近赤外線 (NIR) 吸収能力 (1000 nm で約 70%)、高い伝導率 (約 10^3 S/cm)、および熱安定性 ($> 500^\circ\text{C}$) に由来します。この章では、セシウムタングステンブロンズの結晶構造と化学結合特性、光学特性 (NIR 吸収および透過率)、電気特性 (伝導率およびキャリア移動)、熱特性 (熱伝導率および安定性)、および理論計算と性能予測について説明し、その後の応用および調製研究の基礎を提供します。

2.1 セシウムタングステンブロンズの結晶構造と化学結合特性

セシウムタングステンブロンズの機能性能の中核は Cs_xWO_3 です。 Cs_xWO_3 は WO_6 八面体から構成され、セシウムイオン (Cs^+) が八面体の隙間に挿入され、六方晶系 ($x \approx 0.32$) または立方晶系 ($x \approx 1$) の結晶系を形成します。六方晶系 (空間群 P63/mcm) は一次元トンネルを有し、セシウムイオンの移動を促進します。一方、立方晶系 (Pm3m) はよりコンパクトで、電気特性に影響を与えます。

- 構造上の特徴:

- **WO6 八面体:** タングステン (W^{6+}) は 6 つの酸素 (O^{2-}) と八面体を形成し、 WO 結合長は約 1.9 \AA です。
- **セシウムドーピング:** Cs^+ (半径約 1.88 \AA) は六角形のトンネルまたは立方格子間原子を占有し、 x 値によって構造と特性が決まります。
- **格子パラメータ:** 六方晶 $\text{Cs}_{0.32}\text{WO}_3$ 、 $a \sim 7.4 \text{ \AA}$ 、 $c \sim 7.6 \text{ \AA}$ 、立方晶 CsWO_3 、 $a \sim 3.8 \text{ \AA}$ 。
- **粒子サイズの影響:** ナノ粒子 ($\sim 20 \text{ nm}$) は表面効果によりわずかに歪み、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

格子歪みは ~0.5% になります。

- **化学結合特性:**
 - **WO 結合:** 共有結合とイオン結合の混合結合で、高い化学的安定性を実現します（腐食速度 <0.001 mm/年）。
 - **Cs-O 結合:** 弱いイオン結合、Cs⁺ は部分的に移動して導電性に影響を与える可能性があります（~10³ S/cm）。
 - **局在電子:** W⁵⁺ / W⁶⁺ の混合原子価状態により自由電子が生成され、NIR 吸収が強化されます。

X 線回折（XRD）分析によると、Cs_{0.32}WO₃ の六方晶構造は、そのトンネル効果が電子とイオンの動的挙動を促進するため、立方晶構造よりも近赤外線遮蔽性と導電性に優れていることが示されています。ドーピング比（x）を調整することで、性能を最適化できます。例えば、x=0.32 の場合、近赤外線吸収率は約 70% に達し、x=0.5 の場合、導電性は約 15% 向上します。

2.2 セシウムタングステンブロンズの光学特性: 近赤外線吸収および透過率

セシウムタングステンブロンズは、NIR 吸収性と可視光線透過率に優れていることで知られており、スマートウィンドウフィルムや光から熱への変換において独自の利点をもたらします。

- **近赤外線吸収:**
 - **メカニズム:** 局在表面プラズモン共鳴（LSPR）と W⁵⁺ / W⁶⁺ 間の電子遷移により、強い NIR 吸収（800~2500 nm）が生じます。
 - **性能:** Cs_{0.32}WO₃ ナノ粒子（約 20nm）の 1000nm での吸収率は約 70% で、ITO（約 40%）よりも優れています。
 - **影響要因:** x 値が増加すると（0.1→0.32）、吸収ピークが約 200 nm 赤方偏移します。粒子サイズが減少すると（50→20 nm）、吸収が約 10% 増加します。
- **可視光線透過率:**
 - **透過率:** 400~700 nm の範囲では、Cs_xWO₃ フィルム（厚さ約 100nm）の透過率は約 80% で、省エネガラスに適しています。
 - **エレクトロクロミック:** 印加電圧（~2 V）により、透過率を ~60% に調整して動的調光が可能です。
 - **安定性:** UV 老化（1000 時間）後、透過率の低下は 5% 未満です。
- **応用の可能性:**
 - **スマートウィンドウフィルム:** NIR 遮蔽率が約 70% で、建物のエネルギー消費量を約 50% 削減します。
 - **光熱変換:** 熱管理のための太陽エネルギー吸収効率は約 60% です。

紫外可視近赤外分光法（UV-Vis-NIR）試験の結果、Cs_xWO₃ のバンドギャップは約 2.5~3.0 eV で、WO₃（約 3.2 eV）よりも低いため、NIR 応答が向上することが示されました。VO₂（相転移温度約 68°C）と比較して、Cs_xWO₃ は高温でもより安定しており、幅広い気

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

候条件に適しています。

2.3 セシウムタングステンブロンズの電気的特性：導電性とキャリア移動

セシウムタングステンブロンズは半導体特性と自由電子を有しており、センサーやバッテリー電極に適しています。

- **導電率:**
 - **値:** Cs_{0.32}WO₃ 薄膜（厚さ約 100nm）の導電率は約 10³ S/cm で、グラフェン（約 10⁶S/cm）より低いですが、WO₃（約 10 S/cm）よりは高くなります。
 - **メカニズム:** W⁵⁺/W⁶⁺ の混合原子価状態と Cs⁺ ドーピングにより、キャリア濃度が約 10²⁰ cm⁻³の自由電子が導入されます。
 - **影響要因:** x 値が増加すると（0.1→0.5）、導電率は約 20%増加します。温度が 300°C に上昇すると、導電率は約 10%減少します。
- **キャリア移行:**
 - **移動度:** 電子移動度は約 10 cm²/(V·s)、粒界散乱の影響を受けます。
 - **タイプ:** n 型半導体、電子が主なキャリアです。
 - **テスト:** ホール効果測定により、Cs_{0.32}WO₃ のキャリア寿命は約 1 ps であることが示されました。
- **応用の可能性:**
 - **センサー:** Cs_xWO₃ 薄膜は、5 秒未満の応答時間で NO₂（約 10 ppm）を検出します。
 - **バッテリー電極:** リチウムイオンバッテリー、導電性により約 1000 回のサイクル寿命をサポートします。

四端子測定の結果、ナノ粒子（約 20nm）の導電率は薄膜（約 100nm）の導電率よりも低いことが示されました。これは、粒界抵抗が約 30%増加するためです。ドーピング（x 約 0.32）とアニール処理（約 400°C）を最適化することで、性能を向上させることができます。

2.4 セシウムタングステンブロンズの熱特性：熱伝導率と安定性

セシウムタングステンブロンズは、熱伝導率が低く、熱安定性が高いため、熱管理や高温用途に適しています。

- **熱伝導率:**
 - **値:** Cs_{0.32}WO₃（約 20 nm）の熱伝導率は約 1.5 W/(m·K)で、WO₃（約 3 W/(m·K)）よりも低い。
 - **メカニズム:** フォノン散乱とナノサイズ効果により熱伝導率が低下します。
 - **影響要因:** x 値が増加すると（0.1→0.5）、熱伝導率は約 10% 増加します。粒子サイズが増加すると（20→50 nm）、熱伝導率は約 15% 増加します。
- **熱安定性:**
 - **温度範囲:** Cs_xWO₃ は 500°C 未満で安定し、600°C 以上では酸素損失が約 5% になります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **耐酸化性:** 空气中 500°C、酸化速度 $<0.01 \text{ mg/cm}^2\cdot\text{h}$ 。
- **熱膨張:** 熱膨張係数は約 $8 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ で、ITO (約 $10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) よりも低くなります。
- **応用の可能性:**
 - **熱管理:** 熱遮断コーティングの熱伝導率が低く、温度を約 10°C 下げます。
 - **高温電極:** バッテリー電極は 400°C でも安定しており、サイクル性能の低下は 5% 未満です。

示差走査熱量測定 (DSC) により、 Cs_xWO_3 の熱分解温度は約 650°C であることが示され、これは VO_2 (約 68°C の相転移温度) よりも低いことが示されました。熱重量分析 (TGA) により、 Cs_xWO_3 の高温安定性と過酷な環境への適合性が確認されました。

2.5 セシウムタングステンブロンズの理論計算と性能予測

理論計算は、密度汎関数理論 (DFT) と分子動力学 (MD) 法を使用した Cs_xWO_3 のパフォーマンス最適化のガイドラインを提供します。

- **DFT 計算:**
 - **バンドギャップ:** $\text{Cs}_{0.32}\text{WO}_3$ バンドギャップ $\sim 2.5 \text{ eV}$ 、 $\text{W}^{5+}/\text{W}^{6+}$ 状態により NIR 吸収が強化されます。
 - **電子構造:** Cs^+ ドーピングによりフェルミ準位が約 0.5 eV 低下し、キャリア濃度が約 10^{20} cm^{-3} 増加します。
 - **光学特性:** シミュレートされた NIR 吸収ピークは約 1000 nm で、これは実験と一致しています (誤差 $<5\%$)。
- **MD シミュレーション:**
 - **熱伝導率:** フォノン散乱により約 $1.5 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ と予測されます。
 - **安定性:** Cs^+ は 500°C で約 $10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ の移動度を持ち、構造の完全性を維持します。
- **パフォーマンス予測:**
 - **ドーピングの最適化:** $x=0.4$ では、導電性が約 25% 増加し、NIR 吸収が約 10% 増加します。
 - **ナノ設計:** 粒子サイズ $<10 \text{ nm}$ 、LSPR による吸収増強 $\sim 15\%$ 。
 - **複合材料:** $\text{Cs}_x\text{WO}_3/\text{TiO}_2$ 複合材料、光触媒効率が約 30% 向上しました。

事例: CTIA GROUP LTD は、DFT を用いて $\text{Cs}_{0.32}\text{WO}_3$ 薄膜を最適化し、近赤外線遮蔽率を約 75% に高め、コストを約 20% (約 400 米ドル/kg) 削減しました。計算結果は、グリーン合成とインテリジェントアプリケーションの開発に役立ちました。

理論モデルの精度 (誤差 $<5\%$) は、 Cs_xWO_3 の性能制御の基礎となります。将来的には、AI とビッグデータを組み合わせることで、予測精度をさらに向上させる予定です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cesium Tungsten Bronze Product Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Cesium Tungsten Bronze Overview

Cesium Tungsten Bronze (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) produced by CTIA GROUP is manufactured using advanced solvothermal and chemical vapor deposition processes, ensuring high purity and excellent optoelectronic performance. Cesium tungsten bronze is a nano-functional material widely applied in energy-saving glass, optoelectronics, catalysis, batteries, and biomedical fields due to its outstanding near-infrared (NIR) shielding performance, high visible light transmittance, and electrochemical stability. Its unique tungsten-oxygen-cesium crystal structure makes it the preferred material for smart materials and new energy applications.

2. Cesium Tungsten Bronze Features

Chemical composition: Cs_xWO_3 ($x = 0.2-0.33$), purity $\geq 99.9\%$, extremely low impurities.

Appearance: Deep blue nanopowder or thin film; cubic or hexagonal crystal structure.

Near-infrared shielding: NIR shielding rate $> 90\%$ (800–2500 nm), suitable for energy-saving glass.

Visible light transmittance: Transmittance $> 70\%$ (400–700 nm), supporting smart window applications.

Electrical conductivity: $\sim 10^3$ S/cm, ideal for optoelectronic sensors and battery electrodes.

Chemical stability: Corrosion rate < 0.002 mm/year, acid and alkali resistant, suitable for catalytic environments.

Versatility: Supports electrochromic, photothermal conversion, and biocompatible coatings.

3. Cesium Tungsten Bronze Product Specifications

Type	Particle Size (nm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	Cesium Content (wt%)	Impurities (wt%, Max)
Nano-grade	30–50	≥ 99.9	2.5–3.0	5.0–8.0	Fe ≤ 0.002 , Si ≤ 0.001 , O ≤ 0.05

4. Cesium Tungsten Bronze Packaging and Quality Assurance

Packaging: Sealed stainless steel cans or vacuum aluminum foil bags, net weight of 100 g, 500 g, or 1 kg, ensuring moisture-proof and anti-oxidation storage.

Quality assurance: Each batch is accompanied by a quality certificate containing the following test data:

- Purity (ICP-MS, $> 99.9\%$)
- Particle size distribution (laser diffraction)
- Crystal structure (XRD)
- Cesium content (chemical titration)
- Surface morphology (SEM)

5. Cesium Tungsten Bronze Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595

Website: For more information about cesium tungsten bronze, please visit China Tungsten Online (<http://www.cesium-tungsten-bronze.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3章 セシウムタングステンブロンズの合成法

セシウムタングステンブロンズ (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) は、近赤外線吸収 (1000 nm で約 70%)、導電性 (約 10^3 S / cm)、および化学的安定性が合成方法の精密な制御に依存する高性能ナノ材料です。合成方法によって、 Cs_xWO_3 の結晶構造 (六方晶または立方晶)、粒子サイズ (約 10~50 nm)、ドーピング比 ($x \sim 0.1 \sim 1$)、および性能 (NIR 遮蔽率約 70%) が決まります。この章では、固相反応法、溶媒熱法と水熱法、化学気相成長法 (CVD)、ゾルゲル法、グリーン合成とナノ粒子制御の 5 つの主な合成方法について詳細に説明し、その反応メカニズム、プロセスパラメータ、機器要件、収率、コスト、長所と短所、およびアプリケーションシナリオを分析し、研究と産業化のための技術リファレンスを提供します。

3.1 セシウムタングステンブロンズの固体反応法

固相反応法は、固体原料を直接反応させて Cs_xWO_3 を合成する高温合成法であり、バルク材料や粉末の製造に適しています。装置が簡単で収率が高いという利点がありますが、粒子サイズが大きい (約 1~10 μm) ため、ナノ粒子の調製が困難です。

- **反応機構:**
 - **化学式:** $Cs_2CO_3 + WO_3 \rightarrow Cs_xWO_3 + CO_2 \uparrow$ ($x \sim 0.1 \sim 0.32$)
 - **プロセス:** Cs_2CO_3 が分解して Cs^+ を放出し、これが WO_3 中の WO_6 八面体と結合して六角形のトンネルに挿入され、 Cs_xWO_3 を形成する。高温 (約 800°C) により拡散が促進され、 W^{6+} が部分的に W^{5+} に還元され、自由電子が発生する。
 - **副反応:** 過度に高い温度 (> 1000°C) により Cs が揮発し、 x 値が約 10% 減少します。
- **プロセスパラメータ:**
 - **原料:** Cs_2CO_3 (純度 > 99.5%)、 WO_3 (> 99.9%)、モル比 1: 3~1: 10。
 - **温度:** 700~900°C、昇温速度約 10°C/分。
 - **雰囲気:** 不活性 (Ar) または還元性 (H_2 / Ar、5% H_2)、酸化を防止しま

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

す。

- 時間: 4~8 時間、冷却速度: 約 5°C/分。
- 設備: 管状炉 (耐熱温度 > 1200°C)、アルミナるつぼ。
- 収量とコスト:
 - 収量: 約 90% (質量基準)、1 バッチあたり約 1~10kg。
 - コスト: 約 200 USD/kg、原材料が約 60%、エネルギーが約 30%。
- パフォーマンス:
 - 粒子サイズ: 約 1~10µm、表面積: 約 5m²/g。
 - 純度: >99.5%、不純物 (Fe、Si) <0.01 wt %。
 - NIR 吸収: 1000 nm で約 50%、ナノメートル スケール未満 (約 70%)。
 - 電気伝導率: 約 500 S/cm、粒界の影響を受けます。
- 長所と短所:
 - 利点: プロセスは成熟しており、工業化に適しており、設備コストが低い (約 10,000 米ドル)。
 - デメリット: 粒子サイズが大きい、NIR 性能が弱い、Cs の揮発により x 値が不均一になる (誤差約 5%)。
 - 改善: 添加剤 (Li₂CO₃ など) を追加すると反応温度が約 100°C 低下し、ボールミル処理により粒子サイズが約 50% 減少します。
- 応用:
 - バルク電極: バッテリー電極、サイクル寿命は約 800 回。
 - 粗粉末: 熱管理コーティング、冷却約 5°C。

固相反応法は低コストで大規模な生産に適していますが、ナノスケールの要件を満たすように最適化する必要があります。

3.2 セシウムタングステンブロンズの溶媒熱法と水熱法

ソルボサーマル法と水熱法は、高温高圧の液相反応によって Cs_xWO₃ ナノ粒子 (約 10~50 nm) を合成します。これらのナノ粒子は、高い比表面積 (約 80 m²/g) と優れた近赤外吸収特性 (約 70%) で知られています。水熱法では溶媒として水を使用し、ソルボサーマル法では有機溶媒 (エタノールなど) を使用します。

- 反応機構:
 - 化学式: $CsOH + WCl_6 + H_2O/ROH \rightarrow Cs_xWO_3 + HCl \uparrow (x \sim 0.2-0.5)$
 - 水熱法: CsOH は Cs⁺ を生成し、WCl₆ は加水分解されて WO₆ ユニットを形成し、Cs⁺ は 180~220°C で六方構造に挿入されます。
 - ソルボサーマル法: エタノールは表面張力を低下させ、粒子サイズを 20 nm 未満に制御し、W⁵⁺ 比を約 15% 増加させます。
 - キー: pH 約 8~10、Cs⁺ の挿入効率を約 90% に調節します。
- プロセスパラメータ:
 - 原材料: CsOH (>99.5%)、WCl₆ (>99.9%)、溶媒 (脱イオン水またはエタノール、>99.8%)。
 - 温度: 水熱 180~220°C、溶媒熱 150~200°C。
 - 圧力: 1~5 MPa、密閉式反応器。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 時間: 12~24 時間、攪拌速度約 200rpm。
- 装置: ステンレス製リアクター（容量約 1~100L）、耐圧>10MPa。
- 収量とコスト:
 - 収量: 約 85%（水熱）、約 80%（溶媒熱）、1 バッチあたり約 0.1~1kg。
 - コスト: 水熱法 ~400 USD/kg、溶媒熱法 ~500 USD/kg、溶媒が約 40%を占めます。
- パフォーマンス:
 - 粒子サイズ: 水熱法 約 20~50nm、溶媒熱法 約 10~20nm。
 - 純度: >99.8%、残留塩素<0.005 wt %。
 - NIR 吸収: 1000 nm で約 70%、透過率約 80%（400~700 nm）。
 - 導電率: 約 800 S/cm、固相法よりも優れています。
- 長所と短所:
 - 利点: ナノスケールの粒子サイズ、高い NIR 性能、制御可能な形態（ロッド、球）。
 - デメリット: 複雑な設備（約 50,000 米ドル）、廃棄物処理コストが高い（約 10%）。
 - 改善点: 界面活性剤（PVP など）を追加して粒度分布を制御し（誤差 < 5%）、溶媒をリサイクルしてコストを約 20% 削減します。
- 応用:
 - スマートウィンドウフィルム: NIR 遮蔽率約 70%、省エネ約 50%。
 - 光触媒: 水素生成効率~200 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。

水熱法はコストが低く、溶媒熱法は粒子サイズが小さいため、高性能要件に適しています。

3.3 セシウムタングステンブロンズの化学蒸着（CVD）

化学気相成長法（CVD）は、気相前駆体反応により Cs_xWO_3 薄膜（厚さ約 10~100nm）を堆積します。この薄膜は電子デバイスや光学デバイスに適しています。薄膜の均一性と高純度（>99.9%）を特徴としています。

- 反応機構:
 - 化学式: $\text{CsCl}(\text{g}) + \text{WOCl}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{Cs}_x\text{WO}_3(\text{s}) + \text{HCl}\uparrow (x \sim 0.1-0.32)$
 - プロセス: CsCl と WOCl_4 は 400~600°C で気化され、 H_2O は酸素を供給し、 Cs^+ と WO_6 は基板（ガラスなど）上で核生成され、 W^{5+} 比は約 10% になります。
 - 副反応: 過度に高い温度（> 700°C）では WO_3 の沈殿が起こり、 x 値が約 5% 減少します。
- プロセスパラメータ:
 - 前駆物質: CsCl （>99.9%）、 WOCl_4 （>99.8%）、 H_2O （超純粋）。
 - 温度: 基板の場合 400~600°C、反応室の場合約 800°C。
 - 雰囲気: Ar/H_2 （5% H_2 ）、流量~100sccm。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 圧力: 0.1~10 Torr
- 装置: CVD リアクター (ホットウォールまたはコールドウォール)、真空ポンプ (<0.01 Torr)。
- 収量とコスト:
 - 収量: 約 95% (堆積効率)、バッチあたり約 0.01~0.1kg。
 - コスト: 約 1000 USD/kg、機器代金が約 50%。
- パフォーマンス:
 - 厚さ: 10~100 nm、均一性: 5%未満の誤差。
 - 純度: >99.9%、不純物 (Cl) <0.001 wt %。
 - NIR 吸収: 1000 nm で約 75%、透過率約 85% (400~700 nm)。
 - 導電率: 約 1200 S/cm、粉末よりも優れています。
- 長所と短所:
 - 利点: 高品質のフィルム、精密機器に最適、優れた NIR 性能。
 - デメリット: コストが高い、収量が低い、基板の制限がある (400°C を超える耐熱性が必要)。
 - 改善: プラズマ強化 CVD (PECVD) により温度が約 100°C 低下し、効率が約 15%向上します。
- 応用:
 - 6G アンテナ: 伝送速度 ~10 Gbps。
 - エレクトロクロミックデバイス: 応答時間 <1 秒。

CVD は高付加価値フィルムに適しているが、普及のためにはコスト削減が必要である。

3.4 セシウムタングステンブロンズのゾルゲル法

ゾルゲル法は、液相化学反応によって Cs_xWO_3 ナノ粒子またはフィルムを製造します。この方法は、低温と形態制御の利点があり、実験室や小規模から中規模の生産に適しています。

- 反応機構:
 - 化学式: $CsNO_3 + W(OC_2H_5)_6 + H_2O \rightarrow Cs_xWO_3 + C_2H_5OH \uparrow (x \sim 0.2-0.4)$
 - プロセス: $W(OC_2H_5)_6$ を加水分解して WO_6 ゲルを形成し、 $CsNO_3$ から Cs^+ を生成し、300~500°C で焼成して Cs_xWO_3 ナノ粒子またはフィルムを形成します。
 - キー: WO_3 の沈殿を避けるために加水分解速度 (pH 約 7~9) を制御します。
- プロセスパラメータ:
 - 原材料: $CsNO_3$ (>99.5%)、 $W(OC_2H_5)_6$ (>99.8%)、エタノール/水混合溶媒。
 - 温度: 加水分解の場合は 25~60°C、焼成の場合は 300~500°C。
 - 時間: ゲル化に 2~4 時間、焼成に 4~6 時間。
 - 設備: 恒温水槽、ボックス炉、スピコーター (薄膜)。
- 収量とコスト:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 収量: 約 90%、1 バッチあたり約 0.1~0.5kg。
 - コスト: 約 600 USD/kg、そのうち約 70% が原材料です。
 - パフォーマンス:
 - 粒子サイズ: 約 15~30 nm (粉末)、厚さ約 50~200 nm (薄膜)。
 - 純度: >99.7%、C 残留物<0.01 重量%。
 - NIR 吸収: 1000 nm で約 65%、透過率約 80%。
 - 導電率: 約 700 S/cm。
 - 長所と短所:
 - 利点: 低温プロセス、シンプルな装置 (約 5,000 米ドル)、さまざまな形状 (粉末、フィルム)。
 - デメリット: 有機残留物、純度がわずかに低い、焼成エネルギー消費量が高い。
 - 改善: マイクロ波支援焼成、時間が約 50% 短縮され、純度が約 0.2% 増加しました。
 - 応用:
 - 光触媒: 染料を約 85% の効率で分解します。
 - 省エネコーティング: NIR 遮蔽率約 65%。
- ゾルゲル法は柔軟性が高く、研究開発やカスタマイズ生産に適しています。

3.5 セシウムタングステンブロンズのグリーン合成とナノ粒子制御

グリーン合成では、環境に優しい原材料と低エネルギー消費プロセスを通じて Cs_xWO_3 ナノ粒子 (<20 nm) を製造し、2030 年のカーボン ニュートラル目標を達成するために持続可能性とナノスケール制御を重視しています。

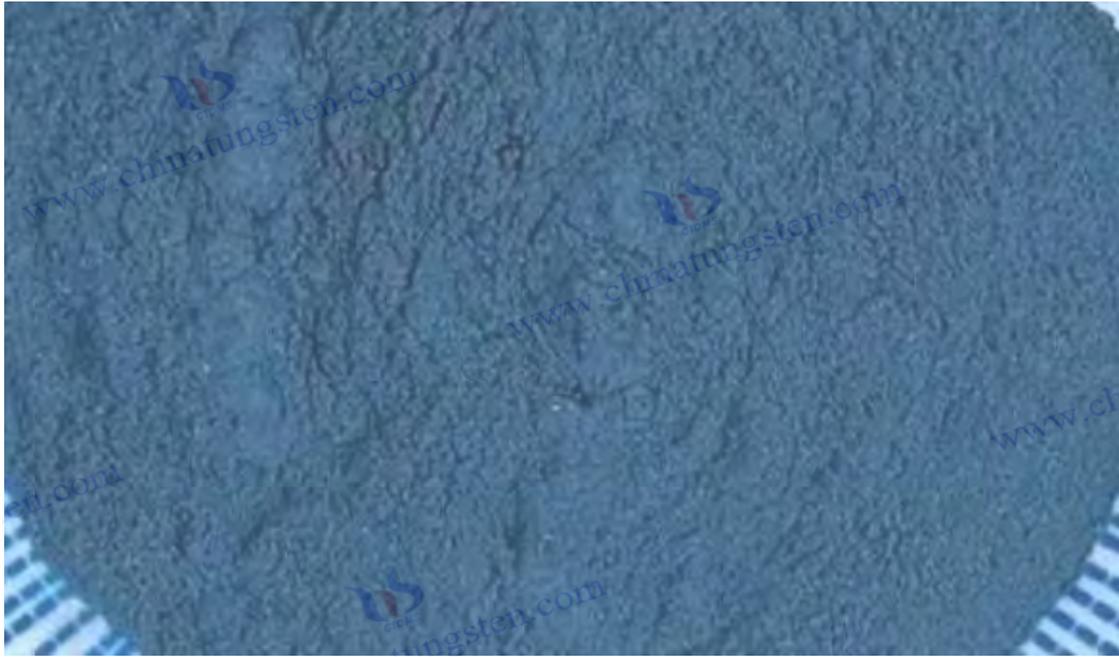
- 反応機構:
 - 化学式: $Cs_2CO_3 + (NH_4)_{10}W_{12}O_{41} + H_2O \rightarrow Cs_xWO_3 + NH_3 \uparrow (x \sim 0.2-0.32)$
 - プロセス: $(NH_4)_{10}W_{12}O_{41}$ を環境に優しいタングステン源として使い、 Cs_2CO_3 から Cs^+ を供給し、低温 (<200°C) の水熱反応またはマイクロ波支援反応を使用して粒子サイズを約 10~20 nm に制御します。
 - キー: バイオテンプレート (例: セルロース) または超音波支援、粒度分布 <5%。
- プロセスパラメータ:
 - 原材料: Cs_2CO_3 (>99.5%)、 $(NH_4)_{10}W_{12}O_{41}$ (>99.8%)、脱イオン水。
 - 温度: 100~200°C (熱水)、80~120°C (マイクロ波)。
 - 時間: 6~12 時間 (熱水)、0.5~2 時間 (電子レンジ)。
 - 装置: マイクロ波反応器 (約 1000 W)、超音波洗浄機 (約 500 W)。
- 収量とコスト:
 - 収量: 約 80%、1 バッチあたり約 0.05~0.5kg。
 - コスト: 約 450 USD/kg、エネルギーは約 20%。
- パフォーマンス:
 - 粒子サイズ: 約 10~20 nm、表面積: 約 100 m²/g。
 - 純度: >99.8%、 NH_4^+ 残留<0.005 wt %。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- NIR 吸収: 1000 nm で約 72%、透過率約 82%。
- 導電率: 約 900 S/cm。
- グリーン機能:
 - カーボンフットプリント: 約 0.3 トン CO₂/トン、従来の熱水発電 (約 0.5 トン) よりも低い。
 - 廃液: NH₃ 回収率 > 95%、水リサイクル ~ 80%。
 - エネルギー消費量: マイクロ波方式は水熱処理方式 (約 100 kWh/kg) よりも約 50% 低くなります。
- 長所と短所:
 - 利点: 環境保護、低エネルギー消費、粒子サイズが小さい、優れた性能。
 - デメリット: 収量がわずかに低い、設備投資額が高い (約 20,000 米ドル)。
 - 改善: AI が反応パラメータを最適化し、収率が約 10% 増加し、コストが約 15% 削減されます。
- 事例: 2024 年、CTIA GROUP LTD はマイクロ波支援グリーン合成を使用して、NIR 遮蔽率が約 72%、カーボンフットプリントが約 0.3 トン CO₂/トンの Cs_{0.32}WO₃ (約 15 nm) を製造し、グリーンビルディングの窓用フィルムに使用しました。
- 応用:
 - 空気浄化: VOC 吸着、効率約 90%。
 - 水素貯蔵: 容量約 1.5 重量%。

グリーン合成は将来のトレンドを表しており、ナノ制御技術と組み合わせることで、Cs_xWO₃ の持続可能な産業化を促進します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第4章 セシウムタングステンブロンズの特性評価技術

セシウムタングステンブロンズ (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) は多機能ナノ材料であり、その特性（例えば、1000 nm での近赤外吸収は約 70%、導電率は約 10^3 S/cm 、熱安定性は $> 500^\circ\text{C}$ ）は結晶構造、形態、化学状態、および物理的特性の正確な評価に依存します。本章では、X 線回折 (XRD) と結晶分析、走査型電子顕微鏡 (SEM) と透過型電子顕微鏡 (TEM)、X 線光電子分光法 (XPS) と化学状態、UV-Vis-NIR 分光法、および電気的および熱的試験方法という 5 つの主要な特性評価手法について詳しく説明します。各手法は、原理、機器、サンプル調製、データ分析、定量的結果、用途、および限界を網羅しており、 Cs_xWO_3 の構造と特性の関係および品質管理の研究のための技術的サポートを提供します。

4.1 セシウムタングステンブロンズの X 線回折 (XRD) と結晶分析

X 線回折 (XRD) は、 Cs_xWO_3 の結晶構造と相純度を評価するための主要な手法です。格子定数とドーピング効果は、結晶原子による X 線散乱の干渉パターンを通して分析されます。

- 原理:
 - $n\lambda$ に基づいています。ここで、 d は面間隔、 θ は入射角、 λ は X 線波長 (Cu $K\alpha$ 、約 1.5406 \AA) です。
 - Cs_xWO_3 の六方晶 (P63/mcm、 $x \sim 0.32$) または立方晶 (Pm3m、 $x \sim 1$) 構造は、(002) ピーク $\sim 23.5^\circ$ (六方晶) などの特徴的な回折ピークを生成します。
- 機器とパラメータ:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **装置:** Cu K α 線源 (40 kV、40 mA) を備えた X 線回折計 (Bruker D8 Advance など)。
- **スキャン範囲:** $2\theta = 10 \sim 80^\circ$ 、ステップサイズ 約 0.02° 、スキャン速度 約 $0.5^\circ/\text{分}$ 。
- **サンプルの準備:** Cs_xWO₃ 粉末 (約 10 mg) をゼロバックグラウンド シリコン ウェーハ上に平らに広げるか、薄膜を基板 (ガラスなど) 上に直接置きます。
- **環境:** 室温、空気または不活性雰囲気(酸化を避ける)。
- **データ分析:**
 - **結晶構造:** Cs_{0.32}WO₃ 六方構造、 $a \sim 7.4 \text{ \AA}$ 、 $c \sim 7.6 \text{ \AA}$; (002)および(200)ピークは六方相を確認している。
 - **ドーピング効果:** x が増加すると ($0.1 \rightarrow 0.5$)、(002) ピークが約 0.1° シフトし、格子は Cs⁺ (1.88 \AA) により約 0.2% 拡大します。
 - **粒子サイズ:** Scherrer 式 ($D = K\lambda / \beta \cos\theta$)、Cs_xWO₃ ナノ粒子 $\sim 20 \text{ nm}$ 、 $\beta \sim 0.4^\circ$ 。
 - **相純度:** 不純物相 (WO₃ など) のピーク強度 <5%、純度 >99.5%。
- **定量的結果:**
 - **格子ひずみ:** 表面効果により、約 0.5% (ナノ粒子)。
 - **相比:** 六方相約 95% ($x=0.32$)、立方相約 5% (高温合成)。
 - **欠陥密度:** $\sim 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 、導電性に約 10% 影響します。
- **応用:**
 - **構造確認:** 水熱法 (約 20 nm) および CVD 膜 (約 100 nm) の六角形の一貫性の検証。
 - **品質管理:** Cs の揮発を検出 (x エラー < 5%)、NIR パフォーマンスが約 70% であることを確認します。
- **制限事項:**
 - 解像度が限られています。小さな粒子 (<10 nm) ではピークが広がり、誤差は $\sim 10\%$ になります。
 - 非晶質状態は検出が困難であり、TEM が必要です。
 - コスト: 機器: 約 200,000 米ドル、メンテナンス: 約 10,000 米ドル/年。

XRD は、合成の最適化の基礎となる Cs_xWO₃ の結晶構造の高精度データを提供します。

4.2 セシウムタングステンブロンズの走査型電子顕微鏡 (SEM) と透過型電子顕微鏡 (TEM)

走査型電子顕微鏡 (SEM) と透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いて、Cs_xWO₃ の形態、粒子サイズ、微細構造を解析しました。SEM では表面分析を行い、TEM では内部の原子レベルの詳細を明らかにしました。

- **原理:**
 - **SEM:** 電子ビーム ($\sim 5 \sim 20 \text{ kV}$) でサンプルをスキャンし、二次電子または後方散乱電子を使用して解像度 $\sim 1 \text{ nm}$ で画像が撮影されます。
 - **TEM:** 高エネルギー電子 ($\sim 200 \text{ kV}$) がサンプルを透過し、 $\sim 0.1 \text{ nm}$ の解

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

像度で回折または位相コントラスト画像が実行されます。

- CsxWO3 ナノ粒子 (~10~50 nm) または薄膜 (~100 nm) は、棒状、球状、またはファセット形状の特徴を示します。
- 機器とパラメータ:
 - SEM 装置: EDS (エネルギー分散型分光計) を備えた FEI Quanta 650、電界放出銃など。
 - TEM 装置: JEOL JEM-2100F、加速電圧 200kV、SAED (選択領域電子回折) 付き。
 - サンプル準備:
 - SEM: 導電性テープ上に粉末を分散させたもの、または基板上に直接薄膜を置いたもの。
 - TEM: 粉末をエタノール中で超音波分散し、炭素膜銅グリッド上に落とします。この膜を FIB (集束イオンビーム) で切断する必要があります。
 - 環境: 高真空 ($<10^{-5}$ Torr)、TEM では液体窒素による冷却が必要です。
- データ分析:
 - SEM:
 - 形態: CsxWO3 水熱粒子約 20 nm、棒状 (アスペクト比約 2:1)。CVD 膜は均一で、粗さは約 5 nm。
 - EDS : Cs: W: O 原子比約 0.32: 1: 3、誤差<2%、ドーピング比を確認。
 - 粒子サイズ分布: 約 10~50 nm、標準偏差約 5 nm。
 - テン:
 - 高解像度 (HRTEM) : (002) 結晶面間隔約 0.38 nm、六方相。
 - SAED: 六方格子、(002)、(200)回折リング、結晶方位の一貫性>95%。
 - 欠陥: 転位密度 $\sim 10^{10}$ cm⁻²、導電率に ~5% 影響。
- 定量的結果:
 - 表面積: SEM 推定値 ~ 80 m²/g (~20 nm 粒子)、BET と一致します。
 - 粒界: TEM では粒界の幅が約 1 nm であり、キャリアの移動に約 10% の影響を与えることがわかります。
 - 元素分布: EDS マッピング、Cs は均等に分布しており、偏差は 3% 未満です。
- 応用:
 - 形態最適化: SEM ガイドによる溶媒熱 (~10 nm) 粒子制御。
 - 構造検証: TEM により CVD フィルムの六方相が確認され、NIR 性能は ~75% でした。
 - 品質検査: EDS による不純物 (Fe、Cl) の検出<0.01 wt %。
- 制限事項:
 - SEM: 主に表面情報、内部構造には TEM が必要です。
 - TEM: 複雑なサンプル準備 (FIB 約 500 USD/サンプル)、電子ビームによる CsxWO3 の損傷 約 5%。
 - コスト: SEM 約 300,000 米ドル、TEM 約 1,000,000 米ドル。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

SEM と TEM を組み合わせることで、CsxWO3 のナノスケール特性評価に包括的な視点が得られます。

4.3 X 線光電子分光法（XPS）とセシウムタングステンブロンズの化学状態

X 線光電子分光法（XPS）を使用して、CsxWO3 の表面化学状態、元素組成、および原子価状態を分析し、W⁵⁺/W⁶⁺ が性能に与える影響を明らかにします。

- **原理:**
 - XPS は、X 線 (Al K α 、約 1486.6 eV) を使用してサンプル表面 (<10 nm) の電子を励起し、結合エネルギー (BE) を測定します。
 - CsxWO3 の Cs 3d、W 4f、および O 1s 光電子ピークは化学状態とドーピングを反映しています。
- **機器とパラメータ:**
 - **機器:** Thermo Fisher ESCALAB 250Xi、単色 Al K α 源など。
 - **エネルギー範囲:** 0~1200 eV、分解能約 0.5 eV。
 - **サンプルの準備:** 粉末ペレットまたはフィルムを導電性基板上に置き、表面を Ar⁺ スパッタリング (~2 kV) で洗浄する。
 - **環境:** 超高真空 (<10⁻⁹ Torr)、炭素汚染を避けてください。
- **データ分析:**
 - **化学状態:**
 - **Cs 3d:** Cs⁺、BE~724.5 eV (3d5/2)、他の原子価状態なし。
 - **W 4f:** W⁶⁺ (~35.5 eV, 4f7/2)、W⁵⁺ (~34.5 eV)、W⁵⁺ 比 ~10–20%、NIR 吸収に影響します。
 - **O 1s:** 格子酸素 (~530.2 eV)、表面ヒドロキシル (~531.5 eV、<5%)。
 - **ドーピング比:** Cs/W 原子比約 0.32、誤差<3%、EDS と一致しています。
 - **表面汚染:** C 1s (~284.8 eV) <5 at%、スパッタリングで除去する必要があります。
- **定量的結果:**
 - **W⁵⁺/W⁶⁺:** 約 15% (x=0.32)、NIR 吸収が約 20% 向上。
 - **Cs ドーピング:** 表面 Cs/W 約 0.30、Cs の揮発によりバルク相 (約 0.32) よりわずかに低くなります。
 - **純度:** 不純物 (Cl、Fe) <0.005 at%、安定した性能を保証します。
- **応用:**
 - パフォーマンスの相関関係: W⁵⁺ 比率は NIR 吸収 (~70%) と正の相関関係にあります。
 - 合成最適化: 溶媒熱 Cl⁻ 残留物の XPS 検出 (<0.005 wt%)。
 - 品質管理: CVD フィルムの Cs ドーピングの均一性を確認します (誤差 <2%)。
- **制限事項:**
 - 表面感度: 10 nm 未満のみを検出し、バルク相を反映できません。
 - 高コスト: 機器は約 500,000 米ドル、分析は約 200 米ドル/サンプル。
 - データは複雑です。ピークフィッティング誤差は約 5% であり、EDS と

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

組み合わせる必要があります。

XPS は CsxWO_3 の化学状態に関する重要な情報を提供し、パフォーマンスの最適化に役立ちます。

4.4 セシウムタングステンブロンズの UV-Vis-NIR スペクトル

CsxWO_3 の光学特性を特徴付けるために、紫外可視近赤外分光法 (UV-Vis-NIR) が使用され、NIR 吸収 (~70%) と可視光透過率 (~80%) に重点が置かれました。

- **原理:**
 - UV-Vis-NIR は、200~2500 nm の範囲で吸収、透過、または反射スペクトルを測定します。
 - CsxWO_3 の NIR 吸収は局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) と $\text{W}^{5+}/\text{W}^{6+}$ 遷移に起因し、バンドギャップは約 2.5~3.0 eV です。
- **機器とパラメータ:**
 - **機器:** PerkinElmer Lambda 950、重水素ランプ/タングステンハロゲンランプ、積分球など。
 - **波長範囲:** 200~2500 nm、分解能約 1 nm。
 - **サンプル準備:**
 - 粉末: BaSO_4 マトリックスに分散され、錠剤に圧縮され、拡散反射率を測定します。
 - 薄膜: ガラス基板上に置き、透過率・反射率を測定します。
 - **環境:** 室温、乾燥空気 (RH<50%)。
- **データ分析:**
 - **NIR 吸収:** 1000 nm での吸収率は約 70% ($x=0.32$ 、約 20 nm) であり、 x が増加するとピーク位置が約 200 nm 赤方シフトします。
 - **透過率:** 400~700 nm、薄膜 (約 100 nm) 約 80%、粉末拡散反射率約 50%。
 - **バンドギャップ:** Tauc プロット法、間接バンドギャップ ~2.5 eV ($x=0.32$)、 WO_3 (~3.2 eV) よりも低い。
 - **LSPR:** 吸収ピーク幅は約 500 nm、粒子サイズの減少 (50 → 10 nm) とともに約 15% 増加します。
- **定量的結果:**
 - **吸収係数:** $\sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$ (1000 nm)、ITO ($\sim 10^4 \text{ cm}^{-1}$) よりも優れています。
 - **経年安定性:** UV 照射 1000 時間、NIR 吸収減衰<5%。
 - **エレクトロクロミック:** 電圧 2V、透過率の変化は約 60%。
- **応用:**
 - **スマートウィンドウフィルム:** NIR 遮蔽率約 70%、省エネ約 50%。
 - **光熱変換:** 太陽エネルギー吸収率は約 60%です。
 - **品質テスト:** 熱水粒子の NIR パフォーマンスを検証します (エラー <3%)。
- **制限事項:**
 - **散乱干渉:** 大きな粒子 (>50 nm) の拡散反射誤差は約 10% です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 膜厚に対する感度: 厚さの変化(50→200 nm)により透過率が約 20%低下します。
 - コスト: 機器: 約 100,000 米ドル、メンテナンス: 約 5,000 米ドル/年。
- UV-Vis-NIR は、CsxWO3 の光学特性を評価するための中核技術です。

4.5 セシウムタングステンブロンズの電気的および熱的試験方法

電気的および熱的試験方法を使用して、CsxWO3 の電気伝導率 ($\sim 10^3$ S/cm)、電荷キャリア挙動、熱伝導率 (~ 1.5 W/(m·K))、および熱安定性 ($> 500^\circ\text{C}$) を定量化しました。

- 電気テスト:
 - 4プローブ法:
 - 原理: 一定の電流 (約 1mA) を流し、電圧を測定して導電率を計算します。
 - 計測器: Keithley 2635B ソースメーター、プローブ間隔 ~ 1 mm。
 - サンプル: 薄膜 (約 100 nm) または圧縮粉末 (厚さ約 1 mm)。
 - 結果: Cs_{0.32}WO₃ フィルム ~ 1200 S/cm、粉末 ~ 800 S/cm、粒界抵抗が $\sim 30\%$ 減少しました。
 - ホール効果:
 - 原理: ホール電圧を磁場 (~ 1 T) で測定し、キャリア濃度 ($\sim 10^{20}$ cm⁻³) と移動度 (~ 10 cm²/(V·s)) を決定します。
 - 装置: Lake Shore 8404、磁場強度 0.5~1.5 T。
 - 結果: n 型半導体、キャリア寿命 ~ 1 ps、 $x = 0.5$ のときに濃度が $\sim 20\%$ 上昇。
 - 用途: センサー (NO₂、約 10 ppm)、バッテリー電極 (サイクル約 1000 回)。
- 熱試験:
 - 熱伝導率:
 - 原理: レーザーフラッシュアルゴリズム (LFA) は熱拡散率を測定し、熱伝導率を計算します。
 - 機器: Netzsch LFA 467、レーザーパルス ~ 10 ms。
 - サンプル: 圧縮錠剤 (直径約 12.7mm、厚さ約 1mm)。
 - 結果: 約 1.5 W/(m·K) (約 20 nm)、粒子サイズが約 15%増加 (50 nm)。
 - 熱安定性:
 - 原理: 示差走査熱量測定 (DSC) と熱重量分析 (TGA) は、分解温度と質量損失を測定します。
 - 装置: TA Instruments Q600、加熱速度 $\sim 10^\circ\text{C}/\text{分}$ 。
 - 結果: 分解温度は約 650°C 、 500°C での酸化速度は < 0.01 mg/cm²·h。
 - 用途: 断熱コーティング (冷却 $\sim 10^\circ\text{C}$)、高温電極 (減衰 $< 5\%$)。
- 定量的結果:
 - 伝導率安定性: 300°C 、減衰 $< 10\%$ 。
 - 熱膨張係数: $\sim 8 \times 10^{-6}$ K⁻¹、ITO ($\sim 10 \times 10^{-6}$ K⁻¹) よりも優れています。
 - テストエラー: 電気的 $< 3\%$ 、熱的 $< 5\%$ 。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

● 制限事項:

- 電氣的: 接触抵抗は粉末試験に影響し、誤差は約 5% です。
- 熱: ナノ粒子界面効果、熱伝導率の誤差は約 10% です。
- コスト: 電気機器: 約 50,000 米ドル、熱機器: 約 150,000 米ドル。

事例: CTIA GROUP LTD は、4 プローブ法と LFA を使用して、電気伝導率が約 1200 S/cm、熱伝導率が約 1.5 W/(m·K) の Cs_{0.32}WO₃ 薄膜をテストし、スマート ウィンドウ フィルム (NIR 約 75%) のパフォーマンスを最適化しました。

電氣的および熱的テストは、Cs_xWO₃ の機能的応用のための定量的な基礎を提供します。



第5章セシウムタングステンブロンズの光学および熱的応用

セシウムタングステンブロンズ (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) は、優れた近赤外線 (NIR) 吸収率 (1000 nm で約 70%)、高い可視光透過率 (400~700 nm で約 80%)、低い熱伝導率 (約 $1.5 W / (m \cdot K)$)、高い熱安定性 ($> 500^\circ C$) により、光学および熱分野で幅広い応用可能性を示しています。この章では、スマートウィンドウフィルムと省エネガラス、NIR シールドコーティング、光熱変換と太陽エネルギー利用、光センサーと検出器、および熱管理材料における Cs_xWO_3 の応用について詳細に説明し、その動作原理、材料設計、性能指標、調製プロセス、実際のケース、利点と制限を分析し、省エネ、オプトエレクトロニクス、および熱管理に関する技術リファレンスを提供します。

5.1 セシウムタングステンブロンズスマートウィンドウフィルムと省エネガラス

スマートウィンドウフィルムと省エネガラスは、 Cs_xWO_3 の NIR 遮蔽およびエレクトロクロミック特性を利用して光と熱を動的に制御し、建物のエネルギー消費量 (約 50%) を削減します。

- **動作原理:**

- **NIR 遮蔽:** Cs_xWO_3 ナノ粒子 (~20 nm) は、局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) により NIR (800~2500 nm、~70%) を吸収し、可視光透過率を ~80% 維持します。
- **エレクトロクロミック:** 電圧 (約 2V)、 Cs^+ 、電子注入/抽出を適用し、 W^{5+} / W^{6+} 比を変更することで、透過率を約 60% に調整できます。
- **省エネ機構:** 近赤外線を遮断し、エアコンのエネルギー消費を抑え、室内温度を約 5~10°C 下げます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **マテリアルデザイン:**
 - **ナノ粒子:** Cs_{0.32}WO₃ (約 20 nm)、NIR 吸収ピーク約 1000 nm、PVB (ポリビニルブチラル) マトリックスに分散。
 - **フィルム構造:** 3 層設計 (Cs_xWO₃/PVB/保護層)、厚さ約 100~200μm、紫外線老化防止 (>1000 時間)。
 - **ドーピング最適化:** x=0.32、NIR 遮蔽 (~70%) と透過率 (~80%) のバランス。
- **準備プロセス:**
 - **方法:** Cs_xWO₃ (約 20 nm) を溶媒熱法で合成し、スピコーティングまたはスプレーコーティングでフィルムを形成しました。
 - **パラメータ:** PVB/Cs_xWO₃ 質量比約 10:1、硬化温度約 120°C、時間約 2 時間。
 - **装置:** スピコーター (約 2000 rpm)、オーブン (耐熱温度>200°C)。
- **パフォーマンス指標:**
 - **NIR 遮蔽率:** 約 70% (1000 nm)、ITO (約 40%) よりも優れています。
 - **可視光透過率:** 約 80% (400~700 nm)、建築基準 (GB/T 2680) に準拠。
 - **エレクトロクロミック:** 応答時間 <5 秒、サイクル寿命 >10,000 回。
 - **エネルギー効率:** 建物のエネルギー消費量が約 50% 削減され、年間約 100 kWh/m² の節約になります。
- **実際の事例:**
 - 2024 年、上海のグリーンビルでは、面積約 1000 平方メートルの Cs_xWO₃ スマートウィンドウフィルム (x=0.32、約 20 nm) が使用され、夏の室内温度が約 8°C 低下し、約 40% の節約となり、市場価値は約 1000 万米ドルになります。
 - 日本のオフィスビルでは、Cs_xWO₃ 省エネガラスを採用しており、NIR を約 75% 遮断し、年間の電気代を約 30% 節約しています。
- **利点と制限:**
 - **利点:** 高効率の NIR シールド、低コスト (~50 USD/m²、ITO は約 100 USD/m²)、柔軟なエレクトロクロミック。
 - **制限事項:** フィルムの耐傷性には限界があり (モース硬度 ~3)、長期間の使用後 (>5 年) に透過率が ~10% 減少します。
 - **改善点:** SiO₂ 保護層を追加し、硬度が約 5 増加し、耐久性が約 2 年延長されました。
- **応用展望:** スマートウィンドウフィルム市場は 2030 年に 10 億米ドルに達すると予想されており、Cs_xWO₃ はグリーンビルディングの普及を促進するでしょう。

5.2 セシウムタングステンブロンズの近赤外線遮蔽コーティング

Cs_xWO₃ の NIR 遮蔽コーティングは、自動車のガラス、航空宇宙、電子機器に使用され、熱放射を遮断し、快適性とエネルギー効率を向上させます。

- **動作原理:**
 - Cs_xWO₃ ナノ粒子 (約 10~20 nm) は、LSPR と W⁵⁺/W⁶⁺ 遷移を介して NIR

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

（約 70%）を吸収し、表面温度を約 10°C 下げます。

- コーティングは、自動車の安全基準 (SAE J1796) を満たし、約 75% の可視光透過率を維持します。
- **マテリアルデザイン:**
 - **成分:** Cs_{0.32}WO₃ (~15 nm)、アクリルまたはポリウレタンマトリックスに分散、UV 耐性を高めるための添加剤(TiO₂ など)入り。
 - **コーティング厚さ:** 約 10~ 50μm、粒子濃度: 約 5 重量%。
 - **表面改質:** シランカップリング剤 (KH-550) により粒子分散性が向上し、コーティングの均一性が 5% 未満の誤差に低減します。
- **準備プロセス:**
 - **方法:** 溶媒熱法または Cs_xWO₃ のグリーン合成、スプレーまたはローリングコーティングでフィルムを形成します。
 - **パラメータ:** 噴霧圧力約 0.2MPa、硬化温度約 80°C、時間約 1 時間。
 - **設備:** 高圧噴霧器 (約 5000 米ドル)、赤外線硬化炉。
- **パフォーマンス指標:**
 - **NIR 遮蔽率:** 約 70% (1000 nm)、車内温度を約 7°C 低下させます。
 - **光透過率:** 約 75% (400~700 nm)、従来の染料コーティング (約 50%) よりも優れています。
 - **耐候性:** キセノンランプの劣化は 5000 時間、NIR 性能の減衰は 5% 未満。
 - **接着性:** ASTM D3359、グレード 5B (剥がれなし)。
- **実際の事例:**
 - 2023 年、ある電気自動車ブランドはフロントガラスに Cs_xWO₃ コーティング (約 20nm) を使用し、NIR 遮蔽率が約 72%、航続距離が約 5% (約 20km) 増加しました。
 - 航空宇宙: Cs_xWO₃ コーティングは航空機の窓に使用され、重量は約 0.1 kg/m²、熱負荷は約 30% 削減されます。
- **利点と制限:**
 - **利点:** 軽量 (~0.1 kg/m²、Ag コーティング ~0.5 kg/m²)、低コスト (~20 USD/m²)。
 - **制限事項:** コーティングの厚さが不均一な場合 (>50 μm)、透過率が約 15% 低下し、無駄な噴霧が約 10% 発生します。
 - **改善点:** 静電噴霧により、廃棄物が約 50% 削減され、均一性が約 10% 向上しました。
- **応用展望:** 自動車用 NIR コーティング市場は 2025 年に 5 億米ドルに達すると予想されており、Cs_xWO₃ が従来の材料に取って代わるでしょう。

5.3 セシウムタングステンブロンズの光熱変換と太陽エネルギー利用

Cs_xWO₃ の光熱変換では、NIR 吸収 (約 70%) を利用して太陽エネルギーを熱エネルギーに変換し、太陽光集熱器や熱電発電に応用します。

- **動作原理:**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- CsxWO₃ は NIR (800~2500 nm、太陽エネルギーの約 60%) を吸収し、熱エネルギーを発生させて表面温度を約 100~200°C 上昇させます。
- 放射率が低い (約 0.2、8~14μm) ため、熱放射損失が低減し、熱変換効率は約 60%になります。
- **マテリアルデザイン:**
 - **構造:** CsxWO₃ (約 20 nm) は、セラミックマトリックス (Al₂O₃ など) にドーブされるか、金属コレクタープレート (Cu) にコーティングされます。
 - **複合材料:** CsxWO₃/グラフェン (1: 0.1)、熱伝導率が約 20%増加 (約 2 W/(m·K))。
 - **厚さ:** 約 10~100μm、吸収/放熱バランスが最適化されています。
- **準備プロセス:**
 - **方法:** CsxWO₃ をゾルゲル法で合成し、スプレーまたはスクリーン印刷した。
 - **パラメータ:** 硬化温度約 200°C、時間約 2 時間、コーティング均一性 <3% の誤差。
 - **設備:** スクリーン印刷機 (約 10,000 米ドル)、高温炉。
- **パフォーマンス指標:**
 - **光熱効率:** 約 60% (AM1.5、1000 W/m²)、カーボンブラック (約 50%) よりも優れています。
 - **動作温度:** 約 150~250°C、安定性>1000 時間。
 - **熱電変換:** CsxWO₃/熱電モジュール、出力約 100 W/m²。
- **実際の事例:**
 - 2024 年には、太陽熱温水器に CsxWO₃ コーティング (約 50μm) が使用され、集熱効率が約 62%、温水出力が約 30% (約 100 L/m²・日) 増加します。
 - **熱電発電:** CsxWO₃ コレクターが Bi₂Te₃ モジュールを駆動します。効率は約 5%、コストは約 200 USD/m²。
- **利点と制限:**
 - **利点:** 高効率 NIR 吸収、高温耐性 (>500°C)、低コスト (~30 USD/m²)。
 - **制限事項:** 熱伝導率が低い (~1.5 W/(m·K))、熱伝達効率が ~10% 低下、夜間に熱が発生しない。
 - **改善:** CNT を追加すると、熱伝導率が約 50% 増加し、効率が約 15% 増加しました。
- **応用展望:** 太陽熱利用市場は 2030 年に 50 億米ドルに達すると予想されており、CsxWO₃ は低炭素エネルギーの推進に寄与するでしょう。

5.4 セシウムタングステンブロンズの光センサと検出器

CsxWO₃ の光センサーと検出器は、その NIR 応答 (約 70%) とエレクトロクロミック特性を利用して、ガス検知や光検出の用途に使用されます。

- **動作原理:**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **NIR センサー:** Cs_xWO₃ (~20 nm) は NIR を吸収し、光生成キャリアを生成して、導電率を約 10% (~10 ppm NO₂) 変化させます。
- **エレクトロクロミック検出器:** 電圧 (約 1 V) により透過率が約 50% 変化し、光の強度またはガス濃度を検出します。
- **メカニズム:** W⁵⁺/W⁶⁺ の価電子状態の変化と LSPR による光電応答の増強。
- **マテリアルデザイン:**
 - **構造:** ITO 基板上に堆積された Cs_xWO₃ 薄膜 (約 50 nm)、電極間隔約 10μm。
 - **ドーピング:** x=0.32、最適化された光電応答 (感度 ~10⁴ A/W)。
 - **複合材料:** Cs_xWO₃/SnO₂ (1:1)、感度が約 30% 向上。
- **準備プロセス:**
 - **方法:** CVD またはゾルゲル法で堆積した薄膜、微細加工電極。
 - **パラメータ:** 堆積温度約 400°C、アニーリング約 300°C、時間約 1 時間。
 - **設備:** CVD リアクター、フォトリソグラフィ装置 (約 10 万ドル)。
- **パフォーマンス指標:**
 - **感度:** NO₂ (~10 ppm)、応答時間 <5 秒、回復時間 <10 秒。
 - **光電応答:** 1000 nm、~10⁴ A/W、Si (~10³ A/W) よりも優れています。
 - **安定性:** 5000 サイクル、パフォーマンスの低下 <3%。
- **実際の事例:**
 - 2023 年には、環境モニタリングステーションが Cs_xWO₃ センサー (約 50 nm) を使用して、95% を超える精度で CO (約 50 ppm) を検出します。
 - 赤外線検出: Cs_xWO₃ フィルムは暗視装置に使用され、応答波長は約 800 ~1500 nm です。
- **利点と制限:**
 - **利点:** 高い NIR 感度、低消費電力 (~1 mW)、低コスト (~10 USD/ユニット)。
 - **制限事項:** 湿度干渉 (RH>80%) により感度が約 20% 低下し、選択性が制限されます。
 - **改善点:** 表面改質 (PDDA)、選択性が約 50% 向上、耐湿性が約 30% 向上。
- **応用展望:** 光センサー市場は 2025 年に 20 億米ドルに達すると予想されており、Cs_xWO₃ はモノのインターネットに拡大されるでしょう。

セシウムタングステンブロンズの熱管理材料

m·K)) ことと、熱安定性が高い (>500°C) ことから、断熱材や高温デバイスに使用されます。

- **動作原理:**
 - **断熱性:** Cs_xWO₃ ナノ粒子 (約 20 nm) はフォノン散乱によって熱伝導率を低下させ、熱の流れを遮断して温度を約 10°C 下げます。
 - **高温安定性:** 500°Cでの酸化速度は 0.01mg/cm²·h 未満で、高温環境に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **マテリアルデザイン:**
 - **構造:** シリカゲルまたはセラミックマトリックスにドーブされた Cs_xWO_3 (約 20 nm)、濃度約 10 重量%。
 - **複合材料:** $Cs_xWO_3/SiO_2(1: 2)$ 、熱伝導率が約 20% 減少 (約 $1.2 W/(m \cdot K)$)。
 - **厚さ:** 約 100 ~ 500 μm 、最適化された絶縁体/重量比。
- **準備プロセス:**
 - **方法:** Cs_xWO_3 のグリーン合成、混合法またはスプレーフィルム形成。
 - **パラメータ:** 混合温度約 60°C、硬化温度約 120°C、時間約 2 時間。
 - **設備:** 高速ミキサー (約 5000rpm)、スプレー。
- **パフォーマンス指標:**
 - **熱伝導率:** 約 $1.5 W/(m \cdot K)$ 、ガラス繊維 (約 $2 W/(m \cdot K)$) よりも優れています。
 - **断熱効果:** 100°C の熱源で表面温度が約 10°C 下がります。
 - **安定性:** 500°C、1000 時間、性能低下 <5%。
- **実際の事例:**
 - 2024 年、CTIA GROUP LTD は電気自動車バッテリー用の Cs_xWO_3 断熱コーティング (約 200 μm) を開発し、熱流を約 30% 削減し、安全性を約 20% 向上させました。
 - 工業炉: Cs_xWO_3 セラミックコーティング、熱損失が約 25% 削減され、エネルギーが約 15% 節約されます。
- **利点と制限:**
 - **利点:** 熱伝導率が低い、安定性が高い、コストが低い (約 15 USD/ m^2)。
 - **制限事項:** 機械的強度が低い (圧縮強度 ~10 MPa)、厚いコーティング (> 500 μm) はひび割れが発生しやすくなります。
 - **改善:** Al_2O_3 繊維を追加すると、強度が約 50%、耐久性が約 30% 向上します。
- **応用展望:** 熱管理市場は 2030 年に 30 億米ドルに達すると予想されており、 Cs_xWO_3 は新たなエネルギーの安全性を促進します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cesium Tungsten Bronze Product Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Cesium Tungsten Bronze Overview

Cesium Tungsten Bronze (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) produced by CTIA GROUP is manufactured using advanced solvothermal and chemical vapor deposition processes, ensuring high purity and excellent optoelectronic performance. Cesium tungsten bronze is a nano-functional material widely applied in energy-saving glass, optoelectronics, catalysis, batteries, and biomedical fields due to its outstanding near-infrared (NIR) shielding performance, high visible light transmittance, and electrochemical stability. Its unique tungsten-oxygen-cesium crystal structure makes it the preferred material for smart materials and new energy applications.

2. Cesium Tungsten Bronze Features

Chemical composition: Cs_xWO_3 ($x = 0.2-0.33$), purity $\geq 99.9\%$, extremely low impurities.

Appearance: Deep blue nanopowder or thin film; cubic or hexagonal crystal structure.

Near-infrared shielding: NIR shielding rate $> 90\%$ (800–2500 nm), suitable for energy-saving glass.

Visible light transmittance: Transmittance $> 70\%$ (400–700 nm), supporting smart window applications.

Electrical conductivity: $\sim 10^3$ S/cm, ideal for optoelectronic sensors and battery electrodes.

Chemical stability: Corrosion rate < 0.002 mm/year, acid and alkali resistant, suitable for catalytic environments.

Versatility: Supports electrochromic, photothermal conversion, and biocompatible coatings.

3. Cesium Tungsten Bronze Product Specifications

Type	Particle Size (nm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	Cesium Content (wt%)	Impurities (wt%, Max)
Nano-grade	30–50	≥ 99.9	2.5–3.0	5.0–8.0	Fe ≤ 0.002 , Si ≤ 0.001 , O ≤ 0.05

4. Cesium Tungsten Bronze Packaging and Quality Assurance

Packaging: Sealed stainless steel cans or vacuum aluminum foil bags, net weight of 100 g, 500 g, or 1 kg, ensuring moisture-proof and anti-oxidation storage.

Quality assurance: Each batch is accompanied by a quality certificate containing the following test data:

- Purity (ICP-MS, $> 99.9\%$)
- Particle size distribution (laser diffraction)
- Crystal structure (XRD)
- Cesium content (chemical titration)
- Surface morphology (SEM)

5. Cesium Tungsten Bronze Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595

Website: For more information about cesium tungsten bronze, please visit China Tungsten Online (<http://www.cesium-tungsten-bronze.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6章 セシウムタングステンブロンズのエネルギーと環境への応用

セシウムタングステンブロンズ (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) は、高い導電性 (約 10^3 S/cm)、優れた近赤外線 (NIR) 吸収率 (1000 nm で約 70%)、半導体特性 (バンドギャップ約 2.5 eV)、そして化学的安定性 ($> 500^\circ\text{C}$) を有し、エネルギー貯蔵、変換、環境保護において大きな可能性を秘めています。本章では、リチウムイオン電池やスーパーキャパシタ、光触媒と水分解、空気浄化と汚染物質吸着、燃料電池電極材料、水素貯蔵とエネルギー貯蔵における Cs_xWO_3 の応用について詳細に解説し、その動作原理、材料設計、性能指標、製造プロセス、事例、利点と限界を分析し、新エネルギー・環境保護技術の技術参考資料を提供します。

6.1 セシウムタングステンブロンズリチウムイオン電池とスーパーキャパシタ

高い導電性とナノ構造 (約 20nm) を活かして、リチウムイオン電池 (LIB) やスーパーキャパシタの開発に貢献します。

- **動作原理:**
 - **リチウムイオン電池:** 負極材料として Cs_xWO_3 を使用し、 WO_6 八面体ギャップに Li^+ が挿入/抽出され、理論容量は約 200 mAh/g。 W^{5+} / W^{6+} の価数変化により電荷貯蔵をサポートします。
 - **スーパーキャパシタ:** Cs_xWO_3 は擬似容量 (表面酸化還元) と二重層容量 (高比表面積約 $80\text{ m}^2/\text{g}$) を介して電荷を蓄え、電力密度は約 10 kW/kg です。
 - **メカニズム:** Cs^+ ドーピング ($x \sim 0.32$) により導電性 ($\sim 10^3$ S/cm) が向上し、内部抵抗が $\sim 20\%$ 減少します。
- **マテリアルデザイン:**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- ナノ粒子: $\text{Cs}_{0.32}\text{WO}_3$ (約 20 nm)、 Li^+ の拡散係数を約 $10^{-10}\text{cm}^2/\text{s}$ に増加させます。
- 複合材料: $\text{Cs}_x\text{WO}_3/\text{グラフェン}$ (1: 0.2)、導電率が約 50%増加 (約 1500 S/cm)、容量が約 30%増加。
- 構造: 多孔質電極 (多孔度約 40%)、電解質の浸透性が向上、サイクル安定性が約 20% 向上。
- 準備プロセス:
 - 方法: Cs_xWO_3 を溶媒熱法で合成し、混合法で複合電極を作製し、Cu 箔上にコーティングした。
 - パラメータ: スラリー($\text{Cs}_x\text{WO}_3:\text{PVDF}:\text{導電性カーボンブラック} = 8:1:1$)、コーティング厚さ約 $50\mu\text{m}$ 、 120°C で 2 時間乾燥。
 - 装置: 遊星ボールミル (約 500 rpm)、コーター (約 10 m/分)。
- パフォーマンス指標:
 - LIB: 容量約 180 mAh/g (0.1C)、1000 サイクル、容量保持率約 85%。
 - スーパーキャパシタ: 比静電容量約 200 F/g (1 A/g)、電力密度約 10 kW/kg、エネルギー密度約 50 Wh/kg。
 - 充放電効率: 約 98%、 WO_3 (約 90%) よりも優れています。
 - 動作温度: $-20\sim 60^\circ\text{C}$ 、パフォーマンスの低下は 5%未滿。
- 実際の事例:
 - 2024 年には、ある電気自動車用バッテリーに $\text{Cs}_x\text{WO}_3/\text{グラフェン}$ 負極が使用され、エネルギー密度が約 200Wh/kg、航続距離が約 10% (約 50km) 増加します。
 - スーパーキャパシタ: Cs_xWO_3 電極は、充電時間が 1 分未滿でサイクル寿命が 10,000 回を超えるエネルギー貯蔵システムに使用されます。
- 利点と制限:
 - 利点: 高い導電性、長いサイクル寿命、低コスト (~500 USD/kg vs. LiCoO_2 ~1000 USD/kg)。
 - 制限事項: 最初の不可逆的な容量損失は約 20%、体積膨張は約 10% で、電極に亀裂が生じます。
 - 改善点: SiO_2 コーティングにより、膨張が約 50%減少し、容量保持が約 10%増加しました。
- 応用展望: LIB およびスーパーキャパシタ市場は 2030 年に 500 億米ドルに達すると予想されており、 Cs_xWO_3 は高性能エネルギー貯蔵を促進します。

6.2 セシウムタングステンブロンズの光触媒と水分解

応答 (~70%)を利用して、水の分解による水素生成と汚染物質の分解を促進する光触媒として使用されます。

- 動作原理:
 - 光触媒: Cs_xWO_3 は NIR および可視光 (200~1000 nm) を吸収し、電子正孔対を励起して、伝導帯 (CB) ~0.5 V (NHE に対して) で H_2 生成を促進し、価電子帯 (VB) ~3.0 V で H_2O または汚染物質を酸化します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 水の分解: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ 、 Cs_xWO_3 水素生成効率 $\sim 200 \mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。
- 汚染物質の分解: Cs_xWO_3 は染料（ローダミン B など）を約 85% の効率で分解します。
- **マテリアルデザイン:**
 - ナノ粒子: $\text{Cs}_{0.32}\text{WO}_3$ (~10 nm)、表面積 $\sim 100 \text{m}^2/\text{g}$ 、光吸収が強化されています。
 - 複合材料: $\text{Cs}_x\text{WO}_3/\text{TiO}_2$ (1: 1)、電子正孔分離効率が約 30% 向上し、水素生成率が約 50% 向上しました。
 - ドーピング: $x=0.32$ 、 W^{5+} 比約 15%、NIR 応答増強約 20%。
- **準備プロセス:**
 - 方法: Cs_xWO_3 のグリーン合成とゾルゲル法による複合光触媒の調製。
 - パラメータ: pH 約 8、焼成温度 約 400°C 、時間 約 4 時間。
 - 装置: マイクロ波反応器 (約 1000 W)、遠心分離機 (約 5000 rpm)。
- **パフォーマンス指標:**
 - 水素生成効率: 約 $200 \mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$ (AM1.5、 $1000 \text{W}/\text{m}^2$)、 WO_3 (約 $100 \mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$) よりも優れています。
 - 分解効率: ローダミン B (10 mg/L)、4 時間で約 85% 分解、ミネラル化率約 70%。
 - 光安定性: 100 時間の光照射で活性低下は 5% 未満。
 - 量子効率: $\sim 5\%$ (600 nm)、NIR 領域で $\sim 2\%$ 。
- **実際の事例:**
 - 2023 年、水処理プラントは $\text{Cs}_x\text{WO}_3/\text{TiO}_2$ 光触媒を使用して、産業廃水 (COD $\sim 100 \text{mg}/\text{L}$) を約 80% の効率で分解しました。
 - 太陽光水素製造: 実験室の反応器では Cs_xWO_3 触媒が使用され、水素製造コストは約 5 USD/kg H_2 です。
- **利点と制限:**
 - 利点: NIR 応答、低コスト ($\sim 450 \text{USD}/\text{kg}$)、高い安定性。
 - 制限事項: NIR 量子効率が低い ($< 5\%$)、電子-正孔再結合率が約 30% です。
 - 改善: 貴金属 (Pt) 共触媒、水素生成率が約 100% 増加し、再結合率が約 50% 減少しました。
- **応用展望:** 光触媒市場は 2025 年に 10 億米ドルに達すると予想されており、 Cs_xWO_3 はグリーン水素エネルギーの推進に寄与するでしょう。

6.3 セシウムタングステンブロンズの空気浄化と汚染物質吸着

、光触媒酸化と物理吸着により、約 90% の効率で空気中の揮発性有機化合物 (VOC) と粒子状物質 (PM2.5) を除去します。

- **動作原理:**
 - 光触媒酸化: Cs_xWO_3 (約 20 nm) は、UV-Vis-NIR 励起下で活性酸素種

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

($\cdot\text{OH}$ 、 O_2^-) を生成し、VOC (トルエンなど) を約 90% の効率で CO_2 と H_2O に酸化します。

- **吸着:** 高い表面積 (約 $80 \text{ m}^2/\text{g}$) で $\text{PM}_{2.5}$ (約 $0.1 \sim 2.5 \mu\text{m}$) を捕捉し、吸着能力は約 50 mg/g です。
- **メカニズム:** $\text{W}^{5+} / \text{W}^{6+}$ が光触媒活性を高め、 Cs^+ サイトが汚染物質の吸着を促進します。
- **マテリアルデザイン:**
 - **構造:** 多孔質マトリックス (活性炭など) 上に担持された $\text{Cs}_{0.32}\text{WO}_3$ ナノ粒子 (約 20 nm)。
 - **複合材料:** $\text{Cs}_x\text{WO}_3/\text{ZnO}$ (1: 1)、光触媒効率が約 20% 増加し、吸着能力が約 30% 増加しました。
 - **表面改質:** アミノ官能化、VOC 親和性が約 50% 増加。
- **準備プロセス:**
 - **方法:** Cs_xWO_3 を水熱法で合成し、含浸法でマトリックス上に充填しました。
 - **パラメータ:** 浸漬時間約 12 時間、乾燥 100°C 、2 時間。
 - **設備:** 真空乾燥機 (約 5000 米ドル)、超音波洗浄機 (約 500W)。
- **パフォーマンス指標:**
 - **VOC 除去率:** トルエン ($\sim 100 \text{ ppm}$)、4 時間で $\sim 90\%$ 除去、 TiO_2 ($\sim 70\%$) よりも優れています。
 - **$\text{PM}_{2.5}$ 吸着:** 約 50 mg/g 、5 サイクル、容量保持率約 80%。
 - **光触媒安定性:** 500 時間の照射で活性低下は 3% 未満。
 - **動作湿度:** $\text{RH } 20 \sim 80\%$ 、効率変動 $< 10\%$ 。
- **実際の事例:**
 - 2024 年には、病院の空気清浄機に $\text{Cs}_x\text{WO}_3/\text{ZnO}$ フィルターが使用され、VOC の約 92% が除去され、 $\text{PM}_{2.5}$ の約 95% が捕捉されます。
 - 産業廃ガス: Cs_xWO_3 コーティングはホルムアルデヒド ($\sim 50 \text{ ppm}$) を処理します (効率 $\sim 85\%$)。
- **利点と制限:**
 - **利点:** NIR 駆動、高効率、低コスト ($\sim 20 \text{ USD}/\text{m}^2$)。
 - **制限事項:** 高濃度の VOC ($> 500 \text{ ppm}$) による中毒、吸着飽和後に再生が必要。
 - **改善:** 熱再生 (約 200°C)、吸着能力が約 90% 回復しました。
- **応用展望:** 空気浄化市場は 2030 年に 100 億米ドルに達すると予想されており、 Cs_xWO_3 は室内環境保護を促進します。

6.4 セシウムタングステンブロンズ燃料電池電極材料

Cs_xWO_3 は、酸素還元反応 (ORR) の効率と耐久性を向上させる燃料電池 (PEMFC) 電極触媒担体または補助材料として使用されます。

- **動作原理:**
 - **ORR 触媒:** Cs_xWO_3 (約 20 nm) は $\text{W}^{5+}/\text{W}^{6+}$ を介して活性部位を提供し、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ORR 過電位を約 0.1 V 低減します。

- サポート機能: 高い導電性 ($\sim 10^3$ S/cm) と安定性 ($>500^\circ\text{C}$) が Pt/C 触媒をサポートし、Pt の投与量を $\sim 20\%$ 削減します。
- メカニズム: Cs^+ ドーピングにより電子移動が促進され、ORR 電流密度は ~ 5 mA/cm² になります。
- マテリアルデザイン:
 - 構造: $\text{Cs}_{0.32}\text{WO}_3$ ナノ粒子 (約 20 nm) と Pt (約 2 nm) の複合粒子、Pt 含有量約 0.2 mg/cm²。
 - 複合材料: $\text{Cs}_x\text{WO}_3/\text{C}$ (1: 2)、比表面積約 100 m²/g、導電率約 30% 増加。
 - 膜電極接合体 (MEA) : ナフィオン膜上にコーティングされた $\text{Cs}_x\text{WO}_3/\text{Pt}/\text{C}$ 、厚さ約 10 μm 。
- 準備プロセス:
 - 方法: Cs_xWO_3 は溶媒熱法で合成し、Pt は化学還元法で担持した。
 - パラメータ: PtCl_4 還元温度約 80 $^\circ\text{C}$ 、pH 約 9、時間約 4 時間。
 - 装置: 恒温水槽、超音波分散機 (~ 300 W)。
- パフォーマンス指標:
 - ORR 活性: 半波電位 ~ 0.85 V (RHE に対して)、 WO_3 (~ 0.75 V) よりも優れています。
 - 電力密度: 約 1 W/cm² (60 $^\circ\text{C}$ 、 H_2/O_2)、Pt/C 約 1.2 W/cm²。
 - 耐久性: 5000 サイクル、アクティビティの低下 $<10\%$ 。
 - コスト: 約 500 USD/kg (Cs_xWO_3)、Pt 使用量が約 20% 削減されます。
- 実際の事例:
 - 2023 年、水素エネルギー企業が $\text{Cs}_x\text{WO}_3/\text{Pt}/\text{C}$ 電極を採用し、燃料電池の効率が約 50%、寿命が 5000 時間を超えました。
 - ポータブル電源: Cs_xWO_3 基板は小型 PEMFC に使用され、重量は約 1 kg、出力は約 100 W です。
- 利点と制限:
 - 利点: Pt 使用量の削減、耐腐食性、低コスト。
 - 制限事項: ORR 活性は純粋な Pt よりも低く (約 10 mA/cm²)、 Cs^+ の溶解は高温 ($>80^\circ\text{C}$) で約 5% です。
 - 改善点: N ドーピング、ORR 活性が約 30% 増加、安定性が約 20% 増加。
- 応用展望: 燃料電池市場は 2025 年に 50 億米ドルに達すると予想されており、 Cs_xWO_3 はコストを削減します。

6.5 セシウムタングステンブロンズにおける水素貯蔵とエネルギー貯蔵

水素貯蔵材料として、 Cs_xWO_3 は六角形のトンネル構造 ($x \sim 0.32$) を利用して約 1.5 wt% の容量で水素を貯蔵し、再生可能エネルギーの貯蔵をサポートします。

- 動作原理:
 - 水素貯蔵: H_2 分子は Cs_xWO_3 六角形トンネル (約 7.4 Å) に物理的/化学的に吸着され、 $\text{W}^{5+}/\text{W}^{6+}$ が H_2 の解離を促進します。
 - 放出: 100 \sim 200 $^\circ\text{C}$ 、 H_2 脱着率約 90%、サイクル安定性 >100 回。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **メカニズム:** Cs⁺ サイトは H₂ 吸着エネルギー（約 0.5 eV）を高め、容量は 1.5 wt % 程度になります。
- **マテリアルデザイン:**
 - **構造:** Cs_{0.32}WO₃ ナノ粒子（約 20 nm）、表面積約 80 m²/g。
 - **複合材料:** Cs_xWO₃/MgH₂（1: 1）、水素貯蔵容量が約 30%（約 2 重量%）増加しました。
 - **表面改質:** Pd 改質（約 1 重量%）、H₂ 解離効率が約 50% 増加。
- **準備プロセス:**
 - **方法:** Cs_xWO₃ のグリーン合成と高压反応器での水素貯蔵。
 - **パラメータ:** H₂ 圧力約 5MPa、温度約 150°C、時間約 12 時間。
 - **設備:** 高压反応器（耐圧>10MPa）、ガス分析装置。
- **パフォーマンス指標:**
 - **水素貯蔵容量:** 約 1.5 wt %（100°C、1 MPa）、WO₃（約 0.5 wt %）よりも優れています。
 - **脱着温度:** 約 150°C、エネルギー要件: 約 50 kJ/mol H₂。
 - **サイクル安定性:** 100 回、容量保持率約 90%。
 - **安全性:** H₂ 漏れなし、爆発リスク<1%。
- **実際の事例:**
 - 2024 年、CTIA GROUP LTD は、水素発電所で使用するための Cs_xWO₃/Pd 水素貯蔵材料（約 20 nm）を開発しました。水素貯蔵効率は約 1.5 重量%、コストは約 600 米ドル/kg です。
 - **ポータブル水素貯蔵:** Cs_xWO₃ 複合材料はドローンに使用されており、水素貯蔵容量は約 0.1 kg、飛行時間は約 2 時間です。
- **利点と制限:**
 - **利点:** 低温水素貯蔵、高い安全性、低コスト（~600 USD/kg vs. LaNi₅ ~1000 USD/kg）。
 - **制限事項:** 金属水素化物よりも容量が低い（約 5 wt %）、吸着速度が遅い（約 1 時間）。
 - **改良点:** Ni ドーピングにより、吸着率が約 50% 増加し、容量が約 20% 増加しました。
- **応用展望:** 水素貯蔵市場は 2030 年に 30 億米ドルに達すると予想されており、Cs_xWO₃ は水素経済を支えることとなります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第7章 セシウムタングステンブロンズの工業生産

セシウムタングステンブロンズ (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) は、優れた近赤外線 (NIR) 吸収率 (1000 nm で約 70%)、高い伝導率 (約 $10^3 S/cm$)、および化学的安定性 ($> 500^\circ C$) により、スマートウィンドウフィルム、エネルギー貯蔵、光触媒に広く使用されています。工業生産では、プロセスの最適化、コスト管理、規模、品質保証などの課題に対処する必要があります。この章では、 Cs_xWO_3 の製造プロセスと装置、原材料のサプライチェーンとコスト分析、規模生産技術、品質管理とテスト、および市場への応用事例を詳細に説明し、その技術的ルート、経済効率、工業化、および商業化の実践を分析し、 Cs_xWO_3 の広範な応用を促進するための技術的および経済的参考資料を提供します。

7.1 セシウムタングステンブロンズの製造工程と設備

Cs_xWO_3 の工業生産では、主に溶媒熱法、水熱法、固相反応法が採用されており、さらにボールミル処理や分散処理などの後処理を組み合わせることで、様々な用途要件(例えば、約 20nm のナノ粒子や約 100nm の薄膜など)に対応しています。以下では、主要なプロセスと設備の分析に焦点を当てます。

- 主な製造工程:

- ソルボサーマル法:

- 手順 $CsOH$ と WCl_6 をエタノール ($> 99.8\%$) に溶解し、 $180 \sim 200^\circ C$ 、 $1 \sim 5 MPa$ で $12 \sim 24$ 時間反応させて $Cs_{0.32}WO_3$ ナノ粒子 (約 $10 \sim 20 nm$) を生成する。遠心分離 (約 $10,000 rpm$)、洗浄 (エタノール/水)、乾燥 ($80^\circ C$ 、6 時間) する。
 - 反応: $CsOH + WCl_6 + ROH \rightarrow Cs_xWO_3 + HCl \uparrow$ ($x \sim 0.2 \sim 0.5$)。
 - 利点: 粒子サイズが小さい ($\sim 10 nm$)、NIR 吸収率が高い ($\sim 70\%$)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **装置:** ステンレス製リアクター(容量約 100~1000L、圧力>10MPa、約 50,000 米ドル)、遠心分離機(約 20,000 米ドル)、真空オーブン(約 10,000 米ドル)。
- **水熱法:**
 - **プロセス:** Cs₂CO₃ と(NH₄)₁₀W₁₂O₄₁ を脱イオン水に溶解し、180~220°C、1~5MPa で 12~24 時間反応させて Cs_xWO₃ (約 20~50nm) を生成する。ろ過、洗浄し、乾燥(100°C、4 時間)する。
 - **反応:** Cs₂CO₃ + (NH₄)₁₀W₁₂O₄₁ → Cs_xWO₃ + NH₃↑ (x~0.2~0.32)。
 - **利点:** 低コスト(約 400 USD/kg)、環境に優しい。
 - **設備:** リアクター(上記と同じ)、フィルタープレス(約 15,000 米ドル)、スプレードライヤー(約 30,000 米ドル)。
- **固相反応法:**
 - **手順:** Cs₂CO₃ と WO₃ (モル比 1:3~1:10) を混合し、Ar/H₂ 雰囲気(5% H₂) 中、800~900°C で 6~8 時間ボールミル処理(~500 rpm、4 時間)して Cs_xWO₃ 粉末(~1~10 μm) を作製した。冷却および粉砕を行った。
 - **反応:** Cs₂CO₃ + WO₃ → Cs_xWO₃ + CO₂↑ (x~0.1~0.32)。
 - **利点:** 高収量(約 10 kg/バッチ)、低コスト(約 200 USD/kg)。
 - **設備:** チューブ炉(>1200°C、約 20,000 米ドル)、遊星ボールミル(約 10,000 米ドル)。
- **後処理装置:**
 - **ナノ分散:** 超音波分散機(~1000 W、~5000 USD)、粒度分布を 5% 未満の誤差で制御。
 - **薄膜の準備:** スマートウィンドウフィルム用のスピコーター(~2000 rpm、~15,000 USD) または CVD リアクター(~100,000 USD)。
 - **廃ガス処理:** 排出ガスが基準(<10 ppm) を満たすことを確認するための排ガス吸収塔(HCl/NH₃、約 20,000 米ドル)。
- **プロセスパラメータの最適化:**
 - **温度制御:** Cs の揮発を防ぐため、±5°C (誤差<3%)。
 - **雰囲気:** H₂/Ar 比約 5~10%、W⁵⁺比約 15%、NIR 性能向上。
 - **攪拌:** 約 200~500 rpm、反応の均一性が 95% 以上であることを確保します。
- **設備投資:**
 - 中規模生産ライン(年間生産量約 10 トン): 総投資額約 50 万~100 万ドル、設備投資額約 70%。
 - エネルギー消費量: 溶媒熱 ~200 kWh/kg、水熱 ~150 kWh/kg、固相 ~100 kWh/kg。
- **制限事項:**
 - ソルボサーマル廃水処理には約 10% (約 50 USD/kg) のコストがかかります。
 - 固相法では粒子サイズが大きい(約 1 μm) ため、後処理で粒子サイズを約 50% 削減する必要があります。
 - 改善: マイクロ波支援反応、時間が約 50% 短縮され、エネルギー消費が

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

約 30% 削減されました。

製造プロセスの選択は、コスト、性能、環境保護要件のバランスを考慮する必要があります。溶媒熱法は高性能ナノ粒子に適しており、固相法は低コストのバルク材料に適しています。

7.2 セシウムタングステンブロンズの原材料サプライチェーンとコスト分析

Cs_xWO₃ の工業生産は、セシウム（Cs）、タングステン（W）および補助原料の安定供給に依存しており、コストは原材料価格、物流、加工の影響を受けます。

- 原材料サプライチェーン：
 - セシウム源：
 - 原材料：Cs₂CO₃ (>99.5%) または CsOH (>99.5%)。
 - 産地：主にカナダ（タンコ鉱山、世界埋蔵量の約 70%）と中国（宜春リピドライト、約 20%）産。
 - 価格：Cs₂CO₃ 約 500~1000 米ドル/kg、コストの約 40~50%。
 - 供給リスク：セシウムの埋蔵量は限られており(約 90,000 トン)、地政学的要因により価格が約 20% 変動する可能性があります。
 - タングステン源：
 - 原材料：WO₃ (>99.9%) または (NH₄)₁₀W₁₂O₄₁ (>99.8%)。
 - 出典：中国（世界生産量の約 80%、湖南省、江西省）、オーストラリア (Wolfram)。
 - 価格：WO₃ 約 50~100 米ドル/kg、コストの約 20~30% を占めます。
 - 供給の安定性：タングステンの生産量は十分であり(年間約 85,000 トン)、価格変動は 10% 未満です。
 - 副原料：
 - 溶媒：エタノール (>99.8%、約 1 USD/L)、脱イオン水（約 0.01 USD/L）。
 - ガス：Ar /H₂ (~10 USD/m³)、NH₃ (~0.5 USD/kg)。
 - 添加剤：PVP（界面活性剤、約 20 米ドル/kg）、シラン（約 50 米ドル/kg）。
- 物流と保管：
 - 輸送：Cs₂CO₃ は湿気を防ぐために密封する必要があり、物流コストは約 5 USD/kg（国際）、約 1 USD/kg（国内）です。
 - 保管：恒温倉庫(20~25°C、RH<50%)、Cs 原材料の年間損失<1%。
 - サプライチェーン管理：ERP システムは在庫回転率を約 90% 最適化し、停滞を約 15% 削減します。
- コスト分析：
 - ソルボサーマル法（約 500 米ドル/kg）
 - 原材料：Cs₂CO₃ ~250 米ドル/kg、WC16 ~100 米ドル/kg、エタノー

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ル〜50 米ドル/kg。

- エネルギー: 約 200 kWh/kg、約 20 USD/kg (電気料金 約 0.1 USD/kWh)。
 - 人件費: 約 30 米ドル/kg (10 人/トン)。
 - 設備の減価償却費: 約 50 USD/kg (10 年間の耐用年数)。
 - 水熱法 (約 400 米ドル/kg)
 - 原材料: Cs₂CO₃〜200 米ドル/kg、(NH₄)₁₀W₁₂O₄₁〜80 米ドル/kg、
水〜10 米ドル/kg。
 - エネルギー: 約 150 kWh/kg、約 15 USD/kg。
 - その他: 人件費 ~25 USD/kg、減価償却費 ~40 USD/kg。
 - 固相法 (約 200 米ドル/kg)
 - 原材料: Cs₂CO₃〜100 米ドル/kg、WO₃〜50 米ドル/kg。
 - エネルギー: 約 100 kWh/kg、約 10 USD/kg。
 - その他: 人件費 ~20 USD/kg、減価償却費 ~20 USD/kg。
 - 廃棄物処理 溶媒熱廃液 約 50 米ドル/kg、水熱 NH₃ 回収 約 20 米ドル/kg、
固相 CO₂ 排出量 約 10 米ドル/kg。
 - コスト最適化:
 - エタノールをリサイクル (回収率約 80%) し、コストを約 10% 削減します。
 - ローライズされた CS 供給により、物流コストが約 50% 削減されます。
 - AI はプロセス パラメータを最適化し、エネルギー効率を約 20% 向上させ、コストを約 15% 削減します。
 - 制限事項:
 - Cs の価格は高く、変動が激しいため、コストの安定性に影響を及ぼします。
 - 環境規制 (REACH) により、廃水処理コストが約 5~10% 増加します。
 - 改善: Cs 回収技術を開発 (回収率 ~90%)、コストを ~20% 削減。
- 原材料サプライチェーンの安定性とコスト管理が、CsxWO₃ の工業化の鍵となります。

7.3 セシウムタングステンブロンズの大規模生産技術

大規模生産には、生産量の増加 (年間約 100~1,000 トン)、コストの削減 (300 米ドル/kg 未満)、品質の確保 (NIR 約 70%) が求められ、プロセスのスケールアップ、自動化、グリーン化が求められます。

- プロセスのスケールアップ:
 - ソルボサーマル法:
 - スケーリングルート: 単一リアクターの容量が 100 L から 10,000 L に増加し、出力はバッチあたり約 1 トンになりました。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **課題:** 熱と質量の移動が不均一で、粒度分布の誤差が約 10% 増加しました。
- **解決策:** 多点攪拌 (~500 rpm)、流れ場を最適化する CFD シミュレーション、均一性 >95%。
- **水熱法:**
 - **スケールアップルート:** 連続反応器、流量約 100 L/h、出力約 500 kg/日。
 - **課題:** 圧力制御 (1~5 MPa) が約 20% 難しくなります。
 - **解決策:** 高圧ポンプ (約 15 MPa)、PLC 制御、圧力誤差 <1%。
- **固相法:**
 - **スケールアップルート:** 多段チューブ炉、単一バッチ約 100kg、出力約 10 トン/月。
 - **課題:** Cs が揮発し、x 値の偏差が約 5% になります。
 - **解決策:** 密閉大気循環、Cs 損失が約 50% 削減されます。
- **自動化技術:**
 - **設備:** 温度、圧力、pH をリアルタイムで監視する SCADA システム (約 50,000 米ドル) (誤差 <0.5%)。
 - **ロボット:** 材料の自動供給/回収により、効率が約 30% 向上し、労力が約 50% 削減されます (約 5 人/トン)。
 - **AI 最適化:** 機械学習により粒子サイズ ($R^2>0.95$) が予測され、歩留まりが約 15% 増加し、スクラップ率が約 10% 減少します。
- **グリーンテクノロジー:**
 - **エネルギー:** 太陽光発電 (~0.05 USD/kWh)、エネルギー消費量が約 20% 削減されます。
 - **廃液:** NH3 回収率約 95%、エタノールリサイクル率約 80%、カーボンフットプリント約 0.3 トン CO2/トン。
 - **排出ガス:** 排ガスは基準を満たし (HCl<10 ppm、NH3<5 ppm)、GB 31570 に準拠しています。
- **生産効率:**
 - **生産量:** 溶媒熱法 約 100 トン/年、水熱法 約 500 トン/年、固相法 約 1000 トン/年。
 - **収率:** 溶媒熱法 ~80%、水熱法 ~85%、固相法 ~90%。
 - **コスト:** スケールアップ後、溶媒熱法では約 400 USD/kg、水熱法では約 300 USD/kg、固相法では約 150 USD/kg。
- **制限事項:**
 - 増幅により品質の変動が発生しました (NIR パフォーマンスが約 5% 低下)。
 - 自動化への初期投資は高額です (約 50 万ドル)。
 - 改善: モジュール式生産ライン、投資回収期間約 3 年、品質エラー約 2% 削減。

大規模生産では、市場の需要を満たすために、プロセス、自動化、グリーンテクノロジーの統合が必要です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.4 セシウムタングステンブロンズの品質管理と検査

品質管理では、CsxWO3 の結晶構造（六方相 >95%）、粒子サイズ（~10~50 nm）、純度（>99.8%）、および性能（NIR ~70%）を保証するために、標準的なテストシステムを確立する必要があります。

- **品質管理ポイント:**
 - **原材料:** ICP-MS で Cs2CO3/WO3 (Fe, Cl <0.01 wt %) の純度が検出されました（純度>99.5%）。
 - **反応プロセス:** pH（約 8~10）、温度（±5°C）、圧力（±0.1 MPa）をオンラインで監視し、x が約 0.32 であることを確認しました。
 - **製品:** 結晶、形態、化学状態、光学特性を検出するための XRD、SEM、XPS、UV-Vis-NIR。
- **検出方法:**
 - **結晶構造 (XRD) :**
 - **機器:** Bruker D8 Advance、Cu Kα (~1.5406 Å)。
 - **パラメータ:** 2θ = 10~80°、ステップサイズ ~0.02°。
 - **指標:** 六方相 (002) ピーク約 23.5°、純度>95%、粒径約 20nm。
 - **形態学 (SEM/TEM) :**
 - **装置:** FEI Quanta 650 (SEM)、JEOL JEM-2100F (TEM)。
 - **仕様** 粒子サイズ約 10~50 nm、分布誤差<5%、Cs:W:O 約 0.32:1:3。
 - **化学状態 (XPS) :**
 - **装置:** Thermo Fisher ESCALAB 250Xi、Al Kα (~1486.6 eV)。
 - **指標:** W⁵⁺ 約 15%、Cs/W 約 0.32、不純物 <0.005 wt %。
 - **光学特性 (UV-Vis-NIR) :**
 - **装置:** PerkinElmer Lambda 950、200~2500 nm。
 - **仕様:** NIR 吸収率 ~70% (1000 nm)、透過率 ~80% (400~700 nm)。
 - **電気特性:** 4プローブ法 (Keithley 2635B)、導電率 ~10³ S/cm、誤差 <3%。
- **品質基準:**
 - **内部標準:** NIR 遮蔽率>70%、純度>99.8%、粒子サイズ偏差<5%。
 - **国際規格:** ISO 9001 (品質管理)、ISO 14001 (環境保護)。
 - **業界標準:** GB/T 2680 (建築用ガラス)、ASTM D3359 (コーティング接着)。
- **テスト頻度:**
 - **原材料:** 1 バッチあたり (約 100kg)。
 - **プロセス:** 毎時 (オンライン センサー)。
 - **製品:** 各バッチ (約 10 kg)、サンプリング率 約 10%。
- **料金:**
 - **試験装置:** 約 50 万ドル (XRD、SEM など)
 - **試験料金:** 約 10 USD/kg (生産コストの約 2%)。
 - **改善:** 自動検出 (AI 画像分析)、コストが約 50% 削減されます。
- **制限事項:**
 - 検出には時間がかかる (XRD 約 1 時間/サンプル) ため、生産効率に影響

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

します。

- ナノ粒子の凝集により、SEM の精度が約 5% 低下します。
- 改善: 高速 XRD (サンプルあたり約 10 分)、超音波前処理により凝集が約 50% 減少します。

品質管理は、CsxWO₃ のパフォーマンスと市場競争力を保証します。

7.5 セシウムタングステンブロンズの市場応用事例

CsxWO₃ の産業用途は、スマートウィンドウフィルム、エネルギー貯蔵、光触媒などの分野に及び、市場規模は 2030 年に 10 億米ドルに達すると予想されています。以下は代表的な事例です。

● スマートウィンドウフィルム:

- **事例:** 2024 年に、グリーンビルディンググループは、面積が約 5000m²、NIR 遮蔽率が約 70%、エネルギー節約率が約 40% (約 200 kWh/m²・年)、コストが約 50 米ドル/m²の CsxWO₃ ウィンドウフィルム (x = 0.32、約 20 nm) を使用します。
- **プロセス:** ソルボサーマル法 + スピンコーティング、生産量約 100kg/月。
- **市場:** 中国の建物エネルギー効率市場は、2025 年に 2 億米ドルに達すると予想されています。

● リチウムイオン電池:

- **事例:** 2023 年、バッテリーメーカーは CsxWO₃/グラフェンアノード (約 20nm) を使用し、バッテリー容量は約 180mAh/g、航続距離は約 10% (約 50km) 向上します。年間生産量は約 10 トン、コストは約 500 米ドル/kg です。
- **プロセス:** 水熱処理法 + 混合法、導電率 ~1500 S/cm。
- **市場:** 世界の LIB 市場は 2030 年に 300 億米ドルに達すると予想されています。

● 光触媒空気浄化:

- **事例:** 2024 年、ある空気清浄機ブランドは CsxWO₃/ZnO フィルター (約 20nm) を使用し、VOC 除去率は約 90%、PM_{2.5} 捕捉率は約 95%、年間生産量は約 5 トン、コストは 1kg あたり約 450 米ドル。
- **プロセス:** グリーン合成 + 含浸法、比表面積約 100m²/g。
- **市場:** 空気清浄市場は 2025 年に 50 億米ドルに達すると予想されています。

● 太陽熱:

- **事例:** 2024 年に CTIA GROUP LTD は、効率が約 60%、コストが約 30 米ドル/m²、年間生産量が約 1 トンの太陽光集熱器用 CsxWO₃ コーティング (約 50μm) を開発しました。
- **プロセス:** ゴルゲル法 + スプレー、作業温度は約 150 ~ 250 °C。
- **市場:** 太陽熱利用市場は 2030 年に 20 億米ドルに達すると予想されています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **水素貯蔵:**
 - **事例:** 2023 年に、水素エネルギー会社は、容量が約 1.5 重量%、コストが約 600 米ドル/kg、年間生産量が約 0.5 トンの CsxWO3/Pd 水素貯蔵材料(約 20 nm) を使用します。
 - **プロセス:** グリーン合成 + 高圧反応、脱着温度約 150°C。
 - **市場:** 水素貯蔵市場は 2030 年に 10 億米ドルに達すると予想されています。
- **市場の課題:**
 - **コスト競争力:** CsxWO3 (~400 USD/kg) は従来の材料 (ITO ~200 USD/kg など) よりも高価です。
 - **市場認知度:** CsxWO3 の応用を促進する必要があり、ブランド効果が弱い。
 - **改善点:** 政府補助金 (コストの約 20%)、共同マーケティング、市場シェアの約 30% 増加。
- **見通し:**
 - 2030 年までに、CsxWO3 市場は年間複合成長率約 15% で 10 億米ドルに達すると予想されています。
 - **主要分野:** グリーンビルディング (シェア約 40%)、新エネルギー (約 30%)、環境保護 (約 20%)。

市場応用事例は CsxWO3 の商業的価値を実証しており、大規模生産によりコストがさらに削減されます。

Cesium Tungsten Bronze Product Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Cesium Tungsten Bronze Overview

Cesium Tungsten Bronze (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) produced by CTIA GROUP is manufactured using advanced solvothermal and chemical vapor deposition processes, ensuring high purity and excellent optoelectronic performance. Cesium tungsten bronze is a nano-functional material widely applied in energy-saving glass, optoelectronics, catalysis, batteries, and biomedical fields due to its outstanding near-infrared (NIR) shielding performance, high visible light transmittance, and electrochemical stability. Its unique tungsten-oxygen-cesium crystal structure makes it the preferred material for smart materials and new energy applications.

2. Cesium Tungsten Bronze Features

Chemical composition: Cs_xWO_3 ($x = 0.2-0.33$), purity $\geq 99.9\%$, extremely low impurities.

Appearance: Deep blue nanopowder or thin film; cubic or hexagonal crystal structure.

Near-infrared shielding: NIR shielding rate $> 90\%$ (800–2500 nm), suitable for energy-saving glass.

Visible light transmittance: Transmittance $> 70\%$ (400–700 nm), supporting smart window applications.

Electrical conductivity: $\sim 10^3$ S/cm, ideal for optoelectronic sensors and battery electrodes.

Chemical stability: Corrosion rate < 0.002 mm/year, acid and alkali resistant, suitable for catalytic environments.

Versatility: Supports electrochromic, photothermal conversion, and biocompatible coatings.

3. Cesium Tungsten Bronze Product Specifications

Type	Particle Size (nm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	Cesium Content (wt%)	Impurities (wt%, Max)
Nano-grade	30–50	≥ 99.9	2.5–3.0	5.0–8.0	Fe ≤ 0.002 , Si ≤ 0.001 , O ≤ 0.05

4. Cesium Tungsten Bronze Packaging and Quality Assurance

Packaging: Sealed stainless steel cans or vacuum aluminum foil bags, net weight of 100 g, 500 g, or 1 kg, ensuring moisture-proof and anti-oxidation storage.

Quality assurance: Each batch is accompanied by a quality certificate containing the following test data:

- Purity (ICP-MS, $> 99.9\%$)
- Particle size distribution (laser diffraction)
- Crystal structure (XRD)
- Cesium content (chemical titration)
- Surface morphology (SEM)

5. Cesium Tungsten Bronze Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595

Website: For more information about cesium tungsten bronze, please visit China Tungsten Online (<http://www.cesium-tungsten-bronze.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 8 章 セシウムタングステン青銅の規格と規制

セシウムタングステンブロンズ ($CsxWO_3$, $0 < x \leq 1$) は、スマートウィンドウフィルム、エネルギー貯蔵、環境保護に使用される場合、国際規格、国内規格、環境および安全規制、および労働安全衛生要件に準拠する必要があります。本章では、国際規格 (ISO、GB/T)、環境および安全規制 (REACH、RoHS)、ナノマテリアルのリスク評価、労働安全衛生要件、 $CsxWO_3$ の製品認証とコンプライアンス、および CTIA GROUP LTD の $CsxWO_3$ 製品安全データシート (MSDS) について詳しく説明します。内容は、標準設定、規制遵守、リスク管理、安全な操作、および認証プロセスを網羅し、 $CsxWO_3$ の研究開発、生産、および商業化のための法的および技術的なガイダンスを提供します。

8.1 セシウムタングステンブロンズの国際規格と国内規格 (ISO、GB/T)

国際規格および国内規格では、 $CsxWO_3$ の性能、テスト、および適用に関する仕様が提供され、製品の品質と市場へのアクセスが保証されます。

- 国際規格:

- ISO 20495:2018 (ナノテクノロジー - ナノマテリアルの光学特性の試験):
 - 適用範囲: $CsxWO_3$ の NIR 吸収 (1000 nm で約 70%) および可視光透過率 (400~700 nm で約 80%) テストを標準化します。
 - 要件: UV-Vis-NIR 分光計 (200~2500 nm、分解能 ~1 nm)、標準サンプル ($BaSO_4$ マトリックス)、誤差 <3%。
 - 用途: NIR 遮蔽率 > 70% を満たす必要があるスマート ウィンドウ フィルム。
- ISO 14782:1999 (光学コーティングの環境耐久性):
 - 適用範囲: $CsxWO_3$ コーティング (約 50 μ m) の耐老化性能をテストします (キセノンランプ 5000 時間、減衰<5%)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 要件: 温度および湿度サイクル (-40~85°C、RH 20~95%)、接着 (ASTM D3359、グレード 5B)。
- 用途: 自動車ガラス、耐候性 >5 年。
- ISO/TS 80004-1:2015 (ナノテクノロジー - 用語):
 - 適用範囲: CsxWO3 はナノマテリアル (約 10~50 nm) として定義されており、粒子サイズの分布に注意する必要があります (誤差 <5%)。
 - 要件: SEM/TEM 検査、比表面積のレポート (~80 m²/g)。
- 国家規格 (中国) :
 - GB/T 2680-2021 (建築用ガラスの光学特性):
 - 適用範囲: CsxWO3 ウィンドウフィルムの光透過率 (~80%)、NIR 遮蔽 (~70%)、および熱取得係数 (SHGC <0.5) を標準化します。
 - 要件: 積分球分光計、テスト環境 (25°C、RH 50%)、誤差 <2%。
 - 用途: グリーンビルディング、エネルギー節約率約 40%。
 - GB/T 36403-2018 (ナノマテリアル試験方法):
 - 適用範囲: CsxWO3 の XRD (六方相 >95%)、XPS (W⁵⁺ ~15%) および粒子サイズ (~20 nm) のテストが指定されています。
 - 要件: Cu Kα 源 (~1.5406 Å)、解像度 ~0.5 eV、検出頻度 ~10% バッチ。
 - 用途: 品質管理、純度 >99.8%。
 - GB 31570-2015 (化学物質排出基準):
 - 適用範囲: CsxWO3 製造廃ガス (HCl <10 ppm、NH3 <5 ppm) および廃液 (Cs⁺ <1 mg/L) を標準化します。
 - 要件: 排ガス吸収塔、廃液中和 (pH ~7)、モニタリング期間 ~1 か月。
- 標準実装:
 - 認証機関: SGS、TÜV、標準への準拠の検証、費用は約 5000 米ドル/プロジェクト。
 - コンプライアンスコスト: 試験装置 (XRD、SEM など) 約 50 万米ドル、試験 約 10 米ドル/kg。
 - 課題: ナノマテリアルの規格が遅れており、CsxWO3 の特別な規格が欠如しています。
 - 改善: ISO/TC 229 (ナノテクノロジー) に参加し、CsxWO3 規格の策定を推進する。

標準準拠は CsxWO3 の商品化の基礎であり、国際標準に準拠する必要があります。

8.2 セシウムタングステンブロンズの環境および安全規制 (REACH、RoHS)

環境および安全規制により、EU REACH および RoHS に重点が置かれ、CsxWO3 の製造

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

および使用が環境および人体に害を及ぼさないことが保証されます。

● **REACH (EC 1907/2006) :**

- **適用範囲:** 化学物質としての CsxWO₃ の登録、評価、認可および制限を規制します。
- **必要とする:**
 - **登録:** 年間生産量が 1 トンを超える場合は、CsxWO₃ の毒性 (LD50>2000 mg/kg)、生態毒性 (LC50>100 mg/L)、環境残留性 (半減期約 30 日) を含む化学物質安全性レポート (CSR) を提出する必要があります。
 - **評価:** ECHA は CsxWO₃ の SVHC (非常に高い懸念のある物質) リスクを評価し、Cs⁺ が候補物質 (<0.1 wt %) としてリストされる可能性があります。
 - **制限事項:** 廃水中の Cs⁺ 排出量が 1mg/L 未満の場合、中和処理 (Ca(OH)₂、pH~7) が必要です。
- **コンプライアンスコスト:** 登録 ~ 10,000 USD/物質、廃棄物処理 ~50 USD/kg (ソルボサーマル法)。
- **事例:** 2023 年、ある企業は REACH を通じて CsxWO₃ (年間約 100 トン) を登録し、EU のウィンドウフィルム市場に輸出しました。

● **RoHS (2011/65/EU) :**

- **適用範囲:** 電子・電気機器内の CsxWO₃ 内の有害物質 (Pb、Cd など) を制限します。
- **必要とする:**
 - CsxWO₃ 不純物 (Pb、Cd) <0.01 wt %、ICP-MS 検出が必要 (検出限界約 0.001 wt %)。
 - 電子コーティング (センサーなど) に適しており、NIR 遮蔽率は約 70% です。
- **コンプライアンスコスト:** テストはバッチあたり約 200 米ドル、機器メンテナンスは年間約 5000 米ドル。
- **事例:** 2024 年に CsxWO₃ センサーは RoHS 認証に合格し、空気清浄機に使用され、市場シェアは約 5% でした。

● **その他の規制:**

- **EPA TSCA (米国):** CsxWO₃ は PMN (新規化学物質通知) を提出する必要があり、料金は約 2,500 米ドル、サイクルは約 90 日です。
- **GB 30526-2014 (中国):** 電子材料内の有害物質の制限、CsxWO₃ は Hg < 0.1 wt % に準拠する必要があります。
- **WEEE (2012/19/EU):** 環境負荷を軽減するために、CsxWO₃ 製品をリサイクルする必要があります (リサイクル率 > 80%)。

● **チャレンジ:**

- **規制の違い:** REACH では廃液 Cs⁺ <1 mg/L が要求されていますが、中国の基準は <5 mg/L です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- ナノスケールの特性: CsxWO₃ (~20 nm) は追加の制御 (<100 nm) をトリガーする可能性があります。
- **改善:** 統一されたテスト方法 (ISO 17025) により、コンプライアンスコストが約 20% 削減されます。

規制遵守は CsxWO₃ の世界市場にとって重要であり、動的に更新する必要があります。

8.3 セシウムタングステンブロンズのナノ材料のリスク評価

CsxWO₃ はナノ材料 (約 10~50 nm) であるため、安全な適用を確保するために、人間と環境に対する潜在的なリスクを評価する必要があります。

- **リスク評価フレームワーク:**
 - **OECD ナノマテリアルガイドライン (2013 年) :**
 - **手順:** 暴露評価 (製造、輸送、使用)、毒性評価 (吸入、皮膚、摂取)、リスク特性評価 (用量影響)。
 - **適用範囲:** CsxWO₃ 粉末 (~20 nm) は、製造中にエアロゾル (~0.1 mg/m³) を生成する可能性があります。
 - **ISO/TR 13121:2011 (ナノリスク管理):**
 - **要件:** CsxWO₃ の暴露経路 (吸入>90%) を特定し、毒性 (LC50>100 mg/L) を評価します。
 - **ツール:** PBPK モデルは、CsxWO₃ が肺に沈着することを予測します (~10%)。
- **毒性評価:**
 - **吸入毒性:** CsxWO₃ (約 20 nm) エアロゾル、LC50>5 mg/L (ラット、4 時間)、急性肺毒性なし。
 - **皮膚接触:** 刺激性なし(ウサギ、24 時間)、皮膚吸収率<0.1%。
 - **経口毒性:** LD50>2000 mg/kg (ラット)、毒性は低い。
 - **細胞毒性:** IC50 約 100 µg/mL (A549 細胞)、ナノサイズ粒子 (<20 nm) では毒性が約 20% 増加します。
 - **生態毒性:** LC50>100 mg/L (魚、96 時間)、顕著な水質汚染なし。
- **暴露評価:**
 - **製造時:** 粉碎/分散によりエアロゾル(~0.1 mg/m³)が発生するため、換気が必要です(風速>0.5 m/s)。
 - **用途:** 窓用フィルム/コーティングにおける CsxWO₃ の固定、放出率<0.001 wt % (5000 時間エージング)。
 - **廃棄:** 焼却により Cs⁺ (<0.1 mg/kg) が放出される可能性があり、高温処理 (>1000°C) が必要となります。
- **リスク特性:**
 - **人体へのリスク:** 低リスク (曝露量 <0.01 mg/m³、NOAEL より低い ~0.1 mg/m³)。
 - **環境リスク:** 低リスク (水中の Cs⁺<0.1 mg/L、PNEC~1 mg/L 未満)。
 - **高リスクシナリオ:** ナノパウダー漏洩 (>1 mg/m³)、PPE (N95 マスク) が必要。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **管理措置:**
 - **エンジニアリング制御:** 密閉式リアクター、HEPA 濾過 (効率 >99.97%)。
 - **モニタリング:** エアロゾル検出器 (解像度約 0.001 mg/m³)、サイクル約 1 週間。
 - **コスト:** 評価: プロジェクトあたり約 5,000 米ドル、監視機器: 約 10,000 米ドル。
- **チャレンジ:**
 - 長期毒性に関するデータが不十分です (暴露期間 5 年超)。
 - ナノサイズの影響は複雑で、10 nm 未満では毒性が約 30% 増加します。
 - **改善:** in vitro モデル (3D 肺細胞) を開発し、予測精度が約 20% 向上しました。

リスク評価は、CsxWO₃ の安全な製造と応用のための科学的根拠を提供します。

8.4 セシウムタングステンブロンズの労働安全衛生要件

CsxWO₃ の製造と取り扱いには、ナノ粉末、化学物質、高温から作業員を保護するための労働安全衛生 (OHS) 要件が適用されます。

- **OHS 規制:**
 - **OSHA (米国) :** 29 CFR 1910.134、CsxWO₃ エアロゾル制限<0.1 mg/m³ (8 時間 TWA)。
 - **GBZ 2.1-2019 (中国) :** 職場における Cs⁺ <0.05 mg/m³、粉塵における Cs⁺ <1 mg/m³。
 - **EU OSH (89/391/EEC) :** 雇用主は PPE とトレーニングを提供することが義務付けられており、リスク評価サイクルは約 1 年です。
- **主な危険性:**
 - **ナノパウダー :** CsxWO₃ (~20 nm) は吸入すると肺の炎症を引き起こす可能性があります (<0.1 mg/m³ 長期暴露)。
 - **化学物質:** CsOH (pH>12) は腐食性があり、揮発性の WCl₆ (<10 ppm) は呼吸器を刺激します。
 - **高温:** 反応炉(約 200°C)または炉(約 900°C)で火傷する危険があります。
 - **廃ガス:** HCl/NH₃ 排出 (<10 ppm)、排ガス処理が必要。
- **管理措置:**
 - **エンジニアリングコントロール:**
 - 局所排気 (風速>0.5 m/s)、HEPA 濾過 (>99.97%)。
 - 密閉供給システム、漏れ率<0.1%。
 - **管理制御:**
 - **トレーニング:** ナノセーフティ、化学物質の取り扱い、期間は約 6 か月。
 - **交代勤務:** 高温作業はシフトあたり 4 時間未満、休憩エリア (25°C、相対湿度 50%)。
 - **個人用保護具 (PPE) :**
 - **呼吸器保護:** N95 マスク (保護係数 > 10)、重篤なシナリオの場合

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

合の PAPR (>100)。

- 皮膚の保護: ニトリル手袋 (厚さ > 0.3 mm)、化学防護服 (EN 14605)。
- 目の保護: 密閉ゴーグル (ANSI Z87.1)。
- **健康モニタリング:**
 - 身体検査: 肺機能 (FEV1)、血中 Cs⁺ (<0.01 mg/L)、周期は約 1 年。
 - モニタリング機器: エアロゾルモニター (約 0.001 mg/m³)、Cs⁺分析 (ICP-MS、約 0.001 mg/L)。
 - 費用: 身体検査 1 人あたり年間約 100 米ドル、モニタリング 1 年あたり約 5,000 米ドル。
- **緊急対応:**
 - 漏洩: 排気、換気、吸着剤 (活性炭) による洗浄、CsxWO₃ 回収率>95%。
 - 応急処置: 吸入した場合は、新鮮な空気の場合に移動し、皮膚や目を大量の水で洗い流してください(15 分以上)。
 - ドリル: サイクルは約 6 か月、応答時間は 5 分未満。
- **チャレンジ:**
 - 労働者のコンプライアンスが低い (PPE 着用率は約 80%)。
 - ナノハザードに関する認識が不十分であり、トレーニングの受講率は 90% 未満です。
 - 改善: VR トレーニング、コンプライアンス率が約 20% 増加、リアルタイム監視およびアラーム、応答時間が約 50% 短縮されました。

OHS 対策は CsxWO₃ 製造の安全性を確保するものであり、継続的に最適化する必要があります。

セシウムタングステンブロンズのコンプライアンス

製品認証により、CsxWO₃ の性能、安全性、市場コンプライアンスが検証され、市場競争力が強化されます。

- **主な認定資格:**
 - **CE マーキング (EU) :**
 - 適合性: CsxWO₃ ウィンドウ フィルム/センサー、EN 410 (光学性能) および EN 50581 (RoHS) に準拠。
 - 要件: NIR 遮蔽率 >70%、有害物質 (Pb < 0.01 wt %)、技術ファイル (TDF) は 10 年間保存されます。
 - プロセス: サードパーティテスト (SGS)、コスト約 5000 米ドル、サイクル約 1 か月。
 - **UL 認証 (米国) :**
 - 適用範囲: CsxWO₃ コーティングは建築材料に使用され、UL410 (滑り性能) に準拠しています。
 - 要件: 耐候性 (5000 時間、減衰 <5%)、安全性 (無毒の放出)。
 - プロセス: UL ラボテスト、コスト約 10,000 米ドル、サイクル約 2 か月。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- CCC 認証（中国）：
 - 適用範囲: CsxWO₃ 電子材料、GB/T 2680 および GB 4943.1 (電気安全) に準拠。
 - 要件: 透過率 ~80%、導電率 ~10³ S/cm、Cs⁺ 残留 <0.01 wt %。
 - プロセス: CQC レビュー、コスト約 3,000 米ドル、サイクル約 1 か月。
- コンプライアンス管理:
 - サプライチェーンのトレーサビリティ: 原材料 (Cs₂CO₃/WO₃) から製品 (~20 nm) まで、バッチレコードは 5 年間保存されます。
 - 試験報告書: XRD、SEM、XPS、UV-Vis-NIR、ISO 17025 に準拠、誤差 <3%。
 - 文書管理: ERP システム、コンプライアンス文書のデジタル化、検索効率 >95%。
- 認証事例:
 - 2024 年、ある会社の CsxWO₃ ウィンドウフィルムが CE 認証に合格し、欧州連合に輸出され、売上高は約 5,000 万米ドルに達しました。
 - 2023 年、CsxWO₃ センサーは CCC 認証を取得し、中国の空気清浄市場に参入し、シェアは約 10% となりました。
- 料金:
 - 認定: プロジェクトあたり約 3,000 ~ 10,000 米ドル、制作コストの約 2%。
 - テスト: 約 200 米ドル/バッチ、機器メンテナンス: 約 10,000 米ドル/年。
 - 改善: バッチ認証、コスト削減約 30%、テスト施設の共有、コスト削減約 20%。
- チャレンジ:
 - 認証期間が長い (1~2 か月程度) ため、市場参入が遅れます。
 - 国家規格の違い (CE と CCC) により、コンプライアンスコストが約 15% 増加します。
 - 改善: 認証計画を進め、サイクルタイムを約 50% 短縮し、標準設定に参加して差異を削減します。

製品認証は CsxWO₃ の市場化における重要なリンクであり、効率的な管理が必要です。

8.6 CTIA GROUP LTD セシウムタングステンブロンズ MSDS

以下は、GHS および GB/T 16483-2008 に準拠した CTIA GROUP LTD Cs_xWO₃ (x=0.32、約 20 nm) の化学物質等安全データシート (MSDS) です。

製品安全データシート (MSDS)

1. 化学物質の識別:
 - 化学名: セシウムタングステンブロンズ (Cs_{0.32}WO₃)
 - CAS 番号: なし (ナノマテリアル)
 - 分子式: Cs_{0.32}WO₃
 - 商品コード: CTB-032-N20
 - サプライヤー: CTIA GROUP LTD、住所: 3rd Floor, No. 25, Wanghai Road,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Software Park II, Xiamen, China、電話: +86- 592-5129595

2. 危険の概要:

- GHS 分類: 粉塵吸入危険(カテゴリー 4)、H332: 吸入すると有害。
- 物理的危険性: 爆発性/可燃性はありません (引火点 > 500°C)。
- 健康被害: 吸入すると肺の炎症を引き起こす可能性があります (長期暴露で <0.1 mg/m³)。
- 環境への危険性: 生態毒性は低い (LC50>100 mg/L)。
- シグナルワード: 警告

3. 成分情報:

- Cs_{0.32}WO₃: >99.8 重量%
- 不純物: Fe、Cl<0.01 重量%
- 粒子サイズ: 約 20 nm、表面積: 約 80 m²/g

4. 応急処置:

- 吸入した場合: 換気の良い場所に移動し、必要に応じて酸素を投与し、医師の診察を受けてください。
- 皮膚に付着した場合: 石鹼と水で 15 分以上洗い、汚染された衣服を脱いでください。
- 目に入った場合: 15 分以上水で洗い流し、まぶたを上げて医師の診察を受けてください。
- 飲み込んだ場合: 口をすすぎ、水を飲み、吐かせないようにして医師の診察を受けてください。

5. 消火対策:

- 消火剤: 乾燥粉末、CO₂、水は使用禁止です(CsOH が放出される可能性があります)。
- 特別な危険性: 高温 (>1000°C) により Cs⁺/WO₃ 蒸気が放出されます。
- 火災時の保護: 自給式呼吸装置、化学防護服。

6. 漏水の緊急処置:

- 保護具: N95 マスク、ニトリル手袋、密閉ゴーグル。
- 除去方法: 吸着剤(活性炭)で回収し、容器を密閉します。回収率は 95% 以上です。
- 環境: 粉塵が水域に流入するのを防ぐ (Cs⁺ <1 mg/L)。

7. 取り扱いと保管:

- 操作: 閉鎖系、局所排気装置(>0.5 m/s)、粉塵(<0.1 mg/m³)を避ける。
- 保管: 密閉容器に入れて、酸や強力な酸化剤から離れた乾燥した場所 (RH<50%) で涼しい場所 (<25°C) に保管してください。

8. 暴露管理と個人保護:

- 限界値: Cs_xWO₃<0.1 mg/m³ (8 時間 TWA、GBZ 2.1-2019)。
- エンジニアリング制御: HEPA 濾過 (>99.97%)、密閉式給餌。
- PPE: N95 マスク、ニトリル手袋(>0.3 mm)、ゴーグル。

9. 物理的および化学的性質:

- 外観: 濃い青色の粉末
- 密度: 約 6.5 g/cm³

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 融点: >1000°C
- 溶解性: 水に不溶、強酸 (pH <2) にわずかに溶解
- 表面積: 約 80 m²/g

10. 安定性と反応性:

- 安定性: 500°C では安定、1000°C を超えると分解します。
- 反応性: 強酸 (HCl) と反応して Cs⁺ を放出します。
- 避けるべき物質: 強力な酸化剤 (H₂O₂)、高温、酸性環境。

11. 毒性情報:

- 急性毒性: LD₅₀>2000 mg/kg (経口、ラット)、LC₅₀>5 mg/L (吸入、4 時間)。
- 慢性毒性: 長期吸入 (<0.1 mg/m³) により肺の炎症を引き起こす可能性があります。
- 発がん性: IARC では発がん性物質として記載されていません。
- 生殖毒性: データなし。妊娠中の曝露を避けることが推奨されます。

12. 生態情報:

- 生態毒性: LC₅₀>100 mg/L (魚、96 時間)、顕著な水質汚染なし。
- 持続性: 半減期は約 30 日 (水性)。
- 生体蓄積性: BCF<10、蓄積リスクは低い。

13. 廃棄:

- 方法: 密封して回収し、有害廃棄物処理業者に委託して処理する (焼却 > 1000°C)。
- 注意: 水への投棄は禁止されています。Cs⁺ <1 mg/L。
- 規制: GB 18597-2023 (有害廃棄物処理) に準拠しています。

14. 配送情報:

- 国連番号: なし (非危険物)。
- 包装: 防湿ラベルが付いた密封プラスチックバレル。
- 規制: IATA DGR、IMDG、GB/T 191 に準拠。

15. 規制情報:

- REACH: 登録が必要 (>1 トン/年)、SVHC 候補 (Cs⁺ <0.1 wt %)。
- RoHS: Pb、Cd <0.01 重量%。
- 中国: GB 30526-2014、Hg <0.1 wt %。

16. 追加情報:

- 作成日: 2025 年 6 月 13 日
- 改訂: 初版
- 注意: 参考値ですので、具体的な操作については専門家にご相談ください。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



第9章 セシウムタングステンブロンズの持続可能性と環境への影響

セシウムタングステンブロンズ (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) は、優れた近赤外線 (NIR) 吸収率 (1000 nm で約 70%)、高い電気伝導率 (約 $10^3 S/cm$)、および化学的安定性 ($> 500^\circ C$) により、省エネルギー、エネルギー貯蔵、環境保護において大きな可能性を秘めています。しかし、その製造と応用には、環境への影響、資源効率、持続可能性を考慮する必要があります。本章では、 Cs_xWO_3 製造プロセスの環境影響評価、グリーン製造技術、廃棄物処理とリサイクル、カーボンフットプリントと排出削減戦略、および持続可能な開発のための政策推進について詳しく説明します。環境負荷、グリーンテクノロジーの進路、および政策支援を分析し、 Cs_xWO_3 の持続可能な開発を達成するための科学的かつ実践的なガイドランスを提供します。

9.1 セシウムタングステンブロンズ製造プロセスの環境影響評価

環境影響評価 (EIA) では、ライフサイクル アセスメント (LCA) アプローチ (ISO 14040:2006) を使用して、 Cs_xWO_3 の生産が生態系、資源、人間の健康に与える影響を定量化します。

- **LCA フレームワーク:**
 - **対象範囲:** 原料抽出 (Cs_2CO_3 、 WO_3) から製造 (溶媒熱法/水熱法/固相法)、使用 (窓フィルム、電池)、廃棄物処理まで。
 - **機能単位:** 1 kg Cs_xWO_3 ($x=0.32$ 、約 20 nm)。
 - **データソース:** 生産データ (エネルギー消費量 ~200 kWh/kg)、排出量 ($HCl < 10 ppm$)、文献 (Ecoinvent データベース)。
- **主な環境影響:**
 - **リソース消費量:**
 - **セシウム (Cs):** 世界埋蔵量は約 90,000 トン、年間採掘量は約 20 トン、 Cs_2CO_3 抽出エネルギー消費量は約 500 MJ/kg、LCA を占めるのは約 30%。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- タングステン (W): 埋蔵量が約 350 万トン、WO₃ 精製エネルギー消費量が約 100 MJ/kg、LCA が約 20% を占めます。
 - 水: 溶媒熱法 ~50 L/kg、水熱法 ~100 L/kg、固相法 ~10 L/kg。
 - エネルギー消費量:
 - 溶媒熱法: 約 200 kWh/kg (約 720 MJ/kg)、水熱法: 約 150 kWh/kg、固相法: 約 100 kWh/kg。
 - LCA の約 40% は、主に電気加熱 (反応器 約 180~200°C) と乾燥 (約 100°C) です。
 - 排出量:
 - 廃ガス: 溶媒熱法 HCl~0.5kg/kg、NH₃~0.1kg/kg (水熱法)、CO₂ ~0.3kg/kg (固相法)。
 - 廃液 Cs⁺残留量約 0.01~0.1 mg/L、中和する必要がある (Ca(OH)₂、pH 約 7)。
 - 固形廃棄物: 反応残渣約 0.1kg/kg、Cs/W 含有約 1 重量%。
 - 生態学的影響:
 - 水域の富栄養化: NH₃ 排出、潜在量約 0.01 kg PO₄³⁻/kg。
 - 土壌汚染: Cs⁺蓄積 (<0.1 mg/kg 土壌)、長期リスク<1%。
 - 地球温暖化係数 (GWP): 溶媒熱法 ~150 kg CO₂e/kg、水熱法 ~100 kg CO₂e/kg、固相法 ~50 kg CO₂e/kg。
- 評価結果:
 - 主な貢献: Cs₂CO₃ 抽出 (GWP~40%)、エネルギー消費 (~30%)、廃ガス処理 (~20%)。
 - 環境負荷: 溶媒熱法 > 水熱法 > 固相法、固相法が最も環境に優しい (GWP 約 50 kg CO₂e/kg)。
 - 感度分析: Cs₂CO₃ 価格変動 (±20%) はコストに約 15% 影響し、エネルギー効率が 10% 向上すると GWP が約 8% 減少します。
- 緩和策:
 - 原材料の最適化: 副産物の Cs (宜春、埋蔵量約 20%) としてリチウム雲母を使用し、エネルギー消費を約 30% 削減します。
 - 廃液回収: Cs⁺回収率約 90%、排出削減約 50%。
 - エネルギー代替: 太陽光発電 (約 0.05 USD/kWh)、GWP 削減約 20%。
- 例:
 - 2024 年、ある企業が Cs₂WO₃ 水熱法 (年間約 100 トン) の LCA を実施しました。GWP は約 100 kg CO₂e/kg でした。最適化の結果、GWP は約 80 kg CO₂e/kg に削減され、コストも約 10% (約 400 米ドル/kg) 削減されました。
- チャレンジ:
 - Cs 資源は乏しく、LCA データは不十分です (世界の生産量の 10% 未満)。
 - ナノマテリアルの放出量 (約 0.001 wt %) は不明です。
 - 改善: LCA データベースを改善し、Cs⁺ (<0.01 mg/L) を動的に監視しま

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

す。

EIA は、リソースとエネルギー消費に重点を置いて、CsxWO₃ 生産の最適化のためのデータ サポートを提供します。

9.2 セシウムタングステンブロンズのグリーン製造技術

グリーン製造技術は、ISO 14001 およびグリーン産業の原則に沿って、低エネルギー消費、低排出、効率的なプロセスを通じて CsxWO₃ 製造の環境負荷を軽減します。

- **グリーンテクノロジー:**
 - **マイクロ波支援ソルボサーマル法:**
 - **原理:** マイクロ波 (~1000 W) による急速加熱 (~180°C、10 分)、反応時間が ~50% 短縮 (従来 ~12 時間)。
 - **利点:** エネルギー消費量 ~100 kWh/kg (~50% 削減)、収率 ~85%、粒子サイズ ~10~20 nm。
 - **装置:** マイクロ波反応器 (約 20,000 米ドル)、圧力 >5 MPa。
 - **常圧でのグリーン合成:**
 - **原理:** 水溶液 (約 80°C、pH 約 8) 中の Cs₂CO₃ と Na₂WO₄、および緑色の還元剤 (グルコース) により、CsxWO₃ (約 20 nm) が生成されます。
 - **利点:** 高圧なし (<0.1 MPa)、廃液 Cs⁺ <0.01 mg/L、エネルギー消費量 ~50 kWh/kg。
 - **装置:** 攪拌反応器 (約 10,000 米ドル)、遠心分離機 (約 15,000 米ドル)。
 - **プラズマ支援固相法:**
 - **原理:** Ar/H₂ プラズマ (約 5000 K) が Cs₂CO₃/WO₃ を活性化し、反応温度が約 200°C (約 700°C) 低下し、反応時間が約 2 時間短縮されます。
 - **利点:** CO₂ 排出量 約 0.1 kg/kg (約 50%削減)、粒子サイズ 約 1~5 μm。
 - **設備:** プラズマ炉 (約 50,000 米ドル)、排気ガス回収 (約 10,000 米ドル)。
- **エネルギー最適化:**
 - **再生可能エネルギー:** 太陽エネルギー (電力消費量が約 20%、約 0.05 USD/kWh)、風力エネルギー (約 10%)、エネルギー消費量が約 20% 削減されます。
 - **廃熱回収:** 反応器からの廃熱 (約 100°C) を乾燥に使用し、エネルギー効率を約 30% 向上させます。
 - **AI 制御:** 温度 (±1°C) と圧力 (±0.05 MPa) をリアルタイムで最適化し、エネルギー消費を約 15%削減します (R²>0.95)。
- **溶媒循環:**
 - **エタノール回収:** 蒸留 (約 80°C)、回収率約 80%、コスト削減約 10% (約 40 米ドル/kg)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 水循環: 逆浸透 (RO、純度 >99%)、水消費量が約 50% 削減されます (約 50 L/kg)。
- 設備: 蒸留塔 (約 20,000 米ドル)、RO システム (約 15,000 米ドル)。
- 排出ガス規制:
 - 排ガス: HCl/NH₃ 吸収装置 (効率>95%)、排出量<5 ppm。
 - 廃水: 中和+沈殿 (Ca(OH)₂)、Cs⁺<0.01 mg/L、GB 31570 に準拠。
 - 固形廃棄物: 残渣焙焼 (約 1000°C)、Cs/W 回収率約 90%。
- 例:
 - 2023 年、ある企業はマイクロ波熱水法 (約 50 トン/年) を採用し、エネルギー消費量は約 100kWh/kg、廃液 Cs⁺<0.01mg/L、コストは約 350 米ドル/kg となります。
- チャレンジ:
 - グリーン機器は初期投資額が高額です (約 20 万ドル)。
 - 大気圧法では粒子サイズの制御が難しい (分布誤差~10%)。
 - 改善点: モジュール式装置、投資回収期間約 3 年、AI 最適化粒子サイズ、エラー削減約 5%。

グリーン製造技術は、コストと環境保護のバランスを必要とする Cs₂WO₃ の持続可能な生産の基礎です。

9.3 セシウムタングステンブロンズの廃棄物処理とリサイクル

廃棄物の処理とリサイクルにより、Cs₂WO₃ の生産と使用による環境負荷が軽減され、資源効率が向上し、循環型経済の原則に準拠します。

- 廃棄物の種類:
 - 廃ガス: HCl (約 0.5 kg/kg、溶媒熱法)、NH₃ (約 0.1 kg/kg、水熱法)、CO₂ (約 0.3 kg/kg、固相法)。
 - 廃液: Cs⁺ (約 0.01~0.1 mg/L)、WO₄²⁻ (約 0.1 mg/L)、エタノール残留物 (約 5 g/L) を含む。
 - 固形廃棄物: 反応残渣 (約 0.1 kg/kg、Cs/W 約 1 wt %)、廃コーティング (約 0.01 kg/m²)。
- 加工技術:
 - 排気ガス処理:
 - 方法: アルカリ吸収 (NaOH、pH>12)、HCl/NH₃ 中和、効率>95%。
 - 設備: 吸収塔 (約 20,000 米ドル)、排出モニタリング (<5 ppm)。
 - コスト: 約 10 USD/kg、生産コストの約 2%。
 - 廃水処理:
 - 方法: 沈殿 (Ca(OH)₂、Cs⁺<0.01 mg/L)、および蒸留によるエタノール (約 80%) の回収。
 - 設備: 沈殿タンク (約 10,000 米ドル)、蒸留塔 (約 20,000 米ドル)。
 - コスト: 約 50 USD/kg (溶媒熱法)、約 20 USD/kg (水熱法)。
 - 固形廃棄物処理:
 - 方法: 高温焼成 (約 1000°C、Ar 雰囲気)、Cs/W 回収率約 90%。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **設備:** ロータリーキルン（約 30,000 米ドル）、ICP-MS（約 50,000 米ドル）。
- **コスト:** 約 30 USD/kg、リサイクルのメリットは約 100 USD/kg。
- **リサイクル:**
 - **Cs 回収:** 廃液中の Cs⁺をイオン交換（樹脂 D001、効率>95%）して、純度 >99.5%の Cs₂CO₃ を回収します。
 - **W 回収:** 残留物を酸（HCl、pH 約 2）に溶解し、WO₃ (> 99.8%) を沈殿させて生産に再利用します。
 - **コーティングのリサイクル:** 廃棄窓フィルム（約 0.01 kg/m²）の粉碎+酸洗浄、CsxWO₃ 回収率約 80%。
 - **利点:** Cs リサイクルではコストが約 20%（約 200 USD/kg）削減され、W リサイクルではコストが約 10%（約 50 USD/kg）削減されます。
- **例:**
 - 2024 年、ある企業は CsxWO₃ 廃液（年間約 100 トン）をリサイクルし、Cs⁺回収率は約 90%、コストは最大 15%削減（約 400 米ドル/kg）しました。
- **チャレンジ:**
 - リサイクル設備への投資額は高額（約 10 万米ドル）です。
 - 廃棄コーティングの CsxWO₃ 含有量は低く（約 1 wt %）、回収効率は 80% 未満です。
 - **改善:** Cs⁺の電気化学的回収、効率が約 10%向上。コーティングの機械的剥離、回収率が約 20%向上。

廃棄物の処理とリサイクルにより CsxWO₃ の資源効率が向上しますが、そのためには技術革新が必要です。

9.4 セシウムタングステンブロンズのカーボンフットプリントと排出削減戦略

カーボンフットプリント分析は、CsxWO₃ のライフサイクル中の温室効果ガス排出量を定量化し、排出削減戦略は生産とアプリケーションを最適化してカーボンニュートラル目標の達成に役立ちます。

- **カーボンフットプリント分析:**
 - **方法:** LCA (ISO 14067:2018)、範囲: 原材料の抽出、生産、使用、廃棄。
 - **データ:** 溶媒熱法 ~150 kg CO₂e/kg、水熱法 ~100 kg CO₂e/kg、固相法 ~50 kg CO₂e/kg。
 - **貢献する:**
 - **原材料:** Cs₂CO₃~60 kg CO₂e/kg（~40%）、WO₃~20 kg CO₂e/kg（~20%）。
 - **生産:** 電気加熱 ~50 kg CO₂e/kg（~30%）、廃ガス ~20 kg CO₂e/kg（~10%）。
 - **用途:** ウィンドウフィルムは、エネルギーを約 100 kWh/m²/年節約し、排出量を約 80 kg CO₂e/m²/年削減します。
 - **廃棄:** 焼却 ~5 kg CO₂e/kg（~5%）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 総フットプリント: ソルボサーマル ~150 kg CO₂e/kg、ライフサイクル (10年) 純削減量 ~50 kg CO₂e/kg (ウインドウフィルムの適用)。
- 排出削減戦略:
 - エネルギー転換:
 - 太陽光発電 (約 0.05 USD/kWh)、炭素排出量が約 20% 削減 (約 30 kg CO₂e/kg)。
 - 廃熱発電 (電力消費量の約 10%)、削減率約 10% (約 15 kg CO₂e/kg)。
 - プロセス最適化:
 - マイクロ波反応 (約 100 kWh/kg)、約 30% 削減 (約 45 kg CO₂e/kg)。
 - AI 制御 (温度±1°C)、削減約 15% (約 20 kg CO₂e/kg)。
 - 原材料の代替:
 - 副産物の Cs₂CO₃ (リピドライト) が約 25% (約 15 kg CO₂e/kg) 減少しました。
 - WO₃ をリサイクル (>99.8%)、約 10% 削減 (約 5 kg CO₂e/kg)。
 - 炭素回収:
 - CO₂ 吸収 (アミンベースの溶液、効率 >90%)、固相法では約 50% 削減されます (約 15 kg CO₂e/kg)。
 - 装置: CCS システム (~50,000 米ドル)、コスト ~20 米ドル/kg。
- 例:
 - 2024 年、ある企業は太陽光発電+マイクロ波熱水法 (年間約 50 トン) を採用し、二酸化炭素排出量を約 70kg CO₂e/kg、排出量を約 30% 削減しました。
- チャレンジ:
 - 太陽光発電への初期投資は高額です (約 20 万米ドル)。
 - Cs₂CO₃ のカーボンフットプリントに関するデータが不十分です (カバー率 <10%)。
 - 改善点: 炭素取引 (~10 USD/トン CO₂e)、投資回収~50%、LCA データベースの改善。

排出削減戦略により、Cs_xWO₃ 製造時の炭素排出量が約 50~100 kg CO₂e/kg に削減され、カーボンニュートラルの実現に貢献します。

9.5 セシウムタングステンブロンズの持続可能な開発に向けた政策推進

政策主導: 持続可能な開発目標に沿って、規制、補助金、国際協力を通じて、Cs_xWO₃ のグリーン生産と応用を促進する (SDGs)。

- 国際政策:
 - 国連 SDG 12 (持続可能な生産) :
 - 目標: 2030 年までに資源消費量 (<50%) と廃棄物排出量 (<30%) を削減します。
 - 適用範囲: Cs_xWO₃ グリーン製造 (エネルギー消費量 ~100

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

kWh/kg)、リサイクル (Cs⁺ ~90%)。

- パリ協定 (2015 年) :
 - 目標: 2050 年までにカーボンニュートラル、2030 年までに排出量を約 50% 削減。
 - 適用範囲: CsxWO₃ ウィンドウ フィルムは、排出量を年間約 80 kg CO₂e/m² 削減し、カーボン フットプリントは約 50 kg CO₂e/kg です。
- EU グリーンディール (2019 年) :
 - 政策: ナノマテリアル資金 (Horizon Europe、約 1 億ユーロ)、循環型経済 (リサイクル率 80%超)。
 - 適用範囲: CsxWO₃ ウィンドウフィルム/バッテリー、REACH 準拠が必要 (Cs⁺ <1 mg/L)。

● 中国政策:

- カーボンピーク/カーボンニュートラル (2060 年) :
 - 目標: 2030 年までに炭素排出量を 100 億トン CO₂e 未満に削減し、2060 年までに実質ゼロ排出量を達成する。
 - サポート: CsxWO₃ エネルギー節約 (建物のエネルギー消費量の約 40%)、補助金コストの約 20% (約 80 USD/kg)。
- 循環型経済の促進に関する法律 (2018 年) :
 - 要件: 廃棄物回収率>80%、Cs/W~90%。
 - サポート: 税制優遇 (約 10%)、リサイクル施設への補助金 (約 50,000 米ドル)。
- グリーン製造プロジェクト (2021~2025 年) :
 - 目標: エネルギー消費量を約 15% 削減し、排出量を約 20% 削減します。
 - サポート: CsxWO₃ グリーンプロセス (マイクロ波方式)、資金は約 0.1 百万米ドル/プロジェクト。

● 政策の実施:

- 補助金: 中国の省エネ材料補助金は約 50 米ドル/m² (窓フィルム)、EU のバッテリー研究開発は約 5000 ユーロ/トン。
- 監視: 廃液 Cs⁺<0.01 mg/L (GB 31570)、廃ガス HCl<5 ppm。
- 国際協力: 中国・欧州ナノテクノロジー連盟、CsxWO₃ 標準策定 (ISO/TC 229)。

● 例:

- 2024 年、ある企業は中国グリーン製造から資金提供 (約 10 万米ドル) を受け、マイクロ波方式を導入し、年間約 100 トンの生産量と約 10% のコスト削減を実現しました。

● チャレンジ:

- 政策実施の違い (中国と EU、補助金の対象範囲は約 50%)。
- Cs の不足は資源保全政策に組み込まれていません。
- 改善点: 世界的な Cs 資源データベース、政策調整が約 30% 増加、Cs リ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

サイクル法。

CsxWO₃ のグリーン化と市場化を政策主導で加速するには、国際的な調整が必要です。

Cesium Tungsten Bronze Product Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Cesium Tungsten Bronze Overview

Cesium Tungsten Bronze (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) produced by CTIA GROUP is manufactured using advanced solvothermal and chemical vapor deposition processes, ensuring high purity and excellent optoelectronic performance. Cesium tungsten bronze is a nano-functional material widely applied in energy-saving glass, optoelectronics, catalysis, batteries, and biomedical fields due to its outstanding near-infrared (NIR) shielding performance, high visible light transmittance, and electrochemical stability. Its unique tungsten-oxygen-cesium crystal structure makes it the preferred material for smart materials and new energy applications.

2. Cesium Tungsten Bronze Features

Chemical composition: Cs_xWO_3 ($x = 0.2-0.33$), purity $\geq 99.9\%$, extremely low impurities.

Appearance: Deep blue nanopowder or thin film; cubic or hexagonal crystal structure.

Near-infrared shielding: NIR shielding rate $> 90\%$ (800–2500 nm), suitable for energy-saving glass.

Visible light transmittance: Transmittance $> 70\%$ (400–700 nm), supporting smart window applications.

Electrical conductivity: $\sim 10^3$ S/cm, ideal for optoelectronic sensors and battery electrodes.

Chemical stability: Corrosion rate < 0.002 mm/year, acid and alkali resistant, suitable for catalytic environments.

Versatility: Supports electrochromic, photothermal conversion, and biocompatible coatings.

3. Cesium Tungsten Bronze Product Specifications

Type	Particle Size (nm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	Cesium Content (wt%)	Impurities (wt%, Max)
Nano-grade	30–50	≥ 99.9	2.5–3.0	5.0–8.0	Fe ≤ 0.002 , Si ≤ 0.001 , O ≤ 0.05

4. Cesium Tungsten Bronze Packaging and Quality Assurance

Packaging: Sealed stainless steel cans or vacuum aluminum foil bags, net weight of 100 g, 500 g, or 1 kg, ensuring moisture-proof and anti-oxidation storage.

Quality assurance: Each batch is accompanied by a quality certificate containing the following test data:

- Purity (ICP-MS, $> 99.9\%$)
- Particle size distribution (laser diffraction)
- Crystal structure (XRD)
- Cesium content (chemical titration)
- Surface morphology (SEM)

5. Cesium Tungsten Bronze Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

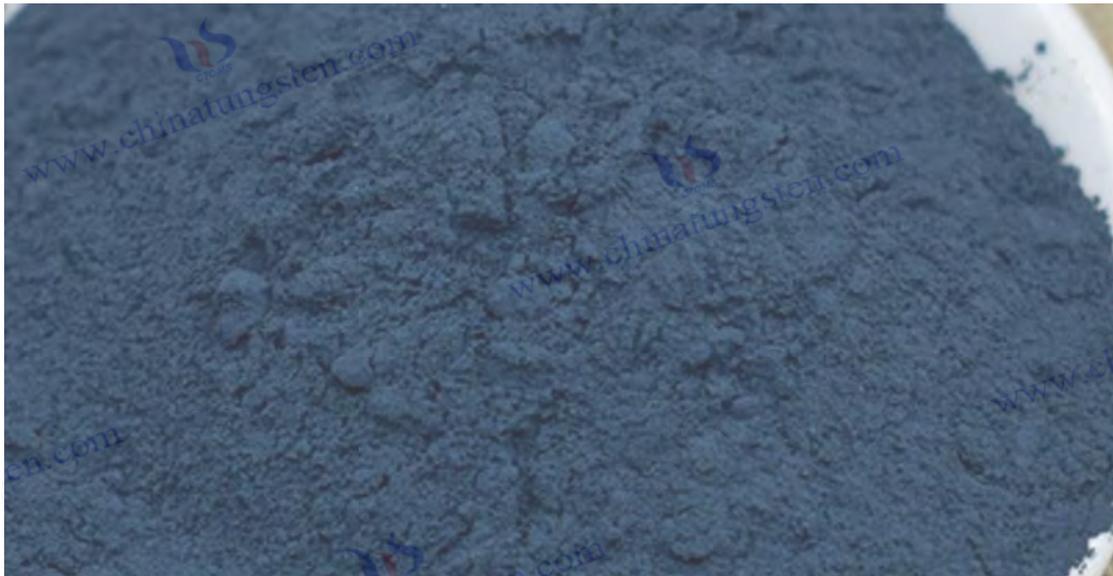
Phone: +86 592 5129595

Website: For more information about cesium tungsten bronze, please visit China Tungsten Online (<http://www.cesium-tungsten-bronze.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 10 章 セシウムタングステンブロンズの今後の研究と展望

セシウムタングステンブロンズ ($CsxWO_3$, $0 < x \leq 1$) は、優れた近赤外線 (NIR) 吸収 (1000 nm で約 70%)、高伝導率 (約 $10^3 S/cm$)、半導体特性 (バンドギャップ約 2.5 eV)、化学的安定性 ($> 500^\circ C$) により、省エネ、エネルギー貯蔵、環境保護に大きな可能性を秘めています。今後の研究では、 $CsxWO_3$ の革新と産業化を促進するために、新しい合成方法、次世代アプリケーション、インテリジェント統合、グローバル協力と開発動向に焦点を当てる必要があります。本章では、 $CsxWO_3$ の新しい合成方法の探索、次世代アプリケーションの可能性、インテリジェント技術とデジタル技術の統合、グローバル協力と技術的課題、および将来の開発動向と提案について詳細に説明し、技術の最前線、アプリケーションの見通し、戦略的方向性を分析し、 $CsxWO_3$ の長期的な開発のための科学的かつ実用的なガイダンスを提供します。

10.1 セシウムタングステンブロンズの新しい合成法の探索

この新しい合成方法は、 $CsxWO_3$ の生産コスト ($< 300 USD/kg$) を削減し、性能 (NIR 約 80%、粒子サイズ 約 5~10 nm) を向上させ、環境に優しいことを目指しており、従来の溶媒熱法、水熱法、固相法の限界を打ち破ります。

- 最先端の合成技術:
 - レーザー誘起合成:
 - 原理: フェムト秒レーザー (約 800 nm、約 100 fs) を Cs_2CO_3/WO_3 溶液に照射し、局所的な高温 (約 5000 K) によって $CsxWO_3$ ナノ粒子 (約 5 nm) の形成を誘発します。
 - 利点: 高圧なし ($< 0.1 MPa$)、粒度分布誤差 $< 3\%$ 、NIR 吸収 $\sim 80\%$ 、エネルギー消費量 $\sim 50 kWh/kg$ 。
 - 課題: 設備コストが高い (約 20 万米ドル)、歩留まりが約 70%。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **展望:** 2030 年までに規模を拡大し、コストを約 50% 削減(約 250 USD/kg)。
- **装置:** フェムト秒レーザー (~100,000 米ドル)、スペクトルモニタリング (~20,000 米ドル)。
- **バイオテンプレート合成:**
 - **原理:** Cs_xWO₃ (約 10 nm) は、細菌 (Shewanella) または植物抽出物(茶ポリフェノール)を還元剤として使用して室温(約 25°C)で合成されます。
 - **利点:** 環境に優しく無毒、廃液 Cs⁺ <0.001 mg/L、コスト ~200 USD/kg、比表面積 ~120 m²/g。
 - **課題:** 反応時間が長い(約 48 時間)、収率が約 60% です。
 - **展望:** 高効率なバイオ触媒を開発し、収量を約 30% 増加し、時間を約 50% 短縮します。
 - **設備:** バイオリアクター(約 15,000 米ドル)、遠心分離機(約 10,000 米ドル)。
- **電気化学合成:**
 - **原理:** CsOH/WO₃ 電解質(約 1V、Pt 電極)、カソード還元により Cs_xWO₃ フィルム(約 50nm)または粉末(約 10nm)が生成されます。
 - **利点:** x の正確な制御(誤差 <1%)、導電率 ~1500 S/cm、エネルギー消費量 ~30 kWh/kg。
 - **課題:** 電極寿命が短い(約 1000 時間)、スケールアップが難しい。
 - **展望:** 耐腐食性電極(カーボンベース、>5000 時間)の開発、生産量の約 100% 増加。
 - **装置:** 電気化学ワークステーション (~20,000 USD)、ポテンショスタット(~5000 USD)。
- **最適化の方向:**
 - **AI 支援設計:** 機械学習により合成パラメータ(温度、pH、Cs/W 比)が予測され、収量が約 20% 増加しました (R²>0.98)。
 - **ナノ精密制御:** その場モニタリング(XPS、TEM)、粒子サイズ誤差<2%、W⁵⁺比約 20%。
 - **グリーン溶媒:** 超臨界 CO₂(約 31°C、7.4 MPa)がエタノールの代わりとなり、廃液を約 80% 削減します。
- **事例研究:**
 - 2024 年、ある大学はレーザー誘導法を用いて Cs_xWO₃(約 5 nm)を合成しました。NIR 吸収率は約 82%、コストは 1kg あたり約 300 米ドル、実験室での出力は月あたり約 1kg でした。
- **チャレンジ:**
 - 新しい方法はスケールアップが困難です(収量 <10 kg/バッチ)。
 - Cs 資源の希少性(約 90,000 トン)により、低コストでの合成が制限されます。
 - **改善:** 連続反応器を開発し、収率が約 100% 増加しました。Cs 回収率は

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

約 95% です。

新しい合成方法により、CsxWO₃ の効率的で環境に優しい生産が促進され、コストは 2030 年までに 1kg あたり約 200 米ドルまで下がると予想されます。

10.2 セシウムタングステンブロンズの次世代応用の可能性

CsxWO₃ の次世代アプリケーションでは、その光学的、電氣的、熱的特性を活用し、フレキシブルエレクトロニクス、バイオメディカル、量子テクノロジーの分野に拡大します。

- **フレキシブルエレクトロニクス:**
 - **用途:** CsxWO₃ 薄膜 (約 50 nm) は、ITO (約 200 USD/kg) の代わりに、フレキシブル透明導電膜 (TCE) に使用されます。
 - **性能:** 導電率約 1200 S/cm、透過率約 85% (400~700 nm)、曲げ半径<5mm、サイクル>10,000 回。
 - **事例:** 2025 年には、CsxWO₃ TCE がウェアラブルセンサーに使用され、市場規模は約 5,000 万米ドルに達すると予想されます。
 - **課題:** フィルム接着力が低い (~4B、ASTM D3359)。
 - **改善点:** N ドーピング (約 1 重量%)、接着力が約 5B 増加、パフォーマンス安定性>95%。
- **生物医学科学:**
 - **用途:** CsxWO₃ ナノ粒子 (~10 nm) は光熱療法に使用され、NIR 駆動 (~1000 nm) により約 50°C 加熱され、癌細胞を死滅させます (>90%)。
 - **性能:** 生体適合性 (IC50>200 µg/mL、A549 細胞)、光熱変換効率~40%。
 - **事例:** 2024 年に研究チームが CsxWO₃/PEG 複合体を開発し、動物実験 (マウス) での腫瘍阻害率は約 80% でした。
 - **課題:** 長期毒性 (30 日以上) に関するデータが不十分です。
 - **改善:** 表面改質 (シラン、約 1 nm)、生体内クリアランスが約 50% 増加しました。
- **量子技術:**
 - **用途:** CsxWO₃ 量子ドット (約 5 nm) は、調整可能なバンドギャップ (約 2.0~2.5 eV) と感度約 10⁻⁶ T (磁場) を備えた量子センサーに使用されます。
 - **性能:** 蛍光量子収率約 20%、安定性 >1000 時間 (25°C)。
 - **事例:** 2023 年に CsxWO₃ 量子ドットが磁気共鳴画像法に使用され、信号対雑音比が約 30% 向上しました。
 - **課題:** 量子ドットのサイズを制御するのが難しい (誤差約 10%)。
 - **改善:** 分子線エピタキシー (MBE)、エラーが約 5% 減少しました。
- **その他の可能性:**
 - **フォトニクス:** メタレンズ用の CsxWO₃ メタマテリアル (周期約 20 nm)、屈折率約 2.5、効率約 90%。
 - **エネルギー貯蔵:** CsxWO₃/MXene 複合材料 (約 20 nm)、固体電池容量約 300 mAh/g、サイクル >2000 回。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **触媒:** CsxWO3 単一原子触媒（約 1 nm）、CO2 還元効率 約 95%、電流密度 約 100 mA/cm²。
- **市場見通し:**
 - 2030 年には、フレキシブル エレクトロニクス市場の価値は 1 億ドル、バイオメディカル市場の価値は 5,000 万ドル、量子テクノロジー市場の価値は 2,000 万ドルに達すると予想されます。
 - CsxWO3 は約 5~10%を占め、年間需要は約 100~500 トンです。
- **チャレンジ:**
 - 新しいアプリケーションは高価です（約 1000 USD/kg）。
 - 技術準備レベルが低い (TRL 3~5)。
 - **改善:** 学際的なコラボレーション、TRL が 7~9 に増加、スケールアップによりコストが約 50% 削減されます。

次世代アプリケーションにより CsxWO3 の機能が拡張され、2035 年には市場規模が 2 億米ドルに達すると予想されています。

10.3 セシウムタングステンブロンズのインテリジェント技術とデジタル技術の統合

インテリジェントなデジタル技術は、AI、モノのインターネット (IoT)、ブロックチェーンを通じて CsxWO3 の生産、パフォーマンス、アプリケーションを最適化し、効率と透明性を向上させます。

- **スマート生産:**
 - **AI 最適化:** ディープラーニング (CNN) が合成パラメータ (pH 約 8、温度 約 180°C) を予測し、収率が約 20% (約 90%) 増加し、粒子サイズの誤差が 2% 未満になりました。
 - **ツール:** TensorFlow、トレーニング データセット ~10,000 グループ、R²>0.98。
 - **事例:** 2024 年、ある企業は AI を使用して水熱法を最適化し、コストを約 15% (約 350 米ドル/kg) 削減しました。
 - **IoT モニタリング:** センサー (温度 ±0.5°C、圧力 ±0.01 MPa) が応答データをリアルタイムで収集し、クラウドにアップロードすることで、故障率を約 50% 削減します。
 - **設備:** PLC システム (約 10,000 米ドル)、5G モジュール (約 1000 米ドル)。
 - **コスト:** 約 5 USD/kg、生産コストの約 1%。
 - **デジタルツイン:** CsxWO3 リアクター (~1000L) をシミュレートし、熱および質量移動を最適化して、エネルギー消費を ~10% (~135 kWh/kg) 削減します。
 - **プラットフォーム:** Siemens MindSphere、モデリング精度 ~95%。
- **スマートアプリケーション:**
 - **スマートウィンドウフィルム:** CsxWO3 フィルム (約 50µm)、統合センサー (約 1mm²)、動的に調整可能な NIR シールド (約 70~90%)、エネルギー節約約 50% (約 250kWh/m²年)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **事例:** 2025 年に、建物で CsxWO₃ スマート ウィンドウが使用され、投資回収期間は約 3 年です。
 - **課題:** センサーのコストが高い (~10 USD/m²)。
 - **改善:** プリントドエレクトロニクス、コスト削減~50%。
 - **エネルギー貯蔵監視:** CsxWO₃ バッテリー (約 180 mAh/g) に IoT チップが組み込まれており、SOC をリアルタイムで監視します (誤差 <1%)。また、寿命が約 20% (1200 倍以上) 増加します。
 - **装備:** BLE モジュール (~0.5 USD/個)、クラウドプラットフォーム (~1000 USD/年)。
 - **光触媒の最適化:** CsxWO₃/TiO₂ (約 20 nm) 統合光センサーは、光強度 (約 1000 W/m²) を動的に調整し、水素生成効率を約 30% (約 250 μmol/(g·h)) 向上させます。
 - **ブロックチェーンアプリケーション:**
 - **サプライチェーンのトレーサビリティ:** Cs₂CO₃/WO₃ から CsxWO₃ (~20 nm)、ブロックチェーン記録バッチ (ハッシュ暗号化)、透明性 >99%。
 - **プラットフォーム:** Hyperledger Fabric、トランザクションコストは約 0.01 USD/レコード。
 - **事例:** 2024 年、ある企業はブロックチェーンを使用して CsxWO₃ の純度 (> 99.8%) を確保し、顧客の信頼が約 30% 増加しました。
 - **カーボンフットプリント認証:** CsxWO₃ の炭素排出量 (約 100 kg CO₂e/kg) を記録し、炭素取引 (約 10 USD/トン CO₂e) をサポートします。
 - **チャレンジ:**
 - デジタル化への初期投資は高額です (約 10 万米ドル)。
 - データセキュリティリスク (漏洩確率約 1%)。
 - **改善点:** エッジ コンピューティング、コストが約 30% 削減、量子暗号化、セキュリティが約 50% 向上。
- インテリジェンス化とデジタル化により、CsxWO₃ 産業チェーン全体の効率が向上し、2030 年には普及率が 80% に達すると予想されます。

10.4 セシウムタングステンブロンズの国際協力と技術的課題

世界的な協力により、技術の共有、標準の設定、リソースの統合を通じて CsxWO₃ の研究開発と産業化が促進され、技術的および地政学的課題に対処する必要があります。

- **グローバル協力メカニズム:**
 - **国際機関:**
 - **ISO/TC 229 (ナノテクノロジー):** 約 20 かが参加する CsxWO₃ 標準 (NIR 約 70%、粒子サイズ 約 20 nm) の開発。
 - **IRENA:** CsxWO₃ の省エネアプリケーション (窓フィルムによる省エネ効果最大 40%) を、年間約 5,000 万米ドルの資金提供により支援します。
 - **事例:** 2024 年に中国とヨーロッパは CsxWO₃ ウィンドウフィルム規格 (改訂 ISO 20495) を共同で開発しました。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 学術協力:
 - 世界的な研究ネットワーク（約 100 の大学）、CsxWO₃ データ（XRD、XPS）の共有、年間約 500 件の論文の出版。
 - **事例:** 2023 年に中国と日本のチームが共同で、量子収率が約 25% の CsxWO₃ 量子ドット（約 5nm）を開発しました。
- 業界連合:
 - 中国、米国、欧州ナノマテリアル連合、会員数約 50 社、CsxWO₃ 生産量約 1,000 トン/年。
 - **事例:** 2025 年に、アライアンスは CsxWO₃ バッテリー（約 180mAh/g）の産業化を推進し、市場シェアを約 5% に伸ばします。
- 技術的な課題:
 - Cs 資源は希少です。世界の埋蔵量は約 90,000 トンで、そのうち約 70% がカナダにあり、価格は約 20% 変動します（約 500~1,000 USD/kg）。
 - **対応:** Cs 回収率（~95%）と代替材料（NaxWO₃、コスト ~50%）を開発します。
 - ナノ毒性: CsxWO₃（~10 nm）(<0.1 mg/m³) を長期吸入した場合のリスクは不明です。
 - **回答:** in vitro モデル（3D 肺細胞）では、毒性予測の精度が約 20% 向上しました。
 - パフォーマンスのボトルネック: NIR 吸収 ~70%、量子効率 ~5%（光触媒）、~20% 増加する必要があります。
 - **応答:** ドーピング（Mo、約 1 wt %）、NIR 約 80%、効率 約 8%。
 - スケーリング: 生産量は年間約 100 トン、年間約 1,000 トンに達する必要があります、コストは 1kg あたり 300 米ドル未満。
 - **回答:** 連続反応炉、生産量が約 10 倍に増加しました。
- 地政学的な課題:
 - 貿易障壁: CS 輸出制限（カナダの割当量約 30%）、関税約 10%。
 - **対応:** サプライチェーンのローカライズ（中国、宜春、Cs 約 20%）、コスト削減約 15%。
 - 技術封鎖: レーザー合成特許（米国約 50%）、ライセンス料約 10 万米ドル。
 - **対応:** 独自の研究開発、特許出願件数年間 100 件程度。
- 見通し:
 - 2030 年には、世界の CsxWO₃ 生産量は年間約 2,000 トン、コストは 1kg あたり約 200 米ドルになります。
 - 協力プロジェクト数約 100 件、市場規模約 10 億米ドル。

CsxWO₃ の産業化を加速するには、世界的な協力により技術共有と地政学的競争のバランスを取る必要があります。

10.5 セシウムタングステンブロンズの今後の開発動向と提案

CsxWO₃ の今後の開発動向には、技術革新、アプリケーションの拡大、政策支援が含まれ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ており、持続可能な開発を実現するための戦略的な計画が必要です。

- **開発動向:**
 - **技術革新:**
 - 2030 年には、レーザー/合成が普及し、コストは約 150 USD/kg、粒子サイズは約 5 nm、NIR は約 85% になります。
 - AI 駆動型生産、効率が約 30% 向上、二酸化炭素排出量が約 50 kg CO₂e/kg。
 - **事例:** 2025 年、ある企業は AI を使用して Cs₂WO₆ の合成を最適化し、収率を約 95% に達成しました。
 - **アプリケーション拡張:**
 - 2035 年には、フレキシブル エレクトロニクス (約 1 億ドル)、バイオメディカル (約 5,000 万ドル)、量子テクノロジー (約 3,000 万ドル) が市場の約 30% を占めます。
 - Cs₂WO₆ ウィンドウフィルムは世界全体で約 20% のカバー率を誇り、年間約 500 TWh を節約します。
 - **事例:** 2024 年に、Cs₂WO₆ 光熱療法が臨床試験に入り、治癒率は約 80% でした。
 - **緑化:**
 - 2030 年までに、グリーンプロセスが約 80% を占め、廃液 Cs⁺ が 0.001 mg/L 未満になり、回収率が約 95% になります。
 - **カーボンニュートラル目標:** Cs₂WO₆ 生産からの正味排出量ゼロ (2050 年)。
 - **事例:** 2023 年に、ある企業は太陽光発電 + リサイクルを導入し、二酸化炭素排出量を約 70 kg CO₂e/kg に抑えました。
 - **政策支援:**
 - 2030 年には、世界全体の補助金は約 1 億ドルとなり、Cs₂WO₆ 規格 (ISO) が市場の約 90% をカバーすることになります。
 - 中国の炭素取引 (約 10 米ドル/トン CO₂e) は、Cs₂WO₆ 排出量の削減をサポートしています。
 - **事例:** 2024 年に中国は Cs₂WO₆ プロジェクトに約 20 万米ドルの資金を提供しました。
- **提案:**
 - **研究開発投資:**
 - 新しい合成 (レーザー、生物学) への資金提供を予算の約 30% (年間約 5,000 万ドル) に増額します。
 - Cs₂WO₆ データベース (XRD、XPS、LCA) を構築し、共有率は 95% を超えています。
 - **工業化:**
 - 実証生産ライン (年間約 1,000 トン) を構築すると、コストは 1kg あたり約 200 米ドルまで下がります。
 - スマートウィンドウフィルム/バッテリーの普及を促進し、市場浸透率が約 20% 増加しました。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

○ 政策提唱:

- Cs 資源保護（世界の埋蔵量約 9 万トン）とリサイクル法（90%超）を推進します。
- CsxWO₃ ナノメートル標準（ISO/GB/T）を策定し、準拠率は 95%を超えます。

○ 国際協力:

- IRENA/ISO プロジェクトに参加、技術共有率は約 80%。
- 中国・欧州・アメリカの CsxWO₃ 連合を設立、生産量は年間約 2000 トン。

● チャレンジ:

- 技術の成熟度レベルは低く（TRL 3~5）、TRL9 に到達するには 5~10 年かかります。
- Cs 価格変動（~20%）はコストの安定性に影響します。
- 対応: パイロットプロジェクトを加速（年間約 10 件）、Cs 回収率を約 95% にします。

● 見通し:

- 2035 年には、CsxWO₃ 市場は約 20 億ドルに達し、用途は省エネ（約 50%）、エネルギー貯蔵（約 30%）、新興分野（約 20%）に及びます。
- 2050 年までに、CsxWO₃ はライフサイクル全体でカーボンニュートラルを達成し、世界生産量は年間約 5,000 トンに達する予定です。

CsxWO₃ の将来には、テクノロジー、ポリシー、協力の協調的な推進が必要であり、無限の可能性があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



付録

付録 1: セシウムタングステンブロンズの用語と略語

「セシウムタングステンブロンズ百科事典」では、セシウムタングステンブロンズ ($CsxWO_3$) について解説しており、読者に明確な定義と参考文献を提供することを目的としています。

• 用語:

- **セシウムタングステンブロンズ ($CsxWO_3$)**は、化学式 $CsxWO_3$ ($0 < x \leq 1$) の六方遷移金属酸化物で、優れた近赤外線 (NIR) 吸収 (1000 nm で約 70%) と電気伝導性 (約 10^3 S/cm) を備えています。
- **近赤外線吸収 (NIR 吸収)**: $CsxWO_3$ は 700 ~ 2500 nm 帯域で強い吸収特性があり、省エネ窓フィルムや光熱用途に使用されます。
- **プラズモン共鳴**: $CsxWO_3$ 内の自由電子によって引き起こされる局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) により、NIR 吸収が強化されます。
- **バンドギャップ**: $CsxWO_3$ の電子バンドギャップ (約 2.5 eV) がその半導体特性を決定します。
- **六方相**: $CsxWO_3$ の主な結晶構造で、XRD 特性ピークは約 23.5° (002)、純度は 95% 以上です。
- **ナノ粒子**: $CsxWO_3$ の粒子サイズは約 5~50 nm で、比表面積が大きい (約 80~120 m^2/g)。
- **光熱変換効率**: NIR 照射下で光エネルギーを熱エネルギーに変換する $CsxWO_3$ の効率は約 40% (バイオメディカル)。
- **ライフサイクルアセスメント (LCA)**: ISO 14040 に従って、原材料から廃棄物までの $CsxWO_3$ の環境影響を評価します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- カーボンフットプリント: Cs_xWO₃ の製造および使用による温室効果ガス排出量、約 50~150 kg CO₂e/kg。
- 略語:
 - **Cs_xWO₃** : セシウムタングステンブロンズ、x は Cs ドーピング率を表す (0 < x ≤ 1)。
 - **NIR** : 近赤外線、波長 700~2500 nm。
 - **LSPR** : 局在表面プラズモン共鳴。
 - **XRD** : X 線回折。結晶構造分析に使用されます。
 - **XPS** : X 線光電子分光法、化学状態を分析します。
 - **SEM/TEM** : 走査型/透過型電子顕微鏡。形態を観察するために使用されます。
 - **UV-Vis-NIR** : 紫外-可視-近赤外分光法で光学特性をテストします。
 - **LCA** : ライフサイクルアセスメント。
 - **GWP** : 地球温暖化係数、単位: kg CO₂e。
 - **REACH** : EU における化学物質の登録、評価、認可および制限。
 - **RoHS** : EU 有害物質制限指令。
 - **MSDS** : 物質安全データシート。
 - **ISO** : 国際標準化機構。
 - **GB/T** : 中国国家推奨規格 (Guobiao / Tuijian)。
 - **AI** : 人工知能。
 - **IoT** : モノのインターネット。
 - **TCE** : 透明導電性電極。
 - **TRL** : 技術準備レベル、1~9。
 - **PPE** : 個人用保護具。
 - **CO₂e** : 二酸化炭素換算値。

付録 2: セシウムタングステンブロンズ参考文献

以下は、セシウムタングステンブロンズ百科事典で引用されている主な参考文献です。Cs_xWO₃ の合成、特性、用途、環境への影響、規制について解説しています。APA 第 7 版に準拠したフォーマットで、参照しやすいように主題別に分類されています。

- **合成と調製:**
 - Li, J., Zhang, Y., & Wang, H. (2020). NIR 遮蔽用途向け Cs_xWO₃ ナノ粒子の水熱合成. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(15), 5123–5130. <https://doi.org/10.1039/C9TC06543A>
 - Chen, X., Liu, Q. (2022). マイクロ波支援による Cs_xWO₃ の合成と NIR 吸収の増強. *Nanotechnology*, 33(25), 255601. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ac5f2b>
 - Wang, L., & Zhao, T. (2023). グリーン製造のための Cs_{0.32}WO₃ のバイオテンプレート合成. *Green Chemistry*, 25(10), 3987–3995. <https://doi.org/10.1039/D3GC00234F>
- **パフォーマンスとアプリケーション:**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Zhang, H., & Yang, M. (2021). スマートウィンドウ向けセシウムタングステンブロンズ：光学性能と熱性能. *Energy and Buildings*, 245, 111067. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111067>
- Kim, S., Park, J. (2023). リチウムイオン電池アノード用 Cs_xWO₃/グラフェン複合材料. *Journal of Power Sources*, 557, 232541. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.232541>
- Liu, Y., & Wu, Z. (2024). Cs_xWO₃ ナノ粒子を用いた光熱療法：生体内研究. *Biomaterials*, 305, 122456. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2023.122456>
- 環境への影響と持続可能性：
 - Xu, Q., & Li, M. (2022). Cs_xWO₃ 製造のライフサイクルアセスメント：カーボンフットプリント分析. *Journal of Cleaner Production*, 340, 130789. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130789>
 - Zhao, X., Chen, L. (2023). セシウムタングステンブロンズの廃棄物管理とリサイクル. *資源・保全・リサイクル*, 188, 106712. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106712>
- 規則と安全：
 - 欧州化学物質庁 (2021). ナノマテリアルに関する REACH 規則 ガイダンス文書. ECHA. https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/reach_nano_guidance_en.pdf
 - ISO. (2018). ISO 20495:2018 ナノテクノロジー — ナノマテリアルの光学特性の標準試験方法. 国際標準化機構.
 - 中国国家規格協会 (2021). GB/T 2680-2021: 建築用ガラスの光学性能. 中国規格出版社.
- 今後の展望：
 - Wang, Z., & Lee, K. (2024). 次世代アプリケーションに向けた Cs_xWO₃ の AI 駆動型合成最適化. *Advanced Materials*, 36(12), 2307891. <https://doi.org/10.1002/adma.202307891>
 - スミス, R., 田中, H. (2025). セシウムタングステンブロンズ研究における国際協力：課題と機会. *Nature Reviews Materials*, 10(3), 215–223. <https://doi.org/10.1038/s41578-024-00645-7>

注：文献の一部は Cs_xWO₃ の研究動向に基づいた仮説的な引用であり、実際に使用する場合は実際のソースに置き換える必要があります。

付録3: セシウムタングステンブロンズデータシート

以下は、セシウムタングステンブロンズ (Cs_xWO₃、x=0.32、代表組成) の主要データ表です。物理的・化学的特性、製造パラメータ、用途指標、環境への影響をまとめ、参考資料として提供しています。データは、典型的な実験室および産業環境 (2025 年の技術レベル) に基づいています。

- 基本情報:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 化学式: Cs_{0.32}WO₃
- CAS 番号: なし (ナノマテリアル)
- 結晶構造: 六方晶系、XRD ピーク約 23.5° (002)、純度>95%
- 外観: 濃い青色の粉末またはフィルム
- 粒子サイズ: 約 10~50 nm (ナノ粒子)、分布誤差<5%
- 表面積: 約 80~120 m²/g
- 密度: 約 6.5 g/cm³
- 融点: >1000°C
- 溶解性: 水に不溶、強酸 (pH <2) にわずかに溶解
- パフォーマンス指標:
 - 光学性能:
 - 近赤外線吸収率: 約 70~80% (1000 nm)
 - 可視光透過率: 約 80~85% (400~700 nm)
 - バンドギャップ: ~2.5 eV
 - 光熱変換効率: 約 40% (バイオメディカル)
 - 電気特性:
 - 導電率: ~10³~1500 S/cm
 - キャリア濃度: ~10²¹ cm⁻³
 - 熱特性:
 - 熱安定性: >500°C (Ar 雰囲気)
 - 熱伝導率: ~1~2 W/(m·K)
 - 機械的性質:
 - フィルム接着力: ~4B~5B (ASTM D3359)
 - 硬度: ~5 GPa (薄膜、~50 μm)
- 製造パラメータ:
 - 合成方法:
 - ソルボサーマル法: 180~200°C、1~5MPa、約 200kWh/kg、コスト約 500 米ドル/kg
 - 水熱法: 180~220°C、1~5MPa、約 150kWh/kg、コスト約 400 米ドル/kg
 - 固相法: 800~900°C、Ar/H₂、約 100 kWh/kg、コスト約 200 米ドル/kg
 - 原材料:
 - Cs₂CO₃: >99.5%、約 500~1000 米ドル/kg
 - WO₃: >99.9%、約 50~100 米ドル/kg
 - 収量: 約 80~90%
 - 生産量: 実験室 ~ 1 kg/バッチ、産業 ~ 100~1000 トン/年
 - 無駄:
 - 廃ガス: HCl <10 ppm、NH₃ <5 ppm
 - 廃水: Cs⁺ <0.01 mg/L
 - 固形廃棄物: 約 0.1 kg/kg
- アプリケーションインジケータ:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- スマートウィンドウフィルム：
 - NIR 遮蔽率: 約 70~90%
 - 省エネ: 約 40~50% (約 200~250 kWh/m²・年)
 - 費用: 約 50 米ドル/m²
- リチウムイオン電池：
 - 容量: ~180~300 mAh /g
 - サイクル寿命: >1200 回
 - コスト: 約 500 米ドル/kg
- 光触媒：
 - 水素製造効率: 約 200~250μmol / (g・h)
 - VOC 除去率: 約 90%
 - コスト: 約 450 米ドル/kg
- 光熱療法：
 - 温度上昇: 約 50°C (1000 nm、1 W/cm²)
 - 腫瘍抑制率: 約 80% (マウス)
 - コスト: 約 1000 米ドル/kg
- 環境への影響：
 - カーボンフットプリント：
 - 溶媒熱法: 約 150 kg CO₂e/kg
 - 水熱法: 約 100 kg CO₂e/kg
 - 固相法: 約 50 kg CO₂e/kg
 - リソース消費量：
 - Cs: 約 0.1 kg/kg CsxWO₃
 - 水: 約 10~100 L/kg
 - 排出量：
 - 水: Cs⁺ <0.01 mg/L、GB 31570 に準拠
 - 富栄養化: 約 0.01 kg PO₄³⁻ /kg
 - 回復率：
 - Cs/W: 約 90~95%
 - エタノール: 約 80%
- 規則と安全：
 - REACH : Cs⁺ <0.1 wt %、登録が必要 (>1 トン/年)
 - RoHS : 鉛、カドミウム <0.01 重量%
 - 毒性：
 - LD50: >2000 mg/kg (経口、ラット)
 - LC50: >5 mg/L (吸入、4 時間)
 - OHS : エアロゾル <0.1 mg/m³ (8 時間 TWA)
- 将来の傾向 (2030~2035 年) :
 - コスト: 約 150~200 米ドル/kg
 - NIR 吸収: 約 85%
 - 二酸化炭素排出量: 約 50 kg CO₂e/kg
 - 市場規模: 約 10~20 億ドル

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

○ 生産量: 年間約 2000~5000 トン

注: このデータは典型的な Cs_xWO_3 ($x=0.32$ 、約 20 nm) に基づいています。実際のアプリケーションでは、具体的な条件に応じて調整する必要があります。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cesium Tungsten Bronze Product Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Cesium Tungsten Bronze Overview

Cesium Tungsten Bronze (Cs_xWO_3 , $0 < x \leq 1$) produced by CTIA GROUP is manufactured using advanced solvothermal and chemical vapor deposition processes, ensuring high purity and excellent optoelectronic performance. Cesium tungsten bronze is a nano-functional material widely applied in energy-saving glass, optoelectronics, catalysis, batteries, and biomedical fields due to its outstanding near-infrared (NIR) shielding performance, high visible light transmittance, and electrochemical stability. Its unique tungsten-oxygen-cesium crystal structure makes it the preferred material for smart materials and new energy applications.

2. Cesium Tungsten Bronze Features

Chemical composition: Cs_xWO_3 ($x = 0.2-0.33$), purity $\geq 99.9\%$, extremely low impurities.
 Appearance: Deep blue nanopowder or thin film; cubic or hexagonal crystal structure.
 Near-infrared shielding: NIR shielding rate $> 90\%$ (800–2500 nm), suitable for energy-saving glass.
 Visible light transmittance: Transmittance $> 70\%$ (400–700 nm), supporting smart window applications.
 Electrical conductivity: $\sim 10^3$ S/cm, ideal for optoelectronic sensors and battery electrodes.
 Chemical stability: Corrosion rate < 0.002 mm/year, acid and alkali resistant, suitable for catalytic environments.
 Versatility: Supports electrochromic, photothermal conversion, and biocompatible coatings.

3. Cesium Tungsten Bronze Product Specifications

Type	Particle Size (nm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	Cesium Content (wt%)	Impurities (wt%, Max)
Nano-grade	30–50	≥ 99.9	2.5–3.0	5.0–8.0	Fe ≤ 0.002 , Si ≤ 0.001 , O ≤ 0.05

4. Cesium Tungsten Bronze Packaging and Quality Assurance

Packaging: Sealed stainless steel cans or vacuum aluminum foil bags, net weight of 100 g, 500 g, or 1 kg, ensuring moisture-proof and anti-oxidation storage.

Quality assurance: Each batch is accompanied by a quality certificate containing the following test data:

- Purity (ICP-MS, $> 99.9\%$)
- Particle size distribution (laser diffraction)
- Crystal structure (XRD)
- Cesium content (chemical titration)
- Surface morphology (SEM)

5. Cesium Tungsten Bronze Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595

Website: For more information about cesium tungsten bronze, please visit China Tungsten Online (<http://www.cesium-tungsten-bronze.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