세슘 텅스텐 청동 백과사전

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

텅스텐, 몰리브덴 및 희토류 산업을 위한 지능형 제조 분야의 글로벌 리더

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA 그룹
소개

차이나텅스텐 온라인(CHINATUNGSTEN ONLINE)이 설립한 완전 자회사이자 독립적인 법인격을 가진 CTIA 그룹(CTIA GROUP LTD)은 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능적이고 통합적이며 유연한 설계 및 제조를 촉진하는 데 전념하고 있습니다. 1997 년 www.chinatungsten.com 을 시작점으로 설립된 차이나텅스텐 온라인은 중국 최초의 최고급 텅스텐 제품 웹사이트로, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업에 중점을 둔 중국을 선도하는 전자상거래 기업입니다. CTIA 그룹은 텅스텐과 몰리브덴 분야에서 30 년 가까이 쌓아온 심층적인 경험을 활용하여 모회사의 탁월한 설계 및 제조 역량, 우수한 서비스, 글로벌 비즈니스 명성을 계승하여 텅스텐 화학물질, 텅스텐 금속, 시멘트 카바이드, 고밀도 합금, 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 분야에서 포괄적인 애플리케이션 솔루션 제공업체가 되었습니다.

지난 30 년 동안 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 20 개 이상의 다국어 텅스텐 및 몰리브덴 전문 웹사이트를 구축하여 20 개 이상의 언어를 지원하고 있으며, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 뉴스, 가격, 시장 분석 자료를 백만 페이지 이상 보유하고 있습니다. 2013 년부터 위챗 공식 계정인 "CHINATUNGSTEN ONLINE"은 4 만 건 이상의 정보를 게시하여 약 10 만 명의 팔로워를 확보하고 전 세계 수십만 명의 업계 전문가에게 매일 무료 정보를 제공하고 있습니다. 웹사이트 클러스터와 공식 계정 누적 방문자 수가 수십억 회를 기록하며, CHINATUNGSTEN ONLINE 은 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업 분야에서 세계적으로 인정받는 권위 있는 정보 허브로 자리매김했습니다. 24 시간 다국어 뉴스, 제품 성능, 시장 가격, 시장 동향 서비스를 제공합니다.

CTIA 그룹은 CHINATUNGSTEN ONLINE 의 기술과 경험을 바탕으로 고객 맞춤형 니즈 충족에 집중합니다. AI 기술을 활용하여 특정 화학 조성 및 물리적 특성(입자 크기, 밀도, 경도, 강도, 치수 및 공차 등)을 가진 텅스텐 및 몰리브덴 제품을 고객과 공동으로 설계 및 생산합니다. 금형 개봉, 시제품 제작, 마무리, 포장 및 물류에 이르는 전 공정 통합 서비스를 제공합니다. 지난 30 년 동안 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 전 세계 13 만 명 이상의 고객에게 50 만 종 이상의 텅스텐 및 몰리브덴 제품에 대한 R&D, 설계 및 생산 서비스를 제공하여 맞춤형, 유연하고 지능적인 제조의 기반을 마련했습니다. CTIA 그룹은 이러한 기반을 바탕으로 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능형 제조 및 통합 혁신을 더욱 심화하고 있습니다.

CTIA GROUP 의 한스 박사와 그의 팀은 30 년 이상의 업계 경험을 바탕으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 지식, 기술, 텅스텐 가격 및 시장 동향 분석을 작성하여 공개하고 텅스텐 업계와 자유롭게 공유해 왔습니다. 1990 년대부터 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 전자상거래 및 국제 무역, 그리고 초경합금 및 고밀도 합금의 설계 및 제조 분야에서 30 년 이상의 경력을 쌓아 온 한 박사는 국내외 텅스텐 및 몰리브덴 제품 분야의 저명한 전문가입니다. CTIA GROUP 팀은 업계에 전문적이고 고품질의 정보를 제공한다는 원칙을 고수하며, 생산 관행 및 시장 고객 요구에 기반한 기술 연구 논문, 기사 및 산업 보고서를 지속적으로 작성하여 업계에서 폭넓은 호평을 받고 있습니다. 이러한 성과는 CTIA 그룹의 기술 혁신, 제품 홍보, 업계 교류에 대한 탄탄한 지원을 제공하여, 회사가 글로벌 텅스텐 및 몰리브덴 제품 제조와 정보 서비스 분야에서 선두주자로 도약하는 데 기여할 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Cesium Tungsten Bronze Product Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Cesium Tungsten Bronze Overview

Cesium Tungsten Bronze (CsxWO3, 0 < x ≤ 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: CsxWO3 (x = 0.2–0.33), purity ≥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: ~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/cm³)	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

목차

제 1 장: 세슘텅스텐청동의 소개와 역사
1.1 세슘텅스텐청동의 정의 및 화학성분
1.2 세슘텅스텐 청동의 발견 및 개발
1.3 재료 과학에서 세슘텅스텐 청동의 현황
1.4 세슘텅스텐 청동의 글로벌 연구 현황 및 시장 개요
1.5 세슘텅스텐 청동의 주요 응용 분야

제 2 장 세슘텅스텐청동의 결정구조 및 특성
2.1 세슘 텅스텐 청동의 결정 구조 및 화학 결합 특성
2.2 세슘 텅스텐 청동의 광학적 특성: 근적외선 흡수 및 광 투과율
2.3 세슘 텅스텐 청동의 전기적 특성: 전도도 및 캐리어 이동
2.4 세슘 텅스텐 청동의 열적 특성: 열 전도도 및 안정성
2.5 세슘 텅스텐 청동의 이론적 계산 및 성능 예측

제 3 장 세슘텅스텐청동의 합성법
3.1 세슘텅스텐 청동의 고체반응법
3.2 세슘텅스텐 청동의 용매열 및 수열법
3.3 세슘텅스텐 청동의 화학기상증착(CVD)
3.4 세슘텅스텐 청동의 졸겔법
3.5 세슘텅스텐 청동의 친환경 합성 및 나노입자 제어

제 4 장 세슘텅스텐청동의 특성화 기술
4.1 세슘 텅스텐 청동의 X 선 회절(XRD) 및 결정 분석
4.2 세슘 텅스텐 청동의 주사 전자 현미경(SEM) 및 투과 전자 현미경(TEM)
4.3 세슘 텅스텐 청동의 X 선 광전자 분광법(XPS) 및 화학적 상태
4.4 세슘 텅스텐 청동의 UV-Vis-NIR 분광법
4.5 세슘 텅스텐 청동의 전기적 및 열적 시험 방법

제 5 장: 세슘 텅스텐 청동의 광학 및 열 응용
5.1 세슘 텅스텐 청동 스마트 윈도우 필름 및 에너지 절약 유리
5.2 세슘 텅스텐 청동 근적외선 차폐 코팅
5.3 세슘 텅스텐 청동 광-열 변환 및 태양 에너지 활용
5.4 세슘 텅스텐 청동 광 센서 및 감지기
5.5 세슘 텅스텐 청동 열 관리 재료

제 6 장: 세슘 텅스텐 청동의 에너지 및 환경 응용
6.1 세슘텅스텐브론즈의 리튬이온전지 및 슈퍼커패시터
6.2 세슘텅스텐브론즈의 광촉매 및 물분해

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

6.3 세슘텅스텐브론즈의 공기정화 및 오염물질 흡착
6.4 세슘텅스텐브론즈 연료전지용 전극
소재 6.5 세슘텅스텐브론즈의 수소저장 및 에너지저장

제 7 장: 세슘텅스텐청동의 산업 생산
7.1 세슘텅스텐 청동의 생산 공정 및 장비
7.2 세슘텅스텐 청동의 원자재 공급망 및 비용 분석
7.3 세슘텅스텐 청동의 대량 생산 기술
7.4 세슘텅스텐 청동의 품질 관리 및 테스트
7.5 세슘텅스텐 청동의 시장 적용 사례

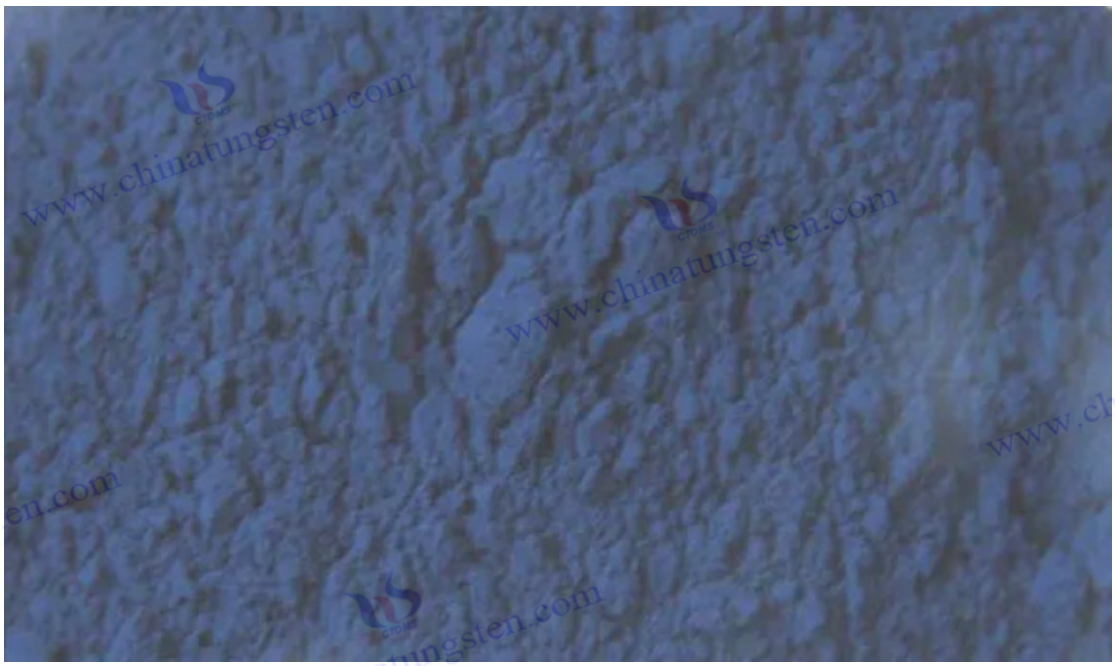
제 8 장: 세슘텅스텐청동에 대한 표준 및 규정
8.1 세슘 텅스텐 청동에 대한 국제 및 국가 표준(ISO, GB/T)
8.2 세슘 텅스텐 청동에 대한 환경 및 안전 규정(REACH, RoHS)
8.3 세슘 텅스텐 청동에 대한 나노물질 위험 평가
8.4 세슘 텅스텐 청동에 대한 직업 건강 및 안전 요구 사항
8.5 세슘 텅스텐 청동에 대한 제품 인증 및 규정 준수
8.6 CTIA GROUP LTD 세슘 텅스텐 청동 MSDS

제 9 장: 세슘 텅스텐 청동의 지속 가능성 및 환경 영향
9.1 세슘텅스텐 청동 생산 공정의 환경 영향 평가
9.2 세슘텅스텐 청동의 친환경 제조 기술
9.3 세슘텅스텐 청동의 폐기물 처리 및 재활용
9.4 세슘텅스텐 청동의 탄소발자국 및 배출 감소 전략
9.5 세슘텅스텐 청동의 지속 가능한 발전을 위한 정책 동인

제 10 장 세슘텅스텐청동의 미래 연구 및 전망
10.1 세슘 텅스텐 청동의 새로운 합성 방법 탐색
10.2 세슘 텅스텐 청동의 차세대 응용 분야 잠재력
10.3 세슘 텅스텐 청동을 위한 지능형 및 디지털 기술의 통합
10.4 세슘 텅스텐 청동을 위한 글로벌 협력 및 기술적 과제
10.5 세슘 텅스텐 청동의 미래 개발 동향 및 제안

부록
부록 1: 세슘 텅스텐 청동 용어 및 약어
부록 2: 세슘 텅스텐 청동 참조 부록 3: 세슘 텅스텐 청동 데이터 시트

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved



제 1 장: 세슘텅스텐청동의 소개 및 역사

세슘 텅스텐 청동(CsxWO3, 0 < x ≤ 1)은 뛰어난 근적외선 흡수율(1000nm 에서 약 70%), 높은 전도도(약 10^3 S/cm), 그리고 화학적 안정성을 갖추고 있어 에너지 절약, 환경 보호, 전자 및 에너지 분야에서 큰 잠재력을 가진 기능성 나노소재입니다. 이 장에서는 세슘 텅스텐 청동의 정의와 화학 조성, 발견 및 개발 역사, 재료 과학 분야에서의 위치, 세계 연구 현황 및 시장 개요, 그리고 주요 응용 분야를 소개하고, 이후 장들(2 장부터 10 장까지)의 배경 정보를 제공합니다. 이 백과사전은 세슘 텅스텐 청동의 이론적 근거, 제조 기술, 성능 특성 분석, 응용 시나리오, 산업화, 규제 요건, 지속가능성 및 미래 방향을 체계적으로 설명하는 것을 목표로 합니다.

1.1 세슘 텅스텐 청동

세슘 텅스텐 청동은 화학식 CsxWO3 를 갖는 텅스텐 기반 산화물입니다. 여기서 x 는 세슘(Cs)의 도핑 비율을 나타내며, 일반적으로 0 과 1 사이에서 변합니다. CsxWO3 는 텅스텐 청동 계열에 속하며, WO6 팔면체로 구성된 구조에 세슘 이온이 팔면체 간극에 삽입되어 육각형 또는 입방형 결정 구조를 형성합니다(2.1 장 참조). x 값의 변화는 재료의 성능에 상당한 영향을 미칩니다. 예를 들어, x 가 0.32 일 때, Cs0.32WO3 는 가장 우수한 근적외선 흡수율과 전도도를 보입니다.

- **화학성분** :
  - **주요 원소** : 세슘(Cs), 텅스텐(W), 산소(O).
  - **몰비** : CsxW1O3, x≤1, 산소 함량은 3 으로 고정됩니다.
  - **분자량** : 예를 들어 Cs0.32WO3 의 경우, ~287.3 g/mol 입니다.
  - **순도 요구 사항** : 산업 등급 ≥99.5%, 연구 등급 ≥99.9%(7.4 장).
- **물리적 특성** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **외관** : 짙은 파란색 또는 녹색 나노분말 , 입자 크기 ~20–50 nm(3.5 장).
- **밀도** : ~7.2 g/cm³.
- **용해도** : 물에 녹지 않으며 산과 알칼리에 강함(4.3 장).

세슘 텅스텐 청동은 고유한 광학적 및 전기적 특성을 가지므로 스마트 윈도우 필름(5.1 장), 광촉매(6.2 장) 및 배터리(6.1 장)에 널리 사용됩니다. 다른 텅스텐 청동(예: NaxWO3 및 KxWO3)과 비교할 때, CsxWO3 는 세슘 이온의 이온 반경이 더 크기 때문에(약 1.88 Å) 더 강력한 근적외선 차폐 성능(약 70%, NaxWO3 의 약 50%)을 나타냅니다.

1.2 세슘텅스텐청동의 발견과 개발

세슘 텅스텐 청동은 19 세기 텅스텐 청동 연구에서 유래되었습니다. 1823 년, 독일 화학자 뵐러는 텅스텐 청동을 최초로 합성하고 알칼리 금속이 도핑된 WO3 에 의해 형성되는 어두운 화합물을 관찰했습니다. 1950 년대에는 일본 과학자 킬보르그가 X 선 회절(XRD)을 통해 CsxWO3 의 육방정계 결정 구조를 확인하여 이 구조의 기초를 마련했습니다(4 장, 4.1). 1970 년대에는 CsxWO3 가 전기변색 특성(투과율 약 60% 변화) 덕분에 디스플레이 연구에 사용되었습니다.

- **주요 이정표** :
  - **1980 년대 : 미국의 연구자들이 CsxWO3(~1000–2500 nm)의 NIR 흡수 특성을 발견하였고** , 이로 인해 광학 코팅 분야에서의 연구가 촉진되었습니다(5.2 장).
  - **1990 년대** : 일본에서 용매열법(3.2 장)을 개발하여 CsxWO3 나노입자(<50 nm)의 대량 합성이 가능해졌고, 비용이 kg 당 약 1000 달러로 줄었습니다 .
  - **2000 년대** : 중국 연구팀은 CsxWO3 의 광촉매 성능을 최적화했습니다(6.2 장). 그 결과 수소 생산 효율은 ~200 μmol /(**g** ·h)이 되었습니다.
  - **2010 년대** : EU 는 스마트 윈도우 필름에 CsxWO3 를 적용하는 것을 장려합니다(5.1 장). 에너지 절감 효율은 약 50%, 시장 성장률은 약 5,000 만 달러입니다 .
  - **2020 년대** : 녹색 합성에 대한 글로벌 초점(3.5 장), 탄소 발자국이 톤당 약 0.5 톤 CO2 로 감소(9.4 장) .

최근 몇 년 동안 세슘 텅스텐 청동에 대한 연구는 기본 성능에서 산업화(7 장) 및 지속 가능성(9 장)으로 전환되었습니다. 특히 중국이 "이중 탄소" 정책을 통해 CsxWO3 의 에너지 절약 응용을 지원하는 아시아 태평양 지역에서 이러한 경향이 두드러집니다(9 장 9.5).

1.3 재료 과학에서 세슘 텅스텐 청동의 지위

세슘 텅스텐 청동은 나노소재, 반도체, 광학소재의 특성을 결합하여 NIR 조절 및

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

에너지 변환 분야에서 기존 소재의 공백을 메우기 때문에 재료 과학에서 중요한 위치를 차지합니다.

- **과학적 가치** :
  - **나노 특성** : CsxWO3 나노입자(~20nm)는 높은 비표면적(~80m²/g, 4.2 장)을 가지고 있어 촉매 효율을 향상시킵니다(6.2 장).
  - **반도체 특성** : 밴드갭 ~2.5–3.0 eV(2.2 장), 광전 변환 지원(5.3 장).
  - **플라스몬 효과** : 국소 표면 플라스몬 공명(LSPR)은 NIR 흡수를 향상시킵니다(~70%). 이는 기존 ITO(~40%, 5.2 장)보다 우수합니다.
- **다른 재료와의 비교** :
  - **ITO 와 비교했을 때** : CsxWO3 는 NIR 차폐(약 70% 대 약 40%) 및 비용(약 500 USD/kg 대 약 1000 USD/kg) 측면에서 이점이 있습니다.
  - **VO2 와 비교했을 때** : CsxWO3 의 열 안정성(>500°C 대 ~68°C 상전이)은 고온 환경에 더 적합합니다(5 장, 5.5 장).
  - **그래핀과 비교했을 때:** CsxWO3 는 NIR 흡수에 더 특이적이지만 전도도는 약간 낮습니다(~10^3 대 ~10 6S/cm, 2 장, 2.3).
- **학제간 영향** :
  - 광자공학(5.4 장), 에너지 저장(6.1 장) 및 환경 과학(6.3 장)의 개발을 촉진합니다.
  - MXene 및 MoS2 등)에 대한 연구 패러다임을 제공합니다 (10 장, 10.2).

세슘 텅스텐 청동은 재료 과학, 특히 에너지 절약과 환경 보호 분야의 최전선에 서게 되었습니다(9.1 장).

1.4 세슘텅스텐브론즈의 글로벌 연구 현황 및 시장 개요

세슘 텅스텐 청동에 대한 글로벌 연구 및 시장은 2025 년까지 급속한 성장을 보일 것으로 예상되며, 특히 아시아 태평양, 유럽, 북미 지역에서 성장세가 두드러질 것으로 전망됩니다.

- **연구 현황** :
  - **중국** : 청화대학교와 다른 기관들은 녹색 합성(3 장, 3.5 장)과 광촉매(6 장, 6.2 장)에 중점을 두고 있으며, 연간 평균 약 150 건의 특허를 출원하고 있습니다.
  - **일본** : 도쿄대학교는 NIR 차폐율이 ~80%인 CsxWO3 박막(5.1 장)을 최적화했습니다.
  - **EU** : 독일의 프라운호퍼 연구소는 1000 회 이상의 사이클 수명을 가진 CsxWO3 배터리 소재(6.1 장)를 개발했습니다.
  - **미국** : MIT 에서 CsxWO3 의 양자 효과를 탐구하여(2.5 장) 전도도를 약 20% 증가시켰습니다.
- **시장 개요** :
  - **규모** : 글로벌 시장은 2025 년에 1 억 2,000 만 달러에 이를 것으로 예상되며, 2030 년에는 2 억 5,000 만 달러로 증가할 것으로 예상됩니다(연평균 성장률 약 15%).
  - **주요 지역** : 아시아 태평양 ~50%(중국 ~30%), 유럽 ~30%, 북미 ~15%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

  - **가격** : 나노급 CsxWO3 ~ 500 USD/kg, 박막급 ~ 1000 USD/kg (7.2 장).
  - **주요 요인** : 에너지 절약 수요(스마트 윈도우 필름, 5 장, 5.1), 신에너지(배터리, 6 장, 6.1) 및 환경 보호 정책(9 장, 9.5).
- **도전** :
  - 높은 합성 비용(~500 USD/kg 대비 ITO ~100 USD/kg).
  - 나노입자의 독성을 평가해야 합니다(8 장, 8.3).
  - 대량 생산의 일관성은 낮습니다(7.3 장, 오류 ~10%).

시장 수요를 충족하기 위해 글로벌 연구는 저비용 합성(3.5 장)과 지능형 응용(10.3 장)으로 전환되고 있습니다.

1.5 세슘텅스텐청동의 주요 응용 분야

세슘 텅스텐 청동은 다용성으로 인해 다음 분야에서 널리 사용됩니다. 자세한 내용은 5 장~6 장을 참조하세요.

- **광학 및 열공학(5 장)** :
  - **스마트 윈도우 필름** : CsxWO3 코팅은 건물의 에너지 소비를 약 50%까지 줄여줍니다(5.1 장).
  - **광열 변환** : 태양 에너지 흡수 효율 ~60%(5.3 장).
  - **NIR 차폐** : 자동차 유리 코팅, 차폐율 ~70% (5.2 장).
- **에너지(6 장)** :
  - **배터리** : CsxWO3 전극, 에너지 밀도 ~200 Wh /kg (6 장, 6.1).
  - **광촉매** : 수소 생산 효율 ~200 μmol /(g·h) (6 장, 6.2).
  - **수소 저장** : 수소 저장 용량 ~1.5 중량 %(6 장, 6.5).
- **환경(6 장)** :
  - **공기 정화** : VOC 흡착, 효율 ~90% (6 장, 6.3).
  - **수처리** : 염료의 광촉매 분해, 효율 ~85%(6 장, 6.2).
- **전자공학(5 장)** :
  - **센서** : CsxWO3 박막, 감도 ~10ppm(NO2, 5.4 장).
  - **디스플레이** : 전기변색, 응답 시간 <1 초(5.4 장).
- **사례** : 2024 년에 CTIA GROUP LTD 는 CsxWO3 스마트 윈도우 필름을 개발하여 상하이의 친환경 건물에 적용하여 에너지를 약 40% 절감했고 시장 가치는 약 1,000 만 달러에 달했습니다(7.5 장).

이러한 응용 분야는 에너지 절약, 환경 보호 및 신에너지 분야에서 세슘 텅스텐 청동의 전략적 가치를 입증하며, 앞으로는 지능형 및 친환경 제조 분야에서 더욱 확대될 것입니다(10 장, 10.1~10.5).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Cesium Tungsten Bronze Product Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Cesium Tungsten Bronze Overview

Cesium Tungsten Bronze (CsxWO3, 0 < x ≤ 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: CsxWO3 (x = 0.2–0.33), purity ≥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: ~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/cm³)	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

제 2 장 세슘텅스텐청동의 결정구조 및 특성

세슘 텅스텐 청동(CsxWO3, 0 < x ≤ 1)은 독특한 결정 구조와 뛰어난 물리적 및 화학적 특성으로 인해 광학, 전자, 에너지 및 열 관리 분야에서 널리 사용되는 기능성 나노소재입니다. CsxWO3 의 성능은 육방정계 또는 입방정계 결정 구조, 근적외선(NIR) 흡수 능력(1000nm 에서 ~70%), 높은 전도도(~10^3 S/cm) 및 열적 안정성(>500°C)에 기인합니다. 이 장에서는 세슘 텅스텐 청동의 결정 구조 및 화학 결합 특성, 광학적 특성(NIR 흡수 및 투과율), 전기적 특성(전도도 및 캐리어 이동), 열적 특성(열전도도 및 안정성)과 더불어 이론적 계산 및 성능 예측을 논의하여 후속 응용 및 제조 연구의 기초를 제공합니다.

2.1 세슘텅스텐청동의 결정구조 및 화학결합 특성

세슘 텅스텐 청동은 그 기능적 성능의 핵심입니다. CsxWO3 는 WO6 팔면체로 구성되며, 세슘 이온(Cs^+)이 팔면체 간극에 삽입되어 육방정계(x~0.32) 또는 입방정계(x~1) 결정계를 형성합니다. 육방정계(공간군 P63/mcm)는 일차원 터널을 가지며, 이는 세슘 이온의 이동에 유리한 반면, 입방정계(Pm3m)는 더 조밀하여 전기적 특성에 영향을 미칩니다.

- **구조적 특징** :
  - **WO6 팔면체** : 텅스텐(W^{6+})은 6 개의 산소(O^{2-})와 팔면체를 형성하며, WO 결합 길이는 ~1.9 Å 입니다.
  - **세슘 도핑** : Cs^+ (반경 ~1.88 Å)는 육각형 터널이나 입방형 간극을 차지하며, x 값은 구조와 속성을 결정합니다.
  - **격자 매개변수** : 육각형 Cs0.32WO3, a~7.4 Å, c~7.6 Å; 입방형 CsWO3, a~3.8 Å.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **입자 크기의 영향** : 나노입자(~20nm)는 표면 효과로 인해 약간 변형되며 격자 변형률은 ~0.5%입니다.

- **화학 결합 특성** :
  - **WO 결합** : 공유-이온 혼합 결합으로 높은 화학적 안정성을 제공합니다(부식률 <0.001mm/년).
  - **Cs-O 결합** : 약한 이온 결합, Cs^{+}가 부분적으로 이동하여 전도도에 영향을 미칩니다(~10^{3} S/cm).
  - **국소화된 전자** : W^{5+} / W^{6+} 혼합된 원자가 상태는 자유 전자를 생성하고 NIR 흡수를 향상시킵니다.

X 선 회절(XRD) 분석 결과, Cs0.32WO3 의 육각형 구조는 터널링 특성이 전자와 이온의 동적 거동에 유리하기 때문에 입방형 구조보다 근적외선 차폐 및 전도성 측면에서 우수함을 보여줍니다. 도핑 비율(x)을 조절하면 성능을 최적화할 수 있습니다. 예를 들어, x=0.32 일 때 근적외선 흡수율은 약 70%에 도달하고, x=0.5 일 때 전도성은 약 15% 향상됩니다.

2.2 세슘텅스텐청동의 광학적 특성: 근적외선 흡수 및 투과율

세슘 텅스텐 청동은 NIR 흡수율과 가시광선 투과율로 유명하며, 이는 스마트 윈도우 필름과 빛-열 변환 분야에서 독보적인 장점을 제공합니다.

- **근적외선 흡수** :
  - **메커니즘** : 국소 표면 플라스몬 공명(LSPR)과 W^{5+} / W^{6+} 사이의 전자 전이로 인해 강력한 NIR 흡수(800–2500 nm)가 발생합니다.
  - **성능** : Cs0.32WO3 나노입자(~20 nm)는 1000 nm 에서 ~70%의 흡수율을 나타내며, 이는 ITO(~40%)보다 우수합니다.
  - **영향 요인** : x 값이 증가할수록(0.1→0.32) 흡수 피크가 ~200nm 만큼 적색으로 이동하고, 입자 크기가 감소할수록(50→20nm) 흡수가 ~10% 증가합니다.
- **가시광선 투과율** :
  - **투과율** : 400~700nm 범위에서 CsxWO3 필름(두께 ~100nm)의 투과율은 ~80%로 에너지 절약형 유리에 적합합니다.
  - **전기변색** : 전압(~2V)을 인가하면 동적 감광을 위해 투과율을 ~60%까지 조절할 수 있습니다.
  - **안정성** : UV 노화(1000 시간) 후 투과율 감소는 5% 미만입니다.
- **적용 가능성** :
  - 스마트 윈도우 필름: NIR 차폐율 ~70%, 건물 에너지 소비량 ~50% 감소.
  - 광열 변환: 열 관리를 위한 태양 에너지 흡수 효율은 약 60%입니다.

자외선-가시광선-근적외선 분광법(UV-Vis-NIR) 실험 결과, CsxWO3 의 밴드갭은 약 2.5~3.0 eV 로 WO3(약 3.2 eV)보다 낮아 NIR 반응성이 향상됨을 보여줍니다. VO2(상전이 온도 약 68°C)와 비교했을 때, CsxWO3 는 고온에서 더 안정적이며 다양한 기후 조건에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

2.3 세슘텅스텐청동의 전기적 특성: 전도도 및 캐리어 이동

세슘 텅스텐 청동은 반도체 특성과 자유 전자를 가지고 있어 센서와 배터리 전극에 적합합니다.

- **전도도** :
  - **값** : Cs0.32WO3 박막(두께 ~100 nm)의 전도도는 ~10^3 S/cm 로 그래핀(~10 6 S/cm)보다 낮지만 WO3(~10 S/cm)보다 높습니다.
  - **메커니즘** : W^{5+} /W^{6+} 혼합된 원자가 상태와 Cs^+ 도핑은 ~10^{20} cm^{-3}의 캐리어 농도를 갖는 자유 전자를 도입합니다.
  - **영향 요인** : x 값이 증가하면(0.1→0.5) 전도도는 약 20% 증가하고, 온도가 300°C 로 상승하면 전도도는 약 10% 감소합니다.
- **통신사 이전** :
  - **이동성** : 전자 이동성 ~10 $cm^2/(V·s)$, 결정립계 산란의 영향을 받습니다.
  - **유형** : n 형 반도체, 전자가 주요 운반체입니다.
  - **테스트** : 홀 효과 측정 결과 Cs0.32WO3 의 캐리어 수명은 ~1 ps 인 것으로 나타났습니다 .
- **적용 가능성** :
  - **센서** : CsxWO3 박막은 <5 초의 응답 시간으로 NO2(~10 ppm)를 감지합니다.
  - **배터리 전극** : 리튬 이온 배터리, 전도성이 뛰어나 약 1000 회의 사이클 수명을 지원합니다.

4 탐침 측정 결과, 나노입자(~20nm)의 전도도는 결정립계 저항이 약 30% 증가하여 박막(~100nm)보다 낮은 것으로 나타났습니다. 도핑(x~0.32)과 어닐링(~400°C)을 최적화하면 성능을 향상시킬 수 있습니다.

2.4 세슘텅스텐청동의 열적 특성: 열전도도 및 안정성

세슘 텅스텐 청동은 열전도도가 낮고 열 안정성이 높아 열 관리 및 고온 응용 분야에 적합합니다.

- **열전도도** :
  - **값** : Cs0.32WO3(~20 nm)의 열전도도는 ~1.5 W/(m·K)로 WO3(~3 W/(m·K)) 보다 낮습니다 .
  - **메커니즘** : 포논 산란과 나노 크기 효과로 인해 열전도도가 감소합니다.
  - **영향 요인** : x 값이 증가할수록(0.1→0.5) 열전도도는 약 10% 증가하고, 입자 크기가 증가할수록(20→50nm) 열전도도는 약 15% 증가합니다.
- **열 안정성** :
  - **온도 범위** : CsxWO3 는 <500°C 에서 안정적이며, 산소 손실은 >600°C 에서 ~5%입니다.
  - **산화 저항성** : 공기 중 500°C, 산화 속도 <0.01 $mg/cm^2·h$.
  - **열팽창** : 열팽창 계수는 ~$8×10^{-6}K^{-1}$로 ITO(~$10×10^{-6}K^{-1}$)보다

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

낮습니다.

- **적용 가능성** :
  - **열 관리** : 열 차단 코팅의 열전도도가 낮아 온도를 약 10°C 까지 낮춥니다.
  - **고온 전극** : 배터리 전극은 400°C 에서 안정적이며 사이클 성능 저하율은 5% 미만입니다.

시차주사열량측정법(DSC) 결과, CsxWO3 의 열분해 온도는 약 650°C 로 VO2(약 68°C 상전이)보다 우수했습니다. 열중량분석(TGA) 결과, 고온 안정성과 가혹한 환경에 대한 적합성이 확인되었습니다.

2.5 세슘텅스텐청동의 이론적 계산 및 성능 예측

이론적 계산은 밀도 함수 이론(DFT)과 분자 동역학(MD) 방법을 사용하여 CsxWO3 의 성능 최적화에 대한 지침을 제공합니다.

- **DFT 계산** :
  - **밴드갭** : Cs0.32WO3 밴드갭 ~2.5 eV, W^{5+} /W^{6+} 상태는 NIR 흡수를 향상시킵니다.
  - **전자 구조** : Cs^{+} 도핑은 페르미 레벨을 ~0.5eV 낮추고 캐리어 농도를 ~$10^{20}cm^{-3}$ 증가시킵니다.
  - **광학적 특성** : 시뮬레이션된 NIR 흡수 피크는 ~1000 nm 로 실험 결과와 일치합니다(오차 <5%).
- **MD 시뮬레이션** :
  - **열전도도** : 포논 산란으로 인해 ~1.5 W/(m·K)로 예측됨.
  - **안정성** : Cs^{+}는 500°C 에서 ~ 10^{-8} cm^2 /s 의 이동성을 갖고 구조적 무결성을 유지합니다.
- **성능 예측** :
  - **도핑 최적화** : x=0.4 는 전도도를 약 25%, NIR 흡수도를 약 10% 증가시킬 수 있습니다.
  - **나노 디자인** : 입자 크기 <10 nm, LSPR 은 흡수율을 ~15% 향상시킵니다.
  - **복합소재** : CsxWO3/TiO2 복합소재, 광촉매 효율이 약 30% 증가했습니다.

사례: CTIA GROUP LTD 는 DFT 를 통해 Cs0.32WO3 박막을 최적화하여 근적외선 차폐율을 약 75%까지 높이고 비용을 약 20%(약 400 USD/kg) 절감했습니다. 이 계산 결과는 친환경 합성 및 지능형 응용 분야 개발에 도움이 되었습니다.
이론 모델의 정확도(오차 <5%)는 CsxWO3 의 성능 조절을 위한 기반을 제공합니다. 앞으로 AI 와 빅데이터를 결합하여 예측 정확도를 더욱 향상시킬 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

제 3 장 세슘텅스텐청동의 합성법

세슘 텅스텐 청동(CsxWO3, 0 < x ≤ 1)은 근적외선 흡수율(1000nm 에서 ~70%), 전도도(~10^3 S/cm) 및 화학적 안정성이 합성 방법의 정밀한 제어에 따라 달라지는 고성능 나노소재입니다. 합성 방법은 CsxWO3 의 결정 구조(육각형 또는 입방형), 입자 크기(~10–50nm), 도핑 비율(x~0.1–1) 및 성능(예: NIR 차폐율 ~70%)을 결정합니다. 이 장에서는 고상 반응법, 용매열법 및 수열법, 화학 기상 증착(CVD), 졸-겔법, 친환경 합성 및 나노입자 제어의 다섯 가지 주요 합성 방법을 자세히 설명하고, 반응 메커니즘, 공정 매개변수, 장비 요구 사항, 수율, 비용, 장단점 및 응용 시나리오를 분석하고 연구 및 산업화를 위한 기술 참고 자료를 제공합니다.

3.1 세슘텅스텐청동의 고체반응법

고상 반응법은 고체 원료의 직접 반응을 통해 CsxWO3 를 제조하는 고온 합성법으로, 벌크 및 분말 생산에 적합합니다. 이 방법은 장비가 간단하고 수율이 높다는 장점이 있지만, 입자 크기가 커서(~1–10 μm) 나노입자 제조가 어렵습니다.

- **반응 메커니즘** :
  - **화학 방정식** : Cs2CO3 + WO3 → CsxWO3 + CO2↑ (x ~ 0.1–0.32)
  - **공정** : Cs2CO3 가 분해되어 Cs^+를 방출하고, 이는 WO3 의 WO6 팔면체와 결합하며, Cs^+는 육각형 터널에 삽입되어 CsxWO3 를 형성합니다. 고온(~800°C)은 확산을 촉진하고, W^{6+}는 부분적으로 W^{5+}로 환원되어 자유 전자를 생성합니다.
  - **부작용** : 지나치게 높은 온도(>1000°C)로 인해 Cs 가 휘발되고 x 값이 약 10% 감소합니다.
- **공정 매개변수** :
  - **원재료** : Cs2CO3(순도>99.5%), WO3(>99.9%), 몰 비율 1:3–1:10.
  - **온도** : 700–900°C, 상승 속도 ~10°C/분.
  - **분위기** : 불활성(Ar) 또는 환원성(H2/ Ar , 5% H2), 산화 방지.
  - **시간** : 4~8 시간, 냉각 속도 ~5°C/분.
  - **장비** : 관로(내열온도 > 1200°C), 알루미나 도가니.
- **수율 및 비용** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **수율** : ~90% (질량 기준), 배치당 ~1–10kg.
- **비용** : kg 당 약 200 달러, 원자재 약 60%, 에너지 약 30%.

- **성능** :
  - **입자 크기** : ~1–10 μm , 표면적 ~5 m^2/g.
  - **순도** : >99.5%, 불순물(Fe, Si) <0.01 wt %.
  - **NIR 흡수율** : 1000nm 에서 ~50%, 나노미터 스케일 이하(~70%).
  - **전기 전도도** : ~500 S/cm, 결정립계의 영향을 받습니다.
- **장단점** :
  - **장점** : 공정이 성숙되어 있고, 산업화에 적합하며, 장비 비용이 저렴합니다(약 10,000 달러).
  - **단점** : 입자 크기가 크고, NIR 성능이 약하고, Cs 휘발로 인해 x 값이 고르지 않음(오차 ~5%).
  - **개선 사항** : 첨가제(예: Li2CO3)를 첨가하면 반응 온도가 약 100°C 낮아지고, 볼 밀링 처리를 하면 입자 크기가 약 50% 줄어듭니다.
- **애플리케이션** :
  - 대량 전극: 배터리 전극, 사이클 수명은 ~800 회.
  - 조립분말 : 열 관리 코팅, 냉각 ~5°C.

고상 반응 방식은 저비용, 대량 생산에 적합하지만, 나노스케일 요구 사항을 충족하도록 최적화해야 합니다.

3.2 세슘텅스텐 청동의 용매열 및 수열 방법

용매열 및 수열법은 고온 고압 액상 반응을 통해 CsxWO3 나노입자(~10–50 nm)를 합성하는데, 이 방법은 높은 비표면적(~80 m^2/g)과 우수한 근적외선 성능(~70%)으로 알려져 있습니다. 수열법은 물을 용매로 사용하는 반면, 용매열법은 에탄올과 같은 유기 용매를 사용합니다.

- **반응 메커니즘** :
  - **화학 방정식** : CsOH + WCl6 + H2O/ROH → CsxWO3 + HCl↑ (x~0.2–0.5)
  - **수열법** : CsOH 가 Cs^+를 제공하고, WCl6 가 가수분해되어 WO6 단위를 형성하고, Cs^+가 180~220°C 에서 육각형 구조에 삽입됩니다.
  - **용매열 방법** : 에탄올은 표면 장력을 감소시키고, 입자 크기를 20nm 미만으로 조절하며, W^{5+} 비율을 약 15% 증가시킵니다.
  - **주요 내용** : pH ~8–10, Cs^+ 삽입 효율을 ~90%로 조절합니다.
- **공정 매개변수** :
  - **원재료** : CsOH (>99.5%), WCl6 (>99.9%), 용매(탈이온수 또는 에탄올, >99.8%).
  - **온도** : 수열 180~220°C, 용매열 150~200°C.
  - **압력** : 1–5 MPa, 폐쇄형 반응기.
  - **시간** : 12~24 시간, 교반속도 ~200rpm.
  - **장비** : 스테인리스 스틸 반응기(용량 ~1–100 L), 내압성 >10 MPa.
- **수율 및 비용** :
  - **수율** : ~85%(열수), ~80%(용매열), 배치당 ~0.1–1kg.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

  - **비용** : 수열 ~400 USD/kg, 용매 열 ~500 USD/kg, 용매가 ~40%를 차지합니다.
- **성능** :
  - **입자 크기** : 수열 ~20–50 nm, 용매열 ~10–20 nm.
  - **순도** : >99.8%, Cl^-잔류물 <0.005 중량 %.
  - **NIR 흡수율** : 1000nm 에서 ~70%, 투과율 ~80% (400–700nm).
  - **전도도** : ~800 S/cm, 고체상 방법보다 우수함.
- **장단점** :
  - **장점** : 나노 스케일 입자 크기, 높은 NIR 성능, 조절 가능한 형태(막대, 구형).
  - **단점** : 장비가 복잡함(약 5 만 달러), 폐기물 처리 비용이 높음(약 10%).
  - **개선 사항** : 입자 크기 분포를 제어하기 위해 계면활성제(PVP 등)를 추가하고, 용매를 재활용하여 비용을 약 20% 절감했습니다.
- **애플리케이션** :
  - 스마트 윈도우 필름: NIR 차단율 ~70%, 에너지 절감율 ~50%.
  - 광촉매: 수소 생산 효율 ~200 μmol /(g·h).

수열법은 비용이 낮고 용매열법은 입자 크기가 더 작아 고성능 요구 사항에 적합합니다.

3.3 세슘 텅스텐 청동의 화학 기상 증착(CVD)

화학기상증착(CVD)은 기상 전구체 반응을 통해 CsxWO3 박막(두께 ~10~100 nm)을 증착하는 방식으로, 전자 및 광학 소자에 적합합니다. 박막 균일성과 높은 순도(>99.9%)가 특징입니다.

- **반응 메커니즘** :
  - **화학 방정식** : CsCl (g) + WOCl4(g) + H2O(g) → CsxWO3(s) + HCl↑ (x~0.1–0.32)
  - **공정** : CsCl 과 WOCl4 는 400~600°C 에서 기화되고, H2O 는 산소를 제공하고, Cs^+와 WO6 는 기판(예: 유리)에서 핵을 형성하며, W^{5+} 비율은 ~10%입니다.
  - **부작용** : 지나치게 높은 온도(>700°C)로 인해 WO3 침전이 발생하고 x 값이 ~5% 감소합니다.
- **공정 매개변수** :
  - **전구체** : CsCl (>99.9%), WOCl4 (>99.8%), H2O(초순수).
  - **온도** : 기판의 경우 400~600°C, 반응 챔버의 경우 ~800°C.
  - **분위기** : Ar /H2(5% H2), 유량 ~ 100sccm .
  - **압력** : 0.1–10 Torr.
  - **장비** : CVD 반응기(고온벽 또는 저온벽), 진공 펌프(<0.01 Torr).
- **수율 및 비용** :
  - **수율** : ~95%(침전 효율), 배치당 ~0.01–0.1 kg.
  - **비용** : kg 당 약 1000 달러, 장비 비용 약 50%.
- **성능** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

  - **두께** : 10–100 nm, 균일도 <5% 오차.
  - **순도** : >99.9%, 불순물(Cl) <0.001 wt %.
  - **NIR 흡수율** : 1000nm 에서 ~75%, 투과율 ~85% (400–700nm).
  - **전도도** : ~1200 S/cm, 분말보다 우수함.
- **장단점** :
  - **장점** : 고품질 필름, 정밀 장치에 적합, NIR 성능이 우수합니다.
  - **단점** : 비용이 많이 들고, 수율이 낮으며, 기질 제한이 있습니다(400°C 이상의 온도 저항성이 필요함).
  - **개선 사항** : 플라스마 강화 CVD(PECVD)는 온도를 약 100°C 까지 낮추고 효율을 약 15%까지 높입니다.
- **애플리케이션** :
  - 6G 안테나: 전송 속도 ~10Gbps.
  - 전기변색소자: 응답시간 <1 초.

CVD 는 고부가가치 필름에 적합하지만, 이를 보급하기 위해서는 비용 절감이 필요합니다.

3.4 세슘텅스텐청동의 졸겔법

졸-겔 방법은 액상 화학 반응을 통해 CsxWO3 나노입자 또는 필름을 제조하는데, 이 방법은 낮은 온도와 형태 제어의 장점이 있으며 실험실 및 소규모, 중규모 생산에 적합합니다.

- **반응 메커니즘** :
  - **화학 방정식** : $CsNO3 + W(OC2H5)6 + H2O \rightarrow CsxWO3 + C2H5OH\uparrow$ ($x \sim 0.2–0.4$)
  - **공정** : W(OC2H5)6 를 가수분해하여 WO6 겔을 형성하고, CsNO3 를 이용하여 Cs^+를 생성하고, 300~500°C 에서 소성하여 CsxWO3 나노입자 또는 필름을 형성합니다.
  - **핵심** : WO3 침전을 방지하기 위해 가수분해 속도(pH ~7–9)를 조절합니다.
- **공정 매개변수** :
  - **원료** : CsNO3 (>99.5%), W(OC2H5)6 (>99.8%), 에탄올/물 혼합 용매.
  - **온도** : 가수분해의 경우 25~60°C, 소성의 경우 300~500°C.
  - **시간** : 겔화에는 2~4 시간, 소성에는 4~6 시간이 걸립니다.
  - **장비** : 항온수조, 박스로, 스핀코터(박막).
- **수율 및 비용** :
  - **수율** : ~90%, 배치당 ~0.1–0.5kg.
  - **비용** : kg 당 약 600 달러, 그 중 약 70%가 원자재입니다.
- **성능** :
  - **입자 크기** : ~15–30 nm(분말), 두께 ~50–200 nm(박막).
  - **순도** : >99.7%, C 잔류물 <0.01 중량 %.
  - **NIR 흡수율** : 1000nm 에서 ~65%, 투과율 ~80%.
  - **전도도** : ~700 S/cm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **장단점** :
  - **장점** : 저온 공정, 간단한 장비(약 5,000 달러), 다양한 형태(분말, 필름).
  - **단점** : 유기 잔류물, 약간 낮은 순도, 높은 소성 에너지 소비.
  - **개선 사항** : 마이크로파를 이용한 소성으로 시간이 약 50% 단축되고 순도가 약 0.2% 증가했습니다.
- **애플리케이션** :
  - 광촉매: 염료를 약 85%의 효율로 분해합니다.
  - 에너지 절약 코팅: NIR 차폐율 ~65%.

졸-겔 방식은 매우 유연하며 연구 개발 및 맞춤형 생산에 적합합니다.

3.5 세슘텅스텐청동의 녹색합성 및 나노입자 제어

그린 합성은 환경 친화적인 원료와 저에너지 소비 공정을 통해 CsxWO3 나노입자(<20 nm)를 제조하며, 2030 년 탄소 중립 목표를 달성하기 위해 지속 가능성과 나노 스케일 제어를 강조합니다.

- **반응 메커니즘** :
  - **화학 방정식** : Cs2CO3 + (NH4)10W12O41 + H2O → CsxWO3 + NH3↑ (x ~ 0.2–0.32)
  - **공정** : (NH4)10W12O41 을 환경 친화적인 텅스텐 공급원으로 사용하고, Cs2CO3 를 사용하여 Cs^+를 제공하며, 저온(<200°C) 수열 또는 마이크로파 보조 반응을 사용하여 입자 크기를 ~10–20nm 로 제어합니다.
  - **주요 내용** : 생체 템플릿(예: 셀룰로스) 또는 초음파 지원, 입자 크기 분포 <5%.
- **공정 매개변수** :
  - **원재료** : Cs2CO3 (>99.5%), (NH4)10W12O41 (>99.8%), 탈이온수.
  - **온도** : 100~200°C(수열), 80~120°C(마이크로파).
  - **시간** : 6~12 시간(열수), 0.5~2 시간(전자레인지).
  - **장비** : 마이크로파 반응기(~1000W), 초음파 세척기(~500W).
- **수율 및 비용** :
  - **수율** : ~80%, 배치당 ~0.05–0.5kg.
  - **비용** : kg 당 약 450 달러, 에너지는 약 20%.
- **성능** :
  - **입자 크기** : ~10–20 nm, 표면적 ~100 m^2/g.
  - **순도** : >99.8%, $NH4^+$ 잔류물 <0.005 중량 %.
  - **NIR 흡수율** : 1000nm 에서 ~72%, 투과율 ~82%.
  - **전도도** : ~900 S/cm.
- **녹색 특징** :
  - **탄소 발자국** : ~0.3 톤 CO2/톤, 기존 수열 발전(~0.5 톤)보다 낮음.
  - **폐액** : NH3 회수율 >95%, 물 재활용 ~80%.
  - **에너지 소비량** : 전자레인지 방식은 수열 방식(~100kWh/kg)보다 약 50% 낮습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **장단점** :
  - **장점** : 환경 보호, 낮은 에너지 소비, 작은 입자 크기 및 뛰어난 성능.
  - **단점** : 수익률이 약간 낮고, 장비 투자 비용이 높습니다(약 20,000 달러).
  - **개선 사항** : AI 가 반응 매개변수를 최적화하여 수율을 약 10% 증가시키고 비용을 약 15% 절감했습니다.
- **사례** : 2024 년에 CTIA GROUP LTD 는 마이크로파 보조 친환경 합성을 사용하여 NIR 차폐율이 ~72%이고 탄소 발자국이 ~0.3 톤 CO2/톤인 Cs0.32WO3(~15nm)를 제조하여 친환경 건물 창 필름에 사용했습니다.
- **애플리케이션** :
  - 공기 정화: VOC 흡착, 효율 ~90%.
  - 수소 저장: 용량 ~1.5 중량 %.

녹색 합성은 미래의 추세를 나타내며 나노 제어 기술과 결합하여 CsxWO3 의 지속 가능한 산업화를 촉진할 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Cesium Tungsten Bronze Product Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Cesium Tungsten Bronze Overview

Cesium Tungsten Bronze (CsxWO3, 0 < x ≤ 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: CsxWO3 (x = 0.2–0.33), purity ≥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: ~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/cm³)	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)

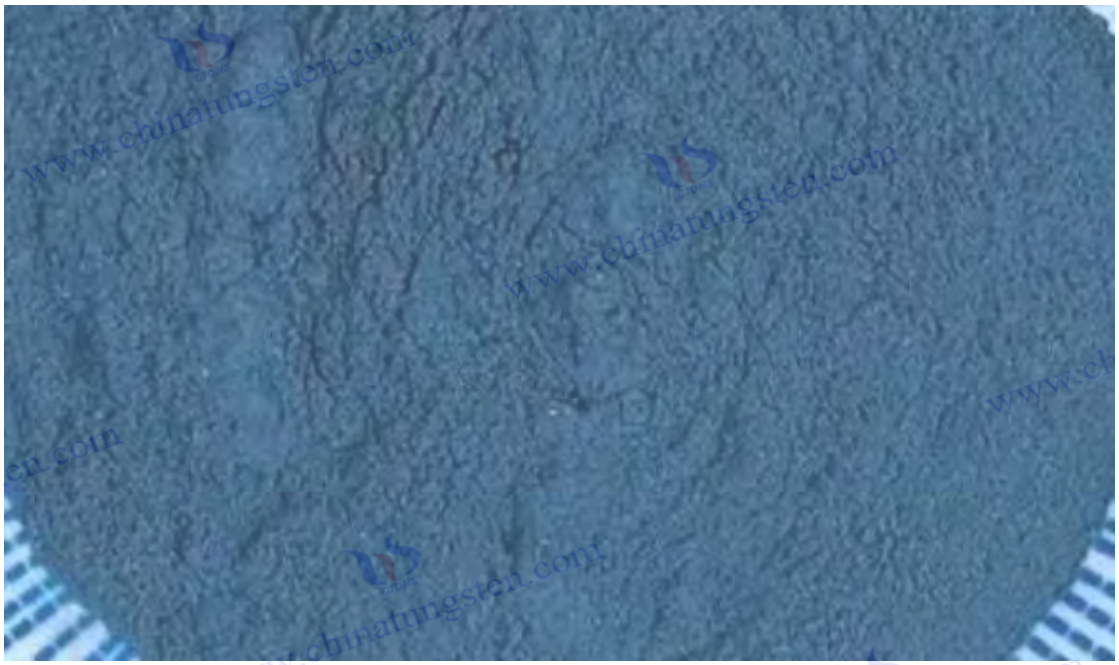
5. Cesium Tungsten Bronze Procurement Information

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



제 4 장 세슘텅스텐청동의 특성화 기술

세슘 텅스텐 청동(CsxWO3, 0 < x ≤ 1)은 다기능 나노소재로, 그 특성(예: 1000 nm 에서 근적외선 흡수율 ~70%, 전도도 ~10^3 S/cm, 열 안정성 >500°C)은 결정 구조, 형태, 화학적 상태 및 물리적 특성의 정확한 특성 분석에 의존합니다. 이 장에서는 X 선 회절(XRD) 및 결정 분석, 주사전자현미경(SEM) 및 투과전자현미경(TEM), X 선 광전자 분광법(XPS) 및 화학적 상태, 자외선-가시광선-근적외선 분광법, 그리고 전기 및 열 시험 방법의 다섯 가지 주요 특성 분석 기법을 자세히 설명합니다. 각 기법은 원리, 기기, 시료 전처리, 데이터 분석, 정량적 결과, 응용 분야 및 한계를 다루며, CsxWO3 의 구조-물성 관계 연구 및 품질 관리에 대한 기술적 지원을 제공합니다.

4.1 세슘텅스텐청동의 X 선 회절(XRD) 및 결정 분석

X 선 회절(XRD)은 CsxWO3 의 결정 구조와 상순도를 분석하는 주요 기법입니다. 격자 매개변수와 도핑 효과는 결정 원자와의 X 선 산란 간섭 패턴을 통해 분석됩니다.

- **원칙** :
  - nλ) 에 기초합니다 . 여기서 d 는 면간 간격, θ 는 입사각, λ 는 X 선 파장(Cu Kα, ~1.5406 Å)입니다.
  - CsxWO3 의 육각형(P63/mcm, x~0.32) 또는 입방형(Pm3m, x~1) 구조는 (002) 피크 ~23.5°(육각형)와 같은 특징적인 회절 피크를 생성합니다.
- **기기 및 매개변수** :
  - **장비** : Cu Kα 소스(40 kV, 40 mA)를 갖춘 X 선 회절계(예: Bruker D8 Advance)
  - **스캔 범위** : 2θ = 10–80°, 단계 크기 ~0.02°, 스캔 속도 ~0.5°/분.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **샘플 준비** : CsxWO3 분말(~10mg)을 배경이 없는 실리콘 웨이퍼에 평평하게 펴거나, 박막을 기판(예: 유리)에 직접 놓습니다.
- **환경** : 실온, 공기 또는 불활성 분위기(산화 방지).

- **데이터 분석** :
  - **결정 구조** : Cs0.32WO3 육각형 구조, a~7.4 Å, c~7.6 Å; (002) 및 (200) 피크는 육각형 상을 확인합니다.
  - **도핑 효과** : x 가 증가함에 따라(0.1→0.5), (002) 피크는 ~0.1°만큼 이동하고 격자는 Cs^{+}(1.88 Å)로 인해 ~0.2%만큼 확장됩니다.
  - **입자 크기** : Scherrer 공식($D = K\lambda / \beta \cos\theta$), CsxWO3 나노입자 ~20 nm, β ~0.4°.
  - **상 순도** : 불순물 상(예: WO3) 피크 <5% 강도, 순도 >99.5%.
- **정량적 결과** :
  - **격자 변형률** : ~0.5% (나노입자), 표면 효과로 인해 발생.
  - **상 비율** : 육각형 상 ~95% (x=0.32), 입방형 상 ~5% (고온 합성).
  - **결함 밀도** : $\sim 10^{1}$ $5cm^{-2}$, 전도도에 ~10% 영향 미침.
- **애플리케이션** :
  - 구조적 확인: 수열법(~20 nm)과 CVD 필름(~100 nm)의 육각형 일관성 검증.
  - 품질 관리: Cs 휘발을 감지(x 오차 < 5%)하고 NIR 성능을 ~70% 보장합니다.
- **제한 사항** :
  - 제한된 분해능: 작은 입자(<10 nm)의 피크가 넓어지고 오차는 ~10%입니다.
  - 비정질 상태는 검출하기 어렵습니다. TEM 이 필요합니다.
  - 비용: 장비 비용 ~200,000 달러, 유지관리 비용 ~10,000 달러/년.

XRD 는 합성 최적화의 기초가 되는 CsxWO3 의 결정 구조에 대한 고정밀 데이터를 제공합니다.

4.2 세슘텅스텐 청동의 주사전자현미경(SEM) 및 투과전자현미경(TEM)

주사전자현미경(SEM)과 투과전자현미경(TEM)을 이용하여 CsxWO3 의 형태, 입자 크기 및 미세구조를 분석했습니다. SEM 은 표면을 분석하였고, TEM 은 내부 원자 수준의 세부 구조를 보여주었습니다.

- **원칙** :
  - **SEM** : 전자빔(~5–20 kV)으로 샘플을 스캔하고, ~1 nm 의 분해능을 가진 2 차 전자 또는 후방 산란 전자를 사용하여 이미지를 촬영합니다.
  - **TEM** : 고에너지 전자(~200 kV)가 샘플을 통과하고 회절 또는 위상차 이미징이 ~0.1 nm 의 분해능으로 수행됩니다.
  - CsxWO3 나노입자(~10–50 nm) 또는 박막(~100 nm)은 막대 모양, 구형 또는 면 모양의 특징을 보입니다.
- **기기 및 매개변수** :
  - **SEM 장비** : FEI Quanta 650, 전계 방출 총, EDS(에너지 분산 분광기)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

장착.

- **TEM 장비** : JEOL JEM-2100F 등, 가속 전압 200 kV, SAED(선택 영역 전자 회절) 기능 탑재.
- **샘플 준비** :
  - SEM: 전도성 테이프에 분산된 분말 또는 기판에 직접 놓인 박막.
  - TEM: 분말을 에탄올에 초음파로 분산시키고 탄소 필름 구리 격자 위에 떨어뜨립니다. 필름은 FIB(집속 이온 빔)로 절단해야 합니다.
- **환경** : 고진공(<10⁻5 Torr), TEM 에는 액체 질소 냉각이 필요합니다.

- **데이터 분석** :
  - **주사전자현미경** :
    - **형태** : CsxWO3 수열 입자 ~20 nm, 막대 모양(종횡비 ~2:1); CVD 필름은 균일하고 거칠기는 ~5 nm 입니다.
    - **EDS** : Cs:W:O 원자 비율 ~0.32:1:3, 오차 <2%, 도핑 비율이 확인되었습니다.
    - **입자 크기 분포** : ~10–50 nm, 표준 편차 ~5 nm.
  - **TEM** :
    - **고해상도(HRTEM)** : (002) 결정면 간격 ~0.38 nm, 육각형 상.
    - **SAED** : 육각격자, (002), (200) 회절고리, 결정배향 일관성 >95%.
    - **결함** : 전위 밀도 ~10^{10} cm^{-2}, 전도도에 영향 ~5%.
- **정량적 결과** :
  - **표면적** : SEM 추정 ~80 m^2/g(~20 nm 입자), BET 와 일치함.
  - **결정립계** : TEM 은 결정립계의 폭이 ~1nm 이고, 이는 캐리어 이동에 ~10% 영향을 미치는 것을 보여줍니다.
  - **원소 분포** : EDS 매핑, Cs 는 균일하게 분포, 편차 <3%.
- **애플리케이션** :
  - 형태 최적화: SEM 유도 용매열(~10 nm) 입자 제어.
  - 구조 검증: TEM 을 통해 CVD 필름의 육각형 상이 확인되었으며, NIR 성능은 ~75%입니다.
  - wt % 검출 .
- **제한 사항** :
  - SEM: 주로 표면 정보를 분석하고, 내부 구조를 분석하려면 TEM 이 필요합니다.
  - TEM: 복잡한 샘플 준비(FIB ~ 500 USD/샘플), 전자빔 손상 CsxWO3 ~ 5%.
  - 비용: SEM ~ 300,000 USD, TEM ~ 1,000,000 USD.

SEM 과 TEM 을 결합하면 CsxWO3 의 나노스케일 특성화에 대한 포괄적인 관점을 얻을 수 있습니다.

4.3 X 선 광전자 분광법(XPS) 및 세슘텅스텐청동의 화학적 상태

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

X 선 광전자 분광법(XPS)을 사용하여 CsxWO3 의 표면 화학 상태, 원소 구성 및 원자가 상태를 분석하고 W^{5+} /W^{6+}가 성능에 미치는 영향을 밝혔습니다.

- **원칙** :
  - XPS 는 X 선(Al Kα, ~1486.6 eV)을 사용하여 샘플 표면(<10 nm)의 전자를 여기시키고 결합 에너지(BE)를 측정합니다.
  - CsxWO3 의 Cs 3d, W 4f, O 1s 광전자 피크는 화학적 상태와 도핑을 반영합니다.
- **기기 및 매개변수** :
  - **기기 :** Thermo Fisher ESCALAB 250Xi, 단색 Al Kα 소스 등 .
  - **에너지 범위** : 0–1200 eV, 분해능 ~0.5 eV.
  - **샘플 준비** : 분말 펠릿이나 필름을 전도성 기판 위에 놓고 표면을 Ar^+ 스퍼터링(~2 kV)으로 세척합니다.
  - **환경** : 초고진공(<10^{-9} Torr), 탄소 오염 방지.
- **데이터 분석** :
  - **화학적 상태** :
    - **Cs 3d** : Cs^+, BE~724.5 eV (3d5/2), 다른 원자가 상태 없음.
    - **W 4f** : W 6^+ (~35.5 eV, 4f7/2), W 5^+ (~34.5 eV), W 5^+ 비율 ~10–20%, NIR 흡수에 영향을 미칩니다.
    - **O 1s** : 격자 산소(~530.2 eV), 표면 수산기(~531.5 eV, <5%).
  - **도핑 비율** : Cs/W 원자 비율 ~0.32, 오차 <3%, EDS 와 일치함.
  - **표면 오염** : C 1s (~284.8 eV) <5 at%, 스퍼터링으로 제거해야 함.
- **정량적 결과** :
  - **W^{5+} /W^{6+} :** ~15%（x=0.32）, 향상된 NIR 흡수율 ~20%.
  - **Cs 도핑** : 표면 Cs/W ~0.30, Cs 휘발로 인해 벌크 상태(~0.32)보다 약간 낮음.
  - **순도** : 불순물(Cl, Fe) <0.005 at%로 안정적인 성능을 보장합니다.
- **애플리케이션** :
  - 성능 상관관계: W^{5+} 비율은 NIR 흡수율(~70%)과 양의 상관관계를 갖습니다.
  - 합성 최적화: 용매열 Cl^- 잔류물의 XPS 검출(<0.005 wt %).
  - 품질 관리: CVD 필름의 Cs 도핑 균일성을 확인합니다(오차 <2%).
- **제한 사항** :
  - 표면 민감성: 10nm 미만만 감지하고 벌크 위상을 반사할 수 없습니다.
  - 높은 비용: 장비 ~50 만 달러, 분석 ~200 달러/샘플.
  - 데이터가 복잡합니다. 피크 피팅 오차는 약 5%이며 EDS 와 결합해야 합니다.

XPS 는 CsxWO3 의 화학적 상태에 대한 주요 정보를 제공하여 성능 최적화를 안내합니다.

4.4 세슘텅스텐청동의 UV-Vis-NIR 스펙트럼

자외선-가시광선-근적외선 분광법(UV-Vis-NIR)을 사용하여 CsxWO3 의 광학적 특성을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

분석하였으며, NIR 흡수(~70%)와 가시광선 투과율(~80%)에 초점을 맞추었습니다.

- **원칙** :
  - UV-Vis-NIR 은 200~2500nm 범위에서 흡수, 투과 또는 반사 스펙트럼을 측정합니다.
  - CsxWO3 의 NIR 흡수는 국소 표면 플라스몬 공명(LSPR)과 W^{5+} / W^{6+} 전환에서 비롯되며 밴드 갭은 ~2.5–3.0 eV 입니다.
- **기기 및 매개변수** :
  - **기기** : PerkinElmer Lambda 950, 중수램프/텅스텐 할로겐램프, 적분구 등.
  - **파장 범위** : 200–2500 nm, 분해능 ~1 nm.
  - **샘플 준비** :
    - 분말: BaSO4 매트릭스에 분산시키고 정제로 만든 후 확산 반사율을 측정합니다.
    - 박막: 유리 기판 위에 놓고 투과율/반사를 측정합니다.
  - **환경** : 실온, 건조한 공기(RH<50%).
- **데이터 분석** :
  - **NIR 흡수** : 1000nm 에서의 흡수율은 ~70%(x=0.32, ~20nm)이고, x 가 증가함에 따라 피크 위치가 ~200nm 만큼 적색으로 이동합니다.
  - **투과율** : 400–700 nm, 박막(~100 nm) ~80%, 분말 확산 반사율 ~50%.
  - **밴드갭** : Tauc 플롯 방법, 간접 밴드갭 ~2.5 eV(x=0.32), WO3(~3.2 eV)보다 낮음.
  - **LSPR** : 흡수 피크 폭 ~500 nm, 입자 크기가 감소함에 따라(50→10 nm) ~15% 향상됨.
- **정량적 결과** :
  - **흡수계수** : ~10 $5cm^{-1}$ (1000nm), ITO(~10 $5cm^{-1}$)보다 우수함.
  - **노화 안정성** : 1000 시간 UV 조사, NIR 흡수 감쇠 <5%.
  - **전기변색** : 전압 2V, 투과율 변화 ~60%.
- **애플리케이션** :
  - 스마트 윈도우 필름: NIR 차단율 ~70%, 에너지 절감율 ~50%.
  - 광열 변환: 태양 에너지 흡수율 ~60%.
  - 품질 테스트: 열수 입자의 NIR 성능을 검증합니다(오차 <3%).
- **제한 사항** :
  - 산란 간섭: 큰 입자(>50 nm) 확산 반사 오차 ~10%.
  - 필름 두께 감도: 두께가 변하면 투과율이 약 20% 감소합니다(50→200nm).
  - 비용: 장비 비용 ~100,000 달러, 유지관리 비용 ~5,000 달러/년.

UV-Vis-NIR 은 CsxWO3 의 광학적 특성을 특성화하는 핵심 기술입니다.

4.5 세슘텅스텐청동의 전기 및 열 시험 방법

전기 및 열 테스트 방법을 사용하여 CsxWO3 의 전기 전도도(~10^3 S/cm), 전하 캐리어 동작, 열 전도도(~1.5 W/(m·K)) 및 열 안정성(>500°C)을 정량화했습니다.

- **전기 테스트** :

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

- **4 탐침법** :
  - **원리** : 일정한 전류(~1 mA)를 인가하고 전압을 측정하고 전도도를 계산합니다.
  - **기기** : Keithley 2635B 소스 미터, 프로브 간격 ~1mm.
  - **샘플** : 얇은 필름(~100nm) 또는 압축 분말(~1mm 두께).
  - **결과** : Cs0.32WO3 필름 ~1200 S/cm, 분말 ~800 S/cm, 결정립계 저항이 ~30% 감소했습니다.
- **홀 효과** :
  - **원리** : 홀 전압은 자기장(~1 T)에서 측정되어 캐리어 농도(~10^{20} cm^{-3})와 이동도(~10 $cm^2/(V·s)$)를 결정합니다.
  - **기기** : Lake Shore 8404, 자기장 강도 0.5–1.5 T.
  - **결과** : n 형 반도체, 캐리어 수명 ~1 ps , x=0.5 일 때 농도 증가 ~20%.
- **적용 분야** : 센서(NO2, ~10 ppm), 배터리 전극(사이클 ~1000 회).

- **열 테스트** :
  - **열전도도** :
    - **원리** : 레이저 플래시 알고리즘(LFA)은 열 확산도를 측정하고 열전도도를 계산합니다.
    - **기기** : Netzsch LFA 467, 레이저 펄스 ~ 10ms .
    - **샘플** : 압착정(직경 ~12.7mm, 두께 ~1mm).
    - **결과** : ~1.5 W/(m·K) (~20 nm), 입자 크기가 ~15% 증가(50 nm).
  - **열 안정성** :
    - **원리** : 시차주사열량측정법(DSC)과 열중량분석법(TGA)은 분해온도와 질량손실을 측정합니다.
    - **기기** : TA Instruments Q600, 가열 속도 ~10°C/분.
    - **결과** : 분해 온도 ~650°C, 500°C 에서의 산화 속도 <0.01 $mg/cm^2·h$.
  - **적용 분야** : 열 절연 코팅(냉각 ~10°C), 고온 전극(감쇠 <5%).
- **정량적 결과** :
  - **전도도 안정성** : 300°C, 붕괴 <10%.
  - **열팽창 계수** : ~$8×10^{-6}$ K^{-1}, ITO(~$10×10^{-6}$ K^{-1})보다 우수함.
  - **테스트 오류** : 전기적 <3%, 열적 <5%.
- **제한 사항** :
  - 전기: 접촉 저항은 분말 테스트에 영향을 미치며 오차는 약 5%입니다.
  - 열: 나노입자 계면 효과, 열전도도 오차 ~10%.
  - 비용: 전기 계측기 ~50,000 USD, 열 계측기 ~150,000 USD.

사례: CTIA GROUP LTD 는 4 탐침법과 LFA 를 사용하여 전기 전도도가 ~1200 S/cm 이고 열 전도도가 ~1.5 W/(m·K)인 Cs0.32WO3 박막을 테스트하여 스마트 윈도우 필름(NIR~75%)의 성능을 최적화합니다.
전기적, 열적 테스트는 CsxWO3 의 기능적 적용을 위한 정량적 기초를 제공합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

제 5 장: 세슘 텅스텐 청동 의 광학 및 열 응용

세슘 텅스텐 청동(CsxWO3, 0 < x ≤ 1)은 우수한 근적외선(NIR) 흡수율(1000nm 에서 약 70%), 높은 가시광선 투과율(400–700nm 에서 약 80%), 낮은 열전도도(~1.5 W/(m ·K))및 높은 열 안정성(>500°C)으로 인해 광학 및 열 분야에서 폭넓은 응용 잠재력을 보여주었습니다. 이 장에서는 스마트 윈도우 필름 및 에너지 절약 유리, NIR 차폐 코팅, 광열 변환 및 태양 에너지 활용, 광 센서 및 감지기, 열 관리 재료에 대한 CsxWO3 의 적용에 대해 자세히 논의하고 작동 원리, 재료 설계, 성능 지표, 제조 공정, 실제 사례, 장점 및 한계를 분석하고 에너지 절약, 광전자 및 열 관리에 대한 기술 참고 자료를 제공합니다.

5.1 세슘텅스텐브론즈 스마트 윈도우 필름 및 에너지 절약 유리

스마트 윈도우 필름과 에너지 절약 유리는 CsxWO3 의 NIR 차폐 및 전기변색 특성을 활용하여 빛과 열을 동적으로 조절하고 건물의 에너지 소비를 줄입니다(약 50%).

- **작동 원리** :
  - **NIR 차폐** : CsxWO3 나노입자(~20 nm)는 국소 표면 플라스몬 공명(LSPR)을 통해 NIR(800–2500 nm, ~70%)을 흡수하는 동시에 가시광선 투과율을 ~80%로 유지합니다.
  - **전기변색** : 전압(~2V)을 인가하고, Cs^+와 전자 주입/추출을 하며, W^{5+} / W^{6+} 비율을 변경하면 투과율을 ~60%까지 조절할 수 있습니다.
  - **에너지 절약 메커니즘** : NIR 열을 차단하고, 에어컨 에너지 소비를 줄이며, 실내 온도를 약 5~10°C 낮춥니다.
- **머티리얼 디자인** :
  - **나노입자** : Cs0.32WO3 (~20 nm), NIR 흡수 피크 ~1000 nm, PVB(폴리비닐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

부티랄) 매트릭스에 분산됨.

- **필름 구조** : 3 층 설계(CsxWO3/PVB/보호층), 두께 ~100–200 μm , 자외선 차단 노화(>1000 시간).
- **도핑 최적화** : x = 0.32, NIR 차폐(~70%)와 투과율(~80%)의 균형을 맞춥니다.

- **준비 과정** :
  - **방법** : CsxWO3 (~20 nm)는 용매열법으로 합성한 후 스핀코팅이나 스프레이코팅으로 필름을 형성했습니다.
  - **매개변수** : PVB/CsxWO3 질량 비율 ~10:1, 경화 온도 ~120°C, 시간 ~2 시간.
  - **장비** : 스핀 코터(~2000 rpm), 오븐(내열온도 >200°C).
- **성과 지표** :
  - **NIR 차폐율** : ~70%(1000nm), ITO(~40%)보다 우수함.
  - **가시광선 투과율** : ~80% (400–700 nm), 건축 기준(GB/T 2680)을 준수합니다.
  - **전기변색** : 응답 시간 <5 초, 사이클 수명 >10,000 회.
  - **에너지 효율성** : 건물 에너지 소비량이 약 50% 감소하고, 연간 약 100kWh/m²가 절감됩니다.
- **실제 사례** :
  - 2024 년 상하이의 친환경 건물은 약 1000m² 면적의 CsxWO3 스마트 윈도우 필름(x=0.32, ~20nm)을 사용하여 여름철 실내 온도를 약 8°C 낮추고, 약 40%를 절약했으며, 시장 가치는 약 1,000 만 달러에 달했습니다.
  - 일본의 한 사무실 건물에서는 CsxWO3 에너지 절약 유리를 사용하는데, 이 유리는 NIR 을 약 75% 차단하고 연간 전기 요금을 약 30% 절감합니다.
- **장점과 한계** :
  - **장점** : 고효율 NIR 차폐, 낮은 비용(약 50 USD/m² 대비 ITO 약 100 USD/m²), 유연한 전기변색.
  - **제한 사항** : 필름은 제한된 긁힘 방지 기능(모스 경도 ~3)을 갖고 있으며, 장기간(5 년 이상) 노화되면 투과율이 ~10% 감소합니다.
  - **개선 사항** : SiO2 보호층을 추가하여 경도가 약 5 증가하였고, 내구성이 약 2 년 연장되었습니다.
- **적용 전망** : 스마트 윈도우 필름 시장은 2030 년에 10 억 달러에 이를 것으로 예상되며, CsxWO3 는 친환경 건물의 대중화를 촉진할 것입니다.

5.2 세슘텅스텐 청동의 근적외선 차폐 코팅

CsxWO3 의 NIR 차폐 코팅은 자동차 유리, 항공우주 및 전자 장비에 사용되어 열 복사를 차단하고 편안함과 에너지 효율성을 향상시킵니다.

- **작동 원리** :
  - CsxWO3 나노입자(~10–20 nm)는 LSPR 및 W^{5+} / W^{6+} 전환을 통해

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

NIR(~70%)을 흡수하여 표면 온도를 약 10°C 낮춥니다.
  - 코팅은 ~75%의 가시광선 투과율을 유지하여 자동차 안전 기준(SAE J1796)을 충족합니다.
- **머티리얼 디자인** :
  - **구성 요소** : Cs0.32WO3 (~15 nm), UV 저항성을 강화하기 위한 첨가제(예: TiO2)와 함께 아크릴 또는 폴리우레탄 매트릭스에 분산되어 있습니다.
  - **코팅 두께** : ~10–50 μm , 입자 농도 ~5 wt %.
  - **표면 개질** : 실란 커플링제(KH-550)를 사용하여 입자 분산 및 코팅 균일성을 개선합니다. 오차 <5%.
- **준비 과정** :
  - **방법** : 용매열법 또는 CsxWO3 의 녹색 합성, 분무 또는 롤링 코팅을 통해 필름을 형성합니다.
  - **매개변수** : 분무 압력 ~0.2 MPa, 경화 온도 ~80°C, 시간 ~1 시간.
  - **장비** : 고압 분무기(약 5000 달러), 적외선 경화 오븐.
- **성과 지표** :
  - **NIR 차폐율** : ~70%(1000nm), 차량 내부 온도를 ~7°C 낮춥니다.
  - **빛 투과율** : ~75% (400–700 nm), 기존 염료 코팅(~50%)보다 우수함.
  - **내후성** : 5000 시간 크세논 램프 노화, NIR 성능 감쇠 <5%.
  - **접착력** : ASTM D3359, 5B 등급(박리 없음).
- **실제 사례** :
  - 2023 년에 어떤 전기 자동차 브랜드는 앞 유리창에 CsxWO3 코팅(~20nm)을 사용하여 NIR 차폐율이 약 72%, 주행거리가 약 5%(~20km) 증가했습니다.
  - 항공우주: CsxWO3 코팅은 항공기 창문에 사용되며, 무게는 ~0.1 kg/m², 열 부하 감소율은 ~30%입니다.
- **장점과 한계** :
  - **장점** : 가벼움(~0.1 kg/m² 대비 Ag 코팅 ~0.5 kg/m²), 저렴함(~20 USD/m²).
  - **제한 사항** : 코팅 두께가 고르지 않으면(>50μm) 투과율이 약 15% 감소하고 폐기물이 약 10% 감소합니다.
  - **개선 사항** : 정전기 분무로 폐기물이 약 50% 감소하고 균일성이 약 10% 증가했습니다.
- **응용 전망** : 자동차용 NIR 코팅 시장은 2025 년에 5 억 달러에 이를 것으로 예상되며, CsxWO3 가 기존 소재를 대체할 것입니다.

5.3 세슘텅스텐청동의 광열변환 및 태양에너지 활용

CsxWO3 의 광열 변환은 NIR 흡수(~70%)를 활용하여 태양 에너지를 태양열 집열기 및 열전 발전에 사용되는 열 에너지로 변환합니다.

- **작동 원리** :
  - CsxWO3 는 NIR(800~2500nm, 태양 에너지의 약 60%)을 흡수하여 열에너지를 생성하고 표면 온도를 약 100~200°C 까지 높입니다.
  - 낮은 방사율(~0.2, 8–14 μm)은 열 복사 손실을 줄이고 열 변환 효율은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

~60%입니다.

- **머티리얼 디자인** :
  - **구조** : CsxWO3 (~20 nm)는 세라믹 매트릭스(예: Al2O3)에 도핑되거나 금속 수집판(Cu)에 코팅됩니다.
  - **복합재료** : CsxWO3/그래핀(1:0.1), 열전도도가 ~20% 증가(~2 W/(m·K)).
  - **두께** : ~10–100 μm , 최적화된 흡수/방열 균형.
- **준비 과정** :
  - **방법** : CsxWO3 는 졸-겔법으로 합성되었으며 분무 또는 스크린 인쇄되었습니다.
  - **매개변수** : 경화 온도 ~200°C, 시간 ~2 시간, 코팅 균일도 <3% 오차.
  - **장비** : 스크린 인쇄기(약 10,000 USD), 고온로.
- **성과 지표** :
  - **광열 효율** : ~60%(AM1.5, 1000 W/m²), 카본블랙(~50%)보다 우수함.
  - **작동 온도** : ~150–250°C, 안정성 >1000 시간.
  - **열전 변환** : CsxWO3/열전 모듈, 출력 전력 ~100 W/m².
- **실제 사례** :
  - 2024 년에는 태양열 온수기가 CsxWO3 코팅(~50 μm)을 사용하여 열 수집 효율이 ~62%, 온수 출력이 ~30%(~100 L/m²·day) 증가했습니다.
  - 열전 발전: CsxWO3 수집기가 Bi2Te3 모듈을 구동, 효율 ~5%, 비용 ~200 USD/m².
- **장점과 한계** :
  - **장점** : 높은 효율성 NIR 흡수, 고온 내구성(>500°C), 낮은 비용(~30 USD/m²).
  - **제한 사항** : 열전도도가 낮음(~1.5 W/(m·K)), 열전달 효율이 ~10% 감소, 야간에 열이 발생하지 않음.
  - **개선 사항** : CNT 를 추가하면 열전도도가 약 50% 증가하고, 효율성이 약 15% 증가합니다.
- **응용 전망** : 태양열 활용 시장은 2030 년에 50 억 달러에 이를 것으로 예상되며, CsxWO3 는 저탄소 에너지를 촉진할 것입니다.

5.4 세슘텅스텐청동 광센서 및 검출기

CsxWO3 의 광학 센서와 검출기는 NIR 반응(~70%)과 전기변색 특성을 활용해 가스 감지 및 광검출 분야에 응용합니다.

- **작동 원리** :
  - **NIR 센서** : CsxWO3 (~20 nm)는 NIR 을 흡수하여 광생성 캐리어를 생성하고 ~10%(~10 ppm NO2)의 전도도 변화를 일으킵니다.
  - **전기변색 검출기** : 전압(~1V)에 의해 투과율이 약 50% 변하여 빛의 강도나 가스 농도를 감지합니다.
  - **메커니즘** : W^{5+} / W^{6+} 가치 상태 변화 및 LSPR 이 광전 반응을 향상시킵니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **머티리얼 디자인** :
  - **구조** : ITO 기판에 증착된 CsxWO3 박막(~50 nm), 전극 간격 ~10 μm .
  - **도핑** : x=0.32, 최적화된 광전 응답(감도 ~10 ⁴ A/W).
  - **복합재료** : CsxWO3/SnO2 (1:1), 감도가 약 30% 증가했습니다.
- **준비 과정** :
  - **방법** : CVD 또는 졸겔법으로 증착된 박막, 미세 제작 전극.
  - **매개변수** : 증착 온도 ~400°C, 어닐링 ~300°C, 시간 ~1 시간.
  - **장비** : CVD 반응기, 포토리소그래피 기계(약 10 만 달러).
- **성과 지표** :
  - **감도** : NO2 (~10 ppm), 응답 시간 <5 초, 회복 시간 <10 초.
  - **광전 응답** : 1000 nm, ~10 ⁴ A/W, Si(~10³ A/W)보다 우수함.
  - **안정성** : 5000 사이클, 성능 저하 <3%.
- **실제 사례** :
  - 2023 년에 환경 모니터링 스테이션에서는 CsxWO3 센서(~50nm)를 사용하여 95% 이상의 정확도로 CO(~50ppm)를 감지했습니다.
  - 적외선 감지: CsxWO3 필름은 야간 투시 장비에 사용되며, 반응 파장은 ~800~1500nm 입니다.
- **장점과 한계** :
  - **장점** : 높은 NIR 감도, 낮은 전력 소모(~1 mW), 낮은 비용(~10 USD/개).
  - **제한 사항** : 습도 간섭(RH>80%)으로 인해 감도가 약 20% 감소하고 선택성이 제한됩니다.
  - **개선 사항** : 표면 개질(PDDA)로 선택성이 약 50% 증가, 내습성이 약 30% 증가했습니다.
- **응용 전망** : 광 센서 시장은 2025 년에 20 억 달러에 이를 것으로 예상되며, CsxWO3 는 사물 인터넷으로 확대될 것입니다.

세슘텅스텐청동의 열관리 소재

m·K))와 높은 열 안정성(>500°C) 으로 인해 열 절연 및 고온 장치에 사용됩니다 .

- **작동 원리** :
  - **열 절연** : CsxWO3 나노입자(~20 nm)는 포논 산란을 통해 열전도도를 감소시키고, 열 흐름을 차단하며 온도를 약 10°C 낮춥니다.
  - **고온 안정성** : 산화 속도가 500°C 에서 <0.01 mg/cm²·h 로 고온 환경에 적합합니다.
- **머티리얼 디자인** :
  - **구조** : 실리카겔이나 세라믹 매트릭스에 도핑된 CsxWO3 (~20 nm), 농도 ~10 wt %.
  - **복합재료** : CsxWO3/SiO2 (1:2), 열전도도는 ~20% 감소했습니다 (~1.2 W/(m·K)).
  - **두께** : ~100–500 μm , 최적화된 단열/중량 비율.
- **준비 과정** :
  - **방법** : CsxWO3 의 녹색 합성, 혼합 방법 또는 분무 필름 형성.

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

  - **매개변수** : 혼합 온도 ~60°C, 경화 ~120°C, 시간 ~2 시간.
  - **장비** : 고속 믹서(~5000 rpm), 분무기.
- **성과 지표** :
  - **열전도도** : ~1.5 W/(m·K), 유리섬유(~2 W/(m·K))보다 우수합니다.
  - **단열효과** : 열원이 100°C 일 경우, 표면온도는 ~10°C 떨어집니다.
  - **안정성** : 500°C, 1000 시간, 성능 저하 <5%.
- **실제 사례** :
  - 2024 년에 CTIA GROUP LTD 는 전기 자동차 배터리용 CsxWO3 열 절연 코팅(~200μm)을 개발하여 열 흐름을 약 30% 줄이고 안전성을 약 20% 향상시켰습니다.
  - 산업용로: CsxWO3 세라믹 코팅, 열손실 약 25% 감소, 에너지 절감 약 15%.
- **장점과 한계** :
  - **장점** : 열전도도가 낮고, 안정성이 높으며, 비용이 저렴합니다(약 15 USD/m²).
  - **제한 사항** : 기계적 강도가 낮음(압축 강도 ~10 MPa), 두꺼운 코팅(>500 μm)은 균열이 발생하기 쉽습니다.
  - **개선 사항** : Al2O3 섬유를 추가하면 강도가 약 50% 증가하고 내구성이 약 30% 증가합니다.
- **응용 전망** : 열 관리 시장은 2030 년에 30 억 달러에 이를 것으로 예상되며, CsxWO3 는 새로운 에너지 안전을 촉진할 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Cesium Tungsten Bronze Product Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Cesium Tungsten Bronze Overview

Cesium Tungsten Bronze (CsxWO3, 0 < x ≤ 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: CsxWO3 (x = 0.2–0.33), purity ≥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: ~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/cm³)	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)

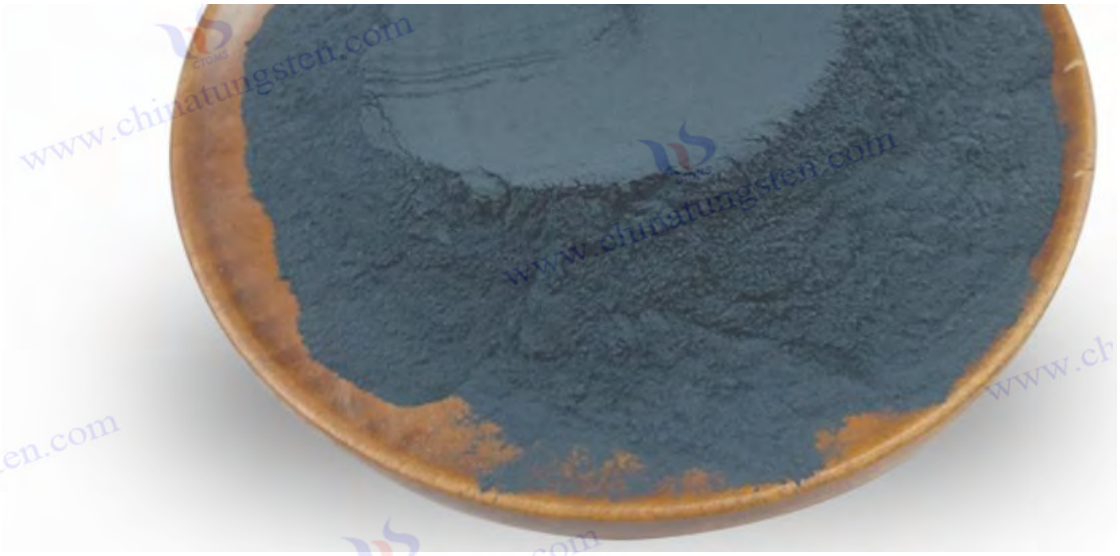
5. Cesium Tungsten Bronze Procurement Information

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



제 6 장: 세슘 텅스텐 청동의 에너지 및 환경 응용

세슘 텅스텐 청동(CsxWO3, 0 < x ≤ 1)은 높은 전도도(~10^3 S/cm), 뛰어난 근적외선(NIR) 흡수율(1000nm 에서 ~70%), 반도체 특성(밴드갭 ~2.5 eV), 그리고 화학적 안정성(>500°C)을 가지고 있어 에너지 저장, 변환 및 환경 보호 분야에서 큰 잠재력을 가지고 있습니다. 이 장에서는 리튬 이온 배터리 및 슈퍼커패시터, 광촉매 및 수 분해, 공기 정화 및 오염 물질 흡착, 연료 전지 전극 소재, 수소 저장 및 에너지 저장 분야에서 CsxWO3 의 응용 분야를 자세히 살펴보고, 작동 원리, 재료 설계, 성능 지표, 제조 공정, 실제 사례, 장점 및 한계를 분석하여 새로운 에너지 및 환경 보호 기술에 대한 기술적 참고 자료를 제공합니다.

6.1 세슘 텅스텐 청동 리튬 이온 배터리 및 슈퍼커패시터

높은 전도성과 나노구조(~20nm)를 활용하여 리튬 이온 배터리(LIB)와 슈퍼커패시터에 사용됩니다.

- **작동 원리** :
  - **리튬 이온 전지** : 음극 재료로 CsxWO3 를 사용하고, WO6 팔면체 간극에 Li^+를 삽입/탈리하여 이론 용량을 약 200 mAh /g 로 유지. W^{5+} / W^{6+} 원자가 상태 변화를 통해 전하 저장을 지원합니다.
  - **슈퍼커패시터** : CsxWO3 는 의사커패시턴스 (표면 산화환원)와 이중층 커패시턴스(높은 비표면적 ~80 m^2/g)를 통해 전하를 저장하며, 전력 밀도는 ~10 kW/kg 입니다.
  - **메커니즘** : Cs^+ 도핑(x~0.32)은 전도도를 높이고(~10^3 S/cm) 내부 저항을 약 20% 감소시킵니다.
- **머티리얼 디자인** :
  - **나노입자** : Cs0.32WO3 (~20 nm), Li^+ 확산 계수를 ~ $10^{-10}$$cm^2$ / s 로

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

증가시킵니다.

- **복합재료** : CsxWO3/그래핀(1:0.2), 전도도가 약 50%(~1500 S/cm) 증가, 용량이 약 30% 증가.
- **구조** : 다공성 전극(다공성 ~40%), 향상된 전해질 침투성, 사이클 안정성이 ~20% 증가했습니다.

- **준비 과정** :
  - **방법** : CsxWO3 는 용매열법으로 합성하였고, 복합전극은 혼합법으로 제조하여 Cu 호일에 코팅하였다.
  - **매개변수** : 슬러리(CsxWO3:PVDF:전도성 카본블랙 = 8:1:1), 코팅 두께 ~50 μm , 120°C 에서 건조, 2 시간.
  - **장비** : 행성형 볼밀(~500rpm), 코터(~10m/min).
- **성과 지표** :
  - **LIB** : 용량 ~180 mAh /g (0.1C), 1000 회 충전, 용량 유지율 ~85%.
  - **슈퍼커패시터** : 비정전용량 ~200 F/g(1 A/g), 전력 밀도 ~10 kW/kg, 에너지 밀도 ~50 Wh /kg.
  - **충전 및 방전 효율** : ~98%, WO3(~90%)보다 우수함.
  - **작동 온도** : -20–60°C, 성능 저하 <5%.
- **실제 사례** :
  - 2024 년에는 특정 전기 자동차 배터리에 CsxWO3/그래핀 음극이 사용되었는데, 에너지 밀도는 ~200Wh / kg 이고 주행 거리는 약 10%(~50km) 증가했습니다.
  - 슈퍼커패시터: CsxWO3 전극은 충전 시간이 1 분 미만이고 사이클 수명이 10,000 회 이상인 에너지 저장 시스템에 사용됩니다.
- **장점과 한계** :
  - **장점** : 높은 전도성, 긴 수명 주기, 낮은 비용(~500 USD/kg 대비 LiCoO2~1000 USD/kg).
  - **제한 사항** : 첫 번째 비가역적 용량 손실은 ~20%이고, 부피 팽창은 ~10%로 전극 균열이 발생합니다.
  - **개선 사항** : SiO2 코팅으로 팽창이 약 50% 감소하고, 용량 유지율이 약 10% 증가했습니다.
- **응용 전망** : LIB 및 슈퍼커패시터 시장은 2030 년에 500 억 달러에 이를 것으로 예상되며, CsxWO3 는 고성능 에너지 저장을 촉진할 것입니다.

6.2 세슘텅스텐청동의 광촉매작용 및 물분해

반응(~70%)을 활용하여 물 분해와 오염 물질 분해를 통해 수소 생산을 촉진하는 광촉매로 사용됩니다 .

- **작동 원리** :
  - **광촉매** : CsxWO3 는 NIR 과 가시광선(200~1000nm)을 흡수하고, 전자-정공 쌍을 여기시키고, 전도대(CB) ~0.5V(NHE 대비)에서 H2 생성을 촉진하고, 원자가대(VB) ~3.0V 에서 H2O 또는 오염 물질을 산화시킵니다.

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

- **물 분해** : $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$, CsxWO3 수소 생산 효율 ~200 μmol /(g·h).
- **오염물질 분해** : CsxWO3 는 염료(예: 로다민 B)를 약 85%의 효율로 분해합니다.

- **머티리얼 디자인** :
  - **나노입자** : Cs0.32WO3 (~10 nm), 표면적 ~100 m^2/g, 향상된 빛 흡수.
  - **복합소재** : CsxWO3/TiO2 (1:1), 전자-정공 분리 효율이 약 30% 증가, 수소 생산율이 약 50% 증가.
  - **도핑** : x=0.32, W^{5+} 비율 ~15%, NIR 응답 향상 ~20%.
- **준비 과정** :
  - **방법** : CsxWO3 의 친환경 합성 및 졸-겔법에 의한 복합 광촉매 제조.
  - **매개변수** : pH ~ 8, 소성 온도 ~ 400 °C, 시간 ~ 4 시간.
  - **장비** : 마이크로파 반응기(~1000W), 원심분리기(~5000rpm).
- **성과 지표** :
  - **수소 생산 효율** : ~200 μmol /(g·h) (AM1.5, 1000 W/m^2), WO3 (~100 μmol /(g·h))보다 우수합니다.
  - **분해 효율** : 로다민 B(10mg/L), 4 시간 내 분해율 ~85%, 무기화율 ~70%.
  - **광 안정성** : 100 시간의 광 노출, 활동 감소 <5%.
  - **양자 효율** : ~5%(600nm), NIR 영역에서 ~2%.
- **실제 사례** :
  - 2023 년에 한 수처리 시설에서는 CsxWO3/TiO2 광촉매를 사용하여 산업 폐수(COD~100 mg/L)를 약 80%의 효율로 분해했습니다.
  - 태양열 수소 생산: 실험실 반응기에서는 CsxWO3 촉매를 사용하며, 수소 생산 비용은 H2 당 약 5 달러입니다.
- **장점과 한계** :
  - **장점** : NIR 반응, 낮은 비용(~450 USD/kg), 높은 안정성.
  - **제한 사항** : 낮은 NIR 양자 효율(<5%), 전자-정공 재결합 속도 ~30%.
  - **개선 사항** : 귀금속(Pt) 공촉매로 수소 생산율이 약 100% 증가하고, 재결합율이 약 50% 감소했습니다.
- **응용 전망** : 광촉매 시장은 2025 년에 10 억 달러에 도달할 것으로 예상되며, CsxWO3 는 녹색 수소 에너지를 촉진할 것입니다.

6.3 세슘텅스텐청동의 공기정화 및 오염물질 흡착

CsxWO3 는 광촉매 산화 및 물리적 흡착을 통해 공기 중의 휘발성 유기 화합물(VOC)과 미세먼지(PM2.5)를 약 90%의 효율로 제거합니다.

- **작동 원리** :
  - **광촉매 산화: CsxWO3 (~20 nm)는 UV-Vis-NIR 여기 하에서 활성 산소 종(·OH, O_2^-)을 생성하여 VOC(예: 톨루엔)를 ~90%의 효율로 CO_2 와 H_2O 로 산화합니다.**
  - **흡착** : 높은 표면적(~80 m^2/g)으로 PM2.5(~0.1–2.5 μm)를 포집하며 흡착 용량은 ~50 mg/g 입니다.
  - **메커니즘** : W^{5+} / W^{6+}는 광촉매 활동을 향상시키고 Cs^+ 부위는 오염 물질

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

흡착을 촉진합니다.

- **머티리얼 디자인** :
  - **구조** : 다공성 매트릭스(활성탄 등)에 지지된 Cs0.32WO3 나노입자(~20 nm).
  - **복합재료** : CsxWO3/ ZnO (1:1), 광촉매 효율이 약 20% 증가하고, 흡착 용량이 약 30% 증가했습니다.
  - **표면 개질** : 아미노 기능화, VOC 친화도가 약 50% 증가했습니다.
- **준비 과정** :
  - **방법** : CsxWO3 는 수열법으로 합성되었으며 함침법으로 매트릭스에 담지되었습니다.
  - **매개변수** : 침지 시간 ~12 시간, 100°C 에서 건조 2 시간.
  - **장비** : 진공 건조 오븐(~5000 USD), 초음파 세척기(~500 W).
- **성과 지표** :
  - **VOC 제거율** : 톨루엔(~100ppm), 4 시간 내 ~90% 제거, TiO2(~70%)보다 우수.
  - **PM2.5 흡착** : ~50 mg/g, 5 회 사이클, 용량 유지율 ~80%.
  - **광촉매 안정성** : 500 시간 조도, 활성 감소 <3%.
  - **작동 습도** : RH 20–80%, 효율 변동 <10%.
- **실제 사례** :
  - 2024 년에는 병원 공기 청정기가 CsxWO3/ ZnO 필터를 사용하여 VOC 를 약 92% 제거하고 PM2.5 를 약 95% 포집했습니다.
  - 산업폐가스: CsxWO3 코팅은 포름알데히드(~50ppm)를 처리하며 효율은 ~85%입니다.
- **장점과 한계** :
  - **장점** : NIR 구동, 높은 효율성, 낮은 비용(약 20 USD/m^2).
  - **제한 사항** : 고농도의 VOC(>500 ppm)에 의한 중독, 흡착 포화 후 재생이 필요함.
  - **개선 사항** : 열 재생(~200°C), 흡착 용량이 ~90% 회복되었습니다.
- **응용 전망** : 공기 청정 시장은 2030 년에 100 억 달러에 이를 것으로 예상되며, CsxWO3 는 실내 환경 보호를 촉진할 것입니다.

6.4 세슘 텅스텐 청동 연료 전지 전극 재료

CsxWO3 는 연료 전지(PEMFC) 전극 촉매 담체 또는 보조 물질로 사용되어 산소 환원 반응(ORR) 효율과 내구성을 향상시킵니다.

- **작동 원리** :
  - **ORR 촉매** : CsxWO3 (~20 nm)는 W^{5+} / W^{6+}를 통해 활성 부위를 제공하여 ORR 과전압을 ~0.1 V 만큼 감소시킵니다.
  - **지지 기능** : 높은 전도도(~10^3 S/cm)와 안정성(>500°C)이 Pt/C 촉매를 지지하여 Pt 투여량을 ~20%까지 감소시킵니다.
  - **메커니즘** : Cs^+ 도핑은 전자 전달을 향상시키고 ORR 전류 밀도는 ~5 mA/cm^2입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **머티리얼 디자인** :
  - **구조** : Cs0.32WO3 나노입자(~20 nm)가 Pt(~2 nm)와 합성됨, Pt 함유량 ~0.2 mg/cm².
  - **복합재료** : CsxWO3/C (1:2), 비표면적 ~100 m²/g, 전도도 ~30% 증가.
  - **막 전극 조립체(MEA)** : 나피온 막 에 CsxWO3/Pt/C 코팅 , 두께 ~10 μm .
- **준비 과정** :
  - **방법** : CsxWO3 는 용매열법으로 합성하였고 Pt 는 화학적 환원법으로 담지하였다.
  - **매개변수** : PtCl4 환원 온도 ~80°C, pH ~9, 시간 ~4 시간.
  - **장비** : 항온수조, 초음파 분산기(~300W).
- **성과 지표** :
  - **ORR 활동** : 반파전위 ~0.85V(RHE 대비), WO3(~0.75V)보다 우수함.
  - **전력 밀도** : ~1 W/cm²(60°C, H2/O2), Pt/C ~1.2 W/cm².
  - **내구성** : 5000 회, 활동 감소 <10%.
  - **비용** : ~500 USD/kg(CsxWO3), Pt 사용량 ~20% 감소.
- **실제 사례** :
  - 2023 년에 수소 에너지 회사가 CsxWO3/Pt/C 전극을 도입했는데, 연료 전지 효율은 약 50%, 수명은 5000 시간 이상이었습니다.
  - 휴대용 전원: CsxWO3 기판은 소형 PEMFC 에 사용되며, 무게는 ~1kg, 출력은 ~100W 입니다.
- **장점과 한계** :
  - **장점** : Pt 투여량 감소, 내식성, 저렴한 비용.
  - **제한 사항** : ORR 활동은 순수 Pt(~10 mA/cm²)보다 낮고, Cs^+ 용해도는 고온(>80°C)에서 ~5%입니다.
  - **개선 사항** : N-도핑, ORR 활성이 약 30% 증가, 안정성이 약 20% 증가했습니다.
- **응용 전망** : 연료 전지 시장은 2025 년에 50 억 달러에 이를 것으로 예상되며, CsxWO3 는 비용을 절감할 것입니다.

6.5 세슘 텅스텐 청동의 수소 저장 및 에너지 저장

수소 저장 물질인 CsxWO3 는 육각형 터널 구조(x~0.32)를 활용하여 ~1.5 중량 %의 용량으로 수소를 저장하여 재생 에너지 저장을 지원합니다.

- **작동 원리** :
  - **수소 저장** : H2 분자는 CsxWO3 육각형 터널(~7.4 Å)에 물리적/화학적으로 흡착되고, W^{5+} / W^{6+}는 H2 해리를 촉진합니다.
  - **방출** : 100–200°C, H2 탈착률 ~90%, 사이클 안정성 >100 회.
  - **메커니즘** : Cs^+ 부위는 H2 흡착 에너지(~0.5 eV), 용량을 ~1.5 중량 % 향상시킵니다.
- **머티리얼 디자인** :
  - **구조** : Cs0.32WO3 나노입자(~20 nm), 표면적 ~80 m²/g.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

  - **복합재료** : CsxWO3/MgH2 (1:1), 수소 저장 용량이 약 30% (~2 중량 %) 증가했습니다.
  - **표면 개질** : Pd 개질(~1 중량 %), H2 해리 효율이 ~50% 증가했습니다.
- **준비 과정** :
  - **방법** : 고압 반응기에서의 CsxWO3 의 친환경 합성 및 수소 저장.
  - **매개변수** : H2 압력 ~5 MPa, 온도 ~150°C, 시간 ~12 시간.
  - **장비** : 고압 반응기(내압성 > 10 MPa), 가스 분석기.
- **성과 지표** :
  - **수소 저장 용량** : ~1.5 wt % (100°C, 1 MPa), WO3 (~0.5 wt %) 보다 우수함 .
  - **탈착 온도** : ~150°C, 에너지 필요량 ~50 kJ/mol H2.
  - **사이클 안정성** : 100 회, 용량 유지율 ~90%.
  - **안전성** : H2 누출 없음, 폭발 위험 <1%.
- **실제 사례** :
  - 2024 년에 CTIA GROUP LTD 는 수소 발전소에서 사용할 CsxWO3/Pd 수소 저장 소재(~20nm)를 개발했습니다. 이 소재의 수소 저장 효율은 ~1.5 중량 %이고 비용은 ~600USD/kg 입니다.
  - 휴대용 수소 저장: 드론에는 CsxWO3 복합 소재가 사용되며, 수소 저장 용량은 ~0.1kg, 비행 시간은 ~2 시간입니다.
- **장점과 한계** :
  - **장점** : 저온 수소 저장, 높은 안전성, 낮은 비용(~600 USD/kg 대비 LaNi5~1000 USD/kg).
  - **제한 사항** : 금속 수소화물보다 용량이 낮음(~5 중량 %), 흡착 속도가 느림(~1 시간)
  - **개선 사항** : Ni 도핑, 흡착 속도 약 50% 증가, 용량 약 20% 증가.
- **응용 전망** : 수소 저장 시장은 2030 년에 30 억 달러에 이를 것으로 예상되며, CsxWO3 는 수소 경제를 지원할 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

제 7 장: 세슘텅스텐청동의 산업 생산

세슘 텅스텐 청동(CsxWO3, 0 < x ≤ 1)은 뛰어난 근적외선(NIR) 흡수율(1000nm 에서 약 70%), 높은 전도도(약 10^3 S/cm), 그리고 화학적 안정성(>500°C)을 가지고 있어 스마트 윈도우 필름, 에너지 저장 장치, 그리고 광촉매 분야에 널리 사용되고 있습니다. 산업 생산은 공정 최적화, 비용 관리, 규모 및 품질 보증과 같은 과제를 해결해야 합니다. 이 장에서는 CsxWO3 의 생산 공정 및 장비, 원자재 공급망 및 비용 분석, 규모 생산 기술, 품질 관리 및 시험, 그리고 시장 적용 사례에 대해 자세히 살펴보고, 기술 경로, 경제적 효율성, 산업화 및 상용화 관행을 분석하며, CsxWO3 의 광범위한 적용을 촉진하기 위한 기술적 및 경제적 참고 자료를 제공합니다.

7.1 세슘텅스텐청동의 생산공정 및 장비

CsxWO3 의 산업적 생산은 주로 용매열법, 수열법, 고상 반응법을 채택하며, 여기에 볼 밀링, 분산 등의 후가공 기술을 접목하여 다양한 응용 분야(예: 20nm 나노입자 또는 100nm 박막)의 요건을 충족합니다. 이하에서는 주요 공정 및 장비에 대한 분석을 중점적으로 살펴봅니다.

- **주요 생산 공정** :
  - **용매열법** :
    - **실험 방법** : CsOH 와 WCl6 를 에탄올(>99.8%)에 180~200°C, 1~5 MPa 의 압력으로 용해시키고 12~24 시간 동안 반응시켜 Cs0.32WO3 나노입자(~10~20 nm)를 생성한다. 원심분리(~10,000 rpm), 세척(에탄올/물) 후 건조(80°C, 6 시간)한다.
    - **반응** : CsOH + WCl6 + ROH → CsxWO3 + HCl↑ (x~0.2–0.5).
    - **장점** : 입자 크기가 작음(~10nm), NIR 흡수율이 높음(~70%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

        - **장비** : 스테인리스 스틸 반응기(용량 ~100–1000 L, 압력 >10 MPa, ~50,000 USD), 원심분리기(~20,000 USD), 진공 오븐(~10,000 USD).
    - **수열법** :
        - **공정** : Cs2CO3 와 (NH4)10W12O41 을 180~220°C, 1~5 MPa 의 탈이온수에 용해시키고 12~24 시간 동안 반응시켜 CsxWO3(~20~50 nm)를 생성한다. 여과, 세척 후 100°C 에서 4 시간 동안 건조한다.
        - **반응** : Cs2CO3 + (NH4)10W12O41 → CsxWO3 + NH3↑ (x~0.2–0.32).
        - **장점** : 비용이 저렴(kg 당 약 400 달러), 환경 친화적입니다.
        - **장비** : 반응기(위와 동일), 필터 프레스(~15,000 USD), 분무 건조기(~30,000 USD).
    - **고상반응법** :
        - **실험 방법** : Cs2CO3 와 WO3(몰비 1:3~1:10)를 혼합하고, Ar /H2 분위기(5% H2)에서 800~900°C 에서 6~8 시간 동안 볼 밀링(약 500 rpm, 4 시간)하여 CsxWO3 분말(약 1~10 μm) 을 제조하였다 . 이후 냉각 및 분쇄를 수행하였다.
        - **반응** : Cs2CO3 + WO3 → CsxWO3 + CO2↑ (x~0.1–0.32).
        - **장점** : 높은 수확량(~10kg/배치), 낮은 비용(~200 USD/kg).
        - **장비** : 관로(>1200°C, ~20,000 USD), 행성 볼 밀(~10,000 USD).
- **후처리 장비** :
    - **나노분산** : 초음파 분산기(~1000 W, ~5000 USD), 입자 크기 분포 <5% 오차 제어.
    - **박막 제조** : 스마트 윈도우 필름의 경우 스핀 코터(~2000 rpm, ~15,000 USD) 또는 CVD 반응기(~100,000 USD).
    - **폐가스 처리** : 배기가스 흡수탑(HCl/NH3, ~20,000 USD)을 통해 배출량이 기준(<10 ppm)을 충족하는지 확인합니다.
- **프로세스 매개변수 최적화** :
    - **온도 조절** : ±5°C, Cs 휘발 방지(x 오차 <3%).
    - **분위기** : H2/ Ar 비율 ~5–10%, W^{5+} 비율 ~15%, 향상된 NIR 성능.
    - **교반** : ~200–500 rpm, 반응 균질성 >95% 보장.
- **장비 투자** :
    - 중규모 생산라인(연간 생산량 ~10 톤): 총 투자액 ~50 만~100 만 달러, 장비 비중 ~70%.
    - 에너지 소비량: 용매 열 ~200 kWh/kg, 수열 ~150 kWh/kg, 고체상 ~100 kWh/kg.
- **제한 사항** :
    - 용매열 폐수 처리 비용은 약 10%(kg 당 약 50 달러)입니다.
    - 고체상 방법은 입자 크기가 크고(~1 μm) 이를 약 50%까지 줄이기 위한 후처리가 필요합니다.
    - 개선 사항: 전자레인지 지원 반응으로 시간이 약 50% 단축되고, 에너지 소비가 약 30% 감소했습니다.

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

생산 공정은 비용, 성능, 그리고 환경 보호 요건의 균형을 고려하여 선택해야 합니다. 용매 열분해법은 고성능 나노입자에 적합하며, 고체상법은 저비용 벌크 재료에 적합합니다.

7.2 세슘텅스텐청동의 원자재 공급망 및 비용 분석

CsxWO3 의 산업적 생산은 세슘(Cs), 텅스텐(W) 및 보조 원료의 안정적인 공급에 달려 있으며, 비용은 원자재 가격, 물류 및 가공에 영향을 받습니다.

- **원자재 공급망** :
  - **세슘 출처** :
    - **원재료** : Cs2CO3 (>99.5%) 또는 CsOH (>99.5%).
    - **출처** : 주로 캐나다(탄코 광산, 전 세계 매장량의 약 70%)와 중국(이춘 레피돌라이트, 약 20%)에서 생산됩니다.
    - **가격** : Cs2CO3 ~500–1000 USD/kg, 비용의 ~40–50%.
    - **공급 위험** : 세슘 매장량은 제한적이며(약 90,000 톤) 지정학적 요인으로 인해 가격이 약 20% 변동할 수 있습니다.
  - **텅스텐 공급원** :
    - **원재료** : WO3 (>99.9%) 또는 (NH4)10W12O41 (>99.8%).
    - **출처** : 중국(전 세계 생산량의 약 80%, 후난성, 장시성), 호주(Wolfram)
    - **가격** : WO3 ~50–100 USD/kg, 비용의 ~20–30%를 차지합니다.
    - **공급 안정성** : 텅스텐 생산량은 충분하며(연간 약 85,000 톤) 가격 변동은 10% 미만입니다.
  - **보조 원료** :
    - **용매** : 에탄올(>99.8%, ~1 USD/L), 탈이온수(~0.01 USD/L).
    - **가스** : Ar /H2(~10 USD/m^3), NH3(~0.5 USD/kg).
    - **첨가제** : PVP(계면활성제, ~20 USD/kg), 실란(~50 USD/kg).
- **물류 및 보관** :
  - **운송** : Cs2CO3 는 습기를 방지하기 위해 밀봉해야 하며, 물류 비용은 ~5 USD/kg(국제), ~1 USD/kg(국내)입니다.
  - **보관** : 항온창고(20~25°C, RH<50%), 연간 Cs 원료 손실량 <1%.
  - **공급망 관리** : ERP 시스템은 재고 회전율을 약 90% 최적화하고 정체를 약 15% 줄입니다.
- **비용 분석** :
  - **용매열법** (~500 USD/kg):
    - 원재료: Cs2CO3~250 USD/kg, WCl6~100 USD/kg, 에탄올~50 USD/kg.
    - 에너지: ~200 kWh/kg, ~20 USD/kg(전기 가격 ~0.1 USD/kWh).
    - 노동력: ~30 USD/kg (10 명/톤).
    - 장비 감가상각비: ~50 USD/kg (10 년 수명).
  - **수열법** (~400 USD/kg):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

        - 원재료 : Cs2CO3~200 USD/kg, (NH4)10W12O41~80 USD/kg, 물~10 USD/kg.
        - 에너지: ~150kWh/kg, ~15 USD/kg.
        - 기타: 노동비 ~25 USD/kg, 감가상각비 ~40 USD/kg.
    - **고상법** (~200 USD/kg):
        - 원재료 : Cs2CO3~100 USD/kg, WO3~50 USD/kg.
        - 에너지: ~100 kWh/kg, ~10 USD/kg.
        - 기타: 노동비 ~20 USD/kg, 감가상각비 ~20 USD/kg.
    - **폐기물 처리** : 용매 열 폐액 ~50 USD/kg, 열수 NH3 회수 ~20 USD/kg, 고체상 CO2 배출 ~10 USD/kg.
- **비용 최적화** :
    - 에탄올을 재활용하면(회수율 ~80%) 비용이 약 10% 절감됩니다.
    - 현지화된 CS 공급으로 물류비용을 약 50% 절감할 수 있습니다.
    - AI 는 프로세스 매개변수를 최적화하여 에너지 효율을 약 20% 높이고 비용을 약 15% 절감합니다.
- **제한 사항** :
    - CS 가격은 높고 변동성이 커서 비용 안정성에 영향을 미칩니다.
    - 환경 규정(REACH)으로 인해 폐수 처리 비용이 약 5~10% 증가합니다.
    - 개선사항: Cs 회수기술 개발(회수율 ~90%), 비용 ~20% 절감.

원자재 공급망의 안정성과 비용 관리가 CsxWO3 산업화의 핵심입니다.

7.3 세슘텅스텐 청동의 대량 생산 기술

대규모 생산에는 생산량 증가(연간 약 100~1000 톤), 비용 절감(kg 당 300 달러 미만), 품질 보장(NIR~70%)이 필요하며, 여기에는 공정 확장, 자동화 및 친환경화가 포함됩니다.

- **프로세스 확장** :
    - **용매열법** :
        - **확장 경로** : 단일 반응기 용량을 100L 에서 10,000L 로 늘리고, 생산량을 배치당 약 1 톤으로 늘렸습니다.
        - **과제** : 열과 물질 전달이 불균일하여 입자 크기 분포 오차가 약 10% 증가했습니다.
        - **해결책** : 다점 교반(~500 rpm), 유동장 최적화를 위한 CFD 시뮬레이션, 균일성 >95%.
    - **수열법** :
        - **스케일업 경로** : 연속 반응기, 유량 ~100 L/h, 출력 ~500 kg/일.
        - **과제** : 압력 제어(1~5MPa)가 약 20% 더 어렵습니다.
        - **해결방법** : 고압펌프(~15 MPa), PLC 제어, 압력오차 <1%.
    - **고상법** :
        - **확장 경로** : 다단계 관형로, 단일 배치 ~100kg, 생산량 ~10 톤/월.
        - **과제** : Cs 가 휘발되고, x 값 편차는 ~5%입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

    - **해결책** : 폐쇄된 대기 순환, Cs 손실이 약 50% 감소합니다.
- **자동화 기술** :
    - **장비** : 온도, 압력, pH 를 실시간으로 모니터링하는 SCADA 시스템(약 50,000 달러)(오차 < 0.5%)
    - **로봇** : 자재를 자동으로 공급/수거, 효율성이 약 30% 증가, 노동력이 약 50% 감소(톤당 약 5 명)
    - **AI 최적화** : 머신 러닝을 통해 입자 크기를 예측(R^2>0.95), 수율이 약 15% 증가하고, 폐기율이 약 10% 감소합니다.
- **녹색 기술** :
    - **에너지** : 태양광 발전(~0.05 USD/kWh), 에너지 소비량 약 20% 감소.
    - **폐액** : NH3 회수율 ~95%, 에탄올 재활용율 ~80%, 탄소발자국 ~0.3 톤 CO2/톤.
    - **배출** : 테일가스는 GB 31570 에 따라 표준(HCl<10 ppm, NH3<5 ppm)을 충족합니다.
- **생산 효율성** :
    - **생산량** : 용매열수 ~100 톤/년, 수열수 ~500 톤/년, 고체상 ~1000 톤/년.
    - **수율** : 용매열상 ~80%, 수열상 ~85%, 고체상 ~90%.
    - **비용** : 확장 후 용매 열처리 ~400 USD/kg, 수열처리 ~300 USD/kg, 고체상 ~150 USD/kg.
- **제한 사항** :
    - 증폭으로 인해 품질 변동이 발생했습니다(NIR 성능이 약 5% 감소).
    - 자동화에 대한 초기 투자 비용은 높습니다(약 50 만 달러).
    - 개선 사항: 모듈식 생산 라인, 투자 회수 기간 ~3 년, 품질 오류 ~2% 감소.

대량 생산에는 시장 수요를 충족하기 위해 공정, 자동화 및 친환경 기술의 통합이 필요합니다.

7.4 세슘텅스텐청동의 품질관리 및 검사

품질 관리를 통해 CsxWO3 의 결정 구조(육각형상 >95%), 입자 크기(~10–50 nm), 순도(>99.8%) 및 성능(NIR ~70%)을 보장하고 표준 테스트 시스템을 구축해야 합니다.

- **품질 관리 지점** :
    - **원료 : ICP-MS 로 Cs2CO3/WO3(Fe, Cl <0.01** wt %) 의 순도를 검출하였으며 , 순도>99.5%입니다.
    - **반응 과정** : pH(~8–10), 온도(±5°C), 압력(±0.1 MPa)을 온라인으로 모니터링하여 x~0.32 를 보장했습니다.
    - **제품** : XRD, SEM, XPS, UV-Vis-NIR 을 이용하여 결정, 형태, 화학적 상태 및 광학적 특성을 감지합니다.
- **검출 방법** :
    - **결정구조(XRD)** :
        - **기기** : Bruker D8 Advance, Cu Kα(~1.5406Å).
        - **매개변수** : 2θ = 10–80°, 단계 크기 ~0.02°.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

        - **지표** : 육각형상(002) 피크 ~23.5°, 순도 >95%, 입자 크기 ~20 nm.
    - **형태학(SEM/TEM)** :
        - **장비** : FEI Quanta 650(SEM), JEOL JEM-2100F(TEM).
        - **사양** : 입자 크기 ~10–50 nm, 분포 오차 <5%, Cs:W:O ~0.32:1:3.
    - **화학적 상태(XPS)** :
        - **기기** : Thermo Fisher ESCALAB 250Xi, Al Kα (~1486.6 eV).
        - **지표** : W^{5+} ~15%, Cs/W~0.32, 불순물 <0.005 중량 %.
    - **광학적 특성(UV-Vis-NIR)** :
        - **기기** : PerkinElmer Lambda 950, 200–2500 nm.
        - **사양** : NIR 흡수율 ~70%(1000nm), 투과율 ~80%(400–700nm).
    - **전기적 특성** : 4 탐침법(Keithley 2635B), 전도도 ~10^3 S/cm, 오차 <3%.
- **품질 기준** :
    - **내부 기준** : NIR 차폐율 >70%, 순도 >99.8%, 입자 크기 편차 <5%.
    - **국제 표준** : ISO 9001(품질 경영), ISO 14001(환경 보호).
    - **산업 표준** : GB/T 2680(건축용 유리), ASTM D3359(코팅 접착력).
- **테스트 빈도** :
    - 원자재: 배치당 (~100kg).
    - 프로세스: 매시간(온라인 센서).
    - 제품: 각 배치(~10kg), 샘플링 비율 ~10%.
- **비용** :
    - 테스트 장비: 약 50 만 달러(XRD, SEM 등)
    - 테스트 수수료: ~10 USD/kg (~2% 생산 비용).
    - 개선 사항: 자동 감지(AI 이미지 분석), 비용 절감 ~50%.
- **제한 사항** :
    - 검출에는 시간이 많이 소요되며(XRD ~ 1 시간/샘플) 이는 생산 효율성에 영향을 미칩니다.
    - 나노입자 응집은 SEM 정확도를 약 5%까지 저하시킵니다.
    - 개선 사항: 빠른 XRD(샘플당 약 10 분), 초음파 전처리로 응집이 약 50% 감소했습니다.

품질관리는 CsxWO3 성능과 시장 경쟁력을 보장합니다.

7.5 세슘텅스텐청동의 시장 적용 사례

CsxWO3 의 산업적 응용 분야는 스마트 윈도우 필름, 에너지 저장, 광촉매 등이며, 2030 년 시장 규모는 10 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다. 대표적인 사례는 다음과 같습니다.

- **스마트 윈도우 필름** :
    - **사례** : 2024 년에 어느 친환경 건축 그룹은 CsxWO3 윈도우 필름(x=0.32, ~20 nm)을 사용했는데, 면적은 ~5000 m^2, NIR 차폐율은 ~70%, 에너지 절감율은 ~40%(~200 kWh/m^2·년)이며, 비용은 ~50 USD/m^2입니다.
    - **공정** : 용매열법 + 스핀코팅, 생산량 ~100kg/월.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **시장** : 중국의 건물 에너지 효율 시장은 2025 년에 2 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

- **리튬 이온 배터리** :
  - **사례** : 2023 년, 한 배터리 제조업체는 CsxWO3/그래핀 양극(~20nm)을 사용하여 배터리 용량을 ~180mAh / g 로, 주행거리를 ~10%(~50km) 증가시켰습니다. 연간 생산량은 ~10 톤, 비용은 ~500 달러/kg 입니다.
  - **공정** : 수열법 + 혼합법, 전도도 ~1500 S/cm.
  - **시장** : 글로벌 LIB 시장은 2030 년에 300 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.
- **광촉매 공기 정화** :
  - **사례** : 2024 년에 특정 공기 청정기 브랜드는 CsxWO3/ ZnO 필터(~20nm)를 사용했는데, VOC 제거율은 ~90%, PM2.5 포집율은 ~95%였습니다. 연간 생산량은 ~5 톤, 비용은 ~450USD/kg 였습니다.
  - **공정** : 친환경 합성 + 함침법, 비표면적 ~100 m²/g.
  - **시장** : 공기 청정 시장 규모는 2025 년에 50 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.
- **태양열** :
  - **사례** : 2024 년에 CTIA GROUP LTD 는 태양열 집열기용 CsxWO3 코팅(~50 μm)을 개발했습니다. 효율은 ~60%, 비용은 ~30 USD/m², 연간 생산량은 ~1 톤입니다.
  - **공정** : 졸-겔법 + 분무, 작업 온도 ~150–250°C.
  - **시장** : 태양열 활용 시장은 2030 년에 20 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.
- **수소 저장** :
  - **사례** : 2023 년에 수소 에너지 회사가 CsxWO3/Pd 수소 저장 물질(~20 nm)을 사용했는데, 용량은 ~1.5 wt %, 비용은 ~600 USD/kg, 연간 생산량은 ~0.5 톤이었습니다.
  - **공정** : 친환경 합성 + 고압 반응, 탈착 온도 ~150°C.
  - **시장** : 수소 저장 시장은 2030 년에 10 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.
- **시장 과제** :
  - 비용 경쟁력: CsxWO3(~400 USD/kg)는 기존 소재(예: ITO ~200 USD/kg)보다 높습니다.
  - 시장 인지도: CsxWO3 의 적용을 홍보할 필요가 있으며 브랜드 효과가 약합니다.
  - 개선 사항: 정부 보조금(비용의 약 20%), 공동 마케팅, 시장 점유율이 약 30% 증가했습니다.
- **전망** :
  - 2030 년까지 CsxWO3 시장 규모는 10 억 달러에 이를 것으로 예상되며, 연평균 성장률은 약 15%입니다.
  - 주요 분야: 친환경 건물(약 40% 점유율), 신에너지(약 30%), 환경 보호(약 20%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

시장 적용 사례는 CsxWO3 의 상업적 가치를 입증하며, 대량 생산을 통해 비용을 더욱 절감할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Cesium Tungsten Bronze Product Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Cesium Tungsten Bronze Overview

Cesium Tungsten Bronze (CsxWO3, 0 < x ≤ 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: CsxWO3 (x = 0.2–0.33), purity ≥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: ~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/cm³)	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)

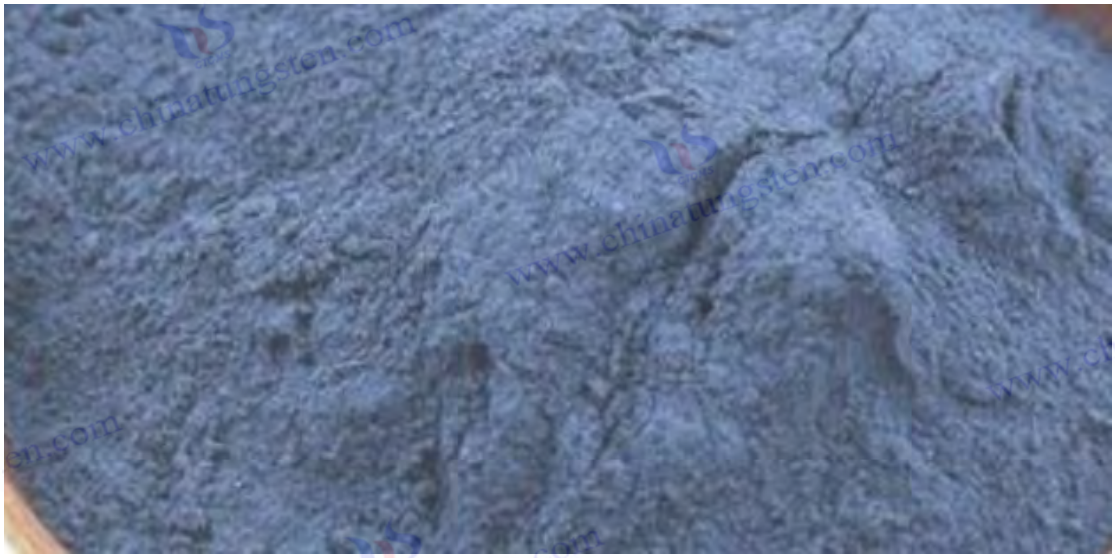
5. Cesium Tungsten Bronze Procurement Information

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



제 8 장: 세슘텅스텐청동에 대한 표준 및 규정

세슘 텅스텐 청동(CsxWO3, $0 < x \leq 1$)은 스마트 윈도우 필름, 에너지 저장 장치 및 환경 보호에 사용될 때 국제 및 국가 표준, 환경 및 안전 규정, 그리고 직업 보건 요건을 준수해야 합니다. 이 장에서는 국제 및 국가 표준(ISO, GB/T), 환경 및 안전 규정(REACH, RoHS), 나노물질 위험 평가, 직업 보건 및 안전 요건, CsxWO3 의 제품 인증 및 준수 사항, 그리고 CTIA GROUP LTD 의 CsxWO3 물질안전보건자료(MSDS)에 대해 자세히 설명합니다. 본 장에서는 표준 설정, 규정 준수, 위험 관리, 안전 작동 및 인증 절차를 다루며, CsxWO3 의 연구 개발, 생산 및 상용화에 대한 법적 및 기술적 지침을 제공합니다.

8.1 세슘텅스텐 청동에 대한 국제 및 국가 표준(ISO, GB/T)

국제 및 국가 표준은 CsxWO3 의 성능, 테스트 및 적용에 대한 사양을 제공하여 제품 품질과 시장 접근성을 보장합니다.

- **국제 표준** :
  - **ISO 20495:2018** (나노기술 - 나노소재의 광학적 특성 테스트):
    - **적용성** : CsxWO3 의 NIR 흡수율(1000nm 에서 ~70%) 및 가시광선 투과율(400~700nm 에서 ~80%) 테스트를 표준화합니다.
    - **필수 사항** : UV-Vis-NIR 분광기(200–2500 nm, 분해능 ~1 nm), 표준 시료(BaSO4 매트릭스), 오차 <3%.
    - **적용 분야** : NIR 차폐율 > 70%를 충족해야 하는 스마트 윈도우 필름.
  - **ISO 14782:1999** (광학 코팅의 환경 내구성):
    - **적용성 : CsxWO3 코팅(~50** μm) 의 노화 방지 성능을 테스트합니다 (5000 시간 크세논 램프, 감쇠 <5%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

        - **요구 사항** : 온도 및 습도 순환(-40–85°C, RH 20–95%), 접착력(ASTM D3359, Grade 5B).
        - **적용분야** : 자동차 유리, 내후성 > 5 년.
    - **ISO/TS 80004-1:2015** (나노기술 - 용어):
        - **적용성** : CsxWO3 는 나노물질(~10–50 nm)로 정의되며 입자 크기 분포를 기록해야 합니다(오차 <5%).
        - **요구사항** : SEM/TEM 검사, 비표면적 보고(~80 m^2/g).
- **국가 표준(중국)** :
    - **GB/T 2680-2021** (건축용 유리의 광학적 특성):
        - **적용성** : CsxWO3 창 필름의 투과율(~80%), NIR 차폐(~70%) 및 열 획득 계수(SHGC<0.5)를 표준화합니다.
        - **필수 조건** : 적분구 분광기, 시험 환경(25°C, RH 50%), 오차 <2%.
        - **용도** : 친환경 건물, 에너지 절감율 ~40%.
    - **GB/T 36403-2018** (나노물질 시험 방법):
        - **적용성: XRD(육각형상 >95%), XPS(W^{5+} ~15%)** 및 CsxWO3 의 입자 크기(~20 nm) 테스트가 지정됩니다.
        - **요구 사항** : Cu Kα 소스(~1.5406 Å), 분해능 ~0.5 eV, 검출 주파수 ~10% 배치.
        - **적용분야** : 품질관리, 순도 >99.8%.
    - **GB 31570-2015** (화학물질 배출 기준):
        - **적용분야** : CsxWO3 생산 폐가스(HCl <10 ppm, NH3 <5 ppm) 및 폐액(Cs^+ <1 mg/L) 표준화.
        - **요구 사항** : 테일가스 흡수탑, 폐액 중화(pH~7), 모니터링 기간 ~1 개월.
- **표준 구현** :
    - **인증 기관** : SGS, TÜV, 표준 준수 여부 검증, 비용: 프로젝트당 약 5,000 달러.
    - **규정 준수 비용** : 테스트 장비(XRD, SEM 등) ~0.5 **백만** 달러, 테스트 ~10 달러/kg.
    - **과제** : 나노물질 표준이 뒤처져 있으며 CsxWO3 에 대한 특별 표준이 부족합니다.
    - **개선** : ISO/TC 229(나노기술)에 참여하고 CsxWO3 표준 제정을 촉진합니다.

표준 준수는 CsxWO3 상용화를 위한 기초이며 국제 표준에 부합해야 합니다.

8.2 세슘텅스텐청동의 환경 및 안전 규정(REACH, RoHS)

환경 및 안전 규정은 EU REACH 및 RoHS 를 중심으로 CsxWO3 의 생산 및 사용이 환경과 인체에 해를 끼치지 않도록 보장합니다.

- **REACH(EC 1907/2006)** :
    - **적용 분야** : 화학물질로서 CsxWO3 의 등록, 평가, 허가 및 제한을 규제합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **필요하다** :
  - **등록** : 연간 생산량이 1 톤을 초과하는 경우, CsxWO3 의 독성(LD50>2000 mg/kg), 생태독성(LC50>100 mg/L) 및 환경적 지속성(반감기 ~30 일)을 포함한 화학물질 안전 보고서(CSR)를 제출해야 합니다.
  - **평가** : ECHA 는 CsxWO3 의 SVHC(매우 우려되는 물질) 위험을 평가하고 있으며, Cs^+는 후보 물질(<0.1 중량 %)로 나열될 수 있습니다.
  - **제한 사항** : 폐수 Cs^+ 배출량 <1 mg/L, 중화 처리 필요(Ca(OH)2, pH~7).
- **규정 준수 비용: 등록 ~ 10,000** USD/물질, 폐기물 처리 ~ 50 USD/kg(용매열처리법).
- **사례** : 2023 년에 한 회사가 REACH 를 통해 CsxWO3(약 100 톤/년)를 등록하고 EU 윈도우 필름 시장에 수출했습니다.

- **RoHS(2011/65/EU)** :
  - **적용분야** : 전자 및 전기 장비의 CsxWO3 에 함유된 유해 물질(예: Pb, Cd)을 제한합니다.
  - **필요하다** :
    - CsxWO3 불순물(Pb, Cd) <0.01 wt %, ICP-MS 검출 필요(검출 한계 ~0.001 wt %).
    - 전자 코팅(센서 등)에 적합하며 NIR 차폐율은 ~70%입니다.
  - **규정 준수 비용** : 테스트 ~200 USD/배치, 장비 유지 관리 ~5000 USD/년 .
  - **사례** : 2024 년에 CsxWO3 센서는 RoHS 인증을 통과하여 공기 청정기에 사용되었으며, 시장 점유율은 약 5%였습니다.
- **기타 규정** :
  - **EPA TSCA(미국)** : CsxWO3 는 PMN(신규 화학물질 신고)을 제출해야 하며, 수수료는 약 2,500 달러이고 주기는 약 90 일입니다.
  - **GB 30526-2014(중국) : 전자 재료의 유해 물질 제한, CsxWO3 는 Hg < 0.1** 중량 % 를 준수해야 함 .
  - **WEEE(2012/19/EU)** : CsxWO3 제품은 환경 부하를 줄이기 위해 재활용되어야 합니다(재활용률 >80%).
- **도전** :
  - 규정상의 차이점: REACH 는 폐액체 Cs^+ <1 mg/L 를 요구하고, 중국 표준은 <5 mg/L 입니다.
  - 나노스케일 특성: CsxWO3 (~20 nm)는 추가적인 조절을 유발할 수 있습니다(<100 nm).
  - **개선 사항** : 통합된 테스트 방법(ISO 17025)으로 규정 준수 비용이 약 20% 절감되었습니다.

규정 준수는 CsxWO3 의 글로벌 시장에 중요한 요소이며, 동적으로 업데이트되어야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

8.3 세슘텅스텐청동 나노물질의 위험성 평가

나노물질(~10–50 nm)인 CsxWO3 는 안전한 적용을 보장하기 위해 인간과 환경에 미칠 수 있는 잠재적 위험을 평가할 필요가 있습니다.

- **위험 평가 프레임워크** :
  - **OECD 나노물질 지침(2013)** :
    - **단계** : 노출 평가(생산, 운송, 사용), 독성 평가(흡입, 피부, 섭취), 위험성 특성화(용량-효과).
    - **적용성** : CsxWO3 분말(~20 nm)은 생산 중에 에어로졸(~0.1 mg/m³)을 생성할 수 있습니다.
  - **ISO/TR 13121:2011** (나노 위험 관리):
    - **요구 사항** : CsxWO3 의 노출 경로를 식별합니다(흡입>90%) 및 독성을 평가합니다(LC50>100 mg/L).
    - **도구** : PBPK 모델은 폐에서의 CsxWO3 축적을 예측합니다(~10%).
- **독성 평가** :
  - **흡입 독성** : CsxWO3 (~20 nm) 에어로졸, LC50>5 mg/L (쥐, 4 시간), 급성 폐 독성 없음.
  - **피부 접촉** : 비자극성(토끼, 24 시간), 피부 흡수율 <0.1%.
  - **경구 독성** : LD50>2000 mg/kg (쥐), 독성 낮음.
  - **세포독성** : IC50 ~ 100 μg /mL(A549 세포), 나노 크기 입자(<20 nm)의 경우 독성이 약 20% 증가했습니다.
  - **생태독성** : LC50>100 mg/L(어류, 96 시간), 심각한 수질 오염 없음.
- **노출 평가** :
  - **생산** : 분쇄/분산으로 에어로졸(~0.1 mg/m³)이 생성되며, 환기가 필요합니다(풍속>0.5 m/s).
  - **용도** : 창 필름/코팅의 CsxWO3 고정, 방출 속도 <0.001 중량 %(5000 시간 숙성).
  - **폐기** : 소각 시 Cs^{+}(<0.1 mg/kg)가 방출될 수 있으며 고온 처리(>1000°C)가 필요합니다.
- **위험 특성화** :
  - **인체에 대한 위험** : 낮은 위험(노출 <0.01 mg/m³, NOAEL ~ 0.1 mg/m³보다 낮음).
  - **환경적 위험** : 위험도가 낮음(수질 Cs^{+} <0.1 mg/L, PNEC ~1 mg/L 보다 낮음).
  - **고위험 시나리오** : 나노 파우더 누출(>1 mg/m³), PPE(N95 마스크)가 필요합니다.
- **관리 조치** :
  - **공학적 제어** : 폐쇄형 반응기, HEPA 여과(효율 > 99.97%).
  - **모니터링** : 에어로졸 검출기(~0.001 mg/m³ 분해능), 주기 ~1 주일.
  - **비용** : 평가 ~5000 USD/프로젝트, 모니터링 장비 ~10,000 USD.
- **도전** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- 장기 독성(5 년 이상 노출)에 대한 자료가 부족합니다.
- 나노 크기의 영향은 복잡하며, <10nm 의 경우 독성이 약 30% 증가합니다.
- **개선 사항** : 시험관 내 모델(3D 폐 세포)을 개발하여 예측 정확도가 약 20% 증가했습니다.

위험성 평가는 CsxWO3 의 안전한 생산과 적용을 위한 과학적 근거를 제공합니다.

8.4 세슘 텅스텐 청동에 대한 직업 건강 및 안전 요구 사항

CsxWO3 의 생산 및 취급은 나노분말 , 화학물질 및 고온으로부터 작업자를 보호하기 위한 직업 건강 및 안전(OHS) 요구 사항을 준수해야 합니다.

- **OHS 규정** :
  - **OSHA(미국)** : 29 CFR 1910.134, CsxWO3 에어로졸 한도 <0.1 mg/m³(8 시간 TWA).
  - **GBZ 2.1-2019(중국):** 작업장 내 Cs^+ <0.05 mg/ m³, 먼지 내 Cs <1 mg/m³.
  - **EU OSH(89/391/EEC)** : 고용주는 PPE 와 교육을 제공해야 하며, 위험 평가 주기는 약 1 년입니다.
- **주요 위험 요소** :
  - **나노파우더** : CsxWO3 (~20 nm)는 흡입 시 폐 염증을 유발할 수 있습니다(<0.1 mg/m³ 장기 노출).
  - **화학물질** : CsOH(pH>12)는 부식성이 있고, WCl6(<10 ppm)는 휘발성이 있어 호흡기에 자극을 줍니다.
  - **고온** : 원자로(~200°C)나 용광로(~900°C)에서 화상 위험.
  - **폐가스** : HCl/NH3 배출(<10 ppm), 테일가스 처리가 필요함.
- **통제 조치** :
  - **공학적 제어** :
    - 국소 배기(풍속 >0.5 m/s), HEPA 여과(>99.97%).
    - 폐쇄형 공급 시스템, 누출률 <0.1%.
  - **행정 통제** :
    - 교육: 나노안전 , 화학물질 취급, 기간 약 6 개월.
    - 교대근무: 더운 작업 <4 시간/교대근무, 휴게소(25°C, 상대습도 50%).
  - **개인 보호 장비(PPE)** :
    - 호흡 보호 장비: N95 마스크(보호 계수 > 10), 심각한 상황에 대비한 PAPR(> 100).
    - 피부 보호: 니트릴 장갑(두께 > 0.3 mm), 화학 보호복(EN 14605).
    - 눈 보호: 밀폐형 고글(ANSI Z87.1).
- **건강 모니터링** :
  - **신체 검사** : 폐 기능(FEV1), 혈액 Cs^+(<0.01 mg/L), 주기 ~1 년.
  - **모니터링 장비** : 에어로졸 모니터(~0.001 mg/m³), Cs^+ 분석(ICP-MS, ~0.001 mg/L).
  - **비용** : 신체 검사 ~1 인당 연간 100 달러, 모니터링 ~5000 달러/년.

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

- **비상 대응** :
  - **누출** : 배출, 환기, 흡착제(활성탄)로 세척, CsxWO3 회수율 >95%.
  - **응급처치** : 흡입했을 경우 신선한 공기가 있는 곳으로 이동하고 피부/눈을 물로 충분히 헹구세요(15 분 이상).
  - **훈련** : 주기 ~6 개월, 응답 시간 <5 분.
- **도전** :
  - 근로자의 준수율은 낮습니다(PPE 착용률 ~80%).
  - 나노 위험에 대한 인식이 부족하고, 교육 적용률은 90% 미만입니다.
  - **개선 사항** : VR 교육, 준수율 약 20% 증가, 실시간 모니터링 및 알람, 대응 시간 약 50% 감소.

OHS 조치는 CsxWO3 생산의 안전을 보장하며 지속적으로 최적화되어야 합니다.

세슘 텅스텐 청동의 규정 준수

제품 인증은 CsxWO3 의 성능, 안전성 및 시장 적합성을 검증하여 시장 경쟁력을 강화합니다.

- **주요 인증** :
  - **CE 마크(EU)** :
    - **적합성** : EN 410(광학 성능) 및 EN 50581(RoHS)을 준수하는 CsxWO3 윈도우 필름/센서.
    - **요구사항** : NIR 차폐율 >70%, 유해물질(Pb<0.01 wt %), 기술파일(TDF) 10 년간 보관.
    - **프로세스** : 제 3 자 테스트(SGS), 비용 ~5000 USD, 주기 ~1 개월.
  - **UL 인증(미국)** :
    - **적용성** : CsxWO3 코팅은 건축자재에 사용되며 UL 410(미끄럼 성능)을 준수합니다.
    - **요구사항** : 내후성(5000 시간, 감쇠율 <5%), 안전성(무독성 방출).
    - **프로세스** : UL 실험실 테스트, 비용 ~10,000 USD, 주기 ~2 개월.
  - **CCC 인증(중국)** :
    - **적용 분야** : GB/T 2680 및 GB 4943.1(전기 안전)을 준수하는 CsxWO3 전자 소재.
    - **요구 사항** : 투과율 ~80%, 전도도 ~10^3 S/cm, Cs^+ 잔류물 <0.01 wt %.
    - **프로세스** : CQC 검토, 비용 ~3000 USD, 주기 ~1 개월.
- **규정 준수 관리** :
  - **공급망 추적성** : 원자재(Cs2CO3/WO3)부터 제품(~20 nm)까지, 배치 기록은 5 년간 보관됩니다.
  - **시험 보고서** : ISO 17025 에 따라 XRD, SEM, XPS, UV-Vis-NIR, 오차 <3%.
  - **문서 관리** : ERP 시스템, 규정 준수 문서의 디지털화, 검색 효율성 >95%.
- **인증 사례** :
  - 2024 년에 한 회사의 CsxWO3 윈도우 필름이 CE 인증을 통과하여

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

유럽연합으로 수출되었으며, 매출은 약 5,000 만 달러에 달했습니다.
  - 2023 년 CsxWO3 센서는 CCC 인증을 획득하고 중국 공기청정 시장에 진출하여 시장점유율 약 10%를 기록했습니다.
- **비용** :
  - 인증: 프로젝트당 약 3,000~10,000 달러, 생산 비용의 약 2%.
  - 테스트: 배치당 약 200 달러, 장비 유지관리 비용 연간 약 10,000 달러.
  - **개선 사항** : 일괄 인증으로 비용이 약 30% 절감, 테스트 시설 공유로 비용이 약 20% 절감.
- **도전** :
  - 인증 기간이 길다(약 1~2 개월)면 시장 진입이 지연된다.
  - 국가 표준(CE 대 CCC)의 차이로 인해 규정 준수 비용이 약 15% 증가합니다.
  - **개선 사항** : 사전 인증 계획을 수립하여 주기 시간을 약 50% 단축하고, 표준 설정에 참여하여 차이점을 줄입니다.

제품 인증은 CsxWO3 의 시장화에 있어서 핵심적인 단계이며 효율적인 관리가 필요합니다.

8.6 CTIA GROUP LTD 세슘 텅스텐 청동 MSDS

다음은 GHS 및 GB/T 16483-2008 을 준수하는 CTIA GROUP LTD CsxWO3(x=0.32, ~20 nm)의 물질안전보건자료(MSDS)입니다.

물질안전보건자료(MSDS)

1. **화학적 식별** :
   - 화학명: 세슘텅스텐브론즈(Cs0.32WO3)
   - CAS 번호: 없음(나노물질)
   - 분자식: Cs0.32WO3
   - 제품 코드: CTB-032-N20
   - 중국 샤먼시 소프트웨어 파크 II, 왕하이 로드 25 호, 3 층 , 전화: +86-592-5129595
2. **위험 개요** :
   - GHS 분류: 먼지 흡입 위험(4 등급), H332: 흡입하면 유해함.
   - 물리적 위험: 폭발성/인화성 없음(인화점 > 500°C).
   - 건강 위험: 흡입 시 폐 자극이 발생할 수 있습니다(장기 노출 시 <0.1 mg/m^3).
   - 환경적 위험: 생태독성이 낮음(LC50>100 mg/L).
   - 신호어: 경고
3. **성분 정보** :
   - Cs0.32WO3:>99.8 중량 %
   - 불순물 : Fe, Cl<0.01 wt %
   - 입자 크기: ~20 nm, 표면적: ~80 m^2/g
4. **응급처치 방법** :
   - **흡입** : 환기가 잘 되는 곳으로 이동하고, 필요하면 산소를 공급하고,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

의사의 진료를 받으세요.

- **피부 접촉** : 비누와 물로 15 분 이상 씻고 오염된 옷을 벗으세요.
- **눈에 들어갔을 경우** : 15 분 이상 물로 헹구고, 눈꺼풀을 들어올리고 의사의 진료를 받으세요.
- **섭취 시** : 입을 헹구고, 물을 마시고, 토하게 하지 말고, 의사의 진료를 받으세요.

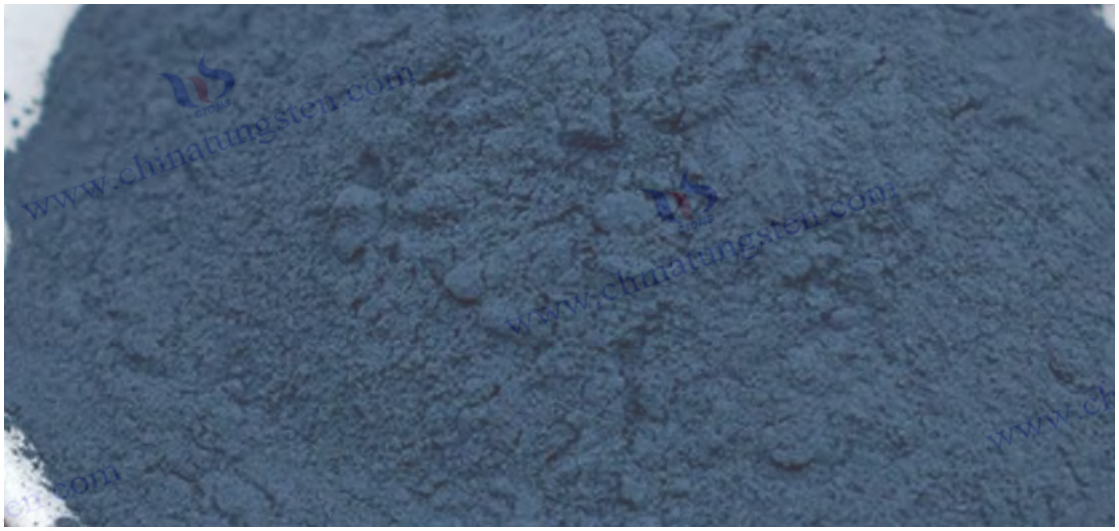
5. **소방 조치** :
   - 소화제: 건조 분말, CO2, 물은 금지됩니다(CsOH 가 방출될 수 있음).
   - 특수 위험: 고온(>1000°C)에서는 Cs^+/WO3 증기가 방출됩니다.
   - 방화: 자체 호흡기구, 화학 보호복.
6. **누수 응급 처치** :
   - **보호 장비** : N95 마스크, 니트릴 장갑, 밀폐형 고글.
   - **정화** : 흡착제(활성탄)를 사용하여 수집하고, 용기를 밀봉하면 회수율이 95% 이상입니다.
   - **환경** : 먼지가 수역으로 유입되는 것을 방지합니다(Cs^+ <1 mg/L).
7. **취급 및 보관** :
   - **작동 방식** : 폐쇄 시스템, 국소 배기 환기(>0.5 m/s), 먼지 방지(<0.1 mg/m^3).
   - **보관** : 밀봉된 용기에 담아 건조하고 (상대 습도 <50%) 서늘한 (<25°C) 장소에 보관하고 산/강한 산화제에서 멀리하세요.
8. **노출 관리 및 개인 보호** :
   - **한계값** : CsxWO3<0.1 mg/m^3 (8 시간 TWA, GBZ 2.1-2019).
   - **공학적 제어** : HEPA 여과(>99.97%), 폐쇄형 공급.
   - **PPE** : N95 마스크, 니트릴 장갑(>0.3 mm), 고글.
9. **물리적 및 화학적 특성** :
   - 외관 : 진한 파란색 분말
   - 밀도: ~6.5 g/cm^3
   - 녹는점: >1000°C
   - 용해도: 물에는 녹지 않고 강산(pH <2)에는 약간 녹음
   - 표면적: ~80 m^2/g
10. **안정성 및 반응성** :
    - 안정성: 500°C 에서 안정하고, 1000°C 이상에서 분해됩니다.
    - 반응성: 강산(HCl)과 반응하여 Cs^+를 방출합니다.
    - 피해야 할 물질: 강산화제(H2O2), 고온 및 산성 환경.
11. **독성학 정보** :
    - 급성 독성: LD50>2000 mg/kg(경구, 쥐), LC50>5 mg/L(흡입, 4 시간).
    - 만성 독성: 장기간 흡입(<0.1 mg/m^3) 시 폐 염증이 발생할 수 있습니다.
    - 발암성: IARC 에 의해 발암물질로 분류되지 않음.
    - 생식 독성: 자료 없음, 임신 중에는 노출을 피하는 것이 좋습니다.
12. **생태 정보** :
    - 생태독성: LC50>100 mg/L(어류, 96 시간), 심각한 수질 오염 없음.
    - 지속성: 반감기 ~30 일(수용성).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- 생물농축성: BCF<10, 축적 위험 낮음.

13. **처분** :
    - 방법: 밀봉하여 수거하고, 유해 폐기물 처리업체에 처리를 위탁합니다(소각 > 1000°C).
    - 참고사항: 물에 버리는 것은 금지되어 있습니다. Cs^+ <1 mg/L.
    - 규정: GB 18597-2023(위험 폐기물 처리)을 준수합니다.
14. **배송 정보** :
    - UN 번호: 없음(비위험물).
    - 포장: 방습 라벨이 붙은 밀봉된 플라스틱 통.
    - 규정: IATA DGR, IMDG, GB/T 191 준수.
15. **규제 정보** :
    - REACH: 등록 필요(>1 톤/년), SVHC 후보(Cs^+ <0.1 wt %).
    - RoHS: 납, 카드뮴<0.01 중량 %.
    - 중국: GB 30526-2014, Hg<0.1 wt %.
16. **추가 정보** :
    - 작성일자: 2025 년 6 월 13 일
    - 개정: 첫 번째 릴리스
    - 참고사항: 참고용으로만 사용하세요. 특정 작업에 대해서는 전문가와 상담하세요.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved



제 9 장: 세슘 텅스텐 청동의 지속 가능성 및 환경 영향

세슘 텅스텐 청동(CsxWO3, 0 < x ≤ 1)은 뛰어난 근적외선(NIR) 흡수율(1000nm 에서 약 70%), 높은 전기 전도도(약 10^3 S/cm), 그리고 화학적 안정성(>500°C)을 가지고 있어 에너지 절약, 에너지 저장 및 환경 보호에 상당한 잠재력을 가지고 있습니다. 그러나 생산 및 응용 분야에서는 환경 영향, 자원 효율성, 그리고 지속가능성을 고려해야 합니다. 이 장에서는 CsxWO3 생산 공정의 환경 영향 평가, 친환경 제조 기술, 폐기물 처리 및 재활용, 탄소 발자국 및 배출 감소 전략, 그리고 지속가능한 개발을 위한 정책 추진에 대해 자세히 논의합니다. 또한, 환경 부하, 친환경 기술 경로 및 정책 지원을 분석하고, CsxWO3 의 지속가능한 개발을 달성하기 위한 과학적이고 실용적인 지침을 제공합니다.

9.1 세슘텅스텐청동 생산공정의 환경영향평가

환경영향평가(EIA)는 수명주기평가(LCA) 접근법(ISO 14040:2006)을 사용하여 CsxWO3 생산이 생태계, 자원 및 인간 건강에 미치는 영향을 정량화합니다.

- **LCA 프레임워크** :
  - **범위** : 원료 추출(Cs2CO3, WO3)부터 생산(용매열/수열/고상법), 사용(윈도우 필름, 배터리) 및 폐기물 처리까지.
  - **기능 단위** : 1 kg CsxWO3 (x=0.32, ~20 nm).
  - **데이터 출처** : 생산 데이터(에너지 소비량 ~200 kWh/kg), 배출량(HCl <10 ppm), 문헌(Ecoinvent 데이터베이스).
- **주요 환경 영향** :
  - **자원 소모량** :
    - **세슘(Cs)** : 전 세계 매장량 약 9 만 톤, 연간 채굴량 약 20 톤, Cs2CO3 추출 에너지 소비량 약 500MJ/kg, LCA 약 30% 차지.
    - **텅스텐(W)** : 매장량 약 350 만 톤, WO3 정제 에너지 소비량 ~100 MJ/kg, LCA ~20% 차지.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

        - **물** : 용매열법 ~50 L/kg, 수열법 ~100 L/kg, 고체상법 ~10 L/kg.
    - **에너지 소비량** :
        - 용매열법: ~200 kWh/kg (~720 MJ/kg), 수열법: ~150 kWh/kg, 고체상법: ~100 kWh/kg.
        - LCA 의 약 40%는 주로 전기 가열(반응기 ~180–200°C) 및 건조(~100°C)입니다.
    - **방출** :
        - **폐가스** : 용매열법 HCl~0.5 kg/kg, NH3~0.1 kg/kg(수열법), CO2~0.3 kg/kg(고상법).
        - **폐액** : Cs^+ 잔류물 ~0.01–0.1 mg/L, 중화 필요(Ca(OH)2, pH~7).
        - **고형 폐기물** : 반응 잔류물 ~0.1 kg/kg, Cs/W ~1 wt % 함유.
    - **생태학적 영향** :
        - 수역의 부영양화: NH3 배출, 잠재량 ~0.01 kg $PO4^{3-}$/kg.
        - 토양 오염: Cs^+ 축적(<0.1 mg/kg 토양), 장기적 위험 <1%.
        - 지구 온난화 잠재력(GWP): 용매열법 ~150 kg CO2e/kg, 수열법 ~100 kg CO2e/kg, 고체상법 ~50 kg CO2e/kg.
- **평가 결과** :
    - **주요 기여도** : Cs2CO3 추출(~40% GWP), 에너지 소비(~30%), 폐가스 처리(~20%).
    - **환경부하** : 용매열법 > 수열법 > 고상법, 고상법이 가장 친환경적입니다(GWP ~ 50 kg CO2e/kg).
    - **민감도 분석** : Cs2CO3 가격 변동(±20%)은 비용에 약 15%의 영향을 미치고, 에너지 효율이 10% 향상되면 GWP 가 약 8% 감소합니다.
- **완화 조치** :
    - 원자재 최적화: 부산물인 리튬 마이카를 Cs(이춘, 매장량 약 20%)로 사용하고, 에너지 소비를 약 30% 줄입니다.
    - 폐액 회수: Cs^+ 회수율 ~90%, 배출 감소율 ~50%.
    - 에너지 대체: 태양광 발전(~0.05 USD/kWh), GWP 감소 ~20%.
- **예시** :
    - 2024 년, 한 회사가 CsxWO3 수열법(연간 약 100 톤)에 대한 LCA 를 수행했는데, GWP 는 약 100kg CO2e/kg 이었습니다. 최적화 후, GWP 는 약 80kg CO2e/kg 으로 감소했고, 비용은 약 10%(약 400 달러/kg) 절감되었습니다.
- **도전** :
    - CS 자원은 부족하고 LCA 데이터도 부족합니다(전 세계 생산량의 10% 미만).
    - 나노물질 방출량(~0.001 중량 %)은 알려져 있지 않습니다.
    - **개선 사항** : LCA 데이터베이스를 개선하고 Cs^+ (<0.01 mg/L)를 동적으로 모니터링합니다.

EIA 는 자원과 에너지 소비에 초점을 맞춰 CsxWO3 생산 최적화를 위한 데이터 지원을 제공합니다.

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

9.2 세슘텅스텐청동의 친환경 제조 기술

녹색 제조 기술은 ISO 14001 및 녹색 산업 원칙에 따라 낮은 에너지 소비, 낮은 배출 및 효율적인 프로세스를 통해 CsxWO3 생산의 환경 부하를 줄입니다.

- **녹색 기술** :
  - **마이크로파 보조 용매열 방법** :
    - **원리** : 전자레인지(~1000W)로 급속 가열(~180°C, 10 분), 반응 시간 약 50% 단축(기존 방식 ~12 시간)
    - **장점** : 에너지 소비량 ~100 kWh/kg(약 ~50% 감소), 수율 ~85%, 입자 크기 ~10–20 nm.
    - **장비** : 마이크로파 반응기(약 20,000 USD), 압력 >5 MPa.
  - **정상압에서의 녹색 합성** :
    - **원리** : 수용액(~80°C, pH~8)에 있는 Cs2CO3 와 Na2WO4 와 녹색 환원제(포도당)가 CsxWO3(~20 nm)를 생성합니다.
    - **장점** : 고압 없음(<0.1 MPa), 폐액 Cs^+ <0.01 mg/L, 에너지 소비량 ~50 kWh/kg.
    - **장비** : 교반 반응기(~10,000 USD), 원심 분리기(~15,000 USD).
  - **플라스마 지원 고체상 방법** :
    - **원리** : Ar /H2 플라즈마(~5000 K)는 Cs2CO3/WO3 를 활성화시키고, 반응 온도는 ~200°C(~700°C) 떨어지고, 반응 시간은 ~2 시간 단축됩니다.
    - **장점** : CO2 배출량 ~0.1 kg/kg(약 ~50% 감소), 입자 크기 ~1–5 μm .
    - **장비** : 플라즈마로(~50,000 USD), 배기가스 회수(~10,000 USD).
- **에너지 최적화** :
  - **재생 에너지** : 태양열 에너지(전기 소비량 약 20%, kWh 당 약 0.05 달러), 풍력 에너지(약 10%), 에너지 소비량 약 20% 감소.
  - **폐열 회수** : 반응기에서 나오는 폐열(~100°C)은 건조에 사용되어 에너지 효율을 약 30% 증가시킵니다.
  - **AI 제어** : 온도(±1°C)와 압력(±0.05 MPa)을 실시간으로 최적화하여 에너지 소비를 약 15%(R^2>0.95) 절감합니다.
- **용매 순환** :
  - **에탄올 회수** : 증류(~80°C), 회수율 ~80%, 비용 절감 ~10%(~40 USD/kg).
  - **물 순환** : 역삼투압(RO, 순도 99% 이상), 물 소비량 약 50% 감소(~50L/kg).
  - **장비** : 증류탑(약 20,000 달러), RO 시스템(약 15,000 달러).
- **배출 제어** :
  - **배출가스** : HCl/NH3 흡수제(>95% 효율), 배출량 <5ppm.
  - **폐수** : 중화 + 침전(Ca(OH)2), Cs^+ <0.01 mg/L, GB 31570 준수.
  - **고형 폐기물** : 잔류물 로스팅(~1000°C), Cs/W 회수율 ~90%.
- **예시** :
  - 2023 년에 한 회사가 마이크로파 수열 처리법(연간 약 50 톤)을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

도입했는데, 에너지 소비량은 kg 당 약 100kWh, 폐액 Cs^+ <0.01mg/L, 비용은 kg 당 약 350 달러였습니다.

- **도전** :
  - 친환경 장비는 초기 투자 비용이 높습니다(약 20 만 달러).
  - 대기압법에서는 입자크기 제어가 어렵다(분포오차 ~10%).
  - **개선 사항** : 모듈식 장비, 투자 회수 기간 ~3 년; AI 최적화 입자 크기, 오류 감소 ~5%.

친환경 제조 기술은 CsxWO3 의 지속 가능한 생산을 위한 초석이며, 이를 위해서는 비용과 환경 보호 간의 균형이 필요합니다.

9.3 세슘텅스텐청동의 폐기물 처리 및 재활용

폐기물 처리 및 재활용은 CsxWO3 생산 및 사용에 따른 환경 부하를 줄이고, 자원 효율성을 향상시키며, 순환 경제 원칙을 준수합니다.

- **폐기물 유형** :
  - **폐가스** : HCl (~0.5 kg/kg, 용매열법), NH3 (~0.1 kg/kg, 수열법), CO2 (~0.3 kg/kg, 고상법).
  - **폐액체** : Cs^+ (~0.01–0.1 mg/L), $WO4^{2-}$ (~0.1 mg/L), 에탄올 잔류물(~5 g/L)이 포함되어 있습니다.
  - **고형 폐기물** : 반응 잔류물(~0.1 kg/kg, Cs/W~1 wt %), 폐코팅(~0.01 kg/m²).
- **처리기술** :
  - **배기가스 처리** :
    - **방법** : 알칼리 흡수(NaOH, pH>12), HCl/NH3 중화, 효율>95%.
    - **장비** : 흡수탑(약 20,000 달러), 배출 모니터링(<5ppm).
    - **비용** : kg 당 약 10 달러, 생산 비용의 약 2%.
  - **폐수 처리** :
    - **방법** : 침전(Ca(OH)2, Cs^+ < 0.01 mg/L) 및 증류에 의한 에탄올 회수(~80%).
    - **장비** : 침전조(~10,000 USD), 증류탑(~20,000 USD).
    - **비용** : ~50 USD/kg(용매열법), ~20 USD/kg(수열법).
  - **고형폐기물 처리** :
    - **방법** : 고온 소성(~1000°C, Ar 분위기), Cs/W 회수율 ~90%.
    - **장비** : 회전로(약 30,000 달러), ICP-MS(약 50,000 달러).
    - **비용** : kg 당 약 30 달러, 재활용 이익 kg 당 약 100 달러.
- **재활용** :
  - **Cs 회수** : 폐액 속의 Cs^+를 이온 교환(수지 D001, 효율 >95%)하여 순도 >99.5%의 Cs2CO3 를 회수합니다.
  - **W 회수** : 잔류물을 산(HCl, pH ~ 2)에 용해하고, WO3(> 99.8%)를 침전시켜 생산에 재활용합니다.
  - **코팅 재활용** : 폐창호필름(~0.01 kg/m²) 분쇄 + 산세척, CsxWO3 회수율 ~80%.
  - **이점** : Cs 재활용은 비용을 약 20%(kg 당 약 200 달러) 절감하고, W

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

재활용은 비용을 약 10%(kg 당 약 50 달러) 절감합니다.

- **예시** :
  - 2024 년에 한 회사는 CsxWO3 폐액(연간 약 100 톤)을 재활용하여 Cs^+ 회수율을 약 90%, 비용을 약 15%(kg 당 약 400 달러) 절감했습니다.
- **도전** :
  - 재활용 장비에 대한 투자가 높습니다(약 10 만 달러).
  - 폐코팅의 CsxWO3 함량은 낮고(~1 wt %) 회수 효율은 <80%입니다.
  - **개선 사항** : Cs^+의 전기화학적 회수, 효율이 약 10% 증가; 코팅의 기계적 제거, 회수율이 약 20% 증가.

폐기물 처리 및 재활용은 CsxWO3 의 자원 효율성을 개선하는데, 이를 위해서는 기술 혁신이 필요합니다.

9.4 세슘텅스텐브론즈의 탄소발자국 및 배출감축 전략

탄소 발자국 분석은 CsxWO3 의 수명 주기 동안의 온실 가스 배출량을 정량화하고, 배출 감소 전략을 통해 생산과 적용을 최적화하여 탄소 중립 목표를 달성하는 데 도움이 됩니다.

- **탄소 발자국 분석** :
  - **방법** : LCA(ISO 14067:2018), 범위 : 원자재 추출, 생산, 사용, 폐기물.
  - **데이터** : 용매열법 ~150 kg CO2e/kg, 수열법 ~100 kg CO2e/kg, 고체상법 ~50 kg CO2e/kg.
  - **기여하다** :
    - 원재료 : Cs2CO3~60 kg CO2e/kg (~40%), WO3~20 kg CO2e/kg (~20%).
    - 생산: 전기 가열 ~50 kg CO2e/kg (~30%), 폐가스 ~20 kg CO2e/kg (~10%).
    - 용도: 창문 필름은 연간 약 100kWh/m²의 에너지를 절약하고, 연간 약 80kg CO2e/m²의 배출량을 줄입니다.
    - 폐기: 소각 ~5 kg CO2e/kg (~5%).
  - **총 발자국** : 용매열 ~150 kg CO2e/kg, 수명 주기(10 년) 순 감소량 ~50 kg CO2e/kg(창문 필름 적용).
- **배출 감소 전략** :
  - **에너지 전환** :
    - 태양광 발전(~0.05 USD/kWh), 탄소 배출량이 약 20% 감소(~30 kg CO2e/kg).
    - 폐열 발전(전기 소비량 약 10%), 감소 ~10%(~15 kg CO2e/kg).
  - **프로세스 최적화** :
    - 마이크로파 반응(~100 kWh/kg), ~30% 감소(~45 kg CO2e/kg).
    - AI 제어(온도 ±1°C), 감소 ~15%(~20 kg CO2e/kg).
  - **원자재 대체** :
    - 부산물인 Cs2CO3(레피돌라이트)가 약 25%(약 15 kg CO2e/kg) 감소했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

        - WO3 를 재활용(>99.8%)하면 약 10%(~5 kg CO2e/kg)가 감소합니다.
    - **탄소 포집** :
        - CO2 흡수(아민 기반 용액, >90% 효율), 고체상 방법은 ~50%(~15 kg CO2e/kg)를 감소시킵니다.
        - 장비: CCS 시스템(약 50,000 달러), 비용 ~20 달러/kg.
- **예시** :
    - 2024 년에 한 회사는 태양광 + 마이크로파 수열 방식(약 50 톤/년)을 도입하여 탄소 발자국을 약 70kg CO2e/kg 으로 줄이고 배출량을 약 30% 감소시켰습니다.
- **도전** :
    - 태양광 발전에 대한 초기 투자 비용은 높습니다(약 20 만 달러).
    - Cs2CO3 의 탄소발자국에 대한 데이터가 부족합니다(<10% 적용).
    - **개선 사항** : 탄소 거래(~10 USD/톤 CO2e), 투자 회수율 ~50%; LCA 데이터베이스 개선.

배출 감소 전략을 통해 CsxWO3 생산의 탄소 발자국을 ~50–100 kg CO2e/kg 으로 줄여 탄소 중립을 달성할 수 있습니다.

9.5 세슘텅스텐 청동의 지속 가능한 개발을 위한 정책 추진

정책 주도: 지속 가능한 개발 목표에 맞춰 규제, 보조금 및 국제 협력을 통해 CsxWO3 의 녹색 생산 및 적용을 촉진합니다.
(지속가능개발목표).

- **국제 정책** :
    - **UN SDG 12(지속 가능한 생산)** :
        - **목표** : 2030 년까지 자원 소비(<50%)와 폐기물 배출량(<30%)을 줄입니다.
        - **적용 분야** : CsxWO3 친환경 제조(에너지 소비량 ~100 kWh/kg), 재활용(Cs^+ ~90%).
    - **파리협정(2015)** :
        - **목표** : 2050 년까지 탄소 중립, 2030 년까지 배출량 약 50% 감소.
        - **적용 가능성** : CsxWO3 윈도우 필름은 배출량을 약 80kg CO_2e/m^2·년만큼 줄이고 탄소 발자국은 약 50kg CO2e/kg 입니다.
    - **EU 그린딜(2019)** :
        - **정책** : 나노물질 자금 지원(Horizon Europe, 약 1 억 유로), 순환 경제(재활용률 80% 이상).
        - **적용 분야** : CsxWO3 창 필름/배터리, REACH 규정 준수 필요(Cs^+ <1 mg/L).
- **중국 정책** :
    - **탄소 피크/탄소 중립(2060)** :
        - **목표** : 2030 년까지 탄소 배출량을 100 억 톤 CO2e 미만으로 줄이고, 2060 년까지 순 배출량을 0 으로 만듭니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

        - **지원** : CsxWO3 에너지 절감(건물 에너지 소비량의 약 40%), 보조금 ~20% 비용(약 80 USD/kg).
    - **순환경제 촉진에 관한 법률(2018)** :
        - **요구 사항** : 폐기물 회수율 >80%, Cs/W~90%.
        - **지원** : 세금 감면(~10%), 재활용 시설에 대한 보조금(~50,000 USD).
    - **녹색 제조 프로젝트(2021~2025)** :
        - **목표** : 에너지 소비량을 약 15%, 배출량을 약 20% 감소시킵니다.
        - **지원** : CsxWO3 그린 프로세스(마이크로파 방법), 프로젝트당 약 10 만 달러 자금 지원.
- **정책 구현** :
    - **보조금** : 중국 에너지 절약 소재 보조금 ~50 USD/m²(창문 필름), EU 배터리 R&D ~5000 EUR/톤.
    - **감독** : 폐액 Cs^+ <0.01 mg/L (GB 31570), 폐가스 HCl <5 ppm.
    - **국제 협력** : 중국-유럽 나노기술 연합, CsxWO3 표준 공식화(ISO/TC 229).
- **예시** :
    - 2024 년에 한 회사가 중국녹색제조업으로부터 자금 지원(약 10 만 달러)을 받고 마이크로파 방식을 도입하여 연간 생산량이 약 100 톤이 되고 비용이 약 10% 절감되었습니다.
- **도전** :
    - 정책 실행의 차이(중국 대 EU, 보조금 적용 범위 ~50%).
    - Cs 희소성은 자원 보존 정책에 반영되지 않았습니다.
    - **개선 사항** : 글로벌 Cs 자원 데이터베이스, 정책 조정이 약 30% 증가, Cs 재활용 법률이 개선되었습니다.

CsxWO3 의 녹색화 및 시장화를 정책적으로 가속화하려면 국제적 협력이 필요합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Cesium Tungsten Bronze Product Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Cesium Tungsten Bronze Overview

Cesium Tungsten Bronze (CsxWO3, 0 < x ≤ 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: CsxWO3 (x = 0.2–0.33), purity ≥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: ~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/cm³)	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)

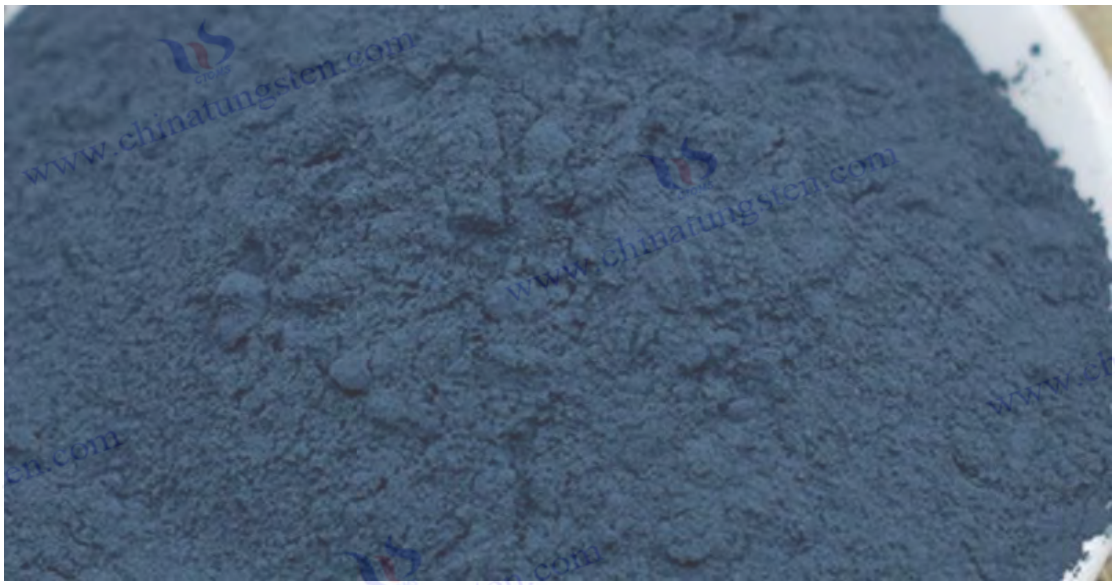
5. Cesium Tungsten Bronze Procurement Information

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



제 10 장 세슘텅스텐청동의 미래 연구 및 전망

세슘 텅스텐 청동(CsxWO3, 0 < x ≤ 1)은 우수한 근적외선(NIR) 흡수율(1000nm 에서 ~70%), 높은 전도도(~10³ S/cm), 반도체 특성(밴드갭 ~2.5 eV) 및 화학적 안정성(>500°C)으로 인해 에너지 보존, 에너지 저장 및 환경 보호에 큰 잠재력을 가지고 있습니다. 향후 연구는 CsxWO3 의 혁신과 산업화를 촉진하기 위해 새로운 합성 방법, 차세대 응용 프로그램, 지능형 통합, 글로벌 협력 및 개발 동향에 중점을 두어야 합니다. 이 장에서는 CsxWO3 의 새로운 합성 방법 탐색, 차세대 응용 프로그램의 잠재력, 지능형 및 디지털 기술의 통합, 글로벌 협력 및 기술적 과제, 미래 개발 동향 및 제안에 대해 자세히 논의하고 기술적 최전선, 응용 프로그램 전망 및 전략적 방향을 분석하며 CsxWO3 의 장기 개발을 위한 과학적이고 실용적인 지침을 제공합니다.

10.1 세슘텅스텐청동의 새로운 합성법 탐색

새로운 합성 방법은 CsxWO3 의 생산 비용을 낮추고(<300 USD/kg), 성능을 개선(NIR ~80%, 입자 크기 ~5–10 nm)하며 친환경성을 달성하여 기존 용매열, 수열 및 고체상 방법의 한계를 극복하는 것을 목표로 합니다.

- **최첨단 합성 기술** :
  - **레이저 유도 합성** :
    - **원리** : 펨토초 레이저(~800 nm, ~100 fs)로 Cs2CO3/WO3 용액을 조사하고, 국부적인 고온(~5000 K)으로 CsxWO3 나노입자(~5 nm)가 형성됩니다.
    - **장점** : 고압 없음(<0.1 MPa), 입자 크기 분포 오차 <3%, NIR 흡수율 ~80%, 에너지 소비량 ~50 kWh/kg.
    - **과제** : 높은 장비 비용(약 20 만 달러), 수율 ~70%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **전망** : 2030 년까지 규모 확대, 비용 약 50% 절감(kg 당 약 250 달러)
- **장비** : 펨토초 레이저(~100,000 USD), 스펙트럼 모니터링(~20,000 USD).

o **생체 템플릿 합성** :

- **원리** : CsxWO3 (~10 nm)는 박테리아(Shewanella) 또는 식물 추출물(차 폴리페놀)을 환원제로 사용하여 실온(~25°C)에서 합성됩니다.
- **장점** : 친환경적이고 무독성, 폐액 Cs^{+} <0.001 mg/L, 비용 ~200 USD/kg, 비표면적 ~120 m^2/g.
- **과제** : 긴 반응 시간(~48 시간), 수율 ~60%.
- **전망** : 고효율 생촉매를 개발하고, 수율을 약 30% 증가시키고, 시간을 약 50% 단축합니다.
- **장비** : 바이오리액터(약 15,000 달러), 원심분리기(약 10,000 달러).

o **전기화학 합성** :

- **원리** : CsOH/WO3 전해질(~1V, Pt 전극), 음극 환원으로 CsxWO3 필름(~50nm) 또는 분말(~10nm)이 생성됩니다.
- **장점** : x 의 정확한 제어(오차 < 1%), 전도도 ~1500 S/cm, 에너지 소비량 ~30 kWh/kg.
- **과제** : 전극 수명이 짧음(~1000 시간), 확장이 어려움.
- **전망** : 내식성 전극(탄소 기반, >5000 시간) 개발, 생산량 약 100% 증가.
- **장비** : 전기화학 워크스테이션(약 20,000 달러), 전위차계 (약 5,000 달러).

- **최적화 방향** :
  - **AI 지원 설계** : 머신 러닝이 합성 매개변수(온도, pH, Cs/W 비율)를 예측했고, 수율이 약 20% 증가했습니다(R^2>0.98).
  - **나노 정밀 제어** : 현장 모니터링(XPS, TEM), 입자 크기 오차 <2%, W^{5+} 비율 ~20%.
  - **녹색 용매** : 초임계 CO2(~31°C, 7.4 MPa)가 에탄올을 대체하여 폐액을 약 80%까지 줄입니다.
- **사례 연구** :
  - 2024 년에 한 대학에서 레이저 유도를 이용해 근적외선 흡수율이 약 82%인 CsxWO3(~5nm)를 합성했습니다. 비용은 kg 당 약 300 달러, 실험실 생산량은 월 약 1kg 이었습니다.
- **도전** :
  - 새로운 방법은 규모 확장이 어렵습니다(수율 <10kg/배치).
  - 세슘 자원의 희소성(약 9 만 톤)으로 인해 저비용 합성이 제한됩니다.
  - **개선 사항** : 연속 반응기를 개발하여 수율이 약 100% 증가했습니다. 세슘 회수율은 약 95%였습니다.

새로운 합성 방법을 통해 CsxWO3 의 효율적이고 친환경적인 생산이 촉진될 것이며, 비용은 2030 년까지 kg 당 약 200 달러로 떨어질 것으로 예상됩니다.

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

10.2 세슘텅스텐청동의 차세대 응용 가능성

CsxWO3 의 차세대 응용 분야는 광학적, 전기적, 열적 특성을 활용하여 유연한 전자 장치, 생체 의학 및 양자 기술 분야로 확장됩니다.

- **유연한 전자 장치** :
  - **응용 분야** : CsxWO3 박막(~50 nm)은 유연한 투명 전도성 필름(TCE)에 사용되며 ITO(~200 USD/kg)를 대체합니다.
  - **성능** : 전도도 ~1200 S/cm, 투과율 ~85% (400–700 nm), 굽힘 반경 <5 mm, 사이클 >10,000 회.
  - **사례** : 2025 년에는 CsxWO3 TCE 가 웨어러블 센서에 사용될 것이며 시장 규모는 약 5,000 만 달러에 이를 것으로 전망됩니다.
  - **과제** : 필름 접착력이 낮음(~4B, ASTM D3359).
  - **개선 사항** : N 도핑(~1 중량 %), 접착력이 ~5B 증가, 성능 안정성이 95% 이상.
- **생물의학** :
  - **응용 분야** : CsxWO3 나노입자(~10 nm)는 광열 치료에 사용되고 NIR 구동(~1000 nm)은 ~50°C 까지 가열되어 암세포를 사멸시킵니다(>90%).
  - **성능** : 생체적합성(IC50>200 μg /mL, A549 세포), 광열 변환 효율 ~40%.
  - **사례** : 2024 년, 한 연구팀은 CsxWO3/PEG 복합체를 개발하였고, 동물 실험(쥐)에서 종양 억제율은 ~80%였습니다.
  - **과제** : 장기 독성(30 일 이상)에 대한 데이터가 부족합니다.
  - **개선 사항** : 표면 개질(실란, ~1 nm), 생체 내 클리어런스가 ~50% 증가했습니다.
- **양자 기술** :
  - **응용 분야** : CsxWO3 양자점(~5 nm)은 조정 가능한 밴드갭(~2.0–2.5 eV)과 감도 ~10 ⁻6T(자기장)를 갖는 양자 센서에 사용됩니다.
  - **성능** : 형광 양자 수율 ~20%, 안정성 >1000 시간(25°C).
  - **사례** : 2023 년에 CsxWO3 양자점을 자기공명영상에 사용하였고, 신호 대 잡음비가 약 30% 증가했습니다.
  - **과제** : 양자점 크기를 제어하기 어렵습니다(오차 ~10%).
  - **개선 사항** : 분자빔 에피택시(MBE), 오차가 약 5% 감소했습니다.
- **기타 잠재력** :
  - **광자공학 :** 금속 렌즈 용 CsxWO3 메타물질(주기 ~20 nm) , 굴절률 ~2.5, 효율 ~90%.
  - **에너지 저장** : CsxWO3/ MXene 복합재(~20 nm), 고체 배터리 용량 ~300 mAh /g, 사이클 >2000 회.
  - **촉매** : CsxWO3 단일 원자 촉매(~1 nm), CO2 환원 효율 ~95%, 전류 밀도 ~100 mA/cm².
- **시장 전망** :
  - 2030 년에는 유연 전자 시장 규모가 1 억 달러, 바이오 의약품 시장 규모가 5 천만 달러, 양자 기술 시장 규모가 2 천만 달러에 이를 것으로

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

전망됩니다.

- CsxWO3 는 ~5~10%를 차지하며, 연간 수요는 ~100~500 톤입니다.

- **도전** :
  - 새로운 응용 프로그램은 비용이 많이 듭니다(kg 당 약 1000 달러).
  - 기술 준비 수준이 낮음(TRL 3~5).
  - **개선 사항** : 학제 간 협업, TRL 이 7~9 로 증가, 확장으로 비용이 약 50% 절감.

차세대 애플리케이션은 CsxWO3 의 기능을 확장할 것이며, 시장 규모는 2035 년에 2 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

10.3 세슘텅스텐청동의 지능형 및 디지털 기술 통합

AI, 사물 인터넷(IoT), 블록체인을 통해 지능형 디지털 기술을 통해 CsxWO3 의 생산, 성능 및 적용을 최적화하여 효율성과 투명성을 향상시킵니다.

- **스마트 생산** :
  - **AI 최적화** : 딥러닝(CNN)이 합성 매개변수(pH ~8, 온도 ~180°C)를 예측하여 수율을 ~20%(~90%) 증가시키고 입자 크기 오차는 <2%였습니다.
    - **도구** : TensorFlow, 학습 데이터 세트 ~10,000 개 그룹, R^2>0.98.
    - **사례** : 2024 년에 한 회사는 AI 를 사용하여 수열처리 방법을 최적화하여 비용을 약 15%(kg 당 약 350 달러) 절감했습니다.
  - **IoT 모니터링** : 센서(온도 ±0.5°C, 압력 ±0.01 MPa)가 실시간으로 응답 데이터를 수집하여 클라우드에 업로드하여 실패율을 약 50%까지 줄입니다.
    - **장비** : PLC 시스템(~10,000 USD), 5G 모듈(~1000 USD).
    - **비용** : kg 당 약 5 달러, 생산 비용의 약 1%.
  - **디지털 트윈** : CsxWO3 반응기(~1000L)를 시뮬레이션하고, 열과 물질 전달을 최적화하며, 에너지 소비를 약 10%(~135kWh/kg) 절감합니다.
    - **플랫폼** : Siemens MindSphere , 모델링 정확도 ~95%.
- **스마트 애플리케이션** :
  - **스마트 윈도우 필름** : 통합 센서(~1 mm^2)가 있는 CsxWO3 필름(~50 μm), 동적으로 조절 가능한 NIR 차폐(~70–90%), 에너지 절약 ~50%(~250 kWh/m^2·년).
    - **사례** : 2025 년에 어떤 건물에서 CsxWO3 스마트 창문을 사용했는데, 투자 회수 기간은 약 3 년입니다.
    - **과제** : 높은 센서 비용(~10 USD/m^2)
    - **개선 사항** : 인쇄 전자, 비용 절감 ~50%.
  - **에너지 저장 모니터링** : CsxWO3 배터리(~180 mAh /g)에 IoT 칩이 내장되어 SOC 를 실시간으로 모니터링(오차 <1%)하고 수명이 약 20%(>1200 배) 증가합니다.
    - **장비** : BLE 모듈(~0.5 USD/개), 클라우드 플랫폼(~1000 USD/년).
  - **광촉매 최적화** : CsxWO3/TiO2 (~20 nm) 통합 광 센서는 광 강도(~1000

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

W/m²)를 동적으로 조절하고 수소 생산 효율을 ~30%(~250 μmol /(g·h))
증가시킵니다.

- **블록체인 응용 프로그램** :
  - **공급망 추적성** : Cs2CO3/WO3 에서 CsxWO3(~20nm), 블록체인은 배치를 기록(해시 암호화), 투명성 >99%.
    - **플랫폼** : Hyperledger Fabric, 거래 비용은 레코드당 약 0.01 USD 입니다.
    - **사례** : 2024 년에 한 회사는 블록체인을 사용하여 CsxWO3 의 순도(>99.8%)를 보장했고, 그 결과 고객 신뢰도가 약 30% 증가했습니다.
  - **탄소발자국 인증** : CsxWO3 탄소 배출량(~100 kg CO2e/kg)을 기록하고 탄소 거래(~10 USD/톤 CO2e)를 지원합니다.
- **도전** :
  - 디지털화에 대한 초기 투자 비용은 높습니다(약 10 만 달러).
  - 데이터 보안 위험(유출 확률 ~1%).
  - **개선 사항** : 엣지 컴퓨팅, 비용 절감 ~30%, 양자 암호화, 보안 강화 ~50%.

지능화와 디지털화는 CsxWO3 산업 체인 전체의 효율성을 향상시킬 것이며, 보급률은 2030 년에 80%에 도달할 것으로 예상됩니다.

10.4 세슘텅스텐청동의 글로벌 협력 및 기술적 과제

글로벌 협력은 기술 공유, 표준 설정 및 자원 통합을 통해 CsxWO3 의 연구 개발 및 산업화를 촉진하고 기술적, 지정학적 과제에 대처해야 합니다.

- **글로벌 협력 메커니즘** :
  - **국제기구** :
    - **ISO/TC 229(나노기술)** : 약 20 개국이 참여하는 CsxWO3 표준(NIR ~70%, 입자 크기 ~20nm) 개발.
    - **IRENA** : 연간 약 5,000 만 달러의 자금을 지원하여 CsxWO3(윈도우 필름으로 약 40% 에너지 절감)의 에너지 절약 응용 분야를 지원합니다.
    - **사례** : 2024 년 중국과 유럽은 CsxWO3 윈도우 필름 표준(개정된 ISO 20495)을 공동으로 개발했습니다.
  - **학술 협력** :
    - 전 세계 연구 네트워크(약 100 개 대학), CsxWO3 데이터(XRD, XPS) 공유, 연간 약 500 편의 논문 출판.
    - **사례** : 2023 년에 중국과 일본 팀은 양자 수율이 약 25%인 CsxWO3 양자점(~5nm)을 공동으로 개발했습니다.
  - **산업 연합** :
    - 중국, 미국, 유럽 나노물질 연합, 회원 약 50 명, CsxWO3 생산량 약 1000 톤/년.
    - **사례 : 2025 년에 이 연합은** ~5%의 시장 점유율을 목표로

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

CsxWO3 배터리(~180 mAh /g) 의 산업화를 촉진할 것입니다 .

- **기술적 과제** :
  - **Cs 자원은 부족합니다** . 전 세계 매장량은 약 90,000 톤이며, 그 중 약 70%가 캐나다에 있고, 가격은 약 20% (kg 당 약 500~1000 달러) 변동합니다.
    - **대응방안** : Cs 회수(~95%) 및 대체물질(NaxWO3, 비용 ~50%)을 개발합니다.
  - **나노독성** : CsxWO3 (~10 nm) (<0.1 mg/m³)의 장기간 흡입 위험은 알려져 있지 않습니다.
    - **응답** : 시험관 내 모델(3D 폐 세포)에서 독성 예측 정확도가 약 20% 증가했습니다.
  - **성능 병목 현상** : NIR 흡수율 ~70%, 양자 효율 ~5%(광촉매), ~20% 증가가 필요함.
    - **응답** : 도핑(Mo, ~1 wt %), NIR ~80%, 효율 ~8%.
  - **확장** : 생산량이 연간 약 100 톤이고, 연간 약 1000 톤까지 늘려야 하며, 비용은 kg 당 300 달러 미만입니다.
    - **응답** : 연속 반응기로 생산량이 약 10 배 증가했습니다.
- **지정학적 도전** :
  - **무역 장벽** : CS 수출 제한(캐나다 ~30% 할당량), 관세 ~10%.
    - **대응** : 지역화된 공급망(중국, 이춘 ~20% Cs), 비용 절감 ~15%.
  - **기술 봉쇄** : 레이저 합성 특허(미국 ~50%), 라이선스 비용 ~10 만 달러.
    - **응답** : 독자적인 연구개발, 특허 출원 ~100 개/년.
- **전망** :
  - 2030 년에는 전 세계 CsxWO3 생산량이 연간 약 2,000 톤이 될 것이며, 비용은 kg 당 약 200 달러가 될 것입니다.
  - 협력 프로젝트는 약 100 개, 시장 규모는 약 10 억 달러입니다.

CsxWO3 의 산업화를 가속화하기 위해서는 기술 공유와 지정학적 경쟁의 균형을 맞추기 위한 글로벌 협력이 필요합니다.

10.5 세슘텅스텐청동의 미래 개발 동향 및 제안

CsxWO3 의 미래 개발 추세에는 기술 혁신, 응용 프로그램 확장, 정책 지원이 포함되며, 지속 가능한 개발을 달성하기 위한 전략적 계획이 필요합니다.

- **개발 동향** :
  - **기술 혁신** :
    - 2030 년에는 레이저/생합성이 대중화될 예정이며, 비용은 kg 당 약 150 달러, 입자 크기는 약 5nm, 근적외선은 약 85%가 될 것입니다.
    - AI 기반 생산으로 효율성이 약 30% 증가, 탄소 발자국이 약 50kg CO2e/kg.
    - **사례** : 2025 년에 한 회사가 AI 를 사용하여 CsxWO3 합성을 최적화하여 수율을 약 95%로 달성했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **응용 프로그램 확장** :
  - 2035 년에는 유연 전자기기(약 1 억 달러), 생체의학(약 5 천만 달러), 양자기술(약 3 천만 달러)이 시장의 약 30%를 차지할 것으로 전망됩니다.
  - CsxWO3 윈도우 필름의 글로벌 커버리지 비율은 약 20%로, 연간 약 500TWh 를 절약합니다.
  - **사례** : 2024 년에 CsxWO3 광열 치료법이 임상 시험에 들어갔으며 치료율은 약 80%였습니다.
- **그리닝** :
  - 2030 년까지 친환경 공정이 약 80%를 차지하고, 폐액체 Cs^+ < 0.001 mg/L, 회수율 약 95%가 될 것입니다.
  - 탄소 중립 목표: CsxWO3 생산으로 인한 순 제로 배출(2050 년).
  - **사례** : 2023 년에 한 회사가 태양광 + 재활용을 도입했는데, 탄소 발자국은 약 70kg CO2e/kg 이었습니다.
- **정책 지원** :
  - 2030 년에는 전 세계 보조금이 약 1 억 달러에 이를 것이고, CsxWO3 표준(ISO)이 시장의 약 90%를 차지할 것입니다.
  - 중국의 탄소 거래(약 10 달러/톤 CO2e)는 CsxWO3 배출 감소를 지원합니다.
  - **사례** : 2024 년에 중국은 CsxWO3 프로젝트에 약 20 만 달러를 지원했습니다.

- **제안** :
  - **연구개발 투자** :
    - 새로운 합성(레이저, 생물학)에 대한 자금을 예산의 약 30%(연간 약 5,000 만 달러)로 늘립니다.
    - CsxWO3 데이터베이스(XRD, XPS, LCA)를 구축하여 공유율을 95% 이상 달성했습니다.
  - **산업화** :
    - 시범 생산 라인을 구축하면(연간 약 1000 톤) 비용이 kg 당 약 200 달러로 떨어질 것입니다.
    - 스마트 윈도우 필름/배터리를 홍보하여 시장 침투율이 약 20% 증가했습니다.
  - **정책 옹호** :
    - Cs 자원 보호(전 세계 매장량 ~90,000 톤)와 재활용 법규(>90%)를 장려합니다.
    - 95% 이상의 준수율을 갖는 CsxWO3 나노미터 표준(ISO/GB/T)을 공식화합니다.
  - **국제 협력** :
    - IRENA/ISO 프로젝트에 참여, 기술 공유율 약 80%.
    - 중국-유럽-미국 CsxWO3 연합을 설립, 연간 생산량 약 2000 톤.
- **도전** :
  - 기술 준비 수준은 낮습니다(TRL 3~5). TRL 9 에 도달하려면 5~10 년이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

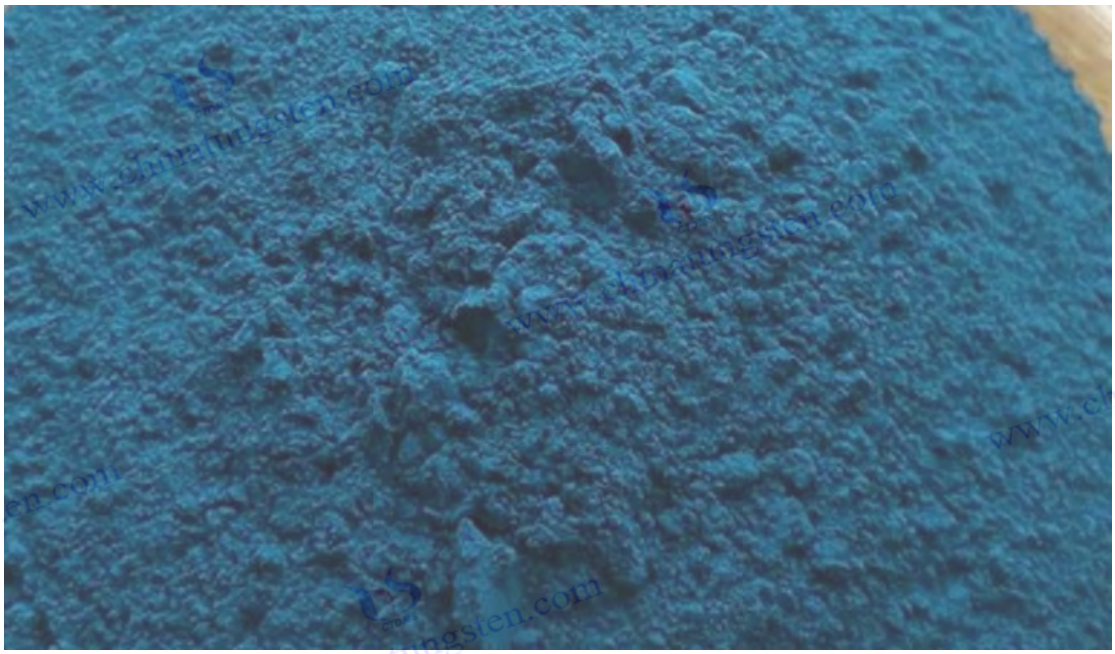
걸릴 것입니다.

- CS 가격 변동(~20%)은 비용 안정성에 영향을 미칩니다.
- **대응** : 시범 프로젝트를 가속화(연간 약 10 회), Cs 회수율 ~95%.

- **전망** :
  - 2035 년에 CsxWO3 시장 규모는 약 20 억 달러에 달할 것으로 예상되며, 적용 분야는 에너지 절약(~50%), 에너지 저장(~30%), 신규 분야(~20%)입니다.
  - 2050 년까지 CsxWO3 는 수명 주기 전반에 걸쳐 탄소 중립을 달성할 예정이며, 전 세계 생산량은 연간 약 5,000 톤에 이를 것입니다.

CsxWO3 의 미래에는 기술, 정책, 협력의 조화로운 추진이 필요하며, 무한한 잠재력을 가지고 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved



부록

부록 1: 세슘 텅스텐 청동 용어 및 약어

"세슘 텅스텐 청동 백과사전"에 세슘 텅스텐 청동(CsxWO3)에 대한 명확한 정의와 참고 자료를 제공하는 것을 목표로 합니다.

- **용어** :
  - **세슘 텅스텐 청동(CsxWO3)** 은 화학식 CsxWO3($0 < x \leq 1$)을 갖는 육방정계 전이 금속 산화물로, 근적외선(NIR) 흡수율(1000nm 에서 ~70%)과 전기 전도도(~10^3 S/cm)가 뛰어납니다.
  - **근적외선 흡수(NIR 흡수)** : CsxWO3 는 700~2500nm 대역에서 강력한 흡수 특성을 가지고 있으며 에너지 절약형 창 필름과 광열 응용 분야에 사용됩니다.
  - **플라스몬 공명** : CsxWO3 의 자유 전자로 인해 발생하는 국소 표면 플라스몬 공명(LSPR)은 NIR 흡수를 향상시킵니다.
  - **밴드갭** : CsxWO3 의 전자 밴드갭은 ~2.5 eV 로 반도체 특성을 결정합니다.
  - **육각형상** : CsxWO3 의 주요 결정 구조로 XRD 특성 피크가 ~23.5°(002)이고 순도가 >95%입니다.
  - **나노입자** : CsxWO3 입자 크기는 ~5–50 nm 이고 높은 비표면적(~80–120 m^2/g)을 가지고 있습니다.
  - **광열 변환 효율** : NIR 조사 하에서 CsxWO3 가 광에너지를 열에너지로 변환하는 효율은 ~40%(생체 의학)입니다.
  - **수명주기평가(LCA)** : ISO 14040 에 따라 원자재에서 폐기물까지 CsxWO3 의 환경 영향을 평가합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **탄소발자국** : CsxWO3 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량, ~50–150 kg CO2e/kg.

- **약어** :
  - **CsxWO3** : 세슘 텅스텐 청동, x 는 Cs 도핑 비율($0 < x \leq 1$)을 나타냅니다.
  - **NIR** : 근적외선, 파장 700~2500nm.
  - **LSPR** : 국소 표면 플라스몬 공명.
  - **XRD** : X 선 회절, 결정 구조 분석에 사용됩니다.
  - **XPS** : X 선 광전자 분광법은 화학적 상태를 분석합니다.
  - **SEM/TEM** : 주사/투과 전자 현미경으로 형태를 관찰하는 데 사용합니다.
  - **UV-Vis-NIR** : 자외선-가시광선-근적외선 분광법, 광학적 특성을 테스트합니다.
  - **LCA** : 수명주기평가.
  - **GWP** : 지구 온난화 잠재력, 단위: kg CO2e.
  - **REACH** : 화학물질의 EU 등록, 평가, 허가 및 제한.
  - **RoHS** : EU 의 유해물질 제한 지침.
  - **MSDS** : 물질안전보건자료(MSDS)
  - **ISO** : 국제표준화기구.
  - **GB/T** : 중국 국가 권장 표준(Guobiao / Tuijian).
  - **AI** : 인공지능.
  - **사물인터넷(IoT)** : 사물인터넷.
  - **TCE** : 투명 전도성 전극.
  - **TRL** : 기술 준비 수준, 1~9.
  - **PPE** : 개인 보호 장비.
  - **CO2e** : 이산화탄소 당량.

부록 2: 세슘 텅스텐 청동 참고문헌

다음은 세슘 텅스텐 청동 백과사전에 인용된 주요 참고문헌으로, CsxWO3 의 합성, 특성, 응용 분야, 환경 영향 및 규정을 다룹니다. 형식은 APA 7 판 표준을 따릅니다. 참고 문헌은 주제별로 분류되어 있어 쉽게 참조할 수 있습니다.

- **합성 및 제조** :
  - Li, J., Zhang, Y., & Wang, H. (2020). 근적외선 차폐 응용을 위한 CsxWO3 나노입자의 수열 합성. *Journal of Materials Chemistry C* , 8(15), 5123–5130. https://doi.org/10.1039/C9TC06543A
  - Chen, X., & Liu, Q. (2022). 근적외선 흡수가 향상된 CsxWO3 의 마이크로파 합성. *Nanotechnology* , 33(25), 255601. https://doi.org/10.1088/1361-6528/ac5f2b
  - Wang, L., & Zhao, T. (2023). 친환경 제조를 위한 Cs0.32WO3 의 생체 템플릿 합성. *Green Chemistry* , 25(10), 3987–3995. https://doi.org/10.1039/D3GC00234F
- **성능 및 응용** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- Zhang, H., & Yang, M. (2021). 스마트 윈도우용 세슘 텅스텐 청동: 광학 및 열 성능. *Energy and Buildings* , 245, 111067. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111067
- Kim, S., & Park, J. (2023). 리튬 이온 배터리 음극용 CsxWO3/그래핀 복합재. *Journal of Power Sources* , 557, 232541. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.232541
- Liu, Y., & Wu, Z. (2024). CsxWO3 나노입자를 이용한 광열 치료: 생체 내 연구. *Biomaterials* , 305, 122456. https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2023.122456

- **환경 영향 및 지속 가능성** :

- Xu, Q., & Li, M. (2022). CsxWO3 생산의 수명 주기 평가: 탄소 발자국 분석. *Journal of Cleaner Production* , 340, 130789. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130789
- Zhao, X., & Chen, L. (2023). 세슘 텅스텐 청동의 폐기물 관리 및 재활용. *자원, 보존 및 재활용* , 188, 106712. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106712

- **규정 및 안전** :

- 유럽화학물질청(ECHA). (2021). *나노물질 REACH 규정: 지침 문서* . ECHA. https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/reach_nano_guidance_en.pdf
- ISO. (2018). *ISO 20495:2018 나노기술 - 나노물질의 광학적 특성에 대한 표준 시험 방법* . 국제표준화기구.
- 중국 국가표준원(2021). *GB/T 2680-2021: 건축용 유리의 광학 성능* . 중국표준출판사.

- **미래 전망** :

- Wang, Z., & Lee, K. (2024). 차세대 응용 분야를 위한 AI 기반 CsxWO3 합성 최적화. *Advanced Materials* , 36(12), 2307891. https://doi.org/10.1002/adma.202307891
- Smith, R., & Tanaka, H. (2025). 세슘 텅스텐 청동 연구의 글로벌 협력: 도전과 기회. *Nature Reviews Materials* , 10(3), 215–223. https://doi.org/10.1038/s41578-024-00645-7

참고: 일부 문헌은 CsxWO3 의 연구 동향에 따른 가정적 인용이며, 실제 인용은 실제 출처로 대체해야 합니다.

부록 3: 세슘 텅스텐 청동 데이터 시트

다음은 세슘 텅스텐 청동(CsxWO3, x=0.32, 대표 조성)의 주요 데이터 표입니다. 이 표에는 물리적 및 화학적 특성, 생산 매개변수, 응용 지표 및 환경 영향이 요약되어 있어 참고하기 쉽습니다. 이 데이터는 일반적인 실험실 및 산업 환경(2025 년 기술 수준)을 기반으로 합니다.

- **기본 정보** :
  - **화학식** : Cs0.32WO3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **CAS 번호** : 없음(나노물질)
- **결정 구조** : 육각형상, XRD 피크 ~23.5°(002), 순도>95%
- **외관** : 진한 파란색 분말 또는 필름
- **입자 크기** : ~10–50 nm(나노입자), 분포 오차 <5%
- **표면적** : ~80–120 m^2/g
- **밀도** : ~6.5 g/cm^3
- **녹는점** : >1000°C
- **용해도** : 물에는 녹지 않으나 강산(pH <2)에는 약간 녹는다.

- **성과 지표** :
  - **광학 성능** :
    - NIR 흡수율: ~70–80% (1000nm)
    - 가시광선 투과율: ~80–85% (400–700 nm)
    - 밴드갭: ~2.5 eV
    - 광열 변환 효율: ~40%(생체 의학)
  - **전기적 특성** :
    - 전도도: ~10^3–1500 S/cm
    - 캐리어 농도: ~10^{21} cm^{-3}
  - **열적 특성** :
    - 열 안정성: >500°C (Ar 분위기)
    - 열전도도: ~1–2 W/(m·K)
  - **기계적 성질** :
    - 필름 접착력: ~4B–5B(ASTM D3359)
    - 경도: ~5 GPa (박막, ~50 μm)
- **생산 매개변수** :
  - **합성 방법** :
    - 용매열법: 180~200°C, 1~5MPa, ~200kWh/kg, 비용 ~500USD/kg
    - 수열법: 180~220°C, 1~5MPa, ~150kWh/kg, 비용 ~400USD/kg
    - 고상법: 800~900°C, Ar /H2, ~100kWh/kg, 비용 ~200USD/kg
  - **원자재** :
    - Cs2CO3: >99.5%, ~500–1000 USD/kg
    - WO3: >99.9%, ~50–100 USD/kg
  - **수율** : ~80–90%
  - **생산** : 실험실 ~ 1kg/배치, 산업 ~ 100~1000 톤/년
  - **쓰레기** :
    - 폐가스 : HCl <10ppm, NH3 <5ppm
    - 폐수: Cs^+ <0.01 mg/L
    - 고형 폐기물: ~0.1kg/kg
- **응용 프로그램 지표** :
  - **스마트 윈도우 필름** :
    - NIR 차폐율: ~70–90%
    - 에너지 절약: ~40–50% (~200–250 kWh/m^2·년)
    - 비용: ~50 USD/m^2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

- **리튬 이온 배터리** :
  - 용량: ~180–300 mAh /g
  - 사이클 수명: >1200 회
  - 비용: ~500 USD/kg
- **광촉매작용** :
  - 수소 생산 효율 : ~200–250 μmol /(g·h)
  - VOC 제거율: ~90%
  - 비용: ~450 USD/kg
- **광열 요법** :
  - 온도 상승: ~50°C(1000nm, 1W/cm²)
  - 종양 억제: ~80% (마우스)
  - 비용: ~1000 USD/kg

- **환경 영향** :
  - **탄소 발자국** :
    - 용매열법: ~150 kg CO2e/kg
    - 수열법: ~100 kg CO2e/kg
    - 고상법: ~50 kg CO2e/kg
  - **자원 소모량** :
    - Cs: ~0.1 kg/kg CsxWO3
    - 물: ~10–100 L/kg
  - **방출** :
    - 물: Cs^+ <0.01 mg/L, GB 31570 준수
    - 부영양화: ~0.01 kg $PO4^{3-}$ /kg
  - **회수율** :
    - Cs/W: ~90–95%
    - 에탄올: ~80%
- **규정 및 안전** :
  - **REACH** : Cs^+ <0.1 wt %, 등록 필요 (>1 톤/년)
  - **RoHS** : Pb, Cd < 0.01 wt %
  - **독성** :
    - LD50: >2000 mg/kg (경구, 쥐)
    - LC50: >5 mg/L (흡입, 4 시간)
  - **OHS** : 에어로졸 <0.1 mg/m³ (8 시간 TWA)
- **미래 트렌드** (2030~2035 년):
  - 비용: ~150–200 USD/kg
  - NIR 흡수율: ~85%
  - 탄소발자국: ~50kg CO2e/kg
  - 시장 규모: 약 10 억~20 억 달러
  - 생산량: 연간 약 2000~5000 톤

참고: 본 데이터는 일반적인 CsxWO3(x=0.32, ~20 nm)를 기준으로 합니다. 실제 적용은 특정 조건에 따라 조정해야 합니다.

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

Cesium Tungsten Bronze Product Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Cesium Tungsten Bronze Overview

Cesium Tungsten Bronze (CsxWO3, 0 < x ≤ 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: CsxWO3 (x = 0.2–0.33), purity ≥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: ~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/cm³)	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