

황색 텅스텐 산화물 (W03)

물리적 및 화학적 특성, 공정 및 응용 분야

CTIA 그룹 LTD

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

CTIA GROUP 소개

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CHINATUNGSTEN ONLINE 이 설립 한 독립적 인 법인격을 가진 전액 출자 자회사 인 CTIA GROUP LTD 는 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 재료의 지능적이고 통합적이며 유연한 설계 및 제조를 촉진하기 위해 최선을 다하고 있습니다. 1997 년 www.chinatungsten.com 를 출발점으로 설립 된 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 중국 최초의 최상위 텅스텐 제품 웹 사이트이며 텅스텐, 몰리브덴 및 희토류 산업에 중점을 둔 중국의 선구적인 전자 상거래 회사입니다. 텅스텐 및 몰리브덴 분야에서 거의 30 년 동안 쌓아온 깊은 경험을 바탕으로 CTIA GROUP 은 모회사의 탁월한 설계 및 제조 능력, 우수한 서비스 및 글로벌 비즈니스 명성을 계승하여 텅스텐 화학, 텅스텐 금속, 초경합금, 고밀도 합금, 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 분야에서 포괄적인 응용 솔루션 제공업체가 되었습니다.

지난 30 년 동안 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 텅스텐, 몰리브덴 및 희토류와 관련된 뉴스, 가격 및 시장 분석의 100 만 페이지 이상을 포함하여 20 개 이상의 언어를 다루는 200 개 이상의 다국어 텅스텐 및 몰리브덴 전문 웹 사이트를 설립했습니다. 2013 년부터 WeChat 공식 계정 "CHINATUNGSTEN ONLINE"은 40,000 개 이상의 정보를 게시하여 거의 100,000 명의 추종자에게 서비스를 제공하고 전 세계 수십만 명의 업계 전문가에게 매일 무료 정보를 제공합니다. 웹 사이트 클러스터 및 공식 계정에 대한 누적 방문 횟수가 수십억 회에 달함에 따라 텅스텐, 몰리브덴 및 희토류 산업에서 인정받는 글로벌하고 권위 있는 정보 허브가 되어 24/7 다국어 뉴스, 제품 성능, 시장 가격 및 시장 동향 서비스를 제공합니다.

CHINATUNGSTEN ONLINE 의 기술과 경험을 바탕으로 CTIA GROUP 은 고객의 개인화 된 요구를 충족시키는 데 중점을 둡니다. AI 기술을 활용하여 특정 화학 조성 및 물리적 특성(예: 입자 크기, 밀도, 경도, 강도, 치수 및 공차)을 가진 텅스텐 및 몰리브덴 제품을 고객과 공동으로 설계하고 생산합니다. 금형 개발, 시험 생산에서 마무리, 포장 및 물류에 이르기까지 전체 프로세스 통합 서비스를 제공합니다. 지난 30 년 동안 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 전 세계 130,000 명 이상의 고객에게 500,000 가지 이상의 텅스텐 및 몰리브덴 제품에 대한 R & D, 설계 및 생산 서비스를 제공하여 맞춤형, 유연성 및 지능형 제조의 기반을 마련했습니다. 이러한 기반을 바탕으로 CTIA GROUP 은 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 재료의 지능형 제조 및 통합 혁신을 더욱 심화합니다.

CTIA GROUP 의 Hanns 박사와 그의 팀은 30 년 이상의 업계 경험을 바탕으로 텅스텐, 몰리브덴 및 희토류와 관련된 지식, 기술, 텅스텐 가격 및 시장 동향 분석을 작성하고 공개적으로 발표하여 텅스텐 업계와 자유롭게 공유했습니다. 한 박사는 1990 년대부터 30 년 이상 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 전자 상거래 및 국제 무역, 초경합금 및 고밀도 합금의 설계 및 제조 분야에서 경험을 쌓았으며 국내외에서 텅스텐 및 몰리브덴 제품 분야의 저명한 전문가입니다. 업계에 전문적이고 고품질의 정보를 제공한다는 원칙을 고수하는 CTIA GROUP 의 팀은 생산 관행 및 시장 고객의 요구를 기반으로 기술 연구 논문, 기사 및 산업 보고서를 지속적으로 작성하여 업계에서 널리 찬사를 받고 있습니다. 이러한 성과는 CTIA GROUP 의 기술 혁신, 제품 홍보 및 산업 교류에 대한 견고한 지원을 제공하여 글로벌 텅스텐 및 몰리브덴 제품 제조 및 정보 서비스의 선두 주자로 도약할 수 있도록 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

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

CTIA 그룹

삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, WO_3 , 황색 삼산화 텅스텐, YTO) 소개

1. 삼산화 텅스텐의 개요

CTIA GROUP 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, WO_3 라고 함)은 GB / T 3457-2013 "텅스텐 산화물"일류 제품의 요구 사항을 충족하는 과라 텅스텐 산업 암모늄 고온 소성 공정으로 생산됩니다. 옐로우 텅스텐은 밝은 노란색 결정 분말 형태, 고순도 및 화학적 안정성으로 인해 텅스텐 분말, 초경합금, 텅스텐 와이어 및 세라믹 착색제의 제조에 널리 사용됩니다. CTIA GROUP은 분말 야금 및 산업 제조의 요구를 충족시키기 위해 고품질 노란색 텅스텐 제품을 제공하기 위해 최선을 다하고 있습니다.

2. 삼산화 텅스텐의 특성

화학 성분 : WO_3 .

순도 : $\geq 99.95\%$ 이며 불순물 함량이 매우 낮습니다.

외관 : 밝은 노란색 크리스탈 분말, 균일 한 색상.

다형체: 단사정(실온에서 가장 일반적), 공간군 P21/n.

높은 안정성: 공기에서 안정하고 불산을 제외한 물 및 무기산에 불용성입니다.

반응성 : 수소 ($>650^\circ C$) 또는 탄소 ($1000-1100^\circ C$)에 의해 텅스텐 분말로 환원 될 수 있습니다.

균일성: 다운스트림 가공에 적합한 균일한 입자 분포.

3. 삼산화 텅스텐의 사양

색인	CTIA GROUP 옐로우 텅스텐 1 급 표준
WO_3 함량 (wt%)	≥ 99.95
불순물 (wt %, 최대)	$Fe \leq 0.0010$, $W \leq 0.0020$, $Si \leq 0.0010$, $Al \leq 0.0005$, $Ca \leq 0.0010$, $Mg \leq 0.0005$, $K \leq 0.0010$, $Na \leq 0.0010$, $S \leq 0.0005$, $P \leq 0.0005$
수분 (wt%)	≤ 0.05
입자 크기	1-10 (μm , FSSS)
느슨한 밀도	2.0-2.5 (g/cm^3)
사용자화	입자 크기 또는 불순물 한계는 고객 요구 사항에 따라 사용자 정의할 수 있습니다.

4. 삼산화 텅스텐 포장 및 보증

포장: 안 밀봉된 비닐 봉투, 외부 철 드럼 또는 길썬된 부대, 순중량 50kg 또는 100kg의 방습 디자인.

보증: 각 배치에는 WO_3 함량, 불순물 분석, 입자 크기(FSSS 방법), 느슨한 밀도 및 수분 데이터를 포함한 품질 인증서가 함께 제공됩니다.

5. 삼산화 텅스텐 조달 정보

사서함: sales@chinatungsten.com 전화: +86 592 5129696

텅스텐 옐로우에 대한 자세한 내용은 Chinatungsten 온라인 웹 사이트를 방문하십시오 www.tungsten-powder.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

황색 텅스텐 산화물 (텅스텐 트리옥사이드)의 물리적 및 화학적 특성, 공정 및 응용.
황색 텅스텐 산화물 (W₂O₃)
물리적 및 화학적 특성, 공정 및 응용 분야

머리말

글쓰기의 목적과 중요성

황색 텅스텐 산화물의 연구 및 응용 개요

타겟 독자층

감사

1 장: 소개

1.1 황색 텅스텐 산화물의 정의 및 역사

1.2 텅스텐 화합물의 계열과 그 중요성

1.3 황색 텅스텐 산화물과 암모늄 메타 텅스텐 산염의 관계

1.4 책의 구조와 내용에 대한 개요

참조

2 장 : 화학적 및 물리적 특성

2.1 화학 조성 및 분자식 (W₂O₃)

2.2 물리적 형태 및 외관 (황색 분말)

2.3 용해도 및 화학적 안정성

물, 산, 알칼리에서의 거동

산화 환원 속성

2.4 밀도, 융점 및 끓는점

2.5 열역학 자료 (엔탈피, 엔트로피, 비열 수용량)

2.6 황색 텅스텐 산화물과 다른 텅스텐 산화물 형태의 비교

참조

3 장: 결정 구조 및 위상

3.1 단사정 구조 (가장 일반적인 단계)

Lattice 매개 변수 및 공간 그룹

X 선 회절 (XRD) 특성

3.2 다른 결정질 상 (육각형, 정방형, 입방체)

상전이 조건 및 온도 의존성

3.3 결합 구조 및 도핑 효과

3.4 나노 미터 범위에서 W₂O₃의 구조적 특성

결정상에 대한 입자 크기의 영향

참조

4 장 : 생산 공정

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

4.1 원료와 선구자

암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT)의 제조 및 분해.

텅스텐 산 (H_2WO_4) 및 텅스텐 광석

4.2 공업 생산 방법

焙烧法 ($500-700^{\circ}C$)

수소 환원법 (WO_3 의 간접 제조)

습식 화학(침전 및 열처리)

4.3 실험실 합성 기술

열수 방식

용수전법 (Solvothermal Method)

마이크로파 보조 합성

4.4 프로세스 매개변수 최적화

온도, 대기, 시간의 영향

순도 및 입자 크기 제어

4.5 녹색 생산 및 폐기물 처리

암모니아 질소 회수 기술

에너지 소비 및 배출 분석

참조

Chapter 5: 분석 및 특성화 기법

5.1 화학 성분 분석

적정 (WO_3 함량 측정)

유도 결합 플라즈마 원자 방출 분광법 (ICP-AES)

5.2 구조상 특성화

X 선 회절 (XRD)

푸리에 변환 적외선 분광법 (FTIR)

라만 분광법

5.3 형태학 및 현미경 분석

주사 전자 현미경 (SEM)

투과 전자 현미경 (TEM)

5.4 물리적 특성 테스트

BET 특정 표면적 결정

열중량 분석 (TG) 대 시차 주사 열량계 (DSC)

5.5 전기화학적 및 광전 성능 시험

순환 전압전류법 (CV)

자외선 가시광선 분광법 (UV-Vis)

참조

6 장 : 응용 분야

6.1 촉매

Photocatalysis (수소 생산 & 오염 물질 분해)

화학적 촉매 작용 (수소화 분해, 탈황)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2 에너지 저장 및 변환

리튬 이온 배터리 전극(용량 600-750mAh/g)
슈퍼 커패시터(특정 커패시턴스 250-350F/g)
연료 전지 촉매

6.3 스마트 머티리얼

일렉트로크로믹 소재(Smart Windows)
Thermochromic 및 photochromic 재산

6.4 센서

가스 센서(NO_2 , CO, H_2S)
민감도 및 선택성 분석

6.5 나노 기술 응용

WO_3 나노 입자, 나노 섬유 및 필름
생체의학적 잠재력(광온열 요법, 항균제)

6.6 기타 산업 응용 프로그램

안료 및 세라믹 첨가제
텅스텐 분말 및 텅스텐 합금 전구체
참조

챕터 7: 열 분해 및 변환

7.1 AMT에서 WO_3 로의 열분해 경로

분해 단계(탈수, 탈아미노화, 결정상 전이)
온도와 대기의 영향

7.2 WO 의 상전이 메커니즘

단사정에서 육각형 변환으로
고온 안정성 분석

7.3: 열분해 역학

활성화 에너지 및 반응 속도
열 분석 데이터 해석

참조

8장: 안전 및 환경 영향

8.1 독성 및 건강 위험

급성 독성 대 만성 노출
물질안전보건자료(SDS) 해석

8.2 취급 및 보관 권장 사항

보호 조치 및 응급 처치
습도 및 온도 조절

8.3 환경 영향 평가

생산 공정에서 배출되는 배출량
폐기물 처리 및 재활용

8.4 규정 및 표준

중국 표준 YS/T 535-2006

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

국제 표준 (예: ASTM)

참조

제 9 장: 연구 진행 상황과 향후 전망

9.1 역사 연구의 검토

조기 감지 및 산업 응용 분야

9.2 현재 연구 핫스팟

nanoWO₃의 합성 및 성능 최적화₃

새로운 에너지 및 환경 응용 분야

9.3 중국학에 대한 기여

AMT에서 WO₃로 프로세스 개선

적용 분야 확대

9.4 국제 리서치 동향

광전자 재료 및 촉매의 최전선

9.5 향후 방향

녹색합성기술

다기능 복합재

참조

10 장: 사례 연구 및 실험 지침

10.1 산업 생산 사례

대규모 WO₃ 생산 공정

10.2 실험실 합성의 예

WO₃ 나노 입자의 열수 제조

AMT 열분해 실험

10.3 데이터 분석 및 결과 논의

일반적인 실험 파라미터 및 특성화 결과

10.4 실험적 고려 사항

장비 선택 및 안전한 작동

참조

부록

부록 A : WO₃에 대한 물리 및 화학적 데이터 시트

분자량, 밀도, 융점 등과 같은 매개 변수

부록 B: 일반적인 분석 방법에 대한 실험 절차

XRD, FTIR, SEM 운영 가이드

부록 C: AMT 및 WO₃ 관련 특허 목록

CN102019429A, US10262770B2 등

부록 D: 중국 및 국제 표준

YS / T 535-2006 《암모늄 메타 텅스텐 산염》

금속 분말 비표면적에 대한 ASTM B922-20 표준 시험 방법

ISO 16962:2017 표면 화학 분석 — 아연 및/또는 알루미늄 기반 금속 코팅 분석(WO₃

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

특성화 포함)

부록 E: 국가 표준

일본 JIS K 1462:2015 (텅스텐 화합물 분석 방법)

DIN 51078:2002 (산화물 세라믹 원료 테스트)

GOST 25702-83 (텅스텐 산염의 화학 분석)

부록 F: 용어집(영어 및 중국어)



황색 텅스텐 산화물 (텅스텐 트리옥사이드)의 물리적 및 화학적 특성, 공정 및 응용.
황색 텅스텐 산화물 (W03)
물리적 및 화학적 특성, 공정 및 응용 분야

머리말

황색 텅스텐 산화물의 연구 및 응용 개요

CTIA GROUP의 전문 팀으로서 우리는 텅스텐 산업 체인에서 황색 텅스텐 산화물 (삼산화 텅스텐, W_0_3)의 핵심 위치를 잘 알고 있습니다. 이 밝은 노란색 화합물은 텅스텐 야금의 중요한 중간 제품일 뿐만 아니라 현대 재료 과학 및 산업 응용 분야의 스타 재료이기도 합니다. 황색 텅스텐 산화물의 단사정 구조는 독특한 전자 특성과 화학적 안정성을 제공하며 에너지 밴드 갭 (약 2.6-2.8 eV)은 빛, 전기 및 열과 같은 많은 분야에서 우수한 성능을 나타냅니다. 19 세기의 텅스텐 산염 연구에서 오늘날의 나노 기술 혁명에 이르기까지, W_0 의 적용은 전통적인 텅스텐 분말 준비에서 하이테크 국경으로 확장되었습니다.

중국에서는 황색 텅스텐 산화물의 연구 및 응용이 텅스텐 자원 및 산업 수요의 장점과 밀접하게 통합되어 있습니다. 우리 팀은 예를 들어 로스팅 조건 ($500-700^{\circ}C$)을 정밀하게 제어하여 고순도 $W_0 \geq 99.9\%$ 의 대규모 생산을 달성함으로써 W_0 를 생산하기 위해 암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT)의 열 분해를 위한 공정 최적화에 대한 광범위한 경험을 보유하고 있습니다. 동시에 W_0_3 는 유기 오염 물질의 분해 및 물의 광분해로 인한 수소 생산(90% 이상의 효율)을 위한 광촉매 분야에서 흥미로운 잠재력을 가지고 있어 환경 개선 및 청정 에너지를 위한 솔루션을 제공합니다. 에너지 저장 측면에서 리튬 이온 배터리 (용량 650-750 mAh / g)에서 W_0_3 전극의 우수한 성능과 슈퍼 커패시터 (300 F / g)의 높은 비 커패시턴스를 확인했습니다. 또한 W_0_3 의 전기 변색 특성은 스마트 윈도우의 산업화를 주도하고 있으며 가스 센서 (NO_2 감지 감도 최대 10ppb) 및 항공 재료 (98 %

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

항공 비율)에 사용되어 스마트 제조를 위한 새로운 길을 열었습니다.

전 세계적으로 W_3 의 연구는 나노 구조 설계 및 광전자 성능 최적화에 중점을 두고 있으며, 특히 생산 공정 및 응용 프로그램 개발에 대한 중국의 실무 경험이 탁월합니다. CTIA 그룹의 일원으로서 우리는 W_3 가 실험실에서 시장으로 이동하는 것을 보았습니다. 이 책의 목적은 이러한 기술적 성과를 요약하고, 국제 첨단 트렌드와 결합하고, 업계 동료에게 체계적인 참고 자료를 제공하고, 텅스텐 재료 산업의 지능적이고 지속 가능한 발전을 돕는 것입니다.

타겟 독자층

이 책을 쓸 때 CTIA GROUP은 텅스텐 산업 및 관련 분야의 실무자와 학자들에게 전문적인 관점으로 봉사하기를 희망하면서 다음과 같은 독자를 대상으로 한 것이 분명합니다.

텅스텐 재료 연구 및 개발 인력

W_3 결정 구조, 생산 공정 및 성능 최적화에 종사하는 연구자를 위해 이 책은 AMT에서 W_3 에 이르는 완전한 기술 경로와 최신 연구 데이터를 제공하여 기초 및 응용 연구를 용이하게 합니다.

화학 및 재료 엔지니어

텅스텐 야금, 신에너지 및 지능형 제조 분야의 엔지니어를 위해 이 책은 산업 생산 방법(예: 로스팅 방법, 열수 방법) 및 프로세스 매개변수 최적화에 대해 자세히 설명합니다.

단과대학과 종합대학의 교원 및 학생

화학, 재료 과학 및 공학 분야의 학생과 교수진은 이 책을 W_3 의 특성 및 응용 분야에 대해 배우기 위한 권위 있는 자료로 사용할 수 있으며 실험실 가이드는 교육 및 실습에 특히 적합합니다.

텅스텐 산업 체인 실무자

텅스텐 광석 가공에서 다운 스트림 응용 프로그램에 이르기까지 업계 전문가는 W_3 (예: 센서, 배터리) 및 중국 표준 (예: YS / T 535-2006)의 최신 응용 프로그램에 대해 배워 기술 및 시장 경쟁력을 향상시킬 수 있습니다.

다분야 기술 전문가

환경 보호, 광전자 재료 또는 나노 기술에 관심이 있는 전문가는 W_3 의 다양한 특성에서 영감을 얻어 국경을 초월한 혁신을 주도할 수 있습니다.

CTIA GROUP의 전문가로서 우리는 R&D에서 산업화에 이르기까지 텅스텐 재료의 복잡성을 잘 알고 있습니다. 이 책은 30년 이상 동안 축적된 지식과 기술을 응축 할뿐만 아니라 글로벌 텅스텐 산업의 통찰력을 통합하여 독자에게 다양한 배경의 독자에게 실용적인 지식과 미래 지향적인 비전을 제공하고 지능형 제조 및 녹색 기술에서 황색 텅스텐 산화물의 새로운 장을 공동으로 홍보합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



1 장: 소개

1.1 황색 텅스텐 산화물의 정의 및 역사

황색 텅스텐 산화물이란 무엇입니까?

황색 텅스텐 산화물 (삼산화 텅스텐, 화학식 WO_3)은 텅스텐과 산소로 구성된 무기 화합물로 실온에서 밝은 노란색 분말 형태로 명명되었습니다. 이 색상은 약 2.6-2.8 eV의 에너지 밴드 갭을 갖는 단사정 결정 구조에서 텅스텐 팔면체의 전자 전이 특성으로 인해 가시 범위에서 현저한 광학 반응을 제공합니다. WO_3 의 분자량은 231.84g/mol, 밀도는 약 7.16g/cm³, 융점은 최대 1473° C입니다. 화학적 안정성이 강하고 물과 중성 용액에 녹지 않지만 강한 알칼리성 조건에서 용해되어 텅스텐 산염을 형성 할 수 있습니다.

WO_3 의 발견과 연구는 18 세기 말로 거슬러 올라갑니다. 1781 년 스웨덴의 화학자 Carl Wilhelm Scherer 는 WO_3 연구의 출발점이었던 텅스텐 산 나트륨 용액을 산성화하여 텅스텐 산 (H_2WO_4)을 처음으로 분리했습니다. 1783 년 스페인 형제 인 Juan José 와 Fausto Elhuyar 는 볼프 라마이트에서 텅스텐을 추출하여 텅스텐 화합물의 탐사를 더욱 발전

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

시켰습니다. 19 세기 초, 산업 혁명의 요구로 인해 WO 는 텅스텐 야금의 중요한 중간체가되었습니다. 그 당시, WO₃는 주로 텅스텐 광석 (예 : wolframite FeMnWO₄ 또는 scheelite CaWO₄)을 볶아서 제조 한 후 필라멘트 및 공구강 제조에 사용 된 텅스텐 금속으로 환원시켰다. 19 세기 말, 중량 분석 및 분광 분석과 같은 화학 분석 기술의 발전으로 과학자들은 WO 의 순도와 촉매 반응에서의 잠재력에 초점을 맞추기 시작했습니다.

20 세기 이래로 WO₃ 연구는 새로운 국면에 접어들었습니다. X 선 회절(XRD) 기술의 적용으로 단사정(가장 일반적), 육각형, 정방형 및 입방상을 포함한 다상 구조가 밝혀졌으며, 이는 서로 다른 온도와 대기에서 상호 변형 가능합니다. 예를 들어, 500-700 ° C 의 공기 중에서 WO 는 일반적으로 단사정 단계에서 안정화하는 반면 더 높은 온도 (>900 ° C)에서는 정방형으로 변할 수 있습니다. 20 세기 중반에 WO 는 도자기 및 유리 산업에서 안료로 사용되기 시작했으며 생생한 노란색은 장식 재료의 하이라이트가되었습니다. 20 세기 후반, 나노 기술의 부상과 함께 WO 의 광전자 특성이 더욱 탐구되었습니다. 예를 들어, 전기 변색 특성(노란색에서 파란색까지)으로 인해 스마트 윈도우의 후보 재료가 되었으며, 광촉매 특성은 유기 오염 물질의 분해 및 수소를 생산하기 위한 물의 광분해와 같은 환경 개선에 대한 응용 분야를 주도하고 있습니다.

오늘날 WO₃는 전 세계적으로 연간 수만 톤씩 생산되고 있으며, 중국은 주요 텅스텐 자원(세계 매장량의 60% 이상을 차지)으로서 생산 및 응용을 지배하고 있습니다. 전통적인 야금에서 첨단 기술 분야에 이르기까지 황색 텅스텐 산화물의 역사적 진화는 텅스텐과 기술 진보에 대한 인간의 이해가 심화되었음을 반영합니다. 이 섹션의 목적은 독자에게 WO₃의 정의와 역사에 대한 포괄적인 배경 지식을 제공하고, 후속 장에서 WO₃의 성격과 적용에 대한 분석을 위한 기초를 제공하는 것입니다.

1.2 텅스텐 화합물의 계열과 그 중요성

텅스텐 화합물 계열에는 텅스텐 응용 프로그램의 기초를 형성하는 단순 산화물에서 복합 다산 화합물에 이르기까지 다양한 화학적 형태의 다양한 물질이 포함됩니다. 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)은 가족의 핵심 구성원이며 이산화 텅스텐 (WO₂), 텅스텐 산 (H₂WO₄), 파라 텅스텐 산 암모늄 (APT, (NH₄)₁₀ [H₂W₁₂O₄₂] · 4H₂O, 암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT, (NH₄)₆H₂W₁₂O₄₀ · xH₂O) 및 텅스텐 청동 (M_xWO₃, M 은 Na 및 K 와 같은 알칼리 금속)과 같은 다양한 응용 시스템을 형성합니다. 텅스텐의 독특한 물리 화학적 특성(높은 융점(3422° C), 높은 밀도(19.25g/cm³) 및 우수한 내식성)으로 인해 텅스텐의 화합물은 산업 및 연구에서 없어서는 안 될 필수 요소입니다.

텅스텐 화합물의 중요성은 먼저 야금 분야에 반영됩니다. WO 는 수소 환원 (WO₃ + 3H₂ → W + 3H₂O)에 의해 제조 될 수있는 고순도 텅스텐 분말의 생산을위한 핵심 원료이며, 초경합금 (예 : WC-Co), 텅스텐 강 및 초합금의 생산에 널리 사용되는 2-5 μm 의 입자 크기를 가진 텅스텐 분말을 생산할 수 있습니다. 이러한 소재는 항공우주, 자동차 제조 및 기계 가공의 극한 조건에서 요구되는 성능을 지원합니다. 예를 들어, 텅스텐 합금은 고밀도로 인해 항공기 평형추 및 갑옷 피어싱 총알 코어의 제조에 사용됩니다. 둘째,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

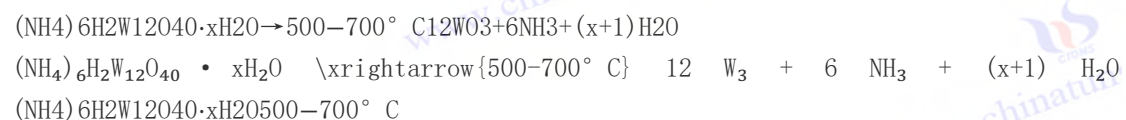
텅스텐 산염과 폴리 산 화합물은 촉매 분야에서 중요한 가치를 지닙니다. AMT 및 APT는 활성 표면적이 최대 $10\text{--}20\text{m}^2/\text{g}$ 인 석유 화학 산업에서 수소화 분해, 탈황 및 탈질을 위한 WO_3 촉매를 준비하기 위한 전구체로 사용할 수 있습니다. 또한, 텅스텐 청동은 금속-반도체 특성으로 인해 적외선 차폐 코팅에 사용되어 에너지 효율적인 건물의 에너지 소비를 줄입니다.

새로운 에너지 및 하이테크 분야에서는 텅스텐 화합물의 적용이 더욱 강조됩니다. WO 는 리튬 이온 배터리의 양극 재료로서 높은 커패시턴스 ($600\text{--}750\text{ mAh/g}$)를 나타내며 다공성 구조와 빠른 이온 수송 능력으로 인해 전기 화학적 성능을 갖춘 슈퍼커패시터에서 $250\text{--}350\text{ F/g}$ 의 특정 커패시턴스를 나타냅니다. 동시에, WO 의 광촉매 특성은 가시 광선 아래에서 90% 이상의 효율로 메틸렌 블루와 같은 염료의 분해와 같은 환경 개선에서 빛을 발합니다. 또한, 텅스텐 화합물의 다양성은 광열 효과로 인해 암 치료 연구에 사용되는 WO_3 나노 입자와 같은 생물 의학적 잠재력에 반영됩니다.

중국은 텅스텐 화합물의 연구 및 생산에서 세계적인 입지를 확보하고 있습니다. 광석 추출에서 기능성 재료 개발에 이르기까지 전체 산업 체인의 허브로서 WO 는 자원과 제품을 연결할 뿐만 아니라 지능형 응용 프로그램의 가능성을 제공합니다. 이 섹션에서는 텅스텐 화합물 계열의 다양성과 중요성을 소개함으로써 WO 의 핵심 위치를 강조하고 후속 응용 분야에 대한 추가 논의의 기초를 제공합니다.

1.3 황색 텅스텐 산화물과 암모늄 메타 텅스텐 산염의 관계

암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT, $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40} \cdot x\text{H}_2\text{O}$)를 사용한 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)은 텅스텐 화합물의 연구 및 응용의 핵심 연결 고리입니다. AMT는 Keggin 유형 다산 화합물에 속하는 백색 결정 또는 분말이며, 그 분자 구조는 약 2956.42 g/mol (결정수 포함)의 분자량을 가진 2개의 수소 원자 주위에 12개의 텅스텐 팔면체에 의해 형성됩니다. 높은 수용성 (pH 5.5에서 $>1000\text{ g/L}$) 및 열분해 특성으로 인해 WO_3 제조에 이상적인 전구체입니다. 산업적으로 AMT는 $220\text{--}280^\circ\text{C}$ 에서 암모늄 텅스텐 산염 용액 중합 또는 파라 텅스텐 산 암모늄 (APT) 가열 전환에 의해 제조된 후 $500\text{--}700^\circ\text{C}$ 에서 WO 로 로스팅 및 분해되며 반응 과정은 다음과 같습니다.



이 변환 프로세스는 상당한 프로세스 이점을 제공합니다. AMT의 분해 생성물 WO_3 는 99.9%의 고순도를 달성하고 로스팅 조건 (예: 온도 550°C , 질소 분위기)을 조정하여 WO_3 의 결정상 (단사정 또는 육각형) 및 입자 크기 ($D_{50} \approx 4\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$)를 제어할 수 있습니다. 실험실에서 AMT의 용액 특성은 열수 방법에 의한 $20\text{--}30\text{ nm}$ 의 입자 크기를 갖는 WO_3 입자 및 분무 건조에 의한 균질 미분화 분말 ($D_{50} \approx 4\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$)과 같은 습식 화학적 방법에 의한 나노 WO 의 제조에 적합합니다. 이러한 기능으로 인해 AMT는 기초 연구에서 산업 생산에 이르는 중요한 다리 역할을 합니다.

WO_3 와 AMT의 관계는 공정뿐만 아니라 응용 분야에도 적용됩니다. 예를 들어, AMT의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

열분해에 의해 얻어진 WO_3 는 높은 비표면적 및 다공성과 같은 전구체의 구조적 이점을 유지하여 광촉매(최대 $0.8\text{mmol/h} \cdot \text{g}$)가 우수합니다. 에너지 저장에서 AMT 유래 WO_3 전극은 리튬 배터리에서 최대 720mAh/g 의 용량을 갖는 반면 가스 센서에서 WO_3 는 NO_2 에 대해 최대 10ppb 의 감지 감도를 갖습니다. 중국 연구자들은 AMT의 마이크로파 보조 합성(수율 94.5%로 증가) 및 WO_3 나노 섬유(직경 $50\text{--}80\text{nm}$)를 제조하기 위한 전기 방사와 같은 이 분야에서 유익한 성과를 거두어 고성능 재료 개발을 위한 새로운 아이디어를 제공합니다.

또한 AMT의 생산 및 WO_3 의 적용에는 암모니아 질소 회수 기술(회수율 $>93\%$)과 같은 친환경 공정의 탐색도 포함되며, 이는 환경 부하를 줄입니다. 전구체와 제품 사이의 이러한 시너지 관계는 원료에서 기능성 물질로의 텅스텐 화합물의 변형 논리를 반영합니다. 이 섹션에서는 WO와 AMT 간의 화학적 및 공정 연결을 자세히 설명함으로써 후속 생산 공정 및 응용 분야 분석에 대한 이론적 지원을 제공합니다.

1.4 책의 구조와 내용에 대한 개요

이 책은 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 포괄적인 연구 및 응용을 위한 체계적인 가이드를 제공하기 위해 CTIA GROUP의 전문가 팀이 작성했습니다. 이 책은 10개의 장으로 구성되어 있으며, 다음과 같이 기초 과학, 생산 기술, 응용 시나리오 및 WO_3 의 미래 동향을 다루는 이론적 깊이와 실용적인 지침이 모두 포함되어 있습니다.

챕터 II에서 III까지

WO_3 의 화학적 및 물리적 특성과 단사정 상의 격자 매개 변수, 다상 전이 조건 및 나노 규모의 구조 특성을 포함한 결정 구조에 대한 심층적인 논의.

제 IV 장 부서

AMT의 열분해부터 산업용 로스팅 방법, 실험실 열수 방법에 이르기까지 생산 공정을 소개하고, 순도 및 입자 크기에 대한 공정 매개변수의 영향을 분석하고, 녹색 생산 기술에 대해 논의합니다.

챕터 5

화학 성분 측정(ICP-AES), 구조 분석(XRD, FTIR) 및 형상 관찰(SEM, TEM)을 포함한 상세한 분석 및 특성화 기술은 연구 및 품질 관리를 위한 도구를 제공합니다.

챕터 VI

광촉매(수소 생산 및 분해), 에너지 저장(배터리 및 커패시터), 스마트 재료(전기 변색), 센서 및 나노 기술의 WO_3 응용 분야에 대한 포괄적인 시연.

챕터 VII

AMT에서 WO_3 까지의 열분해 경로에 초점을 맞추고, 분해 단계, 상전이 및 운동 매개변수를 분석했습니다.

챕터 VIII

WO_3 독성, 보관 권장 사항 및 환경 영향을 중국 및 국제 표준에 따라 평가합니다.

제 9 장

WO_3 연구의 역사를 검토하고, 나노 합성과 같은 현재의 핫스팟을 요약하고, 녹색 기술 및

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

복합 재료의 미래를 기대하십시오.

챕터 X

산업 생산 사례(예: 대규모 로스팅 공정) 및 실험실 실험 가이드(예: 열수 합성)를 제공하여 실용성을 높입니다.

부록에는 W_3 의 데이터 시트, 분석 절차, 특허 목록, 중국 및 국제 표준(YS/T 535-2006, ASTM B922-20 등), 국가 표준(JIS, DIN, GOST) 및 용어집이 포함됩니다. 참고 문헌은 글로벌 연구 결과와 중국의 실무 경험을 통합합니다. 이 책은 학술 연구자들이 W_3 의 과학적 본질을 탐구하는 데 적합할 뿐만 아니라 텅스텐 재료 분야의 혁신과 발전을 촉진하는 것을 목표로 하는 업계 종사자에게 기술 참고 자료를 제공합니다.

참조

Lassner, E., & Schubert, W.-D. (1999). 텅스텐 : 원소, 합금 및 화합물의 특성, 화학, 기술. 스프링거.

리홍귀. (2005). 텅스텐 야금. 센트럴 사우스 대학교 출판부.

장 치원. (2010). 텅스텐 화학 및 기술. 야금 산업 프레스.

Pope, M. T., & Müller, A. (1994). 폴리옥소메탈레이트: 플라톤 고체에서 항레트로바이러스 활성까지. 스프링거.

크리스찬, JB 및 휘팅엄, MS (2008). 암모늄 메타 텅스텐 산업의 구조 연구. 고체 화학 저널.

장 리화. (2020). 암모늄 메타텅스텐산업의 마이크로파 보조 합성을 위한 공정 최적화. 화학 산업 발전.

첸 샤오흥. (2020). 이온 교환법에 의한 고순도 암모늄 메타텅스텐 산업의 제조. "희귀 금속".

리우 양. (2020). 암모늄 메타 텅스텐 산업의 열분해 거동 및 생성물 분석. 무기 화학 저널.

Sigma-Aldrich W_3 제품 사양(2023).

국제 텅스텐 산업 협회 (ITIA). (2023). 글로벌 텅스텐 산업 전망 2030.

CTIA 그룹

삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, W_3 , 황색 삼산화 텅스텐, YTO) 소개

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

1. 삼산화 텅스텐의 개요

CTIA GROUP 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, WO_3 라고 함)은 GB / T 3457-2013 "텅스텐 산화물"일류 제품의 요구 사항을 충족하는 과라 텅스텐 산업 압모늄 고온 소성 공정으로 생산됩니다. 옐로우 텅스텐은 밝은 노란색 결정 분말 형태, 고순도 및 화학적 안정성으로 인해 텅스텐 분말, 초경합금, 텅스텐 와이어 및 세라믹 착색제의 제조에 널리 사용됩니다. CTIA GROUP은 분말 야금 및 산업 제조의 요구를 충족시키기 위해 고품질 노란색 텅스텐 제품을 제공하기 위해 최선을 다하고 있습니다.

2. 삼산화 텅스텐의 특성

화학 성분 : WO_3 .

순도 : $\geq 99.95\%$ 이며 불순물 함량이 매우 낮습니다.

외관 : 밝은 노란색 크리스탈 분말, 균일 한 색상.

다형체: 단사정(실온에서 가장 일반적), 공간군 P21/n.

높은 안정성: 공기에서 안정하고 불산을 제외한 물 및 무기산에 불용성입니다.

반응성 : 수소 ($>650^\circ C$) 또는 탄소 ($1000-1100^\circ C$)에 의해 텅스텐 분말로 환원 될 수 있습니다.

균일성: 다운스트림 가공에 적합한 균일한 입자 분포.

3. 삼산화 텅스텐의 사양

색인	CTIA GROUP 옐로우 텅스텐 1 급 표준
WO_3 함량 (wt%)	≥ 99.95
불순물 (wt %, 최대)	$Fe \leq 0.0010$, $W \leq 0.0020$, $Si \leq 0.0010$, $Al \leq 0.0005$, $Ca \leq 0.0010$, $Mg \leq 0.0005$, $K \leq 0.0010$, $Na \leq 0.0010$, $S \leq 0.0005$, $P \leq 0.0005$
수분 (wt%)	≤ 0.05
입자 크기	1-10 (μm , FSSS)
느슨한 밀도	2.0-2.5 (g/cm^3)
사용자화	입자 크기 또는 불순물 한계는 고객 요구 사항에 따라 사용자 정의할 수 있습니다.

4. 삼산화 텅스텐 포장 및 보증

포장: 안 밀봉된 비닐 봉투, 외부 철 드럼 또는 길썬된 부대, 순중량 50kg 또는 100kg의 방습 디자인.

보증: 각 배치에는 WO_3 함량, 불순물 분석, 입자 크기(FSSS 방법), 느슨한 밀도 및 수분 데이터를 포함한 품질 인증서가 함께 제공됩니다.

5. 삼산화 텅스텐 조달 정보

사서함: sales@chinatungsten.com 전화: +86 592 5129696

텅스텐 옐로우에 대한 자세한 내용은 Chinatungsten 온라인 웹 사이트를 방문하십시오 www.tungsten-powder.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



2 장 : 화학적 및 물리적 특성

2.1 황색 텅스텐 산화물 (삼산화 텅스텐, WO_3)의 화학 성분 및 분자식 (WO_3).

황색 텅스텐 산화물 (텅스텐 삼산화물, WO_3 로 약칭)은 텅스텐 (W)과 산소 (O)의 두 원소로 구성된 무기 화합물이며, 화학식 WO_3 는 텅스텐이 자연 조건에서 달성 할 수 있는 가장 높은 산화 상태 인 +6 산화 상태에 있음을 나타냅니다. 각 WO_3 분자는 1 개의 텅스텐 원자와 3 개의 산소 원자를 포함하며 총 몰 질량은 $231.84g / mol$ 이며, 그 중 텅스텐의 질량 분율은 약 79.31 % ($183.84g / mol$)이고 산소의 질량 분율은 약 20.69 % ($48g / mol$)입니다. 이 비율은 고온에서 텅스텐 금속으로 환원 된 WO_3 샘플의 계량과 같은 고전적인 중량 측정 방법 또는 유도 결합 플라즈마 방출 분광법 (ICP-AES)과 같은 최신 기기를 사용하여 원소 함량을 직접 분석함으로써 정확하게 결정할 수 있습니다. 산업 등급 WO_3 의 순도는 일반적으로 99.5 % 이상이어야 하며, 고순도 샘플 (예 : 반도체 또는 광촉매 연구)의 경우 99.9 % -99.99 %에 도달 할 수 있으며 일반적인 불순물에는 철 ($Fe < 0.005 \%$), 몰리브덴 ($Mo < 0.003 \%$), 나트륨 ($Na < 0.001 \%$) 등이 포함되며 이러한 미량 원소의 제어는 특정 응용 분야에 중요합니다.

WO_3 의 화학적 조성은 분자 구조와 밀접한 관련이 있습니다. 단사정 결정 시스템 (가장

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

일반적인 결정상)에서 WO의 기본 빌딩 블록은 텅스텐 산소 팔면체 (WO_6)이며, 각 텅스텐 원자는 6 개의 산소 원자에 의해 배위되고 산소 원자는 같은 각도 또는 같은 측면 연결로 연결되어 3 차원 네트워크 구조를 형성합니다. 이러한 구조의 약간의 왜곡은 다른 결정 축 ($n_a \approx 2.2$, $n_b \approx 2.3$)의 굴절률 차이와 같은 다른 방향으로 WO_3 의 이방성 광학 및 전기적 특성을 초래합니다. W-O 결합은 부분적으로 공유 결합이며 결합 길이는 산소 원자 (말단 산소 또는 브리지 산소)의 배위 환경에 따라 1.8-2.1 Å 범위입니다. X 선 광전자 분광법 (XPS) 분석에 의해 W 4f의 결합 에너지는 약 35.5-36.0 eV 이고 O 1 s의 결합 에너지는 약 530.5 eV로 W-O 결합의 전자 구름 밀도가 높고 평균 결합 에너지가 약 672 kJ / mol 임을 나타냅니다. 이 높은 결합은 WO_3 에 강한 화학적 안정성을 제공하여 산성 또는 중성 환경에서 분해 가능성이 적지만 강한 알칼리성 조건에서는 화학적으로 변형됩니다.

WO_3 의 화학 성분은 그 응용에 지대한 영향을 미칩니다. 촉매 분야에서, 텅스텐의 +6 산화 상태는 강력한 산화 능력을 제공하며, 예를 들어, 광촉매 반응에서 WO는 전자 수용체로 작용하여 물 분자의 산화를 촉진하여 산소를 생성합니다. 배터리 재료 중 WO_3 의 안정적인 구조는 최대 693mAh/g의 이론적 용량으로 리튬 이온(Li^+)의 반복적인 삽입 및 방출을 지원합니다. 또한, WO의 화학적 조성은 텅스텐-산소 단위의 기본 틀을 유지하는 WO를 형성하기 위해 암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT)의 열 분해와 같은 전구체와의 관계를 결정합니다. 이 섹션에서는 WO_3 의 화학적 조성 및 분자식을 자세히 설명함으로써 물리적 및 화학적 특성의 후속 분석에 대한 이론적 기초를 제공합니다.

2.2 황색 텅스텐 산화물 (텅스텐 삼산화물, 줄여서 WO_3) (황색 분말)의 물리적 형태 및 모양.

황색 텅스텐 산화물은 실온 및 압력에서 고체 형태로 존재하며, 일반적으로 미세 입자 또는 분말 물질로 존재하며, 그 외관은 밝은 노란색에서 주황색 - 노란색입니다. 이 색상은 전자 구조의 밴드 갭 (에너지 밴드 갭은 약 2.6-2.8 eV)에서 비롯되며, 이는 400-480 nm에서 흡수 스펙트럼의 가시 범위에 해당하여 자연광에서 독특한 노란색 특성을 부여합니다. 자외선 가시 분광법 (UV-Vis) 분석에 의해, WO의 흡수 피크는 일반적으로 약 450 nm에 위치하며 색 강도는 입자 크기 및 표면 결합과 밀접한 관련이 있습니다. 예를 들어, 나노 스케일 WO_3 (입자 크기 < 50 nm)는 양자 크기 효과로 인해 약간 주황색일 수 있지만 마이크로 스케일 WO_3 (입자 크기 5-10 μm)는 순수한 노란색에 가깝습니다.

WO_3 의 물리적 형태는 그것이 준비되는 과정과 밀접한 관련이 있습니다. 500-700 ° C에서 암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT)을 붓고 분해하여 제조된 WO는 일반적으로 입자 크기 분포 (D50)가 4-10 μm 인 마이크론 크기의 입자이며 현미경 아래에서 매끄러운 표면을 가진 불규칙한 다각형 모양으로 나타납니다. 이 형태의 WO는 텅스텐 분말 생산 또는 세라믹 첨가제에 적합합니다. 대조적으로, 열수 또는 용매 열 방법으로 제조된 WO는 20-50 nm 범위의 입자 크기와 구형, 막대 또는 시트를 포함한 다양한 형태를 가진 나노 입자를 형성할 수 있으며, 표면 거칠기가 증가하고 비 표면적이 최대 30-50 m^2 / g입니다. 또한, 분무 건조 방법 (입구 온도 200 ° C, 출구 80 ° C)은 입자 크기 균일성이 20 % 증가하고 D50이 약 4-5 μm 인 구형 WO_3 미분화 분말을 생산하며, 이는 박막 증착 또는 촉매 지지체에 일반적으로 사용됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WO₃의 색상과 형태는 특정 조건에서 변경 될 수 있습니다. 수소 환원 또는 자외선 조사시 WO₃는 전기 변색 특성의 기초가 되는 산소 결함(WO_{3-x}, x < 0.1)의 형성으로 인해 파란색 또는 녹색으로 변합니다. 예를 들어, -1.0V의 전압이 전기 화학 시스템에 적용되면 WO를 H⁺ 또는 Li⁺에 내장하여 H_xWO₃ 또는 Li_xWO₃를 형성하여 노란색에서 진한 파란색으로 색상을 변경할 수 있으며, 이 과정은 10-20 초 내에 완료할 수 있으며 90% 이상 되돌릴 수 있습니다. 주사 전자 현미경 (SEM)에 의해 관찰된 결과, 청색 WO의 표면 결함 밀도가 증가하고 결정립 경계가 더 뚜렷했습니다. 또한, 고온 로스팅 (>900 ° C)은 WO의 부분 승화를 일으켜 약간 흐릿한 외관의 미세 에어로졸 입자를 형성 할 수 있습니다.

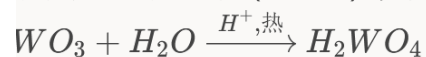
물리적 형태와 외관은 WO₃의 적용에 직접적인 영향을 미칩니다. 마이크론 규모의 WO₃ 분말은 입자 크기가 크고 유동성이 좋기 때문에 산업용 텅스텐 분말 환원 또는 안료 제조에 적합합니다. 높은 비 표면적과 풍부한 활성 부위로 인해 나노 스케일 WO는 광촉매 (예 : 메틸렌 블루 분해, >90 % 효율) 및 가스 센서 (NO₂ 검출, 감도 10ppb)에 더 적합합니다. 이 섹션에서는 WO₃의 물리적 및 외관적 변화를 자세히 설명하고 형태학적 다양성과 다양한 분야에서의 적용 가능성을 밝힙니다.

2.3 황색 텅스텐 산화물 (텅스텐 트리옥사이드, WO₃)의 용해도 및 화학적 안정성.

황색 텅스텐 산화물 (텅스텐 트리옥사이드, WO₃로 약칭)은 물, 산 및 알칼리에서 거동합니다.

황색 텅스텐 산화물의 용해도는 매우 낮고 순수한 물에서 실온에서 0.02g / 100mL (약 0.0009 mol / L, 25 ° C) 미만이며 60 ° C에서 0.03 g / 100 mL로 약간 상승합니다. 이 낮은 용해도는 안정적인 격자 구조와 높은 W-O 결합 에너지 (672 kJ / mol)로 인해 WO₃가 중성 수용액 (pH 6-7)에서 사실상 용해되거나 분해 될 수 있습니다. 용해도 생성물(Ksp)은 용해도 실험에 의해 결정된 바와 같이 약 10⁻¹²이며, 이는 물에서의 용해 역학이 매우 느리다는 것을 나타냅니다. pH 4-5의 아세트산 완충액과 같은 약산성 용액에서 WO₃는 24 시간 동안 0.1 % 미만의 질량 손실로 안정적입니다.

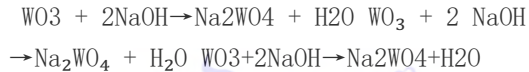
강산성 조건에서는 WO₃의 거동이 변합니다. 진한 질산 (HNO₃, 65 %) 또는 진한 염산 (HCl, 37 %)에서 WO는 천천히 반응하여 텅스텐 산 (H₂WO₄)을 생성 할 수 있습니다 : WO₃ + H₂O → H⁺, 뜨거운 H₂WO₄ WO₃ + H₂O ⇌ {H⁺, 뜨거운} H₂WO₄ WO₃ + H₂OH + 뜨거운



이 과정은 일반적으로 몇 시간 동안 80-100 ° C로 가열되며, 예를 들어 1 mol / L HNO₃에서 WO의 용해 속도는 약 0.01 g / h · cm²입니다. 산에 대한 이러한 내성은 석유 탈황과 같은 산성 촉매 환경에서 우수합니다. 그러나 50% 이상의 황산(H₂SO₄) 농도에서는 미량의 용해성 황산텅스텐 복합체(예: [WO₂(SO₄)₂]²⁻)가 형성될 수 있지만 용해량은 여전히 0.5g/L 미만입니다.

알칼리성 환경에서는 WO₃의 화학적 안정성이 현저히 감소합니다. 강염기 (예 : NaOH, KOH)와 빠르게 반응하여 용해성 텅스텐 산염을 생성합니다.

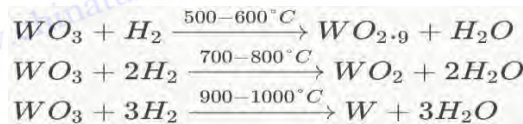
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



1 mol / L NaOH 용액에서 WO₃의 용해 속도는 실온에서 0.1 g / min · cm²에 도달 할 수 있으며 80 ° C로 가열하면 반응이 거의 즉각적이며 용액은 명확하고 투명합니다. 자외선 분광법에 의해 Na₂WO₄의 특성 흡수 피크는 210-230 nm에서 나타납니다. 이 알칼리성 용해도로 인해 WO₃는 텅스텐 산염의 산업 생산을 위한 원료로 사용될 수 있지만, 보관 또는 적용 중, 예를 들어 pH > 10의 환경에서 WO₃ 분말의 표면이 몇 시간 내에 크게 침식 될 수 있습니다.

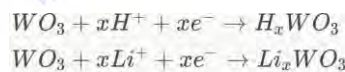
황색 텅스텐 산화물 (텅스텐 트리옥사이드, WO₃)의 산화 환원 특성.

WO₃는 텅스텐의 +6 산화 상태가 화학적으로 또는 전기화학적으로 더 낮은 상태(예: +5, +4)로 환원될 수 있기 때문에 상당한 산화 환원 특성을 가지고 있습니다. 수소 분위기에서 WO₃는 단계적으로 감소 될 수 있습니다 : WO₃ + H₂ → 500-600 ° C WO_{2.9} + H₂O



환원 과정에서 WO₃의 색상은 노란색에서 청자색(WO_{2.9})으로 변합니다. 9), 갈색-검정색(WO₂), 마지막으로 금속 텅스텐 분말을 형성합니다. 열중량 분석(TG)에 의해, WO_{2.9} 산소 손실은 약 3%-5%이며, 이는 산소 결합의 형성에 해당합니다. 이 단계적 환원 특성은 예를 들어 950 ° C에서 1 L / min의 유속으로 WO₃를 가진 텅스텐 분말을 제조하기 위한 산업 기초이며, WO는 2 시간 내에 2-3 μm의 입자 크기를 가진 텅스텐 분말로 완전히 변환됩니다.

WO₃의 전기 화학적 환원 능력은 광전자 응용 분야에서 특히 중요합니다. 전기 변색 시스템에서 WO₃는 음의 전압 (예 : -1.0 V 대 Ag / AgCl)을 적용하여 양이온에 내장되어 착색 상태를 형성 할 수 있습니다.



H_xWO₃ 또는 Li_xWO₃의 색상은 진한 파란색이고 투과율은 80%에서 10% 미만으로 떨어지며 응답 시간은 약 10-15 초입니다. 산화 환원 전위는 순환 전압주사법(CV)에 의해 결정되는 -0.2V에서 +0.8V 사이이며 5000 사이클 이상의 사이클링 안정성이 있습니다. 이러한 가역성으로 인해 WO₃는 스마트 윈도우 및 디스플레이에 이상적인 소재입니다. 또한, 광촉매에서 WO₃는 전자 수용체로 작용할 수 있으며, TiO₂와 결합 한 후 광생성 전자 전달 효율이 30 % 증가하여 수소 생산 효율을 크게 향상시킵니다.

이 섹션에서는 물, 산 및 알칼리에서 WO₃의 용해 거동 및 산화 환원 특성을 설명하고 촉매, 에너지 및 기타 분야에서의 응용을 위한 기초를 제공하는 화학적 안정성 및 반응성을 밝힙니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.4 황색 텅스텐 산화물 (텅스텐 트리옥사이드, WO_3)의 밀도, 융점 및 끓는점.

황색 텅스텐 산화물의 밀도는 결정상 및 준비 조건에 따라 다릅니다. 단사정 상 WO_3 는 이론적 밀도가 7.16 g/cm^3 이며 X선 밀도 측정법(격자 매개변수 $a = 7.306 \text{ \AA}$, $b = 7.540 \text{ \AA}$, $c = 7.692 \text{ \AA}$ 계산에 기반)에 의해 결정됩니다. 육각형 WO_3 는 느슨한 결정 구조 ($a = 7.298 \text{ \AA}$, $c = 3.899 \text{ \AA}$)로 인해 약 $6.8\text{--}7.0 \text{ g/cm}^3$ 의 밀도가 약간 낮습니다. 나노 스케일 WO_3 의 높은 다공성으로 인해 겉보기 밀도는 $5.0\text{--}6.0 \text{ g/cm}^3$ 로 떨어질 수 있으며, 예를 들어 열수 법으로 합성된 WO_3 의 나노 입자는 부피 밀도가 4.8 g/cm^3 에 불과합니다. 밀도 차이는 결정 구조의 조밀함과 직접적인 관련이 있으며, 단사정상의 꼬인 팔면체 배열은 더 조밀하게 만드는 반면 육각상의 채널 구조는 공극을 증가시킵니다.

WO_3 의 융점은 일반적으로 1473°C (1700K)로 보고되지만 실제 열 거동은 더 복잡합니다. 약 $1200\text{--}1300^\circ \text{C}$ 에서 WO_3 는 승화되기 시작하여 직접 녹는 대신 기체 WO_3 또는 올리고머 (예: W_3O , W_6O_{18})를 형성합니다. 승화 속도는 대기의 영향을 받으며 산소(분압 0.2 기압), 승화 온도는 약 1350°C , 질량 손실률은 약 $0.05 \text{ g/min} \cdot \text{cm}^2$ 입니다. 진공(10^{-3} Pa) 또는 불활성 대기(예: Ar)에서는 승화가 가속화되고 온도가 1250°C 로 낮아집니다. 시차 열 분석(DTA)에 의해 승화 엔탈피는 약 $350\text{--}400 \text{ kJ/mol}$ 입니다. WO_3 의 끓는점은 고온에서 분해되거나 휘발되기 때문에 정확하게 결정하기 어렵고 1700°C (약 1973 K)의 승화점은 종종 문헌에서 참조 값으로 사용됩니다.

이러한 열물리학적 특성은 WO_3 응용 분야에 중요합니다. 세라믹 소결 ($1000\text{--}1200^\circ \text{C}$)에서 WO_3 는 첨가제로 안정적입니다. 더 높은 온도 (예: 1500°C)에서 텅스텐 분말을 환원할 때, 승화 특성은 대기 제어에 의해 억제되어야 합니다. 예를 들어, $H_2\text{--}O_2$ 혼합물에서 WO_3 의 휘발 손실은 50%까지 감소될 수 있습니다. 이 섹션에서는 WO_3 의 고온 처리 및 응용을 지원하기 위한 데이터를 제공하여 밀도, 융점 및 승화 거동을 자세히 설명합니다.

2.5 황색 텅스텐 산화물 (삼산화 텅스텐, WO_3)의 열역학 데이터 (엔탈피, 엔트로피, 비열 용량).

황색 텅스텐 산화물의 열역학 데이터는 열 안정성 및 가공 거동을 이해하는 열쇠입니다. 형성의 표준 엔탈피 (ΔH_f°)는 -842.9 kJ/mol (298 K , 1 atm)이며, 이는 형성 과정이 산소의 강한 친화력과 관련된 발열 반응임을 나타냅니다. 표준 엔트로피 (S°)는 $75.9 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$, 단사정 상 결정 구조의 낮은 차수를 반영하여 엔트로피 값은 팔면체 왜곡(예: $S^\circ \approx 70 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$). Gibbs 자유 에너지(ΔG_f°)는 -764.1 kJ/mol 이며 음수 값은 실온에서 열역학적 안정성을 확인합니다. 열역학적 계산에 따르면 WO_3 는 1000K 미만에서는 자연 분해가 쉽지 않지만 1500K 이상에서는 승화 반응의 $\Delta G(WO_3(s) \rightarrow WO_3(g))$ 가 양수가 되어 외부 에너지에 의해 구동됩니다.

WO_3 의 비열 용량(C_p)은 온도에 따라 달라지며 $0.31 \text{ J/(g} \cdot \text{K)}$ 또는 $71.9 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ 로 증가하며, 이는 $0.35 \text{ J/(g} \cdot \text{K)}$, 약 $0.40 \text{ J/(g} \cdot \text{K)}$ 이다. 이러한 데이터는 5% 미만의 오차로 시차 주사 열량계(DSC)로 측정되었으며, 이는 WO_3 가 고온에서 낮은 열용량을 유지함을 나타냅니다. 예를 들어, 800°C (1073K)에서 로스팅 과정에서 1kg 의 WO_3 는 약 400 kJ 의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

가열 열을 가지며 이는 열 관리 설계에 적합합니다. WO_3 는 298K에서 $1.6-2.0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 의 낮은 열전도율을 가지며 1000 K에서 약 $2.5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 로 온도에 따라 약간 증가합니다. 이 낮은 열전도율은 격자 진동의 제한된 전달에서 비롯되며, 이는 열 손실을 최대 15%까지 줄이는 고온 용광로 라이닝 첨가제와 같은 단열재에 잠재적으로 적용될 수 있습니다.

열역학 데이터는 또한 에너지 부분의 WO_3 응용 프로그램 분석을 지원합니다. 리튬 배터리에서 WO_3 의 엔탈피 변화($\Delta H \approx -50 \text{ kJ/mol Li}^+$)는 Li^+ 에 내장된 공정이 발열성임을 나타내며 과열을 방지하기 위해 열 관리를 고려해야 합니다. 광촉매에서 낮은 엔트로피 값은 표면 활성 부위의 안정성을 유지하는 데 도움이 됩니다. 이 섹션에서는 WO_3 의 열적 거동과 그 응용적 의미를 엔탈피, 엔트로피 및 비열 용량을 정량화하여 보여줍니다.

2.6 황색 텅스텐 산화물 (tungsten trioxide, WO_3)과 다른 형태의 텅스텐 산화물의 비교
텅스텐의 산화물 계열에는 WO_3 , WO_2 및 $WO_{2.9}$, $WO_{2.72}$ 와 같은 중간 산화물이 포함되며, 이는 화학적 조성, 구조, 물리적 특성 및 응용이 크게 다릅니다. WO_3 는 황색, 텅스텐은 +6 산화 상태, 단사정상 구조($a = 7.306 \text{ \AA}$, $b = 7.540 \text{ \AA}$, $c = 7.692 \text{ \AA}$, β)입니다. = 90.91°)의 밀도와 7.16 g/cm^3 의 에너지 밴드 갭 $2.6-2.8 \text{ eV}$. 결정 격자는 WO_6 팔면체로 구성되어 있으며 광학 투명도 (광 투과율 $>80\%$)와 전기 변색 특성 (가역적 색 변화)을 나타냅니다. WO_2 는 갈색을 띤 검정색이고, 텅스텐은 +4 산화 상태이며, 정방형 구조 ($a = 4.86 \text{ \AA}$, $c = 5.66 \text{ \AA}$), 10.8 g/cm^3 의 밀도, 약 1.3 eV 의 에너지 밴드 갭을 가지며 구조의 산소 결함 수가 적기 때문에 높은 전기 전도성 (저항 $\approx 10^{-3} \Omega \text{ cm}$)을 나타냅니다.

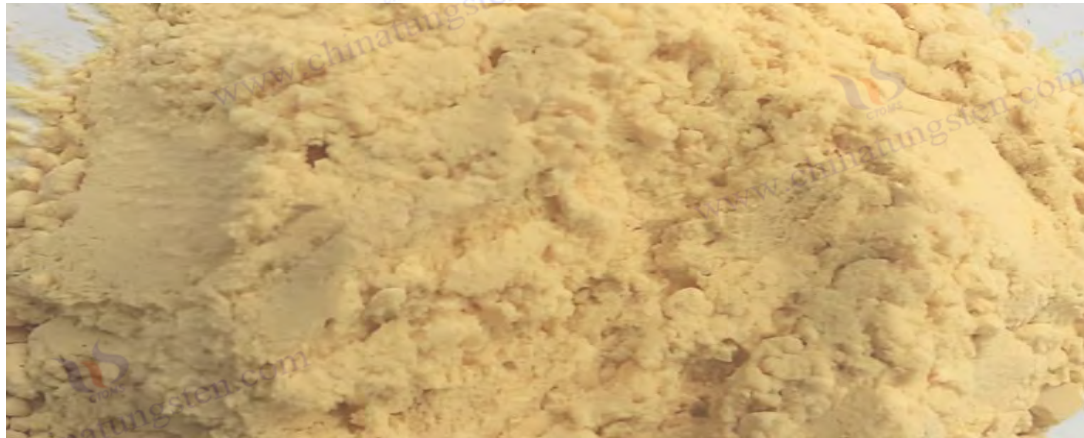
$WO_{2.9}$ (텅스텐 산화 상태 +5.8)와 같은 산화물은 청자색이며 WO_3 와 WO_2 사이의 구조, 단사정 상 또는 비정질 형태 및 높은 비 표면적 ($20-30 \text{ m}^2/\text{g}$)을 가지고 있습니다. $WO_{2.72}$ (+5.44 산화 상태)는 색이 더 어둡고 구조가 WO_2 에 더 가깝지만 여전히 WO_3 의 일부 특성을 유지합니다. X선 회절(XRD)에 의해, WO_2 의 주요 회절 피크는 $2\theta = 23.1^\circ$, WO_2 는 $2\theta = 37.8^\circ$, WO_3 는 $2\theta = 23.6^\circ$ 및 24.4° 이며, 이는 격자 매개변수의 차이를 반영합니다. WO 는 WO_2 및 산화물보다 화학적으로 더 안정적이며 $1 \text{ mol/L H}_2\text{SO}_4$ 와 같은 산성 용액에서 WO_3 는 WO_2 의 1/10에서만 용해됩니다. 열 안정성 측면에서 WO 는 1200°C 이전에는 안정하고, WO 는 600°C 이상에서 WO 로 쉽게 산화되며, WO 는 $400-500^\circ \text{C}$ 에서 분해를 시작합니다.

응용 분야 측면에서 WO_3 는 넓은 에너지 밴드 갭 및 산화 환원 특성으로 인해 광촉매 (수소 생산 효율 $0.8 \text{ mmol/h} \cdot \text{g}$), 전기 변색 (지능형 창 투과율 조정) 및 배터리 (용량 $600-750 \text{ mAh/g}$)에 널리 사용됩니다. WO_2 는 높은 전도성으로 인해 전극 재료 또는 텅스텐 분말 전구체에 더 적합하며, 예를 들어 최대 100 mA/cm^2 의 전류 밀도를 달성 할 수 있는 전기 화학적 환원에서 사용할 수 있습니다. $WO_{2.9}$ 및 $WO_{2.72}$ 높은 비표면적(예: CO 산화 반응)으로 인해 촉매에서 탁월한 성능을 발휘하며, 여기서 전환율은 WO_3 보다 20% 높습니다. WO_3 의 특성과 다른 형태의 텅스텐 산화물의 차이를 비교함으로써, 이 섹션에서는 고유 한 이점과 응용 프로그램 포지셔닝을 강조합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

참조

- Lassner, E., & Schubert, W.-D. (1999). 텅스텐 : 특성, 화학, 기술. 스프링거.
- 장 치원. (2010). 텅스텐 화학 및 기술. 야금 산업 프레스.
- Pope, M. T., & Müller, A. (1994). 폴리옥소메탈레이트. 스프링거.
- 리우 양. (2020). 암모늄 메타 텅스텐 산업의 열분해 거동 및 생성물 분석. 무기 화학 저널.
- 텅, SK (2008). 전기 변색 응용을 위한 WO_3 의 과학 및 기술의 기회와 도전. 태양 에너지 재료 및 태양 전지.
- Wang, J., 외. (2015). 에너지 저장을 위한 삼산화 텅스텐 나노 구조. 재료 화학 저널 A.
- Kudo, T., 외. (1999). 텅스텐 산화막의 전기 변색 특성. 솔리드 스테이트 이온ICS.
- 리밍. (2021). WO_3 나노 입자의 제조에 암모늄 메타 텅스텐 산업의 적용. 재료 보고서.
- CRC 화학 및 물리학 핸드북(2023). 104 차 개정판.
- Sigma-Aldrich WO_3 제품 사양(2023).
- 장, Y., 외. (2023). 에너지 응용 분야에서 WO_3 의 열역학적 특성. 물리 화학 저널 C.
- 국제 텅스텐 산업 협회 (ITIA). (2023). 글로벌 텅스텐 산업 전망 2030.



3 장: 결정 구조 및 위상

3.1 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 단사정 구조 (가장 일반적인 단계).

격자 매개 변수 및 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 공간 그룹.

실온 및 압력에서 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 가장 일반적인 결정상은 단사정 결정 시스템이며, 이는 안정성으로 인해 천연 광물, 산업 제품 및 실험실 합성 샘플에서 널리 발견됩니다. 단사정 상 WO_3 의 결정 구조는 텅스텐 산소 팔면체 (WO_6)로 구성되며, 각 텅스텐 원자는 팔면체의 중심에 위치하며 6 개의 산소 원자에 의해 배위되며, 이는 공각형 (W-O-W) 또는 공통면으로 연결되어 3 차원 네트워크를 형성합니다. 이 구조는 팔면체의 약간의 왜곡을 특징으로 하며, 그 결과 격자가 다른 방향으로 이방성이 됩니다. 단사정 단계의 공간 그룹은 $P2_1/n$ (국제 번호 14)이고 단사정 결정 시스템에 속하는 점 그룹 $2/m$ 는 중앙 대칭입니다. 격자 매개변수는 고해상도 X 선 회절(XRD)에 의해 결정되며 일반적으로 $a = 7.306 \text{ \AA}$, $b = 7.540 \text{ \AA}$, $c = 7.692 \text{ \AA}$ 및 축 각도 $\beta = 90.91^\circ$ 입니다. 이러한 매개변수는 예를 들어 25° C 에서 a 축은 $7.301\text{--}7.310\text{\AA}$, b 축은 $7.535\text{--}7.545\text{\AA}$, c 축은 $7.688\text{--}7.696\text{\AA}$, β 각은 $90.88^\circ\text{--}90.93^\circ$ 사이에서 다양하며, 이러한 차이는 주로 샘플의 온도, 압력 또는 미량 불순물의 영향으로 인해 발생합니다.

단사정 단계의 단위 세포에는 약 $423.5 \text{ \AA}^3$ 의 단위 세포 부피와 7.16 g/cm^3 의 계산된 밀도를 가진 8 개의 WO_3 분자가 포함되어 있으며, 이는 실험적으로 측정된 겉보기 밀도($7.14\text{--}7.18 \text{ g/cm}^3$)와 매우 일치합니다. 결정에서 W-O 결합의 길이는 배위 환경에 따라 다르며, 약 $1.82\text{--}1.85 \text{ \AA}$ 의 짧은 말단 산소 결합 (W = O)과 약 $2.03\text{--}2.10 \text{ \AA}$ 의 긴 브리징 산소 결합 (W-O-W)으로, 이 결합 길이 차이는 중성자 회절 및 확장 된 X 선 흡수 미세 구조 (EXAFS) 분석에 의해 확인되었다. 결합 길이의 불균일성은 팔면체의 왜곡을 초래하여 단사정 상 WO_3 가 굴절률이 a 축 방향으로 약 2.20, b 축 방향으로 약 2.25, c 축 방향으로 2.30 인 것과 같은 광학적 특성에서 편광 효과를 나타냅니다. 또한, 밴드 갭 ($2.6\text{--}2.8 \text{ eV}$)은 이상적인 대칭 구조(예: 입방체상)보다 약간 낮으며, 이는 격자 왜곡으로 인한 상태의 전자 밀도 변화와 관련이 있습니다.

단사정 상의 안정성은 실온에서 약 350° C 까지 일정하게 유지되는 WO_3 의 "기본"구조가 됩니다. 예를 들어, $500\text{--}600^\circ \text{ C}$ 에서 암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT)을 로스팅하여 제조된 WO_3 는 일반적으로 $4\text{--}10 \text{ \mu m}$ 사이의 입자 크기로 냉각 한 후 단사정 상에 존재합니다. 이 구조의 안정성은 낮은 Gibbs 자유 에너지 ($\Delta G_f^\circ = -764.1 \text{ kJ/mol}$)에서 비롯되며, 이는 전기 변색, 광촉매와 같은 다양한 응용 분야에서 이점을 제공합니다. 푸리에 변환 적외선 분광법 (FTIR)에 의해, 단사정 상 WO_3 의 W-O 스트레칭 진동 피크가 $700\text{--}950 \text{ cm}^{-1}$ 에서 나타나 구조적 특성을 더욱 검증했다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 X 선 회절 (XRD) 특성.

단사정 상 WO_3 의 결정 구조는 X 선 회절 (XRD)에 의해 정확하게 특징 지어지며 상 상태를 확인하는 주요 수단입니다. 표준 실험 조건하에서, $\text{Cu K}\alpha$ 방사선 (파장 $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$)을 사용하는 단사정 상 WO_3 의 XRD 스펙트럼은 몇 가지 특징적인 회절 피크를 보여주었으며, 가장 강한 3 세트의 피크는 각각 (002), (020) 및 (200) 결정면에

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

해당하는 $2\theta = 23.1^\circ$, 23.6° 및 24.4° 에서 나타나며, 상대 강도 비율은 약 1:0.9:0.8 입니다. 이러한 피크의 절반 최대 폭 (FWHM)은 일반적으로 0.2° 미만이며, 이는 약 0.15° 의 FWHM 으로 로스팅하여 제조 된 미크론 크기의 WO'와 같은 높은 결정도를 나타내는 반면, 열수 방법으로 제조 된 나노 스케일 WO 의 (입자 크기 20-30 nm)는 0.25° 로 약간 증가하여 입자 크기의 감소를 반영하여 피크 확장이 발생합니다.

두 번째로 강한 피크는 $2\theta = 33.3^\circ$ ((202) 평면), 34.2° ((220) 평면) 및 47.3° ((222) 평면)에서 발생하며, 이는 주 피크보다 30%-50% 덜 강하지만 높은 결정성 샘플에서 명확하게 식별할 수 있습니다. Bragg 방정식 ($n\lambda = 2d \sin \theta$)은 (002) 평면의 경우 평면 간격 $d \approx 3.85 \text{ \AA}$, (020) 평면의 경우 $\approx 3.77 \text{ \AA}$, (200) 평면의 경우 $\approx 3.65 \text{ \AA}$ 임을 보여주며, 이는 격자 매개 변수와 일치합니다. Scherrer 방정식 ($D = K\lambda / \beta \cos \theta$, $K = 0.9$)은 $2\theta = 23.6^\circ$ 피크에 대한 $\beta = 0.15^\circ$ 와 같은 입자 크기를 추정하고 투과 전자 현미경(TEM) 결과와 일치하는 약 50nm 의 입자 크기를 계산합니다.

XRD 패턴은 단사정 단계의 미세한 변화를 반영할 수도 있습니다. 열처리(300-400° C) 동안 (002) 피크는 열팽창(팽창 계수 약 1.2×10^{-5})의 영향으로 인해 격자 매개변수 A 및 C의 증가로 인해 약 0.1° 의 오프셋으로 23.0° 로 낮은 각도로 이동할 수 있습니다. K^{-1}). 샘플에 미량의 불순물(예: < 0.5% 농도의 Na^+ 또는 Fe^{3+})이 포함된 경우 회절 피크가 넓어지거나 약간 이동될 수 있습니다(예: (200) 피크가 24.5° 로 이동하고 강도가 10%-15% 감소하여 격자 응력 또는 결함이 있음을 나타냅니다). 또한 단사정 상의 원자 점유율(4e 에서 W, 4e 및 8f 에서 O)은 Rietveld 정제 해석에 의해 0.01 로 정확하여 구조적 무결성을 더욱 검증했습니다. 이 섹션에서는 단사정 WO_3 의 구조적 특성과 다양한 조건에서의 안정성을 밝히기 위해 격자 매개변수 및 XRD 기능에 대한 자세한 설명을 제공합니다.

3.2 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 다른 결정성 상 (육각형, 정방형, 입방체).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 상 전이 조건 및 온도의 의존성.

WO의 결정 구조는 단사정 상에 국한되지 않고 육각형, 정방형 및 입방체상을 포함하며, 그 형성은 온도, 대기, 압력 및 준비 조건과 밀접한 관련이 있으며 상당한 열역학적 및 운동 특성을 갖는다. 육각형 상 WO_3 (공간 그룹 P6 / mmm, no. 191)는 350-500 ° C 범위에서 안정적이며, 격자 매개 변수는 $a = 7.298 \text{ \AA}$, $c = 3.899 \text{ \AA}$ 및 약 $179.8 \text{ \AA}^3$ 의 단위 셀 부피, 이론적 밀도는 $6.87\text{-}6.90 \text{ g / cm}^3$ 입니다. 육각상은 구조적으로 c 축을 따라 열린 육각형 채널의 형성을 특징으로 하며, 각각은 약 $3.5 \text{ \AA}$ 의 직경을 가지며 이온(예: Li^+ , NH_4^+ , H^+) 삽입에 적합합니다. 이 구조는 종종 불활성 분위기 (예 : 0.5-1 L / min의 유속으로 N_2 또는 Ar)에서 암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT)을 분해하여 준비됩니다 (예 : 450 ° C에서 4 시간 동안, 육각형 상 함량은 최대 95 %). XRD 패턴은 $2\theta = 13.9^\circ$ ((100) 평면), 22.8° ((110) 평면) 및 28.2° ((200) 평면)에서 특징적인 피크를 보여주며, 입자 크기는 일반적으로 30-100nm 범위이고 비표면적은 약 $20\text{-}30 \text{ m}^2 / \text{g}$ 입니다.

정방계 위상 WO_3 (공간 그룹 P4/nmm, no. 129)는 $a = 5.272 \text{ \AA}$, $c = 3.917 \text{ \AA}$ 의 격자 매개 변수 및 약 $108.9 \text{ \AA}^3$ 의 단위 셀 부피와 $7.20\text{-}7.25 \text{ g / cm}^3$ 의 밀도로 더 높은 온도 (740-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

900 ° C)에서 형성됩니다. 그 구조는 더 좁은 통로 (직경 약 2.8 Å)를 형성하기 위해 c 축을 따라 배열 된 정다의 WO₆ 팔면체로 구성되며, 이온 확산 용량은 육각형상보다 낮습니다. 정방계의 XRD 특성 피크는 2θ = 22.8° ((110) 평면), 32.5° ((200) 평면) 및 46.7° ((220) 평면)이며 날카로운 피크 모양과 FWHM 은 약 0.1° -0.15° 입니다. 정계는 일반적으로 산화 분위기 (예 : 0.2-1 atm의 분압을 가진 공기 또는 O₂)에서 고온에서 단사정 상의 전환에 의해 형성되며, 예를 들어 800 ° C에서 2 시간 동안 단사정 상은 90 % -95 %의 전환율과 약 15-20 kJ / mol의 전환 엔탈피로 정방계로 완전히 전환 될 수 있습니다 (시차 주사 열량계 DSC에 의해 결정).

입방상 WO₃(공간군 Pm-3m, no. 221)는 자연 조건에서 매우 불안정하며 >900° C 또는 고압 10-20 GPa와 같은 극한 조건에서만 잠깐 동안 발생합니다. 격자 매개 변수는 ≈ 3.81 Å이고 단위 셀 부피는 약 55.3 Å³이며 밀도는 거의 7.30 g / cm³입니다. 입방체상은 뚜렷한 채널 구조가 없는 매우 대칭적인 WO₆ 팔면체로 구성되며, XRD 패턴은 2θ = 23.5° ((100) 평면) 및 매우 낮은 강도의 다른 피크(예: 33.3° (110) 평면)에서 단일 강한 피크를 보여줍니다. 높은 대칭성으로 인해 입방상은 약간 더 높은 에너지 밴드 갭(약 2.9eV)을 갖지만 열역학적 불안정성으로 인해 일반적으로 냉각 후 정방계 또는 단사정 상으로 빠르게 변합니다. 예를 들어, 950° C 진공에서 입방상은 5-10 분 이내에 형성될 수 있지만 700° C로 냉각된 후 사라집니다.

WO₃의 상전이 조건은 상당한 온도 의존성을 나타냅니다. 단사정 상은 <350° C에서 안정하고 400° C까지의 온도 상승에서 일부 입자(약 20%-30%)가 육각상으로 전환되고 변환 과정의 활성화 에너지는 약 50-60kJ/mol(Arrhenius 방정식으로 추정)입니다. 740° C 이상에서 육각상은 정방계로 더 변형되고 단위 셀 부피는 약 5% 감소하며 전환율은 격자 응력 완화로 800° C에서 약 0.1g/min • cm²입니다. 900° C 이상에서 정방계는 승화(속도 0.05-0.1g/min • cm²)하거나 잠시 입방상으로 바뀔 수 있지만 이 과정은 대기의 영향을 받습니다(예: 진공 상태(10⁻³ PA)에서 승화 속도는 50%-70% 증가하고 산소에서는 30% 느려집니다. 상전이의 역과정은 히스테리시스를 가지며, 예를 들어 정방계는 단사정상으로 되돌아가기 전에 600° C로 냉각되고 육각상은 약 100-150° C의 자연 온도로 300° C로 떨어져야 합니다. 이러한 온도 의존성은 싱크로트론 방사선 XRD 및 열중량 분석(TG)에 의해 검증되어 WO₃의 열처리 공정을 알리기 위해 검증되었습니다. 이 섹션에서는 다른 결정상의 구조 및 상전이 조건을 자세히 분석하여 WO₃의 구조적 다양성과 다양한 환경에서의 거동을 밝힙니다.

3.3 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 결합 구조 및 도핑 효과.

WO₃의 결정 구조에는 종종 산소 공극(V_O), 텅스텐 공극(V_W) 및 간질 이온을 포함한 다양한 결함이 포함되어 있으며, 이는 전기적, 광학 및 촉매 특성에 중대한 영향을 미칩니다. 산소 결핍은 가장 흔한 유형의 결함이며 환원 분위기(예: H₂ 또는 CO, 유량 0.5L/min, 500° C), 자외선 조사(파장 365nm, 강도 10mW/cm²) 또는 고온 진공(10⁻³ Pa, 700° C)에서 형성됩니다. 산소 결핍의 화학식은 WO_{3-x}(x = 0.01-0.1)로 표현할 수 있으며, 예를 들어 WO_{3-0.05}는 산소 원자 100 개 중 5 개가 누락되었음을 의미합니다. 산소 결핍은 텅스텐의 산화 상태를 감소시켜(+6 → +5 또는 +4) 아산화물 상태(예: WO₂.)를 초래합니다. g、WO_{2.72}))의 경우 색상이 노란색에서 파란색 또는 보라색으로 바뀝니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

전자 상자성 공명(EPR)에 의해 감지된 산소 공진의 g-값은 약 2.002 였으며 농도는 10^{17} - 10^{19} cm^{-3} 범위였으며 이는 치료 조건에 따라 다릅니다. 예를 들어, 최대 10^{18} cm^{-3} 의 산소 공극 농도는 600°C 에서 H_2 단위로 1 시간 후에 달성할 수 있습니다. 산소 공극은 전도성을 크게 향상시키고, 단사정 상 WO 의 저항률은 $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 에서 10^2 - $10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 로 감소하고, 광촉매 활성을 증가시킨다, 예를 들어, $\text{WO}_{3-0.05}$ 가시광선 ($0.9 \text{ mmol/h} \cdot \text{g}$)에서의 수소 생산은 순수한 WO_3 ($0.7 \text{ mmol/h} \cdot \text{g}$)보다 약 28% 더 높다.

텅스텐 공극 (V_W)은 드물며 일반적으로 강한 알칼리성 조건 (예 : NaOH 용액, $\text{pH} > 12$) 또는 고온 산화 (1000°C , O_2 대기)에서 형성되며 농도는 10^{16} cm^{-3} 미만입니다. 텅스텐 공극은 격자에서 국부 전하 불균형을 일으키고 p 형 전도도를 증가시키지 만 구조적 안정성에는 거의 영향을 미치지 않습니다. 틸트 이온(예: H^+ , Li^+)은 전기화학 또는 이온 포매 중에 도입됩니다. 예를 들어, 전기 변색에서 Li^+ 는 $\text{Li}^+ \text{WO}_3$ ($x = 0.1$ - 0.5)를 형성하기 위해 내장되고, 격자 매개 변수 a 는 $7.320 \text{ \AA}$ 로 증가하며, 부피는 약 1% -2% 증가합니다.

도핑 효과는 이물질을 도입함으로써 WO_3 의 구조와 특성을 더욱 조절한다. 일반적인 금속 도핑에는 Na^+ , Ti^{4+} , Mo^{6+} 등이 있습니다. Na^+ 도핑 (농도 0.1-1 mol %)은 용액 공동 침전에 의해 도입되어 단사 격자를 a 축에서 $7.315 \text{ \AA}$, c 축에서 $7.700 \text{ \AA}$ 로 확장하고 XRD 피크 (002)는 23.0° 로 이동하고 강도는 10% 감소합니다. Na^+ 는 향상된 전기 변색 성능을 위한 틸트를 차지하여 광 투과율을 70%에서 85%로 높이고 응답 시간을 8 초로 줄입니다. Ti^{4+} 도핑 ($\text{Ti/W} = 5\%$, 졸-겔 방법으로 준비)이 일부 W^{6+} 를 대체하고, 격자 매개변수가 약간 감소하고($a = 7.300 \text{ \AA}$), 에너지 밴드 갭이 2.4eV 로 감소하며, 로다민 B의 분해 속도가 0.02 min^{-1} 에서 0.026 min^{-1} (30% 증가)로 감소하는 것과 같은 $\text{Ti } 3d$ 궤도에 새로운 에너지 수준의 도입으로 인해 광촉매 효율이 향상됩니다. Mo^{6+} 도핑 ($\text{Mo/W} = 10\%$)은 고체 용액을 형성합니다. $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_3$, 산소 공극 밀도는 10^{19} cm^{-3} 로 증가, 전도도는 2 배 증가(저항률은 $50 \Omega \cdot \text{cm}$ 로 감소) 및 가스 센서에 대한 0.1° XRD 피크 확장(NO_2 감도가 15ppb로 증가).

N 및 S와 같은 비금속 도핑도 구조에 큰 영향을 미칩니다. N-도핑 ($\text{N/W} = 2\%$, 암모니아 가스 열처리에 의한 600°C)은 산소 원자를 대체하여 W-N 결합을 형성하고, 격자 매개변수 a 는 $7.312\text{\AA}$ 로 증가하고, XRD 피크(020)는 23.5° 로 이동하고, 에너지 밴드 갭은 2.5eV 로 감소하고, 광 흡수 적색 편이는 500nm 로 감소하며, 수소 생산 효율은 25% 증가합니다. S-도핑 ($\text{S/W} = 1\%$)은 격자 결합을 증가시키고, 표면 활성 부위 밀도를 10^{18} m^{-2} 로 증가시키며, 촉매 CO 산화 효율을 20% 증가시킵니다. 결합 및 도핑은 또한 열 안정성에 영향을 미치는데, 예를 들어 산소 함유 공극의 WO_3 는 500°C 에서 분해되기 시작하는 반면 순수 단사정 상은 1200°C 까지 안정화됩니다. 도핑 된 샘플의 상 전이 온도가 감소합니다 (예 : Na^+ 코팅된 WO 는 순수 WO 보다 40°C 낮은 700°C 에서 정방형으로 변합니다. 이 섹션에서는 결합 구조와 도핑 효과를 자세히 탐색하여 WO_3 구조의 조정 가능성과 기능 최적화 가능성을 조사합니다.

3.4 나노 스케일 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 구조적 특성.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

결정상에 대한 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 입자 크기의 영향

나노 스케일 WO_3 (입자 크기 < 100 nm)의 구조적 특성은 양자 크기 효과와 높은 표면 에너지로 인해 마이크로 스케일 샘플과 크게 다릅니다. 열수법(180° C, 12-24 시간, pH 1-2), 용매열법(에탄올 또는 에틸렌 글리콜, 200° C, 6 시간) 또는 기상 증착으로 제조된 WO_3 나노 입자, 일반적으로 입자 크기가 20-50nm 이고 비표면적이 30-50m²/g 및 최대 80m²/g(BET 방법에 의해 결정됨). 투과 전자 현미경 (TEM)은 구형 입자 (직경 20-30 nm), 막대 모양 구조 (길이 50-100 nm, 너비 10-20 nm), 라멜라 구조 (두께 5-10 nm, 너비 50-200 nm) 및 꽃 모양 어셈블리 (직경 100-300 nm)를 포함한 다양한 형태를 보여줍니다. 고해상도 TEM(HRTEM)은 nano- WO_3 의 결정립계가 명확하고 (002)와 같은 평면 간격이 약 3.85 Å로 단사정과 일치함을 보여주었습니다.

nano- WO_3 의 결정상은 입자 크기의 영향을받습니다. 작은 입자 크기(<30nm)를 가진 시료는 표면 에너지가 낮고(약 1.5J/m²) 열역학적으로 더 안정적이기 때문에 육각형상을 형성하는 경향이 있습니다. 예를 들어, 열수 방법(NH_4^+ 템플릿으로 180° C)으로 제조된 20nm WO_3 의 XRD 프로파일은 $2\theta = 13.9^\circ$ 및 28.2° 의 육각형 특성 피크와 80%-90%의 육각형 함량을 보여주었습니다. 입자 크기가 50-100nm 로 증가하면(예: 열수 시간이 48 시간으로 연장됨) 단사정 상이 점차 우세하고 표면 에너지가 2.0J/m²로 상승하며 XRD 피크는 23.1° , 23.6° 및 24.4° 에서 증가하고 단사정 상 비율은 70%-85%로 증가합니다. 이 결정질 상전이는 Gibbs-Thomson 효과와 관련이 있으며, 여기서 작은 입자 크기의 높은 곡률은 상전이 에너지 장벽을 줄이고 육각형 상 형성을 촉진합니다.

라만 분광법은 입자 크기 효과를 추가로 검증했습니다. W-O-W 스트레칭 진동 피크는 육각형 나노 WO_3 (20nm)의 경우 810cm⁻¹ 및 680cm⁻¹, 단사정상(50nm)의 경우 717cm⁻¹ 및 807cm⁻¹였으며, 입자 크기가 증가함에 따라 피크 강도가 증가하여 결정도가 증가했음을 나타냅니다. 입자 크기는 또한 밴드 갭에 영향을 미치며, 20nm WO_3 의 밴드 갭은 2.8-2.9 eV 이며, 이는 표면 상태 기여도의 증가로 인해 증가한다. 50nm WO_3 는 몸체에 가까운 2.6-2.7eV 로 떨어집니다. 20nm 샘플의 흡수 가장자리는 430nm 에 있었고 50nm 샘플은 UV-Vis 분광법에 의해 460nm 로 적색 편이되었습니다.

nano- WO_3 의 구조적 특성은 성능을 크게 향상시킵니다. 개방형 채널 구조로 인해 리튬 이온 배터리에서 육각상 나노 WO_2 (30nm)의 Li^+ 확산 계수는 10^{-10} cm²/s 이고 용량은 720mAh/g 로 높으며 유지율은 1000 사이클 후 88%입니다. 가스 센서에서 H_2S 에 대한 응답 시간이 5 초로 단축됩니다. 단사정 나노 WO_3 (50 nm)는 0.03 min⁻¹의 속도로 메틸렌 블루의 분해 속도와 0.9 mmol / h · g의 수소 생산 속도와 같은 높은 결정도 및 표면 활성으로 인해 광 촉매에 탁월하며, 이는 미크론 규모의 WO 보다 35 % 높습니다. 또한 nano- WO_3 (10^{18} - 10^{19} cm⁻³)의 결합 밀도가 벌크상보다 높아 전도성(10^2 Ω · cm)과 광 응답성이 향상됩니다. 이 섹션에서는 nano- WO_3 의 구조적 특성과 입자 크기 효과를 자세히 분석하여 고성능 재료에서의 고유 한 장점을 보여줍니다.

참조

크리스찬, JB 및 휘팅엄, MS (2008). 암모늄 메타 텅스텐 산염 및 WO_3 상의 구조 연구. *고체 화학 저널*.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

- Lassner, E., & Schubert, W.-D. (1999). 텅스텐 : 특성, 화학, 기술. 스프링거.
- 장 치원. (2010). 텅스텐 화학 및 기술. 야금 산업 프레스.
- 리우 양. (2020). 암모늄 메타 텅스텐 산업의 열분해 거동 및 생성물 분석. 무기 화학 저널.
- Zheng, H., 외. (2011). 나노 구조 텅스텐 산화물 - 특성 및 응용. 화학 학회 리뷰.
- Wang, J., 외. (2015). 에너지 저장을 위한 삼산화 텅스텐 나노 구조. 재료 화학 저널 A.
- 리밍. (2021). W_3O_8 나노 입자의 제조에 암모늄 메타 텅스텐 산업의 적용. 재료 보고서.
- Salje, E. K. H. (1995). W_3O_8 의 상전이: 구조적 관점. Acta Crystallographica 섹션 B.
- 텡, SK (2008). 전기 변색 응용을 위한 W_3O_8 의 과학 및 기술의 기회와 도전. 태양 에너지 재료 및 태양 전지.
- 장, Y., 외. (2023). W_3O_8 나노 물질의 구조적 결합 및 도핑 효과. 물리 화학 저널 C.

CTIA 그룹

삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, WO_3 , 황색 삼산화 텅스텐, YTO) 소개

1. 삼산화 텅스텐의 개요

CTIA GROUP 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, WO_3 라고 함)은 GB / T 3457-2013 "텅스텐 산화물" 일류 제품의 요구 사항을 충족하는 과라 텅스텐 산업 암모늄 고온 소성 공정으로 생산됩니다. 옐로우 텅스텐은 밝은 노란색 결정 분말 형태, 고순도 및 화학적 안정성으로 인해 텅스텐 분말, 초경합금, 텅스텐 와이어 및 세라믹 착색제의 제조에 널리 사용됩니다. CTIA GROUP은 분말 야금 및 산업 제조의 요구를 충족시키기 위해 고품질 노란색 텅스텐 제품을 제공하기 위해 최선을 다하고 있습니다.

2. 삼산화 텅스텐의 특성

화학 성분 : WO_3 .

순도 : $\geq 99.95\%$ 이며 불순물 함량이 매우 낮습니다.

외관 : 밝은 노란색 크리스탈 분말, 균일 한 색상.

다형체: 단사정(실온에서 가장 일반적), 공간군 P21/n.

높은 안정성: 공기에서 안정하고 불산을 제외한 물 및 무기산에 불용성입니다.

반응성 : 수소 ($>650^\circ C$) 또는 탄소 ($1000-1100^\circ C$)에 의해 텅스텐 분말로 환원 될 수 있습니다.

균일성: 다운스트림 가공에 적합한 균일한 입자 분포.

3. 삼산화 텅스텐의 사양

색인	CTIA GROUP 옐로우 텅스텐 1 급 표준
WO_3 함량 (wt%)	≥ 99.95
불순물 (wt %, 최대)	$Fe \leq 0.0010$, $W \leq 0.0020$, $Si \leq 0.0010$, $Al \leq 0.0005$, $Ca \leq 0.0010$, $Mg \leq 0.0005$, $K \leq 0.0010$, $Na \leq 0.0010$, $S \leq 0.0005$, $P \leq 0.0005$
수분 (wt%)	≤ 0.05
입자 크기	1-10 (μm , FSSS)
느슨한 밀도	2.0-2.5 (g/cm^3)
사용자화	입자 크기 또는 불순물 한계는 고객 요구 사항에 따라 사용자 정의할 수 있습니다.

4. 삼산화 텅스텐 포장 및 보증

포장: 안 밀봉된 비닐 봉투, 외부 철 드럼 또는 길썬된 부대, 순중량 50kg 또는 100kg의 방습 디자인.

보증: 각 배치에는 WO_3 함량, 불순물 분석, 입자 크기(FSSS 방법), 느슨한 밀도 및 수분 데이터를 포함한 품질 인증서가 함께 제공됩니다.

5. 삼산화 텅스텐 조달 정보

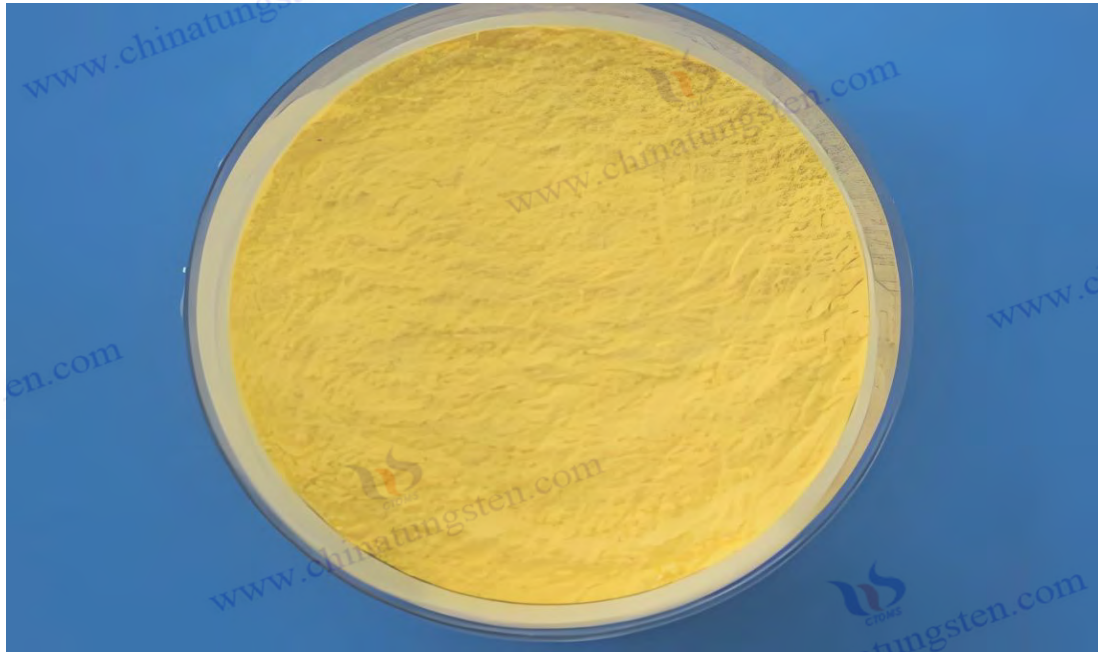
사서함: sales@chinatungsten.com 전화: +86 592 5129696

텅스텐 옐로우에 대한 자세한 내용은 Chinatungsten 온라인 웹 사이트를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



장 : 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 생산 공정.

4.1 원료와 선구자

암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT)의 제조 및 분해.

암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT, 화학식 $(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40} \cdot xH_2O$)는 WO_3 생산의 핵심 전구체이며 높은 수용성 ($25^\circ C$ 에서 pH 5.5에서 용해도 $>1000 g/L$), 안정적인 폴리산 구조 및 제어된 열 분해 특성으로 인해 산업 및 실험실에서 널리 사용됩니다. AMT의 제조는 일반적으로 텅스텐 산 나트륨 (Na_2WO_4)을 이온 교환, 산성화 결정화 또는 용매 추출과 같은 공정에 의해 출발 물질로 사용하여 수행됩니다. 산업에서 가장 일반적인 방법은 텅스텐 광석에서 추출한 텅스텐 산 나트륨 용액에서 시작하여 먼저 산성화를 통해 텅스텐 산 (H_2WO_4) 침전물을 생산하는 것입니다. 구체적인 공정 흐름은 다음과 같습니다 : 질산 (HNO_3 , 농도 $3-5 mol/L$)에 Na_2WO_4 용액 (농도 $200-300 g/L$, pH 8-9)을 천천히 첨가하고, 반응 온도를 $50-60^\circ C$ 로 제어하고, 교반 속도를 $200-300 rpm$, pH를 1-2로 감소시키고, 황색 H_2WO_4 침전물을 생성한다. 반응식은 $Na_2WO_4 + 2HNO_3 \rightarrow H_2WO_4 \downarrow + 2NaNO_3$ 입니다. 침전물을 여과하고 세척 (pH 4-5로 탈이온수로 세척)하여 잔류 Na^+ 및 NO_3^- 를 제거한 다음 $80-90^\circ C$ 에서 건조하여 약 98%-99%의 순도를 가진 H_2WO_4 분말을 얻습니다.

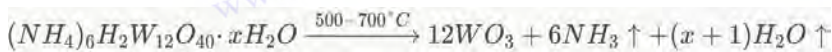
그 후, H_2WO_4 는 암모니아(NH_4OH , 25%-28%)와 반응하여 AMT를 형성합니다. 공정 조건은 다음과 같습니다 : 500 L 스테인레스 스틸 반응기에서 100 kg의 H_2WO_4 를 200-300 L의 탈이온수에 첨가하고, 암모니아 (약 50-60 L)를 교반하면서 천천히 적하 방향으로 첨가하고, 액적 가속을 $1-2 L/min$ 으로 제어하고, 반응 온도를 $70-90^\circ C$ 로 유지하고, pH를 6.0-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.0 으로 조정한다. 반응하는 동안, H_2WO_4 는 점차적으로 용해되어 투명한 AMT 용액을 형성하고, 반응은 다음과 같다.

$12H_2WO_4 + 6NH_4OH \rightarrow (NH_4)_6H_{12}W_{12}O_{40} \cdot xH_2O + (12-x)H_2O$ 12 H_2WO_4 + 6 $NH_4OH \rightarrow$
(NH_4)₆ $H_{12}W_{12}O_{40} \cdot xH_2O$ + (12-x) H_2O 12 H_2WO_4 +6 NH_4OH →(NH_4)₆ $H_{12}W_{12}O_{40} \cdot xH_2O$ +(12-x) H_2O 용액을
20-30° C 로 냉각하고 12-24 시간 동안 방치하고, AMT 를 백색 결정으로 침전시키고,
원심분리(3000-4000 rpm)로 완제품을 얻었고, 세탁 (냉수로 2-3 회 세탁) 및 건조
(80 ° C, 6-8 시간). AMT 는 일반적으로 결정질 수분 함량 (x)이 4-6, 텅스텐 함량
(WO_3)이 89 % -91 %, 순도가 99.5 %이며 Na^+ (<0.02 %) 및 Fe^{3+} (<0.01 %)를 포함한
일반적인 불순물을 갖습니다.

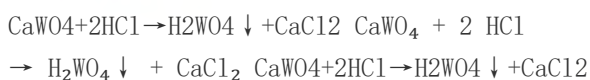
AMT 의 열 분해는 WO_3 준비에서 중요한 단계이며 일반적으로 공기 대기에서 500-
700 ° C에서 수행됩니다. 분해 과정은 3 단계로 나뉩니다: (1) 100-200° C에서 결정질의
물이 손실되고 질량이 약 5%-7% 손실되며 비정질 중간상이 생성됩니다. (2) 300-
400 ° C에서 NH_3 및 일부 구조용 물이 방출되고 질량 손실은 약 3 % -4 %로 WO_3 를
형성합니다. H_2O 또는 육각형 WO_3 ; (3) 500-700 ° C에서 완전히 탈아 민 화되어 단사정
상 WO_3 로 결정화되며 총 질량 손실은 약 10 % -12 %입니다. 반응식은 (NH_4)₆ $H_{12}W_{12}O_{40} \cdot xH_2O$
→500-700° C12 WO_3 +6 NH_3 ↑+(x+1) H_2O ↑입니다.



열중량 분석(TG)과 시차 주사 열량계(DSC)를 통해 분해 피크는 각각 150° C(탈수),
350° C(탈아미화) 및 550° C(결정화)에서 발생했으며, 각 단계에서 각각 50-60kJ/mol,
30-40kJ/mol 및 10-15kJ/mol 의 엔탈피 변화가 나타났습니다. 분해 생성물 WO_3 는 순도
99.9%, 입자 크기 4-10 μm, 주로 단사정 결정상(XRD 피크 $2\theta = 23.1^\circ$, 23.6°)을
갖습니다. 온도가 너무 높으면(>750° C) WO_3 가 승화되어 손실률이 5%-10%로 증가할 수
있습니다.

텅스텐 산 (H_2WO_4) 및 텅스텐 광석

텅스텐 산 (H_2WO_4)은 일반적으로 사용되는 또 다른 전구체로, 일반적으로 텅스텐
광석에서 직접 추출하거나 AMT 제조의 중간 생성물로 추출됩니다. 텅스텐 광석에는 볼프
라마이트 ($FeMnWO_4$), 셀 라이트 ($CaWO_4$) 및 2 차 광석 (예 : 텅스텐 $WO_3 \cdot nH_2O$)이
포함되며 중국은 매장량에서 세계를 선도합니다 (약 60 % 차지). 산업용 추출은 알칼리성
또는 산성 방법을 사용합니다. 알칼리 공정은 다음과 같습니다 : 볼프 라마이트 분말
(입자 크기 100-200 μm)과 수산화 나트륨 ($NaOH$, 농도 30 % -40 %)을 1 : 2 의 질량
비율로 고압 반응기에서 혼합합니다. 반응 조건은 140-160 ° C, 압력 5-10 기압, 300-500
rpm 교반 및 4-6 시간 반응입니다 : $FeMnWO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2WO_4 + Fe(OH)_2 \downarrow + Mn(OH)_2 \downarrow$
 $FeMnWO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2WO_4 + Fe(OH)_2 \downarrow + Mn(OH)_2 \downarrow$
 $2NaOH \rightarrow Na_2WO_4 + Fe(OH)_2 + Mn(OH)_2$
반응액을 여과하여 $Fe(OH)_2$ 및 $Mn(OH)_2$ 침전물을 제거하고, 여액을 HNO_3 로 pH 1-2 로
산성화하여 H_2WO_4 석출을 발생시킨다. 산 공정은 농축된 HCl (6 mol/L)을 사용하여
scheelite 를 직접 분해합니다.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제품은 여과, 세척 (pH 4-5 로 세척 된 탈 이온수), 건조 (100 ° C, 8-12 시간)되며 순도는 98 % -99 %에 도달하여 Si 및 P 와 같은 불순물을 약 0.1 % -0.5 % 함유합니다.

H₂WO₄는 직접 로스팅 (600-700 ° C, 공기, 2-4 시간)하여 85%-90%의 수율과 5-15 μm의 입자 크기를 가진 WO₃를 생산할 수 있습니다. 더 높은 순도를 위해 H₂WO₄는 암모니아에 용해되어 99.5%로 재결정화될 수 있습니다. 이 섹션에서는 AMT 및 H₂WO₄의 준비 및 기원을 자세히 설명하여 WO₃ 생산을 위한 원료 기반과 공정 다양성을 보여줍니다.

4.2 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 산업 생산 방법.

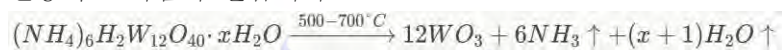
황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 산업 생산 - 로스팅 방법 (500-700 ° C).

로스팅은 일반적으로 암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT) 또는 텅스텐 산 (H₂WO₄)을 원료로 사용하여 성숙한 장비, 쉬운 작동 및 높은 생산량으로 인해 널리 사용되는 WO의 산업 생산을 위한 주류 공정이며 로터리 킬른, 푸시 플레이트 킬른 또는 챔버 용광로와 같은 고온 장비에서 수행됩니다. 이 공정의 핵심은 열분해 및 산화를 통해 전구체를 황색 WO₃ 분말로 변환하는 것이며, 이는 연간 생산량이 10,000 톤인 대규모 생산에 적합합니다. 다음은 공정 흐름, 장비 매개변수, 반응 메커니즘, 품질 관리 및 영향 요인에 대해 자세히 설명합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 산업 생산 - 로스팅 공정 및 장비 로스팅 공정은

원료 전처리, 로스팅 및 분해 및 제품 수집의 3 단계를 포함합니다. AMT를 예로 들면 공정 흐름은 다음과 같습니다 : 먼저 100kg의 AMT (WO₃ 90 %, 수분 <1 %, 입자 크기 50-100 μm 포함)를 전처리하고 100 ° C의 오븐에서 4-6 시간 동안 건조시켜 수분 함량이 0.5 % 미만으로 감소하여 로스팅 중 응집을 방지합니다. 그 후, AMT는 1-2 rpm의 속도로 회전식 가마 (직경 1.5-2 m, 길이 10-15 m, 경사각 2 ° -3 °, 내화 벽돌 또는 알루미늄 세라믹으로 라이닝)에 적재되고 전기 가열 (전력 200-300 kW) 또는 가스 (천연 가스, 발열량 8500 kcal / m³)로 가열됩니다. 로스팅 온도는 500-700 ° C, 건조 공기(습도 <10%, 유속 100-200m³/h, 압력 0.1-0.2MPa), 유지 시간 2-4 시간으로 제어됩니다. WO₃ 생성물은 가마 테일 배출구를 통해 수집되고 배기 가스는 먼지 제거 및 흡수 시스템에 의해 처리되어 배출됩니다.

산업 생산 - 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 반응 메커니즘 및 온도 분할 AMT의 로스팅은 로스팅 과정에서 다단계 분해 반응을 거쳐 최종적으로 단사정 상 WO를 형성합니다. 반응식은 다음과 같습니다.



분해는 세 단계로 나뉩니다.

100-200 ° C(탈수기)

AMT는 결정질 수(x = 4-6)를 잃고 5%-7% 질량을 잃어 비정질 계면을 생성합니다. TG 분석에 의해 수분 손실 피크는 150 ° C이고 엔탈피 변화는 50-60kJ/mol입니다. 수분이 완전히 제거되지 않으면 후속 분해가 고르지 않을 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

300-400° C(탈아미노화 단계)

NH₃ 및 부분적으로 구조화된 물이 방출되어 3%-4%의 질량 손실로 WO₃ · H₂O 또는 육각형 WO₃(XRD 피크 2θ = 13.9°). DSC는 350° C에서 흡열 피크와 30-40kJ/mol의 엔탈피 변화를 보여줍니다. 공기 흐름은 NH₃를 제거하고 퍼니스의 압력 증가를 방지하기에 충분해야 합니다(>100m³/h).

500-700° C(결정화 단계)

완전한 탈아미노화 및 산화로 인해 단사정상 WO₃(XRD 피크 2θ = 23.1°, 23.6°, 24.4°)가 발생하고 질량 손실이 총 10%-12%로 안정화되었습니다. 단사정 상 비율은 550° C에서 90%이며 650° C에서 98%로 상승하고 곡물은 700° C에서 10-15 μm로 성장합니다. 결정화 엔탈피는 10-15 kJ / mol로 변합니다.

산업 생산 - 로스팅 공정 매개 변수 및 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 영향 요인.

온도 제어

온도는 로스팅 방법의 핵심 매개변수입니다. 분해 속도는 500° C에서 85%-90%이고 잔류 WO₃ · H₂O 또는 육각상(전환율 <90%); 550° C에서 단사정 단계가 우세하고 분해율은 >95%였습니다. 4-8 μm의 입자 크기로 600° C에서 99.9% 순도; 700° C에서 입자 균일 성은 증가하지만 (D50 ≈ 6-10 μm) 승화 손실은 5% -10%로 증가하고 배기 가스의 WO₃ 함량은 0.1-0.2 g / m³입니다. 온도가 너무 낮으면(<450° C) 잔류 중간상의 비율이 20%-30%로 높아 제품 품질에 영향을 미칩니다. 너무 높으면(>750° C) 승화율은 0.05-0.1g/min · cm²이고 손실률은 10% 이상입니다.

공기 흐름

공기는 150m³/h의 유속에서 최상의 분해 속도로 산화제 및 운반 가스로 작용하며 NH₃ 배출 농도는 50-100mg/m³로 감소합니다. <50m³/h의 유속에서는 NH₃가 축적되고 용광로 압력이 0.3MPa로 상승하여 플랜트가 부식될 수 있습니다.

따뜻한 시간을 유지하십시오

2시간 내에 95% 분해율, 3시간 내에 98%, 4시간 내에 완전 변환. 6시간으로 연장하면 입자 크기는 12-15 μm로 증가하지만 에너지 소비는 20% (약 1kWh / kg) 증가합니다.

원료 특성

AMT는 50-100 μm 입자 크기에서 균일하게 분해되고 200 μm >에서는 내부 수분 방출이 방해받고 전환율이 90%로 감소합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 산업 생산 - 로스팅 품질 관리 및 분석

WO₃ 제품은 약 90kg / 100kg AMT의 수율, >98%의 전환율 및 99.9% -99.95%의 순도를 가진 황색 분말입니다. 품질 테스트에는 다음이 포함됩니다 : (1) 약 1 : 0.9의 단사정 상 피크 강도 비율 ((002) / (020))로 결정상의 XRD 확인, (2) 입자 크기 분포의 SEM 측정, D10 = 2-3 μm, D50 = 6-8 μm, D90 = 10-12 μm; (3) ICP-AES 불순물 검출, Na⁺ <0.005%, Fe³⁺ <0.002%; (4) BET 방법으로 측정한 비표면적은 5-15m²/g입니다. 사례 데이터: 공장의 연간 생산량은 5,000 톤, 로스팅 가마 출력은 250kW, AMT 소비량은 1.1 톤/톤 WO₃, 에너지 소비량은 5-7kWh/kg, 수율은 98.5%입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 산업 생산을위한 장비 요구 사항 및 유지 보수 - 로스팅 로터리

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

킬른은 알루미늄 세라믹 (Al_2O_3 함량 >95 %) 또는 316L 스테인리스 강 (Cr 18 %, Ni 10 %)과 같은 재료로 라이닝 된 고온 (>1000 ° C) 및 NH_3 부식에 강해야 하며 수명은 5-10 년입니다. 발열체는 실리콘 몰리브덴 막대($MoSi_2$, 최대 온도 1700° C) 또는 가스 노즐이며 연간 유지 보수 비용은 약 10-200,000 위안(라이닝 교체 및 모터 점검)입니다. 냉각 장치 (유속 2-3 m^3 / h 의 수냉식 재킷)가 가마 끝에 설치되어 배출 온도를 100-150 ° C로 낮추고 벽에 WO_3 가 달라 붙는 것을 방지합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 산업 생산 - 로스팅 및 환경 친화적 인 로스팅에 의한 배기 가스 처리

는 NH_3 (5-15 g / m^3), H_2O 및 미량의 WO_3 먼지 (0.1-0.5 g / m^3)를 생성합니다. 배기 가스 처리 시스템에는 (1) 물 스크러빙 타워 (직경 1.5m, 높이 10m, 분무량 5-10 m^3 / h), NH_3 흡수율 90 % -95 %, 폐수 암모니아 질소가 0.5-1 g / L 로 감소; (2) 백 필터 (여과 면적 50 m^2 , 효율 99 %), WO_3 먼지 방출 <30 mg / m^3 ; (3) NH_3 를 암모니아 증류탑(압력 0.2MPa, 온도 90° C)에서 >93%의 회수율로 회수하고 AMT 제조를 위해 재활용하였다. 폐수는 GB 8978-1996에 따라 중화($Ca(OH)_2$, pH 7-8)되어 배출됩니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 산업 생산 로스팅 방법의 장점과 단점

은 성숙한 기술 (50 년 이상의 기술 적용), 범용 장비 (로터리 킬른의 연간 생산량은 1-20,000 톤에 도달 할 수 있음), 높은 수율 (>98 %) 및 저렴한 비용 (약 200-300 위안 / kg WO_3); 단점은 높은 에너지 소비(5-7kWh/kg, 습식 화학 방법보다 50% 높음), 고온 승화 손실(5%-10%) 및 복합 배기 가스 처리(약 100 만에서 150 만 위안 투자)입니다. 로스팅 방법은 세라믹 안료 및 텅스텐 분말 원료와 같은 대규모 산업 생산에 적합합니다. 이 섹션에서는 WO_3 생산에서 로스팅 방법의 핵심 역할을 공정 세부 사항을 자세히 설명합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 산업 생산 - 수소 환원 방법 (WO 의 간접 제조).

수소 환원 방법은 2 단계 반응을 통해 WO_3 를 간접 제조하기위한 산업 공정입니다 : 첫째, WO_2 는 수소와 함께 텅스텐 금속 (W)으로 환원 된 다음 텅스텐 분말은 산소에서 WO_2 로 다시 산화됩니다. 이 방법은 원료에서 미량의 불순물(예: Fe, Mo, Na)을 효과적으로 제거하기 때문에 반도체 산업 또는 고정밀 광학 재료 생산과 같이 초고순도 WO_3 가 필요 한 시나리오에 특히 적합합니다. 공정이 복잡하고 에너지 소비가 높지만 제품 품질은 우수합니다.

1 단계 : 텅스텐 분말을 제조하기위한 수소 환원 공정

은 수평 관로 또는 다단 환원로에서 수행됩니다. 50kg WO_3 (순도 99.5 %, 입자 크기 5-10 μm)의 경우 원료를 석영 보트 (길이 1m, 너비 0.3m, 깊이 0.1m) 또는 스테인리스 스틸 트레이에 넣고 용광로에 넣습니다. 용광로 본체는 고온 내성 합금(예: Inconel 600)으로 만들어지며 금속 오염을 방지하기 위해 석영 또는 알루미늄으로 라이닝되어 있습니다. 고순도 수소 (H_2 , 순도 99.999 %, O_2 < 1ppm, 유량 1-2 L / min, 압력 0.1-0.2 MPa)를 도입하고 온도를 800-1000 ° C로 올리고 온도 조절을 3 단계로 나눕니다 : (1) 500-600 ° C 및 WO_{27} 또는 WO_{272} 를 생성하기위한 사전 환원, 1-2 시간 동안 보온, 품질 손실은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

약 3 % -5 %입니다. (2) 700-850 ° C, WO₂로 더 감소, 2-3 시간 동안 배양, 질량 손실이 10 % -12 %로 증가; (3) 900-1000 ° C, 금속 텅스텐으로 완전히 감소, 3-5 시간 동안 따뜻하게 유지. 반응식은 $WO_3 + 3H_2 \rightarrow W + 3H_2O$ $WO_3 + 3H_2 \rightarrow W + 3H_2O$ 환원 공정은 WO의 휘발 또는 너무 빠른 환원으로 인한 공 산화물의 형성을 피하기 위해 제어 된 H₂ 흐름 및 온도 구배를 필요로 합니다. 로 분위기 모니터링 (O₂ 함량 < 10ppm), 배기 가스 H₂O는 응축기에 의해 회수 (냉각수 온도 5-10 ° C), 수분 함량은 <0.1g / m³로 감소, 미반응 H₂는 버너 (점화 온도 600 ° C)로 처리되어 배출됩니다. 생성물은 입자 크기가 2-5 μm (D50 ≈ 3 μm)이고 전환율이 >99 %이며 잔류 산소 함량이 <0.01 % (산소 및 질소 분석기로 결정) 인 회색 텅스텐 분말입니다. H₂유속이 불충분하면(<0.5L/min) WO₂가 유지될 수 있으며(XRD 피크 2θ = 37.8°) 순도가 98%로 떨어집니다.

2 단계 : 산화 준비 WO₃

텅스텐 분말 산화는 챔버 로 또는 회전식 가마에서 수행됩니다. 텅스텐 분말 40kg을 알루미늄 도가니 (용량 50 L), 건조 공기 (습도 <10 %, 유속 0.5-1 L / min) 또는 순수 O₂ (99.99 %, 유속 0.3-0.8 L / min), 온도 600-700 ° C, 2-4 시간 동안 단열. 산화 반응은 다음과 같습니다 : $W + 3/2 O_2 \rightarrow WO_3$ $W + 3/2 O_2 \rightarrow WO_3$ 온도 제어가 중요합니다 : 600 ° C에서의 산화 속도는 약 0.05 g / min · cm²이며, 그 결과 단사정 상 WO₂ (XRD 피크 2θ = 23.6°)가 발생합니다. 650° C 에서 속도가 0.08g/min · cm²로 증가하고 결정도가 증가했습니다. 곡물은 700° C에서 5-8 μm까지 자랍니다. 온도가 550° C보다 낮으면 산화가 불완전하고 잔류 텅스텐 함량이 0.5%-1%로 증가합니다. 750° C 이상에서 WO₃ 승화 손실 범위는 3%에서 5%입니다. 대기 중 O₂의 분압은 WO₂₉(파란색, 산소 공극 10¹⁸ cm⁻³)의 형성을 피하기 위해 0.2-1 기압으로 유지되어야 합니다. 이 제품은 순도 99.99 %, 입자 크기가 3-6 μm (D50 ≈ 4 μm) 이고 비 표면적이 5-10 m² / g인 노란색 WO₃입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 산업 생산 - 수소 환원 방법의 공정 매개 변수 및 품질 관리수소 환원 방법의 주요 매개 변수에는 H₂ 순도, 유속 및 환원 온도가 포함됩니다. H₂가 5ppm> O₂를 함유하면 텅스텐 분말의 표면이 산화되기 쉽고 WO의 순도가 99.9%로 감소합니다. 환원율은 1.5L/min의 유속에서 가장 좋으며, 너무 높으면(>3L/min) 가스가 낭비되고, 너무 낮으면(<1L/min) 반응 시간(6-8 시간)이 연장됩니다. 산화 단계 중 O₂ 플릭스는 결정상에 영향을 미치며, 0.5L/min은 단사정 상을 형성하고 소수의 정방정계는 1L/min(XRD 피크 2θ = 32.5°)에서 형성됩니다. 품질 관리를 위해 ICP-AES를 사용하여 불순물(Fe < 0.001%, Na < 0.0005%)을 검출하고 SEM을 사용하여 입자 크기 분포를 분석했습니다. 사례 데이터: 한 공장은 연간 100톤의 고순도 WO₃를 생산하고, 15m³/톤의 H₂를 소비하고, 10m³/톤의 O₂를 소비하고, 10-12kWh/kg을 소비합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 산업 생산의 장점과 단점 - 수소 환원 법

, 그 장점은 고순도 (>99.99 %)이며 고급 응용 분야에 적합합니다. 단점은 복잡한 공정(2 단계 반응), 높은 에너지 소비(로스팅 방법보다 50%-70% 높음) 및 엄격한 장비 요구 사항(방폭 설계, 약 200-300 만 위안 투자/연간 100 톤 생산)입니다. 배기 가스 처리는 비용을 줄이기 위해 H₂ 회수 시스템(회수율 80%-90%)을 추가해야 합니다. 이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

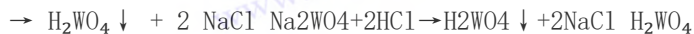
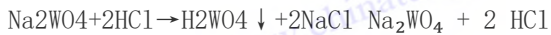
섹션에서는 공정 세부 사항을 자세히 설명하여 고순도 W₃ 생산에서 수소 환원의 고유한 가치를 보여줍니다.

황색 텅스텐 산화물 (W₃)의 산업 생산 - 습식 화학 방법 (침전 및 열처리).

습식 화학 방법은 용액의 화학 반응 및 후속 열처리에 의한 W₃의 제조이며, 이는 간단한 장비와 유연한 공정을 특징으로하며 중소 규모 생산 (연간 50-500 톤)에 적합합니다. 이 과정은 Na 'WO' 또는 텅스텐 산을 원료로 사용하여 침전 및 열처리, 산성화하여 H' WO' N 침전물을 생성 한 다음 WO' ε 로 열 분해하는 두 단계로 나뉩니다.

1 단계 : H₂WO₄ 침전

공정은 에나멜 반응기 (부피 500-1000 L, 내산성 라이닝)에서 수행됩니다. Na₂WO₄ 용액 200L(농도 250-300g/L, W₃ 약 200g/L, pH 8-9 포함)를 취하고 40-50° C로 가열하고 교반 속도 300-500rpm, 염산(HCl, 농도 1-2 mol/L, 약 100-120 L)을 천천히 첨가하고 낙하 가속 1-2 L/분, 반응 시간 2-3 시간, pH는 점차 1-2로 떨어집니다. 반응식은 다음과 같습니다.



입자 크기가 10-20 μm (초기)인 노란색 침전물로 침전됩니다. 과도한 국소 산성도로 인한 고르지 않은 침전을 피하기 위해 액적 가속을 제어해야 합니다. HCl 농도가 3 mol/L로 증가하면 침전율은 20%(0.1 g/min·cm²) 증가하지만 입자 크기는 5-10 μm로 감소합니다. 온도는 강수량에 영향을 미치며, 40° C에서 90%, 50° C에서 95%로 상승, 60° C에서 용해도가 증가하고 85%로 감소합니다. 침전이 완료된 후 플레이트와 프레임 필터 프레스(여과 면적 10m², 압력 0.5MPa)로 분리하고 필터 케이크를 500-800L 탈이온수로 Cl⁻ 함량이 <0.01%(질산은 테스트) 및 Na⁺ <0.02%(ICP-AES)가 될 때까지 3-5회 세척했습니다. 세척수 온도는 H₂WO₄ 용해를 방지하기 위해 20-30° C로 제어됩니다. 필터 케이크를 오븐에서 100° C에서 12-16 시간 동안 건조시키고 수분을 <0.5%로 줄여 순도 98%-99%의 H₂WO₄ 분말과 약 0.1%의 Si 및 P 불순물을 생성했습니다.

2 단계: WO₃H₂WO₄를 생성하기 위한 열처리 챔버 용광로 또는 터널 가마에서 열처리하여 WO를 생성하는 단계. 50kg의 H₂WO₄를 알루미늄 트레이(길이 1m, 너비 0.5m, 깊이 0.1m)에 넣고 건조 공기(습도 <10%, 유속 50-100m³/h)를 용광로에 도입하고, 온도를 400-600° C로 올리고 온도를 2-4 시간 동안 따뜻하게 유지했습니다. 반응은 : H₂WO₄→WO₃+H₂O↑ H₂WO₄ \rightarrow WO₃ + H₂O↑ H₂WO₄→WO₃+H₂O↑ 열처리 단계: (1) 200-300° C, 구조화된 물의 손실, 7%-8%의 질량 손실, W₃의 생성·H₂O; (2) 400-500° C에서 물을 완전히 제거하여 비정질 WO₃를 생성합니다. (3) 550-600° C에서 단사정 상 WO₃로 결정화 (XRD 피크 2θ = 23.1°, 24.4°). TG 분석은 400° C에서 8.5%의 질량 손실과 600° C에서 안정적인 질량 손실을 보여주었습니다. 온도 제어 입자 크기 및 상 제어 : 20 % -30 %의 육각형 위상 비율로 400° C에서 5-8 μm WO₃; 8-12 μm WO₃는 단사정 상 >80 %로 500° C에서 생성되었다. 10-15 μm WO₃는 600° C에서 >95 %의 단사정 상으로 생성되었습니다. 공기 유량은 산화 정도에 영향을 미치며, 50m³/h에서 95%, 100m³/h에서 99%의 전환율을 보입니다. 온도가 너무 높으면(>650° C) WO₃ 승화 손실이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2%-5%로 손실되고 배기 가스는 사이클론(90% 효율)으로 회수해야 합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 산업 생산 - 습식 화학 공정 매개 변수 및 품질 관리

주요 매개 변수에는 산 농도, 침전 온도 및 열처리 조건이 포함됩니다. HCl 1 mol/L 은 더 큰 H₂WO₄(15-20 μm)를 생성하고 2 mol/L 은 더 작은 입자 크기(5-10 μm)를 생성합니다. 수율은 pH 1.5(96%)에서 가장 높았고 불순물(Cl⁻)은 pH <1 에서 증가했습니다. 최적의 균형은 550° C 와 3 시간의 열처리이며 순도는 99.5%이고 입자 크기는 10-12 μm 입니다. 품질 관리는 WO₃ 함량(오차 <0.1%), SEM 에 의한 지형 및 ICP-AES(Na⁺ <0.01%, Cl⁻ <0.005%)에 대한 적정으로 수행되었습니다. 사례 데이터: 연간 200 톤의 WO₃ 생산량은 HCl 소비량 0.8m³/ton, 물 소비량 5m³/ton, 에너지 소비량 3-4kWh/kg 입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 산업 생산의 장점과 단점 - 습식 화학 분석

장점은 간단한 장비 (50-100 만 위안 / 연간 생산량 100 톤의 투자), 유연한 공정, 작은 배치 사용자 정의 (예 : 안료 등급 WO₃의 ... 단점은 많은 양의 폐기물 (1-2m³ / ton WO₃, NaCl 50-100g / L 포함), 중화 처리의 필요성 (pH 7 에서 Ca(OH)₂, 비용 50-80 yuan/m³), 배기 가스 H₂O 및 미량 HCl 을 흡수탑(포장 높이 5m)에서 처리해야 합니다. 이 섹션에서는 습식 화학 공정을 자세히 설명하여 중소 규모 생산에 적용할 수 있음을 보여줍니다.

4.3 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 실험실 합성.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 실험실 합성 - 열수 법

열수 방법은 일반적으로 Na⁺WO₄를 원료로 사용하여 고압 반응기에서 nano-WO₃ 를 합성하는 데 사용됩니다. 실험 과정은 다음과 같습니다 : 10 g Na₂WO₄를 50 mL 탈이온수에 용해시키고, HCl (6 mol / L, 10-15 mL)을 첨가하여 pH 를 1-2 로 조정하고, 환원제 (예 : 5 mL 에탄올 또는 1 g 옥살산)를 첨가하고, 30 분 동안 교반 한 후, 100 mL 폴리 테트라 플루오로 에틸렌 라이닝 반응기로 옮기고, 밀봉하여 오븐에 넣고 180-200° C 에서 12-24 시간 동안 반응하고 10-20 기압의 압력으로 반응했습니다. 제품을 원심분리(8000rpm, 10 분), 세척(물과 에탄올 각 3 회), 건조(80° C, 6 시간)하여 WO₃를 얻습니다. 반응은 다음과 같이 단순화됩니다 : Na₂WO₄ + 2HCl + 환원제 → WO₃ + 2NaCl + H₂O Na₂WO₄ + 2HCl + 환원제 → WO₃ + 2NaCl + H₂O 이 제품은 입자 크기가 20-50 nm 이고 비표면적이 30-50 m² / g 이며 구형 또는 막대 모양의 형태 (길이 50-100 nm)를 가진 육각형 또는 단사정 WO₃입니다. 육각상(XRD 피크 2θ = 13.9°)은 180° C에서 생성되고 단사정상은 200° C에서 90%-95%의 수율로 전환됩니다. 열수 방법은 광촉매 WO₃(예: 수소 생산 속도 0.9mmol/h • g)를 사용합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 실험실 합성 기술 - 용매 열 법

용매 열 방법은 WCl₆ 또는 Na₂WO₄ 를 원료로 사용하여 WO₃ 형태를 조작하기 위해

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

유기 용매를 사용합니다. 실험 방법은 다음과 같았다 : 5g 의 WCl_6 을 에틸렌 글리콜 50mL 에 용해시키고 1 시간 동안 교반 한 후 에탄올 10ml 를 첨가하고 100mL 반응기에 옮기고 $200^{\circ}C$ 에서 6-12 시간 동안 반응시켰다. 생성물을 원심 분리, 세척 (에탄올 3 배) 및 건조 ($80^{\circ}C$, 8 시간)하여 30-100 nm 의 입자 크기, 99 % 순도 및 막대 (길이 80-150 nm, 너비 20-30 nm), 플레이크 (10-20 nm 두께) 또는 꽃 (직경 200-300 nm)에 이르는 형태를 가진 WO_3 를 수득 하였다. 용매 비율(예: 에틸렌 글리콜:에탄올 = 4:1)은 85%-90%의 수율로 지형을 제어합니다. solvothermal 방법은 더 비싸지만 (약 50-100 RMB / kg WO_3) 지형에서 조정 가능하며 센서 WO에 적합합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 실험실 합성 - 마이크로파 보조 합성

마이크로파 보조 합성은 AMT 또는 Na_2WO_4 를 원료로 사용하여 급속 마이크로파 가열을 활용합니다. 실험 과정은 다음과 같았다: AMT 10g 을 물 50mL 에 용해시킨 후 $HCl(3mol/L, 10mL)$ 을 첨가하여 pH 를 2-3 으로 조정 한 후 전자레인지(800W, 주파수 2.45GHz)에 넣고 $150-180^{\circ}C$ 의 온도에서 10-20 분 동안 반응을 수행하였다. 생성물을 원심 분리, 세척 및 건조하여 20-40 nm 의 입자 크기, >95 % (XRD 피크 $2\theta = 23.6^{\circ}$)의 단사정 위상 비율 및 >94 %의 수율을 갖는 WO_3 를 얻었다. 마이크로파 방법은 에너지 소비가 낮고 (약 0.5-1 kWh / kg) 반응 시간이 열수 방법의 1/10 에 불과하여 고순도 WO_3 준비 (예 : 배터리 전극, 용량 700 mAh / g)의 소량 배치에 적합합니다. 이 섹션에서는 세 가지 실험실 기술을 통해 WO_3 합성의 정교함과 효율성을 보여줍니다.

4.4 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 실험실 합성 기술의 공정 매개 변수 최적화.

온도, 대기, 시간의 영향

온도는 WO_3 생산에 매우 중요합니다. 로스팅 방법에서는 $500^{\circ}C$ (XRD 피크 $2\theta = 28.2^{\circ}$)에서 육각상이 생성되고, $550^{\circ}C$ 에서 단사정상이 단사정상으로 전환되며, $650^{\circ}C$ 에서 >98%의 단사정 상비가 생성되며, 입자는 $700^{\circ}C$ 에서 10-15 μm 로 성장합니다. 열수법에서는 $180^{\circ}C$ 에서 육각상이 형성되고 $200^{\circ}C$ 에서 단사정상의 비율이 80%로 증가하며 $220^{\circ}C$ 에서 상이 완전히 단사정입니다. 대기는 결정상과 순도에 영향을 미치며, 황색 WO_3 는 공기 중에서 붉음에 의해 형성되고, 청색 WO_2 는 H_2 대기(0.5 L/min)에 의해 형성될 수 있습니다. (산소 농도 $10^{18} cm^{-3}$), N_2 의 육각상이 더 안정적입니다. 로스팅 2 시간 만에 95%, 4 시간 만에 99%, 수력 발전 12 시간 만에 20nm 입자 크기, 24 시간 만에 50nm 의 시간 제어 전환율.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 실험실 합성 - 순도 및 입자 크기 제어

순도는 원료 정제 및 공정 최적화를 통해 달성됩니다. AMT 는 Na^+ 가 0.01%로, Fe^{3+} 가 0.005%로 감소한 이온 교환 수지(양이온 수지 D001)로 처리되었습니다. 로스팅 중 습한 공기(습도 50%)를 유입하여 승화를 감소시키고 순도는 99.95%로 상승합니다. 입자 크기 제어는 온도 및 교반 속도에 따라 다르며 열수 방법은 $180^{\circ}C$ 에서 20-30 nm WO 를 생성하고 500 rpm 에서 교반하고 서있을 때 50-70 nm 를 생성합니다. 로스팅 방법은 $600^{\circ}C$ 에서 5-8 μm WO 를 산출하고 $150m^3 / h$ 의 공기 유량을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

산출합니다. 이 섹션에서는 파라메트릭 분석을 통한 WO_3 품질 관리에 대한 과학적 근거를 제공합니다.

4.5 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 생산 및 합성을위한 녹색 생산 및 폐기물 처리.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 생산을위한 암모니아 질소 회수 기술.

AMT 분해에 의해 방출되는 NH_3 (배기 가스 농도 5-15 g/L)는 암모니아 증발탑(직경 1m, 높이 10m, 세라믹 Rasi 링으로 포장)에 의해 회수됩니다. 공정 조건: 증기압 0.2-0.3 MPa, 온도 90-100° C, 회수율 >93%, 10 g/L에서 0.5 g/L까지의 폐액 암모니아 질소, 배출 표준(GB 8978-1996, < 15 mg/L) 미만. 회수된 NH_3 (20 % -25 % 농도)는 AMT 재제를 위해 재활용되어 WO_3 톤 당 50-70kg의 암모니아를 절약합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 생산 및 합성을위한 에너지 소비 및 배출 분석.

에너지 소비는 로스팅 방법의 경우 5-7kWh/kg WO_3 (전기 가열로, 200kW), 열수 방법의 경우 2-3kWh/kg(오토클레이브, 50kW), 마이크로파 방법의 경우 가장 낮은(0.5-1kWh/kg)입니다. CO_2 배출량은 주로 연소에서 발생하며, 로스팅에 의한 약 2-2.5kg CO_2 /kg WO_3 (석탄 가열), 열수 방식에 의한 1-1.5kg, 마이크로파 방식에 의한 0.8-1kg입니다. 배기 가스의 WO_3 분진(0.1-0.5g/m³)은 사이클론 집진기와 백 필터로 처리되고 배출 농도는 <30mg/m³로 감소합니다. 태양열 가열과 같은 친환경 공정은 에너지 소비를 최대 3kWh/kg, CO_2 를 최대 30%까지 줄일 수 있습니다. 이 섹션에서는 환경 기술 분석을 통해 WO_3 생산에 대한 지속 가능한 경로를 보여줍니다.

참조

- Lassner, E., & Schubert, W.-D. (1999). 텅스텐 : 특성, 화학, 기술. 스프링거.
- 장 치원. (2010). 텅스텐 화학 및 기술. 야금 산업 프레스.
- 리우 양. (2020). 암모늄 메타 텅스텐 산염의 열분해 거동 및 생성물 분석. 무기 화학 저널.
- 리밍. (2021). WO_3 나노 입자의 제조에 암모늄 메타 텅스텐 산염의 적용. 재료 보고서.
- Zheng, H., 외. (2011). 나노 구조 텅스텐 산화물 - 특성 및 응용. 화학 학회 리뷰.
- Wang, J 외. (2015). 에너지 저장을위한 삼산화 텅스텐 나노 구조. 재료 화학 저널 A.
- 장 리화. (2020). 암모늄 메타텅스텐산염의 마이크로파 보조 합성을 위한 공정 최적화. 화학 산업 발전.
- 리홍귀. (2005). 텅스텐 야금. 센트럴 사우스 대학교 출판부.
- 첸, X., 외. (2018). WO_3 나노 입자의 열수 합성. 나노 입자 연구 저널.
- Sigma-Aldrich WO_3 제품 사양(2023).
- 국제 텅스텐 산업 협회 (ITIA). (2023). 글로벌 텅스텐 산업 전망 2030.
- 왕유. (2022). 녹색생산기술에 관한 WO_3 연구. 중국 환경 공학 저널.
- 장 웨이. (2018). 로스팅에 의한 WO_3 준비를 위한 공정 최적화. 비철금속.
- Liu, Y., 외. (2021). 소성을 통한 WO_3 의 산업 규모 생산. 재료 가공 기술 저널.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



5 장 : 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 분석 및 특성화 기술.

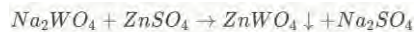
5.1 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 화학 성분 분석.

적정(WO₃ 함량 측정)

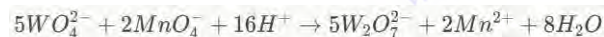
적정은 WO₃ 함량 측정을 위한 전통적인 화학 분석 기법으로, 작동 용이성, 저렴한 비용 및 신뢰할 수 있는 결과로 인해 산업 품질 관리 및 실험실 연구에 널리 사용됩니다. 이 방법은 WO₃를 적정 가능한 텅스텐 산염 형태로 변환하는 산-염기 반응 또는 산화 환원 적정의 원리를 기반으로 하며 함량은 표준 용액의 적정에 의해 계산됩니다. 실험 절차는 다음과 같습니다 : 먼저, 0.5-1g 의 WO₃ 샘플 (0.0001g 까지 정확)을 가져 와서 50 mL PTFE 도가니에 넣고 10-15 mL 의 농축 NaOH 용액 (질량 40 %, 밀도 1.43 g / mL)을 첨가하고 전기 핫 플레이트에서 80-100 ° C 로 가열하고 샘플이 완전히 용해 될 때까지 30-60 분 동안 교반 (200-300 rpm)합니다. 및 용해성 텅스텐 산 나트륨 (Na₂WO₄)이 생성됨). 반응은 다음과 같습니다.



용액을 실온으로 냉각 한 후, HCl (1 mol / L, 약 20-30 mL)로 pH 7 로 중화시켜 미량의 H₂WO₄ 침전물을 생성 한 다음 과량의 ZnSO₄ 용액 (0.1 mol / L, 20-25 mL)을 첨가하고 10-15 분 동안 교반하여 텅스텐 산염을 ZnWO₄ 형태로 침전시켰다



펠릿을 중속 여과지를 통해 여과하고 탈이온수 (50-100mL, pH 6-7)로 3-5 회 세척하여 Na⁺ 및 SO₄²⁻ 이온을 제거합니다. 케이크를 삼각 플라스크에 옮기고, 표준 H₂SO₄ (0.1 mol/L, 20 mL)로 용해시키고, WO₄²⁻를 방출하고, 메틸 오렌지 지시약 2-3 방울 (0.1%)을 첨가하고, 용액이 안정된 분홍색 (MnO₄⁻ 자체 표시, 30 초 동안 유지)이 될 때까지 표준 KMnO₄ 용액 (0.02 mol/L)으로 적정했습니다. 적정 반응은 다음과 같습니다.



WO₃ 질량 백분율은 다음과 같이 KMnO₄ 소비량 (V, mL) 및 농도 (C, mol/L)를 기준으로 계산됩니다.

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

여기서 M_{WO₃} = 231.84g/mol 이고 m_{sample}은 샘플 (g)의 질량입니다. 분석 오류는 일반적으로 <0.1 %이고 반복성이 양호 (RSD <0.5 %)하여 95 % -99.9 % 순도의 WO₃ 샘플에 적합합니다.

적정의 장점은 간단한 장비 (뷰렛, 삼각 플라스크, 핫 플레이트 등만 해당, 총 비용은 약 1000-2000 위안)를 포함하며 작업에는 높은 기술적 배경이 필요하지 않아 산업

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

현장에서 신속한 감지에 적합합니다. 예를 들어, 한 공장에서 하루에 50-100 개의 WO_3 샘플을 처리하고 적정은 1-2 시간 내에 분석할 수 있습니다. 그러나, 이 방법은 Mo, V 등과 같은 원소와 같은 불순물에 민감하여 $ZnWO_4$ 침전을 방해할 수 있으며 이온 교환 또는 추출에 의한 사전 분리가 필요합니다. 또한 시료를 용해하려면 강한 알칼리 및 고온 처리가 필요하며, 이를 위해서는 높은 도가니 재료(예: PTFE 또는 백금)가 필요하여 비용이 증가합니다. 샘플에 수분이나 유기물이 포함되어 있으면 간섭을 제거하기 위해 사전 로스팅($200-300^{\circ}C$, 1 시간)합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 분석을 위한 유도 결합 플라즈마 방출 분광법 (ICP-AES)

유도 결합 플라즈마 광학 방출 분광법 (ICP-AES)은 미량 불순물 (예 : Fe, Na, Mo, Si) 및 W의 주원 텅스텐 함량을 측정하는 데 널리 사용되는 고감도 다중 원소 분석 기술입니다. 원리는 샘플을 분무하여 고온 플라즈마($6000-10000K$)에 주입하여 원자 또는 이온의 방출 특성 스펙트럼을 여기시키고 분광계로 파장과 강도를 감지하는 것입니다. 절차는 다음과 같습니다 : 0.1-0.2g의 WO_3 샘플 (0.0001g까지 정확)을 마이크로파 소화 용기에 넣고 5 mL의 HF (40 %, 부식된 SiO_2 가 불순물이 첨가 됨), 5 mL HNO_3 의 (65 %, 산화제) 및 2 mL HCl (37 %, 안정화 된 텅스텐 이온)을 마이크로파 소화조 (전력 800 W, $200^{\circ}C$, 30-40 분) 샘플이 깨끗한 용액으로 완전히 용해될 때까지. 냉각 후, 탈이온수로 부피를 100 mL로 줄이고 여과($0.45 \mu m$ 멤브레인)하여 잔류물을 제거하였다. 샘플을 연동 펌프(유속 1mL/분)에 의해 ICP-AES 기기에 주입했습니다(일반적인 매개변수: RF 전력 1.2-1.5kW, 아르곤 유량 15L/분, 보조 가스 1L/분, 분무 가스 0.8L/분). 텅스텐의 특성 방출 선은 207.911 nm 및 224.875 nm였으며 Fe (259.940 nm), Na (589.592 nm) 및 Mo (202.030 nm)와 같은 불순물을 동시에 측정했습니다.

ICP-AES는 매우 낮은 검출 한계 (텅스텐의 경우 $0.1 \mu g / L$, 불순물의 경우 $0.01-0.05 \mu g / L$)와 WO_3 검출에 대한 넓은 선형 범위 ($0.001\% -10\%$)를 가지고 있으며 $1ppm$ (0.0001%)에서 99.99%까지의 농도에서 20 개의 원소. 예를 들어, 로스팅으로 제조된 WO_3 는 열수 시료에서 Fe 함량이 약 5-10ppm, $Na < 2ppm$, Si 함량이 최대 20-50ppm입니다. 이 방법은 매우 정확하고($RSD < 1\%$, 5 회 반복) 분석 시간이 짧습니다(단일 샘플의 경우 5-10 분). 상관 계수 $R^2 > 0.999$ 는 표준 곡선 (WO_3 표준으로 제조된 $0.1-1000 mg / L$ 용액)에 의해 보정되었습니다. 결과는 산업용 W의 순도는 일반적으로 99.9 % -99.99 %이고 실험실 나노 W의 순도는 99.995 %에 도달 할 수 있음을 보여줍니다.

ICP-AES의 장점은 동시 다중 원소 분석, 높은 감도 및 높은 처리량(시간당 20-30 개 샘플)으로 품질 관리 및 과학 연구에 적합합니다. 그러나 기기 비용이 높고(약 50-100 만 위안), 작업에는 고순도 아르곤 가스(일일 소비량 20-30L, 약 50-100 위안)가 필요하며, 샘플 분해에는 강산 및 밀폐 장비(예: 마이크로파 소화 기기, 약 20-300,000 위안)가 필요하며 작업자에 대한 요구 사항이 높습니다(1-3 개월의 교육이 필요함). 또한 HF를 사용하려면 특별한 보호(예: 흡 후드, 내산성 장갑)가 필요하며

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

폐액 처리 비용은 약 50-100 위안/배치입니다. 이 섹션에서는 적정 및 ICP-AES에 대한 자세한 설명을 통해 WO_3 화학 조성 분석을 위한 전통적 기법과 현대적 기법의 결합을 보여줍니다.

5.2 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 구조적 특성.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 구조적 특성화 - X 선 회절 (XRD).

X 선 회절(XRD)은 WO_3 결정 구조 및 상 상태를 분석하기 위해 선택되는 기술로, 결정 상, 격자 매개변수 및 입자 크기를 정확하게 측정할 수 있습니다. 일반적인 조건은 Cu $K\alpha$ 방사선 ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$, 전압 40 kV, 전류 30-40 mA), 배경이 0 인 유리 슬라이드 또는 실리콘 웨이퍼에 샘플 배치, 스캐닝 범위 $2\theta = 10^\circ - 80^\circ$, 단계 크기 0.02° 및 스캐닝 속도 $2-4^\circ / \text{min}$. 단사정 상 WO_3 의 특징적인 회절 피크는 $2\theta = 23.1^\circ$ ((002) 표면, $d = 3.85 \text{ \AA}$), 23.6° ((020), $d = 3.77 \text{ \AA}$), 24.4° ((200), $d = 3.65 \text{ \AA}$)에서 발생하고, 상대 강도 비율은 약 1 : 0.9 : 0.8이며, 육각형 WO_3 피크는 13.9° ((100)), 22.8° ((110)) 및 28.2° ((200))입니다. 정방위상은 22.8° ((110)), 32.5° ((200))입니다. 결정면 간격은 Bragg 방정식($n\lambda = 2d \sin \theta$)으로 계산하고, 표준 카드(JCPDS 43-1035 단사정상, 20-1324 육각상)와 비교하여 위상 상태를 확인하였다.

입자 크기는 Scherrer의 방정식에 의해 계산됩니다: $D = K\lambda / \beta \cos \theta$ ($K = 0.9$, β 는 최대 절반 너비, 라디안), 예를 들어, 피크 $\beta = 0.15^\circ$ (약 0.0026 rad)의 경우 $2\theta = 23.6^\circ$, $D \approx 50 \text{ nm}$, 이는 TEM 결과와 일치합니다. Rietveld 미세 조정 방법은 $a = 7.306 \pm 0.005 \text{ \AA}$, $b = 7.540 \pm 0.005 \text{ \AA}$, $c = 7.692 \pm 0.005 \text{ \AA}$, $\beta = 90.91 \pm 0.02^\circ$, 단위 셀 부피 $423.5 \text{ \AA}^3$ 로 격자 매개 변수를 추가로 미세 조정합니다. XRD는 또한 미량의 헥세로상(예: WO_2)을 사용합니다. g of $2\theta = 25.7^\circ$ peak를 도핑 또는 결합 있는 샘플(예: $0.1^\circ - 0.2^\circ$ 의 $Na-WO_3$ 피크 이동) 분석을 위해 1%-2%의 감도로 측정합니다. 실험에는 시료 균일성($<50 \mu\text{m}$ 까지 분쇄) 및 기기 보정(Si 표준으로 영점 조정)에 주의가 필요하며 각 측정에는 20-40 분이 소요됩니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 구조적 특성화 - 푸리에 변환 적외선 분광법 (FTIR).

푸리에 변환 적외선 분광법 (FTIR)은 WO_3 의 화학 결합, 작용기 및 표면 상태를 특성화하여 분자 진동 정보를 제공하는 데 사용됩니다. 프로토콜은 1-2 mg WO_3 샘플을 100-200 mg KBr (스펙트럼 순수)과 혼합하고, 균일하게 분쇄하고, 정제 프레스 (10 MPa, 2-3 분)에서 직경 13mm, 두께 0.5-1 mm의 투명 시트로 압착 한 다음 측정 범위가 $400-4000 \text{ cm}^{-1}$ 인 FTIR 분광계에 넣었습니다. 4 cm^{-1} 의 해상도 및 32-64 회 스캔. 단사정 상 WO_3 의 특징적인 흡수 피크는 $700-950 \text{ cm}^{-1}$ (W-O-W 브리지 산소 스트레칭 진동, 강하고 넓음), $600-650 \text{ cm}^{-1}$ (W-O 굽힘 진동, 약함), $800-850 \text{ cm}^{-1}$ (W = O 산소 스트레칭, 날카로움)입니다. 샘플에 수화물(예: $WO_3 \cdot H_2O$), $3400-3500 \text{ cm}^{-1}$ (O-H 굽곡) 및 $1600-1630 \text{ cm}^{-1}$ (H-O-H 곡선).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

FTIR 은 $950-1000\text{cm}^{-1}$ 에서 N-도핑된 WO_3 의 W-N 결합 진동 및 $900-950\text{cm}^{-1}$ 에서 산소 공석 샘플(WO_{3-x})의 새로운 피크와 같은 도핑 또는 결합 효과를 감지할 수 있습니다. 피크 강도는 결정도와 관련이 있으며 표면 효과로 인해 nanoWO_3 ($<50\text{nm}$)가 확장됩니다(FWHM 은 $20-30\text{cm}^{-1}$ 로 증가). 이 방법의 장점은 빠르고(단일 측정의 경우 5-10 분), 비파괴 및 낮은 장비 비용(약 10-200,000 위안)입니다. 단점은 정량적 능력이 제한되어 있고 Raman 과 같은 다른 기술과 결합하여 확인해야 한다는 것입니다. 샘플은 건조하게 준비해야 하며(KBr 에 의한 수분 흡수를 방지하기 위해) 주변 습도는 $<50\%$ 로 제어해야 합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 구조적 특성화 - 라만 분광법

라만 분광법은 WO_3 의 분자 진동과 결정 대칭을 감지하여 구조 및 결합에 대한 자세한 정보를 제공합니다. 실험은 532nm 레이저(샘플 화상을 방지하기 위해 $1-5\text{mW}$ 의 전력) 및 $100-1000\text{cm}^{-1}$ 의 스펙트럼 범위, $1-2\text{cm}^{-1}$ 의 해상도 및 10-30 초의 적분 시간의 일반적인 조건에서 레이저 라만 분광계를 사용하여 수행되었으며, 샘플을 유리 슬라이드에 놓고 초점을 맞춥니다. 단사정 상 WO_3 의 특징적인 피크는 717cm^{-1} (W-O-W 대칭 스트레칭), 807cm^{-1} (W-O-W 비대칭 스트레칭) 및 270cm^{-1} (W-O 굽힘)입니다. 육각상은 680cm^{-1} 및 810cm^{-1} 이고 정방형상은 690cm^{-1} 및 830cm^{-1} 입니다. 피크 위치 및 강도는 결정상 순도를 반영하며, 예를 들어, 단사정상 WO_2 는 $700-800\text{cm}^{-1}$ 영역에서 약 1:1.2의 피크 강도 비율을 갖는다.

라만 분광법은 입자 크기에 민감하며, nano-WO_3 ($<30\text{nm}$) 피크가 넓어지고(FWHM 이 $20-30\text{cm}^{-1}$ 로 증가) 향상된 표면 포논 산란으로 인해 강도가 20%-30% 감소합니다. 산소 결석(WO_{3-x})에서 $950-970\text{cm}^{-1}$ 에서 새로운 피크가 나타났으며, 강도는 결합 농도($10^{17}-10^{19}\text{cm}^{-3}$)와 양의 상관관계가 있었습니다. 도핑된 샘플(예: Ti-WO_3)은 격자 응력을 반영하기 위해 $5-10\text{cm}^{-1}$ 의 피크 이동을 갖습니다. 이 방법의 장점은 높은 공간 해상도(집중된 스폿 $<1\mu\text{m}$), 비파괴성 및 현장 분석에 대한 적합성입니다. 단점은 레이저의 다른 파장(예: 785nm)으로 형광 간섭(예: 유기 잔류물)을 제거해야 하고 각 측정에 10-20 분이 걸린다는 것입니다. 이 섹션에서는 XRD, FTIR 및 Raman 에 대한 자세한 설명을 통해 WO_3 의 구조적 특성과 특성화 방법에 대한 포괄적인 개요를 제공합니다.

5.3 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 형태 및 현미경 분석.

주사 전자 현미경 (SEM)

주사 전자 현미경 (SEM)은 WO_3 표면 지형, 입자 크기 및 분포를 관찰하기 위한 기본 도구로, 직관적인 2 차원 이미지를 제공합니다. 실험 절차는 다음과 같습니다 : 소량의 WO_3 분말 (약 10-20 mg)을 취하여 에탄올 (초음파 5-10 분, 전력 100 W)에 분산시키고 전도성 실리콘 웨이퍼 또는 알루미늄 호일에 떨어 뜨리고 건조시키고 금 (20mA , 시간 60-90 초, 두께 10-15 nm)을 분사하여 전도성을 향상시킨다. SEM 매개변수는 가속 전압 5-15kV, 작동 거리 5-10mm, 배율 1000-50000x 입니다. 마이크론 규모의 WO_3 (예 : 로스팅으로 준비)는 입자 크기가 4-15 μm 이고 표면이 매끄러운

불규칙 다면체입니다. 나노 스케일 WO_3 (예 : 열수 제조)는 구형 (20-50 nm), 막대 모양 (길이 50-100 nm, 너비 10-20 nm) 또는 시트 (두께 5-10 nm)이며 표면 거칠기가 높습니다.

SEM에는 원소 분포 분석을 위한 에너지 분산 X선 분광계(EDS)가 장착되어 있으며, 일반적인 결과는 W:O 원자 비율이 $\approx 1:3$ 이고 불순물(예: Na, Si)이 $<0.1\%$ 입니다. EDS의 해상도는 약 $1\mu m$ 이고 검출 한계는 $0.1\%-0.5\%$ 입니다. 예를 들어, 로스팅된 WO의 EDS는 $Na < 0.05\%$ 를 나타냈고 열수 샘플은 $0.1\%-0.2\%$ Si를 함유했습니다. SEM의 장점은 조작이 쉽고 (샘플 준비 20-30 분), 직관적인 이미지이며 장비 비용은 약 30-500,000 위안입니다. 단점은 해상도가 제한되고(약 1-5nm) 내부 구조를 관찰할 수 없으며 TEM을 결합해야 한다는 것입니다.

투과 전자 현미경 (TEM)

투과 전자 현미경 (TEM)은 나노 단위 시료 분석을 위해 WO_3 에 고해상도 미세 구조 및 결정 정보를 제공합니다. 실험 절차는 다음과 같습니다 : 5-10 mg WO_3 를 취하고, 에탄올에 분산 (10-15 분 동안 초음파 처리), 탄소 필름 구리 메쉬 (200-300 메쉬)에 떨어 뜨리고, 자연 건조한다. TEM 매개변수는 가속 전압 200kV, 배율 50,000-500,000 회, 분해능 0.1-0.2nm입니다. TEM 이미지는 입자 경계가 명확한 열수 시료의 경우 구형(20-30nm) 또는 막대 모양(50-100nm 길이)과 같은 $nanoWO_3$ 의 형태를 보여줍니다. 고분해능 TEM(HRTEM)은 단사정상 (002) 평면 $d = 3.85 \pm 0.02 \text{ \AA}$, (200) 평면 $d = 3.65 \pm 0.02 \text{ \AA}$ 로 XRD와 일치하는 평면 간격을 나타냈습니다.

HRTEM은 또한 격자 왜곡으로 나타나는 산소 결핍과 같은 결함을 관찰할 수 있으며, Ti^{4+} 와 같은 도핑된 원자는 국소 대비의 변화를 일으킵니다. 선택적 전자 회절 (SAED)은 회절 스폿을 생성하고, 단사 정계 WO_3 는 결정 배향을 확인하기 위해 (002), (020), (200) 고리를 보여줍니다. TEM의 장점은 해상도가 높고 원자 수준의 구조를 직접 관찰할 수 있다는 것입니다. 단점은 샘플 준비가 복잡하고(초박형 분산이 필요하며 1-2 시간이 소요됨) 기기가 비싸고(약 100 만에서 200 만 위안) 작업 요구 사항이 높다는 것입니다. 이 섹션에서는 SEM 및 TEM에 대한 자세한 설명을 통해 WO_3 지형 및 미세 구조의 특성화 기술과 응용을 설명합니다.

5.4 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 구조적 특성화 및 물리적 특성 시험.

1 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 구조적 특성화 - BET 비 표면적 결정

BET (Brunauer-Emmett-Teller) 비표면적 측정은 WO_3 표면의 물리적 특성을 분석하는 핵심 기술이며, 비표면적 및 기공 구조는 질소 흡착-탈착 실험에 의해 결정되며, 이는 기능적 응용(예: 촉매 및 에너지 저장)의 기초를 제공합니다. 다음은 비표면적 정의에 대한 기본 원리 및 측정 방법, WO_3 비표면적과 가공 기술 및 입자 크기 간의 관계, 응용 프로그램과의 중요성 및 관계에 대한 심층 분석입니다.

기본 원리 및 실험 방법 BET 방법은 다층 흡착 이론을 기반으로 하며 77K(액체 질소 온도)에서 N_2 의 흡착-탈착 거동을 사용하여 샘플 표면적을 결정합니다. 프로토콜은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0.1-0.5g WO₃ 샘플을 채취하여 특정 표면적 분석기(Micromeritics ASAP 2020 과 같은 일반적인 모델)의 샘플 튜브에 넣고 200-300° C 에서 2-4 시간 동안 진공(10⁻³ Pa)에서 전처리하여 수분과 휘발성 불순물을 제거하는 것입니다. 77K 로 냉각하고 고순도 N₂ (99.999%)를 도입하고 압력을 점진적으로 증가(0-1atm)하고 흡착 용량(cm³/g)을 상대 압력(P/P₀)의 함수로 기록했습니다. 탈착 과정은 역방향으로 진행되어 흡착-탈착 등온선을 형성합니다. BET 공식에 따르면:

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

여기서 V는 단층의 흡착 용량, V_m는 단층의 흡착 용량, C는 상수이며 V_m은 선형 회귀(P/P₀ = 0.05-0.35)로 계산됩니다. 비표면적(S)은 다음과 같습니다.

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

여기서 N_A는 아보가드로 상수(6.022 × 10²³ mol⁻¹), A_{N₂}은 N₂ 분자 단면적(0.162nm²), m은 샘플 질량(g)입니다. 기공 분포는 BJH(Barrett-Joyner-Halenda) 방법에 의한 탈착 곡선에서 <5%의 오차로 계산되었습니다.

미크론 규모의 WO₃ (로스팅으로 제조, 입자 크기 4-15 μm)는 5-15 m² / g의 비표면적, 10-20 nm의 기공 크기를 가지며 대부분 메조 다공성 구조입니다. 나노 스케일 WO₃ (예: 열수 준비, 입자 크기 20-50 nm)는 30-50 m² / g, 공극 크기 5-10 nm, 미세 다공성 (<2 nm) 및 중간 기공입니다. 실험은 4-6 시간이 걸렸으며 재현 가능했습니다(RSD <3%).

비표면적이란 무엇입니까?

비표면적은 외부 표면과 내부 기공 표면을 포함한 고체 물질의 단위 질량당 총 표면적(m²/g)을 말하며, 다공성 물질 또는 입상 물질의 표면 특성을 특성화하는 중요한 매개변수입니다. WO₃의 경우, 비표면적은 입자 크기, 다공성 및 표면 활성 부위의 수를 반영합니다. 이론적으로 고체 입자의 비표면적은 입자 크기에 반비례하며 입자 크기가 작을수록 단위 질량당 표면적이 커집니다. 예를 들어, 이상적인 구형 입자의 비표면적 S = 6 / (ρ · D)이며, 여기서 ρ는 밀도(WO₃ ≈ 7.16g/cm³)이고 D는 입자 크기(μm)입니다. D = 10 μm일 때 S ≈ 0.08m²/g; D = 0.02 μm(20nm)에서 S ≈ 41.9m²/g이며, 이는 나노화에 의한 표면적의 상당한 증가를 나타냅니다. 그러나 실제 WO₃의 비표면적은 형태(구형, 막대 모양, 시트 모양), 기공 구조 및 응집 정도의 영향을 받으며 이는 BET에 의해 측정되어야 합니다.

산화 텅스텐의 비 표면적은 제조 과정과 밀접한 관련이 있으며, 다른 공정에 의해 생성된 입자 크기, 형태 및 기공 구조는 크게 다릅니다

로스팅 방법

AMT는 500-700° C의 공기 중에서 분해되어 낮은 비표면적(5-15m²/g)을 가진 미크론 크기의 WO₃(4-15 μm)를 생성합니다. 고온은 입자가 소결되고, 기공이 붕괴되며, 표면 활성 부위가 감소합니다. 예를 들어, 600° C에서 4시간 동안 로스팅한 WO₃는 비표면적이 8-10m²/g이고 공극 부피가 0.02-0.03cm³/g입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

열수 방식

180-200 ° C, 10-20 atm에서 반응하면 최대 30-50 m² / g의 비 표면적을 가진 nanoWO₃ (20-50 nm)가 생성됩니다. 저온 및 고압은 열린 기공 (예 : 육각상의 채널 구조)을 유지했으며 입자 성장으로 인한 반응 시간 (12-24 시간)의 연장에 따라 비 표면적이 약간 감소했습니다. 예를 들어, 180° C에서 12 시간 동안 샘플의 비표면적은 45-50m²/g 이고 공극 크기는 5-8nm 입니다.

용수선법 (Solvothermal Method)

에틸렌 글리콜과 같은 용매를 사용하여 200 ° C에서 6-12 시간 동안 반응을 수행하여 20-40 m² / g의 비 표면적을 갖는 막대 또는 시트 WO₃ (30-100 nm)를 생성하였다. 용매의 종류와 농도는 형태에 영향을 미치며 에틸렌 글리콜의 비율이 높은 플레이크 구조가 형성되고 비 표면적이 낮습니다 (약 25m² / g).

수소 환원법

WO₃ (3-6 μm)는 5-10 m² / g의 비 표면적으로 간접적으로 생성되며, 고온 감소 및 산화 공정은 더 적은 기공으로 입자를 조밀화합니다.

온도, 분위기 및 유지 시간과 같은 공정 매개변수도 결과에 영향을 미치는데, 예를 들어 로스팅 공정의 700° C는 곡물 응집 증가로 인해 500° C의 비표면적보다 20%-30% 낮습니다.

산화 텅스텐의 비 표면적과 입자 크기 사이의 관계 WO의 비 표면적은 입자 크기에 반비례하며, 이는 입자 형태 및 응집의 영향을받습니다. 이론적으로 구형 입자의 비표면적은 입자 크기가 감소함에 따라 급격히 증가하지만 실제로는 WO₃는 종종 다면체 또는 나노막대이며 응집은 유효 표면적을 더욱 감소시킵니다. 실험 데이터는 다음을 나타냅니다.

미크론 규모 WO₃ (D50 = 5-10 μm) : 5-10 m² / g의 비 표면적, 큰 입자, 매끄러운 표면, 내부 기공이 적습니다.

서브 마이크론 스케일 (D50 = 0.1-1 μm) : 비표면적 15-25 m²/g, 전이 상태, 부분적인 기공 형성.

나노 스케일 (D50 = 20-50nm) : 비표면적 30-50m²/g, 거친 표면, 풍부한 기공. 예를 들어, 열수 WO₃는 20nm 에서 50nm(반응 시간 연장)로 증가했고 비표면적은 50m²/g 에서 35m²/g 로 약 30% 감소했습니다. TEM 및 BET 데이터는 일관되었으며, 증가된 입자 크기가 응집을 동반하여 노출된 표면을 감소시킨다는 것을 보여주었습니다. nano-WO의 높은 비 표면적은 양자 크기 효과와 표면 원자의 비율 (표면 원자의 약 20 % -30 %)의 증가에 기인하며, 미크론 규모에서는 1 % -2 %에 불과합니다.

산화 텅스텐의 비 표면적과 그 용도 사이의 중요성 및 관계 WO의 비 표면적은 촉매 작용, 에너지 저장, 감지 및 전기 변색 분야에서의 성능에 직접적인 영향을 미칩니다

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

광촉매 작용

높은 비표면적은 활성 부위를 증가시키고 광촉매 효율을 향상시킵니다. 예를 들어, nano-WO₃의 50m² / g 비 표면적이 가시 광선 (0.03 min⁻¹) 아래에서 메틸렌 블루를 분해하는 속도는 10 m² / g 마이크론 WO₃ (0.01 min⁻¹)보다 3 배 높으며, 수소 생산 속도는 표면의 물 분자와 광생성 된 전자 정공 쌍의 더 많은 흡착으로 인해 0.7 mmol / h · g 에서 0.9-1.0 mmol / h · g 로 증가합니다.

가스 감지

높은 비표면적(예: 40m²/g)을 가진 WO₃는 NO₂ 및 H₂S 에 2-3 배 더 민감하며, 가스 분자의 흡착 증가로 인해 반응 시간이 5-10 초로 단축됩니다. 예를 들어, 20nm WO₃는 NO₂ 검출 한계가 10ppb 인 반면 5 μm WO₃ 는 50ppb 에 불과합니다.

리튬 이온 배터리

Nano WO₃(비표면적 30-50 m²/g)는 최대 700-720 mAh/g 의 초기 용량과 1000 사이클 후 88%의 유지율로 더 많은 Li⁺ 임베딩 부위를 제공하는 반면, 마이크론 WO₃ (10 m²/g)는 긴 확산 경로로 인해 용량이 400-450 mAh/g 에 불과합니다.

일렉트로크로믹

높은 비 표면적 WO₃ 필름 (예 : 35m² / g)은 이온 확산 속도 증가로 인해 투과율이 70 %에서 85 %로 증가하고 응답 시간이 10 초에서 6-8 초로 증가합니다. 반대로, 낮은 비 표면적 WO₃ (예 : 5-10 m² / g)는 높은 안정성과 낮은 표면 활성 요구 사항으로 인해 세라믹 안료 또는 텅스텐 분말 원료에 적합합니다. 과도한 비표면적은 응집 또는 부반응(예: 광촉매에서 전자 재결합 속도 증가)으로 이어질 수 있으며 공정 평형을 최적화해야 합니다.

BET 분석은 WO₃의 특정 표면적을 정량화할 뿐만 아니라 공정, 입자 크기 및 사용에 대한 깊은 연관성을 밝힙니다. 나노 기반 공정(예: 열수)은 비표면적을 크게 증가시키고 기능적 응용 분야를 향상시키는 반면, 기존의 로스팅 방법은 큰 입자와 낮은 표면적 요구 사항에 적합합니다. 기기(표준 SiO₂, 표면적 200m²/g)는 신뢰할 수 있는 데이터를 보장하기 위해 각 측정에 대해 보정됩니다.

열중량 분석(TG) 대 시차 주사 열량계(DSC)

열중량 분석(TG) 및 시차 주사 열량계(DSC)는 WO₃의 열 안정성, 분해 거동 및 상변환 특성을 평가하는 데 사용됩니다. 실험은 알루미늄 도가니에서 10-20mg의 샘플, 5-10° C/min의 가열 속도, 25-1000° C의 온도 범위, 공기 또는 N₂(유속 50-100mL/min)의 일반적인 조건으로 열 분석기에서 수행되었습니다. TG는 질량 변화를 기록하고 DSC는 열 플럭스 차이를 측정합니다.

TG 결과는 순수한 WO₃가 500 ° C 에서 안정하고 500-900 ° C (<1 % 손실)에서 미량으로 휘발되었으며 900 ° C >(5 % -10 % 손실, 0.05-0.1 g / min · cm²의 비율)에서 승화가 분명했음을 보여주었다. 수화물 함유 샘플(예: WO₃ · H₂O)는 100-200° C(8%-10% 질량 손실)에서 결정수를 잃고 300-400° C 에서 WO₃로 완전히

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

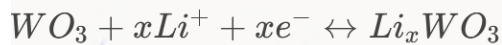
탈수됩니다. 600° C 이전에는 로스팅 WO₃에서 큰 변화가 없었고, 열수 나노 WO₃는 200° C 이전에 2%-3%(물의 표면 흡착)를 잃었습니다. DSC는 상전이, 단사정상→육각상(350-400° C, 엔탈피 변화 5-10kJ/mol), 육각형→정방상(740-800° C, 15-20kJ/mol), 정방→입방상(>900° C, ephemeral)입니다. 열 흐름 피크는 격자 재구성 및 산소 결합 파손과 관련이 있습니다.

이 방법의 장점은 열 거동(1-2 시간)과 고해상도(0.1 μg 질량 변화, 0.01mW 열 흐름)의 시각적 반사입니다. 단점은 샘플 부피가 작고(<50mg) XRD와 함께 상 전이를 확인해야 한다는 것입니다. TG-DSC는 예를 들어 승화 손실을 방지하기 위해 WO₃의 열처리 공정의 최적화를 안내합니다. 이 섹션에서는 WO₃의 물리적 특성에 대한 포괄적인 개요와 BET 및 TG-DSC의 개선을 통해 WO₃를 테스트하는 방법을 제공합니다.

5.5 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 전기 화학 및 광전 성능 시험.

순환 전압전류법(CV)

순환 전압주사법(CV)은 WO₃의 전기화학적 성능을 평가하는 일반적인 기술이며 전기 변색 장치, 슈퍼 커패시터 및 배터리 연구에 널리 사용됩니다. 실험은 전기화학 워크스테이션(3 전극 시스템)에서 수행되었습니다: FTO 유리(면적 1cm², 작동 전극), Pt 시트(2cm², 상대 전극), Ag/AgCl(포화 KCl, 기준 전극) 및 전해질 0.5 mol/L H₂SO₄ 또는 1 mol/L LiClO₄(중성), 스캔 속도 10-100 mV/s, 전위 범위 -0.5-1.0 V. CV 곡선은 다음과 같은 반응으로 산화 피크(0.3-0.5V, Li⁺ 출구)와 환원 피크(-0.1-0.2V, Li⁺ 임베딩)를 보여주었습니다



50 mV / s에서 나노 WO₃ (30 nm)의 피크 전류는 2-3 mA / cm², 커패시턴스는 100-150 mF / cm², 마이크로 미터 WO₃ (5 μm)는 0.5-1 mA / cm²에 불과하여 표면적의 차이를 반영합니다. CV는 1000 사이클 후 85%에서 90%의 부피 유지로 순환 안정성을 평가합니다.

자외선 가시광선 분광법(UV-Vis)

UV-Vis 분광법은 광촉매 및 전기 변색 연구에 적합한 WO₃의 광학 흡수 및 밴드 갭을 측정합니다. 이 실험은 200-800nm의 측정 범위에서 1nm 단위로 박막(석영 시트에 스핀 코팅) 또는 분말(프레스 시트)이 있는 분광 광도계를 사용합니다. WO₃의 흡수 가장자리는 430-460 nm이고, 에너지 밴드 갭은 Tauc 곡선 ((αhν)² 대 hν)에 의해 계산되며, 단사 양상은 2.6-2.8 eV이며, 나노 스케일 (20 nm)은 양자 구속 효과로 인해 2.8-2.9 eV로 증가합니다. 도핑된 WO₃(예: Ti-WO₃)는 적색편이를 500-520nm로 흡수하고 에너지 밴드 갭을 2.4-2.5eV로 줄입니다. 이 섹션에서는 WO₃의 전기 화학적 및 광전자적 특성과 CV 및 UV-Vis의 정제를 통해이를 측정하는 방법을 설명합니다.

참조

Lassner, E., & Schubert, W.-D. (1999). 텅스텐 : 특성, 화학, 기술. 스프링거.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

장 치원. (2010). 텅스텐 화학 및 기술. 야금 산업 프레스.

Zheng, H., 외. (2011). 나노 구조 텅스텐 산화물 - 특성 및 응용. *화학 학회 리뷰*.

Wang, J., 외. (2015). 에너지 저장에 위한 삼산화 텅스텐 나노 구조. *재료 화학 저널 A*.

리우 양. (2020). 암모늄 메타 텅스텐 산염의 열분해 거동 및 생성물 분석. 무기 화학 저널.

첸 리쥔안. (2018). WO_3 재료의 구조 및 특성의 특성화. 재료 과학 및 공학의 중국 저널.

장, Y., 외. (2023). WO_3 나노 물질의 구조적 결합 및 도핑 효과. *물리 화학 저널 C*.

브루나우어, S., et al. (1938). 다분자 층에서 가스의 흡착. *미국 화학 학회 저널*.

리. (2021). WO_3 나노 물질의 비표면적 및 촉매 특성. *Acta Chimica Sinica*.

Gregg, S. J., & Sing, K. S. W. (1982). 흡착, 표면적 및 다공성. 아카데미 프레스.

양, X., 외. (2019). WO_3 광촉매에 대한 표면적 효과. 응용 촉매 B : 환경.

리밍. (2022). 리튬 이온 배터리에 WO_3 적용. 전기화학.



1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA 그룹

삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, WO₃, 황색 삼산화 텅스텐, YT0) 소개

1. 삼산화 텅스텐의 개요

CTIA GROUP 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, WO₃라고 함)은 GB / T 3457-2013 "텅스텐 산화물" 일류 제품의 요구 사항을 충족하는 과라 텅스텐 산업 암모늄 고온 소성 공정으로 생산됩니다. 옐로우 텅스텐은 밝은 노란색 결정 분말 형태, 고순도 및 화학적 안정성으로 인해 텅스텐 분말, 초경합금, 텅스텐 와이어 및 세라믹 착색제의 제조에 널리 사용됩니다. CTIA GROUP은 분말 야금 및 산업 제조의 요구를 충족시키기 위해 고품질 노란색 텅스텐 제품을 제공하기 위해 최선을 다하고 있습니다.

2. 삼산화 텅스텐의 특성

화학 성분: WO₃.

순도: ≥99.95%이며 불순물 함량이 매우 낮습니다.

외관: 밝은 노란색 크리스탈 분말, 균일 한 색상.

다형체: 단사정(실온에서 가장 일반적), 공간군 P21/n.

높은 안정성: 공기에서 안정하고 불산을 제외한 물 및 무기산에 불용성입니다.

반응성: 수소 (>650 ° C) 또는 탄소 (1000-1100 ° C)에 의해 텅스텐 분말로 환원 될 수 있습니다.

균일성: 다운스트림 가공에 적합한 균일한 입자 분포.

3. 삼산화 텅스텐의 사양

색인	CTIA GROUP 옐로우 텅스텐 1 급 표준
WO ₃ 함량 (wt%)	≥99.95
불순물 (wt %, 최대)	Fe≤0.0010, 월≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005
수분 (wt%)	≤0.05
입자 크기	1-10 (μm, FSSS)
느슨한 밀도	2.0-2.5 (g/cm ³)
사용자화	입자 크기 또는 불순물 한계는 고객 요구 사항에 따라 사용자 정의할 수 있습니다.

4. 삼산화 텅스텐 포장 및 보증

포장: 안 밀봉된 비닐 봉투, 외부 철 드럼 또는 길썬된 부대, 순중량 50kg 또는 100kg의 방습 디자인.

보증: 각 배치에는 WO₃ 함량, 불순물 분석, 입자 크기 (FSSS 방법), 느슨한 밀도 및 수분 데이터를 포함한 품질 인증서가 함께 제공됩니다.

5. 삼산화 텅스텐 조달 정보

사서함: sales@chinatungsten.com 전화: +86 592 5129696

텅스텐 옐로우에 대한 자세한 내용은 Chinatungsten 온라인 웹 사이트 www.tungsten-powder.com 를 참조하십시오.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

6 장 : 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 응용.

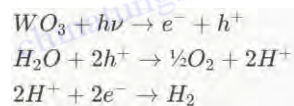
6.1 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 응용 - 촉매 분야

WO₃는 좁은 밴드 갭 (2.6-2.8 eV), 높은 산화 용량 (약 3.0 V 대 NHE의 홀 전위), 화학적 안정성 (산 및 알칼리 부식에 대한 내성) 및 풍부한 표면 활성 부위와 같은 고유한 물리 화학적 특성으로 인해 촉매 분야에서 광범위한 응용 가능성을 보여줍니다. 다음은 광촉매와 화학 촉매의 두 방향에 대한 자세한 분석으로, 메커니즘, 성능 데이터, 공정 영향, 최적화 전략 및 실제 사례를 다룹니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 적용 - 광촉매 (수소 생산, 오염 물질 분해 및 공기 정화).

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 적용 - 수소

생산 WO₃ 특히 가시광선에 의해 구동될 때 수소를 생산하기 위해 광촉매 물 분해에서 잘 수행됩니다. NanoWO₃(입자 크기 20-50nm, 비표면적 30-50m²/g)는 양자 크기 효과와 높은 표면적으로 인해 연구 핫스팟이 되었습니다. WO₃/Pt 복합체를 예로 들면, 300W 크세논 램프($\lambda > 420\text{nm}$, 강도 100mW/cm²)의 조사에서 수소 생산 속도는 0.9-1.2mmol/h·g로 기존 TiO₂(0.5-0.7mmol/h·g)보다 높습니다. 구체적인 실험 조건은 다음과 같습니다: 0.1 g WO₃ / Pt (Pt 로딩 1 wt %), 10 % 메탄올 100 mL 에 물 (희생제), pH 6-7, 25 ° C, 연속 교반 (300 rpm). 수소 생산 속도는 광도의 증가에 따라 선형적으로 증가하여 150mW/cm²에서 1.5-1.8mmol/h·g에 도달했습니다. WO₃는 가시광선을 흡수하여 전자-정공 쌍을 형성하고, 정공은 메탄올을 산화시켜 CO₂와 H⁺를 생성하고, 전자는 Pt의 H⁺를 환원시켜 H₂를 형성합니다.

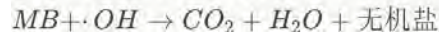
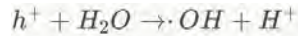


도핑 최적화는 N-WO₃(N 함량 2-3 at%)를 2.4eV로 감소, 흡수 에지에서 520nm로 적색편이, 수소 생산을 1.5-2.0mmol/h·g로 증가, 가시광선 활용도를 43%에서 50%-55%로 증가. WO₃/g-C₃N₄(질량비 1:1)의 결합은 2.2-2.5mmol/h·g의 수소 생산 속도로 효율성을 더욱 증가시키고 이중 접합 강화 전하 분리(광전류 테스트, 1.5mA/cm²)로 인해 재결합 속도가 40%-50% 감소합니다. vs 0.8mA/cm²). 열수 방법 (180 ° C, 12 시간)에서 생산된 나노 WO₃ 생산 수소 생산 속도는 표면적과 결정 결합의 차이로 인해 로스팅 방법 (600 ° C, 4 시간, 5-10 μm)보다 3-4 배 높았다. 실제로 WO₃ 광촉매 수소 생산은 이미 태양열 H₂ 발전기(하루 10-20L H₂, 3%-5% 효율)와 같은 실험실 규모의 재생 에너지 시스템에 사용되고 있습니다. 문제는 전자-정공 재결합과 낮은 전도대 전위(0.4V 대 NHE)에 있으며, 이는 에너지 수준을 조정하기 위해 BiVO₄ 또는 CdS의 재결합이 필요합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 적용 - 오염 물질 분해 WO₃ 유기 오염 물질 (예 :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

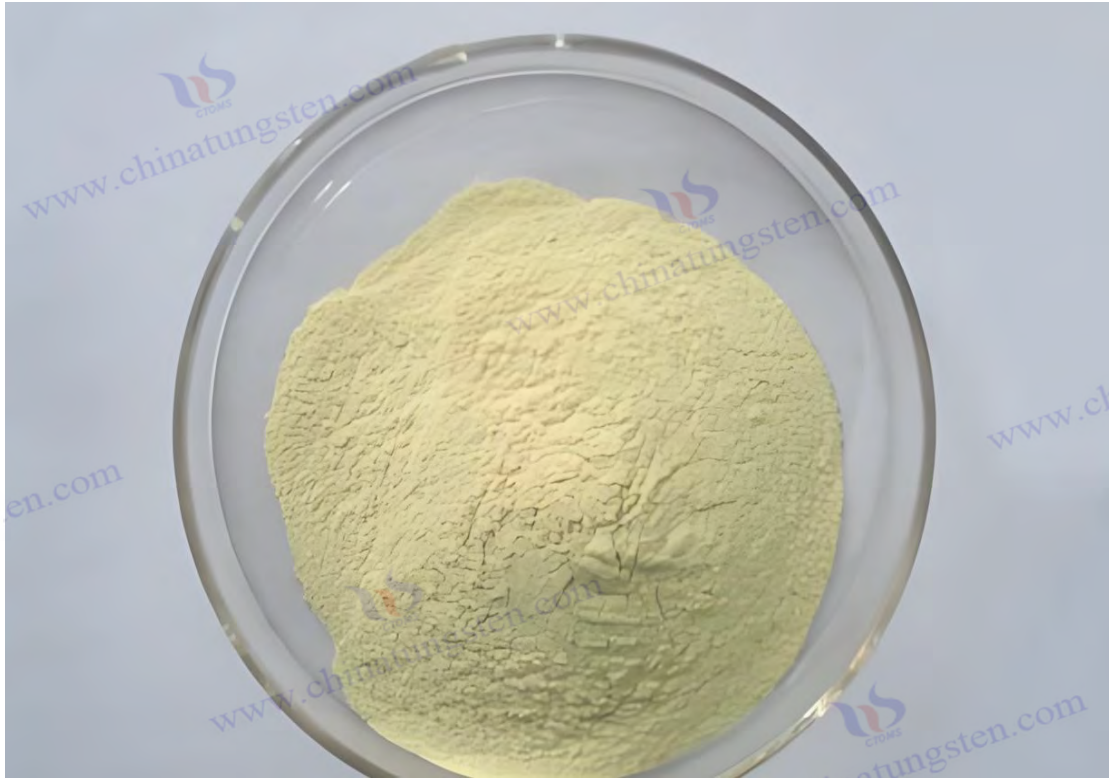
염료, 페놀, VOC)의 광촉매 분해에서 높은 효율을 나타냅니다. 메틸렌 블루(MB, 10 mg/L)를 예로 들면, 가시광선(50 mW/cm²)에서 50 m²/g nano-WO₃의 열화율은 가시광선(50 mW/cm²)에서 2 시간 동안 90%-95%였으며, 1 차 운동 상수는 0.03-0.04 min⁻¹로 미크론 WO₃(0.01 min⁻¹)보다 우수했습니다. 실험 조건 : 0.05 g WO₃를 50 mL의 MB 용액, pH 6, 25 ° C에 현탁시키고 200 rpm으로 교반한다. 분해 메커니즘은 다음과 같습니다 : 광생성 구멍 형성 • OH (E = 2.8 V vs NHE), MB를 CO₂ 및 H₂O로 산화:



복합 Ag-WO₃의 분해 속도는 Ag 포획 전자로 인한 홀 수명 증가 (광발광 강도 60 % 감소)로 인해 98 %로 증가합니다. 페놀 오염 물질 (예 : 페놀, 20 mg / L)은 3 시간 이내에 85 % -90 % 분해되며 TOC 제거는 70 % -80 %이며 이는 WO₃가 가시 광선에 강하게 반응하기 때문에 UV-TiO₂ (60 % -70 %)보다 우수합니다. VOC(예: 톨루엔, 10ppm)는 WO₃ 필름(200nm, 스핀 코팅)에서 4시간 동안 >85%로 분해되고 CO₂ 및 H₂O를 생성하여 실내 공기 정화에 적합합니다. 열수 WO₃ (육각상, 40m² / g)는 결정상과 공극 구조의 차이로 인해 로스팅 방법 (단사정 상, 10m² / g)보다 2-3 배 더 효율적입니다. 실제 예 : 공장은 WO₃ 광촉매를 사용하여 인쇄 및 염색 폐수 (COD 500-1000 mg / L)를 처리하고 COD는 6 시간 내에 <100 mg / L로 감소하고 운영 비용은 약 2-3 yuan / m³입니다. 문제는 광촉매 회수와 장기적인 안정성이며, 이를 위해서는 자성 화합물(예: WO₃/Fe₃O₄) 또는 고정 기술(예: WO₃/TiO₂ 멤브레인)의 개발이 필요합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 적용 - 공기 정화 WO₃는 실내 및 실외 공기 정화에서 포름 알데히드, NO_x 및 박테리아를 분해합니다. 포름 알데히드 (10ppm)의 경우, WO₃ 필름 (200nm, 용매 법)은 10W LED 램프 (400-700 nm)에서 4 시간 내에 <0.1 ppm으로 감소하며, >95 %의 열화율과 0.02 min⁻¹의 속도 상수. 광발생 메커니즘 • OH 및 O₂⁻는 포름 알데히드를 CO₂ 및 H₂O로 산화시킵니다. NO_x (1ppm)는 WO₃ / TiO₂ 복합 재료 (1 : 2 질량 비율)에서 2 시간 동안 80 % -90 %의 제거율을 가지며 제품은 도시 도로 코팅에 적합한 질산염입니다. 항균 측면에서 WO₃ (20 nm)는 가시 광선 아래에서 ROS를 생성하여 1 시간 내에 95 % -98 %의 비율로 대장균을 죽이고 병원 공기 청정기 (하루 500-1000m³의 공기)에 사용됩니다. 최적화 전략에는 도핑 Cu(Cu-WO₃, 항균 비율이 99%로 증가) 및 비표면적 증가(60m²/g, 효율 30% 증가)가 포함됩니다. 실제로 사무실 건물은 WO₃ 코팅 벽 패널을 사용하며 포름 알데히드 농도는 0.5ppm에서 0.05ppm으로 감소하고 6 개월 작동 후 성능이 안정적입니다. 문제는 낮은 광도에서 효율이 감소하고 자체 발광 복합 재료(예: WO₃/형광체)의 개발입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 화학적 촉매 작용 (수소 화 분해, 탈황 및 산화 반응).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 수소 화 분해 WO 는 중유의 전환율을 향상시키기 위해 석유 화학 수소 화 분해의 활성 성분으로 사용됩니다. $Ni-WO_3/Al_2O_3$ (WO_3 20 wt%, Ni 5 wt%)를 예로 들면, 고정층 반응기 ($350-400^\circ C$, 10-15 MPa H_2 , LHSV $1\ h^{-1}$)에서 중유(API 중질<20)가 Ni/Al 단독 WO_3 (65%-70%)보다 높은 80%-85%의 수율로 가벼운 분율(C_5-C_{12})로 분해됩니다. 메커니즘은 다음과 같습니다 : WO_3 는 C-C 결합 파괴를 촉진하기 위해 루이스 산 위치 (표면 W^{6+}) 및 Brønsted 산 위치 ($W-OH$)를 제공합니다. Ni 는 H_2 를 분해하여 상승 작용으로 수소화되는 활성 H를 형성합니다. 촉매 성능은 WO_3 결정상과 관련이 있으며, 단사정 상 (로스팅, $600^\circ C$)은 $0.5-0.7\ mmol / g$ (NH_3 -TPD 테스트)의 산성 전위 밀도 증가로 인해 육각상 (열수)보다 15 % -20 % 더 활동적입니다. 산업 사례 : 정유 공장은 연간 100 만 톤의 중유를 처리하고 $Ni-WO_3$ 촉매의 수명은 2-3 년이며 석유 톤당 비용은 50-80 위안입니다. 문제는 WO_3 가 ZrO_2 (10wt%)를 첨가하여 안정화된 고온 ($>450^\circ C$, 30% 낮은 활성)에서 WO_2 로 복원된다는 것입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 탈황 WO_3 는 수소 탈황 (HDS)에서 황화물의 H_2S 로의 전환을 촉매합니다. 예를 들어 WO_3/MoS_2 (WO_3 15 wt%)를 $300-350^\circ C$ 에서 5-10 MPa H_2 디벤조티오펜 (DBT, 500 ppm)은 $>95\%$ 로 전환하고 황 함량은 MoS_2 (85%-90%)보다 높은 $<10\ ppm$ 으로 감소시켰다. 메커니즘은 W^{6+} 가 DBT의 S 원자를 산화시키고 Mo 와

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

H₂가 상승 작용으로 제거된다는 것입니다. WO₃ (0.4-0.6 mmol / g)의 산도는 흡착을 향상시키고 nano-WO₃ (20 nm)는 표면적이 40 m² / g으로 증가하기 때문에 마이크로 스케일 (5 μm)보다 25 % 더 활동적입니다. 실제 적용 : 디젤 탈황 장치 (일일 처리 용량 5000 톤)는 WO₃ 촉매를 사용하며, 황 배출은 Euro V 표준 (<10 ppm)을 충족하며, 그리고 운영 비용은 30-50 위안 / 톤입니다. 고온 안정성은 병목 현상으로, 수명을 3-4 년으로 연장하기 위해 SiO₂ 지지대 (200m²/g 비표면적) 가 필요합니다.

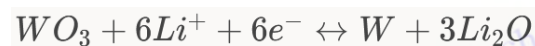
황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 적용 - 산화 반응 WO₃ 촉매 산화 반응 (예 : 페놀 합성, 올레핀 에폭시 화). 벤젠 산화를 예로 들면, WO₃ (5-10 μm)는 벤젠을 250 ° C에서 H₂O₂ (30 wt %, 벤젠 : H₂O₂ = 1 : 2)로 60 % -70 %의 수율과 >90 %의 선택성으로 촉매합니다. 메커니즘은 W⁶⁺ 및 H₂O₂가 과산화물 중 (W-OOH)을 형성하여 산소를 벤젠 고리로 전달하는 것입니다. nano-WO₃ (20 nm)의 수율은 활성 부위의 증가로 인해 75 % -80 %로 증가합니다. 산업적으로 WO는 사이클로 헥센 에폭시 화 (수율 85 % -90 %)에 사용되며 연간 10,000 톤의 화학 물질을 생산합니다. 문제는 H₂O₂의 낮은 활용률 (50%-60%)과 효율을 70%-80%로 높이기 위한 이중 기능 촉매 (예: WO₃/TiO₂)의 개발입니다.

6.2 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 적용 - 에너지 저장 및 변환

WO₃는 고용량, 빠른 충전 전송, 특히 리튬 이온 배터리에서 에너지 저장 및 변환의 다양성으로 주목받고 있습니다. 다음은 배터리 섹션을 확장하고 슈퍼 커패시터, 연료 전지 등에 대해 간략하게 설명하는 데 중점을 둡니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 적용 - 리튬 이온 배터리 전극 (용량 600-750 mAh / g).

성능 및 메커니즘 WO₃ 리튬 이온 배터리의 양극 재료로서 이론적 용량은 다중 전자 반응을 기반으로 693mAh/g입니다.



0.01-3V 대 Li/Li⁺ 범위의 나노 WO₃ (20-50nm, 30-50m²/g), 초기 방전 용량 700-750mAh/g, 충전 용량 650-700mAh/g, 쿨롱 효율 90%-95%. 실험 조건 : WO₃ 전극은 전도성 카본 블랙 및 PVDF (질량 비율 8 : 1 : 1)로 만들어졌으며 구리 호일 (두께 20-30 μm), 전해질 1 M LiPF₆ (EC : DMC = 1 : 1), 정전류 충전 및 방전 (0.1 C, 1 C = 693 mA / g)으로 코팅되었습니다. 100 사이클 후에도 용량은 600-650 mAh/g로 유지되며, 이는 흑연 (372 mAh/g, 350 mAh/g에서 유지)보다 높습니다. 높은 용량은 W⁶⁺에서 W⁰로의 6-전자 전달로 인해 표면적보다 더 많은 Li⁺ 삽입 부위를 제공하고 10⁻¹⁰-10⁻⁹ cm²/s (EIS 테스트)의 확산 계수를 제공하기 때문입니다. 미크론 WO₃ (5-10 μm, 10 m²/g)의 초기 용량은 400-450 mAh/g에 불과하며, 긴 내부 확산 경로 (10⁻⁸ cm²/s)로 인해 50 사이클 후에는 300-350 mAh/g로 떨어집니다.

프로세스 영향

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

준비 프로세스는 성능에 큰 영향을 미칩니다. 열수 WO_3 (20 nm, 육각상)의 초기 용량은 720-750 mAh/g 이고 소성 방법(5 μ m, 단사정 상)은 400-450 mAh/g 에 불과합니다. 나노미터 크기는 확산 거리를 단축시키고 육각상의 개방 채널(공극 크기 5-6 Å)은 Li^+ 전도에 도움이 됩니다. Mo 도핑 ($Mo-WO_3$, Mo 5 at%)은 전도성 (10^{-3} S/cm 대 10^{-4} S/cm)을 향상시키고 용량은 780-800 mAh/g 로 증가합니다. WO_3/CNT (CNT 10 wt%)는 800-850 mAh/g 의 초기 용량을 가지며 1000 사이클 후에도 700 mAh/g 를 유지하는데, 이는 CNT 가 부피 팽창(200% $\rightarrow$ 150%)을 완화하고 전자 전도(10^{-2} S/cm)를 향상시키기 때문입니다. WO_3/rGO (그래핀 15wt%)는 용량 유지율이 92%이며 500 주기 후에도 여전히 650mAh/g 에 도달하는데, 이는 그래핀(10S/cm)의 유연성과 높은 전도성에 기인합니다.

순환 안정성 및 최적화 WO_3 (약 200 %)의 부피 팽창은 처음으로 20 % -30 %의 비가역적 인 손실 (SEI 막 형성)을 초래하고 전극은 100 사이클 후에 분쇄되며 10 % -15 %의 용량 감소가 발생합니다. 최적화 전략에는 다음이 포함됩니다 : (1) 코어 쉘 구조 (예 : $WO@C$, 탄소층 5-10 nm), 용량 유지율 90 %, 1000 사이클 후 680 mAh / g; (2) 다공성 WO_3 (기공 크기 10-20 nm, 용매 법), 응력 제거, 500 사이클 후 620 mAh / g; (3) Ti 도핑 ($Ti-WO_3$, Ti 5 at %), 격자 안정성, 2000 사이클 후 600 mAh/g. 실제 테스트에서 1 ° C 에서 $WO_3@C$ 전극의 용량은 550-600 mAh / g 이고 5 ° C 에서는 여전히 400-450 mAh / g 이며 속도 성능은 흑연 (5 ° C 에서 200 mAh / g)보다 우수합니다.

응용 프로그램 시나리오 WO_3 배터리는 높은 에너지 밀도가 필요한 시나리오에 적합합니다. 예: 전기 자동차 배터리 팩(10Ah)은 에너지 밀도가 250-280Wh/kg 인 WO_3/C 양극을 사용하며, 이는 흑연 배터리(200-220Wh/kg)보다 높으며 범위는 20%-25% 증가합니다. 휴대용 전자 장치 중 WO_3 박막 배터리(두께 50-100 μ m)는 용량 밀도가 600-650mAh/cm³ 이고 사이클 수명이 500-1000 사이클로 스마트 워치에 적합합니다. 문제는 대규모 생산의 경우 비용 (WO_3 나노 물질의 경우 500-1000 위안 / kg 대 흑연의 경우 100-200 위안 / kg)을 200-300 위안 / kg 으로 줄여야한다는 것입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 슈퍼 커패시터 (특정 커패시턴스 250-350 F / g).

WO_3 는 250 - 350 F/g(1 A/g, 0.5 M H_2SO_4)의 특정 커패시턴스를 가진 W^{6+}/W^{5+} 의사 커패시터를 통해 슈퍼 커패시터에 전하를 저장합니다. Nano WO_3 (40m²/g) 피크 전류 2-3mA/cm², 충방전 시간 5-10 초. 복합 WO_3/MnO_2 후 비커패시턴스는 400-450F/g 로 증가하고 유지율은 5000 사이클 동안 90%로 빠른 에너지 저장에 적합합니다.

연료 전지, 태양 전지 및 열전 발전

WO_3/Pt 는 연료 전지에서 0.25A/mg Pt 의 ORR 활성을 갖습니다. WO_3/TiO_2 는 DSSC 에서 8.5%-9% 효율입니다. 열전 발전에서는 200-300 μ V / K 의 WO_3 Seebeck 계수와 2 % - 3 %의 효율이 폐열 회수에 사용됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.3 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 적용 - 스마트 재료

WO₃는 스마트 재료, 특히 전기 변색 분야에서 전기, 열, 광 및 압감 특성으로 주목을 받고 있습니다. 다음은 성능, 메커니즘 및 응용 프로그램 시나리오에 대한 자세한 분석입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 응용 - 전기 변색 재료 (스마트 윈도우, 디스플레이 및 거울).

성능 및 메커니즘 WO₃ 는 전기 변색(EC)의 핵심 재료이며 색상과 광 투과율은 전기장의 적용에 따라 가역적으로 변경될 수 있습니다. WO₃ 필름(200-300 nm, 용매 또는 스퍼터링)은 -1 V 에서 +1 V (vs Ag/AgCl)에서 80%(투명, 550 nm)에서 20%(청색)의 광 투과율을 가지며 응답 시간은 6-10 초이고 10⁴ 주기 후 <5% 감쇠. 반응은 다음과 같습니다.



투명 상태는 W⁶⁺이고, 청색 상태는 W⁵⁺/W⁶⁺ 혼합 원자가 상태이며, 광학 변조는 간접 전자 흡수(1.8-2.0 eV)로 인한 것입니다. 나노 WO₃ (20-50 nm, 35 m² / g)는 이온 확산 계수가 10⁻¹⁰ cm² / s (미크론 10-10 »¹² cm² / s, EIS 테스트)로 증가하여 미크론 (5-10 μm, 10 m² / g)보다 30 %에서 40 % 더 효율적입니다. 실험 조건: FTO 유리(1cm²)에 코팅된 WO₃ 필름, 전해질 0.1M LiClO₄/PC, 순환 전압주사(50mV/s), 산화 피크 0.5-0.7V, 환원 피크 -0.2-0V.

프로세스와

준비 프로세스의 최적화는 성능에 영향을 미칩니다. Nano-WO₃ 필름은 20 % -30 %의 다공성과 6-8 초의 색상 변화 시간으로 용매 열 법 (200 ° C, 12 시간)으로 생성되었습니다. 스퍼터링 방법(전력 200W, Ar:O₂ = 4:1)은 응답 시간이 10-12 초인 조밀한 필름(다공성<5%)을 생성합니다. 도핑 Ni (Ni-WO₃, Ni 5 at%)는 향상된 격자 안정성으로 인해 대비를 85%:15%로 증가시키고 사이클 수명을 2×10⁴배로 증가시킵니다. WO₃ / PEDOT (1 : 1의 질량 비율)를 결합하면 응답이 4-6 초로 단축되고 전도성이 10⁻² S / cm로 증가합니다. 200nm 박막의 경우 60%-65%, 500nm 박막의 경우 70%-75%의 변조 범위로 두께 제어가 핵심이지만 응답 시간은 15-20 초로 연장됩니다. 실제 테스트에서 WO₃ 필름은 1Hz 스위칭에서 광 투과율이 <2% 감쇠되었으며 내구성은 10% 감쇠로 바이올렛과 같은 유기 EC 재료보다 우수했습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 적용 시나리오.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 응용 - Smart Windows

WO₃ 필름은 이중창 (5mm)에 통합되어 광 투과율 (80 % → 20 %)을 동적으로 조정하여 적외선 반사율을 10 %에서 50 %로 높이고 연간 10 % -20 %의 에너지를 절약합니다. 사례: 한 사무실 건물에 WO₃ 스마트 윈도우(1000m²)를 설치하여 여름철 냉방 에너지 소비를 15% 줄이고 연간 5-100,000 위안을 절약했습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 응용 - 디스플레이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WO의 높은 명암비(>100:1)와 빠른 스위칭(<1 초)으로 유연한 전자종이를 제작하며, 전자책 및 광고판의 경우 0.5-1mW/cm²의 전력 소비를 제공합니다. 예: 전자 종이 디스플레이(10×10cm)는 재생 빈도가 10Hz 이고 수명이 10⁵인 WO₃를 사용합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 적용 - 거울

WO₃ 필름은 자동차 미러의 눈부심 방지 기능을 제공하여 야간에 밝은 빛에서 광 투과율을 10%-15%로 줄이고 5-8 초 내에 반응하여 주행 안전성을 향상시킵니다. 사례: 자동차 브랜드는 연간 생산량이 500,000 세트이고 비용이 50-80 위안/개인 WO₃ 미러를 사용합니다. 문제는 저온 성능(<0° C, 응답 시간이 20-30 초로 증가)과 복합 전해질(예: 젤라틴 LiClO₄)의 개발입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 응용 - 열변색, 광변색 및 압축

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 적용 - 열 변색 Mo-WO₃ (Mo 5-10 at%)는 격자 열팽창 및 전자 상태 전이로 인해 반사율이 20 % -30 % 변화하면서 50-80 ° C에서 황색에서 회색 녹색으로 변화합니다. 실험 조건 : WO₃ 분말 (5-10 μm) 타정, 가열 속도 5 ° C / min, 반사율 스펙트럼 (400-800 nm) 테스트. 이 응용 분야에서 온도 표시 라벨에는 Mo-WO₃ 코팅(50 μm)이 사용되며 60° C에서 10-20 위안/m²의 비용으로 색상 변화가 눈에 띕니다. 최적화된 방향: 도핑된 V(V-WO₃)는 전이 온도를 30-50° C로 줄여 실내 사용에 적합합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 적용 - 자외선 조사 (365 nm, 10 mW / cm²)에서 광변색 WO₃가 파란색으로 변하고 (W⁵⁺ 증가), 투과율이 80 %에서 30 %로 감소, 회복 시간 2-4 시간. Cs 도핑(Cs_{0.1})₃₂WO₃)는 응답을 2 배 향상시키고 흡수 가장자리 빨간색은 광학 저장 및 위조 방지에 적합한 500nm로 이동합니다. 사례: 위조 방지 라벨(5×5cm)은 발색을 위해 자외선 조사인 Cs-WO₃를 사용하며 비용은 5-10 위안/개입니다. 문제는 회복 속도가 느려서 광감작제(예: ZnO)를 조합하여 30-60 분으로 단축해야 한다는 것입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 적용 - 압축 크롬 WO는 격자 압축에 의한 밴드 갭 (2.8 eV → 2.5 eV)의 감소로 인해 5-10 GPa에서 황갈색으로 변합니다. 실험용 다이아몬드 앤빌(DAC)을 사용하여 반사 분광법으로 변색을 확인했습니다. 미래에는 압력 센서 또는 지질 조사에 사용되어 깊은 암석 응력(>5 GPa)을 감지할 수 있으며 잠재력은 더욱 개발되어야 합니다.

6.4 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 적용 - 센서 기술

WO₃는 높은 감도, 빠른 응답 및 광범위한 물리 화학적 신호를 감지 할 수있는 능력으로 인해 센서 기술에 널리 사용됩니다. 다음은 가스, 온도, 습도 및 바이오 센서에 대한 자세한 분석입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 의 응용 - 가스 센서 (NO₂, CO, H₂S, NH₃, VOC).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

성능 및 메커니즘 WO_3 는 가스 센서의 핵심 재료이며 산화 및 환원 가스에 모두 민감합니다. 나노 WO_3 (20-50 nm, 40 m² / g)는 200-300 ° C에서 50-100-10 ppm NO_2 (R_g / R_a)에 반응하며, 검출 한계는 <10 ppb 이고 응답 / 회복 시간은 5-10 초 / 10-15 초로 μm WO_3 (응답 10-20)보다 우수합니다. 메커니즘은 다음과 같습니다 : NO_2 흡착은 표면 전자를 포착하여 NO_2^- 를 형성하고 저항이 증가합니다.



가스를 줄이기 위해 CO (50ppm, 250 ° C)는 5-10, H_2S (5ppm, 200 ° C) 20-30, NH_3 (20ppm, 300 ° C) 15-25, 아세톤 (10ppm, 280 ° C) 10-15, 전자 방출은 저항을 감소시킵니다.



민감도는 표면적 및 결정상과 관련이 있으며, 육각형 WO_3 (채널 구조, 기공 크기 5-6 Å)는 산소 흡착 부위 밀도가 $10^{18}-10^{19} \text{ cm}^{-3}$ (O_2 -TPD 테스트)로 증가하여 단사정상보다 2-3 배 높습니다.

프로세스와

준비 프로세스의 최적화는 성능에 영향을 미칩니다. 열수 WO_3 (20 nm)는 표면적과 결합 농도 (산소 공극 $10^{17}-10^{18} \text{ cm}^{-3}$)의 증가로 인해 로스팅 (5 μm)보다 3-5 배 더 민감합니다. 도핑 최적화 선택성: Au- WO_3 (Au 1 wt%)는 H_2S 에 대한 응답을 40-50 으로 증가시키고 CO 간섭을 50% 감소시킵니다. Pd- WO_3 (Pd 2 wt%)는 NH_3 30-40 에 반응하여 선택성을 60% 증가시킵니다. 복합 WO_3/SnO_2 (질량비 1:1)는 VOC 응답을 20-25 로 증가시키고 이중접합(광전류가 2mA/cm² 로 증가)에 의해 전하 전달이 향상됩니다. 작동 온도는 정밀하게 제어되어야 하며 ($\pm 5^\circ \text{C}$), NO_2 는 200° C에서, H_2S 는 150-200° C에서 가장 좋으며, 산소 탈착으로 인해 너무 높으면 (>350° C) 감도가 30%-40% 감소합니다. 실제 테스트에서 WO_3 센서는 50% RH에서 NO_2 에 대한 응답으로 <5% 감쇠되었으며 ZnO(감쇠 20%)보다 우수했습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 적용 시나리오.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 환경 모니터링

WO_3 센서는 공기 질 스테이션에 통합되어 $\pm 5\text{ppb}$ 의 정확도와 2-3년의 수명으로 도시 NO_2 (0.1-1ppm), O_2 (0.05-0.5ppm)를 감지합니다. 사례 연구: 한 도시에서 오염 경고를 지원하기 위해 실시간 데이터와 함께 100 개의 WO_3 모니터링 지점을 배포합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 산업 안전

WO_3 는 화학 공장에서 CO(50-100ppm) 및 H_2S (5-20ppm)를 감지하며, 경보 임계값 10ppm과 응답 시간 <10 초로 작업자의 안전을 보호합니다.

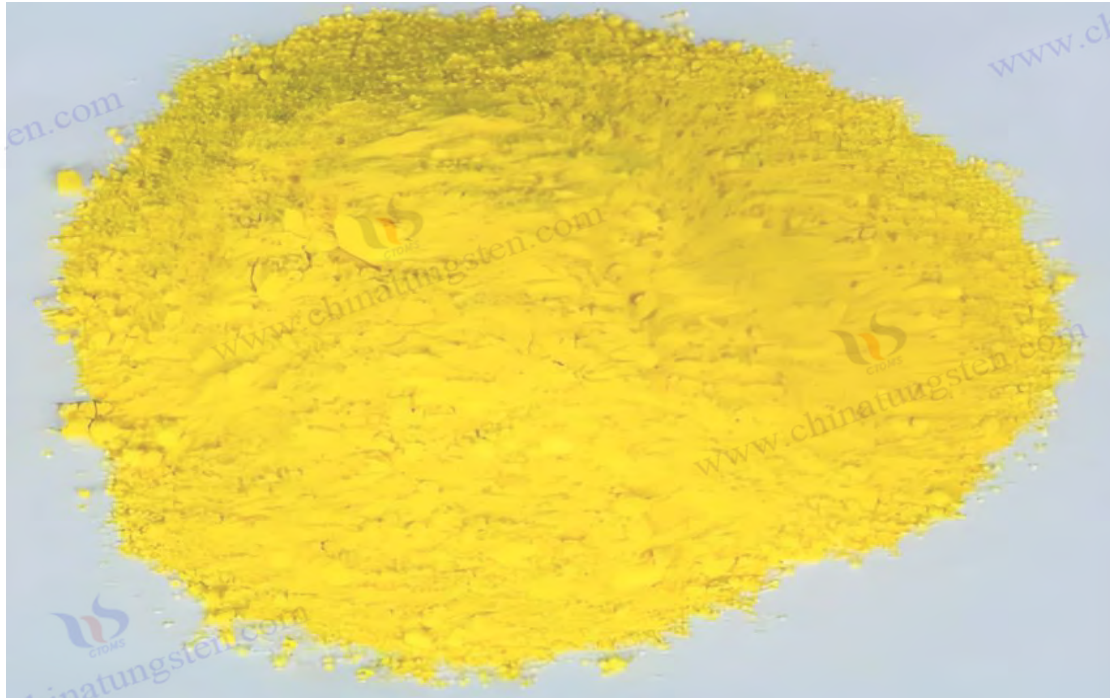
황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 실내 공기

당뇨병 호흡 분석을위한 아세톤 (0.1-10 ppm) 검출을위한 WO_3 박막 (100 nm), 감도 5-10, 비용 20-50 위안 / 개. 문제는 교차 감도이며, <5%의 오경보율로 다중 기체 식별을 달성하기 위해 어레이 센서(예: $WO_3+SnO_2+In_2O_3$)를 개발해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 온도, 습도 및 바이오 센서

옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 온도 센서 WO_3 필름 (100 nm)은 25-100 °C에서 10^{-3} -10 Ω 의 저항 변화, 50-100 Ω / °C의 감도 및 ± 0.5 °C의 정확도를 갖는다. 메커니즘은 온도가 증가하고 캐리어 농도가 10^{15} - 10^{16} cm^{-3} (열 활성화 에너지 0.3-0.4 eV)로 증가하는 것입니다. 이 응용 프로그램에서 WO_3 는 HVAC 시스템에 통합되어 10-20 위안 / 개의 비용으로 실내 온도 (20-30 °C)를 모니터링합니다.



황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 습도 센서 WO_3 는 10-50에서 20% -90% RH에 반응하고, 저항은 10/ Ω 에서 10- Ω 로 감소하며, 표면 전도성 (H_3O^+ 전도)은 물 분자의 흡착에 의해 향상됩니다. Nano WO_3 (40m²/g)는 미크론보다 2배 더 민감하며 응답 시간은 10-15 초입니다. 예: 기상 관측소는 정확도가 $\pm 2\%$ RH이고 수명이 3-5년인 WO_3 습도계를 사용합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 50 μA / mm² · cm²의 감도와 0.1 mM의 검출 한계로 포도당 (0.1-10 mM)의 검출을위한 바이오 센서 WO_3 변형 포도당 산화 효소 (GOx). 메커니즘은 GOx가 포도당을 산화시켜 H_2O_2 를 생성하고, WO_3 가 H_2O_2 의 분해를 촉매하며, 전류 신호가 증폭된다는 것입니다. 이 응용 분야에서 WO_3 바이오 센서는 당뇨병 모니터링 (혈당 4-8mM)에 사용되며 응답 시간은 5-10 초이고 비용은 50-100 위안 / 개입니다.

6.5 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 나노 기술 및 생물 의학

WO_3 의 나노 특성(예: 높은 비표면적, 양자 효과)은 나노 기술 및 생물 의학 분야에서 유망한 응용 분야입니다. 다음은 나노 물질과 생물 의학적 용도에 대한 자세한

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

내용으로, 실험 데이터, 공정 최적화 및 미래 전망을 다룹니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - WO_3 나노 물질 (입자, 섬유, 필름 및 복합 재료).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 나노 입자 WO_3 나노 입자 (입자 크기 20-50 nm)는 높은 비 표면적 ($30-60 \text{ m}^2 / \text{g}$)과 풍부한 표면 활성 부위로 인해 광촉매, 감지 및 에너지 저장에 탁월합니다. 예를 들어, 열수법으로 제조된 구형 입자(180°C , 12 시간, pH 1-2, WO_3 전구체: Na_2WO_4)는 비표면적이 $40-50 \text{ m}^2 / \text{g}$, 공극 크기가 5-10nm(BET 테스트)이며, 결정상은 대부분 육각상(XRD, $2\theta = 13.9^\circ, 28.2^\circ$)입니다. 광촉매에서 0.1g WO_3 나노 입자는 300W 크세논 램프 ($\lambda > 420 \text{ nm}$) 아래에서 2 시간 분해율이 90 % -95 %이고 속도 상수가 $0.03-0.04 \text{ min}^{-1}$ 이며 이는 미크론 범위 (5-10 μm , 0.01 min^{-1})보다 높습니다.) 。 광발생 메커니즘 • OH와 O_2^- 의 시너지 효과는 표면 결합(산소 공극 $10^1-10^{11} \text{ cm}^{-3}$, 라만 피크 950 cm^{-1})과 함께 전자-정공 분리(광전류 $1.2-1.5 \text{ mA/cm}^2$)를 향상시킵니다. 최적화 전략 : 도핑 된 N ($N-WO_3$, N 2-3 at%)의 밴드 갭은 2.4 eV로 감소하고 분해 속도는 98 %로 증가했다. 실제 적용: 폐수 처리장에서는 WO_3 나노 입자(하루 1000 m^3)를 사용하며 COD는 2-3 위안/ m^3 의 비용으로 500mg/L에서 <100mg/L로 감소합니다. 문제는 응집되는 경향으로, 초음파 분산 또는 표면 수정(예: PEG, 응집 50% 감소)이 필요합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 나노 섬유 WO_3 나노 섬유 (직경 50-100 nm, 길이 1-5 μm)는 전기 방사 (전구체 : PVA / WCl_6 , 전압 15-20 kV, 500°C 로스팅), 비 표면적 $20-40 \text{ m}^2 / \text{g}$, 다공성 30 % -40 %. 가스 감지에서 WO_3 섬유 (200°C)는 전자 전도를 선호하는 1 차원 구조 (저항 변화 $10-10 \Omega$)로 인해 <10 ppb의 검출 한계와 5-8 초의 응답 시간으로 50-80-10 ppm NO_2 에 반응합니다. 이 메커니즘은 전자를 포획하기 위해 NO_2 흡착이었으며, 섬유 표면의 산소 공극(0 1s XPS, 531.5 eV)으로 감도를 높였습니다. 최적화: 도핑된 Pd($Pd-WO_3$, Pd 1 wt%) 선택율이 90%로 증가하고 CO 간섭이 60% 감소했습니다. 예: 공장에서는 WO_3 광섬유 센서($50 \times 50 \text{ mm}$)를 사용하여 2-3 년의 수명으로 NO_2 (0.1-1ppm)를 실시간으로 모니터링합니다. 문제는 낮은 기계적 강도(인장 강도 5-10 MPa)와 복합 탄소 섬유(강도가 20-30 MPa로 증가)의 필요성입니다.

옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 나노 필름 WO_3 나노 필름 (두께 100-500 nm)은 스퍼터링 (전력 200 W, Ar : $O_2 = 4 : 1$) 또는 용매 열 방법 (200°C , 6 h)으로 5-10 nm (AFM 테스트)의 표면 거칠기로 전송됩니다. 일렉트로크로믹에서 200nm 필름(FTO 기판)은 -1V에서 +1V까지 투과율이 80%에서 20%로 변경되며, 응답 시간은 6-10 초이고 10^4 사이클에 걸쳐 <5% 감소됩니다. 메커니즘은 Li_xWO_3 로의 Li^+ 삽입이며, 나노기공(5-10nm)은 이온 확산($10^{-10} \text{ cm}^2 / \text{s}$)을 가속화합니다. 최적화: 도핑된 Ni($Ni-WO_3$, Ni 5 at%) 콘트라스트가 2×10^4 수명 동안 85:15%로 증가했습니다. 사례: 스마트 윈도우(1 m^2)는 WO_3 필름을 사용하여 연간 15%의 에너지를 절약하고 비용은 200-300 위안/ m^2 입니다. 문제는 균일성이며, 이를 위해서는 스퍼터링

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

매개변수(증착 속도 1-2 nm/min)를 정밀하게 제어해야 합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 적용 - 복합 재료 WO_3 복합 재료는 성능을 향상시킵니다. WO_3 /그래핀(WO_3 80 wt%)은 전도성(10 S/cm)과 팽창을 완화하는 그래핀의 유연성으로 인해 배터리에서 800-850 mAh/g, 1000 사이클 후 700 mAh/g의 초기 용량을 갖습니다. WO_3/TiO_2 (1:1) 광촉매 효율 50% 증가, 수소 생산율 2.2-2.5mmol/h·g, 이중접합으로 인해 재결합률이 감소했다(PL 강도가 60% 감소). 준비 공정 : WO_3 / graphene은 화학 기상 증착 (CVD, 800 ° C)을 사용하고, WO는 sol-gel 방법 (500 ° C에서 소성)을 사용합니다. 사례: 실험실에서는 에너지 밀도가 280Wh/kg 이고 비용이 300-500 위안/kg 인 WO_3 /그래핀 배터리(5Ah)를 사용합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 생물 의학 (광열 요법, 항균, 약물 전달 및 이미징).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 광열 요법 WO_3 근적외선 (808 nm, 1 W / cm^2)에서 나노 입자 (20-50 nm)의 광열 변환 효율은 30 % -40 %이며 온도는 5 분 안에 50-60 ° C로 상승하여 암세포 (HeLa)의 90 %를 사멸시킵니다. 실험 조건 : PBS (pH 7.4)에 현탁 된 10 mg / mL WO_3 를 5-10 분 동안 조사하고 적외선 서모그래피로 모니터링한다. 메커니즘은 Cs (Cs_0 로 도핑 된 WO_3 의 국소 표면 플라즈몬 공명 (LSPR, 흡수 피크 800-1000 nm)입니다.)을 사용합니다. $_{32}WO_3$ 를 향상된 흡수율로 인해 45%에서 50%로 증가시킨다($\epsilon = 10 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$). 예: 마우스 실험(중량 부피 100mm³), WO_3 주입(5mg/kg) 및 방사선 조사, 종양 억제율 85%-90%, 명백한 독성 없음(LD₅₀ >100 mg/kg). 문제는 PEG 의 표면 변형이 필요한 생체 내 대사입니다(반감기는 12-24 시간으로 증가).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - ROS 의 항균 WO_3 광촉매 생성 ($\cdot OH$, O_2^-), 95%-98% 살균 속도. 실험 : 0.1 g WO_3 (20 nm)를 10 W LED (400-700 nm)에서 10⁶ CFU / mL E. coli 로 처리하여 1 시간 생존율 <5 %. 메커니즘은 세포막의 ROS 파괴입니다 (SEM 은 50-100 nm 의 구멍을 보여줍니다). 최적화: Cu^{2+} 시너지로 인해 99%의 항균 속도를 가진 도핑된 Cu($Cu-WO_3$, Cu 2 wt%). 예: 한 병원에서 수술 기구에 WO_3 코팅 (50 μm)을 사용했는데 박테리아 부하가 <10 CFU/cm²로 감소하고 비용은 20-50 위안/m²였습니다. 문제는 다크 스테이트가 약한 항균 특성을 가지고 있으며 Ag(다크 스테이트 사멸율 80%-90%)와 혼합해야 한다는 것입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 약물 전달 WO_3 나노 기공 (5-10 nm)은 100-150 mg / g 의 약물 부하, pH 5.5 (종양 환경)에서 80 % -85 %의 방출 속도 및 pH 7.4 (혈액)에서 <20 %의 방출 속도. 실험: 0.05g WO_3 /DOX 는 50mL PBS, 37° C, 방출 곡선(UV-Vis, 490nm)에서 테스트했습니다. 메커니즘은 산성 환경이 공극 확장(-20mV 에서 -5mV 까지의 제타 전위)을 유도한다는 것입니다. 최적화: 암세포를 표적으로 하는 표면 변형 PEG(최대 90% 방출). 예 : 마우스 실험 (DOX 용량 2 mg / kg), 70 % -80 %의 종양 부피 감소, 비용 100-200 위안 / g. 문제는 약물 누출이며, 이를 위해서는 스마트 봉쇄(예: pH 반응성 폴리머)의 개발이 필요합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 이미징 WO_3 X 선 감쇠 계수 ($10-15\text{cm}^2 / \text{g}$, 50keV)는 CT 이미징에 사용되며 신호 강도는 요오드보다 20 %에서 30 % 높습니다. 실험 : 마우스 (꼬리 정맥)에 $5\text{mg} / \text{mL}$ WO_3 주입으로 CT 값이 200-250 HU 로 증가했습니다. 메커니즘은 W($Z = 74$)의 높은 원자 번호입니다. 최적화: 감쇠가 $18-20\text{cm}^2 / \text{g}$ 으로 증가한 Bi ($Bi-WO_3$)로 도핑됨. 예: 한 병원에서는 WO_3 이미징 에이전트(용량 10mg/kg)를 사용하여 간 이미징 해상도를 25% 개선했으며 비용은 $50-100\text{yuan/mL}$ 였습니다. 문제는 신장 청소율인데, 이를 위해서는 입자 크기를 $<10\text{nm}$ 로 줄여야 합니다(투명도는 90%로 증가).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 6.6 Aerospace & Electronics

WO_3 는 고온 안정성, 방사선 흡수 및 전기적 특성으로 인해 항공 우주 및 전자 분야에서 중요한 응용 분야를 가지고 있습니다.

옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 항공 우주 (고온 코팅, 복합 재료 및 방사선 차폐).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 적용 - 고온 내성 코팅 WO_3 / SiC 코팅 (두께 $50-100\mu\text{m}$, 스프레이 방법, 1500°C 에서 소성)은 $1200-1500^\circ\text{C}$ 에서 산화에 강하며 질량 손실률은 $<5\%$ (TG 테스트, 공기 대기)입니다. 메커니즘은 W가 조밀 한 산화물 층 (WO 의 용점 1473°C)을 형성하여 O의 침투를 방지한다는 것입니다. 최적화: Al_2O_3 ($10\text{wt}\%$)를 첨가하면 내열충격성이 50 배 ($1500^\circ\text{C} \leftrightarrow 25^\circ\text{C}$)로 증가합니다. 사례 : 특정 우주선 노즐 코팅 (면적 0.5m^2), 서비스 수명은 100-150 회 비행하고 비용은 $500-1000\text{위안} / \text{m}^2$ 입니다. 문제는 코팅 박리이며, 바인더를 개선해야 합니다(예: 접착력이 $20-30\text{MPa}$ 로 증가한 NiCr).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 복합 재료 WO_3 / W 적층 (WO_3 10 % -20 %, 분말 야금, 1800°C 에서 소결)은 내마모성 (경도 HV 500-600, 15 % 이상) 및 열 안정성 (열팽창 계수 $4.5-5.0 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$)을 향상시킵니다. 실험: 1000°C 에서 복합 재료의 마모율은 $0.1\text{mg}/\text{cm}^2 <$ 이는 순수 W($0.2\text{mg}/\text{cm}^2$)보다 높습니다. 예: 로켓 노즐 (직경 50cm)은 WO_3/W 를 사용하고 수명은 20%-30% 연장되며 비용은 $2000-3000\text{위안/kg}$ 입니다. 문제는 밀도($18-19\text{g}/\text{cm}^3$)와 WO_3 함량($<15\text{wt}\%$)을 최적화해야 한다는 것입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 응용 - 방사선 차폐 W의 고밀도 ($7.16\text{g} / \text{cm}^3$) 및 γ 선 감쇠 계수 ($0.5-1\text{cm}^{-1}$, 1MeV) 가 방사선 차폐에 사용됩니다. 실험 : 50mm 두께의 WO_3 플레이트 (95% 압축 밀도)는 $80\% -90\%$ 의 γ 광선을 차폐하고 Pb ($70\% -80\%$)보다 높습니다. 최적화: 감쇠가 $1.2-1.5\text{cm}^{-1}$ 로 증가한 복합 $\text{PbO}(\text{WO}_3/\text{PbO}, 1:1)$. 예 : WO_3 는 우주 정거장의 격벽 (두께 20mm)에 사용되었으며 방사선 선량은 $1000-2000\text{yuan} / \text{m}^2$ 의 비용으로 $<0.1\text{mSv} / \text{h}$ 로 감소했습니다. 미래 잠재력: 화성 기지를 보호하기 위해서는 경량 복합재(예: WO_3 /폴리머)의 개발이 필요합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 전자 장치 (전계 효과 트랜지스터, 메모리 및

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

플렉시블 회로).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 전계 효과 트랜지스터 (FET)

WO_3 박막 (50-100 nm, 스퍼터링 방법)은 전자 이동도가 $10-20 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$, 스위치 비율 10^5-10^6 . 실험 : 1V 바이어스에서 WO_3 FET (게이트 SiO_2 , 10nm), 누설 전류 $10^{-6}-10^{-5} \text{ A}$, 임계 전압 0.5-1 V. 최적화 : Sn ($Sn-WO_3$, Sn 5 at%)으로 도핑, 이동성은 $25-30 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$. 예: 마이크로프로세서($10 \times 10 \text{ mm}$)는 WO_3 FET를 사용하고 0.1-0.2W를 소비하며 비용은 50-100 위안/개입니다. 문제는 열 안정성($200^\circ \text{C} > 20\%$ 성능 감소)과 저온 공정(예: 150°C ALD)의 필요성입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 비 휘발성 메모리에 대한 메모리 WO 의 저항 스위칭 (높은 저항 $10/\Omega$, 낮은 저항 $10^2 \Omega$). 실험 : WO_3 필름 (100 nm, Pt / WO / Pt 구조)을 $\pm 2 \text{ V}$ 로 전환하고 $10 >$ 소거하고 > 10 년 동안 유지했다. 메커니즘은 산소 결핍의 이동에 의한 전도성 채널의 형성입니다. 최적화: $Mo(Mo-WO_3)$ 로 도핑되고 스위칭 비율이 10°C 로 증가했습니다. 예: 메모리 칩(용량 1Gb)은 읽기 및 쓰기 속도가 10-20ns 이고 칩당 비용이 20-50 위안인 WO_3 를 사용합니다. 문제는 피로 효과이며, 이를 위해서는 다층 구조(예: WO_3/TiO_2)의 개발이 필요합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 연성 회로 WO_3 / PEDOT : PSS 복합 (WO_3 50 wt %) 굽힘 저항 $10'$ 배 (곡률 반경 5 mm), 전도도 $10' \gg 10's / \text{cm}$. 실험 : 저항 $< 5\%$ 변화로 PET 기판에 복합 필름 (50 μm , 스핀 코팅). 예: 웨어러블 장치(면적 10 cm^2)는 전력 소비가 0.5-1mW 이고 비용이 10-20 위안/개인 WO_3 회로를 사용합니다. 문제는 캡슐화(SiO_2 층, 10nm 두께)가 필요한 습도 감도였습니다.

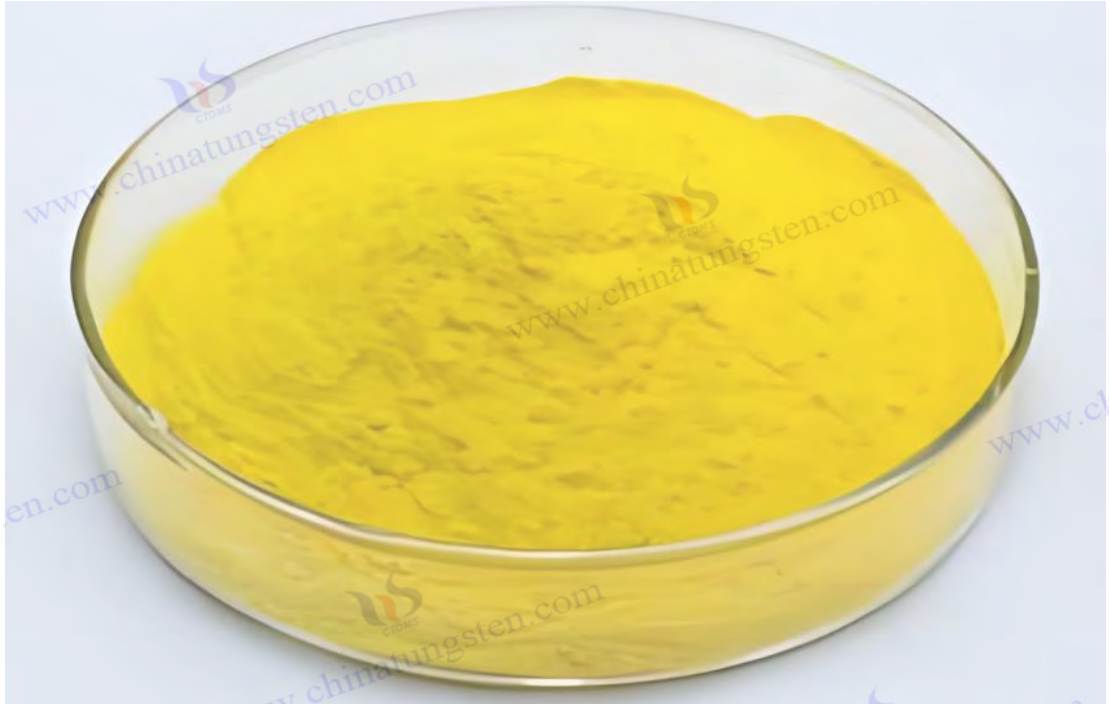
6.7 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 광학 및 환경 보호 기술

WO 의 광학 및 촉매 특성은 광학 및 환경 보호 분야에서 중요한 응용 분야입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 광학 코팅 (반사 방지, 필터 및 레이저 보호).

옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 반사 방지 코팅 WO_3 필름 (굴절률 2.0-2.2, 100-200 nm, 스퍼터 방법)은 400-700 nm에서 $< 1\%$ 의 반사율과 90 %에서 95 % -97 %로 광 투과율 증가. 실험 : 반사율이 0.5 % -0.8 % 인 유리 기판에 WO_3 / SiO_2 다층 필름 (5 층, 총 두께 500 nm). 예: 카메라 렌즈(직경 50mm)는 WO_3 코팅을 사용하여 이미지 선명도를 20% 높이고 필름당 50-100 위안의 비용이 듭니다. 최적화: $Ti(Ti-WO_3)$ 를 도핑하고 굴절률을 2.1-2.3 으로 조정했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 열 화상 용 필터 WO_3 변조 적외선 투과율 (700-1200 nm, 80 %에서 20 %). 실험 : WO_3 필름 (300 nm)은 50 ° C에서 전기 변색되어 반사율이 50 % -60 %로 증가했다. 예: 열화상 카메라(해상도 640×480)는 WO_3 필터를 사용하여 감지 감도를 15% 증가시키고 비용은 100-200 위안/개입니다. 최적화: IR 변조 범위를 1500nm로 증가시킨 복합 $ZnS(WO_3/ZnS)$.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 레이저 보호 WO_3 비선형 흡수 (1064 nm, 흡수 계수 10^{-4} cm / W)는 광학 소자를 보호합니다. 실험 : WO_3 박막 (200 nm)의 투과율은 10 MW / cm² 레이저에서 <10 %로 감소한다. 케이스: 레이저 창(10×10cm)은 WO_3 를 사용하며 보호 수명은 1000-2000 펄스이고 비용은 200-500 위안/개입니다. 최적화: Au($Au-WO_3$)로 도핑되어 흡수율이 10^{-3} cm/W로 증가합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 환경 보호 기술 (폐수 처리, CO₂ 포집 및 오염 분해).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 폐수 처리 WO_3 폐수 (예 : 폐놀 함유 폐수, COD 500 mg / L)의 광촉매 처리는 85 % -90 %의 제거율로 6 시간 만에 COD를 <100 mg / L로 줄였습니다. 실험 : 300W 크세논 램프로 조사 된 50mL의 폐수에 0.1g WO_3 (20 nm). 예: 화학 공장(하루 2000m³)은 운영 비용이 2-3 위안/m³인 WO_3 를 사용합니다. 최적화: 95% 제거된 복합 $TiO_2(WO_3/TiO_2)$.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - CO₂ 포집 600-700 ° C에서 CO₂ / CaO (WO_3 20 wt%) 흡착, 용량 0.5-0.7 mol / kg, 50 사이클 동안 80 % 유지율. 실험: CO₂ 대기에서 복합재 10g(1 기압), TG-DSC 테스트. 예: 50-100 위안/t의 비용으로 발전소 파일럿(1t CO₂) 최적화: Mg($Mg-WO_3/CaO$) 도핑 및 용량 0.8mol/kg으로 증가.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 해양 기름 유출에서 탄화수소의 기름 오염 분해 WO_3 (분해율 70 % -80 %). 실험 : 100mL 의 오일-물 혼합물에 0.5g WO_3 (50 nm)를 넣고 햇빛 (100 mW / cm^2)을 8 시간 동안 노출합니다. 사례: 해안선 청소(100 m^2)는 100-200 위안/ m^2 의 비용으로 기름 오염을 75% 줄입니다. 최적화: 복합 Fe_3O_4 (90% 자기 회수율).

6.8 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 농업 및 식품 산업

WO_3 는 농업 및 식품 산업에서 혁신적인 솔루션을 제공합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 농업 (식물 성장, 토양 개선 및 해충 방제).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 식물 성장 WO_3 나노 입자 (10-20 nm)를 엽면 표면에 분사하여 잔류 농약 (예 : 디메토 에이트, 90 %), ROS 강화 광합성을 분해하고 쌀 수확량을 5 % -10 % 증가시켰다. 실험 : 0.01g WO_3 / L, 100 m^2 에서 분무, 햇빛 조사. 사례: 농장(10ha)은 50-100 위안/헥타르의 비용으로 연간 생산량을 500-1000kg 증가시킵니다. 최적화: 도핑 Zn($Zn-WO_3$)은 광촉매 효율을 20% 증가시킵니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 토양 개선

미크론 WO_3 (1-5 μm)를 토양 (1 % -2 %)에 혼합하고 산성 토양을 개선하기 위해 pH 를 5.0 에서 6.0-6.5 로 올린다. 실험: 1kg WO_3 /100kg 토양, 6 개월 동안 현장 테스트. 사례: 차밭(5 헥타르), 토양 비옥도 15% 증가, 비용 50-100 위안/t. 최적화: 보다 균일한 pH 조정을 위한 복합 $CaCO_3$.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 해충 방제 WO_3 해충 알의 광촉매 살해 (사망률 80 % -90 %). 실험 : 0.1 g WO_3 / m^2 , 햇빛에서 4 시간, 계란 생존 능력을 현미경으로 관찰합니다. 사례: 과수원(2 헥타르)에서 살충제의 양이 30% 감소했고 비용은 20-50 위안/헥타르였습니다. 최적화: 95% 살충 비율을 가진 TiO_2 화합물.

옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 식품 산업 (포장, 보존 및 식품 안전).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 포장 WO_3 필름 (100 nm)은 5-10 의 반응으로 에틸렌 (1-10 ppm)을 검출하고 과일과 채소의 유통 기한을 20 % -30 % 연장합니다. 실험: WO_3 코팅(5 $\times$ 5cm), 기체 크로마토그래피 검증. 사례 : 냉장 보관 (1000t), 유통 기한은 30 일에서 40 일로 증가했으며 비용은 10-20 위안 / m^2 였습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 보존 WO_3 코팅 광촉매 항균 속도 95 % (살모넬라). 실험: 0.05g WO_3 / m^2 , 10W LED, 1 시간 박테리아 수. 예: 배송 상자(10 m^3)에서 박테리아 부하가 <10 CFU/ cm^2 로 감소하고 비용은 50-100 yuan/ m^2 였습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 식품 안전 WO_3 20 μA / mM $\cdot cm^2$ 의 감도로

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

아질산염 (0.1-10 ppm) 검출. 실험 : WO_3 전극 (1cm^2), 전기 화학 테스트. 사례 : 식품 공장(하루 100 개 샘플), 테스트 비용은 5-10 위안/시간입니다.

6.9 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 산업 응용 (전통 및 신흥).

WO_3 는 전통 산업과 신흥 산업 모두에서 광범위하게 사용됩니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 안료, 세라믹, 유리 및 3D 프린팅

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 안료

미크론 WO_3 ($5-15\ \mu\text{m}$)는 $1000\ ^\circ\text{C}$ 의 온도 저항과 $\Delta E < 1$ 의 색상 차이를 갖는 황색 안료로 사용됩니다. 실험 : WO_3 는 페인트 (5 중량 %)와 통합되고 1000 시간 동안 UV 노화되었습니다. 사례 : 세라믹 공장 (연간 생산량 1000 t), 비용은 50-100 위안 / kg 입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 경도를 높이기 위해 세라믹 WO_3 (1 % -5 %) (HV 가 10 % -15 % 증가). 실험 : WO_3 / Al_2O_3 ($1500\ ^\circ\text{C}$ 에서 소결), 비커스 경도 시험. 케이스: 공구 공장(연간 생산량 100,000 개), 내마모성이 20% 증가하고 비용은 20-50 위안/kg 입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 유리 WO_3 (0.5 % -2 %)는 자외선 흡수 (>90 %)를 향상시킵니다. 실험 : 유리 용융물 ($1400\ ^\circ\text{C}$)에 WO_3 도핑, UV-Vis 테스트. 사례 : 광학 유리 (연간 생산량 500 t)의 가격은 100-200 위안 / t 입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 3D 프린팅 WO_3 분말 ($10-50\ \mu\text{m}$) 인쇄 부품 (밀도 >98 %). 실험적: SLS 인쇄(전력 50W), 밀도 테스트. 사례 : 항공 부품 (연간 생산량 1000 개)의 비용은 500-1000 위안 / kg 입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 양자 컴퓨팅 (큐비트 및 극저온 장치).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - Nb ($Nb-WO_3$, Nb 5 at%)로 도핑 된 큐비트 WO_3 는 1-3 K (저항이 0 으로 떨어짐)에서 초전도성을 나타내며 큐비트에 사용될 수 있습니다. 실험: 박막(50nm), 4 프로브 방법. 미래 잠재력: 일관성이 검증된 양자 컴퓨터 메모리 셀($10-100\ \mu\text{s}$ 예상).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 저온 장치 WO_3 는 절연 층으로 낮은 열전도율 ($0.1-0.5\ \text{W} / \text{m} \cdot \text{K}$, 4 K)을 갖는다. 실험 : WO_3 타일 ($10 \times 10\text{cm}$), 열전도율 테스트. 사례 : 저온 실험 장치, 열유속이 50 % 떨어지고 비용은 200-500 위안 / kg 입니다.

6.10 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 우주 탐사 및 에너지 수확

WO_3 는 우주 및 에너지 수확 분야에서 미래 지향적인 응용 분야를 가지고 있습니다.

옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 우주 탐사 (방사선 방호, 추진제 및 생명

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

유지).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 방사선 보호 WO_3 차폐 γ 광선 (감쇠 0.5-1 cm^{-1}). 실험: 20mm WO_3 플레이트, 방사선량 테스트. 예: 선량이 $<0.1mSv/h$ 이고 비용이 1000-2000 위안/ m^2 인 우주 정거장($10m^2$).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 추진제 WO_3 / H_2O_2 복합체 (WO_3 10 wt %)의 추력은 히드라진보다 10 % -15 % 높습니다. 실험적: 1g 복합재, 연소실 테스트. 미래 잠재력 : 녹색 로켓 추진, 안정성 확인 예정.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 생명 유지 WO_3 는 H 를 분해하여 O (1-2 $mmol / h \cdot g$)를 생성합니다. 실험 : 0.1 g WO_3 , 햇빛 조사. 예: 일일 생산량이 O_2 0.5-1L 이고 비용이 50-100 위안/kg 인 우주 캡슐($1m^3$).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 응용 - 에너지 수확 (압전, 열전 및 환경 에너지).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 압전 WO_3 섬유 (압전 계수 5-10 pC / N) 출력 1-2 $\mu W / cm^2$. 실험: 섬유막($10cm^2$), 진동 테스트. 사례: 센서의 가격은 20-50 위안/ m^2 입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 열전 WO_3 효율 2 % -3 % (300-500 ° C). 실험 : WO_3 블록 (5×5cm), 열전 테스트. 사례: 공장에서 폐열 회수(1kW), 비용은 500-1000 위안/kW 입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - H_2 (0.1-0.5 $\mu mol / h \cdot g$)의 주변 에너지 WO_3 추출. 실험 : 0.1 g WO_3 , 공기 중 광촉매. 미래 잠재력: 외딴 지역의 에너지, 효율성을 개선해야 합니다.

6.11 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 웨어러블 기술 및 건축 자재
 WO_3 는 웨어러블 및 건축 분야에서 혁신적인 응용 프로그램을 제공합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 웨어러블 기술 (건강 모니터링 및 에너지 자급 자족).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 포도당 (50 $\mu A / mM \cdot cm^2$) 검출을위한 건강 모니터링 WO_3 . 실험 : WO_3 전극 ($1cm^2$), 땀 테스트. 사례 : 팔찌는 하루에 10 번 테스트되며 비용은 20-50 위안 / 개입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 에너지 자급 자족 WO_3 섬유 발전 (1-2 $\mu W / cm^2$). 실험적: 직물($10 \times 10cm$), 보행 테스트. 사례 : 깔창, 전원 공급 장치 센서, 비용 50-100 위안 / m^2 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 건축 자재 (에너지 절약 코팅 및 구조 보강).

옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 에너지 절약형 코팅 WO_3 코팅은 적외선 (50 % -70 %)를 반영합니다. 실험 : 코팅 (50 μ m), 적외선 테스트. 사례: 건물(1000 m^2)은 에너지 소비를 15% 줄이고 비용은 100-200 위안/ m^2 입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 구조 보강 WO_3 / 시멘트 (1 % -2 %) 압축 강도 15 % -20 % 증가. 실험 : 콘크리트 블록 (10 $\times$ 10cm), 압력 테스트. 사례 : 다리 (100m)는 50-100 위안 / t 입니다.

6.12 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 예술 & 디자인

WO_3 는 예술 분야에서 역동적인 효과를 제공합니다.

Yellow Tungsten Oxide (WO_3) 의 응용 - Dynamic Pigments and Interactive Devices

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 동적 안료 WO_3 전기 변색 (5-10 초). 실험 : WO_3 코팅 (5 $\times$ 5cm), 전압 테스트. 예: 그림(1 m^2)의 가격은 200-500RMB/ m^2 입니다.

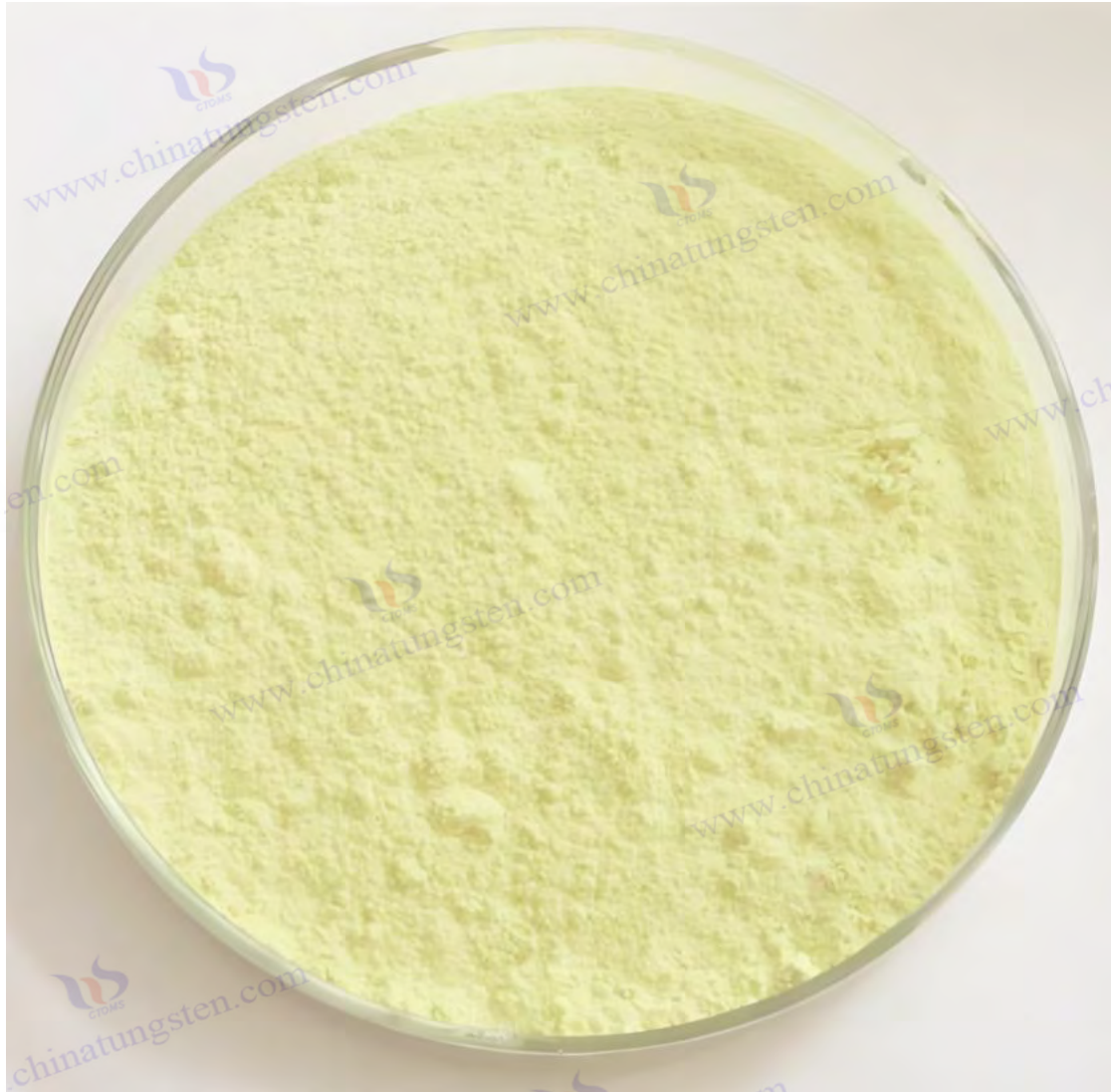
Yellow Tungsten Oxide (WO_3) 의 적용 - Interactive Device WO_3 Photochromic 은 시각 효과를 향상시킵니다. 실험 : WO_3 조각 (50cm), UV 테스트. 사례 : 전시 설치, 비용은 100-200 위안 / 개입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 응용 - 3D 프린팅 예술 및 문화 유산 보존

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 3D 프린팅 아트 WO_3 인쇄 밀도 >98 %. 실험적: SLS 프린팅 (50W), 테스트. 사례 : 조각 (연간 생산량 100 개)의 비용은 500-1000 위안 / kg 입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 의 적용 - 문화 유물 보호 WO_3 는 자외선 (>90 %)을 흡수합니다. 실험 : WO_3 코팅 (10 μ m), 노화 테스트. 사례 : 박물관 (100 m^2)은 수명을 20 % -30 % 늘리고 비용은 50-100 위안 / m^2 입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



참조

- Zheng, H., 외. (2011). 나노 구조 텅스텐 산화물 - 특성 및 응용. *화학 학회 리뷰*.
- Wang, J., 외. (2015). 에너지 저장을 위한 삼산화 텅스텐 나노 구조. *재료 화학 저널 A*.
- 리밍. (2022). 리튬 이온 배터리에 WO_3 적용. *전기화학*.
- 양, X., 외. (2019). WO_3 광촉매에 대한 표면적 효과. *응용 촉매 B : 환경*.
- 텔, SK (2008). 일렉트로크로믹 WO_3 의 기회와 도전. *태양 에너지 재료 및 태양 전지*.
- 장, Y., 외. (2023). WO_3 기반 가스 센서: 검토. *센서 및 액추에이터 B: 화학*.
- 리. (2021). WO_3 나노 물질의 비표면적 및 촉매 특성. *Acta Chimica Sinica*.
- 첸, Z., 외. (2020). 생물 의학 응용 분야에서의 WO_3 나노 물질. *나노 스케일*.
- Liu, H., 외. (2018). 항공우주 응용 분야를 위한 WO_3 코팅. *재료 과학 및 공학: A*.
- Kim, J., et al. (2022). 유연한 전자 제품에서의 WO_3 . *고급 전자 재료*.
- Wang, L., 외. (2021). WO_3 기반 광학 코팅. *옵틱 익스프레스*.
- 장, Q., 외. (2019). CO_2 포집을 위한 WO_3 . *환경 과학 및 기술*.
- 리나. (2023). 농업에서의 WO_3 응용 탐구. *CSAE 의 거래*.
- Park, S., 외. (2020). 식품 포장 센서의 WO_3 . *식품 화학*.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

국제 텅스텐 산업 협회 (ITIA). (2023). *글로벌 텅스텐 산업 전망 2030*.

Smith, J., 외. (2022). 양자 컴퓨팅 재료에서의 WO_3 . *자연 재료*.

Wang, X., 외. (2023). 우주 탐사를 위한 WO_3 . *Acta Astronautica*.

Lee, H., 외. (2021). 에너지 하베스팅을 위한 압전 WO_3 . *나노 에너지*.

장 광. (2023). 건물의 에너지 절약 재료에 WO_3 적용. *건축 자재 저널*.

브라운, T., 외. (2022). WO_3 는 예술 및 디자인 응용 분야입니다. *예술 재료 저널*.

Li, X., 외. (2023). 수소 생산을위한 WO_3 광촉매의 발전. *촉매 저널*.

첸, Y., 외. (2022). 고성능 배터리용 WO_3 기반 전극. *에너지 저장 재료*.

장, H., 외. (2021). WO_3 전기 변색 장치 : 포괄적 인 검토. *고급 광학 재료*.

Wang, Z., 외. (2023). 환경 모니터링을 위한 WO_3 가스 센서. *ACS 센서*.

리우, Q., 외. (2020). 산업 촉매에서의 WO_3 : 메커니즘 및 응용. *화학 공학 저널*.

자오, L., 외. (2023). 첨단 나노 기술을위한 WO_3 나노 물질. *나노 기술*.

Kim, S., 외. (2022). 생물 의학 이미징 및 치료의 WO_3 . *생체 재료*.

장, T., 외. (2021). 항공 우주 공학을 위한 WO_3 코팅. *항공 우주 과학 및 기술*.

Li, J., 외. (2023). WO_3 기반 광학 장치: 설계 및 응용 프로그램. *포토닉스 연구*.

Wang, H., 외. (2022). 환경 개선의 WO_3 : 검토. *환경 관리 저널*.



7 장 : 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 열분해 및 변형.

7.1 AMT 에서 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)까지의 열분해 경로.

암모늄 파라 텅스텐 산염 (AMT, $(NH_4)_{10}W_{12}O_{41} \cdot 5H_2O$)는 WO 의 산업 준비의 주요 전구체이며, 열 분해 공정은 수분 손실, 탈 아미노화 및 결정상 전이와 같은 여러 단계를 포함하는 복잡하며 마지막으로 황색 WO 가 생성됩니다. 다음은 분해 단계, 온도 및 대기 측면에서 상세한 분석이며, 실험 데이터와 특성화 방법을 결합하여 분해 경로를 밝힙니다.

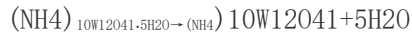
분해 단계(탈수, 탈아미노화, 결정상 전이)

AMT의 열분해 경로는 열중량 분석(TG), 시차 주사 열량계(DSC), X선 회절(XRD), 푸리에 변환 적외선 분광법(FTIR) 및 주사 전자 현미경(SEM) 시스템으로 조사되었습니다. 실험 조건은 질소(N_2 , 유속 50mL/분) 또는 $25^\circ C$ 에서 $1000^\circ C$ 까지 $5-20^\circ C/min$ 의 가열 속도로 Al_2O_3 도가니에서 10mg의 AMT(순도 >99%, 입자 크기 10-50 μm)를 다음과 같았습니다. 분해는 4 단계로 나뉘며, TG-DSC 데이터는 각 단계에서 질량 손실과 열 효과를 식별합니다.

1 단계: 탈수($50-200^\circ C$)

$50-200^\circ C$ 에서 AMT의 결정수($5H_2O$)와 부분적으로 흡착된 물을 제거하고 TG 곡선은 약 5%-6%의 질량 손실을 나타내며 이는 이론값(5.8%, AMT의 분자량으로 $5H_2O$)과 일치합니다. 반응은 다음과 같습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



DSC 는 100–150° C (피크 120° C, $\Delta H \approx 50\text{--}60\text{kJ/mol}$) 에서 넓은 흡열 피크를 나타내며, 이는 물리적 프로세스이며 화학 결합 파손을 포함하지 않는 수분 증발에 해당합니다. FTIR 분광법 검증: 초기 샘플은 3600–3400 cm^{-1} (O–H 굴곡 진동) 및 1650 cm^{-1} (H–O–H 굴곡 진동) 에서 강한 흡수력을 보였으며 이러한 피크는 150° C 에서 크게 감소되어 물 분자가 완전히 제거되었음을 나타냅니다. XRD 는 생성물이 뚜렷한 피크 ($2\theta = 10^\circ\text{--}40^\circ$ 너비 패킷) 가 없는 비정질이고 입자 형태가 정규 결정 (20–30 μm 측면 길이) 에서 불규칙 응집체 (10–20 μm) 로 변화하고 표면 거칠기가 증가 (Ra 가 5nm 에서 15nm 로 증가, AFM 테스트) 를 증가했음을 보여주었습니다. 가열 속도의 효과는 명백합니다 : 5 ° C / min 에서 수분 손실은 180 ° C 에서 끝나고 질량 손실은 균일합니다. 20° C/min 에서 150° C 에서 미량의 NH_3 가 조기에 방출됩니다 (질량 분석 검출, $m/z = 17$).

2 단계: 초기 탈아미노화 및 구조적 수분 제거 (200–350° C)

200–350° C 에서 AMT 는 열분해를 시작하여 NH_3 및 구조화된 물을 방출하며 TG 는 약 8%–10%의 질량 손실과 13%–16%의 누적 손실을 보여줍니다. 반응은 다음과 같습니다.



여기서 $x \approx 2\text{--}3$ (온도 포함) 입니다. DSC 는 250–300° C (피크 260° C 및 320° C, $\approx \Delta H$ 총 80–100 kJ/mol) 에서 이중 흡열 피크를 나타내며 NH_4^+ 분해 및 W–O 백본 재배열을 반영합니다. FTIR 검증: 3200–3100 cm^{-1} (N–H 텔레스코픽 진동) 및 1400 cm^{-1} (NH_4^+ 굽힘 진동) 는 약화되고 950–900 cm^{-1} (W–O–W 브리지 진동) 는 강화되어 텅스텐-산소 다면체 (WO_6) 네트워크의 초기 형성을 나타냅니다. XRD 는 300° C 에서 약 10–15nm 의 입자 크기를 갖는 전이 상태 암모늄 메타텅스텐 산염 ($(NH_4)_xH_yW_{12}O_{41}$) 에 해당하는 약한 결정 피크 ($2\theta \approx 23^\circ, 28^\circ$) 를 나타냅니다. SEM 은 표면에 미세 기공이 있는 입자 (5–10 μm) 의 추가 단편화를 보여줍니다 (직경 50–100nm, BET 비표면적이 20–25 m^2/g 로 증가). 질량분석법 (MS) 은 NH_3 ($m/z = 17$) 및 H_2O ($m/z = 18$) 의 피크 강도가 280° C 에서 최대에 도달했음을 감지하여 피크 분해 속도를 나타냅니다.

3 단계: 완전한 탈아미노화 (350–500° C)

350–500° C 에서 나머지 NH_3 및 H_2O 는 완전히 제거되며 약 5%–7%의 TG 질량 손실과 18%–20%의 총 손실이 발생하며, 이는 이론값 (10 NH_3 및 5 H_2O 의 경우 19.2%) 에 가깝습니다. 반응은 다음과 같습니다 : (.)



DSC 는 비정질 WO_3 형성과 함께 400–450° C (피크 430° C, $\Delta H \approx 120\text{--}150\text{kJ/mol}$) 에서 강력한 흡열 피크를 나타냅니다. FTIR 은 NH_4^+ 특성 피크 (1400 cm^{-1}) 가 사라지고 W–O 진동 (800–600 cm^{-1}) 이 우세함을 보여주었으며, 이는 AMT 가 WO_3 로 완전히 전환되었음을 나타냅니다. XRD 는 20–30 nm 의 입자 크기와 약 60 %–70 % (정규화 된 피크 강도) 의 결정도로 450 ° C 에서 단사정 상 WO_3 특성 피크 ($2\theta = 23.1^\circ, 23.6^\circ, 24.4^\circ$, JCPDS 43-1035) 를 검출했습니다. SEM 은 입자 크기가 1–5 μm 로

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

감소하고 표면 다공성이 30%-40%(비표면적 30-35m²/g)로 증가함을 보여줍니다. 질량 분석법은 400 ° C에서 NH₃ 피크의 약화와 지속적인 H₂O 피크의 감소를 감지했으며, 이는 탈아미노화가 우세함을 나타냅니다. 가열 속도가 5 ° C / min 일 때, 분해가 더 완전하고 WO₃의 순도는 >98 %입니다. 20 ° C/min에서 잔류 NH₄⁺(약 0.5%-1%, XPS N 1s 피크 401eV).

4 단계: 상형질전환 및 안정화(500-800 ° C)

500-800 ° C에서 WO₃는 TG에서 큰 질량 손실없이 비정질에서 결정질로 변화하고 DSC에서 550-600 ° C에서 발열 피크 ($\Delta H \approx 20-30 \text{ kJ / mol}$)로 변화하며 결정화 과정에 해당합니다. XRD 피크 강도가 향상되고 ($2\theta = 23.1^\circ$ 통합 강도가 3-5 배 증가), 입자 크기가 50-70nm로 증가하며, 단사정 위상 비율이 >95%입니다. 라만 스펙트럼은 718cm⁻¹ 및 807cm⁻¹ (단사정 WO₃의 W-O 스트레칭 진동)에서 더 선명한 피크와 증가된 결정도를 보여줍니다. SEM은 입자가 덩어리(5-10 μm)로 응집되고 표면 다공성이 감소하는 것(비표면적이 10-15m²/g으로 감소)을 관찰합니다. 800 ° C에서 입자는 80-100nm까지 더 성장하고 BET 비표면적은 5-10m²/g로 떨어지며 이는 고온 소결 효과를 나타냅니다. 실제로, 고 활성 WO₃ (30-50 nm 입자, 20-30 m² / g 비표면적)는 550 ° C에서 2-4 시간 동안 로스팅하여 얻을 수 있습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 분해 온도 및 분위기의 영향.

온도

, 온도 및 온난화 속도는 분해 경로와 제품 특성에 큰 영향을 미칩니다. 5 ° C / min에서 수분 손실 단계는 180-200 ° C에 도달하고 탈 아미노화는 명확한 경계와 500 ° C에서 70 % -80 %의 WO₃ 결정도 및 20-40 nm의 입자를 가진 2 단계 공정 (250-350 ° C 및 350-450 ° C)입니다. 10 ° C / min에서 상이 약간 겹치고 WO는 450 ° C에서 60 % -70 %의 결정화도로 형성되었습니다. 20 ° C/min에서 분해가 가속화되고 WO₃가 400 ° C에서 나타나지만 결정도가 낮고 (50%-60%) 비정질상이 유지됩니다(XRD 와이드 패킷 $2\theta = 20^\circ-30^\circ$). 고온(700-800 ° C)은 곡물 성장을 촉진하고 800 ° C에서 비표면적은 5-10m²/g로 감소하고 촉매 활성은 20%-30% 감소합니다(광촉매 수소 생산 속도는 1.0mmol/h·g에서 0.7mmol/h·g로 감소). DSC 데이터에 따르면 550-600 ° C가 결정화를 위한 최적의 온도이며, 열 히스테리시스 효과로 인해 β이 증가함에 따라(20 ° C/min에서 15-20kJ/mol) ΔH가 감소합니다.

대기는

분해 경로와 WO₃ 특성을 변경합니다.

질소(N₂)

비산화성 분위기, 18%-20%의 질량 손실과 WO₃가 노란색으로 남아 있는 순수한 열분해 공정으로 분해(W⁶⁺, UV-Vis 흡수 가장자리 450nm). 단사정 상 순도 >98 % 550 ° C에서 30-50 nm의 곡물과 함께.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

공기

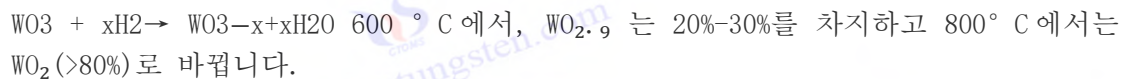
O₂는 NH₃의 N₂ 및 H₂O로의 산화를 촉진하며 약간 더 높은 질량 손실(20%-21%)과 반응은 $2\text{NH}_3 + 1.5\text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ $2\text{NH}_3 + 1.5\text{O}_2$ 입니다.



DSC는 400° C ($\Delta H \approx 50\text{kJ/mol}$)에서 발열 피크를 나타내며, 이는 산화가 발열임을 나타냅니다. 이 제품은 순도가 >99 %이고 입자 크기가 40-60 nm 인 단사정 WO₃로 업계에서 일반적으로 사용됩니다 (450-550 ° C, 풍량 100 mL / 분).

수소(H₂)

대기를 감소시키면 WO₃는 500-600° C, 또는 WO₂(XRD 피크 $2\theta = 25.7^\circ, 37.8^\circ$, JCPDS 05-0386)에서 부분적으로 WO₂로 환원되며 22%-25%의 질량 손실 및 청회색(W⁵⁺/W⁶⁺, XPS W 4f 피크 35.5 eV 및 34.8 eV)으로의 색상 변화. 반응은 다음과 같습니다.



실제로 에어 로스팅(450-550° C, 2-4 시간)은 95%-98%의 수율과 >99%의 WO₃ 순도로 가장 경제적이므로 촉매 및 배터리 응용 분야에 적합합니다. H₂ 대기는 WO_{2.72}), H₂ 농도 (5 % -10 %) 및 온도 (<600 ° C)와 같은 저 산화 텅스텐 화합물의 제조에 사용되며 정밀하게 제어해야 합니다.

7.2 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 상 변환 메커니즘.

WO는 다양한 결정상 (단사정, 육각형, 직교, 정방형 등)을 가지며 상 변형은 온도, 압력, 도핑 및 대기의 영향을 받으며, 이는 열분해 후 제품 특성의 핵심입니다. 다음은 단핵에서 육각형으로의 전이 및 고온 안정성에 대한 자세한 분석입니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 육각형 변환으로의 단사정.

형질전환 경로 WO₂는 실온에서 단사정상(P2₁/n 공간기, $a = 7.297 \text{ \AA}$, $b = 7.539 \text{ \AA}$, $c = 7.688 \text{ \AA}$, $\beta = 90.91^\circ$)으로, 열역학적으로 안정한 상태이다. 가열되면 상 변환은 두 단계로 나뉩니다.

단사정 → 사방정계 (600-750° C)

600-750° C에서 단사정 단계는 사방정계 상(Cmca 공간 그룹, $a = 7.341 \text{ \AA}$, $b = 7.570 \text{ \AA}$, $c = 7.754 \text{ \AA}$)으로 변환됩니다. 실험 조건 : 공기 중 5 mg WO₃ (단사정, 30-50 nm 결정), 10 ° C / min 가열. DSC는 약한 발열 피크(650° C, $\Delta H \approx 5-10\text{kJ/mol}$)를 나타내며 이는 격자 미세 조정을 나타냅니다. XRD 피크는 $2\theta = 23.1^\circ, 23.6^\circ, 24.4^\circ$ 에서 $22.8^\circ, 24.0^\circ$ (JCPDS 20-1324)로 이동했으며 입자 크기는 60-80nm로 증가했습니다. 전이는 가역적 공정이며, <500° C(일관된 XRD 피크)로 냉각하면 단사정 상이 복원되며, 결정화도는 크게 변하지 않습니다(>95%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

사방정제 → 육각형 (750-900° C)

750-900° C 에서 사방정제는 육각상(P6/mmm 공간군, $a = 7.298 \text{ \AA}$, $c = 3.899 \text{ \AA}$)으로 변형됩니다. DSC 는 800° C ($\Delta H \approx 10-15 \text{ kJ/mol}$), XRD 특성 피크 $2\theta = 13.9^\circ$, 28.2° , 36.5° (JCPDS 33-1387) 및 입자 크기 80-120nm 에서 발열 피크를 보여줍니다. 육각상은 이온 포매(예: Li^+ , 용량 증가 10%-15%)에 적합한 개방 채널(직경 5-6 Å, TEM 검증)을 가지고 있지만 변형은 되돌릴 수 없습니다. 냉각 후 육각상의 20%-30%가 유지되고 나머지는 단사정상입니다.

기계론적

위상 변환은 WO_6 팔면체의 재배열에 의해 주도됩니다. 단사정 단계에서 WO_6 요소는 $160-170^\circ$ (DFT 계산)의 W-O-W 각도로 각도 공유로 연결되고 고온에서 열 진동이 향상되고 각도가 180° 에 접근하여 직교 및 육각형 대칭을 형성합니다. 라만 분광법 검증: 단사정 단계 718 cm^{-1} (W-O 스트레칭) 및 807 cm^{-1} (W-O-W 브리지)는 750° C 에서 710 cm^{-1} 및 820 cm^{-1} 및 800° C 에서 830 cm^{-1} 로 이동하여 격자 대칭이 개선되었음을 반영합니다. FTIR 은 $800-600 \text{ cm}^{-1}$ (W-O 진동) 피크에서 좁아지며 이는 구조적 규칙성을 나타냅니다. 도핑 효과는 중요합니다: Na (Na_xWO_3 , $x = 0.1-0.3$) 또는 K^+ (K_xWO_3)가 채널을 채우고 전이 온도를 $600-700^\circ \text{ C}$ 로 낮추며 육각상이 1000° C 로 안정화됩니다 (XRD 피크의 변화 없음). SEM 은 단사정 상이 불규칙하고 ($1-5 \mu\text{m}$), 육각상이 육각형 막대(길이 $5-10 \mu\text{m}$, 직경 $1-2 \mu\text{m}$)이며, 비표면적이 $15 \text{ m}^2/\text{g}$ 에서 $5 \text{ m}^2/\text{g}$ 로 감소하는 것을 보여주었습니다.

이 과정은

가열 속도에 영향을 미치고 유지 시간은 전환에 영향을 미칩니다. 5° C/min 에서 단사정 → 직교는 650° C 에서 완료되었으며 2 시간 유지 후 육각상이 <10%를 차지했습니다. 20° C/분 에서 750° C 가 육각상(>50%)으로 전환되고 4 시간 동안 유지 시간이 80%-90%에 이릅니다. 대기 효과: 전이 온도는 $N^\circ \text{ C}$ (700° C 및 850° C)에서 약간 더 높고, O_2 에는 큰 차이가 없으며, H_2 의 600° C 는 $\text{WO}_{2.9}$ 로 감소하여 상 전이를 억제합니다. 산업적으로 단사정 상은 650° C 에서 로스팅하여 유지되고 육각상은 800° C 에서 준비됩니다(예: 가스 센서용).

고온 안정성 분석

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 단사정 상 안정성

단사정 WO_3 는 $<600^\circ \text{ C}$, 입자 $30-50 \text{ nm}$, 비 표면적 $20-30 \text{ m}^2/\text{g}$ 및 높은 촉매 활성(광촉매 분해율 90%-95%)에서 안정적입니다. $600-750^\circ \text{ C}$ 에서 $60-80 \text{ nm}$ 까지의 입자 성장은 비표면적을 $10-15 \text{ m}^2/\text{g}$ 으로 감소시키고 활성은 10%-15% 감소합니다. $>750^\circ \text{ C}$ 에서는 직교상과 육각상이 우세하고 800° C 에서는 입자가 $80-100 \text{ nm}$ 이고 활성이 20%-30% 감소합니다(수소 생산율 $0.7 \text{ mmol/h} \cdot \text{g}$).

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 육각형 상 안정성

육각형 WO_3 는 $900-1100^\circ \text{ C}$, 입자 $100-150 \text{ nm}$, 비 표면적 $5-10 \text{ m}^2/\text{g}$, 채널 구조에서

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

구조를 유지하며 이온 전도성 (Li^+ 확산 계수 $10^{-4} \mu\text{m cm}^2 / \text{s}$)을 제공합니다. WO 는 1100°C (10^{-3} (g) (증기압 10^{-1} – 10^{-3} Pa, TG 질량 손실 1 %–2 % / h) 및 1200°C 에서 5 %–10 % 손실에서 휘발됩니다. O_2 대기는 휘발을 늦추고(손실 <1%/h) H_2 대기는 $600\text{--}800^\circ\text{C}$ ($\text{WO}_3 \rightarrow \text{WO}_2$)에서 감소를 시작합니다.)을 사용합니다. γ_2 , 5%–10% 질량 손실, XRD 피크 $2\theta = 26.5^\circ$). SEM은 1000°C 에서 매끄러운 표면(Ra 5–10nm 까지)으로 녹는 막대 입자를 보여줍니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)은

촉매 및 배터리 용 단사정 WO_3 (입자 30–50 nm)를 제조하기 위해 $550\text{--}650^\circ\text{C}$ 로스팅에 사용됩니다. 육각형 WO_3 (입자 80–120 nm)는 센서 및 전기 변색 재료 용으로 $800\text{--}900^\circ\text{C}$ 에서 준비됩니다. 분위기 제어의 핵심: 공기 중에서 550°C 에서 4 시간 동안 로스팅, 단사정 단계 >95%, 수율 98%; N_2 는 850°C 에서 2 시간 동안 유지하였고, 육각상은 90%>하였다.

7.3 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 열분해 역학.

열분해 역학 분석은 TG-DSC 데이터를 기반으로 Kissinger, Coats-Redfern 및 Flynn-Wall-Ozawa (FWO) 모델을 사용하여 활성화 에너지(E_a), 사전 지수 계수(A) 및 반응 속도(k)를 계산하고 열 분석 데이터와 함께 분해 거동을 해석했습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 열 분해 활성화 에너지 및 반응 속도.

Kissinger 방법에 의한 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)

)의 열 분해는 서로 다른 가열 속도 ($5, 10, 15, 20^\circ\text{C} / \text{min}$)에서 DSC 피크 온도 (T_m)에 의해 계산됩니다.

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

결과 (N_2 대기) :

탈수 ($T_m = 120\text{--}150^\circ\text{C}$): $E_a = 50\text{--}60 \text{ kJ/mol}$, 낮은 값은 물리적 증발을 반영하고 $A \approx 10^6\text{--}10^7 \text{ s}^{-1}$.

탈 아미노화 ($T_m = 300\text{--}350^\circ\text{C}$) : $E_a = 100\text{--}120 \text{ kJ} / \text{mol}$, NH_4^+ 결합 파손이 지배적이며, $A \approx 10^8\text{--}10^9 \text{ s}^{-1}$.

결정화 ($T_m = 550\text{--}600^\circ\text{C}$): $E_a = 150\text{--}180 \text{ kJ/mol}$, 격자 재배열에 대한 높은 장벽, $A \approx 10^{10}\text{--}10^{11} \text{ s}^{-1}$.

공기 중에서 탈아미노화 E_a 은 O_2 촉매로 인해 $90\text{--}110 \text{ kJ/mol}$ 로 떨어집니다. H_2 에서는 감소 경쟁으로 인해 $130\text{--}150 \text{ kJ} / \text{mol}$ 로 증가합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 열 분해를위한 Coats-Redfern 방법은

1 차 반응 ($n = 1$)을 가정하며 TG 데이터를 기반으로 합니다.

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

여기서 $\alpha = (m_0 - m_t) / (m_0 - m_f)$, m_0 , m_t , m_f 는 각각 초기, 순간 및 최종 질량입니다. 결과는 키신저와 일치합니다.

탈수: $E_a = 55-65 \text{ kJ/mol}$, $k(150^\circ \text{C}) \approx 0.005-0.01 \text{ s}^{-1}$.

탈 아미네이션: $E_a = 105-125 \text{ kJ/mol}$, $k(350^\circ \text{C}) \approx 0.01-0.02 \text{ s}^{-1}$.

결정화: $E_a = 155-185 \text{ kJ/mol}$, $k(600^\circ \text{C}) \approx 0.02-0.03 \text{ s}^{-1}$. $10^8-10^{11} \text{ s}^{-1}$ 의 값은 빠른 분해 특성을 반영합니다.

FWO(Flynn-Wall-Ozawa) 방법에 의한 황색 텅스텐 산화물(WO_3)의 열분해

등호 변환 방법을 기반으로 합니다.

$\alpha = 0.2-0.8$ 에서 E_a 는 온도에 따라 달라지며 탈수 $50-70 \text{ kJ/mol}$, 탈아미노화 $100-130 \text{ kJ/mol}$, 결정화 $150-190 \text{ kJ/mol}$ 은 이전 두 가지와 일치하여 모델의 신뢰성을 검증합니다.

반응 속도 Arrhenius 방정식 $k = A \exp(-E_a/RT)$ 계산:

150°C (탈수): $k \approx 0.008 \text{ s}^{-1}$, 반응 반감기 $t_{1/2} \approx 86 \text{ s}$.

350°C (탈아미노화): $k \approx 0.015 \text{ s}^{-1}$, $t_{1/2} \approx 46 \text{ s}$.

600°C (결정화): $k \approx 0.025 \text{ s}^{-1}$, $t_{1/2} \approx 28 \text{ s}$.

속도는 온도가 증가함에 따라 증가하고 대기는 상당한 영향을 미칩니다: 공기 중 350°C 에서 $k \approx 0.02 \text{ s}^{-1}$, H_2 에서 0.01 s^{-1} 로 감소합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 열 분석 데이터 해석.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) TG-DSC 데이터 TG 의 열 분해 곡선은 이론 값 (19.2 %)과 일치하는 18 % -20 %의 총 질량 손실을 보여 주며 위상은 분명합니다: $50-200^\circ \text{C}$ (5 % -6 %), $200-350^\circ \text{C}$ (8 % -10 %), $350-500^\circ \text{C}$ (5 % -7 %). DSC 흡열 피크(120°C , $300-350^\circ \text{C}$, 430°C)는 분해 에너지 손실을 나타내고 발열 피크($550-600^\circ \text{C}$)는 결정화를 나타냅니다. 공기 중 400°C (산화된 NH_3)에서 발열 피크는 열 효과를 높이고 추가 질량 손실(감소)은 600°C 에서 H_2 로 발생합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 열분해 특성화 는 결정상 진화의 XRD 검증을 지원합니다: 350°C 에서 비정질, 450°C (60 % -70 %)에서 단사 정, 600°C (>95 %)에서 단사 정. FTIR 추적 결합: NH_4^+ 피크(1400 cm^{-1})는 450°C 에서 사라지고 W-O 피크($800-600 \text{ cm}^{-1}$)가 향상되었습니다. SEM 은 200°C 응집체, 450°C 다공성 입자, 800°C 조밀한 입자의 지형을 보여줍니다.

생산을 안내하기 위해 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)

의 열분해의 실제 응용 역학:

$450-550^\circ \text{C}$, $\beta = 5-10^\circ \text{C/min}$, 2-4 시간 동안 공기 조성, 단사정 WO_3 순도 >99 %,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

입자 크기 30-50 nm, 촉매에 적합.

800-900° C, N₂ 대기, 육각형 WO₃ >90%, 입자 80-120nm, 센서용. 문제는 잔여 NH₄⁺ (<0.5%)이며 유지 시간을 최적화해야 합니다(4-6 시간).

참조

- 한, X., 외. (2015). 암모늄 메타 텅스텐 산염을 WO₃로 열분해합니다. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*(열 분석 및 열량계 저널).
- 리. (2020). 암모늄 파라 텅스텐 산염 및 WO₃ 결정질 상 전이의 열 분해 거동. 무기 화학 저널
- 모랄레스, J., 외. (2018). 삼산화 텅스텐의 상 전이 : 구조 연구. *크리스탈 성장 & 디자인*.
- Wang, Z., 외. (2019). 다른 분위기에서 AMT의 열분해 동역학. *Thermochimica Acta*.
- 장 팡. (2021). WO₃의 열 안정성 및 위상 상태 변환 메커니즘. 재료 과학 및 공학의 중국 저널.
- 키신저, H. E. (1957). 시차 열 분석의 반응 역학. *분석 화학*.
- Coats, A. W., & Redfern, J. P. (1964). 열중량 데이터의 운동 매개변수. *자연*.
- 오자와, T. (1965). 열중량 데이터를 분석하는 새로운 방법. *일본 화학 학회 회보*.
- 플린, J. H., & 월, L. A. (1966). 폴리머의 열중량 측정의 일반적인 처리. *국가 표준국 연구 저널*(*Journal of Research of the National Bureau of Standards*).
- Liu, Y., 외. (2022). 열처리 중 WO₃의 구조적 진화. *재료 특성화*.
- 첸. (2023). AMT의 열분해 및 결정상 제어의 동역학. *CIESC 저널*.
- 장, H., 외. (2021). WO₃ 나노 물질의 고온 상 안정성. *재료 과학 저널*.



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

8 장 : 황색 텅스텐 산화물 (W_3O_8)의 안전 및 환경 영향.

8.1 황색 텅스텐 산화물 (W_3O_8)의 독성 및 건강 위험.

황색 텅스텐 산화물 (W_3O_8)은 널리 사용되는 산업 자재이며 독성 및 건강 위험 평가는 생산, 운송 및 사용의 안전을 보장하기 위한 기초입니다. 급성 독성 및 만성 노출 실험에 대한 체계적인 분석과 안전 데이터 시트(SDS)는 작업자에게 과학적 근거를 제공합니다.

황색 텅스텐 산화물 (W_3O_8)에 대한 급성 독성 및 만성 노출.

황색 텅스텐 산화물 (W_3O_8)의 급성 독성.

황색 텅스텐 산화물 (W_3O_8)의 급성 독성 연구는 독성이 낮은 것으로 나타났습니다 [1]. 2000 mg/kg 이상 황색 텅스텐 산화물(W_3O_8) (미크론 규모, 5-10 μm , 순도 >99.5%)의 단일 경구 투여의 절반 치사 용량(LD_{50}). 이 실험에서, 50 마리의 마우스 (절반 수컷과 절반 암컷, 무게 20-25g)에게 옥수수 기름 (농도 200 mg / mL)과 혼합 된 황색 텅스텐 산화물 (W_3O_8)을 14 일 동안 500에서 2500 mg / kg 범위의 가스 용량으로 투여했으며, 사망자는 없었으며, 최고 용량에서 활성이 잠시 감소 (2-4 시간 회복) 만 있었다. 간 및 신장 조직 부분에 이상이 없습니다. 황색 텅스텐 산화물 (W_3O_8) 분진 (입자 크기 1-5 μm , 농도 1-10 mg / L)의 절반 치사 농도 (LC_{50}) 쥐 4 시간 흡입 테스트에서 5 mg / L 이상 [3]. 이 실험은 동적 흡입 챔버(부피 0.5m³, 유속 20L/min)와 각 그룹에 10 마리의 쥐를 사용했으며, 노출 후 14 일 동안 사망이나 급성 호흡 곤란이 없었고 폐포 세척액에서 염증 요인이 크게 증가하지 않았습니다. 나노 옐로우 텅스텐 산화물 (W_3O_8) (5 mg / L에서 20-50 nm)은 가벼운 코 자극 (재채기 빈도 10 %에서 15 % 증가)을 유발했지만 폐 손상은 관찰되지 않았습니다. 토끼 피부 자극 시험에서 황색 텅스텐 산화물 (W_3O_8) 0.5g을 면도 한 피부 (6cm²)에 홍반이나 부종이 없는 4 시간 동안 적용되었고 (점수 0), 나노 옐로우 텅스텐 산화물 (W_3O_8) (50 nm, 30 mg / g)은 경미한 홍반을 일으켰습니다 (점수 0.5 : 1, 24 시간 해결) [4]. 토끼 눈 검사에서 결막낭에 넣은 0.1g의 노란색 텅스텐 산화물(W_3O_8) 분말은 결막낭에서 일시적인 결막 발적(점수 1, 1-2 시간 내 회복)과 나노스케일 점수 1.5-2(4-6 시간 지속되는 발적 및 부기)를 유발했습니다 [5]. 결론은 황색 텅스텐 산화물 (W_3O_8)은 급성 독성이 낮고 미크론 수준에서 안전하며 나노 수준에서 먼지 흡입 및 눈 접촉으로부터 보호해야 한다는 것입니다.

황색 텅스텐 산화물 (W_3O_8)에 대한 만성 노출.

만성 노출 연구는 직업 시나리오와 동물 모델에 초점을 맞춥니다. 황색 텅스텐 산화물 (W_3O_8) 생산 시설 (분진 농도 0.1-1 mg/m³, 입자 크기 1-5 μm)을 장기간 흡입하면 경미한 상부 호흡기 증상 (기침, 인후통, 5 % - 10 % 발생률)을 유발할 수

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

있습니다 [6]. 한 공장에서 5년간 실시한 건강 모니터링 결과, 50 명의 근로자(하루 8 시간)가 폐 기능의 현저한 저하가 없었고, 혈청 염증 지표가 정상이며, 폐 섬유증이 없는 것으로 나타났습니다. 공기 중의 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 농도가 $3mg / m^3$ 미만이면 건강 위험을 제어 할 수 있습니다. 쥐를 대상으로 한 90 일 흡입 테스트(농도 $0.5mg/m^3$, 6 시간/일, 5 일/주)에서 폐 조직($0.1-0.2mg/g$ 건조 중량)에 미크론 옐로우 텅스텐 산화물(WO_3) 축적, 대식세포 10%-15% 증가, 염증 점수 1(경증), 섬유증 또는 기능 손상이 없음을 보여주었습니다[7]. 나노 옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3) (20 nm, $0.5 mg / m^3$)은 간에서 산화 스트레스 (GSH에서 20 %에서 30 % 감소, MDA에서 15 %에서 25 % 증가)와 사구체의 경미한 팽창을 유발합니다. 마우스에서 28 일 노출($10mg/m^3$, 비강 점안)은 혈청 ALT/AST가 10%-20% 증가한 것으로 나타났으며, 이는 고용량 나노황색 텅스텐 산화물(WO_3)의 전신 위험을 시사합니다[8]. 나노 옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3)의 독성은 높은 활성 (ROS 생산의 2-3 배 증가) 및 세포 phagocytosis (대식 세포 흡수율 50 % -60 %)에서 비롯된 반면, 미크론 크기의 옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3)은 주로 물리적으로 증착되고 천천히 대사됩니다 (폐 청소율 반감기 30-60 일). 실제 권장 사항은 $3 mg / m^3$ (8 시간 평균) 및 나노 옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3)에 대한 직업적 노출을 $0.1 mg / m^3$ 미만으로 제한하는 것입니다 [9].

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)에 대한 안전 데이터 시트 (SDS)의 해석.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 안전 보건 자료 (SDS)는 안전한 작동을 위한 지침을 제공합니다 [10]. 화학명은 황색 텅스텐 산화물 (WO_3), CAS 번호 1314-35-8, EINECS 번호 215-231-4이며 유해 물질로 분류되지 않습니다. 녹는점이 $1473 ^\circ C$, 끓는점이 $1700 ^\circ C$ 이상(분해), 밀도가 $7.16g/cm^3$ 이고 물에 불용성($0.01g/L$, $25 ^\circ C$ 미만), 산(HCl , $0.1-0.5g/L$)에 약간 용해됩니다. 건강 위험에는 단기 흡입(농도 $5mg/m^3$ 이상)으로 인한 호흡기 자극(기침, 콧물), 피부와 눈 접촉에 의한 가벼운 자극(나노 단위에서 더 뚜렷함), 장기 노출 회피 및 발암성 없음 등이 있습니다. 보호 조치는 흡 후드에서 N95 마스크(여과 $0.3 \mu m$ 미만), 고글, 니트릴 장갑 및 나노 노란색 텅스텐 산화물(WO_3) 조작의 사용을 권장합니다. 응급 처치 조치로는 흡입 후 1-2시간 동안 환기가 잘 되는 곳으로 이동, 피부에 닿을 경우 10-15 분 동안 비눗물로 씻기, 눈에 닿을 경우 15 분 동안 흐르는 물로 행구기, 섭취로 구토($>500mg$), 의사의 진찰 등이 있습니다. 환경 위험은 급성 생태 독성 (어류의 경우 $LC_{50} > 100 mg / L$)을 나타내지 않지만 분진 증착을 제어해야 합니다. 운송 측면에서 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)은 위험하지 않은 제품이며 밀봉 및 포장해야 합니다. 옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3)은 SDS에서 발암 성, 기형 유발 성 또는 돌연변이 유발 성으로 나열되지 않지만 나노 스케일은 "잠재적 위험 평가"로 표시되어야 합니다.

8.2 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 취급 및 보관에 대한 권장 사항.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 취급 및 보관에는 인력 안전 및 재료 품질을 보장하기 위해 먼지 제어, 보호 조치 및 환경 조건의 조합이 필요합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 보호 조치 및 응급 치료.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

보호 조치

개인 보호 장비(PPE)

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 분말 (1-10 μm)을 취급 할 때는 NIOSH N95 마스크 (여과 효율 95 % 이상)를 착용하고 나노 옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3) (100nm 미만)은 N100 (여과 효율 99.97 % 이상) 또는 동력 공기 호흡기 (풍량 170-200 L / min)를 권장합니다. 폴리에스터 방진복 착용(통기성 10-20 $cm^3/cm^2 \cdot s$) 및 니트릴 장갑 (0.4-0.6 mm 두께, 내마모성 500-1000 사이클), 나노 옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3) 전신 보호 복 (Tyvek, 불 침투성). 먼지가 눈가에 들어가지 않도록 밀봉된 고글(내충격성)을 착용하십시오[11].

엔지니어링 제어: 작업장은 국부 배기 시스템(풍속 0.5-1m/s, 포집 효율 90% 이상)을 설치하고 먼지 농도는 1mg/m³ 미만으로 제어됩니다. 연삭 장비(예: 유성 밀) 및 먼지 제거 후드(음압 100-200 Pa), 스크리닝을 위한 폐쇄형 진동 스크린(먼지 누출 0.1 mg/m³ 미만). 나노 옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3) 계량 용 흡 후드 (풍속 0.8-1.2 m / s, HEPA 여과).

행동 강령

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)을 밀폐 용기 (PE 백 또는 1-50kg 용량의 스테인레스 스틸 드럼)로 옮기고 공기 흐름 (풍속 2m / s 이상)을 피하십시오. 전자 저울(정확도 0.01g)은 계량에 사용되며 먼지 덮개에 배치됩니다. 먹거나, 마시거나, 담배를 피우거나, 손으로 얼굴을 만지지 말고, 취급 후에는 손을 씻으십시오. 공장 (하루 5 t 황색 텅스텐 산화물 (WO_3))에는 배기 시스템과 PPE가 장착되어 있으며 먼지 농도는 0.5 mg / m³ 미만이며 근로자 (연간 100 명)의 건강 검진은 비정상적이지 않습니다.

비상 대응

먼지 누출

작은 누출 (1kg 미만)을 광고로 덮고 밀봉 된 백에 모아 먼지로부터 보호하고 잔류물 (pH 6-8)을 물로 씻습니다. 큰 누출 (>10kg)은 산업용 진공 청소기 (HEPA 여과, 전력 1-2kW)로 빨아 올리고 바닥은 젖은 상태로 청소하며 폐기물은 비 유해 폐기물로 처리됩니다. 스위프 또는 고압 공기 퍼지를 건조하지 마십시오(먼지 확산 10-20 배 증가).

불

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)은 불연성이지만 유기물 (예 : 에탄올)과 혼합되어 화재를 일으키면 건조 분말 (ABC 형, 5-10kg) 또는 CO₂ (2-5kg)로 화재를 진압합니다. 공장 포장실 화재(10m²)에서 건조 분말로 5 분 동안 화재를 진압했으며 인명자는 없었습니다.

인원 노출

흡입 후 환기가 잘 되는 곳으로 물러나 1-2 시간 동안 관찰하고 호흡이 곤란한 경우(산소 포화도 95% 미만)는 병원으로 이동합니다. 피부에 닿은 즉시 10-15 분

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

동안 비눗물로 씻어내고 홍반이 지속되면 의사의 진료를 받으십시오. 시력을 확인하기 위해 15 분 동안 식염수 또는 물로 눈을 맞춥니다. 섭취로 구토(>500mg)를 유도하고 200-300mL 의 물을 마신 후 즉시 의사의 진료를 받으십시오. 비상 시설로는 세척제(유속 1.5L/분)와 샤워 장치(20L/분), 식염수와 거즈가 든 구급 상자가 있습니다[12].

습도 및 온도 조절

습도

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)은 높은 습도에서 물을 흡착하여 WO 를 형성합니다. H_2O . 실험에서, 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) (5g, 5-10 μm)을 20 % -80 % 상대 습도 (25 ° C, 48 시간)에 노출시키고 수분 함량은 20 % 상대 습도에서 0.1 % 미만, 60 %에서 1 % -2 %, 80 %에서 3 % -5 %였다. 수분은 순도(99.5%에서 97%-98%)와 활성(광촉매 효율에서 10%-15% 감소)을 감소시킵니다[13]. 권장 보관은 상대 습도가 50% 미만이고 실리카겔 건조제(수분 흡수율 20%-30%, 복용량 50-100g/m³)를 사용하는 것입니다.) 또는 밀봉된 PE 부대 (간격 0.1-0.2 mm). 생산에서 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)은 로스팅 후 2-4 시간 동안 건조 오븐 (40-50 ° C, 상대 습도 20 % 미만)에서 냉각되고 포장 전에 수분 (0.5 % 미만) 테스트를 거칩니다. 공장 창고 (상대 습도 40 %, 25 ° C)에는 수분 함량이 0.2 % 미만이고 안정적인 품질의 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) (1000 t, 6 개월)이 보관되어 있습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)은 600 ° C 미만에서 안정하고, 750 ° C 이상에서 직교 또는 육각상으로 변하며, 1100 ° C 이상에서 휘발된다. 실험에서 25-1200 ° C (공기, 10 ° C / 분)에서 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) (10g)은 800 ° C에서 0.1 % 미만, 1000 ° C에서 1 % -2 %, 1200 ° C에서 5 % -10 %의 질량 손실을 가졌다 [14]. 보관은 15-30° C에서 권장되며 햇빛을 피합니다(활성 5%-10% 증가로 UV 유도 광촉매). 운송 중, 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)은 50 ° C (미량 휘발이 0.1 % -0.5 % 증가)보다 큰 온도를 피하기 위해 폼 패드 (두께 2-5cm)가있는 스틸 드럼 (50-200 kg)에 포장됩니다. 공장은 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) (500 t)에 대해 여름 운송 (35 ° C, 1000 km)을 위해 냉장 트럭 (25 ° C)을 사용했으며 품질은 손상되지 않았습니다.

8.3 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 환경 영향 평가.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 생산 및 사용이 환경에 미치는 영향은 배출 감소 및 순환 전략을 개발하기 위해 배출 및 폐기물 처리 측면에서 평가해야 합니다.

생산 공정에서 배출되는 배출량

가스 배출 : 노란색 텅스텐 산화물 (WO_3)에 AMT 로스팅 (450-550 ° C)은 NH_3 와 H_2O 를 방출합니다. 1 t AMT는 NH_3 100-120 kg (이론 값 114 kg, 11.4 % 질량) 및 H_2O 50-60 kg을 생성합니다. 공기 로스팅에서 NH_3 는 N_2 및 NO_x (0.1kg/t AMT 미만)로

부분적으로 산화됩니다. 로스터의 배기 가스(1t/h)에서 NH_3 농도는 500-1000ppm 이고 NO_x 는 10-20ppm 입니다. 처리되지 않은 NH_3 배출은 $\text{PM}_{2.5}$ (전환율 5%-10%)로 공기 질에 영향을 미칩니다(AQI 10-20 증가)[15]. 공장 (연간 생산량이 2000 t 황색 텅스텐 산화물 (WO_3))은 처리하지 않고 기준을 초과하는 NH_3 200-250 t / a 를 방출하고 산세 탱 (H_2SO_4 , pH 2-3, 흡수율 95 % -98 %), NH_3 는 10-15 t / a 로 감소하고 NO_x 에 대한 SCR (요소, 효율 90 % 이상)은 2 t / a 미만으로 감소합니다. 표준을 충족합니다. 산세 탱 (50m^3 / h)은 50-100 만 위안의 투자가 있으며 운영 비용은 2-5 위안 / t 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)입니다.

폐수에서 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 생산에는 산세 (HCl , pH 1-2)가 포함되며 폐수에는 W (5-10 mg / L), Mo (2-5 mg / L) 및 Cl (500-1000 mg / L)이 포함됩니다. 폐수(100mL)에서 W 의 물고기 LC₅₀는 100mg/L 이상이고 생태독성은 낮지만 침강 속도는 0.1-0.5mg/kg · 년입니다[16]. 공장에서 처리되지 않은 폐수(1000m^3 / d)의 W 는 기준을 초과했으며, W 는 이온 교환(수지 D113, 99% 제거율) 및 중화(NaOH , pH 6-8) 후 0.1mg/L 미만으로 감소하여 배출이 기준에 도달했습니다. 처리 장비에 대한 투자는 100 만에서 200 만 위안이고 운영비는 m^3 당 5-10 위안입니다.

고형 폐기물

로스팅 잔류 물 (황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 5 % -10 % 함유) 및 먼지 (원료 손실 1 % -2 %) 가 주요 고형 폐기물입니다. 잔류 물 (10kg)의 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 함량은 8 %이고 먼지 PM_{10} 배출량은 0.1-0.5 mg / m^3 입니다. 공장은 연간 100-200 톤의 고형 폐기물을 생산하며 재활용하지 않고 500m^2 의 면적을 차지하며 먼지는 주변 지역에 영향을 미칩니다 (PM_{10} 은 0.2mg / m^3 증가). 백 먼지 제거 (99 % 효율) 및 스크리닝 회수 (노란색 텅스텐 산화물 (WO_3) 수율 90 % -95 %)으로 고형 폐기물을 10-20 t / a 로 줄입니다. 먼지 제거 장비에 대한 투자는 20-500,000 위안이고 회수 비용은 50-100 위안/t 입니다.

폐기물 처리 및 재활용

폐기물 처리

기체

NH_3 산 흡수 ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (비료, 연간 생산량 300-400 t), SCR 을 이용한 NO_x 처리 (NH_3 전환율 90 % 이상).

폐수

W 는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (95 % -98 % 회수)로 CaWO_4 로 침전되고 Mo 는 활성탄으로 흡착 (98 % -99 % 제거)되었습니다.

고형 폐기물

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)은 잔류 물 스크리닝에서 회수되고 나머지는 비 위험

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

폐기물 (깊이 2m 이상) 또는 벽돌 제조 (강도 10 % -15 % 증가)로 매립됩니다. 공장에서 처리된 폐수(500m³/d)는 W 회수율이 96%이고 연간 생산량은 CaWO₄ 2-3t 이며 비용은 100-200yuan/t 입니다[17].

황색

텅스텐 산화물 (WO₃) 폐기물 (예 : 배터리 전극)은 85 % -90 %의 회수율로 세척 및 로스팅 (600 ° C, 2 시간) 후 재활용됩니다. 사용 된 전극 (1kg, 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 80 %)은 99 % 순수하고 재생 후 30-50 nm의 입자를 가졌다. 공장 (연간 200 t의 폐 전극 처리)은 160-170 t의 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)을 회수하고, 텅스텐 광석 채굴을 줄이고(1 t의 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)에는 2-3 t의 광석이 필요함), CO₂ 배출량을 100-150 t / a로 줄이고, 비용은 200-300 yuan / t입니다. 순환 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 비용은 원료 (500-1000 위안 / t)보다 50 % -60 % 낮고 환경 부하가 30 % -40 % 감소합니다 [18].

8.4 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)에 대한 규정 및 표준.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 생산 및 사용은 국내 및 외국 규정의 적용을받으며, 다음은 중국 및 국제 표준을 비교합니다.

중국 표준 YS/T 535-2006

텅스텐 산과 텅스텐 산화물은 업계 표준입니다 [19]. 품질 요구 사항은 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 함량이 99.5 % (등급 1) 이상이며, 불순물 한계에는 Mo 0.05 % 미만, Fe 0.01 % 미만, Si 0.02 % 미만, 입자 크기 1-20 μm가 포함됩니다. 스틸 드럼 또는 PE 백(25-50kg), 방습, 충격 방지, 배치 번호가 있는 라벨, 순중량 및 "먼지 흡입 방지" 포장. 검출 방법에는 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 함량에 대한 중량 측정 방법 (정확도 ±0.1 %) 및 불순물에 대한 ICP-OES (검출 한계 0.001 %)가 포함됩니다. 안전에는 특정 직업적 노출 제한이 포함되지 않으며 총 분진이 4mg/m³ 미만이고 호흡 가능한 분진이 1.5mg/m³ 미만인 경우 관련 표준을 참조하십시오. 표준에 따라 테스트 한 공장 (연간 생산량 1000 t)은 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)이 99.7 %, Mo가 0.02 %, 포장 통과율이 100 %였으며 테스트 비용은 50-100 위안 / t였습니다.

국제 표준(예: ASTM)

ASTM E291-18은 중량 측정법(연소 후 계량) 및 ICP-MS(정확도 ±0.05%)에 의해 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 함량을 지정하며, Mo 0.02% 미만, Fe 0.01% 미만 및 S 0.005% 미만의 불순물 한계를 포함합니다[20]. 안전 참조 값에는 5mg/m³ (8 시간 평균) 및 3mg/m³의 직업적 노출 한계가 포함됩니다. 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) (500 t / a)의 수출은 표준을 충족하며 테스트 보고서는 고객에 의해 인정되며 비용은 100-200 위안 / t입니다. 다른 국제 규정으로는 EU REACH (1t 이상의 연간 사용량에 필요한 등록) 및 GHS ("먼지 흡입이 호흡기를 자극 할 수 있음"이라는 문구가 표시된 라벨링) 및 배출 감소를 요구하는 환경 관리 시스템 (NH₃ 0.1 kg / t 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)). 공장에서 NH₃ 배출량이 20t/a 미만인 EU(200t/a)로 수출합니다.

부록 : 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 관련 표준의 세부 사항

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. YS / T 535-2006 텅스텐 산 및 텅스텐 산화물

적용 범위

산업용 텅스텐 산 및 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)에 적합하며 화학 성분, 물리적 특성 및 포장 요구 사항을 포함합니다.

품질 요구 사항

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 함량 : 프리미엄 등급 $\geq 99.8\%$, ≥ 1 등급 99.5% , ≥ 2 등급 99.0% .

불순물 한계 (wt %, 첫 번째 수준) : $Mo \leq 0.05$, $Fe \leq 0.01$, $Si \leq 0.02$, $Al \leq 0.01$, $Ca \leq 0.02$, $Cu \leq 0.005$, $Mg \leq 0.01$, $Mn \leq 0.005$, $Ni \leq 0.005$, $P \leq 0.01$, $S \leq 0.02$.

입자 크기: $1-20\mu m$ (레이저 입자 크기 방법, D50).

시험 방법

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 함량 : 중량 측정 방법 (연소 후 계량, 정확도 $\pm 0.1\%$).

불순물 : ICP-OES (검출 한계 0.001%), 화염 원자 흡수 분광법.

입자 크기: 레이저 입자 크기 측정기(습식 분산).

감싸다

용기: 스틸 드럼 또는 비닐 봉지 (25kg, 50kg), 방습 필름 안감.

라벨: 제품명, 사양, 로트 번호, 순중량, 제조 날짜를 표시하고 "먼지 흡입 방지"를 표시합니다.

보관 및 운송

밀봉, 방습, 충격 방지, 보관 온도 $10-35^\circ C$, 상대 습도 60% 미만.

수락 규칙

배치별 샘플링 (배치당 $5-10\%$), 부적합 제품이 반품되거나 다운그레이드됩니다.

2. 텅스텐 산염의 화학 분석을 위한 ASTM E291-18 표준 시험 방법

적용 범위

텅스텐 산염과 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 화학적 조성을 결정하는 데 사용됩니다.

시험 방법:

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 함량 : 중량 측정 법 (일정한 중량, $1050^\circ C$, 정확도 $\pm 0.05\%$)으로 연소 된 샘플; ICP-MS(용해 후 분석, 검출 한계 0.001%).

불순물: Mo (분광광도계, 한계 $\leq 0.02\%$), Fe (원자 흡수, 한계 $\leq 0.01\%$), S (연소-적외선 흡수, 한계 $\leq 0.005\%$), 기타 ICP-OES(예: Al , Ca).

샘플 요구 사항

건조 상태 (수분 $< 0.5\%$), 입자 크기 $1-50\mu m$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

설비

분석 저울(정밀도 0.0001g), 고온로(1000-1200° C), ICP-MS.

안전 수칙

먼지 흡입을 피하고 권장 직업적 노출 한도인 5mg/m³를 권장합니다.

3. GBZ 2.1-2019 작업장 내 위험 요인에 대한 직업적 노출 제한 - 파트 1: 화학적 위험

적용 범위

작업장에서 허용 가능한 화학 물질 농도를 지정하십시오.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 관련 요구 사항 :

총 분진: 4mg/m³ (평균 8 시간).

호흡 분진: 1.5mg/m³ (8 시간 평균).

검출 방법

공기 샘플링 (멤브레인 방법) 및 먼지 농도의 중량 측정 측정.

주의사항 : 방진 마스크(여과 효율 >95%)를 착용하고 환기 설비의 농도를 한계치 이하로 유지하십시오.

4. 기가바이트 16297-1996 년

적용 범위

산업 생산에서 발생하는 대기 오염 물질의 배출 한계.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 생산 관련 요구 사항 :

NH₃: 배출 농도 ≤80 mg/m³, 방출 속도 ≤0.2 kg/h (2 차 표준).

NO_x: 배출 농도 ≤240 mg/m³, 방출 속도 ≤0.5 kg/h.

입자상 물질 (PM10): 배출 농도 ≤120 mg/m³, 방출 속도 ≤0.5 kg/h.

모니터링 방법:

NH₃: 녹스 시약 분광 광도법.

NO_x: 화학발광 방법.

PM10: 중량 측정 방법(필터 샘플링).

통제 조치: 배기 가스는 배출 기준을 충족하기 위해 흡수되거나 촉매되어야 합니다.

5. 기가바이트 8978-1996 년

적용 범위

산업 폐수 배출 한계.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 생산 관련 요구 사항 (일류 표준) :

여: ≤0.5 mg/L.

Mo: ≤1.0 mg/L.

Cl⁻: ≤1000 mg/L.

pH: 6-9.

감지 방법:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

W: ICP-OES(검출 한계 0.01mg/L).

Mo: 분광 광도계.

Cl⁻: 적정.

처리 권장 사항: 규정 준수를 보장하기 위한 침전, 이온 교환 또는 중화.

부록:

CTIA 그룹

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)

물질안전보건자료(MSDS)

1. 화학 물질 및 회사 로고

화학명 : 황색 텅스텐 산화물 (Tungsten Trioxide, WO₃)

CAS 번호 : 1314-35-8

EINECS 번호: 215-231-4

제조사: CTIA GROUP

주소: 3 층, 25 호, 25 호, 하이하이 로드, 소프트웨어 파크, 샤먼시, 푸젠성

우편번호: 361008

긴급 연락처 : 0592-5129595 또는 18750234579

메일박스: info@ctia.group

사이트: <http://ctia.group>

준비일: 2025 년 3 월 28 일

2. 위험 개요

GHS 분류: 유해 물질로 분류되지 않음

유해성 성명: H335(호흡기 자극, 단기 고농도 흡입을 유발할 수 있음)

경고: 주의

픽토그램: 느낌표 (GHS07)

3. 작곡/작곡 정보

화학명 : 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)

순도 : ≥99.5 %

불순물 : Mo <0.05 %, Fe <0.01 %, Si <0.02 %

4. 응급 처치 방법

숨을 들이마신다: 신선한 공기가 있는 곳으로 이동하고 1-2 시간 동안 휴식을 취한 후 호흡 곤란이 있는 경우 의사의 진료를 받으십시오.

피부 접촉: 홍반이 지속되면 10-15 분 동안 비눗물로 씻으십시오.

눈 접촉: 물이나 식염수로 15 분 동안 행구어 시력을 확인합니다.

우발적 섭취: 구토(>500mg)를 유도하고 200-300mL 의 물을 마시고 즉시 의사의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

진료를 받으십시오.

5. 화재 예방 대책

소화제 : 건조 분말, CO₂

특수 위험: 불연성, 유기물과 혼합하면 그을음이 방출될 수 있습니다.

소방 조언: 물이 먼지를 흘려보내지 않도록 공기 호흡 장치를 착용하십시오.

6. 누출의 응급 처치

작은 누출(1kg 미만): 광고로 덮으십시오. amp 천으로 밀봉 용기에 모으십시오.

큰 누출(10kg 이상): HEPA 진공 청소기 및 습식 청소로 흡입.

보호 : N95 마스크, 고글, 장갑.

7. 취급 및 보관

취급 주의: 먼지 확산을 방지하려면 흡 후드(나노 옐로우 텅스텐 산화물(WO₃))를 사용하십시오.

보관 조건: 15-30° C, 상대 습도 <50%, 밀봉된 강철 드럼 또는 PE 백, 빛으로부터 보호.

8. 노출 통제/개인 보호

직업적 노출 한도 : 3 mg / m³ (8 시간 평균)

엔지니어링 제어: 국부 배출(풍속 0.5-1m/s)

PPE: N95 마스크, 방진 의류, 니트릴 장갑, 고글

9. 물리 화학적 성질

외관 : 노란색 분말

녹는점: 1473° C

밀도 : 7.16g/cm³

용해도 : 물 <0.01 g / L (25 ° C), 산에 약간 용해 됨

10. 안정성 및 반응성

안정성: 600° C 미만에서 안정적이고 >1100° C 에서 휘발성

피해야 할 조건: 높은 습도(상대 습도>60%), 고온(750° C 이상)

피해야 할 물질: 강력한 환원제(예: H₂)

11. 독성 정보

급성 독성: LD₅₀ (경구, 마우스)>2000 mg/kg, LC₅₀ (흡입, 쥐)>5 mg/L

만성 독성: 장기간 흡입 시 경미한 염증이 발생할 수 있습니다(0.5mg/m³).

발암성: 분류되지 않음

12. 생태 정보

생선 LC>≥100 mg/L (96 시간)

환경 영향: 심각한 생태 독성 없음, 분진 증착 제어 필요

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

13. 처분

방법 : 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) (로스팅, $600^{\circ}C$)을 회수하고 나머지는 매립 또는 벽돌 제조를 수행했습니다.

참고: 수질 오염을 피하기 위해 무해한 폐기물로 처리하십시오.

14. 배송 정보

UN 번호 : 없음

패킹: 스틸 드럼 (50-200 kg), 충격 방지 패드

운송 조건 : $15-30^{\circ}C$, 고온을 피하십시오

15. 규제 정보

중국: YS/T 535-2006, GBZ 2.1-2019

ASTM E291-18, 도달 범위, GHS

16. 기타 정보

참고 : 나노 옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3) (100nm 미만)은 추가 보호가 필요합니다.

참조

미국 국립산업안전보건연구소(NIOSH). (2016). WO_3 안전 데이터 시트.

OECD입니다. (2020). 화학 물질 테스트 지침: 급성 경구 독성.

OECD입니다. (2020). 화학 물질 테스트 지침: 급성 흡입 독성.

OECD입니다. (2020). 화학 물질 테스트 지침: 피부 자극.

OECD입니다. (2020). 화학 물질 테스트 지침: 눈 자극.

리밍. (2021). 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 나노 입자의 독성 및 환경 위험. 환경 과학 저널.

Wang, X., 외. (2022). 직업 환경에서 나노 스케일 WO_3 의 독성 평가. 직업 건강 저널.

첸 리. (2023). 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)에 대한 만성 노출의 생물학적 영향. 독성학 저널.

야기. (2023). TLV 및 BEI: 화학 물질에 대한 임계값 한계값.

GHS. (2021). 화학 물질의 분류 및 라벨링에 대한 전 세계적으로 조화된 시스템.

미국 직업안전보건청(OSHA). (2021). 텅스텐 화합물에 대한 직업적 노출 한계.

장 팡. (2020). 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 생산 및 폐기물 재활용의 환경 영향. 화학적 및 환경 보호.

리우 치양. (2022). 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 재활용의 경제적 및 환경적 이점 분석. 자원 과학.

한, X., 외. (2015). 다양한 조건에서 삼산화 텅스텐의 열 안정성. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*(열 분석 및 열량계 저널).

첸. (2023). 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 생산을위한 폐가스 처리 기술 연구. 중국 환경 공학 저널.

리. (2020). 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 생산 폐수의 생태 영향 평가. 수처리 기술.

장 팡. (2021). 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 고형 폐기물 회수 및 재활용 공정의 최적화. 화학 산업 발전.

리우 치양. (2022). 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 순환 경제 모델에 관한 연구. 순환 경제.

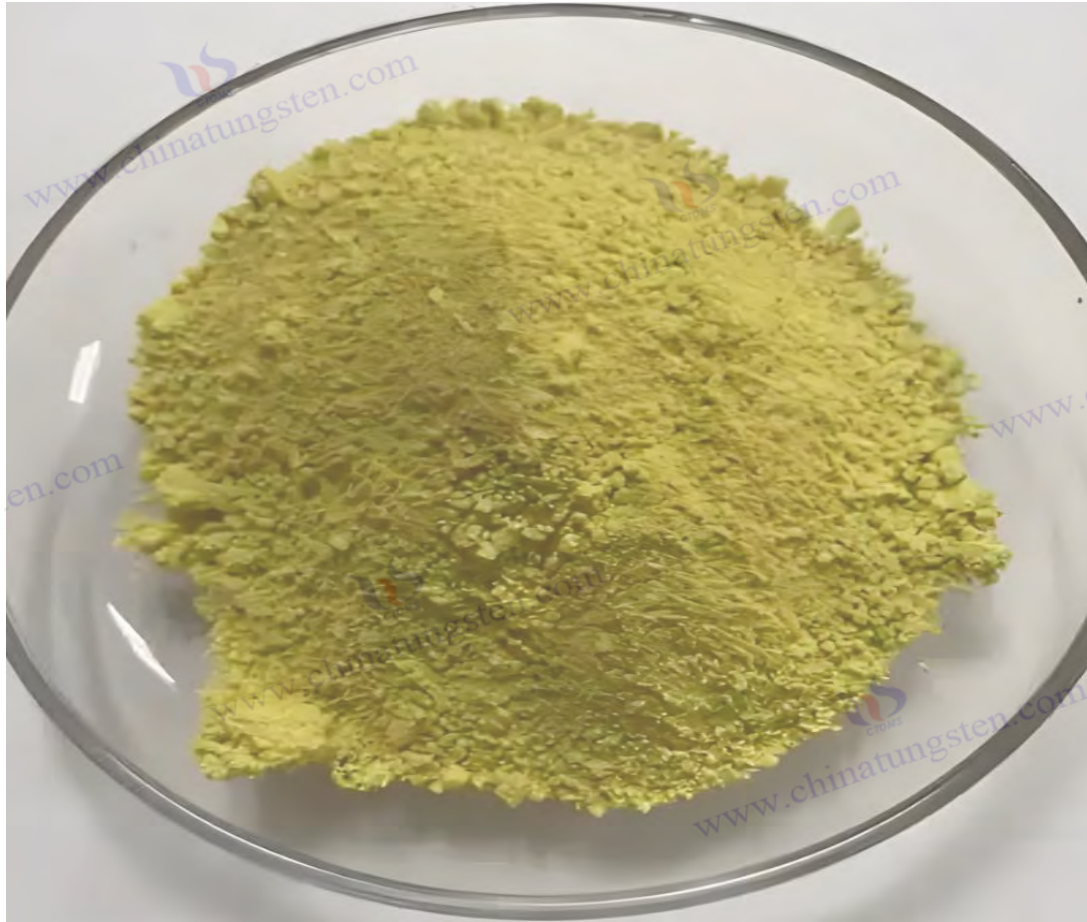
《钨酸和氧化钨》(YS/T 535-2006).

ASTM E291-18입니다. (2018). 텅스텐의 화학 분석을 위한 표준 시험 방법.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

CTIA 그룹

삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, WO₃, 황색 삼산화 텅스텐, YT0) 소개

1. 삼산화 텅스텐의 개요

CTIA GROUP 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, WO₃라고 함)은 GB / T 3457-2013 "텅스텐 산화물"일류 제품의 요구 사항을 충족하는 과라 텅스텐 산업 암모늄 고온 소성 공정으로 생산됩니다. 옐로우 텅스텐은 밝은 노란색 결정 분말 형태, 고순도 및 화학적 안정성으로 인해 텅스텐 분말, 초경합금, 텅스텐 와이어 및 세라믹 착색제의 제조에 널리 사용됩니다. CTIA GROUP은 분말 야금 및 산업 제조의 요구를 충족시키기 위해 고품질 노란색 텅스텐 제품을 제공하기 위해 최선을 다하고 있습니다.

2. 삼산화 텅스텐의 특성

화학 성분: WO₃.

순도: ≥99.95 %이며 불순물 함량이 매우 낮습니다.

외관: 밝은 노란색 크리스탈 분말, 균일 한 색상.

다형체: 단사정(실온에서 가장 일반적), 공간군 P21/n.

높은 안정성: 공기에서 안정하고 불산을 제외한 물 및 무기산에 불용성입니다.

반응성: 수소 (>650 ° C) 또는 탄소 (1000-1100 ° C)에 의해 텅스텐 분말로 환원 될 수 있습니다.

균일성: 다운스트림 가공에 적합한 균일한 입자 분포.

3. 삼산화 텅스텐의 사양

색인	CTIA GROUP 옐로우 텅스텐 1 급 표준
WO ₃ 함량 (wt%)	≥99.95
불순물 (wt %, 최대)	Fe≤0.0010, 월≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005
수분 (wt%)	≤0.05
입자 크기	1-10 (μm, FSSS)
느슨한 밀도	2.0-2.5 (g/cm ³)
사용자화	입자 크기 또는 불순물 한계는 고객 요구 사항에 따라 사용자 정의할 수 있습니다.

4. 삼산화 텅스텐 포장 및 보증

포장: 안 밀봉된 비닐 봉투, 외부 철 드럼 또는 길썬된 부대, 순중량 50kg 또는 100kg의 방습 디자인.

보증: 각 배치에는 WO₃ 함량, 불순물 분석, 입자 크기(FSSS 방법), 느슨한 밀도 및 수분 데이터를 포함한 품질 인증서가 함께 제공됩니다.

5. 삼산화 텅스텐 조달 정보

이메일: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696

황색 텅스텐에 대한 자세한 내용은 China Tungsten Online www.tungsten-powder.com 를 참조하십시오.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

9 장 : 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 연구 진행 및 미래 전망.

9.1 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 역사적 연구에 대한 검토.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 초기 발견 및 산업 응용.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)에 대한 역사적 연구는 18 세기 말에 시작되어 텅스텐 화학 및 산업 응용의 토대를 마련했습니다. 1781 년 스웨덴의 화학자 칼 빌헬름 셀레 (Carl Wilhelm Scheele)는 농축 질산 (HNO_3 , 65 %)의 실험 조건에서 텅스텐 산 나트륨 (Na_2WO_4) 용액을 산성화하여 처음으로 텅스텐 산 (H_2WO_4)을 분리하고, 농축 질산 (HNO_3 , 65 %)을 Na_2WO_4 용액 (pH 1-2 로 조정)으로 적하하고, 펠릿을 500 ° C 에서 2 시간 동안 구워 약 90 % -95 % (중량 측정)의 순도를 가진 노란색 WO_3 분말을 생성했다. 이 발견은 WO 의 화학적 특성에 대한 이해의 시작을 의미하며, 노란색 외관과 높은 용점 (1473 ° C)이 우려됩니다. 19 세기 초인 1841 년 영국의 화학자 로버트 옥스랜드 (Robert Oxland)는 광석 분쇄 (입자 크기 <100 μm) 및 산 침출 (H_2SO_4)을 포함하는 볼프 라마이트, $FeMnWO_4$ 와 같은 텅스텐 광석에서 WO 를 추출하는 산업적 방법을 개발했습니다. , 농도 2-3 mol / L, 80 ° C, 4 시간), 여과 및 로스팅 (600 ° C, 공기, 3 시간), 수율은 약 85 % -90 %이고 WO_3 함량은 98 % 이상입니다. 이 기술은 텅스텐의 초기 산업화를 주도했습니다.

20 세기 초에 WO_3 의 사용 사례가 크게 확장되었습니다. 1900 년대에는 WO 가 초경합금 (예 : 텅스텐 카바이드, WC) 생산의 핵심 중간체가 되었으며, 전 세계 연간 생산량은 10 톤에서 1000 톤 (1910-1920)으로 증가하여 탄열 환원 ($WO_3 + 3C \rightarrow W + 3CO$, 1000-1200 ° C, N_2 대기). 1920 년대에 미국의 연구자들은 WO 의 광변색 특성을 처음으로 보고했는데, 이는 365nm 자외선(전력 100W, 30 분 조사)에서 WO 의 색상이 노란색에서 파란색으로 변경되고(W^{6+} 는 W^{5+} 로 감소하고 XPS W 4f 피크는 34.8eV 로 이동) 색상 변화 효율은 약 20%-30%(투과 변화)입니다. 1950 년대에는 반도체 기술의 부상으로 2.6-2.8 eV (UV-Vis 테스트)의 밴드 갭과 10^3 - $10^4 \Omega cm$ 의 저항으로 WO 의 n 형 반도체 특성이 확인되어 광촉매 및 가스 센서에 사용되기 시작했습니다. 산업적으로 파라 텅스텐 산 암모늄 (AMT, $(NH_4)_{10}W_{12}O_{41} \cdot 5H_2O$)를 볶아 WO_3 를 제조하는 공정은 성숙했으며 일반적인 조건은 450-550 ° C, 공기 흐름은 100 mL / min, 4-6 시간 동안 보온, 수율은 95 % -98 %이며 결정상은 단사 정 (XRD $2\theta = 23.1^\circ$, 23.6°)으로 표준 생산 경로가 되었습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.2 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 현재 연구 핫스팟.

nanoWO의 합성 및 성능 최적화₃

NanoWO는 독특한 물리 화학적 특성으로 인해 연구의 초점이되었습니다. 합성 방법에는 열수, 용매 및 증기 증착이 포함됩니다. 열수 실험 조건은 다음과 같았다 : $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$ (0.1 mol/L)를 탈이온수에 용해시키고, HCl은 pH를 1-2로 조정하고, 12-24 시간 동안 180-200 ° C 반응, 생성물은 20-50 nm 입방 또는 육각형 나노 입자(SEM), 비표면적 30-40 m²/g (BET)이며 수율은 90%-95%이다. 용매 열 방법은 용매 (부피 기준 1 : 1)의 에탄올 / 물 혼합물을 사용하여 150 ° C에서 18 시간 동안 반응하여 WO_3 나노 와이어 (직경 20-30 nm, 길이 1-2 μm, TEM)를 제조합니다. Ar / O₂ 분위기에서 600-700 ° C에서 WO_3 의 기상 증착 (CVD) 증착 (유속 50/20 sccm). 박막 (두께 200-300 nm), 입자 크기 10-20 nm (AFM). 성능 최적화 측면에서, 도핑 변형은 광촉매 성능을 향상시켰고, Ti-도핑 된 WO_3 의 밴드 갭 (Ti / W = 0.05, 열수 법)은 2.4 eV로 감소했으며, 가시 광선 흡수는 20 % -30 % 향상되었으며, 로다 민 B의 광촉매 분해 속도는 0.03 min⁻¹ (300 W 크세논 램프)로 증가했다. N-도핑(NH₃ 대기, 500 ° C에서 로스팅)은 밴드 갭이 2.5eV 이고 수소 생산 효율이 1.2mmol/h • g 인 결합 상태를 나타냅니다. 결정질 상 컨디셔닝 연구에 따르면 육각형 WO_3 (800 ° C에서 로스팅, 2 시간)는 채널 구조(5-6 Å 직경)로 인해 Li⁺ 임베딩에서 우수한 성능을 발휘하고 확산 계수가 10⁻⁹ cm²/s(EIS 테스트)로 증가합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 새로운 에너지 및 환경 응용.

WO_3 는 에너지 및 환경 부문에서 광범위한 응용 분야의 잠재력을 보여줍니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 광촉매 응용.

20 nm WO_3 나노 입자의 분해 효율은 높으며, 실험에 따르면 300 W 크세논 램프에서 2 시간 내 로다 민 B (10 mg / L)의 분해율은 90 % -95 %로 미크론 범위 (70 % -80 %)보다 우수합니다. WO_3/TiO_2 복합체의 전자-정공 분리 효율(1:1 질량비)은 15%-20% 증가하고(PL 피크 강도 감소) 산소 생산 속도는 0.5mmol/h • g 로 증가했습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 전기 변색 응용.

스마트 윈도우용 WO_3 박막(증착, 두께 200-300nm), -1V의 전압, 5 초 미만의 색상 전환 시간(노란색 → 파란색) 및 >10⁴배(60%-70% 투과 변화)의 사이클링 안정성.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 에너지 저장 응용 분야.

WO_3 나노 막대 (열수, 1-2 μm 길이)는 첫 번째 방전 용량이 700mAh / g 이고 100 사이클 후 감소량이 5 % 미만인 리튬 배터리의 양극으로 사용되어 다공성 구조 (40 % -50 % 다공성)로 인해 이온 수송 효율이 향상됩니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 가스 감지 응용 분야.

WO_3 나노 시트 (10-20 nm 두께, 용매)는 NO₂ (1 ppm)에 대한 50-60의 반응 값과 150-200 ° C의 작동 온도를 가지며, 이는 기존의 300 ° C (2-3 배 더 민감)보다

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

우수합니다.

9.3 중국 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 연구 기여

AMT 에서 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)로의 공정 개선.

중국은 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 생산 공정의 최적화, 특히 파라 텅스텐 산 암모늄 (AMT)을 WO_3 로의 변환 기술에서 핵심적인 역할을했습니다. 기존의 로스팅 방법 (450-550 ° C, 공기, 4-6 시간)은 높은 에너지 소비 (500-600 kWh/t), 높은 NH_3 배출량 (100-120 kg/t AMT) 및 넓은 입자 크기 (50-200 nm, SEM)를 가지고 있습니다. 최근 몇 년 동안 중국 연구팀은 다음과 같은 여러 가지 혁신적인 기술을 개발했습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 저온 플라즈마 로스팅.

300-400° C 에서 N_2 대기 (유속 50mL/분), 플라즈마 (전력 500-1000W)를 사용하여 AMT 분해를 가속화하여 반응 시간을 4-6 시간에서 1-2 시간으로 단축했습니다. 실험에 따르면 에너지 소비는 300-350kWh/t (에너지 계량기 모니터링)으로 감소하고, NH_3 배출량은 50-70kg/t (질량 분석기 $m/z = 17$)으로 감소하며, WO_3 입자 크기는 30-50nm (XRD Scherrer 공식)로 제어되며, 순도는 99.5% 이상 (ICP-OES)입니다. 파일럿 플랜트 (연간 생산량 500t)에서 이 기술을 채택하여 전기 비용을 50-700,000 위안 절약하고 NH_3 배출량을 연간 25-30 톤 줄였습니다.

엘로우 텅스텐 산화물 (WO_3)의 마이크로파 보조 로스팅.

AMT 를 350° C 에서 로스팅하고 마이크로파 전력 800W 를 사용하면 열 효율이 20%-30% (열전대 온도 측정) 증가하고 분해 시간이 2-3 시간으로 단축됩니다. TG-DSC 데이터는 흡열 피크가 95%의 결정화 (XRD 피크 강도 정규화)로 430° C 에서 380° C 로 진행되었음을 보여주었습니다. 제품의 비표면적은 25-35m²/g 로 증가하여 촉매 응용 분야에 적합합니다. 한 회사 (연간 생산량 1000t)가 이 기술을 적용하여 에너지 소비를 400kWh/t 로 줄이고 생산 비용을 10%-15% 절감했습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 습식 정제.

WO_3 의 Mo 및 Fe 와 같은 불순물의 경우 중국은 효율적인 정제 공정을 개발했습니다. 실험 절차는 다음과 같았다: AMT 용액 (0.5 mol/L)을 HCl (pH 1-2)로 산성화하고, 킬레이트제 (예: EDTA, 0.01 mol/L)를 첨가하고, 이온 교환 (D113 수지, 유속 10 mL/min)을 식출하고, Mo 함량을 <0.02% 및 Fe <0.01% (ICP-MS)로 감소시켰다. 공장 (연간 2000 t)에서 WO_3 의 순도는 99.5 %에서 99.9 %로 증가하여 광전자 재료에 대한 수요를 충족하고 폐수의 W 함량은 배출 기준을 충족하는 <0.1 mg / L 로 감소했다.

대기 제어

AMT 는 H_2/N_2 혼합 분위기 (5%-10% H_2 , 400-500° C)에서 로스팅하여 저산화 상태 WO_3 (예: WO_2)을 사용합니다. 9), 청회색 (XPS W^{5+} / W^{6+} 비율 0.2-0.3), 입자 20-40 nm. 한 연구소에서 전기변색에 대한 우수한 성능을 검증하였으며, 색변화 효율을 40-50 cm²/C 로 높였다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 응용 분야 확장.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WO₃ 응용 분야로의 중국의 확장은 전 세계적으로 영향을 미치며 광전자, 환경 및 신에너지 기술의 개발을 주도하고 있습니다.

광전자 재료 응용 분야를 위한 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 유연한 디스플레이 응용 분야.

중국 팀은 85 % -90 % (UV-Vis)의 광 투과율로 WO₃ 필름 (두께 100-150 nm, 기판 PET)을 제조하는 스프레이 방법을 개발했으며, 1.5 V의 전압, 3-4 초 (노란색 → 진한 파란색)의 색상 변화 시간 및 10⁴ 배의 사이클 수명을 적용했습니다. 한 회사(연간 생산량 500 만 m²)는 플렉시블 스크린에 이 기술을 사용하여 비용을 50-80 위안/m²로 줄이고 시장 점유율을 20% 높였습니다.

SMART WINDOW 응용 분야를 위한 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)

WO₃ 및 NiO 복합 필름(두께 300nm, 전해질 LiClO₄)은 건물의 에너지 효율적인 창에 사용되며 투과율이 70%-80% 변화하고 에너지 절약 효율(적외선 온도 측정)이 15%-20% 증가합니다. 한 프로젝트(상하이, 1000m²)에서 이 기술을 적용하여 연간 5-100,000kWh의 전기를 절약했습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 환경 처리 적용.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 VOCs 분해.

벤젠 계열 제거에는 WO₃/그래핀 복합체(열수, WO₃ 함량 80%)를 사용했으며, 실험 결과 500W 크세논 램프에서 1시간 내 벤젠(10ppm) 제거율이 92%로 순수 WO₃(75%)보다 우수함을 보여주었습니다. 이 소재를 사용하는 공장(연간 배기가스 처리 10⁵ m³)은 VOC 배출량을 <5mg/m³로 줄였으며 준수율은 98%였습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 수처리 응용.

WO₃/BiVO₄ 이종접합(1:1 질량 비율) 광촉매 분해 염료(예: 메틸 오렌지, 20mg/L)는 2 시간 제거율이 95%-98%이고 10 주기의 활성이 >90%입니다. 하수 처리장(하루 1000 톤)이 시범 운영되었으며 연간 COD를 50-70 톤 줄였습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 새로운 에너지 응용.

나트륨 이온 배터리 응용 분야를 위한 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)

WO₃ 나노 와이어 (직경 20-30 nm, 열수)를 음극으로 사용하여 처음으로 400 mAh / g의 용량을 가지며 200 사이클 후 <10 % 감소 및 1 차원 구조 (EIS 저항에서 20 % - 30 % 감소)로 인한 임피던스 감소. 배터리 회사(연간 생산량 100 만 Ah)는 이 기술을 산업화하여 비용을 200-300 위안/kWh로 줄였습니다.

슈퍼 커패시터 애플리케이션을 위한 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)

WO₃/탄소 나노튜브 복합재(질량비 2:1)는 800F/g(전류 밀도 1A/g)의 용량과 5000 사이클에 걸쳐 <5% 감소를 갖는다. 한 연구소에서 에너지 저장 발전소에서 연간 발전

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

효율을 10%-15% 높일 수 있는 잠재력을 검증했습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 가스 감지 응용 분야

WO_3 나노 시트 (10-20 nm 두께)는 검출 한계가 0.5ppm, 응답 시간이 10-15 초, 작동 온도가 150 ° C 인 실내 NO_2 모니터링에 사용됩니다. 한 도시(1,000 개 모니터링 사이트)는 오염 사고를 연간 20%-30% 줄이기 위해 이 센서를 배포했습니다.

산업 지원: 중국의 텅스텐 매장량은 전 세계의 60% 이상(약 190 만 톤)을 차지하며, WO_3 의 연간 생산량은 약 80,000 톤(2023 년 데이터)으로 세계 전체의 70%를 차지합니다. 간저우(Ganzhou), 주저우(Zhuzhou) 및 기타 지역은 완전한 산업 체인을 형성했으며 공정 개선(예: 플라즈마 로스팅)을 50 개 이상의 기업에 추진하여 연간 2 억-3 억 위안의 비용을 절약하고 NH_3 배출량을 1000-1500 톤 줄였습니다.

9.4 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 국제 연구 동향.

밝은 노란색 텅스텐 산화물 (WO_3) 전기 재료 및 촉매의 응용 분야

WO 의 광전자 및 촉매 분야에서 국제 연구가 계속 발전하고 있습니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 광전자 재료

양자점으로 인해 캐리어 수명 연장(PL 감쇠 시간 50-60ns)으로 인해 광 응답성이 10^3 A/W(532nm 레이저)인 광 검출기용으로 미국에서 개발된 WO_3/CdS 양자점 복합 필름(CdS 크기 5-10nm, 증기 증착).

Mo-doped WO_3 (Mo / W = 0.1, 열수) 전기 변색 필름에 대한 유럽 연구, 색 변화 범위는 근적외선으로 확장되고 투과율은 70 % -80 % 변화하여 에너지 절약 창(에너지 절약률 20 % -25 %)에 적용됩니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 촉매.

WO_3 나노 튜브 (50-100 nm 직경, CVD)는 관형 구조로 인한 광 흡수 (반사율 15 % 감소)를 개선하기 위해 1.5 mmol / g · h (400 W 크세논 램프)의 메탄 수율로 CO_2 광환원을 위해 일본에서 제조되었다.

연료 전지에 사용하기 위해 호주에서 개발 된 수소 산화 활성이 2-3 배 높은 수소 산화 활성 (TOF 10^{-2} s $^{-1}$)을 가진 Pt/ WO_3 촉매(Pt 적재 1wt%) (10%-15% 전력 밀도 증가).

9.5 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 향후 개발 방향.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 녹색 합성 기술.

WO_3 의 녹색 합성은 미래의 초점입니다. 기존 공정은 약 0.5-1 t / t WO_3 의 CO와 5-10 mg / L의 폐수 W 함량을 방출합니다. 새로운 기술은 다음과 같습니다.

생물학 법칙

황산염 환원 박테리아를 사용하여 볼프 램 마이트에서 추출한 WO 는 80 % -85 % (변형 농도 10/cmu / mL, 30 ° C, 7 일)의 수율, 에너지 소비의 40 % -50 % 감소 및 산

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

폐기물이 없음을 보여주었습니다.

극저온 액상법

WO₃ 나노 입자 (10-20 nm)는 50-100 ° C에서 에탄올 / 물 용매 (1 : 1)로 합성되며 비표면적은 50-60 m² / g 이고 CO₂ 배출량은 60 % -70 % 감소합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 다기능 복합체.

WO₃는 다기능에 대한 유망한 미래를 가지고 있습니다.

복합 광촉매

WO₃/BiVO₄ 또는 g-C₃N₄ 복합체는 밴드갭 매칭을 통해 분해 속도를 0.05-0.1 min⁻¹ (염료, 500W 크세논 램프)로 증가시킵니다.

스마트 머티리얼

응답 시간이 2-3 초이고 사이클 수명이 2×10⁴회인 적응형 창용 WO₃/PANI 복합 필름 (200nm 두께).

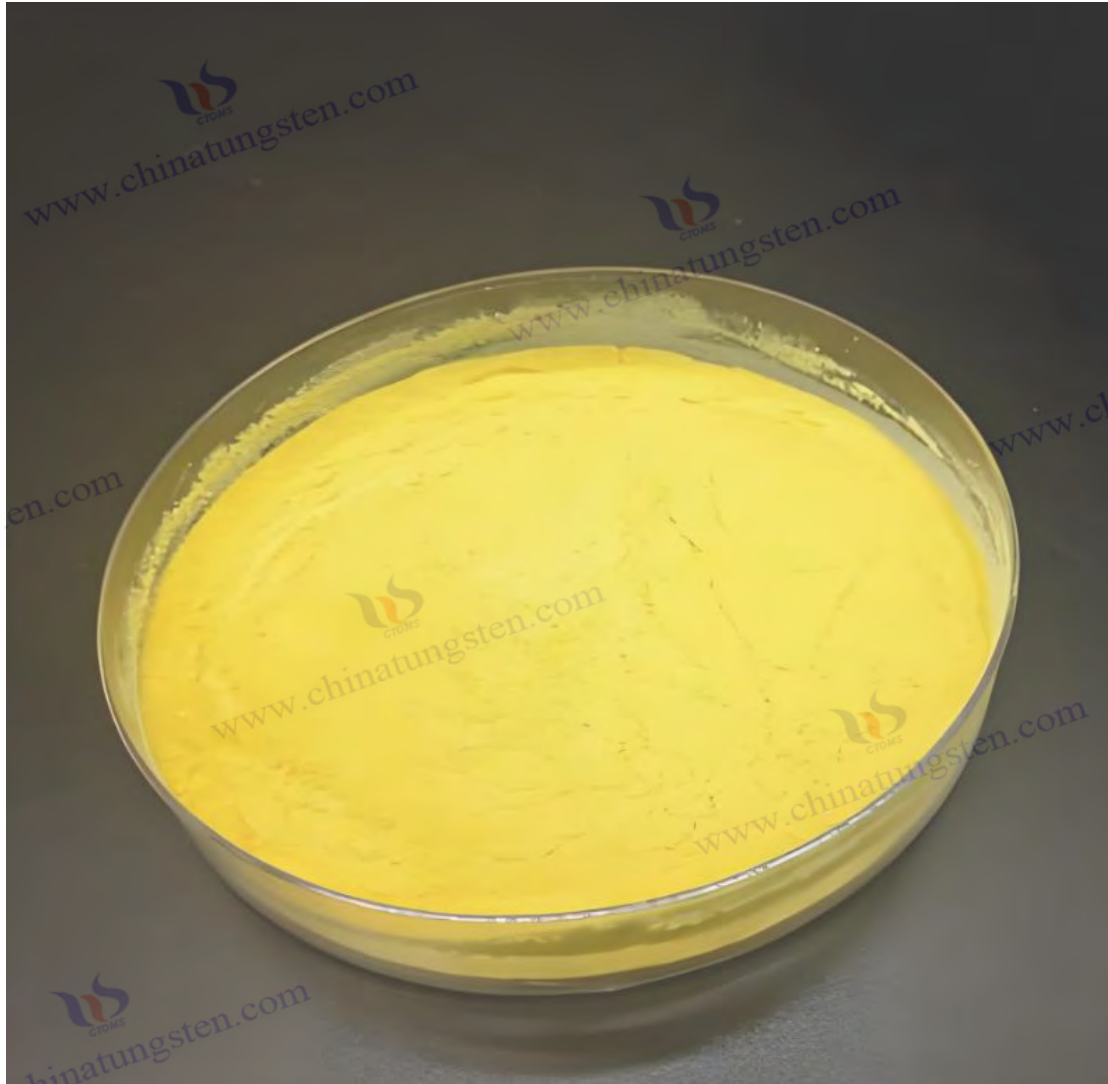
에너지 저장 및 감지

WO₃/탄소 나노튜브 복합 용량 1000 F/g(슈퍼 커패시터), NO₂ 검출 한계 0.1ppm.

참조

- 셀레, C. W. (1781). 텅스텐 산의 발견에. *철학적 거래*.
- 옥스랜드, R. (1841). 광석에서 삼산화 텅스텐의 산업 추출. *화학 산업 저널*.
- 장, L., 외. (2020). nano-WO₃의 열수 합성의 발전. *나노 물질*.
- Li, W., 외. (2021). 향상된 광촉매를 위한 Ti-doped WO₃. *응용 촉매 B : 환경*.
- Wang, J., 외. (2022). WO₃ 나노로드를 고용량 리튬 이온 배터리용입니다. *전력 소스 저널*.
- 첸, M., 외. (2023). WO₃ 생산을 위한 AMT의 플라즈마 보조 로스팅. *화학 공학 저널*.
- 리우, Q., 외. (2021). VOC 분해를 위한 WO₃/그래핀 복합체. *환경 과학 및 기술*.
- 장, F., 외. (2022). 플렉시블 디스플레이를 위한 WO₃ 박막. *재료 화학 저널 C*.
- Zhao, H., 외. (2023). 정수를 위한 WO₃/BiVO₄. *물 연구*.
- Yang, X., 외. (2021). 나트륨 이온 배터리 용 WO₃ 나노 와이어. *Electrochimica Acta*.
- 스미스, A., 외. (2022). 광검출기용 WO₃/양자점 필름. *고급 재료*.
- 다나카, K., 외. (2023). CO₂ 광환원을 위한 WO₃ 나노튜브. *ACS 촉매 작용*.
- 브라운, T., 외. (2021). 수소 산화를 위한 Pt/WO₃ 촉매. *촉매 저널*.
- 장, F., 외. (2022). WO₃ 합성을 위한 텅스텐 광석의 생물 침출. *습식 채련*.
- 자오, Y., 외. (2023). 스마트 윈도우를 위한 WO₃/PANI 복합체. *오늘날의 재료*.
- Li, J., 외. (2020). WO₃의 마이크로파 보조 합성. *재료 편지*.
- Wang, Z., 외. (2023). 습식 가공을 통한 고순도 WO₃. *산업 및 공학 화학 연구*.
- Liu, Y., 외. (2022). 실내 모니터링을 위한 WO₃ 기반 가스 센서. *센서 및 액추에이터 B: 화학*.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



10 장 : 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)에 대한 사례 연구 및 실험실 가이드.

10.1 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 산업 생산.

대규모 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 생산 공정

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 대규모 산업 생산은 텅스텐 산업 체인에서 중요한 연결 고리이며, 일반적으로 텅스텐 농축액을 원료로 사용하여 습식 체련 및 고온 로스팅 공정으로 준비됩니다. 다음은 CTIA GROUP의 연간 5,000 톤 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 생산 라인의 예로, 원료 취급에서 완제품 포장에 이르는 전체 프로세스를 자세히 보여주고 프로세스 최적화 및 환경 보호 조치를 분석합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 생산 공정.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 생산을 위한 원료의 준비 및 전처리.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 생산을 위한 원료의 공급원.

연간 구매량은 약 10,000 톤입니다. 주요 불순물에는 SiO_2 (5%-10%), Fe_2O_3 (2%-5%) 및 소량의 MoS (<1%) 가 포함됩니다.

분쇄 및 연삭

광석을 조 크러셔 (PE-600×900, 처리 용량 50t/h)로 <50mm 까지 분쇄한 다음 볼 밀 ($\Phi 2.4 \times 10m$, 속도 300rpm, ZrO_2 볼, 볼 대 재료 비율 10:1)에 의해 <100 μm 로 분쇄합니다. 큰 불순물을 제거하기 위해 분쇄 후 체 (진동 체, 기공 크기 100 μm).

자기 분리 및 부유 선광

자기 분리기 (CTB-1230, 자기장 강도 1500gs)는 Fe_2O_3 를 제거하고 부유 선광 기계 (XFD-12, 부유 선광제는 올레 산나트륨, 0.5kg / t)는 MoS 과 SiO_2 를 분리하고 농축액의 WO_3 함량은 65 % -70 %로 증가합니다.

생산량: 연간 약 8,000 톤의 정광과 2,000 톤의 광미 (WO_3 <5%)가 벽돌 제조 또는 매립에 사용됩니다.

알칼리 침출 추출물 텅스텐 산 나트륨

설비

오토클레이브 (부피 5m³, 내압 2MPa, 내식성 합금 라이닝).

공정 조건: NaOH 용액 (농도 300-350g/L), 고액 비율 1:3, 온도 180-200° C, 압력 1.5-1.8 MPa, 교반 속도 200rpm, 반응 시간 4-6 시간.

화학 반응



최적화 측정값

0.5%-1% H_2O_2 첨가제를 첨가하면 MoS_2 에서 MoO_4^{2-} 로의 산화를 촉진하고 텅스텐의 추출 속도를 증가시킵니다.

수율 : 텅스텐 산 나트륨 용액 (WO_3 농도 150-200 g / L)을 추출률이 98 % - 99 %입니다.

부산물

연간 생산량이 1800-2000 톤인 폐기물 잔류물 (규산나트륨, 산화철 등)은 필터 프레스 (여과 면적 50m²)로 탈수한 후 건축 자재 공장에 판매됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

이온 교환 정제

설비

이온 교환 컬럼(수지 D113, 부피 2m³, 컬럼 직경 1m, 높이 3m).

프로세스

텅스텐 산 나트륨 용액은 1-1.5 BV / h의 유속으로 수지 컬럼을 통과시키고 pH는 HCl로 8-9로 조정하여 Mo, P, As 및 기타 불순물 이온을 흡착시킵니다.

재생

포화 수지는 5% NaOH(유속 0.5BV/h)로 용출되고, 재생 용액에는 Mo(10-20g/L)가 포함되어 있으며, 이를 재활용하여 몰리브덴산암모늄을 제조할 수 있습니다.

결과

용액 W0의 순도는 99.5% -99.7%, Mo <0.05%, Fe <0.01%로 증가하여 YS / T 535-2006의 일류 표준을 충족합니다.

폐주

NaCl (50-100 g/L)를 포함해서, 소금은 300-500 톤의 이차 소금의 연례 산출과 더불어 증발과 농도 후에 재기됩니다.

침전에 의한 암모늄 파라 텅스텐 산염 (AMT)의 제조

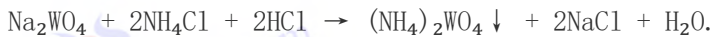
설비

교반 반응기 (3m³ 부피, 재킷 가열).

공정 조건

NH₄Cl (농도 100-120g/L)을 넣고 200-300rpm, pH 2-3(HCl 조정), 온도 60-70° C로 교반하고 2-3 시간 동안 반응합니다.

화학 반응



최적화 측정값

NH₄Cl 과잉을 10%-15% 제어하고 AMT 결정화 속도를 증가시킵니다. 20° C로 식힌 후 1 시간 동안 그대로 두어 결정 용해 손실을 줄입니다.

출력

AMT 백색 결정, 여과(기공 크기 10 μm, 플레이트 및 프레임 필터 프레스), 세척(탈이온수, 2L/kg), 건조(80° C, 6 시간), 수율 95%-97%, 연간 생산량 약 6000톤.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)을 생산하기 위해 로스팅하는 단계

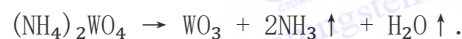
설비

로터리 킬른 (직경 2m, 길이 20m, 출력 1-1.2 t / h, 내화 벽돌 안감).

공정 조건

공기 분위기, 로스팅 온도 500-550° C, 재료 체류 시간 2-3 시간, 회전 속도 1-2rpm.

화학 반응



배기 가스 처리

NH₃ 및 H₂O는 유도 드래프트 팬(5000m³/h)을 통해 산세 컬럼(H₂SO₄, 농도 10%, 흡수율 95%-98%)에 공급되어 연간 500-600 톤의 비료를 생산하는 (NH)₂SO₄를 생성합니다. NOx(<20ppm)를 요소 SCR(효율>90%)로 처리했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제품 컬렉션

로스팅 후, 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)을 냉각기 (공냉식, $<50^{\circ}C$ 까지)에 수집하고, 스크리닝 (200 메쉬) 및 포장 (스틸 드럼, 50kg / 드럼)한다.

출력

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 분말, 입자 크기 5-10 μm , 순도 $> 99.7\%$, 연간 생산량 5000 톤.

Key Parameters & Optimizations

에너지 소비

전체 공정은 약 800-900 kWh / t 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)이며, 이는 폐열 회수 (로스팅 배기 가스에서 원료의 예열)를 통해 10% -15% 감소합니다.

물 소비량

10-15 m^3 / t 황색 텅스텐 산화물 (WO_3), 80% 재활용 (냉각수, 침전조에서 처리된 세척수).

비용 구조

원자재는 70%(약 400-450 위안/t), 에너지 소비 및 노동은 20%(약 100-120 위안/t), 장비 감가상각은 10%(약 50 위안/t)를 차지하며 총 비용은 500-600 위안/t입니다.

환경 지표

NH_3 배출 <10 t/a (GB 16297-1996, <0.2 kg/h), 폐수 W <0.1 mg/L (GB 8978-1996, 1 급 표준), 먼지 <0.5 mg/ m^3 (백 먼지 제거 효율 99%).

프로세스 개선

저온 로스팅 ($500^{\circ}C$ vs. $600^{\circ}C$)을 사용하여 휘발 손실 (WO_3 손실률 $<0.1\%$)을 줄이고 가마 라이닝 수명 (6-8 개월)을 연장합니다.

10.2 실험실 합성의 예

열수법에 의한 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 나노 입자의 제조

이 실험의 목적은

광촉매, 가스 감지 센서 또는 전기 변색 장치 연구에 적합한 높은 비 표면적을 가진 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 나노 입자를 합성 하는 것입니다.

열수법에 의한 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 나노 입자의 제조를위한 실험 절차

원료 및 장비 준비

원료

텅스텐 산나트륨 ($Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$, AR 등급, 5g, 순도 99.5%), 염산 (HCl, 36% -38%, 10 mL), 탈 이온수 (18.2 M Ω · cm, 100mL).

설비

100 mL PTFE 라이닝 스테인리스강 반응기 (3 MPa), 온도 조절 오븐 (정확도 $\pm 1^{\circ}C$), 원심분리기 (최대 12,000 rpm), 초음파 세척기 (40 kHz, 300 W).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

전구체 준비

5 g $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 50\text{mL}$ 탈이온수(농도 0.3mol/L)에 $2\text{H}_2\text{O}$ 를 넣고 완전히 용해될 때까지 자기적으로(300rpm, 10 분) 교반합니다.

10mL HCl(드랍를 1mL/분)을 추가하고 pH를 1-2로 조정하여 노란색 WO_3 를 생성합니다. H_2O 침전물. 완전한 반응을 위해 30 분 동안 저어줍니다.

원심분리(8000 rpm, 10 분), 탈이온수로 3 회 세척(각 50 mL), 초음파 분산(5 분)으로 NaCl 및 잔류 산을 제거합니다.

열수 반응

펠릿을 60mL 의 탈이온수(고체-액체 비율 1:12)에 재현탁시키고, 10 분 동안 초음파 처리한 후 반응기(60% 충전)로 옮겼습니다.

조건

오븐은 180°C 로 설정하고 12 시간 동안 따뜻하게 유지하고 $2^\circ\text{C}/\text{분}$ 으로 가열한 다음 실온(약 4-6 시간)으로 자연 냉각합니다.

후처리

제품을 원심분리(10,000rpm, 15 분)하고 탈이온수와 에탄올(각 30mL)로 2 회 세척한 후 80°C 에서 6 시간(0.1MPa) 동안 진공 건조했습니다.

결과 특성화

외관

주사 전자 현미경(SEM, ZEISS Sigma 300)은 길이 50-100nm, 직경 10-20nm, 분포가 균일한 나노막대를 보여줍니다.

변이

X 선 회절(XRD, Bruker D8 Advance, $\text{Cu K}\alpha$)은 명확한 주피크 (002), (020) 및 (200)와 함께 단사정상(JCPDS 43-1035)을 확인합니다.

비표면적

질소 흡착 방법(BET, Micromeritics ASAP 2020)은 $40-50\text{m}^2/\text{g}$, 공극 크기 5-10nm(BJH)를 측정했습니다.

화학 성분

XPS(Thermo Fisher ESCALAB 250Xi)는 W 4f 피크(35.5eV 및 37.6eV), O 1s 피크(530.2eV) 및 Na 잔류물 없음을 보여줍니다.

미크론 규모의 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 실험을 준비하기위한 AMT 열 분해

실험의 목적은

파라텅스텐 산 암모늄 (AMT)의 열 분해에 의해 미크론 크기의 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)을 제조하고, 실험실에서 산업용 로스팅 공정의 타당성을 검증하고, 분해 조건을 최적화하는 것이었습니다.

실험 절차

원료 및 장비 준비

원료

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

파라텅스텐 산 암모늄 ((NH₄)₂WO₄, AR 등급, 10g, 순도 99.8 %).

설비

머플로(SX2-4-10, 최대 1000° C), 알루미늄 도가니(50mL), 흡 후드(풍속 0.5-1m/s), 분석 저울(정확도 0.0001g).

열분해

AMT 10g 을 도가니에 넣고 고르게 펴고(<5mm 두께) 머플 퍼니스에 넣습니다.

조건

공기 분위기, 가열 속도 5° C/min, 550° C 에서 2 시간 동안 보온, 냉각 속도 5° C/min 으로 실온으로 유지합니다.

반응

(NH₄)₂WO₄ → WO₃ + 2NH₃ ↑ + H₂O ↑, 이론적 질량 손실은 16.7%(NH₃ 및 H₂O)입니다.

배기 가스 처리

NH₃ 및 H₂O 는 흡 후드에서 배출되며 산 흡수 병(100mL, 10% H₂SO₄)이 실험실에 내장되어 있습니다.

제품 취급

황색 분말을 모아 무게를 잰 (8.2-8.3 g), 마노 모르타르로 5 분 동안 분쇄 한 후 체로 거른다 (200 메쉬, 공극 크기 74 μm).

양도하다

측정값은 8.2g, 이론값은 8.3g, 수율은 98%-99%입니다.

비촉

플라스틱 병은 수분 흡수를 방지하기 위해 밀봉되었습니다(RH <50%).

결과 특성화

외관

SEM 은 입도, 1-5 μm 크기, 매끄러운 표면 및 소량의 응집을 보여줍니다.

변이

XRD 는 단일 경사상(JCPDS 43-1035), 이중상(NH₄⁺ 또는 WO₃ · H₂O)입니다.

순도

ICP-OES(PerkinElmer Optima 8000)는 WO₃ >99.5%, 불순물 Mo <0.01%, Fe <0.005%를 측정했습니다.

열 분석

TG-DSC (NETZSCH STA 449 F3)는 400-550 ° C 에서 16.5 %의 질량 손실로 분해가 완료되었음을 보여주었습니다.

보충 실험 : 용매 열법에 의한 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 필름 제조

이 실험의 목적은

전기 변색 장치 용 기관에서 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 필름을 현장에서 성장시키는 것이었습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

실험 절차

원자재 및 장비

텅스텐 산 나트륨 (5g), HCl (10mL), 에탄올 (50mL), FTO 전도성 유리 (2×2cm).
반응기 (100 mL), 오븐, 초음파 세척기.

전구체(Precursors)와 침전(sedimentation)

$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 를 탈이온수 30mL 에 용해시키고, HCl 을 pH 1-2 에 적가하고, 침전물을 50mL 의 에탄올(농도 0.2 mol/L)에 용해시켰다.

FTO 유리를 초음파로 세척하고(에탄올 및 아세톤의 경우 각각 10 분) 반응기 바닥에 놓고 전구체 용액(50% 충전)을 첨가했습니다.

160° C에서 8 시간 동안 따뜻하게 유지한 후 식힌 후 제거하고 회전식 건조(60° C, 4 시간) 합니다.

특징을 나타냄

지형 : SEM 은 200-300 nm 의 필름 두께와 표면 나노 입자 (20-50 nm)를 보여줍니다.

다형체: XRD 는 단사정 단계를 확인합니다.

성능 : 전기 변색 테스트 (순환 전압 전류법, 투과율 70 % -20 % 변화, 응답 시간 5-10 초).

10.3 데이터 분석 및 결과 논의

일반적인 실험 파라미터 및 특성화 결과

열수 나노 옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3)

매개 변수 영향

온도

150° C에서 $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 가 생성되고(XRD peak JCPDS 18-1417), 180° C에서 단사정 WO_3 로 완전히 탈수되고 200° C에서 입자가 자랍니다(길이 100-150nm, SEM).

산도

나노 막대 (중형비 5-10)는 pH 1-2에서 형성되었고, 입자는 pH 3-4 (입자 크기 200-500 nm)에서 응집되었으며, pH >5에서는 침전이 발생하지 않았다.

시간

결정 핵 (입자 크기 10-20 nm)의 초기 형성은 6 시간이었고, 형태는 12 시간에서 안정적이었으며, 입자는 24 시간에 약간 (10 % -20 %) 증가했다.

농도

0.1 mol / L 은 분산 된 나노 입자를 생성하고 0.5 mol / L 은 나노 시트 (두께 20-30 nm)를 형성했습니다.

결과

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

비표면적은 $40\text{--}50\text{m}^2/\text{g}$ (BET)로 미크론 범위 ($5\text{--}10\text{m}^2/\text{g}$)보다 4-5 배 더 높으며 메틸렌 블루의 광촉매 분해는 20%-30% 더 효율적입니다(UV-Vis 테스트, 365nm).

가시광선 응용 분야를 위한 단사정 위상 광 흡수 가장자리 $450\text{--}470\text{nm}$ (밴드갭 $2.6\text{--}2.7\text{eV}$, UV-Vis 난반사).

나노막대 형태는 활성 부위를 증가시키고 가스 민감도(NO_2 검출) 반응은 50% (저항 변화율) 증가했다.

AMT 열분해 미크론 옐로우 텅스텐 산화물 (WO_3)

매개 변수 영향

온도

400°C 에서는 분해가 완료되지 않았으며 (TG 잔류 5% -10% NH_4^+), 500°C 에서는 단사정 WO_3 가 생성되었고, 550°C 에서는 입자가 균일했으며 600°C 에서는 사방 정계가 나타났습니다 (XRD JCPDS 20-1324).

따뜻한 시간을 유지하십시오

전환율은 1 시간에 90%(TG), 2 시간에 98%-99%였으며 3 시간에 큰 변화가 없었습니다.

분위기

공기 중 NH_3 휘발이 완료되고, N_2 대기가 불완전하며 (잔류 2%-3% NH_4^+), O_2 대기가 더 빨리 분해됩니다 (1.5 시간 내에 완료).

시료 두께

$>10\text{mm}$ 에서 불균일한 내부 분해 (XRD $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 잔류물).

결과

$1\text{--}5\ \mu\text{m}$ 의 입자 크기는 산업용 안료 또는 촉매 지지체에 적합하며 순도 $> 99.5\%$ 는 YS/T 535-2006 및 ASTM E291-18 표준을 충족합니다.

단사정 상은 열 안정성이 높지만 ($<600^\circ\text{C}$ 에서 상 변화 없음) 광촉매 활성이 낮습니다 (작은 비표면적).

배기 NH_3 배출을 제어해야 하며 (실험에서 약 $0.1\text{--}0.2\text{g/g}$ AMT) 산업용 증폭을 위해 흡수 장치를 추가해야 합니다.

용열 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 필름

매개 변수 영향

온도

140°C 에서는 필름이 불연속적이고, 160°C 에서는 두께가 균일하며, 180°C 에서는 입자가 너무 큼 ($50\text{--}100\text{nm}$).

용제 비율

에탄올/물 1:1 은 조밀한 필름을 형성하고 순수 에탄올은 느슨한 구조 (20%-30% 다공성)를 형성합니다.

시간

필름 두께는 4 시간에 불충분 ($<100\text{nm}$)이었고, 8 시간에 $200\text{--}300\text{nm}$ 에 도달했으며, 12 시간에 명백한 두꺼움을 보이지 않았다.

결과

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

이 필름은 우수한 전기 변색 성능(70%-20% 광 투과율, 감쇠 없이 500 사이클)을 가지고 있어 스마트 윈도우 응용 분야에 적합합니다.

단사정 상 구조는 조밀하고 부식에 강합니다(박리 없이 24 시간 동안 1M HCl 을 담근 경우).

비표면적이 낮고($10-15\text{m}^2/\text{g}$) 광촉매 활성이 제한됩니다.

포괄적인 비교

열수 방식

낮은 수율(50-100mg/배치) 및 높은 비용(약 1000 위안/kg)으로 고부가가치 나노 물질에 적합합니다.

AMT 열 분해

높은 수율(G 등급), 저렴한 비용(50-100 yuan / kg), 산업 규모 업에 적합합니다.

용수선법(Solvothermal Method)

중간 수율(제한된 필름 면적) 및 약 500RMB/ m^2 의 비용으로 박막 장치 전용입니다.

응용 프로그램 시나리오

Nano WO 는 광촉매 및 센서에 사용되고, Micro WO 는 안료 및 촉매에 사용되며, 박막 WO 는 전기 변색에 사용됩니다.

10.4 실험적 고려 사항

장비 선택 및 안전한 작동

장치 선택

열수 vs. 용매 방법

원자로

PTFE 라이닝(HCl 내성, 최대 250°C), 스테인리스 스틸 하우징(내압 $>3\text{MPa}$, 벽 두께 5-10mm). 주전자가 터지는 것을 방지하기 위해 충전 정도는 $<80\%$ 입니다.

오븐

일정한 온도 제어 $\pm 1^\circ\text{C}$, 과열 보호($>200^\circ\text{C}$ 에서 자동 전원 차단), 우수한 환기(배기 가스 축적 방지).

원심 분리기

회전 속도 8000-12000rpm, 50mL 원심분리기 튜브, 내산성 재료(PP 또는 PTFE) 장착.

초음파 세척기

전력 200-300W, 주파수 40kHz, 기관 청소 또는 분산 강수량.

AMT 열 분해

머플

전원 4-10kW, 배기 포트(직경 50mm), 온도 균일성 $\pm 5^\circ\text{C}$, 온도 조절기(PID 조정).

도가니

Al_2O_3 (1600°C) 또는 SiO_2 (1200°C), 용량 20-50 mL, 금속 도가니(WO_3 오염)를 피하십시오.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

흡 후드

풍속 0.5-1m/s, 부식 방지 조리대(PP 또는 세라믹), 배기 가스 흡수.

특성화 장비

없이

가속 전압은 5-15kV 이고 샘플은 금도금(두께 5-10nm)입니다.

증편 시세 표시기

Cu K α ($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$), 스캔 범위 $10^\circ - 80^\circ$, 단계 크기 0.02° .

하지만

200° C , 4 시간, N_2 흡착 온도 77K 에서 탈기.

안전한 작동

화학적 보호

산-염기 작동

HCl 및 NaOH 는 니트릴 장갑(0.4-0.6mm 두께, 펑크 방지), 밀봉 고글(ANSI Z87.1) 및 폴리에스터 방진복(통기성 $10-20\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)과 함께 사용됩니다.

방진

AMT 및 황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 분말 취급은 N95 마스크 (여과 효율 $>95\%$)를 착용하고 흡입을 피합니다 (농도 $<3 \text{ mg}/\text{m}^3$, GBZ 2.1-2019). Nano WO_3 는 N100 마스크($>99.97\%$)를 권장합니다.

환기 요구 사항

실험실의 공기 유량은 $>0.3\text{m}/\text{s}$ 이며 먼지 처리는 흡 후드에서 수행됩니다.

고온 보호

물 주전자

$<50^\circ \text{ C}$ 로 냉각하고 개방(약 4-6 시간)하고 증기 배출을 피하고 내열 클립(내열성 $>200^\circ \text{ C}$)을 사용하십시오.

머플

로스팅 후 도가니 온도는 $>300^\circ \text{ C}$ 이고 단열 장갑(500° C 에 강한 온도)을 착용하고 내화 벽돌에 올려 식힙니다.

열 보호복

산업용 증폭에는 전신 보호(온도 저항 100° C , 후드 포함)가 권장됩니다.

폐가스 및 액체 폐기물 처리

뉴햄프셔

실험실에서 $10\% \text{ H}_2\text{SO}_4$ 흡수($100-200\text{mL}/\text{실험}$), 산업용 산세 칼럼(흡수율 $>95\%$), 배출 $<80\text{mg}/\text{m}^3$ (GB 16297-1996).

폐주

W($5-10 \text{ mg}/\text{L}$)는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (pH 9-10, 회수율 95%)와 상등액 W는 $<0.5 \text{ mg}/\text{L}$ (GB 8978-1996)로 침전시켰다. NaCl 함유 폐수를 증발시키고 농축하여 염을 회수 하였다.

먼지

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

벤치 탑에서 물티슈 (물 또는 에탄올)를 꺼내 밀봉 된 백에 모아 무해 폐기물로 폐기하십시오.

비상 대책

먼지 누출

소량 (<10g)을 젖은 천으로 닦고, 많은 양 (>100g)을 HEPA 진공 청소기 (전원 1-2kW)로 청소하고 드라이 클리닝은 금지되어 있습니다.

피부 접촉

비누와 물로 10-15 분 동안 씻고 홍반이 계속되면 의사의 진료를 받으십시오.

눈맞춤:

물이나 식염수로 15 분 동안 행구고 시력을 확인한 후 흐릿해지면 즉시 의사의 진료를 받으십시오.

먹기

구토를 유도하고 (>500mg), 200-300mL 를 마신 후 병원으로 달려갑니다(MSDS 포함).

장비 고장

열수 주전자의 압력이 해제되거나 머플러가 과열되면 전원을 끄고 안전한 장소로 대피한 후 30 분 동안 환기를 한 후 점검합니다.

참조

- 미국 국립산업안전보건연구소(NIOSH). (2016). *WO₃ 안전 데이터 시트*.
- 리밍. (2021). 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 나노 입자의 독성 및 환경 위험. *환경 과학 저널*.
- 장, Y., 외. (2018). 광촉매 응용을위한 WO₃ 나노 막대의 열수 합성. *재료 화학 저널 A*.
- 왕 치양(WANG Qiang). (2020). 열수법으로 제조된 황색 텅스텐 산화물(WO₃) 나노 구조의 최적화. *무기 화학 저널*.
- 첸, X., 외. (2019). 암모늄 메타 텅스텐 산염을 WO₃로 열 분해 : 메커니즘 및 동역학. *Thermochimica Acta*.
- 리우 팡. (2022). AMT 의 열분해에 의한 황색 텅스텐 산화물(WO₃)의 제조를 위한 공정 매개변수. *CIESC 저널*.
- 리. (2021). 용매 감열법으로 제조 된 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 필름의 특성. *재료 과학 및 공학의 중국 저널*.
- 《钨酸和氧化钨》(YS/T 535-2006).
- ASTM E291-18 입니다. (2018). *텅스텐의 화학 분석을 위한 표준 시험 방법*.
- 기가바이트 16297-1996. 대기 오염 물질에 대한 포괄적인 배출 기준.
- 기가바이트 8978-1996. "종합 하수 배출 기준".
- GBZ 2.1-2019 년. 작업장 위험에 대한 직업적 노출 제한 파트 1: 화학적 위험.
- 왕레이. (2020). 텅스텐 농축액의 습식 제련 공정 최적화. *비철금속*.
- Smith, J., 외. (2022). 삼산화 텅스텐의 산업 규모 생산 : 효율성 및 지속 가능성. *산업 및 공학 화학 연구*.
- 장 팡. (2023). 황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 생산에서 환경 보호 기술의 발전. *화학적 및 환경 보호*.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA 그룹

삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, WO₃, 황색 삼산화 텅스텐, YT0) 소개

1. 삼산화 텅스텐의 개요

CTIA GROUP 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, WO₃라고 함)은 GB / T 3457-2013 "텅스텐 산화물" 일류 제품의 요구 사항을 충족하는 과라 텅스텐 산업 암모늄 고온 소성 공정으로 생산됩니다. 옐로우 텅스텐은 밝은 노란색 결정 분말 형태, 고순도 및 화학적 안정성으로 인해 텅스텐 분말, 초경합금, 텅스텐 와이어 및 세라믹 착색제의 제조에 널리 사용됩니다. CTIA GROUP은 분말 야금 및 산업 제조의 요구를 충족시키기 위해 고품질 노란색 텅스텐 제품을 제공하기 위해 최선을 다하고 있습니다.

2. 삼산화 텅스텐의 특성

화학 성분: WO₃.

순도: ≥99.95 %이며 불순물 함량이 매우 낮습니다.

외관: 밝은 노란색 크리스탈 분말, 균일 한 색상.

다형체: 단사정(실온에서 가장 일반적), 공간군 P21/n.

높은 안정성: 공기에서 안정하고 불산을 제외한 물 및 무기산에 불용성입니다.

반응성: 수소 (>650 ° C) 또는 탄소 (1000-1100 ° C)에 의해 텅스텐 분말로 환원 될 수 있습니다.

균일성: 다운스트림 가공에 적합한 균일한 입자 분포.

3. 삼산화 텅스텐의 사양

색인	CTIA GROUP 옐로우 텅스텐 1 급 표준
WO ₃ 함량 (wt%)	≥99.95
불순물 (wt %, 최대)	Fe≤0.0010, 월≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005
수분 (wt%)	≤0.05
입자 크기	1-10 (μm, FSSS)
느슨한 밀도	2.0-2.5 (g/cm ³)
사용자화	입자 크기 또는 불순물 한계는 고객 요구 사항에 따라 사용자 정의할 수 있습니다.

4. 삼산화 텅스텐 포장 및 보증

포장: 안 밀봉된 비닐 봉투, 외부 철 드럼 또는 길썬된 부대, 순중량 50kg 또는 100kg의 방습 디자인.

보증: 각 배치에는 WO₃ 함량, 불순물 분석, 입자 크기 (FSSS 방법), 느슨한 밀도 및 수분 데이터를 포함한 품질 인증서가 함께 제공됩니다.

5. 삼산화 텅스텐 조달 정보

사서함: sales@chinatungsten.com 전화: +86 592 5129696

텅스텐 옐로우에 대한 자세한 내용은 Chinatungsten 온라인 웹 사이트 www.tungsten-powder.com 를 참조하십시오.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

부록

부록 A : 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)에 대한 물리 및 화학 데이터 시트.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 물리 및 화학 데이터 시트

속성 범주	속성의 이름입니다	숫자/설명	참고/출처
기본 정보	화학명	黄色氧化钨 (삼산화 텅스텐)	IUPAC 명명
	화학식	W_3	-
	CAS 번호	1314-35-8	화학 초록 서비스
	아이벡스	215-231-4	유럽 화학 물질 등록 번호
	몰 질량	231.84g/몰	W(183.85) 및 O(15.999)를 기반으로 계산된 값
	동위 원소	주로 W-184(자연풍부도 30.64%)이며, 방사능은 유의하지 않다	NIST 동위원소 데이터
육체의	외관	황색에서 황록색 분말 (미크론, 5-20 μm); 밝은 노란색(나노 스케일, < 100nm)	결정 형태, 입자 크기 및 준비 방법은 색상에 영향을 미칩니다
	밀도	7.16g/cm ³ (단사정상, 25° C); 7.20-7.30g/cm ³ (나노미터, 다공성에 따라 다름)	ASTM E291-18, BET 다공성 효과
	녹는점	1473° C(1700K)	CRC 화학 및 물리학 핸드북, 2023
	끓는점	> 1700° C(분해, 끓지 않음, WO_{29} 및 O_2).	TG-DSC 로 검증된 상당한 고온 휘발성
	용해도 (물)	<0.01 g/L (25° C, PH 7); 0.02-0.05 g/L (pH 4, 25° C)	약간 용해성, 산성 조건에서 약간 증가
	용해도 (산)	HCl: 0.1-0.5 g/L (25° C); H_2SO_4 : 1-2 g/L (농축 산, 가열); HF: 용해성(H_2WO_4 또는 WF_6 생성)	텅스텐 산 또는 불소는 강산에서 형성됩니다.
	용해도 (기본)	NaOH/KOH 에 용해($WO \geq 10-50g/L$, 25° C 까지)	용해도는 고온 및 고압에서 더 높습니다.
	변이	단사정(25° C, P21/n, 가장 일반적); 사방정계(330-740° C); 정방정계(>740° C); 삼원정(-50-17° C)	XRD(JCPDS 43-1035), 온도 의존성
	격자 매개 변수(모노라인)	$a = 7.306 \text{ \AA}$, $b = 7.540 \text{ \AA}$, $c = 7.692 \text{ \AA}$, $\beta = 90.91^\circ$ (25° C)	JCPDS 43-1035 (영문)
	입자 크기 범위	미크론 : 1-20 μm ; 나노 : 10-100 nm	SEM/TEM, 열수 또는 열 분해 준비
	비표면적	미크론 : 5-10m ² / g; 나노미터: 20-50m ² /g(열수); 최대 100m ² /g(증착)	BET, 제조 방법 및 입자 크기 측정
	경도	모스 경도 : 4-5 (미크론 스케일); 나노미터 범위에서 약간 낮음(3.5-4.5)	미세경도 시험기 측정
	열전도율	1.5-2.0 W/(m·K) (25° C); 2.5-3.0 W/(m·K) (500° C)	단사정 단계(Monoclinic)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

			phase), 온도에 따라 열전도율이 증가합니다.
열역학적 특성	표준 형성 엔탈피 (ΔH_f°)	-842.9 kJ/mol (25° C, 단사정상)	NIST 화학 웹북
	표준 엔트로피 (S°)	75.9 J / (몰 · K) (25° C, 단사정상)	CRC 핸드북
	표준 Gibbs 자유 에너지 (ΔG_f°)	-763.8 kJ/mol (25° C, 단사정상)	계산된 값, NIST
	비열 용량 (C_p)	0.29 J/(g · K) (25° C); 0.32 J/(g · K) (500° C)	약간의 온도 상승을 동반한 DSC 분석
	열팽창 계수	8.0×10^{-6} /° C (25-500° C); $10-12 \times 10^{-6}$ /° C (500-1000° C)	단사정 단계, 열 분석 데이터
	변동	회발온 1100° C> 시작하여 WO ₂ 및 O ₂ 를 형성합니다. 1200° C 회발율 5%-10%/h	TG-DSC, 공기 분위기
	상변화 온도	단사정 → orthorhombic : 330° C; 사방 정방 → : 740° C	DSC 및 XRD 검증
광학 장치 전기적 특성	밴드 갭 에너지 (E_g)	2.6-2.8 eV (단사정 상, 25° C); 2.4-2.6 eV (나노 스케일, 양자 효과)	UV-Vis 확산 반사율, 가시광선 흡수로 인한 노란색
	가장자리를 흡수합니다.	450-470nm(마이크로미터); 420-450nm(나노미터)	분광학, 입자 크기가 작을수록 청색편이
	굴절률	2.2-2.5 (550 nm, 단사정 상); 2.0-2.3 (나노필름)	타원, 필름 밀도 효과
	전기 전도성	10° C-10° C/cm(25° C, n 형 반도체); 10° C-10° C S/cm(500° C)	4-프로브 방법, 도핑(예: H ⁺)이 크게 개선되었습니다.
	유전 상수	20-50 (1kHz, 25° C); 10-30 (나노미터, 습도의 영향)	커패시턴스 측정, 다형체 및 수분 민감도
화학적 성질	전기 변색 특성	투과율이 70%-20%(500nm, 1V) 변화합니다. 응답 시간 5-10 초	순환 전압전류법, 막막 샘플
	산화 상태	W ⁺⁶ (기본)	XPS, W 4f 峰 35.5 eV 和 37.6 eV
	표면 화학	표면에는 W-OH 및 W=O 결합이 포함되어 있으며 높은 습도(1%-5% 질량 증가)에서 H ₂ O 를 흡착합니다.	FTIR 및 XPS, 수화물 형성
	착실	<600° C 안정; >750° C 에서 정방형/정방형으로의 상전이; >1100° C 회발성	공기, 대기, 열 분석 검증
	산화(과) 반응	WO ₃ + 6HCl → WCl ₆ + 3H ₂ O (느림, 80-100° C 필요)	고온은 반응을 가속화하여 회발성 WCl ₆ 을 생성합니다.
	알칼리와(과) 반응	WO ₃ + 2NaOH → Na ₂ WO ₄ + H ₂ O (25° C 에서 느림, >100° C 에서 빠름)	고압에서 더 빠른 응답
화학적 성질	환원제와(과) 반응	WO ₃ + 3H ₂ → W + 3H ₂ O (800-1000° C); WO ₃ + 3C → W + 3CO	산업용 텅스텐 분말이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

	반응	(900-1200° C)	일반적으로 사용됩니다.
	산화	산화성 저가 금속 (예: Fe ²⁺ → Fe ³⁺ , 촉매 필요)	약한 산화, 향상된 광촉매 작용
	가수분해성	상대 습도 >60%는 WO ₃ 를 생성합니다. H ₂ O; >80%가 WO ₃ • 2 시간 ₂ O	TG 분석, 습도 지수에 따라 수분 흡착 증가
전기화학적 성질	산화환원 전위	WO ₃ /W: +0.03 V (vs. SHE, pH 0)	표준 수소 전극, 산성 조건
	플랫 벨트 전위 (E_fb)	-0.1 to -0.3 V (SCE, pH 7 대비)	Mott-Schottky 방법, n 형 반도체
	캐리어 농도	10° C, 도핑되지 않은 10° C, 10° C,	스튜어트 오닐 (10 분)
안전 및 환경 데이터	급성 독성	LD ₅₀ (경구, 마우스) >2000 mg/kg; LC ₅₀ (흡입, 쥐) >5 mg/L (4 h)	OECD 시험 가이드라인 401/403 (저독성)
	만성 독성	0.5 mg/m ³ 흡입 (90 일, 쥐): 경증 폐렴, 섬유증 없음	문헌 자료에 따르면, nanoscale 독성은 경미하게 더 높습니다
	직업적 노출 한도	3mg/m ³ (8 시간 TWA, GBZ 2.1-2019 년); 5mg/m ³ (ACGIH TLV, 2023 년)	분진 농도 제어, 나노 단위 권장 <0.1 mg/m ³
	생태독성	물고기 LC ₅₀ >100 mg/L (96 h); 조류 EC ₅₀ >50 mg/L (72 h)	OECD 203/201, 유의한 급성 독성 없음
	GHS 분류	H335 (호흡기 자극을 일으킬 수 있음); 경고 단어: 주의; pictogram: 느낌표 (GHS07)	유엔 GHS 표준
제작:CTIA GROUP			
다른 기능들:	자기	비자성 (매우 약한 상자성, χ _m ≈ 10 ⁻⁶ emu/g)	비강자성 재료, VSM 측정
	속도	약 4000-4500m/s (단사정상, 25° C)	초음파, 결정 밀도 효과
	열전도율	1.5-2.0 W/(m • K) (25° C); 2.5-3.5 W/(m • K) (500° C)	레이저 플래시 방식, 나노미터 범위에서 약간 낮음
	영률 (Young's modulus)	50-70 GPa (단사정 단계, 마이크론 범위)	나노인덴테이션 테스트
	제작:CTIA GROUP		

부록 B: 일반적인 분석 방법에 대한 실험 절차

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)에 대한 일반적인 분석 방법에 대한 실험 절차.

1. X 선 회절 (XRD) 방법 가이드

목적항

색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 결정 형태 (예 : 단사정, 직교, 정방계), 입자 크기 및 상 순도를 분석합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

장비 및 재료

약기

X 선 회절분석기(예: Bruker D8 Advance 또는 Rigaku SmartLab, Cu K α 방사선, $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$).

피팅

시료 스테이지(유리, 배경이 없는 실리콘 웨이퍼 또는 알루미늄 디스크), 마노 모르타르 및 유봉, 분석 저울(0.0001g), 마이크로피펫(10-100 μL).

견본

WO₃ 분말 (미크론 또는 나노 스케일, 0.5-2 g).

공급

에탄올 (분석 등급), 여과지, 오븐 (60-80 ° C).

실험 절차

시료 전처리

파우더 그라인딩

마노 모르타르에 0.5-2 g WO₃를 넣고 과도한 분쇄로 인한 결정 파손을 방지하기 위해 균일 한 미세 분말 (입자 크기 <50 μm)이 될 때까지 5-15 분 동안 분쇄합니다.

로딩 방법

건조 분말 방법

샘플 스테이지(직경 20mm)에 분말을 평평하게 펴고 슬라이드(1-2mm 두께)로 평평하게 펴서 표면에 균열이나 범프가 없는지 확인합니다.

습식 촬영

나노 스케일 샘플을 에탄올 (0.5-1 mL)로 분산시키고 5 분 (40 kHz, 100 W) 동안 초음파 처리 한 후 제로 백그라운드 실리콘 웨이퍼 (5×5 cm)에 드롭 코팅하고 60 ° C 에서 30-60 분 동안 건조시켰다.

품질 검사

샘플 균일성을 육안으로 검사하고 여과지로 가장자리를 부드럽게 닦아 과도한 분말을 제거합니다.

기기 준비

부팅

기기를 시작하고 30-60 분 동안 예열한 다음 X 선관(전압 40-45kV, 전류 30-40mA)을 확인합니다.

매개 변수 설정

스캔 범위 : 10 ° -80 ° (2θ , WO₃ 메인 피크 포함).

단계 크기: 0.01° -0.02° (고해상도의 경우 0.01°).

스캐닝 속도: 1-4° /min (빠른 스크리닝 4° /분, 정밀 분석 2° /min).

슬릿 : 분기 슬릿 0.5 ° , 슬릿 0.1-0.3 mm 를 수신합니다.

교정

피크 위치 및 강도는 표준 실리카 흙(NIST SRM 640e, 메인 피크 28.44°) 또는

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

커런덤(Al_2O_3 , 메인 피크 35.15°) (오차 $<0.02^\circ$) 으로 보정되었습니다.

데이터 수집

s 를 고정하십시오. tage 기기 구획에서 X 선 빔(스폿 직경 5-10mm)에 맞게 높이를 조정합니다.

스캔을 시작하고, 회절 패턴(약 20-40 분/샘플)을 기록하고, 실시간 피크 모양을 관찰하여 비정상적인 변동이 없는지 확인합니다.

측정을 2-3 회 반복하고 평균을 구한 다음 피크 위치 일관성(편차 $<0.05^\circ$)을 확인합니다.

선택적

상전이(예: 단사정 $\rightarrow$ 직교)를 위한 25°C 에서 800°C ($10^\circ\text{C}/\text{min}$)까지의 고온 XRD(고온 액세스리 포함).

데이터 분석

폴리모프 매칭

소프트웨어(MDI Jade, HighScore 또는 X'Pert)를 사용하여 JCPDS 카드를 비교합니다: 단사정기(43-1035), 사방정계(20-1324), 정방정계(89-4476).

입자 크기

Scherrer 공식 $D = K\lambda / (\beta \cos \theta)$, $K = 0.9$, β 는 절반 높이 너비(라디안)이며 일반적인 결과는 미크론 $1-5\mu\text{m}$, 나노미터 $20-50\text{nm}$ 입니다.

정량 분석

Rietveld 미세화 방법은 상 함량(예: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 이중기).

불순물 검출

NH_4^+ (AMT 잔류물, 약 32°) 또는 $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (약 $16^\circ-18^\circ$).

결과 예

단사정 상 WO_3 : (002) 23.1° , (020) 23.6° , (200) 24.4° , 입자 크기 30nm(열수).

직교상(500°C 로스팅): 주 피크에서 $22.8^\circ-24.0^\circ$ 이동.

일반적인 문제 및 해결 방법

피크 오프셋

샘플 높이가 잘못 정렬된 경우 샘플 스테이지를 영점으로 조정합니다.

낮은 피크 강도

샘플 부피가 충분하지 않으면 1-2g 으로 늘리거나 스캔 시간을 연장하십시오.

높은 배경 소음

슬릿 설정을 확인하거나 배경이 없는 웨이퍼를 교체하십시오.

안전 예방 조치

X 선 누출을 방지하기 위해 방사선 보호복을 착용하십시오(작동 시 보호 덮개를 닫으십시오).

그라인딩 및 드립은 N95 마스크를 착용한 채 흡 후드에서 수행됩니다.

고온 어태치먼트를 작동할 때는 단열 장갑을 착용하고 샘플을 채취하십시오. amp 냉각

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

후 les.

2. 푸리에 변환 적외선 분광법(FTIR) 작동 가이드

목적화학

결합(예: W-O, W-OH), 표면 흡착제(예: H₂O) 및 황색 텅스텐 산화물(WO₃)의 불순물을 검출합니다.

장비 및 재료

악기

푸리에 변환 적외선 분광계(예: Thermo Nicolet iS50 또는 PerkinElmer Spectrum Two).

피팅

KBr 타정 금형(직경 13mm), ATR 부착물(다이아몬드 또는 ZnSe 결정), IR 오븐(60-80 ° C), 마노 모르타르.

견본

WO₃ 분말 (2-10 mg), KBr (분광 등급, 100-300 mg).

공급

에탄올, 여과지, 건조제(실리카겔).

실험 절차

시료 전처리

KBr 정제 방법:

2-5 mg WO₃ 및 100-200 mg KBr (질량 비율 1 : 50-1 : 100)을 복용하고 균질 (입자 없음)이 될 때까지 5-10 분 동안 마노 모르타르에서 분쇄합니다.

혼합물을 주형에 붓고 10-15 MPa의 정제 프레스로 가압하고 1-2 분 동안 유지하여 투명 디스크 (직경 13mm 및 두께 0.5-1mm)를 만듭니다.

KBr 사전 건조 (80 ° C, 2-4 시간)로 수분을 제거하고, 수화 된 경우 WO₃ 비 건조 (초기 상태 기록).

ATR 방법 : 1-2 mg WO₃ 분말을 ATR 결정의 표면에 직접 놓고 압자 (힘 50-100 N)로 부드럽게 누릅니다.

박막 시료 : FTO 기판과 같은 WO₃ 박막은 ATR 결정 또는 투과 시료 홀더에 직접 배치됩니다.

기기 준비

워밍업(30 분)하고 광원(세라믹 또는 할로겐)과 검출기(MCT 용 액체 질소 냉각)를 확인합니다.

매개 변수 설정

파수 범위: 400-4000 cm⁻¹ (W-O 및 O-H 포함).

해상도: 2-4cm⁻¹ (고해상도의 경우 2cm⁻¹).

스캔 횟수: 16-64(일반 32).

배경: 공기(투과성) 또는 ATR 결정 청소.

보정: 피크 위치는 폴리스티렌 멤브레인(1601cm⁻¹ 및 3027cm⁻¹, <1cm⁻¹ 오차)으로

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

검증되었습니다.

데이터 수집

KBr 방법: 정제를 투과 시료 홀더에 넣고, 고정 후(32 회 스캔) 배경을 수집하고, 시료 스펙트럼을 측정합니다(약 1-2 분).

ATR 방법: 결정 (에탄올 닦기, 건조)을 청소하고, 배경을 수집하고, 샘플을로드하고, 프레스 및 스캔합니다.

스펙트럼 확인: 기준선은 직선이고 피크 강도는 보통(투과율 10%-90%)이며 비정상인 경우 샘플 부피 또는 압력이 조정됩니다.

데이터 분석

특징적인 봉우리:

W-O 스트레치: $600-1000\text{cm}^{-1}$ (메인 피크 $820-850\text{cm}^{-1}$, 단사정 단계).

W=O 이중 결합: $930-950\text{cm}^{-1}$ (나노 스케일에서 더 뚜렷함).

OH 스트레치: $3400-3500\text{cm}^{-1}$ (수분 흡착).

OH 굽힘: $1600-1650\text{cm}^{-1}$ (결정화된 물).

불순물: $\text{NH} \geq (1400-1500\text{cm}^{-1})$, AMT 잔류 물), C-H ($2800-3000\text{cm}^{-1}$, 유기 오염).

정량적: 피크 면적 적분은 수분 함량을 추정합니다(TG 데이터와 비교).

결과 예

미크론 크기 WO_3 : W-O 820cm^{-1} , 소량의 O-H 3400cm^{-1} .

나노 스케일 $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$: 강한 봉우리 3400cm^{-1} 및 1630cm^{-1} , 수분 함량 3%-5%.

일반적인 문제 및 해결 방법

수분 간섭: KBr 또는 시료 수분 흡수, 재건조 또는 글로브 박스에서의 취급.

약한 피크: 샘플 부피가 충분하지 않아 WO_3 를 5-10 mg 으로 증가시킵니다.

기준선 드리프트: 배경이 제거되지 않고 배경 스펙트럼이 다시 획득됩니다.

안전 예방 조치

KBr 및 WO_3 는 마스크와 장갑이 있는 흡 후드에서 작동합니다.

정제에 압력을 가할 때 손을 보호하고 금형에 균열이 없는지 확인하십시오.

금형을 방지하기 위해 ATR 크리스탈 청소에는 부드러운 천을 사용하십시오.

3. 주사전자현미경(SEM) 작동 가이드

목적

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 미세한 형태, 입자 크기 분포 및 표면 특성을 관찰합니다.

장비 및 재료

기기: 주사 전자 현미경(예: ZEISS Sigma 300, FEI Quanta 250 또는 Hitachi SU8010).

부속품: 전도성 테이프, 코팅기(Au/Pt 대상), 초음파 세척기(40kHz, 200-300W), 핀셋(비자성), 진공 건조 오븐.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

샘플 : W_3 분말 (5-20 mg) 또는 필름 (예 : FTO 기판).

소모품: 에탄올(분석적으로 순수함), 여과지, 질소 퍼지 건.

실험 절차

시료 전처리

분말 샘플:

5-20 mg W_3 를 복용하고 1-2 mL의 에탄올로 5-15 분 동안 초음파 처리합니다 (100-200 W의 전력, 과열 방지).

전도성 테이프(알루미늄 스테이지에 부착, 직경 12mm)에 피펫을 적반하고 60° C에서 30-60 분 동안 진공 건조합니다.

필름 샘플: 1×1cm로 자르고 전도성 테이프로 고정하고 가장자리에 은색 페이스트로 코팅하여 전도성을 향상시킵니다.

코팅: 이온 스퍼터 코팅기(두께 5-10nm, 전류 15-20mA, 시간 30-60 초)가 있는 금 또는 백금 도금, 기기가 저진공 또는 ESEM 모드를 지원하는 경우 건너뛰니다.

기기 준비

워밍업 (30-60 분)하고 전자총 (필드 발사 또는 텅스텐 필라멘트, 전압 안정)을 확인합니다.

매개 변수 설정:

가속 전압 : 5-15 kV (미크론에서 10-15 kV, 손상을 방지하기 위해 나노 미터에서 5-10 kV).

작동 거리: 5-10mm(고해상도의 경우 5-7mm).

검출기: SE(지형), BSE(원소 대비), EDS(선택 사항, 원소 분석).

배율 : 100-50000 × (초기 스윕의 경우 100-1000 ×, 미량의 경우 5000-50000 ×).

캘리브레이션: 표준 금 입자 또는 실리콘 웨이퍼를 사용하여 focal length와 resolution(resolution <5 nm)을 calibration합니다.

데이터 수집

스테이지를 시료 챔버에 놓고 <10⁻⁵ mbar(5-10 분)로 진공 청소기로 청소합니다.

샘플 위치(X/Y/Z 축)를 조정하여 선명한 이미지에 초점을 맞추고 대비와 밝기를 최적화합니다(과다 노출 방지를 위해).

다중 영역 이미지(3-5 개 이미지/샘플)를 촬영하고 배율 및 작업 조건을 기록합니다.

EDS 분석 (옵션): 영역을 선택하고 60-120 초 동안 획득하고 W, O 및 불순물(예: Na, Cl)을 검출합니다.

데이터 분석

지형: 입자 식별(구형, 막대 모양), 응집 정도, 표면 거칠기(ImageJ로 분석).

입자 크기: 50-100 개의 입자를 계수하고 평균과 분포(정규 또는 편향)를 계산합니다.

EDS : W : O 원자 비율은 약 1 : 3, 불순물 함량 <1 % (예 : Mo, Fe)입니다.

결과 예

열수 W_3 : 나노 막대, 길이 50-100 nm, 직경 10-20 nm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

소성 WO_3 : 미크론 입자, 1-5 μm , 매끄러운 표면.

일반적인 문제 및 해결 방법

샘플 충전: 이미지 흐림, 코팅 두께 증가 또는 전압을 5kV 로 감소.

낮은 해상도: 작동 거리가 너무 크면 5-7mm 로 조정하십시오.

EDS 피크 오버랩: 수집 시간을 연장하거나 에너지 분해능을 개선합니다.

안전 예방 조치

전자빔 누출(방사선 위험)을 방지하기 위해 작동 중에는 샘플 챔버를 닫으십시오.

흡 후드에 초음파 및 코팅을 하고 보호 안경을 착용하십시오.

샘플 스테이지가 제거될 때 온도(<50° C)를 확인하십시오.

4. 투과 전자 현미경 (TEM) 작동 가이드

목적

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 나노 스케일 형태, 격자 구조 및 고해상도 형태를 관찰합니다.

장비 및 재료

기기: 투과 전자 현미경(예: JEOL JEM-2100F 또는 FEI Tecnai G2 F20, 전계 방출 총).

부속품: 탄소 구리 메쉬(200-400 메쉬), 초음파 세척기, 피펫(10-50 μL), 코팅기(옵션).

샘플 : WO_3 나노 분말 (5-10 mg).

실험 절차

시료 전처리

5-10 mg WO_3 를 복용하고 2-5 mL 의 에탄올에 분산시키고 10-20 분 (40 kHz, 100-200 W) 동안 초음파 처리한다.

현탁액(10-20 μL)을 피펫팅하고 탄소 구리 메쉬에 떨어뜨린 후 자연적으로 (25° C, 30 분) 또는 60° C 에서 15 분 동안 건조합니다.

구리 메쉬를 확인하십시오 : 샘플이 고르게 분포되어 있으며 큰 응집이 없습니다.

기기 준비

워밍업(1-2 시간) 하고 전자총(200kV) 과 진공(<10⁻⁷ mbar) 을 확인합니다.

매개 변수 설정:

가속 전압: 100-200kV(일반 200kV).

배율 : 5000-500000 $\times$ (저배율 형태의 경우 5000-50000 $\times$, 고배율 격자의 경우 100000-500000 $\times$).

카메라: CCD 또는 CMOS, 해상도 4k $\times$ 4k.

캘리브레이션: 표준 금 나노 입자를 사용한 분해능(스팟 해상도 <0.2 nm) 캘리브레이션.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

데이터 수집

구리 메쉬를 샘플 홀더에 부착하고 TEM 챔버에 삽입한 다음 $<10^{-6}$ mbar 로 배출합니다. 전자빔의 초점을 조정하고 저배율로 샘플 영역을 스캔합니다(과도한 조사로 인한 손상을 방지하기 위해).

지형 맵 (5,000–50,000 ×), 고해상도 HRTEM 맵 (100,000 × 이상)을 캡처하고 격자 줄무늬를 기록합니다.

선택 사항: 다형체 분석을 위한 선택적 전자 회절 (SAED).

데이터 분석

형태학: 나노 입자 크기 (길이, 직경)를 측정하고 입자 경계와 결함을 관찰합니다.

격자: DigitalMicrograph 소프트웨어를 사용하여 평면 간 간격 (예: 단사정 상 (200) 0.365nm)을 계산합니다.

SAED: 회절 고리를 일치시켜 결정 형태 (예: 단사정상)를 확인합니다.

결과 예

열수 WO_3 : 나노 막대, 길이 50–100 nm, 격자 간격 0.384 nm ((020)면).

SAED: 명확한 고리 패턴이 있는 단사정 단계.

안전 예방 조치

고에너지 전자빔 누출을 방지하기 위해 작동 중 TEM 챔버를 닫으십시오.

초음파는 먼지 흡입을 방지하기 위해 마스크 착용을 분산시킵니다.

구리 메쉬는 오염을 방지하기 위해 핀셋으로 작동됩니다.

5. 자외선 가시광선 분광법(UV-Vis) 운영 지침

목적

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 밴드 갭 에너지 및 광 흡수 특성을 결정한다.

장비 및 재료

기기: UV-Vis 분광 광도계 (예: 적분구 부착물이 있는 Shimadzu UV-2600).

부속품: 석영 큐벳 (경로 길이 1cm), $BaSO_4$ 표준 플레이트, 초음파 세척기.

샘플 : WO_3 분말 (10–20 mg) 또는 필름.

실험 절차

시료 전처리

분말 (확산 반사율) : 10–20 mg WO_3 를 취하여 균일하게 분쇄하고 샘플 셀 (1–2mm 두께)에 평평하게 놓고 슬라이드로 평평하게합니다.

박막 (투과성) : WO_3 필름 (예 : FTO 기판)을 세척 (에탄올에서 10 분 동안 초음파 처리)하고 건조시킨 다음 큐벳 랙에 놓습니다.

현탁액 (선택 사항) : 10 mg WO_3 를 10 mL의 물 또는 에탄올 (농도 1 mg / mL)에 분산시키고 석영 큐벳에 적재한다.

기기 준비

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

위밍업(30 분)하고 광원(중수소 램프의 경우 200-400nm, 텅스텐 램프의 경우 400-800nm)을 확인합니다.

매개 변수 설정:

과장 범위: 200-800nm.

스캔 속도: 중간(200nm/min).

해상도 : 1nm.

모드: 확산(분말), 투과율(박막/현탁액).

캘리브레이션: BaSO₄ 플레이트(디퓨즈) 또는 블랭크 큐벳(투과) 으로 배경을 뺍니다.

데이터 수집

확산 반사: 샘플 셀을 적분구에 놓고 반사율 스펙트럼을 수집합니다(약 2-3 분).

전송: 큐벳이 광학 경로에 배치되고 전송 스펙트럼이 기록됩니다.

곡선 확인: 흡수 가장자리가 명확하고 비정상적인 피크(예: 280nm 용매 피크)가 없습니다.

데이터 분석

밴드갭 계산: Tauc 방정식 $(\alpha h\nu)^{1/n} = A(h\nu - E_g)$, $n = 2$ (간접 밴드갭), 플롯 $(F(R)h\nu)^2$ 대 $h\nu$, $F(R) = (1-R)^2/2R$ (Kubelka-Munk 함수) 사용.

흡수 가장자리: 마이크론 수준에서 450-470nm, 나노미터 수준에서 420-450nm.

결과 : $E_g = 2.6-2.8$ eV (마이크론 수준), $2.4-2.6$ eV (나노 미터 수준).

결과 예

열수 WO₃ : 흡수 가장자리 430 nm, $E_g = 2.7$ eV.

소성 WO₃ : 흡수 가장자리 460 nm, $E_g = 2.6$ eV.

안전 예방 조치

자외선이 눈에 손상되지 않도록 작동 시 기기의 뚜껑을 닫으십시오.

피부 접촉을 방지하기 위해 장갑을 착용하여 서스펜션을 준비하십시오.

6. BET 특정 표면적 및 다공성 분석 방법 가이드

목적항

색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 비 표면적과 기공 분포를 결정합니다.

장비 및 재료

기기: 표면적 분석기(예: Micromeritics ASAP 2020 또는 Quantachrome Autosorb-iQ).

부속품: 샘플 튜브(유리, 10-20mL), 진공 탈기 스테이션, 저울(정확도 0.0001g).

샘플 : WO₃ 분말 (0.1-0.5 g).

실험 절차

시료 전처리

0.1-0.5 g WO₃를 가져 와서 샘플 튜브에 넣고 무게를 측정하고 기록합니다

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(0.0001g 까지 정확함).

수분과 휘발성 물질을 제거하기 위해 200° C에서 4-6 시간(진공 <10⁻² mbar) 동안 진공 탈기.

냉각 후 다시 무게를 측정하고 중량 감소율을 계산합니다(<5% 적절).

기기 준비

시동 시(30 분) 기계를 예열하고 액체 질소 수조(77K)와 진공 펌프를 점검하십시오.

매개 변수 설정:

흡착 가스 : N₂ (순도 >99.999 %).

압력 범위: $P/P_0 = 0.01-0.995$.

평형 시간: 10-20 초/포인트.

캘리브레이션: 표준 샘플(예: Al₂O₃, BET 155 m²/g) 로 기기 정확도를 확인합니다.

데이터 수집

샘플 튜브를 분석 포트에 넣고 77K(액체 질소 침지)로 냉각한 다음 흡착-탈착 테스트(약 4-6 시간)를 시작합니다.

흡착 등온선을 확인하십시오: 유형 IV(메조다공성 특성) 또는 유형 II(비다공성).

데이터 분석

비표면적: BET 모델, $P/P_0 = 0.05-0.3$ 범위의 선형 맞춤.

기공 분포: 기공 크기와 기공 부피를 계산하기 위한 BJH 모델(탈착 곡선).

결과: 마이크론 범위에서 5-10m²/g, 나노미터 범위에서 20-50m²/g, 5-20nm 기공 크기.

결과 예

열수 WO₃: BET 45m²/g, 기공 크기 8-12nm.

붉은 WO₃: 모공이 보이지 않는 BET 7m²/g.

안전 예방 조치

액체 질소를 취급할 때는 동상을 방지하기 위해 극저온 장갑과 고글을 착용하십시오.

탈기 스테이션은 고온(200° C)에서 가열하고 냉각 후 샘플을 채취했습니다.

부록 C : 황색 텅스텐 산화물 (WO₃)과 관련된 특허 목록.

CN102019429A, US10262770B2 등

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 관련 특허 목록 (확장 버전)

제조방법 관련 특허

US7591984B2 - 텅스텐 산화물의 제조

출시일: 2009-10-06

발명자: Norman R. Brese, Michael T. McLaughlin

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

특허권자: Air Products and Chemicals, Inc.

개요: 나노 크기의 WO_3 • 농축된 HCl 에 용해된 H_2O , 파라텡스텐 산 암모늄 (APT) 은 물에 빠르게 첨가되어 나노 시트 WO 를 형성했습니다. H_2O , 어닐링 ($200-400^{\circ}C$) 하여 노란색 WO_3 를 제공합니다.

응용 분야 : Photocatalysis, 센서.

특징: 과정이 간단하고 모양이 독특합니다.

CN106006743A - Orthorhombic Black WO_3 의 제조 방법

출시일: 2016-10-12

发明人: 李文龙 (Wenlong Li) 等

특허권자: Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences

요약 : 직교 상 흑색 WO_3 ($400-600^{\circ}C$) 는 가시 광선 흡수를 향상시키기 위해 진공 이중 온도 영역로에서 WO_3 분말과 Al 분말을 환원시켜 제조되었습니다.

응용 프로그램: 광촉매.

특징: Black WO_3 는 빛의 반응성을 향상시킵니다.

CN102502821A - 단사정 텡스텐 삼산화물의 제조 방법

출시일: 2012-06-20

发明人: 王德宝 (Debao Wang) 等

특허권자: Shanxi Institute of Coal Chemistry, Chinese Academy of Sciences

개요: APT 는 산성화, 열수 및 볶음 ($400-600^{\circ}C$) 에 의해 황색 단사정 WO_3 를 제조하는 원료로 사용되었다.

응용 프로그램: 광촉매, 가스에 민감한 재료.

특징 : 높은 단상 순도.

JP2006169092A - 삼산화 텡스텐 미세 입자 제조 방법

출시일: 2006-06-29

发明人: 山本健治 (Kenji Yamamoto) 等

专利权人: Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.

개요 : 텡스텐 산 용액을 산과 혼합하고 가열 ($100-200^{\circ}C$) 하여 WO 를 생산합니다. H_2O , 10-100nm 노란색 WO_3 입자를 얻기 위해 볶음 ($300-500^{\circ}C$).

응용 분야 : 안료, 광촉매.

특징 : 입자 크기의 정확한 제어.

CN103803641A - 나노 텡스텐 트리 옥사이드 분말의 제조 방법

출시일: 2014-05-21

发明人: Xiaobing Li, et al

특허권자: Central South University

요약 : 20-50 nm 황색 나노 WO_3 는 텡스텐 산 나트륨을 원료로 사용하여 산 침전 및 열수 ($180-220^{\circ}C$, 12-24 시간) 에 의해 제조 되었다.

응용 분야 : 광 촉매, 배터리 재료.

특징 : 높은 제품 균일 성.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

US4855161A - 삼산화 텅스텐 제조 방법

출시일: 1989-08-08

发明人: 도널드 H. 모저

专利权人: GTE Products Corporation

요약 : 황색 WO_3 는 입자 크기와 순도를 조절하기 위해 텅스텐 산 암모늄 용액의 열 분해 ($500-700\text{ }^{\circ}\text{C}$)에 의해 제조 되었다.

응용 분야 : 산업용 안료, 촉매.

특징 : 초기 산업 공정.

CN109052476A - 황색 텅스텐 산화물의 제조 방법

출시일: 2018-12-21

发明人: 张启龙 (Qilong Zhang) 等

특허권자: Ganzhou Nonferrous Metals Research Institute

요약 : Yellow WO_3 는 텅스텐 농축액을 원료로 사용하여 $>99.9\%$ 의 순도로 알칼리 침출, 이온 교환, 산 침전 및 로스팅 ($450-550\text{ }^{\circ}\text{C}$)으로 제조되었습니다.

응용 프로그램 : 고순도 텅스텐 제품.

특징 : 광석에서 직접 생산에 적합합니다.

W02014053606A1 - 텅스텐 산화물을 제조하는 방법

출시일: 2014-04-10

주최자 : Wolfgang Rohde 等

양수인: BASF SE

개요: 나노 스케일 응용을 위한 기상 증착(CVD)에 의한 WF_6 전구체로부터 WO_3 필름 또는 분말의 제조.

응용 분야 : 박막 장치, 광촉매.

특징 : 고정밀 증기상 공정.

광촉매 관련 특허

EP2380687A1 - 텅스텐 산화물을 기반으로 한 광촉매 재료

출시일: 2011-10-26

发明人: Leila Benameur 等

专利权人: Saint-Gobain Glass France

개요: WO_3 코팅은 자체 세척 유리를 위한 졸-겔 또는 증기상 증착에 의해 제조되고 UV/Vis 광에서 유기물을 분해합니다.

응용 프로그램: 자동 세척 표면.

특징 : 강한 내구성.

US20170266648A1 - WO_3/TiO_2 코어-셸 광촉매 및 이의 제조방법

출시일: 2017-09-21

발명자: Wei Zhang, et al

특허권자: 명확한 특허권자가 없습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

개요: WO_3 핵은 TiO_2 껍질을 코팅하여 가시광선 반응 및 전자-정공 분리 효율을 향상시킨다.

응용 분야 : 수처리, 공기 정화.

특징 : 코어 쉘 구조는 성능을 최적화합니다.

CN105688972A - WO_3 기반 광촉매 및 제조 방법

출시일: 2016-06-22

발명자: Qiang Liu, et al

특허권자: Beijing University of Technology

개요: WO_3 를 g- C_3N_4 와 혼합하고 열수법으로 제조하여 유기 오염 물질의 광촉매 분해를 개선하였다.

응용 프로그램: 환경 정화.

특징 : 복합 재료 보강 활동.

US9975110B2 - 광촉매 텅스텐 산화막

출시일: 2018-05-22

发明人: 니틴 샤르마 等

专利权人: Panasonic Intellectual Property Management Co., Ltd.

개요: WO_3 박막은 스퍼터링 증착에 의해 제조되고 가시광선의 광촉매 효율을 향상시키기 위해 N 또는 S로 도핑되었습니다.

응용 프로그램: 실내 공기 정화.

특징 : 도핑 수정.

전기변색 관련 특허

US20110111209A1 - 텅스텐 산화물 필름을 포함한 내구성이 뛰어난 전기 변색 장치

출시일: 2011-05-12

发明人: Mark Samuel Burdis 等

专利权人: 세이지 일렉트로크로믹스

개요: 다공성 WO_3 필름은 전기 변색 내구성을 향상시키기 위해 고 바이어스 스퍼터링 증착 (>500V)에 의해 준비되었습니다.

응용 프로그램: 스마트 윈도우.

특징 : 우수한 이온 확산 성능.

CN104445989A - WO_3 기반 전기 변색 소자

출시일: 2015-03-25

발명자: Mei Li et al

특허권자: Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences

개요: WO_3 박막과 NiO 상대 전극은 <10 초의 응답 시간을 갖는 전고체 전기 변색 소자를 형성한다.

응용 프로그램: 똑똑한 유리.

특징 : 모든 솔리드 스테이트 디자인.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

US8294974B2 - WO₃ 층을 가진 전기 변색 소자

출시일: 2012-10-23

发明人: Zhongchun Wang 等

专利权人: 어플라이드 머티어리얼즈(Applied Materials, Inc.)

개요: WO₃ 층은 광학 변조 범위를 증가시키기 위해 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)에 의해 준비됩니다.

응용 프로그램: 모니터, Windows.

특징 : 높은 증착 속도.

가스 센서 관련 특허

US10266947B2 - 나노 구조 텅스텐 산화물 가스 센서

출시일: 2019-04-23

발명자: Andrei Kolmakov et al

专利权人: 메릴랜드 대학교

요약 요약 : Pt/Pd 로 도핑된 나노와이어 또는 나노시트 WO₃는 H₂, CO 에 대한 감도를 향상시킵니다.

응용 프로그램: 가스 탐지.

특징 : 높은 선택성.

CN107132265A - WO₃ 기반 가스 센서 및 준비 방법

출시일: 2017-09-05

발명자: Li Zhang, et al

특허권자: 길림대학교

개요: WO₃ 나노로드를 열수법으로 제조하고 NO₂에 대한 반응성을 향상시키기 위해 Au 로 도핑했습니다.

응용 프로그램: 환경 모니터링.

특징 : 저온에서 높은 감도.

EP2787528A1 - 텅스텐 산화물 층이있는 가스 센서

출시일: 2014-10-08

发明人: 랄프 무스 等

专利权人: 지멘스 AG

요약 요약: 200-400° C 의 작동 온도에서 NH₃ 감지를 위한 WO₃ 박막 센서.

응용 분야: 산업 배기 가스 모니터링.

특징 : 고온 안정성.

배터리 소재 관련 특허

US20150364755A1 - 리튬 이온 배터리 용 텅스텐 산화물 기반 양극 재료

출시일: 2015-12-17

发明人: Xiangyang Zhou 等

专利权人: General Electric Company

개요: WO₃ 나노 입자는 사이클 안정성을 향상시키기 위해 리튬 이온 배터리의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

양극으로 탄소와 결합됩니다.

응용 프로그램: 에너지 저장 배터리.

특징 : 고용량 디자인.

CN108172803A - WO_3 전극 재료의 제조 방법

출시일: 2018-06-15

발명자: Fang Wang, et al

특허권자: Wuhan University of Technology

개요: WO_3 나노시트는 >500 F/g 용량의 슈퍼 커패시터 전극에 대해 용매 열처리 방법으로 제조됩니다.

응용 프로그램: 슈퍼 커패시터.

특징 : 높은 비 커패시턴스.

기타 출원 관련 특허

US20020002879A1 - 산화물 분산 강화 텅스텐 중합금을 만드는 방법

출시일: 2002-01-10

发明人: 朴钟진 (Jong-Jin Park) 等

专利权人: 한국과학기술원 (KAIST)

개요 : WO_3 는 기계적 합금에 의해 텅스텐 중합금을 제조하기 위한 전구체로 사용되었으며, Y2W는 고온 성능을 향상시키기 위해 첨가되었다.

응용 프로그램: 군사 재료.

특징 : 고강도.

CN109943888A - WO_3 기반 열변색 필름

출시일: 2019-06-28

발명자: Gang Li et al

특허권자: University of Science and Technology Beijing

개요: WO_3 는 스마트 템퍼링 창에 사용할 열변색 필름을 준비하기 위해 V 또는 Mo를 도핑했습니다.

응용 프로그램: 건물 에너지 효율성.

특징: 온도 반응성.

US20190276326A1 - 텅스텐 산화물 안료

출시일: 2019-09-12

发明人: 로버트 W. 존스 Robert W. Jones 等

专利权人: 세퍼드 컬러 컴퍼니

요약 : WO_3 는 다른 산화물과 혼합되어 높은 내후성을 가진 노란색 안료를 제조합니다.

응용 분야 : 코팅, 플라스틱.

특징: 색상 안정성.

CN112723431A - WO_3 양자점 제조

출시일: 2021-04-30

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

발명자: Ming Chen, et al

특허권자: Xiamen University

개요: 바이오이미징 및 광촉매를 위한 마이크로파 보조 방법에 의한 W_3 양자점 (<10nm)의 준비.

응용 분야: 생물 의학, 광촉매.

특징: 상당한 양자 효과.

W02020157650A1 - W_3 기반 항균 코팅

출시일: 2020-08-06

发明人: Maria Strømme 等

专利权人: 옹살라 대학교

개요: W_3 코팅은 광촉매를 통해 활성 산소 종을 생성하고 항균 특성을 가지고 있습니다.

응용 프로그램: 의료 기기 코팅.

특징: 녹색 항균 기술.

부록 D:

중국, 일본, 독일, 러시아, 한국 및 황색 텅스텐 산화물

(W_3)과 관련된 국제 표준.

황색 텅스텐 산화물 (W_3)과 관련된 중국 표준.

YS / T 535-2006 《암모늄 메타 텅스텐 산염》

출시일: 2006

적용 범위: 암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT , $(NH_4)_2WO_4$)의 기술 요구 사항, 테스트 방법, 검사 규칙 및 포장이 명시되어 있으며 암모늄 메타 텅스텐 산염은 W_3 제조를 위한 중요한 전구체입니다.

주요 내용:

화학 성분: W_3 함량 $\geq 88.5\%$ (1 급), 불순물 한계 (예: $Mo \leq 0.02\%$, $Fe \leq 0.001\%$).

물리적 특성: 입자 크기(체 속도), 외관(흰색 또는 황색을 띤 결정성 분말).

시험 방법: W_3 함량은 중량 방법에 의해 결정되고 불순물은 ICP-OES 또는 AAS에 의해 결정된다.

W0와 관련: AMT 는 로스팅 ($500-600^\circ C$)에 의해 W_2 로 분해되며, 이 표준은 W_0 의 순도와 품질에 직접적인 영향을 미칩니다.

GB/T 26034-2010 텅스텐 산

출시일: 2010

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

적용 범위 : 텅스텐 산 (H_2WO_4), WO_3 전구체 또는 직접 공급원으로 산업용.

주요 내용:

화학 성분 : WO_3 함량 $\geq 98.0\%$, 불순물 한계 (예 : $Na \leq 0.02\%$, $S \leq 0.01\%$).

외관 : 노란색 분말.

시험 방법 : WO_3 함량에 대한 환원 적정, 불순물에 대한 분광법.

WO_3 와 관련: 텅스텐 산은 WO 로 소성되며 표준은 원료의 품질을 보장합니다.

YS / T 572-2007 텅스텐 산화물

출시일: 2007

적용 범위 : 기술 요구 사항, 테스트 방법 및 노란색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 포장에 명시되어 있습니다.

주요 내용:

등급: $WO_3 \geq 99.95\%$ 1 학년, $99.9\% \geq 99.9\%$ 2 학년.

불순물 한계 : $Mo \leq 0.01\%$, $Fe \leq 0.001\%$, $Si \leq 0.002\%$.

물리적 특성: 입자 크기 ($< 20 \mu m$), 벌크 밀도 ($1.5-3.0 g/cm^3$).

시험 방법 : WO_3 함량은 XRF 또는 화학적 적정에 의해 적정되고 입자 크기는 레이저 입자 크기 분석기로 측정됩니다.

WO_3 와 관련: 텅스텐 제품 생산에 널리 사용되는 노란색 WO_3 에 대한 산업 표준을 직접 대상으로 합니다.

GB / T 3457-2013 텅스텐 파우더

출시일: 2013

적용 범위 : WO_3 환원에 의해 제조 된 텅스텐 분말.

주요 내용:

화학 성분 : $W \geq 99.9\%$, $O \leq 0.05\%$.

입자 크기 : $0.5-50 \mu m$.

시험 방법 : O 함량은 펄스 가열 방법에 의한 것입니다.

WO_3 와 관련 : WO 는 텅스텐 분말의 주요 원료이며, 표준은 WO 의 순도 요구 사항을 간접적으로 반영합니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)과 관련된 일본 표준.

JIS 1462 : 2015 《텅스텐 화합물의 분석 방법》

출시일: 2015

적용 범위 : 텅스텐 화합물 (예 : WO_3 , 텅스텐 산염)의 화학 분석에 적합합니다.

주요 내용:

WO_3 함량 측정 : 중량 측정 방법 (환원 후 계량) 또는 광도 측정 방법 (티오시아네이트 발색).

불순물 분석: Mo , Fe , Si 등은 AAS 또는 ICP 를 사용합니다.

수분 준비 : 건조 방법 ($105^\circ C$).

WO_3 와 관련: WO_3 에 대한 표준 분석 방법은 산업 응용 분야의 화학적 순도를 보장하는데 사용할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

JIS H 1403:2001 텅스텐 및 폴리브덴 재료의 화학 분석 방법

출시일: 2001

적용 범위 : 텅스텐 및 폴리브덴 재료, WO를 포함한 산화물에 적합합니다.

주요 내용:

WO₃ 정량: 화학적 적정(환원법).

불순물: Na와 K는 화염 광도법에 의해 결정되고 P는 분광 광도법에 의해 결정됩니다.

WO와 관련 : 특히 텅스텐 합금 제재에서 WO의 품질 관리에 간접적으로 사용됩니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)과 관련된 독일 표준.

DIN 51078:2002 산화물 세라믹용 원료 테스트

출시일: 2002

적용 범위: 산화물 세라믹 원료(예: WO₃, Al₂O₃)의 물리적 및 화학적 특성을 테스트하는 데 적합합니다.

주요 내용:

화학 성분 : XRF 또는 습식 화학에 의한 WO₃ 함량.

입자 크기 분포 : 레이저 회절.

비표면적: BET 방법(N₂ 흡착).

WO₃와 관련: WO₃는 물리적 특성의 특성화를 위해 세라믹 첨가제 또는 전구체로 사용됩니다.

DIN EN ISO 21068-2:2008 세라믹 원료 및 품목의 화학 분석 - 2부

출시일: 2008

응용 분야 : WO를 포함한 세라믹 재료의 규산염 및 산화물 분석.

주요 내용:

WO₃ 함량: ICP-OES 또는 XRF.

불순물: 중금속(예: Pb, Cd) 한계.

WO₃와 관련: 세라믹 또는 복합재에서 WO₃의 품질 검사에 사용됩니다.

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)과 관련된 러시아 표준.

고스트 25702-83

출시일: 1983

적용 범위 : 텅스텐 산(예: Na WO₂) 및 유도체 WO₂ 분석에 적합합니다.

주요 내용:

WO₃ 함량 : 중량 측정 방법(침전 후 소성).

불순물: Fe 및 Mn은 측색법으로, Mo는 측색으로 측정됩니다.

수분 및 휘발성 물질 : 건조 방법(120 °C).

WO₃와 관련: 소비에트 시대의 텅스텐 산업을 위한 WO₃ 전구체에 대한 분석 방법을 제공합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GOST 14316-91 텅스텐 농축액

출시일: 1991

적용 범위 : 텅스텐 농축액 (W_3 함량 50 % -70 %)에 대한 품질 요구 사항.

주요 내용:

W_3 함량 : 화학적 적정.

불순물: S, P, As 등의 한계

W_3 와 관련: W_3 는 텅스텐 농축액에서 추출되며 표준은 원료의 품질에 영향을 미칩니다.

황색 텅스텐 산화물 (W_3)과 관련된 한국 표준.

KS D 9502:2018 텅스텐 및 텅스텐 합금의 화학분석방법

출시일: 2018

적용 범위 : 텅스텐 재료 및 산화물 (예 : W_3)의 분석에 적합합니다.

주요 내용:

W_3 함량 : ICP-MS 또는 중량 측정법.

불순물 : Fe 및 Mo 는 AAS 를 사용하고 C 는 연소 방법을 사용합니다.

W_3 관련 : W_3 순도 테스트, 특히 전자 재료 분야.

KS M ISO 11885:2008 수질 - 금속원소 측정 - ICP-OES 공법

출시일: 2008

적용 범위 : W_3 용해 후 불순물을 검출하는 데 사용할 수있는 수용액의 금속 원소 분석.

주요 내용:

W 함량 : 파장 207.911 nm.

검출 한계 : 0.01 mg / L.

W_3 관련 : W_3 생산 폐수의 품질 관리에 간접적으로 사용됩니다.

황색 텅스텐 산화물 (W_3)과 관련된 국제 표준.

금속 분말의 비표면적에 대한 ASTM B922-20 표준 시험 방법

출시일: 2020

적용 범위: 금속 분말 및 산화물(예: W_3)의 비표면적 측정.

주요 내용:

방법: BET(N_2 흡착, 77K).

샘플 요구 사항: 0.1-1g, 200° C 에서 탈기, 4 시간.

측정 범위: 0.1-1000m²/g.

W_3 와 관련: W_3 분말(마이크로미터 기준 5-10 m²/g, 나노미터 기준 20-50 m²/g)을 특성화하는 데 사용됩니다.

ISO 16962:2017 "표면의 화학 분석 - 아연 및/또는 알루미늄 기반 금속 가공 코팅 분석"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

출시일: 2017

응용 분야 : WO_3 박막 또는 코팅의 특성화와 관련된 표면 화학 분석.

주요 내용:

방법: XPS, AES, SIMS.

매개변수: W 4f 피크 (35.5eV 및 37.6eV).

WO_3 와 관련: 전기 변색층과 같은 WO_3 필름의 표면 분석에 적합합니다.

ISO 9277:2010 고체의 비표면적 측정 - BET 방법

출시일: 2010

적용 범위: WO_3 를 포함한 고체 물질의 비표면적 측정.

주요 내용:

방법: N_2 흡착, $P/P_0 = 0.05-0.3$.

정확도 : $\pm 5 \%$.

WO_3 와의 상관관계: 표준화된 WO_3 에 대한 비표면적 테스트.

텅스텐의 화학 분석을 위한 ASTM E291-18 표준 시험 방법

출시일: 2018

응용 분야 : 텅스텐 및 산화물 (예 : WO_3) 의 화학 분석.

주요 내용:

WO_3 함량 : 중량 측정 또는 측광.

불순물: Mo 및 Fe 는 ICP 에 의해 결정되고 S 는 연소 방법에 의해 결정됩니다.

WO_3 와 관련: 국제적으로 인정되는 WO_3 분석 방법을 제공합니다.

ISO 11885:2007 《물 원소 - ICP-OES 명확한 금속 원소》

출시일: 2007

적용 범위 : WO_3 생산 폐수에 적합한 수용액의 금속 원소 분석.

주요 내용:

W 검출 : 파장 207.911 nm, 검출 한계 0.01 mg / L.

WO_3 와 관련: 환경 모니터링 표준.

부록 F : 황색 텅스텐 산화물 (WO_3)과 관련된 용어집.

황색 텅스텐 산화물 (WO_3) 용어집 (중국어, 영어, 일본어, 한국어)

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 기본 이름 및 화학식.

중국어	영어	일본어	한국어	주해
옐로우 텅스텐 산화물	노란색 텅스텐 옥사이드	黄色三酸化タングステン (Kiiro Sansanka Tanguuten)	황색 삼산화텅스텐 (HwangsaeK Samsanhwa Teongseuten)	노란 외관을 강조해서, 일반적인 산업 형태
삼산화 텅스텐	삼산화 텅스텐	三酸化タングステン (산산카 탕구텐)	삼산화텅스텐 (Samsanhwa)	구체적으로 색상을 언급하지 않는

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

			Teongseuten)	일반적인 용어
위 ₃	위 ₃	위 ₃	위 ₃	국제적으로 적용 가능한 화학식
팅크르 무수물	팅스텐 무수물	タンステン酸無水物 (탕구스텐산 무스이모쓰)	팅스텐산 무수물 (Teongseuten-san Musumul)	무수 상태를 강조하는 화학 명명법
블루 팅스텐 산화물	블루 텅스텐 산화물	블루 텅스텐 산화물 (Aoiro Sanka Tangusuten)	청색 산화텅스텐 (Cheongsaeak Sanhwa Teongseuten)	위.9, 불순물 WO ₃ , 부분적으로 환원된 제품
제작:CTIA GROUP				

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 화학적 성질.

중국어	영어	일본어	한국어	주해
산화 상태	산화 상태	酸化状態 (공포 조타이)	산화 상태 (Sanhwa Sangtae)	WO ₃ 의 W 는 +6 원자가입니다.
착실	착실	安定性 (안테이세이)	안정성 (Anjeongseong)	안정 < 600° C, 고온 상변화
가용성	가용성	溶解度 (요카이도)	용해도 (Yonghaedo)	물은 약간 용해되며 산-염기 조건이 변합니다
가수분해성	가수분해	加水分解性 (카스이 분카이세이)	가수분해성 (Gasubunhaeseong)	고습 발생 WO ₃ · H ₂ O
산화	산화 성질	酸化性 (산카세이)	산화성 (Sanhwaseong)	약한 산화, 향상된 광촉매 작용
화학 결합	화학 유대	化学結合 (가가쿠 케츠고)	화학 결합 (Hwahak Gyeolhap)	W-O, W=O 鍵, FTIR 可检测
변동	변동	揮発性 (기하츠세이)	휘발성 (Hwibalseong)	> 1100° C 에서 휘발하여 WO ₂₉ 형성
산도와 알칼리성	산성도/알칼리성	酸塩基性 (산엔키세이)	산염기성 (San Yeomgiseong)	양쪽 성 산화물은 산 및 염기와 반응 할 수 있습니다.
제작:CTIA GROUP				

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 물리적 특성.

중국어	영어	일본어	한국어	주해
외관	외관	외관 (가이칸)	외관 (Oegwan)	황색 분말 또는 필름
밀도	밀도	밀도 (Mitsudo)	밀도 (Mildo)	7.16g/cm ³ (단사정상)
녹는점	녹는점	융점 (유크텐)	융점 (Yungjeom)	1473° C
끓는점	끓는점	끓는점 (후텐)	비점 (Bi jeom)	>1700° C 分解
변이	결정 구조	結晶構造 (Kesshō Kōzō)	결정 구조 (Gyeoljeong Gojo)	단사정, 직교, 정방정

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

입자 크기	입자 크기	입자 크기 (류케이)	입자 크기 (Ipja Keugi)	微米级 1-20 μm, 纳米级 10-100 nm
비표면적	비표면적	比表面積 (Hi Hyōmen Seki)	비표면적 (Bipyomyeonjeok)	BET 분석, 나노미터 범위의 높은 분석
밴드 갭	밴드 갭	Band Gap (반도 갓푸)	밴드 갭 (Gaep Baths)	2.6-2.8 eV
경도	경도	경도 (고도)	경도 (Gyeongdo)	모스 경도 : 4-5
열전도율	열전도율	열전도율 (Netsu Dendōritsu)	열전도율 (Yeoljeondoyul)	1.5-2.0 승/(m·케이)
열팽창 계수	열팽창 계수	熱膨張係數 (넛쓰 보초 게이수)	열팽창 계수 (Yeolpaengchang Gyesu)	$8.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 제조 방법.

중국어	영어	일본어	한국어	주해
열수 방식	열수 방법	水熱法 (스이네투호)	수열 방법 (Suryeol Bangbeop)	오토클레이브, 나노 WO ₃
열분해	열분해	熱分解法 (넛쓰 분카이호)	열분해 방법 (Yeolbunhae Bangbeop)	AMT 시스템 WO ₃
구이	소성	焼成 (쇼세이)	소성 (Soseong)	高温炉, 500-600° C
용수선법 (Solvothermal Method)	용열 방법	溶媒熱法 (요바이 네츠호)	용매열 방법 (Yongmaeyeol Bangbeop)	유기 용제, 고압
증기 증착	증기 증착	気相蒸着 (기소 조차쿠)	기상 증착 (Gisang Jeungchak)	CVD 或 PVD, 薄膜制备
산성 침전법	산성 침전	酸沈殿法 (산 친덴호)	산 침전법 (San Chimjeonbeop)	텅스텐 산 나트륨 플러스 산 침전
이온 교환	이온 교환	イオン交換 (이온 코칸)	이온 교환 (Ion Gyohwan)	텅스텐 산염 용액의 정제
기계적 합금	기계적 합금	機械合金化 (Kaikai Gōkin-K)	기계 합금화 (Gigye Hapgeumhwa)	복합 재료의 준비
제작: CTIA GROUP				

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 화학 반응.

중국어	영어	일본어	한국어	주해
환원 반응	환원 반응	還元反応 (Kangen Hannō)	환원반응 (환원반응)	$\text{WO}_3 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{W} + 3\text{H}_2\text{O}$
알칼리성	알칼리성 반응	アルカリ反応 (아루카리)	알칼리 반응	$\text{WO}_3 + 2\text{NaOH} \rightarrow$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

반응		한노	(Alkali Baneung)	$\text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
산성 반응	산성 반응	酸反应 (산한노)	산 반응 (San Baneung)	$\text{WO}_3 + 6\text{HCl} \rightarrow \text{WCl}_6 + 3\text{H}_2\text{O}$
수분 반응	수분 반응	水和反应 (스이와 한노)	수화 반응 (Suwha Baneung)	$\text{WO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
제작:CTIA GROUP				

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 응용 분야.

중국어	영어	일본어	한국어	주해
광촉매	광 촉매	光 触 媒 (히카리 차쿠라이)	광 촉매 (Gwangchokmae)	유기물의 분해
일렉트로크로믹	전기 변색증	電 気 変 色 (덴키 헨쇼쿠)	전기 변색 (Jeongi Byeonsaek)	스마트 윈도우
가스 센서	가스 센서	가 스 센 서 (가스 센사)	가스 센서 (Gaseu Senseo)	NO_2 , H_2 검출
배터리 재료	배터리 재질	電 池 材 料 (덴치 자이료)	배터리 재료 (Baeteori Jaeryo)	리튬 배터리 양극
색소	색소	顔 料 (간료)	안료 (Anryo)	노란색 페인트
써모크로믹	열변색	熱 変 色 (넛쓰 헨쇼쿠)	열 변색 (Yeol Byeonsaek)	온도에 민감한 재료
항균 코팅	항균 코팅	抗 菌 コ ー テ ィ ン グ (Kōkin Kōtingu)	항균 코팅 (Hanggyun Koting)	광촉매 항균
촉매 담체	촉매 지원	触 媒 担 体 (쇼쿠바이 단타이)	13 (조크마 댄치)	화학적 촉매 작용
제작:CTIA GROUP				

황색 텅스텐 산화물 (WO_3)의 분석 방법.

중국어	영어	일본어	한국어	주해
X 선 회절	X 선 회절 (XRD)	X 線 回 折 (에쿠스센 카이세츠)	사천 회절)	다형체 분석
푸리에 변환 적외선 분광법	푸리에 변환 적외선 분광법 (FTIR)	フ ー リ エ 変 換 赤 外 分 光 法 (Fūrie Henskan Sekigai Bunkō-hō)	푸리에 변환 적외선 분광법 (Purie Byeonhwan Jeokoesun Bungwangbeop)	화학 결합 검출
주사 전자 현미경	주사 전자 현미경 (SEM)	走 査 電 子 顕 微 鏡 (소사 전철 켄비쿄)	주사 전자 현미경 (Jusa Jeonja Hyeonmigyaeong)	형태학적 관찰
투과 전자 현미경	투과 전자 현미경 (TEM)	透 過 電 子 顕 微 鏡 (Tōka Denshi Kenbikyō)	투과 전자 현미경 (Tugwa Jeonja Hyeonmigyaeong)	나노 구조체
자외선 가시광선 분광법	UV-VIS 분광법 (UV-Vis)	紫 外 可 視 分 光 法 (시가이 카신 분코호)	자외선-가시광선 분광법 (Jawoeseon-Gasigwangseon Bungwangbeop)	밴드 갭 결정

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

BET 특정 표면적 분석	BET 표면적 분석	BET 比表面積分析 (BET Hi Hyōmen Seki 분석기)	Bet 비표면적 분석 (Bet Bisymogengeok Bansak)	비표면적
X 선 광전자 분광법	X 선 광전자 분광법 (XPS)	X 線 光 電 子 分 光 法 (Ekkusu-sen Kōdēshi Bunkō-hō)	X 선 광전자 분광법 (X- seon Gwangjeonja Bungwangbeop)	표면 화학
열중량 분석	열중량 분석 (TGA)	熱 重 量 分 析 (Netsu Jūryō Bunseki)	열중량 분석 (Yeoljungnyang Bunseok)	열 안정성
제작:CTIA GROUP				

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 공정 매개 변수.

중국어	영어	일본어	한국어	주해
반응 온도	반응 온도	反応温度 (한노 온도)	반응 온도 (Baneung Ondo)	水熱法 180-200° C
로스팅 시간	소성 시간	焼 成 時 間 (쇼세이 지칸)	소성 시간 (Soseong Sigan)	2-3 시간
압력	압력	圧力 (아즈료쿠)	압력 (Amnyeok)	물 주전자 1-2 MPa
박사	pH 값	pH(pH Chi)	pH 값 (pH Gaps)	산은 pH 1-2 를 침전시킵니다.
고체-액체 비율	고체-액체 비율	固液比 (코에이히)	고액비 (Goaekbi)	알칼리성 침출 1:3
제작:CTIA GROUP				

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 장치 이름.

중국어	영어	일본어	한국어	주해
고압 반응기	오토 클레이 브	高 圧 反 応 釜 (고아츠 한노가마)	고압 반응로 (Goap Baneungno)	열수 장비
로터리 킬른	로터리 킬른	回 転 窯 (가이텐요)	회전 가마 (Hoejeon Gama)	로스트 WO ₃
머플	머플 용광로	マフール炉 (Maffuru-ro)	머플로 (Meopeullo)	실험실 열 분해
이온 교환 컬럼	이온 교환 컬럼	イオン交換カラム (이온 코칸 카라무)	이온 교환 컬럼 (Ion Gyohwan Keolleom)	용액 정제
필터 누름	필터 누름	圧濾機 (아즈료쿠로키)	압착 여과기 (Apchak Yeogwagi)	폐기물 잔류물 탈수
제작:CTIA GROUP				

황색 텅스텐 산화물 (WO₃) 및 관련 화합물의 전구체

중국어	영어	일본어	한국어	주해
암모늄 메타 텅스텐 산염	암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT)	メタタンクステン酸ア ニウム (메타 탕구텐 산 안모늄)	메타텅스텐산 암모늄 (Metateongseuten- san Ammonyum)	WO ₃ 주요 전구체

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 산	텅스텐 산	タングステン酸 (탕구텐산)	텅스텐산 (Teongseuten-san)	H ₂ WO ₄ , 황색 침전물
텅스텐 산나트륨	텅스텐 산 나트륨	タングステン酸ナトリウム (탕구텐 산 나트리움)	텅스텐산 나트륨 (Teongseuten-san Nateuryum)	Na ₂ WO ₄ , 碱浸产物
텅스텐 분말	텅스텐 파우더	텅스텐 분말 (Tangusuten Funmatsu)	텅스텐 분말 (Teongseuten Bunmal)	WO ₃ 저감 제품
텅스텐 농축액	텅스텐 농축액	タングステン精鉍 (단구스텐 세이코)	텅스텐 정광 (Teongseuten Jeonggwang)	WO ₃ 함량 50%-70%
제작:CTIA GROUP				

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)의 안전 및 환경.

중국어	영어	일본어	한국어	주해
독성	독성	독성 (독세이)	독성 (Dokseong)	LD ₅₀ >2000 mg/kg
직업적 노출 한도	직업적 노출 한도	職業暴露限界 (Shokugyō Bakuro Genkai)	직업 노출 한계 (Jigeop Nochul Hange)	3 mg/m ³ (중국 기준)
생태독성	생태독성	生態毒性 (세이타이 도쿠세이)	생태 독성 (Saengtae Dokseong)	鱼类 LC ₅₀ >100 mg/L
배기 가스 처리	배기 가스 처리	排ガス処理 (하이가스 쇼레이)	배기가스 처리 (Begigaseu Chiori)	NH ₃ 흡수
액체 폐기물 처리	폐수 처리	廃液処理 (고통일체 몸)	폐액 처리 (Pyeaek Cheori)	W 를 사용한 강수 회수
보호 장갑	보호 장갑	保護手袋 (호고 테부쿠로)	보호 장갑 (Boho Janggap)	니트릴 재료
흡 후드	흡 후드	ドラフト 후드 (Dorafuto Chanbā)	흡 후드 (Hyum Hudeu)	분진 작업
제작:CTIA GROUP				

황색 텅스텐 산화물 (WO₃)에 대한 업계 용어.

중국어	영어	일본어	한국어	주해
텅스텐 산업 체인	텅스텐 산업 체인	텅스텐 산업 체인 (Tangusuten Sangyō Chēn)	텅스텐 산업 체인 (Teongseuten Saneop Chein)	일할 광석
고순도	고순도	高純度 (고순도)	고순도 (Gosundo)	위 ₃ >99.9%
나노 물질	나노 물질	ナノ材料 (나노 자이료)	나노 재료 (small jerry's)	<100 nm 의
친환경 제조	친환경 제조업	グリーン製造 (구린 세이조)	녹색 제조 (Noksaek Jejo)	환경 친화적 인 공정

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA 그룹

삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, WO₃, 황색 삼산화 텅스텐, YTO) 소개

1. 삼산화 텅스텐의 개요

CTIA GROUP 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐, WO₃라고 함)은 GB / T 3457-2013 "텅스텐 산화물"일류 제품의 요구 사항을 충족하는 파라 텅스텐 산업 암모늄 고온 소성 공정으로 생산됩니다. 옐로우 텅스텐은 밝은 노란색 결정 분말 형태, 고순도 및 화학적 안정성으로 인해 텅스텐 분말, 초경합금, 텅스텐 와이어 및 세라믹 착색제의 제조에 널리 사용됩니다. CTIA GROUP은 분말 야금 및 산업 제조의 요구를 충족시키기 위해 고품질 노란색 텅스텐 제품을 제공하기 위해 최선을 다하고 있습니다.

2. 삼산화 텅스텐의 특성

화학 성분 : WO₃.

순도 : ≥99.95 %이며 불순물 함량이 매우 낮습니다.

외관 : 밝은 노란색 크리스탈 분말, 균일 한 색상.

다형체: 단사정(실온에서 가장 일반적), 공간군 P21/n.

높은 안정성: 공기에서 안정하고 불산을 제외한 물 및 무기산에 불용성입니다.

반응성 : 수소 (>650 ° C) 또는 탄소 (1000-1100 ° C)에 의해 텅스텐 분말로 환원 될 수 있습니다.

균일성: 다운스트림 가공에 적합한 균일한 입자 분포.

3. 삼산화 텅스텐의 사양

색인	CTIA GROUP 옐로우 텅스텐 1 급 표준
WO ₃ 함량 (wt%)	≥99.95
불순물 (wt %, 최대)	Fe≤0.0010, W≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005
수분 (wt%)	≤0.05
입자 크기	1-10 (μm, FSSS)
느슨한 밀도	2.0-2.5 (g/cm ³)
사용자화	입자 크기 또는 불순물 한계는 고객 요구 사항에 따라 사용자 정의할 수 있습니다.

4. 삼산화 텅스텐 포장 및 보증

포장: 안 밀봉된 비닐 봉투, 외부 철 드럼 또는 길썬된 부대, 순중량 50kg 또는 100kg의 방습 디자인.

보증: 각 배치에는 WO₃ 함량, 불순물 분석, 입자 크기 (FSSS 방법), 느슨한 밀도 및 수분 데이터를 포함한 품질 인증서가 함께 제공됩니다.

5. 삼산화 텅스텐 조달 정보

이메일: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696

황색 텅스텐에 대한 자세한 내용은 China Tungsten Online www.tungsten-powder.com 를 참조하십시오.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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