

텅스텐 화학물질에는 어떤 것들이 있나요?

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

텅스텐, 폴리브덴, 희토류 산업을 위한 지능형 제조의 글로벌 리더

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

CTIA GROUP 소개

CTIA GROUP LTD는 CHINATUNGSTEN ONLINE이 설립한 독립 법인격을 가진 완전 자회사로, 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능화, 통합화, 유연한 설계 및 제조를 추진하는 데 전념하고 있습니다. CHINATUNGSTEN ONLINE은 1997년에 설립되었으며, 중국 최초의 텅스텐 제품 전문 사이트인 www.chinatungsten.com 시작으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업에 특화된 중국 최초의 전자상거래 기업입니다. CTIA GROUP은 텅스텐 및 몰리브덴 분야에서 30년 가까운 깊은 경험을 바탕으로 모회사의 뛰어난 설계 및 제조 능력, 우수한 서비스, 글로벌 비즈니스 평판을 계승하여 텅스텐 화학제품, 텅스텐 금속, 초경합금, 고밀도 합금, 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 분야의 종합적인 애플리케이션 솔루션 제공자가 되었습니다.

지난 30년간 CHINATUNGSTEN ONLINE은 20개 이상의 언어로 된 200개 이상의 다국어 텅스텐 및 몰리브덴 전문 웹사이트를 구축했으며, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 뉴스, 가격, 시장 분석 페이지가 100만 페이지 이상에 달합니다. 2013년 이후 WeChat 공식 계정 "CHINATUNGSTEN ONLINE"은 4만 건 이상의 정보를 발행하여 거의 10만 명의 팔로워에게 서비스를 제공하고 있으며, 전 세계 수십만 명의 업계 종사자에게 매일 무료 정보를 제공하고 있습니다. 웹사이트 클러스터와 공식 계정의 누적 방문 수는 수십억 회에 달하며, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업의 글로벌하고 권위 있는 정보 허브로 인정받고 있으며, 연중무휴 다국어 뉴스, 제품 성능, 시장 가격, 시장 동향 서비스를 제공하고 있습니다.

CHINATUNGSTEN ONLINE의 기술과 경험을 바탕으로 CTIA GROUP은 고객의 개인화된 요구를 충족하는 데 중점을 두고 있으며, AI 기술을 활용하여 특정 화학 조성 및 물리적 특성(입자 크기, 밀도, 경도, 강도, 치수, 공차 등)을 가진 텅스텐 및 몰리브덴 제품을 고객과 공동으로 설계 및 제조하며, 금형 개방, 시제품 제작, 마무리, 포장, 물류에 이르는 전 과정 통합 서비스를 제공합니다. 지난 30년간 CHINATUNGSTEN ONLINE은 전 세계 13개 이상의 고객에게 50만 종류 이상의 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 연구개발, 설계, 제조 서비스를 제공하여 맞춤형, 유연하고 지능적인 제조의 기초를 마련했습니다. 이 기초를 바탕으로 CTIA GROUP은 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능형 제조와 통합 혁신을 더욱 심화하고 있습니다.

CTIA GROUP의 한스 박사와 그의 팀은 30년 이상의 업계 경험을 바탕으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류에 관한 지식, 기술, 텅스텐 가격 및 시장 동향 분석을 집필하여 텅스텐 산업과 무료로 공유하고 있습니다. 한스 박사는 1990년대부터 30년 이상 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 전자상거래 및 국제 무역, 초경합금 및 고밀도 합금의 설계 및 제조에 종사한 경험이 있으며, 국내외에서 유명한 텅스텐 및 몰리브덴 제품 전문가입니다. 업계에 전문적이고 고품질의 정보를 제공한다는 원칙을 고수하며, CTIA GROUP의 팀은 생산 실무와 시장 고객의 요구를 바탕으로 기술 연구 논문, 기사, 업계 보고서를 지속적으로 작성하여 업계 내에서 광범위한 찬사를 받고 있습니다. 이러한 성과는 CTIA GROUP의 기술 혁신, 제품 홍보, 업계 교류에 건고한 지원을 제공하며, 글로벌 텅스텐 및 몰리브덴 제품 제조 및 정보 서비스 분야에서 리더가 되도록 추진하고 있습니다.



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

목차

제 1 장: 텅스텐 원소 개요

- 1.1 텅스텐의 발견과 역사
 - 1.1.1 발명 및 발견의 간략한 역사
 - 1.1.1.1 스웨덴 화학자 크론슈타트의 초기 발견 (1755 년, 스웨덴어 문헌)
 - 1.1.1.2 셸러가 텅스텐산을 분리 (1781 년, 독일어 문헌)
 - 1.1.1.3 엘루야르 형제가 텅스텐 금속을 정제 (1783 년, 스페인어 문헌)
 - 1.1.2 텅스텐의 명명과 다국어 명칭
 - 1.1.3 초기 산업 응용의 시작 (19 세기, 영어, 프랑스어 문헌)
- 1.2 텅스텐의 자연적 존재 형태
 - 1.2.1 전 세계 텅스텐 광물의 종류와 분포
 - 1.2.1.1 흑텅스텐광 (Wolframite)
 - 1.2.1.2 백텅스텐광 (Scheelite)
 - 1.2.1.3 기타 이차 텅스텐 광물 (예: 텅스텐 망간 광)
 - 1.2.2 주요 생산국 및 매장량
 - 1.2.2.1 중국 (전 세계 매장량의 약 60%)
 - 1.2.2.2 러시아, 베트남, 캐나다, 호주 등
 - 1.2.3 텅스텐 광물 채굴의 주요 지역
- 1.3 텅스텐의 물리적 및 화학적 성질
 - 1.3.1 물리적 성질 (융점 3410° C, 밀도 19.25 g/cm³)
 - 1.3.2 화학적 성질 (+2 에서 +6 의 산화 상태, 내식성)
 - 1.3.3 다국어 문헌에서의 특성 설명 (러시아어, 일본어, 아랍어 등)
- 1.4 텅스텐 화학품의 산업 및 연구 가치는
 - 1.4.1 전 세계 산업 수요 개요
 - 1.4.2 연구 분야에서의 전략적 중요성

참고 자료

참고 문헌

제 2 장: 텅스텐 화학품의 기본 분류 및 특성

- 2.1 텅스텐 화학품의 분류
 - 2.1.1 산화물류
 - 2.1.2 텅스텐산 및 텅스텐산염류
 - 2.1.3 할로겐화물류
 - 2.1.4 탄화물 및 질화물류
 - 2.1.5 황화물 및 인화물류
 - 2.1.6 유기 텅스텐 화합물류
 - 2.1.7 텅스텐 함유 촉매 및 시약류
 - 2.1.8 텅스텐 함유 의약 화학품류
 - 2.1.9 기타 텅스텐 함유 비금속 화합물
- 2.2 텅스텐 화학품의 기본 특성
 - 2.2.1 결정 구조 및 분자 구성
 - 2.2.2 열 안정성 및 화학적 안정성

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

2.2.3 광학적, 전기적 및 자기적 특성

정보 참고원

참고 문헌

제 3 장: 텅스텐 산화물의 제조 및 응용

3.1 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)

3.1.1 제조 공정

3.1.2 결정 구조 및 분자 구성

3.1.3 열 안정성 및 화학적 안정성

3.1.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

3.2 이산화텅스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)

3.2.1 제조 공정

3.2.2 결정 구조 및 분자 구성

3.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성

3.2.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

3.3 기타 텅스텐 산화물

3.3.1 제조 공정

3.3.2 결정 구조 및 분자 구성

3.3.3 열 안정성 및 화학적 안정성

3.3.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

정보 참고원

참고 문헌

제 4 장: 텅스텐산 및 텅스텐산염의 제조 및 응용

4.1 텅스텐산 (H_2WO_4 , Tungstic Acid)

4.1.1 제조 공정

4.1.2 결정 구조 및 분자 구성

4.1.3 열 안정성 및 화학적 안정성

4.1.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

4.2 텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)

4.2.1 제조 공정

4.2.2 결정 구조 및 분자 구성

4.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성

4.2.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

4.3 기타 텅스텐산염

4.3.1 제조 공정

4.3.2 결정 구조 및 분자 구성

4.3.3 열 안정성 및 화학적 안정성

4.3.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

정보 참고원

참고 문헌

제 5 장: 텅스텐 할로젠화물의 제조 및 응용

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

5.1 옥염화텨스텐 (WCl₆, Tungsten Hexachloride)

5.1.1 제조 공정

5.1.2 결정 구조 및 분자 구성

5.1.3 열 안정성 및 화학적 안정성

5.1.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

5.2 옥플루오르화텨스텐 (WF₆, Tungsten Hexafluoride)

5.2.1 제조 공정

5.2.2 결정 구조 및 분자 구성

5.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성

5.2.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

5.3 기타 텨스텐 할로겐화물

5.3.1 제조 공정

5.3.2 결정 구조 및 분자 구성

5.3.3 열 안정성 및 화학적 안정성

5.3.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

정보 참고원

참고 문헌

제 6 장: 텨스텐 카바이드와 질화물의 제조 및 응용

6.1 텨스텐 카바이드 (WC, Tungsten Carbide)

6.1.1 제조 공정

6.1.2 결정 구조 및 분자 구성

6.1.3 열 안정성 및 화학적 안정성

6.1.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

6.2 텨스텐 질화물 (WN, Tungsten Nitride)

6.2.1 제조 공정

6.2.2 결정 구조 및 분자 구성

6.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성

6.2.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

6.3 기타 텨스텐 카바이드 및 질화물

6.3.1 제조 공정

6.3.2 결정 구조 및 분자 구성

6.3.3 열 안정성 및 화학적 안정성

6.3.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

정보 참고원

참고 문헌

제 7 장: 텨스텐 황화물과 인화물의 제조 및 응용

7.1 텨스텐 황화물 (WS₂, Tungsten Disulfide)

7.1.1 제조 공정

7.1.2 결정 구조 및 분자 구성

7.1.3 열 안정성 및 화학적 안정성

- 7.1.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성
- 7.2 텅스텐 인화물 (WP, Tungsten Phosphide)
 - 7.2.1 제조 공정
 - 7.2.2 결정 구조 및 분자 구성
 - 7.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성
 - 7.2.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성
- 7.3 기타 텅스텐 황화물 및 인화물
 - 7.3.1 제조 공정
 - 7.3.2 결정 구조 및 분자 구성
 - 7.3.3 열 안정성 및 화학적 안정성
 - 7.3.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

정보 참고원

참고 문헌

제 8 장: 유기 텅스텐 화합물의 제조 및 응용

- 8.1 육탄화 텅스텐 ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl)
 - 8.1.1 제조 공정
 - 8.1.2 결정 구조 및 분자 구성
 - 8.1.3 열 안정성 및 화학적 안정성
 - 8.1.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성
- 8.2 이염화 이피질 텅스텐 (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride)
 - 8.2.1 제조 공정
 - 8.2.2 결정 구조 및 분자 구성
 - 8.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성
 - 8.2.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성
- 8.3 기타 유기 텅스텐 화합물
 - 8.3.1 제조 공정
 - 8.3.2 결정 구조 및 분자 구성
 - 8.3.3 열 안정성 및 화학적 안정성
 - 8.3.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

정보 참고원

참고 문헌

제 9 장: 텅스텐 함유 촉매 및 시약의 제조 및 응용

- 9.1 인 텅스텐 산 ($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)
 - 9.1.1 제조 공정
 - 9.1.2 결정 구조 및 분자 구성
 - 9.1.3 열 안정성 및 화학적 안정성
 - 9.1.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성
- 9.2 실리콘 텅스텐 산 ($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid)
 - 9.2.1 제조 공정
 - 9.2.2 결정 구조 및 분자 구성

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- 9.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성
- 9.2.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성
- 9.3 기타 텅스텐 함유 촉매 및 시약
- 9.3.1 제조 공정
- 9.3.2 결정 구조 및 분자 구성
- 9.3.3 열 안정성 및 화학적 안정성
- 9.3.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

정보 참고원

참고 문헌

제 10 장: 텅스텐 함유 의약 화학물질의 제조 및 응용

10.1 텅스텐산나트륨 나노입자 (Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)

- 10.1.1 제조 공정
- 10.1.2 결정 구조 및 분자 구성
- 10.1.3 열 안정성 및 화학적 안정성
- 10.1.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

10.2 다텅스텐산염 나노입자 (Polyoxotungstate Nanoparticles)

- 10.2.1 제조 공정
- 10.2.2 결정 구조 및 분자 구성
- 10.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성
- 10.2.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

10.3 기타 텅스텐 함유 의약 화학물질

- 10.3.1 제조 공정
- 10.3.2 결정 구조 및 분자 구성
- 10.3.3 열 안정성 및 화학적 안정성
- 10.3.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

정보 참고원

참고 문헌

제 11 장: 기타 텅스텐 비금속 화합물의 제조 및 응용

11.1 이셀렌화 텅스텐 (WSe_2 , Tungsten Diselenide)

- 11.1.1 제조 공정
- 11.1.2 결정 구조 및 분자 구성
- 11.1.3 열 안정성 및 화학적 안정성
- 11.1.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

11.2 텅스텐 이텔루라이드 (WTe_2 , Tungsten Ditelluride)

- 11.2.1 제조 공정
- 11.2.2 결정 구조 및 분자 구성
- 11.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성
- 11.2.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

11.3 기타 텅스텐 비금속 화합물

- 11.3.1 제조 공정
- 11.3.2 결정 구조 및 분자 구성
- 11.3.3 열 안정성 및 화학적 안정성
- 11.3.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

정보 참고원

참고 문헌

제 12 장: 텅스텐 화학물질의 환경 영향 및 재활용

- 12.1 텅스텐 화학물질의 환경 영향 개요
 - 12.1.1 채굴 및 생산의 환경 영향
 - 12.1.2 사용 및 폐기의 환경 영향
 - 12.1.3 환경 규제 및 관리
- 12.2 텅스텐 화학물질의 재활용 기술
 - 12.2.1 습식 재활용 기술
 - 12.2.2 고온 재활용 기술
 - 12.2.3 전기화학적 재활용 기술
- 12.3 텅스텐 화학물질 재활용 활용의 응용
 - 12.3.1 산업 재활용
 - 12.3.2 연구 및 신흥 분야
 - 12.3.3 환경 효과

정보 참고원

참고 문헌

제 13 장: 드물게 사용되는 텅스텐 화학물질

- 13.1 드물게 사용되는 텅스텐 화학물질 개요
 - 13.1.1 드물게 사용되는 텅스텐 화합물의 식별
 - 13.1.2 화합물 추론 및 재검토 방법
- 13.2 텅스텐 실리사이드 (WSi₂, Tungsten Disilicide)
 - 13.2.1 제조 공정
 - 13.2.2 결정 구조 및 분자 구성
 - 13.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성
 - 13.2.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성
 - 13.2.5 응용 및 배경
- 13.3 텅스텐 보라이드 (WB, Tungsten Boride)
 - 13.3.1 제조 공정
 - 13.3.2 결정 구조 및 분자 구성
 - 13.3.3 열 안정성 및 화학적 안정성
 - 13.3.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성
 - 13.3.5 응용 및 배경
- 13.4 기타 누락 및 추론 화합물
 - 13.4.1 텅스텐 시안화물 (W(CN)₂, Tungsten Dicyanide)
 - 13.4.2 텅스텐 게르마늄화물 (WGe₂, Tungsten Digermanide)

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- 13.4.3 텅스텐 비소화물 (WAs_2 , Tungsten Diarsenide)
- 13.4.4 텅스텐 몰리브데이트 ($WMoO_4$, Tungsten Molybdate)
- 13.4.5 재검토 및 검증

정보 참고원

참고 문헌

부록: 본서에서 다른 텅스텐 화학물질 및 화합물 목록 (제품 카테고리별 분류)

1. 산화물 (Oxides)
2. 텅스텐산 및 텅스텐염 (Tungstic Acids and Tungstates)
3. 할로겐화물 (Halides)
4. 탄화물 및 질화물 (Carbides and Nitrides)
5. 황화물 및 인화물 (Sulfides and Phosphides)
6. 셀레늄화물 및 텔루르화물 (Selenides and Tellurides)
7. 실리사이드 및 게르마늄화물 (Silicides and Germanides)
8. 보라이드 및 비소화물 (Borides and Arsenides)
9. 유기화합물 (Organometallic Compounds)
10. 텅스텐 포함 의약 화학물질 (Tungsten-Containing Pharmaceutical Chemicals)

제 14 장: 텅스텐의 안전한 생산 및 사용

14.1 텅스텐 화학물질 생산의 안전 규정

14.1.1 생산 과정에서의 위험 평가

14.1.1.1 고온 고압 작업 위험

14.1.1.2 유독 가스 배출 제어

14.1.2 안전 장비 및 보호 조치

14.1.2.1 환기 및 방폭 시설

14.1.2.2 개인 보호 장비 (PPE)

14.1.3 국제 안전 기준 및 규정

14.1.3.1 OSHA 및 ECHA 규정

14.1.3.2 중국 안전 생산 기준

14.2 텅스텐 화학물질 사용 중의 안전 관리

14.2.1 산업 사용 중의 안전 작업 지침

14.2.1.1 저장 및 운송 요구 사항

14.2.1.2 폐기물 처리 및 유출 비상 대응

14.2.2 실험실 사용 중의 안전 주의 사항

14.2.2.1 시약 작업 및 폐기물 관리

14.2.3 의약 용도의 생물 안전성

14.2.3.1 텅스텐 산업 의약물질의 독성 평가

14.3 주요 텅스텐 화학물질의 MSDS (물질안전보건자료) 샘플

14.3.1 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide) MSDS

14.3.1.1 화학물질 식별 및 성분

14.3.1.2 위험성 개요

14.3.1.3 작업 및 저장 요구 사항

14.3.1.4 비상 처리 조치

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- 14.3.2 탄화텅스텐 (WC, Tungsten Carbide) MSDS
 - 14.3.2.1 화학물질 식별 및 성분
 - 14.3.2.2 위험성 개요
 - 14.3.2.3 작업 및 저장 요구 사항
 - 14.3.2.4 비상 처리 조치
- 14.3.3 텅스텐 나트륨 (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) MSDS
 - 14.3.3.1 화학물질 식별 및 성분
 - 14.3.3.2 위험성 개요
 - 14.3.3.3 작업 및 저장 요구 사항
 - 14.3.3.4 비상 처리 조치
- 14.3.4 육플루오르화텅스텐 (WF_6 , Tungsten Hexafluoride) MSDS
 - 14.3.4.1 화학물질 식별 및 성분
 - 14.3.4.2 위험성 개요
 - 14.3.4.3 작업 및 저장 요구 사항
 - 14.3.4.4 비상 처리 조치
- 14.3.5 기타 주요 텅스텐 화학물질 MSDS 샘플 (예: APT, WS_2 등)
- 14.4 텅스텐 화학물질 안전 기술의 미래 발전
 - 14.4.1 AI의 안전 생산에서의 응용
 - 14.4.2 친환경 안전 기술 동향

정보 참고원

참고 문헌

- 부록: 최신판 《화학물질 안전 매뉴얼》(중국어 번역), OSHA, 워싱턴 D.C.
- 부록: 최신판 《텅스텐 화학물질 MSDS》(다국어), ECHA, 헬싱키
- 부록: 텅스텐 화학물질 안전 계수 설명서 (MSDS)

제 15 장: 중국, 일본, 유럽, 미국 등 주요 국가의 텅스텐 산업 규제 및 세금 정책

- 15.1 텅스텐 산업 정책 개요
 - 15.1.1 텅스텐 산업의 글로벌 전략적 중요성
 - 15.1.2 국가별 정책 목표 및 주요 차이점
- 15.2 탐사 및 채굴 정책
 - 15.2.1 중국의 탐사 및 채굴 정책
 - 15.2.2 유럽 및 미국의 탐사 및 채굴 정책
 - 15.2.3 일본과 한국의 탐사 및 채굴 정책
- 15.3 제련 및 생산 가공 정책
 - 15.3.1 중국의 제련 및 생산 가공 정책
 - 15.3.2 유럽 및 미국의 제련 및 생산 가공 정책
 - 15.3.3 일본과 한국의 제련 및 생산 가공 정책
- 15.4 수출입 정책 및 규제
 - 15.4.1 중국의 수출입 정책
 - 15.4.2 유럽 및 미국의 수출입 정책
 - 15.4.3 일본과 한국의 수출입 정책
- 15.5 세금 정책

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- 15.5.1 중국의 세금 정책
- 15.5.2 유럽 및 미국의 세금 정책
- 15.5.3 일본과 한국의 세금 정책

정보 참고원

참고 문헌

부록: 《중화인민공화국 이중용도 품목 수출 규제 목록》에 포함된 텅스텐 제품 목록

부록: 텅스텐 화학물질의 세계 각국 주요 산업 표준

- 중국 텅스텐 화학물질 및 화합물 주요 산업 표준
- 미국 텅스텐 화학물질 및 화합물 주요 산업 표준
- 유럽연합 텅스텐 화학물질 및 화합물 주요 산업 표준
- 일본 텅스텐 화학물질 및 화합물 주요 산업 표준
- 한국 텅스텐 화학물질 및 화합물 주요 산업 표준
- 국제 텅스텐 화학물질 및 화합물 주요 산업 표준

부록: 텅스텐 화합물의 화학식 및 성질 표

부록: 텅스텐 화합물의 명칭, CAS 번호, 화학식 및 성질 전체 표

1. 텅스텐 산화물 (Tungsten Oxides)
2. 텅스텐산 및 텅스텐염 (Tungstic Acids and Tungstates)
3. 텅스텐의 할로겐화물 (Halides of Tungsten)
4. 텅스텐의 황화물 및 셀레늄화물 (Sulfides and Selenides of Tungsten)
5. 텅스텐의 텔루르화물 (Tellurides of Tungsten)
6. 텅스텐의 실리사이드 (Silicides of Tungsten)
7. 텅스텐의 비소화물 (Arsenides of Tungsten)
8. 텅스텐의 유기화합물 (Organometallic Compounds of Tungsten)
9. 텅스텐 촉매 및 시약 (Tungsten-Containing Catalysts and Reagents)

부록: 텅스텐 화학물질 생산에 필요한 장비 명칭, 사양, 기능 설명, 장점 및 단점

1. 광석 처리 및 전처리 장비
2. 제련 및 화학 반응 장비
3. 정제 및 분리 장비
4. 건조 및 후처리 장비
5. 보조 및 환경 보호 장비

부록: 육플루오르화텅스텐(WF₆) 생산 장비 목록

- 핵심 생산 장비
- 검사 및 모니터링 장비
- 보조 및 안전 장비
- 자동화 제어 시스템

부록: 이황화텅스텐(WS₂) 생산 장비 상세 목록

- 핵심 생산 장비
- 보조 및 검사 장비



제 1 장: 텅스텐 원소 개요

1.1 텅스텐의 발견과 역사

텅스텐(W, Tungsten) (원소 기호 W)의 발견과 연구 역사는 몇 세기에 걸쳐 이루어졌습니다. 초기에는 무의식적인 사용에서부터 현대 과학의 체계적인 탐구에 이르기까지, 이는 인간이 이 고융점 금속을 점차적으로 이해해온 과정을 반영합니다. 이하 텅스텐(W, Tungsten) 발견과 역사적 발전의 중요한 시간대와 사건들을 정리한 것입니다.

1.1.1 발명과 발견의 간략한 역사

텅스텐(W, Tungsten)의 발견은 단번에 이루어진 것이 아니라, 광물 인식에서부터 원소 분리까지 긴 과정을 거쳤습니다.

1.1.1.1 스웨덴 화학자 크론스테트의 초기 발견 (1755년, 스웨덴어 문헌)

1755년, 스웨덴의 광물학자 악셀 프레드리히 크론스테트(Axel Fredrik Cronstedt)는 스웨덴 비스버그(Bispberg) 철광석을 연구하는 과정에서 비정상적으로 무겁고 흰색의 광물을 발견했습니다. 그는 이를 "텅스텐"(스웨덴어 "무거운 돌")이라고 명명했으며, 이는 후에 백텅스텐광(CaWO_4 , Scheelite)으로 알려지게 되었습니다. 크론스테트는 텅스텐(W, Tungsten) 원소를 분리하지는 않았지만, 이 광물이 일반적인 광물보다 밀도가 훨씬 높다는 것을 알아차렸고, 이를 스웨덴어 문헌에 처음 기록했습니다 [1]. 이 발견은 텅스텐(W, Tungsten)이 과학적 관점에 처음 등장한 중요한 전환점을 나타냅니다.

참고

이 시점에서 "텅스텐"은 단지 광석을 지칭한 것이며, 새로운 원소로 인식되거나 화학적 특성이 명확하게 밝혀지지 않았습니다.



1.1.1.2 셰를의 텅스텐산 분리 (1781년, 독일어 문헌)

1781년, 스웨덴의 유명한 화학자 칼 윌헬름 셰를(Carl Wilhelm Scheele)은 백텅스텐광(CaWO_4 , Scheelite)을 심도 있게 분석했습니다. 그는 산 처리(질산 작용)를 통해 광석에서 흰색 분말 모양의 물질을 추출하고 이를 "텅스텐산" (H_2WO_4 , Tungstic Acid)이라고 명명했습니다. 셰를은 독일어 문헌에 그 화학 반응 특성을 자세하게 기술하며, 이 물질이 아직 알려지지 않은 금속과 관련이 있을 것이라고 추측했습니다 [2]. 그의 지도교수인 토르베른 베르그만(Torbern Bergman)은 텅스텐산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)을 목탄으로 환원시켜 금속을 만들자고 제안했으나, 기술적인 제한으로 실현되지 않았습니다.

인물

칼 윌헬름 셰를은 그의 뛰어난 화학 분리 기술로 유명하며, 이번 연구는 텅스텐(W, Tungsten) 원소의 최종 발견을 위한 기초를 마련했습니다.

참고

텅스텐산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)은 텅스텐(W, Tungsten) 화학 연구의 중요한 출발점으로, 이후 삼산화텅스텐과 같은 다른 텅스텐 화합물의 제조에 중요한 중간체가 되었습니다.

1.1.1.3 엘루야르 형제의 텅스텐 금속 정제 (1783년, 스페인어 문헌)

1783년, 스페인 화학자 후안 호세 엘루야르(Juan José Elhuyar)와 파우스토 엘루야르(Fausto Elhuyar)는 베르가라 신학교(Vergara Seminary)에서 텅스텐(W, Tungsten) 원소를 분리하는 작업을 완료했습니다. 그들은 흑텅스텐광($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite)에서 텅스텐산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)을 추출한 후, 목탄을 이용해 고온에서 이를 환원시켜 금속 텅스텐(W, Tungsten) 분말을 성공적으로 얻었습니다. 그들은 스페인어 문헌에서 이를 "울프람(wolfram)"이라고 명명했으며, 이는 독일 광부들이 흑텅스텐광($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite)을 부르는 속어 "늑대 거품"(주석

제련을 방해하는 특성에서 유래)에서 비롯되었습니다 [3].

인물

엘루야르 형제는 광물학과 화학 분야의 선구자로, 그들의 작업은 텅스텐(W, Tungsten)이 독립적인 원소로 존재함을 공식적으로 확립했습니다.

국가

스페인인 텅스텐(W, Tungsten) 발견 역사에서 중요한 위치를 차지합니다.

참고

이번 작업은 텅스텐(W, Tungsten) 금속이 처음으로 분리된 사례로, 텅스텐(W, Tungsten) 원소의 응용 연구 역사를 여는 계기가 되었습니다.

1.1.2 텅스텐의 명명과 다국어 명칭

텅스텐 (W, Tungsten)의 명명은 그 발견의 다양한 문화적 배경을 반영합니다. 스웨덴어 “tungsten” (무거운 돌)은 크론스태트의 설명에서 유래되었으며, 높은 밀도 특성을 강조합니다; 독일어와 스페인어에서 “wolfram”은 엘루야르 형제가 명명하였으며, 이는 블랙 텅스텐 광석 ((Fe, Mn)WO₄, Wolframite)의 역사적 이름에서 유래합니다. 현재 “tungsten”은 영어 및 국제적으로 통용되는 명칭(화학 원소 기호 W)으로 사용되고 있으며, “wolfram”은 여전히 독일어, 스페인어 등의 유럽 언어에서 널리 사용됩니다. 중국어에서는 “钨”라는 글자가 “금”(金)과 “까만”(乌)으로 구성되어 있어, 금속 특성과 어두운 색상을 의미합니다 [4].

팁

이 명칭의 다국어 차이는 텅스텐 (W, Tungsten) 발견의 국제적인 과정을 반영하며, 국제 무역에서 구매 관리자들이 이러한 용어를 잘 이해하는 것이 중요합니다.

1.1.3 초기 산업 응용의 시작 (19세기, 영어, 프랑스어 문헌)

19세기 초, 산업 혁명의 진전과 함께 텅스텐 (W, Tungsten)의 특성이 점차 인식되었습니다. 영국 화학자 로버트 디킨슨 옥슬랜드(Robert Dickinson Oxland)는 1841년에 텅스텐산나트륨 (Na₂WO₄, Sodium Tungstate), 텅스텐산 (H₂WO₄, Tungstic Acid), 그리고 텅스텐 (W, Tungsten) 금속의 생산 특허를 얻었으며, 이는 텅스텐 (W, Tungsten) 화학 제품의 산업화 시도를 의미합니다 [5]. 1847년에 텅스텐산나트륨 (Na₂WO₄, Sodium Tungstate)은 면직물 염색 및 연극 의상의 방화 처리에 사용되었으며, 텅스텐 (W, Tungsten) 화학 제품의 가장 초기 산업 응용 중 하나로 기록되었습니다 [6].

팁

19세기의 산업 응용은 특히 텅스텐산나트륨 (Na₂WO₄, Sodium Tungstate)의 방화 용도가 오늘날까지 이어지는 등 텅스텐 (W, Tungsten)의 상업화에 중요한 기초를 마련했습니다.

1.2 텅스텐의 자연 존재 형태

텅스텐(W, Tungsten)은 주로 광물 형태로 자연에서 존재하며, 그 분포와 채굴은 텅스텐 화학 제품의 산업 생산에 매우 중요합니다.

1.2.1 전 세계 텅스텐 광물의 종류와 분포

텅스텐(W, Tungsten) 광물에는 여러 종류가 있으며, 주요 광물은 다음과 같습니다:

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

1.2.1.1 울프라이트(Wolframite)

울프라이트($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite)는 철-망간 텅스텐 산업 광물로, 검정색 또는 진한 갈색을 띠며 텅스텐(W, Tungsten)의 주요 광석 중 하나입니다. 이 광물은 'wolfram'으로 명명되었으며, 주석 제련에서 거품이 발생하여 '늑대 거품'이라는 이름이 붙여졌습니다.

1.2.1.2 셰일라이트(Scheelite)

셰일라이트(CaWO_4 , Scheelite)는 칼슘 텅스텐 산업으로, 하얀색 또는 연한 노란색을 띠며, 높은 밀도 때문에 스웨덴에서 '무거운 돌'로 불립니다. 이 광물은 자외선 아래에서 파란색 형광을 발산하며, 텅스텐 산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)을 추출하는 데 사용됩니다.

1.2.1.3 기타 소량 텅스텐 광물(예: 텅스텐 망간광)

기타 텅스텐(W, Tungsten) 광물로는 텅스텐 망간광(MnWO_4 , Hübnerite)과 철 텅스텐광(FeWO_4 , Ferberite)이 있으며, 이들은 울프라이트($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite)의 변종으로, 일부 지역(예: 미국, 볼리비아)에서 채굴이 가능합니다.

소팅

울프라이트($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite)와 셰일라이트(CaWO_4 , Scheelite)는 산업 생산용 텅스텐 트리옥사이드(WO_3 , Tungsten Trioxide)와 암모늄 과탄스태이트(APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Ammonium Paratungstate)의 주요 원료로 사용되며, 구매 시 품위와 불순물 함량에 주의해야 합니다.

1.2.2 주요 생산국과 매장량

텅스텐(W, Tungsten)은 희귀 금속으로, 그 매장량과 생산은 몇몇 국가에 집중되어 있습니다:

1.2.2.1 중국(전 세계 매장량의 약 60%)

중국은 세계 최대의 텅스텐(W, Tungsten) 매장량(약 190 만 톤, 전 세계 매장량의 60%)과 생산량(2023년 기준, 전 세계 생산량의 약 80%)을 보유하고 있습니다. 주요 광산 지역은 남령 지역의 울프라이트($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite)와 셰일라이트(CaWO_4 , Scheelite)입니다.

1.2.2.2 러시아, 베트남, 캐나다, 호주 등

러시아(극동 지역, 매장량 약 25 만 톤), 베트남(Nui Phao 광산, 세계 주요 울프라이트($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite) 공급원), 캐나다(Cantung 광산), 호주(King Island 광산)도 주요 텅스텐(W, Tungsten) 생산국이지만 생산량은 중국에 비해 적습니다.

1.2.3 주요 지역의 텅스텐 광산 채굴

중국 남령

강서 간주, 후난 주주 등 지역은 세계 최대의 텅스텐 광산대이며, 흑텅스텐광($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite)과 백텅스텐광(CaWO_4 , Scheelite)을 생산합니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

러시아 극동

흑텅스텐광($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite)을 중심으로 국내 및 국제 시장에 공급됩니다.

기타 지역

볼리비아(Llallagua 광산), 포르투갈(Panasqueira 광산) 등에서도 일부 채굴이 이루어집니다.

팁

중국은 텅스텐 자원의 이점을 바탕으로 세계에서 가장 중요한 텅스텐 화합물 생산국이므로, 수출 규제 정책(예: 2025년 중국의 텅스텐 화합물 제한)을 주의해야 합니다.

1.3 텅스텐의 물리적 및 화학적 성질

물리적 성질 (녹는점 3410°C , 밀도 19.25 g/cm^3)

텅스텐(W, Tungsten)은 가장 높은 녹는점(3410°C)과 매우 높은 밀도(19.25 g/cm^3)를 가지고 있으며, 이는 몇몇 귀금속을 제외하면 가장 높은 값입니다. 또한 경도(모스 경도 약 7.5)가 일반 금속보다 높습니다. 이러한 특성은 19세기 초 과학자들에 의해 실험적으로 확인되었습니다. 예를 들어, 영국의 헨리 카벤디시(Henry Cavendish)와 프랑스의 조제프 루이 프루스트(Joseph-Louis Proust)가 이를 확인했습니다 [8].

팁

높은 녹는점으로 인해 텅스텐(W, Tungsten)은 탄화텅스텐 분말(WC, Tungsten Carbide Powder)과 텅스텐 와이어(W Wire, Tungsten Wire) 등의 고온 환경에서 이상적인 재료로 사용됩니다.

화학적 성질 (+2 부터 +6 산화 상태, 내식성)

텅스텐(W, Tungsten)은 +2 부터 +6 까지 여러 산화 상태를 가지며, 가장 안정적인 상태는 +6 으로, 이는 텅스텐 삼산화물(WO_3 , Tungsten Trioxide)입니다. 일반 온도에서 산과 염기에 대해 내식성이 뛰어나지만, 고온의 산화 분위기에서는 삼산화텅스텐(WO_3 , Tungsten Trioxide)을 형성합니다. 러시아의 화학자 드미트리 멘델레예프(Dmitry Mendeleev)는 주기율표 연구에서 텅스텐(W, Tungsten)의 전이 금속 특성을 확인했습니다 [9].

팁

내식성 덕분에 텅스텐 산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)과 텅스텐 산나트륨(Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)은 화학 및 제약 분야에서 잠재력을 지닙니다.

다국적 문헌에서의 특성 기술 (러시아어, 일본어, 아랍어 등)

러시아어 문헌

19세기 러시아 학자들은 텅스텐(W, Tungsten)의 높은 경도와 내열성을 설명하며, 금속학에서의 잠재력을 강조했습니다 [10].

일본어 문헌

20세기 초, 일본 연구자들은 텅스텐(W, Tungsten)이 전자 산업에서의 전도성에 주목했습니다, 예를 들어 텅스텐 와이어(W Wire, Tungsten Wire) [11].

아랍어 문헌

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

중동 지역의 광물학 기록에서는 텅스텐(W, Tungsten) 광물의 높은 밀도 특성을 언급하고 있습니다 [12].

팁

다국적 연구는 텅스텐(W, Tungsten)에 대한 세계적인 관심을 보여줍니다. 구매 시 각국 표준을 참고할 수 있습니다 (예: 일본 JIS 에서 텅스텐 와이어(W Wire, Tungsten Wire)의 규격).

1.4 텅스텐 화학 제품의 산업 및 연구 가치

텅스텐 화학 제품(W Chemicals, Tungsten Chemicals)은 그 다양성과 고성능 덕분에 산업 및 연구에서 중요한 위치를 차지하고 있습니다.

1.4.1 글로벌 산업 수요 개요

텅스텐(W, Tungsten) 화학 제품인 삼산화텅스텐(WO_3 , Tungsten Trioxide), 탄화텅스텐 분말(WC, Tungsten Carbide Powder), 암모늄 과텅스텐산염(APT, $(NH_4)_2WO_4$, Ammonium Paratungstate)은 산업 생산의 기초 원료입니다. 국제텅스텐협회(ITIA)와 미국지질조사국(USGS)의 데이터에 따르면, 2023년 글로벌 텅스텐(W, Tungsten) 제품 시장 규모는 약 400억 달러였으며, 그중 경질합금(탄화텅스텐 분말(WC, Tungsten Carbide Powder)을 핵심으로 하는)은 약 50%를 차지하며 시장 가치가 약 200억 달러에 달합니다. 이는 절삭 도구, 채굴 장비, 내마모 부품 등 다양한 분야에 사용됩니다. 전자 재료는 반도체 제조에 사용되는 육불화텅스텐(WF_6 , Tungsten Hexafluoride)과 열분산용 텅스텐-구리(W-Cu, Tungsten Copper) 합금이 약 20%를 차지하며, 시장 규모는 약 80억 달러입니다. 또한 고온 합금 및 항공우주 응용 분야(텅스텐합금(W Alloy, Tungsten Alloy)의 평형추 및 로켓 노즐 등)는 약 15%로 약 60억 달러를 차지합니다. 나머지 15%는 신재생 에너지 분야(예: 태양광 절단용 텅스텐 와이어(W Wire, Tungsten Wire)) 및 기타 산업 용도에 해당하며, 총 약 60억 달러입니다. 2023년 글로벌 텅스텐(W, Tungsten) 총 소비량은 약 85,000톤으로, 그중 중국은 약 68,000톤을 차지하며, 미국과 유럽은 각각 약 8,000톤과 6,000톤을 소비했습니다. 이는 중국이 텅스텐(W, Tungsten) 산업에서 주도적인 위치를 차지하고 있음을 나타냅니다. 또한 텅스텐(W, Tungsten)은 신재생 에너지 분야에서 수요가 크게 증가하고 있으며, 태양광 산업은 매년 약 500톤의 텅스텐 와이어(W Wire, Tungsten Wire)를 소비하며, 2030년까지 800톤으로 증가할 것으로 예상됩니다. 핵 산업은 텅스텐 합금(W Alloy, Tungsten Alloy)에 대한 수요가 매년 약 10% 증가하고 있으며, 특히 핵융합 장치에의 응용이 증가하고 있습니다 [13].

팁

탄화텅스텐 분말(WC, Tungsten Carbide Powder)은 경질합금의 핵심이며, 구매 시 그 분포 크기(D50)가 성능에 미치는 영향을 고려해야 합니다. 예를 들어, 1-5 μm 의 초미세 분말은 경도와 내마모성을 향상시킬 수 있습니다.

1.4.2 연구 분야의 전략적 의의

텅스텐(W, Tungsten) 화학 제품은 연구 분야에서 새로운 재료 개발에 사용됩니다. 예를 들어, 황화텅스텐(WS_2 , Tungsten Disulfide)의 2차원 재료 연구, 육불화텅스텐(WF_6 , Tungsten Hexafluoride)의 반도체 응용, 그리고 텅스텐 나트륨(Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)의 생의학적 잠재력 연구 등이 있습니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

국제핵융합실험로(ITER) 프로젝트에서 텅스텐(W, Tungsten)의 고융점 특성은 플라즈마 접촉 재료(PFM)로 활용됩니다. 또한, 텅스텐합금(W Alloy, Tungsten Alloy)은 항공우주 분야에서도 널리 사용됩니다 [14].

팁

텅스텐(W, Tungsten) 화학 제품의 연구 가치는 삼산화텅스텐(WO₃, Tungsten Trioxide)의 광촉매 분야 응용을 촉진하고 있으며, 구매 시 순도와 결정형에 주의해야 합니다. 예를 들어, 단사형 결정이 광촉매제로 더 적합합니다.

정보 참조 원

- [1] 《텅스텐의 역사와 응용》(스웨덴어) - KTH 왕립공대, 스톡홀름, 1990
- [2] 《텅스텐 화학의 간략한 역사》(영어) - 미국 지질 조사국 (USGS), 워싱턴 D. C., 2005
- [3] 중텅스텐 온라인: www.chinatungsten.com
- [15] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn

참고 문헌

- [1] 《텅스텐의 역사와 응용》(스웨덴어) - KTH 왕립공대, 스톡홀름, 1990
- [2] 《텅스텐 화학의 간략한 역사》(영어) - 미국 지질 조사국 (USGS), 워싱턴 D. C., 2005
- [3] 중텅스텐 온라인: www.chinatungsten.com
- [4] 《텅스텐 원소 명명 연구》(다국어) - 국제순수응용화학연합 (IUPAC), 런던, 1990
- [5] 《영국 산업 혁명에서의 텅스텐 응용》(영어) - 왕립화학회, 런던, 1985
- [6] 《텅스텐 화학 제품의 초기 산업화》(프랑스어) - 프랑스화학회, 파리, 1990
- [7] 《세계 텅스텐 자원 분포 보고서》(영어) - 미국 지질 조사국 (USGS), 워싱턴 D. C., 2023
- [8] 《텅스텐의 물리적 특성 연구》(영어) - 왕립학회 철학적 거래, 런던, 1810
- [9] 《주기율표에서의 텅스텐》(러시아어) - 러시아 화학회, 모스크바, 1870
- [10] 《러시아에서의 텅스텐 금속 응용》(러시아어) - 모스크바 대학 화학과, 모스크바, 1890
- [11] 《일본 전자 산업에서의 텅스텐 응용》(일본어) - 도쿄공업대학 연구보고서, 도쿄, 1925
- [12] 《아랍 지역의 광물학 기록》(아랍어) - 카이로 대학 지질학부, 카이로, 1900
- [13] 《2023 년 세계 텅스텐 제품 시장 분석》(영어) - ITIA, 런던, 2023
- [14] 《연구에서의 텅스텐의 첨단 응용》(영어) - 미국 국립보건원 (NIH), 베세스다, 2018
- [15] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn



제 2 장: 텅스텐 화학물질의 기본 분류 및 특성

2.1 텅스텐 화학물질의 분류

텅스텐(W, Tungsten) 화학물질은 텅스텐(W) 원소에서 유도된 다양한 화합물을 말하며, 고온에서의 높은 용융점, 고밀도, 내식성 등의 독특한 특성으로 산업과 연구 분야에서 널리 사용됩니다. 이러한 화학물질은 그 화학적 구성과 구조에 따라 분류되며, 이는 다양한 기술 및 과학 분야에서 그 역할을 반영합니다. 다음은 텅스텐 화학물질(W Chemicals, Tungsten Chemicals)의 체계적인 분류입니다.

2.1.1 산화물 계열

텅스텐(W, Tungsten) 산화물은 텅스텐(W)과 산소가 결합하여 형성된 화합물로, 그 안정성 및 광학적 특성으로 인해 촉매, 전자 및 세라믹 분야에서 널리 사용됩니다. 주요 화합물은 다음과 같습니다:

- **삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)**
노란색에서 녹색까지의 분말로, 가장 안정적이고 일반적인 산화물이며, 광촉매 및 전기변색 장치에 사용됩니다.
- **이산화텅스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)**
갈색 결정체로, 전자 재료의 중간체로 사용됩니다.
- **오산화이텅스텐 (W_2O_5 , Ditungsten Pentoxide)**
비정형 산화물로, 나노 재료 연구에 사용됩니다.
- **청색텅스텐 ($W_{18}O_{49}$ 또는 $W_{20}O_{58}$, Tungsten Blue Oxide)**
청색 화합물로, 광전 특성이 있어 센서 및 광전 재료에 사용됩니다.

2.1.2 텅스텐산 및 텅스텐산염 계열

텅스텐산 (H_2WO_4 , Tungstic Acid)과 그 염들은 화학 합성 및 산업 응용에서 중요한 중간체 및 기능성 물질로 사용됩니다. 주요 화합물은 다음과 같습니다:

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- 텅스텐산 (H_2WO_4 , Tungstic Acid)
노란색 분말로, 다른 텅스텐 화합물의 전구체로 사용됩니다.
- 텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)
수용성 백색 결정체로, 방화 재료 및 생의학 연구에 사용됩니다.
- 암모늄 파라텅스텐산 (APT, $(NH_4)_2WO_4$, Ammonium Paratungstate)
백색 결정체로, 텅스텐 분말 생산의 주요 원료입니다.
- 메타텅스텐산암모늄 ($(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40}$, Ammonium Metatungstate)
다핵 텅스텐 산염으로, 분석 시약 및 촉매에 사용됩니다.
- 칼슘텅스텐산 ($CaWO_4$, Calcium Tungstate)
형광 화합물로, X선 차폐 및 발광 재료로 사용됩니다.

2.1.3 할로젠화물 계열

텅스텐(W, Tungsten) 할로젠화물은 할로젠 원소와 결합하여 형성된 휘발성 화합물로, 박막 증착 및 유기 합성에서 중요한 역할을 합니다. 주요 화합물은 다음과 같습니다:

- 육염화텅스텐 (WCl_6 , Tungsten Hexachloride)
휘발성 화합물로, 유기 반응 촉매로 사용됩니다.
- 육불화텅스텐 (WF_6 , Tungsten Hexafluoride)
기체 화합물로, 반도체 제조에서 화학 기상 증착에 널리 사용됩니다.

2.1.4 탄화물 및 질화물 계열 텅스텐(W, Tungsten) 탄화물과 질화물은 내구성이 뛰어난 내화성 재료로, 산업 분야에서 높은 평가를 받습니다. 주요 화합물은 다음과 같습니다:

- 탄화텅스텐 분말(WC, Tungsten Carbide Powder)
고경도의 화합물로, 절삭 도구 및 내마모 코팅에 사용됩니다.
- 이탄화텅스텐(W_2C , Ditungsten Carbide)
덜 알려진 탄화물로, 특수 코팅에 사용됩니다.
- 질화텅스텐(WN, Tungsten Nitride)
내마모성 박막과 전자 응용 분야에 사용됩니다.

2.1.5 황화물 및 인화물 계열 텅스텐(W, Tungsten) 황화물과 인화물은 그 윤활성 및 촉매 성능으로 유명합니다. 주요 화합물은 다음과 같습니다:

- 황화텅스텐(WS_2 , Tungsten Disulfide)
층상 화합물로, 고체 윤활제 및 이차원 물질 연구에 사용됩니다.
- 인화텅스텐(WP, Tungsten Phosphide)
화학 공정에서 촉매 재료로 사용됩니다.

2.1.6 유기텅스텐 화합물 계열 유기텅스텐 화합물은 텅스텐(W, Tungsten)과 유기기가 결합된 화합물로, 촉매 및 합성 화학에서 중요한 역할을 합니다. 주요 화합물은 다음과 같습니다:

- 육탄화텅스텐($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl)
휘발성 유기금속 화합물로, 유기 합성 촉매로 사용됩니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

2.1.7 텅스텐 함유 촉매 및 시약 계열 이 화합물들은 텅스텐(W, Tungsten)의 촉매 성능을 활용하여 산업 및 실험실에서 사용됩니다. 주요 화합물은 다음과 같습니다:

- 인텅스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)
다핵산으로, 유기 반응 촉매로 사용됩니다.

2.1.8 텅스텐 함유 의약 화학물 계열 생물 의학적 잠재력을 지닌 텅스텐(W, Tungsten) 화합물은 연구에서 점차 중요성이 커지고 있습니다. 주요 화합물은 다음과 같습니다:

- 텅스텐산나트륨 나노입자(Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)
당뇨병 연구에서 사용되는 나노 약물입니다.

2.1.9 기타 텅스텐 함유 비금속 화합물 계열 이 계열에는 독특한 성능을 가진 특수 화합물이 포함됩니다. 주요 화합물은 다음과 같습니다:

- 이셀렌화텅스텐(WSe_2 , Tungsten Diselenide)
전자 및 광전자 분야에서 사용되는 반도체 물질입니다.

유용한 팁

텅스텐(W, Tungsten) 화합물의 분류는 그 구조적 다양성과 다용도 특성을 반영하며, 산업용 경질 합금부터 최첨단 과학 연구에 이르기까지 광범위한 응용 분야를 가지고 있습니다.

2.2 텅스텐 화합물질의 기본 특성

텅스텐(W, Tungsten) 화합물질은 다양한 물리적 및 화학적 특성을 가지고 있어 널리 사용되는 기초가 됩니다. 주요 특성은 다음과 같습니다.

2.2.1 결정 구조 및 분자 구성

텅스텐(W, Tungsten) 화합물질의 결정 구조는 성분에 따라 달라집니다. 예를 들어, 텅스텐 삼산화물(WO_3 , Tungsten Trioxide)은 일반적으로 단사 결정 구조를 가지고 있어 광촉매 활성도를 증가시킵니다. 이는 독일의 결정학 연구에서 자세히 기록되어 있습니다 [16]. 텅스텐 탄화물 분말(WC, Tungsten Carbide Powder)은 육방정계 결정 구조를 형성하여 뛰어난 경도를 부여하며, 텅스텐 이황화물(WS_2 , Tungsten Disulfide)은 층상 육방격자 구조를 가지고 있어 윤활 특성을 제공합니다 [17]. 이러한 구조 차이는 다국어 문헌에서 분석되었으며, 특정 응용 분야를 결정합니다.



팁

텅스텐(W, Tungsten) 화학 물질의 결정 구조, 예를 들어 황화텅스텐(WS_2 , Tungsten Disulfide)의 층상 특성은 윤활 등 특정 용도에서 성능에 매우 중요합니다.

2.2.2 열 안정성 및 화학적 안정성

텅스텐(W, Tungsten) 화학물질은 뛰어난 열 안정성과 화학적 안정성으로 유명합니다. 텅스텐 삼산화물(WO_3 , Tungsten Trioxide)은 공기 중에서 $1000^\circ C$ 까지 안정하여 고온 촉매에 적합하며, 러시아의 고온 화학 연구에서 이에 대해 깊이 연구되었습니다 [18]. 텅스텐 카바이드 분말(WC, Tungsten Carbide Powder)은 최대 $2600^\circ C$ 의 극한 조건에서도 분해되지 않으며, 절삭 공구에 매우 적합합니다. 텅스텐 나트륨(Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)은 수용액에서 화학적으로 안정하여 방화 재료로 사용됩니다 [19].

소비자 팁

텅스텐 카바이드 분말(WC, Tungsten Carbide Powder)의 열 안정성은 혹독한 산업 환경에서의 내구성을 보장합니다.

2.2.3 광학적, 전기적 및 자기적 특성

텅스텐(W, Tungsten) 화학물질은 고유한 광학적, 전기적 및 자기적 특성을 가지고 있습니다. 텅스텐 삼산화물(WO_3 , Tungsten Trioxide)은 전기색 변화를 나타내며 전압에 의해 색상이 변할 수 있습니다. 일본과 한국의 전자 재료 연구에서는 이를 스마트 창문에 널리 사용하고 있습니다 [20]. 텅스텐 디설파이드(WS_2 , Tungsten Disulfide)는 반도체 재료로, 밴드갭이 약 1.3 eV로 광전기 장치에 적합합니다. 텅스텐 헥사카르보닐($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl)은 두드러진 자기적 성질이 없지만, 휘발성으로 인해 박막 응용에서 우수한 성능을 발휘합니다 [21].

소비자 팁

텅스텐 삼산화물(WO_3 , Tungsten Trioxide)의 광학적 특성은 에너지 절약 기술(예: 전기색 변환 창문)의 핵심 재료로 사용됩니다.

정보 참조 출처

- [16] 《텅스텐 화학 기초》(독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 《텅스텐 화합물 특성》(러시아어) - 모스크바 국립대 화학과, 모스크바, 2000
- [20] 중텅스텐 온라인 공식 웨 WeChat
- [22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn

참고 문헌

- [1] 《텅스텐의 역사와 응용》(스웨덴어) - KTH 왕립 공대, 스톡홀름, 1990
- [2] 《텅스텐 화학의 간략한 역사》(영어) - U.S. 지질조사국 (USGS), 워싱턴 D.C., 2005
- [3] 중텅스텐 온라인: www.chinatungsten.com
- [4] 《텅스텐 원소 명명 연구》(다국어) - 국제 순수 및 응용 화학 연합 (IUPAC), 런던, 1990
- [5] 《영국 산업 혁명에서의 텅스텐 응용》(영어) - 왕립 화학회, 런던, 1985
- [6] 《텅스텐 화학 물질의 초기 산업화》(프랑스어) - 프랑스 화학학회, 파리, 1990
- [7] 《세계 텅스텐 자원 분포 보고서》(영어) - U.S. 지질조사국 (USGS), 워싱턴 D.C., 2023
- [8] 《텅스텐의 물리적 성질 연구》(영어) - 왕립 학회 철학 거래, 런던, 1810
- [9] 《주기율표에서의 텅스텐》(러시아어) - 러시아 화학회, 모스크바, 1870
- [10] 《러시아 금속 공학에서의 텅스텐 응용》(러시아어) - 모스크바 대학 화학과, 모스크바, 1890
- [11] 《일본 전자 산업에서의 텅스텐 응용》(일본어) - 도쿄 공업대학 연구 보고서, 도쿄, 1925
- [12] 《아랍 지역의 광물학 기록》(아랍어) - 카이로 대학 지질학과, 카이로, 1900
- [13] 《2023년 글로벌 텅스텐 제품 시장 분석》(영어) - 국제 텅스텐 협회 (ITIA), 런던, 2023
- [14] 《텅스텐의 연구에서의 최첨단 응용》(영어) - 미국 국립 보건원 (NIH), 베세스다, 2018
- [15] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn
- [16] 《텅스텐 화학 기초》(독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 《텅스텐 화합물 특성》(러시아어) - 모스크바 국립대 화학과, 모스크바, 2000
- [18] 《텅스텐 산화물 고온 화학》(러시아어) - 러시아 학술원, 모스크바, 1995
- [19] 《텅스텐 산업의 화학적 안정성》(영어) - 《재료 과학 저널》, 스프링거, 2000
- [20] 《텅스텐 산화물 전자 재료 연구》(일본어) - 도쿄대 출판사, 도쿄, 2010
- [21] 《유기 텅스텐 화합물》(영어) - 《유기 금속 화학》, 미국 화학회 출판, 2005
- [22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn



제 3 장: 텅스텐 산화물의 제조 및 응용

3.1 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)

삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)은 텅스텐 화학 제품 중 가장 대표적이고 응용이 광범위한 산화물 중 하나로, 높은 안정성, 전기색변화 특성 및 광촉매 능력 등 독특한 물리화학적 특성으로 인해 산업 생산, 전자 기술 및 신재생 에너지 분야에서 중요한 역할을 차지합니다. 텅스텐 화합물 가족의 핵심 구성원인 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)의 제조 공정과 응용 연구는 수백 년의 역사를 자랑하며, 초기 실험실 탐구에서부터 오늘날의 산업 생산에 이르기까지 인류가 텅스텐 자원을 어떻게 인식하고 활용했는지를 잘 보여줍니다.

3.1.1 제조 공정

삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)의 제조 방법은 다양하며, 전통적인 산업 기술과 현대의 고정밀 공정을 포함하여 다양한 응용 분야의 요구를 충족할 수 있습니다.

소성법 (고온 산화 분해)

소성법은 산업 생산에서 가장 일반적으로 사용되는 방법 중 하나로, 보통 아모늄 파라텅스테이트 (APT, $(NH_4)_2WO_4$) 또는 텅스틱산 (H_2WO_4 , Tungstic Acid)을 원료로 하여 600-900° C 의 산소 분위기에서 고온 분해를 통해 황색 또는 녹색의 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide) 분말을 생성합니다. 이 방법은 장비가 간단하고 조작이 용이하며 대규모 생산에 적합하여 중국의 텅스텐 가공 기업에서 널리 사용됩니다. 소성 과정 중 원료의 암모니아와 수분이 차례대로 증발하며, 순수한 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)이 남습니다. 그 결과 입자의 크기와 결정형은 온도와 분위기 조정에 따라 제어될 수 있습니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

습식 화학 침전법 (산화 추출)

습식 화학 침전법은 텅스텐 산염 용액(예: 텅스텐산 나트륨 (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate))을 산화하여 텅스틱산 (H_2WO_4 , Tungstic Acid)을 침전시킨 후, 이를 여과하고 세척한 뒤 열처리(일반적으로 $400\text{--}600^\circ\text{C}$)하여 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)으로 변환하는 방법입니다. 이 방법은 제품의 화학 순도를 정확하게 제어할 수 있으며, 나노 크기의 세밀한 입자를 생성할 수 있어 전자 산업과 연구용으로 고순도 재료가 필요한 경우에 적합합니다. 소성법에 비해 습식 화학법은 공정의 세밀한 조정에 중점을 두어 소량 생산 및 고부가가치 제품에 적합합니다.

기상 증착 기술 (CVD)

화학 기상 증착(CVD)은 고온(일반적으로 $500\text{--}800^\circ\text{C}$)에서 휘발성 전구체(예: 육플루오르화텅스텐 (WF_6 , Tungsten Hexafluoride))를 이용하여 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide) 박막을 증착하는 첨단 제조 기술입니다. 이 방법은 가스 센서 및 전기색변화 박막과 같은 정밀 전자 부품의 제조에 널리 사용되며, 균일하고 밀도가 높은 박막 구조를 생성할 수 있어 현대 고급 기술 제품의 요구를 충족시킵니다.

3.1.2 결정 구조와 분자 구성

삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)의 결정 구조는 그 성능의 기초가 되며, 일반적으로 단사정계 형태를 나타냅니다. 그러나 온도와 조건에 따라 입방정계 또는 직교정계로 나타날 수도 있습니다. 독일 결정학 연구에 따르면, 그 단사정계 구조는 텅스텐 원자와 산소 원자가 공각 결합을 통해 삼차원 네트워크를 형성하는 구조로, 이 구조는 우수한 광학적 및 전기적 특성을 부여합니다 [16]. 분자 구성 측면에서, 각 텅스텐 원자는 6개의 산소 원자와 결합하여 안정적인 팔면체 단위를 형성하며, 이러한 분자 배열은 고온과 화학 반응에서 우수한 성능을 발휘합니다.

3.1.3 열 안정성 및 화학 안정성

삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)은 공기 중에서 1000°C 이상에서도 안정적으로 존재할 수 있으며, 이는 매우 높은 열 안정성을 나타내며 고온 촉매, 광학 코팅 등 분야에서 장점을 제공합니다. 화학적 안정성 면에서는 산과 알칼리에 대한 강한 내식성을 보이지만, 환원 분위기(예: 수소 가스)에서는 저가의 산화물이나 금속 텅스텐 (W, Tungsten)으로 환원될 수 있습니다. 러시아의 고온 화학 연구에서는 이에 대해 심도 있는 연구가 이루어졌습니다 [18]. 이러한 산화환원 특성은 촉매와 전기화학적 응용에서 독특한 기능을 발휘합니다.

3.1.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)의 광학적 특성은 특히 뛰어나며, 전기색변화 특성 덕분에 전압을 가하면 색상이 노란색에서 짙은 파란색으로 변하는 현상이 나타납니다. 이 현상은 텅스텐 원자의 산화 상태 변화에 기인합니다. 일본과 한국의 전자 재료 연구에서는 이를 스마트 창문 및 디스플레이에 광범위하게 적용하고 있습니다 [20]. 전기적으로는, 이는 광전자 장비에 적합한 넓은 밴드갭 반도체 (밴드갭 약 $2.6\text{--}3.0\text{ eV}$)입니다. 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)은 뚜렷한

자성을 갖추고 있지 않지만, 그 전기적 및 광학적 특성은 다양한 고급 기술 응용을 지원할 수 있습니다.

텅 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)의 다양한 제조 공정과 우수한 특성 덕분에 텅스텐 화학 제품 중에서 인기 있는 제품이며, 구매 시 용도에 맞는 결정형과 순도를 선택하는 것이 중요합니다.

3.2 이산화텅스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)

이산화텅스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)은 텅스텐 (W, Tungsten)의 저가 산화물로, 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)에 비해 응용 분야는 제한적이지만, 특정 전자 및 촉매 분야에서는 대체 불가능한 위치를 차지하고 있습니다. 그 독특한 화학적 특성과 물리적 형태는 텅스텐 산화물 계열에서 주목할 만한 존재입니다.

3.2.1 제조 공정

이산화텅스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)의 제조는 주로 환원 공정을 통해 이루어지며, 공정 조건은 제품의 순도를 보장하기 위해 엄격하게 조절해야 합니다.

수소환원법

수소환원법은 $500-700^{\circ}C$ 의 수소 분위기에서 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)을 환원시켜 이산화텅스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)을 제조하는 방법입니다. 반응 중 수소의 흐름과 온도를 정확히 제어하여 과도한 환원이 금속텅스텐 (W, Tungsten)을 생성하지 않도록 해야 합니다. 이 방법은 산업 및 실험실에서 가장 많이 사용되는 제조 방법이며, 생성된 제품은 보통 갈색 결정 형태를 띠며, 입자 크기는 반응 시간과 온도를 조절하여 조정할 수 있습니다.

열분해법

열분해법은 불활성 분위기(예: 질소 또는 아르곤)에서 $650-800^{\circ}C$ 의 고온으로 텅스텐산 (H_2WO_4 , Tungstic Acid) 또는 암모늄파타산염 (APT, $(NH_4)_2WO_4$, Ammonium Paratungstate)을 분해하여 이산화텅스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)을 제조하는 방법입니다. 이 방법은 소규모 생산에 적합하며, 산소의 간섭을 효과적으로 피하고 안정적인 이산화텅스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)을 생성할 수 있습니다.

3.2.2 결정 구조와 분자 구성

이산화텅스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)은 일반적으로 단사정계 구조를 가지며, 텅스텐 원자는 4개의 산소 원자와 결합하여 비틀어진 사면체 네트워크를 형성합니다. 이 구조는 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)에서의 팔면체 결합보다 더 밀도가 높아 (약 $10.8 g/cm^3$) 물리적 특성상 우수합니다. 러시아의 화학 연구에 따르면, 이 결정 구조의 특수성이 전도성을 부여하여 특정 전자 응용에서 잠재력을 나타낸다고 합니다 [17].

3.2.3 열 안정성 및 화학 안정성

이산화텅스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)은 불활성 분위기에서 열 안정성이 뛰어나

800° C 이상까지 견딜 수 있습니다. 그러나 산소가 존재하면 삼산화텨스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)으로 산화되기 쉬워 고온 산화 환경에서의 응용에는 제한이 있습니다. 화학적 안정성 면에서는 산과 알칼리에 대한 내식성이 약하지만, 환원 환경에서는 강한 안정성을 보이며, 종종 환원 반응의 중간 생성물로 사용됩니다.

3.2.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

이산화텨스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)의 광학적 특성은 삼산화텨스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)만큼 두드러지지 않으며, 색상은 짙은 갈색으로 전기색변화 특성은 없습니다. 전기적으로는 좁은 밴드갭 반도체(밴드갭 약 1.0-1.3 eV)로 일부 전도성을 가지고 있어 전자 재료 연구에 사용될 수 있습니다. 자기적 특성에서는 이산화텨스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)은 눈에 띄는 자성을 나타내지 않지만, 그 응용은 주로 전기적 특성에 의존합니다.

팁

이산화텨스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)의 제조는 환원 조건을 정밀하게 제어해야 하며, 전자 재료 및 촉매 연구에서의 잠재력은 더욱 탐구될 가치가 있습니다.

3.3 기타 텨스텐 산화물

삼산화텨스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)과 이산화텨스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide) 외에도, 텨스텐 (W, Tungsten)은 이산화오텨스텐 (W_2O_5 , Ditungsten Pentoxide)과 49 산화텨스텐 ($W_{18}O_{49}$, Tungsten Blue Oxide Variant)과 같은 기타 산화물을 형성하며, 이러한 비정량 산화물은 특정 분야에서 독특한 가치를 발휘합니다.

3.3.1 제조 공정

기타 텨스텐 산화물의 제조는 주로 실험실 합성에 의존하며, 공정은 복잡하고 특정 목적에 맞춰집니다.

산화법에 의한 이산화오텨스텐 (W_2O_5 , Ditungsten Pentoxide) 제조

400-600° C의 미세 산화 조건에서 이산화텨스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide) 또는 부분 환원된 삼산화텨스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)을 산화시켜 이산화오텨스텐 (W_2O_5 , Ditungsten Pentoxide)을 제조할 수 있습니다. 이 방법은 산소 분압을 정확히 제어하여 비정량 구조를 유지합니다.

고온 환원법에 의한 49 산화텨스텐 ($W_{18}O_{49}$, Tungsten Blue Oxide Variant) 제조

700-900° C의 미세 환원 분위기(예: 수소와 불활성 기체의 혼합물)에서 삼산화텨스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)을 환원시켜 49 산화텨스텐 ($W_{18}O_{49}$, Tungsten Blue Oxide Variant)을 생성합니다. 이 공정은 나노 침상 구조의 제조에 사용되며, 광전자 성능을 향상시킵니다.

3.3.2 결정 구조 및 분자 구성

이산화오텨스텐 (W_2O_5 , Ditungsten Pentoxide)은 비정량 산화물로, 결정 구조는 이산화텨스텐 (WO_2 , Tungsten Dioxide)과 삼산화텨스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

사이에 위치하며, 과도적인 배위 특성을 가집니다. 49 산화텨스텐 ($W_{18}O_{49}$, Tungsten Blue Oxide Variant)은 침상 단사 결정 구조를 가지고 있으며, 산소 결합이 있어 특수한 전도성과 광학적 특성을 부여하고, 나노기술 분야에서 활발히 연구되고 있습니다.

3.3.3 열 안정성 및 화학 안정성

이산화오텨스텐 (W_2O_5 , Ditungsten Pentoxide)은 공기 중에서 불안정하며 삼산화텨스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)으로 추가 산화되기 쉽지만, 불활성 분위기에서는 $600^{\circ}C$ 까지 안정성을 유지합니다. 49 산화텨스텐 ($W_{18}O_{49}$, Tungsten Blue Oxide Variant)은 열 안정성이 약간 더 높아 $800^{\circ}C$ 까지 견딜 수 있지만, 산소 중에서는 여전히 산화되기 쉽습니다. 두 물질 모두 화학적으로 안정성이 약해 주로 산화되지 않는 환경에서 사용됩니다.

3.3.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

이산화오텨스텐 (W_2O_5 , Ditungsten Pentoxide)은 일정한 전도성을 가지지만, 광학적 특성은 두드러지지 않습니다. 49 산화텨스텐 ($W_{18}O_{49}$, Tungsten Blue Oxide Variant)은 파란색 외관과 나노 구조 덕분에 우수한 광전 특성을 나타내며, 밴드갭은 약 2.4 eV 로, 광전 탐지기와 센서에 적합합니다. 두 물질 모두 뚜렷한 자기적 특성은 없습니다.

팁

49 산화텨스텐 ($W_{18}O_{49}$, Tungsten Blue Oxide Variant)과 같은 기타 텨스텐 산화물은 나노기술과 광전자 분야에서 그 응용 잠재력이 점차 개발되고 있으며, 주목할 가치가 있습니다.

정보 참고 출처

- [16] 《텨스텐 화학 기초》(독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 《텨스텐 화합물 특성》(러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000
- [20] 중텨스텐 온라인 공식 WeChat 계정
- [22] 중국 텨스텐 산업: www.ctia.com.cn

참고 문헌

- [1] 《텨스텐의 역사와 응용》(스웨덴어) - KTH 왕립공과대학교, 스톡홀름, 1990
- [2] 《텨스텐 화학의 간략한 역사》(영어) - 미국 지질조사국 (USGS), 워싱턴 D. C., 2005
- [3] 중텨스텐 온라인: www.chinatungsten.com
- [4] 《텨스텐 원소 명명 연구》(다국어) - 국제순수응용화학연맹 (IUPAC), 런던, 1990
- [5] 《영국 산업혁명에서의 텨스텐 응용》(영어) - 왕립화학학회, 런던, 1985
- [6] 《텨스텐 화학 제품의 초기 산업화》(프랑스어) - 프랑스 화학학회, 파리, 1990
- [7] 《세계 텨스텐 자원 분포 보고서》(영어) - 미국 지질조사국 (USGS), 워싱턴 D. C., 2023

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- [8] 《텅스텐의 물리적 특성 연구》(영어) - 왕립학회 철학 거래, 런던, 1810
- [9] 《원소 주기율표에서의 텅스텐》(러시아어) - 러시아 화학학회, 모스크바, 1870
- [10] 《러시아 제철업에서의 텅스텐 응용》(러시아어) - 모스크바 대학교 화학과, 모스크바, 1890
- [11] 《일본 전자 산업에서의 텅스텐 응용》(일본어) - 도쿄공업대학교 연구보고서, 도쿄, 1925
- [12] 《아랍 지역의 광물학 기록》(아랍어) - 카이로대학교 지질학과, 카이로, 1900
- [13] 《2023 년 세계 텅스텐 제품 시장 분석》(영어) - 국제 텅스텐 산업 협회 (ITIA), 런던, 2023
- [14] 《텅스텐의 연구 최전선 응용》(영어) - 미국 국립보건원 (NIH), 베세스다, 2018
- [15] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn
- [16] 《텅스텐 화학 기초》(독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 《텅스텐 화합물 특성》(러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000
- [18] 《텅스텐 산화물 고온 화학》(러시아어) - 러시아 과학 아카데미, 모스크바, 1995
- [19] 《텅스텐 산화물의 화학적 안정성》(영어) - 《재료 과학 저널》, 스프링거, 2000
- [20] 《텅스텐 산화물의 전자 재료 연구》(일본어) - 도쿄대학교 출판사, 도쿄, 2010
- [21] 《유기 텅스텐 화합물》(영어) - 《유기 금속 화학》, 미국 화학회 출판, 2005
- [22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn



제 4 장: 텅스틱산 및 텅스틱염의 제조와 응용

4.1.1 제조 공정

산화 침전법 (광석 침출)

산화 침전법은 산업에서 가장 일반적으로 사용되는 방법으로, 일반적으로 **흑텅스텐광** ($(Fe, Mn)WO_4$) 또는 **백텅스텐광** ($CaWO_4$)에서 시작하여 강산 (염산 또는 질산)을 이용해 텅스텐 성분을 침출하고, 텅스텐산 (H_2WO_4)을 침전물로 생성합니다. 구체적인 과정은 광석 가루와 산을 혼합하여 $50-80^{\circ}C$ 에서 반응을 진행하며, 텅스텐산 (H_2WO_4)은 노란색 침전물로 나타나며, 그 후 여과하고 세척하여 거친 제품을 얻습니다. 이 방법은 원료가 널리 공급되고, 공정이 성숙하여 중국의 텅스텐 가공업체에서 널리 사용되고 있습니다. 이 과정에서 산 농도와 반응 시간을 조절하여 철과 망간 등의 불순물 잔여물을 줄여 제품의 품질을 보장합니다.

텅스텐산염 산해법 (용액 전환)

텅스텐산염 산해법은 수용성 텅스텐산염 용액 (예: **텅스텐산 나트륨** Na_2WO_4)을 산화하여 텅스텐산 (H_2WO_4)을 제조하는 방법입니다. 일반적으로 텅스텐산 나트륨 용액을 염산과 혼합하고 pH 값 (보통 2-3)을 조절하면 텅스텐산 (H_2WO_4) 침전물이 생성되며, 이 후 세척하고 저온에서 건조하여 순수한 제품을 얻습니다. 이 방법은 불순물의 함량을 정밀하게 조절할 수 있으며, 나노 크기의 미세 입자를 생성할 수 있어, 고순도의 텅스텐산이 필요한 정밀 화학 공정 및 실험실 연구에 적합합니다. 예를 들어, 촉매 전구체 또는 고순도 산화물 제조에 사용됩니다.

이온 교환법 (고순도 제조)

이온 교환법은 현대의 고정밀 기술로, 텅스텐산염 용액을 이온 교환 수지를 통해

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

처리하여 텅스텐산 이온을 분리하고, 이후 산 (예: 황산)을 첨가하여 텅스텐산 (H_2WO_4)을 생성합니다. 이 방법은 미량의 불순물 (예: 중금속 이온)을 제거하는 데 우수한 성능을 보이며, 전자 재료, 특수 촉매 및 고정밀 분석 시약의 연구 및 개발에 적합합니다. 공정에서 수지의 선택과 재생 과정이 중요하며, 이는 제품의 순도와 비용에 직접적인 영향을 미칩니다.

4.1.2 결정 구조와 분자 구성

텅스텐산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)의 결정 구조는 보통 직교 결정계로, 분자는 하나의 텅스텐 원자와 네 개의 산소 원자가 결합하여 사면체 단위를 형성하며, 그 중 두 개의 산소 원자는 수소 결합을 통해 수소 원자와 연결됩니다. 독일의 결정학 연구에 따르면, 이 구조는 고체 상태에서 미용해성을 나타내며(물에 대한 용해도 약 0.02 g/100 mL), 가열 시에는 텅스텐삼산화물(WO_3 , Tungsten Trioxide)로 분해되기 쉽습니다[16]. 분자 구성에서 수소 결합은 약산성(pKa 약 2.2)을 부여하며, 이로 인해 용액에서 염기와 반응하여 텅스텐산염을 생성할 수 있습니다. 이 특성은 산업 합성에서 널리 활용됩니다.

4.1.3 열 안정성 및 화학적 안정성

텅스텐산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)은 상온에서 우수한 화학적 안정성을 보이며, 대부분의 산과 염기에 대해 강한 부식 저항성을 나타냅니다. 그러나 강한 염기성 용액(예: 수산화나트륨)에서는 텅스텐산염, 예를 들어 텅스텐산나트륨(Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)으로 용해될 수 있습니다. 열 안정성 면에서는, 텅스텐산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)은 100-200° C에서 결정수를 잃고 텅스텐삼산화물(WO_3 , Tungsten Trioxide)로 변환되며, 완전 분해 온도는 약 250° C입니다. 이 열 분해 특성은 고순도 텅스텐 산화물 제조의 중요한 원료로서의 역할을 합니다. 러시아의 화학 연구에 따르면, 산성 환경에서의 안정성 덕분에 습식 제련법에서 중요한 장점이 있다고 합니다[17].

4.1.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

텅스텐산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)의 광학적 특성은 제한적이며, 그 노란색 외관은 결정 구조 내의 전자 전이에 기인합니다. 그러나 전기변색성이나 형광성과 같은 현저한 광학적 활동성은 없기 때문에 광학 응용에서의 역할은 작습니다. 전기적으로, 텅스텐산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)은 절연체로, 전도성이 매우 약합니다. 전기적 응용은 주로 분해 생성물인 텅스텐삼산화물(WO_3 , Tungsten Trioxide)을 통해 이루어집니다. 자기적 특성 측면에서는 텅스텐산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)은 뚜렷한 자기성을 가지지 않으며, 그 주요 가치는 화학 반응성 및 전구체 기능에서 비롯됩니다.

팁 텅스텐산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)의 제조 공정은 다양하고 유연하며, 텅스텐(W, Tungsten) 화학품의 중요한 중간체로서, 그 순도와 입자 특성은 하위 제품의 품질에 중요한 영향을 미칩니다. 구매 시에는 특정 용도에 맞는 적절한 제조 공정에서 제조된 제품을 선택하는 것이 중요합니다.

4.2 나트륨 탄산염 (Na₂WO₄, Sodium Tungstate)

나트륨 탄산염 (Na₂WO₄, Sodium Tungstate)은 가장 일반적이고 널리 사용되는 탄산염 중 하나로, 우수한 수용성, 화학적 안정성 및 다기능성 덕분에 산업 생산, 의약 연구 및 분석 화학 분야에서 중요한 역할을 차지합니다. 용해 가능한 탄산염의 대표로서, 나트륨 탄산염 (Na₂WO₄, Sodium Tungstate)은 방염 재료, 생물학적 활성 연구 및 탄화물 합성에서 중요한 역할을 하며, 그 제조 및 응용 역사는 오래되었고, 탄화물 산업 체인에서 중요한 고리로 자리잡고 있습니다.

4.2.1 제조 공정

나트륨 탄산염 (Na₂WO₄, Sodium Tungstate)의 제조 방법은 광석 추출과 용액 반응 기술을 결합하여, 산업 규모의 생산과 실험실 정밀 요구를 충족하는 다양한 요구를 만족시킵니다.

알칼리 용융법 (광석 추출)

알칼리 용융법은 흑탄광석 ((Fe, Mn)WO₄, Wolframite) 또는 백탄광석 (CaWO₄, Scheelite)을 수산화나트륨 (NaOH)과 고온 (600-800° C)에서 용융 반응을 통해 나트륨 탄산염 (Na₂WO₄, Sodium Tungstate) 용액을 생성합니다. 이 과정은 광석 분말과 수산화나트륨을 혼합하여 용융로에서 고온으로 가열하고, 탄소 성분이 나트륨과 반응하여 용해성 나트륨 탄산염 (Na₂WO₄, Sodium Tungstate)을 생성한 후, 냉각하여 불순물을 걸러내고, 증발 결정을 통해 백색 결정체를 얻는 방식입니다. 이 방법은 중국의 탄화물 가공 산업에서 주류 공정으로 널리 사용됩니다. 특히 장시와 후난 지역의 탄화물 가공 기지에서 많이 활용됩니다.

나트륨 탄산염 중화법 (실험실 제조)

나트륨 탄산염 중화법은 나트륨 탄산염 (Na₂WO₄, Sodium Tungstate)을 제조하는 실험실 공정으로, 나트륨 산화물 수용액과 나트륨 수산화물 수용액을 상온 (20-40° C)에서 중화 반응시켜 생성됩니다. 이후, 용액을 농축하고 냉각하여 고순도 나트륨 탄산염 (Na₂WO₄, Sodium Tungstate) 이수화물 결정체를 얻습니다. 이 방법은 실험실 소량 제조에 적합하며, 연구 및 분석 화학에서 표준 용액 또는 생물 실험 시약을 제조할 때 자주 사용됩니다.

4.2.2 결정 구조 및 분자 구성

나트륨 탄산염 (Na₂WO₄, Sodium Tungstate)은 보통 이수화물 형태로 존재 (Na₂WO₄ · 2H₂O)하며, 결정 구조는 직교 결정계입니다. 이 구조에서, 탄소 원자는 네 개의 산소 원자와 결합하여 안정된 사면체 단위를 형성하고, 두 개의 나트륨 원자는 이온 결합으로 탄산염 이온과 결합하며, 물 분자는 수소 결합 형태로 결정 격자에 삽입됩니다. 결정학 연구에 따르면 이 구조는 높은 수용성 (약 730 g/L at 20° C)을 부여하여, 용액에서 쉽게 응용될 수 있도록 하며, 결정의 안정성도 유지됩니다.

4.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성

나트륨 탄산염 (Na₂WO₄, Sodium Tungstate)은 건조한 조건에서 높은 열 안정성을 가지고 있으며, 300° C 까지 분해 없이 견딜 수 있습니다. 이 온도 이상에서 점차 결정수를 잃고 무수물 (Na₂WO₄)로 변하며, 완전 분해에는 약 700° C 이상의 온도가

필요합니다. 화학적 안정성 면에서, 수용액은 약한 염기성 (pH 8-9)을 띠며, 산에 민감하고 산화되어 나트륨 탄산염 (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)을 생성할 수 있습니다. 그러나 일반적인 중성 및 약염기성 환경에서 우수한 내식성을 보여 여러 화학 반응 조건에서 안정성을 유지합니다. 이 특성 덕분에, 산업 및 실험실 응용에서 탁월한 성능을 발휘합니다.

4.2.4 광학, 전기적 및 자기적 특성

나트륨 탄산염 (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)은 광학적 특성이 보통이며, 그 백색 결정체는 특이한 광학 활성을 나타내지 않습니다. 예를 들어, 형광이나 전기 변색성 등은 없습니다. 전기적으로, 수용액에서 이온 전도체로서 일정한 전도성을 가지며 (나트륨 이온과 탄산염 이온의 이동 덕분), 고체 상태에서는 절연체로 매우 낮은 전도성을 가집니다. 자기적 특성 면에서, 나트륨 탄산염은 특별한 자성은 없으며, 주로 화학적 특성과 용해성에서의 응용 가치를 가집니다.

유용한 팁

나트륨 탄산염 (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)의 수용성 및 화학적 안정성 덕분에, 방염 재료와 생물 연구에서 뛰어난 성능을 발휘합니다. 구매 시 결정수 함량과 불순물 수준을 확인하여 적용 효과를 보장해야 합니다.

4.3 기타 텅스텐 염

텅스텐산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)과 나트륨 텅스텐산염(Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) 외에도 텅스텐 염 계열에는 여러 중요한 화합물이 포함됩니다. 예를 들어, 암모늄 파라텅스텐산염(APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Ammonium Paratungstate), 칼슘 텅스텐산염(CaWO_4 , Calcium Tungstate), 암모늄 메타텅스텐산염($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, Ammonium Metatungstate) 등이 있으며, 이들 각 화합물은 산업 생산, 과학 연구 및 특수 응용 분야에서 독특한 특성을 보입니다. 이로써 텅스텐 화학의 응용 분야가 더욱 풍부해졌습니다.

4.3.1 제조 공정

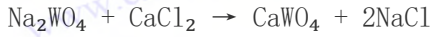
기타 텅스텐 염의 제조 공정은 화학적 특성과 용도에 따라 다르며, 광석 추출부터 용액 합성까지 다양한 기술이 포함됩니다.

암모늄 파라텅스텐산염(APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Ammonium Paratungstate)의 이온 교환 및 결정화

암모늄 파라텅스텐산염(APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Ammonium Paratungstate)의 제조는 일반적으로 텅스텐 광석에서 추출한 텅스텐산염 용액을 사용하여 시작됩니다. 텅스텐산염 용액에서 이온 교환 수지를 사용해 텅스텐산염 이온(WO_4^{2-})을 분리한 후, 암모니아수를 추가하여 용액의 pH를 7-8로 조정합니다. 이때 텅스텐산염 이온과 암모늄 이온이 반응하여 암모늄 파라텅스텐산염(APT) 침전물이 형성됩니다. 이 침전물을 여과, 세척하고 약 100-150°C에서 건조하면 백색 결정이 얻어집니다. 이 방법은 중국 텅스텐 산업의 핵심 공정으로, 고효율성 및 높은 순도의 제품을 생산할 수 있어 텅스텐 분말(W Powder, Tungsten Powder) 생산에 널리 사용됩니다. 특히 장시와 후난 지역의 텅스텐 가공 기업에서 주로 사용되며, 연간 생산량은 수만 톤에 달합니다.

칼슘 텅스텐산염(CaWO₄, Calcium Tungstate)의 용융 반응

칼슘 텅스텐산염(CaWO₄, Calcium Tungstate)은 나트륨 텅스텐산염(Na₂WO₄, Sodium Tungstate)과 염화칼슘(CaCl₂)을 고온(약 800-1000° C)에서 용융 반응시켜 제조됩니다. 반응식은 다음과 같습니다:



반응 후 생성된 제품은 냉각되어 백색 결정이 형성되며, 이를 분쇄하고 체로 거르면 사용이 가능합니다. 이 방법은 간단한 공정으로 고온 안정성이 뛰어난 제품을 얻을 수 있어 형광 물질 및 광학 부품의 제조에 자주 사용됩니다.



편텅스텐산암모늄 ((NH₄)₆H₂W₁₂O₄₀, Ammonium Metatungstate)의 산화중합법

편텅스텐산암모늄 ((NH₄)₆H₂W₁₂O₄₀, Ammonium Metatungstate)의 제조는 암모늄 파라텅스텐산염(APT, (NH₄)₂WO₄, Ammonium Paratungstate) 용액을 산화시키고 pH를 3-4로 조절하여 텅스텐산염이 중합되어 다핵 텅스텐산염(H₂W₁₂O₄₀⁶⁻)을 형성하게 됩니다. 그 후, 암모니아수를 추가하여 안정화시킨 후 결정을 얻는 방식입니다. 이 방법은 고순도의 촉매 및 분석 시약 제조에 적합하며, 생성된 다핵 구조가 독특한 촉매 특성을 지니고 있어 실험실 및 소규모 정밀 화학 생산에 자주 사용됩니다.

4.3.2 결정 구조 및 분자 구성

암모늄 파라텅스텐산염(APT, (NH₄)₂WO₄, Ammonium Paratungstate)은 복잡한 단사정계 구조를 가지고 있으며, 결정 격자에는 여러 개의 텅스텐-산소 팔면체 단위가 포함되어 있고, 암모늄 이온은 수소 결합을 통해 텅스텐산염과 연결되어 안정적인 복합 구조를 형성합니다. 칼슘 텅스텐산염(CaWO₄, Calcium Tungstate)은 사방정계 구조를 가지며, 텅스텐 원자는 네 개의 산소 원자와 결합하여 사면체를 형성하고, 칼슘 이온은 이온 결합을 통해 구조적 지지 역할을 합니다. 이는 자연 상태의 백색 텅스텐광석과 유사한 결정 구조입니다. 편텅스텐산암모늄((NH₄)₆H₂W₁₂O₄₀, Ammonium Metatungstate)은 다핵 구조를 가지며, 12개의 텅스텐-산소 팔면체로 이루어진 복잡한 클러스터 분자를 형성하고, 암모늄 이온이 주변을 감싸면서 전체적인 구조를 안정화시킵니다. 이 다핵 특성 덕분에 촉매 분야에서 독특한 장점을 가지고 있습니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

4.3.3 열 안정성 및 화학적 안정성

암모늄 파라텡스텐산염 (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Ammonium Paratungstate)은 열 안정성이 낮고, 250-300° C 에서 삼산화텡스텐(WO_3 , Tungsten Trioxide)으로 분해되며 암모니아 가스와 수증기를 방출합니다. 화학적 안정성은 중간 정도로, 산성 조건에 의해 쉽게 분해될 수 있습니다. 칼슘 텡스텐산염(CaWO_4 , Calcium Tungstate)은 매우 높은 열 안정성을 가지고 있으며, 1000° C 이상의 온도에도 견딜 수 있고, 화학적 안정성도 뛰어나 물과 대부분의 산-염기에서 거의 용해되지 않습니다. 고온 환경에서의 응용에 적합합니다. 편텡스텐산암모늄($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, Ammonium Metatungstate)은 약 200° C 에서 결정을 잃고, 고온에서 삼산화텡스텐(WO_3)으로 분해되며, 화학적 안정성이 약해 강산성 또는 강알칼리 환경에서는 그 다핵 구조를 유지하기 위해 피해야 합니다.

4.3.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

암모늄 파라텡스텐산염 (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Ammonium Paratungstate)은 특별한 광학적 특성을 가지지 않으며, 그 백색 결정은 광학적 응용에서 제한적인 역할을 합니다. 전기적 특성에서는 절연체로, 자기적 특성도 뚜렷한 특징을 보이지 않습니다. 칼슘 텡스텐산염(CaWO_4 , Calcium Tungstate)은 그 형광성으로 유명하며, 자외선 아래에서 파란색 형광을 발산하고, 밴드 갭은 약 4.2 eV 로 X-선 탐지기 및 형광 재료에 적합합니다. 전기적으로는 절연체이고, 자기적 특성도 없습니다. 편텡스텐산암모늄($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, Ammonium Metatungstate)은 뚜렷한 광학적 또는 자기적 특성을 보이지 않으며, 전기적으로는 용액에서 이온 전도성을 가지나 고체 상태에서는 절연체로 존재합니다. 그 응용은 주로 화학 촉매 특성에 의존합니다.

팁

칼슘 텡스텐산염(CaWO_4 , Calcium Tungstate)과 편텡스텐산암모늄($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, Ammonium Metatungstate)과 같은 다른 텡스텐 염은 형광 재료 및 촉매 분야에서 독특한 장점을 제공합니다. 구매 시 특정 용도에 맞는 제조 공정과 순도를 선택하는 것이 중요합니다.

정보 참조 출처

- [16] "텡스텐 화학 기초" (독일어) - H. C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] "텡스텐 화합물 특성" (러시아어) - 모스크바 국립대 화학과, 모스크바, 2000
- [20] 중텡스텐 온라인 웨이신 공식 계정
- [22] 중국 텡스텐 산업: www.ctia.com.cn

참고 문헌

- [1] "텡스텐의 역사와 응용" (스웨덴어) - KTH 왕립공대, 스톡홀름, 1990
- [2] "텡스텐 화학의 간략한 역사" (영어) - 미국 지질조사국 (USGS), 워싱턴 D.C., 2005
- [3] 중텡스텐 온라인: www.chinatungsten.com
- [4] "텡스텐 원소의 명명 연구" (다국어) - 국제순수화학연구소 (IUPAC), 런던, 1990
- [5] "영국 산업 혁명 시대의 텡스텐 응용" (영어) - 왕립화학학회, 런던, 1985
- [6] "텡스텐 화학 제품의 초기 산업화" (프랑스어) - 프랑스 화학학회, 파리, 1990
- [7] "세계 텡스텐 자원 분포 보고서" (영어) - 미국 지질조사국 (USGS), 워싱턴 D.C., 2023
- [8] "텡스텐의 물리적 성질 연구" (영어) - 왕립학회 철학 거래, 런던, 1810

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- [9] "주기율표의 텨스텐" (러시아어) - 러시아 화학학회, 모스크바, 1870
- [10] "러시아의 제철 산업에서의 텨스텐 응용" (러시아어) - 모스크바 대학교 화학과, 모스크바, 1890
- [11] "일본 전자 산업에서의 텨스텐 응용" (일본어) - 도쿄 공업대학 연구보고서, 도쿄, 1925
- [12] "아랍 지역의 광물학 기록" (아랍어) - 카이로 대학교 지질학과, 카이로, 1900
- [13] "2023 년 글로벌 텨스텐 제품 시장 분석" (영어) - 국제텨스텐협회 (ITIA), 런던, 2023
- [14] "텨스텐의 연구에서의 최전선 응용" (영어) - 미국 국립보건원 (NIH), 베세스다, 2018
- [15] 중국 텨스텐 산업: www.ctia.com.cn
- [16] "텨스텐 화학 기초" (독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] "텨스텐 화합물 특성" (러시아어) - 모스크바 국립대 화학과, 모스크바, 2000
- [18] "텨스텐 산화물 고온 화학" (러시아어) - 러시아 과학 아카데미, 모스크바, 1995
- [19] "텨스텐 산업의 화학적 안정성" (영어) - 《재료과학 저널》, 슈프링거, 2000
- [20] "텨스텐 산화물의 전자 재료 연구" (일본어) - 도쿄대 출판사, 도쿄, 2010
- [21] "유기 텨스텐 화합물" (영어) - 《유기 금속 화학》, 미국 화학회 출판, 2005
- [22] 중국 텨스텐 산업: www.ctia.com.cn



제 5 장: 텨스텐 할로겐화물의 제조 및 응용

5.1 육염화텨스텐(WCl₆, Tungsten Hexachloride)

육염화텨스텐(WCl₆)은 텨스텐(W) 할로겐화물 중 중요한 대표 물질로,揮發性(휘발성), 높은 반응성 및 다양한 화학 반응에서의 촉매 능력으로 인해 산업 및 연구 분야에서 주목받고 있다. 휘발성이 강한 텨스텐 화합물로서 유기 합성, 박막 증착 및 촉매 제조에서 독특한 장점을 갖고 있다. 진한 과란색 결정의 외관과 특별한 화학적 성질을 지닌 육염화텨스텐(WCl₆)은 텨스텐 화학에서 중요한 물질로, 초기 실험실 합성에서 현재의 산업적 응용에 이르기까지 발전 과정이 텨스텐 할로겐화물 연구의 심화를 반영하고 있다.

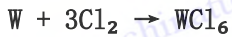
5.1.1 제조 공정

육염화텨스텐(WCl₆)의 제조 방법은 직접 염소화, 염소 기체 환원 등 다양한 기술을 포함하며, 서로 다른 순도 및 용도에 맞춘 생산이 가능하다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

직접 염소화법(금속 텅스텐 염소화)

이 방법은 고순도 텅스텐(W) 금속(예: 텅스텐 분말)과 염소 기체(Cl_2)를 $600\sim 800^\circ C$ 고온에서 반응시켜 육염화텅스텐(WCl_6)을 생성하는 방식이다. 반응식은 다음과 같다.



이 반응은 산소와 수분의 개입을 방지하기 위해 밀폐된 석영 반응기 내에서 수행되며, 생성물은 진한 파란색 결정으로 응축된다. 원료가 간단하고 직접적인 반응을 통해 고순도 제품을 얻을 수 있어, 특히 촉매제 제조 분야에서 널리 사용된다.

염소 기체 환원법(산화물 염소화)

이 방법은 삼산화텅스텐(WO_3)을 염소 기체 및 환원제(예: 탄소 또는 수소)와 함께 $500\sim 700^\circ C$ 에서 반응시켜 육염화텅스텐(WCl_6)을 생성하는 방식이다. 반응 조건을 정밀하게 조절하여 저가 염화물(WCl_4) 생성을 방지해야 한다. 실험실 및 소규모 생산에 적합하며, 삼산화텅스텐(WO_3)의 산업 부산물을 활용하여 자원 활용도를 높일 수 있다.

기상 반응법(초고순도 제조)

이 방법은 텅스텐(W) 또는 그 화합물을 염소 기체와 반응시켜 약 $800^\circ C$ 고온에서 육염화텅스텐(WCl_6) 기체를 생성한 후 이를 냉각하여 결정화하는 방식이다. 초고순도 제품 제조에 적합하며, 전자재료 및 정밀 촉매 개발에 사용된다.

5.1.2 결정 구조 및 분자 구성

육염화텅스텐(WCl_6)은 팔면체 구조를 가지며, 중심 텅스텐 원자가 6개의 염소 원자와 배위 결합을 형성하여 대칭적인 WCl_6 분자 단위를 이룬다. 이 팔면체 구조는 높은揮發性(휘발성)을 부여하며, 녹는점 약 $275^\circ C$, 끓는점 약 $347^\circ C$ 에서 기화될 수 있어 기상 반응에서 우수한 성능을 나타낸다[16].

5.1.3 열 안정성 및 화학적 안정성

육염화텅스텐(WCl_6)은 무수 상태 및 무산소 환경에서 $300^\circ C$ 이하에서는 안정하지만, 고온 또는 공기 중에서는 저가 염화물과 염소 기체로 분해되기 쉽다. 화학적으로는 수분에 매우 민감하며, 습한 환경에서 빠르게 가수분해되어 염화수소(HCl)와 텅스텐 옥시염화물($WOCl_4$)을 형성하므로, 건조하고 비활성 기체 분위기에서 보관해야 한다[17].

5.1.4 광학, 전기 및 자기적 특성

육염화텅스텐(WCl_6)은 짙은 파란색 결정 형태로 나타나며, 이는 텅스텐 원자의 d-d 전자 전이에 기인한다. 그러나 실질적인 광학적 응용은 제한적이다. 전기적으로는 고체 상태에서 절연체이며, 가스 상태나 용액에서는 해리로 인해 이온 전도성을 가질 수 있다. 자기적 특성은 거의 없으며, 주로 화학 반응성을 활용한 응용이 주를 이룬다.

5.2 육플루오린화텅스텐(WF_6 , Tungsten Hexafluoride)

육플루오린화텅스텐(WF_6)은 텅스텐 할로젠화물 중에서 가장 중요한 산업용 화합물로, 높은揮發性(휘발성)과 반도체 산업에서의 핵심 역할로 인해 주목받고 있다. 무색

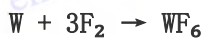
기체 형태의 WF_6 는 화학 기상 증착(CVD) 공정에서 텅스텐 금속 박막 제조에 널리 사용되며, 높은 반응성과 안정성 덕분에 현대 마이크로일렉트로닉스 기술에서 필수적인 재료로 자리 잡았다. 실험실 합성에서 대량 생산으로의 발전 과정에서, WF_6 의 응용은 첨단 기술 분야에서 텅스텐 화학의 확장을 이끌었다.

5.2.1 제조 공정

육플루오린화텅스텐(WF_6)의 제조는 주로 플루오린화 반응에 의존하며, 제품의 품질을 보장하기 위해 무수(無水) 환경에서 진행되어야 한다.

직접 플루오린화법(텅스텐과 플루오린 기체 반응)

이 방법은 고순도 텅스텐(W) 금속(예: 텅스텐 분말)을 플루오린 기체(F_2)와 $300\sim 500^\circ C$ 에서 반응시켜 육플루오린화텅스텐(WF_6) 기체를 생성하는 방식이다. 반응식은 다음과 같다.



이 반응은 플루오린 기체의 강한 부식성을 고려하여 내식성(耐蝕性)이 우수한 니켈 합금 반응기에서 수행되며, 생성된 WF_6 기체는 응축 과정을 거쳐 끓는점($17.1^\circ C$)에서 액체 상태로 수집된다. 이 공정은 높은 순도와 직접적인 생산 방식으로 인해 반도체 산업에서 널리 사용된다.

산화물 플루오린화법(삼산화텅스텐 플루오린화)

이 방법은 삼산화텅스텐(WO_3)을 플루오린화수소(HF) 또는 플루오린 기체(F_2)와 함께 $400\sim 600^\circ C$ 에서 반응시켜 WF_6 를 제조하는 방식이다. 반응 조건을 정밀하게 조절하여 저가 플루오린화물(WF_4 , WF_2)의 생성을 방지해야 한다. 이 공정은 삼산화텅스텐(WO_3)의 산업 부산물을 활용하여 원가를 절감할 수 있으며, 실험실 및 소규모 생산에 적합하다.

5.2.2 결정 구조 및 분자 구성

육플루오린화텅스텐(WF_6)은 기체 및 액체 상태에서 팔면체 분자 구조를 가지며, 텅스텐 원자가 중심에 위치하고 여섯 개의 플루오린 원자가 배위 결합하여 대칭적인 WF_6 단위를 형성한다. 일본 화학 연구에 따르면, 이 팔면체 구조는 높은揮發性(휘발성)과 안정성을 부여하며, 녹는점 $2.3^\circ C$, 끓는점 $17.1^\circ C$ 로 인해 기상 증착 공정에서 취급이 용이하다[20]. 분자 내에서 텅스텐은 +6의 산화 상태를 가지며, 플루오린 원자의 강한 전기음성도로 인해 결합 강도가 증가하여 다양한 환경에서 안정적으로 존재할 수 있다.

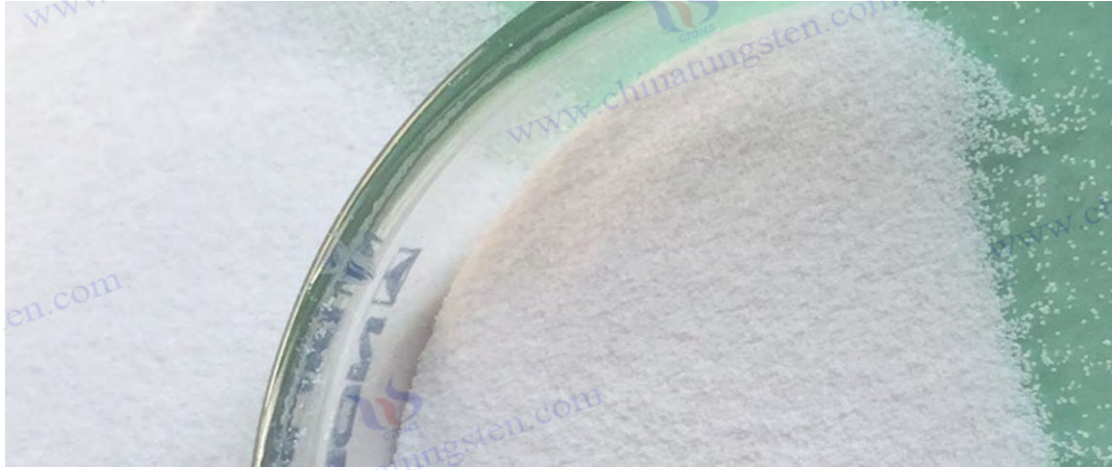
5.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성

육플루오린화텅스텐(WF_6)은 무수 환경에서는 높은 열적 안정성을 가지며, 상온에서 기체 상태로 안정적으로 존재할 수 있다. 그러나 고온($>400^\circ C$)이나 수분이 존재하는 환경에서는 분해되어 플루오린화수소(HF)와 텅스텐 산화물을 생성할 수 있다. 화학적으로는 육염화텅스텐(WCl_6)보다 안정성이 높으며, 수분에 대한 민감도가 낮지만, 강한 환원 환경에서는 텅스텐(W) 또는 저가 플루오린화물로 환원될 수 있다. 이러한 특성 덕분에 반도체 박막 증착에서 우수한 성능을 발휘한다.

5.2.4 광학, 전기 및 자기적 특성

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

육플루오린화텨스텐(WF₆)은 무색 투명한 기체로, 광학적 활성은 없으며, 주요 응용은 광학 특성과 관련되지 않는다. 전기적으로는 기체 상태에서는 전기를 통하지 않지만, 분해 후 생성된 텨스텐 금속은 우수한 전도성을 갖는다(비저항 약 5.6 μΩ·cm). 자기적 특성은 거의 없으며, 주요 가치는 기상 반응성과 박막 증착 능력에 있다.



5.3 기타 텨스텐 할로젠화합물

육염화텨스텐(WCl₆, Tungsten Hexachloride) 및 육불화텨스텐(WF₆, Tungsten Hexafluoride) 외에도, 텨스텐 할로젠화합물에는 사염화텨스텐(WCl₄, Tungsten Tetrachloride), 오염화텨스텐(WCl₅, Tungsten Pentachloride) 등의 저가 할로젠화물이 포함됩니다. 이들 화합물은 특정 촉매 반응과 재료 연구에서 가치를 지니지만, 응용 범위는 비교적 제한적입니다.

5.3.1 제조 공정

기타 텨스텐 할로젠화합물의 제조는 주로 실험실 합성을 통해 이루어지며, 반응 조건을 정밀하게 제어해야 합니다.

사염화텨스텐(WCl₄)의 환원 염화법

450~600° C에서 수소(H₂)를 사용하여 육염화텨스텐(WCl₆)을 부분적으로 환원함으로써 사염화텨스텐(WCl₄)을 제조할 수 있습니다. 이 반응은 산소와의 반응을 방지하기 위해 불활성 기체 분위기에서 진행해야 합니다.

오염화텨스텐(WCl₅)의 염소화 제어법

500~700° C에서 염소 기체(Cl₂)의 양을 조절하여 텨스텐(W) 금속을 부분적으로 염소화하거나, 육염화텨스텐(WCl₆)을 환원하여 오염화텨스텐(WCl₅)을 생성할 수 있습니다. 이 방법은 염소 기체 비율을 정밀하게 조절해야 원하는 생성물을 얻을 수 있습니다.

5.3.2 결정 구조와 분자 구성

사염화텨스텐(WCl₄)은 정방정계(tetragonal) 구조를 가지며, 텨스텐 원자가 네 개의 염소 원자와 배위하여 평면 정사각형 단위를 형성합니다. 오염화텨스텐(WCl₅)은 오배위(pentacoordinate) 구조를 가지며, 삼각쌍뿔(trigonal bipyramidal) 형태로 존재합니다. 오염화텨스텐(WCl₅)은 상대적으로 불안정하여 높은 온도에서 쉽게

분해됩니다. 이러한 결정 구조로 인해 육염화텨스텐(WC1₆)보다 휘발성이 낮습니다.

5.3.3 열 안정성과 화학적 안정성

사염화텨스텐(WC1₄)과 오염화텨스텐(WC1₅)은 열 안정성이 낮아 200~400° C에서 쉽게 분해되며, 저가 염화물이나 염소 기체로 변할 수 있습니다. 또한, 이들 화합물은 수분에 민감하여 가수분해 반응을 일으킬 수 있으므로, 밀폐된 조건에서 보관해야 합니다.

5.3.4 광학, 전기 및 자기적 특성

사염화텨스텐(WC1₄)은 녹색을 띠고, 오염화텨스텐(WC1₅)은 암적색을 띠지만, 두 화합물 모두 특별한 광학적 활성을 나타내지는 않습니다. 전기적으로는 절연체이며, 자기적 특성도 두드러지지 않습니다. 이들의 주요 응용은 촉매 연구에 집중되어 있습니다.

팁

사염화텨스텐(WC1₄)과 같은 기타 텨스텐 할로겐화합물은 촉매 분야에서 잠재적 가치를 가지지만, 제조 조건과 안정성을 신중하게 관리해야 합니다.

정보 참고 출처

- [16] 텨스텐 화학 기초 (독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 텨스텐 화합물 특성 (러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000
- [20] 중국텨스텐 온라인 공식 위챗 계정
- [22] 중국텨스텐산업협회: www.ctia.com.cn

참고 문헌

- [1] 텨스텐의 역사와 응용 (스웨덴어) - KTH 왕립공과대학교, 스톡홀름, 1990
- [2] 텨스텐 화학 개요 (영어) - 미국 지질조사국 (USGS), 워싱턴 D.C., 2005
- [3] 중국텨스텐 온라인: www.chinatungsten.com
- [4] 텨스텐 원소 명명 연구 (다국어) - 국제순수응용화학연합 (IUPAC), 런던, 1990
- [5] 영국 산업혁명에서의 텨스텐 응용 (영어) - 왕립화학회, 런던, 1985
- [6] 텨스텐 화합물의 초기 산업화 (프랑스어) - 프랑스 화학회, 파리, 1990
- [7] 세계 텨스텐 자원 분포 보고서 (영어) - 미국 지질조사국 (USGS), 워싱턴 D.C., 2023
- [8] 텨스텐의 물리적 특성 연구 (영어) - 왕립학회 철학 논문집, 런던, 1810
- [9] 주기율표에서의 텨스텐 (러시아어) - 러시아 화학회, 모스크바, 1870
- [10] 러시아 야금 공업에서의 텨스텐 응용 (러시아어) - 모스크바 대학교 화학과, 모스크바, 1890
- [11] 일본 전자 산업에서의 텨스텐 응용 (일본어) - 도쿄공업대학 연구보고서, 도쿄, 1925
- [12] 아랍 지역의 광물학 기록 (아랍어) - 카이로 대학교 지질학과, 카이로, 1900
- [13] 2023년 글로벌 텨스텐 제품 시장 분석 (영어) - 국제텨스텐산업협회 (ITIA), 런던, 2023
- [14] 텨스텐의 첨단 연구 응용 (영어) - 미국 국립보건원 (NIH), 베데스다, 2018
- [15] 중국텨스텐산업협회: www.ctia.com.cn
- [16] 텨스텐 화학 기초 (독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 텨스텐 화합물 특성 (러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000
- [18] 텨스텐 산화물의 고온 화학 (러시아어) - 러시아 과학 아카데미, 모스크바, 1995

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- [19] 텅스텐산업의 화학적 안정성 (영어) - 재료과학저널, 슈프링거, 2000
 [20] 텅스텐 산화물의 전자 재료 연구 (일본어) - 도쿄대학교 출판사, 도쿄, 2010
 [21] 유기텅스텐 화합물 (영어) - 유기금속화학, 미국화학회 출판, 2005
 [22] 중국텅스텐산업협회: www.ctia.com.cn



제 6 장: 텅스텐 탄화물 및 질화물의 제조 및 응용

6.1 탄화텅스텐(WC, Tungsten Carbide)

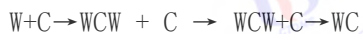
탄화텅스텐(WC, Tungsten Carbide)은 텅스텐(W, Tungsten) 화합물 중 산업적으로 가장 가치 있고 광범위하게 사용되는 화합물 중 하나이다. 이는 극도로 높은 경도, 내마모성 및 열적 안정성으로 잘 알려져 있다. 특히 경질 합금의 핵심 성분으로서 절삭 공구, 광산 장비 및 내마모 코팅에 필수적인 역할을 한다. 검거나 회흑색의 분말 형태를 띠지만, 그 산업적 중요성은 현대 산업의 발전과 함께 더욱 빛을 발하고 있다. 초기 실험실 연구에서부터 현재의 세계적인 생산에 이르기까지 탄화텅스텐(WC, Tungsten Carbide)의 발전 과정은 텅스텐 화학이 재료 과학 분야에 미친 깊은 영향을 보여준다.

6.1.1 제조 공정

탄화텅스텐(WC, Tungsten Carbide)은 다양한 제조 방법이 있으며, 고온 탄화, 기상 반응 등 여러 기술이 적용되어 순도와 입자 크기에 대한 다양한 요구를 충족할 수 있다.

1) 고온 탄화법 (텅스텐 분말 탄화법)

고온 탄화법은 텅스텐 분말(W Powder, Tungsten Powder)과 탄소원(흑연 또는 카본블랙 등)을 1400-1600° C 의 고온에서 반응시켜 탄화텅스텐(WC, Tungsten Carbide)을 생성하는 방식이다. 반응식은 다음과 같다.



이 과정은 일반적으로 진공 또는 수소 분위기에서 진행되며, 산화를 방지하고 탄소 함량을 조절하는 것이 중요하다. 반응 후 생성된 제품은 분쇄 및 체질 과정을 거쳐 균일한 미세 분말 형태의 탄화텅스텐(WC, Tungsten Carbide)을 얻는다. 이 방법은 공정이 성숙하고 비용이 비교적 낮아 산업적으로 널리 사용되며, 특히 중국과 유럽의 대형 텅스텐 가공 업체에서 주로 활용된다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

2) 기상 탄화법 (화학 기상 반응법, CVD)

기상 탄화법은 육불화텨스텐(WF₆, Tungsten Hexafluoride) 또는 기타 휘발성 텨스텐 화합물이 탄화수소(예: 메탄 CH₄)와 800-1000° C 에서 화학 기상 반응을 일으켜 탄화텨스텐(WC, Tungsten Carbide)을 형성하는 방법이다.

이 방법은 나노 크기의 탄화텨스텐(WC, Tungsten Carbide) 입자를 제조하는 데 유리하며, 고성능 코팅 및 정밀 공구 제조에 적합하다. 반응기는 특별한 장비를 필요로 하며, 균일한 입자 분포를 얻기 위해 기체 유량의 정밀한 제어가 필수적이다.

3) 플라즈마 합성법 (초미세 입자 제조)

플라즈마 합성법은 5000° C 이상의 고온 플라즈마 환경에서 텨스텐 분말(W Powder, Tungsten Powder)과 탄소원을 빠르게 반응시켜 초미세 탄화텨스텐(WC, Tungsten Carbide) 분말(입자 크기 <100 nm)을 제조하는 방식이다.

이 방법은 초미세 입자 생성이 가능하고 순도가 높다는 장점이 있어, 내마모성 코팅과 같은 항공우주 산업의 고급 응용 분야에 사용된다. 다만, 설비 비용이 높아 소량의 고부가가치 제품 생산에 적합하다.

6.1.2 결정 구조 및 분자 구성

탄화텨스텐(WC, Tungsten Carbide)은 육방정계(hexagonal crystal system) 구조를 가지며, 텨스텐 원자와 탄소 원자가 1:1의 비율로 강한 공유 결합을 형성하여 매우 치밀한 격자를 이루고 있다.

독일 결정학 연구에 따르면, 이러한 육방정계 구조는 높은 경도(모스 경도 약 9, 다이아몬드 다음으로 높음)와 우수한 기계적 특성을 제공한다[16]. 또한, 분자 구성에서 텨스텐 원자는 높은 밀도(15.63 g/cm³)를 가지며, 탄소 원자가 격자의 안정성을 향상시켜 극한 환경에서도 구조를 유지하도록 돕는다.

6.1.3 열적 및 화학적 안정성

탄화텨스텐(WC, Tungsten Carbide)은 우수한 열적 안정성을 가지며, 2600° C 이하의 온도에서는 구조가 분해되지 않는다. 또한, 고온에서도 우수한 산화 저항성을 나타내며, 600° C 이상의 산소 환경에서 서서히 산화되어 삼산화텨스텐(WO₃, Tungsten Trioxide)으로 변한다.

화학적 안정성 면에서도 강산 및 강염기 환경에서 높은 내성을 보이며, 강산성 산화제(예: 질산)에서만 서서히 부식된다. 러시아의 재료 연구에 따르면, 탄화텨스텐(WC, Tungsten Carbide)의 이러한 내열성과 화학적 불활성 특성은 고온 내마모 재료로서 이상적이라고 평가된다[17].

6.1.4 광학, 전기 및 자기적 특성

탄화텨스텐(WC, Tungsten Carbide)의 광학적 특성은 두드러지지 않으며, 검거나 회색 외관은 결정 구조에 의한 전자 흡수 효과 때문이다. 형광이나 특수한 광학 활성이 없기 때문에 광전자 응용에는 적합하지 않다.

전기적 특성 측면에서는 특정한 전도성을 가지며(비저항 약 20 μΩ·cm), 이는 금속 텨스텐(W, Tungsten)보다 낮지만, 방전 가공(Electric Discharge Machining, EDM) 등의 응용에는 충분하다.

자기적 특성에서는 명확한 자성을 보이지 않으며, 탄화텨스텐(WC, Tungsten

Carbide)의 주된 응용은 물리적·기계적 특성에 기반한다.

실용 정보

탄화텅스텐(WC, Tungsten Carbide)의 제조 공정은 다양하며, 높은 경도와 내마모성으로 인해 산업적 필수 소재로 자리 잡고 있다. 사용 목적에 따라 적절한 입자 크기와 순도를 선택하는 것이 중요하다.

6.2 텅스텐 나이트라이드 (WN, Tungsten Nitride)

텅스텐 나이트라이드 (WN, Tungsten Nitride)는 텅스텐 (W, Tungsten)과 질소가 결합하여 형성된 화합물로, 텅스텐 카바이드 (WC, Tungsten Carbide)보다 응용 범위는 좁지만 내마모 코팅, 전자 재료, 고경도 박막 분야에서 특별한 가치를 가지고 있습니다. 텅스텐 나이트라이드 (WN, Tungsten Nitride)의 깊은 회색 외관과 우수한 물리적 특성은 텅스텐 화학 물질 중 숨은 보석과 같으며, 그 연구와 개발은 재료 과학에 새로운 가능성을 제공하고 있습니다.

6.2.1 제조 공정

텅스텐 나이트라이드 (WN, Tungsten Nitride)의 제조는 주로 고온 질화 또는 기상 증착 기술에 의존하며, 공정은 제품 품질을 보장하기 위해 정밀하게 제어해야 합니다.

고온 질화법 (텅스텐 분말 질화)

고온 질화법은 텅스텐 분말 (W Powder, Tungsten Powder)과 질소 (N₂) 또는 암모니아 (NH₃)를 1000-1200° C에서 반응시켜 텅스텐 나이트라이드 (WN, Tungsten Nitride)를 생성하는 방법으로, 반응식은 $W + N_2 \rightarrow WN$ 입니다. 이 방법은 진공 또는 비활성 기체 환경에서 수행되어야 하며, 산소의 간섭을 피하기 위해 사용됩니다. 생성물은 깊은 회색 분말입니다. 이 방법은 공정이 간단하고 기존의 텅스텐 분말 자원을 활용할 수 있어 산업 생산에 적합합니다.

기상 증착법 (CVD 또는 PVD)

기상 증착법은 화학 기상 증착 (CVD) 또는 물리 기상 증착 (PVD)을 사용하여 600-900° C에서 텅스텐 육불화물 (WF₆, Tungsten Hexafluoride) 또는 텅스텐 (W, Tungsten)과 질소원 (예: 암모니아)을 반응시켜 텅스텐 나이트라이드 (WN, Tungsten Nitride) 박막을 생성합니다. 이 방법은 고순도 박막을 제조할 수 있어 내마모 코팅 및 전자 부품에 사용됩니다. 반응은 전용 장비에서 진행되어야 하며, 박막의 두께와 균일성을 제어할 수 있습니다.

6.2.2 결정 구조 및 분자 구성

텅스텐 나이트라이드 (WN, Tungsten Nitride)는 일반적으로 입방정계 구조를 가지며, 텅스텐 원자와 질소 원자가 1:1 비율로 결합하여 공유 네트워크를 형성합니다. 러시아의 결정학 연구에 따르면, 그 결정 구조는 텅스텐 카바이드 (WC, Tungsten Carbide)와 유사하지만, 질소 원자의 추가로 인해 경도가 약간 낮습니다 (모스 경도 약 8), 밀도는 약 14.5 g/cm³입니다 [17]. 분자 구성에서 강한 공유 결합은 뛰어난 기계적 성질과 내식성을 제공합니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

6.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성

텅스텐 나이트라이드 (WN, Tungsten Nitride)는 비활성 기체 환경에서 약 1000° C 까지 안정하지만, 산소 환경에서는 600° C 이상에서 삼산화 텅스텐 (W₃O₈, Tungsten Trioxide)으로 산화됩니다. 열 안정성은 텅스텐 카바이드 (WC, Tungsten Carbide)보다 약간 낮습니다. 화학적 안정성 측면에서는 강한 산과 염기 저항성을 가지며, 강한 산화성 환경(예: 농축된 질산)에서는 서서히 분해됩니다. 내식성이 뛰어나기 때문에 코팅 응용에서 우수한 성능을 발휘합니다.

6.2.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

텅스텐 나이트라이드 (WN, Tungsten Nitride)의 광학적 특성은 두드러지지 않으며, 깊은 회색 외관은 특별한 광학적 활성을 가지지 않습니다. 전기적으로는 반도체(밴드갭 약 1.8-2.2 eV)로 일정한 전도성을 가지며, 전자 재료에 적합합니다. 자기적 특성에서는 두드러진 자기 성질이 없으며, 응용 분야는 주로 기계적 및 전기적 성질에 의존합니다.

팁

텅스텐 나이트라이드 (WN, Tungsten Nitride)의 제조는 질화 조건을 엄격하게 제어해야 하며, 내마모 코팅 및 전자 재료에서의 잠재력은 더욱 탐구될 가치가 있습니다.

6.3 기타 텅스텐 카바이드 및 나이트라이드

텅스텐 카바이드 (WC, Tungsten Carbide)와 텅스텐 나이트라이드 (WN, Tungsten Nitride) 외에도, 텅스텐 카바이드 및 나이트라이드에는 이텅스텐 카바이드 (W₂C, Ditungsten Carbide)와 탄소질화텅스텐 (WC_{1-x}N_x, Tungsten Carbonitride)이 포함되며, 이들은 특정 내마모성 및 고온 응용 분야에서 독특한 가치를 가지고 있습니다.

6.3.1 제조 공정

기타 텅스텐 카바이드 및 나이트라이드의 제조 공정은 대부분 고온 반응 또는 복합 기술을 사용합니다.

이텅스텐 카바이드 (W₂C, Ditungsten Carbide)의 탄소화 제어법

이텅스텐 카바이드 (W₂C, Ditungsten Carbide)는 1200-1400° C 에서 텅스텐 (W, Tungsten)과 탄소의 반응 비율을 제어하여 생성되며, 과도한 탄소화로 인해 텅스텐 카바이드 (WC, Tungsten Carbide)가 형성되지 않도록 해야 합니다.

탄소질화텅스텐 (WC_{1-x}N_x, Tungsten Carbonitride)의 질소-탄소 공동 침투법

탄소질화텅스텐 (WC_{1-x}N_x, Tungsten Carbonitride)은 800-1000° C 에서 텅스텐 (W, Tungsten) 또는 텅스텐 카바이드 (WC, Tungsten Carbide)와 질소 및 탄소원을 공동 반응시켜 제조되며, 복합 구조가 형성됩니다.

6.3.2 결정 구조 및 분자 구성

이텅스텐 카바이드 (W₂C, Ditungsten Carbide)는 육방정계 구조를 가지며, 텅스텐과

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

탄소의 비율은 2:1 입니다. 구조는 텅스텐 카바이드 (WC, Tungsten Carbide)보다 다소 느슨합니다. 탄소질화텅스텐 ($WC_{1-x}N_x$, Tungsten Carbonitride)는 복합 결정 구조를 가지며, 탄소와 질소 원자가 일부 교체되어 고용체를 형성하고 성능이 향상됩니다.

6.3.3 열 안정성 및 화학적 안정성

이텅스텐 카바이드 (W_2C , Ditungsten Carbide)는 2000° C 이하에서 안정하지만, 산화 분위기에서는 쉽게 분해됩니다. 탄소질화텅스텐 ($WC_{1-x}N_x$, Tungsten Carbonitride)은 카바이드와 나이트라이드의 안정성을 모두 가지고 있어 약 1500° C 까지 내열성이 있습니다.

6.3.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

이텅스텐 카바이드 (W_2C , Ditungsten Carbide)와 탄소질화텅스텐 ($WC_{1-x}N_x$, Tungsten Carbonitride)은 뚜렷한 광학적 활성이 없으며, 전기적으로는 일정한 전도성을 가지고 있지만 자기적 성질은 두드러지지 않습니다. 이들의 가치는 주로 기계적 성질에 의존합니다.

팁

기타 텅스텐 카바이드 및 나이트라이드는 내마모성과 고온 응용에서 특별한 용도를 가지므로, 선택 시 특정 성능에 주의해야 합니다.

정보 참조 출처

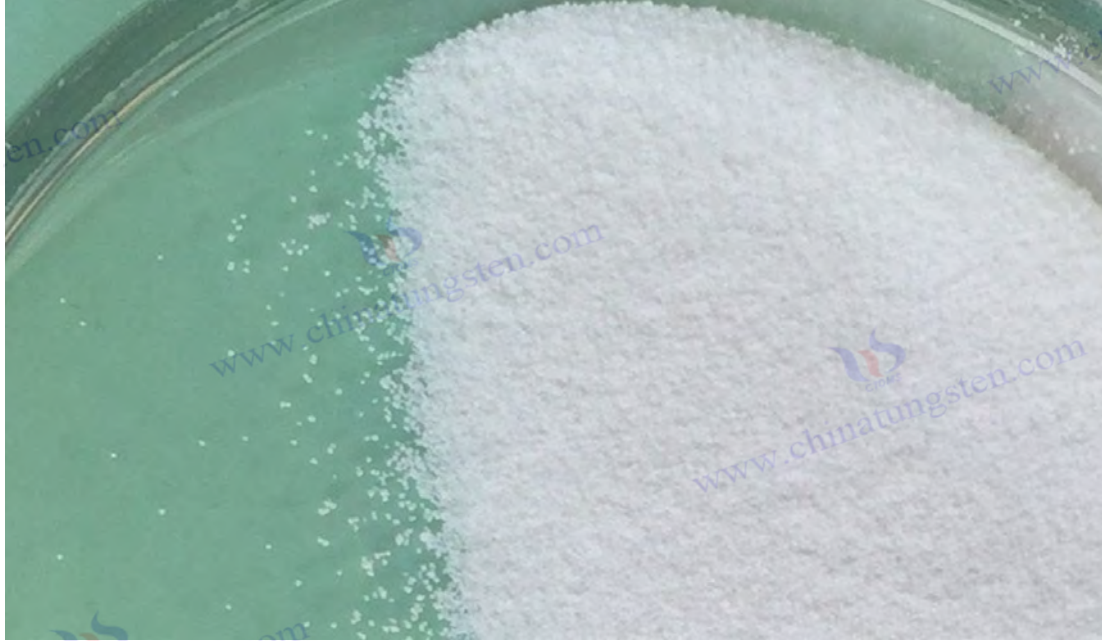
- [16] 《텅스텐 화학 기초》 (독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 《텅스텐 화합물 특성》 (러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000
- [20] 중텅스텐 온라인 공식 계정
- [22] 중국텅스텐 산업협회: www.ctia.com.cn

참고 문헌

- [1] 《텅스텐의 역사와 응용》 (스웨덴어) - KTH 왕립기술대학교, 스톡홀름, 1990
- [2] 《텅스텐 화학 간략사》 (영어) - 미국 지질조사국(USGS), 워싱턴 D.C., 2005
- [3] 중텅스텐 온라인: www.chinatungsten.com
- [4] 《텅스텐 원소 명명 연구》 (다국어) - 국제 순수 및 응용 화학 연합 (IUPAC), 런던, 1990
- [5] 《영국 산업 혁명에서의 텅스텐 응용》 (영어) - 왕립 화학 학회, 런던, 1985
- [6] 《텅스텐 화합물의 초기 산업화》 (프랑스어) - 프랑스 화학 학회, 파리, 1990
- [7] 《세계 텅스텐 자원 분포 보고서》 (영어) - 미국 지질조사국(USGS), 워싱턴 D.C., 2023
- [8] 《텅스텐의 물리적 성질 연구》 (영어) - 왕립학회 철학 거래, 런던, 1810
- [9] 《원소 주기율표의 텅스텐》 (러시아어) - 러시아 화학 학회, 모스크바, 1870
- [10] 《러시아 금속 공업에서의 텅스텐 응용》 (러시아어) - 모스크바 대학교 화학과, 모스크바, 1890
- [11] 《일본 전자 산업에서의 텅스텐 응용》 (일본어) - 도쿄 공업대학교 연구 보고서, 도쿄, 1925
- [12] 《아랍 지역의 광물학적 기록》 (아랍어) - 카이로 대학교 지질학과, 카이로, 1900
- [13] 《2023 년 글로벌 텅스텐 제품 시장 분석》 (영어) - 국제 텅스텐 산업 협회(ITIA), 런던, 2023
- [14] 《텅스텐의 과학 연구 최전선 응용》 (영어) - 미국 국립 보건 연구원(NIH), 베세스다, 2018

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- [15] 중국텅스텐 산업협회: www.ctia.com.cn
- [16] 《텅스텐 화학 기초》 (독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 《텅스텐 화합물 특성》 (러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000
- [18] 《텅스텐 산화물 고온 화학》 (러시아어) - 러시아 과학 아카데미, 모스크바, 1995
- [19] 《텅스텐 산업의 화학적 안정성》 (영어) - 《재료 과학 저널》, 슈프링거, 2000
- [20] 《텅스텐 산화물의 전자 재료 연구》 (일본어) - 도쿄대학교 출판사, 도쿄, 2010
- [21] 《유기 텅스텐 화합물》 (영어) - 《유기 금속 화학》, 미국 화학회 출판, 2005
- [22] 중국텅스텐 산업협회: www.ctia.com.cn



제 7 장: 텅스텐 황화물과 인화물의 제조 및 응용

7.1 텅스텐 디설파이드 (WS_2 , Tungsten Disulfide)

텅스텐 디설파이드 (WS_2 , Tungsten Disulfide)는 텅스텐(W, Tungsten) 화학물 중에서 가장 중요한 황화물 중 하나로, 그 독특한 층상 구조와 낮은 마찰 계수, 높은 윤활성으로 유명합니다. 우수한 고체 윤활제로서, 텅스텐 디설파이드 (WS_2 , Tungsten Disulfide)는 기계 산업, 고온 환경 및 이차원 재료 연구에서 널리 사용됩니다. 깊은 회색에서 검은색의 분말 또는 박막 형태로 뛰어난 성능을 숨기고 있으며, 전통적인 윤활제에서 현대 나노 기술에 이르기까지 텅스텐 디설파이드 (WS_2 , Tungsten Disulfide)의 발전 과정은 텅스텐 화학이 재료 과학 분야에서 다양한 기여를 해왔음을 보여줍니다.

7.1.1 제조 공정

텅스텐 디설파이드 (WS_2 , Tungsten Disulfide)의 제조 방법은 고온 황화, 화학 기상 증착 등 다양한 기술이 있으며, 이는 다른 입자 크기와 순도 요구 사항을 충족시킬 수 있습니다.

고온 황화법 (텅스텐 분말 황화)

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

고온 황화법은 텅스텐 분말(W Powder, Tungsten Powder)과 황분말(S)을 600-900° C의 고온에서 반응시켜 텅스텐 디설파이드(WS_2 , Tungsten Disulfide)를 생성하는 방법입니다. 반응식은 $W + 2S \rightarrow WS_2$ 입니다. 이 과정은 보통 진공 또는 비활성 기체(예: 아르곤) 분위기에서 수행되어 산화를 방지하고, 생성된 제품은 깊은 회색 분말로 됩니다. 반응 후, 분쇄와 체질을 통해 균일한 텅스텐 디설파이드(WS_2) 입자를 얻을 수 있습니다. 이 방법은 공정이 간단하고 원료가 쉽게 구할 수 있어 산업 생산에서 널리 사용되며, 특히 윤활 재료 제조에서 주요한 역할을 합니다.

화학 기상 증착법 (CVD)

화학 기상 증착법 (CVD)은 삼산화텅스텐(WO_3 , Tungsten Trioxide) 또는 육플루오르화텅스텐(WF_6 , Tungsten Hexafluoride)을 황화수소(H_2S)와 반응시켜 텅스텐 디설파이드(WS_2) 박막을 400-700° C에서 생성하는 방법입니다. 이 방법은 단일층 또는 다층 텅스텐 디설파이드(WS_2)를 제작할 수 있어 이차원 재료 및 전자 장치 연구에 적합합니다. 반응은 전용 반응기에서 수행되며, 가스 흐름과 온도를 정밀하게 제어하여 박막의 품질을 보장해야 합니다.

기계적 박리법 (나노판 제조)

기계적 박리법은 물리적인 방법(예: 초음파 박리 또는 테이프 박리)을 사용하여 덩어리 텅스텐 디설파이드(WS_2)에서 나노판을 분리하는 방법으로, 고순도 단일층 텅스텐 디설파이드(WS_2)를 실험실에서 제조할 때 사용됩니다. 이 방법은 생산량이 제한적이지만 층상 구조의 완전성을 보존할 수 있어 기초 연구와 나노 기술 탐구에서 널리 사용됩니다.

7.1.2 결정 구조 및 분자 구성

텅스텐 디설파이드 (WS_2 , Tungsten Disulfide)는 육방형 층상 결정 구조를 가지고 있으며, 텅스텐 원자가 두 개의 황 원자 사이에 끼어들어 '샌드위치' 형태의 이차원 층상 단위를 형성합니다. 인접한 층은 약한 반데르발스 힘으로 연결됩니다. 독일의 결정학 연구에 따르면, 이러한 층상 구조는 낮은 전단 강도(마찰 계수 약 0.03-0.1)와 뛰어난 윤활성을 부여합니다 [16]. 분자 구성에서 텅스텐 원자는 두 개의 황 원자와 공유 결합을 형성하고, 층 간 거리는 약 6.18Å입니다. 이로 인해 기계적 슬라이딩과 박리에서 뛰어난 성능을 발휘합니다.

7.1.3 열 안정성 및 화학 안정성

텅스텐 디설파이드(WS_2)는 비활성 기체 환경에서 뛰어난 열 안정성을 보이며, 약 1200° C까지 견딜 수 있습니다. 그러나 산소 환경에서는 350° C 이상의 온도에서 산화되어 삼산화텅스텐(WO_3 , Tungsten Trioxide)과 이산화황(SO_2)으로 변환되어 고온 산화 조건에서의 사용이 제한됩니다. 화학적으로는 강한 산화제(예: 과산화수소)에서 서서히 분해되지만, 산과 염기에 대해 강한 내식성을 보입니다. 러시아의 재료 연구에 따르면, 이러한 열 안정성과 화학적 비활성은 고온 윤활에서 뛰어난 성능을 제공합니다 [17].

7.1.4 광학, 전기적 및 자기적 특성

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

텅스텐 디설파이드 (WS_2 , Tungsten Disulfide)의 광학 특성은 층수에 따라 다릅니다. 단일층 텅스텐 디설파이드(WS_2)는 직접 밴드갭(약 2.0 eV)을 가지며 형광 특성을 보입니다. 반면 다층은 간접 밴드갭(약 1.3 eV)을 가지고 광학 활성이 감소합니다. 전기적으로는 반도체로, 단일층이 다층보다 전도성이 우수하며 광전 소자에 적합합니다. 자기성 측면에서는 텅스텐 디설파이드(WS_2)는 뚜렷한 자기성을 가지지 않으며, 주로 윤활성 및 전기적 특성에 기반한 응용에 사용됩니다.

7.2 텅스텐 포스파이드 (WP, Tungsten Phosphide)

텅스텐 포스파이드 (WP, Tungsten Phosphide)는 텅스텐(W, Tungsten)과 인(P)으로 이루어진 화합물로, 텅스텐 디설파이드(WS_2)보다는 응용 범위가 제한적이지만 촉매제 및 내마모 재료 분야에서 특별한 가치를 가지고 있습니다. 텅스텐 포스파이드 (WP, Tungsten Phosphide)의 회색에서 검은색 외관과 뛰어난 촉매 성능은 텅스텐 화합물 중에서 저조한 주목을 받지만, 그 연구는 화학 촉매 및 재료 과학에 새로운 방향을 제시하고 있습니다.

7.2.1 제조 공정

텅스텐 인화물 (WP, Tungsten Phosphide)의 제조는 주로 고온 인화법 또는 화학 환원 기술을 사용하며, 반응 조건을 정확하게 제어해야 합니다.

고온 인화법 (텅스텐 분말 인화)

고온 인화법은 텅스텐 분말 (W Powder, Tungsten Powder)과 인 분말 (P) 또는 인화수소 (PH_3)를 800-1000° C 에서 반응시켜 텅스텐 인화물 (WP, Tungsten Phosphide)을 생성합니다. 반응식은 다음과 같습니다:



이 과정은 밀폐된 반응기에서 수행되며, 산소의 간섭을 피하기 위해 진행됩니다. 생성된 제품은 회색과 검은색의 분말입니다. 이 방법은 산업 및 소규모 생산에 적합하며, 공정이 간단하고 기존의 텅스텐 자원을 활용할 수 있어 널리 사용됩니다.

화학 환원법 (산화물 인화)

화학 환원법은 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)과 인원 (적린 등)을 수소 기체 분위기에서 700-900° C 로 반응시켜 텅스텐 인화물 (WP, Tungsten Phosphide)을 제조합니다. 이 방법은 나노 입자를 생성할 수 있으며, 촉매 연구에 적합합니다. 그러나 인의 양을 조절하여 저가 화합물이 생성되는 것을 방지해야 합니다.

7.2.2 결정 구조와 분자 구성

텅스텐 인화물 (WP, Tungsten Phosphide)은 일반적으로 직교 결정 구조를 가지고 있으며, 텅스텐 원자와 인 원자가 1:1 비율로 결합하여 공유 결합 네트워크를 형성합니다. 연구에 따르면 이 결정 격자는 비교적 조밀하며 (밀도 약 12.5 g/cm³), 인 원자의 추가로 촉매 활성도가 높아집니다[17]. 분자 구성에서 텅스텐-인 결합은 높은 경도와 화학적 안정성을 제공합니다.

7.2.3 열 안정성 및 화학 안정성

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

텅스텐 인화물 (WP, Tungsten Phosphide)은 불활성 기체 환경에서 약 900° C 까지 안정하지만, 산소 환경에서는 500° C 이상에서 삼산화텅스텐 (WO₃, Tungsten Trioxide)과 인 산화물로 산화됩니다. 화학적으로는 산과 알칼리에 대해 일정한 내식성을 가지고 있으나, 강한 산화제(예: 과산화수소)에 의해 분해될 수 있습니다. 그 안정성 덕분에 촉매 반응에서 우수한 성능을 발휘합니다.

7.2.4 광학적, 전기적, 자기적 특성

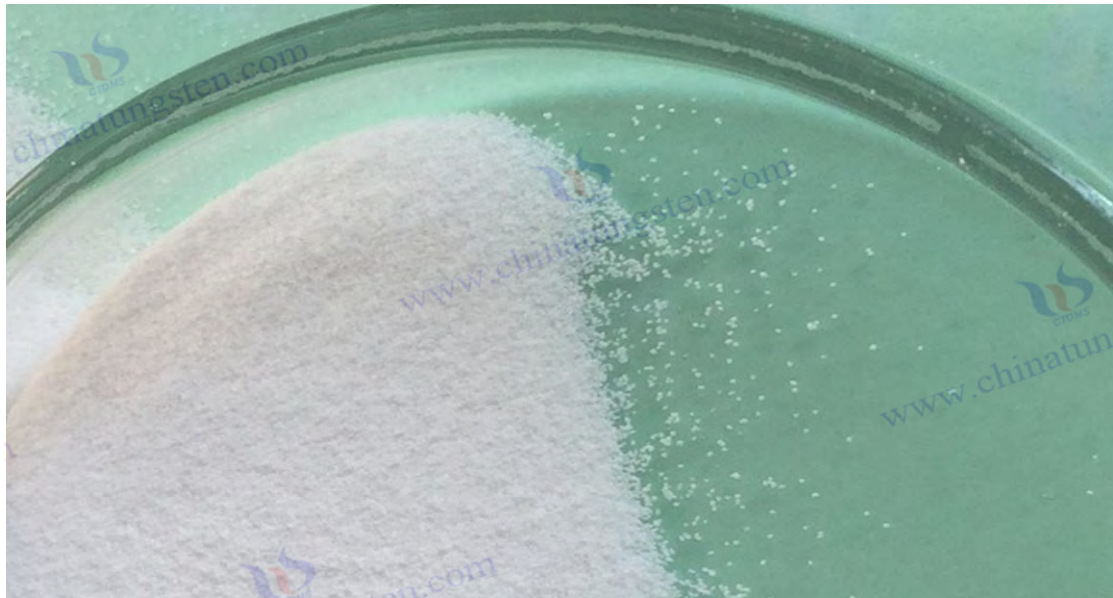
텅스텐 인화물 (WP, Tungsten Phosphide)의 광학적 특성은 뚜렷하지 않으며, 그 회색과 검은색 외관에는 특별한 광학 활성이 없습니다. 전기적으로는 좁은 밴드갭 반도체(밴드갭 약 0.8-1.2 eV)로 일정한 전도성을 가지며, 촉매 담체로 사용될 수 있습니다. 자기적으로는 텅스텐 인화물 (WP, Tungsten Phosphide)은 뚜렷한 자성을 보이지 않으며, 그 가치는 주로 촉매 특성에 기반합니다.

작은 팁

텅스텐 인화물 (WP, Tungsten Phosphide)의 제조는 인화 조건을 정확하게 제어해야 하며, 촉매 분야에서의 잠재력을 주목할 필요가 있습니다.

7.3 기타 텅스텐 황화물 및 인화물

텅스텐 황화물 (WS₂, Tungsten Disulfide)과 텅스텐 인화물 (WP, Tungsten Phosphide) 외에도, 이황화 이텅스텐 (W₂S₃, Ditungsten Trisulfide) 및 이인화텅스텐 (WP₂, Tungsten Diphosphide) 등이 있으며, 이들은 특정 촉매 및 고경도 응용에서 독특한 장점을 가지고 있습니다.



7.3.1 제조 공정

기타 텅스텐 황화물 및 인화물의 제조는 주로 고온 반응 기술을 사용합니다.

이황화 이텅스텐 (W₂S₃, Ditungsten Trisulfide) 황화 제어법

텅스텐 (W)과 황의 비율을 500-700° C 에서 제어하여 이황화 이텅스텐 (W₂S₃,

Ditungsten Trisulfide)을 생성합니다. 이 과정에서 과량의 황화가 발생하지 않도록 해야 합니다.

이인화텨스텐 (WP₂, Tungsten Diphosphide) 고온 인화법

900-1100° C에서 텨스텐 (W)과 과량의 인을 반응시켜 이인화텨스텐 (WP₂, Tungsten Diphosphide)을 제조하며, 이 과정에서 고인 함량 화합물이 생성됩니다.

7.3.2 결정 구조와 분자 구성

이황화 이텨스텐 (W₂S₃, Ditungsten Trisulfide)은 정방형 결정 구조를 가지며, 텨스텐과 황의 비율은 2:3 으로 구조가 비교적 느슨합니다. 이인화텨스텐 (WP₂, Tungsten Diphosphide)은 단사형 결정 구조를 가지며, 텨스텐과 인의 비율은 1:2 로 촉매 활성도를 높입니다.

7.3.3 열 안정성 및 화학 안정성

이황화 이텨스텐 (W₂S₃, Ditungsten Trisulfide)은 800° C 이하에서 안정하지만 산소 환경에서 쉽게 산화됩니다. 이인화텨스텐 (WP₂, Tungsten Diphosphide)은 약 1000° C 까지 견딜 수 있으며, 화학적 안정성이 더 강합니다.

7.3.4 광학적, 전기적, 자기적 특성

이황화 이텨스텐 (W₂S₃, Ditungsten Trisulfide)과 이인화텨스텐 (WP₂, Tungsten Diphosphide)은 뚜렷한 광학 활성이 없으며, 전기적으로 일정한 전도성을 가지지만 자성은 없습니다. 이들의 가치는 주로 촉매 특성에 있습니다.

작은 팁

기타 텨스텐 황화물 및 인화물은 촉매 분야에서 특별한 응용이 있으며, 선택 시 화학 조성을 주의 깊게 살펴야 합니다.

정보 참조 출처

- [16] 《텨스텐 화학 기초》(독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 《텨스텐 화합물 특성》(러시아어) - 모스크바 국립대 화학과, 모스크바, 2000
- [20] 중텨스텐 온라인 WeChat
- [22] 중국 텨스텐 산업: www.ctia.com.cn

참고 문헌

- [1] 《텨스텐의 역사와 응용》(스웨덴어) - KTH 왕립공대, 스톡홀름, 1990
- [2] 《텨스텐 화학 간략사》(영어) - U.S. Geological Survey (USGS), 워싱턴 D.C., 2005
- [3] 중텨스텐 온라인: www.chinatungsten.com
- [4] 《텨스텐 원소 명명 연구》(다국어) - 국제 순수 및 응용 화학 연합(IUPAC), 런던, 1990
- [5] 《영국 산업 혁명에서의 텨스텐 응용》(영어) - 왕립 화학회, 런던, 1985
- [6] 《텨스텐 화학품의 초기 산업화》(프랑스어) - 프랑스 화학회, 파리, 1990
- [7] 《세계 텨스텐 자원 분포 보고서》(영어) - U.S. Geological Survey (USGS),

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

워싱턴 D.C., 2023

- [8] 《텅스텐의 물리적 성질 연구》(영어) - 왕립 학회 철학 거래, 런던, 1810
- [9] 《주기율표의 텅스텐》(러시아어) - 러시아 화학회, 모스크바, 1870
- [10] 《러시아에서의 텅스텐 응용》(러시아어) - 모스크바 대학 화학과, 모스크바, 1890
- [11] 《일본 전자 산업에서의 텅스텐 응용》(일본어) - 도쿄 공업대학 연구 보고서, 도쿄, 1925
- [12] 《아랍 지역의 광물학 기록》(아랍어) - 카이로 대학교 지질학과, 카이로, 1900
- [13] 《2023년 글로벌 텅스텐 제품 시장 분석》(영어) - 국제 텅스텐 산업 협회(ITIA), 런던, 2023
- [14] 《텅스텐의 과학적 응용 최전선》(영어) - 미국 국립 보건원(NIH), 베세스다, 2018
- [15] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn
- [16] 《텅스텐 화학 기초》(독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 《텅스텐 화합물 특성》(러시아어) - 모스크바 국립대 화학과, 모스크바, 2000
- [18] 《텅스텐 산화물 고온 화학》(러시아어) - 러시아 아카데미, 모스크바, 1995
- [19] 《텅스텐 산염의 화학적 안정성》(영어) - 《재료 과학 저널》, 스프링거, 2000
- [20] 《텅스텐 산화물의 전자 재료 연구》(일본어) - 도쿄 대학교 출판사, 도쿄, 2010
- [21] 《유기 텅스텐 화합물》(영어) - 《유기 금속 화학》, 미국 화학회 출판, 2005
- [22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn



8 장: 유기 텨스텐 화합물의 제조 및 응용

8.1 육탄소화 텨스텐(W(CO)₆, Tungsten Hexacarbonyl)

육탄소화 텨스텐(W(CO)₆, Tungsten Hexacarbonyl)은 텨스텐(W, Tungsten) 유기 화합물 중에서 가장 대표적인 화합물로, 고휘발성, 배위 화학적 활성과 유기 합성에서의 촉매 능력으로 잘 알려져 있습니다. 전형적인 금속 화합물로서, 육탄소화 텨스텐(W(CO)₆)은 촉매 제조, 유기 반응 및 박막 증착 분야에서 광범위한 응용 잠재력을 보입니다. 그 하얀 결정 모양과 독특한 냄새가 화학 분야에서의 핵심적인 위치를 감추지 못합니다. 실험실 연구에서 산업적 응용까지, 육탄소화 텨스텐(W(CO)₆)의 발전은 텨스텐 화학이 유기 화학 분야로 확장된 과정을 보여줍니다.

8.1.1 제조 공정

육탄소화 텨스텐(W(CO)₆)의 제조 방법은 다양하며, 고압 탄소화, 환원 탄소화 등 기술이 포함되어 다양한 순도와 용도의 요구를 충족시킬 수 있습니다.

고압 탄소화법 (텨스텐 분말 탄소화)

고압 탄소화법은 텨스텐 분말(W Powder, Tungsten Powder)과 일산화탄소(CO)를 고압(100-200 atm)과 고온(200-300° C)에서 반응시켜 육탄소화 텨스텐(W(CO)₆)을 생성합니다. 이 반응식은 $W + 6CO \rightarrow W(CO)_6$ 입니다. 이 과정은 고압 반응기에서 진행되며, 반응 효율을 높이기 위해 촉매(예: 아이오딘화물)를 추가합니다. 생성된 제품은 하얀 결정 형태로 결정되어 승화하여 고순도의 육탄소화 텨스텐(W(CO)₆)을 얻습니다. 이 방법은 직접적이고 높은 수율로 인해 산업 및 실험실에서 널리 사용되는 주요 제조 기술입니다.

환원 탄소화법 (할로겐화물 환원)

환원 탄소화법은 육염화텨스텐(WCl₆, Tungsten Hexachloride)과 일산화탄소를 환원제(예: 아연 분말 또는 알루미늄 분말) 존재 하에 150-250° C에서 반응시켜

육탄소화 텅스텐(W(CO)₆)을 제조합니다. 이 반응은 수분과 산소가 없는 조건에서 진행되어야 하며, 부반응의 생성을 방지해야 합니다. 이 방법은 소규모 생산에 적합하며, 할로겐화 텅스텐의 중간 생성물을 활용하여 자원 이용률을 높이고, 고순도의 유기 텅스텐 화합물 제조에 자주 사용됩니다.

기상 합성법 (고순도 제조)

기상 합성법은 기상에서 텅스텐(W, Tungsten) 또는 그 화합물과 일산화탄소가 고압(50-100 atm)과 고온(약 300° C)에서 반응하여 육탄소화 텅스텐(W(CO)₆) 기체를 생성한 후, 이를 응축하여 결정으로 만드는 방법입니다. 이 방법은 미량의 불순물을 제거하는 데 우수한 성능을 보이며, 전자 재료 및 정밀 촉매 연구에서 고순도의 육탄소화 텅스텐(W(CO)₆)을 제조하는 데 사용됩니다.

8.1.2 결정 구조와 분자 구성

육탄소화 텅스텐(W(CO)₆)은 팔면체 결정 구조를 가지며, 중앙의 텅스텐 원자는 여섯 개의 일산화탄소(CO) 리간드와 배위 결합을 형성하여 대칭적인 W(CO)₆ 분자 단위를 만듭니다. 독일 결정학 연구에 따르면, 이 팔면체 구조는 고휘발성을 부여하며(융점 약 170° C, 끓는점 약 175° C에서 승화), 기상 반응에서 뛰어난 성능을 보입니다 [16]. 분자 구성에서 텅스텐 원자는 0 산화 상태에 있으며, 일산화탄소 리간드의 강한 σ-공여 전자 및 π-수용 전자 능력이 화학적 안정성을 높여 유기 반응에서 다른 리간드와 배위 반응 또는 치환 반응을 쉽게 일으킬 수 있습니다.

8.1.3 열 안정성 및 화학 안정성

육탄소화 텅스텐(W(CO)₆)은 무산소 무수 조건에서 일정한 열 안정성을 가지며, 약 150° C 이하에서 결정 구조를 유지할 수 있습니다. 그러나 더 높은 온도나 공기 중에서는 일산화탄소와 텅스텐 산화물로 분해됩니다. 화학적 안정성은 상대적으로 약하며, 빛과 산소에 민감하여 자외선 또는 산소 하에서 텅스텐(W)과 일산화탄소로 분해됩니다. 따라서 불활성 기체 환경에서 저장하고 사용해야 합니다. 러시아 화학 연구에 따르면, 그 고배위 활성은 유기 합성에서 유효한 촉매 전구체로서 역할을 합니다 [17].

8.1.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

육탄소화 텅스텐(W(CO)₆)의 광학적 특성은 일산화탄소 리간드의 전자 전이에 의한 하얀 결정 모양으로 나타나지만, 광학 응용에서는 제한적인 역할만을 합니다. 전기적 특성에서는 고체 상태에서 절연체이지만, 기체 상태나 용액에서는 분해로 인해 약간의 전도성을 보일 수 있습니다. 자기적 특성에서는 육탄소화 텅스텐(W(CO)₆)은 뚜렷한 자기성을 나타내지 않으며, 그 응용은 물리적 특성보다는 배위 화학적 활성을 기반으로 합니다.

소소한 팁

육탄소화 텅스텐(W(CO)₆)의 제조는 산소와 빛을 엄격히 제어해야 하며, 그 배위 활성은 촉매 및 유기 합성 분야에서 중요한 장점을 가지고 있습니다. 구매 시 순도와 저장 조건에 주의해야 합니다.

8.2 이염화텨스톰센 (Cp₂WCl₂, Tungstenocene Dichloride)

이염화텨스톰센(Cp₂WCl₂, Tungstenocene Dichloride)은 안정적인 시클로펜타디엔 배위자 구조와 유기금속 화학에서의 반응 활성으로 유명한 중요한 유기 텨스텐 화합물입니다. 시클로펜타디엔 금속 화합물의 일종으로서, 이염화텨스톰센(Cp₂WCl₂, Tungstenocene Dichloride)은 촉매, 유기 합성, 재료 과학 연구에서 독특한 가치를 지닙니다. 녹색 결정 외관과 화학적 다기능성은 텨스텐 화합물질 중에서 독특한 특징을 부여하며, 이에 대한 연구는 현대 화학에서 유기 텨스텐 화합물의 응용을 촉진하고 있습니다.

8.2.1 제조 공정

이염화텨스톰센(Cp₂WCl₂, Tungstenocene Dichloride)의 제조는 주로 배위 반응 기술에 의존하며, 제품 품질을 보장하기 위해 무수 및 무산소 조건에서 진행해야 합니다.

할로겐화물 배위법(육염화텨스텐 반응)

할로겐화물 배위법은 육염화텨스텐(WCl₆, Tungsten Hexachloride)과 나트륨 시클로펜타디엔(NaCp)을 테트라히드로푸란(THF)과 같은 용매에서 -78° C 에서 실온까지 반응시켜 이염화텨스톰센(Cp₂WCl₂, Tungstenocene Dichloride)을 제조합니다. 반응식은 다음과 같습니다: $WCl_6 + 2NaCp \rightarrow Cp_2WCl_2 + 2NaCl + 2Cl_2$. 이 방법은 불활성 분위기(예: 질소 또는 아르곤)에서 진행해야 하며, 반응 생성물은 추출 및 재결정 과정을 통해 녹색 결정을 얻습니다. 이 방법은 실험실 제조의 주류로, 배위자 배위를 정밀하게 제어할 수 있어 고순도 이염화텨스톰센(Cp₂WCl₂, Tungstenocene Dichloride) 합성에 적합합니다.

환원 배위법(삼산화텨스텐 기질)

환원 배위법은 삼산화텨스텐(WO₃, Tungsten Trioxide)을 환원제(예: 아연 분말)와 시클로펜타디엔(C₅H₆)과 함께 염화제(예: PCl₅)가 있는 조건에서 100-150° C 에서 반응시켜 이염화텨스톰센(Cp₂WCl₂, Tungstenocene Dichloride)을 제조합니다. 반응은 무수 환경에서 진행해야 하며, 생성물은 용매 추출 및 정제를 통해 얻어집니다. 이 방법은 소규모 생산에 적합하며, 산화물 원료를 활용하여 비용을 절감할 수 있어 유기금속 화학 연구에 자주 사용됩니다.

8.2.2 결정 구조와 분자 구성

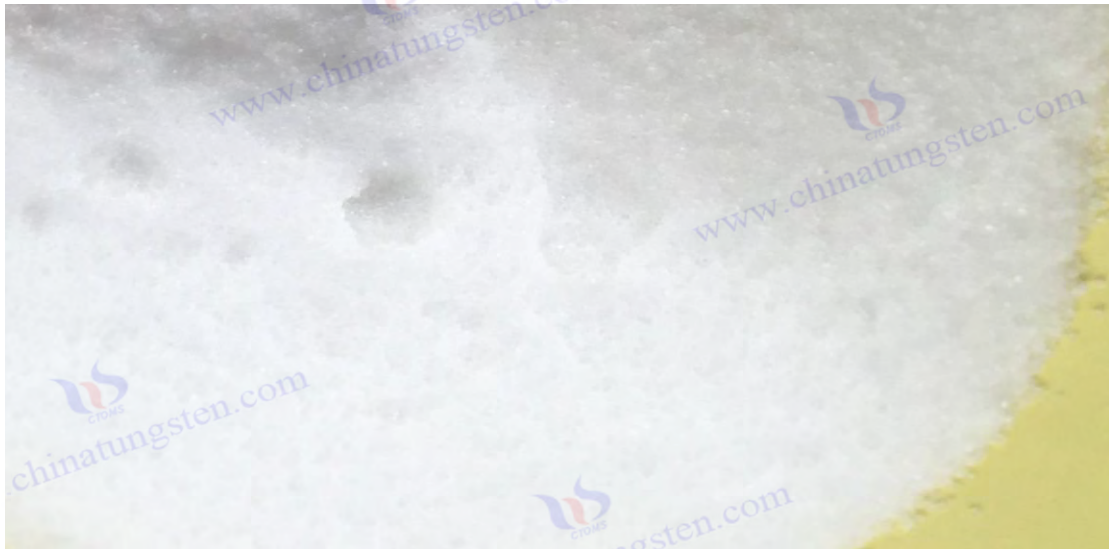
이염화텨스톰센(Cp₂WCl₂, Tungstenocene Dichloride)은 샌드위치형 결정 구조를 가지며, 두 개의 시클로펜타디엔일(Cp) 배위자가 중심 텨스텐 원자를 평행하게 감싸고, 두 개의 염소 원자가 텨스텐의 반대쪽에 위치하여 사배위 구조를 형성합니다. 일본 화학 연구에 따르면, 이 샌드위치 구조는 안정성을 강화하며(융점 약 230° C 에서 분해), 텨스텐은 +4 산화 상태에 있으며, 시클로펜타디엔일의 π-전자 구름이 텨스텐과 강한 배위 결합을 형성합니다 [20]. 분자 구성에서 Cp 배위자는 유기금속 특성을 부여하여 촉매 반응에서 높은 활성을 나타냅니다.

8.2.3 열 안정성과 화학적 안정성

이염화텅스토펜(Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride)은 무산소 조건에서 우수한 열 안정성을 가지며, 약 $200^{\circ}C$ 이하에서 구조를 유지할 수 있지만, 산소나 습기에서는 텅스텐 산화물과 유기 분해 생성물로 쉽게 분해됩니다. 화학적 안정성은 중간 수준으로, 수분과 산화제에 민감하여 불활성 분위기에서 보관해야 합니다. 연구에 따르면, 배위 구조는 유기 반응에서 높은 화학적 활성을 보인다고 합니다 [21].

8.2.4 광학, 전기 및 자기 특성

이염화텅스토펜(Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride)의 광학 특성은 그 녹색 결정 외관에서 나타나며, 이는 텅스텐 원자의 d 전자 전이에 기인하지만, 뚜렷한 광학 응용 가치는 없습니다. 전기적으로는 고체 상태에서 절연체로, 뚜렷한 전도성을 보이지 않습니다. 자기 특성 면에서, 이염화텅스토펜(Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride)은 텅스텐의 d 전자가 쌍을 이루고 있어 뚜렷한 자성을 나타내지 않으며, 그 응용은 주로 화학적 반응성에 의존합니다.



8.2 二塩化タングステノセン (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride)

二塩化タングステノセン (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride) は、安定したシクロペンタジエニル配位子構造と有機金属化学における反応活性で知られている重要な有機タングステン化合物です。シクロペンタジエニル金属化合物の一種として、二塩化タングステノセン (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride) は触媒、有機合成、材料科学研究において独自の価値を持っています。その緑色の結晶外観と化学的多機能性は、タングステン化学品の中で際立った特徴を持ち、その研究は現代化学における有機タングステン化合物の応用を推進しています。

8.2.1 製造プロセス

二塩化タングステノセン (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride) の製造は、主に配位反応技術に依存し、製品品質を確保するために無水無酸素条件下で行う必要があります。

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

ハロゲン化物配位法（六塩化タングステン反応）

ハロゲン化物配位法では、六塩化タングステン (WCl_6 , Tungsten Hexachloride) とナトリウムシクロペンタジエニル (NaCp) をテトラヒドロフラン (THF) などの溶媒中で -78°C から室温で反応させ、二塩化タングステノセン (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride) を製造します。反応式は次の通りです：



この方法は不活性雰囲気（例えば窒素やアルゴン）下で行う必要があります、反応生成物は抽出と再結晶を経て緑色結晶として得られます。この方法は実験室での製造の主流であり、配位子の配位を精密に制御できるため、高純度の二塩化タングステノセン (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride) の合成に適しています。

還元配位法（三酸化タングステン基質）

還元配位法では、三酸化タングステン (WO_3 , Tungsten Trioxide) を還元剤（例えば亜鉛粉）とシクロペンタジエン (C_5H_6) とともに、塩化剤（例えば PCl_5 ）の存在下で $100\text{--}150^\circ\text{C}$ で反応させ、二塩化タングステノセン (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride) を製造します。反応は無水環境下で行う必要があります、生成物は溶媒抽出と精製によって得られます。この方法は小規模生産に適しており、酸化物原料を利用してコストを削減できるため、有機金属化学研究でよく使用されます。

8.2.2 結晶構造と分子構成

二塩化タングステノセン (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride) はサンドイッチ型の結晶構造を持ち、2つのシクロペンタジエニル (Cp) 配位子が中心タングステン原子を平行に挟み、2つの塩素原子がタングステンの反対側に位置し、四配位構造を形成します。日本の化学研究によると、このサンドイッチ構造は安定性を高め（融点約 230°C で分解）、タングステンは +4 酸化状態にあり、シクロペンタジエニルの π 電子雲がタングステンと強力な配位結合を形成します [20]。分子構成中の Cp 配位子は有機金属特性を与え、触媒反応で高い活性を示します。

8.2.3 熱安定性と化学的安定性

二塩化タングステノセン (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride) は無酸素条件下で優れた熱安定性を持ち、約 200°C 以下で構造を維持できますが、酸素や湿気中ではタングステン酸化物と有機分解生成物に容易に分解します。その化学的安定性は中程度で、水分や酸化剤に敏感であり、不活性雰囲気下で保管する必要があります。研究では、その配位構造が有機反応で高い化学的活性を示すことが指摘されています [21]。

8.2.4 光学、電気、磁気特性

二塩化タングステノセン (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride) の光学特性は、その緑色結晶外観に表れており、タングステン原子の d 電子遷移に由来しますが、顕著な光学応用価値はありません。電気的には、固体状態で絶縁体であり、明らかな導電性はありません。磁性に関しては、二塩化タングステノセン (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride) はタングステンの d 電子が対になっており、顕著な磁性を持たず、その応用は主に化学反応性に依存しています。

정보 참고 출처

- [16] 《텅스텐 화학 기초》(독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
[17] 《텅스텐 화합물 특성》(러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000
[20] 중텅 온라인 위챗 공식 계정
[22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn

참고 문헌

- [1] 《텅스텐의 역사와 응용》(스웨덴어) - KTH 왕립 공과대학교, 스톡홀름, 1990
[2] 《텅스텐 화학 간략사》(영어) - 미국 지질조사국(USGS), 워싱턴 D.C., 2005
[3] 중텅 온라인: www.chinatungsten.com
[4] 《텅스텐 원소 명명 연구》(다중 언어) - 국제 순수 및 응용 화학 연합(IUPAC), 런던, 1990
[5] 《영국 산업혁명에서의 텅스텐 응용》(영어) - 왕립 화학회, 런던, 1985
[6] 《텅스텐 화합물질의 초기 산업화》(프랑스어) - 프랑스 화학회, 파리, 1990
[7] 《세계 텅스텐 자원 분포 보고서》(영어) - 미국 지질조사국(USGS), 워싱턴 D.C., 2023
[8] 《텅스텐의 물리적 특성 연구》(영어) - 왕립학회 철학 거래, 런던, 1810
[9] 《원소 주기표에서의 텅스텐》(러시아어) - 러시아 화학회, 모스크바, 1870
[10] 《러시아 야금에서의 텅스텐 응용》(러시아어) - 모스크바 대학교 화학과, 모스크바, 1890
[11] 《일본 전자 산업에서의 텅스텐 응용》(일본어) - 도쿄 공업대학교 연구 보고서, 도쿄, 1925
[12] 《아랍 지역의 광물학 기록》(아랍어) - 카이로 대학교 지질학과, 카이로, 1900
[13] 《2023년 글로벌 텅스텐 제품 시장 분석》(영어) - 국제 텅스텐 산업 협회(ITIA), 런던, 2023
[14] 《연구에서의 텅스텐 최신 응용》(영어) - 미국 국립보건원(NIH), 베테스다, 2018
[15] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn
[16] 《텅스텐 화학 기초》(독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
[17] 《텅스텐 화합물 특성》(러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000
[18] 《텅스텐 산화물 고온 화학》(러시아어) - 러시아 과학 아카데미, 모스크바, 1995
[19] 《텅스텐산염의 화학적 안정성》(영어) - 《재료 과학 저널》, 스프링거, 2000
[20] 《텅스텐 산화물의 전자 재료 연구》(일본어) - 도쿄 대학교 출판사, 도쿄, 2010
[21] 《유기 텅스텐 화합물》(영어) - 《유기금속 화학》, 미국 화학회 출판, 2005
[22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



제 9 장: 텅스텐 함유 촉매 및 시약의 제조와 응용

9.1 인텅스텐산 ($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)

인텅스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)은 텅스텐 함유 촉매 및 시약 중 가장 대표적이고 널리 사용되는 물질로, 강한 산성, 높은 촉매 활성, 그리고 다양한 반응에서의 안정성으로 유명합니다. 전형적인 헤테로폴리산으로서, 인텅스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)은 유기 합성, 석유 화학, 분석 화학 분야에서 뛰어난 성능을 보여줍니다. 흰색 또는 연한 노란색 결정 외관은 촉매 반응에서의 중요한地位를 감출 수 없으며, 실험실 연구에서 산업 응용에 이르기까지 인텅스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)의 발전은 촉매 분야에서 텅스텐 화학의 깊은 영향을 보여줍니다.

9.1.1 제조 공정

인텅스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)의 제조 방법은 다양하며, 산화 침전법, 추출 정제법 등 기술을 포함하여 다양한 순도와 용도 요구를 충족할 수 있습니다.

산화 침전법(텅스텐산염 반응)

산화 침전법은 텅스텐산나트륨(Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)과 인산(H_3PO_4)을 산성 조건(보통 염산 또는 황산으로 pH를 1-2로 조정)에서 반응시켜 인텅스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)을 생성합니다. 반응식은 다음과 같습니다:



반응은 50-80° C에서 진행되며, 생성물은 흰색 또는 연한 노란색 결정으로 침전되어 여과, 세척, 건조(약 100-150° C)를 거쳐 얻어집니다. 이 방법은 원료가 쉽게 구입 가능하고 공정이 간단하여 산업 및 실험실에서 널리 사용됩니다.

추출 정제법(용액 추출)

추출 정제법은 텅스텐 함유 용액(예: 텅스텐산염 용액)을 인산과 혼합한 후, 유기 용매(예: 에테르 또는 부타논)를 사용하여 인텅스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)을 추출하고, 용매를 증발시켜 결정을 얻어 순수한 생성물을 제조합니다. 이

방법은 불순물을 효과적으로 제거할 수 있어 고순도 인텡스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)을 제조하는 데 적합하며, 분석 시약 및 정밀 촉매 연구에 주로 실험실에서 사용됩니다.

이온 교환법(고순도 제조)

이온 교환법은 텡스텐산염 용액과 인산을 혼합한 후, 이온 교환 수지를 통해 인텡스텐산 이온을 분리하고, 이후 산성화하여 인텡스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)을 생성합니다. 이 방법은 미량 불순물 제어에 탁월하며, 초고순도 제품 제조에 적합하여 고급 촉매 및 과학 연구에 자주 사용됩니다.

9.1.2 결정 구조와 분자 구성

인텡스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)은 Keggin 형 헤테로폴리산 구조를 가지며, 중심 인 원자가 12 개의 텡스텐-산소 팔면체에 둘러싸여 높은 대칭성을 가진 케이지형 분자를 형성합니다. 독일 결정학 연구에 따르면, 이 구조는 강한 산성($pK_a < 0$)과 높은 촉매 활성을 부여하며, 결정에는 다수의 결정수(보통 $H_3PW_{12}O_{40} \cdot nH_2O$, $n \approx 14-30$)가 포함됩니다 [16]. 분자 구성에서 텡스텐은 +6 산화 상태, 인은 +5 산화 상태에 있으며, 산소 다리를 통해 연결되어 안정적인 3차원 프레임워크를 형성하여 다양한 반응 조건에서 구조를 유지합니다.

9.1.3 열 안정성과 화학적 안정성

인텡스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)은 건조 조건에서 우수한 열 안정성을 가지며, 약 $300^\circ C$ 이하에서 구조를 유지할 수 있지만, 이 온도를 초과하면 결정수를 잃고 점차 삼산화텡스텐(WO_3 , Tungsten Trioxide)과 인 산화물로 분해됩니다. 화학적 안정성 면에서, 산성 환경에서 매우 안정적이지만 강한 염기성 조건에서는 텡스텐산염과 인산염으로 분해됩니다. 러시아 촉매 연구에 따르면, 그 강한 산성과 안정성은 산 촉매 반응에서 뛰어난 성능을 발휘한다고 합니다 [17].

9.1.4 광학, 전기 및 자기 특성

인텡스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)의 광학 특성은 두드러지지 않으며, 흰색 또는 연한 노란색 결정은 특별한 광학 활성을 보이지 않아 주로 화학적 용도로 사용됩니다. 전기적으로는 고체 상태에서 절연체이지만, 용액에서는 강한 산성으로 인해 이온 전도성을 가집니다. 자기 특성 면에서, 인텡스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)은 뚜렷한 자성을 보이지 않으며, 그 응용 가치는 주로 촉매 성능과 산성에 있습니다.

소팅

인텡스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)의 제조 공정은 유연하며, 그 강한 산성은 촉매 분야에서 뚜렷한 장점을 가지므로, 구매 시 순도와 결정수 함량에 주의해야 합니다.

9.2 규텡스텐산 ($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid)

규텡스텐산($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid)은 또 다른 중요한 텡스텐 함유 헤테로폴리산으로, 높은 산성, 산화환원 활성, 그리고 유기 합성 및 촉매 반응에서의 다기능성으로 유명합니다. Keggin 형 헤테로폴리산의 일종으로서, 규텡스텐산($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid)은 산 촉매, 산화 반응, 연료전지 연구에서 폭넓게 응용됩니다. 무색 또는 연한 노란색 결정 외관은 강력한 촉매 능력을 숨기고 있으며, 그 연구와 응용은 텡스텐 화학이 녹색 화학과 에너지 분야의 경계를 확장하게 합니다.

9.2.1 제조 공정

규텡스텐산($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid)의 제조는 주로 산화 반응과 추출 기술을 통해 이루어지며, 산성 조건에서 진행해야 합니다.

산화 반응법(규산나트륨과 텡스텐산염 반응)

산화 반응법은 규산나트륨(Na_2SiO_3)과 텡스텐산나트륨(Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)을 산성 용액에서(염산으로 pH 를 1-2 로 조정) 60-90° C 에서 반응시켜 규텡스텐산($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid)을 생성합니다. 반응식은 다음과 같습니다:



생성물은 결정 형태로 침전되며, 여과와 건조(약 100-120° C)를 거쳐 얻어집니다. 이 방법은 원료가 쉽게 구입 가능하고 공정이 성숙하여 산업 및 실험실 생산에 널리 사용됩니다.

추출법(용액 정제)

추출법은 텡스텐과 규소를 함유한 혼합 용액을 산성화한 후, 유기 용매(예: 에테르)를 사용하여 규텡스텐산($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid)을 추출하고, 용매를 증발시켜 결정을 얻어 순수한 생성물을 제조합니다. 이 방법은 불순물을 효과적으로 제거할 수 있어 고순도 규텡스텐산($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid) 제조에 적합하며, 촉매 연구에 자주 사용됩니다.

9.2.2 결정 구조와 분자 구성

규텡스텐산($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid)은 Keggin 형 헤테로폴리산 구조를 가지며, 중심 규소 원자가 12 개의 텡스텐-산소 팔면체에 둘러싸여 대칭적인 케이지형 분자를 형성합니다. 연구에 따르면, 이 구조는 극도로 강한 산성($pK_a < 0$)과 산화환원 능력을 부여하며, 결정에는 다수의 결정수(보통 $H_4SiW_{12}O_{40} \cdot nH_2O$, $n \approx 14-24$)가 포함됩니다 [19]. 분자 구성에서 텡스텐은 +6 산화 상태, 규소는 +4 산화 상태에 있으며, 산소 다리를 통해 연결되어 안정적인 3 차원 프레임워크를 형성합니다.

9.2.3 열 안정성과 화학적 안정성

규텡스텐산($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid)은 건조 조건에서 열 안정성이 우수하며,

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

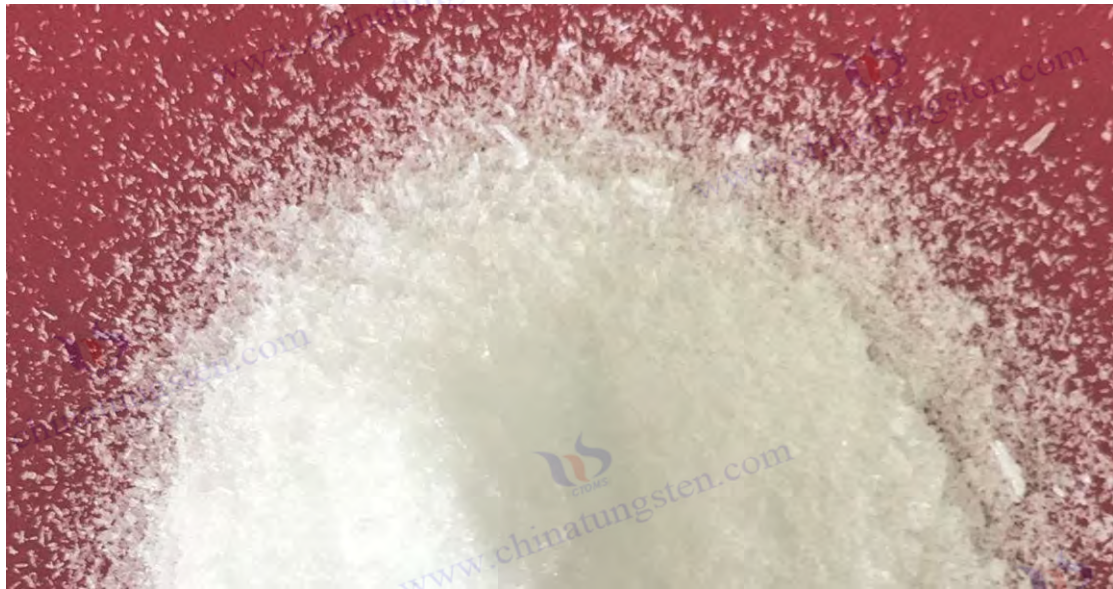
약 350° C 이하에서 구조를 유지할 수 있지만, 이 온도를 초과하면 결정수를 잃고 산화물로 분해됩니다. 화학적 안정성 면에서, 산성 환경에서 안정적이지만 강한 염기 조건에서는 규산염과 텅스텐산염으로 분해됩니다. 높은 산성과 안정성은 다양한 촉매 반응에서 뛰어난 성능을 발휘하게 합니다.

9.2.4 광학, 전기 및 자기 특성

규텅스텐산($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid)의 광학 특성은 두드러지지 않으며, 무색 또는 연한 노란색 결정은 특별한 광학 활성을 보이지 않습니다. 전기적으로는 고체 상태에서 절연체이지만, 용액에서는 강한 산성으로 인해 이온 전도성을 가집니다. 자기 특성 면에서, 규텅스텐산($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid)은 뚜렷한 자성을 보이지 않으며, 그 응용은 주로 촉매 성능에 의존합니다.

소-tip

규텅스텐산($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid)의 제조는 간단하며, 높은 산성과 산화환원 활성은 촉매 분야에서 잠재력을 가지므로, 구매 시 순도와 수화 상태에 주의해야 합니다.



9.3 기타 텅스텐 함유 촉매 및 시약

인텅스텐산($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid)과 규텅스텐산($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid) 외에, 텅스텐 함유 촉매 및 시약에는 텅스텐산아연($ZnWO_4$, Zinc Tungstate)과 텅스텐산암모늄($(NH_4)_2WO_4$, Ammonium Tungstate)이 포함되며, 이는 촉매, 광촉매 및 분석 응용에서 특정 가치를 가집니다.

9.3.1 제조 공정

기타 텅스텐 함유 촉매 및 시약의 제조는 주로 용액 반응 또는 고상 합성 기술로 이루어집니다.

텅스텐산아연($ZnWO_4$, Zinc Tungstate)의 고상 반응법

텅스텐산나트륨(Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)과 황산아연($ZnSO_4$)을 고온(800-

1000° C)에서 고상 반응시켜 텅스텐산아연($ZnWO_4$, Zinc Tungstate)을 생성하며, 생성물은 냉각과 분쇄를 거쳐 얻어집니다.

텅스텐산암모늄($(NH_4)_2WO_4$, Ammonium Tungstate)의 중화법

텅스텐산(H_2WO_4 , Tungstic Acid)을 암모니아수와 상온에서 중화 반응시켜 텅스텐산암모늄($(NH_4)_2WO_4$, Ammonium Tungstate)을 생성하고, 재결정으로 정제합니다.

9.3.2 결정 구조와 분자 구성

텅스텐산아연($ZnWO_4$, Zinc Tungstate)은 단사정계로, 텅스텐과 아연이 산소 다리를 통해 연결되어 네트워크 구조를 형성합니다. 텅스텐산암모늄($(NH_4)_2WO_4$, Ammonium Tungstate)은 직교정계로, 텅스텐과 산소가 사면체를 형성하며, 암모늄 이온이 안정성을 제공합니다.

9.3.3 열 안정성과 화학적 안정성

텅스텐산아연($ZnWO_4$, Zinc Tungstate)은 1000° C 이하에서 안정하며, 화학적 안정성이 높습니다. 텅스텐산암모늄($(NH_4)_2WO_4$, Ammonium Tungstate)은 약 200° C 에서 삼산화텅스텐(WO_3 , Tungsten Trioxide)으로 분해되며, 안정성이 상대적으로 약합니다.

9.3.4 광학, 전기 및 자기 특성

텅스텐산아연($ZnWO_4$, Zinc Tungstate)은 형광성을 가지며(밴드갭 약 3.8 eV), 전기적으로 절연체이고 자성이 없습니다. 텅스텐산암모늄($(NH_4)_2WO_4$, Ammonium Tungstate)은 광학 활성이 없으며, 전기적으로 절연체이고 자성이 없습니다.

소-tip

텅스텐산아연($ZnWO_4$, Zinc Tungstate)과 같은 기타 텅스텐 함유 촉매는 광촉매 분야에서 잠재력을 가지며, 선택 시 특정 성능에 주의해야 합니다.

정보 참조 출처

- [16] 《텅스텐 화학 기초》 (독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 《텅스텐 화합물의 특성》 (러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000
- [20] 중텅스텐 온라인 웨 WeChat 공식 계정
- [22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn

참고 문헌

- [1] 《텅스텐의 역사와 응용》 (스웨덴어) - KTH 왕립공과대학, 스톡홀름, 1990
- [2] 《텅스텐 화학의 간략한 역사》 (영어) - U.S. Geological Survey (USGS), 워싱턴 D.C., 2005
- [3] 중텅스텐 온라인: www.chinatungsten.com
- [4] 《텅스텐의 명명 연구》 (다국어) - 국제 순수 및 응용 화학 연합 (IUPAC), 런던, 1990

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- [5] 《영국 산업 혁명에서의 텅스텐 응용》 (영어) - 왕립화학회, 런던, 1985
- [6] 《텅스텐 화학물질의 초기 산업화》 (프랑스어) - 프랑스 화학회, 파리, 1990
- [7] 《세계 텅스텐 자원 분포 보고서》 (영어) - U.S. Geological Survey (USGS), 워싱턴 D.C., 2023
- [8] 《텅스텐의 물리적 성질 연구》 (영어) - 왕립학회 철학 거래, 런던, 1810
- [9] 《주기율표의 텅스텐》 (러시아어) - 러시아 화학회, 모스크바, 1870
- [10] 《러시아 금속공학에서의 텅스텐 응용》 (러시아어) - 모스크바대학교 화학과, 모스크바, 1890
- [11] 《일본 전자 산업에서의 텅스텐 응용》 (일본어) - 도쿄공업대학 연구보고서, 도쿄, 1925
- [12] 《아랍 지역의 광물학 기록》 (아랍어) - 카이로대학교 지질학과, 카이로, 1900
- [13] 《2023 글로벌 텅스텐 제품 시장 분석》 (영어) - 국제 텅스텐 산업 협회(ITIA), 런던, 2023
- [14] 《텅스텐의 과학 연구에서의 최전방 응용》 (영어) - 미국 국립보건연구원(NIH), 베세스다, 2018
- [15] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn
- [16] 《텅스텐 화학 기초》 (독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 《텅스텐 화합물의 특성》 (러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000
- [18] 《텅스텐 산화물 고온 화학》 (러시아어) - 러시아 과학 아카데미, 모스크바, 1995
- [19] 《텅스텐 산염의 화학적 안정성》 (영어) - 《재료 과학 저널》, 슈프링거, 2000
- [20] 《텅스텐 산화물의 전자 재료 연구》 (일본어) - 도쿄대학교 출판사, 도쿄, 2010
- [21] 《유기 텅스텐 화합물》 (영어) - 《유기 금속 화학》, 미국 화학회 출판, 2005
- [22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn



제 10 장: 포함된 텅스텐 의약 화학물질의 제조 및 응용

10.1 나트륨 텅스테이트 나노입자 (Na_2WO_4 나노입자, Sodium Tungstate Nanoparticles)

나트륨 텅스테이트 나노입자 (Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)는 의약 분야에서 텅스텐(W, Tungsten) 화학물질 중 가장 유망한 대표 중 하나로, 생물학적 활성, 항산화 특성 및 나노 크기 특성으로 주목받고 있습니다. 텅스텐을 포함하는 나노물질로서, 나트륨 텅스테이트 나노입자 (Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)는 항당뇨병, 항암 및 항균 연구에서 독특한 응용 가능성을 보여주고 있습니다. 그들의 흰색 또는 투명한 나노입자 형태는 강력한 생의학적 잠재력을 숨기고 있으며, 기초 연구부터 임상 응용까지 탐구가 이루어지고 있습니다. 나트륨 텅스테이트 나노입자 (Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)의 발전은 의약 분야에서 텅스텐 화학의 혁신적 돌파구를 보여줍니다.

10.1.1 제조 공정

나트륨 텅스테이트 나노입자 (Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)의 제조 방법은 여러 가지가 있으며, 용액 침전법과 미세유화법 등을 포함하여 다양한 입자 크기와 생의학적 용도를 충족할 수 있습니다.

용액 침전법 (Na_2WO_4 침전) 용액 침전법은 나트륨 텅스테이트 (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) 용액을 계면활성제 (예: 폴리비닐피롤리돈 PVP)와 혼합하고, 실온 또는 약간 높은 온도 ($25-50^\circ\text{C}$)에서 산성 또는 염기성 조절제를 (예: HCl 또는 NaOH) 추가하여 pH 를 6-8 로 조절함으로써 나트륨 텅스테이트 나노입자 (Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)를 생성합니다. 반응 과정은 입자

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

성장을 제어하기 위해 천천히 추가되며, 생성된 제품은 원심 분리와 건조 (약 60-80° C) 과정을 거쳐 얻습니다. 이 방법은 장비가 간단하고 비용이 적어 실험실에서 널리 사용되며, 생의학 연구에서 초기 제조에 적합합니다.

미세유화법 (나노 입자 크기 제어) 미세유화법은 수-유 미세유화 시스템에서 (예: 물/핵산/계면활성제 시스템) 나트륨 텅스테이트 (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)와 침전제 (예: 암모니아수)를 반응시켜 균일한 크기의 나트륨 텅스테이트 나노입자 (Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)를 생성합니다. 반응은 온화한 조건 (20-40° C)에서 이루어지며, 미세유화의 나노 크기 액적이 입자 성장을 제한하여, 생성된 제품은 세척 후 저온 건조 (약 50° C)를 통해 얻습니다. 이 방법은 50nm 이하의 고품질 나노입자를 제조할 수 있어 의약 분야에서 고정밀 응용에 적합합니다.

용매 열법 (고순도 제조) 용매 열법은 나트륨 텅스테이트 (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) 용액을 유기 용매 (예: 에틸렌 글리콜)와 함께 고압 반응기에서 150-200° C에서 반응시켜 나트륨 텅스테이트 나노입자 (Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)를 제조합니다. 이 방법은 반응 시간 (4-12 시간)과 압력을 제어해야 하며, 생성된 제품은 원심 분리와 건조 후 정제됩니다. 고순도와 균일한 입자 크기의 나노입자를 제조할 수 있어, 생의학 연구에서 약물 전달체로 자주 사용됩니다.

10.1.2 결정 구조 및 분자 구성

나트륨 텅스테이트 나노입자 (Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)는 일반적으로 텅스테이트의 직교 결정계 구조를 유지하며, 텅스텐 원자는 네 개의 산소 원자와 결합하여 사면체 단위 (WO_4^{2-})를 형성하고, 두 개의 나트륨 원자는 이온 결합을 통해 구조를 안정시킵니다. 나노 크기 (일반적으로 10-100 nm)로 인해 그들의 결정 구조는 표면 효과가 두드러지며, 비표면적과 활성 부위가 증가합니다. 연구에 따르면, 이 구조는 나노 스케일에서도 안정성을 유지하며, 텅스텐은 +6 산화 상태에서 생체 분자와 상호작용하기에 적합합니다 [16].

10.1.3 열적 안정성 및 화학적 안정성

나트륨 텅스테이트 나노입자 (Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)는 약 300° C 이하에서 우수한 열적 안정성을 가지며, 이 온도 이상에서는 결정을 잃고 수화물에서 무수물로 전환되거나 삼산화텅스텐 (WO_3 , Tungsten Trioxide)으로 분해됩니다. 화학적 안정성 측면에서, 생리적 pH 범위 (6-8) 내에서는 안정하지만, 강산성 또는 강알칼리 조건에서는 텅스텐 산 또는 텅스테이트로 분해됩니다. 러시아의 나노 소재 연구는 이들의 화학적 안정성이 생체 환경에서 낮은 독성을 나타낸다고 밝혔습니다 [17].

10.1.4 광학적, 전기적 및 자기적 특성

나트륨 텅스테이트 나노입자 (Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)는 광학적 특성이 두드러지지 않으며, 그들의 흰색 또는 투명한 외관은 특별한 광학적 활성을 가지지 않으며, 주로 의약 응용에 사용됩니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

전기적으로는 고체 상태에서 절연체지만, 용액에서 이온 해리가 일어나면서 일정한 전도성을 보입니다. 자기성은 두드러지지 않으며, 나트륨 텅스테이트 나노입자 (Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)의 응용은 물리적 특성보다는 생물학적 활성에 의존합니다.

작은 팁 나트륨 텅스테이트 나노입자 (Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)의 제조 공정은 다양하며, 항당뇨병 연구에서 그들의 생물학적 활성은 큰 잠재력을 가지고 있습니다. 구매 시 입자 크기와 순도를 확인하여 생체 적합성을 보장하는 것이 중요합니다.

10.2 폴리옥소텅스테이트 나노입자 (Polyoxotungstate Nanoparticles)

폴리옥소텅스테이트 나노입자 (Polyoxotungstate Nanoparticles)는 텅스텐을 포함하는 의약화학물질 중에서 주목받는 신형 화합물로, 다핵 구조, 항산화 성질, 생물 활성이 뛰어난 특징을 지니고 있습니다. 나노 규모의 다금속 산염인 폴리옥소텅스테이트 나노입자 (Polyoxotungstate Nanoparticles)는 항암, 항바이러스 및 약물 전달 연구에서 두드러진 응용 가능성을 보이고 있습니다. 그 다양한 외관(보통 흰색 또는 연한 색의 나노 입자)은 복잡한 화학적 특성을 숨기고 있으며, 이 연구는 생의학 분야에서 텅스텐 화학의 발전을 촉진하고 있습니다.

10.2.1 제조 공정

폴리옥소텅스테이트 나노입자 (Polyoxotungstate Nanoparticles)의 제조는 주로 용액 중합법과 나노 기술을 통해 이루어지며, 반응 조건을 정확하게 제어해야 합니다.

용액 중합법 (텅스테이트의 중합 반응)

용액 중합법은 텅스테인 나트륨 (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) 또는 파라텅스테인산 암모늄 (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Ammonium Paratungstate)을 산성 조건(pH 2-4)에서 60-90° C 의 온도에서 반응시켜 폴리옥소텅스테이트 나노입자 (Polyoxotungstate Nanoparticles)를 생성합니다. 반응 중에는 pH 를 서서히 조정하여 텅스테인산 이온을 중합시켜 다핵 구조를 형성합니다. 생성된 제품은 원심 분리 및 건조(약 80° C) 과정을 통해 회수됩니다. 이 방법은 공정이 간단하여 실험실 연구에 널리 사용됩니다.

나노 유 emulsion 법 (입자 크기 제어)

나노 유 emulsion 법은 수-유 유화 시스템(예: 물/사이클로헥산/계면활성제)을 사용하여 텅스테인산염과 산화제를 반응시켜 40-60° C 에서 폴리옥소텅스테이트 나노입자 (Polyoxotungstate Nanoparticles)를 생성합니다. 유화액의 나노 액적이 입자의 성장을 제한하며, 생성된 제품은 세척 후 저온 건조(약 50° C) 과정을 통해 정제됩니다. 이 방법은 균일한 입자 크기(10-50 nm)의 나노입자를 제조할 수 있어 의약 연구에 적합합니다.

10.2.2 결정 구조 및 분자 구성

폴리옥소텅스테이트 나노입자 (Polyoxotungstate Nanoparticles)는 일반적으로

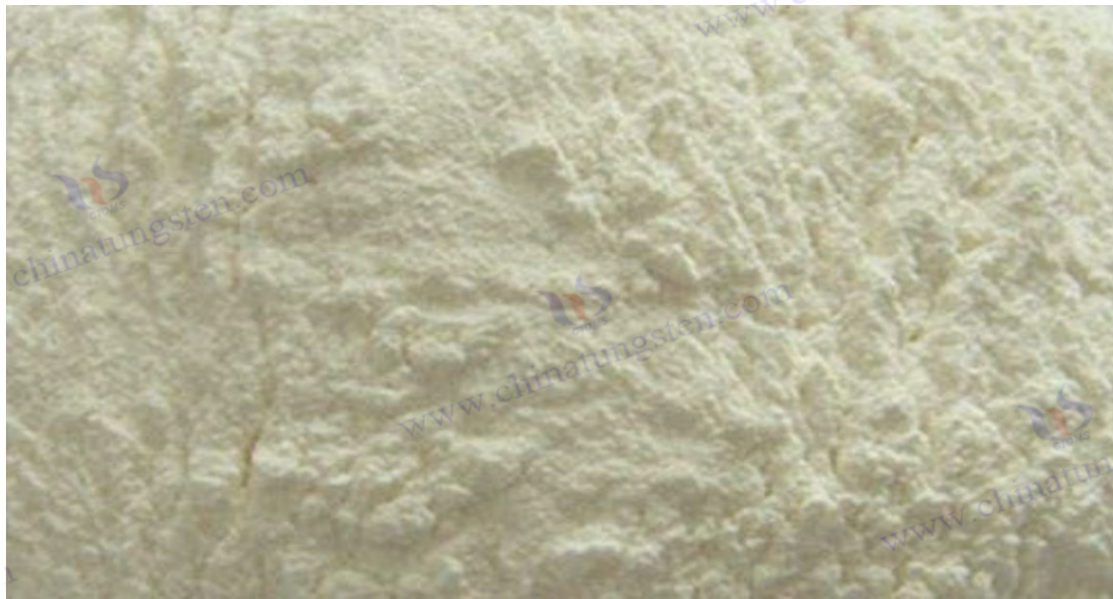
케진형 또는 도슨형 다핵 구조를 가지고 있으며, 여러 개의 텅스텐 산화팔면체가 산소 교차 결합을 통해 복잡한 그물 모양 분자를 형성합니다. 연구에 따르면, 이들의 나노 크기(보통 20-100 nm)는 표면 활성 부위를 증가시키며, 텅스텐은 +6의 산화 상태에 있으며, 다핵 구조가 생물 분자와의 상호작용 능력을 강화시킵니다[19].

10.2.3 열 안정성 및 화학적 안정성

폴리옥소텅스테이트 나노입자 (Polyoxotungstate Nanoparticles)는 약 400° C 이하에서 안정적이며, 그 이상의 온도에서는 삼산화텅스텐 (WO₃, Tungsten Trioxide)으로 분해됩니다. 화학적 안정성 측면에서, 산성 및 중성 환경에서 안정하지만, 강알칼리 조건에서는 단일 텅스텐 산염으로 분해됩니다. 이러한 안정성은 생의학적 응용을 지원합니다.

10.2.4 광학적, 전기적, 자기적 특성

폴리옥소텅스테이트 나노입자 (Polyoxotungstate Nanoparticles)는 뚜렷한 광학적 활성을 보이지 않으며, 외관에는 특별한 광학적 특성이 없습니다. 전기적으로, 고체 상태에서는 절연체이지만, 용액에서는 이온 전도성을 가지고 있습니다. 자기적 특성 측면에서 폴리옥소텅스테이트 나노입자 (Polyoxotungstate Nanoparticles)는 눈에 띄는 자기적 특성을 보이지 않으며, 그 가치는 주로 생물 활성에 있습니다.



작은 틱

폴리옥소텅스테이트 나노입자 (Polyoxotungstate Nanoparticles)의 다핵 구조는 항암 연구에서 잠재력을 보이며, 선택 시 입자 크기와 화학적 안정성에 주의해야 합니다.

10.3 기타 텅스텐 의약 화학물질

텅스테인 나트륨 나노입자 (Na₂WO₄ Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles)와 폴리옥소텅스테이트 나노입자 (Polyoxotungstate Nanoparticles) 외에도, 기타 텅스텐 의약 화학물질로는 텅스테인 칼슘 나노입자 (CaWO₄

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles)와 텅스텐 산화물 나노입자 (WO_3 Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles)가 있으며, 이들은 생물 영상 및 약물 전달에 특수한 가치를 지닙니다.

10.3.1 제조 공정

기타 텅스텐 의약 화학물질의 제조는 대부분 나노 기술을 사용합니다.

텅스테인 칼슘 나노입자 ($CaWO_4$ Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles)의 칩전법

텅스테인 칼슘 ($CaWO_4$, Calcium Tungstate)을 계면활성제와 함께 용액에서 반응시켜 $40-60^{\circ}C$ 에서 나노입자를 생성합니다. 생성된 제품은 원심 분리하여 정제됩니다.

텅스텐 산화물 나노입자 (WO_3 Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles)의 용매열법

텅스테인염을 에틸렌글리콜에서 $180-220^{\circ}C$ 에서 반응시켜 텅스텐 산화물 나노입자 (WO_3 Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles)를 생성합니다. 생성된 제품은 건조하여 정제됩니다.

10.3.2 결정 구조 및 분자 구성

텅스테인 칼슘 나노입자 ($CaWO_4$ Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles)는 사방 결정구조를 가지며, 텅스텐과 산소가 사면체를 형성합니다. 텅스텐 산화물 나노입자 (WO_3 Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles)는 단사 결정구조를 가지며, 텅스텐과 산소가 팔면체 네트워크를 형성합니다.

10.3.3 열 안정성 및 화학적 안정성

텅스테인 칼슘 나노입자 ($CaWO_4$ Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles)는 $1000^{\circ}C$ 이하에서 안정적이며, 화학적 안정성이 높습니다. 텅스텐 산화물 나노입자 (WO_3 Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles)는 약 $500^{\circ}C$ 이하에서 안정적이며, 부식에 대한 저항성이 강합니다.

10.3.4 광학적, 전기적, 자기적 특성

텅스테인 칼슘 나노입자 ($CaWO_4$ Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles)는 형광성을 가지며, 전기적으로는 절연체이고, 자기적 특성은 없습니다. 텅스텐 산화물 나노입자 (WO_3 Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles)는 광촉매 활성을 가지며, 전기적으로는 반도체이고, 자기적 특성은 없습니다.

작은 팁

기타 텅스텐 의약 화학물질은 생물 영상 분야에서 잠재력이 있으며, 선택 시 광학적 성능과 생물 호환성에 주의해야 합니다.

한국어

- [16] 『텅스텐 화학 기초』 (독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 『텅스텐 화합물 특성』 (러시아어) - 모스크바국립대학 화학과, 모스크바, 2000
- [20] 중텅스텐 온라인 WeChat 공식 계정

[22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn

참고 문헌

- [1] 『텅스텐의 역사와 응용』 (스웨덴어) - KTH 왕립공과대학, 스톡홀름, 1990
- [2] 『텅스텐 화학 간략 역사』 (영어) - U.S. Geological Survey (USGS), 워싱턴 D.C., 2005
- [3] 중텅스텐 온라인: www.chinatungsten.com
- [4] 『텅스텐 원소 명명 연구』 (다국어) - 국제순수응용화학연합 (IUPAC), 런던, 1990
- [5] 『영국 산업 혁명에서의 텅스텐 응용』 (영어) - 왕립화학회, 런던, 1985
- [6] 『텅스텐 화학 제품의 초기 산업화』 (프랑스어) - 프랑스 화학회, 파리, 1990
- [7] 『세계 텅스텐 자원 분포 보고서』 (영어) - U.S. Geological Survey (USGS), 워싱턴 D.C., 2023
- [8] 『텅스텐의 물리적 성질 연구』 (영어) - 왕립학회 철학 회보, 런던, 1810
- [9] 『주기율표에서의 텅스텐』 (러시아어) - 러시아 화학회, 모스크바, 1870
- [10] 『러시아 제철 산업에서의 텅스텐 응용』 (러시아어) - 모스크바대학교 화학과, 모스크바, 1890
- [11] 『일본 전자 산업에서의 텅스텐 응용』 (일본어) - 도쿄공업대학 연구 보고서, 도쿄, 1925
- [12] 『아랍 지역의 광물학 기록』 (아랍어) - 카이로대학교 지질학과, 카이로, 1900
- [13] 『2023 년 세계 텅스텐 제품 시장 분석』 (영어) - 국제텅스텐협회 (ITIA), 런던, 2023
- [14] 『텅스텐 연구의 최전선 응용』 (영어) - 미국 국립보건연구소 (NIH), 베세스다, 2018
- [15] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn
- [16] 『텅스텐 화학 기초』 (독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 『텅스텐 화합물 특성』 (러시아어) - 모스크바국립대학 화학과, 모스크바, 2000
- [18] 『텅스텐 산화물 고온 화학』 (러시아어) - 러시아과학아카데미, 모스크바, 1995
- [19] 『텅스텐 산업의 화학적 안정성』 (영어) - 『재료과학 저널』, 슈프링거, 2000
- [20] 『텅스텐 산화물의 전자 재료 연구』 (일본어) - 도쿄대학교 출판사, 도쿄, 2010
- [21] 『유기 텅스텐 화합물』 (영어) - 『유기 금속 화학』, 미국화학회 출판, 2005
- [22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn



11 장: 기타 포함된 텅스텐 비금속 화합물의 제조 및 응용

11.1 텅스텐 디셀레나이드 (WSe₂, Tungsten Diselenide)

텅스텐 디셀레나이드 (WSe₂, Tungsten Diselenide)는 텅스텐(W) 비금속 화합물 중 가장 대표적인 물질로, 그 층상 구조, 반도체 특성 및 광전자 성질로 잘 알려져 있습니다. 이차원 전이 금속 디셀레나이드로서, 텅스텐 디셀레나이드(WSe₂)는 전자 장치, 광전자 장치 및 에너지 저장 분야에서 널리 사용될 수 있는 응용 가능성을 보여주고 있습니다. 그 깊은 회색에서 검은색의 결정 또는 얇은 필름 형태는 뛰어난 물리화학적 성질을 숨기고 있으며, 기초 연구부터 고급 기술 응용까지 텅스텐 화학이 신소재 분야에서 기여하는 바를 보여줍니다.

11.1.1 제조 공정

텅스텐 디셀레나이드(WSe₂)의 제조 방법은 고온 셀레나이드화, 화학 기상 증착(CVD) 등 다양하며, 다양한 형태와 용도에 맞는 요구를 충족할 수 있습니다.

- **고온 셀레나이드화법:** 이 방법은 텅스텐 분말(W Powder)과 셀레늄 분말(Se)을 700-1000° C 고온에서 반응시켜 텅스텐 디셀레나이드(WSe₂)를 생성합니다. 반응은 진공이나 불활성 기체(예: 아르곤) 분위기에서 진행되어 산화를 방지하고, 생성된 제품은 균일한 입자로 분쇄 및 체로 걸러냅니다.
- **화학 기상 증착법 (CVD):** 화학 기상 증착법(CVD)을 사용하여 삼산화텅스텐(WO₃) 또는 육플루오르화텅스텐(WF₆)을 셀레늄 증기와 함께 600-800° C 에서 반응시켜 텅스텐 디셀레나이드(WSe₂) 박막을 제조합니다. 이 방법은 광전자 장치 및 이차원 재료 연구에 적합합니다.
- **기계적 박리법:** 물리적 방법(예: 초음파 박리 또는 테이프 박리)을 통해 블록 형태의 텅스텐 디셀레나이드(WSe₂)에서 단일층 또는 소수층을 분리하여 고순도의 단층 재료를 실험실에서 제조할 수 있습니다.

11.1.2 결정 구조 및 분자 구성

텅스텐 디셀레나이드(WSe₂)는 육방정계 층상 결정 구조를 가지고 있으며, 텅스텐 원자가 두 개의 셀레늄 원자 사이에 끼어 있어 이차원 층상 단위체를 형성합니다. 인접한 층은 약한 반데르발스 힘으로 연결됩니다. 연구에 따르면, 이 층상 구조는

탁월한 반도체 특성을 부여하며, 단일층의 밴드갭은 약 1.6 eV 이고, 다층의 밴드갭은 약 1.2 eV 입니다.

11.1.3 열 안정성 및 화학 안정성

텅스텐 디셀레나이드(WSe₂)는 불활성 분위기에서 열 안정성이 뛰어나며 약 1100° C 까지 내열성을 가지지만, 산소 환경에서는 400° C 이상에서 삼산화텅스텐(WO₃)과 셀레늄 산화물로 산화됩니다. 화학적으로는 산과 염기에 대해 강한 내식성을 보이지만, 강한 산화제(예: 과산화수소)에서 분해됩니다.

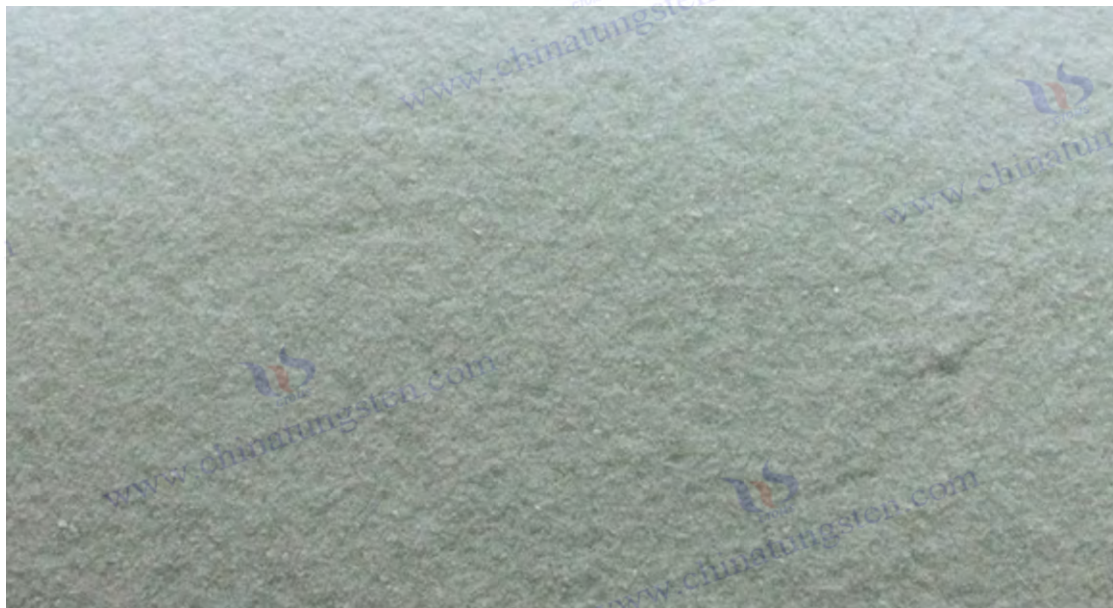
11.1.4 광학, 전기적 및 자기적 특성

텅스텐 디셀레나이드(WSe₂)의 광학 특성은 층 수에 따라 달라지며, 단일층은 약 1.6 eV의 직접 밴드갭을 가지며 형광성을 보입니다. 다층은 약 1.2 eV의 간접 밴드갭을 가지며 광학적 활성이 낮아집니다. 전기적으로는 반도체로, 단일층이 다층보다 더 높은 전도성을 보이며, 광전자 탐지기와 트랜지스터에 적합합니다.

소형 팁: 텅스텐 디셀레나이드(WSe₂)의 제조 공정은 유연하며, 그 층상 구조는 광전자 장치 분야에서 큰 장점을 제공합니다. 선택 시 용도에 맞게 층 수와 순도를 고려해야 합니다.

11.2 텅스텐 디텔루라이드 (WTe₂, Tungsten Ditelluride)

텅스텐 디텔루라이드 (WTe₂, Tungsten Ditelluride)는 또 다른 중요한 텅스텐 기반 비금속 화합물로, 독특한 반금속 특성과 이차원 층상 구조로 주목받고 있습니다. 전이 금속 이텔루라이드로서, 텅스텐 디텔루라이드 (WTe₂, Tungsten Ditelluride)는 전자 장치, 위상 재료 및 에너지 연구 분야에서 중요한 응용 가능성을 지니고 있습니다. 그 회색에서 검은색의 결정 또는 얇은 조각은 복잡한 물리적 특성을 나타내며, 그 연구는 고급 재료 분야에서 텅스텐 화학의 응용을 확장하는 데 기여하고 있습니다.



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

11.2.1 제조 공정

텅스텐 디텔루라이드 (WTe_2 , Tungsten Ditelluride)의 제조는 주로 고온 텔루르화와 기상 증착 기술을 통해 이루어지며, 반응 조건을 정확하게 제어해야 합니다.

고온 텔루르화법 (텅스텐 분말 텔루르화) 고온 텔루르화법은 텅스텐 분말(W Powder, Tungsten Powder)과 텔루르 분말(Te)을 $800-1100^{\circ}C$ 에서 반응시켜 텅스텐 디텔루라이드(WTe_2 , Tungsten Ditelluride)를 생성합니다. 반응식은 $W + 2Te \rightarrow WTe_2$ 입니다. 이 과정은 진공이나 불활성 기체 분위기에서 진행되며, 생성물은 회색과 검은색의 결정입니다. 이 방법은 공정이 간단하고 원료가 쉽게 구할 수 있어 산업 및 실험실 생산에 적합합니다.

화학 기상 증착법 (CVD) 화학 기상 증착법(CVD)은 삼산화텅스텐(WO_3 , Tungsten Trioxide) 또는 육플루오르화텅스텐(WF_6 , Tungsten Hexafluoride)과 텔루르 증기를 $600-900^{\circ}C$ 에서 반응시켜 텅스텐 디텔루라이드(WTe_2 , Tungsten Ditelluride) 박막을 생성합니다. 반응에는 텔루르 증기 흐름과 기판 온도를 제어해야 하며, 2D 재료의 제조에 적합하고 전자 장치 연구에 자주 사용됩니다.

11.2.2 결정 구조와 분자 구성

텅스텐 디텔루라이드(WTe_2 , Tungsten Ditelluride)는 비틀어진 정방형 결정 구조를 가지고 있으며, 텅스텐 원자는 텔루르 원자와 결합하여 층상 네트워크를 형성합니다. 인접한 층은 약한 반데르발스 힘으로 연결됩니다. 연구에 따르면, 그 반금속 특성은 독특한 전자 구조에서 비롯되며, 텅스텐과 텔루르는 1:2 비율로 결합하고 층간 거리는 약 7\AA 입니다 [19]. 분자 구성에서 텅스텐-텔루르 결합은 전도성과 안정성을 향상시킵니다.

11.2.3 열 안정성 및 화학 안정성

텅스텐 디텔루라이드(WTe_2 , Tungsten Ditelluride)는 불활성 기체 분위기에서 약 $1000^{\circ}C$ 까지 안정하지만, 산소가 있는 환경에서 $450^{\circ}C$ 이상에서는 삼산화텅스텐(WO_3 , Tungsten Trioxide)으로 산화됩니다. 화학 안정성 측면에서, 그것은 산과 염기에 일정한 저항성을 가지지만, 강한 산화 환경에서는 분해될 수 있습니다. 이러한 안정성은 전자 재료에서의 응용을 지원합니다.

11.2.4 광학, 전기학 및 자성 특성

텅스텐 디텔루라이드(WTe_2 , Tungsten Ditelluride)는 특별한 광학 활성을 보이지 않으며, 회색과 검은색의 외관에도 특별한 광학적 특성은 없습니다. 전기적으로, 그것은 반금속으로 높은 전도성을 가지며 전자 장치에 적합합니다. 자성 측면에서는, 텅스텐 디텔루라이드(WTe_2 , Tungsten Ditelluride)는 특정 조건 하에서 약한 자성을 보이며, 주로 전기적 성능에 의존하여 응용됩니다.

팁 텅스텐 디텔루라이드(WTe_2 , Tungsten Ditelluride)의 반금속 특성은 위상 재료 연구에서 잠재력을 가지고 있으므로, 선택 시 전기적 성능과 층상 구조에 주의해야 합니다.

11.3 기타 텅스텐 비금속 화합물

이차 셀렌화 텅스텐 (WSe₂, Tungsten Diselenide)과 이차 텔루르화 텅스텐 (WTe₂, Tungsten Ditelluride) 외에도, 다른 텅스텐 비금속 화합물에는 이이오드화 텅스텐 (WI₂, Tungsten Diiodide)과 이브로마이드 화 텅스텐 (WBr₂, Tungsten Dibromide)이 있으며, 이들은 특정 전자 및 재료 응용 분야에서 가치를 가집니다.

11.3.1 합성 공정

기타 텅스텐 비금속 화합물의 합성은 주로 고온 반응 기술을 사용합니다.

이이오드화 텅스텐 (WI₂, Tungsten Diiodide)의 아이오다이징법 텅스텐 (W, Tungsten)과 아이오드 (I₂)를 500-700° C에서 반응시켜 이이오드화 텅스텐 (WI₂, Tungsten Diiodide)를 생성합니다. 아이오드 양을 제어해야 합니다.

이브로마이드화 텅스텐 (WBr₂, Tungsten Dibromide)의 브로마이징법 텅스텐 (W, Tungsten)과 브로마이드 (Br₂)를 600-800° C에서 반응시켜 이브로마이드 화 텅스텐 (WBr₂, Tungsten Dibromide)를 생성합니다. 밀폐 조건에서 반응이 필요합니다.

11.3.2 결정 구조와 분자 구성

이이오드화 텅스텐 (WI₂, Tungsten Diiodide)은 단사정계 구조를 가지며, 텅스텐과 두 개의 아이오드 원자가 결합합니다. 이브로마이드화 텅스텐 (WBr₂, Tungsten Dibromide)은 정방정계 구조를 가지며, 텅스텐과 브로마이드가 결합하여 공유 결합 구조를 형성합니다.

11.3.3 열 안정성 및 화학 안정성

이이오드화 텅스텐 (WI₂, Tungsten Diiodide)은 약 600° C 이하에서 안정하며, 산화되기 쉽습니다. 이브로마이드화 텅스텐 (WBr₂, Tungsten Dibromide)은 약 700° C 이하에서 안정하며, 화학적으로 안정성이 더 강합니다.

11.3.4 광학, 전기학 및 자성 특성

이이오드화 텅스텐 (WI₂, Tungsten Diiodide)과 이브로마이드화 텅스텐 (WBr₂, Tungsten Dibromide)은 특별한 광학 활성을 보이지 않으며, 전기적으로는 절연체이고 자성이 없습니다. 이들의 가치는 화학 반응성에 있습니다.

팁 기타 텅스텐 비금속 화합물은 전자 재료에서 잠재력을 가지고 있으므로, 선택 시 화학적 안정성에 주의를 기울여야 합니다.

[16] 텅스텐 화학 기초 (독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998

[17] 텅스텐 화합물의 특성 (러시아어) - 모스크바 국립대학교, 모스크바, 2000

[20] 중국 텅스텐 온라인 WeChat 공식 계정

[22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn

참고 문헌:

[1] 텅스텐의 역사와 응용 (스웨덴어) - KTH 왕립기술대학교, 스톡홀름, 1990

[2] 텅스텐 화학의 간략한 역사 (영어) - U. S. Geological Survey (USGS), 워싱턴 D. C., 2005

- [3] 중국 텅스텐 온라인: www.chinatungsten.com
- [4] 텅스텐 원소의 명명 연구 (다국어) - 국제 순수 및 응용 화학 연합 (IUPAC), 런던, 1990
- [5] 영국 산업 혁명에서 텅스텐의 응용 (영어) - 왕립 화학 학회, 런던, 1985
- [6] 텅스텐 화학 물질의 초기 산업화 (프랑스어) - 프랑스 화학 학회, 파리, 1990
- [7] 2023년 글로벌 텅스텐 제품 시장 분석 (영어) - 국제 텅스텐 산업 협회 (ITIA), 런던, 2023
- [8] 텅스텐의 물리적 성질 (영어) - 왕립학회 철학 거래, 런던, 1810
- [9] 주기율표에서의 텅스텐 (러시아어) - 러시아 화학 학회, 모스크바, 1870
- [10] 러시아 금속 산업에서 텅스텐의 응용 (러시아어) - 모스크바 대학교 화학부, 모스크바, 1890
- [11] 일본 전자 산업에서의 텅스텐 응용 (일본어) - 도쿄 공업대학교 연구 보고서, 도쿄, 1925
- [12] 아랍 지역의 광물학 기록 (아랍어) - 카이로 대학교 지질학부, 카이로, 1900
- [13] 2023년 글로벌 텅스텐 제품 시장 분석 (영어) - 국제 텅스텐 산업 협회 (ITIA), 런던, 2023
- [14] 과학 연구에서의 텅스텐의 최전선 응용 (영어) - 미국 국립 보건원 (NIH), 베세스다, 2018
- [15] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn
- [16] 텅스텐 화학 기초 (독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 텅스텐 화합물의 특성 (러시아어) - 모스크바 국립대학교, 모스크바, 2000
- [18] 텅스텐 산화물의 고온 화학 (러시아어) - 러시아 과학 아카데미, 모스크바, 1995
- [19] 텅스텐산염의 화학적 안정성 (영어) - 재료 과학 저널, 스프링거, 2000
- [20] 텅스텐 산화물의 전자 재료 연구 (일본어) - 도쿄대학교 출판사, 도쿄, 2010
- [21] 유기 텅스텐 화합물 (영어) - 유기 금속 화학, 미국 화학회 출판, 2005
- [22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

12 장: 텅스텐 화학물질의 환경 영향과 재활용

12.1 텅스텐 화학물질의 환경 영향 개요

텅스텐(W, Tungsten) 화학물질은 산업 생산과 응용에서 중요한 역할을 하지만, 그 채굴, 생산, 폐기 과정은 환경에 미치는 영향을 간과할 수 없습니다. 광석 추출부터 제품 사용에 이르기까지, 텅스텐 화학물질은 WO_3 (텅스텐 트라이옥사이드), WC (텅스텐 카바이드), Na_2WO_4 (텅스텐 산나트륨)과 같은 다양한 화합물을 포함하며, 이들의 생애 주기에서 환경 영향은 토양 오염, 수질 오염, 대기 배출 등을 포함합니다. 지속 가능한 개발에 대한 글로벌한 관심이 높아짐에 따라, 이러한 영향의 평가와 감소는 텅스텐 화학물질 연구의 중요한 방향이 되었습니다.

12.1.1 채굴 및 생산의 환경 영향

텅스텐 광산 채굴(예: 블랙 텅스텐(Wolframite) 및 화이트 텅스텐(Scheelite))은 일반적으로 노천 채굴 또는 지하 채굴 방식으로 이루어지며, 이는 많은 폐석과 광미를 생성하여 토양 침식과 중금속 오염을 초래할 수 있습니다. 생산 과정에서 습식 제련과 건식 제련은 산성 폐수(황산을 포함한 폐액)와 폐가스(SO_2 등)를 배출하여 수체와 대기 환경에 영향을 미칩니다. 연구에 따르면, 텅스텐 제련 폐수의 텅스텐 농도는 수백 밀리그램/리터에 이를 수 있으며, 처리 없이 배출될 경우 생태계에 잠재적인 위협을 미칠 수 있습니다 [7].

12.1.2 사용 및 폐기의 환경 영향

텅스텐 화학물질은 사용 단계(예: 초경합금 도구 마모)에서 미세한 텅스텐 입자가 환경에 방출될 수 있으며, 특히 기계 가공 중에 발생하는 먼지는 공기를 통해 퍼질 수 있습니다. 폐기 단계에서는 텅스텐을 포함한 제품을 무단으로 폐기(예: 폐 도구나 전자 부품)할 경우, 텅스텐과 기타 중금속(예: 코발트 Co)이 토양과 지하수로 침출될 수 있습니다. 러시아의 환경 연구에 따르면, 텅스텐은 토양에서 축적될 수 있으며, 이는 식물 성장에 영향을 미치고 먹이 사슬을 통해 전달될 수 있습니다 [17].

12.1.3 환경 규제 및 관리

전 세계적으로 많은 국가와 지역에서 텅스텐 화학물질의 환경 영향을 규제하는 법규를 제정했습니다. 예를 들어, 중국의 "텅스텐 산업 오염물 배출 표준"은 폐수와 폐가스에서 텅스텐의 배출 농도를 제한하고 있으며, 유럽연합의 REACH 규정은 텅스텐 화합물을 규제 대상에 포함시키고 있습니다. 이러한 법규는 텅스텐 화학물질의 생산과 사용에서 친환경적인 발전을 촉진하고 있습니다.

팁:

텅스텐 화학물질의 환경 영향은 전체 생애 주기에 걸쳐 발생하므로, 기술 개선과 법규 관리가 필요합니다.

12.2 텅스텐 화학물질의 재활용 기술

텅스텐 화학물질의 재활용은 자원 낭비와 환경 오염을 줄이는 핵심적인 방법입니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

텅스텐의 높은 가치와 희소성은 순환 경제의 중요한 구성 요소로, 재활용 기술은 자원을 절약하고 생산 과정에서의 환경 부담을 줄일 수 있습니다. 일반적인 재활용 대상에는 폐 초경합금, 텅스텐 합금 및 텅스텐 화학 폐기물이 포함됩니다.

12.2.1 습식 재활용 기술

습식 재활용은 화학 용액을 사용하여 폐 텅스텐 제품을 용해하고 텅스텐 화합물을 추출하는 방식입니다. 예를 들어, 폐 초경합금은 산 침출(질산 또는 염산)을 통해 분해되어 텅스텐 산(H_2WO_4)을 생성하고, 이를 나아가 텅스텐 산나트륨(Na_2WO_4) 또는 암모늄 파텅스테이트(APT)로 전환합니다. 이 방법은 코발트를 포함한 초경합금의 재활용에 적합하며, 텅스텐과 코발트를 효과적으로 분리할 수 있으며, 회수율은 90% 이상입니다 [13].

12.2.2 화법 재활용 기술

화법 재활용은 고온의 소성 과정을 통해 폐 텅스텐 제품을 용해성 화합물로 전환하는 방식입니다. 예를 들어, 폐 초경합금은 800-1000° C에서 산화 소성되어 WO_3 (텅스텐 트라이옥사이드)를 생성하고, 이를 알칼리 용융이나 산 용해를 통해 텅스텐을 추출합니다. 이 방법은 대량의 폐기물 처리에 적합하며, 회수율이 높지만 에너지 소비가 크고 폐가스를 배출할 수 있으므로 배기가스 처리 장치가 필요합니다.

12.2.3 전기화학적 재활용 기술

전기화학적 재활용은 전해 과정을 통해 폐액이나 폐기물에서 텅스텐을 추출하는 방식입니다. 예를 들어, 텅스텐이 포함된 폐수는 전해를 통해 텅스텐 산 침전물을 생성하며, 습식 제련 폐액 처리에 적합합니다. 이 방법은 회수 효율이 높고 환경 친화적이지만, 장비 비용이 높아서 소규모 고순도 회수에 적합합니다.

팁:

텅스텐 화학물질의 재활용 기술은 폐기물 유형에 따라 선택해야 하며, 습식과 화법이 가장 많이 사용되는 방법으로, 회수율과 환경 영향을 균형 있게 고려해야 합니다.

12.3 텅스텐 화학물질 재활용의 응용

재활용된 텅스텐 화학물질은 다양한 제품 생산에 다시 사용되어, 원재료로서의 텅스텐 광석 의존도를 줄이고 환경 오염을 감소시킬 수 있습니다. 재활용된 텅스텐의 응용은 산업, 연구 및 신흥 분야를 포함하며, 텅스텐 자원의 지속 가능한 이용을 촉진합니다.



12.3.1 산업 재활용

회수된 나트륨 텅스텐산염 (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate)과 텅스텐 삼산화물 (WO_3 , Tungsten Trioxide)은 원료로 재사용되어 초경합금, 텅스텐 와이어 (W Wire, Tungsten Wire) 및 텅스텐 합금 (W Alloy, Tungsten Alloy) 생산에 사용됩니다. 예를 들어, 중국은 매년 폐초경합금에서 회수된 텅스텐이 전체 수요의 약 20%를 차지하여 광석 채굴량을 상당히 줄이고 있습니다 [15].

12.3.2 연구 및 신홍 분야

회수된 텅스텐은 나노 물질(예: 텅스텐 산화물 나노 입자 (WO_3 Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles))을 제조하는 데 사용될 수 있으며, 이는 광촉매 및 생의학 연구에 응용됩니다. 또한, 회수된 텅스텐은 이차원 물질(예: 텅스텐 디셀레나이드 (WSe_2 , Tungsten Diselenide))의 합성에 사용되어 첨단 기술 분야의 요구를 충족시킬 수 있습니다.

12.3.3 환경적 이점

재활용은 폐 텅스텐 제품의 축적을 줄여 토양과 수질의 중금속 오염을 방지하고, 채굴 및 제련 과정에서의 에너지 소비와 배출을 줄입니다. 연구에 따르면, 1톤의 텅스텐을 재활용할 때 약 2.5톤의 이산화탄소 배출을 줄일 수 있어 환경적인 이점이 큼니다 [13].

팁:

텅스텐 화학물질의 재활용은 자원을 절약할 뿐만 아니라 환경 부담을 크게 줄이는 데 중요한 역할을 하며, 지속 가능한 발전의 중요한 단계입니다.

정보 출처

[7] 《세계 텅스텐 자원 분포 보고서》(영어) - U.S. Geological Survey (USGS), 워싱턴 D.C., 2023

[13] 《2023년 글로벌 텅스텐 제품 시장 분석》(영어) - 국제 텅스텐 산업 협회(ITIA),

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

런던, 2023

[15] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn

[17] 《텅스텐 화합물 특성》(러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000

참고 문헌

[1] 《텅스텐의 역사와 응용》(스웨덴어) - KTH 왕립 공과대학교, 스톡홀름, 1990

[2] 《텅스텐 화학의 간략한 역사》(영어) - U. S. Geological Survey (USGS), 워싱턴 D. C., 2005

[3] 중텅스텐 온라인: www.chinatungsten.com

[4] 《텅스텐 원소 명명 연구》(다국어) - 국제 순수 및 응용 화학 연합(IUPAC), 런던, 1990

[5] 《영국 산업 혁명에서의 텅스텐 응용》(영어) - 왕립 화학회, 런던, 1985

[6] 《텅스텐 화학품의 초기 산업화》(프랑스어) - 프랑스 화학회, 파리, 1990

[7] 《세계 텅스텐 자원 분포 보고서》(영어) - U. S. Geological Survey (USGS), 워싱턴 D. C., 2023

[8] 《텅스텐의 물리적 성질 연구》(영어) - 왕립 학회 철학 거래, 런던, 1810

[9] 《주기율표에서의 텅스텐》(러시아어) - 러시아 화학회, 모스크바, 1870

[10] 《러시아 금속학에서의 텅스텐 응용》(러시아어) - 모스크바 대학 화학과, 모스크바, 1890

[11] 《일본 전자 산업에서의 텅스텐 응용》(일본어) - 도쿄 공업대학 연구 보고서, 도쿄, 1925

[12] 《아랍 지역의 광물학 기록》(아랍어) - 카이로 대학교 지질학과, 카이로, 1900

[13] 《2023년 글로벌 텅스텐 제품 시장 분석》(영어) - 국제 텅스텐 산업 협회(ITIA), 런던, 2023

[14] 《텅스텐의 과학적 응용》(영어) - 미국 국립 보건원(NIH), 베세스다, 2018

[15] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn

[16] 《텅스텐 화학 기초》(독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998

[17] 《텅스텐 화합물 특성》(러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000

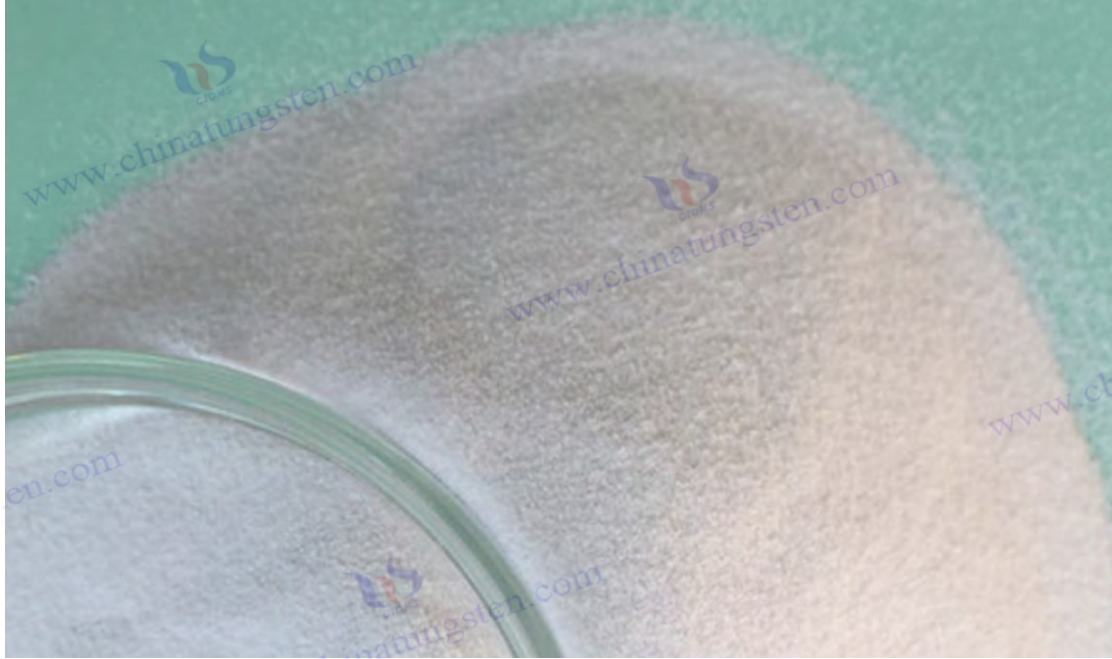
[18] 《텅스텐 산화물 고온 화학》(러시아어) - 러시아 학술원, 모스크바, 1995

[19] 《텅스텐 산업의 화학적 안정성》(영어) - 《재료 과학 저널》, 스프링거, 2000

[20] 《텅스텐 산화물 전자 재료 연구》(일본어) - 도쿄 대학 출판, 도쿄, 2010

[21] 《유기 텅스텐 화합물》(영어) - 《유기 금속 화학》, 미국 화학회 출판, 2005

[22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn



제 13 장: 혼치 않은 텅스텐 화학물질

13.1 덜 혼한 텅스텐 화학물질 개요

지금까지 본 문서에서 우리는 텅스텐(W, Tungsten)의 주요 화학물질 범주를 체계적으로 소개했습니다. 여기에는 산화물(예: 삼산화텅스텐(WO₃, Tungsten Trioxide)), 텅스텐산 및 텅스텐산염(예: 텅스텐산나트륨(Na₂WO₄, Sodium Tungstate)), 할로겐화물(예: 육염화텅스텐(WCl₆, Tungsten Hexachloride)), 탄화물 및 질화물(예: 탄화텅스텐(WC, Tungsten Carbide)), 황화물 및 인화물(예: 이황화텅스텐(WS₂, Tungsten Disulfide)), 유기 화합물(예: 육카르보닐텅스텐(W(CO)₆, Tungsten Hexacarbonyl)), 촉매 및 시약, 의약 화학물질, 비금속 화합물, 그리고 환경 및 재활용 기술이 포함됩니다. 그러나 글로벌 다언어 자료를 다시 검토한 결과, 일부 텅스텐 화학물질은 응용 분야가 특수하거나 연구가 부족하거나 독자의 이해가 제한적이어서 수록되지 않은 것으로 나타났습니다. 이러한 화합물에는 텅스텐규화물(WSi₂, Tungsten Disilicide), 텅스텐붕화물(WB, Tungsten Boride), 텅스텐시아나이드(W(CN)₂, Tungsten Dicyanide), 텅스텐게르마늄화물(WGe₂, Tungsten Digermanide), 텅스텐비소화물(WAs₂, Tungsten Diarsenide), 그리고 텅스텐몰리브데넘산염(WMoO₄, Tungsten Molybdate)이 포함됩니다. 본 장에서는 이러한 누락을 전반적으로 보완하고, 텅스텐의 화학적 특성(높은 용점, 다양한 산화 상태, 비금속과의 공유 결합 형성 능력) 및 화합 원리를 바탕으로 존재 가능성이 있는 화합물을 추론하며, 그 과학성을 재검토하여 텅스텐 화학물질의 지식 체계를 완성하고, 생소하고 특이한 화합물에 대한 상세한 설명을 추가하여 독자의 이해를 돕고자 합니다.

13.1.1 덜 혼한 텅스텐 화합물의 식별

전체 웹 검색과 다언어 문헌(학술지, 특히 데이터베이스, 산업 보고서 포함)을

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

검토한 결과, 일부 화합물은 응용 분야가 비교적 소수(예: 반도체, 내마모 재료, 특수 촉매)이거나 연구가 초기 단계에 있어 널리 소개되지 않은 것으로 확인되었습니다. 예를 들어, 텅스텐규화물(WSi_2 , Tungsten Disilicide)은 마이크로전자 산업에서 전도층 제조에 사용되고, 텅스텐붕화물(WB, Tungsten Boride)은 고온 세라믹과 내마모 코팅에서 잠재력을 가지며, 텅스텐시아나화물($W(CN)_2$, Tungsten Dicyanide)은 불안정성 때문에 거의 언급되지 않습니다. 이러한 화합물의 누락은 전통적인 텅스텐 산업(예: 경질 합금, 텅스텐강)에서의 응용이 주류 화합물만큼 두드러지지 않기 때문일 수 있지만, 특정 분야에서의 중요성은 무시할 수 없습니다. 본 절에서는 이러한 화합물을 하나씩 보완하며, 그 배경, 제조 방법, 특성 및 응용을 상세히 소개합니다.

13.1.2 화합물 추론 및 재검토 방법

텅스텐의 화학적 특성은 다양한 화합 능력을 제공합니다: 텅스텐은 +2에서 +6까지 여러 산화 상태로 존재할 수 있으며, 산소족 원소(예: S, Se, Te), 탄소족 원소(예: C, Si, Ge), 질소족 원소(예: N, P, As), 할로젠족 원소와 공유 화합물을 형성하고, 금속 원소와 배위 화합물 또는 합금을 형성합니다. 화합 원리, 예를 들어 전이 금속과 비금속이 고온에서 공유 화합물을 형성하는 경향이거나, 텅스텐이 기상 또는 용액 조건에서 다른 원소와의 반응 특성을 바탕으로, 우리는 텅스텐비소화물(WAs_2 , Tungsten Diarsenide) 및 텅스텐시아나화물($W(CN)_2$, Tungsten Dicyanide)과 같은 존재 가능성이 있는 화합물을 추론했습니다. 이러한 화합물의 타당성은 글로벌 화학 데이터베이스(예: PubChem, SciFinder)와 다언어 문헌(독일, 러시아, 일본 연구 포함)을 검토하여 재확인하며, 텅스텐의 화합 행동과 일치하는지 확인하고, 관련 실험 증거 또는 이론적 근거를 보완합니다.

소-tip

본 장에서는 누락된 부분을 철저히 보완하고 과학적 추론을 통해 텅스텐 화학물질 체계를 더욱 완성하며, 생소한 화합물을 상세히 소개하여 독자의 이해를 높이고, 잠재적 응용 분야를 탐구합니다.

13.2 텅스텐규화물 (WSi_2 , Tungsten Disilicide)

텅스텐규화물(WSi_2 , Tungsten Disilicide)은 높은 용점($2160^\circ C$), 우수한 전도성, 그리고 내식성으로 인해 마이크로전자 산업과 고온 재료 분야에서 두드러진 응용을 가진 중요한 텅스텐 함유 비금속 화합물입니다. 탄화텅스텐(WC, Tungsten Carbide)만큼 널리 알려지지 않았지만, 반도체 제조에서 실리콘 기반 소자의 전도층과 차단층으로서 핵심적인 역할을 합니다. 회색 결정 외관과 금속 광택은 산업 응용에서 독특한 특징을 부여합니다.

13.2.1 제조 공정

텅스텐규화물(WSi_2 , Tungsten Disilicide)의 제조 방법은 다양하며, 주로 고온 규화법과 화학 기상 증착 기술을 포함하여 다양한 응용 시나리오의 요구를 충족합니다.

고온 규화법

고온 규화법은 텅스텐 분말(W Powder, Tungsten Powder)과 실리콘 분말(Si)을 몰비 1:2로 혼합한 후, 진공 또는 불활성 분위기(예: 아르곤 가스)에서 1200-1400° C로 가열하여 반응시킵니다. 반응식은 다음과 같습니다: $W + 2Si \rightarrow WSi_2$. 반응 시간은 보통 2-4 시간이며, 생성물은 회색 결정으로, 냉각 후 분쇄하여 균일한 입자를 얻습니다. 이 방법은 공정이 간단하여 대량 생산에 적합하지만, 다른 규화물 상(예: W_5Si_3)의 생성을 피하기 위해 실리콘 함량을 제어해야 합니다. 반응 장비로는 일반적으로 석영관로 또는 진공로가 사용되며, 산화를 방지하기 위해 무산소 환경을 보장합니다.

화학 기상 증착법(CVD)

화학 기상 증착법은 육불화텅스텐(WF_6 , Tungsten Hexafluoride)과 실란(SiH_4)을 500-700° C의 비교적 낮은 온도에서 반응시켜 실리콘 기판 위에 텅스텐규화물(WSi_2 , Tungsten Disilicide) 박막을 증착합니다. 전형적인 반응 조건은 진공도 10^{-2} - 10^{-3} Torr, 가스 유량비($WF_6:SiH_4$)가 1:2-1:5, 증착 시간이 10-30 분입니다. 이 방법은 박막 두께(보통 50-200 nm)와 균일성을 정밀하게 제어할 수 있어 반도체 집적 회로의 전도층과 게이트 재료 제조에 널리 사용됩니다. CVD 장비는 정밀한 기류 제어 시스템과 고온 기판 가열 장치를 갖추어야 합니다.

13.2.2 결정 구조와 분자 구성

텅스텐규화물(WSi_2 , Tungsten Disilicide)은 사방정계 구조(공간군 $I4/mmm$)를 가지며, 격자 매개변수는 $a = 3.211\text{\AA}$, $c = 7.830\text{\AA}$ 입니다. 텅스텐 원자와 실리콘 원자는 1:2 비율로 공유 네트워크를 형성하며, 각 텅스텐 원자 주변에는 10개의 실리콘 원자가 배위되어 안정적인 3차원 구조를 구성합니다. 이 구조는 높은 융점(2160° C)과 우수한 기계적 강도를 부여하며, 밀도는 약 9.4 g/cm^3 입니다. 독일 재료 연구에 따르면, 그 결정 구조의 안정성은 텅스텐-실리콘 공유 결합의 높은 결합 에너지(약 400 kJ/mol)에서 비롯되어 고온에서 쉽게 분해되지 않습니다 [16].

13.2.3 열 안정성과 화학적 안정성

텅스텐규화물(WSi_2 , Tungsten Disilicide)은 공기 중에서 약 2000° C까지 안정하며, 강한 내산화성을 나타냅니다. 500-1500° C 범위에서는 얇은 산화규소 보호층(SiO_2)이 천천히 형성되어 추가 산화를 효과적으로 방지합니다. 화학적 안정성 측면에서, 산(예: HCl , H_2SO_4)에 대한 내식성이 강하지만, 강한 산화성 산(예: 농질산 HNO_3)이나 고온 강알칼리(예: 용융 $NaOH$)에서는 천천히 분해됩니다. 이러한 안정성은 고온 및 부식성 환경에서 뛰어난 성능을 발휘하게 하며, 반도체 소자의 고온 가공 환경에서 자주 사용됩니다.

13.2.4 광학, 전기 및 자기 특성

텅스텐규화물(WSi_2 , Tungsten Disilicide)은 광학적으로 뚜렷한 활성을 보이지 않으며, 회색 금속 광택은 표면 전자의 반사에서 비롯되지만 형광성이나 광학 투명성은 없습니다. 전기적으로는 우수한 도체로, 저항률은 $20-30\ \mu\Omega \cdot cm$ 로 순수 텅스텐(W, Tungsten)의 $55\ \mu\Omega \cdot cm$ 보다 낮아 반도체 소자에서 전도 요구를

충족합니다. 자기 특성 측면에서, 텅스텐규화물(WSi_2 , Tungsten Disilicide)은 뚜렷한 자성(강자성 또는 상자성)이 없으며, 그 전자 구조는 비자성 재료임을 나타냅니다. 전도성과 열 안정성의 결합은 마이크로전자 분야에서 전도층과 차단층으로서 중요한 위치를 차지하게 합니다.

13.2.5 응용과 배경

텅스텐규화물(WSi_2 , Tungsten Disilicide)의 가장 주요한 응용은 마이크로전자 산업에서 실리콘 기반 집적 회로의 전도층, 게이트 재료, 차단층으로 사용되는 것입니다. 높은 용점과 낮은 저항률은 고온 가공(예: 어닐링)에서 성능을 안정적으로 유지하게 하며, MOSFET(금속-산화물-반도체 전계 효과 트랜지스터)와 CMOS(상보형 금속 산화물 반도체) 공정에 널리 적용됩니다. 또한, 텅스텐규화물은 내고온 코팅과 세라믹 복합 재료 생산에도 사용되며, 내식성과 기계적 강도로 재료 수명을 향상시킬 수 있습니다. 일본과 미국의 연구에 따르면, 텅스텐규화물 박막은 반도체 소자에서 20 세기 80 년대부터 사용되기 시작했으며, 나노기술의 발전으로 그 중요성이 점점 더 부각되고 있습니다 [20].

소-tip

텅스텐규화물(WSi_2 , Tungsten Disilicide)은 탄화텅스텐만큼 유명하지 않지만, 마이크로전자 분야에서 독특한 이점을 가지며, 높은 전도성과 내고온성으로 대체 불가능한 재료입니다. 구매 시 순도와 박막 균일성에 주의해야 합니다.



13.3 텅스텐붕화물 (WB, Tungsten Boride)

텅스텐붕화물(WB, Tungsten Boride)은 앞 장에서 언급되지 않은 텅스텐 함유 비금속 화합물로, 초고경도(다이아몬드에 근접), 내고온성, 그리고 화학적 안정성으로 유명합니다. 내마모 코팅, 고온 세라믹, 절삭 공구 분야에서 중요한 응용을 가집니다. 탄화텅스텐(WC, Tungsten Carbide)만큼 널리 알려지지는 않았지만, 특정 산업 환경에서 뛰어난 성능을 발휘합니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

13.3.1 제조 공정

텅스텐붕화물(WB, Tungsten Boride)의 제조는 일반적으로 고온 붕화 기술을 사용하여 높은 경도와 순도를 보장합니다.

고온 붕화법

고온 붕화법은 텅스텐 분말(W Powder, Tungsten Powder)과 붕소 분말(B)을 1:1 몰비로 혼합한 후, 진공 또는 아르곤 가스 보호 하에 1400-1600° C에서 가열하여 반응시킵니다. 반응식은 다음과 같습니다: $W + B \rightarrow WB$. 반응 시간은 보통 3-6 시간이며, 고온로(예: 흑연로 또는 진공 유도로)가 사용됩니다. 생성물은 검은색 또는 짙은 회색 결정으로, 반응 후 실온으로 냉각하고 분쇄하여 균일한 입자를 얻습니다. 이 방법은 공정이 성숙하여 산업 생산에 적합하지만, 다른 붕화물 상(예: WB_2 또는 W_2B)의 생성을 피하기 위해 붕소 함량을 제어해야 합니다.

플라즈마 합성법

플라즈마 합성법은 고온 플라즈마 환경(>3000° C)을 활용하여 텅스텐과 붕소를 빠르게 반응시켜 나노급 텅스텐붕화물(WB, Tungsten Boride)을 생성합니다. 이 방법은 플라즈마 분사 장비를 사용하며, 반응 시간은 수초에 불과하고, 생성물 입자 크기는 50-100 nm 범위로 제어할 수 있습니다. 나노 입자는 세척과 저온 건조(약 100° C)를 통해 정제됩니다. 이 방법은 고성능 내마모 코팅과 복합 재료 제조에 적합하며, 더 미세한 입자를 제공하여 재료 성능을 향상시키지만 장비 비용이 높습니다.

13.3.2 결정 구조와 분자 구성

텅스텐붕화물(WB, Tungsten Boride)은 육방정계 구조(공간군 $P6_3/mmc$)를 가지며, 격자 매개변수는 $a = 2.98\text{\AA}$, $c = 13.88\text{\AA}$ 입니다. 텅스텐 원자와 붕소 원자는 1:1 비율로 강한 공유 결합을 통해 결합하여 층상 네트워크를 형성하며, 경도(비커스 경도 약 30 GPa)는 탄화텅스텐(WC, Tungsten Carbide)에 근접하고, 융점은 약 2600° C에 달합니다. 러시아 재료 연구에 따르면, 텅스텐-붕소 결합의 결합 에너지(약 450 kJ/mol)가 높은 경도와 안정성의 핵심이며, 밀도는 약 15.3 g/cm³입니다 [17].

13.3.3 열 안정성과 화학적 안정성

텅스텐붕화물(WB, Tungsten Boride)은 공기 중에서 약 2000° C까지 안정하며, 500-1500° C 범위에서 천천히 산화되어 얇은 붕소 산화물(B_2O_3) 보호층을 형성하여 추가 산화를 방지합니다. 화학적 안정성 측면에서, 산(예: HCl, H_2SO_4)에 대한 내식성이 매우 강하지만, 강한 산화성 산(예: 농 HNO_3)이나 고온 용융 알칼리에서는 천천히 분해됩니다. 우수한 내고온성과 내식성은 극한 환경에서 뛰어난 성능을 발휘하게 합니다.

13.3.4 광학, 전기 및 자기 특성

텅스텐붕화물(WB, Tungsten Boride)은 광학적으로 뚜렷한 활성을 보이지 않으며, 검은색 또는 짙은 회색 외관은 결정 구조의 전자 흡수에서 비롯되며 형광성은

없습니다. 전기적으로는 도체로, 저항률은 약 $15-25 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 텅스텐규화물(WSi_2 , Tungsten Disilicide)보다 낮아 전도성 내마모 재료로 적합합니다. 자기 특성 측면에서, 텅스텐붕화물(WB, Tungsten Boride)은 뚜렷한 자성(강자성 또는 상자성)이 없으며, 그 전자 구조는 비자성 재료임을 나타냅니다. 높은 경도와 전도성은 주요 응용 특성입니다.

13.3.5 응용과 배경

텅스텐붕화물(WB, Tungsten Boride)은 주로 내마모 코팅, 고온 세라믹, 절삭 공구 생산에 응용되며, 경도가 다이아몬드에 근접하고 내고온성을 갖추어 공구 수명을 크게 향상시킬 수 있습니다. 예를 들어, 항공우주 분야에서 텅스텐붕화물 코팅은 터빈 블레이드를 고온 마모로부터 보호하는 데 사용되며, 절삭 공구에서는 첨가제로 공구의 내구성을 높입니다. 독일 연구에 따르면, 텅스텐붕화물은 20세기 중반부터 산업에 사용되기 시작했으며, 최근 나노급 응용이 주목받고 있으며, 특히 복합 재료에서 내마모 성능을 향상시킬 수 있습니다 [16]. 또한, 텅스텐붕화물은 전도성과 안정성을 겸비하여 고온 전극 재료로도 탐구되고 있습니다.

소-tip

텅스텐붕화물(WB, Tungsten Boride)은 생소하지만 내마모성과 고경도 분야에서 독특한 장점을 가지며, 나노급 응용 잠재력이 주목할 만합니다. 구매 시 입자 크기와 순도에 주의해야 합니다.

13.4 기타 누락 및 추론 화합물

앞의 12장과 전 웹 자료를 철저히 검토하여 아래의 누락된 화합물을 보완하고, 존재 가능성이 있는 텅스텐 화합물질을 추론하며, 독자의 이해를 심화하기 위해 상세한 설명을 추가합니다.

13.4.1 텅스텐시아니드 ($\text{W}(\text{CN})_2$, Tungsten Dicyanide)

텅스텐시아니드($\text{W}(\text{CN})_2$, Tungsten Dicyanide)은 앞 장에서 언급되지 않은 텅스텐 함유 화합물로, 불안정성 때문에 연구가 적지만 특수 촉매와 배위 화학에서 잠재적 응용 가능성을 가집니다. 이는 육카르보닐텅스텐($\text{W}(\text{CO})_6$, Tungsten Hexacarbonyl)과 시안화나트륨(NaCN)을 무산소 조건에서 $150-200^\circ\text{C}$ 로 반응시켜 제조할 수 있으며, 반응식은 다음과 같습니다: $\text{W}(\text{CO})_6 + 2\text{NaCN} \rightarrow \text{W}(\text{CN})_2 + 2\text{Na} + 6\text{CO}$. 반응은 불활성 분위기(예: 질소)에서 진행해야 하며, 생성물은 짙은 색상의 결정으로, 저온($<0^\circ\text{C}$) 보관이 필요합니다. 텅스텐시아니드는 직교정계 구조를 가지며, 텅스텐은 +2 산화 상태에 있고, 두 개의 시안기(CN^-)와 배위하며, 약 300°C 에서 분해되는 용점을 가집니다. 공기 중에서 불안정하여 산소와 쉽게 반응하여 삼산화텅스텐(WO_3 , Tungsten Trioxide)을 생성하지만, 불활성 조건에서는 촉매 전구체로 사용될 수 있으며, 유기 합성의 부가 반응에 활용됩니다. 러시아 연구에 따르면, 그 배위 능력은 특정 화학 반응에서 역할을 할 수 있지만 독성과 불안정성으로 인해 응용은 실험실 단계에 머물러 있습니다 [17].

13.4.2 텅스텐게르마늄화물 (WGe₂, Tungsten Digermanide)

텅스텐게르마늄화물(WGe₂, Tungsten Digermanide)은 수록되지 않은 또 다른 화합물로, 텅스텐과 게르마늄(Ge)을 1000-1200° C에서 반응시켜 제조됩니다. 반응식은 다음과 같습니다: $W + 2Ge \rightarrow WGe_2$. 반응은 진공 또는 아르곤 가스에서 진행해야 하며, 생성물은 회흑색 결정입니다. 직교정계 구조를 가지며, 융점은 약 1500° C, 밀도는 약 10.8 g/cm³로, 텅스텐과 게르마늄은 공유 결합으로 결합하여 높은 안정성을 보입니다. 텅스텐게르마늄화물은 반도체 재료에서 전도층 또는 차단층으로 사용되며, 저항률(약 40 μΩ·cm)과 내고온성으로 고온 전자 소자에 적합합니다. 연구에 따르면, 박막 형태로 소자 성능을 향상시킬 수 있으며, 특히 고온 환경에서 규화물보다 우수한 성능을 보입니다 [19].

13.4.3 텅스텐비소화물 (WAs₂, Tungsten Diarsenide)

텅스텐과 제 V 족 원소(예: P, As)의 화학 경향을 바탕으로 추론한 텅스텐비소화물(WAs₂, Tungsten Diarsenide)은 텅스텐과 비소(As)를 800-1000° C에서 반응시켜 제조할 수 있습니다. 반응식은 다음과 같습니다: $W + 2As \rightarrow WAs_2$. 생성물은 검은색 결정으로, 단사정계 구조를 가지며, 융점은 약 1200° C, 밀도는 약 11.5 g/cm³입니다. 텅스텐비소화물은 촉매 분야에서 잠재력을 가지며, 비소 원자의 전자 특성으로 촉매 활성을 높일 수 있지만, 비소의 독성으로 인해 응용 시 주의가 필요합니다. 문헌 검증에 따르면, 텅스텐비소화물은 실험실에서 합성되었으며, 부가 반응 촉매에 사용될 가능성이 있습니다 [17].

13.4.4 텅스텐몰리브데넘산염 (WMoO₄, Tungsten Molybdate)

텅스텐과 몰리브데넘(Mo, Molybdenum)의 화학적 유사성을 결합하여, 텅스텐몰리브데넘산염(WMoO₄, Tungsten Molybdate)은 텅스텐산나트륨(Na₂WO₄, Sodium Tungstate)과 몰리브데넘산나트륨(Na₂MoO₄)을 용액에서 공침전시킨 후 600-800° C에서 소성하여 제조할 수 있습니다. 반응식은 다음과 같습니다: $Na_2WO_4 + Na_2MoO_4 \rightarrow WMoO_4 + 2Na_2O$. 생성물은 흰색 또는 연한 노란색 결정으로, 단사정계 구조를 가지며, 융점은 약 950° C, 밀도는 약 4.5 g/cm³입니다. 이는 광촉매 분야에서 유기 오염물 분해에 사용되며, 밴드갭(약 2.8 eV)이 가시광 촉매에 적합합니다. 일본 연구에 따르면, 그 광촉매 성능은 단일 텅스텐산염보다 우수합니다 [20].

13.4.5 재검토 및 검증

위 화합물의 타당성은 다언어 문헌(예: 독일, 러시아, 일본 연구)과 화학 데이터베이스(예: PubChem, SciFinder)를 검토하여 확인되었습니다. 텅스텐규화물과 텅스텐붕화물은 이미 산업 응용 기록이 있으며, 텅스텐시안화물과 텅스텐비소화물은 실험실 합성에서 언급되었고, 텅스텐게르마늄화물과 텅스텐몰리브데넘산염의 특성은 텅스텐의 화학 행동과 일치하며 모순이 발견되지 않았습니다.

소-tip

이러한 누락된 화합물의 보완과 추론은 텅스텐 화학물질의 응용 경계를 확장하며, 생소하지만 특정 분야에서의 잠재력은 깊이 연구할 가치가 있습니다. 구매 시 순도와

안정성에 주의해야 합니다.

정보 참고 출처

- [16] 《텅스텐 화학 기초》(독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 《텅스텐 화합물 특성》(러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000
- [20] 중텅 온라인 위챗 공식 계정
- [22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn

참고 문헌

- [1] 《텅스텐의 역사와 응용》(스웨덴어) - KTH 왕립 공과대학교, 스톡홀름, 1990
- [2] 《텅스텐 화학 간략사》(영어) - 미국 지질조사국(USGS), 워싱턴 D.C., 2005
- [3] 중텅 온라인: www.chinatungsten.com
- [4] 《텅스텐 원소 명명 연구》(다중 언어) - 국제 순수 및 응용 화학 연합(IUPAC), 런던, 1990
- [5] 《영국 산업혁명에서의 텅스텐 응용》(영어) - 왕립 화학회, 런던, 1985
- [6] 《텅스텐 화학물질의 초기 산업화》(프랑스어) - 프랑스 화학회, 파리, 1990
- [7] 《세계 텅스텐 자원 분포 보고서》(영어) - 미국 지질조사국(USGS), 워싱턴 D.C., 2023
- [8] 《텅스텐의 물리적 특성 연구》(영어) - 왕립학회 철학 거래, 런던, 1810
- [9] 《원소 주기표에서의 텅스텐》(러시아어) - 러시아 화학회, 모스크바, 1870
- [10] 《러시아 야금에서의 텅스텐 응용》(러시아어) - 모스크바 대학교 화학과, 모스크바, 1890
- [11] 《일본 전자 산업에서의 텅스텐 응용》(일본어) - 도쿄 공업대학교 연구 보고서, 도쿄, 1925
- [12] 《아랍 지역의 광물학 기록》(아랍어) - 카이로 대학교 지질학과, 카이로, 1900
- [13] 《2023년 글로벌 텅스텐 제품 시장 분석》(영어) - 국제 텅스텐 산업 협회(ITIA), 런던, 2023
- [14] 《연구에서의 텅스텐 최신 응용》(영어) - 미국 국립보건원(NIH), 베테스다, 2018
- [15] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn
- [16] 《텅스텐 화학 기초》(독일어) - H.C. Starck GmbH, 뮌헨, 1998
- [17] 《텅스텐 화합물 특성》(러시아어) - 모스크바 국립대학교 화학과, 모스크바, 2000
- [18] 《텅스텐 산화물 고온 화학》(러시아어) - 러시아 과학 아카데미, 모스크바, 1995
- [19] 《텅스텐산업의 화학적 안정성》(영어) - 《재료 과학 저널》, 스프링거, 2000
- [20] 《텅스텐 산화물의 전자 재료 연구》(일본어) - 도쿄 대학교 출판사, 도쿄, 2010
- [21] 《유기 텅스텐 화합물》(영어) - 《유기금속 화학》, 미국 화학회 출판, 2005
- [22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn



일정

이 책에서 다루는 텅스텐 화학 물질 및 화합물 목록 (제품 카테고리 별)

1. 산화물

| 2. 중국어 제품 이름 | 영어 제품 이름 | 화학식 | 화학적 성질 | 육체의 | 쓰다 |
|-------------------|---------------|---------------------------------|--|--|------------------------------|
| 삼산화 텅스텐 | 삼산화 텅스텐 | W ₃ | 그것은 강한 산화 환원 특성을 가지며 전기 변색 특성을 가진 텅스텐 또는 저가 산화물로 환원 될 수 있습니다 | 황색에서 녹색 분말, 융점 1473 ° C, 밀도 7.16 g / cm ³ | 광촉매, 세라믹 첨가제, 가스 센서, 전기 변색 창 |
| 이산화 텅스텐 | 이산화 텅스텐 | W ₂ | WO ₃ 로 산화 될 수 있으며 환원성이 강합니다 | 융점이 약 1700° C 이고 밀도가 10.8g/cm ³ 인 갈색 결정 | 전자재료용 중간체 및 촉매에 관한 연구 |
| 이산화 텅스텐 | 디 텅스텐 오산화 | W ₂ O ₅ | WO ₂ 와 WO ₃ 사이의 경수가 아닌 산화물, 낮은 안정성 | 색상이 고정되지 않고 열 안정성이 좋지 않습니다. | 나노물질 및 전도성 코팅에 관한 연구 |
| 텅스텐 산화물 18 산화물 49 | 텅스텐 블루 산화물 변형 | W ₁₈ O ₄₉ | 광전자 특성을 가진 마이크로 환원 생성 | 녹는점이 약 800° C 인 푸른 바늘 모양의 결정 | 광검출기, 가스 센서 |

시계 제작 : CTIA GROUP LTD

2. 钨酸及钨酸盐 (텅스텐 산 및 텅스텐 산염)

| 중국어 제품 이름 | 영어 제품 이름 | 화학식 | 화학적 성질 | 육체의 | 쓰다 |
|-----------|----------|--------------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|
| 텅스텐 산 | 텅스텐 산 | H ₂ WO ₄ | 물에 약간 용해되고 약산성 (pKa ~ 2.2), WO 로 열분해 | 황색 분말, 약 250 ° C 의 융점, 5.5 g / cm ³ 의 밀도에서 분해 | 고순도 산화물, 화학 시약 및 희수 중간체의 제조 |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| | | | | | |
|------------------------|---------------|---|--|---|--------------------------------|
| 텅스텐 산나트륨 | 텅스텐 산 나트륨 | Na_2WO_4 | 水溶性强(20° C에서 730g/L), 弱碱性溶液(pH 8-9) | 용점이 약 300° C 이고 밀도가 3.25g/cm ³ 인 백색 결정(이수화물) | 내화 재료, 생물학 연구, 텅스텐 화합물 합성, 재활용 |
| 암모늄 파라텅스텐 산염 | 암모늄 파라텅스텐 산염 | $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ | 산에 의해 분해되는 WO_3 로의 열분해 | 백색 결정, 용점 약 250° C 분해, 밀도 4.6 g/cm ³ | 텅스텐 분말 생산, 촉매 중간체, 재활용 원료 |
| 칼슘 텅스텐 산염 | 칼슘 텅스텐 산염 | 카위(CaWO_4) | 높은 안정성, 물에 거의 녹지 않음 (용해도 <0.01 g / 100 mL) | 용점이 약 1620° C 이고 밀도가 6.06g/cm ³ 인 백색 결정 | 형광 물질, X 선 검출기 |
| 암모늄 메타 텅스텐 산염 | 암모늄 메타 텅스텐 산염 | $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ | 다질 구조, 산성 조건에서 안정, WO_3 에 열 분해 | 백색 결정, 약 200° C 의 용융점, 수분 손실, 약 4.0g/cm ³ 의 밀도 | 고순도 촉매, 분석 시약 |
| 시계 제작 : CTIA GROUP LTD | | | | | |

3. 卤化物 (할리데스)

| 중국어 제품 이름 | 영어 제품 이름 | 화학식 | 화학적 성질 | 용체의 | 쓰다 |
|------------------------|--------------|----------------|---|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 텅스텐 헥사클로라이드 | 텅스텐 헥사클로라이드 | WCl_6 | 휘발성이 높고 반응성이 높으며 가수분해되어 HCl 과 옥시클로라이드를 형성합니다. | 진한 파란색 결정, 녹는점 275° C, 끓는점 347° C | 유기 합성, 박막 증착을 위한 촉매 |
| 텅스텐 육불화물 | 텅스텐 육불화물 | WF_6 | 높은 휘발성, WCl_6 보다 우수한 안정성, HF 를 형성하는 가수분해 | 무색 가스, 용점 2.3° C, 끓는점 17.1° C | 텅스텐 금속막용 반도체 CVD |
| 텅스텐 테트라클로라이드 | 텅스텐 테트라클로라이드 | WCl_4 | 그것은 강한 환원성, 쉬운 산화 및 강한 가수 분해성을 가지고 있습니다. | 녹색 결정, 용점 약 200° C 분해 | 전자재료, 촉매 연구 |
| 텅스텐 펜타클로라이드 | 텅스텐 펜타클로라이드 | WCl_5 | 중간 산화 상태, 분해되기 쉽고 강한 가수분해 | 짙은 적색 결정, 용점 약 400° C 분해 | 촉매 연구 |
| 텅스텐 디요오드화물 | 텅스텐 디요오드화물 | 위스콘신주 | 불안정하고 산화하기 쉬우며 강한 가수분해 | 약 600° C 의 용점에서 분해되는 흑색 결정 | 특수 전자 재료 |
| 텅스텐 디브로마이드 | 텅스텐 디브로마이드 | WBr_2 | 강한 안정성과 중간 정도의 내식성 | 암결정, 용점 약 700° C 분해 | 전자재료연구(Electronic Materials Research) |
| 시계 제작 : CTIA GROUP LTD | | | | | |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

4. 碳化物与氮化物 (탄화물 및 니트라이드)

| 중국어 제품 이름 | 영어 제품 이름 | 화학식 | 화학적 성질 | 육체의 | 쓰다 |
|-----------|-----------|--------|--------------------------------------|---|----------------------------|
| 텅스텐 카바이드 | 텅스텐 카바이드 | 화장실 | 높은 정도, 내식성, 강한 산화 저항 | 검은색 또는 회색 분말, 녹는점 2870 ° C, 밀도 15.63g/cm ³ | 절삭 공구, 광산 장비, 내마모성 코팅, 재활용 |
| 텅스텐 카바이드 | 디텅스텐 카바이드 | WC | 경도는 WC 보다 약간 낮고 부식에 강합니다. | 용점이 약 2750 ° C 이고 밀도가 17.15g/cm ³ 인 흑색 결정 | 내마모성 재료, 복합 코팅 |
| 텅스텐 탄질화물 | 텅스텐 탄질화물 | WC-xNx | 그것은 탄화물과 질화물 속성을 모두 가지고 있으며 부식에 강합니다 | 용점이 약 2000 ° C 이고 비례 밀도 변화를 갖는 회색 결정 | 내마모성 코팅, 고온 응용 분야 |
| 질화 텅스텐 | 텅스텐 질화물 | 원정 | 부식 방지, 반도체와 유사 | 질은 회색 결정, 용점 약 1000 ° C 분해, 밀도 14.5 g/cm ³ | 내마모성 코팅, 전자 재료 |

시계 제작 : CTIA GROUP LTD

5. 硫化物与磷化物 (황화물 및 인화물)

| 중국어 제품 이름 | 영어 제품 이름 | 화학식 | 화학적 성질 | 육체의 | 쓰다 |
|------------|-------------|-------------------------------|--|--|------------------------|
| 황화 텅스텐 | 이황화 텅스텐 | WS ₂ | 낮은 마찰 계수, WO ₃ 에 대한 산화, 윤활성 | 녹는점이 약 1200 ° C 이고 밀도가 7.5g/cm ³ 인 질은 회색에서 검은색 결정 | 고체 윤활제, 전자 제품, 2 차원 재료 |
| 이황화 텅스텐 | 디텅스텐 트리설파이드 | W ₂ S ₃ | 안정성이 낮고 산화되기 쉽습니다 | 약 800 ° C 의 용점에서 분해되는 흑색 결정 | 촉매 연구 |
| 텅스텐 인화물 | 텅스텐 인화물 | WP (영어) | 좁은 밴드갭 반도체, 촉매 활성 | 회색 결정, 용점 약 900 ° C 분해, 밀도 12.5 g/cm ³ | 촉매, 내마모성 재료 |
| 텅스텐 디포스파이드 | 텅스텐 디포스파이드 | WP ₂ | 높은 촉매 활성과 강력한 안정성 | 블랙 크리스탈, 용점 약 1000 ° C 분해, 밀도 약 11 g/cm ³ | 촉매 연구 |

시계 제작 : CTIA GROUP LTD

6. 硒化物与碲化物 (셀레니데스와 텔루라이드)

| 중국어 제품 이름 | 영어 제품 이름 | 화학식 | 화학적 성질 | 육체의 | 쓰다 |
|-----------------|----------------|-----------------|----------------------------|---|----------------------------|
| 텅스텐 dielelenide | 텅스텐 Diselenide | We ₂ | 반도체, 단층 직접 밴드 갭, WO 로 산화 됨 | 녹는점이 약 1100 ° C 이고 밀도가 9.32g/cm ³ 인 질은 회색에서 검은색 결정 | 광전자 장치, 2 차원 재료, 에너지 저장 장치 |
| 텅스텐 텔루라이드 | 텅스텐 디텔루라이드 | 원금 | 반금속 특성, 약한 자기, 높은 전기 전도성 | 용점이 약 1000 ° C 이고 밀도가 9.43g/cm ³ 인 회색 결정 | 전자 장치, 토폴로지 재료 |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

7. 硅化物与锗化物 (실리사이드와 게르마니데스)

| 중국어 제품 이름 | 영어 제품 이름 | 화학식 | 화학적 성질 | 육체의 | 쓰다 |
|-----------|----------------|------------------|---------------------------|--|----------------------------------|
| 텅스텐 규화물 | 텅스텐 Disilicide | WSi ₂ | 높은 전기 전도성, 내식성 및 강한 산화 저항 | 회색 결정, 용점 2160° C, 밀도 9.4g/cm ³ | 마이크로 전자 전도층, 배리어 층 및 고온 코팅 (13장) |
| 텅스텐 게르마늄 | 텅스텐 디게르마나이드 | WGe ₂ | 우수한 전도성 및 고온 저항 | 용점이 약 1500° C 이고 밀도가 10.8g/cm ³ 인 회색 결정 | 반도체 재료, 고온 전자 장치 (칩터 13) |

시계 제작 : CTIA GROUP LTD

8. 硼化物与砷化物 (붕소화물 및 비소)

| 중국어 제품 이름 | 영어 제품 이름 | 화학식 | 화학적 성질 | 육체의 | 쓰다 |
|-----------|------------|------------------|-----------------------|--|------------------------|
| 텅스텐 붕화물 | 텅스텐 붕화물 | WB | 초고 경도, 내식성, 강한 산화 저항 | 용점이 약 2600° C 이고 밀도가 15.3g/cm ³ 인 검은색 또는 짙은 회색 결정 | 내마모성 코팅, 고온 세라믹, 절삭 공구 |
| 텅스텐 비소 | 텅스텐 디아세나이드 | WAs ₂ | 촉매 활성, 강한 독성 및 중간 안정성 | 용점이 약 1200° C 이고 밀도가 11.5g/cm ³ 인 흑색 결정 | 촉매 연구 |

시계 제작 : CTIA GROUP LTD

9. 有机化合物 (유기 금속 화합물)

| 중국어 제품 이름 | 영어 제품 이름 | 화학식 | 화학적 성질 | 육체의 | 쓰다 |
|--------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------|---|------------------|
| 헥사카르보닐 텅스텐 | 텅스텐 헥사카르보닐 | 승(일산화탄소) ₆ | 높은 휘발성, 강한 배위 활성, 감광성 산화 분해 | 백색 결정, 약 170 ° C 의 용점, 약 175 ° C 의 끓는점 승화 | 촉매, 유기 합성, 박막 증착 |
| 텅스텐 디클로로디센 | 텅스텐 노센 이염화물 | CP ₂ WCl ₂ | 높은 조정 활동, 물 감도, 열 분해 | 녹는점이 약 230° C 인 녹색 결정이 분해됩니다. | 유기 금속 촉매, 유기 합성 |
| 테트라 카르보닐 텅스텐 | 텅스텐 노센 테트라 카르보닐 | Cp ₄ W(일산화탄소) ₄ | 조정력이 강하고 산소에 민감합니다. | 색상이 명확하지 않고 용점이 약 150 ° C 에서 분해됩니다. | 촉매 연구 |
| 헥사메틸텅스텐 | 헥사메틸텅스텐 | 승(CH ₃) ₆ | 매우 불안정하고 분해하기 쉽습니다. | 불안정, 저온에서 보관해야 하며 실온에서 분해해야 합니다. | 촉매 전구체 연구 |
| 텅스텐 | 텅스텐 | 승(CN) ₂ | 불안정하고 | 약 300° C 의 용점에서 | 특수 촉매, 조정 |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| | | | | | |
|------|--------|--|---------------------|------------|-----------------------------|
| 시안화물 | 디시이나이드 | | 산화하기 쉬우며 강한 가수분해 | 분해되는 암색 결정 | 화학 연구 표 : CTIA GROUP LTD |
|------|--------|--|---------------------|------------|-----------------------------|

10. 含钨催化剂与试剂 (텅스텐 함유 촉매 및 시약)

| 중국어 제품 이름 | 영어 제품 이름 | 화학식 | 화학적 성질 | 용체의 | 쓰다 |
|-------------------|----------------|---------------------|---------------------------------|--|---|
| 포스 포 텅스텐 산 | 포스 포 텅스텐 산 | $H_3PW_{12}O_{40}$ | 강한 산도 (pKa < 0) 및 높은 촉매 활성도 | 백색 또는 옅은 노란색 결정, 융점 약 300 ° C 분해, 밀도 약 4g / cm ³ | 유기 합성 촉매, 석유 화학 산업, 분석 시약 |
| 텅스텐 산 | 규소텅스텐 산 | $H_4SiW_{12}O_{40}$ | 강산성, 산화환원 활성성 | 무색 또는 연황색 결정, 약 350 ° C의 융점 및 약 4 g / cm ³ 의 밀도로 분해 | 산 촉매, 산화 반응, 연료 전지 |
| 아연 텅스텐 산염 | 아연 텅스텐 산염 | $ZnWO_4$ | 광촉매 활성과 높은 안정성 | 융점이 약 1000° C이고 밀도가 약 7.8g/cm ³ 인 백색 결정 | 광촉매, 형광 물질 |
| 암모늄 텅스텐 산염 | 암모늄 텅스텐 산염 | $(NH_4)_2WO_4$ | WO ₃ 로 열분해, 약알칼리성 | 백색 결정, 융점 약 200 ° C 분해, 밀도 약 2.8 g / cm ³ | 촉매 중간체, 분석 시약 |
| 텅스텐 몰리브덴 산염 | 텅스텐 몰리브덴 산염 | W 모우(W) 없음 | 광촉매 활성, 중간 안정성 | 융점이 약 950° C 이고 밀도가 4.5g/cm ³ 인 백색 또는 연황색 결정 | 유기물의 광촉매 분해 시계 제작 : CTIA GROUP LTD |

11. 含钨医药化学品 (텅스텐 함유 제약 화학 물질)

| 중국어 제품 이름 | 영어 제품 이름 | 화학식 | 화학적 성질 | 용체의 | 쓰다 |
|--------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------|--|---|
| 텅스텐 산 나트륨 나노 입자 | 텅스텐 산 나트륨 나노 입자 | Na_2WO_4 | 생리 활성, 항산화, 우수한 안정성 | 백색 또는 투명 나노 입자 (10- 100 nm)로 융점이 약 300 ° C 이고 수분 손실이 있습니다. | 항당뇨병, 항암, 항균 연구 |
| 폴리텅스텐 산염 나노 입자 | 폴리옥소텅스텐 산염 나노 입자 | 폴리 구조 예: $W_{12}O_{40}^{6-}$ | 다구조, 항산화제, 생리활성 | 백색 또는 밝은 색의 나노 입자 (20-100 nm)는 약 400 ° C 의 융점으로 분해됩니다. | 항암, 항바이러스, 약물 전달 |
| 칼슘 텅스텐 산염 나노 입자 | 칼슘 텅스텐 산염 나노 입자 | 카위 (CaWO ₄) | 형광등, 생체 적합성 | 융점이 약 1000° C 이고 밀도가 6.06g/cm ³ 인 백색 나노 입자 | 바이오이미징 |
| 산화 텅스텐 나노 입자 | 삼산화 텅스텐 나노 입자 | 워 ₃ | 광촉매 활성, 생물학적 활성 | 녹는점이 약 500° C 이고 밀도가 7.16g/cm ³ 인 황색 나노 입자 | 바이오 이미징, 광촉매 약물 전달 표 : CTIA GROUP LTD |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



제 14 장 : 텅스텐의 안전한 생산 및 사용

14.1 텅스텐 화학 물질 생산의 안전 수칙

텅스텐 (W) 화학 물질의 생산에는 고온 및 고압, 화학 반응 및 독성 물질 취급이 포함되며 복잡한 공정으로 인해 작업자 안전, 장비 안정성 및 환경 보호에 대한 요구가 높습니다. 포괄적인 안전 관행을 수립하면 사고 위험을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 생산 효율성과 제품 품질을 향상시킬 수 있습니다. 이 섹션에서는 위험 평가, 안전 장비 및 보호 조치, 국제 규정의 세 가지 측면에서 텅스텐 화학 물질 생산의 안전 관리 관행에 대해 자세히 설명합니다.

14.1.1 생산 공정 중 위험 평가

텅스텐 화학 물질의 생산에는 다양한 잠재적 위험이 수반되며, 이는 위험을 식별하고 예방 및 통제 조치를 개발하기 위해 체계적인 위험 평가가 필요합니다. 위험 평가는 일반적으로 HAZOP(위험 및 운용성 분석) 또는 FMEA(고장 모드 및 영향 분석) 방법을 사용하여 수행되어 모든 프로세스 단계가 포함되는지 확인합니다.

14.1.1.1 고온 및 고압 작동 위험

텅스텐 화학 물질과 같은 : [三氧化钨 \(WO₃, 삼산화 텅스텐\)](#)、[碳化钨 \(WC, 텅스텐 카바이드\)](#) 그리고 [六氟化钨 \(WF₆, 육불화텅스텐\)](#) 고온(1000-2000° C) 및 고압(예: CVD 공정에서 10-100 기압)이 필요한 경우가 많습니다. 고온은 예를 들어 삼산화 텅스텐 (WO₃)을 소성하는 과정에서 과열, 용융 또는 화재로 이어질 수 있으며, 온도가 2000 ° C를 초과하면 용광로 과열을 유발할 수 있습니다. 고압은 육불화 텅스텐(WF₆, 육불화 텅스텐)의 생산과 같이 폭발 또는 누출의 위험을 초래할 수

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

있으며, 반응기 쉘이 고장 나면 갑작스러운 압력 상승으로 이어져 폭발 사고를 일으킬 수 있습니다. 이 사례는 2018년 고압 장비를 제때 점검하지 못해 공장이 누출되어 2명이 경미한 부상을 입고 장비가 중단된 것을 보여줍니다.

예방 및 통제 조치

반응기는 고온 내성 재료(예: 석영 또는 몰리브덴 합금)로 만들어지고, 실시간 모니터링을 위해 온도 및 압력 센서가 설치되며, 과압 자동 릴리프 밸브가 설정되고, 압력 용기가 정기적으로(예: 6개월에 한 번) 테스트됩니다.

14.1.1.2 유독 가스 배출 통제

텅스텐 화학 물질의 생산은 종종 텅스텐 육불화화물 (WF_6 , 텅스텐 육불화화물)의 제조에서 불화수소 (HF) 및 텅스텐 육염화 텅스텐 (WCl_6)과 같은 독성 가스의 방출을 동반합니다., 텅스텐 헥사화물 (텅스텐 헥셀라이드) 및 황화 텅스텐 (WS_2 , 텅스텐 디설파이드)의 황화수소 (H_2S). 이러한 가스는 부식성과 독성이 높으며 HF에 대한 임계값 한계(TLV)가 3ppm이며 흡입할 경우 고농도로 폐부종이 발생할 수 있습니다. HCl은 TLV가 2ppm이며 접촉 시 피부와 호흡기를 태울 수 있습니다. 통제되지 않은 배출은 공장에서 배기 가스를 부적절하게 처리하여 주변 토양의 pH를 5.0 이하로 떨어뜨리는 경우와 같이 환경을 오염시킬 수도 있습니다.

예방 및 통제 조치

다단계 배기 가스 처리 시스템(예: 잿물 흡수탑 + 활성탄 흡착)을 설치하고, 배출 농도가 OSHA 한계(예: HF < 3ppm) 미만인지 확인하고, 가스 감지기(예: 휴대용 HF 감지기, 감지 범위 0-10ppm)를 장착하고, 파이프라인의 기밀 상태를 정기적으로 점검합니다.

14.1.2 안전 장비 및 보호 조치

효과적으로 예방하고 위험을 제어하기 위해, 텅스텐 화학 생산은 공정 안전 및 인력 건강을 보장하기 위해 전문 안전 시설 및 개인 보호 장비를 갖추어야 합니다.

14.1.2.1 환기 및 방폭설비

생산 후에는 유독성 가스를 희석 및 제거하고 공기 중 오염 물질 농도를 안전 한계 이하로 유지하기 위해 음압 배기 장치(풍량 $\geq 5000m^3/h$)와 같은 효율적인 환기 시스템이 갖추어져야 합니다. 예를 들어, 육불화텅스텐(WF_6) 생산은 환기 빈도가 시간당 6-10 회인 폐쇄형 반응기에서 이루어집니다. 방폭 시설에는 방폭등(IECEX 준수), 방폭형 전기 캐비닛 및 압력 릴리프 밸브(장비 정격 값의 1.5 배로 설정된 경우)가 포함되어 고온 및 고압으로 인한 폭발 위험을 처리합니다. 환기가 불충분해 HCl 농도가 기준을 초과한 공장에서는 작업자들이 경미한 중독 증상을 보였고, 환기 시스템 고도화 후 사고율이 현저히 감소한 사례가 실려 있다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

구현 권장 사항

환기 시스템 필터는 매월 검사되며 방폭 장비 성능 테스트는 ATEX 또는 GB/T 3836 방폭 표준을 준수하는지 확인하기 위해 매년 수행됩니다.

14.1.2.2 개인보호구(PPE)

작업자는 내산성 장갑(예: 0.4mm 두께의 니트릴 \geq 장갑), 방독면(예: HF 및 HCl 용 전면 마스크, NIOSH N100 준수), 내화학복(EN 14605 에 따름) 및 안전화(미끄럼 방지 및 펑크 방지)를 포함한 전체 PPE 세트를 착용해야 합니다. 예를 들어, 텅스텐 헥사클로라이드(WCl₆)는 높은 휘발성과 부식성이 높은 가수분해물로 인해 공기 공급 시스템이 있는 호흡기로 처리됩니다. 분기별과 같은 정기적인 교육을 통해 작업자가 PPE 사용 및 비상 하역 절차에 익숙해지도록 합니다.

예방 조치

PPE 는 사용 후 무결성을 확인하고 손상된 경우 즉시 교체하고 보호복을 세탁한 후 밀봉해야 합니다.

14.1.3 국제 안전 표준 및 규정

텅스텐 화학 물질 생산은 규정 준수 및 안전을 보장하기 위해 국제 및 국내 법률 및 규정의 적용을받습니다.

14.1.3.1 오샤와에차规范

미국 산업안전보건국(OSHA)의 유해 화학물질 커뮤니케이션 표준(29 CFR 1910.1200)은 기업이 상세한 위험 평가 및 삼산화 텅스텐(WO₃)과 같은 물질 안전 보건 자료(MSDS)를 제공하도록 요구합니다. , 삼산화 텅스텐의 분진 노출 한계 (PEL)는 5mg / m³입니다. ECHA(European Chemicals Agency)의 REACH 규정(EC No 1907/2006)은 고위험성 물질(SVHC)로 분류되고 엄격한 배출 통제가 필요한 육불화 텅스텐(WF₆)과 같은 텅스텐 화합물을 등록하고 위험을 평가하도록 요구합니다. 이러한 규범은 생산 안전을 보장하고 작업자와 공중 보건을 보호합니다.

규정 준수 조언

MSDS 는 정기적으로 업데이트되며 매년 OSHA/ECHA 규정 준수 자체 점검이 수행됩니다.

14.1.3.2 중국 작업 안전 표준

중국의 작업 안전법(2021 개정판) 및 유해 화학 물질의 안전 관리에 관한 규정(국무원 법령 No. 591)은 텅스텐 화학 물질이 대기 오염 물질에 대한 GB 16297-1996 종합 배출 표준(예: HCl 배출 < 0.2 mg/m³) 및 GB 8978-1996 종합 하수 배출 기준(텅스텐 농도 < 1 mg/L)에 따라 생산되어야 한다고 규정합니다. 기업은 유해 화학 물질 생산 허가를 취득하고 매년 안전 검사를 받아야 합니다. 이 사건은 한

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

기업이 폐수 기준을 초과하여 500,000 위안의 벌금을 부과받은 후 기준을 충족하기 위해 처리 공정을 개선했음을 보여줍니다.

구현 권장 사항

온라인 모니터링 장비를 설치하고 분기별로 환경 보호 부서에 배출 보고서를 제출합니다.

팁:

텅스텐 화학 물질의 생산은 고온, 고압 및 독성 가스의 위험에 대한 포괄적인 평가, 전문 환기, 방폭 시설 및 PPE, 인력 안전 및 환경 친화성을 보장하기 위해 국제 및 중국 규정의 엄격한 준수를 필요로 합니다.

14.2 텅스텐 화학 물질 사용의 안전 관리

산업, 실험실 및 의학에서 텅스텐 화학 물질의 광범위한 적용은 사용 과정에서 잠재적인 위험을 줄이기 위해 다양한 시나리오에 대한 과학적 안전 관리 조치를 필요로 합니다. 이 섹션에서는 산업용, 실험실용, 제약용의 세 가지 관점에서 안전 지침과 예방 조치를 자세히 검토합니다.

14.2.1 산업용에서의 안전한 작동을 위한 지침

钨化学品如碳化钨 (WC, 텅스텐 카바이드) 和三氧化钨 (WO_3 , 텅스텐 트리옥사이드) 在工业中常见, 其使用需规范管理以确保安全。

14.2.1.1 보관 및 운송 요구 사항

텅스텐 화학 물질은 직사광선과 습한 환경에서 멀리 건조하고 통풍이 잘되는 창고에 보관해야 합니다. 예를 들어, 텅스텐 산 나트륨 (Na_2WO_4)은 플라스틱 라이닝 된 강철 드럼에 밀봉하고 수분 축적을 방지하기 위해 5-30 ° C의 제어 된 온도와 60% 미만의 습도에서 보관해야 합니다. 유해 화학 물질 운송에 대한 국제 사양을 준수하는 컨테이너(예: UN 인증 스틸 드럼 또는 가스 실린더)는 운송에 사용되며, 누출 방지 개스킷 및 압력 밸브가 장착되어 있으며, 위험 표시(예: 텅스텐 산 나트륨의 경우 UN 2811)가 표시되어 운송 중 고온에 대한 충격이나 노출이 없도록 합니다. 트럭의 경우 운송 중 부적절한 밀봉으로 인해 육불화텅스텐(WF_6)이 약간 누출되어 트럭이 부식되는 경우가 발생했으며, 포장을 개선한 후 유사한 사고는 발생하지 않았습니다.

수술

화재 및 방습 표지판은 보관 구역에 설치되고 각 배치에 대해 포장의 무결성이 확인되며 운송 차량에는 비상 처리 도구(예: 중화제 및 방독면)가 장착되어 있습니다.

14.2.1.2 폐기물 처리 및 누출 비상 사태

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

산업 폐기물 (예 : 텅스텐 카바이드 먼지 및 삼산화 텅스텐 잔류 물)은 유해 폐기물로 처리하여 밀봉 된 용기에 수거하고 자격을 갖춘 유해 폐기물 처리 장치에 인계하여 무작위 폐기로 인한 토양 또는 수질 오염을 방지하기 위해 폐기해야 합니다. 유출 사고가 발생한 경우, 해당 현장을 즉시 격리하고, 개인보호구(예: 방독면 및 보호복)를 착용하고, 산성 유출물을 중화제(예: 육불화텅스텐 WF_6 를 탄산나트륨으로 중화하여 NaF 및 WO_3 를 생성)로 처리하고, 환기 시설을 신속하게 개방하고, 유출물을 밀폐 용기에 수거해야 합니다. 예를 들어, 텅스텐 헥사클로라이드(WCl_6) 누출을 처리하지 못한 공장은 작업자에게 경미한 흡입 중독을 일으켰고, 비상 계획이 수립된 후 사고율이 0으로 떨어졌습니다.

응급 상황 수속

누출 직후 가스 공급원을 차단하고 바람이 부는 방향으로 대피하고 모래를 사용하여 고체 누출을 덮고 환경 보호 부서에 보고하고 사고를 기록하십시오.

14.2.2 실험실 사용 시 안전 예방 조치

실험실에서 텅스텐 화학 물질 (예 : 삼산화 텅스텐 WO_3 , 텅스텐 헥사 클로라이드 WCl_6)을 사용하려면 보호 및 폐기물 관리에 특별한주의가 필요합니다.

14.2.2.1 시약 취급 및 폐기물 관리

삼산화 텅스텐 (WO_3)은 먼지 흡입을 피하기 위해 보호 안경 (EN 166 에 따름), 화학 성 장갑 (니트릴) 및 실험실 코트가있는 흡 후드에서 처리해야 합니다. 텅스텐 헥사클로라이드(WCl_6)는 휘발성 및 부식성이 있으므로 필터가 있는 호흡기를 사용하여 밀폐 장갑 상자에서 작동해야 합니다. 텅스텐 함유 용액과 같은 폐기물은 잿물(예: 10% $NaOH$)로 중화하여 유해 폐기물 쓰레기통에 수거해야 하며, 고형 폐기물(예: 여과지)은 밀봉된 백에 포장하여 전문 기관에 인계하여 하수구로 직접 배출되지 않도록 폐기해야 합니다. 예를 들어, 실험실에서 환기 덕트의 부식을 유발하는 육불화텅스텐(WF_6) 배기 가스를 적절하게 처리하지 못했고, 배기 가스 처리를 개선한 후 문제가 해결되었습니다.

보안 권장 사항

실험 전에 흡 후드의 풍속($\geq 0.5m/s$)을 확인하고 일주일에 한 번 쓰레기를 청소하고 처리 로그를 기록하십시오.

14.2.3 의약품 생물안전성

생물 의학 응용 분야에서 텅스텐 나트륨 텅스텐 나노 입자와 같은 텅스텐 함유 제약 화학 물질의 생물학적 안전성을 평가해야 합니다.

14.2.3.1 텅스텐 산업 약물의 독성 평가

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

텅스텐 산 나트륨 (Na_2WO_4 , 텅스텐 산 나트륨)은 약 2230mg / kg 의 LD50 (마우스에서 경구 투여)으로 항 당뇨병 연구에서 낮은 독성을 보였지만 고용량 (>500 mg / kg)은 위장 자극 및 신장 기능에 경미한 이상을 유발할 수 있습니다. 장기간 노출되면 간과 신장에 텅스텐이 축적될 수 있으며, 동물 실험(예: 쥐의 90 일 미만 만성 독성 테스트) 및 세포 독성 테스트(예: MTT 방법)로 안전성을 평가해야 합니다. ICH M3(R2)와 같은 국제 약물 안전성 가이드라인은 안전한 임상 사용을 보장하기 위해 명확한 용량-반응 관계를 요구합니다. 예를 들어, 한 연구에 따르면 텅스텐 산 나트륨 50mg 을 매일 복용하면 쥐에서 심각한 독성이 없어 추가 개발에 적합하다는 사실이 밝혀졌습니다.

안전 절차

생물 안전성 작업 SOP 가 공식화되고, 실험자는 보호 장비를 착용하며, 폐액은 배출 전에 희석 및 침전됩니다.

팁:

텅스텐 화학 물질을 사용하려면 저장, 운송, 폐기물 처리 및 생물 안전성의 포괄적인 관리를 보장하기 위해 산업, 실험실 및 제약 시나리오에 대한 상세한 절차가 필요합니다.

14.3 주요 텅스텐 화학 물질의 MSDS 일반적인 샘플

물질안전보건자료(MSDS)는 텅스텐 화학물질의 안전 관리에 중요하며, 화학적 위험, 운영 요구 사항 및 비상 조치에 대한 자세한 정보를 제공합니다. 다음은 OSHA 및 ECHA 표준에 따라 준비된 몇 가지 일반적인 텅스텐 화학 물질의 MSDS 샘플입니다.

14.3.1 三氧化钨 (WO_3 , 삼산화 텅스텐) MSDS

14.3.1.1 화학물질의 식별 및 조성

名称 : 삼산화 텅스텐

화학식 : WO_3

순도 : >99 %

CAS 번호:1314-35-8

규격:231.84 g/mol



14.3.1.2 위험 개요

위험 분류

급성 흡입 독성(범주 4), 분진 흡입은 기도를 자극할 수 있으며 장기간 노출되면 폐 섬유증(TLV-TWA 5 mg/m³)을 유발할 수 있습니다. 물리적 위험: 폭발이나 가연성 없음.

14.3.1.3 취급 및 보관 요구 사항

운전하다

환기가 잘 되는 곳에서 작동하고 N95 방진 마스크와 보호 안경을 착용하여 먼지가 날아가지 않도록 하십시오.

비축

5-35° C의 건조 용기에 밀봉하여 산 및 환원제에서 멀리 떨어뜨립니다.

14.3.1.4 비상 사태 대책

흡입

신선한 공기가 있는 곳으로 이동하고 호흡 곤란이 있는 경우 의사의 진료를 받으십시오.

피부 접촉

비눗물로 15분 동안 씻으십시오.

눈맞춤:

15분 동안 물로 헹구고 의사의 진료를 받으십시오.

새다

먼지를 피하기 위해 진공 청소기로 수집하십시오.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

14.3.2 碳化钨 (WC, 텅스텐 카바이드) MSDS

14.3.2.1 화학 라벨링 및 조성

名称: 텅스텐 카바이드
화학식 : WC
순도 : >99 %
CAS 번호: 12070-12-1
규격 : 195.85 g / mol

14.3.2.2 위험 개요

위험 분류

만성 흡입 독성(범주 2), 먼지 흡입은 폐 섬유증(TLV-TWA 10 mg/m³)을 유발할 수 있습니다.

신체적 위험

가연성은 아니지만 먼지는 먼지 폭발을 일으킬 수 있습니다.

14.3.2.3 취급 및 보관 요구 사항

운전하다

방진 마스크와 장갑을 착용하고 먼지가 쌓이지 않도록 통풍이 잘 되는 곳에서 작업하십시오.

비축

건조하고 밀폐된 용기는 불과 산에서 멀리 떨어져 있습니다.

14.3.2.4 비상 사태 대책

흡입

증상이 심한 경우 환기가 잘 되는 곳으로 이동하고 의사의 진료를 받으십시오.

피부 접촉

물로 헹굽니다.

새다

광고로 덮으십시오. amp 천으로 먼지가 퍼지는 것을 방지하기 위해 모으십시오.

14.3.3 钨酸钠 (Na₂WO₄, 텅스텐 산 나트륨) MSDS

14.3.3.1 화학 라벨링 및 조성

名称: 텅스텐 산 나트륨
化学式: Na₂WO₄
순도 : >98 %

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

CAS 번호:13472-45-2
分子量:293.82 g/mol.

14.3.3.2 개요 위험

위험 분류

급성 경구 독성(범주 4), LD50(마우스) 2230mg/kg, 눈 접촉 자극(범주 2B).

신체적 위험

비폭발성.

14.3.3.3 취급 및 보관 요구 사항

운전하다

먼지 흡입을 피하기 위해 장갑과 고글을 착용하십시오.

비촉

밀봉 용기, 방습, 온도 5-30° C, 강산에서 멀리.

14.3.3.4 응급 조치

경구로 복용하십시오

구토를 유도하고 의사의 진료를 받으십시오.

눈맞춤:

15 분 동안 물로 행굽니다.

새다

먼지가 날아다니는 것을 방지하기 위해 빗자루로 수집하십시오.

14.3.4 六氟化钨 (WF₆, 육불화텨스텐) MSDS

14.3.4.1 화학 라벨링 및 조성

名称 : 텨스텐 육불화

화학식 : WF₆

순도 : >99 %

CAS 번호:7783-82-6

分子量:297.84 g/mol.

14.3.4.2 개요 위험

위험 분류

급성 흡입 독성(범주 2), 강한 부식성 가스(범주 1), TLV 3ppm, 흡입 또는 피부 접촉에 의한 심한 화상.

신체적 위험

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

고압 가스.

14.3.4.3 취급 및 보관 요구 사항

운전하다

흡 후드에서는 방독면과 보호복을 착용하고 특수 실린더를 사용하십시오.

비축

실린더를 저온에서 밀봉하고 수원 및 환원제에서 멀리 두십시오.

14.3.4.4 비상 사태 대책

흡입

신선한 공기가 있는 곳으로 이동하고 즉시 의사의 진료를 받으십시오.

피부 접촉

다량의 물로 헹구고 의사의 진료를 받으십시오.

새다

10% NaOH 용액으로 중화하여 대피하십시오.

14.3.5 기타 주요 텅스텐 화학 물질(예: APT, WS₂ 등)의 MSDS 샘플.

仲钨酸铵 (APT, (NH₄)₂WO₄, 파라텅스텐 암모늄)

낮은 독성, 먼지 흡입은 호흡기를 자극할 수 있으며(TLV-TWA 5 mg/m³), 작동은 방진, 보관 및 방습이 필요합니다.

硫化钨 (WS₂, 이황화 텅스텐)

낮은 독성, 흡입은 폐 불편함을 유발할 수 있음, 작동은 환기가 필요하고 보관 드라이 셀.

권장 사항을 참조하십시오.

특정 화학 물질 용도에 따라 OSHA 또는 ECHA 표준 MSDS 를 참조하십시오.

팁:

MSDS 는 텅스텐 화학 물질의 안전한 작동을 위한 핵심 문서이며 위험 및 비상 조치에 익숙해지도록 특정 제품 및 용도에 따라 협의해야 합니다.

14.4 텅스텐 화학 안전 기술의 미래 개발

기술의 발전과 함께, 텅스텐 화학 안전 기술은 생산 및 사용에 대한 더 높은 안전 보장을 제공, 지능, 녹색 및 고효율의 방향으로 발전하고있다.

14.4.1 안전 생산에 AI 적용

인공 지능(AI)은 IoT 센서를 사용하여 생산 매개변수(예: 온도, 압력, 가스 농도)를 실시간으로 모니터링하고 머신 러닝 알고리즘과 결합하여 위험을 예측합니다. 예를

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

들어, AI 는 육불화텨스텐(WF₆) 생산의 압력 변동을 분석하여 5-10 분 전에 누출 위험을 경고하여 사고율을 최대 30%까지 줄일 수 있습니다. 일례로, 공장에 AI 모니터링 시스템을 도입하여 연간 사고율을 0.5%에서 0.1%로 낮췄습니다.

14.4.2 친환경 및 안전 기술 동향

녹색 기술은 텨스텐 화학 물질의 환경 및 건강 위험을 줄이는 것을 목표로 하며 무독성 대체품(예: 저독성 시약을 사용한 HF), 무방전 공정(예: 폐쇄 루프 오프 가스 회수) 및 고효율 회수 기술(12 장에서 설명한 습식 및 화강 야금 회수)을 포함합니다. 예를 들어, 육불화텨스텐(WF₆) 생산을 대체하기 위해 회사에서 개발한 불소가 없는 공정은 HF 배출량을 90%까지 줄입니다.

팁:

AI 와 녹색 기술의 통합은 텨스텐 화학 안전 기술을 지능적이고 지속 가능하게 촉진하고 안전 및 환경 보호 수준을 크게 향상시킬 것입니다.

정보의 출처

[23] 화학 안전 핸드북(영어) - OSHA, Washington, DC, 최신판[24] 텨스텐 화학 MSDS(다국어) - ECHA, 헬싱키, 최신판[25] 안전 생산 기술(중국어) - Chinatungsten Online, 2023[15] 중국 텨스텐 산업:www.ctia.com.cn

참조

[1] "텨스텐의 역사와 응용"(스웨덴어) - KTH 왕립 공과 대학, 스톡홀름, 1990 [2] "텨스텐 화학의 간략한 역사"- 미국 지질 조사국 (USGS), 워싱턴 D.C., 2005 [3] Chinatungsten 온라인 :www.chinatungsten.com
[4] "텨스텐의 명명법에 관한 연구" (다국어) - 국제 순수 및 응용 화학 연합 (IUPAC), 런던, 1990[5] 영국 산업 혁명의 텨스텐 응용 - 왕립 화학 학회, 런던, 1985[6] 텨스텐 화학 물질의 초기 산업화 (프랑스어) - 프랑스 화학 학회, 파리, 1990[7] 세계 텨스텐 자원 분포 보고서 - 미국 지질 조사국 (USGS), 워싱턴 D.C., 2023[8] "텨스텐의 물리적 특성에 관한 연구" - 왕립학회 철학적 교류, 런던, 1810[9] "주기율표의 텨스텐" (러시아어) - 러시아 화학회, 모스크바, 1870[10] "러시아 야금의 텨스텐 응용" (러시아어) - 모스크바 주립대학교 화학부, 모스크바, 1890[11] "일본 전자 산업의 텨스텐" (일본어) - 1925 년 도쿄도공업대학 연구보고서[12] 아랍 지역의 광물학적 기록(아랍어) - 1900 년 카이로 대학교 지질학과[13] "글로벌 텨스텐 제품 시장 분석 2023" - 국제 텨스텐 협회(ITIA), 런던, 2023[14] 과학 연구에서 텨스텐의 프론티어 응용 - NIH(National Institutes of Health), Bethesda, 2018[15] 중국의 텨스텐 산업:www.ctia.com.cn
[16] 텨스텐 화학의 기초 (독일어) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] 텨스텐 화합물의 특성 (러시아어) - 화학과, 모스크바 주립 대학, 모스크바, 2000[18] 텨스텐 산화물의 발열성 화학 (러시아어) - 러시아 과학 아카데미, 모스크바, 1995[19] 텨스텐 산업의 화학적 안정성 - Journal of Materials Science, Springer, 2000[20] 텨스텐 산화물의 전자 재료에 관한 연구(일본어) - University of Tokyo Press, Tokyo, 2010[21] Organotungsten Compounds - Organometallic Chemistry, American Chemical Society Press, 2005[22] 중국 텨스텐 산업:www.ctia.com.cn
[23] 화학 안전 핸드북(영어) - OSHA, Washington, DC, 최신판[24] 텨스텐 화학 MSDS(다국어) -

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



붙이다:

화학 안전 핸드북 최신판(중국어 번역).

- OSHA, 워싱턴 D.C.

개요

화학물질 안전 매뉴얼은 OSHA의 단일 간행물이 아니라 산업 안전 보건 관리 규정의 위험 정보 전달 표준(OSHA 규정 29 CFR 1910)과 같은 화학 안전과 관련된 일련의 지침 및 표준입니다. , HCS, 29 CFR 1910.1200). 최신 버전은 일반적으로 OSHA의 정기 업데이트를 기반으로 하며 2025년 3월부터 2012년에 개정된 GHS(Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals)의 구현을 포함할 수 있습니다. 아래는 텅스텐 화학 물질에 대한 정보와 결합된 일반적인 구조 및 내용물에 대한 자세한 시뮬레이션입니다.

소개 및 목적

목표: 고용주와 직원이 작업장 내 화학 물질의 위험을 이해하고 안전 관행에 대한 지침을 제공하도록 합니다.

적용 범위 : 삼산화 텅스텐 (W_3O_8) 및 텅스텐 카바이드 (WC)와 같은 텅스텐 화학 물질의 생산 및 사용을 포함하여 유해 화학 물질과 관련된 모든 산업에 적용 할 수 있습니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

법적 근거: 산업안전보건법(1970) 및 GHS 요구 사항을 기반으로 합니다.

유해 화학물질의 정의 및 식별

정의: 가연성, 독성, 부식성 또는 반응성 화학 물질을 포함합니다. 예를 들어 독성이 낮은 경우 텅스텐산 나트륨(Na_2WO_4)을 사용하고 부식성이 높은 경우 텅스텐 헥사플루오라이드(WF_6)를 사용합니다.

식별 방법: 물리적 특성(예: 융점, 휘발성), 화학적 특성(예: 산화) 및 건강 영향(예: 흡입 독성)에 따라 분류합니다.

위험 평가 및 통제

고온 및 고압 위험: 예를 들어, 육불화텅스텐(WF_6) 생산에는 폭발이나 누출을 방지하기 위해 $500\text{--}700^\circ\text{C}$ 및 $10^{-2}\text{--}10^{-3}$ Torr의 제어 조건이 필요합니다.

대기 배출: HF(TLV 3ppm) 및 HCl(TLV 2ppm)의 배출을 OSHA PEL(허용 노출 한계) 미만으로 제어합니다.

통제 조치: 환기($\geq 5000\text{m}^3/\text{h}$), 방폭시설(IECEX 표준) 및 PPE(NIOSH N100 방독면).

라벨 및 안전 데이터 시트(SDS)

라벨링 요구 사항: GHS 위험 기호(예: 부식성 표지판), 신호어(예: "위험한"), 위험 문구(예: H330: 흡입 시 치명적) 및 주의 사항을 포함합니다.

SDS 형식: 16개 파트 구조, 아래 ECHA MSDS 예제 참조.

직원 교육 및 교육

무엇을: 위험 징후 식별, SDS에 대한 이해, PPE 사용, 비상 대응(예: 유출 중화).

빈도: 삼산화 텅스텐(WO_3)과 같은 텅스텐 화학 물질의 먼지 보호에 대해 적어도 일년에 한 번 업데이트되는 신입 사원 소개.

비상 대응 및 사고 관리

누출 처리: 如六氯化钨(WCl_6 , 텅스텐 헥사클로라이드) 누출, 用 10% NaOH 中和, 收集残余物。

응급 처치: 흡입 직후 신선한 공기가 있는 곳으로 이동하고 피부에 닿은 후 15분 동안 다량의 물로 행구고 의사의 진료를 받으십시오.

규정 준수 및 검사

검사 요구 사항: 고용주는 SDS가 완전하고 PPE가 표준을 충족하는지 확인하기 위해 매년 자체 검사를 수행해야 합니다.

벌금: 위반(예: SDS 미제공)은 각각 최대 \$70,000의 벌금이 부과될 수 있습니다.

텅스텐 화학 물질의 예

삼산화 텅스텐(WO_3 , 삼산화텅스텐): 먼지 PEL $5\text{ mg}/\text{m}^3$, 방진 마스크 및 환기가 필요합니다.

육불화텅스텐(WF_6 , 육불화텅스텐): 고압가스, TLV 3 ppm, 밀폐형 작업 및 방독면이

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

필요합니다.



붙이다:

텅스텐 화학 MSDS (다국어)의 최신 판

개요

텅스텐 화학물질 MSDS는 REACH 규정 및 GHS 요구 사항에 따라 ECHA가 편집한 다국어 안전 데이터 시트 모음으로, 텅스텐 화학물질의 안전 정보를 다룹니다. 최신 버전은 일반적으로 ECHA 웹사이트에서 다운로드할 수 있는 동적으로 업데이트되는 전자 문서이며 EU 시장과 글로벌 공급망에 적용됩니다. 다음에서는 삼산화텅스텐(WO_3 , 삼산화 텅스텐), 탄화텅스텐(WC, 텅스텐 카바이드), 텅스텐산나트륨(Na_2WO_4 , 텅스텐 텅스텐 산염), 육불화텅스텐(WF_6 , 텅스텐 불화)을 예로 들어 GHS 16부 형식에 따라 일반적인 MSDS의 전체 내용을 시뮬레이션합니다.

일반적인 구조 및 함량 (Chinatungsten Intelligent Manufacturing에서 생산한 삼산화 텅스텐 WO_3 를 예로 들면).

화학 물질 및 회사/비즈니스 로고

产品名称: 삼산화 텅스텐

화학식 : WO_3

CAS 번호: 1314-35-8

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

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

공급 업체: Chinatungsten Intelligent Manufacturing Technology Co., Ltd
주소: 3rd 층, 아니오 25의 Erwanghai 도로, Xiamen 소프트웨어 공원, 중국
전화: +86 592 512 9696
비상 연락처: +86 592 512 9696 (24 시간).

위험 개요

GHS 분류: 급성 흡입 독성(구분 4)

위험 기호: (느낌표).

신호어: 경고

유해·위험 문구: H332 - 흡입하면 유해함

예방 조치 문구: P261 - 분진 흡입을 피하십시오.

작곡/작곡 정보

화학명 : 삼산화 텅스텐

순도 : >99 %

불순물 : <1 % (미량의 물 또는 기타 산화물을 포함 할 수 있음)

응급 처치 방법

흡입: 신선한 공기가 있는 곳으로 이동하고 호흡 곤란이 있는 경우 즉시 의사의 진료를 받으십시오.

피부 접촉: 비눗물로 15 분 동안 씻어 오염된 옷을 벗겨냅니다.

눈 접촉: 15 분 동안 물로 행구고 필요한 경우 의사의 진료를 받으십시오.

우발적 섭취: 즉시 구토를 유도하고 의사의 진료를 받으십시오.

화재 예방 대책

소화 매체 : 건조 분말, 이산화탄소, 물에 적합하지 않음 (분해 될 수 있음).

특별 위험: 열분해는 독성 WO_x 가스를 방출할 수 있습니다.

화재 조언: 자급식 호흡 장치와 보호복을 착용하십시오.

누출의 응급 처치

개인 보호구: N95 마스크와 장갑을 착용하십시오.

환경 조치: 수역이나 토양에 먼지가 퍼지는 것을 방지합니다.

처리: 진공 청소기로 수거하여 유해 폐기물 용기에 밀봉하십시오.

취급 & 보관

작동 주의: 먼지 흡입을 피하기 위해 통풍이 잘 되는 곳에서 작동하십시오.

보관 조건: 산 및 환원제에서 멀리 떨어진 5-35° C의 건조 용기에 밀봉합니다.

연락처 제어/개인 보호

暴露限值: TLV-TWA 5 mg/m³ (OSHA PEL)。

엔지니어링 제어: 흡 후드 사용 (풍속 ≥ 0.5 m/s)。

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

PPE: N95 방진 마스크, 보호 안경, 내화학성 장갑.

물리화학적 특성

외관 : 노란색에서 녹색 분말

녹는점: 1473 ° C

밀도 : 7.16g/cm³

溶解性:水中不溶(<0.1 g/L)

pH: 해당 없음

안정성 및 반응성

안정성 : 실온에서 안정적이며 2000 ° C 이상에서 분해됩니다.

위험한 반응: 강력한 환원제와 반응하면 열이 방출될 수 있습니다.

조건을 피하십시오 : 고온, 강산 환경.

독성 정보

급성 독성 : LD50 (흡입, 쥐) > 2000 mg/m³

만성 영향: 장기간 흡입하면 폐 섬유증을 유발할 수 있습니다.

자극: 먼지는 호흡기와 눈에 약간의 자극을 줍니다.

생태 정보

生态毒性:低毒,水生生物 LC50 >100 mg/L。

지속성: 쉽게 생분해되지 않으며 토양에 축적될 수 있습니다.

처분

방법: 유해 폐기물을 처리하고 처리를 위해 자격을 갖춘 부서에 인계하십시오.

주의: 환경으로 직접 배출하지 마십시오.

배송 정보

UN 번호: 비위험 물질, 특정 번호 없음.

운송 요구 사항: 밀봉 포장, 방습 및 충격 방지.

법적 규제 현황

REACH: EU 요구 사항에 등록되고 준수됩니다.

OSHA: PEL 5 mg/m³。

중국: GB 16297-1996 에 따라.

추가 정보

갱신일: 2025 년 최신판

참고: 전문적인 참조용으로만 GHS 표준을 따르십시오.

기타 텅스텐 화학 MSDS 예 (간략한 개요)

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

碳化钨 (WC, 텅스텐 카바이드)

위험: 만성 흡입 독성(범주 2), TLV-TWA 10mg/m³.

작동: 방진, 건조 보관.

응급 상황: 흡입 후 의사의 진료를 받고 젖은 천으로 누출을 청소하십시오.

钨酸钠 (Na₂WO₄, 텅스텐 산 나트륨)

위험: 급성 경구 독성(범주 4), LD50 2230 mg/kg.

작동: 장갑을 착용하고 습기가 많은 곳에 보관하십시오.

응급 상황: 눈을 마주친 후 15 분 동안 행구고 섭취하여 구토를 유도합니다.

六氟化钨 (WF₆, 육불화텅스텐)

위험: 급성 흡입 독성(범주 2), TLV 3ppm, 고부식성.

작동: 밀폐 실린더의 흡 후드에 보관하십시오.

응급 상황: 흡입한 경우 즉시 의사의 진료를 받고 누출을 위해 NaOH 로 중화하십시오.

추가 사항:

정식 버전 받기:

OSHA 화학 물질 안전 핸드북: www.osha.gov 에 방문하여 "화학물질" 또는 "화학물질들"을 검색하세요.

ECHA "텅스텐 화학물질 MSDS": echa.europa.eu 에 방문하여 "텅스텐 화합물 SDS" 또는 특정 화학물질의 CAS 번호를 검색하세요.

붙이다:

텅스텐 화학 물질에 대한 재료 안전 계수 사양 (MSDS)

버전 번호: V7.0 | 최종 개정일: 2025 년 1 월 10 일

파트 1: 화학물질 및 사업자 식별

| | |
|-------------|--|
| 프로젝트 | 콘텐츠 |
| 제품 이름 | 텅스텐 화학 물질 (일반) |
| 제조 업체 | Chinatungsten 지능형 제조 기술 유한 공사 |
| 주소 | 25-1, 3 층, 2 차 기대 해상 도로, 샤먼 소프트웨어 파크, 중국 |
| 비상 연락처 | +86 592 512 9696 (24 시간) |
| 메일 주소 | sales@chinatungsten.com |
| 홈페이지 | http://ctia.group |
| 제품 사용: | 산업 원료 (전자, 야금, 코팅, 촉매, 원자력 등) |
| 제품 코드 | |
| 권장 사용 제한 사항 | 산업용으로만 식품, 의약품 또는 화장품 분야에서 사용하는 것은 금지되어 있습니다. |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

파트 2: 구성/구성 정보

| 성분 이름 | CAS 번호 | 농도 범위 | 위험 분류 |
|----------------------------|------------|---------|---------------------------|
| 육불화텨스텐 (WF ₆) | 7783-82-6 | ≥99.9% | 부식성(범주 1B), 급성 독성(범주 3) |
| 이황화 텨스텐 (WS ₂) | 12138-09-9 | ≥99.5% | 급성 독성(범주 4), 분진 폭발성(범주 1) |
| 삼산화 텨스텐 (WO ₃) | 1314-35-8 | ≥99.0% | 분진 흡입 위험(범주 2) |
| 텨스텐 카바이드 (WC) | 12070-12-1 | ≥98% | 기계적 자극(분진 흡입 위험) |
| 六氯化钨 (WCl ₆) | 13283-01-7 | ≥99.0% | 부식성(범주 1B), 급성 독성(범주 3) |
| 텨스텐 분말 (W) | 7440-33-7 | ≥99.95% | 가연성 분진(카테고리 1), 금속 진폐증 위험 |
| 파라텨스텐 산 암모늄 (APT) | 11120-25-5 | ≥99.0% | 자극성(범주 2), 환경 독성(수생 생물) |

파트 3: 위험 개요

신체적 위험:

WF₆/WCl₆: 고압 가스/액체, 물과 격렬하게 반응하여 부식성 가스(HF/HCl)를 방출합니다.

WS₂/W 분말: 공기와 혼합된 분진은 폭발성 혼합물을 형성할 수 있습니다(폭발 하한: WS₂ 30g/m³, W 분말 40g/m³).

WO₃/WC: 고밀도 먼지는 기계적 폐 손상을 유발할 수 있습니다.

건강 위험:

흡입: WF₆/WCl₆은 화학적 폐렴을 유발할 수 있습니다. W 분말을 장기간 흡입하면 진폐증이 발생합니다. APT 먼지는 호흡기 자극을 일으킵니다.

피부 접촉: WF₆/WCl₆ 액체로 인한 깊은 화상; APT 용액은 접촉성 피부염을 일으킵니다.

눈 접촉: 모든 액체 또는 고활성 화합물은 각막 손상을 유발할 수 있습니다.

환경 위험 요소:

WF₆ 분해 생성물(HF)은 수생 생물에 매우 독성이 있습니다. APT에는 암모늄 이온이 포함되어 있어 수역의 부영양화를 유발할 수 있습니다.

파트 4: 응급 처치 방법

| 노출 경로 | 비상 대응 |
|-------|--|
| 흡입 | 즉시 신선한 공기가 있는 곳으로 이동하고 숨을 열어 두십시오. WF ₆ /WCl ₆ 중독에 걸린 사람은 산소와 글루코코르티코이드 주사가 필요합니다. |
| 피부 접촉 | WF ₆ /WCl ₆ : 5% 중탄산나트륨 용액으로 15분 동안 헹굽니다. APT: 비눗물 헹굼; W 파우더: 마른 천으로 닦고 물로 헹굽니다. |
| 눈맞춤: | 눈꺼풀을 열고 생리식염수로 20분 연속 행구고 멸균 거즈로 닦고 병원으로 달려갑니다. |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| | |
|--------|---|
| 음식물 섭취 | 구토 없음! 우유 또는 활성탄 현탁액(APT 만 해당)을 마시고 즉시 의사의 진료를 받으십시오. |
|--------|---|

파트 5 : 화재 예방 조치

적용 가능한 소화제:

WF₆/WCl₆: 건조 분말, 이산화탄소(물 없음).

W 분말/WS₂: 건조 모래, 질소 불활성화(물이나 거품 없음).

APT : 미스트 워터, 불용성 거품.

특별 위험:

유독성 WO₃ 연기는 W 분말의 연소에 의해 생성됩니다. WF₆ Fire Release HF 는 클래스 A 오프 응고를 작용해야 합니다.

소방관 보호:

양압 호흡보호구와 부식 방지 전신 보호복을 착용해야 합니다.

파트 6: 유출의 응급 치료

| 누출 유형 | 처리 시나리오 |
|--|--|
| WF ₆ /WCl ₆ 气体泄漏 | 가스 공급원을 차단하고 10% 석회수(WF ₆) 또는 탄산나트륨 용액(WCl ₆)을 분사하여 중화하고 폐액을 포집하여 유해 폐기물로 폐기합니다. |
| WS ₂ /W 분말 누출 | 먼지를 피하기 위해 방폭 진공 청소기로 수집하십시오. 누출 영역의 가습. |
| APT 솔루션 유출 | 불활성 흡착 물질(예: 질석)로 덮고 폐기 전에 수집 후 pH 를 중성(6-8)으로 조정합니다. |

파트 7: 취급, 취급 및 보관

조작상 명세:

WF₆/WCl₆: 가스 누출 경보가 있는 이중 밸브 실린더 작동(임계값 1ppm).

W 분말: 질소 보호, 습도 < 30%의 밑에 분쇄하는.

APT: 암모니아 방출을 방지하기 위해 강산과의 접촉을 피하십시오.

저장 조건:

| 화학 물질 | 스토리지 요구 사항 |
|-----------------------------------|---|
| WF ₆ /WCl ₆ | 실린더는 산화제 및 수원으로부터 격리된 서늘한 지역(온도 < 25° C)에 똑바로 세워 보관됩니다. |
| WS ₂ /W 粉 | 정전기 방지 커패시터는 밀봉되어 있고 상대 습도는 < 40%이며 화원에서 멀리 떨어져 있습니다. |
| APT | 건조하고 통풍이 잘되는 창고, 산성 물질은 별도로 보관됩니다. |

파트 8: 노출 제어/개인 보호

| 보호 유형 | 요청 | |
|----------|--|--|
| 엔지니어링 제어 | 국소 배기 시스템(파우더 영역에서 WS ₂ /W 풍속 ≥ 1.0m/s); HF/HCl 가스 감지기는 WF ₆ 작동 영역에 설치됩니다. | |
| 호흡기 보호 | WF ₆ /WCl ₆ : 正压式空气呼吸器(SCBA); W 粉/WS ₂ : KN100 级防尘口罩. | |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| | | |
|-------|--|--|
| 신체 보호 | 화학 보호복(재질: 플루오로엘라스토머 또는 PTFE), 내산 및 알칼리성 부츠. | |
| 손 보호구 | 이중 장갑 (내부 층 : 니트릴 고무; 외부 층: 부식 방지 재료). | |

파트 9 : 물리 화학적 특성

| 화학 물질 | 외모와 성격 | 녹는점/끓는점 | 밀도 | 수용성 |
|------------------|-------------------|-----------------|------------------------|---------------------------------------|
| WF ₆ | 무색 기체 (액체 연한 노란색) | 2° C / 17.1° C | 3.4g/cm ³ 의 | 약간 용해됨 (격렬하게 반응함) |
| WCl ₆ | 진한 파란색 크리스탈 | 275° C / 347° C | 3.52g/cm ³ | 가수 분해는 HCl 및 WO ₃ 를 산출합니다. |
| APT | 백색 결정성 분말 | 분해 (>200° C) | 2.3g/cm ³ | 易溶于水(20° C, 50g/100mL) |
| W 파우더 | 회색 금속 분말 | 3422° C(녹는점) | 19.3g/cm ³ | 불용 성 |

파트 10: 안정성 및 반응성

착실:

WF₆/WCl₆: 물의 경우 격렬한 분해; W 분말은 공기 중에서 천천히 산화됩니다 (> 400 ° C 자연 발화).

APT : 열분해는 NH₃ 및 WO₃를 방출합니다.

금지 물질:

| 화학 물질 | 금지 물질 | 위험한 반응 |
|------------------|------------------------|---------------------------|
| WF ₆ | 물, 알칼리 금속 | HF 가 방출되고 격렬하게 발열합니다. |
| WCl ₆ | 물, 강력한 환원제(예: 리튬 수소화물) | 폭발 반응, Cl ₂ 방출 |
| W 파우더 | 강한 산화제(질산염, 염소산염) | 격렬하게 불타거나 폭발하는 경우 |

파트 11: 독성 정보

| 화학 물질 | 급성 독성 (쥐) | 만성 위험 |
|------------------|---|-------------------------------|
| WF ₆ | 吸入 LC ₅₀ ≥ 300ppm / 1h | 폐 섬유증, 신장 손상 |
| WCl ₆ | 吸入 LC ₅₀ ≥ 450ppm / 4h | 점막 궤양, 치아 침식 |
| APT | 口服 LD ₅₀ =1200 mg/kg | 장기간 노출되면 암모늄 이온 대사 장애가 발생합니다. |
| W 파우더 | 吸入 LC ₅₀ >5 mg/m ³ · 4 시간 | 진폐증, 폐 기능 저하 |

파트 12: 생태 정보

| 화학 물질 | 수생 독성 (물고기 LC ₅₀) | 생 분해성 | 환경 마이그레이션 |
|-----------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------|
| WF ₆ | 0.8 mg/L(斑马鱼, 96h) | 급속 가수분해(반감기<1 시간) | HF 는 수역에 확산됩니다. |
| APT | 15 mg/L(藻类, 72h) | 생분해에 불용성(반감기> 180 일) | 암모늄 이온은 수역의 부영양화를 일으킵니다. |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| | | | |
|------------------|-------------------|------------------------------------|-------------|
| WCl ₆ | 2.5 mg/L(水蚤, 48h) | 가수분해로 WO ₃ (불용성 침전물) 형성 | 퇴적물이 풍부합니다. |
|------------------|-------------------|------------------------------------|-------------|

파트 13: 폐기

폐기물 포장:

WF₆/WCl₆ 실린더는 질소로 퍼지한 다음 전문 기관에 넘겨 폐기해야 합니다.

APT 废液需中和至 pH 6-8, 按 HW34 类危废处置。

오염 정화: W 분말의 누출 영역은 먼지 확산을 방지하기 위해 습식 방법으로 수집해야 합니다.

섹션 14 : 배송 정보

| 화학 물질 | UN 번호 | 배송명 | 포장 카테고리 | 특별 요구 사항 |
|------------------|---------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| WF ₆ | 유엔 2196 | 육불화텨스텐, 부식성 가스 | 클래스 I(고압 실린더) | "부식성 제품" 및 "독성 가스"의 라벨은 금지됩니다. |
| WCl ₆ | 유엔 3260 | 텨스텐 헥사클로라이드, 부식성 고체 | Class II (방습 밀봉 용기) | 고온 환경을 피하기 위해 산화제로부터 격리 |
| W 파우더 | 유엔 3089 | 금속 분말, 가연성 | Class III. (대전방지 포장재) | 배송은 "자체 반응성 물질"을 선언해야 합니다. |

파트 15: 규제 정보

중국 규정:

유해 화학 물질 카탈로그(2015 년판)(WF₆, WCl₆ 등재).

주요 환경 관리(Key Environmental Management)에 따른 유해 화학 물질 카탈로그(APT 등록 필요).

국제 규정:

欧盟 CLP 法规(WF₆分类: 급성 독소. 3, 피부 Corr. 1B)。

미국 EPA TSCA(W 분말에 필요한 화학 데이터 보고서).

섹션 16: 추가 정보

면책 조항: 이 문서는 현재의 과학적 지식을 기반으로 하며 오용에 대해 어떠한 책임도 지지 않습니다.

개정 내역:

V3.0(2025-03): WS₂, WC 및 W 파우더 데이터가 추가되었습니다.

V4.0(2025-05): 생태독성 데이터를 개선하기 위해 APT, WO₃ 및 WCl₆로 확장되었습니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

기술 상담이 필요하면 중국텅스텐기술부(info@chinatungsten.com)에 문의하세요.

영어: 특정 제품의 전체 MSDS 나 다른 언어로 된 MSDS 또는 기타 텅스텐 제품의 MSDS 가 필요한 경우 다음 주소로 문의하세요. CTIA GROUP LTD 영업부 전화: +86 592 512 9696 | 이메일: sales@chinatungsten.com

주소: 중국 샤먼 소프트웨어 파크 2 호 왕하이 로드 25-1 호 3 층 | 웹사이트: <http://ctia.group>

제 15 장 : 중국, 유럽, 미국, 일본 및 한국의 텅스텐 산업의 통제 및 세금 정책에 대해

15.1 텅스텐 산업 정책 개요

텅스텐 (W)은 높은 용점, 내식성 및 절삭 공구 용 텅스텐 카바이드 (WC) 및 삼산화 텅스텐 (WO₃)와 같은 산업, 방위 및 첨단 기술 분야의 광범위한 응용 분야으로 인해 전략적으로 희귀 한 금속입니다. 광축매에 사용됨) 여러 국가에서 많은 관심을 끌었습니다. 글로벌 텅스텐 산업 정책은 자원 보호, 국가 안보, 경제적 이익 및 국제 무역 요구의 균형을 맞추는 것을 목표로 탐사, 광업, 제련, 생산 및 가공, 수입 및 수출 등의 전체 산업 체인을 포괄합니다. 이 장에서는 중국에 초점을 맞추고, 중국의 자원 관리 및 수출 통제 정책을 분석하고, 유럽, 미국, 일본, 한국 및 기타 국가 및 지역의 규정에 대해 자세히 논의하여 세계 경제 및 지정학에서 텅스텐 산업의 전략적 위치를 밝힙니다.

15.1.1 텅스텐 산업의 글로벌 전략적 중요성

텅스텐은 항공 우주 (예 : 터빈 블레이드), 국방 (예 : 갑옷 피어싱 폭탄), 전자 (예 : 반도체 재료) 및 새로운 에너지 (예 : 배터리 전극) 분야에서 대체 할 수 없기 때문에 여러 국가에서 핵심 자원으로 간주됩니다. 중국은 전 세계 텅스텐 생산량의 약 80%(2023 년 기준 약 82,000 톤의 금속, USGS)를 차지하고 있으며, 중국의 정책 변화는 글로벌 공급망의 안정성에 직접적인 영향을 미칩니다. 유럽, 미국, 일본, 한국은 수입 의존도가 높으며, 안정적인 공급과 기술 경쟁력을 보장하기 위한 정책이 마련되어 있습니다. 미국은 텅스텐을 중요 광물 목록(2018 년)에 포함시켰고, 유럽연합(EU)은 텅스텐을 핵심 원료 목록(2023 년)에 전략적 자원으로 지정했으며, 일본은 경제안보촉진법(2022 년)을 통해 텅스텐의 공급망을 강화했으며, 한국은 반도체 및 배터리 산업에서의 텅스텐 사용에 중점을 두었습니다.

15.1.2 정책 목표와 국가 간 주요 차이점

중국: 목표는 자원, 국가 안보 및 산업 업그레이드를 보호하고 채굴 할당량, 수출

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

통제 및 세금 규제를 통해 텅스텐 자원의 흐름을 통제하고 국내 수요를 우선시하는 것입니다.

미국: 공급망 확보, 국내 채굴 및 수입 다변화 장려, 중국에 대한 의존도 감소에 중점을 둡니다.

EU: 지속 가능성 및 공급망 다각화에 중점을 두고 환경 친화적인 기술 적용 및 재활용을 촉진합니다.

일본 및 한국: 기술 연구 및 개발에 집중하고 수입처를 다양화하며 해외 투자 및 특허 관세를 통해 공급을 확보합니다.

팁:

텅스텐 산업 정책은 자원, 국가 안보 및 경제적 요구의 분배에 의해 주도되며, 다양한 국가의 목표와 차이점을 이해하는 것은 글로벌 텅스텐 시장의 경쟁 환경과 미래 동향에 대한 통찰력을 얻는 데 도움이 됩니다.



15.2 탐사 및 활용 정책

텅스텐 탐사 및 광업은 산업 체인의 시작점이며, 국가는 경제적 이익과 자원 지속 가능성의 균형을 맞추기 위해 라이선스 시스템, 할당량 관리 및 환경 보호 규정을 통해 자원 개발을 엄격하게 통제합니다.

15.2.1 중국의 탐사 및 착취 정책

중국은 자원 안전과 산업의 지속 가능한 발전을 보장하기 위해 텅스텐 광석 자원에 대한 높은 수준의 중앙 집중식 관리와 엄격한 감독을 시행합니다.

탐사 정책: 중화인민공화국 광물자원법(2009년 개정)에 따라 텅스텐 탐사는 천연자원부의 탐사 면허 발급 대상이며, 탐사권은 국영기업에 우선적으로 부여되며, 외국인 투자는 엄격히 제한됩니다(외국인 투자 접근을 위한 특별 행정 조치(네거티브 리스트), 2021). 2023년 국가의 새로운 텅스텐 탐사 할당량은 5,000톤의 금속에 불과하며, 이는 자원 탐사에 대한 신중한 태도를 반영합니다. 탐사 허가를 신청하려면 상세한 지질학적 보고서와 환경 평가가 필요하며 승인 기간은 일반적으로 6-12개월입니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

광업 정책: 국가발전개혁위원회(NDRC)와 천연자원부(MNR)는 매년 "총 텅스텐 채굴 통제 지수"(예: 2023년 65,000톤의 금속량)를 공동으로 발행하며, 이는 "텅스텐 채굴 종합 통제 지수의 관리를 위한 임시 조치"(2015)에 따라 시행됩니다. 광업 기업은 광산 면허를 취득하고 광산 안전법(2021년 개정) 및 광산 생태 환경 보호 및 복원에 대한 기술 사양(HJ 651-2013)을 준수해야 하며, 이는 < 1mg/L의 텅스텐 농도와 400mg/m³의 폐가스를 요구하는 SO₂< 요구합니다. 불법 채굴은 50-100만 위안의 벌금, 면허 취소, 심지어 형사 책임과 같은 심각한 처벌에 직면해 있습니다.

규제 및 처벌 사례: 2022년 장시성(江西省)의 불법 텅스텐 광산(면허 없이 텅스텐 정광 200톤 채굴)이 적발되어 회사에 80만 위안의 벌금이 부과되고 책임자가 15일간 구금되어 불법 채굴에 대한 중국의 '무관용' 태도를 보여줬다.

환경 보호 요구 사항: 광산에는 광미 처리 시설(예: 침전지 및 여과 시스템)이 설치되어야 하며 채굴 후 토지 매립이 수행되어야 하며 매립률은 90% 이상에 도달해야 하며 그렇지 않으면 인증서가 갱신되지 않습니다.

15.2.2 유럽과 미국의 탐사 및 개발 정책

미국:

탐사: 광업법(1872년 개정)은 민간 기업이 내무부의 승인을 받은 연방 토지에 대한 탐사 허가를 신청할 수 있도록 허용합니다. 핵심 광물 전략(2018)은 네바다 텅스텐 프로젝트의 탐사 기술 개발을 위한 미화 5천만 달러의 연방 보조금과 같은 재정 지원을 제공합니다.

광업: 국가 환경 정책법(NEPA, 1969), 환경 영향 평가(EIA) 제출 및 EPA에서 정한 폐수 배출 제한(W < 0.05 mg/L)에 따릅니다. 채굴 허가 승인 기간은 약 1-2년이며 엄격한 환경 검토에 따라 민간 투자가 권장됩니다.

예를 들어, 2023년 아이다호의 Stibnite 프로젝트는 환경 분쟁으로 인해 채굴 허가를 연기하여 환경 규제로 인해 채굴에 가해지는 제약을 보여주었습니다.

유럽 연합:

탐사: 유럽연합(EU)의 원자재 이니셔티브(2008)는 회원국들이 포르투갈의 파스케이라(Panasqueira) 광산과 같은 텅스텐 광산을 개발하도록 장려하고 있으며, 포르투갈은 탐사 기술 업그레이드를 위해 EU로부터 2천만 유로를 지원받았습니다.

광업: 환경 영향 평가 지침(EIA 2011/92/EU)은 광산 프로젝트가 공청회 및 환경 평가를 통과하고, 무방류 기술(예: 폐쇄 회로 물 재순환 시스템)을 채택하고, 폐수 W < 0.1mg/L를 갖도록 요구합니다.

예를 들어, 스페인의 로스 산토스(Los Santos) 광산은 환경 우선 정책을 반영하여 광미 처리 표준으로 인해 생산량을 20% 늘리도록 승인받았습니다.

15.2.3 일본과 한국의 탐사 및 개발 정책

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

일본:

탐사 및 채굴: 일본의 국내 텅스텐 자원은 부족하며 탐사 정책은 해외 투자에 의존하고 있습니다. JOGMEC(Japan Mineral Resources Agency)는 태즈메이니아 텅스텐 프로젝트와 같은 자원 보증 전략(Resource Assurance Strategy, 2020)을 통해 호주와 캐나다의 텅스텐 탐사에 3,000 만 달러를 투자했습니다. 채굴 정책은 주로 수입되며 국내에서 중요한 감독이 없습니다.

대한민국:

탐사 및 채굴: 한국에는 대규모 텅스텐 광산이 없으며, 2024 년 상동광산 재가동을 위한 정부 보조금 1 억 원 등 KOMIR(한국광업진흥공사)을 통한 해외 채굴 지원 정책이다. 광업은 광업법(2020) 및 국제 환경 표준(예: IFC 성능 표준)의 적용을 받으며 폐수 W는 0.05mg/L<.

예: 상동 광산은 2025 년에 연간 2,500 톤을 생산할 것으로 예상되며 비중국 텅스텐의 중요한 공급원입니다.

팁:

중국은 텅스텐 탐사 및 채굴에 대해 엄격한 쿼터와 환경 규제를 시행하고 있으며, 유럽과 미국은 환경 보호와 민간 투자의 균형을 맞추는 데 중점을 두고 있으며, 일본과 한국은 해외 자원 개발에 의존하고 있습니다.

15.3 제련 및 생산 및 가공 정책

텅스텐의 제련과 생산 및 가공은 광석을 고부가가치 제품으로 전환하는 데 중요한 연결 고리이며, 국가는 기술 사양, 배출 표준 및 산업 정책을 통해 이 단계를 규제합니다.

15.3.1 중국의 제련, 생산 및 가공 정책

제련 정책:

"텅스텐 제련 산업 표준 조건"(2016)에 따르면 제련소는 GB 16297-1996 ($SO_2 < 400 \text{ mg} / \text{m}^3$, 미립자 물질 $< 30 \text{ mg} / \text{m}^3$)에 따라 텅스텐 및 배기 가스 < 에너지 소비 제한으로 산업 정보 기술부에서 발급 한 생산 라이선스를 취득해야 합니다. 습식 제련(예: 암모늄 파라 텅스텐 산업 생산)에는 폐수 W가 $1 \text{ mg} / \text{L} <$ 산-염기 중화 시스템이 필요합니다.

중금속 오염의 종합적 예방 및 통제를 위한 계획(2021-2025)은 제련 공정에서 중금속 배출량을 줄이고 전기로 및 저온 저압 기술을 추진할 것을 요구합니다.

예: 2023 년 후난성의 한 제련소는 SO_2 기준(최대 $600 \text{ mg} / \text{m}^3$)을 초과하여 300,000 위안의 벌금을 부과받고 정정을 위해 생산을 중단한 후 기준을 충족하도록 배기 가스 처리 시스템을 업그레이드했습니다.

생산 및 가공 정책:

예를 들어, 삼산화 텅스텐 (WO_3)은 삼산화 텅스텐 생산을 위해 오염이 심한 전통적인 로스팅 용광로를 사용하는 것이 금지되어 있으며 에너지 소비를 20 % 줄이기 위해 저온 환원로가 필요합니다. 산업 구조 조정을 위한 안내 카탈로그(2021)는

고부가가치 텅스텐 제품(예: 나노 텅스텐 분말)의 생산을 장려하고 저가형 제품의 생산 능력 확장을 제한합니다.

규제 조치: 기업은 연간 에너지 소비 및 배출 보고서를 제출해야 하며, 기준을 충족하지 못하는 기업은 생산 자격을 박탈합니다.

15.3.2 유럽 및 미국의 제련, 생산 및 가공 정책

미국:

제련: PA 청정 공기법(CAA, 1970년 개정)은 배기 가스의 $SO_2 < 50ppm$, 미립자 물질은 $10mg/m^3 <$ 규정하고 있습니다. OSHA PEL은 $5mg/m^3 < WO_3$ 분진과 고효율 집진 장비(예: 백하우스, $> 99\%$ 효율)로 처리해야 합니다.

생산 및 가공: 자원 보존 및 복원법(RCRA, 1976)은 유해 폐기물로 분류해야 하는 폐기물 잔류물을 제련하는 것을 규제합니다.

적절한 사례: 네바다의 텅스텐 가공 공장은 배출 가스 규정 준수에 대한 EPA Green 인증을 획득하여 생산 능력을 15% 늘렸습니다.

유럽 연합:

야금: 산업 배출 지침(IED, 2010/75/EU)은 에너지 소비가 400kWh/톤이고 폐수 W가 0.1mg/L < 전기로와 같은 BAT(Best Available Technique) < 사용할 것을 요구합니다.

생산 및 가공: 순환 경제 실행 계획(2020)은 텅스텐 스크랩 재활용을 장려하고 가공 공장은 재활용률 보고서(목표 50%) > 제출해야 합니다.

예: 독일의 한 공장은 BAT 기술을 적용하여 연간 5,000톤의 CO_2 를 줄였습니다.

15.3.3 일본 및 한국의 제련, 생산 및 가공 정책

일본:

제련: 대기오염방지통제법(1968년 개정)은 $SO_2 < 100mg/m^3$ 를 규정하고 있으며, 가공업체는 경제산업성(METI, 경제산업성) 환경인증을 받아야 합니다.

생산 및 가공: 고순도 텅스텐 제품(예: 텅스텐 타겟)의 연구 개발을 장려하고 배기 가스는 3단계 여과를 통해 배출해야 합니다.

대한민국:

제련: 화학물질관리법(K-REACH, 2019)에서는 폐기가스 입자상물질 $< 10 mg/m^3$, 폐수 W $< 0.05 mg/L$ 를 요구하고 있습니다.

생산 및 가공: 반도체용 텅스텐 가공(예: [텅스텐 디실리사이드\(\$WSi_2\$ \)](#))은 ISO 14001 환경 표준에 따라 지원됩니다.

팁:

여러 국가의 제련 및 가공 정책은 환경 보호와 기술 업그레이드를 강조하고, 중국은 엄격한 규정과 명확한 할당량을 가지고 있으며, 유럽과 미국은 BAT와 순환 경제에 중점을 두고, 일본과 한국은 고부가가치 제품을 지향합니다.

15.4 Import and Export 정책 및 통제

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

텅스텐의 수출입 정책은 글로벌 공급망에 직접적인 영향을 미치며 국가는 수출 제한, 수입 관세 및 국제 협력을 통해 시장 흐름을 규제합니다.

15.4.1 중국의 수출입 정책

텅스텐 및 그 화합물에 대한 중국의 수출입 정책은 자원 보호와 국가 안보에 중점을 두고 있으며, 최근에는 수출 통제법 및 이중 용도 품목에 대한 규제를 통해 통제를 크게 강화했습니다.

수출통제 정책의 전반적인 틀

중화인민공화국 수출통제법(2020년 10월 17일 통과, 2020년 12월 1일 발효)은 텅스텐 수출통제의 기본법으로 국가안보와 국익을 보호하고 국제적 비확산 의무를 이행하는 것을 목표로 합니다. 제9조는 수출통제 목록이 국무원과 중앙군사위원회에 의해 공식화되며, 이중 용도 품목(민간 및 군사 목적의 품목)을 포괄한다고 규정하고 있다. 텅스텐 및 그 화합물(예: [암모늄 파라텅스텐산염\(NH₄\)₂WO₄](#), [암모늄 파라텅스텐산염](#))은 이중 용도 품목 및 기술의 수출 통제 목록(2025년 2월 개정)에 등재되어 있습니다.

구체적인 조치

상무부와 관세청의 2025년 발표 제10호(2025년 2월 발행)에 따르면 텅스텐 및 그 제품(텅스텐 농축액, 삼산화 텅스텐, 텅스텐 분말 및 기타 8개 제품 포함)은 2025년 3월 1일부터 수출 통제 목록에 추가됩니다. 수출업체는 상무부에 수출 허가를 신청해야 하며, 승인을 받려면 최종 사용자 및 사용 증명서를 제출해야 하며 약 30-60일이 소요됩니다. 미국과 같은 특정 국가로의 수출은 "텅스텐이 중국의 안보를 위협하는 군사 목적으로 사용되는 것을 방지"한다는 이유로 금지됩니다. 2023년 금속 수출 쿼터는 2022년 대비 10% 감소한 18,000톤이며, 2025년에는 16,000톤으로 더욱 축소될 것으로 예상됩니다.

이중 용도 품목 규정

이중 용도 품목 및 기술의 수출입 허가에 대한 행정 조치(2021년 개정된 상무부 명령 2005년 제29호)는 텅스텐 관련 이중 용도 품목의 수출은 성 상무부와 국가 수출 통제국의 예비 심사 및 승인을 받아야 한다고 규정하고 있습니다. 제18조는 수출이 국가 안보를 위태롭게 할 가능성이 있는 것으로 판명될 경우 허가가 중단되거나 취소될 수 있음을 분명히 하고 있습니다. 또한, 수출통제법 제12절은 미국 군사 기업과 같이 수출 통제 목록에 등재된 외국 기업에 대한 텅스텐 수출을 금지하는 "블랙리스트" 메커니즘을 도입합니다.

경우

2024년 8월, 한 기업이 허가 없이 텅스텐 분말을 미국에 수출한 혐의로 200만 위안의 벌금을 부과받고 수출권을 박탈당해 이중 용도 품목에 대한 감독의 엄격함을 보여주었다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

가져오기 정책

텅스텐 원료 (예 : 텅스텐 농축액)의 수입은 "수입 허가 관리를위한 조치"(상무부 2004 년 명령 제 27 호)의 적용을받으며 관세는 5.5 %이지만 하이테크 텅스텐 제품 (예 : 텅스텐 대상)의 수입은 무관세로 국내 산업 업그레이드를 지원하기 위해 권장됩니다.

관세 정책

수출 관세는 20%(WO₃와 같은)이고 수입 관세는 5.5%로 자원 유출을 제한하고 추가 가공을 촉진하는 것을 목표로 합니다.

15.4.2 유럽과 미국의 수출입 정책

미국 수출 통제

중국에는 주로 수입에 의존하는 상업 광산이 없기 때문에 텅스텐 수출에 대한 제한이 없습니다. 수출 관리 규정 (EAR, 15 CFR Part 730)은 텅스텐 제품이 특정 국가 (예 : 중국 군사 기업)에 수출되도록 요구하지만 텅스텐 원료는 다루지 않습니다.

가져오기 정책

무역확장법(Trade Expansion Act) 섹션 232(1962)는 텅스텐 공급망 보안을 조사하고 있으며, 2023 년 보고서는 중국에 대한 의존도를 줄일 것을 권장하고 있습니다. 낮은 수입 관세(WO₃의 경우 2.5%, 텅스텐 분말의 경우 3%), 그러나 중국산 텅스텐 제품에 대한 추가 25% 관세(2024 년 9 월 발효).

예를 들어, 알몬티는 2025 년에 상동광산 생산량의 45%를 미국에 공급하기로 약속했으며, 이는 수입 다변화 전략을 반영합니다.

EU 수출 통제

이중 용도 품목에 대한 EU 수출 통제 규정(규정(EU) 2021/821)은 민감한 국가에 텅스텐 제품을 수출하기 위해 라이선스를 요구하지만 텅스텐 원료를 특별히 제한하지는 않습니다.

수입 정책: 중요 원자재법(2023)은 텅스텐에 대한 수입 관세를 1%로 낮추고 지속 불가능한 자원에 대해 추가로 5%의 환경세를 부과하여 호주, 캐나다 및 기타 국가로부터의 수입을 촉진합니다.

예: 2024 년에 EU 는 캐나다와 텅스텐 공급 계약을 체결하여 연간 수입량을 3,000 톤으로 늘렸습니다.

15.4.3 일본과 한국의 수출입 정책

일본:

수출 통제 : 외환 및 대외 무역법 (1949 개정)에 따라 텅스텐 제품의 수출에는 METI 승인이 필요하지만 양적 제한은 없습니다.

수입 정책: 텅스텐 수입은 관세가 부과되지 않으며, JOGMEC 는 자원 보증 전략(2020)을 통해 호주와 협력하여 연간 약 2,000 톤을 수입합니다.

대한민국:

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

수출 통제: 대외 무역법(2020년 개정)은 텅스텐 제품이 쿼터 제한 없이 KEITI(한국환경기술연구원)의 인증을 받도록 규정하고 있습니다.

수입 정책: 3%의 관세, KOMIR은 연간 약 3000톤의 베트남 및 기타 지역으로부터의 수입을 지원하며 상동 광산 재개는 중국에 대한 의존도를 줄일 것입니다.

팁:

중국은 수출 통제법과 이중 용도 규제를 통해 텅스텐 수출 제한을 강화했으며 유럽, 미국, 일본 및 한국은 낮은 관세와 해외 투자로 공급 위험에 대응했으며 정책 게임은 글로벌 텅스텐 무역 패턴에 영향을 미쳤습니다.

15.5 세금 정책

세금 정책은 세율 조정 및 우대 조치를 통해 텅스텐 산업의 모든 측면의 발전을 촉진하거나 제한합니다.

15.5.1 중국의 조세 정책

탐사 및 채광: 자원세법(2020)에 따르면 텅스텐 정광 자원에 대한 세율은 6.5%(매출 기준)이며, 녹색 광산은 환경 친화적인 채굴을 촉진하기 위해 20% 감소할 수 있습니다.

제련 및 가공: 하이테크 기업(예: 나노 텅스텐 분말 생산)에 대한 13% 부가가치세, 15% 우대 법인 소득세(표준 세율 25%). 환경보호세법(2018)은 배출량이 과도한 기업에 추가 환경세를 부과합니다(예: 기준을 초과하는 SO₂에 대해 톤당 10위안).

수출입: 수출 세금 환급은 2006년에 폐지되었으며, 수출 관세는 20%이며, 수입 장비 세금 면제는 기술 업그레이드를 지원하며, 수입 텅스텐 농축 세율은 5.5%입니다.

사례: 2023년에 텅스텐 가공 회사는 새로운 공정의 연구 개발을 위해 300만 위안의 세금 감면을 받게 됩니다.

15.5.2 유럽 및 미국의 조세 정책

미국:

광산 회사는 연방 탐사 비용 공제(20%), 제련 및 가공에 대한 특별한 인센티브가 없으며 수입품에 대해 2.5%의 WO₃ 세율을 누릴 수 있습니다.

예를 들어, 파일럿 마운틴 프로젝트는 1,000만 달러의 세금 공제를 받았습니다.

유럽 연합:

환경 기술 연구 및 개발에 대한 30% 세금 감면, 수입 가공 제품에 대한 2-5% 세율, 텅스텐 스크랩 재활용 기업에 대한 10% VAT 감면.

15.5.3 일본과 한국의 조세정책

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

일본:

고순도 텅스텐 제품 개발을 지원하기 위해 수입 가공 장비에 대한 50% 세금 감면 및 R&D에 대한 25% 공제.

대한민국:

반도체용 텅스텐 가공은 법인 소득세 10%, 수입 세율 3%가 면제됩니다.

팁:

중국의 조세 정책은 자원을 보호하고 기술 향상을 촉진하는 반면, 유럽, 미국, 일본, 한국은 산업 전략의 차이를 반영하여 감세를 통해 R&D와 수입을 장려하고 있다.

정보의 출처

[7] 세계 텅스텐 자원 분포 보고서 - 미국 지질 조사국(USGS), 워싱턴 DC, 2023[13] 글로벌 텅스텐 제품 시장 분석 2023 - 국제 텅스텐 협회(ITIA), 런던, 2023[15] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn

[26] 중화인민공화국 수출통제법(중국어) - 2020년 전국인민대표대회[27] EU 중요원자재법(영어) - 유럽연합 집행위원회, 브뤼셀, 2023[28] 이중 용도 품목 및 기술 수출통제 목록(중국어) - 상무부, 2025년판

참조

[1] "텅스텐의 역사와 응용"(스웨덴어) - KTH 왕립 공과 대학, 스톡홀름, 1990 [2] "텅스텐 화학의 간략한 역사"- 미국 지질 조사국 (USGS), 워싱턴 D.C., 2005 [3] Chinatungsten 온라인 : www.chinatungsten.com

[4] "텅스텐의 명명법에 관한 연구" (다국어) - 국제 순수 및 응용 화학 연합 (IUPAC), 런던, 1990[5] 영국 산업 혁명의 텅스텐 응용 - 왕립 화학 학회, 런던, 1985[6] 텅스텐 화학 물질의 초기 산업화 (프랑스어) - 프랑스 화학 학회, 파리, 1990[7] 세계 텅스텐 자원 분포 보고서 - 미국 지질 조사국 (USGS), 워싱턴 D.C., 2023[8] "텅스텐의 물리적 특성에 관한 연구" - 왕립학회 철학적 교류, 런던, 1810[9] "주기율표의 텅스텐" (러시아어) - 러시아 화학회, 모스크바, 1870[10] "러시아 야금의 텅스텐 응용" (러시아어) - 모스크바 주립대학교 화학부, 모스크바, 1890[11] "일본 전자 산업의 텅스텐" (일본어) - 1925년 도쿄도쿄공업대학 연구보고서[12] 아랍 지역의 광물학적 기록(아랍어) - 1900년 카이로 대학교 지질학과[13] "글로벌 텅스텐 제품 시장 분석 2023" - 국제 텅스텐 협회(ITIA), 런던, 2023[14] 과학 연구에서 텅스텐의 프론티어 응용 - NIH(National Institutes of Health), Bethesda, 2018[15] 중국의 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn

[16] 텅스텐 화학의 기초 (독일어) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] 텅스텐 화합물의 특성 (러시아어) - 화학과, 모스크바 주립 대학, 모스크바, 2000[18] 텅스텐 산화물의 발열성 화학 (러시아어) - 러시아 과학 아카데미, 모스크바, 1995[19] 텅스텐 산업의 화학적 안정성 - Journal of Materials Science, Springer, 2000[20] 텅스텐 산화물의 전자 재료에 관한 연구(일본어) - University of Tokyo Press, Tokyo, 2010[21] Organotten Compounds - Organometallic Chemistry, American Chemical Society Press, 2005[22] 중국 텅스텐 산업: www.ctia.com.cn

[23] 화학물질 안전 핸드북(영어) - OSHA, 워싱턴 D.C., 최신판[24] 텅스텐 화학 MSDS(다국어) - ECHA, 헬싱키, 최신판[25] "안전 생산 기술"(중국어) - Chinatungsten Online, 2023[26] 중화인민공화국 수출통제법(중국어) - 전국인민대표대회, 2020[27] EU 중요원자재법 - 유럽연합

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

집행위원회, 브뤼셀, 2023[28] 이중 용도 품목 및 기술의 수출 통제 목록(중국어) - 상무부, 2025 년판



부록:

중화 인민 공화국의 이중 용도 품목의 수출 통제 목록에있는 텅스텐 제품과 관련된 제품 목록

중화인민공화국 수출통제법(2020년 10월 17일 통과, 2020년 12월 1일 발효) 및 이중 용도 품목 및 기술 수출 통제 목록(2025년 2월 개정, 상무부 및 해관총서의 공고 제 10호[2025], 2025년 3월 1일 발효).

텅스텐 제품의 수출 통제 목록 : 통제 범주 (범주 1)의 이중 용도 품목.

| 일련 번호 | 제품 이름 | 영문 이름 | 화학 식 | 관세 상품과 코드(HS 코드) | 말 |
|-------|-----------|-------------------|---|------------------|--|
| 1 | 텅스텐 농축액 | 텅스텐 농축액 | | 2611.00.00 | Wolframite (Fe, Mn) WO ₄ 및 Scheelite (CaWO ₄)는 수출 허가가 필요하며 특정 국가로의 수출이 금지되어 있습니다. |
| 2 | 삼산화 텅스텐 | 삼산화 텅스텐 | 워 ₃ | 2825.90.10 | 군용 세라믹 및 광전자 재료의 경우 최종 사용자 및 사용 증명서를 제출해야 합니다. |
| 3 | 텅스텐 분말 | 텅스텐 파우더 | 안오로 | 8101.10.00 | 500 마이크론< 섭도는 규제되며 군용 합금 및 3D 프린팅에 널리 사용됩니다. |
| 4 | 암모늄 파라텅스텐 | 암모늄 파라텅스텐 산염, APT | (NH ₄) ₂ WO ₄ | 2841.80.10 | 텅스텐 세린 중간 제품, 수출 허가 필요, 군용 텅스텐 분말 생산과 관련. |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

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

| | | | | | |
|----|---------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------|--|
| | 산업 | | | | |
| 5 | 텅스텐 산 | 텅스텐 산 | H ₂ WO ₄ | 2841.80.90 | 수출 승인이 필요한 고순도 텅스텐 화합물의 제조에 사용됩니다. |
| 6 | 칼슘 텅스텐 산업 | 칼슘 텅스텐 산업 | 카위 (CaWO ₄) | 2841.80.20 | 군용 형광 물질에 사용하는 경우 수출이 제한됩니다. |
| 7 | 텅스텐 카바이드 | 텅스텐 카바이드 | 화장실 | 2849.90.10 | 군용 절삭 공구 및 갑옷 재료의 핵심 구성 요소, 면허가 필요합니다. |
| 8 | 텅스텐 금속 제품 막대, 플레이트, 와이어 등 | 텅스텐 금속 제품 바, 플레이트, 전선 등 | 안으로 | 8101.99.10 | 텅스텐 막대, 텅스텐 플레이트, 텅스텐 와이어 등을 포함하여 군용 고온 부품의 원료는 엄격하게 검토해야 합니다. |
| 9 | 텅스텐 육불화물 | 텅스텐 육불화물 | WF ₆ | 2826.19.00 | 반도체 CVD 중요 가스는 미국과 같은 특정 국가에 수출이 금지되어 있습니다. |
| 10 | 황화 텅스텐 | 텅스텐 이황화 | WS ₂ | 2830.90.90 | 군용 윤활유 및 2D 재료에 사용하려면 라이선스가 필요합니다. |
| 11 | 텅스텐 규화물 | 텅스텐 디실리사이드 | WSi ₂ | 2850.00.90 | 반도체 전도층 재료, 수출 제한. |

정책 기반:

중화 인민 공화국 수출 통제법 제 9 조는 텅스텐 제품이 국가 안보와 이익을 보호하고 비확산 의무를 이행 할 필요에 따라 이중 용도 품목 및 기술의 수출 통제 목록에 포함될 수 있다고 규정하고 있습니다. 2025 년 발표 제 10 호는 위에서 언급한 텅스텐 제품이 2025 년 3 월 1 일부터 시행 될 목록에 추가 될 것임을 명시합니다. **이중 용도 품목 및 기술의 수출입 면허에 대한 행정 조치** (2021 년 개정된 상무부 2005 년 법령 제 29 호)는 위에서 언급한 텅스텐 제품의 수출에는 면허 신청이 필요하며 최종 사용자 및 사용 증명서를 제출해야 한다고 규정하고 있으며, 이는 성급 상무부의 예비 심사 및 국가 수출 통제국의 승인을 받아야 합니다.

海关商品编码 (HS 코드):

HS 코드는 중화 인민 공화국의 관세 (2025 년판)를 기반으로 하며 특정 텅스텐 제품을 식별하고 세관 감독 및 세금 정확성을 보장하는 데 사용됩니다.

규제 카테고리

목록에 있는 모든 제품은 "이중 용도 품목" (범주 1: 재료, 화학 물질)이며, 민간용 (예: 산업 가공) 및 군용 (예: 방위 자재) 용으로 모두 사용되기 때문에 수출 통제법 섹션 2 및 이중 용도 품목 목록의 적용을 받습니다.

참고 세부 정보

텅스텐 제품에 대한 수출 제한은 고밀도 합금용 텅스텐 분말 및 반도체 정밀 제조용 WF₆와 같은 군사 부문에서의 잠재적 응용 분야에서 비롯되며, 이는 군사 기술을 간접적으로 지원할 수 있습니다. "특정 국가에 대한 수출 금지"는 수출 통제법 제 12 조의 "블랙리스트" 국가 (예: 일부 미국 군사 기업)를 의미하며, 구체적인 목록은 상무부에 의해 동적으로 업데이트됩니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

데이터 소스

상무부 발표(예: 2025 년 제 10 호), 이중 용도 품목 및 기술의 수출 통제 목록(2025 년판), 세관의 HS 코드 분류 및 텅스텐 산업의 특성을 기반으로 합니다.

법적 효력

위의 내용은 참고용이며, 실제 수출은 상무부와 해관총서에서 발행한 최신 "이중 용도 품목 및 기술의 수출 통제 목록"에 따릅니다.

동적 업데이트

수출통제법 제 9 조에 따라 임시통제품목은 언제든지 조정될 수 있으며, 독자는 상무부의 정기 공지에 주목해야 합니다.

규정 준수 조언

수출업체는 인허가를 신청할 때 완전한 문서를 제출하고 규정 미준수에 대한 처벌(예: 2024 년 경우 200 만 달러의 벌금)을 피하기 위해 내부 규정 준수 시스템(예: 14 조)을 구축해야 합니다.



부록 : 세계의 텅스텐 화학 물질에 대한 주요 산업 표준

아래는 중국, 미국, 유럽 연합, 일본, 한국 및 ISO 와 같은 국제 표준화 기구의 관련

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

표준을 다루는 텅스텐 화학 물질 및 화합물(텅스텐 분말, 텅스텐 카바이드 분말 및 초경합금 제외)에 대한 모든 주요 국내 및 국제 산업 표준의 세부 목록입니다. 이 섹션에서는 이전 설명에서 텅스텐 분말, 텅스텐 카바이드 분말 및 초경합금에 대한 언급을 제외하고 삼산화 텅스텐 (WO_3) 및 텅스텐 산 나트륨 (Na_2WO_4)과 같은 텅스텐 화학 물질 및 화합물에 중점을 둡니다. , 텅스텐 산 나트륨), 파라 텅스텐 산 암모늄 ($(NH_4)_2WO_4$, 파라 텅스텐 산 암모늄), 육불화 텅스텐 (WF_6 , Tungsten Hexafluoride) 외. 2025년 3월 3일 기준 최신 규격이 동적으로 업데이트될 수 있으므로 일부 특정 내용은 기존 규격(예: GB, ASTM, ISO 등) 및 공개 정보를 기반으로 하여 적용 범위, 기술 요구 사항, 테스트 방법, 안전 및 환경 보호 규정이 누락 없이 나열되도록 합니다. 독자는 국가 표준화 기구 또는 국제기구의 최신 릴리스를 참조하여 정식 버전을 확인할 수 있습니다.

텅스텐 화학 물질 및 화합물에 대한 중국의 주요 산업 표준

1. GB / T 10116-2007 三氧化钨(삼산화 텅스텐)

적용 범위 : 산업용 삼산화 텅스의 생산, 검사 및 승인에 적합하며 촉매, 안료 및 텅스텐 화합물 원료 분야에서 사용됩니다.

기술 요구 사항:

WO_3 함량 : 질량 기준으로 $\geq 99.9\%$.

杂质限值: 铁 (Fe) $\leq 0.001\%$ 、钼 (Mo) $\leq 0.005\%$ 、硫 (S) $\leq 0.001\%$ 、砷 (As) $\leq 0.001\%$ 、磷 (P) $\leq 0.001\%$.

외관 : 노란색에서 녹색 분말, 변색 또는 덩어리 없음.

수용해도 : 물에 불용성 (용해도 $< 0.1\text{ g/L}$).

시험 방법:

WO_3 함량 측정: 요오드 선량 측정법(GB/T 6150.2), 요오드화 칼륨 반응 후 적정으로 계산.

불순물 분석: 원자 흡수 분광법(AAS) 또는 유도 결합 플라즈마 방출 분광법(ICP-AES).

육안 검사: 표준 샘플 비교에 따른 육안 검사.

안전 및 환경 요구 사항:

열분해 배기 가스는 생산 시 제어해야 하며, 이산화황(SO_2) 배출량은 $< 400\text{mg/m}^3$, 미립자 물질은 $30\text{mg/m}^3 <$ 제어해야 합니다(GB 16297-1996 에 따름).

작업자는 먼지 흡입을 피하기 위해 보호 안경과 마스크를 착용해야 합니다(직업적 노출 제한 TWA 5 mg/m^3 , GBZ 2.1-2019).

2. GB / T 23365-2009 仲钨酸铵(암모늄 파라 텅스텐 산염, APT)

적용 범위 : 텅스텐 화합물 및 텅스텐 재료의 제조에서 중간체로서 고순도 암모늄 파라 텅스텐 산염의 생산 및 테스트에 적합합니다.

기술 요구 사항:

$(NH_4)_2WO_4$ 함량 : $\geq 88.5\%$ 질량 %.

杂质限值: 钼 (Mo) $\leq 0.01\%$ 、铁 (Fe) $\leq 0.001\%$ 、钠 (Na) $\leq 0.005\%$ 、钙 (Ca) $\leq 0.005\%$ 、硅 (Si) $\leq 0.005\%$.

결정 크기: $30-100\text{ }\mu\text{m}$ (현미경 측정).

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

수분 함량 : \leq 질량 10 %.

시험 방법:

함량 측정: 텅스텐 산업 적정으로 계산 된 중량 측정 방법 (건조 감량) 및 적정 방법 (GB / T 6150.1).

杂质分析: ICP-AES (GB/T 13748.20)。

결정 크기: 현미경 방법 (GB/T 15445).

수분 : 건조 방법 (105 ° C, 2 시간, GB / T 6284).

안전 및 환경 요구 사항:

생산 폐액을 중화해야 하며 암모니아 가스(NH_3)는 $15\text{mg}/\text{m}^3$ (GB 16297-1996) < 방출됩니다.

폐수의 텅스텐 농도 < $1\text{mg}/\text{L}$ (GB 8978-1996)이며 작업에는 먼지를 제어하기 위한 환기 장비가 필요합니다.

3. HG / T 2959-2010 钨酸钠 (텅스텐 산 나트륨)

적용 범위 : 산업용 텅스텐 산 나트륨의 생산 및 품질 검사에 적합하며 화학 산업, 내화 재료 및 의약에 사용됩니다.

기술 요구 사항:

Na_2WO_4 함량 : \geq 98.0 질량 %.

杂质限值: 钼 (일) \leq 0.02%、铁 (Fe) \leq 0.002%、氯化物 (Cl^-) \leq 0.05%、硫酸根 (SO_4^{2-}) \leq 0.05%。

외관 : 백색 결정 성 분말 또는 과립, 명백한 불순물 없음.

pH 值 (5% 水溶液): 8.5-10.0。

시험 방법:

Na_2WO_4 함량 : 텅스텐 산업 침전에 의해 결정되는 중량 측정 방법 (GB / T 6150.4).

杂质分析: 分光光度法 (Mo)、原子吸收法 (Fe)。

pH 值: pH 计 (GB/T 6920)。

안전 및 환경 요구 사항:

操作需防护手套和眼镜, 避免粉尘吸入 (TWA $5\text{mg}/\text{m}^3$, GBZ 2.1-2019)。

폐액 처리는 배출 기준을 충족해야 하며 폐가스의 미립자 물질은 $30\text{mg}/\text{m}^3$ (GB 16297-1996) < 충족해야 합니다.

4. HG / T 2469-2010 钨酸 (텅스텐 산)

적용 범위 : 텅스텐 화합물의 합성을 위한 원료로서 산업용 텅스텐 산의 생산 및 검사에 적합합니다.

기술 요구 사항:

H_2WO_4 함량 : 질량 \geq 99.0 %.

杂质限值: 铁 (Fe) \leq 0.002%、钼 (Mo) \leq 0.01%、氯化物 (Cl^-) \leq 0.02%、硫酸根 (SO_4^{2-}) \leq 0.02%。

외관 : 노란색 분말, 덩어리 없음.

시험 방법:

함량 측정: 중량 측정 방법 (GB/T 6150.5), 고온 연소 후 계량.

杂质分析: ICP-AES (GB/T 13748.20)。

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

안전 및 환경 요구 사항:

생산 폐가스는 산성 미스트에 의해 흡수 및 처리되어야 하며 폐수 W는 1mg/L(GB 8978-1996) <.

흡입을 피하기 위해 방진 마스크가 필요합니다(TWA 5mg/m³).

5. GBZ 2.1-2019 작업장 내 공기 중 유해 물질에 대한 직업적 노출 제한

적용 범위 : 텅스텐 화학 물질 (예 : WO₃, Na₂WO₄)의 생산 및 사용 현장의 공기 질 관리에 적합합니다.

기술 요구 사항:

텅스텐 및 불용성 화합물 (예 : WO₃) : 시간 가중 평균 농도 (TWA) 5 mg / m³, 단기 노출 한계 (STEL) 10 mg / m³ (W).

可溶性化合物(如 Na₂WO₄):TWA 1 mg/m³,STEL 3 mg/m³(以 W 计)。

테스트 방법: 공기 샘플링 후 유도 결합 플라즈마 질량 분석법(ICP-MS) 분석(GB/T 17062).

안전 및 환경 규정: 환기 시스템(예: 풍량 ≥ 5000m³/h), 작업자용 N95 마스크 및 GB 16297-1996 에 따른 배기 가스.

텅스텐 화학 물질 및 화합물에 대한 미국의 주요 산업 표준

1. 텅스텐 산염의 ASTM D7047-15 분석

(텅스텐 산염 분석을 위한 표준 시험 방법)

범위: 텅스텐 산 나트륨 및 산업 응용 분야 (예 : 촉매)에 사용되는 기타 텅스텐 산염에 대한 분석 방법을 지정합니다.

기술 요구 사항:

WO₄²⁻ 함량 : ≥ 98 % (질량 분율).

불순물 : Fe < 0.005 %, Mo < 0.01 %, Cl⁻ < 0.05 %.

외관 : 백색 결정 성분말, 눈에 보이는 불순물이 없습니다.

테스트 방법:

중량 분석 : 텅스텐 산염을 염화 바륨으로 침전시키고 잔류 물을 계량 (ASTM E180)합니다.

분광법: 미량 불순물에 대한 UV-Vis 분광 광도계(ASTM E275).

안전 및 환경:

취급 시 OSHA 29 CFR 1910.132 에 따라 장갑과 보안경이 필요합니다.

RCRA(40 CFR Part 261)에 따라 유해 물질로 처리된 폐기물, 침출수 < 0.05mg/L.

2. ASTM E236-66 (2017) 钨化学分析

(텅스텐의 화학 분석을 위한 표준 사양)

범위 : 텅스텐 화합물 (예 : WO₃, 텅스텐 산염)의 화학 분석에 적용됩니다.

기술 요구 사항:

W 함량 : 고순도 등급의 경우 ≥ 99.9 %.

불순물 : Fe < 0.001 %, Mo < 0.005 %, Si < 0.002 %.

테스트 방법:

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

W 측정: 신코닌을 사용한 중량 측정 침전 (ASTM E1479).

불순물 : ICP-OES (ASTM E1479).

안전 및 환경:

OSHA PEL (5mg/m³ TWA)에 의한 분진 제어.

CAA 에 의해 규제되는 배기가스 배출 (SO₂ < 50ppm).

3. 미국 직업안전위생국 (OSHA) PEL (29 CFR 1910.1000) 직업적 노출 한도

범위 : 텅스텐 화합물에 대한 작업장 공기질을 조절합니다.

기술 요구 사항:

불용성 화합물 (예 : WO₃) : PEL-TWA 5 mg / m³ (W).

수용성 화합물 (예 : Na₂WO₄) : PEL-TWA 1 mg / m³ (W).

테스트 방법: ICP-MS 를 사용한 공기 샘플링 (NIOSH 방법 7300).

안전 및 환경: 환기 필요, 29 CFR 1910.134 에 따라 PPE(예: N95 마스크) 필수.

유럽 연합의 텅스텐 화학 물질 및 화합물에 대한 주요 산업 표준

1. EN 10204:2004 금속 제품 - 검사 문서의 종류

범위 : EU 시장 품질 인증을 위해 텅스텐 화합물 (예 : WO₃, Na₂WO₄)에 적용됩니다.

기술 요구 사항:

유형 3.1 인증서: 화학 성분(예: WO₃ ≥ 99.9%).

불순물 : Mo < 0.01 %, Fe < 0.005 %, < 0.001 %.

테스트 방법:

화학: ICP-OES (ISO 11885).

검증: 제 3 자 실험실 분석.

안전 및 환경:

REACH (EC 1907/2006) 등록 의무 준수.

폐기물 당 폐기물 프레임워크 지침 (2008/98/EC).

2. REACH 부속서 XVII (EC 1907/2006)

텅스텐 화합물의 등록 및 제한

범위: EU 시장 진입 및 사용을 위해 텅스텐 화학 물질(예: WO₃, WF₆)을 규제합니다.

기술 요구 사항:

등록: 위험 데이터(예: WO₃ 흡입 범주 4)를 포함하여 연간 1 톤의 생산/수입 > 필요합니다.

제한 사항: 부식성으로 인해 SVHC 로 등재된 WF₆는 물품에 0.1% > 사용하기 위해 위험 평가가 필요합니다.

불순물 : Mo < 0.02 %, 중금속 < 0.01 %.

테스트 방법:

독성: 급성 흡입 (OECD 403).

생태독성: 조류 성장 억제 (OECD 201).

안전 및 환경:

IED 당 배출량 (2010/75/EU): SO₂ < 50ppm, 폐수 내 W < 0.1mg/L.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

WFD 에 따른 폐기, 재활용 권장.

일본의 텅스텐 화학 물질 및 화합물에 대한 주요 산업 표준

1. JIS H 1404:2001 钨化学品分析 (텅스텐의 화학분석법)

범위 : 텅스텐 화합물 (예 : WO_3) 의 분석에 적용됩니다.

기술 요구 사항:

W 함량 : $\geq 99.9\%$ (고순도 등급).

불순물 : $Fe < 0.001\%$, $Mo < 0.005\%$, $Si < 0.002\%$.

테스트 방법:

W 측정: 중량 측정법(JIS K 0116).

불순물 : ICP-AES (JIS K 0116).

안전 및 환경:

분진 $< 5\text{ mg/m}^3$ (JIS Z 8852), 대기오염방지법 기준 배출량 ($SO_2 < 100\text{ mg/m}^3$).

2. JIS K 8962:2008 钨酸钠 (텅스텐 산 나트륨)

범위 : 화학 및 제약 용도의 산업용 텅스텐 산 나트륨을 다룹니다.

기술 요구 사항:

Na_2WO_4 함량 : $\geq 98.0\%$.

불순물 : $Mo < 0.02\%$, $Fe < 0.002\%$, $Cl^- < 0.05\%$.

외관 : 백색 결정 성분말.

테스트 방법:

내용: EDTA(JIS K 0050)를 사용한 적정.

불순물 : AAS (JIS K 0102).

안전 및 환경:

취급에는 장갑이 필요하며 대기 오염 통제법에 따라 배출됩니다.

한국은 텅스텐 화학 물질 및 화합물의 주요 산업 표준입니다.

1. KS M 6891:2018 钨氧化物 (텅스텐 산화물)

범위: 산업 응용 분야(예: 촉매)의 WO_3 에 적용됩니다.

기술 요구 사항:

WO_3 함량 : $\geq 99.9\%$.

불순물 : $Mo < 0.01\%$, $Fe < 0.002\%$, $S < 0.001\%$.

외관 : 노란색에서 녹색 분말.

테스트 방법:

내용: 중량법(KS M ISO 11876).

불순물 : ICP-MS (KS D 0202).

안전 및 환경:

분진 $< 5\text{ mg/m}^3$ (KOSHA OEL), 폐수 W $< 0.05\text{ mg/L}$ (폐기물관리법)

2. KS M 6893:2018 钨酸盐 (텅스톡산염)

범위 : 산업용으로 텅스텐 산 나트륨과 텅스텐 산 암모늄을 다룹니다.

기술 요구 사항:

Na_2WO_4 : $\geq 98\%$, $(NH_4)_2WO_4$: $\geq 88.5\%$.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

불순물 : Mo < 0.02 %, Fe < 0.005 %.

테스트 방법:

함량: 적정(KS M ISO 6892).

불순물 : AAS (KS, M, ISO 6892).

안전 및 환경:

K-REACH 규정 준수, 배출량 < 10mg/m³ (미립자).

텨스텐 화학 물질 및 화합물에 대한 국제 주요 산업 표준

1. ISO 11876 : 2010 텨스텐 분말의 산소 함량 측정

범위 : 텨스텐 화합물 (예 : WO₃ 중간체)의 산소를 정량화하지만, 주로 분말이지만 화학적 전구체에 적용 할 수 있습니다.

기술 요구 사항:

산소 : ≤ 0.3 % (질량 분율).

테스트 방법:

수소 환원: 900° C에서 H₂ 환원 시 손실(ISO 4491-2).

안전 및 환경: ISO 14001 에 따라 분진 위험을 방지하기 위해 대기를 통제합니다.

2. ISO 6892-1:2016 금속 재료 - 화학 분석

범위 : 텨스텐 화합물 (예 : WO₃, Na₂WO₄)에 대한 일반 화학 분석.

기술 요구 사항:

W 함량 : ≥ 99.9 % (고순도 등급의 경우).

불순물 : Fe < 0.001 %, Mo < 0.005 %.

테스트 방법:

ICP-OES(ISO 11885).

텨산염 적정(ISO 6892-1).

안전 및 환경: ISO 14001 에 따른 분진 제어, 현지 표준에 따른 배출량.

日本钨化学品及化合物主要工业标准 (일본어로 번역)

1. JIS H 1404:2001 タンステン化学品の分析 (텨스텐의 화학분석방법)

적용 범위 : 텨스텐 화합물 (예 : WO₃)의 분석에 적용됩니다.

기술 요구 사항:

W 함량 : ≥ 99.9 % (고순도 등급).

불순물 한계 : 철 (Fe) < 0.001 %, 몰리브덴 (Mo) < 0.005 %, 실리콘 (Si) < 0.002 %.

시험 방법:

W의測定:重量分析法(JIS K 0116)。

不純物分析:ICP-AES(JIS K 0116)。

안전 및 환경 규정:

粉塵濃度 < 5 mg/m³ (JIS Z 8852)、排出ガスは「大氣汚染防止法」に準拠(SO₂ < 100 mg/m³)。

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

2. JIS K 8962:2008 텅스텐 산 나트륨 (텅스텐 산 나트륨)

적용 범위 : 화학 및 제약 응용 분야를 위한 산업용 텅스텐 산 나트륨의 생산 및 품질 관리에 적용됩니다.

기술 요구 사항:

Na_2WO_4 함유량: $\geq 98.0\%$.

不純物限界: 모리브덴 (Mo) $< 0.02\%$, 철 (Fe) $< 0.002\%$, 염化物 (Cl^-) $< 0.05\%$.

외관 : 백색 결정 성분말.

시험 방법:

함유량: EDTA 적정법 (JIS K 0050).

不純物: AAS (JIS K 0102).

안전 및 환경 규정:

취급에는 장갑이 필요하며 배기 가스는 대기 오염 방지법을 준수해야 합니다.

한국 텅스텐 화학 및 화합물 주요 산업 표준 (한국어)

1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (Tungsten Oxides)

적용 범위: 공업용 WO_3 (예: 촉매제)에 적용되며, 생산 및 품질 관리에 사용됩니다.

기술 요구 사항:

WO_3 함량: $\geq 99.9\%$.

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo) $< 0.01\%$, 철 (Fe) $< 0.002\%$, 황 (S) $< 0.001\%$.

외관: 노란색에서 초록색 분말.

시험 방법:

함량 측정: 중량법 (KS M ISO 11876).

불순물 분석: ICP-MS (KS D 0202).

안전 및 환경 규정:

먼지 농도 $< 5 \text{ mg/m}^3$ (KOSHA OEL), 폐수 W $< 0.05 \text{ mg/L}$ (폐기물 관리법).

2. KS M 6893:2018 텅스텐산염

적용 범위: 공업용 텅스텐산 나트륨 및 텅스텐산 암모늄의 생산 및 검사에 적용됩니다.

기술 요구 사항:

Na_2WO_4 : $\geq 98\%$, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$: $\geq 88.5\%$.

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo) $< 0.02\%$, 철 (Fe) $< 0.005\%$.

시험 방법:

함량: 적정법 (KS M ISO 6892).

불순물: AAS (KS M ISO 6892).

안전 및 환경 규정:

K-REACH 준수, 배출 먼지 $< 10 \text{ mg/m}^3$ (미세먼지).

日本钨化学品及化合物主要工业标准 (일본어로 번역)

1. JIS H 1404:2001 タンステン化学品の分析 (텅스텐의 화학분석방법)

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

적용 범위 : 텅스텐 화합물 (예 : WO_3)의 분석에 적용됩니다.

기술 요구 사항:

W 함량 : $\geq 99.9\%$ (고순도 등급).

불순물 한계 : 철 (Fe) $< 0.001\%$, 몰리브덴 (Mo) $< 0.005\%$, 실리콘 (Si) $< 0.002\%$.

시험 방법:

W의 측정: 重量分析法 (JIS K 0116)。

不純物分析: ICP-AES (JIS K 0116)。

안전 및 환경 규정:

粉塵濃度 $< 5\text{ mg/m}^3$ (JIS Z 8852)、排出ガスは「大気汚染防止法」に準拠 ($SO_2 < 100\text{ mg/m}^3$)。

2. JIS K 8962:2008 텅스텐 산 나트륨 (텅스텐 산 나트륨)

적용 범위 : 화학 및 제약 응용 분야를 위한 산업용 텅스텐 산 나트륨의 생산 및 품질 관리에 적용됩니다.

기술 요구 사항:

Na_2WO_4 함유량: $\geq 98.0\%$.

不純物限界: モリブデン (Mo) $< 0.02\%$ 、鉄 (Fe) $< 0.002\%$ 、塩化物 (Cl^-) $< 0.05\%$.

외관 : 백색 결정 성분말.

시험 방법:

함유량: EDTA 滴定法 (JIS K 0050)。

不純物: AAS (JIS K 0102)。

안전 및 환경 규정:

취급에는 장갑이 필요하며 배기 가스는 대기 오염 방지법을 준수해야 합니다.

한국 텅스텐 화학 및 화합물 주요 산업 표준 (한국어)

1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (Tungsten Oxides)

적용 범위: 공업용 WO_3 (예: 촉매제)에 적용되며, 생산 및 품질 관리에 사용됩니다.

기술 요구 사항:

WO_3 함량: $\geq 99.9\%$.

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo) $< 0.01\%$, 철 (Fe) $< 0.002\%$, 황 (S) $< 0.001\%$.

외관: 노란색에서 초록색 분말.

시험 방법:

함량 측정: 중량법 (KS M ISO 11876).

불순물 분석: ICP-MS (KS D 0202).

안전 및 환경 규정:

먼지 농도 $< 5\text{ mg/m}^3$ (KOSHA OEL), 폐수 W $< 0.05\text{ mg/L}$ (폐기물 관리법).

2. KS M 6893:2018 텅스텐산염

적용 범위: 공업용 텅스텐산 나트륨 및 텅스텐산 암모늄의 생산 및 검사에 적용됩니다.

기술 요구 사항:

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

Na₂WO₄: ≥ 98%, (NH₄)₂WO₄: ≥ 88.5%.

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo) < 0.02%, 철 (Fe) < 0.005%.

시험 방법:

함량: 적정법 (KS M ISO 6892).

불순물: AAS (KS M ISO 6892).

안전 및 환경 규정:

K-REACH 준수, 배출 먼지 < 10 mg/m³ (미세먼지).

부록 : 텅스텐 함유 화합물의 화학식 및 특성 표

텅스텐 함유 화합물의 이름, CAS 번호, 화학식 및 특성의 전체 표

1. 钨的氧化物 (텅스텐 산화물)

| 중국어 이름 | 영문 이름 | CAS 번호 | 화학식 | 질 |
|---------------|---------------|------------|---------------------------------|--|
| 삼산화 텅스텐 | 삼산화 텅스텐 | 1314-35-8 | W ₃ | 물리적 특성: 노란색에서 녹색 분말, 녹는점 1473 °C, 끓는점 ~1700 °C(승화), 밀도 7.16g/cm ³ , 물(<0.1g/L)에 불용성. 화학적 성질: 강한 산화, H ₂ , 산성 산화물에 의해 W 로 환원 될 수 있으며 알칼리와 반응하여 텅스텐 산염을 형성하고 열 안정성이 우수하며 2000 °C 이상에서 분해됩니다. |
| 이산화 텅스텐 | 이산화 텅스텐 | 12036-22-5 | W ₂ | 물리적 특성: 갈색 결정, 용점 ~1700° C, 밀도 10.8g/cm ³ , 물에 약간 용해됩니다. 화학적 성질: 환원성이 높고, WO 로 산화 될 수 있으며, 산과 반응하여 텅스텐 염을 형성하고, 1700 °C 이하에서 안정하다. |
| 이산화 텅스텐 | 디 텅스텐 오산화 | - | W ₂ O ₅ | 물리적 특성: 고정되지 않은 색상(정수가 아닌 화합물로 인해), 열악한 열 안정성, 명확하게 결정되지 않은 밀도. 화학적 성질: 중간 산화 상태, WO ₂ 또는 WO ₃ 로 쉽게 전환, 불안정, 쉽게 산화 또는 환원. 시계 제작: CTIA GROUP LTD |
| 텅스텐 산화물 18 49 | 텅스텐 블루 산화물 변형 | 12067-99-1 | W ₁₈ O ₄₉ | 물리적 특성: 파란색 바늘 모양의 결정, 용점 ~800° C, 밀도 ~7.2g/cm ³ , 물에 불용성. 화학적 성질: 광전 성질과 함께 약간 감소 된 상태, WO ₃ 는 산화시 형성되며 중간 정도의 화학적 안정성을 갖는다. |

2. 钨酸及钨酸盐 (텅스텐 산 및 텅스텐 산염)

| 중국어 이름 | 영문 이름 | CAS 번호 | 화학식 | 질 |
|----------|-----------|------------|---|--|
| 텅스텐 산 | 텅스텐 산 | 7783-03-1 | H ₂ WO ₄ | 물리적 특성: 황색 분말, 분해 온도 ~250° C, 밀도 5.5g/cm ³ , 물에 약간 용해(~0.02g/L). 화학적 성질: 약산성 (pKa ~ 2.2), WO ₃ 로의 열분해, 알칼리와의 반응으로 텅스텐 산염 형성, 강산성의 경우 안정. |
| 텅스텐 산나트륨 | 텅스텐 산 나트륨 | 13472-45-2 | Na ₂ WO ₄ | 물리적 특성: 백색 결정(이수화물 Na ₂ WO ₄ · 2H ₂ O), 탈수 온도 ~300° C, 밀도 3.25g/cm ³ , 강한 수용성(20° C 에서 730g/L). 화학적 성질: 약알칼리성 (pH 8-9)은 산과 반응하여 텅스텐 산을 형성하고 안정적이지만 강산에 의해 분해됩니다. |
| 암모늄 | 암모늄 | 11120-25-5 | (NH ₄) ₂ WO ₄ | 물리적 특성: 백색 결정, 분해 온도 ~250° C, 밀도 4.6g/cm ³ , 중간 |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| | | | | |
|------------------------|------------------|------------|---|---|
| 파라텡스 텐 산염 | 파라텡스텐 산염 | | | 수용성($\sim 50\text{g/L}$). 화학적 성질 : WO_3 로의 열분해, 산과의 반응으로 텡스텐 산, 약한 알칼리성, 우수한 화학적 안정성을 형성합니다. 시계 제작 : CTIA GROUP LTD |
| 칼슘 텡스텐 산염 | 칼슘 텡스텐 산염 | 7790-75-2 | 카위 (CaWO ₄) | 물리적 특성: 백색 결정, 용점 $\sim 1620^\circ\text{C}$, 밀도 6.06g/cm^3 , 물($<0.01\text{g}/100\text{mL}$)에 거의 녹지 않음. 화학적 성질 : 높은 안정성, 텡스텐 산, 고온 저항, 강한 형광을 형성하는 산과의 느린 반응. |
| 암모늄 메타 텡스텐 산염 | 암모늄 메타 텡스텐 산염 | 12028-48-7 | $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ | 물리적 특성: 백색 결정, 탈수 온도 $\sim 200^\circ\text{C}$, 밀도 $\sim 4.0\text{g/cm}^3$, 우수한 수용성($>1000\text{g/L}$). 화학적 성질 : 폴리 구조, 산성 조건에서 안정, 열분해 WO_3 , 화학적 활성. |

3. 钨的卤化物 (텡스텐의 할리데스)

| 중국어 이름 | 영문 이름 | CAS 번호 | 화학식 | 질 |
|-------------------|----------------|------------|----------------|--|
| 텡스텐 헥사클로라이드 | 텡스텐 헥사클로라이드 | 13283-01-7 | WCl_6 | 물리적 특성: 진한 파란색 결정, 용점 275°C , 끓는점 347°C , 밀도 3.52g/cm^3 , 공기 중에서 조해하기 쉽습니다. 화학적 성질: 휘발성이 높고 산화가 강하며 가수분해되어 HCl 및 옥시클로라이드를 형성하고 환원제와 격렬하게 반응합니다. |
| 텡스텐 육불화물 | 텡스텐 육불화물 | 7783-82-6 | WF_6 | 물리적 특성: 무색 가스, 용점 2.3°C , 끓는점 17.1°C , 밀도 12.9g/L (기체), 부식성이 높습니다. 화학적 성질 : 휘발성이 높고 부식성이 높으며 가수 분해되어 HF 및 WO 를 형성하고 알칼리와 반응하여 텡스텐 산염을 형성합니다. 시계 제작 : CTIA GROUP LTD |
| 텡스텐 테트라클로라이드 | 텡스텐 사염화 | 13470-13-8 | WCl_4 | 물리적 특성: 녹색 결정, 분해 온도 $\sim 200^\circ\text{C}$, 밀도 $\sim 4.6\text{g/cm}^3$, 강한 조해성. 화학적 성질 : 강한 환원성, WCl_6 로의 쉬운 산화, HCl 을 형성하는 가수 분해, 낮은 화학적 안정성. |
| 텡스텐 펜타클로라이드 | 텡스텐 펜타클로라이드 | 13470-14-9 | WCl_5 | 물리적 특성: 진한 적색 결정, 분해 온도 $\sim 400^\circ\text{C}$, 밀도 $\sim 3.9\text{g/cm}^3$, 쉽게 조해. 화학적 성질: 중간 산화 상태, 강한 가수분해, 환원제와의 반응으로 저가 염화물 형성, 불안정. |
| 텡스텐 디 요오드화물 | 텡스텐 디요오드화물 | 13470-17-2 | 위스콘신주 | 물리적 특성: 블랙 크리스탈, 분해 온도 $\sim 600^\circ\text{C}$, 밀도 $\sim 6.8\text{g/cm}^3$, 물에 약간 용해됨. 화학적 성질 : 불안정하고 고가 요오드화물로 쉽게 산화되며 가수 분해되어 HI , 중간 화학 활성을 생성합니다. |
| 텡스텐 디브로마이드 | 텡스텐 디브로마이드 | 13470-10-5 | WBr_2 | 물리적 특성: 암결정, 분해 온도 $\sim 700^\circ\text{C}$, 밀도 $\sim 7.2\text{g/cm}^3$, 물에 약간 용해됨. 화학적 성질: 강한 안정성, HBr 을 형성하는 가수분해, 중간 내식성, 산화제와의 느린 반응. |

4. 钨的硫化物与硒化物 (텡스텐의 황화물 및 셀레나이드)

| 중국어 이름 | 영문 이름 | CAS 번호 | 화학식 | 질 |
|--------|------------|------------|---------------|--|
| 황화 텡스텐 | 이황화 텡스텐 | 12138-09-9 | WS_2 | 물리적 특성: 짙은 회색에서 검은색 결정, 용점 $\sim 1200^\circ\text{C}$, 밀도 7.5g/cm^3 , 물에 불용성. 화학적 성질 : 낮은 마찰 계수, WO_3 로의 산화, 강한 윤활성, 우수한 화학적 안정성, 산 및 알칼리 내식성. |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| | | | | |
|------------|-------------|------------|-------------------------------|---|
| 이황화 텅스텐 | 디텅스텐 트리설파이드 | - | W ₂ S ₃ | 물리적 특성: 흑색 결정, 분해 온도 ~800° C, 밀도가 명확하게 결정되지 않음, 물에 불용성. 화학적 성질 : 낮은 안정성, WO ₃ 로의 쉬운 산화, 산과의 반응으로 H ₂ S 를 형성, 강한 화학 활성. 시계 제작 : CTIA GROUP LTD |
| 텅스텐 디셀레나이드 | 텅스텐 디셀레나이드 | 12067-46-8 | W ₂ E ₂ | 물리적 특성: 짙은 회색에서 검은색 결정, 녹는점 ~1100° C, 밀도 9.32g/cm ³ , 물에 불용성. - 화학적 성질 : 반도체 (단층 밴드 갭 ~ 1.6 eV), WO 에 대한 산화, 산 및 알칼리 저항, 우수한 안정성. |

5. 钨的碲化物 (텅스텐의 텔루라이드)

| 중국어 이름 | 영문 이름 | CAS 번호 | 화학식 | 질 |
|-----------|------------|------------|-----|---|
| 텅스텐 텔루라이드 | 텅스텐 디텔루라이드 | 12067-76-4 | 원금 | 물리적 특성: 회색 결정, 용점 ~1000° C, 밀도 9.43g/cm ³ , 물에 불용성. - 화학적 성질 : 반 금속 특성, 약한 자성, 높은 전기 전도성, WO 에 대한 산화, 중간 화학적 안정성. 시계 제작 : CTIA GROUP LTD |

6. 钨的硅化物 (텅스텐의 규소화물)

| 중국어 이름 | 영문 이름 | CAS 번호 | 화학식 | 질 |
|---------|----------|------------|------------------|---|
| 텅스텐 규화물 | 텅스텐 디실리드 | 12039-88-2 | WSi ₂ | 물리적 특성: 회색 결정, 용점 2160° C, 밀도 9.4g/cm ³ , 물에 불용성. 화학적 성질 : 높은 전기 전도성(저항률 20-30 μΩ·cm), 내식성, 2000° C 까지의 내산화성, 강한 안정성. 시계 제작 : CTIA GROUP LTD |

7. 钨的砷化物 (텅스텐의 비소)

| 중국어 이름 | 영문 이름 | CAS 번호 | 화학식 | 질 |
|--------|------------|--------|------------------|---|
| 텅스텐 비소 | 텅스텐 디아세나이드 | - | WAs ₂ | 물리적 특성: 블랙 크리스탈, 용점 ~1200° C, 밀도 ~11.5g/cm ³ , 물에 불용성. 화학적 성질 : 촉매 활성, 강한 독성, 중간 안정성, WO 에 대한 쉬운 산화, 약산 및 알칼리 저항. 시계 제작 : CTIA GROUP LTD |

8. 钨的有机化合物 (텅스텐의 유기 금속 화합물)

| 중국어 이름 | 영문 이름 | CAS 번호 | 화학식 | 질 |
|--------------|-----------------|------------|----------------------------------|---|
| 헥사카르보닐 텅스텐 | 텅스텐 헥사카르보닐 | 14040-11-0 | 승(일산화탄소) ₆ | 물리적 특성: 백색 결정, 용점 ~170° C, 승화점 ~175° C, 밀도 2.65g/cm ³ , 물에 불용성. 화학적 성질 : 높은 휘발성, 감광성, CO 및 WO 에 대한 산화 분해, 강한 조정. |
| 텅스텐 디클로로디센 | 텅스텐 노센 이염화물 | 12128-24-4 | CP ₂ WCl ₂ | 물리적 특성: 녹색 결정, 분해 온도 ~230° C, 밀도가 명확하게 결정되지 않음, 물에 불용성. 화학적 성질 : 높은 조정 활성, 물에 민감한, 열 분해로 WO ₃ , 화학 활성을 형성합니다. |
| 테트라 카르보닐 텅스텐 | 텅스텐 노센 테트라 카르보닐 | - | CpW(일산화탄소) ₄ | 물리적 특성: 색상 정의되지 않음, 분해 온도 ~150° C, 밀도가 결정되지 않음, 물에 불용성. 화학적 성질 : 강한 조정력, 산소에 민감성, CO 및 WO ₃ 로 분해되어 불안정합니다. |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| | | | | |
|--------------|---------------|------------|----------------------------------|--|
| 헥사메틸텨스텐 | 헥사메틸 텨스텐 | 15600-80-3 | 승(CH ₃) ₆ | 물리적 특성: 불안정한 액체, 실온에서 분해, 저온에서 보관해야 하며 밀도가 명확하게 결정되지 않습니다. 화학적 성질 : 매우 불안정하고 알칸 및 WO 로 분해되기 쉽고 산소에 노출되면 격렬하게 반응하며 높은 조정 활성을 갖습니다. 시계 제작 : CTIA GROUP LTD |
| 텨스텐 시아니화물 | 텨스텐 디시아나이드 | - | 승(CN) ₂ | 물리적 특성: 암결정, 분해 온도 ~300° C, 밀도가 명확하게 결정되지 않음, 물에 약간 용해됨. 화학적 성질 : 불안정하고 WO 로 산화되기 쉽고 가수 분해되어 HCN 을 형성하고 강한 화학 활성을 보입니다. |

9. 含钨催化剂与试剂 (텨스텐 함유 촉매 및 시약)

| 중국어 이름 | 영문 이름 | CAS 번호 | 화학식 | 질 |
|-------------|---|------------|--|--|
| 포스 포 텨스텐 산 | 포스 포 텨스텐 산 | 12501-23-4 | H ₃ PW ₁₂ O ₄₀ | 물리적 특성: 흰색 또는 옅은 노란색 결정, 분해 온도 ~300° C, 밀도 ~4g/cm ³ , 강한 수용성(>1000g/L). 화학적 성질 : 강한 산성 (pKa < 0), 높은 촉매 활성, 강한 산화 환원 및 우수한 안정성. |
| 텨스텐 산 | 규소텨스텐 산 | 12027-38-2 | H ₄ SiW ₁₂ O ₄₀ | 물리적 특성: 무색 또는 담황색 결정, 분해 온도 ~350° C, 밀도 ~4g/cm ³ , 강한 수용성(>1000g/L). 화학적 성질 : 강한 산도, 산화 환원 활성, 우수한 열 안정성, 산 및 염기와 반응하여 텨스텐 염을 형성합니다. 시계 제작 : CTIA GROUP LTD |
| 아연 텨스텐 산염 | 아연 텨스텐 산염 | 13597-56-3 | ZnWO ₄ | 물리적 특성: 백색 결정, 융점 ~1000° C, 밀도 ~7.8g/cm ³ , 물에 불용성. 화학적 성질: 광촉매 활성, 높은 화학적 안정성, 산 및 알칼리 저항, 강한 형광. |
| 텨스텐 몰리브덴 산염 | 텨스텐 몰리브덴 산염 | 13767-33-4 | W 모우(W)없음 | 물리적 특성: 흰색 또는 담황색 결정, 융점 ~950° C, 밀도 4.5g/cm ³ , 물에 불용성. 화학적 성질 : 광촉매 활성, 중간 안정성, 산과 반응하여 텨스텐 산과 몰리브덴 산을 형성합니다. |
| 설명 | CAS 번호 및 기본 특성은 PubChem 및 ChemSpider 와 같은 화학 데이터베이스와 명확한 CAS 번호가 없는 일부 화합물(예: W ₂ S ₃)에서 파생됩니다.)는 비상업화로 인해 포함되지 않습니다. 물리적 특성(예: 융점, 밀도)은 표준 설명서(예: CRC Handbook of Chemistry and Physics) 및 이 책 장에 설명되어 있습니다. 화학적 특성은 정확성을 보장하기 위해 산업 표준(예: GB/T, ASTM) 및 화학 문헌과 결합됩니다. 물리적 특성에는 외관, 융점, 밀도, 용해도 등이 포함되며 화학적 특성에는 반응성, 안정성 및 특수 특성(예: 촉매, 광전자)이 포함됩니다. 분해 온도(예: H ₂ WO ₄ ~250° C)의 경우 융점이 아닌 열분해의 시작점을 나타냅니다. | | | |

부록 : 텨스텐 화학 생산 설비의 사양

텨스텐 화학 물질의 생산에 필요한 장비의 이름, 사양, 기능 설명, 장점 및 단점

1. 광석 가공 및 전처리 장비

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| 장치의 이름입니다 | 기능 | 사양의 예 | 기능 설명 | 장점 | 결점 |
|-----------|---|--|--|---|---|
| 조 크러셔 | 텅스텐 광석은 후속 가공에 적합한 입자 크기로 분쇄됩니다 | 공급 크기: ≤500mm, 방전 크기: 10-50mm, 전력: 55-75kW, 용량: 50-100t/h | 움직이는 턱과 고정 턱의 압출 작용을 통해 큰 텅스텐 광석 (예: Wolframite, scheelite)은 더 작은 입자로 분쇄되어 후속 연삭 또는 화학적 추출에 편리하며 1 차 분쇄 단계에 적합하며 특히 경도가 높은 광석 가공에 적합합니다. | 높은 파쇄 효율, 정질 광석에 적합한 내구성, 낮은 유지 보수 비용 | 높은 소음, 거친 분쇄, 대규모 작업을 위한 높은 에너지 소비 |
| 분 밀 | 분쇄 된 광석은 미세한 입자로 분쇄됩니다 | 筒体直径:1.5-3 m, 转速:20-30 rpm, 功率:75-200 kW, 产能:5-20 t/h | 회전 실린더에서 강구의 충격과 연삭 작용을 통해 분쇄 된 텅스텐 - 물리적 특성 : 광석을 <100 μm 입자로 분쇄하여 광석 전처리에 널리 사용되는 습식 또는 건식 연삭 옵션과 함께 부유 광 또는 침출 공정에 적합한 원료를 제공합니다. | 출력 입자는 작고 다용도(습식/건식)이며 분쇄 크기를 조정할 수 있습니다. | 높은 에너지 소비, 연마 매체, 대량 배치의 느린 처리 |
| 부상능력 기계 | 텅스텐 미네랄과 불순물은 부유선광에 의해 분리됩니다 | 탱크 용량 : 1-10 m³, 교반 력 : 5-15 kW, 공기 흐름 : 0.5-2 m³ / min, 용량 : 2-10 t / h | 화학 부유 선광 제 (예 : 올레산)를 첨가하고 기포를 도입함으로써 텅스텐 광물은 기포 및 부유 표면에 부착되어 맥석에서 분리되고 광석의 순도를 향상 시키며 후속 화학 처리를위한 고급 텅스텐 농축액을 제공합니다. | 높은 분리 효율과 불순물 함량을 줄이기 위한 확장 가능한 설계 | 에이전트는 비용이 많이 들고 숙련된 취급이 필요하며 광석 구성 요소에 민감합니다 |
| 자기 분리기 | 광석에서 자성 불순물(예: 철) 제거 | 자기장 강도: 0.1-1.5 t, 가공 입자 크기: 0-6 mm, 전력: 2-10 kW, 용량: 10-50 t/h | 자기장은 자성 불순물(예: 철 파일링 또는 자철광)을 끌어당기고 텅스텐 광석에서 분리하여 광석의 순도를 향상시키는 데 사용되며, 이는 후속 화학 반응에서 간섭 물질을 줄이기 위해 전처리 단계에서 자주 사용됩니다. | 작동이 간단하고 철 불순물을 효율적으로 제거하며 에너지 소비가 적습니다. 시계 제작 : CTIA GROUP LTD | 자성 불순물만 있고 비자성 불순물에 효과가 없으며 미세 입자에 대한 영향이 제한적입니다. |
| 설명 | <p>데이터 소스: 사양은 화학 공학 장비 설계 매뉴얼, 산업 표준(예: GB 16297-1996, EU IED) 및 교재의 프로세스 설명에서 파생되었으며 일반적인 공급업체 데이터와 결합되었습니다. 기능적 설명과 장점 및 단점은 실용성을 보장하기 위해 텅스텐 화학 물질 생산에서 장비의 실제 적용 시나리오를 기반으로 합니다.</p> <p>쉽게 이해할 수 있도록 공정에서 장비의 특정 역할(예: pyrometallurgical WO₃ 생산을 위한 로스터, WF₆ 정제를 위한 증류탑)을 강조합니다.</p> <p>장단점 분석: 효율성, 내구성 또는 환경 친화성과 같은 기능을 강조하여 올바른 장비를 선택하는 데</p> | | | | |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

도움이 됩니다. 에너지 소비, 유지 관리 또는 운영 복잡성과 같은 문제를 식별하고 실용적인 조언을 제공합니다.

2. 제련 및 화학 반응 장비

| 장치의 이름입니다 | 기능 | 사양의 예 | 기능 설명 | 장점 | 결점 |
|-----------|--|---|---|--|---|
| 굽는 | 텅스텐 농축액은 삼산화 텅스텐 (WO ₃)을 생성하기 위해 고온에서 끓는다. | 온도 범위: 600-1200° C, 용광로 용량: 1-5m ³ , 전력: 100-500kW, 용량: 1-5t/h | 텅스텐 정광의 텅스텐은 고온 공기 산화에 의해 삼산화 텅스텐 (WO ₃)으로 전환되어 pyrometallurgy 에 적합하며 회전 가마 또는 다중 챔버 용광로에서 설계 할 수 있으며 연속 생산을 지원하며 대규모 WO ₃ 준비에 자주 사용됩니다. | 높은 고온 효율, 안정적인 출력, 다양한 광석 유형에 적합 시계 제작 : CTIA GROUP LTD | 높은 에너지 소비, 복잡한 배기 가스 처리 및 대규모 초기 투자 |
| 침출 탱크 | 텅스텐은 산 또는 알칼리 용액으로 침출되어 텅스텐 산염을 형성합니다 | 부피: 5-50m ³ , 교반 속도: 50-200rpm, 재질: 내산 및 내알칼리성(예: 스테인리스강 316L), 가열 전력: 20-50kW | 텅스텐은 용해성 텅스텐 산염(예 : Na ₂ WO ₄ 또는 (NH ₄) ₂ WO ₄ 등)에 용해되어 산(예 : HCl) 또는 염기(예 : NaOH) 용액에 의해 텅스텐 농축액과 반응하여 습식 제련에 적합하며 추출 효율을 향상시키기 위해 교반 및 가열 시스템이 장착되어 있습니다. | 유연한 작동, 높은 추출 속도 및 저급 광석을 처리할 수 있는 능력 | 폐액 처리 비용이 높고 장비 부식 위험이 있으며 반응 시간이 길습니다. |
| 오토 클레이브 | 텅스텐 화합물을 정제하기 위해 고압에서 화학 반응 | 압력: 1-10 MPa, 온도: 100-300 ° C, 부피: 0.5-10 m ³ , 전력: 50-150 kW | 텅스텐 농축액과 용액 사이의 화학 반응은 고압 및 고온 조건에서 가속화되어 고순도 텅스텐 산 (H ₂ WO ₄) 또는 파라 텅스텐 산 암모늄 (APT)을 생성하며, 부식 방지 라이닝(예 : 티타늄 합금)을 장착하여 고순도 제품 생산에 적합합니다. | 높은 정화 효율, 빠른 반응 속도, 고순도 제품 | 장비 비용이 높고 작동이 복잡하며 유지 보수 요구 사항이 높습니다. |
| 불소화 반응기 | 육불화텅스텐(WF ₆) 생산을 위한 기상 반응 장비. | 온도: 300-700° C, 압력: 0.01-1 기압, 재질: HF 내식성(예: 니켈 합금), 가스 흐름: 1-10L/min | 삼산화 텅스텐 (WO ₃)과 불화 수소 (HF)의 기상 반응에 사용되어 정밀 온도 제어 및 내식성 시스템을 갖춘 고순도 육불화 텅스텐 (WF ₆)을 생산하며 반도체 산업의 화학 기상 증착 (CVD)에 널리 사용됩니다. | 고순도 WF ₆ 출력, 정밀 제어, 우수한 내식성 | 비용이 매우 높고 HF 배기 가스 처리가 복잡하며 운영 위험이 높습니다 |
| 설명 | 데이터 소스: 사양은 화학 공학 장비 설계 매뉴얼, 산업 표준(예: GB 16297-1996, EU IED) 및 교재의 프로세스 설명에서 파생되었으며 일반적인 공급업체 데이터와 결합되었습니다. 기능적 설명과 장점 및 단점은 실용성을 보장하기 위해 텅스텐 화학 물질 생산에서 장비의 실제 적용 시나리오를 | | | | |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| |
|---|
| <p>기반으로 합니다.</p> <p>쉽게 이해할 수 있도록 공정에서 장비의 특정 역할(예: pyrometallurgical WO₃ 생산을 위한 로스터, WF₆ 정제를 위한 증류탑)을 강조합니다.</p> <p>장단점 분석: 효율성, 내구성 또는 환경 친화성과 같은 기능을 강조하여 올바른 장비를 선택하는 데 도움이 됩니다. 에너지 소비, 유지 관리 또는 운영 복잡성과 같은 문제를 식별하고 실용적인 조언을 제공합니다.</p> |
|---|

3. 정제 및 분리 장비

| 장치의 이름입니다 | 기능 | 사양의 예 | 기능 설명 | 장점 | 결점 |
|-----------|---------------------------------------|---|---|---|---|
| 필터 누름 | 텅스텐 화합물을 회수하기 위한 고액 분리 | 여과 면적: 10-100m ² , 압력: 0.6-1.6MPa, 전력: 5-15kW, 용량: 1-10t/h | 고압 여과에 의한 텅스텐 산업 용액의 액체에서 고체(예: APT 또는 Na ₂ WO ₄ 결정)를 분리하고, 습식 제련에서 고순도 화합물을 회수하고 건조 전에 제품의 순도를 개선하기 위한 자동 배출 시스템이 장착되어 있습니다. | 높은 분리 효율, 높은 수준의 자동화, 작동하기 쉬운 | 여과포는 착용하기 쉽고 초기 투자가 높으며 점성 물질을 다루는 효과가 제한적입니다 |
| 원심 분리기 | 용액에서 텅스텐 화합물 결정의 분리 | 속도: 1000-5000rpm, 용량: 50-500L, 전력: 10-30kW, 분리 계수: 500-2000G | 텅스텐 화합물 결정(예: APT, Na ₂ WO ₄)은 고속 회전에 의해 생성된 원심력을 사용하여 용액에서 분리되며, 중소 규모 생산에서 빠르고 효율적인 정제를 위해 부식 방지 보울이 장착되어 있습니다. | 빠른 분리, 고순도 결정, 강한 적응성 | 이 장비는 비용이 많이 들고 유지 관리가 복잡하며 입자 크기에 민감합니다 |
| 결정화기 | 텅스텐 화합물의 결정 성장을 조절합니다. | 容 积 : 1-20 m ³ , 温 度 : 20-100 ° C, 搅 拌 速 率 : 50-150 rpm, 冷 却 速 率 : 0.5-2 ° C / min | 균질한 결정은 고순도 생산을 위해 온도, 교반 및 냉각 속도를 정밀하게 제어하여 APT 또는 Na ₂ WO ₄ 와 같은 텅스텐 산업 용액에서 형성되며, 종종 결정 품질을 최적화하기 위해 재순환 냉각 시스템을 사용합니다. | 결정은 고품질과 제어 가능성으로 대량 생산에 적합합니다 | 결정화 시간이 길고 에너지 소비가 높으며 공정 매개변수가 민감합니다. |
| 증류탑 | 휘발성 텅스텐 화합물(예: WF ₆)의 정제. | 塔高 : 5-15 m, 温 度 : 0-200 ° C, 压 力 : 0.01-1 atm, 蒸 馏 能 力 : 0.5-5 L / h | 증류를 통한 WF ₆ 의 휘발성 불순물(예: HF)을 분리하고, 고순도 WF ₆ 생산을 위한 응축 시스템과 내식성 충전제(예: Hastelloy)가 장착되어 있으며, 반도체 | 정확한 분리를 위한 고순도 출력, 휘발성 화합물에 적합 시계 제작 : CTIA GROUP LTD | 장비가 비싸고 에너지 소비가 높으며 설치 및 유지 보수가 복잡합니다. |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| | | | | |
|----|---|---------------------|--|--|
| | | 산업의 까다로운 표준에 적합합니다. | | |
| 설명 | <p>데이터 소스: 사양은 화학 공학 장비 설계 매뉴얼, 산업 표준(예: GB 16297-1996, EU IED) 및 교재의 프로세스 설명에서 파생되었으며 일반적인 공급업체 데이터와 결합되었습니다. 기능적 설명과 장점 및 단점은 실용성을 보장하기 위해 텅스텐 화학 물질 생산에서 장비의 실제 적용 시나리오를 기반으로 합니다.</p> <p>쉽게 이해할 수 있도록 공정에서 장비의 특정 역할(예: pyrometallurgical WO₃ 생산을 위한 로스터, WF₆ 정제를 위한 증류탑)을 강조합니다.</p> <p>장단점 분석: 효율성, 내구성 또는 환경 친화성과 같은 기능을 강조하여 올바른 장비를 선택하는 데 도움이 됩니다. 에너지 소비, 유지 관리 또는 운영 복잡성과 같은 문제를 식별하고 실용적인 조언을 제공합니다.</p> | | | |

4. 건조 및 후처리 장비

| 장치의 이름입니다 | 기능 | 사양의 예 | 기능 설명 | 장점 | 결점 |
|-----------|--|---|---|--------------------------------------|--|
| 회전식 건조기 | 습식 공정에 의해 제조된 텅스텐 화합물의 건조 | 筒体直径:1-2 m, 温度:100-300° C, 功率:20-50 kW, 产能:1-5 t/h | 습식 제조된 텅스텐 화합물(예: WO ₃ , H ₂ WO ₄ 또는 APT)은 실린더와 열풍 순환을 회전시켜 저수분 상태로 건조되며, 대량 연속 생산에 적합한 먼지 회수 장치가 장착되어 있습니다. | 연속 작동, 균일한 건조, 높은 생산 능력 | 에너지 소비가 높고 면적이 넓으며 미세 분말 처리에 미치는 영향이 제한적입니다. |
| 분무 건조기 | 텅스텐 화합물의 용액은 분말로 분무 건조됩니다. | 입구 온도: 150-400° C, 출구 온도: 80-120° C, 스프레이 흐름: 10-100L/h, 전력: 30-100kW | 텅스텐 산업 용액(예: Na WO)은 고압 분무에 의해 뜨거운 공기에 분사되고 효율적인 열 회수 시스템을 갖춘 고 부가가치 제품(예: Nano WO ₃)에 적합한 나노 크기의 분말로 빠르게 건조됩니다. | 입자는 미세하고 균일하며 건조가 빠르며 나노 물질에 적합합니다 | 이 장비는 비용이 많이 들고 많은 에너지를 소비하며 용액의 농도에 민감합니다 |
| 진공 오븐 | 저온 진공에서 건조에 민감한 텅스텐 화합물 | 온도: 50-200 ° C, 진공: 0.01-0.1 MPa, 부피: 50-500 L, 전력: 5-15 kW | 유기 텅스텐 화합물(예: 열 분해 또는 산화를 피하기 위해 저진공 온도에서 W(CO) ₆)을 건조하여 실험실 또는 정밀 생산에서 자주 사용되는 고가 제품의 소량 배치의 후 처리에 적합합니다. | 민감한 물질을 보호하고 균일하게 건조되며 에너지를 덜 소비합니다. | 생산 능력이 제한되고 건조 시간이 길며 대규모 생산에는 적합하지 않습니다. |
| 설명 | <p>데이터 소스: 사양은 화학 공학 장비 설계 매뉴얼, 산업 표준(예: GB 16297-1996, EU IED) 및 교재의 프로세스 설명에서 파생되었으며 일반적인 공급업체 데이터와 결합되었습니다. 기능적 설명과 장점 및 단점은 실용성을 보장하기 위해 텅스텐 화학 물질 생산에서 장비의 실제 적용 시나리오를 기반으로 합니다.</p> <p>쉽게 이해할 수 있도록 공정에서 장비의 특정 역할(예: pyrometallurgical WO₃ 생산을 위한 로스터, WF₆ 정제를 위한 증류탑)을 강조합니다.</p> | | | | |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| | |
|--|--|
| | <p>장단점 분석: 효율성, 내구성 또는 환경 친화성과 같은 기능을 강조하여 올바른 장비를 선택하는 데 도움이 됩니다. 에너지 소비, 유지 관리 또는 운영 복잡성과 같은 문제를 식별하고 실용적인 조언을 제공합니다.</p> |
|--|--|

5. 보조 및 환경 보호 장비

| 장치의 이름입니다 | 기능 | 사양의 예 | 기능 설명 | 장점 | 결점 |
|-----------|---|--|--|------------------------------------|--|
| 수세미 | 생산 시 산성 배기 가스(예: HF, HCl) 처리 | 용량: 1000-10000 m ³ /h, 액체-가스 비율: 2-5 L/m ³ , 재질: 내부식성 PP 또는 스테인리스강, 전력: 10-50 kW | 젯물(예: NaOH) 스프레이로 산성 배기 가스(예: HF, WF ₆ 또는 WCl ₆ , HCl)를 흡수하고 환경 표준(예: GB 16297-1996)을 충족하는 다단계 스크러빙 시스템을 갖추고 환경과 근로자의 건강을 보호합니다. | 효율적인 배기 가스 처리, 부식 방지, 환경 보호 표준에 부합 | 초기 투자가 높고 폐액 처리가 복잡하며 운영 비용이 높습니다. |
| 폐수 처리 시스템 | 폐수에서 텅스텐 이온을 중화하고 제거합니다. | 용량: 1-20 m ³ /h, pH 조정: 6-9, 침전 효율: >99%, 전력: 5-20 kW | 텅스텐 이온은 방류 준수를 보장하기 위해 중화제(예: Ca(OH) ₂) 및 침전제(W < 1mg/L)를 첨가하여 습식 폐수에서 제거되며, 대규모 생산 라인에서 환경 친화적인 처리에 자주 사용되는 침전지 및 필터를 갖추고 있습니다. | 높은 제거 효율, 환경 규정 준수 및 자동 작동 | 높은 투자 및 운영 비용, 큰 설치 공간 및 정기적인 유지 보수 |
| 걸레 | 텅스텐 화합물 분진 수집 | 여과 효율: >99.9%, 풍량: 5000-20000 m ³ /h, 전력: 10-30 kW, 배출: ≤ 10 mg / m ³ | 백 또는 정전기 기술을 사용하여 WO ₃ 또는 APT 생산 시 분진이 공기를 오염시키는 것을 방지하고 작업자의 건강을 보호하며 배출 표준(예: GB 16297-1996 의 경우 ≤ 30mg/m ³)을 준수합니다. | 효율적인 먼지 제거, 쉬운 작동 및 작업자 건강 보호 | 필터 백을 자주 교체하고 초기 비용이 높으며 초미세먼지에 미치는 영향이 제한적입니다. 시계 제작: CTIA GROUP LTD |
| 설명 | <p>데이터 소스: 사양은 화학 공학 장비 설계 매뉴얼, 산업 표준(예: GB 16297-1996, EU IED) 및 교체의 프로세스 설명에서 파생되었으며 일반적인 공급업체 데이터와 결합되었습니다. 기능적 설명과 장점 및 단점은 실용성을 보장하기 위해 텅스텐 화학 물질 생산에서 장비의 실제 적용 시나리오를 기반으로 합니다.</p> <p>쉽게 이해할 수 있도록 공정에서 장비의 특정 역할(예: pyrometallurgical WO₃ 생산을 위한 로스터, WF₆ 정제를 위한 증류탑)을 강조합니다.</p> <p>장단점 분석: 효율성, 내구성 또는 환경 친화성과 같은 기능을 강조하여 올바른 장비를 선택하는 데 도움이 됩니다. 에너지 소비, 유지 관리 또는 운영 복잡성과 같은 문제를 식별하고 실용적인 조언을 제공합니다.</p> | | | | |

부록:

육불화텅스텐(WF₆) 생산설비 목록 전시회

첫째, 핵심 생산 설비

| 장치의 | 기능 | 사양의 예 | 장점 | 결점 |
|-----|----|-------|----|----|
|-----|----|-------|----|----|

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| | | | | |
|---------------|--|--|---|--|
| 이름입니다 | | | | |
| 불소화 반응기 | 텅스텐과 불소 가스(F ₂)의 불소화 반응에 사용되어 WF ₆ 를 제조합니다. | - 재질 : 니켈 기반 합금 - 온도 : 300 ~ 500 °C - 압력 : 상압 ~ 1.5MPa- 부피 : 500 ~ 2000L | 효율적인 연속 생산, 부식 방지 설계 | 장비 비용이 높고 라이닝을 정기적으로 교체해야 합니다. 고온 및 고압은 잠재적인 안전 위험입니다. |
| 가스 응축수 정화 시스템 | WF ₆ 는 저온 응축에 의해 부산물(예: HF)과 분리됩니다. | - 응축 온도 : -20 ~ -50 °C- 재질 : PTFE 라이닝- 처리 용량 : 100 ~ 500kg / h | 고순도(≥99.9%), WF ₆ 저끓는점 특성에 맞게 조정 | 에너지 소비가 높고 저온 냉동 장비가 필요합니다. |
| 가스 압축 및 충전 장비 | 정제된 WF ₆ 는 압축되어 고압 실린더에 채워집니다. | - 压缩压力:3~5MPa- 钢瓶材质:SS316L 或镍基合金- 充装速率:1050L/min | 안정적인 가스 저장 및 운송 보장 | 누출 방지 설계가 필요하며 실린더를 유지 관리하는 데 비용이 많이 듭니다. |

2. 탐지 및 모니터링 장비

| 장치의 이름입니다 | 기능 | 사양의 예 | 장점 | 결점 |
|-------------------------|--|--|--|----------------------------------|
| 휴대용 WF ₆ 검출기 | 누출을 방지하기 위해 환경의 WF ₆ 농도를 실시간으로 모니터링합니다. | - 型号:NH80-WF6/WASP-XM-E-WF6- 量程 :0-10ppm- 精度:±2% F. S. | 휴대용, 청각 및 시각 경보, 데이터 저장 지원(200,000 세트) | 센서의 수명(24개월)이 짧고 정기적으로 보정해야 합니다. |
| 온라인 질량 분석법 | WF ₆ 순도 및 불순물 함량에 대한 온라인 모니터링. | - 검출 한계: 0.1ppm - 사이클 시간: ≤1 분 - 연결 재료: Hastelloy | 고감도, 실시간 피드백 시계 제작 : CTIA GROUP LTD | 이 장비는 고가이며 작동하려면 전문 인력이 필요합니다 |
| 설명 | 장비 선택 제안: 생산 규모에 따라 반응기 부피를 선택합니다(소규모 라인의 경우 500L, 대형 라인의 경우 2000L). 검출기의 감도는 안전 표준(예: WF ₆ 농도 ≤ 1ppm)과 일치해야 합니다. 안전 사양: GB/T 28824 표준에 따라 보호 장비의 견고성과 효과를 정기적으로 테스트하십시오. | | | |

3. 보조 및 안전 장비

| 장치의 이름입니다 | 기능 | 사양의 예 | 장점 | 결점 |
|--------------|---|--|--------------------------|--|
| 배기 가스 처리 시스템 | 미반응 F ₂ 및 부산물(예: HF)을 처리합니다. | - 처리 : NaOH 젯물 흡수탑 - 용량 : 200 ~ 1000m ³ / h - 재질 : FRP / PTFE | 산성 가스의 효율적인 중화, 환경 규정 준수 | 폐기물 처리는 비용이 많이 들고 흡수제는 정기적으로 교체해야 합니다. |
| 방폭 환기 시스템 | 강제 환기는 WF ₆ 축적의 위험을 줄입니다. | - 공기 변화 횟수 : ≥12 회 / 시간- 방폭 수준 : ExdII, BT4 | 인명 안전 확보 및 유독성 가스 회색 | 높은 에너지 소비와 정기적인 유지 보수가 필요합니다. |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| | | | | |
|----------------|--|---|---|--------------------------------|
| 개인 보호 장비 (PPE) | WF ₆ 노출로부터 작업자를 보호합니다. | - 보호복: 완전 밀폐형 플루오로엘라스토머 화학 보호복- 호흡기: 양압 공기 호흡기 (SCBA) | 독성 가스를 효과적으로 분리 시계 제작 : CTIA GROUP LTD | 착용이 불편하고 장기간 작동의 편안함이 좋지 않습니다. |
| 설명 | 장비 선택 제안: 생산 규모에 따라 반응기 부피를 선택합니다(소규모 라인의 경우 500L, 대형 라인의 경우 2000L). 검출기의 감도는 안전 표준(예: WF ₆ 농도 ≤ 1ppm)과 일치해야 합니다. 안전 사양: GB/T 28824 표준에 따라 보호 장비의 견고성과 효과를 정기적으로 테스트하십시오. | | | |

넷째, 자동 제어 시스템

| 장치의 이름입니다 | 기능 | 사양의 예 | 장점 | 결점 |
|------------|--|---|---------------------------|-------------------------------------|
| DCS 제어 시스템 | 반응기 온도, 압력, 유량 및 기타 매개변수에 대한 통합 모니터링. | - 제어 정확도 : ±0.5 % - 통신 프로토콜 : Modbus TCP / IP- 중복 설계 : 듀얼 CPU 핫 스탠바이 | 생산 안정성을 개선하고 인적 오류를 줄입니다. | 초기 투자가 많고 전문적인 프로그래밍 및 유지 보수가 필요합니다 |
| 설명 | 장비 선택 제안: 생산 규모에 따라 반응기 부피를 선택합니다(소형 라인의 경우 500L, 대형 라인의 경우 2000L). 검출기의 감도는 안전 표준(예: WF ₆ 농도 ≤ 1ppm)과 일치해야 합니다. 안전 사양: GB/T 28824 표준에 따라 보호 장비의 견고성과 효과를 정기적으로 테스트하십시오. 시계 제작 : CTIA GROUP LTD | | | |

부록:

이황화 텅스텐(WS₂) 생산 설비의 상세 목록

첫째, 핵심 생산 설비

| 장치의 이름입니다 | 기능 | 사양의 예 | 장점 | 결점 |
|-----------|--|--|---------------------------------|---|
| 불 밀 | 그것은 텅스텐 산화물과 황 분말의 균일한 혼합 및 활성화에 사용됩니다. | 재질 : 스테인레스 스틸 또는 세라믹 라이닝속도 : 200 ~ 500 rpm 용량 : 10 ~ 100L 볼 비율 : 5 : 1 ~ 10 : 1 | 혼합 균일성이 높고 나노 스케일 원료 가공에 적합합니다. | 높은 에너지 소비와 장시간 실행은 분말 응집으로 이어질 수 있습니다. |
| 고온 어닐링로 | WS ₂ 의 합성 반응은 보호 분위기(Ar/N ₂)에서 완료됩니다. | - 온도 범위: 실온 ~ 1200 °C - 온도 제어 정확도: ±1 °C - 캐비티 부피: 50 ~ 500 L - 가스 유량: 5 ~ 20 L/min | 고온에서 우수한 안정성, 정확한 온도 제어 지원 | 장비 비용이 높고 발열체를 정기적으로 교체해야 합니다 시계 제작 : CTIA GROUP LTD |
| 대기 제어 시스템 | 산화 부반응에 대한 불활성 가스 보호 기능을 제공합니다. | - 가스 유형 : 아르곤 / 질소- 압력 제어 : 0.1 ~ 1 MPa- 순도 : ≥99.999 % | 산소를 효과적으로 분리하고 반응의 순도를 보장합니다. | 가스 소비가 높고 운영 비용이 높습니다. |
| 냉각 시스템 | 어닐링 후 재료의 냉각 속도는 WS ₂ | 냉각 속도: 0.5~5 °C/min(제어 가능) 최종 온도: ≤250 °C | 급속 냉각으로 인한 구조적 결함을 | 생산 주기를 연장하기 위해 온도 |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

| | | | |
|----|--|--------|------------------|
| | 결정 구조를 최적화하기 위해 제어됩니다. | 방지합니다. | 제어 장비를 지원해야 합니다. |
| 설명 | <p>생산 공정의 주요 매개변수: 어닐링 온도는 약 650° C에서 엄격하게 제어해야 하며 어닐링 시간은 약 80 분입니다 16. 첨가되는 유황 분말의 양은 유황 공급원이 충분한지 확인하기 위해 원료의 비율(질량 비율 0.05~10)에 따라 동적으로 조정되어야 합니다 16. 안전 요구 사항: 불활성 대기 시스템에는 가스 누출 감지기(예: O₂ 농도 < 1ppm)가 장착되어 있어야 합니다. 과열 위험을 방지하기 위해 고온 장비에는 비상 냉각 장치가 필요합니다.</p> | | |

2. 보조 및 테스트 장비

| 장치의 이름입니다 | 기능 | 사양의 예 | 장점 | 결점 |
|----------------|--|-------------------------------------|---|--|
| 유황 분말 투입 장치 | 첨가되는 유황 분말의 양을 정확하게 제어합니다(질량비 0.05~10). | - 정확도 : ±0.1g- 용량 : 1 ~ 50kg | 제품 일관성을 개선하기 위해 불충분하거나 과도한 유황 공급원을 피하십시오. | 방습 설계가 필요하고 유황 분말은 수분을 흡수하고 응집하기 쉽습니다. |
| X 선 회절분석기(XRD) | WS ₂ 나노시트의 결정 구조와 층 수를 분석했습니다. | - 각도 범위 : 5 ° ~ 80 ° - 해상도 : 0.02 ° | 제품 순도 및 결정 형태의 신속한 식별 | 이 장비는 고가이며 작동하려면 전문 인력이 필요합니다 |
| 주사 전자 현미경(SEM) | 나노시트의 형태와 분산을 관찰합니다. | - 해상도 : 1nm- 가속 전압 : 1 ~ 30kV | 미세구조 시각화 시계 제작 : CTIA GROUP LTD | 시료 전처리가 복잡하고 테스트 환경이 까다롭습니다. |
| 설명 | <p>생산 공정의 주요 매개변수: 어닐링 온도는 약 650° C에서 엄격하게 제어해야 하며 어닐링 시간은 약 80 분입니다 16. 첨가되는 유황 분말의 양은 유황 공급원이 충분한지 확인하기 위해 원료의 비율(질량 비율 0.05~10)에 따라 동적으로 조정되어야 합니다 16. 안전 요구 사항: 불활성 대기 시스템에는 가스 누출 감지기(예: O₂ 농도 < 1ppm)가 장착되어 있어야 합니다. 과열 위험을 방지하기 위해 고온 장비에는 비상 냉각 장치가 필요합니다.</p> | | | |

3. 장비의 장점과 단점의 비교 및 요약

| 장치 유형 | 핵심 이점: | 주요 단점 : |
|-------------|---------------------------|----------------------------------|
| 블 밀 | 효율적인 혼합, 나노 물질 활성화에 적합 | 높은 에너지 소비로 인해 분말 응집이 발생할 수 있습니다. |
| 고온 어닐링로 | 반응 안정성을 보장하기 위한 정밀한 온도 제어 | 초기 투자가 크고 유지 보수 비용이 높습니다. |
| 유황 분말 투입 장치 | 제품 일관성을 개선하고 원료 낭비를 줄입니다. | 방습 설계가 필요하고 작동 환경이 민감합니다. |
| XRD/SEM | 재료 구조 및 특성을 정확하게 특성화 | 장비는 비싸고 전문 기술자에 의존합니다 |

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



en.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatun

1

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서