

# 텅스텐 산화물은 무엇입니까

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Global Leader in Intelligent Manufacturing for Tungsten, Molybdenum, and Rare Earth Industries

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](http://www.ctia.com.cn)

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

## CTIA GROUP 소개

CTIA GROUP LTD 는 CHINATUNGSTEN ONLINE 이 설립한 독립 법인격을 가진 완전 자회사로, 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능화, 통합화, 유연한 설계 및 제조를 추진하는 데 전념하고 있습니다. CHINATUNGSTEN ONLINE 은 1997 년에 설립되었으며, 중국 최초의 텅스텐 제품 전문 사이트인 [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com) 시작으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업에 특화된 중국 최초의 전자상거래 기업입니다. CTIA GROUP 은 텅스텐 및 몰리브덴 분야에서 30 년 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 30 년간 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 20 개 이상의 언어로 된 200 개 이상의 다국어 텅스텐 및 몰리브덴 전문 웹사이트를 구축했으며, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 뉴스, 가격, 시장 분석 페이지가 100 만 페이지 이상에 달합니다. 2013 년 이후 WeChat 공식 계정 "CHINATUNGSTEN ONLINE"은 4 만 건 이상의 정보를 발행하여 거의 10 만 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 ONLINE 의 기술과 경험을 바탕으로 CTIA GROUP 은 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 개발, 시제품 제작, 마무리, 포장, 물류에 이르는 전 과정 통합 서비스를 제공합니다. 지난 30 년간 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 전 세계 13 만 개 이상의 고객에게 50 만 종류 이상의 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 연구개발, 설계, 제조 서비스를 제공하여 맞춤형, 유연하고 지능적인 제조의 기초를 마련했습니다. 이 기초를 바탕으로 CTIA GROUP 은 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능형 제조와 통합 혁신을 더욱 심화하고 있습니다.

CTIA GROUP 의 한스 박사와 그의 팀은 30 년 이상의 업계 경험을 바탕으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류에 관한 지식, 기술, 텅스텐 가격 및 시장 동향 분석을 집필하여 텅스텐 산업과 무료로 공유하고 있습니다. 한스 박사는 1990 년대부터 30 년 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 GROUP 의 팀은 생산 실무와 시장 고객의 요구를 바탕으로 기술 연구 논문, 기사, 업계 보고서를 지속적으로 작성하여 업계 내에서 광범위한 찬사를 받고 있습니다. 이러한 성과는 CTIA GROUP 의 기술 혁신, 제품 홍보, 업계 교류에 견고한 지원을 제공하며, 글로벌 텅스텐 및 몰리브덴 제품 제조 및 정보 서비스 분야에서 리더가 되도록 추진하고 있습니다.



### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

## 디렉토리

### 장 1 소개

- 1.1 배경
- 1.2 연구목적 및 혁신
- 1.3 국내외 연구현황

### 제 2 장 : 텅스텐 산화물의 기본 정보

- 2.1 텅스텐 산화물의 정의
- 2.2 텅스텐 산화물의 형태와 분포
- 2.2 삼산화 텅스텐 및 산소 빈 텅스텐 산화물 / 결합 텅스텐 산화물
- 2.3 삼산화 텅스텐 특성은 산소 함량과 관련이 있습니다.
  - 2.3.1 삼산화 텅스텐의 구조와 산소 함량의 관계
  - 2.3.2 삼산화 텅스텐의 특성과 산소 함량의 관계
  - 2.3.3 삼산화 텅스텐의 제조 및 산소 함량 제어

### 제 3 장 : 텅스텐 산화물의 분류

- 3.1 화학 성분에 따른 산화 텅스텐의 분류
  - 3.1.1 황색 텅스텐 산화물 / 삼산화 텅스텐
  - 3.1.2 오렌지 텅스텐 산화물
  - 3.1.3 블루 텅스텐 산화물
  - 3.1.4 자주색 텅스텐 산화물
  - 3.1.5 백색 텅스텐 산화물
  - 3.1.6 이산화 텅스텐 / 갈색 텅스텐 산화물
- 3.2 결정 구조에 따른 산화 텅스텐의 분류
  - 3.2.1 단사정 텅스텐 산화물
  - 3.2.2 사방정계 텅스텐 산화물
  - 3.2.3 육각형 텅스텐 산화물
  - 3.2.4 입방체 결정질 텅스텐 산화물
- 3.3 물리적 형태에 따른 산화 텅스텐의 분류
  - 3.3.1 산화 텅스텐 나노 입자
  - 3.3.2 텅스텐 산화물 나노 시트
  - 3.3.3 산화 텅스텐 나노 와이어
  - 3.3.4 산화 텅스텐 나노 막대
  - 3.3.5 산화 텅스텐 나노 플라워
  - 3.3.6 산화 텅스텐 피막
  - 3.3.7 텅스텐 산화물 블록
- 3.4 입자 크기에 따른 산화 텅스텐의 분류
  - 3.4.1 굵은 입자 텅스텐 산화물
  - 3.4.2 초 미세 입자 텅스텐 산화물
  - 3.4.3 마이크론 텅스텐 산화물

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- 3.4.4 서브 마이크론 텅스텐 산화물
- 3.4.5 나노 텅스텐 산화물
- 3.4.6 서브 나노 미터 텅스텐 산화물
- 3.5 순도에 따른 산화 텅스텐의 분류
  - 3.5.1 일반 텅스텐 산화물
  - 3.5.2 고순도 텅스텐 산화물

## 제 4 장 : 산화 텅스텐의 구조

- 4.1 텅스텐 산화물의 결정 구조 특성
  - 4.1.1 텅스텐 산화물 결정 구조의 기본 단위와 대칭
  - 4.1.2 산화 텅스텐의 원자 배열
  - 4.1.3 텅스텐 산화물 결정 구조의 결함 및 공석
- 4.2 산화 텅스텐의 결정 구조에 영향을 미치는 요인
  - 4.2.1 산화 텅스텐의 결정 구조에 대한 준비 조건의 영향
    - 4.2.1.1 산화 텅스텐 결정 구조에 대한 반응 온도의 영향
    - 4.2.1.2 산화 텅스텐 결정 구조에 대한 반응 압력의 영향
    - 4.2.1.3 산화 텅스텐 결정 구조에 대한 반응 시간의 영향
    - 4.2.1.4 산화 텅스텐 결정 구조에 대한 반응 분위기의 영향
    - 4.2.1.5 산화 텅스텐 결정 구조에 대한 반응 속도의 영향
    - 4.2.1.6 텅스텐 산화물 결정 구조에 대한 전구체의 영향
    - 4.2.1.7 산화 텅스텐 결정 구조에 대한 용매의 영향
  - 4.2.2 텅스텐 산화물 결정 구조에 대한 외부 자극의 영향
    - 4.2.2.1 텅스텐 산화물 결정 구조에 대한 광학 방사선의 영향
    - 4.2.2.2 텅스텐 산화물 결정 구조에 대한 전기장의 영향
    - 4.2.2.3 텅스텐 산화물 결정 구조에 대한 자기장의 영향
- 4.3 산화 텅스텐 결정 구조와 특성 사이의 본질적인 관계
  - 4.3.1 산화 텅스텐 전자 구조 연결
    - 4.3.1.1 텅스텐 산화물 결정 구조가 전자 수송에 미치는 영향
    - 4.3.1.2 산화 텅스텐 밴드 구조와 결정 구조의 관계
  - 4.3.2 산화 텅스텐 이온 수송 레벨 연결
    - 4.3.2.1 산화 텅스텐 결정 구조가 이온 확산에 미치는 영향
    - 4.3.2.2 텅스텐 산화물 결정의 구조적 안정성에 대한 이온 삽입 / 추출 공정의 영향
  - 4.3.3 텅스텐 산화물 표면 특성의 관계
    - 4.3.3.1 표면 흡착에 대한 산화 텅스텐 결정 구조의 영향
    - 4.3.3.2 산화 텅스텐 결정 구조와 표면 전자 상태 사이의 관계

## 제 5 장 : 텅스텐 산화물의 물리적 및 화학적 특성

- 5.1 텅스텐 산화물의 외관 및 색상
- 5.2 산화 텅스텐의 밀도 / 비중
- 5.3 텅스텐 산화물의 열 안정성
  - 5.3.1 산화 텅스텐의 융점



- 5.3.2 산화 텅스텐의 분해 온도
- 5.3.3 산화 텅스텐의 열팽창 계수
- 5.4 산화 텅스텐의 용해도
- 5.5 산화 텅스텐의 경도 및 기계적 강도
  - 5.5.1 산화 텅스텐의 모스 경도
  - 5.5.2 산화 텅스텐의 압축 강도
  - 5.5.3 산화 텅스텐의 전단 강도
- 5.6 텅스텐 산화물의 비 표면적
- 5.7 텅스텐 산화물의 벌크 밀도
- 5.8 텅스텐 산화물의 광학적 특성
  - 5.8.1 산화 텅스텐의 광 흡수 및 광촉매 특성
  - 5.8.2 산화 텅스텐의 광변색 특성
- 5.9 텅스텐 산화물의 전기적 성질
  - 5.9.1 산화 텅스텐의 반도체 특성
  - 5.9.2 산화 텅스텐의 전기 변색 특성
- 5.10 산화 텅스텐의 열적 특성
  - 5.10.1 산화 텅스텐의 열 안정성
  - 5.10.2 산화 텅스텐의 열팽창 특성
- 5.11 텅스텐 산화물의 가스 감도
- 5.12 산화 텅스텐의 산화 환원 반응
- 5.13 산화 텅스텐의 산 - 염기 반응
- 5.14 산화 텅스텐의 촉매 특성

## 제 6 장 : 텅스텐 산화물의 제조 방법

- 6.1 텅스텐 산화물의 전통적인 제조 방법
  - 6.1.1 산화 텅스텐의 전통적인 제조 방법 - 고온 고상 반응 방법
  - 6.1.2 텅스텐 산화물 - 졸 - 겔 방법 / 텅스텐 산화물의 졸 - 겔 제조 방법의 전통적인 제조 방법
  - 6.1.3 산화 텅스텐의 전통적인 제조 방법 - 열수 법
  - 6.1.4 텅스텐 산화물의 전통적인 제조 방법 - 암모늄 텅스텐 산염 법
  - 6.1.5 텅스텐 산화물의 전통적인 제조 방법 - 텅스텐 산염의 염산 분해 방법
  - 6.1.6 산화 텅스텐의 전통적인 제조 방법 - 파라 텅스텐 산 암모늄의 열분해 방법
- 6.2 텅스텐 산화물의 새로운 제조 방법
  - 6.2.1 산화 텅스텐에 대한 새로운 제조 방법 - 전기 화학 증착 방법
  - 6.2.2 산화 텅스텐에 대한 새로운 제조 방법 - 증기 증착 방법
  - 6.2.3 산화 텅스텐의 새로운 제조 방법 - 생물학적 주형 방법

## 제 7 장 : 텅스텐 산화물 생산 설비

- 7.1 텅스텐 산화물 생산을위한 주요 장비
  - 7.1.1 원료 취급 장비
    - 7.1.1.1 파쇄 및 연삭 장비

- 7.1.1.2 장비 스크리닝 및 등급 지정
- 7.1.2 반응 장비
  - 7.1.2.1 알칼리 가수분해 및 산분해 장비
  - 7.1.2.1 알칼리 가수분해 및 산분해 장비
  - 7.1.2.2 소성 및 열분해 장치
- 7.1.3 분리 및 정화 장비
  - 7.1.3.1 고액 분리 장비
  - 7.1.3.2 결정화 및 재결정화 장비
- 7.2 텅스텐 산화물을위한 보조 생산 설비
  - 7.2.1 자재 취급 장비
    - 7.2.1.1 기계식 운반 장비
    - 7.2.1.2 공압 이송 장비
  - 7.2.2 건조 및 냉각 장비
    - 7.2.2.1 건조 장비
    - 7.2.2.2 냉각 장비
  - 7.2.3 환경 보호 처리 장비
    - 7.2.3.1 폐가스 처리 설비
    - 7.2.3.2 폐수 처리 설비

## 제 8 장 : 텅스텐 산화물의 검출 원리에 관한 연구

- 8.1 텅스텐 산화물 검출 - 분광법
  - 8.1.1 산화 텅스텐 검출 - X 선 형광 분광법 분석
  - 8.1.2 산화 텅스텐 검출 - 라만 분광법
- 8.2 산화 텅스텐 검출 - 전기 화학 분석
  - 8.2.1 산화 텅스텐 검출 - 전압 전류계
- 8.3 기타 텅스텐 산화물 검출 방법
  - 8.3.1 산화 텅스텐 검출 - 열중량 분석

## 제 9 장 : 텅스텐 산화물의 응용 분야

- 9.1 에너지 분야에서 산화 텅스텐의 적용
  - 9.1.1 리튬 이온 배터리에 산화 텅스텐 적용
  - 9.1.2 슈퍼 커패시터에 산화 텅스텐의 적용
  - 9.1.3 수소를 생산하기 위해 광촉매 물 분할에 산화 텅스텐의 적용
- 9.2 환경 분야에서의 산화 텅스텐의 적용
  - 9.2.1 공기 정화에 산화 텅스텐의 적용
  - 9.2.2 하수 처리에 텅스텐 산화물의 적용
- 9.3 스마트 재료 분야에서의 산화 텅스텐 적용
  - 9.3.1 전기 변색 장치에 산화 텅스텐의 적용
  - 9.3.2 가스 센서에 산화 텅스텐 적용
- 9.4 전자 정보 분야에서의 산화 텅스텐의 적용
  - 9.4.1 전계 효과 트랜지스터에 산화 텅스텐의 적용
  - 9.4.2 메모리 장치에 산화 텅스텐 적용

- 9.5 기계 제조 분야에서의 산화 텅스텐의 적용
  - 9.5.1 공구 코팅에 산화 텅스텐의 적용
  - 9.5.2 내마모성 부품에 산화 텅스텐 적용
- 9.6 생물 의학 응용에서의 산화 텅스텐
  - 9.6.1 바이오 센서에 산화 텅스텐 적용
  - 9.6.2 광열 요법에서 산화 텅스텐의 적용
- 9.7 광학 디스플레이 분야에서의 산화 텅스텐의 적용
  - 9.7.1 디스플레이에 산화 텅스텐 적용
- 9.8 촉매 지지체에 산화 텅스텐의 적용
  - 9.8.1 지지 촉매에 산화 텅스텐의 적용
- 9.9 내화 직물 분야에서 텅스텐 산화물의 적용
  - 9.9.1 산업 분야에서 텅스텐 산화물 내화 직물의 적용
  - 9.9.2 일상 생활에서 산화 텅스텐 내화 직물의 적용
  - 9.9.3 대중 교통 분야에서의 산화 텅스텐 내화 직물의 적용
- 9.10 농업 필름에 산화 텅스텐의 적용

## 제 10 장 : 텅스텐 산화물의 안전 및 환경 보호

- 10.1 텅스텐 산화물의 안전성
- 10.2 텅스텐 산화물의 환경 보호
- 10.3 텅스텐 산화물에 대한 안전 데이터 시트 (MSDS)

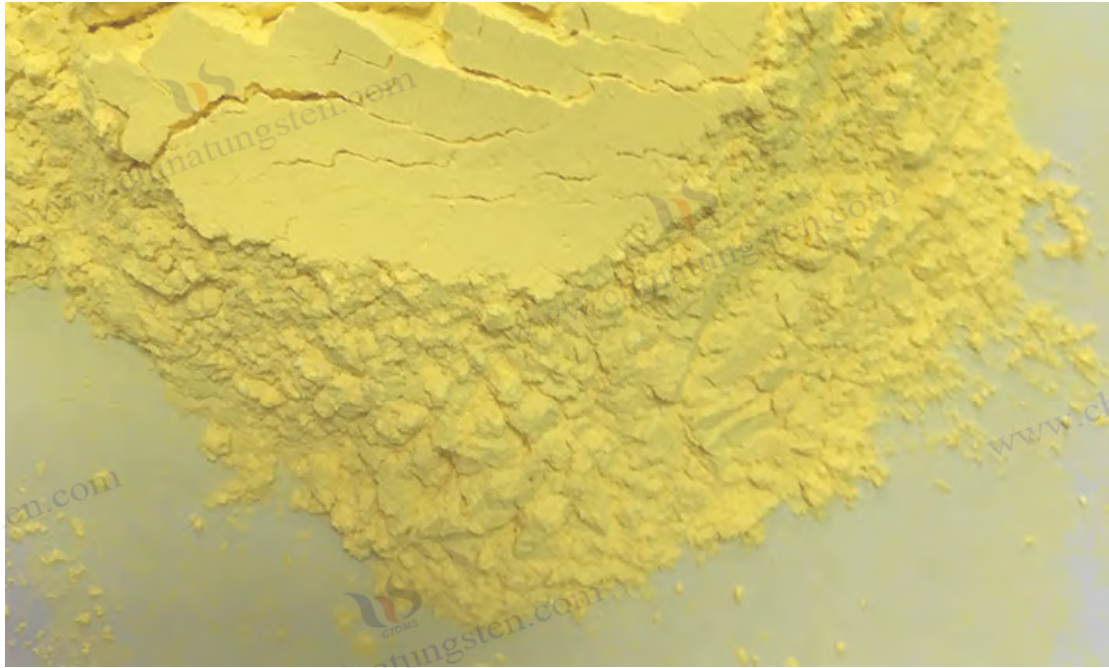
## 제 11 장 : 텅스텐 산화물에 대한 국내 및 외국 표준

- 11.1 중국 국가 표준
- 11.2 국제 표준

## 제 12 장 : 텅스텐 산화물 사실 및 수치

- 12.1 텅스텐 산화물의 주요 사실은 무엇입니까?
- 12.2 텅스텐 산화물의 모든 데이터 (물리 화학적 특성, 생산 및 응용 기술 매개 변수)

부록 : 텅스텐 산화물 용어의 다국어 용어집 (중국어, 영어, 일본어, 한국어)



CTIA GROUP LTD 옐로우 텅스텐 산화물

## 1 장 소개

중요한 전이 금속 산화물 인 텅스텐 산화물 ( $WO_3$ )은 독특한 물리 화학적 특성과 광범위한 응용 가능성으로 인해 재료 과학, 화학 및 공학 분야의 연구 핫스팟이되었습니다.

### 1.1 텅스텐 산화물 배경 연구

텅스텐 산화물의 연구 배경은 산업, 에너지 및 환경 부문의 다양성과 세계 경제에서 텅스텐 자원의 전략적 위치에서 비롯됩니다. 텅스텐은 높은 융점 ( $3422^{\circ}C$ ), 높은 경도 및 화학적 안정성으로 알려져 있으며, 텅스텐의 주요 화합물 중 하나 인 텅스텐 산화물은 텅스텐 금속 및 초경합금 생산의 핵심 중간체 일뿐만 아니라 반도체 특성 (밴드 갭  $2.6-3.0\text{ eV}$ ) 및 광학 특성으로 인해 첨단 기술 분야에서 큰 잠재력을 보여줍니다.

### 산업 및 자원 배경

텅스텐은 전 세계 매장량이 약 330 만 톤에 달하는 희귀 금속의 중요한 대표자이며 그 중 중국이 60 % 이상을 차지하며 텅스텐의 최대 생산국이자 수출국입니다. 텅스텐 뉴스에 따르면 텅스텐에 대한 전 세계 수요는 2025 년에 연간 100,000 톤에 달할 것으로 예상되며, 그 중 텅스텐 산화물 생산이 중요한 부분을 차지합니다. 전통적으로 텅스텐 산화물은 텅스텐 분말을 붓거나 블프 라마이트 및 셀라이트를 추출 하여 텅스텐 구리, 텅스텐 와이어 및 기타 제품을 만드는 데 사용됩니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



그러나 산업 기술의 업그레이드와 함께 그 적용은 새로운 에너지, 전자 정보 및 환경 보호 분야로 확장되었습니다.

## 과학 및 기술적 배경

텅스텐 산화물의 반도체 특성은 광 촉매, 전기 변색 및 센서 분야에서 독특한 이점을 제공합니다. 그것은 적당한 밴드 갭을 가지고 있으며 가시 광선을 흡수하여 수소 수소를 분해하거나 오염 물질을 분해하는 데 사용되는 광생성 전자 정공 쌍을 생성할 수 있습니다. 또한 투명에서 진한 파란색으로 변할 수 있는 전기 변색 특성으로 인해 스마트 윈도우 및 디스플레이에 이상적인 소재입니다. 나노 기술의 부상은 텅스텐 산화물 연구를 더욱 발전시켰으며, 열수 및 기상 증착과 같은 텅스텐 기술의 발전을 통해 합성 나노 입자는 더 높은 비 표면적과 활성을 나타냅니다.

## 환경 및 사회적 맥락

지속 가능한 개발에 대한 세계적인 강조와 함께, 환경 보호 분야에서 산화 텅스텐의 적용은 많은 관심을 끌었습니다. 예를 들어, 광촉매 특성은 폐수 처리 및 공기 정화에 사용할 수 있으며 내화성 직물에 적용하면 안전성이 향상됩니다. 동시에 텅스텐 가격의 변동(2025 년 US\$20-30/kg 예상)은 자원의 타이트한 수요와 공급을 반영하여 효율적이고 저렴한 생산 공정에 대한 연구를 주도합니다. 또한, 광열 요법과 같은 산화 텅스텐의 생물 의학 응용은 건강 분야에서 새로운 기회를 열어줍니다.

따라서 텅스텐 산화물 연구의 배경은 산업 기반에 의해 지원되고, 기술 혁신에 의해 주도되며, 사회적 요구에 의해 주도되는 다학문 간 학제 간성에 뿌리를 두고 있습니다. 이러한 배경은 그 특성과 응용에 대한 심층적인 연구를 위한 견고한 기반을 제공합니다.

## 1.2 산화 텅스텐의 목적과 혁신에 관한 연구

텅스텐 산화물에 대한 연구의 목적은 성능 최적화 경로를 체계적으로 탐색하고 응용 분야를 확장하며 기존의 기술적 병목 현상을 해결하는 것입니다. 이 연구는 결정 구조, 형태 및 기능에 대한 이해를 심화할 뿐만 아니라 혁신적인 수단을 통해 실제 응용 분야에서 효율성과 지속 가능성을 향상시키는 것을 목표로 합니다.

**목적 :** 특성과 구조 사이의 관계를 밝히기 위해 : 산화 텅스텐의 결정 구조 (예 : 단사 및 정방정계)에 대한 반응 속도 및 합성 조건의 영향을 분석함으로써 물리적 및 화학적 특성의 조절 메커니즘을 명확히하고 성능 최적화를 위한 이론적 근거를 명확히했다. **응용 분야 확장 :** 텅스텐 산화물을 전통적인 산업 용도에서 새로운 에너지 (예 : 배터리, 슈퍼 커패시터), 스마트 재료 (예 : 전기 변색 장치) 및 생물 의학 (예 : 바이오 센서)으로 확장하여 여러 분야의 요구를 충족시킵니다. **생산 공정 최적화 :** 저비용의 환경 친화적 인 합성 방법 (예 : 파라 텅스텐 산 암모늄을

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



사용하는 친환경 공정)을 개발하여 산화 텅스텐의 산업적 타당성을 개선하고 에너지 소비 및 폐기물 배출을 줄입니다. 기술적 병목 현상 해결: 광촉매 효율이 낮고 주기 안정성이 좋지 않기 때문에 실제 적용에서 경쟁력을 높이기 위해 계획을 개선할 것을 제안합니다.

**혁신: 반응** 속도가 결정 구조를 조절합니다: 이 연구는 처음으로 산화 텅스텐 결정 형태 및 결합에 대한 반응 속도의 영향을 체계적으로 탐구하고 역학 및 열역학 분석을 사용하여 특정 결정 형태의 제어 합성을 위한 전략을 제안합니다. 예를 들어, 반응성이 높은 입방체 결정은 광촉매를 위한 빠른 산화에 의해 생성됩니다. 높은 안정성이 요구되는 장치를 위한 단사정 결정의 저속 합성.

다기능 복합 재료 : 텅스텐 플라스틱, 텅스텐 구리 등과 텅스텐 산화물을 혁신적으로 합성하여 내마모성 전자 제품 및 내화 직물에 적합한 유연하고 전도성이 높은 신소재를 개발합니다. 나노 기술 통합 : 텅스텐 산화물 나노는 텅스텐 입자로 제조되어 비 표면적 ( $>200 \text{ m}^2 / \text{g}$ )과 광열 변환 효율 ( $>50 \%$ )을 최적화하여 기존 재료의 성능 한계를 뛰어 넘습니다.

친환경 생산 경로: 에너지 소비 ( $2\text{kWh/kg}$  에서  $1\text{kWh/kg}$  로)를 줄이고 폐수 배출 제로를 달성하기 위해 폐기물 재활용(예: 텅스텐 바늘 산화)과 결합된 저온 열수 방법 ( $<200^\circ \text{C}$ )을 제안합니다. 이러한 혁신은 기존 연구의 격차를 메우고, 실험실에서 산업화로 산화 텅스텐을 촉진하고, 다중 분야 응용 분야에 대한 새로운 아이디어를 제공하는 것을 목표로 합니다.

### 1.3 국내외 텅스텐 산화물의 연구 현황

국내외에서 산화 텅스텐의 연구는 상당한 진전을 이루었지만 초점과 수준에는 차이가 있습니다. 외국 연구는 기초 이론과 첨단 기술 응용에 초점을 맞추고 있는 반면 중국은 산업 생산과 자원 활용에서 우위를 점하고 있습니다. 다음은 국내외에서 2 차원으로 연구 현황을 검토한 것이다.

#### 국내 연구 현황

풍부한 텅스텐 자원과 강력한 산업 기반을 갖춘 중국은 텅스텐 산화물 연구에서 선도적 인 위치에 있습니다. 이 연구는 생산 공정의 최적화와 기존 응용 프로그램의 확장에 중점을 둡니다.

**생산 공정** : 텅스텐은 황색 텅스텐 및 청색 텅스텐의 대규모 생산을 위해 고효율 로스팅 방법 ( $800^\circ \text{C}$ , 수율  $>95 \%$ )과 습식 화학 방법 (순도  $>99.9 \%$ )을 개발했습니다. 최근 몇 년 동안 텅스텐은 광촉매에 적용되는  $10\text{-}100 \text{ nm}$ 의 입자 크기를 가진 나노 텅스텐 산화물 ( $180^\circ \text{C}$ , 24 시간)의 열수 합성 을보고했습니다.

**응용 분야 :** 텅스텐 카바이드 : 국내 연구는 2000 HV 의 경도를 가진 절삭 공구 및 내마모성 부품에 사용되는 텅스텐 산화물 환원에 의한 텅스텐 분말의 제조에 중점을 둡니다. 새로운 에너지: Tsinghua University 및 기타 기관은 이론 용량이 693mAh/g 이고 사이클 수명이 > 500 회인 리튬 이온 배터리에 적용하는 방법을 모색했습니다. 광촉매 : 중국 과학원 (Chinese Academy of Sciences)은 수소 생산 효율이 400  $\mu\text{mol} / \text{h} \cdot \text{g}$  인 텅스텐 산화물 /  $\text{TiO}_2$  복합 재료를 개발했습니다.

**단점 :** 국내 연구의 대부분은 산업 생산에 중점을 두고 있으며, 기초 이론(예: 결정 구조와 성능의 관계)이 약하고, 나노 스케일 응용 및 환경 보호 기술에 대한 연구가 늦게 시작되었습니다.

## 해외 연구 현황

외국 연구는 미국, 일본 및 유럽을 중심으로 이루어지고 있으며, 특히 나노 기술 및 스마트 재료 분야에서 산화 텅스텐의 이론적 탐구 및 첨단 기술 응용에 중점을 두고 있습니다.

**기초 연구 :** MIT (Massachusetts Institute of Technology)는 DFT 계산을 통해 산화 텅스텐 밴드 갭과 결정 형태 사이의 관계를 밝혔으며, 입방 결정 밴드 갭 (2.6 eV)이 단사 결정 (2.8 eV)보다 낮다는 것을 증명하여 광촉매 최적화를 안내했습니다.

일본 : 도쿄 대학은 센서에 사용하기 위해 ppb 수준까지 검출 한계가있는 산화 텅스텐 나노 와이어의 가스 감지 특성을 연구했습니다.

**응용 분야 :** 전기 변색 : 유럽 연구 기관은 스마트 윈도우의 경우  $>10^4$  배의 사이클 수명을 가진 텅스텐 산화물 박막 (CVD 증착)을 개발했습니다. 생물 의학 : 스탠포드 대학은 나노 텅스텐 산화물의 광열 효과 (효율 > 40 %)를 사용하여 종양을 치료합니다. 촉매 작용: 독일의 막스 플랑크 연구소(Max Planck Institute)는 수소화 전환율이 >95%인 Pt / 텅스텐 산화물 촉매를 보고했습니다.

**장점과 단점 :** 외국 연구는 이론적 깊이와 고급 응용 분야에서 선두를 달리고 있지만 자원 부족으로 인해 생산 규모가 작고 비용이 높으며 (약 30 달러 / kg) 비용이 높습니다.

**국내외 비교:** 연구 초점: 산업 생산 및 전통 응용에 대한 국내 편향, 기초 연구 및 첨단 기술 분야에 대한 외국의 초점. 기술 수준: 외국은 나노 기술 및 성능 최적화에서 더 발전하고 있으며 국내 국가는 생산 및 비용 관리에서 우수합니다. 개발 동향: 양 당사자는 국내 스크랩 재활용(텅스텐 히터 재사용) 및 외국 플렉시블 전자 장치와 같은 친환경 합성 및 다기능 응용 분야를 향해 발전하고 있습니다.

CTIA GROUP LTD

Yellow Tungsten Trioxide (YTO, WO<sub>3</sub>) Product Introduction

### 1. Product Overview

CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide is produced by high-temperature calcination process of ammonium paratungstate, which meets the requirements of GB/T 3457-2013 "Tungsten Oxide" first-class product. WO<sub>3</sub> is widely used in the preparation of tungsten powder, cemented carbide, tungsten wire and ceramic colorants. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality yellow tungsten trioxide products to meet the needs of powder metallurgy and industrial manufacturing.

### 2. product characteristics

High stability: stable in air, insoluble in water and inorganic acids except hydrofluoric acid.  
 Reactivity: It can be reduced to tungsten powder by hydrogen (>650°C) or carbon.  
 Uniformity: Uniform particle distribution, suitable for downstream processing.

### 3. Product specifications

|                               |                                                                                                           |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| index                         | CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide first-class product standard                                      |
| WO <sub>3</sub> content (wt%) | ≥99.95                                                                                                    |
| Impurities （ wt% , max. ）     | Fe≤0.0010, Mo≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005 |
| Particle size                 | 1-10（μm, FSSS）                                                                                            |
| Loose density                 | 2.0-2.5（g/cm <sup>3</sup> ）                                                                               |
| Customization                 | Particle size or impurity limits can be customized according to customer requirements                     |

### 4. Packaging and warranty

Packing: Inner sealed plastic bag, outer iron drum or woven bag, net weight 50kg or 100kg, moisture-proof design.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including WO<sub>3</sub> content, impurity analysis, particle size (FSSS method), loose density and moisture data.

### 5. Procurement information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Phone: +86 592 5129696

For more [yellow tungsten oxide](http://www.tungsten-powder.com) information, please visit the China Tungsten online website [www.tungsten-powder.com](http://www.tungsten-powder.com). For more market and real-time information, please follow the WeChat public account "China Tungsten Online".



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서





CTIA GROUP LTD 옐로우 텅스텐 산화물

## 제 2 장 : 텅스텐 산화물의 기본 정보

### 2.1 텅스텐 산화물의 정의

텅스텐 산화물 텅스텐 산화물은 텅스텐 (W)과 산소 (O)로 구성된 화합물의 부류로, 전이 금속 산화물의 범주에 속합니다. 텅스텐은 융점이 높고 밀도가 높은 금속으로 일반적으로 울프람마이트 또는 스켈라이트 형태는 자연에서 발견되는 반면, 산화 텅스텐은 체련 및 화학 처리를 통해 광석에서 추출되는 중요한 중간 생성물입니다. 화학적으로 안정하고 다양한 산화 상태를 가지며, 그 중 가장 일반적인 것은 종종 황색 텅스텐 산화물이라고도 하는 +6 가 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )입니다.

화학적 관점에서, 텅스텐 산화물의 정의는  $WO_3$ 에 국한되지 않고  $WO_{2.9}$ ,  $WO_2$ 와 같은 다양한 비 정수 화합물을 포함합니다. · 등, 이러한 산화물의 산소 함량은 약간 다르며 구조와 특성에 풍부한 변화를 형성합니다. 색상은 노란색, 파란색에서 자주색까지 다양하며 이는 텅스텐의 산화 상태 및 결정 구조와 밀접한 관련이 있습니다. 산업에서 텅스텐 산화물은 텅스텐 금속, 텅스텐 분말, 텅스텐 와이어 및 기타 텅스텐 제품 생산의 핵심 원료이며 텅스텐 화학 물질 (예 : 텅스텐 산염)의 중요한 전구체이기도 합니다.

텅스텐 산화물의 물리적 특성도 매우 인상적입니다 : 일반적으로  $1470^{\circ}C$  이상의 융점, 약  $7.16 g/cm^3$ 의 밀도, 높은 경도 및 내식성을 가지고 있습니다. 이러한 특성으로 인해 고온 환경이나 열악한 조건에서 안정적입니다. 응용 프로그램의 관점에서, 텅스텐 산화물은 산업의 기본 재료 일뿐만 아니라 반도체 특성으로 인해 광 촉매, 센서 및 스마트 유리에 널리 사용됩니다. 텅스텐 산화물은 텅스텐 과학

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



연구의 핵심 연구 대상일뿐만 아니라 텅스텐 기술 개발의 초석이라고 할 수 있습니다.

전반적으로, 산화 텅스텐은 화학적 조성뿐만 아니라 자연에서의 존재 형태, 생산 공정에서의 역할 및 광범위한 응용 가능성을 포함하는 다목적 화합물입니다. 그것은 광석과 고부가가치 텅스텐 제품 사이의 다리이며 현대 기술의 필수 불가결한 부분입니다.

## 2.2 텅스텐 산화물의 형태와 분포

텅스텐 계열의 중요한 구성원 인 텅스텐 산화물은 다양한 형태로 존재하며, 이는 자연에서 광석 형태로 간접적으로 구현 될 수 있으며 인공 합성을 통해 다양한 형태로 제시 될 수도 있습니다. 자연에서 텅스텐은 주로 볼프 램 석과 셀 라이트의 형태로 존재하며, 그 중 볼프 램 나이트는 철-망간 텅스텐 산염이고 셀 라이트는 칼슘 텅스텐 산염입니다. 이 광석은 텅스텐 산화물로 전환되기 전에 선광, 침출, 소성 및 기타 과정을 거칩니다. 중국은 세계 매장량의 60% 이상을 차지하는 가장 큰 텅스텐 광물 국가입니다.

|                 |        |        |        |                                 |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 等级: A1          |        |        |        | WO <sub>3</sub> 含量(%min): 99.90 |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 密度:2.4-3.0g/cm3 |        |        |        | 费氏粒度: 12-20um                   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 杂质(%max)        |        |        |        |                                 |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 元素              | Al     | As     | Bi     | Ca                              | Cd     | Cr     | Co     | Cu     | Fe     | K      | Mg     | Mn     |
| MAX             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0001 | 0.0010                          | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0003 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0007 | 0.0010 |
| 元素              | Mo     | Na     | Ni     | P                               | Pb     | S      | Sb     | Si     | Sn     | Ti     | V      | /      |
| MAX             | 0.0020 | 0.0010 | 0.0007 | 0.0007                          | 0.0010 | 0.0007 | 0.0005 | 0.0010 | 0.0002 | 0.0010 | 0.0010 | /      |

황색 텅스텐 산화물 화학 성분 목록

인공 제제에서, 텅스텐 산화물은 다양한 화학적 및 물리적 형태로 존재합니다. 가장 일반적인 것은 삼산화 텅스텐 (WO<sub>3</sub>)이며, 이는 밝은 노란색 분말 형태의 황색 텅스텐 산화물입니다. 또한, 청색 텅스텐 산화물과 자주색 텅스텐 산화물이 있으며, 산소 함량이 W0 보다 약간 낮기 때문에 색상이 다릅니다. 이러한 비 정수 산화물은 일반적으로 환원 분위기 하에서 제조되며 텅스텐 분말 및 텅스텐 금속의 생산에 널리 사용됩니다. 또한, 텅스텐 산화물은 특히 텅스텐 기술 및 텅스텐 학술 연구에서 나노 입자, 박막 등의 형태로 존재할 수 있으며, 나노 스케일 텅스텐 산화물은 높은 비 표면적으로 인해 많은 주목을 받았다.

분포의 관점에서 볼 때, 텅스텐 산화물의 산업 생산은 주로 중국, 러시아 및 캐나다와 같은 텅스텐 자원이 풍부한 지역에 집중되어 있습니다. CTIA GROUP LTD 제품은 텅스텐 산화물에서 텅스텐 와이어, 텅스텐 구리 등에 이르기까지 많은 분야를 포괄합니다. 실험실에서 텅스텐 산화물은 강력한 제어 가능한 형태를 가진 암모늄

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

파라 텅스텐 산염 (APT) 또는 암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT)의 소성에 의해 제조됩니다.

## 2.3 삼산화 텅스텐 및 산소 빈 텅스텐 산화물 / 결합 텅스텐 산화물

삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )은 텅스텐 산화물 계열 중 가장 안정한 형태이며 일반적으로 황색 텅스텐 산화물의 형태로 발견됩니다. 그러나, 산소 공극이 그 구조에 나타날 때, 청색 텅스텐 산화물 및 자주색 텅스텐 산화물과 같은 텅스텐 산화물 또는 결합 상태 텅스텐 산화물의 소위 산소 공극이 형성됩니다. 이러한 결합이있는 산화물은 산소 함량이 감소하기 때문에 삼산화 텅스텐과 매우 다른 특성을 나타냅니다.

삼산화 텅스의 결정 구조는 일반적으로 단사정 결정 시스템이며, 텅스텐 원자는 6 개의 산소 원자로 둘러싸여 있으며, 이는 코앵글러 또는 코래터럴리티에 의해 3 차원 네트워드로 연결된  $WO_6$  팔면체를 형성합니다. 산소 결핍이 발생하면  $WO_6$  단위의 일부가 산소 원자를 잃고 결정 격자가 왜곡되어 색상과 성능이 변합니다. 예를 들어, 파란색 텅스텐 산화물의 산소 공극은 밴드 갭을 좁히고 광 흡수를 향상시키는 반면, 자주색 텅스텐 산화물은 산소 함량이 낮기 때문에 독특한 자주색을 띕니다. 이러한 결합이있는 산화물은 강한 환원성 때문에 산업에서 텅스텐 분말을 생산할 때 중간체로 자주 사용됩니다.

응용 분야에서 산소 공극은 결합이있는 텅스텐 산화물에 더 높은 전도성과 촉매 활성을 부여합니다. 예를 들어, 텅스텐 지식 연구에 따르면 산소가 없는 텅스텐 산화물은 광촉매 물 분할 또는 가스 감지에 탁월한 반면 삼산화 텅스텐은 안정성으로 인해 스마트 유리 및 전기 변색 장치에 더 적합합니다. 이 둘의 차이점은 텅스텐 연구에서도 뜨거운 주제인 전자 구조에 대한 산소 공극의 깊은 영향에서 비롯됩니다.

준비 측면에서, 삼산화 텅스텐은 일반적으로 파라 텅스텐 산 암모늄의 고온 소성에 의해 제조되는 반면, 결합이있는 산화 텅스텐은 수소와 같은 환원 분위기 하에서 처리해야 합니다. 이러한 준비 조건의 차이는 산소 결핍 수를 직접적으로 결정하며, 이는 다시 최종 제품의 사용에 영향을 미칩니다.

### 2.3.1 삼산화 텅스텐의 구조와 산소 함량의 관계

삼산화 텅스텐의 결정 구조는 그 기능의 기초이며, 산소 함량은 격자 대칭 및 결합 상태를 변화시켜 구조의 안정성과 다양성에 직접적인 영향을 미친다. 다음은 결정 형태, 결합 및 형태라는 세 가지 관점에서 관계를 분석합니다.

#### 결정 형태와 산소 함량 사이의 관계

삼산화 텅스텐의 결정 형태는 단사정, 사교도, 정방체 및 입방체를 포함하며 그 형성은 산소 함량과 밀접한 관련이 있습니다. 이상적인 화학량론적

비율( $W:O=1:3$ )에서 단사정 결정은 실온에서 안정한 상이며 격자 매개변수는  $a=7.306\text{\AA}$ ,  $b=7.540\text{\AA}$ ,  $c=7.692\text{\AA}$  및  $\beta=90.91^\circ$  입니다. 산소 함량이 감소 할 때  $WO_{2.98}$  또는  $WO_{2.72}$ , 결정 구조는 산소 공극의 증가에 의해 변형됩니다. 예를 들어:

- **높은 산소 함량 ( $WO_3$ )** : 산소 원자는 격자 위치를 완전히 차지하여 단사 정계 또는 사방 정계 인 경향이있는 규칙적인  $WO_6$  팔면체 네트워크를 형성합니다.
- **낮은 산소 함량( $WO_{3-x}$ )**: 산소 결핍은 격자 대칭을 방해하여 정방형 또는 입방체 결정과 같은 준안정 상이 우세합니다. 연구에 따르면 산소 수치가  $WO_2$ 로 감소하면 입방체 결정 비율이 크게 증가하고 결정면 간격( $d_{100}$ )이  $0.38\text{nm}$ 에서  $0.39\text{nm}$ 로 변경되었습니다.

텅스텐 연구는 X 선 회절 (XRD)에 의해 산소 함량 ( $\pm 0.1$ )의 작은 변화가 결정 형태 전이를 유발할 수 있음을 확인했습니다. 예를 들어, 환원 분위기에서 제조 된 삼산화 텅스텐은 정방계 특성 피크를 나타내는 반면, 단사정 결정은 산화 조건에서 우세합니다.

### 격자 결합 및 산소 함량

산소 함량은 삼산화 텅스텐의 결합 밀도에 직접적인 영향을 미칩니다. 주요 결합 유형인 산소 공극은 텅스텐의 산화 상태( $W^{6+}$ 에서  $W^{5+}$  또는  $W^{4+}$ )를 변화시켜 격자 안정성에 영향을 미칩니다.

- **충분한 산소** : 결정 격자에 명백한 결함이 없으며,  $WO_6$  팔면체는 질서 정연하게 배열되어 있으며, 결정은 노란색 (노란색 텅스텐)입니다.
- **산소 고갈**: 산소 결핍은 격자가 뒤틀리고 청색 텅스텐 산화물( $W_{20}O_{58}$ )을 형성하도록 하는 국소 응력을 도입합니다. 전자 상자성 공명(EPR) 디스플레이,  $WO_2$  9 단위의 산소 공석 농도 는  $10^{18}\text{cm}^{-3}$ 에 도달할 수 있으며, 이는  $WO_3(<10^{16}\text{cm}^{-3})$ 보다 훨씬 높습니다.

투과 전자 현미경 (TEM) 분석은 산소 결핍이 많은 삼산화 텅스텐 입자의 경계가 흐려지고 결정면 사이의 간격이 크게 변동 ( $\pm 0.02\text{nm}$ )하여 구조의 무질서를 반영하는 것으로 나타났습니다.

### 미세형태학과 산소 함량

산소 함량은 또한 삼산화 텅스텐의 지형에 영향을 미칩니다. 주사 전자 현미경(SEM)은 다음과 같이 밝혔습니다.

- **높은 산소 함량** : 입자는 충분한 결정 성장으로 인해 크고( $20-50\text{ }\mu\text{m}$ ) 규칙적인 플레이크 또는 막대입니다.
- **낮은 산소 함량** : 입자가 작고 ( $1-5\text{ }\mu\text{m}$ ) 모양이 불규칙한 다면체이며 입자 번식은 산소 손실에 의해 제한됩니다. 예를 들어, 낮은 산소 압력 하에서

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

텅스텐 분말의 산화에 의해 생성된 삼산화 텅스텐 입자는 높은 산소 압력의 1/5 크기에 불과합니다.

### 2.3.2 삼산화 텅스텐의 특성과 산소 함량의 관계

광학적, 전기적, 촉매적 특성과 같은 삼산화 텅스텐의 물리·화학적 특성은 산소 함량과 밀접한 관련이 있습니다. 산소 함량의 변화는 전자 구조 및 결합 상태에 영향을 미쳐 기능적 성능을 크게 변경합니다.

#### 광학적 특성

산소 함량은 삼산화 텅스텐의 밴드 갭과 색상에 직접적인 영향을 미칩니다.

- **높은 산소 함량( $WO_3$ ):** 밴드 갭은 2.8–3.0eV이며, 이는 전자 전이가 주로  $O2p$ 와  $W5d$  오비탈 사이에서 발생하기 때문에 연한 노란색입니다. UV-Vis 스펙트럼은 흡수 에지가 400 및 450 nm 사이임을 보여줍니다.
- **낮은 산소 함량( $WO_{3-x}$ ):** 산소 결핍은 결합 에너지 수준을 도입하고, 밴드 갭은 2.4–2.6eV로 좁혀지며, 색상은 파란색 또는 청색-검정색으로 변합니다. 예를 들어,  $WO_{2.9}$  흡수 가장자리는 500nm까지 적색이고 근적외선 흡수가 향상됩니다(> 700nm 차폐율 50% 증가).

이러한 광학적 변화로 인해 전기 변색 및 광열 응용 분야에서 차별화를 나타냅니다. 산소 함량이 높은 삼산화 텅스텐은 광 투과율 (80 % → 10 %)의 변화가 커서 스마트 창에 적합합니다. 산소 함량이 낮은 블루 텅스텐은 강한 적외선 흡수로 인해 농업용 필름 절연에 사용됩니다.

#### 전기적 특성

산소 함량은 삼산화 텅스텐 전도성 및 반도체 특성을 조절합니다.

- **높은 산소 함량 :** 산소가 충분한  $WO$ 는 캐리어 농도가 낮고 ( $10^1$ – $10^{16}cm^{-3}$ ) ( $10^3$ – $10^4 \Omega \cdot cm$ )이 높은 n형 반도체로 절연 또는 고 저항 응용 분야에 적합합니다.
- **낮은 산소 함량:** 산소 결핍은 자유 전자 농도( $10^{18}$ – $10^{19}cm^{-3}$ )를 증가시키고 저항률은  $10^{-1}$ – $10^1 \Omega \cdot cm$ 로 감소합니다. 예를 들어,  $WO_2$  °C의 전도도는  $W^{5+}$ 의 기여로 인해  $WO_3$ 보다 2배 더 높습니다. 이러한 특성으로 인해 배터리 전극(예: 리튬 이온 배터리, 용량 693mAh/g) 및 센서에 더 유리합니다.

#### 촉매 성능

산소 함량은 삼산화 텅스텐의 광촉매 및 화학적 촉매 활성화에 큰 영향을 미칩니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



- **광촉매** : 산소 결핍이 많은 삼산화 텅스텐은 좁은 밴드 갭과 많은 결합 상태로 인해 분리 효율이 높습니다. 예를 들어,  $WO_2$ 의 광촉매 수소 생산 속도는  $WO_3$ 보다 높습니다( $300 \mu\text{mol/h} \cdot \text{g}$   $WO_3$  ( $300 \mu\text{mol} / \text{h} \cdot \text{g}$ )).
- **화학적 촉매**: 산소 공급은 표면 산도를 개선하기 위한 활성 부위로 사용됩니다. 예를 들어, 수소화 반응 (>90 %)에서  $WO_3$ 의 전환율은 루이스 산 부위의 밀도가 증가하기 때문에  $WO_2$ 의 (80 %)보다 우수합니다.

## 열 안정성

산소 함량이 높은 삼산화 텅스텐은  $1700^\circ\text{C}$ 까지 더 나은 열 안정성과 분해 온도를 갖는 반면, 산소 결핍  $WO_2$ 는  $1000^\circ\text{C}$  이상에서  $WO_2$  또는  $W$ 로 쉽게 감소합니다. 이 차이는 내화성 물질과 같은 고온 환경에서의 적합성에 영향을 미칩니다.

### 2.3.3 삼산화 텅스텐의 제조 및 산소 함량 제어

삼산화 텅스텐의 제조 방법은 산소 함량을 결정하며 산소 함량의 정확한 제어는 특정 구조 및 특성을 달성하는 데 중요합니다. 다음은 일반적인 준비 과정과 산소 함량의 조절 메커니즘을 분석합니다.

#### 로스팅 방법

- **프로세스** : 산소 분위기 ( $500-800^\circ\text{C}$ )에서 텅스텐 금속 또는 텅스텐 분말을 볶아서 준비 합니다.
- **산소 함유량 통제**:
  - **높은 산소 함량** : 산소 분압  $> 0.2\text{atm}$ , 온도  $600^\circ\text{C}$ , 반응 시간 2 시간,  $WO_3$  생성, 순도  $> 99.9\%$ .
  - **낮은 산소 함량** : 산소 분압  $< 0.05\text{atm}$  또는 환원제 (예 :  $H_2$ )를 첨가하여  $WO_{2.9}$  또는 청색 텅스텐 ( $W_{20}O_{58}$ )을 생성합니다. 예를 들어, 텅스텐 회사는 산소 지수가 2.72-2.9 인  $N_2 / O_2$  혼합 분위기 (022 비율 10 %)에서 블루 텅스텐을 준비합니다.
- **특징** : 간단하고 효율적이며 산업 생산에 적합하지만 산소 함량의 정확도는 대기 제어에 의해 제한됩니다.

#### 열수 방식

- **프로세스** : 텅스텐 산 나트륨 또는 텅스텐 산을 전구체로 사용하여 수용액 ( $150-250^\circ\text{C}$ , 12-48 시간)에서 합성합니다.
- **산소 함유량 통제**:
  - **높은 산소 함량** : 산화제 (예 :  $H_2O_2$ )가 첨가되고 pH  $> 7$  이 첨가되어  $WO_3$ 의 형성을 보장하며 결정 형태는 단사 정입니다.
  - **낮은 산소 함량** : pH  $< 5$  를 조정하거나 환원제 (예 : 에탄올)를 첨가하여 풍부한 산소 공급을 가진  $WO_{3-x}$ 를 생성하면 결정 형태가 입방체 결정으로 편향됩니다. 예를 들어, 텅스텐 기술은 산소 함량이  $180^\circ\text{C}$ , 에탄올 / 물 (1 : 1)로 제어된다고보고합니다.<sup>85</sup>- $WO_3$ .

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- **특징** : 제어 가능한 입자 크기 (10-100nm), 나노 삼산화 텅스텐에 적합하지만 수율이 낮습니다.

#### 기상 증착(CVD)

- **공정** : 텅스텐 필라멘트 또는 WF 는 원료로 사용되며 산소 분위기 (400-700 ° C) 하에서 증착됩니다.
- **산소 함유량 통제**:
  - o **높은 산소 함량** : 산소 유속이 100 sccm> 조밀 한 WO<sub>3</sub> 필름이 생성됩니다.
  - o **낮은 산소 함량**: 산소 흐름(<20sccm)을 감소시키거나 H<sub>2</sub>를 도입하여 WO<sub>3-x</sub>를 생성합니다. 예를 들어, 낮은 산소 압력에서 텅스텐 바늘에 의해 증착 된 박막은 산소 함량이 WO<sub>2.9</sub> 인 청흑색입니다.
- **특징** : 필름 준비에 적합하고 산소 함량의 균일 성이 좋지만 비용이 많이 듭니다.

#### 산소 함량 감지 및 검증

- **화학 분석**: 계량 후 WO<sub>3</sub>에서 W 로 환원과 같은 산소 함량의 중량 측정
- **스펙트럼 분석**: XPS 는 W<sup>5+</sup>/W<sup>6+</sup> 비율을 감지하는 데 사용되었으며 EPR 은 산소 결핍 농도를 측정하는 데 사용되었습니다.
- **구조적 특성화**: XRD 및 TEM 은 결정 형태의 변화를 확인합니다.



CTIA GROUP LTD 옐로우 텅스텐 산화물

## 제 3 장 : 텅스텐 산화물의 분류

### 3.1 화학 성분에 따른 산화 텅스텐의 분류

산화 텅스텐은 텅스텐 (W)과 산소 (O)로 구성된 화합물의 한 종류이며, 그 화학적 조성은 그 유형과 특성을 결정합니다. 텅스텐의 산화 상태와 산소 함량에 따라 텅스텐 산화물은 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ ), 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ ) 및 다양한 비 내분형 화합물을 포함한 다양한 유형으로 분류 할 수 있습니다. 이러한 화합물은 텅스텐 화학의 다양성을 반영하여 색상, 구조 및 응용 프로그램이 다양합니다. 화학 성분에 따른 분류는 아래에 설명되어 있습니다.

자연에서 텅스텐은 주로 볼프 램 석과 scheelite 의 형태로 발견되며, 이는 정제 후 텅스텐 산화물로 전환됩니다. 산업적으로 텅스텐 산화물은 텅스텐 금속, 텅스텐 분말 및 텅스텐 와이어와 같은 텅스텐 제품 생산에서 중요한 중간체입니다. 그 화학 성분은 물리적 특성에 영향을 미칠뿐만 아니라 텅스텐 기술 및 텅스텐 연구에서의 응용 잠재력을 결정합니다. 예를 들어, 산소 함량의 작은 변화로 인해 색상이 노란색에서 파란색 또는 보라색으로 변할 수 있으며, 이는 텅스텐의 산화 상태 및 전자 구조와 밀접한 관련이 있는 현상입니다.

또한, 텅스텐 산화물의 제조 방법은 또한 화학 성분에 영향을 미칠 것입니다. 예를 들어, 다른 대기에서 암모늄 파라 텅스텐 산염 (APT)을 소성함으로써 산소 함량이 다른 산화물을 얻을 수 있습니다. 이러한 유연성으로 인해 산화 텅스텐은 산업 및 연구에 널리 적용 할 수 있습니다. 화학 성분의 몇 가지 주요 유형은 아래에 자세히 설명되어 있습니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

### 3.1.1 황색 텅스텐 산화물 / 삼산화 텅스텐

삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )으로도 알려진 황색 텅스텐 산화물은 텅스텐 산화물 계열의 가장 일반적이고 안정적인 형태입니다. 텅스텐의 화학 성분은 +6 산화 상태이며 산소 함량은 이론상 최대치에 도달하므로 생생한 노란색을 띕니다. 이 색상은 에너지 밴드 갭(약 2.5-2.8eV)에서 파생되어 자외선과 부분적으로 가시광선을 흡수할 수 있습니다.

황색 텅스텐 산화물의 제조는 일반적으로 공기 중 고온에서 암모늄 파라 텅스텐 산염 또는 텅스텐 산의 소성에 의해 얻어진다. 물리적 특성에는 높은 용점( $1473^{\circ}C$ ), 고밀도( $7.16g/cm^3$ ) 및 우수한 화학적 안정성이 포함되어 있어 열악한 환경에서도 구조적으로 손상되지 않은 상태로 유지됩니다. 결정 구조 측면에서, 삼산화 텅스텐은 단사정 결정 시스템에 의해 지배되고, 텅스텐 원자는 6 개의 산소 원자로 둘러싸여  $WO_6$  팔면체를 형성하여 우수한 전기적 및 광학적 특성을 제공합니다.

응용 프로그램 측면에서, 황색 텅스텐 산화물은 전기장의 작용에 따라 노란색에서 파란색 또는 회색으로 변할 수 있는 전기 변색 특성으로 인해 스마트 유리에 널리 사용됩니다. 또한 유기 오염 물질을 분해하는 데 사용할 수 있는 광촉매의 중요한 물질입니다.

옐로우 텅스텐 산화물은 안정성과 다양성의 조합에서 독특합니다. 텅스텐 화학 물질의 중간체이든 하이테크 분야의 직접 응용 프로그램이든, 그것은 대체 할 수 없는 가치를 보여주었습니다.

### 3.1.2 오렌지 텅스텐 산화물

오렌지 텅스텐 산화물은 텅스텐 산화물의 덜 언급 된 형태이며 종종 특정 제조 조건에서 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )의 변형으로 간주됩니다. 그것은 황색 텅스텐 산화물과 동일한 화학 조성을 갖지만 입자 크기, 산소 공석 또는 미량 불순물과 관련이 있을 수 있는 주황색을 띕니다.

오렌지 텅스텐 산화물의 제조는 일반적으로 파라 텅스텐 산 암모늄을 소성 할 때와 같은 과도기 조건에서 발생하며, 온도는  $400-500^{\circ}C$  사이에서 제어되거나 산소 공급이 충분하지 않은 환경에서 발생합니다. 결정 구조는 여전히 단사정 결정 시스템에 의해 지배되지만 표면 결함 또는 입자 형태의 차이로 인해 광 산란이 변경되어 주황색을 띠게 될 수 있습니다. 연구에 따르면 (텅스텐 아카데미와 관련하여) 이러한 색상 변화는 화학적 특성을 크게 변경하지 않지만 광학 흡수 특성에 영향을 미칠 수 있습니다.

응용 프로그램 측면에서 주황색 텅스텐 산화물은 광 촉매, 센서 및 기타 분야에서 사용할 수 있는 노란색 텅스텐 산화물과 유사합니다. 그러나 불안정한 제조 조건으로



인해 업계에서 별도로 생산되는 경우는 거의 없으며 일반적으로 삼산화 텅스텐의 중간 상태로 존재합니다. 텅스텐 시장에서의 위치는 다른 유형만큼 중요하지는 않지만 특정 실험 연구에서 여전히 탐구 할 가치가 있습니다.

오렌지 텅스텐 산화물의 특수성은 텅스텐 산화물의 구조와 특성 사이의 관계 연구에 중요한 단서를 제공하는 전이성에 있습니다.

### 3.1.3 블루 텅스텐 산화물

블루 텅스텐 산화물은 삼산화 텅스텐보다 산소 함량이 약간 낮은 정수 텅스텐 산화물입니다. 파란색은 전자 구조를 변경하여 에너지 밴드 갭을 좁히고 가시 영역으로의 광 흡수 범위를 확장하는 산소 결핍의 존재에서 비롯됩니다.

블루 텅스텐 산화물은 일반적으로 수소와 같은 환원 분위기 하에서 암모늄 과라 텅스텐 산염 또는 삼산화 텅스텐을 가열하여 제조됩니다. 결정 구조는  $WO_3$ 와 유사하지만 산소 결핍은 국부 왜곡을 일으켜 전도성과 촉매 활성을 증가시킵니다. 물리적 특성면에서 황색 텅스텐 산화물보다 감소하기 쉽고 텅스텐 분말 생산의 중간체로 자주 사용됩니다.

응용 분야에서, 블루 텅스텐 산화물은 높은 활성으로 인해 가스 센서 및 광열 재료에 사용됩니다.  $NO_2$  및 기타 가스에 대한 민감도가 높으며 환경 보호 분야에서 큰 잠재력을 가지고 있습니다. 또한, 텅스텐 화학 물질의 원료로 사용될 수 있으며 텅스텐 구리와 같은 복합 재료로 추가 가공 될 수 있습니다.

블루 텅스텐 산화물의 매력은 기능성 재료 분야에서 독특하게 만드는 결함 상태 특성에 있습니다.

### 3.1.4 자주색 텅스텐 산화물

자주색 텅스텐 산화물 은 산소 함량이 낮은 텅스텐 산화물이며, 자주색은 산소 공극의 농도가 높기 때문입니다. 화학 성분은  $WO_3$ 와  $WO_2$  사이이며 텅스텐의 산화 상태는 부분적으로 +6 미만입니다.

준비시, 자주색 텅스텐 산화물은 수소에서 삼산화 텅스텐의 고온 처리와 같은 더 강한 환원 조건에서 생성되어야한다. 결정 구조는 복잡하고 산소 공극은 결정 격자의 심각한 왜곡을 일으키지만 여전히 특정 안정성을 유지합니다. 블루 텅스텐 산화물보다 감소하기 쉽고 고순도 텅스텐 분말의 생산에 선호되는 원료입니다.

응용 프로그램 측면에서, 자주색 텅스텐 산화물은 산소 공극이 성능에 미치는 영향을 연구하기 위해 텅스텐 연구에 자주 사용됩니다. 또한 밴드 갭을 더욱 좁히고 광반응성이 더 강하기 때문에 광촉매 및 전기화학 분야에서 잠재력을 가지고 있습니다.

자주색 텅스텐 산화물의 독특한 색상과 특성으로 인해 텅스텐 산화물 계열의 “성격 학교”가 됩니다.

### 3.1.5 백색 텅스텐 산화물

백색 텅스텐 산화물은 전통적인 의미의 텅스텐 산화물의 유형이 아니라 종종 나노 또는 고순도와 관련된 특정 조건에서 삼산화 텅스텐의 변형입니다. 그것의 화학 성분은 여전히  $WO_3$ 이지만, 극히 작은 입자 또는 표면 효과로 인해 산란광이 향상되고 흰색으로 나타납니다.

준비시, 백색 텅스텐 산화물은 암모늄 메타 텅스텐 산염 또는 용매 열 제제의 저온 분해에 의해 제조 될 수있다. 그 결정 구조는 황색 텅스텐 산화물의 결정 구조와 일치하지만, 나노 스케일 크기로 인해 광학 특성이 변합니다. 물리적으로  $WO_3$ 의 높은 안정성을 유지하지만 특정 표면적 및 활성면에서 우수합니다.

응용 분야에서, 백색 텅스텐 산화물은 높은 활성으로 인해 광촉매 및 나노 코팅에 사용됩니다. 텅스텐 시장에서는 거의 별도로 언급되지 않지만 고부가가치 재료로서의 잠재력을 가지고 있습니다. 백색 텅스텐 산화물의 특수성은 텅스텐 산화물 응용에 대한 새로운 방향을 열어주는 나노 특성에 있습니다.

### 3.1.6 이산화 텅스텐 / 갈색 텅스텐 산화물

갈색 텅스텐 산화물이라고도 알려진 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ )은 텅스텐의 +4 산화 상태에서 텅스텐 산화물입니다. 산소 함량이 가장 낮고 짙은 갈색을 띠며  $WO_3$ 와 자연적으로 큰 차이가 있습니다.

준비시, 이산화 텅스텐은 강한 환원 조건 (예 : 고온 수소)에서 삼산화 텅스텐에 의해 생성된다. 결정 구조는 단사정 결정 시스템이지만  $WO_4$  장치는  $WO$ 와 다르게 연결되어 전기 전도성이 높습니다. 물리적으로 여전히 최대  $1700^{\circ}C$ 의 용점을 갖지만 화학적 안정성은  $WO_3$ 보다 낮습니다.

응용 분야에서 이산화 텅스텐은 텅스텐 금속 생산의 중간체로 자주 사용되며 전기적 특성으로 인해 전극 재료에도 사용됩니다 (텅스텐 연구 참조). 텅스텐 화학 물질에서의 역할은 기본적이지만 필수 불가결합니다. 낮은 산화 상태와 독특한 특성을 가진 이산화 텅스텐은 산화 텅스텐의 분류를 풍부하게 합니다.

## 3.2 결정 구조에 따른 산화 텅스텐의 분류

산화 텅스텐의 결정 구조는 그 특성을 결정하는 핵심 요소이며, 다양한 결정 형태에 따라 단사정, 직교, 육각형 및 입방체와 같은 다양한 유형으로 나눌 수 있습니다. 이러한 결정 형태의 형성은 온도, 압력 및 준비 과정과 밀접한 관련이 있으며, 각

구조는 산화 텅스텐에 고유 한 물리적 및 화학적 특성을 부여합니다. 이러한 다형체의 특성과 그 응용은 아래에 자세히 설명되어 있습니다.

### 3.2.1 단사정 텅스텐 산화물

단사정 결정 형태는 실온에서 삼산화 텅스텐 (즉, 황색 텅스텐 산화물)의 주요 형태입니다. 이 결정 형태의 구조는  $WO_6$  팔면체로 구성되며, 이는 비대칭 3 차원 네트워크를 형성하기 위해 각도 연결로 연결됩니다. 결정 격자의 비대칭으로 인해, 단사정 텅스텐 산화물은 높은 안정성과 우수한 특성을 나타내므로 실제 응용 분야에서 가장 일반적인 형태입니다.

단사정 텅스텐 산화물은 일반적으로 2.5-2.8 eV 사이의 밴드 갭과 우수한 광학 및 전기적 특성을 갖는다. 그 안정성은 스마트 유리 분야에서 빛을 발하며 전기 변색 효과를 통해 가역적인 색상 변화를 가능하게 합니다. 또한, 광촉매 분야에서 단사정 텅스텐 산화물은 자외선과 일부 가시 광선의 흡수 능력으로 인해 유기 오염 물질의 분해 촉매로 자주 사용됩니다. 산업에서는, 그것은 또한 암모늄 파라 텅스텐 산염의 소성에 의한 텅스텐 분말의 제조를위한 핵심 원료입니다.

단사정 텅스텐 산화물의 적용은 구조와 성능의 완벽한 균형으로 인해 텅스텐 산화물 제품군의 "주력"입니다.

### 3.2.2 사방정계 텅스텐 산화물

사방 정계 텅스텐 산화물은 더 높은 온도 (예 : 300-500 ° C)에서 형성된 결정 구조입니다. 단사정 결정 형태와 비교하여,  $WO_6$  팔면체의 배열은 더 대칭적이며, 결정 격자의 대칭성이 향상된다. 이러한 구조적 변화는 사방정계 형태가 특정 특성, 특히 광촉매 분야에서 고유한 이점을 나타낼 수 있도록 합니다.

사방 정계 텅스텐 산화물은 표면에 더 개방 된 구조와 더 많은 활성 부위를 가지고 있으며, 이는 광촉매 반응에서보다 효율적으로 오염 물질을 흡착 및 분해 할 수 있습니다 (텅스텐 아카데미 참조). 그 준비는 일반적으로 특정 온도에서 삼산화 텅스텐의 상 변형 또는 텅스텐 산의 분해 조건을 제어함으로써 달성됩니다. 단사정보다 약간 덜 안정적이지만 특정 응용 분야에서 잘 수행됩니다. 산화 텅스텐의 과도기 형태 인 사방 정계 결정 형태는 단사정 결정 형태만큼 산업에서 널리 사용되지는 않지만, 특히 고성능 촉매 개발에서 그 잠재력은 여전히 더 탐구 될 필요가 있습니다.

### 3.2.3 육각형 텅스텐 산화물

육각형 텅스텐 산화물은 특수 제조 방법 (예 : 열수법)에 의해 얻어진 결정 구조이며, 그 형태는 일반적으로 나노 막대 또는 나노 튜브 형태입니다. 이 결정

형태의  $WO_6$  팔면체는 육각형 대칭 방식으로 배열되어 개방 채널 구조를 형성하며, 이는 이온 삽입 및 수송에 이상적입니다.

육각형 텅스텐 산화물의 독특한 구조는 배터리 및 센서 분야에서 상당한 이점을 제공합니다. 예를 들어, 리튬 이온 배터리에서 개방 채널은 이온 확산 속도를 증가시켜 배터리의 사이클링 성능을 향상시킵니다 (텅스텐 연구 참조). 가스 센서에서 육각형 나노 구조는 비표면적을 증가시키고 가스 분자에 대해 더 높은 감도를 나타냅니다. 또한, 암모늄 메타 텅스텐 산염의 열수 합성에 의해 제조 될 수도 있으며, 공정은 고도로 제어 할 수 있습니다. 높은 활성과 특별한 형태를 가진 육각형 텅스텐 산화물은 나노 기술 분야에서 텅스텐 산화물의 적용에 대한 광범위한 가능성을 제공합니다.

### 3.2.4 입방체 결정질 텅스텐 산화물

입방 텅스텐 산화물은 고온 조건 (예 :  $900^{\circ}C$  이상)에서 형성된 결정 구조이며,  $WO_6$  팔면체 배열은 가장 높은 대칭을 달성하여 입방 대칭 격자를 나타냅니다. 이 구조의 대칭은 이론적으로 완벽하지만 실제로는 열역학적 불안정성으로 인해 덜 일반적입니다.

입방체 결정질 텅스텐 산화물의 제조는 종종 고온 및 고압에서 삼산화 텅스텐의 가공과 같은 극한 조건을 필요로 한다. 밴드갭 및 전기적 특성은 단사정 결정 형태와 다르지만 실제 적용에서 안정성이 충분하지 않아 제한됩니다. 이 연구에서 입방체 결정 형태는 산화 텅스텐의 상 변환 법칙과 이론적 특성을 탐구하고 결정 구조와 특성 간의 관계를 이해하기 위한 데이터 지원을 제공하는 데 더 많이 사용됩니다. 높은 대칭성과 희소성을 가진 입방 텅스텐 산화물은 텅스텐 산화물 결정 구조의 다양성을 보여주며 적용 시나리오는 제한적이지만 여전히 학술 연구에서 중요한 대상입니다.

## 3.3 물리적 형태에 따른 산화 텅스텐의 분류

산화 텅스텐의 물리적 형태는 응용 다양성의 중요한 구체화이며, 서로 다른 입자 크기, 형태 및 구조에 따라 나노 입자, 나노 시트, 나노 와이어, 나노 막대, 나노 플라워, 박막 및 벌크와 같은 다양한 유형으로 나눌 수 있습니다. 이러한 형태의 차이는 물리적 및 화학적 특성에 영향을 미칠뿐만 아니라 텅스텐 기술 및 텅스텐 연구에서의 특정 용도를 직접 결정합니다. 다음은 각 물리적 형태의 특성, 준비 방법 및 적용 시나리오에 대해 자세히 설명합니다.

### 3.3.1 산화 텅스텐 나노 입자

산화 텅스텐 나노 입자는 입자 크기가 1-100 나노 미터인 구형 또는 구형 입자를 말하며 일반적으로 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)이 지배합니다. 크기가 작기 때문에 비표면적이 크게 증가하여 벌크 재료와 매우 다른 특성을 나타냅니다. 나노



입자의 제조는 일반적으로 화학적 침전 또는 파라 텅스텐 산 암모늄의 저온 소성에 의해 이루어지며, 이는 간단하고 제어 가능합니다.

나노 입자 텅스텐 산화물의 광학적 특성은 양자 효과에 의해 향상되며, 밴드 갭은 약간 변할 수 있으며, 물을 쪼개거나 유기 오염 물질을 분해하는 것과 같은 광촉매 분야에서 일반적으로 사용됩니다. 전기적으로 비표면적이 높기 때문에 가스 센서에 탁월하여 NO<sub>2</sub> 또는 H<sub>2</sub>S와 같은 가스에 빠르게 반응할 수 있습니다. 또한, 그것은 또한 다음과 같이 사용될 수 있습니다 : 텅스텐 분말텅스텐 제사용을위한 전구체.

실제 응용에서, 텅스텐 산화물 나노 입자는 균일 성과 분산성으로 인해 텅스텐 구리 또는 텅스텐 고무와 같은 복합 재료에 종종 도핑되어 성능을 향상시킵니다. 그것의 나노 특성은 텅스텐 시장, 특히 나노 기술에 의해 주도되는 고급 부문에서 관심의 원천이되었습니다.

산화 텅스텐 나노 입자는 높은 활성과 쉬운 가공으로 인해 나노 물질 연구의 스타 형태가되었습니다.

### 3.3.2 텅스텐 산화물 나노 시트

산화 텅스텐 나노 시트는 나노 미터 두께와 최대 마이크론 크기의 가로 치수를 가진 2 차원 구조입니다. 이 시트 형태는 일반적으로 용매 또는 박리, 예를 들어 텅스텐 산 용액에서 성장하여 준비됩니다. 나노 시트의 결정 구조는 대부분 단사정 또는 사방정계 결정 형태이며 노출 표면이 큼니다.

나노 시트 텅스텐 산화물의 장점은 촉매 반응에 매우 적합한 2 차원 특성과 풍부한 표면 활성 부위에 있습니다. 연구에 따르면 (텅스텐 학술 참조) 염료의 광촉매 분해 또는 물의 수소 광분해에서 벌크 재료보다 효율적이라는 것이 밝혀졌습니다. 또한 라멜라 구조는 리튬 배터리 전극과 같은 전기화학적 에너지 저장 분야에서 더 많은 이온 삽입 부위를 제공할 수 있는 잠재력을 제공합니다.

응용 분야에서, 텅스텐 산화물 나노 시트는 기계적 유연성과 전기적 특성으로 인해 유연한 전자 장치를 제조하는 데에도 사용할 수 있습니다. 또한 산화몰리브덴과 같은 다른 재료와 혼합하여 고성능 센서를 만들 수도 있습니다. 2 차원 특성과 높은 활성을 가진 산화 텅스텐 나노 시트는 기능성 재료 개발에 대한 새로운 아이디어를 제공합니다.

### 3.3.3 산화 텅스텐 나노 와이어

산화 텅스텐 나노 와이어는 나노 미터 범위의 직경과 수 마이크론 또는 그 이상의 길이를 가진 1 차원 구조입니다. 제조 방법에는 기상 증착 법과 열수 법이 있으며, 암모늄 메타 텅스텐 산염이 원료로 자주 사용되며, 반응 조건을 제어하여 길쭉한

선형 구조를 성장시킵니다. 다형체는 합성 환경에 따라 대부분 단사정 또는 육각형입니다.

나노 와이어 텅스텐 산화물은 높은 종횡비와 단방향 전도성으로 인해 전자 장치에 탁월합니다. 예를 들어, 전계 효과 트랜지스터의 채널 재료 또는 가스 센서의 고감도 감지에 사용할 수 있습니다(텅스텐 연구 참조). 그것의 1 차원 구조는 또한 라인을 따라 광생성 캐리어의 더 짧은 경로로 인해 광촉매의 효율성에 기여합니다.

산업 응용 분야에서, 텅스텐 산화물 나노 와이어는 텅스텐 필라멘트의 나노 스케일 전구체로 또는 텅스텐 화학 물질의 개발을 위해 추가로 처리 될 수 있습니다. 그 형태는 또한 기계적 특성을 향상시키기 위해 텅스텐 플라스틱과 결합하는 것과 같은 플렉시블 디스플레이 및 나노 복합재에 잠재적으로 사용됩니다. 산화 텅스텐 나노 와이어는 1 차원 특성과 우수한 특성으로 인해 나노 기술의 중요한 구성원이되었습니다.

### 3.3.4 산화 텅스텐 나노 막대

산화 텅스텐 나노 막대는 1 차원 구조라는 점에서 나노 와이어와 유사하지만 길이가 짧고 종횡비는 일반적으로 10 미만입니다. 그 준비는 주로 텅스텐 산 나트륨 또는 삼산화 텅스텐을 원료로 사용하고 pH 값과 온도를 조정하여 형태를 제어하는 열수 또는 용매 열 방법을 사용합니다. 결정 형태는 주로 육각형 또는 단사정입니다.

텅스텐 나노로드 산화물은 1 차원과 높은 안정성이 특징으로되어 이온 삽입 응용 분야에 적합합니다. 배터리 분야에서는 막대와 같은 구조로 전극 재료의 사이클링 성능을 향상시킬 수 있습니다. 또한, 적당한 표면적과 쉬운 분산으로 인해 광촉매에서도 잘 수행됩니다.

응용 측면에서 텅스텐 산화물 나노 막대는 텅스텐 산 염 기반 촉매를 제조하거나 텅스텐 히터의 나노 스케일 성분으로 사용할 수 있습니다. 또한 열전도율을 향상시키기 위해 텅스텐 구리와 혼합할 수 있습니다. 산업적으로 CTIA GROUP LTD는 새로운 에너지 분야에서의 잠재력에 큰 관심을 보였습니다. 적당한 크기와 다양성을 가진 산화 텅스텐 나노 막대는 1 차원 재료 중에서 실용적인 선택이되었습니다.

### 3.3.5 산화 텅스텐 나노 플라워

산화 텅스텐 나노 플라워 (tungsten oxide nanoflowers)는 나노 시트 또는 나노 막대에 의해 꽃과 같은 형태로 조립 된 3 차원 계층 구조로, 일반적으로 열수 또는 자체 조립 방법으로 제조됩니다. 그 원료는 텅스텐 산 또는 암모늄 메타 텅스텐 산염일 수 있으며, 이는 반응 시간과 첨가제를 제어하여 형성됩니다. 결정 형태는 대부분 단사정 또는 육각형입니다.

나노 플라워 텅스텐 산화물의 가장 큰 특징은 매우 높은 비 표면적과 다공성 구조로 촉매 분야에서 상당한 이점이 있습니다. 예를 들어, 오염 물질의 광촉매 분해 또는 전기 촉매 수소 생산에서 매우 높은 활성을 나타냅니다 (Tungsten Academic 참조). 또한 꽃과 같은 구조로 가스 흡착 용량이 향상되어 고감도 센서에 적합합니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물 나노 플라워는 공기 정화와 같은 환경 처리 또는 텅스텐 화학 물질의 기능성 첨가제로 사용될 수 있습니다. 그 아름다운 형태와 실용적인 사용은 점차 텅스텐 시장에서 주목을 받고 있습니다. 복잡한 구조와 고성능으로 산화 텅스텐 나노 플라워는 나노 물질 중 "예술 작품"이되었습니다.

### 3.3.6 산화 텅스텐 피막

산화 텅스텐 박막은 나노 미터에서 마이크로 미터까지의 두께를 가진 2 차원 거시적 형태이며 일반적으로 스퍼터링, 화학 기상 증착 (CVD) 또는 졸 - 겔 방법으로 제조됩니다. 그것의 화학 성분은 삼산화 텅스텐에 의해 지배되며, 결정 형태는 대부분 단사정 또는 직교입니다.

박막 텅스텐 산화물의 전기 변색 특성은 핵심 강점이며, 스마트 유리 및 디스플레이 장치에 사용되어 전기장을 통해 색상 변화를 제어 할 수 있습니다. 또한, 태양 전지용 전자 수송층과 같은 광전자 장치에서 광범위한 응용 분야를 가지고 있습니다. 필름의 높은 평탄도와 안정성으로 인해 대규모 통합에 적합합니다.

산업적으로 텅스텐 산화막은 텅스텐 제품의 표면 코팅에 자주 사용되거나 텅스텐 구리와 결합하여 복합 재료를 제조합니다. 산화 텅스텐 필름은 평탄도와 기능성으로 인해 박막 기술의 핵심 재료입니다.

### 3.3.7 텅스텐 산화물 블록

텅스텐 산화물 블록은 거시적 크기의 고체 형태를 말하며, 이는 일반적으로 분말 압착 및 성형 후 고온 소결에 의해 제조됩니다. 그것의 화학 성분은 대부분 삼산화 텅스텐이며, 결정 형태는 주로 단사정입니다. 벌크 재료는 입자 크기가 크고 나노 효과가 없습니다.

벌크 텅스텐 산화물은 고밀도 및 높은 안정성을 특징으로하며 텅스텐 금속 또는 페로 텅스텐 생산의 원료로 자주 사용됩니다. 고온 환경에서 구조적 무결성을 유지할 수 있으며 내화물 또는 방사선 차폐 재료의 준비에 적합합니다. 또한 블록 모양은 운반 및 보관이 용이합니다.

산업에서 텅스텐 산화물 블록은 텅스텐 분말 및 텅스텐 와이어 생산을위한 기본 원료이며 텅스텐 시장에서 널리 사용됩니다. 그 활성은 나노 형태만큼 좋지는 않지만 여전히 전통적인 분야에서는 대체할 수 없습니다. 견고 함과 실용성으로 인해 텅스텐 산화물 블록은 업계에서 그 기초 위치를 마련했습니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

### 3.4 입자 크기에 따른 산화 텅스텐의 분류

텅스텐 산화물의 입자 크기는 물리적 특성 및 응용 시나리오의 중요한 결정 요인입니다. 입자의 크기에 따라 굵은 입자, 초미세, 마이크론, 서브미크론 등 다양한 유형으로 나눌 수 있습니다. 이러한 크기 차이는 특정 표면적 및 반응성에 영향을 미칠뿐만 아니라 텅스텐 기술, 텅스텐 연구 및 산업 생산에서의 특정 사용과 직접적인 관련이 있습니다. 입자 크기 및 그 특성에 따른 산화 텅스텐의 분류는 아래에서 자세히 논의 될 것입니다.

#### 3.4.1 굵은 입자 텅스텐 산화물

굵은 입자의 텅스텐 산화물은 일반적으로 수십 마이크론 이상의 입자 크기의 형태를 의미하며, 주로 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)을 나타냅니다. 이러한 입자는 일반적으로 장시간 고온(예: 800° C 이상)에서 파라텅스텐 산 암모늄 (APT)을 소성하거나 볼프 라마이트 및 셀라이트에서 직접 소결하여 얻습니다. 입자의 크기가 크기 때문에 비표면적이 상대적으로 낮고 표면 활성이 약합니다.

굵은 입자 텅스텐 산화물의 물리적 특성에는 고밀도 (약 7.16g / cm<sup>3</sup>)와 우수한 열 안정성이 포함되며 1473 ° C의 높은 융점으로 고온에서 구조적 무결성을 유지할 수 있습니다. 이 특성은 텅스텐 금속, 텅스텐 분말 및 텅스텐 와이어 생산에 이상적인 원료입니다. 산업계에서 거친 입자 형태는 보관 및 운송에 편리하며 페로 텅스텐 또는 텅스텐 구리와 같은 합금의 제조에 자주 사용됩니다. 또한 야금 및 원자력 산업에서 내화 또는 방사선 차폐 재료의 기관으로 사용할 수 있습니다. 그러나 입자 크기가 크기 때문에 굵은 입자 텅스텐 산화물은 반응성이 낮아 광촉매 또는 센서와 같이 높은 표면 활성이 필요한 응용 분야에는 적합하지 않습니다. 그 결정 구조는 대부분 단사정이고 안정적이지만 나노 기술 기반 분야에서 점차 더 미세한 입자로 대체되고 있습니다. 그럼에도 불구하고 전통적인 텅스텐 제품 생산에서의 위치는 흔들리지 않습니다. 거친 입자의 텅스텐 산화물은 견고 함과 경제성으로 인해 산업 응용 분야에서 "베테랑"이되었습니다.

#### 3.4.2 초 미세 입자 텅스텐 산화물

초 미세 입자 텅스텐 산화물은 크기가 1-100 나노 미터 범위의 입자를 말하며 일반적으로 삼산화 텅스텐 또는 청색 텅스텐 산화물의 형태로 나타납니다. 이 크기의 입자는 암모늄 메타 텅스텐 산염의 화학적 침전, 용매 또는 저온 분해에 의해 준비됩니다. 입자의 크기가 매우 작기 때문에 비표면적이 크게 증가하여 상당한 나노 효과를 나타냅니다.

초 미세 입자 텅스텐 산화물의 광학 특성은 양자 크기 효과에 의해 향상되고 에너지 밴드 갭이 약간 확장 될 수 있으며, 이는 유기 오염 물질의 분해 또는 물의 광분해에 의한 수소 생산과 같은 광촉매 응용 분야에 적합합니다. 전기적으로 비표면적이 높기



때문에 NO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>S 와 같은 가스에 대한 높은 감도와 빠른 응답을 제공하는 가스 센서에 탁월합니다. 또한, 텅스텐 산의 제조에서 텅스텐 화학 물질의 원료로 사용될 수도 있습니다. 응용 분야에서 텅스텐 산화물의 초 미세 입자는 종종 텅스텐 플라스틱 또는 텅스텐 고무와 같은 복합 재료에 도핑되어 성능을 향상시킵니다. 초 미세 입자 텅스텐 산화물은 높은 활성과 나노 특성으로 인해 기능성 재료 분야에서 "새로운 별"이되었습니다.

### 3.4.3 마이크론 텅스텐 산화물

마이크론 크기의 텅스텐 산화물 은 1-10 마이크론 사이의 입자 크기 형태를 말하며, 일반적으로 삼산화 텅스텐 (노란색 텅스텐 산화물) 또는 자주색 텅스텐 산화물이 지배합니다. 입자는 중간 온도 (500-700 ° C)에서 파라 텅스텐 산 암모늄을 소성하거나 거친 입자를 기계적으로 분쇄하여 얻습니다. 비표면적은 굵은 입자와 초미세 입자 사이에 있으며 특정 표면 활성을 가지고 있습니다.

마이크론 텅스텐 산화물은 굵은 입자에 필적하는 용점과 밀도를 가지며 안정적이고 적당히 활동적인 물리적 특성을 가지고 있지만 입자가 작을수록 가공 중에 쉽게 분산됩니다. 그것은 일반적으로 텅스텐 분말 및 텅스텐 금속의 생산에 사용되며 텅스텐 히터 또는 텅스텐 바늘의 원료로도 사용할 수 있습니다. 광촉매 분야에서 마이크론 크기의 입자는 나노 입자만큼 활동적이지 않지만 일부 저수요 시나리오에서는 여전히 사용할 수 있습니다.

응용 측면에서 마이크론 텅스텐 산화물은 비용과 성능의 균형으로 인해 대규모 생산에 적합하기 때문에 텅스텐 시장에서 중요한 위치를 차지합니다. 또한 전도성 물질에 사용하거나 텅스텐 산 나트륨 제조를 위한 전구체로 사용하기 위해 텅스텐 구리와 혼합 할 수 있습니다. 결정 구조는 대부분 단사정 결정 시스템이며 입자 형태는 비교적 규칙적입니다.

마이크론 텅스텐 산화물은 적당한 크기와 실용성으로 인해 산업 및 과학 연구의 "중추"가되었습니다.

### 3.4.4 서브 마이크론 텅스텐 산화물

서브 마이크론 텅스텐 산화물은 100 나노 미터에서 1 마이크론 사이의 입자 크기 형태를 말하며, 일반적으로 삼산화 텅스텐 또는 블루 텅스텐 산화물이 지배합니다. 입자는 제어된 파라텅스텐 산 암모늄 소성 조건 (예 : 500-600 ° C, 짧은 가열) 또는 습식 화학에 의해 준비됩니다. 비표면적은 마이크론보다 높지만 초미세 입자보다 낮기 때문에 두 세계의 장점을 모두 제공합니다.

서브 마이크론 텅스텐 산화물은 굵은 입자보다 우수한 광학 및 전기적 특성을 가지므로 광촉매 및 전기 화학 센서에 적합합니다. 예를 들어, CO 또는 VOC (휘발성 유기 화합물) 검출에 대해 높은 감도를 나타냅니다 (텅스텐 연구 참조). 배터리 부문에서

서브미크론 입자는 적당한 이온 수송 채널을 제공하며 전극 재료의 첨가제로 적합합니다. 또한, 구형 텅스텐 분말의 생산을 위한 우수한 원료입니다.

산업 응용 분야에서, 서브 미크론 텅스텐 산화물은 텅스텐 와이어의 중간체 또는 텅스텐 입자 제조의 기초와 같은 텅스텐 제품의 미세 가공에 자주 사용됩니다. 또한 복합 재료의 균질성을 향상시키기 위해 텅스텐 플라스틱과 결합 할 수 있습니다. 결정 구조는 주로 단사정 또는 직교이며 입자 형태는 다양합니다. 서브 마이크로 텅스텐 산화물은 과도기적 크기와 다양성을 가지고 나노와 마이크로 응용 프로그램 사이의 "다리"가되었습니다.

#### 3.4.5 나노 텅스텐 산화물

나노 텅스텐 산화물은 1-100 나노 미터 범위의 입자 크기를 가진 텅스텐 산화물을 말하며, 일반적으로 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물), 청색 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물의 형태로 나타납니다. 이 크기 범위의 입자는 나노 효과로 인해 기존 재료와 완전히 다른 특성을 나타내며, 이는 텅스텐 연구 및 텅스텐 기술 분야에서 뜨거운 주제가 되었습니다.

나노 텅스텐 산화물에는 화학적 침전, 열수 및 암모늄 과라 텅스텐 산염의 저온 분해를 포함한 다양한 제조 방법이 있습니다. 예를 들어, 텅스텐 산 용액의 pH와 반응 온도를 제어하면 균일 한 나노 입자를 생성 할 수 있습니다. 매우 작은 입자 크기로 인해 비표면적이 크게 증가하여 종종 그램당 수십 제곱미터에서 수백 제곱미터에 이르며 이 높은 표면적은 우수한 표면 활성을 제공합니다. 결정 구조 측면에서, 나노 텅스텐 산화물은 제조 조건에 따라 대부분 단사정 또는 육각형이다.

성능면에서 나노 텅스텐 산화물의 광학 특성이 특히 두드러집니다. 밴드 갭은 양자 크기 효과로 인해 약간 확대 (2.5-3.0 eV) 될 수 있으며, 수소를 생산하기 위한 물의 광분해 또는 유기 오염 물질의 분해와 같은 광촉매 분야에서 우수합니다. 전기적으로 높은 비표면적과 산소 결핍과 같은 표면 결함은 전도성 및 이온 수송 기능을 향상시켜 가스 센서 및 리튬 배터리 전극 재료에 이상적입니다. 또한, 나노 텅스텐 산화물은 우수한 분 산성을 가지며 텅스텐 산염 또는 복합 재료의 제조에서 텅스텐 화학 물질의 첨가제로 사용될 수 있습니다. 응용 분야에서, 나노 텅스텐 산화물은 하이테크 분야에서 널리 사용됩니다. 예를 들어, 재료의 성능을 향상시키기 위해 텅스텐 플라스틱 또는 텅스텐 고무와 혼합 할 수 있습니다. 또한 텅스텐 와이어 또는 텅스텐 바늘 생산을 위한 텅스텐 분말의 전구체로 사용할 수 있습니다. 작은 크기, 높은 활성 및 다양성을 갖춘 나노 텅스텐 산화물은 나노 기술과 전통 산업의 완벽한 조합이되었으며 텅스텐 산화물 제품군의 "최첨단 대표자"입니다.

#### 3.4.6 서브 나노 미터 텅스텐 산화물

나노 미터 미만의 텅스텐 산화물은 입자 크기가 1 나노 미터 미만인 텅스텐 산화물을 말하며 일반적으로 클러스터 또는 분자 형태입니다. 이 크기 범위의 물질은 원자

규모에 가깝고 기존 고체 물질보다 분자의 특성에 더 가깝습니다. 매우 작은 크기로 인해, 나노 미터 이하 텅스텐 산화물의 연구 및 응용은 아직 탐색 단계에 있지만, 텅스텐 과학 연구에서 매우 중요합니다.

나노 미터 미만의 텅스텐 산화물의 제조에는 기상 증착 (CVD), 분자 빔 에피 택시 또는 용액 화학과 같은 고정밀 기술이 필요합니다. 공급 원료는 메타 텅스텐 산 암모늄 또는 텅스텐 산 나트륨 일 수 있으며, 하위 나노 입자는 초저 농도 및 빠른 담금질과 같은 정밀하게 제어 된 반응 조건에 의해 생성됩니다. 매우 작은 입자 크기로 인해 결정 구조는 종종 불완전하고 비정질 또는 부분적으로 정렬될 수 있으며 특정 표면적이 이론적 한계에 도달하고 표면 원자의 비율이 매우 높습니다.

성능 측면에서, 서브 나노 미터 텅스텐 산화물의 광학 및 전기적 특성은 상당한 양자 구속 효과의 영향을받습니다. 밴드갭은 더욱 확장되어 강력한 형광 특성을 나타낼 수 있으며, 이는 LED와 같은 광전자 장치에 잠재적으로 응용될 수 있습니다(Tungsten Academic 참조). 촉매 분야에서 서브 나노 텅스텐 산화물의 초고 표면 활성은 CO 산화 또는 유기 합성과 같은 단일 분자 반응에 매우 선택적입니다. 또한 전자 구조의 높은 조정 가능성으로 인해 전기 화학 센서에 대한 관심의 원천이 되었습니다.

응용 프로그램 측면에서, 서브 나노 미터 텅스텐 산화물은 현재 높은 준비 비용과 낮은 안정성으로 인해 실험실 연구에 주로 사용되며 산업 응용 분야가 성숙하지 않습니다. 그러나 텅스텐 구리 또는 텅스텐 플라스틱과 혼합 된 텅스텐 화학 물질의 기능 단위로 사용하여 새로운 재료의 가능성을 탐구 할 수 있습니다. 미래에는 제조 기술의 발전으로 나노 미터 미만의 텅스텐 산화물은 나노 의학 (예 : 약물 전달) 또는 양자 컴퓨팅 분야에서 그 명성을 얻을 것으로 예상됩니다.

나노 미터 미만의 텅스텐 산화물은 재료 과학의 최첨단 방향을 나타내는 극한의 크기와 독특한 특성으로 인해 텅스텐 산화물의 분류에서 "미래의 별"이되었습니다.

### 3.5 순도에 따른 산화 텅스텐의 분류

텅스텐 산화물의 순도는 성능 및 응용의 중요한 지표이며, 다른 불순물 함량에 따라 일반 텅스텐 산화물과 고순도 텅스텐 산화물의 두 가지 범주로 나눌 수 있습니다. 순도의 차이는 산업 및 연구에서의 적용 가능성에 직접적인 영향을 미치며, 이에 대해서는 아래에서 자세히 설명합니다.

#### 3.5.1 일반 텅스텐 산화물

일반 텅스텐 산화물은 주로 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물) 또는 청색 텅스텐 산화물의 형태로 순도가 낮은 텅스텐 산화물 (보통 95 % -99 % 사이)의 텅스텐 산화물을 말합니다. 불순물에는 철, 몰리브덴, 나트륨 등과 같은 원소가 포함되며 일반적으로 볼프 라마이트 또는 scheelite의 정제 공정 또는 암모늄 파라 텅스텐 산염의 소성 중에 완전히 제거되지 않은 잔류 물에서 파생됩니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

일반 텅스텐 산화물의 제조 공정은 비교적 간단하며, 예를 들어 텅스텐 산의 직접 소성 또는 광범위한 환원 방법에 의해 제조됩니다. 물리적 특성은 융점이 약  $1473^{\circ}\text{C}$  이고 밀도가  $7.16\text{g}/\text{cm}^3$  인 고순도 버전과 유사하지만 불순물의 존재로 인해 색상이 약간 벗어날 수 있으며(예: 회색 또는 둔한 노란색) 결정 구조는 대부분 단사정 결정 시스템입니다. 불순물의 영향으로 인해 전기적 및 광학적 특성은 고순도 제품보다 약간 열등하지만 덜 까다로운 시나리오에서는 여전히 실용적입니다.

응용 분야에서, 일반 텅스텐 산화물은 주로 텅스텐 분말, 텅스텐 금속 또는 페로 텅스텐의 원료와 같은 산업 생산에 사용됩니다. 또한 내화물 또는 텅스텐 화학 물질을 위한 텅스텐 산업과 같은 저가형 제품의 제조에도 사용할 수 있습니다. 저렴하고 대규모 생산에 적합하지만 광촉매 또는 전자 장치와 같은 고정밀 분야에서의 성능은 제한적입니다.

일반 텅스텐 산화물은 경제성과 광범위한 적용 가능성으로 인해 산업 분야에서 "기본 플레이어"가 되었습니다.

### 3.5.2 고순도 텅스텐 산화물

고순도 텅스텐 산화물은 순도가 99.9 % 이상인 텅스텐 산화물을 말하며, 일반적으로 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)이 지배합니다. 불순물 함량이 매우 낮으며( $<0.1\%$ ) 이온 교환, 다중 세척 및 고온 소성에 의한 암모늄 메타텅스텐 산염 또는 텅스텐 산 나트륨과 같은 다단계 정제 공정으로 생산됩니다.

고순도 텅스텐 산화물의 물리적 특성은 매우 우수하고, 색상이 순수하며, 결정 구조가 규칙적이며, 대부분은 단사정 결정 시스템입니다. 광학적 특성이 안정적이고 에너지 밴드 갭이 정확하고 제어 가능하여 광전자 장치 및 광촉매에 적합합니다. 전기적으로 불순물이 감소하면 전도성과 이온 전달이 향상되며 고성능 센서 및 배터리 재료에 일반적으로 사용됩니다. 또한 순도가 높아 화학적 안정성이 보장되며 열악한 환경에 적합합니다. 응용 분야에서 고순도 텅스텐 산화물은 텅스텐 와이어, 텅스텐 바늘 또는 텅스텐 히터 생산과 같은 고급 텅스텐 제품의 핵심 원료입니다. 또한 스마트 유리, 전기 변색 장치 및 나노 코팅에 널리 사용됩니다.



CTIA GROUP LTD

Yellow Tungsten Trioxide (YTO, WO<sub>3</sub>) Product Introduction

### 1. Product Overview

CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide is produced by high-temperature calcination process of ammonium paratungstate, which meets the requirements of GB/T 3457-2013 "Tungsten Oxide" first-class product. WO<sub>3</sub> is widely used in the preparation of tungsten powder, cemented carbide, tungsten wire and ceramic colorants. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality yellow tungsten trioxide products to meet the needs of powder metallurgy and industrial manufacturing.

### 2. product characteristics

High stability: stable in air, insoluble in water and inorganic acids except hydrofluoric acid.  
 Reactivity: It can be reduced to tungsten powder by hydrogen (>650°C) or carbon.  
 Uniformity: Uniform particle distribution, suitable for downstream processing.

### 3. Product specifications

|                               |                                                                                                           |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| index                         | CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide first-class product standard                                      |
| WO <sub>3</sub> content (wt%) | ≥99.95                                                                                                    |
| Impurities （ wt% , max. ）     | Fe≤0.0010, Mo≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005 |
| Particle size                 | 1-10（μm, FSSS）                                                                                            |
| Loose density                 | 2.0-2.5（g/cm <sup>3</sup> ）                                                                               |
| Customization                 | Particle size or impurity limits can be customized according to customer requirements                     |

### 4. Packaging and warranty

Packing: Inner sealed plastic bag, outer iron drum or woven bag, net weight 50kg or 100kg, moisture-proof design.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including WO<sub>3</sub> content, impurity analysis, particle size (FSSS method), loose density and moisture data.

### 5. Procurement information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Phone: +86 592 5129696

For more [yellow tungsten oxide](http://www.tungsten-powder.com) information, please visit the China Tungsten online website [www.tungsten-powder.com](http://www.tungsten-powder.com). For more market and real-time information, please follow the WeChat public account "China Tungsten Online".



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



CTIA GROUP LTD 옐로우 텅스텐 산화물

## 4 장 : 산화 텅스텐의 구조

### 4.1 텅스텐 산화물의 결정 구조 특성

텅스텐 산화물의 결정 구조는 텅스텐 기술, 텅스텐 연구 및 산업 응용에서의 성능을 직접 결정하는 물리적 및 화학적 특성의 기초입니다. 제조 조건 및 주변 온도에 따라 산화 텅스텐은 단사정, 직교, 육각형 및 입방체를 포함한 다양한 결정 형태를 나타낼 수 있습니다. 이러한 결정 형태는 텅스텐 및 산소 원자의 배열과 화학적 결합 특성을 특징으로합니다. 다음 섹션에서는 기본 단위, 대칭, 원자 배열, 결합 및 공극 측면에서 텅스텐 산화물의 결정 구조 특성에 대해 설명합니다. 산화 텅스텐은 일반적으로 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)으로 표시되며, 그 결정 구조는 텅스텐 원자와 산소 원자의 조합에 의해 특정 비율과 방식으로 형성됩니다.

자연에서 텅스텐은 볼프 램 석 또는 scheelite 의 형태로 존재하며, 이는 정제되어 산화 텅스텐으로 전환됩니다. 결정 구조는 광학적 특성(예: 전기 변색 특성)에 영향을 미칠 뿐만 아니라 전기적 및 촉매 특성을 결정하여 스마트 유리, 광촉매 및 센서와 같은 분야에서 널리 사용됩니다.

#### 4.1.1 텅스텐 산화물 결정 구조의 기본 단위와 대칭

산화 텅스텐 결정 구조의 기본 단위는  $WO_6$  팔면체, 즉 하나의 텅스텐 원자가 6 개의 산소 원자로 둘러싸여 팔면체 배위 구조를 형성합니다. 이러한 요소는 coagulation,

co-side 또는 coplanarity 로 연결되어 3 차원 결정 네트워크를 형성합니다.  $W_6$  팔면체의 존재는 텅스텐 산화물의 구조적 안정성과 다형성의 기초에 핵심입니다.

삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)의 단사정 결정 형태에서  $W_6$  팔면체는 동각 연결로 연결되어 대칭성이 낮고 단사 결정 시스템에 속하는 비대칭 3 차원 골격을 형성합니다. 이러한 비대칭은 단사정 결정 형태를 실온에서 가장 안정적으로 만들며 산업 생산(예: 텅스텐 분말 및 텅스텐 제제) 및 기능성 재료(예: 스마트 유리)에 자주 사용됩니다. 온도가 증가함에 따라, 예를 들어 300-500 ° C 에서, 텅스텐 산화물은 사방 정계 결정 형태로 변형 될 수 있고,  $W_6$  단위의 대칭이 향상되며, 결정 격자 배열은 사방 정계 결정 시스템에 속하는 더 규칙적이다.

육각형 텅스텐 산화물은 열수 법 (예 : 원료로 암모늄 메타 텅스텐 산염)으로 제조되며,  $W_6$  팔면체는 육각형 대칭으로 대칭으로 배열되어 대칭이 높고 이온 임베딩 응용 분야 (예 : 배터리 재료)에 적합한 개방 채널 구조를 형성합니다. 더 높은 온도 (예 : 900 ° C 이상)에서 텅스텐 산화물은 입방 결정 형태로 변형 될 수 있으며  $W_6$  단위의 대칭은 입방 결정 시스템에 속하는 최대에 도달하지만 열역학적 불안정성으로 인해 실제 적용은 적습니다 (텅스텐 학술 참조).

대칭의 변화는 산화 텅스텐의 특성에 직접적인 영향을 미칩니다. 예를 들어, 대칭이 낮은 단사정 형태는 전기 변색 능력이 강한 반면, 대칭이 높은 육각형 형태는 개방 구조로 인해 촉매 작용에 더 많은 이점이 있습니다. 산업적으로 파라 텅스텐 산 암모늄의 소성에 의해 생성 된 텅스텐 산화물은 대부분 단사정 결정 형태이며, 이는 안정성 때문에 텅스텐 제품의 대규모 생산에 가장 적합합니다. 기본 단위로서,  $W_6$  팔면체는 텅스텐 산화물에 다양한 연결 방법과 대칭을 통해 풍부한 구조적 다양성을 부여합니다.

산화 텅스텐 결정 구조의 기본 단위와 대칭은 그 다양성을 이해하고 다른 분야에서의 적용을위한 토대를 마련하는 열쇠입니다.

#### 4.1.2 산화 텅스텐의 원자 배열

텅스텐 산화물의 원자 배열은 격자 매개 변수와 성능 특성을 직접 결정하는 결정 구조의 구체화입니다. 삼산화 텅스텐을 예로 들면, 원자 배열은  $W_6$  팔면체의 공간 분포를 기반으로 하며, 다른 결정 형태의 텅스텐과 산소 원자의 상대적 위치는 다릅니다.

단사정 텅스텐 산화물에서 텅스텐 원자는 팔면체의 중심에 위치하며 6 개의 산소 원자가 그 주위에 분포되어 약간 왜곡 된  $W_6$  단위를 형성합니다. 이러한 요소는 동일 각도로 연결되어 격자 a, b, c 의 세 방향으로 배열되어 있지만 단사정 시스템의 낮은 대칭성으로 인해 격자 각도 ( $\beta$  각)가 90 ° 가 아니며 원자 배열의 비대칭이 발생합니다. 이러한 배열은 단사정 형태가 실온에서 안정할 수 있도록



하며, 격자 매개변수는 일반적으로  $\approx 7.3 \text{ \AA}$ ,  $b \approx 7.5 \text{ \AA}$ ,  $c \approx 7.7 \text{ \AA}$ 입니다. 이 구조는 스마트 유리의 색상 변화와 같은 전기 및 광학 응용 분야에 적합합니다.

사방 정계 결정 형태의 원자 배열이 더 규칙적이고,  $WO_6$  팔면체의 왜곡이 감소하고, 텅스텐과 산소 원자의 위치가 더 대칭적이며, 격자 매개 변수는 직교하는 경향이 있습니다 ( $a \neq b \neq c$ , 각도는  $90^\circ$ 에 가깝습니다). 이 배열은 고온에서 형성되어 표면 활성 부위를 증가시켜 광촉매에 탁월합니다. 육각형 텅스텐 산화물은 육각형 대칭으로 배열되고,  $WO_6$  단위는 중심 축을 중심으로 채널과 같은 구조를 형성하고, 텅스텐 원자와 산소 원자는 육각형 대칭 축을 따라 분포하며,  $c$  축은 격자 매개 변수에서 더 길다. 이 배열은 일반적으로 나노로드 또는 나노튜브 형태에서 발견되며 이온 수송에 적합합니다.

텅스텐 산화물의 입방체 결정 형태는 가장 높은 대칭을 갖고,  $WO_6$  팔면체는 세 방향으로 등거리로 배열되며, 텅스텐과 산소 원자의 위치는 완벽하게 대칭이며, 격자 매개 변수  $a = b = c$ . 이 배열은 고온에서 형성되지만 불안정성으로 인해 이론 연구에만 사용됩니다. 산업에서, 텅스텐 산화물의 원자 배열은 주로 텅스텐 산 분해 또는 파라 텅스텐 산 암모늄 소성과 같은 단사정 결정 형태이며, 규칙적인 원자 배열은 텅스텐 금속 생산의 품질을 보장한다.

산화 텅스텐의 원자 배열은  $WO_6$  단위의 연결 및 대칭에 의해 변경되어 다양한 결정 구조를 형성하며, 이는 텅스텐 제품의 적용 가능성에 직접적인 영향을 미칩니다.

#### 4.1.3 텅스텐 산화물 결정 구조의 결합 및 공석

텅스텐 산화물의 결정 구조의 결합 및 공석은 특히 삼산화 텅스텐 (노란색 텅스텐 산화물) 및 그 불투명 화합물 (예 : 청색 텅스텐 산화물, 자주색 텅스텐 산화물)에서 그 특성의 중요한 조절자입니다. 결합에는 주로 산소 공석, 텅스텐 공석 및 불순물 원자가 포함되며 산소 공극이 가장 일반적이고 가장 영향력 있는 유형입니다.

산소 결핍은  $WO_6$  팔면체에 산소 원자가 없어 텅스텐 원자의 배위 수가 감소하고 결정 격자의 국부적 왜곡이 발생하는 것을 나타냅니다. 삼산화 텅스텐에서는 산소 공석 함량이 낮고 구조가 비교적 손상되지 않았으며 노란색입니다. 그리고 청색 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물에서와 같이 산소 공석이 증가하면 결정 구조의 산소 원자가 감소하고 텅스텐의 산화 상태가 부분적으로 감소하며 색상 및 특성이 변경됩니다. 산소 결핍의 존재는 전자 구조를 변경하여 광 흡수를 향상시켜 에너지 밴드 갭을 좁힙니다 ( $2.5\text{--}2.8\text{eV}$ 에서 더 낮은 수준으로).

결합의 도입은 일반적으로 준비 조건과 관련이 있습니다. 예를 들어, 암모늄 파라 텅스텐 산염의 소성 중에, 수소와 같은 환원 분위기에서 작동 할 때 산소 공극이 현저히 증가하면 청색 또는 자주색 텅스텐 산화물이 형성됩니다. 높은 전도성 및 촉매 활성으로 인해 산화 텅스텐의 이러한 결합 상태는 일반적으로 가스 센서 및 광열 재료에 사용됩니다. 또한 텅스텐 산 나트륨이 도핑 된 나트륨 이온과 같은

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



불순물 결합도 결정 구조에 영향을 줄 수 있으며, 이로 인해 결정 격자가 팽창 또는 수축하여 안정성이 변경 될 수 있습니다.

응용 분야에서, 산소 공극은 텅스텐 산화물의 특성에 이중 효과를 갖는다. 한편으로는, 그것은 전기적 및 촉매 특성을 향상시켜 텅스텐 산염과 같은 텅스텐 화학 물질의 제조를 쉽게 줄일 수 있습니다. 반면에 공석이 너무 많으면 구조의 안정성이 감소하고 고온 환경에서의 성능에 영향을 줄 수 있습니다. 텅스텐 산화물의 결정 구조의 결합 및 공석은 여러 분야에서 적용을위한 유연성을 제공하는 기능화의 중요한 수단입니다.

## 4.2 산화 텅스텐의 결정 구조에 영향을 미치는 요인

산화 텅스텐의 결정 구조는 그 특성의 핵심이며 다양한 외부 요인의 영향을받습니다. 이러한 요인에는 준비 조건(예: 온도, 압력 및 시간), 원료 특성 및 환경 조건이 포함됩니다. 이러한 요인을 조합함으로써 텅스텐 산화물의 결정 구조를 정밀하게 제어 할 수 있으므로 텅스텐 기술, 텅스텐 연구 및 산업 응용 분야에서 성능을 최적화 할 수 있습니다. 산화 텅스텐의 결정 구조에 대한 제조 조건의 구체적인 영향은 아래에서 자세히 논의된다.

### 4.2.1 산화 텅스텐의 결정 구조에 대한 준비 조건의 영향

제조 조건은 반응 온도, 압력, 시간, 분위기 및 원료 선택을 포함하여 산화 텅스텐의 결정 구조에 영향을 미치는 가장 중요한 요소 중 하나입니다. 이러한 조건은 산화 텅스텐의 결정 형태 (예 : 단사정, 직교, 육각형 또는 입방체), 입자 크기 및 결합 분포를 결정합니다. 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)을 예로 들면, 결정 구조는 일반적으로 특정 조건 하에서 파라 텅스텐 산 암모늄 또는 텅스텐 산 분해 또는 소성에 의해 형성되며, 다른 준비 매개 변수는 다른 구조적 특성으로 이어진다.

산업 생산에서 준비 조건의 최적화는 산화 텅스텐의 품질 및 사용과 직접적인 관련이 있습니다. 예를 들어, 소성 조건을 제어함으로써 텅스텐 분말 또는 텅스텐 필라멘트의 생산에 적합한 산화 텅스텐 또는 광촉매 및 스마트 유리에 적합한 기능성 물질을 생성 할 수 있습니다. 실험실에서 열수 법, 용매 열 법 및 기타 제조 기술은 나노 스케일 텅스텐 산화물의 결정 구조 제어에 더 많은 가능성을 제공합니다. 다음은 산화 텅스텐의 결정 구조에 대한 반응 온도, 압력 및 시간의 영향을 분석합니다.

#### 4.2.1.1 산화 텅스텐 결정 구조에 대한 반응 온도의 영향

반응 온도는 산화 텅스텐의 결정 구조에 영향을 미치는 가장 중요한 매개 변수 중 하나이며, 이는 결정 형태의 변형을 결정할뿐만 아니라 입자 크기 및 결합 형성에도 영향을 미칩니다. 삼산화 텅스텐을 예로 들면, 결정 구조는 온도에 따라 크게 변합니다.

실온에서 약 330 ° C 까지의 저온 범위에서 텅스텐 산화물은 황색 텅스텐 산화물의 안정한 형태 인 단사정 결정 형태에 의해 지배됩니다.  $WO_6$  팔면체는 같은 각도로 연결되어 전기 변색 응용 분야에 적합한 안정적인 격자 매개 변수를 가진 비대칭 3 차원 네트워크를 형성합니다. 온도가 300-500 ° C 로 상승하면 텅스텐 산화물이 사방 정계 결정 형태로 변형되기 시작하고  $WO_6$  단위의 대칭이 향상되며 격자 배열이 더 규칙적입니다. 이 구조는 표면 부위를 증가시키는 개방성으로 인해 광촉매에서 더 높은 활성을 나타냅니다. 700-900 ° C 까지 더 가열하면 산화 텅스텐은 특히 열수 조건에서 육각형 결정 형태로 변환되어 이온 삽입 응용 분야에 적합한 나노 막대 또는 관형 구조를 형성 할 수 있습니다.

더 높은 온도 (예 : 900 ° C 이상)에서 텅스텐 산화물은 입방체 결정 형태를 형성 할 수 있으며  $WO_6$  팔면체의 대칭은 최대이지만 열역학적 불안정성으로 인해 이론적 연구에서만 일반적입니다. 또한 온도는 곡물 성장에 영향을 미칩니다. 저온 (예 : 400-600 ° C)에서 제조 된 산화 텅스텐 입자는 더 작고, 예를 들어 파라 텅스텐 산 암모늄의 소성에 의해 형성된 나노 입자; 고온 (예 : 800 ° C 이상)은 입자의 성장을 촉진하여 텅스텐 금속 생산에 적합한 미크론 크기 또는 거친 텅스텐 산화물 입자를 형성합니다.

온도는 산소 공석 함량에도 영향을 미칩니다. 환원 분위기 (예 : 수소)에서 고온에서 텅스텐 산화물로 처리하면 산소 공극이 증가하여 청색 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물이 형성 될 수 있으며 , 결정 구조가 왜곡 될 수 있습니다. 반응 온도는 결정 형태, 입자 크기 및 결함을 조절하여 산화 텅스텐의 결정 구조에 지대한 영향을 미치며 제조 공정의 핵심 변수입니다.

#### 4.2.1.2 산화 텅스텐 결정 구조에 대한 반응 압력의 영향

반응 압력은 특히 열수 또는 고압 소성과 같은 고압 준비 공정에서 텅스텐 산화물의 결정 구조에 영향을 미치는 또 다른 중요한 요소입니다. 압력은 반응 시스템의 열역학적 평형을 변화시켜 구조적 특성을 조절함으로써 결정의 핵형성 및 성장 과정에 영향을 미칩니다.

정상적인 압력 조건 (예 : 공기 중 파라 텅스텐 산 암모늄 소성)에서 산화 텅스텐은 대부분 단사정 결정 형태로 형성되며  $WO_6$  팔면체의 배열은 온도와 대기에 의해 지배되며 압력은 영향을받지 않습니다. 그러나 텅스텐 나노 산화물의 열수 합성과 같은 고압 환경에서는 압력이 결정 구조를 크게 변화시킵니다. 텅스텐 산 나트륨을 원료로 사용하여 산화 텅스텐은 고압 반응기 (최대 수 메가 파스칼의 압력)에서 육각형 결정 형태를 형성하는 경향이 있습니다. 이 결정 형태의  $WO_6$  셀은 육각형 축을 따라 배열되어 격자 매개 변수에서 긴 c 축을 가진 개방 채널 구조를 형성하여 배터리 및 센서 응용 분야에 적합합니다.

높은 압력은 또한 입자 크기와 형태에 영향을 줄 수 있습니다. 고압 열수 조건에서, 텅스텐 산화물의 핵 형성 속도가 가속화되고, 입자 성장이 제한되며, 큰 입자 구조보다는 나노 막대, 나노 시트 또는 나노 플라워와 같은 형태가 형성되는 경우가 많습니다. 또한, 고압은 산소 원자의 휘발을 억제하고, 산소 공극의 형성을 감소시키며, 텅스텐 산화물의 결정 구조를보다 규칙적으로 만들 수 있습니다. 예를 들어, 고압에서 제조된 삼산화 텅스텐은 대기압 하에서 제품보다 결정도와 순도가 높기 때문에 고정밀 텅스텐 화학 물질의 생산에 적합합니다.

극도의 높은 압력 (예 : 멀티 메가 파스칼, 실험실 시뮬레이션 지각 조건)에서 산화 텅스텐은 고압으로 인해  $WO_6$  세포가 더 밀접하게 정렬되고 대칭이 증가하기 때문에 입방 결정을 형성 할 수 있습니다. 그러나 이러한 조건은 산업체에서 달성하기 어렵고 주로 이론 연구에 사용됩니다. 산업적으로 텅스텐 산화물의 압력 조절은 대부분 나노 스케일 텅스텐 제품의 구조를 최적화하기 위해 열수 또는 기상 증착 공정에 집중되어 있습니다. 결정 형태 선택, 입자 형태 및 결함 분포에 영향을 미침으로써, 반응 압력은 특히 나노 물질의 제조에서 텅스텐 산화물 결정 구조의 조절을위한 추가 차원을 제공합니다.

#### 4.2.1.3 산화 텅스텐 결정 구조에 대한 반응 시간의 영향

반응 시간은 산화 텅스텐의 제조에서 중요한 매개 변수이며, 이는 결정 구조의 결정도, 입자 크기 및 상 전이에 직접적인 영향을 미칩니다. 다른 제조 방법에서, 시간의 길이는 텅스텐 산화물의 구조적 진화에 중요한 역할을한다.

산화 텅스텐을 제조하기 위해 파라 텅스텐 산 암모늄을 소성하는 과정에서 반응 시간이 짧고 (예 : 1-2 시간) 결정성이 낮은 단사정 텅스텐 삼산화물이 일반적으로 생성되며 입자가 작고 (나노에서 서브 미크론 규모) 입자가 많고 표면 결함이 많습니다. 이 구조는 광촉매 또는 센서와 같이 높은 활성이 필요한 응용 분야에 적합합니다. 반응 시간(예: 4-6 시간)이 길어짐에 따라 입자가 점차 성장하고 결정도가 증가하며 결정 구조가 더 규칙적이 되며 산소 공극이 감소합니다. 이 높은 결정 성 텅스텐 산화물은 안정성이 우수하기 때문에 텅스텐 분말 또는 텅스텐 금속의 생산에 더 적합합니다.

산화 텅스텐의 열수 제제에서는 반응 시간도 중요합니다. 예를 들어, 텅스텐 산을 원료로 사용하면 단기 반응 (2-4 시간)에서 비정질 또는 저 결정성 나노 입자가 생성 될 수 있으며 12-24 시간으로 연장되면 육각형 결정 나노 막대 또는 나노 플라워가 형성되며 질서 정연한 격자 배열과 명백한 채널 구조가 있습니다. 이러한 시간 의존성은 핵형성에서 성장에 이르는 결정의 역동적인 과정을 반영합니다. 반응 시간이 과도하게 길면(48 시간 이상) 입자가 과도하게 응집되고 형태가 제어되지 않으며 성능이 저하될 수 있습니다.

반응 시간은 상전이에도 영향을 미칩니다. 고온 소성에서는 단사정 형태 만 단기간 동안 형성 될 수 있으며, 장시간 가열 (고온과 결합)은 직교 또는 육각형 결정

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



형태로 전이를 유도 할 수 있습니다. 또한, 환원 분위기 (예 : 수소)에서 장기간의 반응은 산소 공극을 증가시키고 청색 또는 자주색 텅스텐 산화물을 형성하여 결정 구조를 왜곡시켜 텅스텐 화학 물질의 특정 용도에 적합합니다. 업계에서 및 기타 기업은 다양한 텅스텐 제품의 요구를 충족시키기 위해 반응 시간을 최적화하여 텅스텐 산화물의 결정도와 활성의 균형을 유지합니다. 반응 시간은 결정 성장과 결함 발생을 제어하여 산화 텅스텐의 결정 구조를 조절하는 중요한 수단이되었습니다.

#### 4.2.1.4 산화 텅스텐 결정 구조에 대한 반응 분위기의 영향

반응 분위기는 산화 텅스텐의 제조에서 중요한 매개 변수이며, 이는 결정 구조, 산화 상태 및 결함 분포에 직접적인 영향을 미칩니다. 다른 분위기 (예 : 산화, 환원 또는 불활성)는 텅스텐과 산소 원자가 결합되는 방식을 변경하여 텅스텐 산화물의 결정 형태와 특성을 조절합니다. 삼산화 텅스텐을 예로 들면, 결정 구조는 다른 대기에서 크게 변합니다.

산화 분위기 (예 : 공기 또는 순수한 산소)에서 텅스텐 산화물은 일반적으로 파라 텅스텐 산 암모늄 또는 텅스텐 산을 원료로 사용하여 제조되며, 단사정 텅스텐 삼산화물은 소성에 의해 생성됩니다. 이러한 조건 하에서, 산소가 풍부하고,  $WO_6$  팔면체의 구조가 손상되지 않았으며, 산소 공극이 매우 적고, 결정 격자 배열이 규칙적이어서 밝은 노란색을 나타냅니다. 이 결정 구조는 매우 안정적이며 스마트 유리 및 광촉매 생산에 적합합니다. 산소 농도가 높을수록 결정도가 좋아지고 입자가 약간 더 클 수 있으므로 텅스텐 분말 또는 텅스텐 필라멘트의 제조에 적합합니다.

수소 또는 수소와 질소의 혼합물과 같은 대기를 환원시킬 때, 텅스텐 산화물의 산소 함량이 감소하여 비 정수 화합물을 형성합니다. 예를 들어,  $500-700^{\circ}C$ 의 수소 분위기에서 삼산화 텅스텐 은 청색 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물로 전환 될 수 있습니다 . 이러한 구조에서 산소 공극이 증가하고,  $WO_6$  팔면체가 왜곡되고, 격자 대칭이 감소하고, 에너지 밴드 갭이 좁아집니다. 이 결함 상태 텅스텐 산화물은 전기 전도성과 촉매 활성이 더 높으며 가스 센서 또는 텅스텐 금속의 중간체로 자주 사용됩니다. 환원 정도가 강할수록(예: 높은 수소 농도 또는 고온) 산소 결핍이 많을수록 결정 구조 변화가 더 커집니다. 아르곤 또는 질소와 같은 불활성 대기는 그 사이 어딘가에 속하며 일반적으로 중간 수준의 산소 결핍을 제어하는 데 사용됩니다. 예를 들어, 불활성 분위기에서 텅스텐 산화물의 소성은 입자 크기와 결정도가 온도와 시간에 의해 지배되는 부분적으로 결함있는 단사 결정 형태를 생성합니다. 이러한 조건 하에서 산화 텅스텐은 안정성과 특정 활성을 모두 가지고 있으며, 이는 특정 텅스텐 화학 물질의 제조에 적합합니다.

#### 4.2.1.5 산화 텅스텐 결정 구조에 대한 반응 속도의 영향

다기능 재료로서, 산화 텅스텐 ( $WO_3$ )의 결정 구조는 물리적 및 화학적 특성에 상당한 영향을 미친다. 다른 화학 반응 또는 물리적 과정에서, 반응 속도는 산화 텅스텐의 형성 효율을 결정할뿐만 아니라 결정 구조의 형성, 변형 및 안정성에 중대한 영향을



미친다. 반응 속도는 일반적으로 온도, 압력, 반응물 농도, 촉매 및 합성 방법과 같은 요인에 의해 조절되며, 이는 함께 운동 및 열역학 메커니즘을 통해 산화 텅스텐의 결정 형태, 결함 밀도 및 미세 형태를 형성합니다. 이 논문에서는 산화 텅스텐의 결정 구조에 대한 반응 속도의 영향에 대해 자세히 논의하고 역학 분석, 실험적 증거 및 응용 배경을 기반으로 내부 법칙을 밝힐 것입니다.

## 1. 텅스텐 산화물 결정 구조의 기본 특성

산화 텅스텐의 결정 구조는 주로 단사정, 사방도체, 정방체 및 입방체를 포함하여 다양합니다. 그 중 단사정 결정은 실온에서 가장 안정적인 결정 형태이고 공간 그룹은  $P2_1/n$  이며 격자 매개변수는  $a=7.306 \text{ \AA}$ ,  $b=7.540 \text{ \AA}$ ,  $c=7.692 \text{ \AA}$ ,  $\beta=90.91^\circ$  입니다. 온도가 증가함에 따라 산화 텅스텐은 약  $330^\circ \text{C}$ 의 사방 정계 결정 및  $740^\circ \text{C}$  이상의 정방계 결정과 같은 상 변형을 겪을 수 있습니다. 또한, 나노 스케일 텅스텐 산화물은 종종 더 높은 표면 에너지와 더 작은 입자 크기로 인해 입방체 결정 구조를 나타냅니다.

결정 구조의 형성은 반응 속도와 밀접한 관련이 있습니다. 빠르게 반응하는 조건에서는 운동 인자(kinetic factor)가 결정 성장을 지배하며, 이는 비평형 구조(예: 준안정 상 또는 결함 상태)로 이어질 수 있습니다. 그러나 느린 반응 조건에서는 열역학적 평형이 우세하고 안정적인 단사정이 형성되는 경향이 있습니다. 이러한 구조의 차이는 산화 텅스텐의 밴드 갭, 전도성 및 촉매 활성화에 직접적인 영향을 미칩니다.

## 2. 결정 구조 형성에 대한 반응 속도의 운동 메커니즘

반응 속도는 결정 핵 형성 및 입자 성장 과정에 영향을 미쳐 산화 텅스텐의 결정 구조를 결정한다. 다음은 영향 메커니즘에 대한 동적 분석입니다.

- 핵 형성 속도: 산화 텅스텐 산화물 (예 : 텅스텐 분말 산화 또는 텅스텐 산 열분해)의 합성 중에 반응 속도는 결정 핵 형성 속도를 결정합니다. 빠른 반응(예: 고온 로스팅,  $> 800^\circ \text{C}$ )은 높은 과포화와 핵형성 속도를 가속화하여 많은 수의 작은 입자를 생성합니다. 이 경우, 결정은 성장할 시간이 충분하지 않고 준안정 상(예: 정방정 또는 입방체)을 형성하는 경향이 있습니다. 예를 들어, 빠른 산화 텅스텐 금속에 의해 생성된 산화 텅스텐의 XRD 분석은 입방상의 비율이 느린 산화 생성물의 비율보다 훨씬 높다는 것을 보여줍니다.
- 곡물 성장 속도, 반응 속도도 곡물 성장 과정에 영향을 미칩니다. 느린 반응 조건(예: 극저온 열수,  $150\text{--}200^\circ \text{C}$ )에서 핵은 열역학적으로 최적의 방향을 따라 성장하여 크고 규칙적인 단사정 입자를 형성할 수 있는 충분한 시간을 갖습니다. 반대로, 빠른 반응 (예 : 텅스텐 필라멘트의 고온 플래시 산화)은 입자의 질서 정연한 배열을 제한하고 무질서하거나 다상 공존 구조를 생성하기 쉽습니다. 결과는 반응 시간 (1 시간 대 24 시간)을 제어함으로써

산화 텅스텐의 입자 크기가 느린 합성의 경우 20-50  $\mu\text{m}$ , 빠른 합성의 경우 1-5  $\mu\text{m}$ 에 도달 할 수 있음을 보여줍니다.

- 결합 생성의 빠른 반응 속도는 종종 높은 에너지 입력을 동반하여 결정 구조의 결합(예: 산소 공극 또는 텅스텐 전위)의 증가를 초래합니다. 예를 들어, 텅스텐 입자가 빠르게 산화되는 동안 산소 확산이 제한되고 생성된 텅스텐 산화물은 블루 텅스텐 산화물 ( $\text{W}_{20}\text{O}_{58}$ )로 나타나는 비 화학 양론적 비율을 가질 수 있습니다. 이러한 결합은 격자 대칭을 변경하고 결정 형태의 안정성에 영향을 미칩니다.

### 3. 반응 속도 조절의 구체적인 효과

반응 속도는 일반적으로 온도, 반응물 농도 및 합성 방법에 의해 제어되며, 텅스텐 산화물의 결정 구조에 대한 특정 효과는 다음과 같이 분석된다.

- 온도의 영향온도는 반응 속도의 주요 동인입니다. 암모늄 메타 텅스텐 산염의 저온 소성과 같은 저온 ( $<300^\circ\text{C}$ )에서의 느린 반응에서, 텅스텐 산화물은 높은 격자 순서로 단사 계 결정을 형성하는 경향이 있으므로 높은 안정성이 필요한 응용 분야 (예 : 전기 변색 장치)에 적합합니다. 산소 분위기 하에서 텅스텐 바늘의 순간 산화와 같은 고온 ( $>700^\circ\text{C}$ )에서의 빠른 반응에서 생성된 텅스텐 산화물은 대부분 정방형 또는 입방체 결정이며 입자가 작고 결합이 풍부합니다. 이 구조는 좁은 밴드 갭 (약 2.6 eV)으로 인해 광촉매 분야에서 더 높은 활성을 나타냅니다.
- 반응물 농도는 고농도의 반응물(예: 산소 또는 텅스텐 산나트륨 용액)에 영향을 미치고 반응 속도를 가속화하여 결정 구조가 준안정 상으로 편향되도록 합니다. 예를 들어, 높은 산소 압력( $>1$  기압)에서 급격한 산화가 있습니다. 텅스텐 분말, 생성된 산화 텅스텐은 주로 입방체 결정이며 입자 크기는 10  $\mu\text{m}$  미만입니다. 저농도 반응 (예 : 희석 텅스텐 산, 용액의 느린 침전)은 단사정 결정의 성장에 도움이되며 입자 크기는 50  $\mu\text{m}$  이상에 도달 할 수 있습니다.
- 합성 방법의 효과 다른 합성 방법은 반응 속도를 제어하여 결정 구조에 큰 영향을 미칩니다.
  - 로스팅 방법 : 고온 급속 로스팅 ( $800^\circ\text{C}$ , 1 시간)에 의해 생성된 텅스텐 산화물은 대부분 정방형 또는 혼합상으로 텅스텐 분말의 생산에 적합합니다.
  - 열수 법 : 저온 및 느린 열수 열에 의해 생성된 텅스텐 산화물은 나노 응용 분야에 적합한 규칙적인 입자를 가진 단사정 결정에 의해 지배됩니다.
  - 기상 증착 : 빠른 증착에 의해 형성된 텅스텐 산화막은 종종 입방 결정이며 전자 장치에 사용됩니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

#### 4.2.1.6 텅스텐 산화물 결정 구조에 대한 전구체의 영향

전구체는 산화 텅스텐의 제조를 위한 출발 물질이며, 화학적 조성, 구조 및 분해 특성은 최종 결정 구조의 형성에 직접적인 영향을 미친다. 일반적인 전구체에는 파라 텅스텐 산 암모늄, 메타 텅스텐 산 암모늄, 텅스텐 산 및 텅스텐 산 나트륨이 포함되며, 다른 전구체를 선택하면 산화 텅스텐 결정 형태, 입자 크기 및 순도가 달라집니다.

암모늄 파라 텅스텐 산염 (APT)을 예로 들면, 공기 중에서 500-700 ° C에서 소성 및 분해되어 단사정 텅스텐 삼산화물을 형성합니다. APT의 분자 구조는 규칙적이며 분해 중에 암모니아와 수증기가 방출되어 작은 텅스텐 산화물 입자 (미크론에서 서브 미크론 스케일), 높은 결정 성 및 산소 공극이 거의 합니다. 이 결정 구조는 텅스텐 분말 또는 텅스텐 금속의 산업 생산에 적합합니다. 수소에서 소성되면 APT는 파란색 또는 자주색 텅스텐 산화물을 생성하며 산소 결핍으로 인해 결정 구조가 왜곡됩니다.

암모늄 메타 텅스텐 산염 (AMT)은 나노 스케일 텅스텐 산화물의 제조에 더 적합합니다. 열수 또는 용매 열 방법에 의해, AMT 분해에 의해 생성된 텅스텐 산화물은 종종 육각형 결정 형태이며, 입자는 나노 막대 또는 나노 시트 형태이며, 분자 내 텅스텐 산소 단위의 사전 배열이 개방 구조를 형성하는 데 도움이 되기 때문입니다. 이 결정 구조는 배터리와 센서에 탁월합니다. 대조적으로, 텅스텐 산은 열분해 될 때 결정성이 낮고 소량의 비정질 상을 포함 할 수 있으므로 산업 응용보다는 실험실 연구에 적합합니다.

텅스텐 산 나트륨이 전구체로 사용될 때, 산화 텅스텐의 결정 구조는 나트륨 이온의 영향을받습니다. 나트륨 불순물이 완전히 제거되지 않으면 결정 격자가 팽창하고 결정도가 감소할 수 있으며 심지어 이염색이 형성될 수 있습니다. 그러나, 세척 및 정제 후, 고순도 단사정 텅스텐 산화물을 얻을 수 있으며, 이는 광전자 장치에 적합합니다. 전구체의 용해도와 분해 속도도 결정 구조에 영향을 미치는데, 예를 들어, 빠른 분해(예: 고온 단기 소성)는 결함이 많은 작은 입자를 생성하는 반면, 느린 분해는 규칙적인 큰 입자를 생성합니다.

#### 4.2.1.7 산화 텅스텐 결정 구조에 대한 용매의 영향

용매는 습식 화학적 방법 (예 : 열수, 용매 열법)에 의한 산화 텅스텐의 제조에 중요한 역할을하며, 그 특성 (예 : 극성, 끓는점 및 배위 능력)은 결정 구조의 핵 형성 및 성장에 직접적인 영향을 미칩니다. 삼산화 텅스텐의 경우, 다른 용매는 결정 형태, 형태 및 입자 크기의 차이를 유발할 수 있습니다.

물은 가장 일반적으로 사용되는 용매이며, 텅스텐 산화물이 열수 법 (예 : 원료로 암모늄 메타 텅스텐 산염)으로 제조 될 때 일반적으로 육각형 나노 막대 또는 나노 튜브가 생성됩니다. 물의 강한 극성과 고온 및 고압에서의 초 임계 특성은  $WO_6$  셀의

질서 정연한 배열을 촉진하여 개방 채널 구조를 형성합니다. 이 결정 구조는 배터리 전극 재료와 같은 이온 포매팅 응용 분야에 적합합니다. 수용액에 산(예: 염산)을 첨가하면 단사정 나노입자가 형성될 수 있으며, 이는 산성 환경으로 인해 핵형성을 가속화하고 입자 성장을 억제합니다.

에탄올 또는 에틸렌 글리콜과 같은 유기 용제는 극성이 낮고 끓는점이 높기 때문에 대부분 단사정 결정 형태의 산화 텅스텐 결정 구조를 생성하며 형태는 나노 시트 또는 나노 꽃으로 편향됩니다. 예를 들어, 텅스텐 산 나트륨은 용매 반응을 위해 에탄올에 용해되며, 에탄올의 배위는 결정 성장 속도를 늦추고 층 구조를 형성합니다. 이 결정 구조는 비표면적이 높으며 광촉매 또는 센서에 적합합니다. 또한, 유기 용매는 특정 결정면을 우선적으로 노출시키고 결정 대칭을 변경하는 것과 같은 표면 흡착을 통해 결정면의 성장을 조절할 수도 있습니다.

물-에탄올 혼합물과 같은 혼합 용매는 두 가지 장점을 모두 가지고 있으며, 입자 크기와 형태를 더 쉽게 제어할 수 있는 단사정과 육각형 사이의 전이 결정을 생성합니다. 예를 들어, 에탄올 비율을 높이면 입자 크기를 줄이고 결정도를 높일 수 있습니다. 용매의 점도와 휘발성은 또한 결정 구조에 영향을 미치며, 글리세롤과 같은 고점도 용매는 비정질 또는 저결정성 텅스텐 산화물로 이어지는 반면, 저점도 용매는 구조화된 결정의 형성을 촉진합니다.

#### 4.2.2 텅스텐 산화물 결정 구조에 대한 외부 자극의 영향

외부 자극(예: 빛, 기계적 힘, 전자기장 등) 텅스텐 산화물 결정 구조의 형성과 이후의 진화에 중요한 역할을 합니다. 이러한 자극은 격자 배열을 변경하거나, 상 전이를 유도하거나, 성능에 영향을 줄 수 있는 결함을 유발할 수 있습니다. 텅스텐 산화물의 결정 구조에 대한 빛의 영향은 주로 광촉매 제조 또는 사용 과정에 반영됩니다. 예를 들어, 자외선 하에서 텅스텐 산을 원료로 한 열수 반응은 산화 텅스텐의 핵 형성을 가속화하여 단사 정 나노 입자를 형성 할 수 있습니다. 광 유도 전자 여기는 결정면의 선택적 성장을 촉진하고 결정의 형태를 변화시킬 수 있습니다. 또한, 장기간 광에 노출되면 삼산화 텅스텐 표면에 산소 공공이 발생할 수 있으며, 결정 구조가 국부적으로 왜곡되어 광 흡수 능력이 향상 될 수 있습니다.

텅스텐 산화물의 결정 구조에 대한 기계적 힘 (예 : 연삭 또는 초음파 처리)의 영향을 간과해서는 안됩니다. 고 에너지 볼 밀링은 마이크론 크기의 산화 텅스텐을 서브 마이크론 또는 나노 입자로 분쇄하는 동시에 격자 응력과 결함을 도입하여 결정도를 줄입니다. 이러한 구조적 변화는 이를 보다 적극적이고 촉매 응용 분야에 적합하게 만듭니다. 초음파 처리는 비정질 텅스텐 산화물을 낮은 결정성을 가진 단사정 형태로 변환하는 것과 같은 입자 재배열을 유도 할 수 있습니다.

전자기장은 기상 증착 또는 플라즈마 방법에 의한 산화 텅스텐의 제조에 중요한 역할을 합니다. 예를 들어, 전자기장의 도움으로 텅스텐 산화막의 결정 구조는 단사정 결정 형태로 경향이있어 입자 배열이 더 조밀하여 광전자 장치에 적합합니다. 또한,

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



강한 전기장은 단사정에서 사방 정계 결정 형태로와 같은 산화 텅스텐의 상 변형을 유도하고 전기적 특성을 향상시킬 수 있습니다. 외부 자극은 특히 기능성 물질의 개발에서 물리적 또는 화학적 작용을 통해 산화 텅스텐 결정 구조의 동적 조절을 위한 새로운 방법을 제공합니다.

#### 4.2.2.1 텅스텐 산화물 결정 구조에 대한 광학 방사선의 영향

외부 자극으로서, 광 복사는 특히 광촉매 제제 또는 광 조건에서 사용될 때 텅스텐 산화물 결정 구조의 형성 및 진화에 상당한 영향을 미친다. 광학 방사선은 전자를 여기시키거나, 표면 반응을 유도하거나, 결정 평면의 성장 방향을 변화시킴으로써 산화 텅스텐의 결정 형태, 결함 및 형태에 영향을 미칩니다. 황색 텅스텐 산화물을 예로 들면, 광 복사 하에서 결정 구조의 변화는 광학 및 촉매 특성과 직접적인 관련이 있습니다.

준비하는 동안 광학 방사선 (예 : 자외선 또는 가시 광선)은 산화 텅스텐의 핵 형성 및 성장을 가속화합니다. 예를 들어, 텅스텐 나노 산화물의 열수 제제 에서 텅스텐 산은 원료로 사용되며 자외선은 텅스텐 산화물 단위의 중합을 촉진하여 단사 정 나노 입자를 형성 할 수 있습니다. 광 유도 전자 여기는 용액 내 산화 환원 반응을 향상시켜 특정 결정 평면(예: (002) 평면)을 우선적으로 노출시켜 결정 형태와 대칭을 변경합니다. 연구에 따르면 광 복사는 또한 입자의 크기를 조절하여 단기간 조사 후 작은 입자를 형성하고 장기 조사에 의해 곡물이 나노 플라워 또는 나노 시트로 응집되는 것을 촉진 할 수 있습니다.

사용 과정에서, 텅스텐 산화물의 결정 구조에 대한 광학 방사선의 영향은 더 복잡합니다. 장기간의 자외선은 삼산화 텅스텐 표면에 산소 공극을 유발할 수 있으며, 광생성 전자와 격자 산소의 반응으로 인해 결함이 형성 될 수 있습니다. 이러한 구조적 변화는 결정 패턴을 왜곡하고, 에너지 밴드 갭을 좁히며, 광 흡수 범위를 가시 영역까지 확장합니다. 이 효과는 유기 오염 물질의 분해 또는 수소를 생산하기 위한 물의 광분해와 같은 광촉매 응용 분야에서 특히 중요하며, 여기서 산소 공극의 증가는 촉매 활성을 크게 증가시킵니다. 또한, 광학 방사선은 특정 조건에서 단사정 결정 형태가 사방 정계 결정 형태로 변환되는 것과 같은 상 전이를 유도 할 수 있으며 격자 대칭이 향상됩니다. 산업에서 광학 방사선의 영향은 주로 산화 텅스텐의 기능적 특성을 최적화하는 데 사용됩니다. 예를 들어, 광촉매 또는 광전자 장치의 생산에서 텅스텐 제품의 성능은 조명에 의해 결정 구조를 조작함으로써 향상 될 수 있습니다. 광학 방사선은 에너지 입력 및 전자 여기를 통해 산화 텅스텐 결정 구조의 동적 조절을위한 독특한 방법을 제공합니다.

#### 4.2.2.2 텅스텐 산화물 결정 구조에 대한 전기장의 영향

외부 자극으로서, 텅스텐 산화물의 결정 구조에 대한 전기장의 영향은 주로 준비 및 적용에서 격자 배열, 상 변환 및 결함 제어에 반영됩니다. 전기장은 특히 전기 화학

또는 전착 준비에서 이온 이동 속도와 결정 성장 방향을 변화시켜 산화 텅스텐의 구조적 특성에 영향을 미친다.

준비 과정에서 전기장은 텅스텐 산화물의 결정 형태와 형태를 조절할 수 있습니다. 예를 들어, 전기 화학 증착 방법에서는 과라 텅스텐 산 암모늄 이 원료로 사용되며 직류 전기장을 적용하면 전기장의 방향을 따라 삼산화 텅스텐의 우선적인 성장을 유도하여 단사 정 나노 와이어 또는 박막을 형성 할 수 있습니다. 전기장은 텅스텐 이온과 산소 이온의 방향성 이동을 촉진하고,  $WO_6$  팔면체의 배열은 더 조밀하며, 격자 매개 변수는 약간 조정됩니다. 연구에 따르면 강한 전기장 (예 : 킬로 볼트 / 미터)은 핵 형성을 가속화하고 고정밀 텅스텐 화학 물질의 생산에 적합한 더 작은 텅스텐 산화물 입자를 생성 할 수 있습니다.

응용 분야에서, 텅스텐 산화물의 결정 구조에 대한 전기장의 동적 영향은 특히 두드러진다. 전기 변색 장치를 예로 들면, 삼산화 텅스텐은 전기장의 작용으로 단사정 결정 형태에서 결함 구조로의 변형을 실현할 수 있습니다. 전압이 가해지면 이온(예:  $Li^+$  또는  $H^+$ )이 결정 격자에 포함되고 일부  $WO_6$  셀이 왜곡되며 산소 공극이 증가하여 색상이 노란색에서 파란색 또는 회색으로 변합니다. 이 구조적 변화는 되돌릴 수 있으며 산화 텅스텐의 전기적 응답성을 반영합니다. 또한, 강한 전기장은 고온 전기장 하에서 단사정이 사방정계 결정질로 변환되는 것과 같은 상 전이를 유도할 수 있으며, 이는 격자 대칭을 개선하고 전기 전도성을 향상시킵니다. 전기장은 또한 산화 텅스텐의 결함 분포에 영향을 미칩니다. 전기화학 반응에서 전기장 구동 이온 이동은 결정 표면에 산소 공극 또는 텅스텐 공극을 생성하여 국소 구조를 변경할 수 있습니다. 이러한 산화 텅스텐 결함 상태는 배터리 전극 또는 센서에서 잘 수행됩니다. 전기장은 이온 이동성과 격자 응력을 통해 산화 텅스텐 결정 구조를 미세 제어하기위한 효과적인 수단을 제공합니다.

#### 4.2.2.3 텅스텐 산화물 결정 구조에 대한 자기장의 영향

자기장은 텅스텐 산화물의 결정 구조에 상대적으로 작은 영향을 미치지만, 마그네트론 스퍼터링 또는 자기장 보조 증착과 같은 특정 준비 공정에서 여전히 중요한 역할을 합니다. 자기장은 이온 또는 입자의 궤적에 영향을 미쳐 산화 텅스텐의 결정 성장과 구조적 특성을 간접적으로 조절합니다.

준비 과정에서 자기장은 산화 텅스텐의 결정 배열을 최적화합니다. 예를 들어, 마그네트론 스퍼터링 방법에서는 텅스텐 금속이 대상 물질로 사용되며 자기장은 플라즈마의 이동을 제한하여 증착 된 산화 텅스텐 박막 입자를 더 조밀하고 단사 계 결정 형태를 형성하도록 기울어지게 합니다.  $WO_6$  팔면체의 배열은 자기장에 의해 유도 된 이온 전류의 영향을받으며 격자 방향성이 향상되고 결정성이 증가합니다. 강한 자기장 (예 : 여러 테슬라)은 입자 과성장을 억제하고 광전자 장치 또는 센서에 적합한 나노 스케일 텅스텐 산화물을 생성 할 수 있습니다. 자기장은 결정 구조에 대한 동적 영향이 적지만 특정 조건에서 미세한 변화를 유도할 수 있습니다. 예를 들어, 자기장 보조 열수 반응에서 자기장은 용액 내 텅스텐 이온의 배위 환경을

변화시키고 산화 텅스텐의 핵 형성 방향에 영향을 미치며 육각형 나노 막대 또는 나노 시트를 형성 할 수 있습니다. 또한, 자기장이 전기장과 결합되면 자기 전기 효과를 통해 산화 텅스텐의 산소 공석 분포가 변경 될 수 있으며 결정 패턴이 왜곡되어 전기적 성능을 향상시킬 수 있습니다.

응용 분야에서 자기장의 영향은 대부분 복합 재료에 반영됩니다. 예를 들어, 텅스텐 산화물을 플리브덴 화합물과 같은 자성 물질과 결합함으로써 자기장은 복합 구조의 결정 방향을 조절하여 촉매 또는 에너지 저장 성능을 향상시킬 수 있습니다. 산업적으로 자기장 보조 공정은 텅스텐 구리 코팅과 같은 고성능 [텅스텐 제품]을 제조하는 데 자주 사용 되지만 텅스텐 산화물의 결정 구조에 대한 직접적인 영향은 여전히 더 많은 연구가 필요합니다. 자기장은 특히 박막 및 나노 물질의 제조에서 입자 운동 및 미시적 배향을 통해 산화 텅스텐 결정 구조의 최적화를위한 보조 역할을 제공합니다.

#### 4.3 산화 텅스텐 결정 구조와 특성 사이의 본질적인 관계

산화 텅스텐의 결정 구조와 그 특성 사이에는 깊은 내재적 관계가 있으며, 이는 전자 구조, 광학, 전기 및 촉매에 반영됩니다. 삼산화 텅스텐 및 그 변형 (예 : [청색 텅스텐 산화물], [자주색 텅스텐 산화물])을 예로 들면 결정 구조의 변화는 텅스텐 시장 및 첨단 기술 분야에서의 적용 가능성을 직접적으로 결정합니다.

비대칭 구조로 인해, 단사정 텅스텐 산화물은 스마트 유리 및 광촉매에 적합한 안정적인 광학 및 전기적 특성을 가지고 있습니다. 육각형 개방형 채널 구조는 이온 전달을 개선하고 배터리 및 센서에 적합합니다. 산소 결핍(oxygen vacence)과 같은 결정 구조의 결함은 전도성 또는 광 흡수 범위 증가와 같은 특성을 추가로 조절합니다. 이 구조 - 성능 링크는 텅스텐 산화물의 다양성의 뿌리입니다.

##### 4.3.1 산화 텅스텐 전자 구조 연결

산화 텅스텐의 전자 구조는 결정 구조와 성능 사이의 다리이며, 이는 광학적, 전기적 및 촉매 특성에 직접적인 영향을 미칩니다. 삼산화 텅스텐을 예로 들면, 텅스텐의 5d 궤도와 산소의 2p 궤도의 혼성화에 의해 전자 구조가 형성되며 에너지 밴드 갭은 일반적으로 2.5-2.8 eV 입니다.

단사정 결정 형태에서  $WO_6$  팔면체의 비대칭 배열은 전자 구름의 불균일한 분포를 초래하며, 원자가 대역의 상단은 O2p 궤도에 의해 지배되고 전도대의 하단은 W5d 궤도로 구성됩니다. 이 전자 구조는 산화 텅스텐에 자외선과 일부 가시 광선을 흡수하고 노란색으로 보이는 와이드 밴드 갭 반도체의 특성을 제공합니다. 블루 텅스텐 산화물과 같은 산소 공극의 도입은 전도대 아래에있는 결합 에너지 수준을 생성하여 밴드 갭을 좁히고 근적외선 영역으로의 광 흡수를 확대합니다. 이 변화는 광촉매 활성을 향상시키고 광열 요법 또는 태양 에너지 활용에 적합합니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



전기적으로, 단사정 결정 형태의 전자 구조는 낮은 캐리어 이동성을 제공하지만, 전기장에서 이온 삽입(예:  $\text{Li}^+$ )에 의해 전도성을 변경하여 전기 변색을 달성할 수 있습니다. 육각형 결정 형태의 개방 구조는 채널 효과로 인해 이온 확산 속도를 증가시키고 전자 수송이 더 효율적이어서 배터리 전극에 적합합니다 (텅스텐 분말의 전기 화학 응용 참조). 산소 공극은 전도성을 향상시키기 위해 추가 전자 캐리어를 추가로 도입하여 결합 상태 텅스텐 산화물이 센서에서 잘 작동하도록 합니다.

촉매 분야에서 전자 구조의 국부적 변화(예: 산소 결핍 상태의 W)는 표면 활성 부위를 증가시켜 가스 분자 또는 유기물의 흡착 및 분해 능력을 향상시킵니다. 산업적으로, CTIA GROUP LTD 텅스텐 제품에서 산화 텅스텐의 성능은 전자 구조의 제어를 사용하여 최적화됩니다.

산화 텅스텐의 전자 구조는 결정 형태와 결합의 시너지 효과를 통해 기능적 특성에 깊은 영향을 미치며 결정 구조와 성능 사이의 관계의 핵심입니다.

#### 4.3.1.1 텅스텐 산화물 결정 구조가 전자 수송에 미치는 영향

텅스텐 산화물의 결정 구조는 전자 수송 성능에 지대한 영향을 미치며, 이는 격자 배열, 결합 분포 및 전자 구조의 시너지 효과로 인한 것입니다. 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)을 예로 들면, 결정 구조는 전자 운반체의 이동 속도와 전도도를 결정하며, 이는 센서, 배터리 및 전기 변색 장치에 적용하는 핵심 요소입니다.

단사정 텅스텐 산화물에서,  $\text{WO}_6$  팔면체는 동각 연결에 의해 비대칭 3 차원 네트워크를 형성합니다. 이 구조는 전자 구름의 불균일한 분포로 이어지고, 결정 격자에서 전자의 이동이 방해받으며, 캐리어 이동성이 낮습니다. 그러나 이 결정 형태는 전기장에 대한 반응으로 이온 삽입(예:  $\text{Li}^+$  또는  $\text{H}^+$ )에 의해 전자 수송 특성을 변경할 수 있습니다. 예를 들어, 스마트 유리의 경우 전압이 가해지면 이온이 격자에 내장되어 산소 결핍과 저가 텅스텐(예:  $\text{W}^{5+}$ )이 발생하여 전자 전달이 크게 향상되고 색상이 노란색에서 파란색으로 변합니다. 이 동적 제어는 단사정 결정 형태를 전기 응용 분야에서 우수하게 만듭니다.

육각형 텅스텐 산화물은 개방 채널 구조로 인해 전자 수송 효율이 더 높습니다.  $\text{WO}_6$  팔면체는 육각형 축을 따라 배열되어 채널 방향을 따라 전자의 이동 저항이 적은 1 차원 채널을 형성합니다. 이 구조는 나노로드 또는 나노와이어 형태에서 특히 분명하며 배터리 전극 또는 전계 효과 트랜지스터와 같은 전도성이 높은 응용 분야에 적합합니다. 연구에 따르면 육각형 형태의 전자 전달 속도는 격자 결합이 적고 전자 산란이 감소하기 때문에 단사정 결정 형태보다 몇 배 더 높습니다.

산소 공극은 텅스텐 산화물 전자 수송에 영향을 미치는 중요한 요소입니다. 블루 텅스텐 산화물 또는 바이올렛 텅스텐 산화물 에서 산소 공극의 존재는 추가 전자 운반체를 도입하여 전도성을 크게 증가시킵니다. 이 결합 상태에서 산화 텅스텐의



결정 구조가 왜곡되지만, 결합 에너지 준위의 형성으로 인해 전자 수송 경로가 최적화되고 가스 분자에 더 빨리 반응하기 때문에 가스 센서에 자주 사용됩니다.

텅스텐 산화물의 결정 구조는 결정 형태 및 결합의 조절을 통해 전자 수송의 효율성과 적용 방향을 직접 결정합니다.

#### 4.3.1.2 산화 텅스텐 밴드 구조와 결정 구조의 관계

산화 텅스텐의 밴드 구조는 결정 구조와 밀접한 관련이 있으며 광학 및 전기적 특성에 직접적인 영향을 미치는 전자 구조의 핵심입니다. 삼산화 텅스텐을 예로 들면, 밴드 갭, 전도 밴드 및 원자가 밴드의 위치는 대칭, 원자 배열 및 결정 격자의 결합에 의해 결정됩니다.

단사정 텅스텐 산화물에서,  $WO_6$  팔면체의 비대칭 배열은 전자 수준의 불균일한 분포를 초래한다. 원자가 밴드의 상단은 주로 산소의 2p 궤도로 구성되고 전도대의 하단은 텅스텐의 5d 궤도에 의해 기여하며 에너지 밴드 갭은 일반적으로 2.5-2.8 eV입니다. 이 밴드 구조는 산화 텅스텐이 자외선과 일부 가시 광선을 흡수 할 수 있게합니다. 단사정 결정 형태의 낮은 대칭은 전도대와 원자가 대역 사이의 전이 효율을 낮게 만들고 광생성 담체의 분리는 제한적이지만 높은 안정성으로 인해 광촉매 분야에서 여전히 장점이 있습니다.

육각형 텅스텐 산화물은 높은 대칭성과 개방 구조로 인해 약간 다른 밴드 구조를 가지고 있습니다.  $WO_6$  셀의 규칙적인 배열은 전자 산란을 감소시키고, 에너지 밴드 갭은 약간 더 작을 수 있으며 (2.4-2.7 eV), 전도 밴드의 바닥에있는 에너지가 감소합니다. 이러한 변화는 육각형 결정 형태를 특히 나노 형태에서 광 흡수가 약간 더 강하게 만들고 양자 효과는 에너지 밴드의 위치를 추가로 조정하여 광전자 장치 또는 광가수분해 응용 분야에 적합합니다. 사방정계 결정 형태의 띠 구조는 그 사이에 있으며, 향상된 대칭성은 더 부드러운 캐리어 이동과 더 높은 광촉매 활성으로 이어집니다.

결정 구조의 산소 공극이 밴드 구조에 미치는 영향은 특히 중요합니다. 파란색 또는 보라색 텅스텐 산화물에서 산소 공극은 전도대 아래에있는 결합 에너지 수준을 도입하여 에너지 밴드 갭을 더 줄일 수 있습니다 (2.0 eV 까지). 이러한 결합 상태는 산화 텅스텐의 광 흡수 범위를 향상시켜 광열 요법 또는 태양 에너지 활용에 적합한 근적외선 영역으로 확장됩니다. 동시에 결합 에너지 준위는 전자 트랩으로 작용하여 광생성 캐리어의 수명을 연장하고 촉매 효율을 향상시킵니다. 산업적으로 CTIA GROUP LTD는 결정 구조를 통해 밴드 구조를 조작하여 텅스텐 화학 물질에서 텅스텐 산화물의 광학 특성을 최적화합니다. 텅스텐 산화물의 밴드 구조와 결정 구조 사이의 밀접한 관계는 다양성의 이론적 기초입니다.

#### 4.3.2 산화 텅스텐 이온 수송 레벨 연결

##### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

텅스텐 산화물의 결정 구조는 이온 수송 능력과 밀접한 관련이 있으며, 이 연결은 배터리, 전기 변색 장치 및 이온 전도체에 대한 응용 가능성을 결정합니다. 삼산화 텅스텐을 예로 들면, 이온 수송 성능은 격자 채널, 결함 및 형태에 영향을 받으며, 이는 기능화의 중요한 측면입니다.

조밀 한 구조로 인해, 단사정 텅스텐 산화물은 좁은 이온 수송 채널과 낮은 확산 속도를 갖는다. 그러나 전기장의 작용으로 작은 이온 (예 :  $H^+$  또는  $Li^+$ )이 결정 격자에 내장되고  $WO_6$  8 개의 밝은 채널을 따라 천천히 이동할 수 있습니다. 이 이온 수송 기능을 통해 단사정 결정 형태는 스마트 유리에 내장된  $Li^+$ 와 같은 전기 변색 장치에서 잘 작동할 수 있습니다. 산소 결핍의 존재는 이온 수송을 더욱 향상시켜 결함으로 인한 추가 확산 경로를 제공합니다.

육각형 텅스텐 산화물은 개방 육각형 채널 구조로 인해 우수한 이온 수송 특성을 갖는다.  $WO_6$  단위에 의해 형성된 나노 스케일 채널은 단사정 결정 형태보다 훨씬 높은 최대  $10^{-8} \text{ cm}^2 / \text{s}$ 의 확산 계수로 이온 (예 :  $Li$  또는  $Na$ )의 빠른 확산을 가능하게합니다. 이 구조는 우수한 사이클링 특성을 가진 리튬 배터리 전극에 이상적인 재료입니다. 나노 막대 또는 나노 튜브 형태의 육각형 텅스텐 산화물은 높은 비 표면적으로 인해 접촉 면적을 증가시켜 이온 수송 효율을 더욱 향상시킵니다.

블루 텅스텐 산화물과 같은 결함 있는 텅스텐 산화물은 산소 공극 및 격자 왜곡으로 인해 더 복잡한 이온 전달 경로를 갖지만 추가 채널에 의해 확산 속도가 증가합니다. 이러한 특성으로 인해 전기화학 센서에 탁월합니다. 산업에서 텅스텐 분말의 이온 수송 성능은 종종 배터리 성능을 향상시키기 위해 결정 구조에 의해 최적화됩니다. 텅스텐 산화물의 이온 수송 능력은 결정 구조의 채널 및 결함과 직접적인 관련이 있으며, 이는 에너지 저장 및 감지 분야에서의 응용의 핵심입니다.

#### 4.3.2.1 산화 텅스텐 결정 구조가 이온 확산에 미치는 영향

이온 확산에 대한 산화 텅스텐의 결정 구조의 영향은 격자 채널의 크기, 대칭 및 결함 분포에 반영되며, 이는 이온의 이동 속도와 확산 경로를 직접 결정합니다. 삼산화 텅스텐을 예로 들면, 서로 다른 결정 형태와 형태는 이온 확산 특성에 상당한 차이가 있습니다.

밀집된 3 차원 네트워크로 인해 단사정 텅스텐 산화물은 이온 확산 채널이 좁고 확산 계수가 낮다(약  $10^{-10} \text{ cm}^2 / \text{s}$ ).  $WO_6$  팔면체의 동각도 연결은  $H^+$  또는  $Li^+$ 와 같은 작은 이온만 천천히 통과할 수 있는 제한된 공극을 생성합니다. 이 구조는 이온 확산이 느리지만 전자 구조와 색상을 변경하기에 충분하기 때문에 전기 변색 응용 분야에서 여전히 효과적입니다. 산소 결핍 물질의 도입은 확산 속도를 약간 증가시킬 수 있으며, 결함으로 인한 추가 건너편 부위를 제공할 수 있습니다.

육각형 텅스텐 산화물은 직경이 수 나노 미터까지의 육각형 채널과 최대  $10^{-8} \text{ cm}^2 / \text{s}$ 의 확산 계수를 가진 채널을 따라 이온 (예 : Li 또는  $\text{K}^+$ )의 빠른 확산으로 상당한 장점이 있습니다. 이 개방형 구조는 나노막대 또는 나노튜브에서 더 잘 작동하며, 1 차원 채널이 확산 저항을 감소시키기 때문입니다. 배터리에서 육각형 텅스텐 산화물의 높은 이온 확산성은 충 방전 성능을 크게 향상시킵니다.

사방 정계 텅스텐 산화물은 그 사이에 있고, 채널은 단사정 결정 형태보다 느슨하지만 육각형 결정 형태만큼 개방되어 있지 않으며, 이온 확산 속도는 적당하여 일부 특정 응용 분야에 적합합니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물 (예 : 나노 시트)은 높은 비 표면적과 짧은 확산 경로로 인해 이온 확산 효율을 더욱 최적화합니다. 산화 텅스텐의 결정 구조는 채널 크기와 결합을 통해 이온 확산을 조절하며, 이는 이온 수송 응용 분야의 핵심 요소입니다.

#### 4.3.2.2 텅스텐 산화물 결정의 구조적 안정성에 대한 이온 삽입 / 추출 공정의 영향

이온 삽입 및 추출 공정은 전기 변색 소자, 배터리 및 이온 도체에 텅스텐 산화물 적용의 핵심 메커니즘이며, 이 공정은 결정 구조의 안정성에 상당한 영향을 미칩니다. 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)을 예로 들면, 이온 (예 :  $\text{H}^+$ , Li 또는  $\text{Na}^+$ )의 반복적인 삽입 및 배출은 격자 매개 변수를 변경하고 응력을 발생시키며 심지어 재료의 장기적인 성능과 직접적인 관련이 있는 구조적 손상을 유발합니다.

단사정 텅스텐 산화물에서  $\text{WO}_6$  팔면체는 각도 연결에 의해 조밀한 3 차원 네트워크를 형성하고 이온 삽입 채널은 좁습니다. 작은 이온 (예 :  $\text{Li}^+$ )이 전기장에 의해 구동되는 격자에 내장되면  $\text{WO}_6$  세포 사이의 틈을 차지하여 격자가 팽창합니다. 예를 들어, 전기 변색 공정 중에 Li's 임베딩은 산화 텅스텐을 노란색에서 파란색으로 변경하여 격자 매개 변수 a, b 및 c 축을 각각 약 0.1-0.3 Å 증가시킵니다. 이 팽창은 국소 응력을 유발하며, 포매의 양이 적당하면 (예 :  $<0.5 \text{ mol/Li}^+$ ) 결정 구조가 안정적으로 유지되고 이온이 제거된 후 원래 상태로 돌아옵니다. 그러나 이온 임베딩의 양이 너무 크거나 사이클 수가 너무 많으면 격자 응력이 축적되어 미세 균열이 발생하거나 결정 구조의 비가역적 왜곡이 발생하여 안정성이 저하될 수 있습니다.

육각형 텅스텐 산화물은 개방 채널 구조로 인해 이온 삽입에 대한 적응성이 더 강합니다. 나노 스케일 채널을 형성하기 위해 육각형 축을 따라  $\text{WO}_6$  세포를 배열하면 작은 격자 팽창 (c 축에서 약 0.05-0.1 Å 변화) 및 균일한 응력 분포로 빠른 이온 삽입 및 배출이 가능합니다. 이 구조는 리튬 배터리에서 잘 작동하며 수백 사이클 동안 안정적입니다. 그러나 이온 크기가 너무 크거나 삽입 속도가 너무 빠르면 채널이 막혀 국부적인 구조 붕괴와 장기적인 안정성으로 이어질 수 있습니다.

이온 삽입은 또한 산소 결핍을 도입하며, 특히 파란색 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물이 더 두드러집니다. 임베딩 공정은 텅스텐 ( $\text{W} \rightarrow \text{W}^{5+}$ )의 감소를 동반하고 산소 공극이 증가하며 결정 구조가 왜곡됩니다. 이렇게하면 전도성이



향상되지만 공극이 너무 많으면  $WO_6$  셀의 연결 강도가 약화되어 반복 사이클 동안 결정 구조가 점차적으로 불안정해질 수 있습니다. 이온 삽입 / 추출 공정은 격자 응력 및 결합 변화를 통해 텅스텐 산화물 결정 구조의 안정성에 이중 효과를 미치며, 이는 응용 프로그램 설계의 핵심 고려 사항입니다.

#### 4.3.3 텅스텐 산화물 표면 특성의 관계

텅스텐 산화물의 표면 특성은 결정 구조와 밀접한 관련이 있으며, 이는 흡착 능력, 촉매 활성 및 전자 상태에 직접적인 영향을 미칩니다. 삼산화 텅스텐을 예로 들면, 결정 구조의 유형, 결정면 노출 및 결합 분포는 광 촉매, 센서 및 표면 코팅에서 성능의 기초가 되는 표면 원자의 배위 환경 및 활성 위치를 결정합니다.

단사정 결정 형태의 산화 텅스텐 표면은  $WO_6$  팔면체의 각도 연결로 구성되며, 노출된 결정 평면은 텅스텐과 산소 원자의 배위의 불포화로 인해 높은 표면 에너지를 갖는다. 이러한 표면 특성은 기체 분자(예:  $NO_2$ ) 또는 유기물에 대한 강력한 흡착 능력을 제공하여 가스 센서 및 광촉매에 적합합니다. 육각형 텅스텐 산화물은 촉매 반응에서 더 높은 효율을 보여주는 채널 구조로 인해 더 큰 비 표면적과 더 많은 활성 부위를 갖는다.

표면 결합은 산화 텅스텐의 표면 특성을 더욱 향상시킵니다. 블루 텅스텐 산화물에서 산소 공극에 의해 노출된 텅스텐 원자는 강력한 흡착 센터가 되고 물 분자의 흡착 능력이 크게 향상됩니다. 이 표면 특성은 습도 센서에서 우수합니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물의 표면 활성은 높은 비 표면적과 가장자리 효과로 인해 더욱 향상됩니다.

산화 텅스텐의 표면 특성은 또한 지형의 영향을받습니다. 벌크 텅스텐 산화물은 표면이 평평하고 활성 부위가 거의없는 반면, 나노 플라워 또는 박막 형태의 산화 텅스텐은 다공성과 높은 거칠기로 인해 더 나은 표면 특성을 갖는다. 산업적으로, CTIA GROUP LTD 는 결정 구조를 조정함으로써 표면 특성을 최적화하고 텅스텐 시장에서 텅스텐 산화물의 경쟁력을 향상시킵니다. 텅스텐 산화물의 표면 특성은 결정 구조에 의해 제어되며, 이는 표면 관련 응용 분야에서 핵심 장점입니다.

##### 4.3.3.1 표면 흡착에 대한 산화 텅스텐 결정 구조의 영향

표면 흡착 용량에 대한 산화 텅스텐 결정 구조의 영향은 주로 결정면 유형, 표면 에너지 및 결합 분포에 반영되며, 이는 가스, 액체 분자 또는 이온에 대한 흡착 성능을 직접 결정합니다. 삼산화 텅스텐을 예로 들면, 서로 다른 결정 형태와 형태의 표면 특성은 크게 다릅니다.

단사정 텅스텐 산화물의 표면은  $WO_6$  팔면체로 구성되며, (002) 및 (200)과 같은 일반적인 노출된 결정면은 표면의 텅스텐과 산소 원자의 불포화 배위로 인해 높은 표면 에너지를 갖는다. 이 구조는 극성 분자(예:  $H_2O$ ,  $NH_3$ )에 대한 강력한 흡착



능력을 가지며 흡착열은 수십 kJ/mol 에 달할 수 있습니다. 가스 센서에서 단사정 텅스텐 산화물은 표면의 산소 원자가 NO<sub>2</sub>와 화학 결합을 형성 할 수 있기 때문에 NO<sub>2</sub>를 흡착하는 특히 뛰어난 능력을 가지고 있습니다. 산소 결핍의 존재는 W<sup>5+</sup> 부위가 전자-공여체 분자(예: H<sub>2</sub>S)에 대해 강한 친화력을 갖기 때문에 흡착을 더욱 향상시킵니다.

채널 구조로 인해 육각형 텅스텐 산화물의 표면은 대부분 (001) 평면이며 개방성이 강하며 비 표면적은 50-100m<sup>2</sup> / g에 도달 할 수 있습니다. 이 결정면은 물리적 흡착 능력이 강할 뿐만 아니라 채널 효과로 인해 분자 확산을 향상시켜 거대분자(예: 유기 염료)의 흡착에 더 효율적입니다.

photocatalysis의 분야에서, 육각형 텅스텐 산화물에 의한 오염 물질의 흡착은 효율적인 분해를위한 전제 조건이다. 나노 막대 또는 나노 튜브 형태의 육각형 텅스텐 산화물은 가장자리 부위의 증가로 인해 흡착 능력을 더욱 증가시켰다.

사방 정계 텅스텐 산화물의 표면 특성은 결정 평면의 높은 규칙성과 적당한 흡착 부위가 그 사이에 있으며, 이는 특정 촉매 반응에 적합합니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물 (예 : 나노 시트)은 높은 비 표면적과 노출 된 가장자리 결정면으로 인해 벌크 재료보다 훨씬 우수한 흡착 능력을 가지고 있습니다. 산업적으로, 텅스텐 분말 표면 흡착 성능은 종종 촉매 지지체의 효율을 향상시키기 위해 결정 구조에 의해 최적화됩니다. 텅스텐 산화물의 결정 구조는 결정면과 결합을 통해 표면 흡착을 조절하며, 이는 흡착 관련 응용 분야의 핵심 요소입니다.

#### 4.3.3.2 산화 텅스텐 결정 구조와 표면 전자 상태 사이의 관계

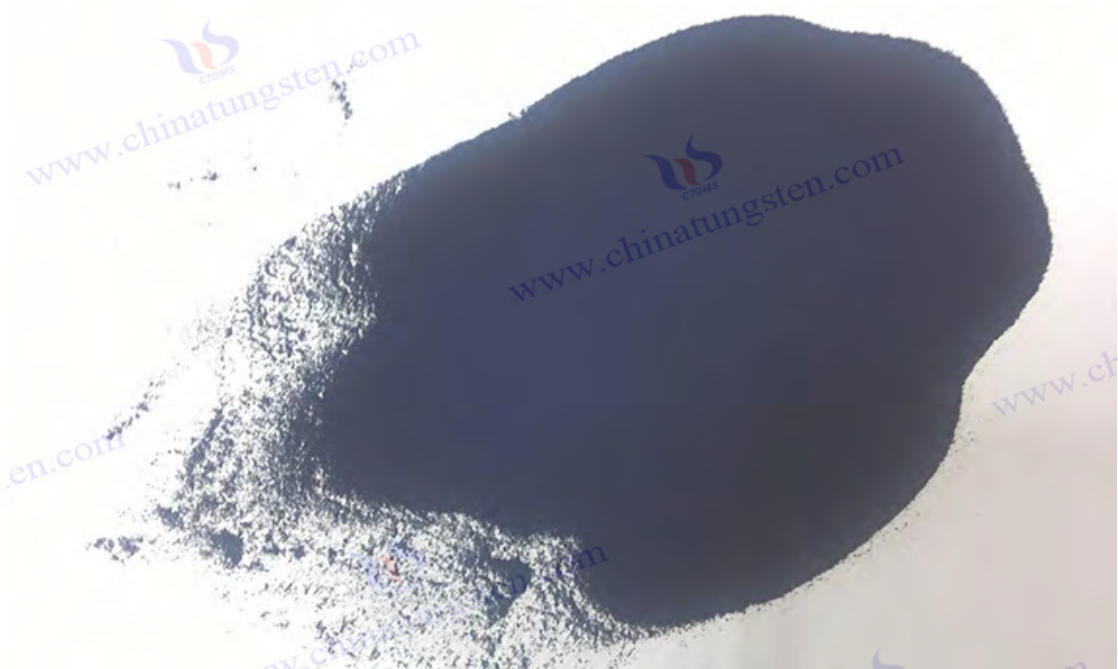
텅스텐 산화물 결정의 구조와 표면 전자 상태 사이의 관계는 결정면 노출, 결합 분포 및 전자 구름 분포를 통해 촉매 활성, 광전 특성 및 화학 반응 능력에 영향을 미치는 표면 기능적 특성의 핵심입니다. 삼산화 텅스텐을 예로 들면, 표면 전자 상태의 변화는 광촉매, 센서 및 전기 화학 분야에서의 성능을 직접 결정합니다.

단사정 텅스텐 산화물에서, 표면은 WO<sub>6</sub> 팔면체로 구성되고, 노출 된 결정면의 텅스텐 및 산소 원자 (예 : (002) 또는 (020))는 불포화 상태이며, 부유 결합이 있습니다. 산소의 2p 궤도와 텅스텐의 5d 궤도는 표면에 국부적 인 전자 상태를 형성하고 표면 에너지 수준은 벌크 상보다 약간 낮으며 밴드 갭은 0.1-0.2 eV 감소 될 수 있습니다. 이 전자 상태는 표면을 외부 분자와의 전자 전달에 취약하게 만듭니다. 예를 들어, 광촉매에서 표면 전자는 빛에 의해 전도대에 여기되어 활성산소종(예: • OH)를 분해하여 유기 오염 물질을 분해합니다. 산소 결핍의 존재는 표면 전자 상태를 크게 변화시키고 W<sup>5+</sup> 사이트의 존재는 전도대 아래에 위치한 결합 에너지 수준을 유발하여 전자 공여 수용 능력을 향상시키고 텅스텐 산화물을 CO와 같은 환원 가스에 더 민감하게 만듭니다.

육각형 텅스텐 산화물의 표면은 채널 구조가 더 많은 텅스텐 원자를 노출시키고 표면 전자 상태가 더 활성화되기 때문에 대부분 (001) 평면입니다. 결합 에너지 준위가 더 널리 분포되고 전자 전달 속도가 가속화되어 광전자 장치에서 더 높은 광전류 반응을 나타냅니다. 양자 효과로 인해, 나노 스케일 텅스텐 산화물 (예 : 나노 와이어 또는 나노 시트)의 표면 전자 상태가 더욱 국소화되고 전자 밀도가 증가하여 표면 반응성이 향상된다. 예를 들어, 물의 광분해로 인한 수소 생산에서 육각형 텅스텐 산화물의 표면 전자 상태는 전자-정공 분리 효율을 최적화합니다. 대조적으로, 사방정계 텅스텐 산화물에는보다 균일 한 표면 전자 상태, 높은 결정 평면 대칭 및 안정적인 전자 분포를 가지며 이는 일부 광전 코팅과 같이 낮은 결합이 필요한 응용 분야에 적합합니다.

표면 전자 상태도 지형의 영향을 받습니다. 벌크 텅스텐 산화물의 표면 전자 상태는보다 균일하고 활성이 낮은 반면, 나노 플라워 또는 박막 형태의 산화 텅스텐의 표면 전자 상태는 높은 비 표면적과 가장자리 효과로 인해 더 풍부하고 반응성이 높습니다. 예를 들어, 가스 센서에서 표면의 전자 상태 조작은 감지 감도와 선택성에 직접적인 영향을 미칩니다.

산화 텅스텐의 결정 구조는 결정면 노출 및 결합 분포를 통해 표면 전자 상태를 조절하며, 이는 표면 기능화의 이론적 기초 및 응용 열쇠입니다. 이 관계는 산화 텅스텐의 다양성을 드러낼뿐만 아니라 하이테크 분야에서 추가 개발을위한 방향을 제공합니다. 예를 들어, 텅스텐 시장에서는 표면 전자 상태가 최적화 된 산화 텅스텐이 점차 고 부가가치 물질에 대한 연구 핫스팟이되고 있습니다.



CTIA GROUP LTD WO<sub>2.72</sub>

## 5 장 : 텅스텐 산화물의 물리적 및 화학적 특성

### 5.1 텅스텐 산화물의 외관 및 색상

텅스텐 산화물의 외관과 색상은 화학 성분, 결정 구조 및 산소 함량을 직접 반영하는 가장 직관적인 물리적 특성 중 하나입니다. 예를 들어, 삼산화 텅스텐 (WO<sub>3</sub>)은 자연광에서 생생한 노란색을 띠기 때문에 일반적으로 황색 분말로 일반적인 형태의 황색 텅스텐 산화물로 알려져 있습니다. 이 색상은 자외선과 부분적으로 가시 광선을 흡수하는 능력으로 인해 자외선과 부분적으로 가시 광선을 흡수하는 능력 때문에 광학 응용 분야에서 가치가 있습니다. 그러나 산화 텅스텐은 색상이 모 놀리 식이 아니며 산소 함량의 변화로 인해 모양이 노란색에서 파란색, 자주색 및 갈색으로 변하여 풍부한 다양성을 보여줍니다.

황색 텅스텐 산화물은 일반적으로 공기 중에서 파라 텅스텐 산 암모늄 (APT)의 소성에 의해 얻어지는 가장 안정한 형태이며, 그 결정 구조는 대부분 단사 정계 결정 시스템이며, 입자 크기는 나노 미터에서 미크론에 이르며, 섬세하고 균일 한 외관을 갖는다. 산소 함량이 약간 감소하면, 예를 들어 수소 환원 분위기 하에서 제조하면, 산소 결핍으로 인한 전자 구조의 변화로 인해 색상이 발생하는 청색 텅스텐 산화물이 형성되며, 진한 파란색 또는 청색 - 검정색 분말로 나타납니다. 이 형태는 강한 환원성 때문에 산업에서 텅스텐 분말 생산의 중간체로 자주 사용됩니다. 산소 함량을 더욱 감소시킴으로써, 자주색 텅스텐 산화물을 얻을 수 있으며, 자주색 또는 자주색 - 검은 색으로 보이며 더 미세한 입자를 얻을 수 있으며 고 활성 촉매 연구에 자주 사용됩니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

산화 텅스텐의 출현은 또한 그 지형과 밀접한 관련이 있습니다. 벌크 텅스텐 산화물은 일반적으로 매끄러운 표면을 가진 둔한 노란색 고체이며, 나노 스케일 텅스텐 산화물 (예 : 나노 입자 또는 나노 와이어)은 특히 고순도 조건에서 광 산란으로 인해 더 밝거나 흰색으로 나타날 수 있습니다. 예를 들어, 스퍼터링으로 준비된 박막은 투명 기판에서 옅은 노란색 또는 무색으로 나타날 수 있지만 전기 변색 공정 중에는 파란색 또는 회색으로 변합니다. 또한, 텅스텐 산화물의 저장화 형태 인 이산화 텅스텐은 갈색 또는 짙은 갈색 분말 외관을 가지며 결정 구조는 외관이 더 거친 단사정 결정 시스템입니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 외관과 색상은 식별 마크 일뿐만 아니라 그 기능과 밀접한 관련이 있습니다. 예를 들어, 황색 텅스텐 산화물은 안정성과 광학적 특성으로 인해 스마트 유리 및 광촉매에 널리 사용됩니다. 파란색과 자주색 텅스텐 산화물은 높은 활성으로 인해 전기 화학 및 촉매 작용에 일반적으로 사용됩니다.

## 5.2 산화 텅스텐의 밀도 / 비중

텅스텐 산화물의 밀도 또는 비중은 분자 질량과 결정 구조의 조밀함을 반영하는 중요한 물리적 특성입니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 이론적 인 밀도는 약  $7.16 \text{ g / cm}^3$ 이며, 이는 텅스텐의 높은 산화 상태를 갖는 안정한 화합물이기 때문에 텅스텐 산화물 계열의 전형적인 것입니다. 밀도는 화학 조성과 관련이 있을뿐만 아니라 결정 형태, 입자 크기 및 형태에 영향을받으며, 이는 텅스텐 산화물 물질의 성능을 측정하는 중요한 매개 변수입니다.

삼산화 텅스텐의 밀도는  $WO_6$  팔면체와 작은 격자 공극의 조밀 한 배열로 인해 단사정 결정 형태에서 가장 일반적입니다. 파라 텅스텐 산 암모늄의 소성에 의해 제조 된 황색 텅스텐 산화물의 실제 밀도는 입자 사이의 미세 기공 또는 표면 결함의 존재로 인해 이론 값 (약  $7.0\text{--}7.1 \text{ g / cm}^3$ )보다 약간 낮을 수 있습니다. 블루 텅스텐 산화물 및 자주색 텅스텐 산화물은 산소 결석 증가로 인해 격자가 약간 느슨해짐으로 인해 각각  $6.8\text{--}7.0 \text{ g / cm}^3$  및  $6.5\text{--}6.8 \text{ g / cm}^3$ 의 밀도가 약간 감소합니다. 이산화 텅스텐의 밀도는 텅스텐 - 산소 비율의 감소로 인해 결정 구조가  $WO_6$  팔면체에서  $WO_4$  단위로 변화하기 때문에 약  $6.3 \text{ g / cm}^3$ 로 훨씬 낮습니다.

산화 텅스텐의 밀도는 또한 지형과 입자 크기의 영향을받습니다. 벌크 텅스텐 산화물의 밀도는 내부 기공이 작고 구조가 조밀하기 때문에 이론적 값에 가깝습니다. 그러나, 나노 스케일 텅스텐 산화물 (예 : 나노 입자 또는 나노 막대)의 겉보기 밀도는 나노 입자 사이의 많은 수의 공극과 낮은 벌크 밀도로 인해  $4\text{--}5 \text{ g / cm}^3$ 에 불과할 수 있습니다. 이 차이는 고밀도 텅스텐 산화물은 침전 및 가공에 더 취약한 반면, 저밀도 텅스텐 나노 산화물은 높은 비 표면적으로 인해 촉매 또는 코팅에 적합한 텅스텐 분말 생산과 같은 실제 응용 분야에서 특히 중요합니다.

산업 응용 분야에서 산화 텅스텐의 밀도는 가공 및 사용 성능에 직접적인 영향을

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



미칩니다. 고밀도 텅스텐 산화물은 환원 공정에서 질량 손실을 제어 할 수 있기 때문에 텅스텐 금속 또는 텅스텐 와이어의 제조에 적합합니다. 저밀도 텅스텐 산화물 나노는 경량 특성으로 인해 텅스텐 플라스틱 또는 텅스텐 고무와 같은 복합 재료에 사용됩니다. CTIA GROUP LTD 는 다양한 텅스텐 제품의 요구를 충족시키기 위해 결정 구조와 입자 형태를 최적화하여 텅스텐 산화물의 밀도를 조정합니다. 산화 텅스텐의 밀도는 물리적 특성을 반영 할뿐만 아니라 응용 프로그램 설계의 핵심 매개 변수이기도 합니다.

### 5.3 텅스텐 산화물의 열 안정성

산화 텅스텐의 열 안정성은 고온 환경에서 산화 텅스텐의 중요한 특성으로, 내화물, 광전자 장치 및 고온 촉매 작용에서의 적용 가능성을 직접 결정합니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면 열 안정성이 높고 고온에서 결정 구조의 무결성을 유지할 수 있지만 특정 성능은 화학 성분, 결정 형태 및 준비 조건과 밀접한 관련이 있습니다. 다음은 용점, 분해 온도 및 열팽창 계수의 세 가지 측면에서 자세히 논의됩니다.

대기압에서 삼산화 텅스텐의 열 안정성은 다음과 같습니다 : 약  $1000^{\circ}C$  이하에서는 결정 구조 (보통 단사정 결정 형태)가 안정적으로 유지되며 중요한 분해 또는 상변형이 발생하지 않습니다. 온도가  $1000-1200^{\circ}C$  로 상승하면 단사정에서 직교 또는 육각형 결정체로 가는 것과 같은 결정질 변형이 발생할 수 있지만 여전히 분해되지 않습니다. 블루 텅스텐 산화물과 자주색 텅스텐 산화물은 산소 공극이 더 많기 때문에 열 안정성이 약간 낮기 때문에 고온에서 산소를 더 잃고 이산화 텅스텐 또는 텅스텐 금속으로 전환되기 쉽습니다. 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ )은 저산화 구조가 환원 환경에서 분해하기가 더 어렵기 때문에 열적으로 더 안정적입니다.

산화 텅스텐의 열 안정성은 또한 대기의 영향을받습니다. 산화 분위기 (예 : 공기)에서 삼산화 텅스텐은 용점 근처까지 안정 할 수 있으며, 환원 대기 (예 : 수소)에서는 산소 공극이 증가하고 열 안정성이 감소하며 더 낮은 온도 (예 :  $700-800^{\circ}C$ )에서 텅스텐 금속으로 분해되기 시작할 수 있습니다. 이 특성은 텅스텐 분말의 생산에 널리 사용되며, 텅스텐 산화물의 환원은 분위기와 온도를 제어함으로써 달성됩니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물의 열 안정성은 높은 비표면적과 표면 에너지로 인해 고온에서 입자 합체 또는 구조 변화에 더 취약하기 때문에 벌크 물질의 열 안정성보다 약간 낮습니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 열 안정성은 고온 환경에 이상적인 재료가됩니다. 예를 들어, 텅스텐 와이어 또는 텅스텐 히터의 제조에서 고온 안정성은 가공 공정의 신뢰성을 보장합니다. 광촉매 분야에서 구조적 안정성은 장기적인 성능을 보장합니다.

#### 5.3.1 산화 텅스텐의 용점

산화 텅스텐의 용점은 극도의 고온에서 구조적 유지 능력을 반영하는 열 안정성의

중요한 지표입니다. 예를 들어, 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )의 경우, 녹는점은 일반적으로  $1473^{\circ}C$  (약  $1700K$ )로 결정되며, 이는 고온 재료에서 상당한 이점을 제공하는 값입니다. 용점은 텅스텐-산소 결합 ( $W-O$ )이 높은 공유 및 이온 특성을 가지며 결합 에너지가 더 강하기 때문에 텅스텐 산화물의 화학 결합 강도 및 결정 구조와 밀접한 관련이 있습니다.

삼산화 텅스텐의 용점은 단사정 결정 형태에서 가장 일반적이며,  $WO_6$  팔면체 3 차원 네트워크 구조는 파괴하는 데 매우 높은 에너지를 필요로 합니다. 과라 텅스텐 산화물과 암모늄에 의해 소성 된 황색 텅스텐 산화물의 용점은 미량의 불순물 또는 입자 크기로 인해 약간 변동 될 수 있지만 일반적으로  $1470-1480^{\circ}C$  사이입니다. 블루 텅스텐 산화물과 자주색 텅스텐 산화물은 결정 격자의 전반적인 안정성을 약화시키는 산소 공극의 존재로 인해 각각  $1450-1470^{\circ}C$  및  $1430-1460^{\circ}C$ 의 약간 낮은 용점을 갖는다. 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ )은 약  $1700^{\circ}C$ 의 높은 용점을 가지며 낮은 산화 상태 구조로 인해 고온에서 용융하기가 더 어렵지만 산화 분위기에서 삼산화 텅스텐으로 쉽게 전환됩니다.

산화 텅스텐의 용점은 또한 지형의 영향을받습니다. 벌크 텅스텐 산화물의 용점은 조밀 한 구조와 균일 한 열전도로 인해 이론적 값에 가깝습니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물의 용점은 표면적과 표면이 높기 때문에 입자가 고온에서 쉽게 합쳐지거나 녹기 때문에  $50-100^{\circ}C$  감소 할 수 있습니다. 이 차이는 텅스텐 금속 생산에서 높은 용점을 갖는 텅스텐 산화물과 같은 실제 응용 분야에서 특별한주의를 기울여야 하며, 이는 고온 감소 공정에 더 적합합니다.

산업 응용 분야에서 텅스텐 산화물의 높은 용점은 텅스텐 히터 또는 고온로 라이닝 재료와 같은 내화 재료에 이상적입니다. CTIA GROUP LTD 는 가혹한 고온 환경의 요구를 충족시키기 위해 결정 구조와 순도를 제어함으로써 텅스텐 산화물의 용점 성능을 더욱 향상시킵니다. 산화 텅스텐의 용점은 열 안정성과 고온 응용의 기초를 직접 반영합니다.

### 5.3.2 산화 텅스텐의 분해 온도

산화 텅스텐의 분해 온도는 산소 원자를 잃기 시작하거나 특정 조건에서 화학적 변화를 겪기 시작하는 온도를 말하며, 이는 열 안정성과 밀접한 관련이 있습니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 분해 온도는 구조가 안정하고 직접 분해가 쉽지 않기 때문에 일반적으로 용점 ( $1473^{\circ}C$ )을 초과하여 대기 중 산화 분위기에서 매우 높습니다. 그러나 환원 분위기에서는 분해 온도가 크게 감소하고 텅스텐 분말 생산의 핵심 매개 변수가 됩니다.

공기 중에서 삼산화 텅스텐의 분해 온도는 용융 후에도  $WO_3$  조성을 유지하고 약  $1500-1600^{\circ}C$  까지 소량의 산소를 천천히 휘발시킬 수 있기 때문에 명확하게 정의하기가 어렵습니다. 수소와 같은 환원 분위기에서 삼산화 텅스텐은  $700-900^{\circ}C$ 에서 분해되기 시작하여 청색 텅스텐 산화물 ( $WO_{2.9}$ ) 또는 자주색 텅스텐 산화물을

형성하고 최종적으로 1000-1200 ° C에서 텅스텐으로 전환된다. 이 분해 과정은 산소 결핍의 형성과 밀접한 관련이 있으며 온도가 높을수록 환원 정도가 깊어집니다. 블루 텅스텐 산화물과 자주색 텅스텐 산화물은 더 낮은 온도에서 분해되고, 더 이상의 산소는 800-1000 ° C의 범위에서 손실되어 이산화 텅스텐 또는 텅스텐을 형성한다. 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ )은 분해 온도가 높고 불활성 분위기에서 약 1500 ° C 까지 안정적이지만 산화 분위기에서 삼산화 텅스텐으로 빠르게 산화됩니다.

산화 텅스텐의 분해 온도도 입자 크기의 영향을받습니다. 높은 표면적 및 표면 활성으로 인해, 나노 스케일 텅스텐 산화물의 분해 온도는 50-100 ° C 감소시킬 수 있으며, 감소는 600-800 ° C에서 시작될 것이다. 벌크 텅스텐 산화물은 조밀한 구조, 더 높은 분해 온도 및 더 강한 안정성을 갖는다. 이 특성은 텅스텐 금속의 산업 환원, 예를 들어 정확한 온도 제어를 통한 단계별 분해에 완전히 활용됩니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 분해 온도는 고온 감소 공정에서의 거동을 결정한다. 산화 텅스텐의 분해 온도는 열 안정성과 화학 반응성의 교차점입니다.

### 5.3.3 산화 텅스텐의 열팽창 계수

산화 텅스텐의 열팽창 계수는 온도 변화에 따른 체적 또는 선형 팽창의 정도이며, 결정 구조가 열 응력에 반응하는 능력을 반영합니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 열팽창 계수는 실온에서 1000 ° C까지의 범위에서 약  $6-8-10 \times 10^{-6} K^{-1}$ 이며, 이는 상대적으로 낮으며, 이는 고온에서 우수한 치수 안정성을 가지고 있음을 나타내며, 이는 고온 장치에 적용하기위한 중요한 기초입니다.

삼산화 텅스텐의 열팽창 계수는  $WO_6$  팔면체의 긴밀한 배열이 결정 격자의 열팽창을 제한하기 때문에 단사정 결정 형태에서 일반적입니다. 예를 들어 A, B, C의 세 축을 따라 팽창 계수에 약간의 차이가 있으며, 예를 들어 C축을 따라 약간 더 높을 수 있습니다(약  $8 \times 10^{-6} K^{-1}$ ), 격자 비대칭으로 인해 열 응력이 불균일하게 분포됩니다. 텅스텐 산 분해에 의해 제조된 황색 텅스텐 산화물의 열팽창 계수는 입자 크기 및 불순물에 따라 약간 다를 수 있지만 일반적으로  $6-9 \times 10^{-6} K^{-1}$  사이로 유지됩니다. 블루 텅스텐 산화물과 자주색 텅스텐 산화물은 열팽창 계수가 약간 더 높으며 (약  $8-10 \times 10^{-6} K^{-1}$ ) 격자는 산소 공극으로 인해 이완되고 열팽창이 더 분명합니다. 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ )은 약  $5-7 \times 10^{-6} K^{-1}$ 의 열팽창 계수를 가지며 구조가 더 단순하기 때문에 약간 덜 팽창합니다.

텅스텐 산화물의 열팽창 계수는 또한 형태 및 준비 조건의 영향을받습니다. 벌크 텅스텐 산화물의 열팽창 계수는 균일한 내부 응력으로 인해 이론적 값에 가깝습니다. 그러나, 나노 스케일 텅스텐 산화물 (예 : 나노 박막)은 표면 효과 및 입자 경계의 증가로 인해 열팽창 계수를 10-20 % 증가시킬 수 있으며 고온에서 변형하기가 더 쉽습니다. 이 특성은 열 응력으로 인한 균열을 방지하는 스마트 유리나 같은 박막 응용 분야에서 특히 고려됩니다.



산업 응용 분야에서 텅스텐 산화물의 낮은 열팽창 계수는 텅스텐-구리 복합체 또는 광전자 장치와 같은 고온 환경의 섬세한 부품에 적합합니다. CTIA GROUP LTD는 결정 구조를 최적화하고 텅스텐 산화물의 열팽창 계수를 감소시켜 고온 텅스텐 제품에서 텅스텐 산화물의 성능을 향상시킵니다. 산화 텅스텐의 열팽창 계수는 열 안정성과 기계적 특성의 중요한 구체화입니다.

#### 5.4 산화 텅스텐의 용해도

텅스텐 산화물의 용해도는 화학적 특성의 중요한 측면이며, 이는 습식 제련, 화학 반응 및 용액 준비에서의 거동에 직접적인 영향을 미칩니다. 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)을 예로 들면 물에 거의 녹지 않으며 용해도가 매우 낮아 (약 0.02g / 100mL, 25 ° C)이 잘 녹지 않는 화합물입니다. 이 특성은 강력한 공유 이온 하이브리드 결합(W-O 결합)과 안정적인 결정 구조에서 비롯되며, 이는 기존 조건에서 물 분자에 의해 해리하기 어렵게 만듭니다.

산성 용액에서 산화 텅스텐의 용해도는 약간 다르지만 여전히 제한적입니다. 예를 들어, 묽은 염산 또는 황산에서 삼산화 텅스텐의 용해도는 미량의 텅스텐 산이 표면에 형성 될 수 있기 때문에 약간 증가하지만 전체는 불용성 상태로 남아 있습니다. 그러나 강산 (예 : 진한 질산)에서 텅스텐 산화물은 특히 가열 조건에서 천천히 반응하여 용해성 텅스텐 산 또는 텅스텐 산염을 형성합니다. 이 반응은 텅스텐 금속 으로 추가 가공되는 산 침출에 의해 텅스텐 산화물을 용액 중간체로 전환하기 위해 볼프 라마이트 또는 셀 라이트의 습식 정제에 널리 사용됩니다. 대조적으로, 이산화 텅스텐 (WO<sub>2</sub>)은 낮은 산화 상태 구조로 인해 강산에서 약간 더 용해되고 반응성이 높습니다.

알칼리성 용액에서 산화 텅스텐의 용해도는 특히 NaOH 또는 KOH와 같은 강염기에서 크게 향상된다. 삼산화 텅스텐은 수산화 나트륨과 반응하여 텅스텐 산 나트륨 (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>)을 형성 할 수 있으며 용해도는 100ml 당 수십 그램에 도달 할 수 있습니다. 예를 들어, 80 ° C의 농축 알칼리성 용액에서 삼산화 텅스텐은  $WO_3 + 2NaOH \rightarrow Na_2WO_4 + H_2O$  반응으로 빠르게 용해됩니다. 이 특성은 예를 들어 텅스텐 산화물을 알칼리화하여 달성되는 파라 텅스텐 산 암모늄 텅스텐 산염으로부터 텅스텐 화합물을 제조 할 때와 같이 텅스텐 산염의 산업 생산의 기초입니다. 블루 텅스텐 산화물과 자주색 텅스텐 산화물은 알칼리에서 유사한 용해도를 갖지만 더 많은 산소 공극으로 인해 반응 속도가 약간 빠릅니다.

텅스텐 산화물의 용해도는 또한 지형과 입자 크기의 영향을받습니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물 (예 : 나노 입자)의 높은 비 표면적으로 인해 산 -염기 용액의 용해 속도는 벌크 물질의 용해 속도보다 높지만 여전히 불용성 범위에 있습니다. 에탄올 또는 아세톤과 같은 유기 용매에서 산화 텅스텐은 유기 분자와 반응하는 활성 부위가 없기 때문에 거의 완전히 불용성입니다. 산화 텅스텐의 용해도는 화학적 안정성과 반응 선택성을 반영하며, 이는 화학 및 야금 분야에서의 응용의 중요한 특성입니다.



## 5.5 산화 텅스텐의 경도 및 기계적 강도

산화 텅스텐의 경도 및 기계적 강도는 내마모성 재료, 코팅 및 구조 구성 요소의 적합성을 결정하는 물리적 특성의 중요한 징후입니다. 산화 텅스텐의 일반적인 형태인 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )은 경도와 기계적 강도가 높지만 특정 값은 결정 형태, 형태 및 준비 조건에 따라 다릅니다.

삼산화 텅스텐의 경도는  $WO_6$  팔면체 결정 구조로 인한 것이며, 텅스텐-산소 결합의 강력한 공유 및 이온 특성은 변형에 대한 높은 내성을 제공합니다. 단사정 결정 형태에서, 텅스텐 산화물은 블루 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물과 같은 비 정수 화합물보다 조밀 한 격자 배열과 더 나은 기계적 특성을 갖는다. 벌크 텅스텐 산화물의 경도와 강도는 세라믹 재료의 경도와 강도에 가깝지만, 나노 스케일 텅스텐 산화물의 기계적 특성은 입자 경계와 입자 효과의 증가로 인해 변합니다. 텅스텐 산화물의 경도는 텅스텐 구리 복합재에서 강화 단계가되어 전반적인 내마모성을 향상시킵니다.

기계적 강도 측면에서, 텅스텐 산화물은 우수한 압축 저항을 나타내지만 약한 전단 및 인장 저항을 나타냅니다. 이 특성은 단사정 결정 형태의 층상 배열과 같은 결정 구조의 이방성과 관련이 있으며, 이는 특정 방향으로 파괴되기 더 쉽게 만듭니다. 산업적으로, 텅스텐 산화물은 종종 파라 텅스텐 산 암모늄에 의해 분말로 소성되고, 그 후 성형으로 압착되며, 기계적 강도는 가압 밀도 및 소결 조건의 영향을받는다. 고온에서 소결 된 텅스텐 산화물 블록은 더 강하고 느슨한 나노 텅스텐 산화물 분말은 더 약합니다.

산화 텅스텐의 경도와 기계적 강도는 또한 결합의 영향을받습니다. 격자 왜곡으로 인해, 산소 공극이 많은 자주색 텅스텐 산화물의 경도와 강도는 삼산화 텅스텐보다 약간 낮지만 촉매 지지체의 요구를 충족시키기 위해 여전히 충분합니다. 실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 기계적 특성은 종종 텅스텐 플라스틱 또는 텅스텐 고무와 결합하는 것과 같은 배합에 의해 강화되어 인성과 강도를 향상시킵니다. CTIA GROUP LTD는 결정 구조와 입자 형태를 최적화하여 텅스텐 제품에서 텅스텐 산화물의 기계적 특성을 향상시킵니다. 텅스텐 산화물의 경도와 기계적 강도는 내구성 적용의 핵심 지표이며, 결정 구조와 실용성의 조합을 반영합니다.

### 5.5.1 산화 텅스텐의 모스 경도

텅스텐 산화물의 모스 경도는 외부 침식에 대한 표면 저항을 반영하여 굽힘 저항을 측정하는 중요한 매개 변수입니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )의 경우, 모스 경도는 일반적으로 4.5-5.5 사이이며 일반적인 세라믹 재료 (예 : 알루미늄, 경도 9)보다 약간 낮지만 많은 금속 산화물보다 높습니다. 이 수준의 경도는 내마모성 코팅 및 기계 부품에 가치가 있습니다.

삼산화 텅스텐의 모스 경도는 주로  $WO_6$  팔면체 결정 구조에 기인하며, 텅스텐-산소

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

결합의 강한 공유가는 높은 굽힘 저항성을 제공합니다. 단사정 형태에서, 텅스텐 산화물은 조밀 한 격자 배열과 표면의 강한 원자 간 접촉력으로 인해 약 5의 경도를 갖는다. 암모늄 메타 텅스텐 산염의 열수 법에 의해 제조 된 텅스텐 나노 산화물의 경도는 입자 경계 효과와 나노 입자의 표면 결합으로 인해 전체 강도를 약화시키기 때문에 약간 낮을 수 있습니다 (약 4.5). 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ )은 낮은 산화 상태와 더 조밀 한 구조로 인해 약 5.5-6의 경도가 약간 높습니다.

텅스텐 산화물의 모스 경도는 또한 지형과 입자 크기의 영향을받습니다. 벌크 텅스텐 산화물의 경도는 구조적 무결성과 표면 결합이 적기 때문에 5.5에 가깝습니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물 (예 : 나노 필름 또는 나노 입자)의 경도는 4-4.5로 떨어질 수 있으며, 높은 비 표면적과 입자 경계가 증가하기 때문에 표면이 굽힘에 더 취약해집니다. 또한, 산소 결핍이 더 많은 청색 텅스텐 산화물과 자주색 텅스텐 산화물은 경도가 약간 낮고 (약 4-5) 격자 변형에 의해 원자 간 결합력이 감소합니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 모스 경도는 내마모성 코팅 또는 복합 재료의 강화 단계로 적합합니다. 예를 들어, 페로 텅스텐 또는 금 텅스텐에 산화 텅스텐을 첨가하면 \_ 표면 경도와 내마모성을 향상시킬 수 있습니다. 텅스텐 산화물의 모스 경도는 내구성에 직접적인 영향을 미치는 기계적 특성의 기초입니다.

### 5.5.2 산화 텅스텐의 압축 강도

산화 텅스텐의 압축 강도는 기계적 강도의 핵심 지표로, 압력 하에서 변형 및 분쇄에 대한 내성을 반영합니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면 압축 강도는 일반적으로 500에서 800 MPa 사이이므로 세라믹 재료 중에서 적당히 높은 성능을 가지며 고압 환경에 적합합니다.

삼산화 텅스텐의 압축 강도는 단사정 결정 구조와 밀접한 관련이 있으며,  $WO_6$  팔면체의 3 차원 네트워크는 높은 압축 저항을 제공합니다. 텅스텐 산의 소성에 의해 제조 된 벌크 텅스텐 산화물의 압축 강도는 단단한 입자 간 결합과 내부 결합이 거의 없기 때문에 700-800 MPa에 도달 할 수 있습니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물의 압축 강도는 현저히 감소하고 (약 300-500 MPa), 입계 공극 및 입계 효과로 인해 압력 하에서 파괴되기 쉽습니다. 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ )은 구조가 간단하고 격자 안정성이 강하기 때문에 압축 강도가 약 800-900 MPa로 약간 높습니다.

산화 텅스텐의 압축 강도는 또한 제조 공정의 영향을받습니다. 고밀도로 인해, 고온 소결 텅스텐 산화물 블록의 압축 강도는 상한에 가까운 반면, 느슨한 분말 텅스텐 산화물 (예 : [텅스텐 분말 전구체](#))의 압축 강도는 200-300 MPa에 불과하여 낮습니다. 또한, 산소 공극이 더 많은 청색 텅스텐 산화물 및 자주색 텅스텐 산화물은 압축 강도가 약간 낮아 (약 400-600 MPa) 결합으로 인해 결정 격자의 전체 강도를 약화시킵니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 압축 강도는 텅스텐 와이어 생산에서 프레스

블랭크의 원료와 같은 고압 성형 공정에 적합합니다. CTIA GROUP LTD는 내압 재료에 대한 텅스텐 회사의 요구를 충족시키기 위해 소결 조건을 최적화하여 텅스텐 산화물의 압축 강도를 향상시킵니다. 산화 텅스텐의 압축 강도는 기계적 특성의 중요한 구체화이며, 이는 고압 환경에서의 신뢰성을 결정합니다.

### 5.5.3 산화 텅스텐의 전단 강도

산화 텅스텐의 전단 강도는 기계적 강도의 또 다른 핵심 매개 변수로, 전단 응력으로 인한 변형 또는 파괴에 저항하는 능력을 반영합니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면 전단 강도는 일반적으로 200-300 MPa이며 이는 압축 강도보다 낮아 특정 이방성을 나타냅니다. 이 특성으로 인해 전단력이 높은 응용 분야에서는 약간 덜 효과적이지만 여전히 실용적입니다.

삼산화 텅스텐의 전단 강도는 단사 정 결정 구조와 관련이 있으며,  $WO_6$  팔면체의 층 배열로 인해 일부 방향에서 약합니다. \_ 암모늄 파라 텅스텐 산염의 소성에 의해 얻어진 벌크 텅스텐 산화물의 전단 강도는 약 250-300 MPa이며, 입자 간 결합력은 특정 전단 응력에 저항하기에 충분하기 때문입니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물의 전단 강도는 입자 경계의 증가와 입자 간의 느슨한 연결로 인해 크게 감소하여 (약 100-200 MPa) 전단 아래에서 쉽게 미끄러질 수 있습니다. 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ )은보다 균질 한 구조로 인해 약 300-350 MPa의 약간 높은 전단 강도를 갖는다.

산화 텅스텐의 전단 강도는 또한 형태와 결합의 영향을받습니다. 박막 텅스텐 산화물의 전단 강도는 적고 (약 150-200 MPa) 중간층을 따라 파괴되기 쉽습니다. 그러나, 산소 공극이 더 많은 청색 텅스텐 산화물 및 자주색 텅스텐 산화물의 전단 강도는 더욱 감소하고(약 120-180 MPa), 전단 저항은 격자 왜곡에 의해 약화된다. 복합 재료에서, 텅스텐 산화물의 전단 강도는 텅스텐 구리 또는은 텅스텐을 첨가하여 전반적인 특성을 향상시킬 수 있습니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 전단 강도는 텅스텐 히터와 같은 낮은 전단 응력을 가진 시나리오에서 잘 작동합니다. 산화 텅스텐의 전단 강도는 복잡한 응력 환경에서의 한계와 잠재력을 반영하여 기계적 특성을 보완합니다.

### 5.6 텅스텐 산화물의 비 표면적

산화 텅스텐의 비 표면적은 입자 크기, 형태 및 표면 활성을 직접 반영하는 물리적 특성의 중요한 매개 변수이며 촉매, 흡착 및 에너지 저장의 적용에 중요한 영향을 미칩니다. 삼산화 텅스텐 을 예로 들면, 비 표면적은 제조 방법 및 입자 크기에 따라 다르며 일반적으로  $1-100\text{m}^2 / \text{g}$  범위에서 다양하며, 이는 기능의 중요한 지표입니다.

벌크 텅스텐 산화물은 큰 입자 (미크론 규모)와 활성 부위의 제한된 표면 노출로 인해 일반적으로  $1-5\text{m}^2 / \text{g}$  사이의 낮은 비 표면적을 갖는다. 파라 텅스텐 산



암모늄의 고온 소성에 의해 얻어진 황색 텅스텐 산화물의 비 표면적은 일반적으로  $2-10 \text{ m}^2 / \text{g}$ 이며, 이는 환원 공정 중에 과도한 표면 활성을 필요로하지 않기 때문에 텅스텐 분말 전구체에 적합합니다. 대조적으로, 나노 스케일 텅스텐 산화물의 비 표면적은  $50-100 \text{ m}^2 / \text{g}$ 의 비 표면적을 갖는 암모늄 메타 텅스텐 산염의 열수 법에 의해 제조된 나노 입자 또는 나노 막대와 같이 크게 증가한다. 이 높은 비표면적은 입자 크기( $10-100\text{nm}$ )와 형태학적 다양성(예: 나노와이어 또는 나노플라워)의 감소로 인해 표면 원자의 비율이 크게 높아지기 때문입니다.

텅스텐 산화물의 비 표면적은 또한 결정 형태 및 산소 공극과 관련이 있습니다. 단사정 텅스텐 산화물은 상대적으로 안정한 비 표면적을 갖는 반면, 육각형 나노 구조는 채널 효과로 인해 비 표면적이 더 높으며 광촉매 또는 가스 센서에 자주 사용됩니다 (텅스텐 기술 참조). 블루 텅스텐 산화물 및 자주색 텅스텐 산화물의 비 표면적은 같은 크기의 삼산화 텅스텐보다 약간 높으며 (약  $10-20\%$  증가), 산소 결핍 및 더 많은 활성 부위로 인해 표면 거칠기가 증가합니다. 이산화 텅스텐 ( $\text{WO}_2$ )은 단순한 결정 구조와 입자가 합쳐지는 경향으로 인해 비 표면적 ( $5-20\text{m}^2 / \text{g}$ )이 낮습니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 높은 비 표면적은 촉매 분야에서 우수하며, 예를 들어, 유기 오염 물질을 분해 할 때, 나노 텅스텐 산화물의 높은 표면적은 더 많은 반응물을 흡착하고 효율을 향상시킬 수 있습니다. 텅스텐 산화물의 비 표면적은 표면 기능의 직접적인 반영이며 나노 기술에서의 응용을 위한 핵심 매개 변수입니다.

## 5.7 텅스텐 산화물의 벌크 밀도

산화 텅스텐의 벌크 밀도는 자연 패킹 상태에서의 분말의 밀도를 말하며, 이는 입자 사이의 공극 및 축적 특성을 반영하고 저장, 운송 및 가공 특성에 중요한 영향을 미칩니다. 예를 들어, 삼산화 텅스텐 ( $\text{WO}_3$ )의 경우, 벌크 밀도는 일반적으로  $1.0$ 에서  $2.5 \text{ g} / \text{cm}^3$  사이이며, 이는 입자 사이의 많은 수의 공극으로 인해 이론적 밀도 ( $7.16 \text{ g} / \text{cm}^3$ )보다 훨씬 낮습니다.

벌크 텅스텐 산화물은 텅스텐 산의 소성에 의해 생성된 미크론 크기의 황색 텅스텐 산화물과 같은 높은 벌크 밀도를 가지며 약  $2.0-2.5 \text{ g} / \text{cm}^3$ 의 느슨한 밀도를 갖는다. 이 더 높은 벌크 밀도는 더 큰 입자 ( $1-10 \text{ }\mu\text{m}$ ), 더 단단한 패킹 및 더 적은 공극으로 인해 텅스텐 금속 또는 텅스텐 와이어의 산업 생산에 적합합니다. 예를 들어, 나노 스케일 텅스텐 산화물의 벌크 밀도는 크게 감소하는데, 예를 들어 열수 법으로 제조된 나노 입자의 벌크 밀도는 나노 입자 ( $10-100 \text{ nm}$ ) 사이의 갭 증가와 느슨한 축적으로 인해  $0.5-1.0 \text{ g} / \text{cm}^3$ 에 불과합니다. 이 낮은 밀도는 텅스텐 플라스틱 또는 텅스텐 고무에 쉽게 분산되도록 합니다.

텅스텐 산화물의 벌크 밀도는 또한 형태와 결정 형태의 영향을받습니다. 단사정 텅스텐 산화물 입자는 규칙적이며 높은 벌크 밀도 ( $1.5-2.5 \text{ g} / \text{cm}^3$ )를 갖는 반면, 육각형 나노 막대 또는 나노 튜브는 복잡한 형태로 인해 낮은 벌크 밀도 ( $0.8-1.5 \text{ g}$



( $\text{g} / \text{cm}^3$ )를 갖는다. 블루 텅스텐 산화물과 자주색 텅스텐 산화물은 산소 공극으로 인해 입자 표면이 거칠어지고 축적 효율이 감소하기 때문에 느슨한 밀도 ( $1.0\text{--}2.0 \text{ g} / \text{cm}^3$ )가 약간 낮습니다. 이산화 텅스텐 ( $\text{WO}_2$ )은 입자가 응집되는 경향이 있기 때문에 약  $1.5\text{--}2.2 \text{ g} / \text{cm}^3$ 의 느슨한 밀도를 갖는다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 부피 밀도는 가공 기술에 영향을 미친다. 예를 들어, 벌크 밀도가 높은 산화 텅스텐은 프레스 할 때 쉽게 얻을 수 있으며, 벌크 밀도가 낮은 나노 텅스텐 산화물은 경량 코팅에 적합합니다. CTIA GROUP LTD 는 다양한 텅스텐 시장의 요구에 맞게 입자 크기와 형태를 조정하여 텅스텐 산화물의 벌크 밀도를 최적화합니다. 텅스텐 산화물의 느슨한 밀도는 물리적 특성과 실용성 사이의 중요한 다리입니다.

## 5.8 텅스텐 산화물의 광학적 특성

산화 텅스텐의 광학 특성은 광 촉매, 광 변색 및 광전자 장치에 적용하기 위한 기초이며 결정 구조 및 전자 구조와 밀접한 관련이 있습니다. 산화 텅스텐의 일반적인 형태 인 삼산화 텅스텐 ( $\text{WO}_3$ )을 예로 들면, 광학 특성에는 광 흡수, 투과 및 반사 특성이 포함되며 밴드 갭 및 결합 상태로 인해 다양성을 나타냅니다.

삼산화 텅스텐은 약  $2.5\text{--}2.8 \text{ eV}$ 의 에너지 밴드 갭을 가지며, 이는 넓은 밴드 갭 반도체로 자외선과 일부 가시 광선을 흡수 할 수 있으며 노란색 외관을 갖습니다. 이 광학적 특성은 물을 쪼개거나 유기 오염 물질을 분해하는 것과 같은 광촉매 분야에서 이점을 제공합니다. 비대칭 구조로 인해 단사정 텅스텐 산화물은 약간 더 넓은 광 흡수 가장자리를 갖는 반면, 육각형 나노 구조는 양자 효과로 인해 약간 더 작은 밴드 갭 ( $2.4\text{--}2.7 \text{ eV}$ )과 더 넓은 흡수 범위를 가질 수 있습니다. 청색 텅스텐 산화물과 자주색 텅스텐 산화물 사이의 밴드 갭은 더욱 감소하고( $2.0\text{--}2.5 \text{ eV}$ ), 산소 공극에 의한 결합 에너지 수준의 도입으로 인해 광 흡수가 근적외선 영역으로 확장됩니다.

산화 텅스텐의 광학적 특성은 전기 변색 능력에서도 나타납니다. 전기장의 작용으로 삼산화 텅스텐은 이온 삽입 (예 :  $\text{Li}^+$ )에 의해 노란색에서 파란색 또는 회색으로 변색 할 수 있습니다. 이러한 특성으로 인해 투과율을 80%에서 10% 미만으로 줄일 수 있는 스마트 유리에 널리 사용됩니다. 박막 형태의 산화 텅스텐의 광학적 특성이 더 좋으며, 제어 가능한 두께로 인해 반사 및 투과 특성을 쉽게 조정할 수 있습니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물은 광 산란 효과가 향상되어 반투명 또는 백색으로 나타날 수 있습니다.

실제 응용에서, 텅스텐 산화물의 광학적 특성은 광전자 공학 분야에서 빛을 발합니다. 예를 들어, 텅스텐 산 광촉매는 빛을 흡수하는 특성을 사용하여 오염 물질을 분해하는 반면, 텅스텐 히터의 광학 코팅은 색상 변경 특성을 활용합니다. CTIA GROUP LTD 는 결정 구조를 최적화하여 텅스텐 회사에서 텅스텐 산화물의 광학 특성을 향상시킵니다. 텅스텐 산화물의 광학 특성은 첨단 응용 분야의 핵심입니다

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

### 5.8.1 산화 텅스텐의 광 흡수 및 광촉매 특성

산화 텅스텐의 광 흡수 및 광촉매 특성은 물의 광분해, 오염 물질 분해 및 태양 에너지 활용의 효율성을 직접 결정하는 광학 특성의 중요한 징후입니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 광 흡수 범위는 주로 자외선과 일부 가시 광선 영역에 집중되어 있으며 에너지 밴드 갭은 2.5-2.8 eV로 효과적인 광촉매 물질입니다.

단사 정 형태의 텅스텐 산화물 광 흡수 가장자리는 약 400-500 nm이며,  $WO_6$  팔면체의 비대칭 배열로 인해 전자는  $O2p$  궤도에서  $W5d$  궤도로 전이하여 광생성 된 전자-정공 쌍을 생성한다. 이 특성은 자외선 아래에서 메틸렌 블루와 같은 유기 염료를 분해하는 데 매우 효율적입니다. 나노 효과와 채널 구조로 인해, 육각형 텅스텐 산화물은 약간 더 넓은 광 흡수 범위 (550 nm까지)와 더 강한 광촉매 활성을 가지며, 특히 나노 막대 또는 나노 플라워 형태로 더 높은 비 표면적과 더 많은 활성 부위를 갖는다. 더 많은 산소 결핍을 가진 청색 텅스텐 산화물과 자주색 텅스텐 산화물의 광 흡수는 근적외선 영역까지 확장되며 광 반응성은 결합 에너지 수준에 의해 향상됩니다.

텅스텐 산화물의 광촉매 특성은 또한 형태와 결합의 영향을받습니다. 높은 비 표면적과 짧은 캐리어 확산 경로로 인해 나노 스케일 텅스텐 산화물은 광생성 전자-정공 분리 효율이 높으며 광촉매 성능이 벌크 물질보다 우수합니다. 산소 공극은 캐리어 수명을 연장하고 촉매 효율을 더욱 향상시키기 위해 전자 트랩으로 사용됩니다. 예를 들어, 물의 광분해로 인한 수소 생산에서 육각형 텅스텐 산화물의 수소 생산 속도는 수십  $\mu\text{mol} / \text{h} \cdot \text{g}$ 에 도달 할 수 있습니다. 산업적으로, 텅스텐 산 칼슘 산화물과 결합, 그것은 더욱 광 흡수 및 촉매 성능을 최적화합니다.

### 5.8.2 산화 텅스텐의 광변색 특성

산화 텅스텐의 광변색 특성은 광 아래에서 색상을 가역적으로 변경하는 능력을 의미하며, 이는 광학 특성의 독특한 표현입니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 광 변색 특성은 광 유도 전자 전달 및 산소 공극 형성에서 비롯되어 스마트 유리 및 디스플레이 장치에 잠재적으로 적용됩니다.

단사정 텅스텐 산화물은 자외선 아래에서 노란색에서 파란색 또는 회색으로 변하고 광생성 전자와 격자 산소의 반응에 의해 산소 공극이 형성되고 텅스텐은  $W^{4+}$ 에서  $W^{5+}$ 로 감소합니다. 이 변색 과정은 일반적으로 다음 반응에서 물 또는 양성자 소스(예: 표면 흡착된  $H_2O$ )를 포함합니다:  $WO_3 + h\nu \rightarrow WO_{3-x} + x/2 O_2$ . 나노 스케일 텅스텐 산화물은 높은 비 표면적이 표면 반응을 가속화하고 색상 변경 시간을 몇 초로 단축 할 수 있기 때문에 더 강한 광 변색 특성을 갖는다. 채널 구조로 인해, 육각형 텅스텐 산화물의 변색 효율은 약간 높지만 안정성은 약간 떨어진다.

텅스텐 산화물의 광변색 특성은 또한 산소 공극 및 지형의 영향을받습니다. 파란색과 보라색 텅스텐 산화물의 초기 산소 공극은 광변색 임계 값을 낮추고 낮은 광 강도에서 색상을 변경할 수 있습니다. 박막 형태의 산화 텅스텐은 두께를 제어 할 수 있고 색상 깊이와 속도를 쉽게 조정할 수 있기 때문에 광학 장치에 자주 사용됩니다. 전기 변색에 비해 광변색은 가역성이 적고 장기간의 조명은 구조의 돌이킬 수 없는 변화로 이어질 수 있습니다. 실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 광변색 특성은 광 제어 창 및 센서에 유망합니다. CTIA GROUP LTD는 나노 구조를 최적화하여 텅스텐 화학 물질에서 텅스텐 산화물의 색상 변경 특성을 향상시킵니다. 텅스텐 산화물의 광변색 특성은 광학 응용 분야에 독특한 장점입니다.

## 5.9 텅스텐 산화물의 전기적 성질

산화 텅스텐의 전기적 특성은 전자 장치, 센서 및 전기 변색 응용 분야에서 산화 텅스텐의 핵심 특성이며 결정 구조, 전자 구조 및 결합 상태와 밀접한 관련이 있습니다. 삼산화 텅스텐 을 예로 들면, 그 전기적 특성은 반도체 거동의 전형이며, 전도성과 캐리어 이동성은 결정 형태 및 환경 조건의 영향을받으며 다양성과 조정 가능성을 보여줍니다.

n 형 반도체로서 삼산화 텅스텐의 전도도는 일반적으로 온도, 산소 공극 및 도핑에 따라  $10^{-7} \sim 10^{-3} \text{ S/cm}$  범위입니다. 단사정 결정 형태에서 산화 텅스텐의 전자는 주로 산소 결핍의 결합 상태에서 파생되고  $W^{6+}$ 는 부분적으로  $W^{5+}$ 로 환원되어 추가 전자 운반체를 제공합니다. 이러한 특성으로 인해 가스 센서에서 탁월하며, 예를 들어  $NO_2$  또는  $H_2S$ 에 대한 반응은 전도도를 크게 변화시킬 수 있습니다. 채널 구조로 인해 육각형 텅스텐 산화물은 전자 이동성과 전도도가 최대  $10^{-2} \text{ S/cm}$  까지 높아 고감도 응용 분야에 적합합니다.

산화 텅스텐의 전기적 특성은 또한 전기 변색 특성을 가지고 있습니다. 전기장의 작용으로 이온(예:  $Li^+$  또는  $H^+$ )이 결정 격자에 내장되고 전자 주입으로 전도도가 크게 증가합니다. 예를 들어, 스마트 유리에서 삼산화 텅스텐은 절연 상태에서 전도성 상태로 변하고 색상은 노란색에서 파란색으로 변합니다. 이러한 동적 변화는 전자 구조의 조정 가능성에서 비롯되어 전기 화학 장치에 널리 사용됩니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물은 더 나은 전기적 특성을 가지며 전자 수송 효율을 향상시키기 위해 높은 비 표면적과 짧은 캐리어 경로로 인해 텅스텐 화학 물질의 기능화에 자주 사용됩니다. 실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 전기적 특성은 전자 분야에서 많은 관심을 끌었습니다. 예를 들어, 파란색 텅스텐 산화물 과 자주색 텅스텐 산화물은 더 많은 산소 공극으로 인해 더 높은 전도성으로 인해 전극 재료에 적합합니다. 텅스텐 산화물의 전기적 특성은 반도체 특성의 유연성을 반영하는 첨단 기술 응용 분야의 기초입니다.

### 5.9.1 산화 텅스텐의 반도체 특성

산화 텅스텐의 반도체 특성은 전기적 특성의 핵심이므로 센서, 태양 전지 및 광전자



장치에서 중요합니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, n 형 와이드 밴드 갭 반도체로서 에너지 밴드 갭은 2.5-2.8 eV이며, 전자 전도도는 산소 공극 또는 도핑에 의해 도입 된 캐리어에서 파생됩니다.

단사정 텅스텐 산화물은 반도체의 가장 일반적인 형태이며, 전도대는 W 5d 궤도로 구성되고 원자가 대역은 O2p 궤도에 의해 지배됩니다. 공여체 결합으로 인한 산소 공극은 자유 전자를 제공하여 전도도를  $10^{-7}$ - $10^{-4}$  S/cm 사이로 만듭니다. 이러한 특성으로 인해  $NO_2$ 와 같은 산화 가스에 민감하여 전자를 흡착하고 가두어 전도성을 감소시킵니다. 채널 구조로 인해 육각형 텅스텐 산화물은  $10^{-3}$ - $10^{-2}$  S/cm의 더 높은 전자 이동도와 전도도를 가지며 이는 고감도 센서에 적합합니다. 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ )은 금속 도체에 가깝고 전기 전도성이 높지만 반도체 특성은 약합니다.

산화 텅스텐의 반도체 특성은 온도와 지형의 영향을받습니다. 실온에서는 전도도가 낮고 온도가 상승 ( $200-400^{\circ}C$ )하면 열로 여기된 전자가 증가하고 전도도가 크게 증가합니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물 (예 : 나노 와이어 또는 나노 시트)은 양자 효과 및 표면 상태, 더 높은 캐리어 농도 및 더 나은 반도체 성능으로 인해 약간 더 작은 밴드 갭 (2.4-2.7 eV)을 가질 수 있습니다. 예를 들어, 텅스텐 분말 기반 센서에서 나노 텅스텐 산화물은 벌크 물질보다 수십 배 더 민감한 CO를 감지 할 수 있습니다. 실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 반도체 특성은 가스 검출 및 광전 변환에 탁월합니다. CTIA GROUP LTD는 텅스텐 시장의 요구를 충족시키기 위해 도핑 (예 : 텅스텐 산 나트륨) 또는 산소 공극을 조작하여 텅스텐 산화물의 전도성과 반응성을 최적화합니다. 텅스텐 산화물의 반도체 특성은 전자 구조의 다양성을 반영하는 전기 응용 분야의 기초입니다.

### 5.9.2 산화 텅스텐의 전기 변색 특성

산화 텅스텐의 전기 변색 특성은 전기장의 작용에 따라 색상을 가역적으로 변경하는 능력을 의미하며, 이는 전기적 특성의 독특한 표현입니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 전기 변색 특성은 이온 삽입 및 전자 주입으로 인한 전자 구조의 변화로 인해 스마트 유리 및 디스플레이 장치에 널리 사용됩니다.

단사정 텅스텐 산화물은 전기 변색의 전형적인 재료입니다. 전압 (예 : 1-3V)이 가해지면 작은 이온 (예 :  $Li^+$  또는  $H^+$ )이  $WO_6$  팔면체 간 공간에 내장되고 전자가 결정 격자에 주입되고 텅스텐이  $W^{6+}$ 에서  $W^{5+}$ 로 감소하여 산소 공극을 생성합니다. 반응은  $WO_3 + xLi^+ + xe^- \rightarrow Li_xWO_3$ 입니다. 이 변화는 산화 텅스텐을 노란색에서 파란색 또는 회색으로 변경하고 투과율은 80 %에서 10 % 미만으로 떨어집니다. 이온이 분리된 후 색상은 전기적 조정 가능성을 반영하여 가역적으로 회복됩니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물은 짧은 확산 경로가 이온 삽입을 가속화하고 변색 시간을 몇 초로 줄일 수 있기 때문에 더 강한 전기 변색 특성을 갖는다.

텅스텐 산화물의 전기 변색 특성은 또한 결정 형태와 결함의 영향을받습니다. 채널 구조로 인해 육각형 텅스텐 산화물은 이온 확산이 빠르고 변색 효율이 높지만

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



사이클링 안정성은 약간 떨어집니다. 파란색과 보라색 텅스텐 산화물의 초기 산소 공식은 변색 임계 값이 낮고 반응이 빠르게합니다. 박막 형태의 산화 텅스텐은 제어 가능한 두께, 색상 깊이 및 속도의 쉬운 조정으로 인해 광학 장치에 자주 사용됩니다. 광변색과 비교할 때 전기 변색은 더 제어 가능하고 되돌릴 수 있습니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 전기 변색 특성은 에너지 효율적인 건물 및 디스플레이 기술에서 매우 바람직합니다. 예를 들어, 텅스텐 구리 기반 전극은 텅스텐 산화물과 혼합되어 전도성 및 색상 변화 특성을 향상시킵니다. 텅스텐 산화물의 전기 변색 특성은 전기적 특성의 고급 응용으로, 다양성을 보여줍니다.

## 5.10 산화 텅스텐의 열적 특성

산화 텅스텐의 열적 특성은 고온 환경에서의 주요 특성으로, 내화물, 열전 소자 및 고온 가공에서의 적합성을 결정합니다. 텅스텐 산화물의 일반적인 형태인 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 그 열적 특성에는 결정 구조 및 화학 성분과 밀접한 관련이 있는 열 안정성, 열팽창 특성 및 열전도율이 포함됩니다.

삼산화 텅스텐의 열적 특성은 약  $1473^{\circ}C$ 의 융점으로 높은 열 안정성을 특징으로하며 결정 구조는  $1000^{\circ}C$  이하에서 그대로 유지됩니다. 이 속성을 통해 고온에서 기능을 유지할 수 있습니다. 텅스텐 생산에서 안정된 전구체로서, 산화 텅스텐은 열팽창 계수 (약  $6-8 \times 10^{-6} K^{-1}$ )가 낮고 치수 안정성이 우수하여 정밀 장치에 적합합니다. 열전도율 측면에서, 텅스텐 산화물은 격자 진동 열 전달 효율이 제한되어 있기 때문에 열전도율이 낮지만 일부 열 관리 요구 사항을 충족하기에 충분합니다.

산화 텅스텐의 열적 특성은 결정 형태와 형태에 따라 다릅니다. 단사정 형태는 산화 텅스텐의 열 안정성이 가장 우수한 반면, 나노 구조의 육각형 형태는 높은 표면 에너지로 인해 열 안정성이 약간 낮습니다. 블루 텅스텐 산화물과 자주색 텅스텐 산화물은 고온에서 산소가 손실되기 쉬우며 열적 특성은 삼산화 텅스텐보다 약간 열등합니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물은 향상된 입계 산란으로 인해 열전도율이 낮지만 (약  $0.5-2 W / m \cdot K$ )이지만 경량 단열재에는 장점이 있습니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 열적 특성은 고온 분야에서 우수합니다. 예를 들어, 페로 텅스텐 산화물은 내열성을 향상시키기 위해 첨가됩니다. CTIA GROUP LTD는 결정 구조를 조작하여 텅스텐 가격에서 텅스텐 산화물의 열적 특성을 최적화합니다. 텅스텐 산화물의 열적 특성은 고온 응용 분야의 초석입니다.

### 5.10.1 산화 텅스텐의 열 안정성

산화 텅스텐의 열 안정성은 고온에서 구조와 기능을 유지하는 능력을 반영하는 열적 특성의 핵심입니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면 높은 열 안정성,  $1473^{\circ}C$ 의 융점,  $1000^{\circ}C$  이하에서 큰 분해 또는 상 변형이 없어 내화물 및 고온 촉매에 큰

가치가 있습니다.

단사정 텅스텐 산화물은 열적으로 가장 안정한 형태이며,  $WO_6$  팔면체 네트워크는 결정 형태 전이 (예 : 직교 또는 육각형 결정 형태로) 만 약  $1200^{\circ}C$  까지 안정적으로 유지됩니다. 파라 텅스텐 산 암모늄의 소성에 의해 얻어진 황색 텅스텐 산화물은 공기 중에서  $1000^{\circ}C$  이상의 고온을 견딜 수 있으며, 수소에서  $700-900^{\circ}C$ 에서 청색 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물로 분해되기 시작하고, 마지막으로 텅스텐 금속으로 분해되기 시작한다. 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ )은 불활성 대기에서 최대  $1500^{\circ}C$  까지 열적으로 안정합니다.

산화 텅스텐의 열 안정성은 지형의 영향을받습니다. 조밀 한 구조로 인해, 벌크 텅스텐 산화물은 나노 스케일 텅스텐 산화물보다 우수한 열 안정성을 갖는다. 나노 입자의 높은 표면 에너지로 인해  $600-800^{\circ}C$ 에서 입자 합체 또는 분해가 발생할 수 있습니다. 산소 결핍이 더 많은 산화 텅스텐은 고온에서 산소 손실이 발생하기 쉽고 열 안정성이 감소합니다. 텅스텐 산화물의 열 안정성은 고온 응용 분야의 핵심이며, 이는 열악한 환경에서의 신뢰성에 직접적인 영향을 미칩니다.

#### 5.10.2 산화 텅스텐의 열팽창 특성

텅스텐 산화물의 열팽창 특성은 온도 변화에 따른 치수 안정성을 반영하는 열적 특성의 중요한 측면입니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 열팽창 계수는  $6 \times 10^{-6} K^{-1}$  사이이며, 이는 저팽창 물질로 고온 장치에 탁월합니다.

단사정 형태에서 산화 텅스텐의 열팽창 계수는 결정 축의 비대칭으로 인해 약간 변하는데, 예를 들어 c 축을 따라 약  $8 \times 10^{-6} K^{-1}$  및 a 축 ( $6-7 \times 10^{-6} K^{-1}$ )을 따라 약간 낮습니다. 이 낮은 팽창은 결정 격자의 열 진동을 제한하는  $WO_6$  팔면체의 강한 결합에 기인합니다. 텅스텐 산에 의해 제조 된 산화 텅스텐은 안정한 열팽창 성능을 가지며 정밀 부품에 적합합니다. 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ )은 열팽창 계수 ( $5-7 \times 10^{-6} K^{-1}$ )가 약간 낮고 파란색과 자주색 산화 텅스텐은 산소 공극이 약간 높습니다.

산화 텅스텐의 열팽창 특성은 지형의 영향을받습니다. 벌크 텅스텐 산화물의 팽창은 균일 한 반면, 나노 스케일 텅스텐 산화물의 열팽창 계수는 입자 계 효과로 인해 10-20 % 증가 할 수 있으며 변형이 용이합니다. 실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 낮은 열팽창은 텅스텐 구리 복합재의 열 응력 균열을 줄일 수 있습니다. 산화 텅스텐의 열팽창은 온도 변화 환경에서 안정성을 보장하는 열적 특성을 보완하는 중요한 역할입니다.

#### 5.11 텅스텐 산화물의 가스 감도

산화 텅스텐의 가스 민감도는 특정 가스 환경에서 전기적 특성을 변화시키는 능력을 의미하며, 이는 가스 센서 분야에서 응용 프로그램의 핵심 특성입니다. 예를 들어,

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

산화 텅스텐의 일반적인 형태인 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )은 표면 흡착 및 전자 전달 메커니즘으로 인한 산화 가스 (예 :  $NO_2$ ) 및 환원 가스 (예 :  $H_2S$ )에 대한 민감도가 높은 n 형 반도체입니다.

삼산화 텅스텐의 가스 감도는 주로 결정 구조와 표면 특성에 따라 달라집니다. 단사정 텅스텐 산화물의  $WO_6$  팔면체의 비대칭 배열로 인해 표면에 많은 수의 배위 불포화 텅스텐 및 산소 원자가 있어 가스 분자를 효과적으로 흡착할 수 있습니다. 예를 들어,  $NO_2$  환경에서 산화 텅스텐은 표면에 전자를 가두고, 전도도가 감소하며, 감도는 수십 배에 달할 수 있습니다. 육각형 텅스텐 산화물은 특히 나노 막대 또는 나노 시트 형태의 채널 구조와 높은 비 표면적으로 인해 가스에 더 민감하며 저농도의 가스 (예 : ppm 수준의 CO)에 더 빠르게 반응합니다. 산소 공극이 더 많은 블루 텅스텐 산화물 및 자주색 텅스텐 산화물은 표면 활성 부위의 증가로 인해 가스 감도를 더욱 향상시킵니다.

산화 텅스텐의 가스 민감도는 온도와 지형의 영향을받습니다. 200-400° C의 작동 온도에서 열 여기가 가스 흡착 및 전자 전달을 향상시키기 때문에 가스 감도가 가장 좋습니다. 높은 비 표면적과 짧은 캐리어 경로로 인해 나노 스케일 텅스텐 산화물은 가스에 대한 응답 시간이 몇 초의 짧고 회복 시간이 빠릅니다. 예를 들어, 텅스텐 분말 기반 센서에서 나노 텅스텐 산화물은 100 이상의 감도로  $H_2$ 를 감지 할 수 있습니다. 대조적으로, 벌크 텅스텐 산화물은 가스에 덜 민감하고 활성 부위가 적기 때문에 더 느리게 반응합니다.

실제 응용 분야에서 산화 텅스텐의 가스 감도는 환경 모니터링 및 산업 안전에 탁월합니다. 예를 들어, 텅스텐 구리는 텅스텐 산화물과 혼합되어 전기 전도성을 향상시키고 센서 성능을 더욱 최적화합니다. 산화 텅스텐의 가스 민감도는 가스 검출의 실용적인 가치를 반영하는 전기적 특성의 확장입니다.

## 5.12 산화 텅스텐의 산화 환원 반응

산화 텅스텐의 산화 환원 반응은 서로 다른 산화 상태 간의 변형 능력을 반영하는 화학적 특성의 중요한 실시 예이다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 고 산화 화합물로서, 저 산화 상태 (예 :  $WO_2$ ) 또는 텅스텐 금속으로 환원 될 수 있으며, 야금 및 촉매 작용에서의 기본 반응인 다른 물질도 산화 할 수 있습니다.

환원 반응에서, 삼산화 텅스텐은 수소 대기에서 상당한 산화 환원 활성을 나타낸다. 예를 들어, 700-900 ° C에서 삼산화 텅스텐은 점차적으로 산소를 잃고 청색 텅스텐 산화물 ( $WO_2$ )을 형성합니다.9), 자주색 텅스텐 산화물, 최종적으로 1000-1200 ° C에서 텅스텐 금속으로 전환되고 반응은  $WO_3 + 3H_2 \rightarrow W + 3H_2O$ 입니다. 이 단계별 환원 공정은 텅스텐 필라멘트의 산업 생산의 핵심 단계이며, 산소 결핍의 증가는 단사정에서 느슨한 형태로의 결정 구조의 변화를 동반합니다. 환원율은 온도 및 수소 농도와 밀접한 관련이 있으며 고온은 반응을 가속화하지만 입자 응집을 유발할 수 있습니다.

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



산화 텅스텐은 또한 산화제로서 반응에 관여 할 수 있습니다. 예를 들어, 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ )은  $2WO_2 + O_2 \rightarrow 2WO_3$  반응으로 산소 또는 공기 중에서 500-700 ° C 로 가열 될 때 삼산화 텅스텐으로 산화 될 수 있습니다 . 이 산화 반응은 종종 텅스텐 산염 준비의 중간 단계로 사용됩니다. 높은 표면적으로 인해, 나노 스케일 텅스텐 산화물은 더 빠른 감소 및 산화 반응 속도를 갖지만 안정성은 약간 떨어진다. 산소 결핍은 산화 환원 반응에서 중요한 역할을하며, 예를 들어, 블루 텅스텐 산화물은 결합 상태로 인해 더 쉽게 감소됩니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 산화 환원 반응은 텅스텐 야금 및 촉매 재생에 널리 사용됩니다. CTIA GROUP LTD 는 분위기 및 온도와 같은 환원 조건을 최적화하여 텅스텐 시장에서 텅스텐 산화물의 변환 효율을 향상시킵니다. 산화 텅스텐의 산화 환원 반응은 화학 활성의 핵심이며 산업에서의 다양성을 보여줍니다.

### 5.13 산화 텅스텐의 산 - 염기 반응

텅스텐 산화물의 산 - 염기 반응은 산 또는 염기와 반응하여 해당 텅스텐 화합물을 형성 할 수있는 양쪽 성 산화물의 특성을 반영하는 화학적 특성의 중요한 측면입니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 산 - 염기 반응 능력으로 인해 습식 제련 및 텅스텐 화학 제제 에서 중요한 역할을합니다.

산성 조건에서 삼산화 텅스텐은 물에 거의 녹지 않기 때문에 반응성이 제한적입니다. HCl 또는  $H_2SO_4$ 와 같은 묽은 산에서 삼산화 텅스텐은 용해도가 매우 낮고 미량의 텅스텐 산이 표면에만 형성 될 수 있습니다. 그러나 농축 된 산 (예 :  $HNO_3$ )에서 삼산화 텅스텐은  $WO_3 + H_2O \rightarrow H_2WO_4$  반응에서 천천히 반응하여 텅스텐 산을 형성 할 수 있습니다 . 이 반응은 산 침출을 통해 산화 텅스텐을 용해성 화합물로 전환하기 위해 wolframite 또는 scheelite 의 정제에 사용됩니다. 이산화 텅스텐 ( $WO_2$ )은 낮은 산화 상태 구조로 인해 더 잘 용해되기 때문에 산에서 약간 더 반응성이 높습니다.

알칼리성 조건에서, 텅스텐 산화물은 더 높은 반응성을 나타낸다. 삼산화 텅스텐은 강염기 (예 : NaOH)와 반응하여 텅스텐 산 나트륨을 형성하고 반응은  $WO_3 + 2NaOH \rightarrow Na_2WO_4 + H_2O$  입니다. 80 ° C 의 농축 알칼리성 용액에서 반응이 신속하게 완료되어 수용성 텅스텐 산염을 생성합니다. 이 특성은 암모늄 과라 텅스텐 산염의 산업 생산에서 근본적인 단계입니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물의 높은 표면적으로 인해 알칼리 반응 속도가 빠르지만 국부적 인 구조적 손상이 수반 될 수 있습니다. 블루 텅스텐 산화물과 자주색 텅스텐 산화물은 알칼리 반응성이 비슷하지만 더 많은 산소 공공으로 인해 더 철저하게 용해됩니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 산 - 염기 반응은 텅스텐의 추출 및 정제에 사용됩니다. 산화 텅스텐의 산 - 염기 반응은 양쪽 성 특성과 화학적 유연성을 반영하며, 이는 습식 가공의 핵심입니다.



#### 5.14 산화 텅스텐의 촉매 특성

텅스텐 산화물의 촉매 성능은 화학적 특성의 높은 수준의 구현체이며, 이는 광촉매, 열 촉매 및 전기 촉매 분야에서 널리 사용됩니다. 텅스텐 산화물의 일반적인 형태인 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 촉매 성능은 반도체 특성, 높은 표면적 및 표면 활성 부위로 인해 환경 보호 및 에너지 분야의 핵심 장점입니다.

삼산화 텅스텐은 밴드 갭 (2.5-2.8 eV)이 자외선과 일부 가시 광선을 흡수하는 데 적합하기 때문에 뛰어난 광촉매 성능을 가지고 있습니다. 빛에서 산화 텅스텐은 물을 분해하거나 유기 오염 물질을 분해하는 광생성 전자 정공 쌍을 생성합니다. 예를 들어, 단사정 텅스텐 산화물은 자외선 아래에서 90 % 이상의 효율로 메틸렌 블루를 분해 할 수 있습니다. 육각형 텅스텐 산화물 나노 텅스텐 산화물은 채널 구조와 높은 비 표면적으로 인해 촉매 활성이 높으며 물의 광분해에 의한 수소 생산에 자주 사용됩니다. 블루 텅스텐 산화물과 자주색 텅스텐 산화물은 산소 결핍으로 인해 근적외선 영역으로의 광 흡수가 확장되어 더 강한 광촉매 성능을 갖는다.

텅스텐 산화물의 열 촉매 특성은 고온 반응에서 우수합니다. 예를 들어, 500-700 ° C 에서 삼산화 텅스텐은 표면의 산소 원자의 강한 산화 특성으로 인해 탄화수소의 산화 또는 탈수소화를 촉매합니다. 활성 부위가 많고 열 촉매 효율이 높기 때문에 나노 스케일 텅스텐 산화물은 종종 텅스텐 산 칼슘과 결합되어 안정성을 향상시킵니다. 전기 촉매 분야에서 산화 텅스텐은 산소 발생 반응 (OER)의 촉매로 사용되며 높은 전도성과 안정성으로 인해 알칼리 전해질에서 잘 작동합니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 촉매 성능은 오염 제어 및 새로운 에너지에 많은 관심을 끌었다. 예를 들어, 텅스텐 플라스틱 기반 촉매는 높은 활성을 사용하여 VOC 를 분해합니다. CTIA GROUP LTD 는 결정 구조와 형태를 조작하여 텅스텐 가격에서 텅스텐 산화물의 촉매 성능을 최적화합니다. 산화 텅스텐의 촉매 특성은 화학적 특성의 집중적 인 반사로 현대 기술에서의 잠재력을 보여줍니다.

CTIA GROUP LTD

Yellow Tungsten Trioxide (YTO, WO<sub>3</sub>) Product Introduction

### 1. Product Overview

CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide is produced by high-temperature calcination process of ammonium paratungstate, which meets the requirements of GB/T 3457-2013 "Tungsten Oxide" first-class product. WO<sub>3</sub> is widely used in the preparation of tungsten powder, cemented carbide, tungsten wire and ceramic colorants. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality yellow tungsten trioxide products to meet the needs of powder metallurgy and industrial manufacturing.

### 2. product characteristics

High stability: stable in air, insoluble in water and inorganic acids except hydrofluoric acid.  
 Reactivity: It can be reduced to tungsten powder by hydrogen (>650°C) or carbon.  
 Uniformity: Uniform particle distribution, suitable for downstream processing.

### 3. Product specifications

|                               |                                                                                                           |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| index                         | CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide first-class product standard                                      |
| WO <sub>3</sub> content (wt%) | ≥99.95                                                                                                    |
| Impurities （ wt% , max. ）     | Fe≤0.0010, Mo≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005 |
| Particle size                 | 1-10（μm, FSSS）                                                                                            |
| Loose density                 | 2.0-2.5（g/cm <sup>3</sup> ）                                                                               |
| Customization                 | Particle size or impurity limits can be customized according to customer requirements                     |

### 4. Packaging and warranty

Packing: Inner sealed plastic bag, outer iron drum or woven bag, net weight 50kg or 100kg, moisture-proof design.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including WO<sub>3</sub> content, impurity analysis, particle size (FSSS method), loose density and moisture data.

### 5. Procurement information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Phone: +86 592 5129696

For more [yellow tungsten oxide](http://www.tungsten-powder.com) information, please visit the China Tungsten online website [www.tungsten-powder.com](http://www.tungsten-powder.com). For more market and real-time information, please follow the WeChat public account "China Tungsten Online".



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



CTIA GROUP LTD W02.72

## Chapter 6 : 텅스텐 산화물의 제조 방법

### 6.1 텅스텐 산화물의 전통적인 제조 방법

텅스텐 산화물의 전통적인 제조 방법은 간단하고 효율적인 공정을 통해 특정 특성을 가진 텅스텐 산화물을 제조하는 것을 목표로하는 산업 및 실험실에서 일반적인 기술 수단입니다. 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)을 예로 들면, 전통적인 제조 방법에는 고온 고상 반응 방법, 졸 - 겔 법 및 열수 법 등이 포함되며, 이는 고유 한 특성을 가지며 텅스텐 분말 생산, 광촉매 제조 등과 같은 다양한 응용 시나리오에 적합합니다.

고온 고체상 반응 방법은 일반적으로 암모늄 과라 텅스텐 산염 또는 텅스텐 산을 원료로 사용하고 고온에서 소성 및 분해하여 산화 텅스텐을 생산하는 업계에서 가장 일반적인 전통적인 방법입니다. 이 방법은 간단하고 수율이 높아 텅스텐 금속 전구체 재료의 대규모 생산에 적합하지만 제품 입자가 크고(미크론 규모) 비표면적이 낮습니다. 졸 - 겔 방법은 용액 화학 반응에 의해 텅스텐 산화물을 제조하고, 원료는 대부분 텅스텐 산 나트륨 또는 텅스텐 알산화물이며, 생성물은 솔레이션 및 겔화 후 열처리에 의해 얻어진다. 이 방법은 고정밀 응용 분야에 적합한 균일 한 입자를 가진 나노 스케일 텅스텐 산화물을 제조 할 수 있지만 공정이 복잡하고 비용이 많이 듭니다.

열수 방법은 암모늄 메타 텅스텐 산염 또는 텅스텐 산염을 원료로 사용하는 반응 케틀에서 텅스텐 산화물을 합성하기 위해 고온 및 고압 수용액 환경을 사용하는 또 다른 전통적인 제조 방법입니다. 이 방법은 나노 막대 및 나노 시트와 같은 특수

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



형태를 가진 텅스텐 산화물을 생성 할 수 있으며, 결정 형태는 광촉매 및 센서 재료에 널리 사용되는 제어 가능한 (예 : 육각형 또는 단사정 결정 형태)입니다. 열수 방법은 고순도 및 형태 제어의 장점이 있지만 반응 시간이 더 길고 장비 요구 사항이 더 높습니다.

실제로, 전통적인 준비 방법의 선택은 대상 제품의 특성과 용도에 따라 다릅니다. 실험실은 고성능 텅스텐 제품을 준비하기 위해 졸-겔 및 열수 방법을 선호합니다. 산화 텅스텐의 전통적인 제조 방법은 산업화 및 기능화의 토대를 마련했으며, 각각 고유 한 장점과 한계가 있습니다.

### 6.1.1 산화 텅스텐의 전통적인 제조 방법 - 고온 고상 반응 방법

고온 고체상 반응 방법은 텅스텐 산화물의 제조에 가장 전통적이고 널리 사용되는 방법 중 하나이며, 이는 간단한 공정, 저렴한 비용 및 높은 수율로 알려져 있습니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 이 방법은 텅스텐 함유 원료를 고온에서 소성하여 분해 또는 산화시켜 텅스텐 산화물을 형성함으로써 텅스텐 와이어 및 텅스텐 금속 전구체의 산업 생산에 일반적으로 사용됩니다.

이 방법의 일반적인 공급 원료에는 암모늄 파라 텅스텐 산염 (APT)과 텅스텐 산이 포함됩니다. 파라텅스텐 암모늄 산염을 예로 들면, 공기 중에서  $500-700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 소성되어 삼산화 텅스텐으로 분해되고 반응은  $(NH_4)_{10}(H_2W_{12}O_{42}) \cdot 4H_2O \rightarrow 12WO_3 + 10NH_3 + 7H_2O$ . 생성 된 텅스텐 산화물은 대부분 입자 크기가 1 및  $10\text{ }\mu\text{m}$  사이 인 단사정 결정 형태이며 색상은 노란색 (즉, 노란색 텅스텐 산화물)입니다. 수소 환원 분위기에서 소성하는 경우, 블루 텅스텐 산화물 생성 될 수 있음) 또는 자주색 텅스텐 산화물, 산소 공석 함량은 온도와 대기에 따라 다릅니다 (텅스텐 연구 참조). 텅스텐 산은  $600-800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 텅스텐 산화물로 직접 분해되고 반응은  $H_2WO_4 \rightarrow WO_3 + H_2O$ 이며 생성물은 순도가 높지만 입자는 굵습니다.

고온 고체상 반응 방법의 장점은 장비가 간단하여(예: 머플로로 충분함) 대규모 생산에 적합하다는 것입니다. 소성 온도 및 유지 시간은 주요 매개 변수이며, 예를 들어, 결정성이 높은 산화 텅스텐은  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 2 시간 동안 유지하여 얻을 수 있으며, 과도한 입자 성장은  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  이상에서 발생할 수 있습니다. 대기 제어도 중요하며, 산화 분위기 (예 : 공기)는 삼산화 텅스텐을 생성하고 대기 (예 :  $H_2$  /  $N_2$  혼합물)는 정수 텅스텐 산화물을 생성합니다. 이 방법은 볼프 라마이트 또는 scheelite에서 추출한 텅스텐 화합물의 가공에 널리 사용됩니다.

그러나 이 방법의 한계는 제품의 입자 크기가 크고 비표면적(일반적으로  $< 10\text{m}^2/\text{g}$ )이 낮아 광촉매와 같이 높은 활성이 필요한 응용 분야에는 적합하지 않다는 것입니다. CTIA GROUP LTD는 구배 온도 상승과 같은 소성 조건을 최적화하여 텅스텐 회사의 산화 텅스텐의 품질을 향상시킵니다. 고온 고체상 반응 방법은 간단하고 효율적이지만 형태 제어가 제한된 산화 텅스텐 산업 준비의 초석입니다.



### 6.1.2 텅스텐 산화물 - 졸 - 겔 방법 / 텅스텐 산화물의 졸 - 겔 제조 방법의 전통적인 제조 방법

졸 - 겔 방법은 용액의 화학 반응에 의해 텅스텐 산화물을 제조하는 전통적인 방법이며, 나노 스케일 및 고순도 텅스텐 산화물을 생산하는 능력으로 알려져 있습니다. 예를 들어, 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )은 광촉매, 센서 및 전기 변색 재료에 적합한 졸 형성, 겔화 및 열처리 단계를 통해 균일 한 입자 또는 박막을 생성하는 방법입니다.

이 방법의 일반적인 공급 원료에는 텅스텐 산 나트륨 및 텅스텐 알콕시드 (예 : 텅스텐 에탄올)가 포함됩니다. 텅스텐 산 나트륨을 예로 들면 먼저 물에 용해시키고 산 (예 :  $HCl$ )을 첨가하여 pH를 1-2로 조정하고 텅스텐 산 나트륨을 가수 분해하여 텅스텐 산 졸을 형성하면 반응은  $Na_2WO_4 + 2HCl \rightarrow H_2WO_4 + 2NaCl$  입니다. 졸은 교반 또는 방치하에 점차적으로 겔로 응집된 다음 건조( $100-150^\circ C$ ) 및 열처리( $400-600^\circ C$ )를 수행하여 텅스텐 산화물을 생성합니다. 얻어진 제품의 대부분은 단사정 결정 형태이며 입자 크기는  $10-50nm$  에서 제어할 수 있으며 비표면적은  $50-100m^2/g$  만큼 높습니다. 텅스텐 알콕 시드는 알코올 화 및 증착 합에 의해 직접 형성되며, 텅스텐 산화물은 열처리 후에 형성되며, 이는 순도가 높지만 비용이 많이 듭니다.

졸 - 겔 의 장점은 생성물 입자가 작고 균질하며, 형태는 다공성 텅스텐 산화물 또는 박막의 제조를 위해 주형 제제 (예 : 계면 활성제)를 첨가하여 조작 할 수 있다는 것입니다. 예를 들어, 전기 변색 용 텅스텐 산화막은 나노 미터 수준의 두께를 가진 유리 기판에 겔을 방사시켜 제조 할 수 있습니다. 열처리 온도와 시간은 핵심 매개 변수이며, 2 시간 동안  $500^\circ C$  는 산화 텅스텐의 적당한 결정도를 생성 할 수 있지만 너무 높은 온도 (예 :  $800^\circ C$ )는 입자 성장을 유발할 수 있습니다. 대기는 일반적으로 공기이지만 불활성 대기(예:  $N_2$ )는 불순물을 감소시킵니다.

이 방법의 한계는 공정이 복잡하고 주기가 길며 원자재 비용이 높기 때문에 대규모 산업 생산에는 적합하지 않다는 것입니다. 실험실에서 졸 - 겔 방법은 종종 성능을 향상시키기 위해 텅스텐 플라스틱 복합재와 같은 나노 텅스텐 산화물을 제조하는 데 사용됩니다 . 졸 - 겔 방법은 유연성과 기교를 결합한 산화 텅스텐의 고정밀 준비를위한 전통적인 선택입니다.

### 6.1.3 산화 텅스텐의 전통적인 제조 방법 - 열수 법

열수는 고온 및 고압 수용액 환경을 사용하여 텅스텐 산화물을 제조하는 전통적인 방법으로, 특수 형태 및 고 결정성 생성물을 생성하는 능력으로 알려져 있습니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 이 방법은 광촉매 및 배터리 재료에 널리 사용되는 페쇄 반응 케틀에서 텅스텐 함유 전구체를 반응시켜 나노 막대, 나노 시트 또는 나노 플라워 형태로 텅스텐 산화물을 제조합니다.

열수 공정을위한 일반적인 공급 원료에는 암모늄 메타 텅스텐 산염과 [텅스텐 산 나트륨]이 포함됩니다. 암모늄 메타 텅스텐 산염을 예로 들어 물에 용해시키고 산 (HNO와 같은)을 첨가하여 pH를 2-4로 조정하고 전구체 용액을 형성하고 150-200 ° C 및 고압 (1-5 MPa)에서 12-24 시간 동안 반응하여 텅스텐 산화물을 생성한다. 반응은  $(\text{NH}_4)_5\text{H}_5[\text{H}_2(\text{WO}_4)_6] \rightarrow \text{WO}_3 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 입니다. 생성된 산화 텅스텐은 대부분 육각형이며, 직경이 20-50 nm인 나노 막대의 생성과 같은 구조 지시 체를 첨가하여 형태를 수정할 수 있습니다. 텅스텐 산 나트륨은 유사한 조건에서 단사정 텅스텐 산화물을 형성하며 입자는 더 균일합니다.

열수 방법의 장점은 결정 형태와 형태를 제어할 수 있고 제품의 비표면적이 높으며 (50-150m<sup>2</sup>/g) 결정도가 좋다는 것입니다. 반응 온도, 시간 및 pH는 주요 매개 변수이며, 예를 들어, 육각형 결정질 나노 막대는 180 ° C에서 24 시간 동안 반응에 의해 얻어질 수 있으며, 비정질 텅스텐 산화물은 120 ° C에서 짧은 반응에 의해 형성될 수 있습니다. 압력은 반응기를 통해 자체 생성되어 핵형성 및 성장을 가속화합니다. 또한 고압 환경은 산소 결핍을 줄이고 제품 순도를 보장합니다. 파란색 또는 자주색 텅스텐 산화물이 필요한 경우, 환원제 (예 : NaBH<sub>4</sub>)를 후 처리에 첨가할 수 있습니다.

이 방법의 한계는 높은 장비 요구 사항(예: 고압 반응기)과 긴 반응 주기로 인해 대규모 생산에 적합하지 않다는 것입니다. 산업적으로 열수 방법은 주로 칼슘 텅스텐 산염 복합 재료와 같은 고 부가가치 텅스텐 산화물을 제조하는 데 사용됩니다. CTIA GROUP LTD는 열수 조건 텅스텐 화학 물질 성능을 최적화하여 텅스텐 산화물을 개선합니다. 열수 방법은 높은 품질과 다양성을 모두 갖춘 산화 텅스텐 나노 가공을위한 전통적인 도구입니다.

#### 6.1.4 텅스텐 산화물의 전통적인 제조 방법 - 암모늄 텅스텐 산염 법

암모늄 텅스텐 산염 방법은 텅스텐 산화물을 제조하는 전통적인 방법 중 하나이며, 원료를 쉽게 구할 수 있고 성숙한 기술을 쉽게 구할 수 있기 때문에 산업 및 실험실에서 널리 사용됩니다. 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)을 예로 들면, 이 방법은 텅스텐 분말 및 텅스텐 와이어 생산을위한 전구체 재료로 자주 사용되는 텅스텐 산염 암모늄의 화학적 전환 또는 열처리를 통해 텅스텐 산화물을 생성합니다.

암모늄 텅스텐 산염 방법은 일반적으로 암모늄 파라 텅스텐 산염 (APT) 또는 암모늄 메타 텅스텐 산염을 원료로 사용합니다. 암모늄 파라 텅스텐 산염을 예로 들면, 용액의 산 (예 : HCl)과 반응하여 불용성 텅스텐 산 침전물을 형성한 다음 열처리에 의해 텅스텐 산화물로 전환된다. 일반적인 과정은 다음과 같습니다 : 암모늄 파라 텅스텐 산염을 물에 용해시키고 염산을 첨가하여 pH를 2-3으로 조정하여 텅스텐 산을 생성하며 반응은  $(\text{NH}_4)_{10}(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42})$ 입니다.  $4\text{H}_2\text{O} + 10\text{HCl} \rightarrow 12\text{H}_2\text{WO}_4 + 10\text{NH}_4\text{Cl}$ . 그 후, 텅스텐 산을 400-600 ° C에서 소성하여 텅스텐 산화물로 분해합니다 :  $\text{H}_2\text{WO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ . 얻어진 산화 텅스텐은 대부분 단사정 결정 유형이며 입자 크기는 1-5 μm, 밝은 노란색 및 고순도입니다.

이 방법의 장점은 공정이 간단하고 볼프 라마이트 또는 scheelite 에서 추출한 텅스텐 화합물과 같은 원료가 널리 사용 가능하다는 것입니다. 산도, 반응 온도 및 소성 조건은 주요 파라미터이며, 예를 들어 pH가 너무 낮으면 불순물이 침전될 수 있고 소성 온도(예: 800° C)가 너무 높으면 입자 성장이 발생할 수 있습니다. 암모늄 메타 텅스텐 산염은 분자 구조가 분해되기 쉽고 미세한 텅스텐 산화물의 제조에 적합하기 때문에 유사한 조건에서 더 빠르게 반응합니다. 블루 텅스텐 산화물이 필요한 경우, 생성물은 환원 분위기 (예 : H<sub>2</sub>)에서 처리 할 수 있습니다.

암모늄 텅스텐 산염 방법의 한계는 제품의 입자 크기가 크고 비 표면적 (5-20m<sup>2</sup> / g)이 낮아 고 활성이 높은 응용 분야에 적합하지 않다는 것입니다. 암모늄 텅스텐 산염 방법은 높은 효율과 경제성을 모두 갖춘 텅스텐 산화물의 전통적인 제조를 위한 고전적인 공정입니다.

#### 6.1.5 텅스텐 산화물의 전통적인 제조 방법 - 텅스텐 산염의 염산 분해 방법

텅스텐 산염의 염산 분해 방법은 텅스텐 산화물의 제조를 위한 전통적인 습식 화학 방법이며, 이는 높은 순도와 제어 성으로 알려져 있습니다. 삼산화 텅스텐 (WO<sub>3</sub>)을 예로 들면, 이 방법은 텅스텐 산염 (예 : 텅스텐 산염)을 염산과 반응시켜 텅스텐 산화물 또는 그 전구체를 생성하며, 이는 실험실 및 정밀 화학 분야에서 자주 사용됩니다.

이 방법의 일반적인 과정은 다음과 같습니다 : 텅스텐 산 나트륨은 물에 용해되고, 농도는 일반적으로 0.1-0.5 mol / L이며, 염산 (1-2 mol / L)이 천천히 첨가되고, pH가 1-2로 조정되고, 텅스텐 산 침전물이 생성되고, 반응은  $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4 + 2\text{NaCl}$ 입니다. 세척 및 여과 후, 텅스텐 산은 소성되어 400-600 ° C에서 텅스텐 산화물로 분해됩니다 :  $\text{H}_2\text{WO}_4 \rightarrow \text{WO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . 얻어진 텅스텐 산화물의 대부분은 단사정 결정 형태이며, 입자 크기는 0.5-2 μm이며, 순도는 99 % 이상에 도달 할 수 있습니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물이 필요한 경우, 계면 활성제 (예 : CTAB)를 반응에 첨가하여 입자 크기를 50-100 nm로 제어 할 수 있습니다.

텅스텐 산염의 염산 분해 방법의 장점은 제품이 고순도 및 미세 입자로 고품질 텅스텐 화학 물질의 제조에 적합하다는 것입니다. 반응 조건이 중요한데, 예를 들어 너무 낮은 pH(<1)는 헤테로상 형성으로 이어질 수 있고, 너무 높은 소성 온도(예: 700° C)는 입자 응집으로 이어질 수 있습니다. 텅스텐 산 나트륨은 널리 공급되며 종종 텅스텐 산 칼슘에서 가공됩니다. 환원 분위기에서 열처리하는 경우, 자주색 텅스텐 산화물은 특정 촉매 응용 분야를 위해 생성 될 수 있습니다. 용액의 농도와 방울의 가속은 또한 제품의 형태에 영향을 미치며 느린 낙하보다 균일 한 입자를 얻을 수 있습니다.

이 방법의 한계는 공정 단계가 많고 폐액 처리 비용이 높아 대규모 산업 생산에 적합하지 않다는 것입니다. 실험실에서 이 방법은 종종 고순도 텅스텐 산화물을



제조하는 데 사용되며, 예를 들어 텅스텐 플라스틱 복합 재료의 강화 단계로 사용됩니다. CTIA GROUP LTD는 반응 매개 변수를 최적화하여 텅스텐 회사의 텅스텐 산화물의 품질을 향상시킵니다. 텅스텐 산업의 염산 분해 방법은 섬세하고 제어 가능한 텅스텐 산화물의 전통적인 제조를 위한 고순도 옵션입니다.

#### 6.1.6 산화 텅스텐의 전통적인 제조 방법 - 파라 텅스텐 산 암모늄의 열분해 방법

암모늄 파라 텅스텐 산업의 열 분해 방법은 텅스텐 산화물의 제조를 위한 전통적인 고온 공정이며, 이는 직접성 및 산업적 응용성을 위해 널리 사용됩니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 이 방법은 파라 텅스텐 산 암모늄 (APT)을 분해하여 고온에서 산화 텅스텐을 생성하며, 이는 산업에서 텅스텐 금속 및 텅스텐 와이어 전구체를 생산하는 주요 방법입니다.

공정 흐름은 다음과 같습니다 : 암모늄 파라 텅스텐 산염을 머플로에 넣고 공기 중에서  $500-700^{\circ}C$ 에서 2-4 시간 동안 소성하고 텅스텐 산화물로 분해하고 반응은  $(NH_4)_{10}(H_2W_{12}O_{42}) \cdot 4H_2O \rightarrow 12WO_3 + 10NH_3 + 7H_2O$ . 생성된 텅스텐 산화물은 입자 크기가  $1-10 \mu m$ 이고 밝은 노란색 (즉, 노란색 텅스텐 산화물)을 갖는 단사정입니다. 수소 분위기에서 소성하면 청색 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물이 형성되며, 산소 공석 함량은 온도와 환원 시간에 따라 증가합니다. 암모늄 파라 텅스텐 산염은 일반적으로 scheelite 에서 추출되며 순도가 높고 안정한 분해 생성물을 가지고 있습니다.

이 방법의 장점은 공정이 간단하고 장비 요구 사항이 낮으며(예: 일반 하소기) 대규모 생산에 적합하다는 것입니다. 소성 온도 및 분위기는 예를 들어, 고 결정도 텅스텐 산화물은  $600^{\circ}C$ 의 공기 중에서 생성되고 정수 텅스텐 산화물은  $800^{\circ}C$ 의 수소에서 형성됩니다. 유지 시간은 입자 크기에 영향을 미치며, 미세한 입자는 단기간(1 시간)에 형성되고 입자는 장기간(4 시간)에 자랍니다. 원료의 순도와 수분 함량은 또한 제품의 품질에 영향을 미치며, 99.9 % 텅스텐 산화물은 고순도 파라 텅스텐 산 암모늄에서 얻을 수 있습니다.

제한 사항은 제품의 입자가 크고 비표면적( $2-10m^2/g$ )이 낮아 나노 응용 분야에 적합하지 않다는 것입니다. 산업적으로 CTIA GROUP LTD 텅스텐 산화물은 구배 가열 및 대기 제어 텅스텐 가격 성능에 의해 최적화됩니다 . 암모늄 파라 텅스텐 산염의 열 분해는 효율적이고 경제적 인 텅스텐 산화물의 전통적인 제조의 산업 중추입니다.

#### 6.2 텅스텐 산화물의 새로운 제조 방법

텅스텐 산화물의 새로운 제조 방법은 현대 과학 기술의 요구를 충족시키기 위해 특수 형태로 고성능 텅스텐 산화물을 제조하는 것을 목표로하는 전통 기술을 기반으로 개발된 첨단 기술입니다. 예를 들어 산화 텅스텐의 일반적인 형태인 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 새로운 방법에는 기상 증착, 마이크로파 보조 및 전기 화학적 증착이 포함되며, 이는 기존 방법보다 나노 및 기능화에 더 많은주의를 기울입니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



기상 증착 (예 : 화학 기상 증착)은 기체 텅스텐 전구체(예 :  $WF_6$ )에 의해 고온 기판에 산화 텅스텐을 분해 및 증착하는 것으로, 일반적으로 박막 또는 나노 와이어의 제조에 사용됩니다. 예를 들어,  $500-700^{\circ}C$ 에서  $WF_6$ 는 산소와 반응하여  $WF_6 + 3 / 2O_2 \rightarrow WO_3 + 3F_2$  반응으로 텅스텐 산화막을 형성합니다. 생성된 제품은 결정성이 높고 나노 미터 수준의 두께를 제어 할 수 있으며, 이는 전기 변색 장치에 적합합니다. 마이크로파 보조 방법은 마이크로파 가열을 사용하여 반응을 가속화하고 텅스텐 산을 원료로 사용하여 용액에서 나노 텅스텐 산화물을 신속하게 생성하고 반응 시간을 몇 분으로 단축하고 비 표면적은  $100m^2 / g$ 에 도달 할 수 있습니다.

전기 화학 증착은 텅스텐 함유 용액 (예 : 텅스텐 산 나트륨)을 전기 분해하여 전극에 텅스텐 산화물을 증착시키는 것입니다. 예를 들어,  $1-3V$ 에서 텅스텐 산염 이온은 음극에서 환원되어 배터리 전극에 적합한 조정 가능한 형태 (예 : 나노 시트 또는 다공성 구조)를 가진 텅스텐 산화물의 박막으로 증착됩니다. 새로운 방법은 또한 광열 특성을 향상시키기 위해 도핑 할 수 있는 세슘 - 텅스텐 청동과 같은 특수 텅스텐 산화물을 제조 할 수 있습니다. 이러한 방법의 제품은 순도가 높고 형태가 다양하지만 장비가 복잡하고 비용이 많이 듭니다.

#### 6.2.1 산화 텅스텐에 대한 새로운 제조 방법 - 전기 화학 증착 방법

전기 화학 증착은 텅스텐 산화물의 제조를위한 새로운 방법으로, 높은 효율, 제어 성 및 형태 학적 다양성으로 인해 현대 재료 과학에서 많은 관심을 끌었습니다. 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)을 예로 들면, 이 방법은 텅스텐 함유 용액을 전기 분해하여 전극 표면에 산화 텅스텐을 증착하는 데 사용되며, 이는 종종 박막 또는 나노 구조를 제조하는 데 사용되며 전기 변색 장치, 배터리 전극 및 센서에 적합합니다.

이 방법의 일반적인 공정은 텅스텐 산 나트륨 또는 텅스텐 산을 원료로 사용하여  $0.01-0.1 mol / L$ 의 전해질을 준비하고 산 (예 :  $H_2SO_4$ )을 첨가하여 pH를  $1-3$ 으로 조정하는 것입니다. 직류 전기장 ( $1-3V$ ) 하에서, 텅스텐 산 이온은 음극에서 환원되고  $WO_4^{2-} + 2H^+ + 2e^- \rightarrow WO_3 + H_2O$  반응으로 텅스텐 산화물로 증착됩니다. 생성된 텅스텐 산화물은 대부분 단사정 결정 형태이며, 그 형태는 저전압 ( $1V$ )과 같은 전기 분해 조건에 의해 수정되어 조밀 한 박막을 형성하고 고전압 ( $3V$ )을 통해 다공성 구조를 생성 할 수 있습니다. 증착 후 일반적으로 결정도와 안정성을 향상시키기 위해  $300-500^{\circ}C$ 에서 열처리됩니다.

전기 화학 증착의 장점은 공정이 간단하고 지형을 제어 할 수 있으며 텅스텐 산화막이 ITO 유리와 같은 전도성 기판에 직접 생성 될 수 있다는 것입니다. 전해질 농도, 전압 및 증착 시간은 주요 매개 변수이며, 예를 들어  $2V$ 에서  $30$  분 동안  $0.05 mol / L$  텅스텐 산 나트륨 증착은 약  $200nm$  두께의 균일 한 필름을 생성합니다. 주형(예: 폴리에틸렌 글리콜)을 추가하면  $50-100m^2 / g$ 의 비표면적으로 나노로드 또는 나노시트를 제조할 수 있습니다. 전극 재료는 또한 제품에 영향을 미치는데, 예를

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

들어 텅스텐 구리 전극에 증착 된 텅스텐 산화물은 전도성이 더 높습니다.

이 방법의 한계는 수율이 낮아 소규모 고정밀 준비에 적합하고 산업 대량 생산에는 적합하지 않다는 것입니다. 실험실에서 전기 화학 증착은 텅스텐 화학 물질의 기능성 박막을 준비하는 데 자주 사용되며, 예를 들어 사이클링 성능을 향상시키기 위해 배터리의 전극 재료로 사용됩니다. 전기 화학 증착은 정확하고 기능적인 산화 텅스텐을 제조하는 새롭고 효율적인 방법입니다.

### 6.2.2 산화 텅스텐에 대한 새로운 제조 방법 - 증기 증착 방법

기상 증착은 산화 텅스텐 박막 또는 나노 구조의 제조를 위한 고급 새로운 방법으로, 고순도, 높은 결정도 및 기관 호환성으로 인해 광전자 장치 및 촉매 분야에서 탁월합니다. 예를 들어, 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )은 고온에서 기체 텅스텐 전구체를 분해 및 증착하여 텅스텐 필라멘트 코팅 또는 광촉매 박막을 생산하는 데 자주 사용됩니다.

이 방법의 일반적인 프로세스에는 화학 기상 증착(CVD) 및 물리 기상 증착(PVD)이 포함됩니다. CVD의 경우, 텅스텐 금속 또는 텅스텐 화합물 (예 :  $WF_6$ )이 전구체로 사용되며 산소 분위기에서 400-700 ° C의 기관 (예 : 실리콘 웨이퍼)에 증착되며 반응은  $WF_6 + 3 / 2O_2 \rightarrow WO_3 + 3F_2$ 입니다. 생성 된 산화 텅스텐은 10-500 nm의 두께와 높은 결정성을 갖는 단사정 결정성 필름이다. PVD는 산소와 반응하여 텅스텐 분말 타겟을 스퍼터링하여 텅스텐 산화물을 형성하며, 이는 초박막 제조에 적합합니다. 나노와이어가 필요한 경우 기류와 온도(예: 600° C, 저압)를 조정하여 달성할 수 있습니다.

기상 증착 방법의 장점은 제품의 높은 순도(>99.9%), 다양한 형태(박막, 나노와이어, 나노 입자) 및 두께를 정밀하게 제어할 수 있는 능력입니다. 증착 온도, 기압 및 산소 흐름은 예를 들어 500° C, 낮은 산소 유속은 조밀한 필름을 생성하고, 고온 및 높은 유속은 다공성 구조를 생성하는 등 주요 매개변수입니다. 텅스텐 산 칼슘을 도핑 하면 광촉매 성능을 향상시킬 수 있습니다. 기관의 선택도 중요한데, 예를 들어, [텅스텐 구리] 기관에 증착 된 텅스텐 산화물은 전도성이 더 높다.

이 방법의 한계는 장비가 복잡하고(예: 진공 시스템) 비용이 높으며 대량 생산에 적합하지 않다는 것입니다. 산업적으로 기상 증착은 주로 텅스텐 시장의 광전 코팅 준비와 같은 고부가가치 응용 분야에 사용됩니다. CTIA GROUP LTD는 증착 조건을 최적화하여 텅스텐 회사의 텅스텐 산화물의 품질을 향상시킵니다. 증착은 하이테크 분야에 적합한 산화 텅스텐의 제조를 위한 새로운 정밀 공정입니다.

### 6.2.3 산화 텅스텐의 새로운 제조 방법 - 생물학적 주형 방법

biotemplate 방법은 자연 생물학적 구조를 사용하여 산화 텅스텐을 제조하기 위한 새로운 방법으로, 환경 보호 및 독특한 형태로 인해 나노 물질 분야에서 많은 관심을 끌었습니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )을 예로 들면, 이 방법은 생물학적 템플릿 (예 :

박테리아 및 식물 섬유)을 통해 텅스텐 전구체의 증착 및 변형을 안내하여 광촉매 및 에너지 저장 재료에 적합한 텅스텐 산화물의 다공성 또는 복합 구조를 생성한다.

이 방법의 일반적인 과정은 다음과 같습니다 : 텅스텐 산 나트륨 또는 메타 텅스텐 산염이 텅스텐 소스로 사용되고, 0.1-0.5 mol / L 용액이 준비되며, 생물학적 템플릿 (예 : 셀룰로오스 또는 단백질)이 템플릿에 담겨 템플릿 표면의 텅스텐 이온을 흡착합니다. 그 후, 열처리 (400-600 ° C) 또는 열수 반응 (150-200 ° C)에 의해 템플릿이 분해되어 산화 텅스텐을 생성한다. 예를 들어, 박테리아 셀룰로오스 템플릿을 사용하여 180° C에서 12 시간 동안 물을 가열한 후 500° C에서 소성하여 기공 크기가 20-100nm 이고 비표면적이 80-150m<sup>2</sup>/g 인 다공성 텅스텐 산화물을 얻습니다. 얻어진 산화 텅스텐은 대부분 단사정 또는 육각형 결정 형태이며, 형태는 주형 구조를 상속한다.

생물학적 주형법의 장점은 환경 친화적이며 제품이 고유한 형태(예: 다공성, 망상형)를 가지고 있어 고효율 응용 분야에 적합하다는 것입니다. 주형 유형 및 반응 조건이 핵심입니다(예: 식물 섬유는 거대 다공성 구조를 생성하고 박테리아 주형은 나노 크기의 기공을 생성합니다). 환원제 (예 : 포도당)를 첨가하면 파란색 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물을 제조 할 수 있습니다. 열처리 온도는 기공 보존에 영향을 미치며, 너무 높으면(예: 800° C) 다공성 구조를 파괴할 수 있습니다. 용액 농도 및 함침 시간은 또한 텅스텐 부하에 영향을 미치며, 최적화 후에 고순도 텅스텐 산화물을 얻을 수 있습니다. 이 방법의 한계는 템플릿 준비가 복잡하고 수율이 낮아 산업 규모 생산에 적합하지 않다는 것입니다. 실험실에서 biotemplate 방법은 광촉매 성능을 향상시키기 위해 텅스텐 플라스틱 기반 촉매를 준비하는 데 자주 사용됩니다.

CTIA GROUP LTD

Yellow Tungsten Trioxide (YTO, WO<sub>3</sub>) Product Introduction

### 1. Product Overview

CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide is produced by high-temperature calcination process of ammonium paratungstate, which meets the requirements of GB/T 3457-2013 "Tungsten Oxide" first-class product. WO<sub>3</sub> is widely used in the preparation of tungsten powder, cemented carbide, tungsten wire and ceramic colorants. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality yellow tungsten trioxide products to meet the needs of powder metallurgy and industrial manufacturing.

### 2. product characteristics

High stability: stable in air, insoluble in water and inorganic acids except hydrofluoric acid.  
 Reactivity: It can be reduced to tungsten powder by hydrogen (>650°C) or carbon.  
 Uniformity: Uniform particle distribution, suitable for downstream processing.

### 3. Product specifications

|                               |                                                                                                           |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| index                         | CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide first-class product standard                                      |
| WO <sub>3</sub> content (wt%) | ≥99.95                                                                                                    |
| Impurities （ wt% , max. ）     | Fe≤0.0010, Mo≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005 |
| Particle size                 | 1-10（μm, FSSS）                                                                                            |
| Loose density                 | 2.0-2.5（g/cm <sup>3</sup> ）                                                                               |
| Customization                 | Particle size or impurity limits can be customized according to customer requirements                     |

### 4. Packaging and warranty

Packing: Inner sealed plastic bag, outer iron drum or woven bag, net weight 50kg or 100kg, moisture-proof design.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including WO<sub>3</sub> content, impurity analysis, particle size (FSSS method), loose density and moisture data.

### 5. Procurement information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Phone: +86 592 5129696

For more [yellow tungsten oxide](http://www.tungsten-powder.com) information, please visit the China Tungsten online website [www.tungsten-powder.com](http://www.tungsten-powder.com). For more market and real-time information, please follow the WeChat public account "China Tungsten Online".



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서





CTIA GROUP LTD 옐로우 텅스텐 산화물

## 챕터 7 텅스텐 산화물 생산 설비

### 7.1 텅스텐 산화물 생산을위한 주요 장비

산화 텅스텐의 생산에는 여러 공정 단계가 포함되며, 주요 장비는 원료 가공에서 완제품 준비에 이르는 공정을 달성하는 열쇠입니다. 예를 들어 텅스텐 산화물의 일반적인 형태인 삼산화 텅스텐을 예로 들면, 주요 장비에는 원료 가공 장비, 반응 장비 및 후처리 장비가 포함되며, 이는 생산 효율성과 제품 품질을 보장하기 위해 함께 작동하며 텅스텐 분말 및 텅스텐 와이어의 산업 생산에 널리 사용됩니다.

원료 취급 장비는 생산의 첫 번째 단계이며 볼프라마이트 또는 scheelite와 같은 광석을 후속 반응에 적합한 입상 또는 용액 상태로 변환하는 데 사용됩니다. 그것은 주로 분쇄기, 선반 및 원료 분쇄, 분류 및 정제를 위한 스크리닝 장비를 포함합니다. 예를 들어, 조 크러셔는 광석을 센티미터 수준까지 분쇄하고 볼 밀은 광석을 마이크론 수준까지 더 분쇄하여 원료 입자가 균일하고 후속 침출 또는 소성에 편리하도록 합니다. 이러한 장비는 내마모성이 있어야 하며 더 단단한 텅스텐 광석에 대처할 수 있는 높은 처리 능력을 가져야 합니다.

반응 장비는 산화 텅스텐 생산의 핵심이며 화학적 전환 또는 열 분해에 사용됩니다. 과라 텅스텐 산 암모늄의 열 분해 방법을 예로 들면, 머플로 또는 로터리 킬른은 원료를 500-700 °C에서 소성하여 산화 텅스텐을 생성한다. 머플 퍼니스는 고온 제어 정확도( $\pm 5^{\circ}\text{C}$ )가 높은 소량 생산에 적합합니다. 회전식 가마는 최대 톤수의 출력으로 연속 생산에 적합합니다. 블루 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물을 생산하려면 대기와 온도를 제어하기 위해 수소 환원 장치가 장착되어 있어야 합니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

습식 공정은 산 침출 또는 알칼리 용해 설비와 같은 반응기를 사용하여 텅스텐 산을 텅스텐 산화물 전구체로 변환합니다.

후 처리 장비는 건조 용광로, 스크리닝 기계 및 프레스를 포함하여 산화 텅스텐의 정제 및 성형에 사용됩니다. 건조 오븐은 습식 준비된 산화 텅스텐을 100-200 ° C의 온도에서 분말 상태로 건조시켜 응집을 방지합니다. 스크리닝 기계는 텅스텐 시장의 다양한 요구를 충족시키기 위해 다양한 입자 크기의 텅스텐 산화물을 분리합니다. 반면에 프레스는 분말을 덩어리로 눌러 쉽게 운반하거나 추가 가공할 수 있습니다.

### 7.1.1 원료 취급 장비

원료 취급 장비는 텅스텐 산화물 생산의 첫 번째 단계이며, 텅스텐 함유 광석 또는 화합물을 후속 반응에 적합한 형태로 처리하는 데 사용됩니다. 삼산화 텅스텐 생산을 예로 들면, 원료 가공 장비에는 파쇄 및 연삭 장비, 스크리닝 및 등급 장비 및 보조 장비가 포함되며, 이는 입자 크기와 순도가 공정 요구 사항을 충족하는지 확인하기 위해 scheelite 또는 암모늄 파라 텅스텐 산염과 같은 원료를 가공하는 데 사용됩니다.

분쇄 및 연삭 장비는 원광석 또는 거친 입자를 크기에 맞게 분쇄하는 책임이 있습니다. 예를 들어, 조 크러셔는 볼프라마이트를 5-10cm로 분쇄하고, 해머 크러셔는 1-2cm로 더 줄인 다음, 볼 밀 또는 로드 밀은 50-200  $\mu\text{m}$ 로 분쇄합니다. 이 단계적 파쇄 및 분쇄 공정은 미세 입자가 표면적을 증가시키고 화학 반응을 촉진하기 때문에 후속 침출의 효율성을 향상시킵니다. 장비는 텅스텐 광석의 높은 경도(모스 경도 5-7)에 저항하기 위해 내마모성 강철 또는 세라믹으로 만들어져야 합니다. 텅스텐산염과 같은 화학 원료의 경우 연삭의 필요성이 낮고 일반적으로 가벼운 연삭만 필요합니다.

스크리닝 및 등급 지정 장비는 입자 크기가 다른 원료를 분리하고 제품 품질을 향상시키는 데 사용됩니다. 진동 스크린 또는 공기 분류기는 분쇄 입자를 크기별로 분류합니다(예: 습식 제련을 위한 100  $\mu\text{m}$ 의 미세 분말과 분쇄를 위해 반환되는 100  $\mu\text{m}$ 의 굵은 분말> 예<). 습식 공정에서 침전 탱크 또는 원심분리기는 균질성을 보장하기 위해 현탁액의 입자를 분류합니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물을 생산하려면 10-50  $\mu\text{m}$ 의 정확도를 가진 초 미세 스크리닝 장비(예: 초음파 체)가 장착되어야 합니다. 이러한 장치는 텅스텐 화학 물질의 입자 분포에 직접적인 영향을 미칩니다.

보조 장비에는 컨베이어, 집진기 및 저장 사일로가 포함됩니다. 벨트 컨베이어는 원료를 각 공정으로 운반하고 집진기(예: 백 필터)는 연삭에서 발생하는 먼지를 포집하여 환경 안전을 보장합니다. 가공된 원료의 저장량은 몇 톤에서 수십 톤까지 다양합니다. CTIA GROUP LTD는 원료 취급 장비를 최적화하여 텅스텐 회사에서 텅스텐 산화물의 생산 효율성을 향상 시켰습니다. 원료 취급 장비는 텅스텐 산화물 생산의 초석으로 후속 공정이 원활하게 진행되도록 합니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

#### 7.1.1.1 파쇄 및 연삭 장비

분쇄 및 연삭 장비는 텅스텐 산화물 생산에서 원료 가공의 핵심 장비이며, 텅스텐 함유 광석 또는 굵은 입자를 후속 가공에 적합한 크기로 분쇄하는 데 사용됩니다. 텅스텐 산화물 생산을 예로 들면, 이 장비는 텅스텐 금속 및 텅스텐 분말 생산의 중요한 부분인 습식 침출 또는 열 분해를 위한 미세 입자를 제공하기 위해 볼프라마이트 또는 scheelite 와 같은 경질 원료를 처리합니다.

분쇄 장비에는 주로 조 크러셔, 콘 크러셔 및 해머 크러셔가 포함됩니다. 조 크러셔는 50-100cm 에서 5-10cm 의 광석을 파쇄하는 주요 1 차 파쇄력이며 처리 용량은 100-500 t / h 이며 경도가 높은 텅스텐 광석에 적합합니다 (모스 정도 5-7). 콘 크러셔는 2 차 파쇄에 사용되며 파쇄 비율이 높고 연속 생산에 적합한 입자를 1-3cm 로 줄입니다. 해머 크러셔는 한 번에 1-2cm 까지 분쇄 할 수 있는 부드러운 텅스텐 화합물 (예 : 텅스텐 산 칼슘)에 적합하며 구조는 간단하지만 내마모성이 높습니다. 장비 라이닝 플레이트는 대부분 망간강 또는 고크롬 합금으로 만들어져 수명을 연장합니다.

연삭 장비에는 볼 밀, 로드 밀 및 진동 밀이 포함됩니다. 볼 밀은 가장 일반적으로 사용되는 장비로 분쇄 된 입자를 50-200  $\mu\text{m}$ 로 분쇄하고, 연삭 매체는 강구 또는 세라믹 볼이며, 속도와 펠릿 대 재료 비율 (예 : 10 : 1)은 입자 섬도에 영향을 미칩니다. 로드 밀은 습식 연삭에 적합하며 제품 크기가 균일 (100-300  $\mu\text{m}$ )하여 습식 야금 전에 준비에 자주 사용됩니다. 진동 밀은 최대 10-50  $\mu\text{m}$ 의 초 미세 분쇄에 사용되며 나노 스케일 텅스텐 산화물의 제조에 적합하지만 에너지 소비가 높습니다. 밀 라이닝은 오염을 줄이기 위해 알루미늄과 같은 내마모성 재료가 필요합니다.

분쇄 및 연삭 장비의 선택은 원료의 특성과 대상 입자 크기에 따라 다릅니다. 예를 들어, 텅스텐 플라스틱의 생산에는 초 미세 입자가 필요하며 진동 공장이 선호됩니다. 볼 밀은 주로 산업용 규모에 사용됩니다. 분쇄 및 연삭 장비는 산화 텅스텐 원료 처리의 중추이며, 이는 후속 공정 효과에 직접적인 영향을 미칩니다.

#### 7.1.1.2 장비 스크리닝 및 등급 지정

스크리닝 및 등급 지정 장비는 텅스텐 산화물 생산에서 원료 가공의 중요한 부분으로, 분쇄 및 분쇄 된 입자를 분리하고 입자 크기 분포가 공정 요구 사항을 충족하는지 확인하는 데 사용됩니다. 삼산화 텅스텐의 생산을 예로 들면, 이러한 장비는 파라 텅스텐 산 암모늄 또는 광석 분말을 처리하여 텅스텐 화학 물질 및 텅스텐 필라멘트 제조에서 중요한 단계인 후속 반응을 위한 균일 한 원료를 제공합니다.

스크리닝 장비에는 주로 진동 스크린, 트롬멜 스크린 및 초음파 스크린이 포함됩니다. 진동 스크린은 가장 일반적으로 사용되는 장비로, 입자가 다층 스크린(기공 크기



10  $\mu\text{m}$ –5mm)을 통해 서로 다른 등급으로 분할되며, 예를 들어 < 100  $\mu\text{m}$  미립자는 습식 야금을 위해 스크리닝되고 200  $\mu\text{m}$  거친 분말은 연삭을 위해 > 반환됩니다. 진동의 빈도(1000–3000 vibrations/min)와 스크린의 재질(예: 스테인리스강)은 분리 효율에 영향을 미칩니다. 트롬멜 스크린은 50–200 t / h 용량의 대량 스크리닝에 적합하며 텅스텐 분말 전구체의 산업 생산에 자주 사용됩니다. 초음파 체는 초 미세 입자 (<50  $\mu\text{m}$ )에 사용되며 막힘을 방지하기 위해 초음파 진동을 통해 나노 텅스텐 산화물을 제조하는 데 적합합니다.

등급 지정 장비에는 공기 흐름 분류기와 원심분리기가 포함됩니다. 공기 분류기는 공기 흐름을 사용하여 예를 들어 10–100m / s의 풍속에서 입자를 크기별로 분리하고 20–50  $\mu\text{m}$  미세 분말을 분리하여 고순도 텅스텐 산화물 생산에 적합합니다. 원심분리기는 습식 분류에 사용되며, 원심력(500–2000g)을 사용하여 현탁액의 입자를 분리하며, 종종 10–300  $\mu\text{m}$ 의 분류 범위로 습식 분쇄와 함께 사용됩니다. 이 장치는 균일한 입자 크기를 보장하고 텅스텐 산업 변환 효율을 향상시킵니다.

스크리닝 및 등급 지정 장비의 성능은 제품 품질에 직접적인 영향을 미칩니다. 예를 들어, 너무 미세한 입자는 분진 손실을 증가시킬 수 있고 너무 거친 입자는 반응 효율을 감소시킬 수 있습니다. CTIA GROUP LTD는 고효율 스크리닝 및 등급 장비를 통합하여 텅스텐 제품에서 텅스텐 산화물의 입자 분포를 최적화합니다. 스크리닝 및 등급 지정 장비는 산화 텅스텐 생산에 대한 중요한 보증이며 원료의 품질 및 공정 안정성을 보장합니다.

### 7.1.2 반응 장비

반응 장비는 텅스텐 산화물 생산의 핵심 장비로, 원료에서 텅스텐 산화물로의 화학적 또는 물리적 변형을 실현하는 데 사용됩니다. 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)을 예로 들면, 반응 장비에는 알칼리 가수 분해 및 산성 분해 장비, 소성 및 열분해 장비 및 보조 반응 장치가 포함되며, 이는 텅스텐 분말 및 텅스텐 와이어의 산업 생산에 널리 사용되어 공정 및 제품 품질의 높은 효율을 보장합니다.

알칼리 가수 분해 및 산 가수 분해 장비는 습식 야금에서 볼프 라마이트 또는 셀라이트와 같은 광석을 용해성 텅스텐 화합물 또는 텅스텐 산으로 변환하는 데 사용됩니다. 알칼리 가수분해 장비(예: 고압 반응기)는 광석을 고온 및 고압에서 수산화나트륨으로 처리하여 불용성 광석 처리에 적합한 텅스텐산나트륨을 생성합니다. 산분해 장비(예: 내산성 반응 탱크)는 염산 또는 질산을 사용하여 텅스텐 산을 침출시키며, 이는 텅스텐 산 칼슘 및 기타 원료에 적합합니다. 이 기계는 스테인리스강 또는 에나멜과 같은 부식 방지 재료로 제작되어야 하며 수십 리터에서 수 톤에 이르는 용량의 혼합 및 가열 시스템을 갖추고 있습니다.

소성 및 열분해 장비는 암모늄 과라 텅스텐 산업 또는 텅스텐 산과 같은 전구체를 텅스텐 산화물로 변환하는 데 사용됩니다. 머플로는 400–800 °C의 온도 제어와  $\pm 5$  °C의 정확도로 실험실 또는 고순도 텅스텐 산화물 준비에 적합한 소량 생산에



적합합니다. 로터리 킬른은 길이가 10-50 미터이고 하루 수 톤의 용량으로 산업 연속 생산에 사용되며 공기 또는 수소 분위기에서 청색 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물을 생산할 수 있습니다. 이러한 장치는 반응 균일성과 제품 결정성을 보장하기 위해 고온 저항 및 대기 제어 시스템이 필요합니다.

보조 반응 장치에는 가스 공급 시스템(예: 수소 또는 산소 파이프라인), 교반기 및 온도 제어 장치가 포함됩니다. 가스 공급 시스템은 0.1-10m³ / h의 유속으로 산화 텅스텐의 환원을 위한 수소와 같은 반응 분위기를 조절합니다. 교반기는 용액이 균일하게 반응하고 온도 제어 장치(예: 열전대)가 반응 조건을 유지하도록 합니다. 반응 장비는 산화 텅스텐 생산의 기술적 핵심으로 변환 효율과 제품 성능에 직접적인 영향을 미칩니다.

### 7.1.2.1 알칼리 가수분해 및 산분해 장비

알칼리 가수 분해 및 산 가수 분해 장비는 텅스텐 함유 원료를 용해성 중간체로 전환하거나 텅스텐 산화물 전구체를 직접 생성하는 데 사용되는 텅스텐 산화물 생산의 습식 공정에서 핵심 반응 장비입니다. 삼산화 텅스텐의 생산을 예로 들면, 이 장비는 scheelite 또는 파라텅스텐 산염 암모늄과 같은 원료를 처리하고 텅스텐 화합물 물질 제조의 중요한 부분 인 알칼리성 또는 산성 매체를 통해 텅스텐 추출을 실현합니다 .

알칼리 가수분해 장비에는 주로 고압 반응기와 대기 교반 탱크가 포함됩니다. 고압 반응기는 불용성 광석 (예 : 볼프 램 석)을 처리하는 데 사용되며, 광석을 150-200 ° C 및 1-5 MPa 에서 수산화 나트륨 (10-20 % 농도)으로 분해하여 [텅스텐 산 나트륨]을 생성하고 반응은  $\text{CaWO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ 입니다. 이 장비는 50L 에서 수천 리터 범위의 내알칼리성 스테인리스강(예: 316L)으로 만들어졌으며 고압 밀봉 및 가열 시스템이 장착되어 있으며 대기 교반 탱크는 후속 용액 조정에 사용되며 교반 속도는 100-500rpm 으로 균일한 반응을 보장합니다. 알칼리성 가수분해 플랜트는 회수율이 높은 공정에 적합하지만 더 많은 에너지를 소비합니다.

산분해 플랜트에는 내산성 반응 탱크와 여과 장치가 포함됩니다. 텅스텐 산은 염산 또는 질산 (1-6 mol / L)으로 침출됩니다 (예 : 텅스텐 산염 :  $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4 + 2\text{NaCl}$ ). 탱크는 에나멜 또는 PTFE 로 만들어졌으며 내식성이 뛰어나고 부피가 10-1000 L 이며 교반기 (50-200 rpm)와 가열 장치 (50-100 ° C)가 장착되어 있습니다. 여과 장치(예: 플레이트 및 프레임 필터 프레스)는 제품 순도를 보장하기 위해 1-10t/h 의 처리 용량으로 텅스텐 산 침전물을 분리합니다. 텅스텐 산화물을 직접 생성하는 경우, 텅스텐 산을 더 소성 할 수 있습니다.

알칼리 가수 분해 및 산 가수 분해 장비는 원료의 특성에 따라 선택해야 합니다. 예를 들어, scheelite 는 대부분 알칼리화되고 텅스텐 산 칼슘은 산성화됩니다. CTIA GROUP LTD 는 내압층 추가와 같은 장비 설계를 최적화하여 텅스텐 회사의 텅스텐 산화물 생산 효율성을 향상시킵니다. 알칼리 가수 분해 및 산 가수 분해 장비는 텅스텐

산화물 습식 공정의 기초로서 텅스텐의 효율적인 추출 및 전환을 보장합니다.

#### 7.1.2.2 소성 및 열분해 장치

소성 및 열분해 장치는 텅스텐 산화물 생산의 핵심 반응 장비로, 전구체 열처리를 건식 공정의 핵심 링크 인 텅스텐 산화물로 변환하는 데 사용됩니다. 삼산화 텅스텐의 생산을 예로 들면, 이러한 장치는 과라 텅스텐 산 암모늄 또는 텅스텐 산을 처리하여 고온 분해를 통해 텅스텐 산화물을 생성하며, 이는 텅스텐 금속 및 텅스텐 분말 전구체 의 생산에 널리 사용됩니다.

소성 장비에는 주로 머플 용광로와 회전식 가마가 포함됩니다. 머플 퍼니스는 300-1000 °C 의 온도 범위,  $\pm 5$  °C 의 온도 제어 정확도 및 10-500 L 의 부피로 소량 배치 또는 실험실 생산에 적합합니다. 예를 들어, 과라 텅스텐 산 암모늄은 500-700 °C 에서 2-4 시간 동안 소성되어 삼산화 텅스텐을 생성합니다 :  $(\text{NH}_4)_{10}(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}) \cdot 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 12\text{WO}_3 + 10\text{NH}_3 + 7\text{H}_2\text{O}$ . 회전식 가마는 길이 10-50 미터, 내경 1-3 미터, 온도 400-800 °C, 최대 1-10t/일의 출력으로 산업 연속 생산에 사용됩니다. 로터리 킬른에는 로터리 드라이브 (1-5 rpm)와 대기 제어 시스템이 장착되어있어 공기 중에 노란색 텅스텐 산화물을, 수소에 파란색 또는 자주색 텅스텐 산화물을 생성합니다.

열분해 장치는 내열성 재료(예: 내화 벽돌 또는 니켈 기반 합금)가 필요하며 분해에 의해 생성된  $\text{NH}_3$  또는  $\text{H}_2\text{O}$  를 처리하기 위한 배기 가스 처리 장치(예: 스크리버)가 장착되어 있습니다. 온도와 분위기는 주요 매개 변수입니다 (예 : 600 °C 공기 분위기는 높은 결정 성 텅스텐 산화물을 생성하고, 800 °C 수소 분위기는 정수 텅스텐 산화물을 생성합니다. 유지 시간은 입자 크기에 영향을 미치므로 2 시간 내에 1-5  $\mu\text{m}$  입자, 4 시간 내에 10  $\mu\text{m}$  입자가 생성됩니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물이 필요한 경우, 분무 건조 전처리와 결합 할 수 있습니다.

소성 및 열분해 장치는 공정이 간단하고 수율이 높지만 에너지 소비가 높고 입자 제어에 제한되는 장점이 있습니다. 소성 및 열 분해 장치는 텅스텐 산화물 건조 공정의 중추로서 효율적인 변환과 산업 적합성을 보장합니다.

#### 7.1.3 분리 및 정화 장비

분리 및 정제 장치는 텅스텐 산화물 생산의 핵심 장비로, 반응 생성물로부터 산화 텅스텐 또는 그 전구체를 추출하고 정제하는 데 사용됩니다. 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)을 예로 들면, 이러한 장비에는 텅스텐 분말 및 텅스텐 필라멘트 전구체의 순도와 품질을 보장하기 위해 습식 제련 및 건식 공정에 널리 사용되는 고액 분리 장비 및 결정화 및 재결정화 장비가 포함됩니다.

고체-액체 분리 장비는 반응에 의해 생성된 액체(예: 폐액)에서 고체(예: 텅스텐산)를 분리하는 데 사용됩니다. 일반적인 장비에는 플레이트 및 프레임 필터

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

프레스 및 원심 분리기가 포함되며, 이는 1-10 t / h 의 용량으로 0.5-1 MPa 의 압력으로 현탁액을 필터링하여 볼프 라마이트 산 가수 분해물에서 텅스텐 산을 추출하는 데 적합합니다. 원심분리기는 빠른 분리를 위해 원심력(500-2000g)을 사용하여 고순도 소량 생산에 적합합니다. 이러한 장치는 산성 및 알칼리성 환경에 대처하기 위해 폴리프로필렌 또는 스테인리스강과 같은 부식 방지 재료로 만들어져야 합니다. 분리 효율은 후속 정제에 직접적인 영향을 미칩니다.

결정화 및 재결정화 장비는 텅스텐 산 나트륨 또는 파라 텅스텐 산 암모늄과 같은 용해성 텅스텐 화합물을 정제하는 데 사용됩니다. 결정화 탱크는 온도 (20-80 ° C)와 농도를 제어함으로써 텅스텐 화합물이 30 ° C로 냉각되면 최대 99.5 %의 순도로 결정화되는 파라 텅스텐 산 암모늄과 같은 용액에서 침전되도록 합니다. 재결정 장비 (예 : 증발 결정화기)는 다중 용해 결정화를 통해 불순물을 제거하며 고순도 텅스텐 산화물 생산에 적합합니다. 이 장비에는 교반기(50-200rpm)와 온도 제어 시스템이 장착되어 있어 균일한 결정 성장을 보장합니다.

분리 및 정화 장비는 공정과 일치해야 합니다. 예를 들어, 텅스텐 화학 물질을 생산하는 습식 공정은 고체-액체 분리에 의존하는 반면 건식 공정은 결정화 및 정제에 중점을 둡니다. 분리 및 정제 장비는 텅스텐 산화물 생산의 핵심 링크로 제품의 순도와 회수를 보장합니다.

#### 7.1.3.1 고액 분리 장비

고액 분리 장비는 반응 혼합물에서 고체 생성물을 추출하는 데 사용되는 산화 텅스텐 생산에서 분리 및 정제를 위한 중요한 장비입니다. 삼산화 텅스텐의 생산을 예로 들면, 이러한 장비는 scheelite 산분해 또는 알칼리 가수 분해 후 현탁액을 처리하고 텅스텐 금속 전구체를 제조하는 핵심 단계 인 텅스텐 산 또는 텅스텐 산화물 입자를 분리합니다.

일반적인 고액 분리 장비에는 플레이트 및 프레임 필터 프레스, 원심분리기 및 진공 필터가 포함됩니다. 플레이트와 프레임 필터 프레스는 압력 (0.5-1.5 MPa)을 통해 필터 케이크로 현탁액의 고체(예: 텅스텐 산)를 누르고, 여과액은 대규모 생산에 적합한 1-20 t/h 의 처리 용량으로 배출됩니다. 원심 분리기는 고속 회전 (1000-3000 rpm)을 사용하여 원심력 (500-2000 g)을 생성하여 텅스텐 산염 용액에서 텅스텐 산과 같은 미세 입자를 빠르게 분리하며 고순도 요구 사항에 적합합니다. 진공 필터는 실험실 또는 소량 생산에 적합한 음압(0.01-0.08 MPa)으로 필터링되며 여과 정확도는 최대 1-10 μm 입니다.

장비는 산성(예: HCl) 또는 알칼리성(예: NaOH) 환경을 처리하기 위해 폴리프로필렌 필터 천 또는 316L 스테인리스강 하우징과 같은 내부식성 재료로 제작되어야 합니다. 필터 매체(예: 여과포 또는 멤브레인)의 기공 크기(5-50 μm)는 분리 효과에 영향을 미치며 너무 미세하면 막히기 쉽고 너무 거칠면 누출됩니다. 압력, 회전 속도 및 여과 시간과 같은 작동 매개변수를 최적화해야 합니다(예: 수분 함량이 20%인

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



케이크는 1MPa 에서 30 분 여과 후에 얻을 수 <). 건조하는 경우, 그것은 텅스텐 플라스틱 공정 과 결합 될 수 있습니다.

고액 분리 장비의 효율성은 텅스텐 회수에 직접적인 영향을 미칩니다. 예를 들어, 원심분리기는 미세 입자를 95% 이상 회수할 수 있습니다. CTIA GROUP LTD 는 다단계 고액 분리 공장을 갖추어 텅스텐 회사에서 텅스텐 산화물의 생산 공정을 최적화합니다. 고액 분리 장비는 텅스텐 산화물 습식 공정의 초석으로 고체 제품의 효율적인 추출을 보장합니다.

### 7.1.3.2 결정화 및 재결정화 장비

결정화 및 재결정 장비는 텅스텐 산화물 생산에서 정제를위한 핵심 장비이며, 용액에서 고순도 텅스텐 화합물을 침전시키는 데 사용됩니다. 삼산화 텅스텐의 생산을 예로 들면, 이러한 장비는 텅스텐 산 나트륨 또는 파라 텅스텐 산 암모늄 용액을 처리하여 고품질 텅스텐 화학 물질 제조의 중요한 부분 인 결정화 조건을 제어하여 순수한 결정을 생성합니다.

결정화 장비는 결정화 탱크와 냉각 결정화를 포함한다. 결정화 탱크는 냉각 또는 증발에 의해 텅스텐 화합물을 침전시키며, 예를 들어 파라 텅스텐 산 암모늄 용액은 80 ° C에서 30 ° C로 냉각되어 최대 99.5 %의 순도를 가진 바늘 모양의 결정을 침전시킵니다. 탱크 부피는 50-5000L 이며 교반기(50-200rpm)와 온도 제어 시스템이 장착되어 균일한 결정 성장을 보장합니다. 냉각 금형은 냉각수를 순환시켜 침전을 가속화하며, 이는 1-10t/day 의 처리 용량으로 연속 생산에 적합합니다. 블루 텅스텐 산화물 이 필요한 경우, 결정은 추가로 열처리 될 수있다.

재결정화 장비에는 증발 결정화기와 용해 탱크가 포함됩니다. 증발 결정화기는 가열(50-100° C)하여 용액을 농축하고, 텅스텐 산 나트륨 용액과 같은 불순물을 제거한 후 재결정화하고, 포화 상태로 증발한 다음 냉각하여 고순도 결정을 침전시키며, 순도는 99.9%까지 증가할 수 있습니다. 용해 탱크는 1 차 결정을 재용해하고 결정화 과정을 반복하는 데 사용되며 부식 방지 재료(예: 에나멜) 및 가열 장치가 장착되어 있습니다. 증발 속도와 냉각 속도가 핵심이며, 너무 빠르면 결정 결함이 발생할 수 있고 너무 느리면 비효율성이 발생할 수 있습니다.

결정화 및 재결정화 장비의 장점은 정화 효과가 현저하지만 에너지 소비가 높고 고부가가치 제품에 적합하다는 것입니다. 결정화 및 재결정화 장비는 제품 품질을 보장하는 산화 텅스텐 정제를위한 정밀 도구입니다.

### 7.2 텅스텐 산화물을위한 보조 생산 설비

산화 텅스텐 보조 생산 설비는 주요 장비를 지원하는 장치이며 자재 운송, 환경 제어 및 완제품 가공에 사용됩니다. 삼산화 텅스텐 생산을 예로 들면, 이러한 장비에는 텅스텐 금속 및 텅스텐 분말 생산 라인의 연속성과 안전성을 보장하기 위해 자재



취급 장비, 먼지 제거 장비 및 포장 장비가 포함됩니다.

자재 취급 장비는 모든 공정이 원활하게 진행되도록 기계 이송 장비(예: 벨트 컨베이어) 및 공압 이송 장비(예: 공기 흐름 파이프)를 포함한 원자재, 중간체 및 완제품의 운송을 담당합니다. 먼지 제거 장비(예: 백 필터)는 환경 보호 요구 사항을 충족하는 10-100m<sup>3</sup>/min 의 처리 용량으로 연삭 또는 소성에서 발생하는 먼지를 수집합니다. 포장 장비 (예 : 자동 포장 기계)는 텅스텐 산화물 분말을 100-500 봉지 / 시간의 효율로 봉지 또는 배럴에 채우며, 이는 텅스텐 시장의 다양한 포장 요구에 적합합니다.

보조 장치는 주 장치와 일치해야 합니다. 예를 들어, 운반 장비는 내마모성이 있어야 하고 텅스텐 산 칼슘과 같은 단단한 입자에 적응해야 합니다. 집진 장비는 10 μm< 분진을 효율적으로 걸러내야 합니다. CTIA GROUP LTD 는 보조 생산 장비를 통합하여 텅스텐 제품에서 텅스텐 산화물의 생산 효율을 높입니다. 산화 텅스텐의 보조 생산 설비는 생산 라인을 보장하고 전체 공정 흐름을 최적화합니다.

### 7.2.1 자재 취급 장비

자재 취급 장비는 다양한 공정 사이에서 원료, 중간체 및 완제품을 운송하는 데 사용되는 산화 텅스텐 보조 생산에 중요한 장비입니다. 삼산화 텅스텐 생산을 예로 들면, 이러한 장비에는 텅스텐 화학 생산 라인의 연속성을 보장하기 위해 scheelite 또는 텅스텐 산과 같은 물질을 처리하기 위한 기계 이송 장비 및 공압 이송 장비가 포함됩니다.

벨트 컨베이어 및 스크류 컨베이어와 같은 기계 이송 장비는 대량 생산에 적합한 10-500 t / h 의 운반 용량으로 분쇄에서 반응 공정으로 파립 또는 분말을 운반합니다. 공기 흐름 파이프와 같은 공압 이송 장비는 압축 공기 (0.1-0.5 MPa)를 사용하여 장거리 또는 폐쇄 전송에 적합한 미세 분말 (예 : 텅스텐 분말)을 운반합니다. 운반 장비는 텅스텐 재료의 높은 경도에 대처하기 위해 내마모성 재료 (예 : 고무 벨트 또는 스테인레스 스틸 파이프)로 만들어야 합니다. 자재 취급 장비의 선택은 자재의 특성과 공정의 레이아웃에 따라 다릅니다. 예를 들어, 스크류 컨베이어는 젖은 재료에 사용되고 공압 컨베이어는 건조 분말에 사용됩니다. 자재 취급 장비는 텅스텐 산화물 생산 사이의 연결 고리이며 원활한 공정을 보장합니다.

#### 7.2.1.1 기계식 운반 장비

기계 운반 장비는 단거리 및 대규모 운송에 사용되는 산화 텅스텐 생산에서 재료 운송을 위한 주요 보조 장비입니다. 삼산화 텅스텐 생산을 예로 들면, 이러한 장비에는 볼프라 마이트 또는 텅스텐 산과 같은 물질을 처리하는 벨트 컨베이어, 스크류 컨베이어 및 버킷 엘리베이터가 포함되며 텅스텐 금속 생산 라인에 대한 중요한 지원입니다.

벨트 컨베이어는 0.5-2 m의 폭, 1-5 m/s의 속도 및 50-1000 t/h의 운반 용량을 가진 고무 또는 폴리에스테 벨트를 통해 물자를 수송해, 분쇄에서 갈기에 지속적인 이동을 위해 적당한. 스크류 컨베이어는 회전 나사를 사용하여 파이프 직경이 0.1-0.5m이고 운반 용량이 1-50t / h인 재료를 밀어 넣으며 이는 젖은 재료 또는 분말 (예 : 텅스텐 산염)에 적합합니다. 버킷 엘리베이터는 5-50m 높이로 자재를 수직으로 들어 올리므로 공간 제약이 있는 시나리오에 적합합니다. 장비에는 마모를 줄이기 위해 내마모성 라이너(예: 망간강)가 필요합니다.

기계식 운반 장비의 장점은 구조가 간단하고 유지 보수가 쉽다는 것입니다., 그러나 장거리 또는 미세 분말 운송에는 적합하지 않습니다. CTIA GROUP LTD는 텅스텐 가격에서 텅스텐 산화물의 생산 효율을 향상시키기 위해 고효율 기계 이송 장비를 갖추고 있습니다. 기계 운반 장비는 텅스텐 산화물 생산에서 신뢰할 수 있는 조력자이며 재료의 흐름을 보장합니다.

### 7.2.1.2 공압 이송 장비

공압 이송 장비는 공기 흐름을 사용하여 미세 입자를 운반하는 텅스텐 산화물 생산에서 재료 운송을 위한 고급 보조 장비입니다. 삼산화 텅스텐 생산을 예로 들면, 이러한 장비에는 텅스텐 분말 또는 자주색 텅스텐 산화물을 처리하는 양압 공압 이송 시스템 및 음압 공압 이송 시스템이 포함되며, 이는 텅스텐 화학 물질의 폐쇄 전송에 적합합니다.

양압 공압 이송 시스템은 파이프 직경이 50-300mm이고 운반 거리가 10-500m이고 장거리 운송에 적합한 1-50t/h의 용량으로 압축 공기(0.1-0.5MPa)를 통해 재료를 목표 지점으로 밀어 넣습니다. 음압 공압 이송 시스템은 진공 펌프(0.01-0.08 MPa)를 사용하여 더 짧은 거리에서 재료를 흡입하지만 더 나은 먼지 제어 기능을 제공하므로 실험실이나 깨끗한 환경에 적합합니다. 파이프는 스테인리스 스틸 또는 폴리에테탄으로 만들어졌으며 내마모성이 있고 막힘 방지 기능이 있습니다. 공압 이송 장비는 밀폐되고 먼지 누출이 없다는 장점이 있지만 더 많은 에너지를 소비하고 파이프라인을 정기적으로 청소해야 합니다. 공압 이송 장비는 텅스텐 산화물 생산을 효율적으로 지원하고 공정 현대화 수준을 높입니다.

### 7.2.2 건조 및 냉각 장비

건조 및 냉각 장비는 반응 생성물 또는 중간체의 수분 및 온도를 처리하는 데 사용되는 산화 텅스텐 생산에서 중요한 보조 장비입니다. 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)을 예로 들면, 이러한 장비에는 텅스텐 분말 및 텅스텐 와이어 생산에 널리 사용되는 건조 장비 및 냉각 장비가 포함되어 있어 재료의 물리적 상태가 후속 가공 또는 저장 요구를 충족시킵니다.

건조 장비는 습식 산화 텅스텐 또는 텅스텐 산과 같은 전구체에서 물을 제거하는 데 사용됩니다. 일반적인 장비에는 분무 건조기와 오븐이 포함되며, 분무 건조기는

현탁액을 분무 한 다음 1-10 t / h 의 처리 용량으로 뜨거운 공기 (150-300 ° C)에서 즉시 건조하며, 생성 된 분말은 균일 한 입자 크기 (10-50 μm)를 가지며 연속 생산에 적합합니다. 오븐은 100-200 ° C에서 50-5000 L의 부피로 정적으로 건조되며 소량 배치 또는 고순도 텅스텐 산화물에 적합하며 건조 시간은 2-8 시간입니다. 건조 장비는 정확한 온도(±5° C)와 부식 방지 재료(예: 스테인리스강)를 제어하여 수분 잔류물로 인한 응집을 방지해야 합니다.

냉각 장비는 소성 또는 건조 후 산화 텅스텐의 고온 상태를 감소시켜 산화를 방지하거나 포장을 용이하게하는 데 사용됩니다. 일반적인 장비에는 드럼과 5-20 t / h 용량의 차가운 공기 (20-50 ° C)를 회전시켜 텅스텐 산화물을 500 ° C에서 50 ° C로 줄이는 냉각 드럼이 포함됩니다. 유동층 냉각기는 공기 흐름 (0.5-2 m / s)을 사용하여 균일 한 냉각 및 고결 방지로 청색 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물에 적합한 미세 분말을 냉각합니다. 장비에는 온도가 빠르게 떨어지도록 효율적인 열교환 시스템이 필요합니다.

건조 및 냉각 장비는 공정에 부합해야 합니다. 예를 들어, 텅스텐 화학 물질의 습식 생산은 분무 건조에 의존하는 반면 건조 공정은 드럼의 냉각을 필요로 합니다. 건조 및 냉각 장비는 텅스텐 산화물 생산의 보조 기둥으로 재료의 안정성과 가공성을 보장합니다.

#### 7.2.2.1 건조 장비

건조 장비는 습식 준비 제품에서 수분을 제거하는 데 사용되는 산화 텅스텐 생산의 핵심 보조 장비입니다. 예를 들어, 삼산화 텅스텐 생산의 경우, 이러한 장비는 텅스텐 금속 전구체의 건조 상태를 보장하기 위해 scheelite 산분해 후 텅스텐 산 또는 파라 텅스텐 산 암모늄 용액의 결정화 생성물을 처리합니다.

일반적인 건조 장비에는 분무 건조기, 오븐 및 진공 건조기가 포함됩니다. 분무 건조기는 고압 노즐 (0.5-2 MPa)을 통해 현탁액을 분무하고, 물은 1-10 t / h의 처리 용량으로 뜨거운 공기 (150-300 ° C)에 의해 순간적으로 증발되며, 결과 분말 입자 크기는 10-50 μm로 텅스텐 분말의 연속 생산에 적합합니다. 오븐은 100-200 ° C에서 정적으로 건조되며 부피는 50-5000 L이고 건조 시간은 2-8 시간이며 이는 고순도 텅스텐 산화물의 소량 배치에 적합합니다. 진공 건조기는 0.01-0.08 MPa 및 50-100° C의 음압에서 작동하며 이는 텅스텐산염 과 같은 열에 민감한 재료에 적합하고 고온 분해를 방지합니다.

건조 장비에는 잔류물이나 과열 응집을 방지하기 위해 부식 방지 재료(예: 316L 스테인리스강)와 정밀한 온도 제어 시스템(±5° C)이 필요합니다. 뜨거운 공기 흐름, 공급 속도 및 온도는 주요 매개 변수이며, 예를 들어 분무 건조기는 200° C에서 5L/min 공급에서 수분 함량이 <1%인 분말을 생산할 수 있습니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물이 필요한 경우, 입자 응결을 줄이기 위해 건조 온도를 150 ° C로 낮출 수 있습니다. 또한 장비에는 벌금을 회수하기 위해 집진기(예: 사이클론

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

분리기)가 장착되어 있어야 합니다.

건조 장비의 효율성은 제품의 품질에 직접적인 영향을 미칩니다. 예를 들어, 분무 건조기는 텅스텐 산을 균질 한 분말로 빠르게 건조시켜 후속 소성의 효율성을 향상시킬 수 있습니다. CTIA GROUP LTD 는 건조 플랜트 매개 변수를 최적화하여 텅스텐 회사의 텅스텐 산화물 생산 품질을 향상시킵니다. 건조 장비는 분말의 건조 및 유동성을 보장하는 산화 텅스텐 습식 공정을 보장합니다.

### 7.2.2.2 냉각 장비

냉각 장비는 고온 제품 또는 중간체의 온도를 낮추는 데 사용되는 산화 텅스텐 생산에서 중요한 보조 장비입니다. 삼산화 텅스텐의 생산을 예로 들면, 이러한 장비는 소성 된 산화 텅스텐 또는 텅스텐 분말을 처리하고 이를 500-800 ° C에서 실온으로 낮추며, 이는 텅스텐 화학 물질 및 텅스텐 필라멘트의 제조에 필요한 부분입니다.

일반적인 냉각 장비에는 냉각 드럼, 유동층 냉각기 및 수냉식 스크류 기계가 포함됩니다. 냉각 드럼은 직경 0.5-2m, 처리 용량 5-20 t / h 의 실린더 (1-5 rpm)와 냉기 (20-50 ° C)를 회전시켜 산화 텅스텐을 냉각시켜 대량 생산에 적합합니다. 유동층 냉각기는 기류 (0.5-2 m / s)를 사용하여 분말을 600 ° C에서 50 ° C까지 10-30 분 동안 현탁 및 냉각하며 균일 한 냉각 및 고결 방지 기능을 갖춘 파란색 또는 자주색 텅스텐 산화물에 적합합니다. 수냉식 나사 기계는 수냉식 재킷(10-30° C)과 나사를 통해 냉각 재료를 밀어 소규모 또는 연속 생산에 적합합니다.

냉각 장비에는 신속한 냉각을 보장하고 산화를 방지하기 위해 효율적인 열교환기 시스템(예: 동관 열교환기)과 고온 내성 재료(예: 내화물강)가 필요합니다. 냉각 매체 (공기 또는 물), 유속 및 장비의 길이가 핵심이며, 예를 들어 냉각 드럼은 1m / s 의 풍속으로 10t / h 산화 텅스텐을 처리 할 수 있습니다. 온도가 너무 천천히 떨어지면 산소 공석이 감소 하여 텅스텐 플라스틱의 성능에 영향을 미칠 수 있습니다. 장비는 또한 분말 손실을 방지하기 위해 방진 기능이 있어야 합니다.

냉각 장비의 성능은 후속 처리 및 보관에 영향을 미칩니다. 예를 들어, 유동층 냉각기는 쉽게 포장할 수 있도록 분말을 느슨하게 유지합니다. 냉각 장비는 텅스텐 산화물 생산의 안정제로서 재료의 물리적 상태를 보장합니다.

### 7.2.3 환경 보호 처리 장비

환경 보호 처리 장비는 생산 공정에서 발생하는 폐가스 및 폐수를 처리하는 데 사용되는 산화 텅스텐 생산에 필요한 보조 장비입니다. 예를 들어, 삼산화 텅스텐 생산의 경우, 이러한 시설에는 불프 라마이트 또는 파라 텅스텐 산 암모늄 반응으로 인한 오염 물질을 처리하기위한 배기 가스 처리 장비 및 폐수 처리 장비가 포함되어 환경 표준을 준수하고 텅스텐 시장의 지속 가능한 개발을 지원합니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



폐가스 처리 공장은 소성 또는 산분해로 인한  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$  또는 먼지를 처리합니다. 백 필터는  $10\text{--}100\text{m}^3/\text{min}$ 의 처리 용량과 99% 이상의 효율로 미세 먼지( $<10\text{ }\mu\text{m}$ )를 포집합니다. 스크러버는 5-20m 높이와 1-3m/s의 가스 속도에서 잿물(예: NaOH)로 산성 가스(예: HCl)를 흡수하여 방전이 표준을 충족하는지 확인합니다. 폐수 처리 장비는 산 및 알칼리 폐액 또는 중금속 이온을 처리하고, 침전조에서 산성 폐수(pH 2-4 내지 7-8)를 석회로 중화하고,  $10\text{--}1000\text{ m}^3/\text{h}$ 의 처리 용량으로 텅스텐 잔류 물을 침전시킨다.

환경 친화적인 처리 장비에는 95%의 오염 제거율을 보장하기 위해 부식 방지 재료(예: PP 또는 FRP)와 고효율 여과 시스템이 >. 액체-가스 비율( $2\text{--}5\text{ L/m}^3$ ) 및 침강 시간(1-4 시간)과 같은 작동 매개변수를 최적화해야 합니다. 텅스텐 산 칼슘 폐기물이 관련된 경우  $\text{Ca}^{2+}$ 를 제거하기 위해 추가 이온 교환 장치가 필요합니다. CTIA GROUP LTD는 환경 보호 장비의 통합을 통해 텅스텐 제품에서 텅스텐 산화물의 녹색 생산 수준을 향상 시켰습니다. 환경 보호 처리 장비는 텅스텐 산화물 생산의 환경 보호 보장으로 환경 영향을 줄이고 기업의 경쟁력을 향상시킵니다.

### 7.2.3.1 폐가스 처리 설비

폐가스 처리 장비는 반응 및 소성에 의해 생성 된 폐가스를 처리하는 데 사용되는 산화 텅스텐 생산의 환경 보조 장비입니다. 삼산화 텅스텐 생산을 예로 들면, 이 장비는 scheelite 산분해 또는 텅스텐 산 열 분해에 의해 생성 된  $\text{NH}_3$ , HCl 또는 먼지를 처리하여 배출이 텅스텐 화학 생산에 대한 녹색 보증 인 환경 보호 표준을 충족하는지 확인합니다.

일반적인 폐가스 처리 장비에는 백하우스, 스크러버 및 활성탄 흡착기가 포함됩니다. 백 필터는  $10\text{--}100\text{m}^3/\text{min}$ 의 처리 용량과 >99%의 제거율로 폴리 에스테르 필터 백(기공 크기 1-5  $\mu\text{m}$ )을 통해 먼지를 포착하여 텅스텐 분말 분쇄 공정에 적합합니다. 스크러버는 직경 1-3m, 액체-가스 비율  $2\text{--}5\text{L/m}^3$ , 처리 용량  $50\text{--}500\text{m}^3/\text{h}$ 의 잿물(5-10% NaOH) 스프레이로 산성 가스(예:  $\text{SO}_2$ )를 흡수합니다. 활성탄 흡착기는 휘발성 물질(예: 용매 잔류물)을 흡착하며 소규모 폐가스 처리에 적합합니다.

이 장비에는 배기 가스가 표준(예:  $\text{NH}_3<10\text{ mg/m}^3$ )까지 배출되도록 하기 위해 부식 방지 재료(예: FRP)와 고효율 여과 시스템이 필요합니다. 예를 들어, 스크러버는  $3\text{m}^3/\text{s}$ 의 속도로  $200\text{m}^3/\text{h}$ 의 배기 가스를 처리할 수 있습니다. CTIA GROUP LTD는 다단계 배기 가스 처리 장비를 장착하여 텅스텐 회사에서 산화 텅스텐의 환경 성능을 최적화합니다. 배기 가스 처리 장비는 산화 텅스텐 생산을위한 환경 장벽이며 공기 질을 보장합니다.

### 7.2.3.2 폐수 처리 설비

폐수 처리 장비는 습식 공정에서 발생하는 폐수를 처리하는 데 사용되는 산화 텅스텐

생산에서 환경 친화적 인 보조 장비입니다. 삼산화 텅스텐 생산을 예로 들면, 이 장비는 텅스텐 산 나트륨 또는 파라 텅스텐 산 암모늄의 반응 후 산 및 알칼리 폐액 및 중금속 이온을 처리하여 폐수가 텅스텐 시장에서 녹색 생산의 핵심인 표준까지 배출되도록 합니다.

일반적인 폐수 처리 장비에는 중화 침전 탱크, 이온 교환 컬럼 및 멤브레인 분리 장치가 포함됩니다. 중화 침전조는 산성 폐수 (pH 2-4 에서 7-8)를 석회 또는 NaOH 로 중화하고 텅스텐 잔류 물 및 중금속 (예 :  $Pb^{2+}$ )을 침전시키며, 탱크 용량은 10-1000m<sup>3</sup> 이고 처리 용량은 5-500m<sup>3</sup> / h 입니다. 이온 교환 컬럼은 수지를 통해 잔류 텅스텐 이온 (예 :  $WO_4^{2-}$ )을 흡착하고 유출 물의 텅스텐 함량은 < 1mg / L 로 고순도 요구 사항에 적합합니다. 멤브레인 분리 장치(예: 역삼투압)는 1-100m<sup>3</sup> /h 의 용량과 >90%의 회수율로 미량 불순물을 걸러냅니다.

폐수 처리 장비는 COD 및 중금속의 > 95% 제거율을 보장하기 위해 내식성 재료(예: PE 또는 PVC)와 고효율 침전 시스템이 필요합니다. 중화제의 양(0.1-1kg/m<sup>3</sup>)과 침강 시간(1-4 시간)을 최적화해야 합니다. 텅스텐 산 칼슘이 폐수에 함유되어있는 경우, 침전 효율을 향상시키기 위해 응집제를 첨가해야 합니다. 폐수 처리 장비는 텅스텐 산화물 생산에서 환경 보호의 초석으로 물 안보를 보장합니다.

CTIA GROUP LTD

Yellow Tungsten Trioxide (YTO, WO<sub>3</sub>) Product Introduction

### 1. Product Overview

CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide is produced by high-temperature calcination process of ammonium paratungstate, which meets the requirements of GB/T 3457-2013 "Tungsten Oxide" first-class product. WO<sub>3</sub> is widely used in the preparation of tungsten powder, cemented carbide, tungsten wire and ceramic colorants. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality yellow tungsten trioxide products to meet the needs of powder metallurgy and industrial manufacturing.

### 2. product characteristics

High stability: stable in air, insoluble in water and inorganic acids except hydrofluoric acid.  
 Reactivity: It can be reduced to tungsten powder by hydrogen (>650°C) or carbon.  
 Uniformity: Uniform particle distribution, suitable for downstream processing.

### 3. Product specifications

|                               |                                                                                                           |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| index                         | CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide first-class product standard                                      |
| WO <sub>3</sub> content (wt%) | ≥99.95                                                                                                    |
| Impurities （ wt% , max. ）     | Fe≤0.0010, Mo≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005 |
| Particle size                 | 1-10（μm, FSSS）                                                                                            |
| Loose density                 | 2.0-2.5（g/cm <sup>3</sup> ）                                                                               |
| Customization                 | Particle size or impurity limits can be customized according to customer requirements                     |

### 4. Packaging and warranty

Packing: Inner sealed plastic bag, outer iron drum or woven bag, net weight 50kg or 100kg, moisture-proof design.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including WO<sub>3</sub> content, impurity analysis, particle size (FSSS method), loose density and moisture data.

### 5. Procurement information

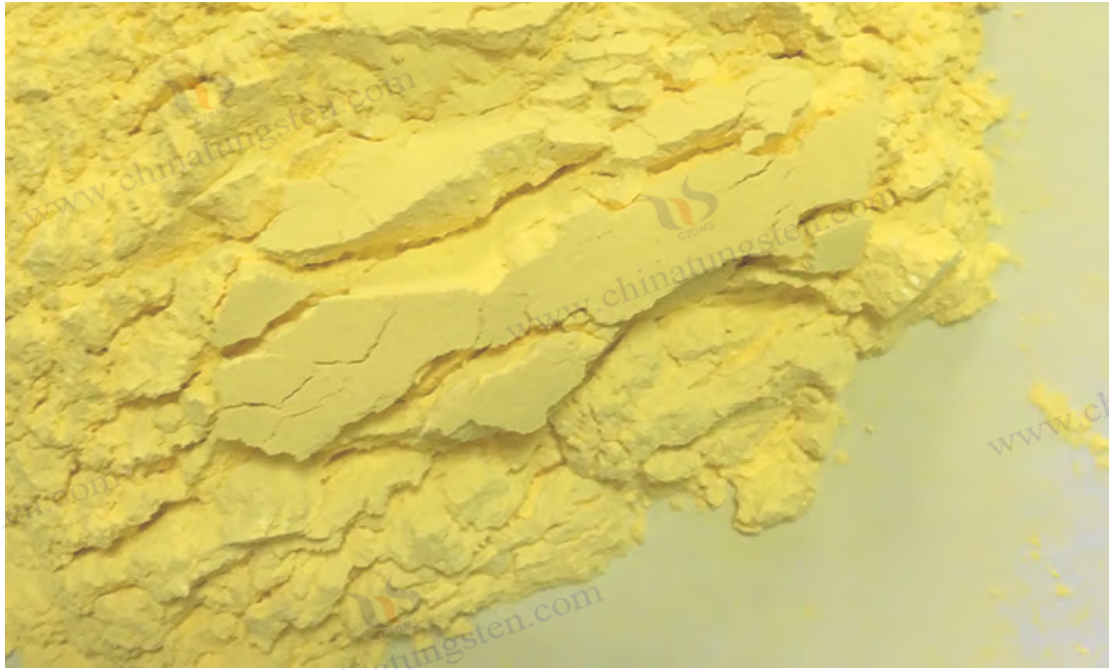
Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Phone: +86 592 5129696

For more [yellow tungsten oxide](http://www.tungsten-powder.com) information, please visit the China Tungsten online website [www.tungsten-powder.com](http://www.tungsten-powder.com). For more market and real-time information, please follow the WeChat public account "China Tungsten Online".



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



CTIA GROUP LTD 옐로우 텅스텐 산화물

## 제 8 장 : 텅스텐 산화물의 검출 원리에 관한 연구

### 8.1 텅스텐 산화물 검출 - 분광법

분광법은 텅스텐 산화물을 검출하는 데 중요한 기술이며, 특정 파장의 전자기파와의 상호 작용을 분석하여 구성, 구조 및 특성을 밝힙니다. 삼산화 텅스텐 (황색 텅스텐 산화물)을 예로 들면, 분광 분석 방법에는 X 선 형광 분광법 (XRF), 라만 분광법 및 자외선 가시 분광법 등이 포함되며, 이는 텅스텐 분말 및 텅스텐 필라멘트의 품질 관리 및 연구에 널리 사용됩니다.

X 선 형광 분광법 (XRF)은 X 선에 의해 산화 텅스텐의 원자를 여기시키고 특징적인 형광을 검출하며 텅스텐 및 불순물 원소의 함량을 정량적으로 분석합니다. 예를 들어, 삼산화 텅스텐 샘플은 XRF 에서 텅스텐의  $K\alpha$  라인(약 59keV)을 보여주며, 이는 순도(>99%) 및 미량 원소(예: Fe, Ca)를 결정하는 데 사용할 수 있습니다. 이 방법은 비파괴적이고 빠르며 텅스텐 시장에서 제품의 산업 검사에 적합합니다. 휴대용 XRF 분석기와 같은 기기는 검출 한계가 ppm 에 불과하고 수작업 시간이 몇 분밖에 걸리지 않습니다.

라만 분광법은 레이저로 산화 텅스텐의 분자 진동을 여기시켜 결정 구조와 화학 결합 특성을 분석합니다. 예를 들어, 삼산화 텅스텐의 단사정 형태는  $807\text{cm}^{-1}$  및  $717\text{cm}^{-1}$  에서 W-O-W 결합의 라만 피크를 보여 주며, 이는 청색 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물과 구조적 차이를 구별 할 수 있습니다. 이 방법은 결정 형태에 민감하며 텅스텐 화학 물질의 미세한 특성을 연구하는 데 적합합니다. 라만 분광계(예: 532nm 레이저)는 해상도가 높으며 나노 크기의 샘플을 검출할 수

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



있습니다.

자외선 가시 분광법 (UV-Vis)은 텅스텐 산화물의 광 흡수 특성을 검출하여 밴드 갭과 광학 특성을 반영하는 데 사용되었습니다. 삼산화 텅스텐은 400-450 nm 의 흡수 가장자리와 약 2.5-2.8 eV 의 에너지 밴드 갭을 가지며 광촉매 성능을 검증하는 데 사용할 수 있습니다. 검출 파장이 200nm 에서 800nm 사이인 분광 광도계와 같은 기기는 실험실 분석에 적합합니다. 분광학은 텅스텐 산화물 검출의 과학적 초석으로 다차원 정보를 제공합니다.

### 8.1.1 텅스텐 산화물 검출 - X 선 형광 분광법 분석

X 선 형광 분광법 (XRF)은 X- 선에 의해 샘플 원자를 여기시키고 특징적인 형광을 측정하며 원소 조성 및 함량을 분석하는 산화 텅스텐 검출을 위한 고효율 분광 방법입니다. 삼산화 텅스텐 생산을 예로 들면, XRF 는 볼프 라마이트 또는 셀 라이트 가공 후 산화 텅스텐의 순도를 감지하는 데 사용되며 텅스텐 금속 품질 관리의 핵심 기술입니다.

XRF 의 검출 원리는 원자 수준 전이를 기반으로 합니다. X 선 (에너지 10-50 keV)은 텅스텐 산화물을 조사하여 텅스텐 원자 (예 : L 쉘)의 내부 전자를 여기시키고 외부 전자가 텅스텐의 K $\alpha$  라인 (59.3 keV) 및 K $\beta$  라인 (67.2 keV)과 같은 공석을 채울 때 특징적인 형광을 방출합니다. 형광 강도는 검출기 (예 : Si (Li) 검출기)로 기록하여 텅스텐 함량 (정확도  $\pm 0.1$  %) 및 불순물 원소 (예 : Fe 의 K $\alpha$  라인, 6.4keV)를 정량화할 수 있습니다. 50-100W 의 출력과 ppm 범위까지의 검출 한계를 가진 벤치탑 XRF 분석기와 같은 기기는 신속한 분석에 적합합니다.

XRF 의 강점은 비파괴적이고 빠르며 다중 원소 감지 기능에 있습니다. 예를 들어, 파라 텅스텐 산 암모늄의 조성에 의해 생성 된 텅스텐 산화물의 검출은 텅스텐 함량을 99.5 % > 확인하고 5 분 이내에 미량의 Mo 또는 Si 를 식별 할 수 있습니다. 시료 전처리는 분말 정제 또는 직접 블록으로 간단하지만 매트릭스 효과를 피하기 위해 표준물질(예: 순수 WO<sub>3</sub>)을 보정해야 합니다. 텅스텐 산 칼슘이 검출되면 Ca 함량을 동시에 분석하여 원료의 순도를 확인할 수 있습니다. 감도를 보장하기 위해 튜브 전압(40-60kV) 및 전류(1-2mA)와 같은 기기 매개변수를 최적화해야 합니다.

XRF 의 한계는 0 와 같은 가벼운 원소에 민감하지 않고 다른 방법과 함께 산화 상태를 확인해야 한다는 것입니다. 산업적으로 CTIA GROUP LTD 는 XRF 를 사용하여 텅스텐 가격에서 텅스텐 산화물의 품질 일관성을 모니터링합니다. X 선 형광 분광법은 산화 텅스텐 검출에 대한 업계 벤치 마크로 빠르고 신뢰할 수 있는 원소 정보를 제공합니다.

### 8.1.2 산화 텅스텐 검출 - 라만 분광법

라만 분광법은 산화 텅스텐을 검출하기 위한 중요한 분광 방법이며, 레이저로 샘플의 분자 진동을 여기시켜 결정 구조와 화학 결합 특성을 분석합니다. 삼산화 텅스텐의

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

생산을 예로 들면, 라만 분광법은 \_ 텅스텐 산 열분해에 의해 생성된 텅스텐 산화물 결정 형태를 구별하는 데 사용되며, 이는 텅스텐 화학 물질 및 텅스텐 분말의 미시적 특성을 연구하기 위한 정밀한 도구입니다.

라만 분광법의 검출 원리는 빛의 비탄성 산란을 기반으로 합니다. 레이저 (예 : 532nm 또는 785nm)는 산화 텅스텐을 조사하여 W-O 결합의 진동을 여기시키고 산란광의 파장 이동은 분자 특성을 반영합니다. 예를 들어, 삼산화 텅스텐 단사정 결정 형태의 라만 피크는  $807\text{cm}^{-1}$  (W-O-W 텔레스코픽 진동) 및  $717\text{cm}^{-1}$  (W-O 굴곡 진동)이고 육각형 결정 형태는 약  $690\text{cm}^{-1}$ 의 특징적인 피크를 갖습니다. 청색 텅스텐 산화물 또는 자주색 텅스텐 산화물이 검출되면 산소 공극으로 인해 피크 폭 또는 변위가 증가하는지 결합 상태를 판단할 수 있습니다.  $<1\text{ cm}^{-1}$ 의 해상도를 가진 라만 현미경과 같은 기기는 미세시료 분석에 적합합니다.

라만 분광법의 장점은 높은 감도와 비파괴성입니다. \_ 텅스텐 산염 검출 변환된 텅스텐 산화물은 몇 초 안에 결정 형태를 확인할 수 있으며 복잡한 샘플 준비없이 분말 또는 필름에서 직접 측정할 수 있습니다. 샘플 과열을 방지하기 위해 레이저 출력(1-50mW)과 통합 시간(5-60 초)을 조정해야 합니다. 예를 들어, 나노 텅스텐 산화물의 검출을 위해 10mW 레이저와 20s 통합은 W-O 결합 피크의 명확한 해상도를 제공합니다. 샘플에 형광 불순물(예: 유기 잔류물)이 포함된 경우 785nm 레이저로 배경을 억제해야 합니다. 라만 분광법의 한계는 금속 원소의 함량에 대한 직접적인 정보가 없기 때문에 XRF와 함께 사용해야 한다는 것입니다.

## 8.2 산화 텅스텐 검출 - 전기 화학 분석

산화 텅스텐 ( $\text{WO}_3$ )은 빛, 전기 및 열의 독특한 특성으로 인해 촉매, 센서, 에너지 저장 재료 및 기타 분야에서 널리 사용되는 중요한 기능성 물질입니다. 이들의 특성을 정확하게 특성화하고 검출하기 위해 전기화학 분석은 효율적이고 민감한 방법이 되었습니다. 전기화학 분석은 용액 내 물질의 전기화학적 특성을 기반으로 하며, 전극 반응 중 전기적 매개변수(예: 전류, 전위 또는 전기량)를 측정하여 물질의 조성 및 농도를 분석합니다. 이 방법은 특정 조건에서의 산화 텅스텐 산화물의 산화 환원 특성과 화학적 거동을 연구하는 데 특히 적합합니다.

전기화학 분석의 기본 원리는 전기화학 반응에서 파생됩니다. 일반적인 전기 화학 시스템에서 셀은 작동 전극, 기준 전극 및 보조 전극으로 구성되며 총칭하여 3 전극 시스템이라고 합니다. 작동 전극은 텅스텐 산화물이 반응하는 곳이고, 기준 전극 (예 : 칼로멜 포화 전극)은 안정적인 전위 기준을 제공하는 데 사용되며, 보조 전극 (예 : 백금 전극)은 회로 폐쇄를 완료합니다. 인가된 전위가 작동 전극에 적용되면 산화 텅스텐은 산화 또는 환원 반응을 겪어 측정 가능한 전류 신호를 생성할 수 있습니다. 이러한 신호의 변화를 기록함으로써 물질의 농도, 반응 메커니즘 및 전기화학적 특성을 추론할 수 있습니다.

산화 텅스텐의 검출과 관련하여 전기 화학 분석은 상당한 이점을 제공합니다. 첫째,

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

매우 민감하고 미량 수준의 물질을 검출 할 수 있으며, 이는 나노 물질 또는 박막에서 산화 텅스텐의 거동을 연구하는 데 특히 중요합니다. 둘째, 전기화학적 방법은 작동하기 쉽고 기기 비용이 상대적으로 낮아 실험실 및 산업 현장 응용 분야에 적합합니다. 또한 이 방법은 텅스텐 산 또는 텅스텐 화학 물질의 전기 화학적 거동을 연구하는 데 매우 중요한 반응 속도 및 전극 표면의 변화와 같은 동적 정보를 제공합니다.

일반적인 전기화학 분석 기법에는 순환 전압전류법, 폴라로그래피 및 전위차 적정이 포함됩니다. 그 중, 순환 전압 전류법은 직관성과 넓은 적용 가능성 때문에 텅스텐 산화물의 검출에 자주 사용됩니다. 순환 전압전류법은 시간에 따라 선형적으로 변하는 전위를 적용하여 전류 응답을 기록하여 특징적인 전압전류법 곡선을 생성합니다. 이러한 곡선은 산화 텅스텐의 산화 환원 전위뿐만 아니라 전극 표면의 흡착 또는 확산 거동을 나타냅니다. 예를 들어, 텅스텐 산화물이 전극 재료로 사용될 때, 볼트-암페어 곡선은 가역적 인 전기 화학 반응 특성을 나타내는 상당한 산화 및 환원 피크를 나타낼 수 있습니다.

실제 응용 분야에서 산화 텅스텐의 전기 화학적 검출은 종종 실험 조건의 최적화를 필요로 합니다. 예를 들어, 전해질(예: 황산 또는 질산 용액)의 선택은 반응성에 영향을 미치는 반면, 전극 물질의 표면 상태(예: 텅스텐 금속 또는 유리질 탄소 전극)는 검출 감도에 직접적인 영향을 미칩니다. 또한, 텅스텐 연구 분야의 연구는 텅스텐 산화물의 결정 형태 (예 : 단사정 또는 사방 정계)가 전기 화학적 특성에 상당한 영향을 미친다는 것을 보여 주었으므로 검출하기 전에 샘플의 구조적 특성을 명확히 해야 합니다.

검출 정확도를 더욱 향상시키기 위해 다른 기술을 결합할 수 있습니다. 예를 들어, 나노 구조 텅스텐 산화물 전극의 사용과 같은 텅스텐 기술의 최근 발전과 결합하면 신호 강도를 크게 향상시킬 수 있습니다. 또한, 텅스텐 산염의 전기 화학적 거동은 또한 텅스텐 산화물의 검출에 대한 이론적 지원을 제공합니다. 예를 들어, 텅스텐 산 나트륨 용액의 전기 화학 반응은 텅스텐 산화물의 반응 메커니즘을 이해하는 데 도움이 되는 제어 실험으로 사용될 수 있습니다.

환경 모니터링 분야에서, 텅스텐 산화물의 전기 화학 테스트는 감지 물질로서의 성능을 평가하는 데에도 사용할 수 있습니다. 예를 들어, 산화 텅스텐 기반 가스 센서는 전기 화학적 방법으로 특정 가스의 농도 변화를 감지 할 수 있습니다. 이 응용 프로그램은 전기 화학 반응에서 텅스텐 제품의 높은 선택성 때문입니다. 또한 텅스텐 가격의 변동은 검사 장비 비용에도 영향을 미칠 수 있으므로 산업 응용 분야에서 경제성을 고려해야 합니다.

그러나 전기화학 분석에는 한계가 있습니다. 예를 들어, 선택성이 좋지 않으면 특히 복잡한 매트릭스에서 산화 텅스텐을 검출 할 때 간섭 물질의 영향이 발생할 수 있습니다. 또한 전극 표면은 시간이 지남에 따라 부동태화되어 장기 감지의 안정성에 영향을 미칠 수 있습니다. 이러한 문제에 대응하여 연구진은 텅스텐-구리 복합

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



전극을 사용하여 전기 전도성을 개선하거나 텅스텐 산 칼슘을 안정제로 도입하는 것과 같은 다양한 개선 사항을 제안했습니다.

결론적으로, 전기 화학 분석은 산화 텅스텐을 검출하기 위한 강력한 도구를 제공합니다. 높은 감도, 작동 용이성 및 동적 분석 기능으로 인해 텅스텐의 학술 연구 및 산업 응용 분야에서 중요한 위치를 차지하고 있습니다. 실험 조건과 전극 재료를 지속적으로 최적화함으로써 전기 화학적 방법은 산화 텅스텐 검출의 응용 가치를 더욱 향상시킬 것으로 예상됩니다.

### 8.2.1 산화 텅스텐 검출 - 전압 전류계

전압 전류법은 전기 화학 분석의 중요한 분야로, 산화 텅스텐의 전기 화학적 특성을 검출하는 데 특히 적합합니다. 전극 전위와 전류 사이의 관계를 측정하여 볼트-암페어 곡선을 생성하여 물질의 정성적 및 정량적 분석을 가능하게 합니다. 산화 텅스텐의 검출에서, 전압 전류법은 특히 산화 환원 거동 및 전기 촉매 특성을 연구할 때 높은 감도와 빠른 응답으로 인해 선호됩니다.

전압 전류법의 기본 원리는 옴의 법칙과 전기 화학 반응 역학을 기반으로 합니다. 실험에서는 일반적으로 작동 전극 (예 : 텅스텐 금속 또는 텅스텐 산화물 박막 전극), 기준 전극 및 보조 전극과 같은 3 전극 시스템이 사용됩니다. 선형 스윕 또는 순환 스윕과 같은 시간에 따라 변하는 전위를 적용함으로써 전극 표면에서 산화 텅스텐의 산화 또는 환원 반응으로 인한 전류가 기록됩니다. 결과 전류-전위 곡선(즉, 전압주사법)은 물질의 전기화학적 특성을 시각적으로 표현합니다.

순환 전압 전류법 (CV)은 텅스텐 산화물의 전압 전류법 검출에서 가장 일반적으로 사용되는 기술 중 하나입니다. 이는 다양한 전위를 반복적으로 스캔하여 대칭적인 볼트-암페어 곡선을 생성합니다. 예를 들어, 산화 텅스텐의 용량 성을 검사 할 때, 볼트-암페어 곡선은 직사각형 일 수 있으며, 이는 우수한 전기 화학적 에너지 저장 능력을 가지고 있음을 나타냅니다. 촉매 성능을 연구할 때 곡선의 산화 환원 피크는 특정 반응 전위와 속도를 나타냅니다.

전압 전류법의 장점은 작동의 용이성과 유익한 특성입니다. 산화 텅스텐의 경우, 농도를 결정할 수 있을뿐만 아니라 전극 표면의 반응 메커니즘을 분석 할 수 있습니다. 예를 들어, 산성 전해질에서 텅스텐 분말로 제조 된 텅스텐 산화물 전극의 전압 주사 곡선은 서로 다른 산화 상태 전이에 해당하는 여러 피크를 나타낼 수 있습니다. 이 속성은 텅스텐 산화물의 다가 거동을 이해하는 데 도움이되므로 텅스텐 데이터 연구에서 특히 중요합니다.

실험 조건의 최적화는 전압주사법 검출에 필수적입니다. 예를 들어, 스캔 속도의 선택은 볼트-암페어 곡선의 모양과 피크 전류에 직접적인 영향을 미칩니다. 일반적으로 느린 스캔 속도는 산화 텅스텐의 확산 제어 과정을 연구하는 데 적합하고 빠른 스캔 속도는 표면 반응을 분석하는 데 더 좋습니다. 또한 전해질의 pH와 이온

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



강도도 테스트 결과에 영향을 미칠 수 있습니다. 예를 들어, 텅스텐 산 용액에서 텅스텐 산화물의 전압 주사율 거동은 양성자 농도에 따라 달라질 수 있습니다.

텅스텐 산화물 검출에 전압 전류계를 적용하는 것은 다른 기술과의 조합에도 반영됩니다. 예를 들어, 텅스텐 회사가 개발 한 나노 기술과 결합하면 표면적이 큰 산화 텅스텐 전극을 제조 할 수 있으므로 검출 감도가 향상됩니다. 또한, 페로 텅스텐 또는 텅스텐 플라스틱과 같은 복합 재료의 도입은 전극의 안정성과 전도성을 향상시킬 수 있습니다.

실제로, 전압 전류법은 광전기 촉매 분야에서 텅스텐 산화물의 성능을 테스트하는 데 사용되었습니다. 예를 들어, 볼트-암페어 곡선을 분석함으로써 조명 하에서 산화 텅스텐의 전하 전달 효율을 결정할 수 있습니다. 이 응용 프로그램은 새로운 에너지 분야에서 텅스텐 산화물의 개발을 촉진하기 때문에 텅스텐 시장에서 매우 중요합니다.

그러나 전압주 amtry 는 몇 가지 과제에도 직면해 있습니다. 예를 들어, 전극 표면의 오염 또는 노화는 분석의 반복성에 영향을 줄 수 있는 신호 드리프트를 유발할 수 있습니다. 또한, 복잡한 샘플에서 산화 텅스텐은 다른 물질의 전기 화학적 신호와 겹쳐 선택성을 감소시킬 수 있습니다. 이러한 문제를 해결하기 위해 연구진은 텅스텐 바늘을 미세 전극으로 사용하여 간섭을 줄이고 공간 해상도를 향상시키는 실험을 했습니다.

### 8.3 기타 텅스텐 산화물 검출 방법

전기 화학 분석 외에도 산화 텅스텐은 다양한 물리적 및 화학적 방법으로 검출 할 수 있습니다. 이러한 각 방법에는 고유한 특성이 있으며 다양한 응용 시나리오 및 검사 요구 사항에 적합합니다. 다음에서는 전압 주사법 이외의 다른 검출 기술에 대해 자세히 논의하고 원리, 장점 및 한계에 초점을 맞추고 산화 텅스텐의 포괄적 인 특성화를위한 다양한 옵션을 제공합니다.

텅스텐 지식의 연구에서, 분광학은 일반적으로 사용되는 비 전기 화학적 검출 방법입니다. 예를 들어, 자외선 가시 분광법 (UV-Vis) 및 적외선 분광법 (IR)을 사용하여 산화 텅스텐의 광학 특성과 화학 결합 특성을 감지 할 수 있습니다. UV-Vis 분광법은 특정 파장에서 흡수 피크를 측정하여 산화 텅스텐의 농도를 간접적으로 추정 할 수 있으며, IR 분광법은 결정 구조에서 W-O 결합 진동을 식별 할 수 있습니다. 이러한 방법은 전극 반응을 필요로 하지 않으며 노란색 또는 파란색 텅스텐 산화물 색상 변화의 분석에 특히 적합합니다.

X 선 회절 (XRD)은 텅스텐 산화물의 결정 구조를 분석하는 데 사용되는 또 다른 중요한 검출 기술입니다. X 선의 회절 패턴을 측정함으로써 결정 형태(예: 단사정 또는 육각형)와 결정화도를 결정할 수 있습니다. 이 방법은 텅스텐 연구 분야, 특히 파라 텅스텐 산 암모늄의 열분해에 의해 형성된 텅스텐 산화물 연구에서 널리 사용됩니다. 또한 XRD 는 볼프람석 잔류물과 같은 샘플의 불순물을 검출할 수

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

있습니다.

주사 전자 현미경 (SEM) 및 투과 전자 현미경 (TEM)은 산화 텅스텐의 미세한 형태 및 입자 크기 분석에 중점을 둡니다. SEM은 표면 지형 정보를 제공하는 반면 TEM은 나노 단위 구조에 대한 통찰력을 제공합니다. 이것은 입자 크기와 형태가 그 특성에 직접적인 영향을 미치기 때문에 구형 텅스텐 분말의 산화에 의해 생성된 텅스텐 산화물의 연구에 특히 중요합니다. 또한 에너지 분광법(EDS)과 결합하여 원소 분포를 정량화할 수 있습니다.

화학 분석 분야에서는 중량 측정 및 적정 방법도 텅스텐 산화물의 검출에 사용됩니다. 중량 측정 방법은 고온 로스팅에 의해 암모늄 메타 텅스텐 산염을 텅스텐 산화물로 변환한 다음 질량의 무게를 측정합니다. 이 방법은 간단하고 간단하지만 높은 시료 순도가 필요합니다. 적정 방법은 텅스텐 산 나트륨과의 반응에 의해 텅스텐 함량을 결정하며, 이는 용액 시스템의 분석에 적합합니다.

이러한 방법의 장점은 다양성과 상보성에 있습니다. 예를 들어, 분광학은 신속한 스크리닝에 적합하고 XRD 및 SEM은 구조 정보를 제공합니다. 그러나 그들은 종종 전기 화학적 방법보다 덜 민감하며 일부 기술(예: TEM)은 값 비싼 장비와 복잡한 전처리가 필요하며, 이는 텅스텐 뉴스에서 종종 산업 응용 분야의 병목 현상으로 인용됩니다.

검출 방법을 선택할 때 샘플 상태와 테스트 대상 사이에는 절충점이 있습니다. 예를 들어, 텅스텐 필라멘트 표면에서 산화된 텅스텐 산화물은 SEM 분석에 더 적합하고 용액 내 산화 텅스텐은 화학적 적정에 더 적합합니다. 또한 텅스텐 시장 수요의 다양화는 휴대용 분광계의 개발과 같은 검출 기술의 혁신을 주도했습니다.

### 8.3.1 산화 텅스텐 검출 - 열중량 분석

열중량 분석 (TGA)은 산화 텅스텐 열 안정성, 분해 거동 및 함량 측정 연구에 널리 사용되는 질량 변화 기반 검출 기술입니다. 제어된 온도 프로그램에서 온도 또는 시간의 함수로 샘플 질량의 변화를 측정하여 산화 텅스텐의 물리 화학적 특성에 대한 자세한 정보를 제공합니다. 이 방법은 텅스텐 기술 분야, 특히 합성 공정 및 열처리 특성의 분석에서 중요한 응용 분야를 가지고 있습니다.

열중량 분석의 기본 원리는 가열 중 물질의 질량 변화를 이용하는 것입니다. 예를 들어, 산화 텅스텐은 물 휘발, 결정 형태 전이 또는 화학적 분해로 인해 무중력일 수 있습니다. 실험은 일반적으로 열중량 분석기에서 수행되며, 여기서 샘플을 마이크로 저울에 놓고 질소 또는 공기 대기에서 일정한 속도로 가열합니다. 질량 - 온도 프로파일 (TG 곡선)을 기록함으로써 산화 텅스텐의 열적 거동을 분석할 수 있습니다.

텅스텐 산화물을 검출할 때, 열 중량 분석은 일반적으로 다음 시나리오에서

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

사용됩니다. 먼저, 샘플의 휘발성 성분을 측정합니다. 예를 들어, 자주색 텅스텐 산화물은 가열되면 결합된 물을 방출할 수 있으며 TG 곡선은 해당 무중력 단계를 보여줍니다. 둘째, 이 방법은 산화 텅스텐의 산화 환원 반응을 연구할 수 있습니다. 예를 들어, 환원 분위기 (예 : 수소)에서 텅스텐 산화물은 텅스텐 금속으로 전환될 수 있으며 질량 감소 정도는 순도를 계산하는 데 사용될 수 있습니다.

열중량 분석의 장점은 높은 정확도와 비파괴성입니다. 삼산화 텅스텐의 검출을 위해 TGA는 마이크로 그램 범위의 감도로 작은 질량 변화를 정확하게 측정할 수 있습니다. 또한 시차 주사 열량계 (DSC)와 함께 사용하여 용융 또는 상 변화 온도와 같은 산화 텅스텐의 열 효과를 추가로 분석할 수 있습니다. 이 하이픈 연결 기술은 텅스텐 데이터 연구에서 특히 일반적입니다.

실험 조건의 제어는 열중량 분석에 매우 중요합니다. 예를 들어, 램프 업 속도는 분해 반응의 분해능에 영향을 미치며 일반적으로 정확도와 효율성의 균형을 맞추기 위해 5-10 ° C/min이 선택됩니다. 대기의 선택도 중요합니다 : 공기 중, 산화 텅스텐은 안정적으로 유지될 수 있지만 불활성 대기에서는 다르게 변할 수 있습니다. 또한 불균일한 열 전달을 방지하기 위해 샘플 크기(일반적으로 5-10mg)는 적당해야 합니다.

실제 응용 분야에서 열중량 분석은 텅스텐 분말의 산화에 의해 생성된 텅스텐 산화물의 품질 분석에 자주 사용됩니다. 예를 들어, 고온에서 텅스텐 파티의 중량 감소를 측정함으로써 그 안의 텅스텐 산화물의 양을 추정할 수 있습니다. 또한, 텅스텐 히터의 열 안정성은 고온 환경에서 성능을 보장하기 위해 TGA에 의존합니다.

그러나 열중량 분석에는 한계가 있습니다. 예를 들어, 텅스텐 산화물의 기여도를 다른 무량 물질과 직접 구별할 수 없기 때문에 XRD 또는 분광법과 함께 검증되는 경우가 많습니다. 또한 고온은 시료 휘발 또는 장비 오염으로 이어져 장기적인 신뢰성에 영향을 미칠 수 있습니다. 이러한 문제를 해결하기 위해 저온 건조와 같은 전처리 단계가 텅스텐 제품 연구에 자주 사용됩니다.





CTIA GROUP LTD 옐로우 텅스텐 산화물

## 9 장 : 텅스텐 산화물의 응용 분야

다기능 재료로서 산화 텅스텐 ( $WO_3$ )은 높은 화학적 안정성, 우수한 전기적 특성 및 광촉매 활성과 같은 독특한 물리적 및 화학적 특성으로 인해 많은 분야에서 광범위한 응용 분야를 보여주었습니다. 에너지에서 환경 보호, 전자 장치에 이르기까지 산화 텅스텐의 적용은 관련 산업의 혁신과 발전을 촉진하면서 계속 확장되고 있습니다. 이 장에서는 에너지 부문에서의 특정 용도에 중점을 두고 주요 응용 분야에 대해 자세히 설명합니다.

### 9.1 에너지 분야에서 산화 텅스텐의 적용

에너지는 현대 사회 발전의 핵심이며, 에너지 분야에서 산화 텅스텐의 적용은 주로 에너지 저장, 에너지 변환 및 재생 에너지 개발에 중점을 둡니다. 다가 특성, 반도체 특성 및 높은 표면적은 배터리, 커패시터 및 광촉매에 이상적인 재료입니다. 다음은 다양한 관점에서 에너지 부문의 특정 응용 프로그램을 분석합니다.

산화 텅스텐은 우수한 전기 화학적 특성 덕분에 에너지로 사용됩니다. 예를 들어, n형 반도체로서 가시광선을 흡수하고 전자 전달 반응에 참여할 수 있는 적당한 밴드 갭(약 2.6-3.0eV)을 가지고 있습니다. 또한, 텅스텐 연구는 텅스텐 산화물 나노 구조(예 : 나노 막대 또는 나노 시트)가 비 표면적과 반응성을 크게 증가시켜 에너지 장치에 더 높은 효율을 제공 할 수 있음을 보여주었다.

에너지 저장 분야에서 텅스텐 산화물은 리튬 이온 배터리 및 슈퍼 커패시터에

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



일반적으로 사용되며 높은 이론적 용량과 빠른 이온 수송 능력이 많은 주목을 받고 있습니다. 에너지 변환의 관점에서, 텅스텐 산화물의 광촉매 특성은 물 분해로부터 수소를 생산할 수 있는 잠재력을 제공합니다. 또한, 텅스텐 기술의 발전은 또한 태양 전지 및 연료 전지에 대한 탐구를 주도했다.

실제로, 텅스텐 산화물의 성능 최적화는 합성 과정에 달려 있습니다. 예를 들어, 암모늄 파라 텅스텐 산염 또는 암모늄 메타 텅스텐 산염의 열 분해에 의해, 다른 결정 형태의 텅스텐 산화물은 특정 에너지 장치의 요구를 충족시키기 위해 제조 될 수 있습니다. 또한 텅스텐 가격의 변동은 에너지 분야의 상업화 과정에도 영향을 미치므로 비용 관리가 연구의 초점이 되었습니다.

### 9.1.1 리튬 이온 배터리에 산화 텅스텐 적용

리튬 이온 배터리 (LIB)는 현대 휴대용 전자 장치 및 전기 자동차의 핵심 에너지 저장 기술입니다. 산화 텅스텐 고성능 전극 재료로서 배터리 용량과 사이클 안정성을 향상시키는 데 상당한 이점이 있습니다. 높은 이론적 용량(약 693mAh/g)과 다중 전자 전달 능력으로 인해 리튬 이온 배터리용 양극 재료에 널리 사용됩니다.

리튬 이온 배터리에서 산화 텅스텐은 가역적 산화 환원 반응을 통해 리튬 이온을 저장합니다. 반응 메커니즘은  $WO_3 + 6Li^+ + 6e^- \rightleftharpoons W + 3Li_2O$ 로 표현될 수 있습니다. 이 반응은 고용량을 제공 할뿐만 아니라 텅스텐 금속의 형성으로 인해 전기 전도성을 향상시킵니다. 그러나, 순수한 텅스텐 산화물의 부피 팽창 및 낮은 전도성은 실제 적용을 제한하므로 성능은 종종 복합 재료 또는 나노 분석에 의해 최적화됩니다.

나노 입자 또는 나노 와이어와 같은 나노 구조 텅스텐 산화물은 그 특성을 크게 향상시킵니다. 예를 들어, 텅스텐 분말의 산화에 의해 생성 된 텅스텐 산화물 나노 입자는 높은 표면적과 짧은 확산 경로로 인해 충전 및 방전 중 부피 변화를 효과적으로 완화 할 수 있습니다. 또한 그래핀 또는 텅스텐 구리와 같은 탄소 물질과 혼합하면 전도성과 구조적 안정성을 더욱 향상시킬 수 있습니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 제조 과정은 그 특성에 상당한 영향을 미친다. 예를 들어, 열수 법으로 합성 된 산화 텅스텐 나노 막대는 리튬 이온 배터리에서 우수한 사이클링 성능을 나타내며 용량 유지율은 80 % 이상입니다. 또한, 텅스텐에 의해 개발 된 도핑 기술 (예 : 폴리브덴 도핑)은 전자 구조를 조정하고 셀의 효율을 더욱 향상시킬 수 있습니다.

리튬 이온 배터리에 산화 텅스텐을 적용하는 것은 빠른 충전 및 방전 성능에도 반영됩니다. 연구에 따르면 의사 정전 용량 동작을 통해 높은 속도로 고용량을 유지할 수 있으며, 이는 전기 자동차의 고속 충전 요구 사항에 필수적입니다. 또한, 텅스텐 산화물은 다른 전이 금속 산화물보다 독성이 낮고 안정성이 높으며, 이는 녹색 에너지의 개발 추세와 일치합니다.

그러나 과제는 여전히 남아 있습니다. 예를 들어, 산화 텅스텐은 첫 번째 사이클에서 비가역적 용량 손실이 크며, 이는 고체 전해질 계면 (SEI) 막의 형성에 의해 악화 될 수 있습니다. 이 문제를 해결하기 위해 연구진은 텅스텐 플라스틱 을 완충층으로 사용하거나 사전 리튬화 기술을 사용하여 첫 번째 효율성을 개선하려고 했습니다. 또한 텅스텐 시장 수요는 활용 Wolframite 직접 제제 텅스텐 산화물과 같은 저비용 합성 방법의 연구를 주도하고 있습니다.

### 9.1.2 슈퍼 커패시터에 산화 텅스텐의 적용

슈퍼 커패시터(SC)는 높은 전력 밀도와 긴 주기 수명으로 인해 에너지 저장 분야의 주요 기술입니다. 산화 텅스텐은 높은 의사 커패시턴스 성능과 우수한 화학적 안정성으로 인해 슈퍼 커패시터의 전극 재료에서 중요한 위치를 차지합니다. 기존의 탄소 기반 재료와 비교하여 산화 텅스텐은 패러데이 반응을 통해 추가 커패시턴스를 제공 할 수 있으므로 에너지 밀도가 크게 증가합니다.

슈퍼 커패시터에서 산화 텅스텐의 에너지 저장 메커니즘은 전기 이중층 커패시턴스와 의사 커패시턴스를 결합합니다. 의사 커패시턴스는 표면 또는 벌크 상태에서의 빠른 산화 환원 반응(예:  $WO_3 + H^+ + e^- \rightleftharpoons HWO_3$ )에서 발생합니다. 이 반응은 특히 산성 전해질에서 두드러지며, 여기서 텅스텐 산화물은 최대 500-700 F / g 의 특정 커패시턴스를 나타냅니다. 또한, 구형 텅스텐 분말로 제조 된 텅스텐 산화물과 같은 다공성 구조는 전해질 접촉 면적을 증가시키고 성능을 더욱 향상시킵니다.

산화 텅스텐의 나노 변환은 슈퍼 커패시터의 성능을 향상시키는 열쇠입니다. 예를 들어, 텅스텐 필라멘트 산화에 의해 생성 된 텅스텐 산화물 나노 시트는 높은 비 표면적과 빠른 이온 확산 경로로 인해 충방전 속도를 크게 증가시킬 수 있습니다. 또한은-텅스텐 또는 페로-텅스텐과 혼합하면 전기 전도성을 향상시키고 텅스텐 산화물의 고유한 낮은 전도성 결함을 보상할 수 있습니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 제조 방법은 그 특성에 중대한 영향을 미친다. 예를 들어, 전기 화학적 증착에 의해 텅스텐 바늘 표면에 생성 된 텅스텐 산화막은 우수한 사이클링 안정성을 가지며 수만 사이클을 지속할 수 있습니다. 또한, 텅스텐 기술의 발전은 또한 텅스텐 산화물이 음극으로 탄소 물질과 쌍을 이루는 비대칭 슈퍼 커패시터의 개발로 이어졌으며, 작동 전압 창을 크게 넓혔다.

슈퍼 커패시터에서 산화 텅스텐의 장점은 환경 친화성을 포함한다. 니켈 또는 코발트를 함유 한 재료와 비교하여, 산화 텅스텐은 광범위한 원료 (예 : scheelite)에서 구할 수 있으며 환경 친화적 인 방식으로 생산됩니다. 또한 텅스텐 뉴스는 웨어러블 장치 용 전원 공급 장치와 같은 유연한 전자 장치에 적용 할 수있는 잠재력이 나타나고 있다고 지적합니다.

그러나, 산화 텅스텐의 낮은 전도성과 사이클링 중 구조적 열화는 병목 현상으로 남아 있습니다. 이를 위해 연구자들은 세습 텅스텐을 도핑하거나 텅스텐 칼슘을

도입하여 특성을 개선하려고 노력했습니다. 또한, 텅스텐 지식 연구는 전도성 폴리머 코팅과 같은 표면 개질도 안정성을 향상시키는 데 효과적 일 수 있음을 보여주었다.

요약하면, 슈퍼 커패시터에 산화 텅스텐을 적용하면 높은 커패시턴스와 긴 수명에 대한 잠재력을 보여줍니다. 재료 설계 및 장치 구조의 최적화로 고효율 에너지 저장 분야의 전망은 더욱 밝아질 것입니다.

### 9.1.3 수소를 생산하기 위해 광촉매 물 분해에 산화 텅스텐의 적용

수소를 생산하기 위해 광촉매 물을 분해하는 것은 태양 에너지에서 청정 에너지를 생산하는 중요한 방법이며, 산화 텅스텐은 우수한 광촉매 성능과 화학적 안정성으로 인하여 분야의 스타 물질이되었습니다. 적당한 밴드 갭(2.6-2.8eV)으로 가시광선을 효과적으로 흡수할 수 있어 태양열로 구동되는 물 분해 반응에서 상당한 이점을 제공합니다.

광촉매 공정에서 텅스텐 산화물은 광촉매로 작용하여 광자를 흡수하고 전자 - 정공 쌍을 생성합니다. 전자는 물 분자의 환원에 참여하여 수소( $H_2$ )를 형성하고, 정공은 물을 산화시켜 산소( $O_2$ )를 생성합니다. 반응은  $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$ 로 표현될 수 있습니다. 그러나, 순수한 산화 텅스텐의 광생성 캐리어의 높은 재결합 속도는 그 효율을 제한하므로 성능은 종종 수정 또는 재결합에 의해 최적화된다.

나노 구조 텅스텐 산화물은 광촉매 활성을 크게 향상시켰다. 예를 들어, 용매 열법으로 합성 된 산화 텅스텐 나노 막대는 높은 표면적과 최적화 된 캐리어 수송 경로로 인해 수소 생산의 효율성을 크게 향상시킬 수 있습니다. 또한, 텅스텐 산 전구체에 의해 제조 된 텅스텐 산화막은 특히 바이어스 압력의 도움으로 광촉매 물 분해에서 잘 수행된다.

산화 텅스텐의 변형은 광촉매 성능을 향상시키는 열쇠입니다. 예를 들어, 텅스텐 글 또는 이황화 텅스텐을 도핑하면 밴드 갭을 줄이고 광 흡수 효율을 향상시킬 수 있습니다. 또한,  $TiO_2$  또는 텅스텐 산염을 사용하면 재결합에 의해 형성된 이중 접합은 광생성 전자와 정공을 효과적으로 분리 할 수 있으므로 양자 수율을 향상시킬 수 있습니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 안정성은 장점 중 하나입니다. 다른 광촉매 (예 : CdS)와 비교할 때, 텅스텐 산화물은 산성 또는 산화 환경에서 부식에 덜 민감합니다. 또한, 텅스텐 제품에 대한 연구는 방사선 차폐 재료와의 조합이 광촉매 반응기의 설계에도 사용될 수 있음을 보여주었다.

그러나, 텅스텐 산화물은 편향 된 전도 대를 가지고있어 물을 직접 환원시키는 효율을 제한합니다. 이를 위해 연구자들은 종종 수소 생산을 향상시키기 위해 Pt 또는 텅스텐 입자와 같은 조촉매를 도입합니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



## 9.2 환경 분야에서의 산화 텅스텐의 적용

산화 텅스텐 ( $WO_3$ )은 우수한 광촉매 특성, 화학적 안정성 및 다양성으로 인해 환경 분야에서 광범위한 잠재적 인 응용 분야를 보여줍니다. 공기 정화 또는 하수 처리에 관계없이 산화 텅스텐은 독특한 물리적 및 화학적 특성을 통해 오염 물질을 효과적으로 제거하여 환경 보호를 위한 효율적인 솔루션을 제공 할 수 있습니다. 다음은 환경 분야에서의 특정 응용 분야에 대한 자세한 설명입니다.

환경 분야에서, 텅스텐 산화물의 반도체 특성은 핵심 강점입니다. 밴드 갭 (약 2.6–3.0 eV)을 통해 가시 광선을 흡수하고 광생성 된 전자와 정공을 여기시켜 산화 환원 반응을 일으켜 오염 물질을 분해 할 수 있습니다. 또한, 텅스텐 연구는 텅스텐 산화물 나노 구조 (예 : 나노 입자 또는 박막)가 비 표면적과 촉매 활성을 크게 증가시켜 환경 관리에 탁월함을 보여 준다.

실제로, 텅스텐 산화물의 제조 방법은 그 특성에 중요합니다. 예를 들어, 파라 텅스텐 산 암모늄의 열 분해 또는 열수 방법에 의해 제조 된 산화 텅스텐의 결정 형태 및 형태는 특정 환경 요구 사항에 따라 최적화 될 수 있습니다. 또한 텅스텐 가격의 변동은 환경 보호 분야의 상업화 과정에도 영향을 미치므로 저비용 합성 기술이 많은 주목을 받고 있습니다.

### 9.2.1 공기 정화에 산화 텅스텐의 적용

대기 오염은 세계적인 문제이며, 산화 텅스텐은 광촉매 특성과 가스에 민감한 특성으로 인해 공기 정화에 중요한 역할을 합니다. 휘발성 유기 화합물(VOC), 질소 산화물( $NO_x$ ) 및 기타 유해 가스를 효과적으로 분해할 수 있어 실내 및 실외 공기질 개선을 위한 기술 지원을 제공합니다.

광촉매 공기 정화에서 산화 텅스텐은 빛 에너지를 흡수하고 전자 - 정공 쌍을 형성하여 반응성 산소 종 (예 :  $\cdot OH$  및  $O_2^-$ ), 이러한 종은 오염 물질을  $CO_2$  및  $H_2O$ 로 산화 및 분해할 수 있습니다. 예를 들어, 텅스텐 분말의 산화에 의해 생성 된 텅스텐 산화물 나노 입자는 자외선 또는 가시 광선 조사에서 포름 알데히드 및 벤젠과 같은 VOC를 효율적으로 분해 할 수 있습니다. 또한, 텅스텐 지식 연구는 몰리브덴 또는 텅스텐 구리를 도핑하면 광촉매 효율을 더욱 향상시킬 수 있음을 보여주었습니다.

산화 텅스텐의 다공성 구조는 공기 정화 성능의 핵심입니다. 예를 들어, 용매 열법으로 합성 된 산화 텅스텐 나노 시트는 표면적이 넓어 더 많은 오염 물질 분자를 흡착 할 수 있으므로 분해 효율이 향상됩니다. 또한, 텅스텐에 의해 개발 된 복합 재료 (예 : 텅스텐 산화물 및  $TiO_2$ 의 이중 접합)는 광생성 담체의 수명을 연장하고 정화 효과를 더욱 향상시킬 수 있습니다.

실제로, 텅스텐 산화물은 종종 공기 청정기 또는 건축 자재에 사용하기 위해 박막



또는 코팅으로 만들어집니다. 예를 들어, 텅스텐 필라멘트 산화를 기반으로 한 텅스텐 산화물 코팅은 햇빛에서 오염 물질을 지속적으로 분해 할 수 있으며 창문이나 벽에 적합합니다. 또한 텅스텐 뉴스는 NOx 를 처리하기 위해 폐로 텅스텐과 혼합하는 것과 같이 자동차 배기 가스 정화 분야에서의 잠재력도 탐구되고 있다고 보고했습니다.

그러나, 텅스텐 산화물의 광촉매 활성은 밴드 갭 및 캐리어 재결합 속도에 의해 제한된다. 이를 위해 연구자들은 세습 텅스텐 또는 표면 개질을 도핑하여 특성을 최적화하려고 노력했습니다. 또한, 저조도 조건에서의 낮은 활성은 광범위한 실내 응용 분야를 제한하며, 황색 텅스텐 산화물과 같은 산화 텅스텐의 가시 광선 반응 변형체의 추가 개발이 필요합니다.

### 9.2.2 하수 처리에 텅스텐 산화물의 적용

하수 처리는 환경 보호의 중요한 부분이며, 산화 텅스텐은 광촉매 분해 능력과 흡착 성능으로 인해 유기 오염 물질, 중금속 이온 및 염료를 제거하는 데 탁월한 성능을 발휘합니다. 수자원의 지속 가능한 사용을 위한 기술 지원을 제공합니다.

광촉매 폐수 처리에서, 텅스텐 산화물은 광 유도 반응을 통해 유기 오염 물질을 분해한다. 예를 들어, 나노 입자는 로다민 B 또는 메틸렌 블루와 같은 염료를 빛에 노출될 때 무해한 작은 분자로 산화시킬 수 있습니다. 그 결과 텅스텐 산 전구체로부터 제조된 텅스텐 산화물 나노 막대가 가시 광선 하에서 우수한 분해 효율을 나타냈다는 것을 보여주었다. 또한, 텅스텐 데이터는 이황화 텅스텐과 결합된 후 광촉매 활성이 30 % 이상 증가 할 수 있음을 보여줍니다.

산화 텅스텐의 흡착 특성은 폐수 처리에도 중요한 역할을 합니다. 예를 들어, 다공성 구조로 인해 중금속 이온(예:  $Pb^{2+}$  및  $Cd^{2+}$ )을 효율적으로 흡착하고 표면 배위 또는 이온 교환을 통해 제거할 수 있습니다. 또한, 텅스텐 플라스틱과 텅스텐 산화물의 복합체는 고농도 폐수 처리에 적합한 흡착 능력을 더욱 향상시킬 수 있습니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 안정성은 장점 중 하나입니다. 예를 들어, 산성 폐수에서 구형 텅스텐 분말을 기반으로 제조된 텅스텐 산화물의 광촉매 성능은 여러 사이클 동안 지속될 수 있습니다. 그러나, 텅스텐 산화물의 광촉매 효율은 캐리어 재결합 및 광 흡수 범위에 의해 제한된다. 이를 위해 연구자들은 텅스텐 금을 도핑하거나 텅스텐 산염 이중 접합을 구성하여 특성을 개선하려고 노력했습니다. 또한, 재활용 및 재사용이 어렵고, 텅스텐 니들 기관에 텅스텐 산화물을 적재하는 것과 같은 고정 기술을 개발할 필요가 있습니다.

### 9.3 스마트 재료 분야에서의 산화 텅스텐 적용

스마트 재료 분야에서 텅스텐 산화물의 적용은 주로 전기 변색 및 가스에 민감한 특성에 반영됩니다. 이러한 기능은 스마트 창, 센서 및 디스플레이에서 가치를 창출하여 스마트 기술의 개발을 주도합니다.

스마트 재료에서 산화 텅스텐의 다양성은 조정 가능한 전자 구조와 광학 특성에서 비롯됩니다. 예를 들어, 전기 변색 거동으로 인해 인가된 전기장에 대한 반응으로 색상 변화가 가능하며, 가스 감지 특성으로 인해 특정 가스에 매우 민감합니다. 또한, 텅스텐 제품에 대한 연구는 텅스텐 산화물의 나노 화학 에너지가 응답 속도와 안정성을 크게 향상시킬 수 있음을 보여주었다.

실제로, 산화 텅스텐의 제조 과정은 성능에 중요합니다. 예를 들어, 스퍼터링 또는 화학 기상 증착 (CVD)에 의해 제조된 텅스텐 산화물 필름은 스마트 장치에 대한 우수한 균일 성과 접착력을 갖는다. 또한, 텅스텐 기술의 발전은 또한 유연한 전자 장치에 대한 탐구를 주도했다.

### 9.3.1 전기 변색 장치에 산화 텅스텐의 적용

일렉트로크로믹 소자(ECD)는 인가된 전기장 아래에서 색상이 변할 수 있기 때문에 스마트 윈도우 및 디스플레이에 널리 사용됩니다. 산화 텅스텐은 우수한 전기 변색 특성으로 인해 이 분야의 주류 재료가되었습니다. 색상은 투명에서 진한 파란색으로 변경될 수 있으며 응답 시간이 짧고 주기 수명이 깁니다.

텅스텐 산화물의 전기 변색 메커니즘은 이온 삽입 및 전자 전달을 기반으로 합니다. 예를 들어,  $\text{Li}^+$  또는  $\text{H}^+$ 가 삽입된 경우 반응은  $\text{WO}_3 + x\text{M}^+ + x\text{e}^- \rightleftharpoons \text{M}_x\text{WO}_3$  (M은 Li 또는 H)입니다. 이 가역적 반응을 통해 스마트 윈도우의 광 투과율을 동적으로 조정하여 건물의 에너지 소비를 절감할 수 있습니다. 또한, 텅스텐 학술 연구는 텅스텐 산화물의 다공성 구조가 이온 확산을 가속화하고 변색 효율을 향상시킬 수 있음을 보여주었다.

실제 적용에서는 텅스텐 산화막의 제조가 핵심입니다. 예를 들어, 텅스텐 금속 기판 상에 전기 화학적 증착에 의해 생성되는 텅스텐 산화물은 높은 광학 대비를 갖는다. 또한, 텅스텐 히터 보조 열처리는 결정 구조를 최적화하고 성능을 더욱 향상시킬 수 있습니다.

산화 텅스텐의 장점은 또한 안정성을 포함합니다. 예를 들어, 텅스텐 산 나트륨 전해질에서는 색상 변화주기가 수천 배에 달할 수 있습니다. 또한 텅스텐 뉴스(Tungsten News)는 웨어러블 디스플레이와 같은 유연한 ECD에 대한 적용이 부상하고 있다고 지적했습니다. 그러나, 산화 텅스텐의 응답 속도와 색상 범위를 개선할 여지가 여전히 있습니다. 이를 위해 연구자들은 자주색 텅스텐 산화물을 도핑하거나 텅스텐 고무와 합성하여 특성을 최적화하려고 노력했습니다.

### 9.3.2 가스 센서에 산화 텅스텐 적용

가스 센서는 환경에서 유해 가스를 감지하는 데 사용되며 산화 텅스텐은 높은 감도와 선택성으로 인해 이 분야에서 중요한 응용 분야를 가지고 있습니다.  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , CO 등의

가스를 효과적으로 검지할 수 있으며, 산업 안전 및 환경 모니터링에 적합합니다.

산화 텅스텐의 가스 감지 메커니즘은 표면 흡착 및 전도도 변화를 기반으로 합니다. 예를 들어,  $\text{NO}_2$ 가 산화 텅스텐의 표면에 흡착 될 때, 갇힌 전자는 저항을 증가시켜 감지 가능한 신호를 발생시킵니다. 연구에 따르면 블루 텅스텐 산화물 나노 와이어는 표면적이 높기 때문에  $\text{NO}_2$ 의 검출 한계를 ppb까지 가질 수 있습니다. 실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 형태는 그 특성에 상당한 영향을 미친다. 예를 들어, 텅스텐 필라멘트에 증착에 의해 생성 된 텅스텐 산화물 나노 어레이는 빠른 응답 및 회수 특성을 갖는다.

산화 텅스텐의 장점은 또한 고온 안정성을 포함한다. 예를 들어, 텅스텐 입자 기반의 텅스텐 산화물 센서는  $300^\circ\text{C}$ 에서 안정적이며 산업 환경에 적합합니다. 또한, 텅스텐 데이터는 습도 방해에 대한 내성이 많은 금속 산화물의 내성보다 우수하다는 것을 보여줍니다. 그러나, 텅스텐 산화물의 기준선 드리프트 및 장기 안정성은 여전히 개선되어야 한다. 이를 위해 연구자들은 표면 개질 또는 방사선 차폐 재료와 함께 특성을 향상시키려고 합니다.

#### 9.4 전자 정보 분야에서의 산화 텅스텐의 적용

우수한 반도체 특성을 가진 재료로서, 산화 텅스텐 ( $\text{WO}_3$ )은 전자 정보 분야에서 광범위한 응용 잠재력을 보여주었다. 높은 화학적 안정성, 적당한 밴드갭 ( $2.6\text{--}3.0\text{eV}$ ) 및 우수한 전기적 특성으로 인해 전계 효과 트랜지스터, 메모리 장치 및 기타 전자 부품에 이상적입니다. 정보 기술의 급속한 발전으로 고성능 전자 장치에서 산화 텅스텐의 역할이 점점 더 두드러지게되었습니다.

전자 정보 분야에서 텅스텐 산화물의 다양성은 조정 가능한 전자 구조와 박막 제조 능력에서 비롯됩니다. 예를 들어, n형 반도체 특성으로 인해 전자를 효율적으로 운반할 수 있으며, 나노와이어 또는 박막과 같은 나노 구조 구조는 장치 성능을 크게 향상시킵니다. 또한, 텅스텐 연구는 텅스텐 산화물 도핑 및 배합 기술이 전자 장치의 높은 요구 사항을 충족시키기 위해 전도성과 안정성을 더욱 최적화 할 수 있음을 보여주었다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 제조 과정은 그 특성에 중대한 영향을 미친다. 예를 들어, 화학 기상 증착 또는 스퍼터링에 의해 생성 된 텅스텐 산화물 필름은 높은 균일 성 및 소형화로 인해 마이크로 전자 장치에 적합합니다. 또한, 텅스텐 기술의 발전은 유연한 전자 장치 및 웨어러블 장치에 대한 탐구를 주도했으며, 텅스텐의 변동하는 가격은 또한 연구원들이 저비용 합성 방법을 개발하도록 촉구했습니다.

##### 9.4.1 전계 효과 트랜지스터에 산화 텅스텐의 적용

전계 효과 트랜지스터(FET)는 현대 전자 장치의 핵심 구성 요소이며 증폭기, 스위치 및 집적 회로에 널리 사용됩니다. 우수한 반도체 특성과 높은 캐리어 이동성으로



인해 산화 텅스텐은 전계 효과 트랜지스터의 채널 재료 또는 게이트 매체로서 상당한 잠재력을 보여주었습니다. 이 응용 프로그램은 장치 성능을 향상시킬 뿐만 아니라 저전력 및 고집적 전자 장치의 개발을 주도합니다.

전계 효과 트랜지스터에서 산화 텅스텐의 역할은 주로 채널 층으로 작용하는 능력에 반영됩니다. n 형 반도체로서 적당한 밴드갭을 가지고 있으며, 게이트 전압이 인가될 때 전자의 흐름을 효과적으로 조절할 수 있어 스위칭 기능을 가능하게 합니다. 예를 들어, 열 텅스텐 산화물 금속에 의해 생성된 산화 텅스텐 박막은  $10\text{-}20\text{cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ 의 캐리어 이동성을 가질 수 있으며, 이는 기존의 비정질 실리콘보다 훨씬 높습니다. 또한, 텅스텐 지식 연구는 텅스텐 산화물의 나노 와이어 구조가 산란 효과를 크게 감소시키고 1 차원 수송 특성으로 인해 이동성을 더욱 향상시킬 수 있음을 보여주었다.

전계 효과 트랜지스터에 산화 텅스텐을 사용하면 높은 유전 상수 (약 20-50)의 이점을 얻을 수 있으므로 기존의  $\text{SiO}_2$ 를 대체하는 게이트 유전체로 사용할 수 있습니다. 예를 들어, 원자 층 증착 (ALD)에 의해 제조된 텅스텐 산화물 필름은 누설 전류가 낮고 항복 전압이 높기 때문에 게이트 두께를 줄이고 장치 스위칭 속도와 전력 효율을 향상시킬 수 있습니다. 또한 텅스텐에서 개발한 도핑 기술(예: 폴리브렌 도핑)은 유전 특성을 더욱 최적화할 수 있습니다.

실제로, 산화 텅스텐의 제조 과정은 성능에 중요합니다. 예를 들어, 용매 열 방법으로 합성된 산화 텅스텐 나노 막대는 높은 결정성과 낮은 결함 밀도 덕분에 전계 효과 트랜지스터에서 우수한 온 / 오프 비율 (최대  $10^4$  이상)을 나타냅니다. 또한, 텅스텐 분말의 산화에 의해 생성된 텅스텐 산화물의 다공성 구조는 채널의 표면적을 증가시키고 전류 응답을 더욱 향상시킬 수 있습니다.

텅스텐 산화물의 장점은 기존 공정과의 호환성에도 반영됩니다. 예를 들어, 박막은 스퍼터링 또는 증발에 의해 실리콘 기판에 증착될 수 있으며, 이는 CMOS 공정과 원활하게 통합됩니다. 또한, 텅스텐 데이터는 텅스텐 산화물이 저온 체제에서 우수한 성능을 유지한다는 것을 보여주며, 이는 텅스텐 플라스틱을 기반으로 한 구부릴 수 있는 트랜지스터와 같은 유연한 전자 장치 분야에서 잠재력을 발휘합니다.

특정한 경우에, 산화 텅스텐은 고성능 박막 트랜지스터 (TFT)를 개발하는 데 사용되었습니다. 예를 들어, 텅스텐 필라멘트 산화를 기반으로 한 텅스텐 산화막은 디스플레이 백플레인에서 빠른 응답과 높은 안정성을 나타냅니다. 또한 텅스텐 뉴스는 차세대 디스플레이 기술을 위해 완전 투명 FET와 같은 투명 전자 장치에서의 적용도 증가하고 있다고 보고했습니다.

그러나, 텅스텐 산화물은 여전히 전계 효과 트랜지스터에서 몇 가지 문제에 직면해 있습니다. 예를 들어, 본질적으로 낮은 전도성으로 인해 높은 저항 손실이 발생하여 장치 효율성에 영향을 미칠 수 있습니다. 이를 위해 연구자들은 텅스텐 구리 또는 은 텅스텐을 도핑하여 전도성을 향상시키려고 했습니다. 또한 계면 결함으로 인해 임계

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



전압 드리프트가 유발될 수 있으며, 이는 표면 부동태화 또는 텅스텐 칼슘과 혼합하여 개선해야 합니다.

성능 최적화 측면에서, 텅스텐 산화물의 나노 구조 설계가 핵심입니다. 예를 들어, 텅스텐 바늘의 기판에 성장된 텅스텐 산화물 나노 어레이는 높은 종횡비로 인해 전기장을 조작하는 능력을 크게 향상시킬 수 있습니다. 또한 텅스텐 기술의 발전으로 5G 통신을 위한 RF FET와 같은 고주파 장치에서의 사용이 촉진되고 있습니다.

전계 효과 트랜지스터에 산화 텅스텐을 적용하는 것도 환경 친화적입니다. 희귀 원소를 함유한 재료와 비교하여 원료(예: 볼프람석)가 풍부하고 생산 공정이 더 환경 친화적입니다. 또한, 텅스텐에 대한 수요가 증가함에 따라 연구자들은 파라 텅스텐 산 암모늄을 사용하여 텅스텐 산화물 필름을 직접 합성하는 것과 같은 저비용 제조 방법을 모색하게 되었습니다. 미래에는 소자의 소형화 및 통합이 향상됨에 따라 전계 효과 트랜지스터에서 산화 텅스텐의 역할이 더욱 두드러질 것입니다. 고성능, 저전력 전자 장치에 대한 잠재력은 전자 정보 분야에서 새로운 개발 기회를 제공합니다.

#### 9.4.2 메모리 장치에 산화 텅스텐 적용

메모리 장치는 비휘발성 메모리(예: 플래시 메모리)와 새로운 메모리 기술(예: 저항성 메모리)을 모두 포함하는 전자 정보 분야의 핵심입니다. 산화 텅스텐은 저항 스위칭 특성, 빠른 응답 및 높은 안정성으로 인해 메모리 장치에서 중요한 응용 잠재력을 가지고 있습니다. 고유한 물리화학적 특성으로 인해 차세대 고밀도 저장 기술의 후보 소재가 되었습니다.

메모리 장치에서 산화 텅스텐은 주로 RRAM (Resistive Random Access Memory)에 사용됩니다. RRAM은 재료의 저항 상태에 따라 고저항 상태와 저저항 상태 사이를 전환하여 데이터 저장을 가능하게 합니다. 산화 텅스텐의 저항 스위칭 메커니즘은 산소 공극의 이동과 전도성 필라멘트의 형성에 기인한다. 예를 들어, 적용된 전기장 하에서 산소 이온은 산화 텅스텐의 박막에서 이동하여 "쓰기"작업을 가능하게 하는 전도성 경로를 형성합니다. 결과는 텅스텐 산 전구체에 의해 제조된 산화 텅스텐이 안정적인 스위칭 비율 (최대  $10^3$  이상)을 갖는다는 것을 보여줍니다.

산화 텅스텐의 나노 구조는 저장 성능을 크게 향상시킵니다. 예를 들어, 전기 화학 증착에 의해 생성된 산화 텅스텐 나노 입자는 높은 표면적과 결합 밀도로 인해 산소 공극의 농도를 증가시켜 스위칭 속도와 내구성을 향상시킬 수 있습니다. 또한, 텅스텐 연구는 텅스텐 산화물의 다공성 필름이 RRAM에서 낮은 작동 전압 (<1V)을 나타내어 저전력 응용 분야에 적합하다는 것을 보여주었다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 제조 과정은 그 특성에 중대한 영향을 미친다. 예를 들어, 마그네트론 스퍼터링에 의해 텅스텐 금속 전극에 증착된 텅스텐 산화막은 높은 균일 성과 낮은 결함률을 가지며, 그 저장 창은 수천 사이클 동안 유지될 수

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

있습니다. 또한, 텅스텐에 의해 개발된 복합 기술(예: 페로 텅스텐과 결합)은 전도성 필라멘트의 안정성을 향상시킬 수 있습니다.

메모리 장치에서 산화 텅스텐의 장점은 또한 고온 안정성을 포함한다. 예를 들어, 텅스텐 입자 기관을 기반으로 한 산화 텅스텐 저장 장치는 200 °C에서 작동할 수 있으며 열악한 환경에 적합합니다. 또한 텅스텐 데이터는 기존 플래시 메모리보다 삭제 속도(<10ns)가 빠르고 스토리지 밀도가 높다는 것을 보여줍니다.

특정한 경우에, 텅스텐 산화물은 고밀도 RRAM 어레이를 개발하는 데 사용되었습니다. 예를 들어, 텅스텐 히터 보조 어닐링에 의해 제조된 텅스텐 산화막은 교차 어레이 구조에서 우수한 간섭 방지 능력을 나타냅니다. 또한 텅스텐 뉴스(Tungsten News)는 인공 지능 칩을 위한 아날로그 시냅스 장치와 같은 뉴로모픽 컴퓨팅(neuromorphic computing)의 잠재력이 부상하고 있다고 보고합니다.

그러나 산화 텅스텐은 여전히 메모리 장치에서 문제에 직면해 있습니다. 예를 들어, 저항 스위칭의 임의성으로 인해 데이터 스토리지의 불일치가 발생할 수 있습니다. 이를 위해 연구진은 세습 텅스텐을 도핑하거나 텅스텐 산 염 완충층을 도입하여 성능을 최적화하려고 했습니다. 또한, 피로는 장기간 사이클링 후에 발생할 수 있으며, 이는 인터페이스 엔지니어링(예: 텅스텐 금과 혼합)으로 개선해야 합니다.

성능 최적화 측면에서, 텅스텐 산화물의 다층 구조 설계가 핵심입니다. 예를 들어, ALD에 의해 준비된 산화 텅스텐/이황화 텅스텐 이중접합은 스위칭 일관성을 크게 향상시킬 수 있습니다. 또한, 텅스텐 기술의 발전으로 초고밀도 저장을 위해 수직 RRAM과 같은 3차원 저장에 사용이 촉진되었습니다.

메모리 장치에 산화 텅스텐을 적용하면 경제적 이점도 있습니다. 원료 공급원이 풍부하고(예: scheelite) 생산 비용을 제어할 수 있습니다. 또한, 텅스텐에 대한 수요가 증가함에 따라 연구자들은 암모늄 메타 텅스텐 산염을 사용하여 텅스텐 산화물 저장 층의 직접 합성과 같은 산업 제조 방법을 모색하게 되었습니다.

## 9.5 기계 제조 분야에서의 산화 텅스텐의 적용

산화 텅스텐(WO<sub>3</sub>)은 기계 공학 분야에서 독특한 가치를 보여주는 우수한 특성을 가진 물질입니다. 높은 경도, 고온 저항 및 화학적 안정성으로 인해 공구 코팅 및 내마모성 부품에 이상적입니다. 현대 제조에서 고효율 및 긴 수명의 공구에 대한 수요가 증가함에 따라 산화 텅스텐의 사용이 점차 확대되어 가공성 및 장비 내구성을 향상시키는 데 중요한 지원을 제공하고 있습니다.

기계 공학에서 텅스텐 산화물의 적용은 주로 물리 화학적 특성에 달려 있습니다. 전이 금속 산화물로서 결정 구조는 높은 기계적 강도와 내식성을 제공합니다. 또한, 텅스텐 연구는 텅스텐 산화물의 특성이 도핑 또는 배합 기술을 통해 까다로운 산업 환경의 요구를 충족시키기 위해 더욱 최적화될 수 있음을 보여주었다. 코팅 재료

또는 기능성 첨가제로서 산화 텅스텐은 기계 부품의 내구성과 가공 효율을 크게 향상시킬 수 있습니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 제조 과정은 그 특성에 상당한 영향을 미친다. 예를 들어, 용사 또는 화학 기상 증착 (CVD)에 의해 생성된 산화 텅스텐 코팅은 접착력과 균질성이 높아 고속 절삭 및 중장비 조건에 적합합니다. 또한, 텅스텐 기술의 발전으로 정밀 제조에 사용되었으며, 변동하는 텅스텐 가격으로 인해 연구자들은 과다 텅스텐 산염 암모늄을 사용하여 텅스텐 산화물을 직접 제조하는 것과 같은보다 경제적 인 합성 방법을 개발하게되었습니다.

#### 9.5.1 공구 코팅에 산화 텅스텐의 적용

공구 코팅은 절삭 성능을 향상시키고 공구 수명을 연장하는 기계 제조의 핵심 기술이며, 산화 텅스텐은 높은 경도, 내마모성 및 열 안정성으로 인해이 분야에서 상당한 이점을 가지고 있습니다. 공구와 공작물 사이의 마찰을 효과적으로 줄이고 절삭 온도를 낮추어 가공 효율과 표면 품질을 향상시킬 수 있습니다.

공구 코팅에서 텅스텐 산화물은 일반적으로 초경 또는 고속 강철 기판에 박막으로 적용됩니다. 높은 경도 (Mohs 스케일에서 9에 가까움)로 인해 절단 중 마모 및 변형에 강합니다. 예를 들어, 물리 기상 증착 (PVD)에 의해 텅스텐 금속 공구에 증착된 텅스텐 산화물 코팅은 2000-2500 HV의 표면 경도를 가지며 이는 코팅되지 않은 공구보다 훨씬 높습니다. 또한, 텅스텐 지식 연구는 텅스텐 산화물의 낮은 마찰 계수 (약 0.4-0.6)가 절삭력을 크게 감소시키고 공구 수명을 연장할 수 있음을 보여주었다.

산화 텅스텐의 고온 저항은 공구 코팅의 또 다른 장점입니다. 고속 절삭에서 공구의 표면 온도는 800 ° C 이상에 도달할 수 있으며 산화 텅스텐의 융점은 1473 ° C만큼 높으며 고온에서 구조적 안정성을 유지할 수 있습니다. 예를 들어, 텅스텐 분말의 산화에 의해 생성된 텅스텐 산화물 코팅은 티타늄 합금 또는 스테인리스강을 가공할 때 열 피로 및 산화 마모에 저항하는 데 효과적입니다.

실제로, 텅스텐 산화물은 종종 성능을 최적화하기 위해 다른 재료와 혼합됩니다. 예를 들어, 텅스텐 구리 또는 페로 텅스텐을 사용한 복합 코팅은 텅스텐 산화물의 높은 경도를 유지할 뿐만 아니라 열전도율을 향상시키고 절단 영역의 열 축적을 줄입니다. 또한 텅스텐(예: 몰리브덴)에서 개발한 도핑 기술은 코팅의 인성을 더욱 향상시키고 취성 파괴를 방지할 수 있습니다.

산화 텅스텐 코팅의 제조 공정은 성능에 매우 중요합니다. 예를 들어, 마그네트론 스퍼터링에 의해 생성된 텅스텐 산화막은 높은 조밀성과 균일성을 가지며 두께는 1 μm에서 5 μm 사이에서 정밀하게 제어할 수 있으므로 정밀 가공에 적합합니다. 또한, 텅스텐 필라멘트 산화에 의해 생성된 텅스텐 산화물 코팅은 선삭 및 밀링 중에 우수한 접착 방지 특성을 나타내어 공작물 재료의 고착을 감소시킵니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



특정한 경우, 산화 텅스텐 코팅 도구는 항공 우주 및 자동차 제조에 널리 사용되었습니다. 예를 들어, 알루미늄 합금을 가공 할 때 텅스텐 니들 기관을 기반으로 한 산화 텅스텐 코팅 공구는 표면 거칠기를 20 % 이상 줄일 수 있습니다. 또한, 텅스텐 뉴스는 고속 건식 절삭에 대한 적용이 등장하여 녹색 제조의 추세에 따라 냉각수에 대한 의존도를 줄이고 있다고 보고했습니다.

그러나, 텅스텐 산화물 코팅은 또한 몇 가지 문제를 제시합니다. 예를 들어, 부서지기 쉽고 중장비 절단 중에 벗겨질 수 있습니다. 이를 위해 연구진은 은 텅스텐을 도핑 하거나 텅스텐 플라스틱 완충층을 도입하여 인성을 개선하려고 했습니다. 또한 기관에 대한 접착력을 더욱 최적화해야 하며 용사 또는 이온 빔 보조 증착은 접착력을 효과적으로 향상시킬 수 있습니다.

성능 최적화 측면에서, 텅스텐 산화물의 다층 구조 설계가 핵심입니다. 예를 들어, 텅스텐 산화물 / 이황화 텅스텐 복합 코팅은 높은 경도와 자체 윤활을 결합하여 공구 수명을 크게 증가시킵니다. 또한, 텅스텐 데이터는 세라믹과 같은 초경질 재료의 가공에 탁월하여 고급 제조에 사용되는 것을 보여줍니다.

공구 코팅에 산화 텅스텐을 사용하면 경제적 이점도 있습니다. 원료가 풍부하고(예: 불프람마이트) 생산 비용을 제어할 수 있습니다. 텅스텐 시장 수요의 성장과 함께, 기계 제작에서 텅스텐 산화물 코팅 공구의 위치는 더욱 통합되어, 효율적인 가공을 위한 안정적인 지원을 제공 할 것입니다.

### 9.5.2 내마모성 부품에 산화 텅스텐 적용

내마모성 부품은 베어링, 기어 및 섀프와 같이 높은 마찰과 마모를 받는 기계 제작의 핵심 구성 요소입니다. 산화 텅스텐은 높은 경도, 내식성 및 피로 저항으로 인해 내마모성 부품에 중요한 응용 잠재력을 가지고 있습니다. 구성 요소 수명을 크게 연장하고 유지 보수 비용을 줄이며 중장비 및 극한 조건에 적합합니다.

내마모성 부품에서, 텅스텐 산화물은 종종 코팅 또는 복합 재료의 형태로 사용됩니다. 높은 경도와 낮은 마찰 특성으로 인해 연마 마모 및 접착 마모에 강합니다. 예를 들어, 텅스텐 금속 기관에 플라즈마 스프레이로 생성되는 텅스텐 산화물 코팅은 기존 강철보다 내마모성이 3-5 배 더 강합니다. 또한, 텅스텐 학술 연구는 텅스텐 산화물의 결정 구조가 높은 응력 하에서 안정적으로 유지되어 표면 박리를 방지 할 수 있음을 보여주었다.

산화 텅스텐의 내식성은 내마모성 부품의 또 다른 주요 장점입니다. 습하거나 산성 환경에서는 산화 및 화학적 공격에 대한 내성이 많은 금속 재료보다 우수합니다. 예를 들어, 텅스텐 입자 산화에 의해 생성 된 텅스텐 산화물 코팅은 해양 장비에서 잘 작동하며 염수 분무 부식에 효과적입니다. 또한, 텅스텐 히터에 의해 보조되는 텅스텐 히터로 어닐링 된 텅스텐 산화물은 밀도가 높아 내식성을 더욱 향상시킵니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



실제로, 텅스텐 산화물은 종종 성능을 최적화하기 위해 다른 재료와 혼합됩니다. 예를 들어, 텅스텐 산 칼슘을 사용한 복합 코팅은 내마모성 부품에서 우수한 내충격성을 나타내며 굴삭기 톱니에 적합합니다. 또한, 텅스텐에 의해 개발된 텅스텐 산화물 / 구형 텅스텐 분말 혼합물은 고밀도 및 균일 성을 가지며 중장비 베어링에 적합한 분말 야금에 의해 제조됩니다.

산화 텅스텐의 제조 공정은 내마모성에 큰 영향을 미친다. 예를 들어, 레이저 클래딩에 의해 생성된 텅스텐 산화물 코팅은 500 MPa 이상의 접착 강도로 기판에 야금 결합을 형성합니다. 또한, 텅스텐 퍼티와 텅스텐 산화물의 혼합물을 소결하여 밀 내부에서 사용하기에 적합한 내마모성 라이너를 만들 수 있습니다.

특정한 경우에, 텅스텐 산화물은 건설 기계의 내구성을 향상시키는 데 사용되었습니다. 예를 들어, 텅스텐 금 기판을 기반으로 한 텅스텐 산화물 코팅은 광산 장비 기어의 수명을 50 % 이상 연장합니다. 또한, 텅스텐 뉴스는 터빈 블레이드와 같은 고온 내마모성 부품에서의 사용이 항공 우주 산업의 요구를 충족시키기 위해 증가하고 있다고 보고합니다.

그러나, 텅스텐 산화물은 내마모성 부품에도 문제를 제시합니다. 예를 들어, 취성으로 인해 높은 충격에서 균열이 발생할 수 있습니다. 이를 위해 연구진은 텅스텐 산염을 도핑하거나 텅스텐 고무 완충층을 도입하여 인성을 개선하려고 노력했습니다. 또한 가공 비용이 높고 대규모 적용을 달성하기 위해 준비 프로세스를 최적화해야 합니다.

성능 최적화 측면에서, 텅스텐 산화물의 미세 구조 설계가 핵심입니다. 예를 들어, 텅스텐 산화물 / 텅스텐 산 나트륨 복합 코팅은 열처리되어 그라디언트 구조를 형성하여 피로 저항을 크게 향상시킵니다. 또한, 텅스텐 테이퍼는 윤활 조건에서의 내마모성이 많은 세라믹 재료보다 우수하여 슬라이딩 부품에 사용된다는 것을 보여줍니다.

내마모성 부품에 산화 텅스텐을 적용하는 것도 환경 친화적입니다. 그것의 원료는 풍부합니다 (scheelite 와 같은), 생산 과정은 통제할 수 있습니다. 텅스텐 시장의 확장과 함께, 텅스텐 산화물은 기계 제작에서 그 위치를 더욱 증가시켜 내구성이 뛰어난 부품에 대한 신뢰할 수 있는 솔루션을 제공 할 것입니다.

## 9.6 생물 의학 응용에서의 산화 텅스텐

다기능 재료로서 산화 텅스텐 ( $WO_3$ )은 생물 의학 분야에서 점점 더 중요한 응용 잠재력을 보여주고 있습니다. 높은 생체 적합성, 광학 반응성 및 전기화학적 활성과 같은 고유한 물리화학적 특성은 바이오센서, 광열 요법 및 기타 의료 기술에서 상당한 이점을 제공합니다. 생물 의학에서 매우 민감하고 침습성이 낮은 재료에 대한 수요가 증가함에 따라 산화 텅스텐의 연구 및 응용이 빠르게 확대되고 있습니다.

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

생물 의학에서 텅스텐 산화물의 반도체 특성은 핵심 강점입니다. 밴드 갭(약 2.6–3.0eV)을 통해 가시광선을 흡수하고 광전 반응에 참여할 수 있으며, 나노 입자 또는 박막과 같은 나노 구조는 표면적과 반응성을 크게 증가시킵니다. 또한, 텅스텐 연구는 텅스텐 산화물 표면이 생체 적합성을 향상시키기 위해 기능화 될 수 있음을 보여 주어 시험관 내 및 시험관 내 응용 분야에 적합합니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 제조 과정은 그 특성에 중대한 영향을 미친다. 예를 들어, 열수 또는 용매 열법으로 합성 된 산화 텅스텐 나노 물질은 고순도 및 제어 가능한 형태로 인해 생물 의학 요구에 적합합니다. 또한, 텅스텐 기술의 발전은 웨어러블 의료 기기에 대한 탐구를 주도했으며, 텅스텐의 가격 변동으로 인해 연구원들은 과라 텅스텐 산염 암모늄을 사용하여 텅스텐 산화물을 직접 제조하는 것과 같은 저비용 합성 방법을 개발하게되었습니다.

### 9.6.1 바이오 센서에 산화 텅스텐 적용

바이오센서는 바이오마커를 감지하고, 질병 상태를 모니터링하고, 맞춤형 의료를 지원하는 생물학 분야의 중요한 도구입니다. 높은 감도, 빠른 응답 및 전기 화학적 안정성으로 인해 산화 텅스텐은 바이오 센서에서 민감한 물질로서 우수한 성능을 입증했습니다. 포도당, 효소, DNA 와 같은 다양한 생체 분자를 효과적으로 검출할 수 있어 질병 진단 및 건강 관리에 대한 신뢰할 수 있는 지원을 제공합니다.

바이오 센서에서 산화 텅스텐의 역할은 주로 전기 화학적 및 광전자 적 특성을 기반으로 합니다. n 형 반도체는 관심 분석물과 접촉할 때 표면에서 전하 전달이 발생하여 전도도 또는 광학 신호에 변화가 발생합니다. 예를 들어, 텅스텐 금속 전극 상의 전기 화학적 증착에 의해 생성 된 텅스텐 산화물 나노 필름은  $\mu\text{M}$  수준까지 검출 한계를 가질 수 있습니다. 또한, 텅스텐 지식 연구는 텅스텐 산화물의 나노 와이어 구조가 높은 표면적과 빠른 전자 수송 능력으로 인해 센서의 감도를 크게 향상시킬 수 있음을 보여주었다.

산화 텅스텐의 다공성 구조는 바이오 센서의 주요 장점입니다. 예를 들어, 용매 열법으로 합성 된 산화 텅스텐 나노 입자는 효소 분자 (예 : 포도당 산화 효소)를 효과적으로 흡착하여 매우 선택적인 검출을 할 수 있는 풍부한 활성 부위를 가지고 있습니다. 또한, 텅스텐 분말의 산화에 의해 생성 된 텅스텐 산화물 다공성 피막은  $\text{H}_2\text{O}_2$ 를 검출 할 때 우수한 응답 속도를 나타내며, 이는 빠른 산화 환원 반응으로 인한 것입니다.

실제로, 텅스텐 산화물은 종종 성능을 최적화하기 위해 다른 재료와 혼합됩니다. 예를 들어, 텅스텐 구리로 형성된 복합 전극은 텅스텐 산화물의 높은 감도를 유지할 뿐만 아니라 전기 전도성을 향상시켜 실시간 모니터링에 적합합니다. 또한 텅스텐에서 개발한 도핑 기술(예: 텅스텐은 도핑)은 간섭 방지 기능을 더욱 향상시키고 복잡한 생물학적 매트릭스에서 오염 신호를 줄일 수 있습니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

산화 텅스텐 바이오 센서의 제조 과정은 성능에 매우 중요합니다. 예를 들어, 텅스텐 필라멘트 기관에 분무하여 제조된 텅스텐 산화막은 균일 성과 안정성이 높으며 검출 범위는 nM 에서 mM 까지의 생체 분자 농도를 커버 할 수 있습니다. 또한 텅스텐 데이터는 텅스텐 산화물이 산성 또는 중성 환경에서 활성을 유지하여 혈액 또는 체액 분석에 적합하다는 것을 보여줍니다.

특정한 경우에, 텅스텐 산화물은 휴대용 포도당 센서의 개발에 사용되었습니다. 예를 들어, 텅스텐 바늘 전극을 기반으로 하는 산화 텅스텐 센서는 당뇨병 모니터링에서 빠른 응답(<5 초)과 높은 반복성을 나타냅니다. 또한 텅스텐 뉴스(Tungsten News)는 CEA 와 같은 암세포 마커 검출 가능성이 부상하고 있어 조기 진단을 위한 새로운 길을 제공하고 있다고 보고했습니다.

그러나 산화 텅스텐은 바이오 센서에서도 문제에 직면 해 있습니다. 예를 들어, 시간이 지남에 따라 표면이 생물학적 오염되어 검사의 정확도에 영향을 미칠 수 있습니다. 이를 위해 연구진은 표면 개질(예: PEGification) 또는 텅스텐 플라스틱과의 합성을 통해 오염에 대한 내성을 개선하려고 노력했습니다. 또한, 복잡한 생물학적 환경에서는 선택성이 불충분 할 수 있으며 텅스텐 산 칼슘을 도핑하거나 이중 접합을 구성하여 최적화해야 합니다.

성능 최적화 측면에서, 텅스텐 산화물의 나노 구조 설계가 핵심입니다. 예를 들어, 텅스텐 산화물 / 이황화 텅스텐 복합 나노 어레이는 높은 비 표면적과 시너지 효과로 인해 검출 한계와 응답 속도를 크게 향상시킬 수 있습니다. 또한 텅스텐에 대한 수요의 증가는 볼프람 공급 원료를 기반으로 하는 저비용 장치와 같은 웨어러블 센서에서의 사용을 주도하고 있습니다.

바이오 센서에 산화 텅스텐을 적용하면 생물 안전성 이점도 있습니다. 독성과 분해성이 낮아 이식형 모니터링 장치와 같은 생체 내 사용에 적합합니다. 생물 의학 기술의 발전으로 산화 텅스텐은 정밀 의학 및 건강 모니터링에서 더 큰 역할을 할 것입니다.

### 9.6.2 광열 요법에서 산화 텅스텐의 적용

광열 요법 (PTT)은 광열 효과를 사용하여 암세포를 죽이는 비 침습적 치료법이며, 산화 텅스텐은 우수한 광열 변환 효율과 근적외선 (NIR) 흡수 능력으로 인해 이 분야에서 중요한 응용 잠재력을 가지고 있습니다. 빛에 노출된 상태에서 빛 에너지를 열 에너지로 변환하고 국부적인 고온을 달성하여 종양을 죽일 수 있어 암 치료를 위한 효율적인 옵션을 제공합니다.

광열 요법에서 산화 텅스텐의 광열 특성은 강력한 NIR 흡수 특성 (700-1100 nm) 때문입니다. 예를 들어, 열수법으로 합성된 산화 텅스텐 나노 입자는 808nm 레이저 조사에서 40-50 %의 광열 변환 효율을 달성 할 수 있으며, 이는 기존의 금 나노

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



물질보다 훨씬 높습니다. 또한, 텅스텐 학술 연구는 텅스텐 산화물의 산소 결합이 광열 성능을 더욱 향상시킬 수 있는 국소 표면 플라즈몬 공명 (LSPR) 효과를 향상시킬 수 있음을 보여주었다.

산화 텅스텐의 나노 구조는 광열 요법의 주요 장점입니다. 예를 들어, 텅스텐 입자 산화에 의해 생성된 텅스텐 산화물 나노 막대는 종양 세포의 세포 사멸을 유도하기에 충분한 높은 종횡비와 표면 활성으로 인해 50-60 °C 까지 빠르게 상승할 수 있습니다. 또한, 텅스텐 산 전구체에 의해 제조된 산화 텅스텐 나노 시트는 생체 내에서 우수한 분산 및 광열 안정성을 나타냈다.

실제로, 텅스텐 산화물은 종종 생체 적합성을 최적화하기 위해 표면 개질됩니다. 예를 들어, 폴리에틸렌 글리콜 (PEG) 또는 텅스텐 고무로 코팅된 산화 텅스텐 나노 입자는 빠른 제거없이 장기간 혈액을 순환할 수 있습니다. 또한, 텅스텐 히터의 도움으로 합성된 산화 텅스텐은 결정성이 높아 광열 효율을 더욱 향상시킨다.

광열 요법에서 텅스텐 산화물의 장점은 또한 다양성을 포함합니다. 예를 들어, 세습과 텅스텐을 도핑하여 형성된 산화 텅스텐 나노 복합체는 우수한 광열 특성을 가질뿐만 아니라 CT 영상에서 조영제로 사용하여 진단과 치료의 통합을 실현할 수 있습니다. 또한, 텅스텐 제품에 대한 연구는 방사선 차폐 재료와의 조합이 방사선 요법의 효과를 향상시키는 데 사용될 수 있음을 보여주었다.

특정한 경우에, 텅스텐 산화물은 마우스 모델의 광열 요법 실험에 사용되었습니다. 예를 들어, 구형 텅스텐 분말을 기반으로 하는 산화 텅스텐 나노 입자는 NIR 조사 하에서 종양 부위의 온도를 55° C 까지 상승시킬 수 있으며, 이는 종양 성장을 크게 억제할 수 있습니다.

그러나, 텅스텐 산화물은 또한 광열 요법에 어려움에 직면해 있습니다. 예를 들어, 깊은 조직에서의 빛 투과는 제한되어 있으며 광섬유 기술 또는 더 높은 파장의 레이저의 조합이 필요합니다. 또한 장기적인 생체 내 대사 경로가 완전히 이해되지 않았으며 추가 생물 안전성을 평가해야 합니다. 이를 위해 연구자들은 텅스텐 산염을 도핑하거나 텅스텐 금과 합성하여 특성을 최적화하려고했습니다.

성능 최적화에 관해서는 산화 텅스텐의 지형 제어가 핵심입니다. 예를 들어, 텅스텐 산화물 나노 플로럴 구조는 다공성과 높은 흡수율로 인해 광열 변환 효율을 크게 향상시킬 수 있습니다. 또한, 텅스텐 시장 수요의 성장은 scheelite 공급 원료를 기반으로 한 저비용 나노 물질과 같은 광열 치료 장치의 상용화를 주도했습니다.

광열 요법에 산화 텅스텐을 적용하는 것도 시너지 잠재력을 가지고 있습니다. 예를 들어, 화학 요법 약물 (예 : 독소루비신)과 병용할 경우, 광열 효과는 약물 방출 효율을 높이고 열 화학 요법 병용 요법을 달성할 수 있습니다. 나노 의학의 발전으로 산화 텅스텐은 암의 정밀 치료에서 중요한 위치를 차지할 것입니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



## 9.7 광학 디스플레이 분야에서의 산화 텅스텐의 적용

산화 텅스텐 ( $WO_3$ )은 우수한 광학 특성과 전기 변색 특성으로 인해 광학 디스플레이 분야에서 광범위한 응용 잠재력을 보여줍니다. 조정 가능한 광 투과율, 높은 광학 대비 및 빠른 응답 기능과 같은 고유한 물리화학적 특성으로 인해 디스플레이, 스마트 윈도우 및 기타 광학 장치에 중요한 재료가 됩니다. 고품질, 저전력 소비 및 지능의 방향으로 디스플레이 기술이 발전함에 따라 산화 텅스텐의 역할은 점점 더 중요해지고 있습니다.

광학 디스플레이 분야에서, 산화 텅스텐의 핵심 강도는 전기 변색 특성입니다. 전기장을 가하면 투명색과 진한 파란색 사이에서 색상을 가역적으로 전환할 수 있으며, 이는 이온 삽입 및 전자 전달 과정에서 비롯된 특성입니다. 또한, 텅스텐 연구는 나노 필름 또는 나노 입자와 같은 텅스텐 산화물 나노 구조가 광학 응답 속도와 안정성을 크게 향상시켜 현대 디스플레이 장치의 높은 요구 사항을 충족시킬 수 있음을 보여주었습니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 제조 과정은 그 특성에 중대한 영향을 미칩니다. 예를 들어, 스퍼터링 또는 화학 기상 증착 (CVD)에 의해 생성된 텅스텐 산화막은 균일성이 높고 광학 투명도가 높아 대면적 디스플레이 장치에 적합합니다. 또한, 텅스텐 기술의 발전은 플렉시블 디스플레이에 대한 탐구를 촉진했으며, 텅스텐의 변동하는 가격으로 인해 연구자들은 파라 텅스텐 산염 암모늄을 사용하여 텅스텐 산화물을 직접 제조하는 것과 같은 저비용 합성 방법을 개발하게 되었습니다.

### 9.7.1 디스플레이에 산화 텅스텐 적용

디스플레이는 액정 디스플레이(LCD), 유기 발광 다이오드 디스플레이(OLED) 및 새로운 전기 변색 디스플레이를 포함한 광학 디스플레이 분야의 핵심 응용 분야입니다. 산화 텅스텐은 전기 변색 특성과 높은 광학 대비로 인해 디스플레이의 디밍 레이어 또는 픽셀 재료로 가치가 있습니다. 역동적인 색상 조정과 에너지 절약이 가능하여 차세대 디스플레이 기술을 위한 혁신적인 솔루션을 제공합니다.

디스플레이에서 산화 텅스텐의 전기 변색 메커니즘은 가역적 이온 삽입 반응을 기반으로 합니다. 예를 들어,  $Li^+$  또는  $H^+$ 가 삽입된 경우 반응은  $WO_3 + xM^+ + xe^- \rightleftharpoons M_xWO_3$  ( $M$ 은  $Li$  또는  $H$ )입니다. 이 프로세스는 광 투과율을 80% 이상에서 10% 미만으로 줄여 매우 높은 광학 대비를 제공합니다. 예를 들어, 텅스텐 금속 기판 상에 전기 화학적 증착에 의해 생성된 텅스텐 산화물 필름은 색상 변화 응답 시간이 밀리초만큼 낮을 수 있으므로 고속 디스플레이에 적합합니다. 또한, 텅스텐 지식 연구는 텅스텐 산화물의 다공성 구조가 이온 확산을 가속화하고 스위칭 효율을 더욱 향상시킬 수 있음을 보여주었다.

디스플레이에 산화 텅스텐을 사용하면 넓은 스펙트럼 응답 성의 이점도 있습니다. 밴드갭 (2.6-3.0eV)은 가시 범위에서 우수한 투명도를 제공하는 반면 삽입 삽입

후에는 어둡게 나타나 디밍 또는 개인 정보 보호에 적합합니다. 예를 들어, 텅스텐 분말의 산화에 의해 생성된 산화 텅스텐 나노 필름은 스마트 디스플레이의 밝기를 동적으로 조정하여 눈부심을 줄이고 시각적 편안함을 향상시킬 수 있습니다.

실제로, 텅스텐 산화물은 종종 성능을 최적화하기 위해 다른 재료와 혼합됩니다. 예를 들어, 텅스텐 구리로 형성된 복합 필름은 텅스텐 산화물의 높은 대비를 유지할 뿐만 아니라 전기 전도성을 향상시키고 대면적 디스플레이에 적합합니다. 또한 텅스텐에서 개발한 도핑 기술(예: 몰리브덴 도핑)은 색상 변경 범위를 조정하고 파란색에서 녹색 또는 회색으로 디스플레이 색상의 다양성을 증가시킬 수 있습니다.

산화 텅스텐 디스플레이의 제조 공정은 성능에 매우 중요합니다. 예를 들어, 마그네트론 스퍼터링에 의해 텅스텐 필라멘트 기관에 증착된 텅스텐 산화막은 높은 접착력과 균일성을 가지며 두께는 50-200 nm 사이에서 정밀하게 제어할 수 있으므로 고해상도 디스플레이에 적합합니다. 또한, 텅스텐 데이터는 텅스텐 산화물이 저온 준비 조건에서 광학 특성을 유지하여 텅스텐 플라스틱을 기반으로 한 구부릴 수 있는 스크린과 같은 플렉시블 디스플레이에서 잠재력을 발휘한다는 것을 보여줍니다.

특정한 경우에, 텅스텐 산화물은 전기 변색 디스플레이의 개발에 사용되었다. 예를 들어, 텅스텐 바늘 기관을 기반으로 한 산화 텅스텐 코팅은 전자 종이에서 우수한 픽셀 스위칭 속도와 낮은 전력 소비를 나타냅니다. 또한 텅스텐 뉴스는 홀로그램 디스플레이 또는 증강 현실 (AR) 장치와 같은 투명 디스플레이에서의 사용이 증가하고 있다고 보고합니다.

그러나 산화 텅스텐은 디스플레이에서도 문제를 제시합니다. 예를 들어, 이온 삼입 피로에 의해 색상 변화 주기 수명이 단축될 수 있으며 안정성은 텅스텐 산 칼슘을 도핑하거나 텅스텐 산 나트륨 용액과 같은 전해질을 최적화하여 향상시킬 수 있습니다. 또한 일부 응용 분야에서는 초기 투명도가 불충분할 수 있으며 표면 개질 또는 은-텅스텐과의 합성으로 개선해야 합니다.

성능 최적화 측면에서, 텅스텐 산화물의 나노 구조 설계가 핵심입니다. 예를 들어, 산화 텅스텐 나노 어레이는 높은 표면적과 빠른 이온 수송 능력으로 인해 디스플레이 재생률을 크게 향상시킬 수 있습니다. 또한 텅스텐에 대한 수요가 증가함에 따라 불프람 공급 원료에서 저비용 박막 준비와 같은 플렉시블 OLED 백시트에 대한 사용이 증가하고 있습니다. 디스플레이에 산화 텅스텐을 적용하면 에너지 절약 이점도 있습니다. 동적 디밍 기능은 백라이트 에너지 소비를 줄이고 장치 수명을 연장합니다. 지능과 유연성에 대한 디스플레이 기술의 발전과 함께, 산화 텅스텐은 광학 디스플레이 분야에서 더 큰 역할을 할 것입니다.

## 9.8 촉매 지지체에 산화 텅스텐의 적용

산화 텅스텐은 촉매 지지 분야에서 중요한 응용 가치를 가지며 높은 표면적, 화학적

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

안정성 및 산성 사이트로 인해 지지 촉매에 대한 우수한 지지 재료입니다. 화학, 에너지 및 환경 부문에서 텅스텐 산화물은 촉매 효율을 향상시키기 위해 활성 성분을 지원함으로써 광범위한 반응에 대한 신뢰할 수 있는 플랫폼을 제공합니다.

촉매 담체 중에서, 텅스텐 산화물의 다공성 구조 및 표면 활성이 핵심 장점입니다. 비표면적은  $50\text{--}200\text{m}^2/\text{g}$ 에 도달할 수 있어 금속 또는 산화물의 활성상을 효과적으로 분산시키고 촉매의 활성과 선택성을 향상시킬 수 있습니다. 또한, 텅스텐 연구는 루이스 산 및 브뢴스테드 산과 같은 텅스텐 산화물의 산성 부위가 알킬화 및 이성질체화 와 같은 다양한 산 촉매 반응을 촉진 할 수 있음을 보여주었다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 제조 과정은 그 특성에 상당한 영향을 미친다. 예를 들어, 암모늄 메타 텅스텐 산염의 용매 또는 열 분해에 의해 생성 된 텅스텐 산화물은 다공성 및 열 안정성이 높아 고온 촉매 환경에 적합합니다. 또한, 텅스텐 제품에 대한 연구는 석유 정제 및 폐가스 처리와 같은 산업 촉매에 적용되었습니다.

### 9.8.1 지지 촉매에 산화 텅스텐의 적용

산화 텅스텐 ( $\text{WO}_3$ )은 우수한 물리적 및 화학적 특성으로 인해 지지 촉매 분야에서 중요한 응용 가치를 가지고 있습니다. 다기능 담체 재료로서, 텅스텐 산화물은 활성 성분을 효과적으로 지원하고 높은 표면적, 화학적 안정성 및 표면 산성 사이트로 인해 촉매의 활성, 선택성 및 안정성을 향상시킬 수 있습니다. 화학 생산, 에너지 변환 및 환경 거버넌스의 다양한 촉매 반응에 널리 사용되어 산업 공정에 대한 효율적인 지원을 제공합니다.

지지되는 촉매 중, 텅스텐 산화물의 핵심 장점은 다공성 구조와 높은 분산 용량입니다. 비표면적은 일반적으로  $50 - 200\text{m}^2/\text{g}$ 이며, 귀금속 또는 전이금속 산화물과 같은 활성 성분에 대한 충분한 부착 부위를 제공하여 응집을 방지하고 활용도를 높입니다. 또한, 텅스텐 연구는 텅스텐 산화물의 루이스 산 및 브뢴스테드 산 부위가 활성과 시너지 효과를 발휘하여 알킬화, 이성질체화 및 탈수와 같은 산 촉매 반응을 촉진 할 수 있음을 보여주었습니다. 이 특성은 석유 화학 및 유기 합성에서 매우 인기가 있습니다.

산화 텅스텐의 열 안정성은 지지되는 촉매의 또 다른 하이라이트입니다. 그 구조는 고온(최대  $600\text{--}700^\circ\text{C}$ )에서 그대로 유지되며 가혹한 촉매 조건에 적합합니다. 예를 들어, 암모늄 메타 텅스텐 산염의 열 분해에 의해 제조 된 텅스텐 산화물 담체는 고온 수소 첨가 반응에서 우수한 소결 저항성을 나타낸다. 또한, 텅스텐 기술의 발전은 나노로드 또는 나노 시트 구조와 같은 지형 제어를 주도하여 촉매 특성을 더욱 향상시켰다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물은 종종 함침, 공동 침전 또는 용매 방법에 의해 활성 성분과 결합된다. 예를 들어, 텅스텐 산화물에 Pt 또는 Pd가 적재 된 촉매는 수소 탈황 (HDS) 반응에서 높은 전환율과 황 중독에 대한 내성을 나타냅니다. 이는 산화

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



텅스텐과 금속사이의 강한 상호 작용 때문이며, 이는 활성 부위를 안정화시키고 촉매 수명을 연장합니다. 또한, 텅스텐 분말의 산화에 의해 생성된 텅스텐 산화물 담체는 기계 상 촉매 반응에 적합한 높은 다공성으로 인해 가스 분자의 확산 효율을 크게 향상시킬 수 있습니다.

특정한 경우에, 산화 텅스텐 지지 촉매는 석유 정제에 널리 사용되어 왔습니다. 예를 들어, Ni / 텅스텐 산화물 촉매는 90 % 이상의 전환율로 탄화수소 균열에서 중유를 가벼운 분획으로 변환 할 수 있습니다. 또한, 텅스텐 데이터는 텅스텐 산화물 및 페로 볼프람에 의해 제조된 지지체가 메탄 건조 개질에서 탄소 증착에 대한 우수한 내성을 나타내며, 이는 표면 산도에 의한 탄소 증착 억제 때문이라는 것을 보여줍니다.

산화 텅스텐은 또한 환경 촉매 작용에서 중요한 응용 분야를 가지고 있습니다. 예를 들어, Pd / 텅스텐 산화물 촉매는 95 % 이상의 전환율로 휘발성 유기 화합물)의 산화시 톨루엔을 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O 로 완전히 전환 할 수 있습니다. 분무에 의해 텅스텐 필라멘트 기관에 생성된 텅스텐 산화물 담체의 높은 균질성은 활성 성분의 균일한 분포를 보장한다. 또한, 텅스텐 뉴스는 저온 활성을 개선하기 위해 텅스텐 구리와 혼합하는 것과 같이 NO<sub>x</sub>의 선택적 촉매 환원에 대한 잠재력이 나타나고 있다고보고합니다.

그러나, 담체로서 산화 텅스텐에 대한 몇 가지 도전 과제가 있습니다. 예를 들어, 과도하게 산성인 표면은 선택성을 감소시키는 부반응을 유발할 수 있습니다. 이를 위해 연구진은 세슘, 텅스텐 또는 알칼리 금속을 도핑하여 산성 부위의 강도와 분포를 조정하려고 했습니다. 또한, 비표면적은 장기간 고온에서 감소 될 수 있으며, 이황화 텅스텐과 혼합하거나 소성 조건을 최적화하여 기공 구조를 유지해야 합니다.

성능 최적화 측면에서, 텅스텐 산화물의 미세한 지형 설계가 중요합니다. 예를 들어, 템플릿 방법으로 제조된 산화 텅스텐 나노 튜브는 높은 다공성 및 방향성 채널로 인해 활성 성분의 분산 및 접근성을 크게 향상시킬 수 있습니다. 또한, 텅스텐 컴퍼니가 개발한 텅스텐 산화물 / 텅스텐 산염 복합 담체는 기계적 강도가 높고 고정층 반응기에 적합한 핫 프레스 공정으로 제조된다.

산화 텅스텐 지지 촉매의 제조 공정은 성능에 큰 영향을 미친다. 예를 들어, 텅스텐 히터에 의해 소성된 텅스텐 산화물 담체의 결정도 및 다공성은 고온 및 고압에서 촉매의 안정성을 보장하기 위해 정밀하게 제어 될 수 있습니다. 또한, 텅스텐 입자 산화에 의해 생성된 텅스텐 산화물은 유기 오염 물질의 분해를 위해 TiO<sub>2</sub>를 지원하는 것과 같은 광촉매 분야에서 응용되고 있으며, 그 시너지 효과는 광촉매 효율을 크게 향상시킵니다.

녹색 화학 분야에서, 텅스텐 산화물 지지 촉매는 지속 가능한 발전의 잠재력을 보여줍니다. 예를 들어, Cu / 텅스텐 산화물 촉매는 메탄올에 대한 CO<sub>2</sub> 수소화에서 높은 선택성 (>80 %)을 나타내어 탄소 포집 및 활용에 대한 새로운 접근 방식을



제공합니다.

산화 텅스텐은 원료가 풍부하고 생산 비용을 제어 할 수 있으며, 이는 대규모 적용의 토대를 마련합니다. 또한 텅스텐 시장에 대한 수요가 증가함에 따라 연구자들은 효율적인 산화 반응을 위해 텅스텐 산화물과 텅스텐 금의 조합과 같은 새로운 복합 담체를 탐색하게되었습니다.

실제 산업화에서는 산화 텅스텐 지지 촉매의 내구성이 핵심입니다. 바인더로서 텅스텐 플라스틱에 의해 제조 된 텅스텐 산화물 캐리어는 장기간 작동시 우수한 내마모성을 나타낸다. 또한, 텅스텐 산 전구체로부터 제조 된 텅스텐 산화물은 저온 합성 공정을 통해 더 많은 활성 부위를 유지하고 촉매 효율을 향상시킬 수 있습니다.

지지 촉매에 산화 텅스텐을 적용하는 것도 환경 친화적입니다. 생산 공정은 기존의 고독성 담체의 사용을 피하고 녹색 화학의 원칙을 따릅니다. 촉매 기술의 지속적인 발전으로 산화 텅스텐은 화학 산업, 에너지 및 환경 보호 분야에서 더 큰 역할을 할 것이며 효율적인 촉매 작용을위한 다양한 옵션을 제공 할 것입니다.

## 9.9 내화 직물 분야에서 텅스텐 산화물의 적용

산화 텅스텐 ( $WO_3$ )은 우수한 열 안정성과 화학적 불활성으로 인해 내화성 직물 분야에서 독보적 인 잠재력을 제공합니다. 전이 금속 산화물로서, 텅스텐 산화물은 고온에서 구조적 무결성을 유지하고 표면 특성을 통해 직물의 난연성을 향상시킬 수 있습니다. 산업 안전, 일상 생활 및 대중 교통에서 내화 재료에 대한 수요가 증가함에 따라 산화 텅스텐은 점차 기능성 첨가제 또는 코팅 재료로 주목을 받고 있습니다.

내화 직물에서 산화 텅스텐의 역할은 주로 높은 융점 ( $1473^{\circ}C$ )과 내 산화성에 반영되어 화재 조건에서 직물의 연소 속도를 늦출 수 있습니다. 또한, 텅스텐은 높은 표면적과 열전도율로 인해 나노 입자 형태로 열을 분산시키고 화염 전파를 억제하는데 효과적인 것으로 나타났습니다. 섬유 기관과 혼합되거나 코팅으로 사용되는지 여부에 관계없이 산화 텅스텐은 직물의 화재 성능을 향상시킵니다.

실제 적용에서, 텅스텐 산화물의 제조 과정은 그 효과에 결정적입니다. 예를 들어, 용매 합성에 의해 합성 된 산화 텅스텐 나노 입자는 직물 섬유에 균일하게 분산되는 반면, 화학 기상 증착 (CVD)에 의해 제조 된 박막은 표면 코팅에 적합합니다. 또한, 텅스텐 기술의 발전은 텅스텐의 변동하는 가격으로 인해 연구자들이 암모늄 파라 텅스텐 산염을 사용한 직접 제제와 같은 저비용 합성 경로를 탐색하도록 촉구하는 동안 유연한 직물에 대한 적용을 촉진했습니다.

### 9.9.1 산업 분야에서 텅스텐 산화물 내화 직물의 적용

내화성 직물에 대한 수요는 산업 부문, 특히 석유 화학, 야금 및 전력과 같은 고위험

산업에서 특히 심각합니다. 높은 온도 저항 및 난연성으로 인해, 산화 텅스텐 내화성 직물은 이러한 시나리오에서 보호 복, 작업복 또는 장비 덮개의 재료로 중요한 이점을 보여줍니다. 스파크와 고온으로부터 작업자를 보호할 뿐만 아니라 장비의 수명을 연장합니다.

산업 응용 분야에서, 텅스텐 산화물의 열 안정성은 핵심 장점입니다. 예를 들어, 제철소나 용접 공장에서 직물은 최대 1000° C의 순간 온도에 노출될 수 있습니다. 텅스텐 금속 기관의 산화에 의해 생성된 텅스텐 산화물 코팅의 내열성은 직물의 열 분해 속도를 크게 감소시킬 수 있습니다. 또한, 텅스텐 지식 연구는 텅스텐 산화물 나노 입자가 고온에서 조밀한 산화물 층을 형성하여 산소를 효과적으로 분리하고 연소를 억제 할 수 있음을 보여주었습니다.

산화 텅스텐 내화 직물의 제조는 일반적으로 아라미드 또는면과 같은 섬유와 혼합하여 이루어집니다. 예를 들어, 텅스텐 산화물 나노 입자를 섬유 표면에 함침시켜 텅스텐 분말을 산화시키면 직물의 제한 산소 지수 (LOI)가 증가하여 산업 표준 (예 : LOI > 28 %)을 충족하거나 초과 할 수 있습니다. 또한, 도핑된 몰리브덴과 같은 Tungsten Company 에서 개발한 컴파운딩 기술은 직물의 열충격 저항을 더욱 향상시킬 수 있습니다.

특정 시나리오에서, 텅스텐 산화물 내화 직물은 보호 복에 널리 사용됩니다. 예를 들어, 석유 굴착 장치에서 텅스텐 필라멘트 산화를 기반으로 한 산화 텅스텐 코팅 직물은 기름 화재에 저항 할 수 있으며, 열전도율은 국부적인 고온을 신속하게 분산시키고 화상을 피하는 데 도움이됩니다. 또한 텅스텐 뉴스는 전력 산업에서 케이블 포장재로 사용되어 아크로 인한 화재를 효과적으로 예방할 수 있다고보고했습니다.

그러나, 텅스텐 산화물은 또한 산업용 내화성 직물에 한계가 있습니다. 예를 들어, 그 무게는 직물에 가해지는 부담을 증가시키고 착용감에 영향을 줄 수 있습니다. 이를 위해 연구진은 경량 텅스텐 구리와 합성하거나 나노 입자의 크기를 최적화하여 무게를 줄이려고 노력했습니다. 또한 준비 비용이 많이 들며 대규모 생산을 통해 비용을 절감할 필요가 있습니다.

성능 최적화 측면에서, 텅스텐 산화물의 다층 구조 설계가 핵심입니다. 예를 들어, 텅스텐 바늘의 기관에 자란 텅스텐 산화물 나노 코팅은 높은 접착력으로 인해 반복적인 고온 노출 후에도 손상되지 않은 상태로 유지됩니다. 또한 텅스텐 데이터는 산성 또는 유성 환경에서 여전히 우수한 안정성을 가지고 있음을 보여 주어 석유 화학 산업에서 사용을 주도하고 있습니다. 산화 텅스텐 내화 직물은 또한 산업 응용 분야에서 지속 가능성 이점을 가지고 있습니다. 그 원료는 볼프람석에서 추출할 수 있으며 재활용 잠재력이 큼니다. 텅스텐 시장 수요의 성장에 따라 산업 안전 보호에 대한 위치가 더욱 향상되어 고위험 작업에 대한 신뢰할 수 있는 보장을 제공할 것입니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

### 9.9.2 일상 생활에서 산화 텅스텐 내화 직물의 적용

일상 생활 분야에서 내화 직물의 적용은 가정용 섬유, 의류 및 장식 재료를 다루며 산화 텅스텐 내화 직물은 난연성 및 안전성으로 인해 주목을 받고 있습니다. 가정의 화재 위험을 효과적으로 줄이고 특히 커튼, 카펫 및 침구와 같은 가연성 물질에 대한 생활 환경의 안전 계수를 향상시킬 수 있습니다.

일상적인 응용 분야에서 텅스텐 산화물의 난연성 메커니즘은 열 차폐 및 산소 분리 기능을 기반으로 합니다. 예를 들어, 화재의 초기 단계에서 코팅은 직물 표면에 보호층을 형성하여 화염의 확산을 늦출 수 있습니다. 텅스텐 전구체의 LOI 값은 텅스텐 산 전구체를 텅스텐 산화물의 나노 코팅에 분무하여 30 % 이상으로 증가시킬 수 있으며, 이는 가정용 섬유의 화재 방지 요구 사항을 충족시킬 수 있습니다. 또한 텅스텐에 대한 학술 연구는 텅스텐의 나노 입자가 열 복사의 일부를 흡수하고 직물의 발화점을 감소시킬 수 있음을 보여주었습니다.

산화 텅스텐 내화 직물의 준비는 편안함과 기능성을 고려해야 합니다. 예를 들어, 산화 텅스텐 나노 입자는 졸 - 젤 방법을 사용하여 면화 섬유에 내장되며, 이는 난연성 효과를 제공하면서 부드러움과 통기성을 유지합니다. 또한, 텅스텐 입자 산화에 의해 생성된 텅스텐 산화물 코팅은 열간 프레스 공정에 의해 커튼 직물에 부착되어 내구성을 향상시킬 수 있습니다.

특정 시나리오에서, 텅스텐 산화물 내화 직물은 가정 용품에 사용됩니다. 예를 들어, 텅스텐 히터 공정을 기반으로 한 산화 텅스텐 코팅 카펫은 담배 또는 스파크가 접촉하면 화재의 확산을 방지하기 위해 신속하게 자체 소화 될 수 있습니다. 또한 텅스텐 제품에 대한 연구에 따르면 텅스텐 제품을 아동용 잠옷에 사용하면 화상 위험을 크게 줄이고 엄격한 가정용 섬유 안전 기준을 충족할 수 있습니다.

그러나, 텅스텐 산화물은 또한 일상적인 내화성 직물에 문제를 제시합니다. 예를 들어, 색상 (보통 노란색 또는 파란색)은 직물의 미학에 영향을 줄 수 있으며 텅스텐 플라스틱과 혼합해야 합니다. 또한 잦은 세척을 수용할 수 있도록 세척성을 더욱 개선해야 하며, 연구자들은 표면 실란화를 통해 이 문제를 개선하려고 노력하고 있습니다.

성능 최적화 측면에서 산화 텅스텐의 미세 구조 설계가 중요합니다. 예를 들어, 산화 텅스텐 나노 섬유는 내화성과 부드러움을 결합한 전기 방사 기술을 통해 면직물과 결합됩니다. 또한 텅스텐에 대한 수요가 증가함에 따라 경제적인 코팅을 준비하기 위해 scheelite 원료를 사용하는 것과 같은 저비용 가정용 섬유에 대한 사용이 증가하고 있습니다.

일상 생활에서 산화 텅스텐 내화 직물의 적용은 또한 환경 보호 잠재력을 가지고 있습니다. 생산 공정은 친환경 가정용 섬유의 추세와 일치하는 전통적인 할로겐 난연제의 독성 문제를 피할 수 있습니다. 소비자의 안전 인식이 높아짐에 따라 산화

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



텅스텐은 일상적인 화재 예방 분야에서 자리를 차지할 것입니다.

### 9.9.3 대중 교통 분야에서의 산화 텅스텐 내화 직물의 적용

내화성 직물에 대한 수요는 비행기, 기차 및 자동차와 같은 차량에 실내 장식 및 좌석 재료가 사용되는 대중 교통 부문에서 특히 엄격합니다. 높은 난연성 및 내구성으로 인해, 산화 텅스텐 내화 직물은이 분야에서 안전 소재로 큰 잠재력을 보여줍니다. 화재 위험을 효과적으로 줄이고 승객의 생명을 보호할 수 있습니다.

대중 교통 응용 분야에서 텅스텐 산화물의 화재 성능은 고온에서의 안정성을 기반으로 합니다. 예를 들어, 항공기 좌석 직물의 경우 코팅은 단기간의 화염 노출시 탄화 층을 형성하여 화재의 확산을 방지합니다. 스프레이 방법으로 텅스텐 산염을 텅스텐 산화물로 변환하는 나노 코팅의 LOI 값은 항공 표준 (예 : FAR 25.853)을 충족하는 35 % 이상에 도달 할 수 있습니다. 또한 텅스텐 데이터는 고온 연도 가스 환경에서 낮은 독성 배출이 안전성을 더욱 향상시킨다는 것을 보여줍니다.

산화 텅스텐 내화 직물의 제조는 경량 및 내마모성을 고려해야 합니다. 예를 들어, 구형 텅스텐 분말 기관에 증착하여 생성 된 텅스텐 산화물 필름은 10 % 미만의 무게를 가진 폴리 에스테르 섬유에 부착 할 수 있으므로 항공기 내부에 적합합니다. 또한, 페로 - 텅스텐과 텅스텐 산화물의 복합 코팅은 내마모성이 높고 기차 좌석에 적합한 열간 압착 공정에 의해 제조됩니다. 특정 시나리오에서는 산화 텅스텐 내화 직물이 차량 내부에 사용됩니다. 예를 들어, 텅스텐 골드 기술을 기반으로 한 텅스텐 산화물 코팅 커튼은 고속철도의 발화원에 저항 할 수 있으며 열 차폐 효과는 실내 온도를 크게 낮춥니다.

그러나, 텅스텐 산화물은 또한 대중 교통을위한 내화 직물에 제한이 있습니다. 예를 들어, 강성은 직물의 부드러움에 영향을 줄 수 있으며, 이는 텅스텐 고무와 혼합하여 개선해야 합니다. 또한 극한의 습도에서 성능 안정성을 추가로 검증해야 하며 연구자들은 세습 텅스텐을 도핑하여 최적화하려고 했습니다.

성능 최적화 측면에서, 텅스텐 산화물의 다공성 구조 설계가 핵심입니다. 예를 들어, 텅스텐 산화물 나노 그리드는 가볍고 난연성이 높은 주형 방법에 의해 제조됩니다. 또한, 텅스텐 시장 수요의 성장은 저비용 코팅을위한 텅스텐 산 전구체의 사용과 같은 항공 우주 부문의 대규모 응용 프로그램을 주도하고 있습니다. 대중 교통에서 산화 텅스텐 내화 직물을 적용하는 것은 또한 규제 적응성을 가지고 있습니다. 국제 화재 방지 표준(예: IMO FTPC)을 준수하고 글로벌 운송 부문에서의 홍보를 촉진합니다. 안전 규정이 더욱 엄격해짐에 따라 산화 텅스텐은 대중 교통 안전에서 더 큰 역할을 할 것입니다.

### 9.10 농업 필름에 산화 텅스텐의 적용

다기능 전이 금속 산화물로서, 텅스텐 산화물 ( $WO_3$ )은 농업용 필름 (농업 필름이라고



합)의 제조 및 성능 최적화를 포함하여 독특한 물리적 및 화학적 특성으로 인해 많은 분야에서 광범위한 응용 잠재력을 보여주었습니다. 현대 농업에서 중요한 재료로서 농업용 필름은 주로 온실 멀칭, 플라스틱 필름 멀칭 및 작물 보호에 사용되며 그 성능은 작물의 성장 효율과 수확량에 직접적인 영향을 미칩니다. 글로벌 기후 변화와 자원 부족이 심화됨에 따라 고성능의 지속 가능한 농업 필름 개발이 농업 기술 연구의 초점이 되었습니다. 최근 몇 년 동안, 산화 텅스텐은 광 흡수 특성, 열 안정성 및 나노 기술 잠재력으로 인해 농업 필름에 적용하기 위해 주목을 받았습니다. 이 논문에서는 농업용 필름에서 산화 텅스텐의 메커니즘, 제조 방법, 성능 이점 및 실제 적용 전망에 대해 자세히 논의하고 과학적 데이터 및 산업 관행을 기반으로 그 잠재력과 과제를 종합적으로 분석합니다.

## 1. 텅스텐 산화물의 기본 특성은 농업용 필름의 요구와 일치합니다

산화 텅스텐은 우수한 광 흡수 용량 (특히 근적외선 영역, 700-2500 nm), 열전도율 (약  $1.6 \text{ W / m} \cdot \text{K}$ ) 및 화학적 안정성을 가진 넓은 밴드 갭 반도체 (밴드 갭 2.6-3.0 eV)입니다. 이러한 특성은 빛과 열을 조절하고 자외선을 차단하며 재료의 내구성을 향상시키는 데 자연적인 이점을 제공합니다. 농업용 필름의 주요 기능에는 보온, 조명 제어, 자외선 차단, 노화 방지 및 항균 등이 포함되며 산화 텅스텐의 특성은 이러한 요구와 매우 호환됩니다.

- 광 및 열 제어 농업용 필름은 작물의 필요에 따라 광 투과율 및 단열 성능을 조정해야 합니다. 산화 텅스텐은 근적외선 (NIR)을 강하게 흡수하여 이상적인 광열 변환 재료입니다. 예를 들어, 연구에 따르면 산화 텅스텐이 도핑 된 폴리에틸렌 (PE) 농업 필름은 적외선을 열로 변환하여 온실의 야간 온도를  $2-5^{\circ}\text{C}$  높이고 작물 성장주기를 연장 할 수 있습니다.
- 자외선(UV)은 작물 DNA 및 농업용 필름 재료에 유해합니다. 산화 텅스텐의 밴드 갭은 UV-B (280-315 nm) 및 UV-A (315-400 nm)의 일부를 흡수하여 작물을 보호하고 농업 필름의 노화를 지연시키는 데 효과적입니다. 실험에 따르면 50nm 두께의 산화 텅스텐 코팅은 UV 투과율을 약 95 %까지 감소시킬 수 있습니다.
- 항균 및 내구성있는 텅스텐 산화물의 광촉매 활성은 빛에 반응하여 활성 산소 종 (ROS)을 생성 할 수 있으며, 이는 항균 효과가 있으며 해충 및 질병의 확산을 감소시킵니다. 동시에 높은 경도(모스 규모에서 8.5-9)와 화학적 안정성은 농업용 필름의 내후성을 향상시키고 수명을 연장합니다.

이러한 특성은 산화 텅스텐이 농업 필름의 기능을 최적화 할뿐만 아니라 현대 농업의 지속 가능한 개발의 요구에 부합하는 환경 적응성을 향상시킬 수 있음을 보여줍니다.

## 2. 농업 필름에 산화 텅스텐의 제조 및 적용

산화 텅스텐은 일반적으로 나노 입자, 박막 또는 복합 물의 형태로 매트릭스 재료 (예 : 폴리에틸렌, 폴리 락트산 (PLA) 등)에 통합함으로써 농업 필름에 적용됩니다.

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

준비 방법의 선택은 성능과 비용에 직접적인 영향을 미칩니다.

- **나노 입자 도핑** 은 나노 스케일 텅스텐 산화물 (입자 크기 10-100 nm)을 고분자 매트릭스에 분산시켜 복합 농업 필름을 제조 할 수 있습니다. 일반적으로 사용되는 방법에는 용융 혼합과 용액 혼합이 포함됩니다. 예를 들어, 텅스텐 연구는 산화 텅스텐 나노 입자 (비 표면적 50-200 m<sup>2</sup> / g)를 PE 와 고속 교반으로 혼합함으로써 제조 된 농업용 필름이 근적외선 차폐율을 60 % 향상시키고 높은 가시 광선 투과율 (약 70 %)을 유지했다고보고합니다. 이 방법은 비용이 적게 들고 대규모 생산에 적합합니다.
- 박막 코팅은 두께(25-100nm) 및 구조를 정밀하게 제어하여 PVD(Physical Vapor Deposition) 또는 CVD(Chemical Vapor Deposition)를 통해 농업용 필름 표면에 증착됩니다. 예를 들어, PLA 기반 필름에 50nm 텅스텐 산화물 코팅의 산소 투과성 (OP)은  $0.46 \times 10^{-16} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{PA}$  이하에서는 기밀성이 크게 향상됩니다. 이 방법은 고급 농업용 필름에 적합하지만 장비 비용이 높습니다.
- 복합 기능성 재료는 산화 텅스텐을 TiO<sub>2</sub>, ZnO 또는 그래 핀과 같은 다른 재료와 결합하여 성능을 더욱 향상시킵니다. 예를 들어, 텅스텐 산화물 / TiO<sub>2</sub> 복합 코팅은 둘의 광촉매 활성을 결합하고 산화 텅스텐의 광열 효과를 유지하면서 99 % 이상의 억제율 (대장균에 대해)을 갖는다. 이 복합 형태는 기능성 농업용 필름에서 밝은 미래를 가지고 있습니다.

이러한 제조 방법에는 고유 한 장점과 단점이 있으며 농업용 필름 (예 : 온실 필름, 플라스틱 필름)의 특정 용도에 따라 적절한 프로세스를 선택해야 합니다. 나노 입자 도핑은 비용에 민감한 시나리오에 적합하고 박막 코팅은 고성능 요구 사항에 더 적합합니다.

### 3. 농업용 필름에서 산화 텅스텐의 성능 이점

농업 필름에 산화 텅스텐을 적용하면 여러 가지 주요 특성이 크게 향상되었으며 다음 데이터 및 사례 연구는 그 장점을 분석하는 데 사용됩니다.

- **절연 텅스텐 산화물의 스펙트럼 조작 및 국소 표면 플라즈몬 공명 (LSPR) 효과**는 근적외선 영역에서 높은 흡수율을 갖게합니다. 예를 들어, 1100 nm에서 세습 도핑 된 산화 텅스텐 나노 입자 도핑 된 농업 필름은 90 % 인 반면 가시 광선 투과율은 75 % 이상으로 유지되었습니다. 이러한 선택적 스펙트럼 조작은 광합성에 필요한 빛을 보장할 뿐만 아니라 특히 추운 지역에서 열 변환을 통해 야간 온도를 높입니다. 실험에 따르면 북부 겨울 온실에서 산화 텅스텐 농업 필름을 사용하는 온실의 온도는 일반 PE 필름보다 3-4 ° C 높습니다.
- **자외선 차단 및 노화 방지**  
텅스텐 산화물 UV 흡수 능력은 농업용 필름의 노화 속도를 크게 감소시킵니다. PLA / 텅스텐 산화물 복합 필름의 경우, UV-B 영역의 투과율은 90 %에서 5 %로 감소했으며, 6 개월 동안 옥외 노출 후 기계적 강도 (인장 강도)는 10 % 만 감소한 반면 순수 PLA 필름의 투과율은 40 % 이상 감소했다. 이 결과는 산화

텅스텐이 효과적으로 광산화 분해를 늦추고 농업 필름의 수명을 연장 할 수 있음을 나타냅니다.

- 나노 텅스텐 산화물은 빛 아래에서 ROS 의 생산을 촉매하고 박테리아 세포막을 파괴 할 수 있습니다. 이 연구는 2wt% 텅스텐 산화물을 함유한 PE 필름이 24 시간 이내에 대장균에 대해  $5 \log_{10}$  CFU/cm<sup>2</sup>의 사멸률을 보여 병원체 전파 위험을 크게 감소시키는 것으로 나타났습니다. 이것은 뿌리 덮개로 덮인 토양의 건강을 위해 특히 중요합니다.
- 산소 장벽 및 보존과일 및 채소 접착 필름에서 산화 텅스텐의 조밀 한 코팅은 산소 투과성을 감소시킵니다. 예를 들어, 50nm 두께의 산화 텅스텐 코팅은 PLA 멤브레인의 산소 투과성을 80 % 감소시키고 과일과 채소의 호흡을 지연시키며 유통 기한을 1-2 주 연장합니다.

#### 4. 실제 적용 사례 및 효과

농업 필름에 산화 텅스텐의 적용은 많은 시나리오에서 검증되었으며, 다음은 그 효과를 분석하기 위해 실제 사례와 결합된다.

- 온실 멀칭 필름중국 북서부에서 텅스텐 산화물 나노 입자가 도핑 된 PE 온실 필름을 사용하면 겨울에 온실 온도가 3.5 ° C 증가하고 토마토 수확량이 15 % 증가했습니다. 동시에 UV 차단 기능은 작물의 햇볕에 타는 속도를 줄이고 과일 품질을 향상시킵니다.
- 산화 텅스텐 / TiO<sub>2</sub> 복합 뿌리 덮개 필름은 토양 온도를 2 ° C 높이고 묘목 성장을 촉진하기 위해 중국 남부의 벼 심기에 사용되었습니다. 살균 효과는 뿌리 질환의 발병률을 감소시키고 벼 수확량을 약 10% 증가시켰습니다.
- 과일 및 야채 집착 필름수출 과일 포장에서, PLA / 산화 텅스텐 복합 필름은 딸기의 유통 기한을 20 일 (일반 필름은 12 일)으로 연장하고 부패율을 줄이며 시장에서 호평을 받고 있습니다.

이러한 사례는 산화 텅스텐이 실제 농업 생산, 특히 수율 및 품질 향상에서 농업 필름의 실용적인 가치를 크게 향상시킬 수 있음을 보여줍니다.

#### 5. 응용 프로그램의 과제 및 솔루션

산화 텅스텐은 농업용 필름에서 상당한 장점을 가지고 있지만, 그 응용 분야는 여전히 몇 가지 과제에 직면 해 있으며 해결해야 할 필요가 있습니다.

- 비용 문제 텅스텐 산화물 (예 : 나노 입자 또는 박막 증착)의 준비는 비용이 많이 들며 현재 시장 가격은 약 20-30 달러 / kg이며 일반 PE 농업 필름은 1-2 달러 / kg 에 불과합니다. 솔루션에는 생산 공정 최적화(예: 에너지 소비를 1kWh/kg 으로 줄이기 위한 극저온 열수 공정) 및 텅스텐 시장의 재활용 자원(예: 텅스텐 스크랩 와이어) 활용이 포함됩니다.
- 분산 및 호환성산화 텅스텐 나노 입자는 고분자 매트릭스에 응집되기 쉬워 필름의 균일 성에 영향을 미칩니다. 호환성은 표면 개질(예: 실란 커플링제) 또는 분산제(예: PVP)의 첨가에 의해 향상될 수 있으며, 실험에서 개질 후 분산이

50% 증가하는 것으로 나타났습니다.

- 환경 영향 나노 텅스텐 산화물의 잠재적 인 생태 독성을 평가해야 합니다. 연구에 따르면 토양 < 10mg/kg 에 축적되는 것은 미생물에 큰 영향을 미치지 않지만 장기간 사용은 모니터링해야 합니다. 생분해성 기질을 사용하면 캐리오버의 위험을 줄일 수 있습니다.

기술 개선 및 환경 평가를 통해 이러한 과제를 점진적으로 극복 할 수 있으며, 이는 텅스텐 산화물 농업용 필름의 광범위한 적용으로 이어질 수 있습니다.

## 6. 향후 개발 전망

농업 필름에 산화 텅스텐을 적용하는 것은 특히 다음과 같은 방향으로 광범위한 전망을 가지고 있습니다.

- 지능형 농업용 필름: 산화 텅스텐의 전기 변색 특성과 결합하여 광 투과율을 동적으로 조정할 수 있는 지능형 농업용 필름이 다양한 조명 조건에 적응하도록 개발되었습니다.
- 지속 가능성: 텅스텐의 스크랩 재활용 기술을 활용하여 비용을 절감하고 순환 경제를 달성하십시오.
- 다기능 통합: 감지 기술과 결합하여 온도 제어, 정균 및 모니터링을 통합하는 농업용 필름은 정밀 농업 수준을 향상시킬 준비가 되어 있습니다.

텅스텐 기술의 발전과 시장 수요의 성장에 따라, 텅스텐 산화물은 차세대 농업 필름의 핵심 재료가 될 것으로 예상되며 농업 현대화 과정을 촉진 할 것으로 예상됩니다.



CTIA GROUP LTD
Yellow Tungsten Trioxide (YTO, WO<sub>3</sub>) Product Introduction

### 1. Product Overview

CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide is produced by high-temperature calcination process of ammonium paratungstate, which meets the requirements of GB/T 3457-2013 "Tungsten Oxide" first-class product. WO<sub>3</sub> is widely used in the preparation of tungsten powder, cemented carbide, tungsten wire and ceramic colorants. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality yellow tungsten trioxide products to meet the needs of powder metallurgy and industrial manufacturing.

### 2. product characteristics

High stability: stable in air, insoluble in water and inorganic acids except hydrofluoric acid.  
 Reactivity: It can be reduced to tungsten powder by hydrogen (>650°C) or carbon.  
 Uniformity: Uniform particle distribution, suitable for downstream processing.

### 3. Product specifications

|                               |                                                                                                           |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| index                         | CTIA GROUP LTD yellow tungsten trioxide first-class product standard                                      |
| WO <sub>3</sub> content (wt%) | ≥99.95                                                                                                    |
| Impurities （ wt% , max. ）     | Fe≤0.0010, Mo≤0.0020, Si≤0.0010, Al≤0.0005, Ca≤0.0010, Mg≤0.0005, K≤0.0010, Na≤0.0010, S≤0.0005, P≤0.0005 |
| Particle size                 | 1-10（μm, FSSS）                                                                                            |
| Loose density                 | 2.0-2.5（g/cm <sup>3</sup> ）                                                                               |
| Customization                 | Particle size or impurity limits can be customized according to customer requirements                     |

### 4. Packaging and warranty

Packing: Inner sealed plastic bag, outer iron drum or woven bag, net weight 50kg or 100kg, moisture-proof design.  
 Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including WO<sub>3</sub> content, impurity analysis, particle size (FSSS method), loose density and moisture data.

### 5. Procurement information

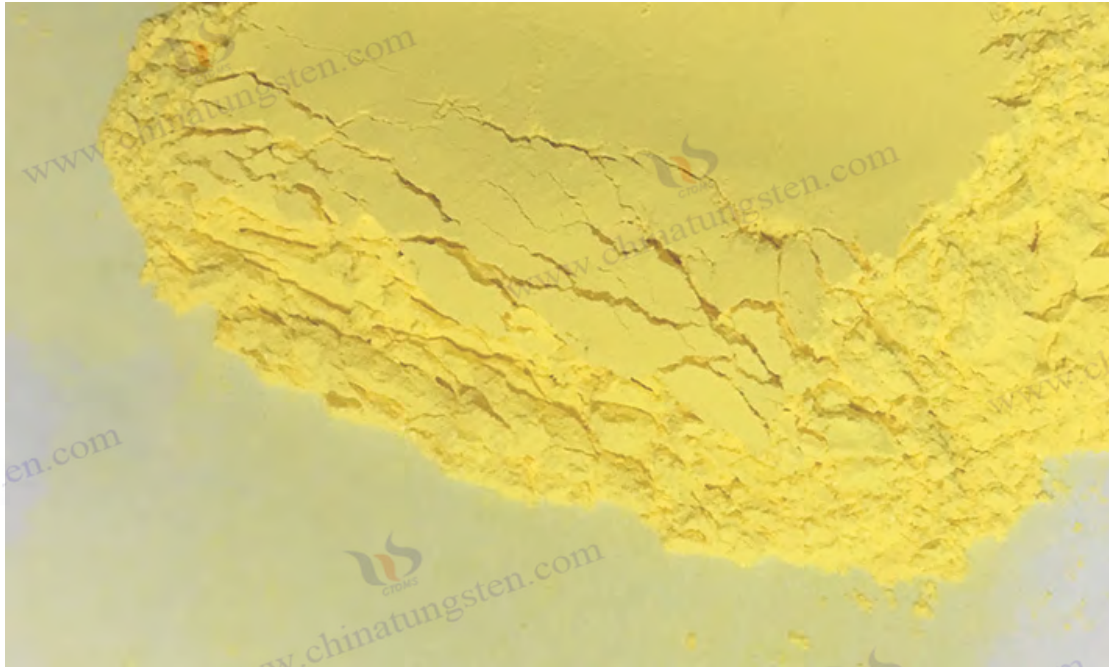
Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Phone: +86 592 5129696

For more [yellow tungsten oxide](http://www.tungsten-powder.com) information, please visit the China Tungsten online website [www.tungsten-powder.com](http://www.tungsten-powder.com). For more market and real-time information, please follow the WeChat public account "China Tungsten Online".



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



CTIA GROUP LTD 옐로우 텅스텐 산화물

## Chapter 10 : 텅스텐 산화물의 안전 및 환경 보호

산화 텅스텐 ( $WO_3$ )은 에너지, 환경, 전자 및 생물 의학 분야에서 우수한 성능을 발휘하는 널리 사용되는 재료입니다. 그러나 생산, 사용 및 폐기와 관련된 안전 및 환경 문제를 무시할 수 없습니다. 잠재적인 건강 위험에서 환경 영향에 이르기까지 산화 텅스텐의 안전성과 지속 가능성은 연구 및 산업화에 대한 중요한 고려 사항이 되었습니다. 이 장에서는 이러한 문제를 자세히 살펴보고 적절한 적용을 위한 지침을 제공합니다.

안전 및 환경 보호 분야에서 산화 텅스텐의 물리적 및 화학적 특성은 장점이자 도전입니다. 높은 안정성과 낮은 용해도는 독성의 위험을 일부 감소시키지만 나노 스케일 텅스텐 산화물은 높은 표면적과 잠재적인 생물학적 활성으로 인해 인간과 환경에 특정 영향을 미칠 수 있습니다. 또한 텅스텐 연구는 생산 공정의 에너지 소비 및 폐기물 배출도 녹색 화학 원칙을 준수하기 위해 최적화해야 한다는 것을 보여주었습니다. 실제 적용에서 산화 텅스텐의 안전 및 환경 관리는 과학적 평가 및 제어 조치에 의존합니다. 예를 들어, 텅스텐 기술의 합성 공정을 개선하여 부산물 배출을 줄일 수 있으며, 텅스텐 가격의 변동은 파라 텅스텐 산염 암모늄의 효율적인 변환과 같은 저비용의 환경 친화적인 생산 방법의 개발을 주도하고 있습니다.

### 10.1 텅스텐 산화물의 안전성

산화 텅스텐의 안전 문제는 주로 생산, 운송 및 사용 중 인체 건강에 대한 잠재적인 영향과 관련이 있습니다. 금속 산화물로서 안전성은 물리적 형태(예: 분말, 필름

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

또는 나노 입자), 노출 경로(흡입, 피부 접촉 또는 섭취) 및 용량과 밀접한 관련이 있습니다. 이러한 위험을 이해하고 적절한 예방 조치를 취하는 것이 안전한 응용 프로그램을 보장하는 데 중요합니다.

거시적 인 형태로 텅스텐 산화물은 일반적으로 노란색 또는 파란색 분말 형태로 존재하며, 화학적 안정성이 높고 인간에 대한 급성 독성이 낮습니다. 예를 들어, 텅스텐 금속의 열 산화에 의해 생성되는 산화 텅스텐 분말은 용해도가 매우 낮고 ( $<0.1 \text{ g / L}$ )이며 피부나 소화관을 통해 쉽게 흡수되지 않습니다. 그러나 텅스텐 지식 연구에 따르면 먼지 형태의 흡입은 특히 고농도 (예 : 생산 현장)에 노출 될 때 호흡기 자극을 유발할 수 있으며, 이는 경미한 폐 염증을 유발할 수 있습니다.

나노 스케일 텅스텐 산화물은 높은 표면적과 생물학적 활성으로 인해 더 복잡합니다. 예를 들어, 열수 방법으로 합성 된 산화 텅스텐 나노 입자 (입자 크기  $< 100 \text{ nm}$ )는 세포막을 관통하여 산화 스트레스 또는 염증 반응을 유발할 수 있습니다. 시험관 내 실험에 따르면 고용량 ( $>100 \mu \text{g/mL}$ )의 산화텅스텐 나노입자는 폐 세포(예: A549 세포)에 독성이 있으며 활성 산소 종(ROS)의 생성을 통해 세포사멸을 유도할 수 있습니다. 또한, 데이터에 따르면 혈액 내 장기 축적은 간과 신장 기능에 영향을 미칠 수 있지만, 현재의 생체 내 연구 데이터는 여전히 제한적입니다.

산업 환경에서 산화 텅스텐 안전 위험은 생산 공정과도 관련이 있습니다. 예를 들어, 텅스텐 분말이 산화되어 산화 텅스텐을 생성 할 때 먼지가 제대로 제어되지 않으면 작업자가 흡입 할 위험이 있습니다. 이를 위해 환기 및 개인 보호 장비(예: N95 마스크 및 장갑)를 사용하는 것이 좋습니다. 또한 텅스텐 회사는 직업적 노출 제한(예: OSHA 에서 정한  $5 \text{ mg/m}^3$ )을 준수하기 위해 운영 절차에서 공기 중 미립자 농도를 정기적으로 모니터링해야 합니다.

운송 및 저장 측면에서 산화 텅스텐은 불연성 및 비 폭발성 물질이며 비교적 안전합니다. 단, 포장이 훼손되어 분말이 누출되어 환경을 오염시키거나 흡입될 가능성이 있는 경우에는 경고가 있는 밀폐용기를 사용하십시오. 또한, 텅스텐 뉴스는 정전기 나 바람으로 인한 확산을 피하기 위해 나노 형태로 운송 할 때 특별한주의를 기울여야한다고보고했습니다.

나노 텅스텐 산화물의 생물학적 안전성을 위해 연구자들은 표면 개질을 통해 독성을 줄이려고 노력했습니다. 예를 들어, 텅스텐 플라스틱 또는 PEG 와 혼합 된 텅스텐 산화물 나노 입자는 세포 독성을 크게 감소시켰다. 또한 텅스텐 시장 수요의 성장은 저독성 합성 경로 개발(볼프람 공급 원료 사용)과 같은 안전성 평가의 개발을 주도하고 있습니다.

바이오 센서 또는 광열 요법과 같은 실제 응용 분야에서 산화 텅스텐의 안전성은 특정 응용 분야에 따라 평가해야 합니다. 예를 들어, 이식 가능한 장치의 산화 텅스텐은 장기적인 생체 적합성을 보장하고 면역 반응을 피해야 합니다. 연구에 따르면 독성은 중금속 산화물(예: CdO)보다 훨씬 낮지만 더 많은 임상 데이터가

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



여전히 필요합니다.

## 10.2 텅스텐 산화물의 환경 보호

산화 텅스텐의 환경 문제는 생산, 사용 및 폐기 단계에서 생태계에 미치는 영향을 다룹니다. 독성이 낮음에도 불구하고 생산 중 에너지 소비, 폐수 및 배기 가스 배출, 폐기 후 처리 방법은 환경에 부담이 될 수 있습니다. 이러한 문제를 해결하는 것은 지속 가능한 적용을 달성하는 데 필수적입니다.

생산 단계에서 산화 텅스텐의 제조는 일반적으로 고온 로스팅 또는 화학 반응을 포함합니다. 예를 들어, 텅스텐 산화물을 생산하기 위해 텅스텐 산을 열분해하려면 많은 양의 에너지 (약 500-800 ° C)와 CO<sub>2</sub> 배출이 필요합니다. 또한, 텅스텐 학자는 HCl 또는 NaOH와 같은 산성 용매를 사용하여 텅스텐 산화물을 추출하면 텅스텐 함유 폐수가 생성 될 수 있으며, 이는 처리하지 않고 직접 배출 할 경우 토양 및 수질 오염으로 이어질 수 있다고 지적했다. 연구에 따르면 10mg/L 이상의 텅스텐 농도는 어류와 같은 수생 생물에 유독할 수 있습니다.

나노 텅스텐 산화물 생산의 환경 영향은 훨씬 더 중요합니다. 예를 들어, 용매 열 공정에 의해 합성 된 산화 텅스텐 나노 입자는 공정에서 유기 용매 (예 : 에탄올 또는 DMF)를 사용할 수 있으며, 이는 회수되지 않으면 대기 중으로 휘발되거나 수계로 유입 될 수 있습니다. 또한, 텅스텐 입자가 산화되어 나노 텅스텐 산화물을 형성 할 때 먼지가 제대로 제어되지 않으면 바람과 함께 퍼져 공기 질에 영향을 줄 수 있습니다.

사용 단계에서 산화 텅스텐은 화학적으로 안정하고 쉽게 용해되거나 분해되지 않기 때문에 환경에 미치는 영향이 적습니다. 예를 들어, 촉매 담체 또는 난연성 코팅으로 사용 중 유해 물질을 거의 방출하지 않습니다. 그러나 산화 텅스텐 나노 입자가 환경으로 방출되면 (예 : 마모 또는 세척을 통해) 토양이나 수역에 들어갈 수 있으며 장기간 축적되면 생태 균형이 방해 될 수 있습니다. 연구에 따르면 토양에 침착하여 미생물 활동에 영향을 미칠 수 있지만 특정 메커니즘에 대해서는 더 많은 연구가 필요합니다.

폐기 단계는 산화 텅스텐 환경 보호 문제의 초점입니다. 재활용 및 매립되지 않으면 텅스텐 자원이 낭비되고 나노 입자가 침출수와 함께 이동할 수 있습니다. 예를 들어, 텅스텐 필라멘트 산화에 의해 생성 된 텅스텐 산화물 코팅은 벗겨지면 폐기물과 함께 환경에 유입 될 수 있습니다. 이를 위해 텅스텐 제품 연구는 텅스텐이 산 침출 또는 고온 감소를 통해 회수 될 수 있음을 시사하며, 예를 들어 폐기물 텅스텐 산화물을 텅스텐 구리로 변환하여 재활용을 달성 할 수 있습니다.

환경 최적화 측면에서 텅스텐 산화물의 녹색 생산이 핵심입니다. 예를 들어, 텅스텐 히터를 사용한 저온 합성은 에너지 소비를 줄일 수 있는 반면 폐수의 텅스텐은 침전에 의해 회수될 수 있습니다.

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



산화 텅스텐의 환경 보호는 여전히 정책 지원이 필요합니다. 예를 들어, 배출 기준과 재활용 기준을 설정하면 생태 발자국을 효과적으로 줄일 수 있습니다. 텅스텐에 대한 수요가 증가함에 따라 scheelite 에서 직접 추출하는 것과 같은 환경 친화적 인 공정이 트렌드가 될 것입니다.

### 10.3 텅스텐 산화물에 대한 안전 데이터 시트 (MSDS)

안전 데이터 시트 (MSDS)는 텅스텐 산화물의 생산, 운송 및 사용에 대한 표준화 된 안전 정보를 제공하는 화학 안전 관리를위한 중요한 문서입니다. 다음은 운영자 및 관련 당사자가 위험과 보호 조치를 이해할 수 있도록하기 위해 그 성격 및 국제 관행에 따라 산화 텅스텐에 대한 MSDS 의 주요 내용의 세부 목록입니다.

#### 1. 화학 라벨링

- 명칭 : Tungsten Trioxide,  $WO_3$ )
- CAS 번호 : 1314-35-8
- 외관 : 노란색 또는 파란색 분말, 나노 크기의 미세 입자.

#### 2. 위험 개요

- 건강 위험: 흡입하면 호흡기 자극을 유발할 수 있으며 고농도의 먼지에 장기간 노출되면 폐에 불편함을 유발할 수 있습니다. 텅스텐 나노 산화물은 잠재적으로 세포 독성을 가질 수 있습니다.
- 환경적 위험: 물이나 토양에 들어가면 생태계에 영향을 미칠 수 있으므로 피해야 합니다.
- 물리적 위험: 불연성 및 비폭발성이지만 먼지는 약간의 화재 위험을 초래할 수 있습니다.

#### 3. 작곡/작곡 정보

- 순도 : >99 % (산업용 또는 나노 스케일).
- 불순물: 미량의 텅스텐 산염 또는 미반응 텅스텐 금속을 포함할 수 있습니다.

#### 4. 응급 처치 방법

- 흡입: 호흡 곤란이 있는 경우 환기가 잘 되는 곳으로 이동하고 즉시 의사의 진료를 받으십시오.
- 피부 접촉: 비눗물로 씻고 오염된 의복을 벗으십시오.
- 눈 접촉: 다량의 물로 최소 15 분 동안 행구고 자극이 지속되면 의사의 진료를 받으십시오.
- 섭취: 입을 행구고 물로 희석하고 필요한 경우 의사의 진료를 받으십시오.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 5. 화재 예방 대책

- 소화 방법: 불연성의 건조 분말 또는 모래를 사용하되 먼지가 날아다니는 것은 피하십시오.
- 특수 위험 : 산화 텅스텐 흡은 고온에서 방출 될 수 있습니다.

## 6. 누출의 응급 처치

- 방법: 진공 청소기 또는 습식 방법으로 청소하여 비산 먼지를 방지하고 밀봉된 용기에 모읍니다.
- 보호: 방진 마스크와 장갑을 착용하십시오.

## 7. 취급 및 보관

- 작동: 먼지 발생을 피하고 국소 환기 장비를 사용하고 보호 장비를 착용하십시오.
- 저장: 밀폐 용기에 산과 강한 산화제가 없는 서늘하고 건조한 곳에 보관하십시오.

## 8. 노출 통제/개인 보호

- 노출 한계: OSHA PEL 은  $5\text{mg}/\text{m}^3$  (텅스텐 중)입니다.
- 보호 장비: 필요한 경우 N95 마스크, 보호 안경, 장갑 및 방진복.

## 9. 물리 화학적 성질

- 융점 :  $1473\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 밀도 :  $7.16\text{g}/\text{cm}^3$ ; 용해도 : 물에 약간 용해 됨 ( $<0.1\text{ g / L}$ ).
- 안정성 : 화학적으로 안정하고 분해하기 쉽지 않습니다.

## 10. 독성 정보

- 급성 독성 : LD50 (쥐, 경구)  $> 2000\text{ mg / kg}$ , 낮은 독성.
- 만성 영향: 장기간 흡입은 폐 자극을 유발할 수 있으며 세포 독성은 나노 규모에서 우려해야 합니다.

## 11. 생태 정보

- 생태독성: 수생 생물에 대한 독성은 낮지만 고농도( $>10\text{mg/L}$ )는 해로울 수 있습니다.
- 지속성: 쉽게 생분해되지 않으며 환경에 축적될 수 있습니다.

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 12. 폐기

- 방법: 직접 배출을 피하기 위해 현지 규정에 따라 재활용 또는 매립의 우선 순위를 지정합니다.
- 참고 : 먼지가 퍼지는 것을 방지하려면 밀폐 포장을 사용하십시오.

## 13. 배송 정보

- 분류: 위험하지 않은 상품이지만 방습 및 누출 방지 포장이 필요합니다.
- 운송 요구 사항 : "산화 텅스텐"으로 표시되고 보호 제안이 표시됩니다.

## 14. 규제 정보

- OSHA, REACH 및 기타 규정을 준수하기 때문에 나노 단위 위험은 응용 분야에 따라 추가로 평가해야 합니다.

## 15. 기타 정보

- 준비 날짜: 2025 년 3 월 29 일(현재 날짜로 가정).
- 참고: MSDS 는 정보가 최신 연구와 일치하도록 정기적으로 업데이트됩니다.

MSDS, 텅스텐 산화물 을 따르면 잠재적 인 위험을 줄이기 위해 안전 관리를 표준화 할 수 있습니다. 또한 텅스텐 회사는 다양한 분야에서 안전한 사용을 보장하기 위해 특정 응용 분야 (예 : 텅스텐 바늘 기본 코팅)에 대한 특정 안전 권장 사항을 보완 할 수 있습니다.



CTIA GROUP LTD 옐로우 텅스텐 산화물

## 장 11 : 텅스텐 산화물에 대한 국내 및 외국 표준

중요한 산업 원료 및 기능성 재료 인 산화 텅스텐 ( $WO_3$ )은 전 세계적으로 초경합금 생산, 촉매, 전자 장치 및 광학 디스플레이에 널리 사용됩니다. 품질, 성능 및 안전성을 보장하기 위해 국내외에서 일련의 표준이 공식화되었습니다. 이 표준은 텅스텐 산화물의 화학적 조성, 물리적 특성, 생산 공정 및 테스트 방법을 표준화하고 생산, 무역 및 적용에 대한 통일 된 기반을 제공합니다. 이 장에서는 산화 텅스텐에 대한 중국 국내 및 국제 표준 간의 요구 사항과 차이점에 대해 설명합니다.

표준화 과정에서 순도, 입자 크기 및 형태와 같은 산화 텅스텐의 특성이주의의 초점입니다. 국가는 자국의 산업 요구와 기술 수준에 따라 표준을 공식화하며, 그 중 세계 최대의 텅스텐 생산국인 중국은 비교적 완전한 표준 시스템을 보유하고 있으며 국제 표준은 세계 무역의 보편성에 더 많은 관심을 기울이고 있습니다. 또한, 텅스텐 연구는 환경 보호 및 안전 요인이 현대 지속 가능한 개발의 요구 사항을 충족하기 위해 표준의 공식화에 고려되어야 한다는 것을 보여주었다.

실제로, 텅스텐 산화물 표준의 구현은 테스트 기술 및 생산 기술의 발전에 달려 있습니다. 예를 들어, 텅스텐 기술의 최적화는 표준을 충족하도록 제품 품질을 향상시킬 수 있으며, 텅스텐 가격의 변동은 파라 텅스텐 산염 암모늄에서 텅스텐 산화물의 효율적인 생산과 같은 저비용 준수 공정의 개발을 주도하고 있습니다.

### 11.1 중국 국가 표준

세계 최대의 텅스텐 매장량 및 생산량을 보유한 국가로서 중국은 텅스텐 산화물의

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



생산 및 적용에 대한 깊은 기반을 가지고 있으며 국가 표준 시스템은 제품 품질을 보장하고 산업 발전을 촉진하는 데 중요한 역할을 했습니다. 중국 국가 표준 (GB / T)에는 주로 비철금속 표준화를 위한 국가 기술위원회 (TC243)에서 공식화하고 관리하는 산화 텅스텐의 분류, 품질 요구 사항 및 테스트 방법에 대한 자세한 규정이 있습니다.

## 주요 표준 : GB / T 3457-2013 "텅스텐 산화물"

중국의 주요 표준은 GB / T 3457-2013 "텅스텐 산화물"이며, 이는 1998 년 판 (GB / T 3457-1998)의 개정판이며 2013 년에 발행 및 시행되었습니다. 그것은 텅스텐 산화물을 텅스텐 삼산화물 (황색 텅스텐,  $WO_3$ )과 청색 텅스텐 산화물 (청색 텅스텐,  $W_{20}O_{58}$ )의 두 가지 유형으로 나누며, 이는 다양한 산업 용도에 적합합니다.

### • 분류 & 사양

- 황색 텅스텐 ( $WO_3$ ) : 고순도 요구 사항을 가진 밝은 노란색 결정성 분말로 주로 텅스텐 금속 분말 및 초경합금 생산에 사용됩니다. 이 표준은 텅스텐 함량 ( $WO_3$ )이 99.9 % (1 급 제품) 이상이며 불순물 (예 : Fe, Mo, S 등)의 함량에 대한 엄격한 제한이 있다고 규정하고 있습니다. 예를 들어, 철(Fe) 함량은 0.001%를 초과해서는 안 됩니다.
- 블루 텅스텐 ( $W_{20}O_{58}$ ) : 진한 파란색 또는 청색 - 검정색 결정 성 분말은 텅스텐 화합물의 혼합 산화 상태이며 텅스텐 분말을 제조하기 위한 환원에 자주 사용됩니다. 이 표준은 98.5 % 이상의 텅스텐 함량을 요구하며 산소 지수 및 입자 크기 분포에 대한 특정 조항이 있습니다.
- 물리적 특성, 표준 쌍, 텅스텐 산화물, 입자 크기, 느슨한 밀도 및 형태가 표준화되었습니다. 예를 들어, 황색 텅스텐의 평균 입자 크기는 5-25  $\mu m$ 로 제어되어야 하며 느슨한 밀도는 1.5-3.0  $g / cm^3$ 로 후속 가공에 대한 적합성을 보장해야 합니다. 또한, 텅스텐 분말, 산화에 의해 생성 된 텅스텐 산화물은 입자 크기의 균일 성을 보장하기 위해 체질 테스트를 통과해야 합니다.
- 화학 성분 GB/T 3457-2013에는 불순물 한계에 대한 자세한 표가 나열되어 있습니다. 예를 들어, 노란색 텅스텐의 비소 (As) 함량은 0.0005 %를 초과해서는 안되며 인 (P)은 0.001 %를 초과해서는 안 됩니다. 이러한 요구 사항은 특히 전자 재료와 같은 고급 응용 분야에서 중국의 고순도 텅스텐 산화물에 대한 수요를 반영합니다.
- 테스트 방법 표준은 화학 분석 및 물리적 테스트의 특정 방법을 지정합니다. 예를 들어, 텅스텐 함량은 중량 측정 및 분광 광도법에 의해 결정되며, 부정 원소는 텅스텐 필라멘트 유도 결합 플라즈마 발광 분광법 (ICP-OES)에 의해 분석됩니다. 또한 레이저 입자 크기 분석기로 입자 크기 분포를 측정하여 정확하고 재현 가능한 결과를 보장할 수 있습니다.

### 기타 관련 표준

- GB / T 4196-2011 "텅스텐 산": 고순도 텅스텐 산화물의 제조에 자주 사용되기

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

때문에 텅스텐 산화물의 전구체로서 텅스텐 산의 품질 요구 사항을 지정합니다.

- GB / T 26038-2010 "텅스텐 분말의 기술 조건": 텅스텐 산화물의 주요 원료이기 때문에 간접적으로 텅스텐 산화물을 포함하며, 표준 요구 사항은 텅스텐 산화물의 순도와 밀접한 관련이 있습니다.

**특성 및 응용 프로그램** : 중국 국가 표준은 초경합금 및 텅스텐 제품 생산에서 텅스텐 산화물의 품질 관리에 특히 중점을 두어 산업 실용성에 중점을 둡니다. 예를 들어, 과 같은 텅스텐 회사는 제품이 국내외 시장의 요구를 충족하는지 확인하기 위해 생산에서 GB/T 3457-2013 을 엄격히 준수합니다. 또한 텅스텐 뉴스 는 중국 표준의 개정이 생산에서 산성 폐수 배출을 줄이는 것과 같은 환경 보호 요구 사항도 고려한다고 보고했습니다.

**개발 동향** : 나노 기술의 발전으로 중국은 나노 텅스텐 산화물에 대한 표준을 공식화하고 있습니다. 예를 들어, 광촉매 분야에서 산화 텅스텐의 잠재력으로 인해 입자 크기 분포 (<100 nm) 및 비 표면적의 검출을 추가해야 합니다. 또한 텅스텐 시장의 세계화는 국제 표준에 부합하기 위한 노력을 주도했습니다.

## 11.2 국제 표준

국제 표준은 주로 국제 표준화기구 (ISO) 및 기타 권위있는 기관에서 개발 한 산화 텅스텐의 글로벌 무역 및 적용을 위한 통일 된 틀을 제공합니다. 이러한 표준은 일반적으로 보다 일반적이며, 여러 국가의 산업 요구 사항 및 규제 요구 사항에 맞게 국가 간 일관성 및 기술 호환성에 중점을 둡니다.

### 주요 표준 : 텅스텐 화합물에 대한 ISO 10477-1 일반 사양

ISO 에는 텅스텐 산화물에 대한 독립 표준이 없지만 텅스텐 산업 및 텅스텐 분말과 같은 관련 화합물은 텅스텐 화합물에 대한 ISO 10477-1 일반 사양에서 간접적으로 다룹니다. 이 표준은 ISO / TC 119 (분말 야금 기술위원회)에 의해 개발되었으며 텅스텐 산화물을 포함한 텅스텐 기반 재료에 적용됩니다.

- 분류 및 사양 ISO 10477-1 은 텅스텐 산화물을 텅스텐 분말 생산을 위한 전구체 물질로 간주하며, 이는 산업용 등급 및 고순도 등급으로 분류됩니다. 산업 등급 W0 의 함량 요구 사항은  $\geq 98\%$ , 고순도 등급  $\geq 99.95\%$ 이며 불순물 한계(예:  $\text{Fe} \leq 0.005\%$ )는 중국 표준보다 약간 넓어 국제 무역에서 비용과 적용 가능성 사이의 균형을 반영합니다.
- 물리적 특성 표준은 텅스텐 산화물의 유연한 입자 크기 (일반적으로 1-50  $\mu\text{m}$ )와 1.0-3.5 g /  $\text{cm}^3$  의 벌크 밀도를 필요로 하며, 이는 응용 프로그램에 따라 조정할 수 있습니다. 또한, 텅스텐 바늘 기관의 산화에 의해 생성 된 텅스텐 산화막은 광학적 선명도 및 균일 성의 요구 사항을 충족시켜야 합니다.
- 검출 방법 ISO 표준은 X 선 형광 분광법(XRF)과 같은 국제적으로 인정되는

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

분석 방법을 사용하여 화학적 조성을 결정하고 레이저 회절을 사용하여 입자 크기를 결정합니다. 이러한 방법은 텅스텐 아카데미의 최신 기술과 일치하여 결과의 글로벌 비교 가능성을 보장합니다.

## 기타 국제 규범

- 텅스텐 재료에 대한 ASTM B771-11 시험 방법 : 텅스텐 산화물의 순도 및 물리적 특성을 테스트하기 위해 ASTM에서 개발 한 표준입니다. 예를 들어, 산소 함량은 텅스텐 히터의 감소에 의해 테스트됩니다.
- JIS H 1403 "텅스텐 분말 및 텅스텐 산화물 분석 방법": 일본 산업 표준 (JIS)에는 고순도 응용 분야 (예 : 반도체)를 강조하여 산화 텅스텐의 화학 분석에 대한 자세한 규정이 있습니다.

## 특징 & 응용:

국제 표준은 공통성과 호환성에 더 중점을 둡니다. 예를 들어, ISO 표준은 다양한 산업 용도에 대한 불순물 제한이 느슨한 반면, ASTM 및 JIS 표준은 텅스텐-금 복합재 생산과 같은 고급 응용 분야에 편향되어 있습니다.

## 중국 표준과의 차이점

- **순도 요구 사항** : 노란색 텅스텐 ( $\geq 99.9\%$ )에 대한 중국 표준의 순도 요구 사항은 ISO 산업 등급 ( $\geq 98\%$ )보다 높으며 고급 텅스텐 제품 분야에서 중국의 선도적인 위치를 반영합니다.
- **검출 방법**: 국제 표준은 보다 자동화된 기기(예: XRF)를 사용하는 반면, 중국 표준은 다양한 기술 수준의 실험실에 적합한 전통적인 화학적 방법(예: 중량 측정법)을 고려합니다.
- **환경 고려 사항**, 국제 표준은 ISO 14001, 산화 텅스텐, 수명주기의 환경 영향 평가가 필요하고, 중국 표준은 이와 관련하여 여전히 개선되고 있습니다.

## 동향

광전자 공학 및 생물 의학 분야에서 나노 텅스텐 산화물이 부상함에 따라 국제 표준은 나노 물질의 특성에 더 가까워지고 있습니다. 예를 들어, ISO/TC 229(Nanotechnology Council)는 특정 표면적 및 독성 테스트 요구 사항을 추가할 계획입니다. 또한 텅스텐 시장의 세계화는 중국 GB / T 표준 및 ISO 표준의 점진적 통합과 같은 표준의 통일을 촉진했습니다.

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서





CTIA GROUP LTD  $WO_3$

## 장 12 : 텅스텐 산화물 사실 및 수치

중요한 산업 재료 및 기능성 화합물 인 산화 텅스텐 ( $WO_3$ )은 독특한 물리적 및 화학적 특성으로 인해 많은 분야에서 광범위한 응용 분야를 보여주었습니다. 이 장의 목적은 물리적 및 화학적 특성, 생산 매개 변수 및 응용 기술 지표를 포함하여 산화 텅스텐의 기본 사실과 세부 데이터를 체계적으로 분류하고 연구원, 엔지니어 및 업계 실무자에게 포괄적인 참고 자료를 제공하는 것입니다. 데이터의 정확성은 최신 과학 문헌 및 산업 관행을 기반으로 하며 콘텐츠의 권위와 유용성을 보장합니다.

사실과 수치를 대조 할 때, 텅스텐 산화물의 다양성이 중심 초점입니다. 높은 안정성, 반도체 특성 및 광학 특성으로 인해 에너지, 전자 및 촉매 분야에서 관심의 원천이 되었습니다. 또한, 텅스텐 연구의 발전은 데이터 시스템을 풍부하게 계속하고 텅스텐 기술의 최적화는 생산 및 적용의 정밀도를 촉진합니다. 텅스텐 가격의 변동성은 또한 시장 수요를 반영하여 데이터 분석을 위한 경제적 배경을 제공합니다.

### 12.1 텅스텐 산화물의 주요 사실은 무엇입니까?

텅스텐 화합물 계열의 중요한 구성원으로서 산화 텅스텐의 기본 사실은 화학 성분, 물리적 형태, 역사적 배경 및 산업 용도를 다룹니다. 다음은 그 본질에 대한 포괄적인 이해를 제공하기 위한 산화 텅스텐에 대한 주요 사실입니다.

- 산화 텅스텐의 화학적 조성 및 구조는 주로 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ )의 형태로 존재하며 분자량은  $231.84g / mol$  이며 1 개의 텅스텐 원자와 3 개의 산소 원자로 구성됩니다. 그것의 결정 구조는 단사정, 사방정계 및 입방을

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



포함하여 다양하며 단사정은 실온에서 가장 안정적입니다. 또한, 청색 텅스텐 산화물 ( $W_{20}O_{58}$ ) 및 황색 텅스텐 산화물은 변형체로 특정 응용 분야에서 일반적입니다. 블루 텅스텐 산화물은  $W^{5+}$  및  $W^{6+}$  부분을 포함하는 비 화학 양론적 혼합 산화물입니다.

- 산화 텅스텐의 물리적 형태는 일반적으로 분말 또는 박막의 형태로 제공됩니다. 산업 등급의 노란색 텅스텐은 밝은 노란색 결정 성 분말이고 나노 등급은 미세 입자 (<100 nm)입니다. 블루 텅스텐 산화물은 약간 더 큰 입자 크기를 가진 진한 파란색 또는 청색 - 검정색 분말입니다. 박막 형태학은 대부분 광학 및 전자 응용 분야를 위한 증착 기술에 의해 준비됩니다.
- 텅스텐의 발견과 역사는 1781 년 스웨덴 화학자 칼 빌헬름 셰러에 의해 처음 발견되었으며, 텅스텐 산화물은 19 세기 초에 산업적으로 생산되기 시작했습니다. 초기에는 텅스텐 산의 열 분해에 의해 제조되었으며 안료 및 세라믹 산업에서 사용되었습니다. 오늘날 생산 공정은 텅스텐 금속 산화 또는 볼프 램 석과 같은 광석에서 파생되도록 발전했습니다.
- 산화 텅스텐의 주요 공급원은 주로 스킨라이트 ( $CaWO_4$ ) 및 울프람마이트 ( $FeMnWO_4$ )를 포함한 텅스텐 광석입니다. 중국은 세계 최대의 텅스텐 생산국으로 러시아, 캐나다, 호주와 함께 세계 생산량의 약 80%를 차지합니다. 또한 재활용 텅스텐 분말 또는 스크랩(예: 텅스텐 필라멘트)도 중요한 공급원입니다.
- 산업용 텅스텐 산화물은 텅스텐 구리 및 초경합금과 같은 텅스텐 제품 생산의 핵심 중간체입니다. 에너지 부문에서는 리튬 이온 배터리 및 광촉매에 사용됩니다. 전자 분야에서는 전계 효과 트랜지스터 및 메모리에 사용됩니다. 환경 분야에서는 촉매 및 난연성 직물에 사용됩니다. 또한 텅스텐 회사는 스마트 윈도우와 같은 전기 변색 장치에 적용합니다.
- 안전 및 환경 보호산화 텅스텐은 급성 독성 ( $LD_{50} > 2000 \text{ mg / kg}$ , 쥐 경구)이 낮지 만 먼지 흡입은 호흡기 자극을 유발할 수 있습니다. 나노 스케일 텅스텐 산화물은 잠재적 인 세포 독성으로 인해 특히 우려됩니다. 환경 보호 측면에서 생산 에너지 소비가 높고(예: 로스팅의 경우  $500-800^{\circ} \text{C}$ ) 폐수 배출을 엄격하게 통제해야 합니다.
- 시장 및 경제텅스텐 뉴스에 따르면 글로벌 텅스텐 산화물 시장은 연간 약 5-70,000 톤의 수요를 가지고 있으며, 이는 주로 초경합금 및 전자 산업에 의해 주도됩니다. 중국은 공급을 지배하고 있으며, 2025 년에는 가격이 kg 당 20-20-30 달러로 변동할 것으로 예상되며, 이는 공급-수요 균형과 생산 비용을 반영합니다.
- 기술 진보 텅스텐 산화물의 나노 형질전환은 광열 요법을 위해 텅스텐 입자의 산화에 의해 생성 된 나노 입자와 같은 최근 몇 년 동안 연구 핫스팟이었습니다. 또한, 텅스텐 시장의 세계화는 유연성을 향상시키기 위해 텅스텐 플라스틱과 혼합하는 것과 같은 새로운 에너지 및 스마트 재료에 대한 적용을 촉진했습니다.

이러한 사실은 과학 및 산업에서 산화 텅스텐을 확립했으며, 그 다양성과 발전

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

잠재력으로 인해 학제 간 연구의 핵심 대상이되었습니다.

## 12.2 텅스텐 산화물의 모든 데이터 (물리 화학적 특성, 생산 및 응용 기술 매개 변수)

아래는 텅스텐 산화물의 포괄적 인 데이터로, 물리 화학적 특성, 생산 기술 매개 변수 및 응용 프로그램의 주요 지표를 다룹니다. 데이터는 최신 연구 및 산업 표준(예: GB/T 3457-2013 및 ISO 10477-1)을 기반으로 하며 실제 애플리케이션 시나리오와 함께 구성됩니다.

### 물리화학적 특성

- 분자식 :  $WO_3$  (주로 삼산화 텅스텐, 청색 산화 텅스텐은  $W_{20}O_{58}$ 입니다).
- 분자량 : 231.84 g / mol
- 외관 : 노란색 텅스텐은 밝은 노란색 분말, 파란색 텅스텐은 진한 파란색 분말, 나노 수준은 미세 입자입니다.
- 결정 구조: 단사정(실온에서 안정, 공간 그룹  $P2_1/n$ ), 사방정계(고온 상), 입방체 결정(나노 형태에서 일반적).
- 융점 : 1473 ° C (약 1700 K).
- 끓는점 : 약 1700 ° C (W 및  $O_2$ 로 분해).
- 밀도 : 7.16g /  $cm^3$  (노란색 텅스텐), 7.0-7.2g /  $cm^3$  (파란색 텅스텐).
- 용해도 : 물 (<0.1 g / L, 25 ° C)에 약간 용해되며 강알칼리 (예 : NaOH)에 용해되어 텅스텐 산염을 형성합니다.
- 경도 : 모스 스케일에서 약 8.5-9 (알루미나에 가까움).
- 밴드 갭 에너지 : 2.6-3.0 eV (n 형 반도체, 가시 광선 응답).
- 열전도율: 약 1.6 W/m · K (실온)
- 비표면적: 나노미터에서 50-200 $m^2/g$ , 산업 등급에서 5-20 $m^2/g$
- 입자 크기 : 산업 등급 5-25  $\mu m$ , 나노 스케일 10-100 nm
- 느슨한 밀도 : 1.5-3.0 g /  $cm^3$  (입자 크기에 따라 다름).
- 굴절률: 2.2-2.5(가시 범위).
- 유전 상수: 20-50(박막 상태, 주파수에 따라 다름).

### 생산 기술 매개변수

- 성분 :
  - 광석: 울프람마이트, 셀라이트
  - 선구자: 텅스텐 산, 암모늄 메타 텅스텐 산염
  - 재활용: 텅스텐 마늘, 텅스텐 히터
- 생산 방법:
  - 로스팅 방법:
    - 원료 : 텅스텐 분말 또는 텅스텐 산
    - 온도: 500-800° C

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- 분위기 : 공기 또는 산소
- 수율: >95%
- 에너지 소비: 약. 1.5-2kWh/kg
- 습식 화학:
  - 원료 : 텅스텐 산 나트륨
  - 프로세스 : 산성 침전 + 소성 (400-600 ° C)
  - 순도 : >99.9 %
  - 폐수: 재활용해야 하는 텅스텐 이온이 포함되어 있습니다.
- 나노 합성:
  - 방법 : 용해성 방법, 열수 방법
  - 온도: 150-250° C
  - 용제: 물, 에탄올
  - 입자 크기 제어: 10-100nm
- 순도 요구 사항:
  - 산업 등급 :  $WO_3 \geq 98\%$
  - 고순도 등급 :  $WO \geq 99.95\%$
  - 불순물 한계 (예 : Fe) :  $\leq 0.001\%$  (중국 표준),  $\leq 0.005\%$  (ISO)
- 장비:
  - 로스터, 텅스텐 히터, 오토클레이브 (나노 스케일)
  - 검출: XRF, ICP-OES, 레이저 입도 측정기

## 기술 매개변수 적용

### 일. 에너지 부문

- 리튬 이온 배터리 양극:
  - 이론적인 수용량: 693 mAh/g
  - 사이클 수명 : 500-1000 회 (80 % 용량 유지)
  - 작동 전압 : 0.01-3.0 V 대 Li / Li<sup>+</sup>
- 슈퍼 커패시터:
  - 특정 커패시터 : 500-700 F / g
  - 사이클 안정성: > 10,000 사이클
  - 전력 밀도 : 5-10 kW / kg
- 물의 광촉매 분해 :
  - 광열 효율 : 20-40 % (808 nm)
  - 수소 생산 속도: 100-500  $\mu\text{mol/h} \cdot \text{g}$

### 이. 전자정보분야

- FET :
  - 캐리어 이동성 :  $10-20 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$
  - 커기/끄기 비율:  $10^5-10^6$
  - 작동 주파수: MHz-GHz 범위

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

o 메모리 장치(RRAM):

- 저항 스위칭 비율:  $10^3 - 10^4$
- 삭제 속도:  $<10\text{ns}$
- 내구성:  $>10$  배

삼. 기계 공학 분야에서

o 공구 코팅:

- 경도:  $2000-2500 \text{ HV}$
- 마찰 계수:  $0.4-0.6$
- 온도 저항:  $>800^\circ \text{C}$

o 내마모성 부품:

- 접착 강도:  $>500 \text{ MPa}$
- 착용율:  $<0.01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$

사. 생물의학 분야

o 바이오센서:

- 검출 한계:  $\mu\text{M}-\text{nM}$  등급 (예: 포도당)
- 응답 시간:  $<5$  초
- 감도:  $10-50 \mu\text{A} / \text{mM} \cdot \text{cm}^2$

o 광열 요법:

- 광열 변환 효율:  $40-50\%$  (NIR)
- 가열 범위:  $50-60^\circ \text{C}$
- 생체 적합성: PEG 변형 필요

오. 광학 디스플레이 필드

o 전기 변색 장치:

- 투과율 변화:  $80\% \rightarrow 10\%$
- 응답 시간: 밀리초-초
- 사이클 수명:  $>10^4$  회

육. 촉매 운반체

o 지원되는 촉매:

- 비표면적:  $50-200 \text{ m}^2 / \text{g}$
- 수소첨가 전환율:  $>90\%$
- 온도 저항:  $500-700^\circ \text{C}$

칠. 난연성 직물

o LOI:  $28-35\%$

o 내열성:  $>1000^\circ \text{C}$  (단시간)

o 열전도율:  $1.5-2 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$



0 부록 : 텅스텐 산화물 용어의 다국어 용어집 (중국어, 영어, 일본어, 한국어)

| 범주            | 중국어        | 중국어                                | 일본어             | 한국어       |
|---------------|------------|------------------------------------|-----------------|-----------|
| 베이스의<br>이름입니다 | 氧化钨        | Tungsten Trioxide                  | 三酸化タング<br>ステン   | 삼산화텅스텐    |
|               | 三氧化钨       | Tungsten Trioxide                  | 三酸化タング<br>ステン   | 삼산화텅스텐    |
|               | 钨          | Tungsten                           | タングステン          | 텅스텐       |
|               | 黄钨         | Yellow Tungsten Oxide              | 黄色酸化タング<br>ステン  | 황색산화텅스텐   |
|               | 蓝钨         | Blue Tungsten Oxide                | 青色酸化タング<br>ステン  | 청색산화텅스텐   |
| 물리적<br>형태     | 纳米氧化<br>钨  | Nano Tungsten Trioxide             | ナノ三酸化タ<br>ングステン | 나노삼산화텅스텐  |
|               | 粉末         | Powder                             | 粉末              | 분말        |
|               | 薄膜         | Thin Film                          | 薄膜              | 박막        |
|               | 晶体         | Crystal                            | 結晶              | 결정        |
|               | 颗粒         | Particle                           | 粒子              | 입자        |
| 생산 과정         | 焙烧         | Calcination                        | 焼成              | 소성        |
|               | 水热法        | Hydrothermal Method                | 水熱法             | 수열법       |
|               | 溶剂热法       | Solvothermal Method                | 溶媒熱法            | 용매열법      |
|               | 化学气相<br>沉积 | Chemical Vapor<br>Deposition (CVD) | 化学気相蒸着          | 화학기상증착    |
|               | 钨酸         | Tungstic Acid                      | タングステン<br>酸     | 텅스텐산      |
| 적용 분야         | 锂离子电<br>池  | Lithium-Ion Battery                | リチウムイオ<br>ン電池   | 리튬이온배터리   |
|               | 超级电容<br>器  | Supercapacitor                     | スーパーキャ<br>パシタ   | 슈퍼커패시터    |
|               | 光催化        | Photocatalysis                     | 光触媒             | 광촉매       |
|               | 场效应晶<br>体管 | Field-Effect<br>Transistor (FET)   | 電界効果トラ<br>ンジスタ  | 전계효과트랜지스터 |
|               | 存储器件       | Memory Device                      | メモリデバイ<br>ス     | 메모리디바이스   |
|               | 刀具涂层       | Tool Coating                       | 工具コーティ<br>ング    | 공구코팅      |
|               | 生物传感<br>器  | Biosensor                          | バイオセンサ<br>ー     | 바이오센서     |
|               | 光热治疗       | Photothermal Therapy               | 光熱療法            | 광열치료      |
|               | 电致变色<br>器件 | Electrochromic Device              | 電気変色デバ<br>イス    | 전기변색디바이스  |

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](http://www.ctia.com.cn)

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

|          |      |                       |            |        |
|----------|------|-----------------------|------------|--------|
|          | 催化载体 | Catalyst Support      | 触媒担体       | 촉매지지체  |
|          | 防火面料 | Fire-Resistant Fabric | 防火ファブリック   | 방화직물   |
| 다른 관련 용어 | 钨粉   | Tungsten Powder       | タングステン粉末   | 텅스텐분말  |
|          | 钨丝   | Tungsten Wire         | タングステンワイヤー | 텅스텐와이어 |
|          | 钨铜   | Tungsten Copper       | タングステン銅    | 텅스텐구리  |
|          | 硬质合金 | Hard Alloy            | 硬質合金       | 경질합금   |
|          | 纳米颗粒 | Nanoparticle          | ナノ粒子       | 나노입자   |

### 설명

1. **중국어:** 중국 국가 표준(예: GB/T 3457-2013) 및 업계 관행을 기반으로 용어 표준화를 보장합니다.
2. **영어:** 국제 용어를 채택하고 ISO 및 ASTM 표준을 준수하며 과학 문헌에 널리 사용됩니다.
3. **일본어:** 일본 산업 표준(예: JIS H 1403) 및 기술 문헌을 참조하고 발음 및 쓰기 습관에 주의를 기울입니다.
- 일. **한국어:** 한국 화학 및 재료 분야에서 일반적으로 사용되는 표현을 기반으로 하여 실제 응용과의 일관성을 보장합니다.