

# タングステン酸化物とは何ですか

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

## 著作権および法的責任に関する声明

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 の紹介

CTIA GROUP LTD は、CHINATUNGSTEN ONLINE が設立した独立法人格を持つ完全子会社であり、産業インターネット時代におけるタングステンおよびモリブデン材料のインテリジェント化、統合化、柔軟な設計と製造を推進することに注力しています。CHINATUNGSTEN ONLINE は 1997 年に設立され、中国初のタングステン製品のトップサイトである [WWW.CHINATUNGSTEN.COM](http://WWW.CHINATUNGSTEN.COM) を起点として、タングステン、モリブデン、希土類産業に特化した中国初の電子商取引企業です。CTIA GROUP は、タングステンおよびモリブデン分野における 30 年近くの深い経験を活かし、親会社の優れた設計・製造能力、優れたサービス、グローバルなビジネス評判を継承し、タングステン化学品、タングステン金属、超硬合金、高密度合金、モリブデン、モリブデン合金の分野における総合的なアプリケーションソリューションプロバイダーとなっています。

過去 30 年間、CHINATUNGSTEN ONLINE は 20 以上の言語に対応する 200 以上の多言語タングステン・モリブデン専門ウェブサイト構築し、タングステン、モリブデン、希土類に関するニュース、価格、市場分析ページが 100 万ページ以上に達しています。2013 年以降、WECHAT 公式アカウント「CHINATUNGSTEN ONLINE」は 4 万件以上の情報を公開し、約 10 万人のフォロワーにサービスを提供し、世界中の数十万の業界関係者に毎日無料の情報を提供しています。ウェブサイト群と公式アカウントの累計アクセス数は数十億回に達し、タングステン、モリブデン、希土類産業のグローバルで権威ある情報ハブとして認知されており、24 時間 365 日、多言語でのニュース、製品性能、市場価格、市場動向サービスを提供しています。

CHINATUNGSTEN ONLINE の技術と経験を基に、CTIA GROUP は顧客の個別ニーズに応えることに重点を置き、AI 技術を活用して、特定の化学組成や物理的特性（粒径、密度、硬度、強度、寸法、公差など）を持つタングステン・モリブデン製品を顧客と共同で設計・製造し、金型開設、試作、仕上げ、包装、物流に至るまでの全工程統合サービスを提供します。過去 30 年間、CHINATUNGSTEN ONLINE は世界 130,000 社以上の顧客に 50 万種類以上のタングステン・モリブデン製品の研究開発、設計、製造サービスを提供し、カスタマイズ、柔軟、インテリジェントな製造の基盤を築きました。この基盤を頼りに、CTIA GROUP は産業インターネット時代におけるタングステン・モリブデン材料のインテリジェント製造と統合イノベーションをさらに深化させています。

CTIA GROUP のハンス博士とそのチームは、30 年以上の業界経験を基に、タングステン、モリブデン、希土類に関する知識、技術、タングステン価格、市場動向分析を執筆し、タングステン業界と無料で共有しています。ハンス博士は 1990 年代から 30 年以上にわたり、タングステン・モリブデン製品の電子商取引と国際貿易、超硬合金および高密度合金の設計・製造に携わってきた経験を持ち、国内外で著名なタングステン・モリブデン製品の専門家です。業界に専門的で高品質な情報を提供するという原則を堅持し、CTIA GROUP のチームは生産実践と市場顧客のニーズに基づいて技術研究論文、記事、業界レポートを継続的に執筆し、業界内で広く評価されています。これらの成果は、CTIA GROUP の技術革新、製品プロモーション、業界交流に強固なサポートを提供し、グローバルなタングステン・モリブデン製品製造および情報サービスの分野でリーダーとなることを推進しています。



### 著作権および法的責任に関する声明

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)

## ディレクトリ

### 第1章 はじめに

- 1.1 背景
- 1.2 研究目的とイノベーション
- 1.3 国内外の研究状況

### 第2章 酸化タングステンの基本情報

- 2.1 酸化タングステンの定義
- 2.2 酸化タングステンの形態と分布
  - 2.2.1 三酸化タングステンと酸素空いている酸化タングステン/欠陥のある酸化タングステン
- 2.3 三酸化タングステンの特性は酸素含有量に関連しています
  - 2.3.1 三酸化タングステンの構造と酸素含有量の関係
  - 2.3.2 三酸化タングステンの特性と酸素含有量の関係
  - 2.3.3 三酸化タングステンの調製と酸素含有量の制御

### 第3章 酸化タングステンの分類

- 3.1 化学組成に基づく酸化タングステンの分類
  - 3.1.1 黄色の酸化タングステン/三酸化タングステン
  - 3.1.2 オレンジ色の酸化タングステン
  - 3.1.3 青い酸化タングステン
  - 3.1.4 紫色の酸化タングステン
  - 3.1.5 白色酸化タングステン
  - 3.1.6 二酸化タングステン/茶色の酸化タングステン
- 3.2 結晶構造に基づく酸化タングステンの分類
  - 3.2.1 単斜晶系酸化タングステン
  - 3.2.2 斜方晶系酸化タングステン
  - 3.2.3 六方晶酸化タングステン
  - 3.2.4 立方晶性酸化タングステン
- 3.3 物理的形態に基づく酸化タングステンの分類
  - 3.3.1 酸化タングステンナノ粒子
  - 3.3.2 酸化タングステンナノシート
  - 3.3.3 酸化タングステンナノワイヤー
  - 3.3.4 酸化タングステンナノロッド
  - 3.3.5 酸化タングステンナノフラワー
  - 3.3.6 酸化タングステン膜
  - 3.3.7 酸化タングステンブロック
- 3.4 粒子サイズに基づく酸化タングステンの分類
  - 3.4.1 粗粒酸化タングステン

#### 著作権および法的責任に関する声明

- 3.4.2 超微粒子酸化タングステン
- 3.4.3 ミクロンの酸化タングステン
- 3.4.4 サブミクロンの酸化タングステン
- 3.4.5 ナノ酸化タングステン
- 3.4.6 サブナノメートル酸化タングステン
- 3.5 純度に基づく酸化タングステンの分類
  - 3.5.1 通常の酸化タングステン
  - 3.5.2 高純度酸化タングステン

## 第4章 酸化タングステンの構造

- 4.1 酸化タングステンの結晶構造特性
  - 4.1.1 酸化タングステン結晶構造の基本単位と対称性
  - 4.1.2 酸化タングステンの原子配列
  - 4.1.3 酸化タングステンの結晶構造の欠陥と空孔
- 4.2 酸化タングステンの結晶構造に影響を与える要因
  - 4.2.1 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす調製条件の影響
    - 4.2.1.1 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす反応温度の影響
    - 4.2.1.2 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす反応圧力の影響
    - 4.2.1.3 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす反応時間の影響
    - 4.2.1.4 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす反応雰囲気の影響
    - 4.2.1.5 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす反応速度の影響
    - 4.2.1.6 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす前駆体の影響
    - 4.2.1.7 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす溶媒の影響
  - 4.2.2 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす外部刺激の影響
    - 4.2.2.1 酸化タングステン結晶構造に対する光放射の影響
    - 4.2.2.2 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす電界の影響
    - 4.2.2.3 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす磁場の影響
- 4.3 酸化タングステンの結晶構造と特性の本質的な関係
  - 4.3.1 酸化タングステン電子構造結合
    - 4.3.1.1 酸化タングステンの結晶構造が電子輸送に及ぼす影響
    - 4.3.1.2 酸化タングステンバンド構造と結晶構造の関係
  - 4.3.2 酸化タングステンイオン輸送レベルリンケージ
    - 4.3.2.1 酸化タングステンの結晶構造がイオン拡散に及ぼす影響
    - 4.3.2.2 イオンインターカレーション/抽出プロセスが酸化タングステン結晶の構造安定性に及ぼす影響
  - 4.3.3 酸化タングステンの表面特性の関係
    - 4.3.3.1 酸化タングステン結晶構造が表面吸着に及ぼす影響
    - 4.3.3.2 酸化タングステンの結晶構造と表面電子状態の関係

## 第5章 酸化タングステンの物理的および化学的性質

- 5.1 酸化タングステンの外観と色

### 著作権および法的責任に関する声明

- 5.2 酸化タングステンの密度/比重
- 5.3 酸化タングステンの熱安定性
  - 5.3.1 酸化タングステンの融点
  - 5.3.2 酸化タングステンの分解温度
  - 5.3.3 酸化タングステンの熱膨張係数
- 5.4 酸化タングステンの溶解度
- 5.5 酸化タングステンの硬度と機械的強度
  - 5.5.1 酸化タングステンのモース硬度
  - 5.5.2 酸化タングステンの圧縮強度
  - 5.5.3 酸化タングステンのせん断強度
- 5.6 酸化タングステンの比表面積
- 5.7 酸化タングステンのかさ密度
- 5.8 酸化タングステンの光学特性
  - 5.8.1 酸化タングステンの光吸収と光触媒特性
  - 5.8.2 酸化タングステンのフォトリソミック特性
- 5.9 酸化タングステンの電気的性質
  - 5.9.1 酸化タングステンの半導体特性
  - 5.9.2 酸化タングステンのエレクトロクロミック特性
- 5.10 酸化タングステンの熱的性質
  - 5.10.1 酸化タングステンの熱安定性
  - 5.10.2 酸化タングステンの熱膨張特性
- 5.11 酸化タングステンのガス感受性
- 5.12 酸化タングステンの酸化還元反応
- 5.13 酸化タングステンの酸塩基反応
- 5.14 酸化タングステンの触媒特性

## 第6章酸化タングステンの調製方法

- 6.1 酸化タングステンの伝統的な調製方法
  - 6.1.1 酸化タングステンの伝統的な調製方法 - 高温固相反応法
  - 6.1.2 酸化タングステン - ゴルゲル法/酸化タングステンのゾル - ゲル調製方法の伝統的な調製方法
  - 6.1.3 酸化タングステンの伝統的な調製方法 - 水熱法
  - 6.1.4 酸化タングステンの伝統的な調製方法 - タングステン酸アンモニウム法
  - 6.1.5 酸化タングステンの伝統的な調製方法 - タングステン酸塩の塩酸分解方法
  - 6.1.6 酸化タングステンの伝統的な調製方法 - パラタングステン酸アンモニウムの熱分解法
- 6.2 酸化タングステンの新しい調製方法
  - 6.2.1 酸化タングステンの新しい調製方法 - 電気化学堆積法
  - 6.2.2 酸化タングステンの新しい調製方法 - 蒸着法
  - 6.2.3 酸化タングステンの新しい調製方法 - 生物学的テンプレート法

### 著作権および法的責任に関する声明

## 第七章 酸化タングステン製造設備

- 7.1 酸化タングステン製造のための主な設備
  - 7.1.1 原材料取扱機器
    - 7.1.1.1 破碎および粉碎装置
    - 7.1.1.2 スクリーニングおよびグレーディング機器
  - 7.1.2 反応装置
    - 7.1.2.1 アルカリ加水分解および酸分解装置
    - 7.1.2.1 アルカリ加水分解および酸分解装置
    - 7.1.2.2 焼成および熱分解装置
  - 7.1.3 分離精製装置
    - 7.1.3.1 固液分離装置
    - 7.1.3.2 結晶化および再結晶装置
- 7.2 酸化タングステンの補助生産設備
  - 7.2.1 マテリアルハンドリング機器
    - 7.2.1.1 機械搬送装置
    - 7.2.1.2 空気輸送装置
  - 7.2.2 乾燥および冷却装置
    - 7.2.2.1 乾燥装置
    - 7.2.2.2 冷却装置
  - 7.2.3 環境保護処理装置
    - 7.2.3.1 排ガス処理装置
    - 7.2.3.2 排水処理設備

## 第8章 酸化タングステンの検出原理に関する研究

- 8.1 酸化タングステン検出-分光法
  - 8.1.1 酸化タングステン検出 - 蛍光X線分光分析
  - 8.1.2 酸化タングステン検出 - ラマン分光法
- 8.2 酸化タングステン検出 - 電気化学分析
  - 8.2.1 酸化タングステン検出 - ボルタンメトリー
- 8.3 その他の酸化タングステン検出方法
  - 8.3.1 酸化タングステン検出 - 熱重量分析

## 第9章 酸化タングステンの応用分野

- 9.1 エネルギー分野での酸化タングステンの応用
  - 9.1.1 リチウムイオン電池への酸化タングステンの応用
  - 9.1.2 スーパーキャパシタへの酸化タングステンの応用
  - 9.1.3 水素を生成するための光触媒水分解における酸化タングステンの応用
- 9.2 環境分野での酸化タングステンの応用
  - 9.2.1 空気浄化における酸化タングステンの応用
  - 9.2.2 下水処理における酸化タングステンの応用

### 著作権および法的責任に関する声明

- 9.3 スマートマテリアルの分野における酸化タングステンの応用
  - 9.3.1 エレクトロクロミックデバイスにおける酸化タングステンの応用
  - 9.3.2 ガスセンサーにおける酸化タングステンの応用
- 9.4 電子情報分野における酸化タングステンの応用
  - 9.4.1 電界効果トランジスタへの酸化タングステンの応用
  - 9.4.2 メモリデバイスにおける酸化タングステンの応用
- 9.5 機械製造の分野における酸化タングステンの応用
  - 9.5.1 工具コーティングへの酸化タングステンの応用
  - 9.5.2 耐摩耗性部品への酸化タングステンの応用
- 9.6 生物医学的应用における酸化タングステン
  - 9.6.1 バイオセンサーにおける酸化タングステンの応用
  - 9.6.2 光熱療法における酸化タングステンの応用
- 9.7 光学ディスプレイの分野における酸化タングステンの応用
  - 9.7.1 ディスプレイへの酸化タングステンの応用
- 9.8 触媒担体における酸化タングステンの応用
  - 9.8.1 担持触媒への酸化タングステンの応用
- 9.9 耐火布地の分野での酸化タングステンの応用
  - 9.9.1 工業分野での酸化タングステン耐火布地の応用
  - 9.9.2 日常生活における酸化タングステン耐火布地の応用
  - 9.9.3 公共交通機関の分野での酸化タングステン耐火布地の応用
- 9.10 農業用フィルムへの酸化タングステンの応用

## 第 10 章酸化タングステンの安全性と環境保護

- 10.1 酸化タングステンの安全性
- 10.2 酸化タングステンの環境保護
- 10.3 酸化タングステンの安全データシート (MSDS)

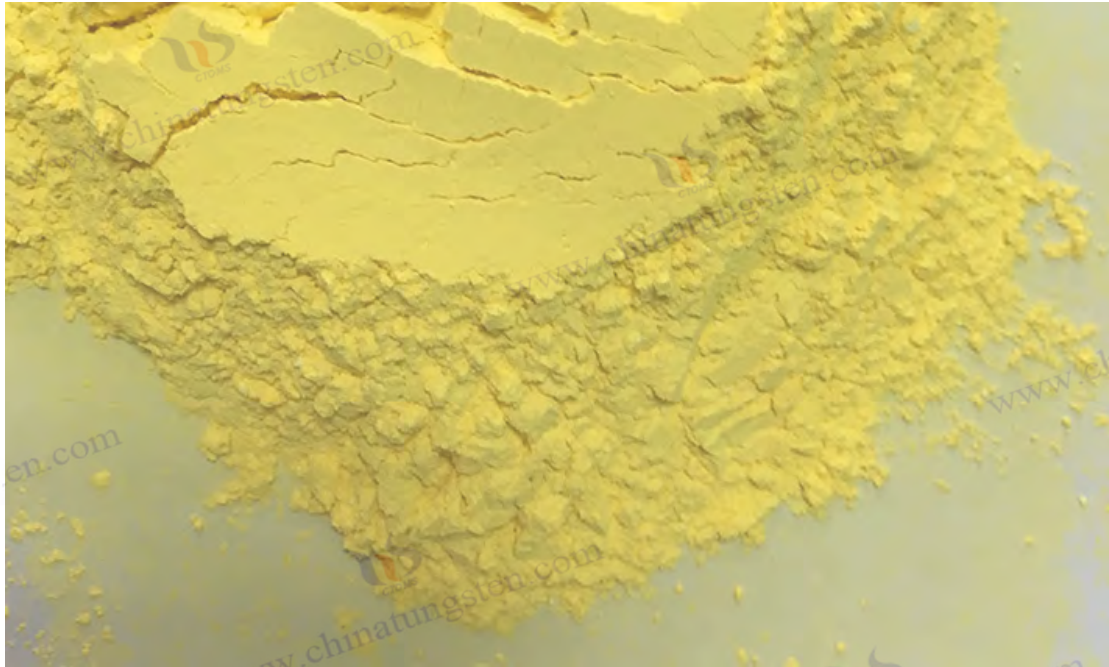
## 第 11 章酸化タングステンの国内外の規格

- 11.1 中国の国家規格
- 11.2 国際規格

## 第 12 章酸化タングステンの事実と数字

- 12.1 酸化タングステンの主な事実は何ですか
- 12.2 酸化タングステンのすべてのデータ (物理化学的特性、生産および応用技術パラメータ)

付録:酸化タングステン用語の多言語用語集 (中国語、英語、日本語、韓国語)



CTIA GROUP LTD 黄色酸化タングステン

## 第1章 はじめに

重要な遷移金属酸化物として、酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ )は、そのユニークな物理化学的特性と幅広い応用の可能性により、材料科学、化学、工学の分野で研究のホットスポットとなっています。

### 1.1 酸化タングステンの背景を研究する

酸化タングステンの研究の背景は、産業、エネルギー、環境セクターでの多様性と、世界経済におけるタングステン資源の戦略的位置から生じています。タングstenは、その高い融点( $3422^\circ\text{C}$ )、高い硬度と化学的安定性で知られており、酸化タングstenは、タングstenの主要化合物の一つとして、タングsten金属と超硬合金の製造における主要な中間体であるだけでなく、その半導体特性(バンドギャップ  $2.6\text{--}3.0\text{ eV}$ )と光学特性により、ハイテク分野で大きな可能性を示しています。

#### 産業および資源の背景

タングstenはレア金属の重要な代表であり、世界の埋蔵量は約 330 万トンで、そのうち中国が 60%以上を占めており、タングstenの最大の生産国および輸出国です。Tungsten News によると、タングstenの世界的な需要は 2025 年に年間 10 万トンに達すると予想されており、そのうち酸化タングstenの生産が重要なシェアを占めています。伝統的に、酸化タングstenは、タングsten粉末を焙煎するか、鉄マンガ重石

#### 著作権および法的責任に関する声明

とシェーライトを抽出することにより、タングステン銅、タングステンワイヤー、その他の製品を製造するために使用されます。しかし、産業技術の向上に伴い、その応用は新エネルギー、電子情報、環境保護の分野に拡大されています。

## 科学のおよび技術的背景

酸化タングステンの半導体特性は、光触媒、エレクトロクロミズム、およびセンサーの分野で独自の利点をもたらします。適度なバンドギャップがあり、可視光を吸収して光生成電子と正孔のペアを生成することができ、水生水素の分解や汚染物質の分解に使用されます。さらに、透明からダークブルーに変化するエレクトロクロミック特性により、スマートウィンドウやディスプレイに理想的な素材となっています。ナノテクノロジーの台頭により、酸化タングステンの研究がさらに進歩し、熱水や蒸着などのタングステン技術の進歩により、合成ナノ粒子はより高い比表面積と活性を示します。

## 環境・社会背景

持続可能な開発に世界的に重点を置く中、環境保護の分野での酸化タングステンの適用は大きな注目を集めています。例えば、その光触媒特性は廃水処理や空気浄化に使用でき、耐火性生地への応用は安全性を高めます。同時に、タングステン価格の変動(2025年には20~30米ドル/kgと予想)は、資源の需給が逼迫していることを反映しており、効率的で低コストの生産プロセスの研究を推進しています。さらに、光熱療法などの酸化タングステンの生物医学的応用も、健康の分野で新たな機会を開きます。

したがって、酸化タングステンの研究の背景には、産業基盤に支えられ、技術革新に牽引され、社会的ニーズに駆り立てられた学際性に根ざしています。この背景は、その特性と用途を詳細に研究するための強固な基盤を提供します。

### 1.2 酸化タングステンの目的と革新に関する研究

酸化タングステンの研究の目的は、その性能最適化パスを体系的に探求し、その応用分野を拡大し、既存の技術的ボトルネックを解決することです。本研究は、結晶の構造、形態、機能の理解を深めるだけでなく、革新的な手段により、その効率と持続可能性を実用化することを目的としています。

**目的:** 物性と構造の関係を明らかにする:酸化タングステン(単斜晶系、正方晶など)の結晶構造に対する反応速度と合成条件の影響を解析することにより、その物理的および化学的特性の制御メカニズムを明らかにし、性能最適化のための理論的基盤を明らかにした。適用分野の拡大:酸化タングステンを従来の産業用途から新エネルギー(バッテリー、スーパーキャパシタなど)、スマートマテリアル(エレクトロクロミックデバイスな

#### 著作権および法的責任に関する声明

ど)、バイオメディカル(バイオセンサーなど)に拡大し、複数の分野のニーズを満たすことができます。生産プロセスの最適化:低コストで環境に優しい合成方法(パラタングステン酸アンモニウムを使用したグリーンプロセスなど)を開発して、酸化タングステンの工業的実現可能性を改善し、エネルギー消費と廃棄物の排出を削減します。技術的なボトルネックを解決する:光触媒効率が低く、サイクル安定性が低いことを考慮して、実用化における競争力を強化するためのスキームの改善が提案されています。

**イノベーション:反応** 速度が結晶構造を調節する:この研究では、反応速度が酸化タングステンの結晶形態と欠陥に及ぼす影響を初めて体系的に調査し、速度論的および熱力学的分析を使用して特定の結晶形態を制御するための戦略を提案します。例えば、反応性の高い立方晶は、光触媒のための急速な酸化によって生成されます。高い安定性が要求されるデバイスのための単斜晶系結晶の低速合成。

**多機能複合材料:**革新的に酸化タングステンをタングステンプラスチック、タングステン銅などと複合化して、ウェアラブル電子機器や耐火性ファブリックに適した柔軟で高導電性新材料を開発します。ナノテクノロジーの統合:酸化タングステンナノは、タングステン粒子から調製され、その比表面積( $>200\text{m}^2/\text{g}$ )と光熱変換効率( $>50\%$ )を最適化し、従来の材料の性能限界を突破します。

**グリーン生産経路:**低温熱水法( $<200^\circ\text{C}$ )と廃棄物リサイクル(タングステンニードル酸化など)を組み合わせ、エネルギー消費を削減し( $2\text{kWh/kg}$  から  $1\text{kWh/kg}$ )、廃水排出ゼロを達成することを提案します。これらのイノベーションは、既存の研究のギャップを埋め、実験室から工業化への酸化タングステンを促進し、そのマルチフィールドアプリケーションのための新しいアイデアを提供することを目的としています。

### 1.3 国内外の酸化タングステンの研究状況

国内外で酸化タングステンの研究は大きな進歩を遂げていますが、焦点とレベルには違いがあります。外国の研究は基礎理論とハイテク応用に焦点を当てていますが、中国は工業生産と資源利用で優位に立っています。以下では、その研究状況を内外の2つの側面から概観します。

#### 国内研究の現状

豊富なタングステン資源と強力な産業基盤を持つ中国は、酸化タングステン研究で主導的な地位にあります。この研究は、生産プロセスの最適化と従来のアプリケーションの拡大に焦点を当てています。

**生産プロセス:** タングステンは、黄色のタングステンと青色のタングステンの大規模生産のために、高効率の焙煎方法( $800^\circ\text{C}$ 、収率 $>95\%$ )と湿式化学法(純度 $>99.9\%$ )を開発しました。近年、タングステンは、光触媒に適用される  $10\text{-}100\text{nm}$  の粒子サイズのナノ酸

化タングステン(180°C、24 時間)の水熱合成を報告しています。

**応用分野:**炭化タングステン:国内研究は、2000HV の硬度を持つ切削工具や耐摩耗性部品に使用される酸化タングステン還元によるタングステン粉末の調製に焦点を当てています。新エネルギー:清華大学と他の機関は、理論容量 693 mAh / g、サイクル寿命>500 倍のリチウムイオン電池への応用を検討しています。光触媒:中国科学院は、水素製造効率が 400 $\mu$ mol/h · g の酸化タングステン/TiO<sub>2</sub>複合材料を開発しました。

**短所:** 国内の研究のほとんどは工業生産に焦点を当てており、基本理論(結晶構造と性能の関係など)は弱く、ナノスケールの応用と環境保護技術の研究は遅れて始まりました。

### 海外研究の現状

外国の研究は、特にナノテクノロジーとスマート材料の分野で、酸化タングステンの理論的探求とハイテク応用に焦点を当てて、米国、日本、ヨーロッパを中心としています。

**基礎研究:** マサチューセッツ工科大学(MIT)は、DFT 計算を通じて酸化タングステンのバンドギャップと結晶形態の関係を明らかにし、立方晶のバンドギャップ(2.6 eV)が単斜晶系のバンドギャップ(2.8 eV)よりも低いことを証明し、光触媒の最適化を導きました。日本:東京大学は、センサーに使用するために、検出限界が ppb レベルまでの酸化タングステンナノワイヤのガス検出特性を研究しています。

**アプリケーション:** エレクトロクロミック: ヨーロッパの研究機関は、スマートウィンドウ用に>10° のサイクル寿命を持つ酸化タングステン薄膜(CVD 堆積)を開発しました。生物医学:スタンフォード大学は、ナノ酸化タングステン(効率>40%)の光熱効果を使用して腫瘍を治療します。触媒:ドイツのマックスプランク研究所は、水素化転化率が>95%のPt/酸化タングステン触媒を報告しました。

**長所と短所:** 外国の研究は理論的な深さとハイエンドのアプリケーションでリードしていますが、リソース不足によって制限され、生産規模が小さく、コストが高い(約 30 米ドル/ kg)。

**国内外での比較:** 研究の焦点:工業生産と伝統的な応用に対する国内の偏見、基礎研究とハイテク分野への外国の焦点。技術レベル:海外はナノテクノロジーとパフォーマンスの最適化でより進んでおり、国内は出力とコスト管理で優れています。開発動向:両当事者は、国内のスクラップリサイクル(タングステンヒーターの再利用)や外国のフレキシブルエレクトロニクスなど、グリーン合成と多機能アプリケーションに向けて開発しています。

### 著作権および法的責任に関する声明

## 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

Phone: +86 592 5129696

For more yellow tungsten oxide 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".



著作権および法的責任に関する声明



CTIA GROUP LTD 黄色酸化タングステン

## 第2章酸化タングステンの基本情報

### 2.1 酸化タングステンの定義

酸化タングステン酸化タングstenは、タングsten (W) と酸素 (O) からなる化合物の一種で、遷移金属酸化物のカテゴリーに属します。タングstenは、高融点と高密度の金属であり、通常は次のように使用されます：鉄マンガン重石 (鉄マンガン重石) または 灰重石 (scheelite) の形態は自然界に見られますが、酸化タングstenは、製錬および化学処理を通じてこれらの鉱石から抽出された重要な中間製品です。化学的に安定しており、さまざまな酸化状態があり、最も一般的なのは+6 価の三酸化タングsten ( $WO_3$ ) で、これはしばしば黄色の酸化タングstenと呼ばれます。

化学的観点からは、酸化タングstenの定義は  $WO_3$  に限定されず、 $WO_{2.9}$ 、 $WO_2$  などの非整数化合物の範囲も含まれます。 $\gamma_2$  など、これらの酸化物の酸素含有量はわずかに異なり、構造や性質に豊富なバリエーションを形成しています。その色は黄色、青、紫色までさまざまで、タングstenの酸化状態と結晶構造に密接に関連しています。産業界では、酸化タングstenは、タングsten金属、タングsten粉末、タングstenワイヤー、その他のタングsten製品の製造のための主要な原料であり、タングsten化学品 (タングsten酸塩など) の重要な前駆体でもあります。

酸化タングstenの物理的特性も非常に印象的です:それは通常、 $1470^{\circ}\text{C}$  を超える融点、約  $7.16\text{ g/cm}^3$  の密度、高い硬度と耐食性を持っています。これらの特性により、

#### 著作権および法的責任に関する声明

高温環境や過酷な条件下でも安定しています。アプリケーションの観点から、酸化タングステンは、産業のための基本的な材料だけでなく、その半導体特性のために、光触媒、センサー、スマートガラスにも広く使用されています。酸化タングステンは、タングステン科学研究の中核的な研究対象であるだけでなく、タングステン技術開発の基礎でもあります。

全体として、酸化タングステンは、その定義がその化学組成だけでなく、自然界での存在の形態、製造プロセスにおけるその役割、およびその幅広い応用可能性を包含する汎用性の高い化合物です。これは、鉱石と高付加価値のタングステン製品との間の架け橋であり、現代の技術の不可欠な部分です。

## 2.2 酸化タングステンの形態と分布

タングステンファミリーの重要なメンバーとして、酸化タングステンは様々な形態で存在し、それらは自然界の鉱石の形で間接的に具現化することができ、また人工合成を通じて異なる形態で提示することができる。自然界では、タングステンは主に鉄マンガン重石と灰重石の形で存在し、そのうち鉄マンガン重石は鉄マンガンタングステン酸、灰重石はタングステン酸カルシウムです。これらの鉱石は、酸化タングステンに変換される前に、選鉱、浸出、焼成、およびその他のプロセスを経ます。中国は世界最大のタングステン鉱物国であり、世界の埋蔵量の 60%以上を占めています。

人工製剤では、酸化タングステンはさまざまな化学的および物理的形態で存在します。最も一般的なのは三酸化タングステン ( $WO_3$ ) で、これは明るい黄色の粉末の形をした黄色の酸化タングステンです。さらに、青色の酸化タングステンと紫色の酸化タングステンがあり、酸素含有量が  $WO_3$  よりわずかに低いため、色が異なります。これらの非整数酸化物は、通常、還元雰囲気下で調製され、タングステン粉末およびタングステン金属の製造に広く使用されています。さらに、酸化タングステンは、特にタングステン技術やタングステン学術研究において、ナノ粒子、薄膜などの形で存在することができ、ナノスケールの酸化タングステンは、その高い比表面積のために多くの注目を集めています。

流通の観点からは、酸化タングステンの工業生産は、主に中国、ロシア、カナダなどのタングステン資源が豊富な地域に集中しています。CTIA GROUP LTD 製品は、酸化タングステンからタングステンワイヤ、タングステン銅など、多くの分野をカバーしています。実験室では、酸化タングステンは、強力な制御可能な形態を有するパラタングステン酸アンモニウム (APT) またはメタタングステン酸アンモニウム (AMT) の焼成によって調製されます。

## 2.3 三酸化タングステンと酸素空いている酸化タングステン/欠陥のある酸化タングステン

### 著作権および法的責任に関する声明

三酸化タングステン ( $WO_3$ ) は、酸化タングステンファミリーの最も安定した形態であり、通常は黄色の酸化タングステンの形で見られます。しかし、その構造に酸素空孔が現れると、青色の酸化タングステンや紫色の酸化タングステンなど、酸化タングステンまたは欠陥状態の酸化タングステンのいわゆる酸素空孔が形成されます。これらの欠陥のある酸化物は、酸素含有量が減少するため、三酸化タングステンとは大きく異なる特性を示します。

|                 |        |        |        |                                 |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 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 | /      |

黄色酸化タングステン化学組成リスト

三酸化タングステンの結晶構造は通常、単斜晶系結晶系であり、タングステン原子は6つの酸素原子に囲まれて  $WO_6$  八面体を形成し、これらは共角または共側性によって三次元ネットワークに接続されています。酸素空孔が発生すると、 $WO_6$  ユニットの一部で酸素原子が失われ、結晶格子が歪むことで、色や性能が変化します。例えば、青色酸化タングステンの酸素空孔はバンドギャップを狭め、光吸収を促進しますが、紫色の酸化タングステンは酸素含有量が少ないため、独特の紫色をしています。これらの欠陥のある酸化物は、その強力な還元性のために、産業におけるタングステン粉末の製造における中間体としてよく使用されます。

アプリケーションでは、酸素空孔は、欠陥のある酸化タングステンに対してより高い導電率と触媒活性を与えます。例えば、タングステンの知識研究では、酸素空位酸化タングステンは光触媒による水分解やガス検出に優れているのに対し、三酸化タングステンはその安定性からスマートガラスやエレクトロクロミックデバイスに適していることが示されています。この2つの違いは、タングステン研究でもホットなトピックである電子構造に対する酸素空孔の深い影響に由来します。

調製の面では、三酸化タングステンは通常、パラタングステン酸アンモニウムの高温焼成によって調製されますが、欠陥のある酸化タングステンは水素などの還元雰囲気下で処理する必要があります。この調製条件の違いは、酸素空孔の数を直接決定し、それが最終製品の使用に影響を与えます。

### 2.3.1 三酸化タングステンの構造と酸素含有量の関係

#### 著作権および法的責任に関する声明

三酸化タングステンの結晶構造 は、その機能の基礎であり、酸素含有量は、格子対称性と欠陥状態を変化させることにより、構造の安定性と多様性に直接影響します。以下では、結晶形、欠陥、形態の3つの観点から関係を分析します。

### 結晶形と酸素含有量の関係

三酸化タングステンの結晶形態には、単斜晶系、斜方晶、正方晶、立方晶が含まれ、その形成は酸素含有量と密接に関連しています。理想的な化学量論比(W:O = 1:3)では、単斜晶系結晶は室温で安定相であり、格子パラメータは  $a = 7.306\text{\AA}$ 、 $b = 7.540\text{\AA}$ 、 $c = 7.692\text{\AA}$ 、および  $\beta = 90.91^\circ$  です。酸素含有量が  $\text{WO}_2$  減少すると、 $\text{W}_{98}$  または  $\text{WO}_{2.72}$ 、結晶構造は酸素空孔の増加によって変化します。例えば：

- **高酸素含有量( $\text{WO}_3$ )**：酸素原子が格子位置を完全に占め、単斜晶系または斜方晶系である傾向がある規則的な  $\text{WO}_6$  八面体ネットワークを形成します。
- **低酸素含有量( $\text{WO}_{3-x}$ )**：酸素空孔は格子対称性を乱し、正方晶や立方晶などの準安定相が優勢になります。研究によると、酸素レベルが  $\text{WO}_{2.72}$  に減少し、立方晶比が大幅に増加し、結晶平面間隔( $d_{100}$ )が  $0.38\text{nm}$  から  $0.39\text{nm}$  に変化したことが示されています。

タングステンの研究は、X線回折(XRD)によって、酸素含有量のわずかな変化( $\pm 0.1$ )が結晶形遷移を引き起こす可能性があることを確認しました。例えば、還元雰囲気中で調製された三酸化タングステンは正方晶特性のピークを示しますが、酸化条件下では単斜晶系結晶が優勢です。

### 格子欠陥と酸素含有量

酸素含有量は、三酸化タングステンの欠陥密度に直接影響します。主な欠陥タイプである酸素空孔は、タングステンの酸化状態( $\text{W}^{6+}$ から  $\text{W}^{5+}$ または  $\text{W}^{4+}$ )を変化させ、それが格子安定性に影響を与えます。

- **十分な酸素**：結晶格子に明らかな欠陥はなく、 $\text{WO}_6$  八面体は整然と配置されており、結晶は黄色(黄色のタングステン)です。
- **酸素の枯渇**：酸素空孔は、格子を歪ませて青色酸化タングステン( $\text{W}_{20}\text{O}_{58}$ )を形成する局所的な応力を導入します。電子常磁性共鳴(EPR)ディスプレイ、 $\text{WO}_{2.9}$ 内の酸素空孔の濃度は  $10^{18}\text{cm}^{-3}$  に達する可能性があり、これは  $\text{WO}_3$  ( $<10^{16}\text{cm}^{-3}$ ) よりも大幅に高くなっています。

透過型電子顕微鏡(TEM)分析では、酸素空孔の多い三酸化タングステン粒子の境界がぼやけており、結晶面間の間隔が大きく変動( $\pm 0.02\text{nm}$ )し、構造の乱れを反映していることが示されました。

#### 著作権および法的責任に関する声明

## 微細形態と酸素含有量

酸素含有量は、三酸化タングステンの地形にも影響します。走査型電子顕微鏡 (SEM) により、以下のことが明らかになりました。

- **高酸素含有量:** 粒子は大きく ( $20\sim 50\text{ }\mu\text{m}$ )、十分な結晶成長のために規則的なフレークまたはロッドです。
- **低酸素含有量:** 粒子は小さく ( $1\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ )、形状が不規則な多面体であり、粒子の増殖は酸素損失によって制限されます。例えば、低酸素圧下でのタングステン粉末の酸化によって生成される三酸化タングステン粒子は、高酸素圧の  $1/5$  のサイズに過ぎません。

### 2.3.2 三酸化タングステンの特性と酸素含有量との関係

三酸化タングステンの物理化学的特性、例えば光学的、電気的、触媒的特性は、その酸素含有量と密接に関連しています。酸素含有量の変化は、その電子構造と欠陥状態に影響を与えることにより、その機能性能を大きく変化させます。

#### 光学特性

酸素含有量は、三酸化タングステンのバンドギャップと色に直接影響します。

- **高酸素含有量 ( $\text{WO}_3$ ):** バンドギャップは  $2.8\sim 3.0\text{ eV}$  で、主に  $\text{O}2\text{p}$  軌道と  $\text{W}5\text{d}$  軌道の間で電子遷移が発生するため、淡黄色です。UV-Vis スペクトルは、吸収エッジが  $400\sim 450\text{nm}$  であることを示しています。
- **低酸素含有量 ( $\text{WO}_{3-x}$ ):** 酸素空孔は欠陥エネルギーレベルを導入し、バンドギャップは  $2.4\sim 2.6\text{ eV}$  に狭まり、色は青または青黒に変わります。例えば、 $\text{WO}_{2.9}$  は  $500\text{nm}$  まで吸収端が赤く、近赤外線吸収が促進されます ( $>700\text{nm}$  の遮蔽率が 50% 増加します)。

この光学的変化により、エレクトロクロミックおよびフォトサーマルアプリケーションで差別化が見られます。酸素含有量の高い三酸化タングステンは、光透過率の変化が大きく ( $80\rightarrow 10\%$ )、スマートウィンドウに適しています。酸素含有量の少ない青色タングステンは、強い赤外線吸収により農業用フィルムの断熱材に使用されます。

#### 電気的特性

#### 著作権および法的責任に関する声明

酸素含有量は、三酸化タングステンの導電率と半導体特性を調節します。

- **高酸素含有量:** 酸素十分  $\text{WO}_3$  は、キャリア濃度が低く ( $10^{15}-10^{16} \text{cm}^{-3}$ )、高抵抗率 ( $10^3-10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ ) の n 型半導体であり、絶縁や高抵抗のアプリケーションに適しています。
- **低酸素含有量:** 酸素空孔により自由電子濃度 ( $10^{\circ} \text{C}-10^{\circ} \text{C}$ ) が増加し、抵抗率が  $10^{\circ} \text{C}-10^{\circ} \text{C} \Omega \cdot \text{cm}$  に低下します。例えば、 $\text{WO}_2$   $\text{W}^{5+}$  の寄与により、 $\gamma$  の導電率は  $\text{WO}_3$  の導電率よりも 2 桁高くなっています。この特性により、電池電極 (リチウムイオン電池、容量 693mAh/g など) やセンサーなどに有利になります。

### 触媒性能

酸素含有量は、三酸化タングステンの光触媒および化学触媒活性に大きく影響します。

- **光触媒:** 多くの酸素空孔を持つ三酸化タングステンは、バンドギャップが狭く、欠陥状態が多いため、分離効率が高くなります。例えば、 $\text{WO}_2$  の光触媒水素生成速度です。 $\gamma$  は  $\text{WO}_3$  ( $300 \mu \text{mol/h} \cdot \text{g}$ ) を  $\text{WO}_3$  ( $300 \mu \text{mol/h} \cdot \text{g}$ )
- **化学的触媒作用:** 酸素空孔は、表面の酸性度を改善するための活性部位として使用されます。例えば、 $\text{WO}_2$  水素化反応における  $\gamma$  の変換率 (>90%) は、ルイス酸サイトの密度が高いため、 $\text{WO}_3$  (80%) よりも優れています。

### 熱安定性

酸素含有量の高い三酸化タングステンは、 $1700^{\circ} \text{C}$  までの熱安定性と分解温度が優れていますが、酸素が不足している  $\text{WO}_{3-x}$  は  $1000^{\circ} \text{C}$  を超えると  $\text{WO}_2$  または  $\text{W}$  に容易に減少します。この違いは、耐火性生地などの高温環境での適合性に影響します。

### 2.3.3 三酸化タングステンの調製と酸素含有量の制御

三酸化タングステンの調製方法は、その酸素含有量を決定し、酸素含有量の正確な制御は、特定の構造と特性を達成するための鍵です。以下では、一般的な調製プロセスと酸素含有量の調節メカニズムを分析します。

#### 焙煎方法

- **プロセス:** タングステン金属または タングステン粉末 を酸素雰囲気 ( $500-800^{\circ} \text{C}$ ) 下で焙煎することによって調製されます。
- **酸素含有量制御:**
  - **高酸素含有量:** 酸素分圧 > 0.2 気圧、温度  $600^{\circ} \text{C}$ 、反応時間 2 時間、 $\text{WO}_3$  が生成され、純度 > 99.9%。

- **低酸素含有量:** 酸素の分圧 $<0.05\text{atm}$ 、または還元剤( $\text{H}_2$ など)を追加して  $\text{WO}_{2.9}$  または青色タングステン ( $\text{W}_{20}\text{O}_{58}$ ) を生成します。たとえば、タングステン会社は、酸素指数が  $2.72\sim 2.9$  の  $\text{N}_2/\text{O}_2$  混合雰囲気 ( $\text{O}_2$  比 10%) で青色タングステンを調製します。
- **特徴:** シンプルで効率的で、工業生産に適していますが、酸素含有量の精度は雰囲気制御によって制限されます。

## 水熱法

- **プロセス:** タングステン酸ナトリウムまたはタングステン酸を前駆体として使用し、水溶液 ( $150\sim 250^\circ\text{C}$ 、12-48 時間) で合成します。
- **酸素含有量制御:**
  - **高酸素含有量:** 酸化剤 ( $\text{H}_2\text{O}_2$  など) を添加し、 $\text{pH} > 7$  で  $\text{WO}_3$  の形成を確保し、結晶形は単斜晶系です。
  - **低酸素含有量:**  $\text{pH} < 5$  を調整するか、還元剤 (エタノールなど) を添加して酸素空孔が豊富な  $\text{WO}_{3-x}$  を生成し、結晶形が立方晶に偏ります。たとえば、タングステン技術は、酸素含有量が  $180^\circ\text{C}$ 、エタノール/水 (1:1) に制御されていることを報告しています。 $85\text{-}\text{WO}_3$ 。
- **特徴:** 制御可能な粒子サイズ (10-100nm)、ナノ三酸化タングステンに適していますが、低収率です。

## 蒸着 (CVD)

- **プロセス:** タングステンフィラメント または  $\text{WF}_6$  を原料として使用し、酸素雰囲気 ( $400\sim 700^\circ\text{C}$ ) 下で堆積します。
- **酸素含有量制御:**
  - **高酸素含有量:** 酸素流量  $> 100\text{ sccm}$  で、緻密な  $\text{WO}_3$  フィルムが得られます。
  - **低酸素含有量:** 酸素流量 ( $< 20\text{ sccm}$ ) を減らすか、 $\text{H}_2$  を導入して  $\text{WO}_{3-x}$  を生成します。例えば、タングステン針で低酸素圧で蒸着した薄膜 は青黒色で、酸素含有量は  $\text{WO}_{2.9}$  です。
- **特徴:** フィルム調製に適しており、酸素含有量の均一性が良好ですが、コストが高くなります。

## 酸素含有量の検出と検証

- **化学分析:** 秤量後の  $\text{WO}_3$  の W への減少など、酸素含有量の重量測定。
- **スペクトル解析:** XPS を使用して  $\text{W}^{5+}/\text{W}^{6+}$  比を検出し、ESR を使用して酸素空孔の濃度を測定しました。
- **構造特性評価:** XRD と TEM により、結晶形の変化が確認されます。

### 著作権および法的責任に関する声明



CTIA GROUP LTD 黄色酸化タングステン

### 第3章酸化タングステンの分類

#### 3.1 化学組成に基づく酸化タングステンの分類

酸化タングステン は、タングステン(W)と酸素(O)からなる化合物の一種であり、その化学組成がその種類と特性を決定します。タングステンの酸化状態と酸素含有量に応じて、酸化タングステンは、三酸化タングステン ( $WO_3$ )、二酸化タングステン ( $WO_2$ )、および非一体性化合物の範囲を含むさまざまなタイプに分類できます。これらの化合物は、タングステン化学の多様性を反映して、色、構造、および用途が異なります。化学組成に基づく分類については、以下で説明します。

自然界では、タングステンは主に鉄マンガン重石とシェーライトの形で見られ、精製後に酸化タングステンに変換されます。工業的には、酸化タングステンは、タングステン金属、タングステン粉末、タングステンワイヤーなどのタングステン製品の製造における重要な中間体です。その化学組成は、その物理的特性に影響を与えるだけでなく、タングステン技術やタングステン研究への応用可能性も決定します。例えば、酸素含有量のわずかな変化は、色が黄色から青または紫に変わることがあり、これはタングステンの酸化状態と電子構造と密接に関連している現象です。

さらに、酸化タングステンの調製方法もその化学組成に影響を与えます。例えば、パラタングステン酸アンモニウム(APT)を異なる雰囲気中で焼成することにより、酸素含有量の異なる酸化物を得ることができます。この柔軟性により、酸化タングステンは産業や研

#### 著作権および法的責任に関する声明

究に広く適応することができます。化学組成の主な種類のいくつかを以下に詳しく説明します。

### 3.1.1 黄色の酸化タングステン/三酸化タングステン

黄色の酸化タングステンは、三酸化タングステン ( $WO_3$ ) と呼ばれ、酸化タングステンファミリーの最も一般的で安定した形態です。タングステンの化学組成は+ 6 酸化状態にあり、酸素含有量は理論上の最大値に達するため、鮮やかな黄色を呈しています。この色は、そのエネルギーバンドギャップ (約 2.5~2.8 eV) に由来するため、紫外線と部分的に可視光を吸収できます。

黄色酸化タングステンの調製は、通常、空气中で高温でパラタングステン酸アンモニウムまたはタングステン酸の焼成によって得られる。その物理的特性には、高融点 (1473° C)、高密度 (7.16 g/cm<sup>3</sup>)、優れた化学的安定性が含まれ、過酷な環境でも構造的に無傷のままでいることができます。結晶構造の面では、三酸化タングstenは単斜眼系結晶系によって支配され、タングステン原子は 6 つの酸素原子に囲まれて  $WO_6$  八面体を形成し、優れた電気的および光学的特性を提供します。

アプリケーションの面では、黄色の酸化タングstenは、電界の作用下で黄色から青または灰色に変化することができるそのエレクトロクロミック特性のためにスマートガラスで広く使用されています。また、有機汚染物質の分解に利用できる光触媒の重要な材料でもあります。

黄色の酸化タングstenは、安定性と汎用性の組み合わせでユニークです。それがタングsten化学品の中間体であろうと、ハイテク分野での直接の応用であろうと、それはかけがえのない価値を示しています。

### 3.1.2 オレンジ色の酸化タングsten

オレンジ色の酸化タングstenは、あまり言及されていない酸化タングstenの形態であり、特定の調製条件下で三酸化タングsten ( $WO_3$ ) の変種と見なされることがよくあります。これは、黄色の酸化タングstenと同じ化学組成を持っていますが、オレンジ色で、粒径、酸素空孔、または微量不純物に関連している可能性があります。

オレンジ色の酸化タングstenの調製は、通常、パラタングsten酸アンモニウムを焼成するとき、温度が 400~500° C に制御されている場合、または酸素供給が不十分な環境で、過渡的な条件下で行われます。その結晶構造は依然として単斜晶系結晶系によって支配されていますが、表面の欠陥や粒子の形態の違いにより光散乱が変化し、オレンジ色になる可能性があります。研究によると、この色の変化はその化学的性質を大きく

変えるのではなく、その光吸収特性に影響を与える可能性があることが(Tungsten Academic を参照して)示されています。

アプリケーションの面では、オレンジ色の酸化タングステンは、光触媒、センサー、その他の分野で使用できる黄色の酸化タングステンに似ています。しかし、その不安定な調製条件のために、それはめったに業界で別々に生産され、通常は三酸化タングステンの中間状態として存在します。タングステン市場でのその位置は、他のタイプほど重要ではありませんが、それでも特定の実験的研究で探求する価値があります。

オレンジ色の酸化タングステンの特殊性は、その遷移性にあり、酸化タングステンの構造と特性との関係を研究するための重要な手がかりを提供します。

### 3.1.3 青い酸化タングステン

青色酸化タングステンは、三酸化タングステンよりもわずかに低い酸素含有量を持つ整数酸化タングステンです。その青色は、電子構造を変化させる酸素空孔の存在に由来し、エネルギーバンドギャップを狭め、可視領域への光吸収範囲を拡大します。

青色酸化タングステンは、通常、パラタングステン酸アンモニウムまたは三酸化タングステンを水素などの還元雰囲気下で加熱することによって調製されます。その結晶構造は  $WO_3$  に似ていますが、酸素空孔が局所的な歪みを引き起こし、導電率と触媒活性を高めます。物理的特性の面では、黄色の酸化タングステンよりも還元が容易であり、タングステン粉末の製造における中間体としてよく使用されます。

アプリケーションでは、青色酸化タングステンは、その高い活性により、ガスセンサーや光熱材料に使用されています。 $NO_2$  やその他のガスに対する感度が高く、環境保護の分野で大きな可能性を秘めています。さらに、タングステン化学品の原料として使用し、さらにタングステン銅などの複合材料に加工することもできます。

青色酸化タングステンの魅力は、その不良状態特性にあり、機能性材料の分野では他に類を見ないものです。

### 3.1.4 紫色の酸化タングステン

紫色の酸化タングステン は、酸素含有量が少ない酸化タングステンであり、その紫色は酸素空孔の濃度が高いためです。その化学組成は  $WO_3$  と  $WO_2$  の間にあり、タングステンの酸化状態は部分的に +6 未満です。

調製において、紫色の酸化タングステンは、水素中の三酸化タングステンの高温処理など、より強力な還元条件下で生成する必要があります。その結晶構造は複雑で、酸素空孔は結晶格子の深刻な歪みを引き起こしますが、それでも一定の安定性を保持していま

す。これは、青色酸化タングステンよりも還元が容易で、高純度タングステン粉末の製造に適した原料です。

アプリケーションの面では、紫色の酸化タングステンは、性能に対する酸素空孔の影響を研究するためにタングステン研究でよく使用されます。また、バンドギャップがさらに狭くなり、光応答性が強くなるため、光触媒や電気化学の分野でも可能性を秘めています。

紫色の酸化タングステンのユニークな色と特性は、酸化タングステンファミリーの「人格学校」となっています。

### 3.1.5 白色酸化タングステン

白色酸化タングステンは、伝統的な意味での酸化タングステンの一種ではなく、特定の条件下での三酸化タングステンの変種であり、多くの場合、ナノまたは高純度に関連しています。その化学組成はまだ  $WO_3$  ですが、非常に小さな粒子や表面効果により、散乱光が増強され、白く見えます。

調製において、白色酸化タングステンは、メタタングステン酸アンモニウムの低温分解またはソルボサーマル調製によって調製することができます。その結晶構造は黄色酸化タングステンの結晶構造と一致していますが、そのナノスケールのサイズはその光学特性を変化させます。物理的には  $WO_3$  の高い安定性を保持していますが、比表面積と活性の点で優れています。

用途では、白色酸化タングステンは、その高い活性のために光触媒およびナノコーティングに使用される。タングステン市場では単独で言及されることはほとんどありませんが、高付加価値材料としての可能性を秘めています。白色酸化タングステンの特殊性は、酸化タングステンの用途に新たな方向性を開くナノ特性にあります。

### 3.1.6 二酸化タングステン/茶色の酸化タングステン

二酸化タングステン ( $WO_2$ ) は、茶色の酸化タングステンとも呼ばれ、タングステンの +4 酸化状態の酸化タングステンです。酸素含有量が最も低く、色は暗褐色で、 $WO_3$  とは性質的に大きな違いがあります。

調製において、二酸化タングステンは、強い還元条件(高温水素など)下で三酸化タングステンによって製造されます。その結晶構造は単斜晶系ですが、 $WO_4$  ユニットは  $WO_6$  とは異なる方法で接続されているため、電気伝導率が高くなります。物理的には、融点は最大  $1700^{\circ}C$  ですが、化学的安定性は  $WO_3$  よりも低くなっています。

アプリケーションでは、二酸化タングステンは、タングステン金属の製造における中間体としてよく使用され、また、その電気的特性のために電極材料にも使用されています（タングステンの研究を参照）。タングステン化学物質におけるその役割は基本的ですが、不可欠です。二酸化タングステンは、その低い酸化状態とユニークな特性で、酸化タングステンの分類を豊かにします。

### 3.2 結晶構造に基づく酸化タングステンの分類

酸化タングステンの結晶構造は、その特性を決定する重要な要素であり、さまざまな結晶形態に応じて、単斜晶系、直交形、六角形、立方晶系などのさまざまなタイプに分類できます。これらの結晶形態の形成は、温度、圧力、および調製プロセスと密接に関連しており、各構造は酸化タングステンに独自の物理的および化学的特性を与えます。これらのポリモーフの特性とその用途については、以下で詳しく説明します。

#### 3.2.1 単斜晶系酸化タングステン

単斜晶系の結晶形態は、室温での三酸化タングステン（すなわち、黄色の酸化タングステン）の主な形態です。この結晶形の構造は、 $WO_6$ 八面体で構成されており、これらは同角接続によって接続され、非対称の3次元ネットワークを形成しています。その結晶格子の非対称性により、単斜晶系酸化タングステンは高い安定性と優れた特性を示し、実用化で最も一般的な形態となっています。

単斜晶系酸化タングステンは、通常、2.5~2.8 eV のバンドギャップを持ち、良好な光学的および電気的特性を備えています。その安定性は、スマートガラスの分野で輝きを放ち、エレクトロクロミック効果による可逆的な色の变化を可能にします。また、光触媒の分野では、単斜晶系酸化タングステンは、紫外線や可視光の吸収能力があるため、有機汚染物質の分解触媒としてよく使用されます。業界では、パラタングステン酸アンモニウムの焼成によるタングステン粉末の調製のための中核原料でもあります。

単斜晶系酸化タングステンの適用は、構造と性能の完璧なバランスにより、酸化タングステンファミリーの「主力」です。

#### 3.2.2 斜方晶系酸化タングステン

斜方晶系酸化タングステンは、より高い温度（例えば、300-500° C）で形成される結晶構造です。単斜晶系の結晶形と比較して、 $WO_6$ 八面体の配置はより対称的であり、結晶格子の対称性が改善されます。この構造変化により、斜方晶体は、特に光触媒の分野において、特定の特性で独自の利点を示すことができます。

斜方晶性酸化タングステンは、より開放的な構造と表面上のより活性なサイトを持っているため、光触媒反応で汚染物質をより効率的に吸着および分解することができます (Tungsten Academic を参照)。その調製は、通常、特定の温度での三酸化タングステンの相変態、またはタングステン酸の分解条件を制御することによって達成されます。単斜晶系よりも安定性がわずかに劣りますが、特定のアプリケーションで優れた性能を発揮します。斜方晶系は、酸化タングステンの遷移形態として、単斜晶系結晶形ほど産業界では広く使用されていませんが、特に高性能触媒の開発において、その可能性をさらに探求する必要があります。

### 3.2.3 六方晶酸化タングステン

六方晶酸化タングステンは、特殊な調製方法(例えば、水熱法)によって得られる結晶構造であり、その形態は通常、ナノロッドまたはナノチューブの形態である。この結晶形の  $WO_6$  八面体は、六角形の対称的な方法で配置され、イオンのインターカレーションと輸送に最適な開チャンネル構造を形成しています。

六角形の酸化タングステンのユニークな構造は、バッテリーやセンサーの分野で大きな利点をもたらします。たとえば、リチウムイオン電池では、そのオープンチャンネルによりイオン拡散率が増加し、バッテリーのサイクリング性能が向上します(タングステン研究を参照)。ガスセンサーでは、六角形のナノ構造が比表面積を増加させ、ガス分子に対してより高い感度を示します。

さらに、メタタングステン酸アンモニウムの水熱合成によっても調製することができ、そのプロセスは高度に制御可能です。六方晶酸化タングステンは、その高い活性と特殊な形態で、ナノテクノロジーの分野での酸化タングステンの応用のための幅広い可能性を提供します。

### 3.2.4 立方晶性酸化タングステン

立方晶酸化タングステンは、高温条件( $900^{\circ}\text{C}$  以上など)で形成される結晶構造であり、その  $WO_6$  八面体配列は最高の対称性を達成し、立方対称格子を示します。この構造の対称性は理論的な完成度を与えますが、実際には熱力学的不安定性のためにあまり一般的ではありません。

立方晶性酸化タングステンの調製には、高温高压での三酸化タングステンの処理など、極端な条件がしばしば必要になります。そのバンドギャップと電気的特性は単斜晶系結晶形のものとは異なりますが、実際の用途では安定性が不十分なために制限されます。この研究では、立方晶性は、酸化タングステンの相変態法則と理論的特性を探求し、結晶構造と特性との関係を理解するためのデータサポートを提供するために、より使用されています。

その高い対称性と希少性により、立方晶酸化タングステンは酸化タングステン結晶構造の多様性を示しており、その応用シナリオは限られていますが、学術研究において依然として重要な対象です。

### 3.3 物理的形態に基づく酸化タングステンの分類

酸化タングステンの物理的形態は、その用途の多様性の重要な実施形態であり、ナノ粒子、ナノシート、ナノワイヤ、ナノロッド、ナノフラワー、薄膜およびバルクなどの様々なタイプに分類することができる異なる粒子サイズ、形態および構造。これらの形態の違いは、その物理的および化学的特性に影響を与えるだけでなく、タングステン技術およびタングステン研究におけるその特定の使用を直接決定します。以下では、各物理形態の特性、準備方法、および適用シナリオについて詳しく説明します。

#### 3.3.1 酸化タングステンナノ粒子

酸化タングステンナノ粒子は、通常、三酸化タングステン(黄色酸化タングステン)が優勢な、1〜100 ナノメートルの粒子サイズを有する球状または球形に近い粒子を指す。サイズが小さいため、比表面積が大幅に増加し、バルク材料とは大きく異なる特性を示します。ナノ粒子の調製は、通常、パラタングステン酸アンモニウムの化学沈殿または低温焼成によって達成されますが、これは簡単で制御可能です。

ナノ粒子酸化タングステンの光学特性は、量子効果によって増強され、それらのバンドギャップはわずかに変化する可能性があります。水の分解や有機汚染物質の分解などの光触媒分野で一般的に使用されています。電気的には、比表面積が大きいため、ガスセンサーに優れており、 $\text{NO}_2$ や $\text{H}_2\text{S}$ などのガスに迅速に応答することができます。さらに、それはまた、として使用することができます:タングステン粉末調製のための前駆体タングステン。

実際の用途では、酸化タングステンナノ粒子は、その均一性と分散性のために、タングステン銅やタングステングムなどの複合材料にドーピングされることが多く、性能を向上させます。そのナノ特性は、タングステン市場、特にナノテクノロジーによって推進されるハイエンドセグメントで注目を集めています。

酸化タングステンナノ粒子は、その高い活性と容易な加工のために、ナノ材料研究のスター形態となっています。

#### 3.3.2 酸化タングステンナノシート

酸化タングステンナノシートは、ナノメートルの厚さとミクロンサイズまでの横方向の寸法を持つ二次元構造です。このシート形態は通常、例えばタングステン酸溶液から成

長ささせるなど、ソルボサーマルまたは剥離によって調製されます。ナノシートの結晶構造は、ほとんどが単斜晶系または斜方晶系の結晶形態であり、大きな露出表面を有する。

ナノシート酸化タングステンの利点は、その二次元特性と豊富な表面活性部位にあり、触媒反応に非常に適しています。研究によると(タングステンアカデミックを参照)、染料の光触媒分解や水から水素への光分解において、バルク材料よりも効率的であることが示されています。さらに、そのラメラ構造は、リチウム電池電極などの電気化学的エネルギー貯蔵の分野で、より多くのイオンインターカレーションサイトを提供する可能性を提供します。

アプリケーションでは、酸化タングステンナノシートは、その機械的柔軟性と電気的特性により、柔軟な電子デバイスの製造にも使用できます。また、酸化モリブデンなどの他の材料と組み合わせて、高性能センサーを作成することもできます。酸化タングステンナノシートは、その二次元特性と高い活性により、機能性材料の開発に新たなアイデアを提供します。

### 3.3.3 酸化タングステンナノワイヤー

酸化タングステン ナノワイヤーは、直径がナノメートルの範囲にあり、長さが数ミクロンまたはそれ以上である一次元構造です。その調製方法には、蒸着法と水熱法があり、メタタングステン酸アンモニウムを原料として使用することが多く、反応条件を制御することにより細長い線状構造を成長させます。多形は、合成環境に応じて、ほとんどが単斜晶系または六角形です。

ナノワイヤー酸化タングステンは、その高いアスペクト比と一方向導電性により、電子デバイスに優れています。例えば、電界効果トランジスタのチャネル材料として、またはガスセンサの高感度検出に使用できます(「タングステン研究」を参照)。その一次元構造は、ラインに沿った光生成キャリアの経路が短いため、光触媒の効率にも寄与します。

工業用途では、酸化タングステンナノワイヤーをさらに加工して、タングステンフィラメントのナノスケール前駆体に加工したり、タングステン化学品を開発したりすることができます。また、その形態は、タングステンプラスチックと組み合わせて機械的特性を改善するなど、フレキシブルディスプレイやナノ複合材料での使用にも適しています。酸化タングステンナノワイヤーは、その一次元特性および優れた特性により、ナノテクノロジーの重要な一員となっている。

### 3.3.4 酸化タングステンナノロッド

#### 著作権および法的責任に関する声明

酸化タングステンナノロッドは、それらも一次元構造であるという点でナノワイヤと似ていますが、長さが短く、アスペクト比は通常 10 未満です。その調製は、主にタングステン酸ナトリウムまたは三酸化タングステンを原料として使用し、pH 値と温度を調整することによって形態を制御する、水熱またはソルボサーマル法を使用します。結晶形は主に六角形または単斜晶系です。

タングステンナノロッド酸化物は、一次元性と高い安定性の両方を特徴としており、イオンインターカレーションアプリケーションに適しています。電池の分野では、その棒状の構造により、電極材料のサイクル性能を向上させることができます。さらに、適度な表面積と容易な分散のために、光触媒でも優れた性能を発揮します。

アプリケーションの面では、酸化タングステンナノロッドは、タングステン酸ベースの触媒を調製するために、またはタングステンヒーターのナノスケール成分として使用することができます。また、タングステン銅と配合して熱伝導率を向上させることもできます。産業界では、CTIA GROUP LTD は新エネルギー分野でのその可能性に強い関心を示しています。酸化タングステンナノロッドは、その適度なサイズと汎用性により、一次元材料の中で実用的な選択肢となっています。

### 3.3.5 酸化タングステンナノフラワー

酸化タングステンナノフラワーは、ナノシートまたはナノロッドによって花のような形に組み立てられた三次元の階層構造であり、通常は水熱法または自己組織化法によって調製されます。その原料は、反応時間と添加剤を制御することによって形成されるタングステン酸またはメタタングステン酸アンモニウムであり得る。結晶形は主に単斜晶系または六角形です。

ナノフラワー酸化タングステンの最大の特徴は、その超高比表面積と多孔質構造であり、触媒作用の分野で大きな利点があります。例えば、汚染物質の光触媒分解や電気触媒による水素生成において非常に高い活性を示します (Tungsten Academic の項参照)。また、花のような構造によりガス吸着能力を高め、高感度センサーにも適しています。

実用化では、酸化タングステンナノフラワーは、空気清浄などの環境処理に、またはタングステン化学物質の機能性添加剤として使用することができます。その美しいフォルムと実用化は、タングステン市場で徐々に注目を集めています。その複雑な構造と高性能により、酸化タングステンナノフラワーはナノ材料の中で「芸術作品」となっています。

### 3.3.6 酸化タングステン膜

酸化タングステン薄膜は、ナノメートルからマイクロメートルまでの厚さの 2 次元巨視的形態であり、通常はスパッタリング法、化学気相成長法 (CVD)、またはゾルゲル法によ

って調製されます。その化学組成は三酸化タングステンによって支配され、結晶形態は主に単斜晶系または直交形です。

薄膜酸化タングステンのエレクトロクロミック特性は、その中核的な強みであり、電界による色の变化を制御するためにスマートガラスやディスプレイデバイスで 사용할 ことができます。また、太陽電池の電子輸送層など、オプトエレクトロニクスデバイスへの応用も多岐にわたります。このフィルムは高い平坦性と安定性を備えているため、大規模な統合に適しています。

工業的には、酸化タングステン膜は、タングステン製品の表面コーティングによく使用され、またはタングステン銅と組み合わせて複合材料を調製します。酸化タングステン膜は、その平坦性と機能性により、薄膜技術の重要な材料です。

### 3.3.7 酸化タングステンブロック

酸化タングステンブロックは、通常、粉末プレスおよび成形後の高温焼結によって調製される巨視的サイズの固体形態を指す。その化学組成は主に三酸化タングステンであり、結晶形は主に単斜晶系です。バルク材料は粒子サイズが大きく、ナノ効果がありません。

バルク酸化タングステンは、高密度と高い安定性を特徴とし、タングステン金属またはフェロタングステンの製造のための原料としてよく使用されます。高温環境でも構造的完全性を維持でき、耐火材料や放射線遮蔽材料の調製に適しています。また、ブロック形状は持ち運びや保管も簡単です。

産業界では、酸化タングステンブロックは、タングステン粉末とタングステンワイヤーの製造のための基本的な原料であり、タングステン市場で広く使用されています。その活性はナノフォームほど良くはありませんが、それでも伝統的な分野ではかけがえのないものです。その堅牢性と実用性により、酸化タングステンブロックは業界での地位を築いてきました。

## 3.4 粒子サイズに基づく酸化タングステンの分類

酸化タングステンの粒子サイズは、その物理的特性とアプリケーションシナリオの重要な決定要因です。粒子の大きさによって、粗いもの、超微細なもの、ミクロン型、サブミクロン型など、さまざまな種類に分けることができます。これらのサイズの違いは、その比表面積と反応性に影響を与えるだけでなく、タングステン技術、タングステン研究、工業生産における特定の使用にも直接関係しています。粒子サイズとその特性に基づく酸化タングステンの分類については、以下で詳しく説明します。

### 3.4.1 粗粒酸化タングステン

#### 著作権および法的責任に関する声明

粗粒酸化タングステンは、通常、数十ミクロンまたはそれ以上で、主に三酸化タングステン（黄色酸化タングステン）の粒子サイズの形態を指す。これらの粒子は通常、パラタングステン酸アンモニウム（APT）を高温（800° C 以上など）で長時間焼成するか、鉄マンガング重石と灰重石から直接焼結することによって得られます。粒子のサイズが大きいため、その比表面積は比較的低く、表面活性は弱いです。

粗粒酸化タングステンの物理的特性は、高密度（約 7.16g /cm<sup>3</sup>）と優れた熱安定性を含み、融点は 1473° C と高く、高温で構造的完全性を維持することができます。この特性により、タングステン金属、タングステン粉末、タングステンワイヤーの製造に理想的な原料となります。産業界では、粗粒形態は貯蔵および輸送に便利であり、フェロタングステンまたはタングステン銅などの合金の調製によく使用されます。さらに、冶金および原子力産業における耐火物または放射線遮蔽材料の基材としても使用できます。しかし、粒径が大きいため、粗粒酸化タングステンは反応性が低く、光触媒やセンサーなど、高い表面活性を必要とする用途には適していません。その結晶構造はほとんどが単斜晶系で安定していますが、ナノテクノロジー主導の分野では徐々に微細な粒子に置き換えられています。それにもかかわらず、伝統的なタングステン製品の生産におけるその地位は揺るぎないままです。粗粒酸化タングステンは、その堅牢性と経済性により、工業用途の「ベテラン」となっています。

### 3.4.2 超微粒子酸化タングステン

超微粒子酸化タングステンとは、通常、三酸化タングステンまたは青色酸化タングステンの形で、サイズが 1~100 ナノメートルの範囲の粒子を指します。このサイズの粒子は、メタタングステン酸アンモニウムの化学沈殿、ソルボサーマルまたは低温分解によって調製されます。粒子のサイズが非常に小さいため、その比表面積は大幅に増加し、大きなナノ効果を示します。

超微粒子酸化タングステンの光学特性は、量子サイズ効果によって強化され、エネルギーバンドギャップはわずかに拡大することができ、有機汚染物質の分解や水の光分解による水素の生成などの光触媒アプリケーションに適しています。電気的には、比表面積が大きいため、ガスセンサーに優れており、NO<sub>2</sub> や H<sub>2</sub>S などのガスに対して高感度で高速に応答します。さらに、それはまた、タングステン酸またはタングステン酸の調製におけるタングステン化学物質の原料として使用することができる。アプリケーションでは、酸化タングステンの超微粒子は、性能を向上させるために、タングステンプラスチックやタングステングムなどの複合材料にドーピングされることがよくあります。超微粒子酸化タングステンは、その高い活性とナノ特性により、機能性材料の分野で「新しいスター」になりました。

### 3.4.3 ミクロンの酸化タングステン

#### 著作権および法的責任に関する声明

ミクロンサイズの酸化タングステンは、通常、三酸化タングステン(黄色の酸化タングステン)または紫色の酸化タングステンが支配する 1~10 ミクロンの粒子サイズの形態を指します。粒子は、中温(500-700° C)でパラタングステン酸アンモニウムを焼成するか、または粗い粒子から機械的に粉砕することによって得られる。その比表面積は粗い粒子と超微粒子の間にあり、特定の表面活性があります。

ミクロンの酸化タングステンは、粗い粒子に匹敵する融点と密度で、安定で適度に活性な物理的特性の両方を持っていますが、粒子が小さいと処理中に分散しやすくなります。それはタングステンの粉およびタングステン金属の生産で一般に使用され、またタングステンのヒーターまたはタングステンの針のための原料として使用することができます。光触媒の分野では、ミクロンサイズの粒子はナノ粒子ほど活性ではありませんが、それでも需要の低いシナリオで使用できます。

アプリケーションの面では、ミクロンの酸化タングステンは、コストと性能のバランスにより大規模生産に適しているため、タングステン市場で重要な位置を占めています。また、導電性材料に使用するため、またはタングステン酸ナトリウムの調製のための前駆体として、タングステン銅と配合することもできます。その結晶構造は主に単斜晶系結晶系であり、粒子の形態は比較的規則的です。

ミクロンの酸化タングステンは、その適度なサイズと実用性により、産業および科学研究の「バックボーン」となっています。

#### 3.4.4 サブミクロンの酸化タングステン

サブミクロン酸化タングステンは、100 ナノメートルから 1 ミクロンの間の粒子サイズの形態を指し、通常は三酸化タングステンまたは青色酸化タングステンによって支配されます。粒子は、制御されたパラタングステン酸アンモニウム焼成条件(例えば、500-600° C、短時間加熱)または湿式化学によって調製されます。その比表面積はミクロンよりも高く、超微粒子よりも小さいため、両方の長所を兼ね備えています。

サブミクロンの酸化タングステンは、粗い粒子よりも優れた光学および電気的特性を備えているため、光触媒や電気化学センサーに適しています。例えば、CO または VOC(揮発性有機化合物)の検出に高い感度を示します(「タングステン研究」を参照)。電池分野では、サブミクロン粒子が適度なイオン輸送チャネルを提供し、電極材料の添加剤として適しています。また、それは球状タングステン粉末の製造のための優れた原料です。

工業用途では、サブミクロンの酸化タングステンは、タングステンワイヤの中間体やタングステン粒子の調製の基礎など、タングステン製品の微細加工によく使用されます。また、タングステンプラスチックと組み合わせて、複合材料の均質性を向上させること

#### 著作権および法的責任に関する声明

もできます。結晶構造は主に単斜晶系または直交しており、粒子の形態は多様です。サブミクロンの酸化タングステンは、その過渡的なサイズと汎用性により、ナノとマイクロのアプリケーション間の「架け橋」となっています。

#### 3.4.5 ナノ酸化タングステン

ナノ酸化タングステンとは、通常、三酸化タングステン(黄色酸化タングステン)、青色酸化タングステンまたは紫酸化タングステンの形態で、1~100 ナノメートルの範囲の粒径を有する酸化タングステンを指す。このサイズ範囲の粒子は、そのナノ効果により従来の材料とは全く異なる特性を示し、タングステン研究やタングステン技術の分野で話題となっています。

ナノ酸化タングステンの調製方法には、化学沈殿、パラタングステン酸アンモニウムの水熱分解および低温分解など、さまざまな方法があります。例えば、タングステン酸溶液の pH と反応温度を制御することにより、均質なナノ粒子を生成することができます。粒子サイズが非常に小さいため、その比表面積は大幅に増加し、多くの場合、グラムあたり数十~数百平方メートルに達し、この高い表面積により優れた表面活性が得られます。結晶構造の面では、ナノ酸化タングステンは、調製条件に応じて、主に単斜晶系または六角形です。

性能の面では、ナノ酸化タングステンの光学特性が特に顕著です。量子サイズ効果によりバンドギャップがわずかに拡大(2.5-3.0 eV)する可能性があり、水の光分解による水素の生成や有機汚染物質の分解などの光触媒の分野で優れています。電気的には、その高い比表面積と酸素空孔などの表面欠陥により、導電性とイオン輸送能力が向上し、ガスセンサーやリチウム電池電極材料に最適です。さらに、ナノ酸化タングステンは良好な分散性を有し、タングステン酸塩または複合材料の調製におけるタングステン化学物質の添加剤として使用することができる。

アプリケーションでは、ナノ酸化タングステンはハイテク分野で広く使用されています。例えば、タングステンプラスチックまたはタングステングムと混合して、材料の性能を向上させることができます。また、タングステンワイヤーまたはタングステン針の製造のためのタングステン粉末の前駆体としても使用できます。その小さなサイズ、高い活性と汎用性で、ナノ酸化タングステンは、ナノテクノロジーと伝統的な産業の完璧な組み合わせとなり、酸化タングステンファミリーの「最先端の代表」です。

#### 3.4.6 サブナノメートル酸化タングステン

サブナノメートルの酸化タングステンとは、通常、クラスター化または分子の形態で、粒子サイズが1 ナノメートル未満の酸化タングステンを指します。このサイズ範囲の材

#### 著作権および法的責任に関する声明

料は原子スケールに近く、従来の固体材料よりも分子に近い特性を持っています。その非常に小さいサイズのために、サブナノメートル酸化タングステンの研究と応用はまだ探索段階にありますが、それはタングステン科学研究において非常に重要です。

サブナノメートルの酸化タングステンの調製には、蒸着(CVD)、分子線エピタキシー、溶液化学などの高精度な技術が必要です。原料はメタタングステン酸アンモニウムまたはタングステン酸ナトリウムであり得、サブナノ粒子は、超低濃度および急冷などの精密に制御された反応条件によって生成される。粒子サイズが非常に小さいため、結晶構造は不完全であることが多く、アモルファスまたは部分的に秩序化されており、特定の表面積が理論上の限界に達し、表面原子の割合が非常に高い場合があります。

性能の面では、サブナノメートルの酸化タングステンの光学および電気的特性は、大きな量子閉じ込め効果の影響を受けます。そのバンドギャップはさらに拡大し、強力な蛍光特性を示す可能性があるため、LEDなどのオプトエレクトロニクスデバイスでの潜在的なアプリケーションになります(Tungsten Academicを参照)。触媒の分野では、サブナノ酸化タングステンの超高表面活性により、CO酸化や有機合成などの単一分子反応に対して非常に選択的になります。さらに、その電子構造の高い調整性も、電気化学センサーの関心の源となっています。

アプリケーションの面では、サブナノメートルの酸化タングステンは、その高い調製コストと貧弱な安定性のために、現在、主に実験室研究で使用されています、産業応用は成熟していません。しかし、タングステン銅またはタングステンプラスチックと配合されたタングステン化学物質の機能単位として使用して、新材料の可能性を探ることができます。将来的には、調製技術の進歩に伴い、サブナノメートルの酸化タングステンは、ナノメディシン(薬物送達など)や量子コンピューティングの分野でその地位を確立することが期待されています。

サブナノメートルの酸化タングステンは、その極端なサイズとユニークな特性により、材料科学の最先端を代表し、酸化タングステンの分類における「未来の星」となっています。

### 3.5 純度に基づく酸化タングステンの分類

酸化タングステンの純度は、その性能と用途の重要な指標であり、通常酸化タングステンと高純度の酸化タングステンの2つのカテゴリに分類することができます。純度の違いは、産業界や研究における適用性に直接影響しますが、これについては以下で詳しく説明します。

#### 3.5.1 通常の酸化タングステン

##### 著作権および法的責任に関する声明

通常の酸化タングステンとは、主に三酸化タングステン(黄色の酸化タングステン)または青色の酸化タングステンの形で、低純度(通常は 95%~99%)の酸化タングステンを指します。不純物には、鉄、モリブデン、ナトリウムなどの元素が含まれ、通常は鉄マンガン重石やシェーライトの精製プロセス、またはパラタングステン酸アンモニウムの焼成中に完全に除去されない残留物に由来します。

通常の酸化タングステンの調製プロセスは比較的単純であり、例えば、タングステン酸の直接焼成または広範な還元法によって調製される。その物理的特性は高純度バージョンと似ており、融点は約 1473° C、密度は 7.16g /cm<sup>3</sup> ですが、不純物の存在により、その色はわずかに逸脱する可能性があり(灰色がかった黄色や鈍い黄色など)、結晶構造は主に単斜晶系です。不純物の影響により、その電気的および光学的特性は高純度製品のものよりわずかに劣りますが、それでもそれほど要求の厳しくないシナリオでは実用的です。

アプリケーションでは、通常の酸化タングステンは、タングステン粉末、タングステン金属またはフェロタングステンの原料として、主に工業生産で使用されています。また、耐火材料用のタングステン酸塩やタングステン化学薬品などのローエンド製品の調製にも使用できます。安価で大規模生産に適していますが、光触媒やエレクトロニクスなどの高精度分野での性能は限られています。

通常の酸化タングステンは、その経済性と幅広い適用性により、産業分野での「基本的なプレーヤー」となっています。

### 3.5.2 高純度酸化タングステン

高純度酸化タングステンとは、純度が 99.9%以上の酸化タングステンを指し、通常は三酸化タングステン(黄色酸化タングステン)が優勢です。不純物含有量が非常に低く(<0.1%)、イオン交換、複数回の洗浄、高温焼成によるメタタングステン酸アンモニウムやタングステン酸ナトリウムなどの多段階精製プロセスによって製造されます。

高純度酸化タングステンの物理的特性は非常に優れており、色は純粋で、結晶構造は規則的であり、それらのほとんどは単斜晶系結晶系です。その光学特性は安定しており、エネルギーバンドギャップは正確で制御可能であり、オプトエレクトロニクスデバイスや光触媒に適しています。電気的には、不純物の減少により導電率とイオン輸送が改善され、高性能センサーや電池材料に一般的に使用されています。さらに、その高純度は化学的安定性を確保し、過酷な環境に適しています。アプリケーションでは、高純度酸化タングステンは、タングステンワイヤー、タングステン針、タングステンヒーターの製造など、ハイエンドのタングステン製品のコア原料です。また、スマートガラス、エレクトロクロミックデバイス、ナノコーティングにも広く使用されています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

## 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 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".



著作権および法的責任に関する声明



CTIA GROUP LTD 黄色酸化タングステン

## 第4章 酸化タングステンの構造

### 4.1 酸化タングステンの結晶構造特性

酸化タングステンの結晶構造は、タングステン技術、タングステン研究および工業用途におけるその性能を直接決定するその物理的および化学的特性の基礎です。調製条件および周囲温度に応じて、酸化タングステンは、単斜晶系、直交形、六角形、立方晶系など、さまざまな結晶形態を示すことができます。これらの結晶形態は、タングステン原子と酸素原子の配置とそれらの化学結合特性によって特徴付けられます。次のセクションでは、基本単位、対称性、原子配列、欠陥、および空孔の観点から酸化タングステンの結晶構造特性について説明します。酸化タングステンは通常、三酸化タングステン(黄色酸化タングステン)によって表され、その結晶構造は、特定の比率と方法でタングステン原子と酸素原子の組み合わせによって形成されます。

自然界では、タングステンは鉄マンガン重石または灰重石の形で存在し、それらは精製されて酸化タングステンに変換されます。その結晶構造は、光学特性(エレクトロクロミック特性など)に影響を与えるだけでなく、電気的および触媒的特性も決定するため、スマートガラス、光触媒、センサーなどの分野で広く使用されています。

#### 4.1.1 酸化タングステン結晶構造の基本単位と対称性

酸化タングステン結晶構造の基本単位は  $WO_6$  八面体、すなわち、1つのタングステン原子が6つの酸素原子に囲まれて八面体配位構造を形成しています。これらの元素は、コア

#### 著作権および法的責任に関する声明

ンギュレーション、コサイド、またはコプラナリティによって接続され、3次元の結晶ネットワークを形成します。 $WO_6$ 八面体の存在は、酸化タングステンの構造安定性とその多型の基礎の中心です。

三酸化タングステン(黄色酸化タングステン)の単斜晶系では、 $WO_6$ 八面体は同角接続によって接続され、対称性が低く、単斜晶系に属する非対称の三次元フレームワークを形成します。この非対称性により、単斜晶系の結晶形態は室温で最も安定しており、工業生産( [タングステン粉末](#) や [タングステン](#)、調製など)や機能材料(スマートガラスなど)

でよく使用されます。温度が上昇すると、例えば  $300\sim 500^{\circ}C$  で、酸化タングステンは斜方晶形に変換され、 $WO_6$ ユニットの対称性が増強され、結晶格子配置はより規則的になり、これは斜方晶系に属します。

六方晶酸化タングステンは、水熱法(例えば、メタタングステン酸アンモニウムを原料とする)によって調製され、 $WO_6$ 八面体は、六角形対称に配置されて開チャンネル構造を形成し、対称性が高く、イオン埋め込みアプリケーション(電池材料など)に適しています。より高い温度(例えば、 $900^{\circ}C$  以上)では、酸化タングステンは立方晶形態に変換され、 $WO_6$ ユニットの対称性は、立方晶系に属する最大に達するが、熱力学的不安定性のために、実用化は少ない(タングステンアカデミックを参照)。

対称性の変化は、酸化タングステンの特性に直接影響します。例えば、対称性の低い単斜晶系は強いエレクトロクロミック能力を持ち、対称性が高い六角形の形態は、その開放構造のために触媒作用においてより多くの利点を有する。工業的には、パラタングステン酸アンモニウムの焼成によって生成される酸化タングステンは、その安定性のためにタングステン製品の大規模生産に最も適している、主に単斜晶系結晶形です。基本単位として、 $WO_6$ 八面体は、さまざまな接続方法と対称性を通じて、酸化タングステんに豊かな構造的多様性を与えます。

酸化タングステン結晶構造の基本単位と対称性は、その汎用性を理解し、さまざまな分野での応用の基礎を築くための鍵です。

#### 4.1.2 酸化タングステンの原子配列

酸化タングステンの原子配列は、その結晶構造の具現化であり、その格子パラメータと性能特性を直接決定します。三酸化タングステンを例にとると、その原子配列は  $WO_6$ 八面体の空間分布に基づいており、異なる結晶形態のタングステン原子と酸素原子の相対位置は異なります。

単斜晶系酸化タングステンでは、タングステン原子は八面体の中心に位置し、その周囲に6つの酸素原子が分布しており、わずかに歪んだ  $WO_6$ 単位を形成しています。これらの元素は共角で結ばれ、格子 a、b、c の3方向に配列されていますが、単斜晶系の対称

性が低いいため、格子角( $\beta$  角)が  $90^\circ$  にならず、原子配列が非対称になってしまいます。この配置により、単斜晶系の形態は室温で安定しており、格子パラメータは典型的には  $a \approx 7.3 \text{ \AA}$ 、 $b \approx 7.5 \text{ \AA}$ 、 $c \approx 7.7 \text{ \AA}$  です。この構造は、スマートガラスの色変更など、電気的および光学的アプリケーションに適しています。

斜方晶形の原子配列はより規則的であり、 $\text{WO}_6$ 八面体の歪みは減少し、タングステン原子と酸素原子の位置はより対称的であり、格子パラメータは直交する傾向があります( $a \neq b \neq c$  ですが、角度は  $90^\circ$  に近いです)。この配列は高温で形成され、界面活性部位を増加させ、光触媒に優れています。六方晶酸化タングステンは六方対称に配置され、 $\text{WO}_6$  ユニットは中心軸の周りにチャンネルのような構造を形成し、タングステン原子と酸素原子は六角形の対称軸に沿って分布し、 $c$  軸は格子パラメータで長くなります。この配置は、ナノロッドまたはナノチューブの形態に一般的に見られ、イオン輸送に適しています。

酸化タングステンの立方晶形は最も高い対称性を持ち、 $\text{WO}_6$ 八面体は3方向に等距離に配置され、タングステン原子と酸素原子の位置は完全に対称であり、格子パラメータ  $a = b = c$  です。この配置は高温で形成されますが、不安定性があるため、理論研究にのみ使用されます。業界では、酸化タングステンの原子配列は、タングステン酸分解やパラタングステン酸アンモニウム焼成など、主に単斜晶系の結晶形態であり、その規則的な原子配置は、タングステン金属生産の品質を保証します。

酸化タングステンの原子配列は、 $\text{WO}_6$ ユニットの接続と対称性によって変化し、多様な結晶構造を形成し、タングステン製品への応用電位に直接影響します。

#### 4.1.3 酸化タングステンの結晶構造の欠陥と空孔

酸化タングステンの結晶構造の欠陥および空孔は、特に三酸化タングステン(黄色酸化タングステン)およびその無失化合物(青色酸化タングステン、紫酸化タングステンなど)において、その特性の重要な調節因子である。欠陥には主に酸素空孔、タングステン空孔、不純物原子が含まれ、酸素空孔が最も一般的で最も影響力のあるタイプです。

酸素空孔とは、 $\text{WO}_6$ 八面体に酸素原子が存在しないことを指し、その結果、タングステン原子の配位数が減少し、結晶格子が局所的に歪みます。三酸化タングステンでは、酸素空孔含有量が低く、構造は比較的無傷で、黄色です。そして、青色の酸化タングステンや紫色の酸化タングステンのように、酸素空孔が増加すると、結晶構造中の酸素原子が減少し、タングステンの酸化状態が部分的に減少し、色と特性が変化します。酸素空孔の存在は、電子構造を変化させることにより光の吸収を促進し、エネルギーバンドギャップを狭めます( $2.5 \sim 2.8 \text{ eV}$  からより低いレベルへ)。

欠陥の導入は、通常、準備条件に関連しています。例えば、パラタングステン酸アンモニウムの焼成中に、水素などの還元雰囲気中で運転する際に酸素空孔が著しく増加すると、青色または紫色の酸化タングステンが形成される。それらの高い導電性と触媒活性のために、酸化タングステンのこれらの欠陥状態は、ガスセンサーや光熱材料に一般的に使用されています。また、タングステン酸ナトリウムをドーブしたナトリウムイオンなどの不純物欠陥も結晶構造に影響を与える可能性があり、結晶格子が膨張または収縮し、その安定性が変化する可能性があります。

アプリケーションでは、酸素空孔は酸化タングステンの特性に二重の影響を及ぼします。一方では、それはタングステン酸のようなタングステン化学物質の調製を減らすことを容易にする、電気的および触媒の特性を改善します。一方、空孔が多すぎると、構造の安定性が低下し、高温環境での性能に影響を与える可能性があります。酸化タングステンの結晶構造の欠陥と空孔は、官能基化の重要な手段であり、複数の分野でのその適用に柔軟性を提供します。

## 4.2 酸化タングステンの結晶構造に影響を与える要因

酸化タングステンの結晶構造は、その特性の鍵であり、さまざまな外部要因の影響を受けます。これらの要因には、調製条件(温度、圧力、時間など)、原材料の特性、および環境条件が含まれます。これらの要因を操作することにより、酸化タングステンの結晶構造の正確な制御を達成することが可能になり、それによりタングステン技術、タングステン研究および産業応用におけるその性能を最適化することができます。酸化タングステンの結晶構造に対する調製条件の特定の影響については、以下で詳細に説明します。

### 4.2.1 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす調製条件の影響

調製条件は、反応温度、圧力、時間、雰囲気、原材料の選択など、酸化タングステンの結晶構造に影響を与える最も重要な要因の1つです。これらの条件は、酸化タングステンの結晶形態(単斜晶系、直交形、六角形、または立方晶形など)、粒径、および欠陥分布を決定します。三酸化タングステン(黄色酸化タングステン)を例にとると、その結晶構造は通常、特定の条件下でのパラタングステン酸アンモニウムまたはタングステン酸の分解または焼成によって形成され、異なる調製パラメータは異なる構造特性につながります。

工業生産では、調製条件の最適化は、酸化タングステンの品質と使用に直接関係しています。例えば、焼成条件を制御することで、タングステン粉末やタングステンフィラメントの製造に適した酸化タングステン、または光触媒やスマートガラスに適した機能性材料を生成することができます。実験室では、水熱法、ソルボサーマル法、およびその他の調製技術により、ナノスケールの酸化タングステンの結晶構造制御により多くの可

能性がもたらされます。以下では、酸化タングステンの結晶構造に対する反応温度、圧力、時間の影響を分析します。

#### 4.2.1.1 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす反応温度の影響

反応温度は、酸化タングステンの結晶構造に影響を与える最も重要なパラメータの1つであり、結晶形の変態を決定するだけでなく、粒径と欠陥形成にも影響を与えます。三酸化タングステンを例にとると、その結晶構造は異なる温度で大幅に変化します。

室温から約 330° C までの低温範囲では、酸化タングステンは、黄色酸化タングステンの安定な形態である単斜晶系結晶形態によって支配されます。WO<sub>6</sub>八面体は同じ角度で接続され、安定した格子パラメータを持つ非対称の 3 次元ネットワークを形成し、エレクトロクロミックアプリケーションに適しています。温度が 300~500° C に上昇すると、酸化タングステンは斜方晶形に変化し始め、WO<sub>6</sub>ユニットの対称性が向上し、格子配置がより規則的になります。この構造は、表面サイトを増加させるその開放性のために、光触媒においてより高い活性を示す。さらに 700-900° C まで加熱すると、酸化タングステンは、特に水熱条件下で六方晶形に変換され、ナノロッドまたは管状構造を形成することができ、イオンインターカレーションアプリケーションに適しています。

より高い温度(例えば、900° C 以上)では、酸化タングステンは立方晶形態を形成することがあり、WO<sub>6</sub>八面体の対称性は最大になりますが、熱力学的不安定性のために理論的研究でのみ一般的です。さらに、温度は穀物の成長に影響を与えます。低温(例えば、400~600° C)で調製された酸化タングステン粒子は、パラタングステン酸アンモニウムの焼成によって形成されるナノ粒子など、より小さくなります。高温(800° C 以上など)は、タングステン金属の製造に適した酸化タングステンのミクロンサイズまたは粗い粒子を形成し、粒子の成長を促進します。

温度は酸素空孔含有量にも影響します。還元雰囲気(例えば、水素)で高温で酸化タングステンを処理すると、酸素空孔が増加し、青色の酸化タングステンまたは紫色の酸化タングステンが形成され、結晶構造が歪むことがあります。反応温度は、結晶形態、粒径および欠陥を調節することにより、酸化タングステンの結晶構造に大きな影響を与え、調製プロセスにおける中心変数である。

#### 4.2.1.2 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす反応圧力の影響

反応圧力は、特に水熱焼成や高圧焼成などの高圧調製プロセスにおいて、酸化タングステンの結晶構造に影響を与える別の重要な要素です。圧力は、反応系の熱力学的平衡を変化させることにより、結晶の核形成および成長プロセスに影響を与え、それによってその構造特性を調節します。

常圧条件下では(空気中のパラタングステン酸アンモニウムの焼成など)、酸化タングステンは主に単斜晶系の結晶形で形成され、 $WO_6$ 八面体の配列は温度と雰囲気によって支配され、圧力はあまり影響を受けません。しかし、タングステンナノ酸化物の水熱合成のような高圧環境では、圧力によって結晶構造が大きく変化します。タングステン酸ナトリウムを原料として使用すると、酸化タングステンは高圧反応器(数メガパスカルまでの圧力)で六角形の結晶形を形成する傾向があります。この結晶形の $WO_6$ セルは、六角軸に沿って配置され、格子パラメータに長いc軸を持つ開チャンネル構造を形成しているため、バッテリーやセンサーのアプリケーションに適しています。

高圧は、粒径や形態にも影響を与える可能性があります。高圧熱水条件下では、酸化タングステンの核形成速度が加速され、結晶粒の成長が制限され、大きな粒子構造ではなく、ナノロッド、ナノシート、ナノフラワーなどの形態が形成されることがよくあります。さらに、高圧は酸素原子の揮発を抑制し、酸素空孔の形成を減らし、酸化タングステンの結晶構造をより規則的にすることができます。例えば、高圧下で調製された三酸化タングステンは、大気圧下で調製された製品よりも結晶化度と純度が高く、高精度のタングステン化学品の製造に適しています。

極端な高圧(例: マルチメガパスカル、実験室でシミュレートされた地殻条件)では、高圧により $WO_6$ セルがより密接に整列し、対称性が増加するため、酸化タングステンの立方晶を形成する可能性があります。しかし、この条件は産業界では達成が難しく、主に理論研究に使用されています。工業的には、酸化タングステンの圧力調節は、主にナノスケールのタングステン製品の構造を最適化するための熱水または蒸着プロセスに集中しています。結晶形態の選択、結晶粒形態および欠陥分布に影響を与えることにより、反応圧力は、特にナノ材料の調製において、酸化タングステン結晶構造の調節に追加の次元を提供する。

#### 4.2.1.3 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす反応時間の影響

反応時間は、結晶構造の結晶化度、粒径および相転移に直接影響する酸化タングステンの調製における重要なパラメータです。異なる調製方法において、時間の長さは酸化タングステンの構造進化において重要な役割を果たします。

酸化タングステンを調製するためのパラタングステン酸アンモニウムの焼成の過程で、反応時間は短く(例えば、1〜2時間)、そして通常、結晶化度の低い単斜晶系三酸化タングステンが生成され、粒子が小さく(ナノからサブミクロンスケール)、および多くの表面欠陥があります。この構造は、光触媒やセンサーなど、高い活性を必要とするアプリケーションに適しています。反応時間が長くなると(例えば、4〜6時間)、粒子は徐々に成長し、結晶化度は増加し、結晶構造はより規則的になり、酸素空孔は減少します。こ

の高結晶化度酸化タングステンは、その優れた安定性のために、タングステン粉末またはタングステン金属の製造により適しています。

酸化タングステンの水熱調製では、反応時間も重要です。例えば、タングステン酸を原料として、短期間の反応(2〜4時間)は、アモルファスまたは低結晶化度のナノ粒子を生成することができ、12〜24時間に拡張すると、六方晶系ナノロッドまたはナノフラワーが形成され、整然とした格子配置と明らかなチャンネル構造を有する。この時間依存性は、核形成から成長までの結晶のダイナミックなプロセスを反映しています。反応時間が長すぎる(48時間以上)と、粒子が過剰に凝集し、形態制御が失われ、性能が低下する可能性があります。

反応時間は相転移にも影響します。高温焼成では、単斜晶系の形態のみが短時間で形成される可能性があります、長時間の加熱(高温との組み合わせ)により、直交または六角形の結晶形態への移行が誘発される可能性があります。さらに、還元雰囲気(水素中など)では、長期の反応により酸素空孔が増加し、青色または紫色の酸化タングステンが形成され、結晶構造が歪むため、タングステン化学物質の特定の用途に適しています。

業界では、厦門タングステンと他の企業は、さまざまなタングステン製品のニーズを満たすために反応時間を最適化することにより、酸化タングステンの結晶化度と活性のバランスを取ります。反応時間は、結晶成長と欠陥発生を制御することにより、酸化タングステンの結晶構造を調節するための重要な手段となっています。

#### 4.2.1.4 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす反応雰囲気の影響

反応雰囲気は、酸化タングステンの調製における重要なパラメータであり、その結晶構造、酸化状態、および欠陥分布に直接影響します。異なる雰囲気(酸化性、還元性、不活性など)は、タングステン原子と酸素原子の結合方法を変え、したがって酸化タングステンの結晶形態と特性を調節します。三酸化タングステンを例にとると、その結晶構造は異なる雰囲気で大きく変化します。

酸化性雰囲気(空気や純酸素など)では、酸化タングステンは通常、パラタングステン酸アンモニウムまたはタングステン酸を原料として調製され、単斜晶系三酸化タングステンは焼成によって生成されます。このような条件下では、酸素は豊富で、 $WO_6$ 八面体の構造は無傷で、酸素空孔は非常に少なく、結晶格子配列は規則的で、明るい黄色を示しています。この結晶構造は非常に安定しており、スマートガラスや光触媒の製造に適しています。酸素濃度が高いほど、結晶化度は良くなり、粒子はわずかに大きくなることもよく、これはタングステン粉末またはタングステンフィラメントの調製に適しています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

水素や水素と窒素の混合物などの還元雰囲気では、酸化タングステンの酸素含有量が減少し、非整数化合物が形成されます。例えば、500～700° Cの水素雰囲気では、三酸化タングステンを青色酸化タングステンまたは紫酸化タングステンに変換することができます。これらの構造では、酸素空孔が増加し、 $WO_6$ 八面体が歪められ、格子対称性が減少し、エネルギーバンドギャップが狭くなります。酸化タングステンのこの欠陥状態は、より高い電気伝導率と触媒活性を持ち、ガスセンサーやタングステン金属の中間体としてよく使用されます。還元度が強いほど（水素濃度が高い、または高温になる）、酸素空孔が多くなり、結晶構造の変化が大きくなります。

アルゴンや窒素などの不活性雰囲気は、その中間に位置し、通常、酸素空孔を適度なレベルで制御するために使用されます。例えば、不活性雰囲気中での酸化タングステンの焼成は、粒径および結晶化度が温度および時間によって支配される部分的に欠陥のある単斜晶系結晶形態を生成する。これらの条件下での酸化タングステンは、安定性と特定の活性の両方を有し、特定のタングステン化学物質の調製に適しています。

#### 4.2.1.5 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす反応速度の影響

多機能材料として、酸化タングステン ( $WO_3$ ) の結晶構造は、その物理的および化学的特性に大きな影響を与えます。異なる化学反応や物理的プロセスでは、反応速度だけでなく、酸化タングステンの形成効率を決定するだけでなく、その結晶構造の形成、変換と安定性に大きな影響を与えます。反応速度は通常、温度、圧力、反応物濃度、触媒、合成方法などの要因によって制御され、これらは一緒に酸化タングステンの結晶形態、欠陥密度、および速度論的および熱力学的メカニズムを通じて微細形態を形作ります。この論文では、酸化タングステンの結晶構造に対する反応速度の影響を詳細に議論し、速度論的分析、実験的証拠、および応用背景に基づいてその内部法則を明らかにします。

#### 1. 酸化タングステン結晶構造の基本特性

酸化タングステンの結晶構造は、主に単斜晶系、斜方晶、正方晶および立方晶を含む多様である。その中で、単斜晶系結晶は室温で最も安定した結晶形態であり、空間群は  $P2_1/n$  であり、格子パラメータは  $a = 7.306 \text{ \AA}$ 、 $b = 7.540 \text{ \AA}$ 、 $c = 7.692 \text{ \AA}$ 、 $\beta = 90.91^\circ$  です。温度が上昇すると、酸化タングステンは、約  $330^\circ \text{ C}$  の斜方晶や  $740^\circ \text{ C}$  を超える正方晶などの相変態を受けることがあります。さらに、ナノスケールの酸化タングステンは、その高い表面エネルギーとより小さな粒径のために、しばしば立方晶構造を示す。

結晶構造の形成は、反応速度と密接に関連しています。高速反応条件下では、速度論的要因が結晶成長を支配し、非平衡構造（準安定相や欠陥状態など）を引き起こす可能性があります。しかし、反応が遅い条件下では、熱力学的平衡が優勢であり、安定した単斜

晶系が形成される傾向があります。これらの構造の違いは、酸化タングステンのバンドギャップ、導電率、および触媒活性に直接影響します。

## 2. 結晶構造形成における反応速度の速度論的メカニズム

反応速度は、結晶核形成と結晶粒成長のプロセスに影響を与えることにより、酸化タングステンの結晶構造を決定します。以下は、影響メカニズムの動的分析です。

- 原子核形成速度酸化タングステンの合成中(例えば、タングステン粉末の酸化またはタングステン酸の熱分解)、反応速度は結晶核の形成速度を決定します。高速反応(>800° Cの高温焙煎など)により、過飽和状態が高くなり、核形成速度が加速するため、小さな粒が大量に生成されます。この場合、結晶は成長するのに十分な時間がなく、準安定相(正方晶または立方晶など)を形成する傾向があります。たとえば、高速酸化タングステン金属によって生成された酸化タングステンのXRD分析では、立方晶相の割合が低速酸化生成物の割合よりも大幅に高いことが示されています。
- 穀物の成長率、反応速度も、穀物の成長過程に影響を与えます。反応が遅い条件(極低温熱水、150〜200° Cなど)では、原子核は熱力学的に最適な配向に沿って成長し、大きくて規則的な単斜晶系粒子を形成するのに十分な時間があります。それどころか、急速な反応(例えば、タングステンフィラメントの高温フラッシュ酸化)は、粒子の整然とした配置を制限し、無秩序または多相共存構造を生成することが容易である。結果は、反応時間(1時間対24時間)を制御することにより、酸化タングステンの粒径は、低速合成では20〜50 μmに達し、高速合成ではわずか1〜5 μmに達することができることを示しています。
- 欠陥生成の急速な反応速度は、多くの場合、高いエネルギー入力を伴い、結晶構造内の欠陥(酸素空孔やタングステン転位など)の増加をもたらします。例えば、タングステン粒子の急速な酸化中、酸素拡散は制限され、結果として生じる酸化タングステンは、青色酸化タングステン(W<sub>20</sub>O<sub>58</sub>)として現れる非化学量論比を有することができる。これらの欠陥は格子対称性を変化させ、結晶形態の安定性に影響を与えます。

## 3. 反応速度調節の具体的な効果

反応速度は通常、温度、反応物濃度、合成方法によって制御され、酸化タングステンの結晶構造に対するその特定の影響は次のように分析されます。

### 著作権および法的責任に関する声明

- 温度の影響 温度は、反応速度の主要因です。メタタングステン酸アンモニウムの低温焼成など、低温 (<300° C) での低速反応では、酸化タングステンは高格子秩序の単斜晶系結晶を形成する傾向があり、高い安定性が求められるアプリケーション (エレクトロクロミックデバイスなど) に適しています。高温 (>700° C) での急速反応では、酸素雰囲気下でのタングステン針の瞬間的な酸化など、生成される酸化タングステンは主に正方晶または立方晶であり、小さな粒子と豊富な欠陥があります。この構造は、バンドギャップが狭い (約 2.6 eV) ため、光触媒の分野でより高い活性を示します。
- 反応物濃度は、高濃度の反応物 (酸素や タングステン酸ナトリウム 溶液など) に影響を与え、反応速度を加速し、結晶構造が準安定相に偏る原因となります。たとえば、高酸素圧 (>1 気圧) での急速な酸化です。タングステン粉末 は、生成された 酸化タングステン を主成分とし、主に立方晶であり、粒径は 10 μm 未満です。一方、低濃度反応 (例えば、希釈タングステン 酸 溶液のゆっくりとした沈殿) は、単斜晶系結晶の成長を助長し、粒径は 50 μm 以上に達することがあります。
- 合成法の影響 さまざまな合成法は、反応速度を制御することにより、結晶構造に大きく影響します。
  - 焙煎方法: 高温急速焙煎 (800° C、1 時間) によって生成される酸化タングステンは、ほとんどが正方晶または混合相であり、タングステン粉末の製造に適しています。
  - 水熱法: 低温および低速の熱水熱によって生成される酸化タングステンは、規則的な粒子を有する単斜晶系結晶によって支配され、ナノアプリケーションに適しています。
  - 蒸着: 急速成膜によって形成される酸化タングステン膜は、多くの場合、立方晶であり、電子機器に使用されています。

#### 4.2.1.6 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす前駆体の影響

前駆体は酸化タングステンの調製のための出発物質であり、それらの化学組成、構造および分解特性は直接最終的な結晶構造の形成に影響を与える。一般的な前駆体には、パラタングステン酸アンモニウム、メタタングステン酸アンモニウム、タングステン酸、およびタングステン酸ナトリウムが含まれ、異なる前駆体を選択すると、酸化タングステンの結晶形態、粒径、および純度に違いが生じます。

パラタングステン酸アンモニウム (APT) を例にとると、空気中で 500~700° C で焼成および分解され、単斜晶系三酸化タングステンを形成します。APT の分子構造は規則的であり、分解中にアンモニアと水蒸気が放出されるため、酸化タングステン粒子が小さく (ミクロンからサブミクロンスケール)、結晶化度が高く、酸素空孔がほとんどありません。

#### 著作権および法的責任に関する声明

この結晶構造は、タングステン粉末またはタングステン金属の工業生産に適しています。水素で焼成すると、APTは青色または紫色の酸化タングステンを生成し、酸素空孔により結晶構造が歪む。

メタタングステン酸アンモニウム (AMT) は、ナノスケールの酸化タングステンの調製により適しています。水熱法またはソルボサーマル法では、AMT 分解によって生成される酸化タングステンは、多くの場合、六角形の結晶形態であり、分子内のタングステン酸素ユニットの事前配列が開放構造を形成するのに役立つため、粒子はナノロッドまたはナノシートの形をしています。この結晶構造は、電池やセンサーに優れています。対照的に、タングステン酸は、熱分解されるとより大きな酸化タングステン粒子を生成し、結晶化度が低く、少量のアモルファス相を含んでいる可能性があるため、工業用途ではなく実験室での研究に適しています。

タングステン酸ナトリウムが前駆体として使用される場合、酸化タングステンの結晶構造はナトリウムイオンの影響を受けます。ナトリウム不純物を完全に除去しないと、結晶格子が膨潤し、結晶化度が低下し、さらにはヘテロフェーズが形成される可能性があります。しかし、洗浄および精製後、高純度の単斜晶系酸化タングステンを得ることができ、これはオプトエレクトロニクスデバイスに適している。例えば、急速な分解 (高温短時間の焼成など) では多くの欠陥を持つ小さな粒子が生成され、ゆっくりと分解すると規則的な大きな粒子が生成されます。

#### 4.2.1.7 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす溶媒の影響

溶媒は、湿式化学法 (水熱法、ソルボサーマル法など) による酸化タングステンの調製において重要な役割を果たし、その特性 (極性、沸点、配位能力など) は、結晶構造の核形成と成長に直接影響します。三酸化タングステンの場合、異なる溶媒は、結晶形態、形態および粒径の違いをもたらす可能性があります。

水は最も一般的に使用される溶媒であり、酸化タングステンが水熱法 (例えば、メタタングステン酸アンモニウムを原料とする) によって調製されると、通常、六角形のナノロッドまたはナノチューブが生成されます。水の強い極性と高温高压での超臨界特性により、 $WO_6$  細胞の整然とした配置が促進され、開水路構造が形成されます。この結晶構造は、電池電極材料などのイオン埋め込み用途に適しています。水溶液に酸 (塩酸など) を添加すると、単斜晶系ナノ粒子が形成されることがあり、酸性環境による核形成が促進され、結晶粒の成長が阻害されます。

エタノールやエチレングリコールなどの有機溶媒は、極性が低く沸点が高いため、ほとんどが単斜晶系の結晶形態である酸化タングステン結晶構造を生成し、形態はナノシートまたはナノフラワーに偏っています。例えば、タングステン酸ナトリウムはソルボサーマル反応のためにエタノールに溶解され、エタノールの配位は結晶成長の速度を遅くし、層状構造を形成する。この結晶構造は比表面積が大きく、光触媒やセンサーに適し

#### 著作権および法的責任に関する声明

ています。さらに、有機溶媒は、特定の結晶面を優先的に露出させたり、結晶対称性を変化させたりするなど、表面吸着を通じて結晶面の成長を調節することもできます。

水とエタノールの混合物などの混合溶媒は、両方の長所を兼ね備えており、粒径と形態の制御が容易で、単斜晶系と六角形の間の遷移結晶を生成します。例えば、エタノール比を大きくすると、粒径を小さくし、結晶化度を高めることができます。溶媒の粘度と揮発性も結晶構造に影響を及ぼし、グリセロールなどの高粘度溶媒はアモルファスまたは低結晶化度の酸化タングステンをもたらし、低粘度溶媒は構造化結晶の形成を促進します。

#### 4.2.2 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす外部刺激の影響

外部刺激（光、機械的な力、電磁場など）酸化タングステン結晶構造の形成とその後の進化に重要な役割を果たします。これらの刺激は、格子配列を変化させたり、相転移を誘発したり、その性能に影響を与える可能性のある欠陥を導入したりする可能性があります。酸化タングステンの結晶構造に対する光の影響は、主に光触媒の調製または使用の過程に反映されます。例えば、紫外線下では、原料としてのタングステン酸の水熱反応により、酸化タングステンの核形成を促進して単斜晶系ナノ粒子を形成することができます。光誘起電子励起は、結晶面の選択的な成長を促進し、結晶の形態を変化させる可能性があります。また、長時間の光にさらされると、三酸化タングステンの表面に酸素空孔が生じ、結晶構造が局所的に歪むことがあり、光吸収能力が向上します。

酸化タングステンの結晶構造に対する機械的な力（例えば、粉碎または超音波処理）の影響を見逃してはなりません。高エネルギーボールミリングは、ミクロンサイズの酸化タングステンをサブミクロンまたはナノ粒子に粉碎し、格子応力と欠陥を導入して結晶化度を低下させます。この構造変更により、より活性が高く、触媒アプリケーションに適しています。超音波処理は、非晶質酸化タングステンの低結晶化度を有する単斜晶系形態への変換など、粒子再配列を誘発し得る。

電磁界は、蒸着法またはプラズマ法による酸化タングステンの調製において重要な役割を果たします。例えば、電磁界の助けを借りて、酸化タングステン膜の結晶構造は単斜晶系の結晶形になる傾向があり、粒子配列はより緻密であり、これは光電子デバイスに適している。さらに、強い電界は、単斜晶系から斜方晶系結晶形態への酸化タングステンの相変態を誘発し、その電気的特性を改善する可能性があります。外部刺激は、特に機能性材料の開発において、物理的または化学的作用を通じて酸化タングステン結晶構造の動的制御のための新しい方法を提供します。

##### 4.2.2.1 酸化タングステン結晶構造に対する光放射の影響

外部刺激として、光放射は、特に光触媒の調製または光条件で 사용되는場合、酸化タングステン結晶構造の形成および進化に重大な影響を及ぼします。光放射は、電子を励

起し、表面反応を誘発し、または結晶面の成長方向を変えることにより、酸化タングステンの結晶形態、欠陥および形態に影響を与える。黄色の酸化タングステンを例にとると、光放射下でのその結晶構造の変化は、その光学および触媒的特性に直接関係しています。

調製中、光放射（紫外線や可視光線など）は酸化タングステンの核形成と成長を促進します。例えば、タングステンナノ酸化物の水熱調製では、タングステン酸を原料として使用し、紫外線は酸化タングステンユニットの重合を促進して単斜晶系ナノ粒子を形成することができる。光誘起電子励起は、溶液中の酸化還元反応を増強し、特定の結晶面（(002)面など）を優先的に露出させることで、結晶の形態と対称性を変化させます。研究によると、光放射は粒子のサイズを調節し、短期間の照射後に小さな粒子を形成し、長期の照射によって粒子のナノフラワーまたはナノシートへの凝集を促進することも示されています。

使用の過程で、酸化タングステンの結晶構造に対する光放射の影響はより複雑です。長期の紫外線は、三酸化タングステンの表面に酸素空孔を導入する可能性があり、光生成された電子と格子酸素との反応により欠陥が形成される可能性があります。この構造変化により、結晶パターンが歪められ、エネルギーバンドギャップが狭くなり、光の吸収範囲が可視領域に広がります。この効果は、有機汚染物質の分解や水の光分解による水素の生成など、酸素空孔の増加が触媒活性を大幅に増加させる光触媒アプリケーションにおいて特に重要です。さらに、光放射は、特定の条件下で単斜晶系結晶形態が斜方晶形結晶形式に変換するなどの相転移を誘発する可能性があり、格子対称性が向上します。産業界では、光放射の影響は主に酸化タングステンの機能特性を最適化するために使用されます。例えば、光触媒やオプトエレクトロニクスデバイスの製造では、照明によって結晶構造を操作することにより、タングステン製品の性能を向上させることができます。光放射は、エネルギー入力と電子励起を通じて酸化タングステン結晶構造の動的調節のためのユニークな方法を提供します。

#### 4.2.2.2 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす電界の影響

外部刺激として、酸化タングステンの結晶構造に対する電界の影響は、主に調製および適用における格子配列、相変態および欠陥制御に反映されます。電界は、特に電気化学的または電着調製において、イオン移動速度および結晶成長方向を変化させることにより、酸化タングステンの構造特性に影響を与える。

調製プロセス中、電界は酸化タングステンの結晶形態と形態を調節することができます。例えば、電気化学堆積法では、パラタングステン酸アンモニウムを原料として使用し、直流電場の印加により、電場の方向に沿って三酸化タングステンの優先成長を誘導し、単斜晶系ナノワイヤまたは薄膜を形成することができる。電界はタングステンイオンと酸素イオンの方向性移動を促進し、 $WO_6$ 八面体の配置はより密度が高く、格子パラメータはわずかに調整されます。研究によると、強い電界（キロボルト/メートルなど）も

核形成を促進し、より小さな粒子の酸化タングステンを生成することができ、これは高精度のタングステン化学物質の製造に適しています。

このアプリケーションでは、酸化タングステンの結晶構造に対する電界の動的影響が特に顕著です。エレクトロクロミックデバイスを例にとると、三酸化タングステンは、電界の作用下で単斜晶系結晶形から欠陥構造への変換を実現できます。電圧を印加すると、結晶格子にイオン ( $\text{Li}^+$  や  $\text{H}^+$  など) が埋め込まれ、一部の  $\text{WO}_6$  セルが歪んで酸素空孔が増加し、色が黄色から青または灰色に変わります。この構造変化は可逆的であり、酸化タングステンの電氣的応答性を反映しています。さらに、強い電場は、高温電場下での単斜晶系から斜方晶質への変換などの相転移を誘発する可能性があり、これにより格子対称性が改善され、電気伝導性が向上します。電界は、酸化タングステンの欠陥分布にも影響します。電気化学反応では、電界駆動のイオン移動により、結晶表面に酸素空孔またはタングステン空孔が生成され、局所構造が変化する可能性があります。この酸化タングステンの欠陥状態は、バッテリーの電極やセンサーで良好に機能します。電界は、イオン移動度と格子応力を通じて酸化タングステン結晶構造を細かく制御するための効果的な手段を提供します。

#### 4.2.2.3 酸化タングステンの結晶構造に及ぼす磁場の影響

磁場は酸化タングステンの結晶構造に比較的小さな影響を与えますが、マグネトロンスパッタリングや磁場支援堆積などの特定の調製プロセスにおいて依然として重要な役割を果たします。磁場は、イオンまたは粒子の軌道に影響を与えることにより、酸化タングステンの結晶成長および構造特性を間接的に調節します。

調製プロセス中、磁場は酸化タングステンの結晶配列を最適化します。例えば、マグネトロンスパッタリング法では、タングステン金属をターゲット材料として使用し、磁場がプラズマの動きを制限し、堆積した酸化タングステン薄膜粒子をより緻密にし、傾斜して単斜系結晶形を形成する。 $\text{WO}_6$  八面体の配列は、磁場によって誘起されるイオン電流の影響を受け、格子の方向性が増強され、結晶化度が増加します。強い磁場(例えば、数テスラ)も、粒子の過剰成長を阻害し、ナノスケールの酸化タングステンを生成する可能性があり、これはオプトエレクトロニクスデバイスまたはセンサーに適しています。磁場は結晶構造への動的影響が少なくなりますが、特定の条件下では微視的な変化を引き起こす可能性があります。例えば、磁場を利用した水熱反応では、磁場は溶液中のタングステンイオンの配位環境を変化させ、酸化タングステンの核形成方向に影響を及ぼし、六角形のナノロッドまたはナノシートを形成する可能性があります。また、磁界が電界と結合すると、電気磁気効果により酸化タングステンの酸素空孔分布が変化し、結晶パターンが歪んで電氣的性能が向上することがあります。

アプリケーションでは、磁場の影響は主に複合材料に反映されます。例えば、酸化タングステンを モリブデン 化合物などの磁性材料と組み合わせることで、磁場は複合構造の結晶方位を調節し、触媒性能またはエネルギー貯蔵性能を向上させることができる。工

#### 著作権および法的責任に関する声明

業的には、タングステン銅コーティングなどの高性能[タングステン製品]を調製するために、磁場支援プロセスがよく使用されますが、酸化タングステンの結晶構造への直接的な影響については、さらに研究する必要があります。磁場は、特に薄膜やナノ材料の調製において、粒子運動や微視的配向を通じて酸化タングステン結晶構造を最適化するための補助的な役割を果たします。

#### 4.3 酸化タングステンの結晶構造と特性の本質的な関係

酸化タングステンの結晶構造とその特性との間には深い固有の関係があり、それは電子構造、光学、電気、触媒作用に反映されています。三酸化タングステンとその変種（例：[青色酸化タングステン]、[紫酸化タングステン]）を例にとると、結晶構造の変化は、タングステン市場やハイテク分野でのその適用性を直接決定します。

その非対称構造により、単斜晶系酸化タングステンは安定した光学および電気的特性を持ち、スマートガラスや光触媒に適しています。六角形のオープンチャネル構造は、イオン輸送を改善し、バッテリーやセンサーに適しています。酸素空孔などの結晶構造の欠陥は、導電率や光吸収範囲の増加などの特性をさらに変調します。この構造と性能のリンクは、酸化タングステンの汎用性の根底にあります。

##### 4.3.1 酸化タングステン電子構造結合

酸化タングステンの電子構造は、結晶構造と性能との間の架け橋であり、その光学的、電氣的、触媒的特性に直接影響します。三酸化タングステンを例にとると、その電子構造はタングステンの 5d 軌道と酸素の 2p 軌道の混成によって形成され、エネルギーバンドギャップは通常 2.5〜2.8eV です。

単斜晶系結晶の形では、 $W_6$ 八面体の非対称な配置により、電子雲の分布が不均一になり、価電子帯の上部は O2p 軌道が支配し、伝導帯の下部は W5d 軌道で構成されます。この電子構造は、酸化タングステんに、紫外線と一部の可視光を吸収し、黄色に見えるワイドバンドギャップ半導体の特性を与えます。青色酸化タングステンなどの酸素空孔の導入により、伝導帯より下にある欠陥エネルギー準位が生成され、バンドギャップが狭くなり、近赤外領域への光吸収が拡大します。この変化により光触媒活性が増強され、光温熱療法や太陽エネルギーの利用に適しています。

電氣的には、単斜晶系結晶形態の電子構造により、キャリア移動度は低くなりますが、エレクトロクロミックは、電場中のイオンインターカレーション( $Li^+$ など)によって導電率を変化させることで達成できます。六方晶形の開放構造は、チャネル効果によるイオン拡散速度を増加させ、電子輸送がより効率的になり、電池電極に適しています(タングステン粉末の電気化学的応用を参照)。酸素空孔は、導電率を改善するために追加の電子

#### 著作権および法的責任に関する声明

キャリアをさらに導入し、欠陥状態の酸化タングステンをセンサー内で良好に機能させます。

触媒の分野では、電子構造の局所的な変化(酸素空孔の W など)により、表面活性部位が増加し、ガス分子や有機物の吸着・分解能力が向上します。工業的には、CTIA GROUP LTD タングステン製品中の酸化タングステンの性能は、電子構造の制御を使用して最適化されています。

酸化タングステンの電子構造は、結晶形態と欠陥の相乗効果を通じてその機能特性に深く影響し、結晶構造と性能との関係の中核です。

#### 4.3.1.1 酸化タングステンの結晶構造が電子輸送に及ぼす影響

酸化タングステンの結晶構造 は、格子配列、欠陥分布、電子構造の相乗効果により、その電子輸送性能に大きな影響を与えます。三酸化タングステン(黄色の酸化タングステン)を例にとると、その結晶構造は電子キャリアの移動速度と導電率を決定し、これはセンサー、バッテリー、エレクトロクロミックデバイスへの応用における重要な要素です。

単斜晶系酸化タングステンでは、 $WO_6$ 八面体は同角接続によって非対称の三次元ネットワークを形成します。この構造は、電子雲の不均一な分布につながり、結晶格子内の電子の移動が妨げられ、キャリア移動度が低くなります。しかし、この結晶形態は、電場に応答してイオンインターカレーション( $Li^+$  や  $H^+$  など)によって電子輸送特性を変化させることができます。例えば、スマートグラスでは、電圧を印加すると格子にイオンが埋め込まれるため、酸素空孔や低原子価のタングステン( $W^{5+}$  など)が発生し、電子輸送が大幅に強化され、黄色から青色に色が変化します。この動的制御により、単斜晶系の結晶形態は電気用途で優れたものになります。

六方晶酸化タングstenは、その開チャンネル構造により、より高い電子輸送効率を有する。 $WO_6$ 八面体は、六角軸に沿って配置され、チャンネルの方向に沿った電子の移動抵抗が少ない1次元チャンネルを形成します。この構造は、ナノロッドまたはナノワイヤの形態で特に顕著であり、電池電極や電界効果トランジスタなどの高導電性アプリケーションに適しています。研究によると、六角形の電子伝達速度は、格子欠陥が少なく、電子散乱が少ないため、単斜晶系結晶形の電子伝達率よりも数倍高いことが示されています。

酸素空孔は、酸化タングステンの電子輸送に影響を与える重要な要因です。青色の酸化タングステンまたは紫色の酸化タングステンでは、酸素空孔の存在により追加の電子キャリアが導入され、導電率が大幅に向上します。この欠陥状態の酸化タングステンの結晶構造は歪んでいますが、欠陥エネルギー準位の形成により電子輸送経路が最適化されており、ガス分子により速く応答するため、ガスセンサーでよく使用されます。

#### 著作権および法的責任に関する声明

酸化タングステンの結晶構造は、結晶形態と欠陥の調節を通じて、電子輸送の効率と適用方向を直接決定します。

#### 4.3.1.2 酸化タングステンバンド構造と結晶構造の関係

酸化タングステンのバンド構造は、結晶構造と密接に関連しており、その光学および電気的特性に直接影響を与える、その電子構造のコアです。三酸化タングステンを例にとると、バンドギャップ、伝導バンド、価電子バンドの位置は、結晶格子の対称性、原子配列、および欠陥によって決定されます。単斜晶系酸化タングステンでは、 $WO_6$ 八面体の非対称配置により、電子準位が不均一に分布します。価電子帯の上部は主に酸素の 2p 軌道で構成され、伝導帯の下部はタングステンの 5d 軌道によって寄与され、エネルギーバンドギャップは通常 2.5~2.8eV です。このバンド構造により、酸化タングstenは紫

外線と一部の可視光を吸収することができます。単斜晶系結晶形態の対称性が低いため、伝導帯と価電子帯の間の転移効率が低くなり、光生成キャリアの分離は制限されますが、安定性が高いため、光触媒の分野では依然として利点があります。

六方晶酸化タングstenは、その高い対称性と開放構造のためにわずかに異なるバンド構造を有する。 $WO_6$ (ウォ<sub>6</sub>)セルの規則的な配置は電子散乱を減少させ、エネルギーバンドギャップはわずかに小さく、伝導バンドの下部のエネルギーは減少します。この変化により、六方晶形の結晶形は、特にナノ形態の光吸収においてわずかに強くなり、量子効果によりエネルギーバンドの位置がさらに調整されるため、光電子デバイスや光加水分解アプリケーションに適しています。斜方晶形のバンド構造はその間にあり、対称性の向上により、キャリアの移動がスムーズになり、光触媒活性が向上します。

結晶構造の酸素空孔がバンド構造に及ぼす影響は特に重要です。青色または紫色の酸化タングstenでは、酸素空孔により伝導帯より下にある欠陥エネルギー準位が導入され、エネルギーバンドギャップのさらなる減少(2.0 eV まで)が可能になります。これらの欠陥状態は、酸化タングstenの光吸収範囲を拡大し、光熱療法や太陽エネルギーの利用に適した近赤外領域にまで広がります。同時に、欠陥エネルギー準位は電子トラップとして機能し、光生成キャリアの寿命を延ばし、触媒効率を向上させます。工業的には、CTIA GROUP LTD は、結晶構造を通じてバンド構造を操作することにより、タングsten化学品中の酸化タングstenの光学特性を最適化します。バンド構造と酸化タングstenの結晶構造との間の密接な関係は、その汎用性の理論的基礎です。

#### 4.3.2 酸化タングstenイオン輸送レベルリンケージ

酸化タングstenの結晶構造は、そのイオン輸送能力と密接に関連しており、この接続は、電池、エレクトロクロミックデバイス、およびイオン伝導体への応用の可能性を決

定します。三酸化タングステンを例にとると、そのイオン輸送性能は格子チャネル、欠陥、および形態の影響を受け、これはその機能化の重要な側面です。

その緻密な構造により、単斜晶系酸化タングステンは、イオン輸送チャネルが狭く、拡散速度が低い。しかし、電界の作用下では、小さなイオン ( $H^+$  や  $Li^+$  など) が結晶格子に埋め込まれ、 $WO_6$  の 8 つの明るいチャネルに沿ってゆっくりと移動することができます。このイオン輸送能力により、単斜晶系結晶形態は、スマートガラスへの  $Li^+$  埋め込みなどのエレクトロクロミックデバイスで良好に機能します。酸素空孔の存在は、イオン輸送をさらに強化し、欠陥による追加の拡散経路を提供します。

六方晶酸化タングステンは、その開いた六角形チャネル構造により、優れたイオン輸送特性を持っています。 $WO_6$  ユニットによって形成されるナノスケールチャネルは、イオン ( $Li^+$  や  $Na^+$  など) の迅速な拡散を可能にし、拡散係数は最大  $10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$  で、単斜晶系の結晶形態よりもはるかに高くなります。この構造により、優れたサイクル特性を持つリチウム電池電極に最適な材料となっています。ナノロッドまたはナノチューブの形態の六方晶酸化タングステンは、その高い比表面積のために接触面積を増加させることにより、イオン輸送効率をさらに改善します。

青色酸化タングステンなどの欠陥のある酸化タングステンは、酸素空孔や格子歪みによりイオン輸送経路がより複雑になりますが、チャネルが増えると拡散速度が増加します。この特性により、電気化学センサーに優れています。産業界では、タングステン粉末のイオン輸送性能は、バッテリーの性能を向上させるために結晶構造によって最適化されることがよくあります。酸化タングステンのイオン輸送能力は、その結晶構造のチャネルと欠陥に直接関係しており、これはエネルギー貯蔵とセンシングの分野での応用の鍵です。

#### 4.3.2.1 酸化タングステンの結晶構造がイオン拡散に及ぼす影響

イオン拡散に対する酸化タングステンの結晶構造の影響は、イオンの移動速度と拡散経路を直接決定する格子チャネルのサイズ、対称性および欠陥分布に反映されます。三酸化タングステンを例にとると、結晶の形態や形態が異なると、そのイオン拡散特性に大きな違いがあります。

その密な三次元ネットワークにより、単斜晶系酸化タングステンは、イオン拡散チャネルが狭く、拡散係数が低い (約  $10^{-10} \text{cm}^2/\text{s}$ ) です。 $WO_6$  八面体の同角接続により、 $H^+$  や  $Li^+$  などの小さなイオンのみがゆっくりと通過できる限定的な空隙が生じます。この構造は、イオンの拡散が遅いが、電子構造と色を変えるのに十分であるため、エレクトロクロミックアプリケーションでも有効です。酸素空孔の導入により拡散速度がわずかに増加し、欠陥による追加のスキップサイトが提供されます。

六方晶タングステン酸化物は、直径数ナノメートルまでの六方晶のチャンネルと、最大  $10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$  の拡散係数を持つチャンネルに沿ったイオン ( $\text{Li}^+$  や  $\text{K}^+$  など) の急速な拡散により、大きな利点があります。この開放構造は、ナノロッドやナノチューブでより適切に機能し、1次元チャンネルが拡散抵抗を減少させます。バッテリーでは、六角形の酸化タングステンの高いイオン拡散率により、充放電性能が大幅に向上します。

斜方晶系酸化タングステンはその間にあり、チャンネルは単斜晶系の結晶形よりも緩いですが、六角形の結晶形ほど開いておらず、イオン拡散率は中程度であり、特定のアプリケーションに適しています。ナノスケールの酸化タングステン(ナノシートなど)は、その高い比表面積と短い拡散経路により、イオン拡散効率をさらに最適化します。酸化タングステンの結晶構造は、イオン輸送アプリケーションの中核となる要素であるチャンネルサイズと欠陥によるイオン拡散を調節します。

#### 4.3.2.2 イオンインターカレーション/抽出プロセスが酸化タングステン結晶の構造安定性に及ぼす影響

イオンインターカレーションおよび抽出プロセスは、エレクトロクロミックデバイス、バッテリー、およびイオン伝導体における酸化タングステンアプリケーションの中核的なメカニズムであり、このプロセスはその結晶構造の安定性に大きな影響を与えます。三酸化タングステン(黄色酸化タングステン)を例にとると、イオン ( $\text{H}^+$ 、 $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  など) の挿入と排出を繰り返すと、格子パラメータが変化し、応力が生じ、さらには構造的損傷につながることもありますが、これは材料の長期的な性能に直接関係しています。

単斜晶系酸化タングステンでは、 $\text{WO}_6$ 八面体は同角接続によって密な三次元ネットワークを形成し、イオンインターカレーションチャンネルは狭くなります。電場によって駆動される格子に小さなイオン ( $\text{Li}^+$  など) が埋め込まれると、 $\text{WO}_6$ セル間の隙間を占め、格子が膨張します。例えば、エレクトロクロミックプロセス中、 $\text{Li}^+$ 埋め込みは酸化タングステンを黄色から青色に変化させ、格子パラメータ  $a$ 、 $b$ 、および  $c$  軸をそれぞれ約  $0.1 \sim 0.3 \text{ \AA}$  増加させます。この膨張により局所的な応力が生じ、包埋量が中程度 ( $< 0.5 \text{ mol/Li}^+$  など) であれば、結晶構造は安定しており、イオンは除去後に元の状態に戻ります。しかし、イオン包埋量が多すぎたり、サイクル数が多すぎたりすると、格子応力が蓄積してしまい、マイクロクラックや結晶構造の不可逆的な歪みが発生し、安定性が低下する可能性があります。

六方晶酸化タングstenは、その開チャンネル構造により、イオンインターカレーションに対してより強い適応性を有する。 $\text{WO}_6$ 細胞を六角軸に沿って配置してナノスケールのチャンネルを形成することで、格子膨張が小さく ( $c$  軸で約  $0.05 \sim 0.1 \text{ \AA}$  の変動)、応力分布が均一で、迅速なイオンの挿入と排出が可能になります。この構造はリチウム電池で良好に機能し、数百サイクルにわたって安定しています。ただし、イオンサイズが大きすぎ

ざたり、インターカレーション速度が速すぎたりすると、チャンネルがブロックされ、局所的な構造崩壊と長期安定性につながる可能性があります。

イオンインターカレーションはまた、特に青色の酸化タングステンまたは紫色の酸化タングステンで酸素空孔を導入します。埋め込みプロセスにはタングステンの減少( $W^{6+} \rightarrow W^{5+}$ )が伴い、酸素空孔が増加し、結晶構造が歪む。これにより導電率は向上しますが、空孔が多すぎると  $WO_6$  セルの接続強度が弱まり、繰り返しサイクル中に結晶構造が徐々に不安定になる可能性があります。イオンインターカレーション/抽出プロセスは、格子応力と欠陥変化を通じて酸化タングステン結晶構造の安定性に二重の影響を及ぼし、これはそのアプリケーション設計における重要な考慮事項です。

#### 4.3.3 酸化タングステンの表面特性の関係

酸化タングステンの表面特性は、その吸着能力、触媒活性、および電子状態に直接影響する結晶構造に密接に関連しています。三酸化タングステンを例にとると、結晶構造の種類、結晶面の露出、および欠陥分布は、光触媒、センサー、および表面コーティングにおけるそれらの性能の基礎である表面原子の配位環境と活性部位を決定します。

単斜晶系結晶形態の酸化タングステンの表面は、 $WO_6$  八面体の同角接続で構成されており、露出した結晶面は、タングステン原子と酸素原子の配位の不飽和により高い表面エネルギーを持っています。この表面特性により、ガス分子 ( $NO_2$  など) や有機物に対して強力な吸着能力を発揮し、ガスセンサーや光触媒に適しています。六方晶酸化タングステンは、そのチャンネル構造により、比表面積が大きく、活性部位が多く、触媒反応の効率が高いことを示しています。表面欠陥は、酸化タングステンの表面特性をさらに向上させます。青色酸化タングステンでは、酸素空孔によって露出されたタングステン原子が強力な吸着中心となり、水分子の吸着能力が大幅に向上します。この表面特性により、湿度センサーに優れています。ナノスケールの酸化タングステンの表面活性は、高い比表面積およびエッジ効果によりさらに改善される。

酸化タングステンの表面特性は、トポグラフィーの影響も受けます。バルク酸化タングステンは、表面が平坦で活性部位が少ないのに対し、ナノフラワーまたは薄膜の形態の酸化タングステンは、その多孔性と高い粗さにより、より優れた表面特性を有する。工業的には、CTIA GROUP LTD 結晶構造を調整することにより、表面特性が最適化され、タングステン市場における酸化タングステンの競争力が強化されます。酸化タングステンの表面特性は、表面関連アプリケーションにおけるその主要な利点である結晶構造によって制御されます。

##### 4.3.3.1 酸化タングステン結晶構造が表面吸着に及ぼす影響

酸化タングステンの結晶構造がその表面吸着能力に及ぼす影響は、主に結晶面の種類、表面エネルギー、欠陥分布に反映され、ガス、液体分子、またはイオンに対する吸着性

能を直接決定します。三酸化タングステンを例にとると、異なる結晶形態と形態の表面特性は大きく異なります。

単斜晶系酸化タングステンの表面は  $WO_6$  八面体で構成されており、(002) や (200) などの一般的な露出結晶面は、表面上のタングステン原子と酸素原子の不飽和配位により、高い表面エネルギーを持っています。この構造は、極性分子 ( $H_2O$ 、 $NH_3$  など) に対して強力な吸着能力を持ち、吸着熱は数十  $kJ / mol$  に達する可能性があります。ガスセンサーでは、単斜晶系酸化タングステンは、その表面の酸素原子が  $NO_2$  と化学結合を形成することができるため、 $NO_2$  を吸着する能力が特に優れています。酸素空孔の存在は、 $W^{5+}$  部位が電子供与体分子 ( $H_2S$  など) に対して強い親和性を持つため、吸着をさらに促進します。

そのチャンネル構造により、六角形の酸化タングステンの表面は、主に (001) 平面であり、強い開放性を持ち、比表面積は  $50 \sim 100 m^2 / g$  に達することがあります。この結晶面は、強力な物理的吸着能力を備えているだけでなく、チャンネル効果による分子拡散も強化し、高分子 (有機色素など) の吸着をより効率的にします。

光触媒の分野では、六方晶酸化タングステンによる汚染物質の吸着が効率的な分解の前提条件です。ナノロッドまたはナノチューブの形の六角形酸化タングステンは、エッジサイトの増加により吸着能力をさらに増加させました。

斜方晶系酸化タングステンの表面特性は、結晶面の高い規則性と適度な吸着部位を持ち、その中間にあり、特定の触媒反応に適しています。ナノスケールの酸化タングステン (ナノシートなど) は、比表面積が大きく、エッジ結晶面が露出しているため、バルク材料よりも大幅に優れた吸着能力を持っています。工業的には、タングステン粉末 表面吸着性能は、触媒担体の効率を向上させるために、結晶構造によって最適化されることがよくあります。酸化タングステンの結晶構造は、結晶面や欠陥による表面吸着を調節し、これはその吸着関連アプリケーションの重要な要素です。

#### 4.3.3.2 酸化タングステンの結晶構造と表面電子状態の関係

酸化タングステン結晶の構造とその表面電子状態との関係は、その表面機能特性の中核であり、結晶面への曝露、欠陥分布、電子雲分布を通じて、その触媒活性、光電特性、化学反応能力に影響を与えます。三酸化タングステンを例にとると、表面の電子状態の変化は、光触媒、センサー、電気化学の分野での性能を直接決定します。

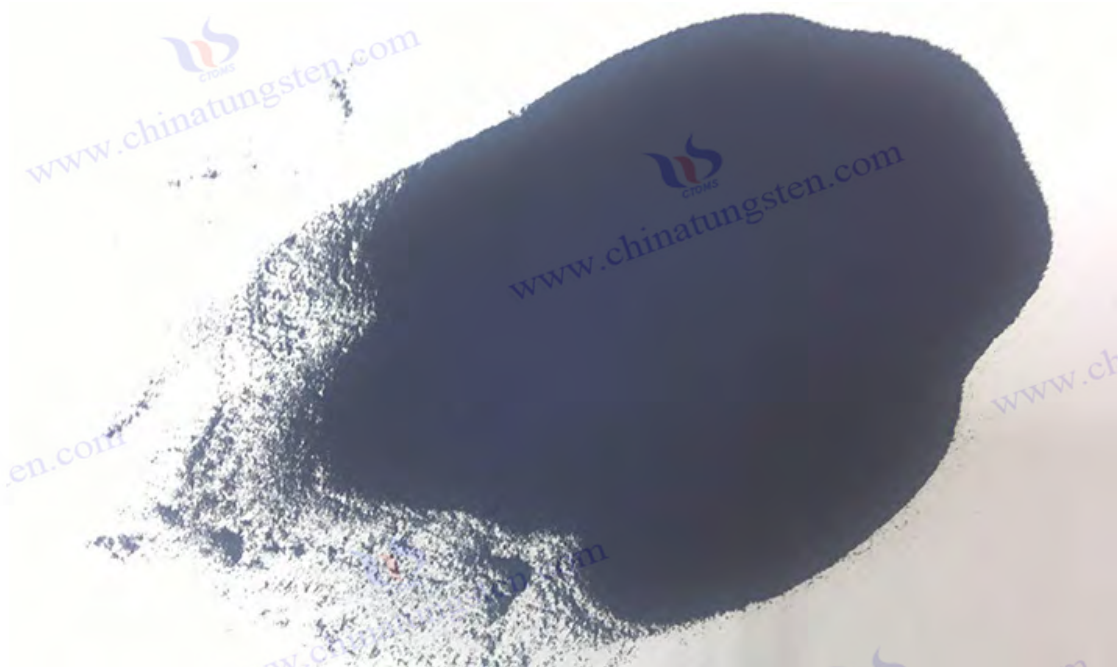
単斜晶系酸化タングステンでは、表面は  $WO_6$  八面体で構成され、露出した結晶面のタングステン原子と酸素原子 ((002) や (020) など) は不飽和であり、懸濁結合があります。酸素の 2p 軌道とタングステンの 5d 軌道は、表面に局在する電子状態を形成し、表面エネルギーレベルはバルク相のエネルギーレベルよりもわずかに低く、バンドギャップは

0.1~0.2eV 減少する可能性があります。この電子状態により、表面は外部分子との電子移動を受けやすくなります。例えば、光触媒では、光によって表面電子が伝導帯に励起され、正孔が残って活性酸素種が生成されます(例えば、 $\cdot\text{OH}$ )は有機汚染物質を分解します。酸素空孔の存在は表面の電子状態を大きく変化させ、 $\text{W}^{5+}$ サイトの存在は伝導帯の下に位置する欠陥エネルギー準位を導入し、電子供与受容能力を高め、酸化タングステンをCOなどの還元ガスに対してより敏感にします。

六方晶酸化タングステンの表面は、チャンネル構造がより多くのタングステン原子を露出し、表面の電子状態がより活発であるため、主に(001)平面です。欠陥エネルギー準位はより広く分布し、電子伝達速度が加速されるため、オプトエレクトロニクスデバイスにおいてより高い光電流応答を示します。量子効果により、ナノスケールの酸化タングステン(ナノワイヤやナノシートなど)の表面電子状態がさらに局在化され、電子密度が増加し、表面反応性が向上します。例えば、水の光分解から水素を製造する場合、六方晶酸化タングステンの表面電子状態は、電子と正孔の分離効率を最適化します。対照的に、斜方晶系酸化タングステンは、より均一な表面電子状態、高い結晶面对称性、および安定した電子分布を有し、一部の光電コーティングなどの低欠陥を必要とするアプリケーションに適しています。

表面の電子状態も地形の影響を受けます。バルク酸化タングステンの表面電子状態はより均一で、活性は低くなりますが、ナノフラワーまたは薄膜の形態の酸化タングステンの表面電子状態は、高い比表面積とエッジ効果により、より豊かで反応性が高いです。たとえば、ガスセンサーでは、表面の電子状態の操作が検出感度と選択性に直接影響します。

酸化タングステンの結晶構造は、結晶面への露出と欠陥分布を通じて表面の電子状態を調節し、これが表面機能化の理論的基礎と応用の鍵です。この関係は、酸化タングステンの多様性を明らかにするだけでなく、ハイテク分野でのさらなる発展の方向性を提供します。例えば、タングステン市場では、最適化された表面電子状態を持つ酸化タングステンが、高付加価値材料の研究ホットスポットになりつつあります。



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

## 第5章 酸化タングステンの物理的および化学的性質

### 5.1 酸化タングステンの外観と色

酸化タングステンの外観と色は、その最も直感的な物理的特性の1つであり、その化学組成、結晶構造、酸素含有量を直接反映しています。例えば、三酸化タングステン(WO<sub>3</sub>)は、自然光の中で鮮やかな黄色を発しているため、黄色の粉末として一般的な形で黄色酸化タングステンとして一般に知られています。この色は、紫外線を吸収する能力と、紫外線と部分可視光を吸収する能力により、部分的に可視光を吸収する能力によるもので、光学用途で価値があります。しかし、酸化タングステンは色がモノリシックではなく、酸素含有量の変化により、その外観は黄色から青、紫、さらには茶色に変化し、豊かな多様性を示しています。

黄色の酸化タングステンは、通常、空気中のパラタングステン酸アンモニウム(APT)の焼成によって得られる最も安定した形態であり、その結晶構造は、ナノメートルからミクロンまでの粒子サイズと繊細で均一な外観で、主に単斜晶系結晶系です。酸素含有量がわずかに減少すると、例えば水素還元雰囲気下で調製すると、酸素空孔による電子構造の変化によって色が生じる青色酸化タングステン(WO<sub>2.7</sub>)が形成されます。この形態は、その強い還元性のために、産業におけるタングステン粉末の製造における中間体としてよく使用されます。酸素含有量をさらに低減することにより、紫色の酸化タングステン(WO<sub>2.5</sub>)が得られ、外観は紫色または紫黒色、より細かい粒子であり、高活性触媒の研究によく使用されます。

#### 著作権および法的責任に関する声明

酸化タングステンの外観は、その地形にも密接に関連しています。バルク酸化タングステンは通常、滑らかな表面を持つ鈍い黄色の固体ですが、ナノスケールの酸化タングステン（ナノ粒子やナノワイヤーなど）は、特に高純度条件では、光散乱により明るく見えるか、白くさえ見えることがあります。例えば、スパッタリングによって調製された薄膜は、透明な基板上では淡黄色または無色に見ることがありますが、エレクトロクロミックプロセス中に青または灰色に変わります。また、二酸化タングステンは、酸化タングステンの低酸化形態として、茶色または暗褐色の粉末の外観を有し、その結晶構造は単斜晶系であり、外観が粗い。

実用化では、酸化タングステンの外観と色は、その識別マークだけでなく、その機能と密接に関連しています。例えば、黄色の酸化タングステンは、その安定性と光学特性により、スマートガラスや光触媒に広く使用されています。青と紫の酸化タングステンは、その高い活性のために電気化学および触媒作用で一般的に使用されています。

## 5.2 酸化タングステンの密度/比重

酸化タングステンの密度または比重は、その重要な物理的特性であり、その分子量とその結晶構造のコンパクトさを反映しています。三酸化タングステン ( $WO_3$ ) を例にとると、その理論密度は約  $7.16 \text{ g/cm}^3$  であり、これはタングステンの高酸化状態を持つ安定した化合物であるため、酸化タングステンファミリーの典型です。密度は、化学組成だけでなく、酸化タングステン材料の性能を測定するための重要なパラメータである結晶形、粒子サイズ、形態にも影響されます。

三酸化タングステンの密度は、 $WO_6$ 八面体と小さな格子空隙の密な配置のために、単斜晶系結晶形態で最も一般的です。パラタングステン酸アンモニウムの焼成によって調製された黄色酸化タングステンの実際の密度は、粒子間の微細孔または表面欠陥の存在により、理論値（約  $7.0 \sim 7.1 \text{ g/cm}^3$ ）よりもわずかに低くなる可能性があります。酸素空孔の増加による格子のわずかな緩みにより、それぞれ  $6.8 \sim 7.0 \text{ g/cm}^3$  と  $6.5 \sim 6.8 \text{ g/cm}^3$  の密度がわずかに減少した青色の酸化タングステンと紫の酸化タングステン。二酸化タングステン ( $WO_2$ ) の密度はさらに低く、約  $6.3 \text{ g/cm}^3$  ですが、これはタングステンと酸素の比率の低下により結晶構造が  $WO_6$ 八面体から  $WO_4$ 単位に変化するためです。

酸化タングステンの密度は、トポグラフィーと粒子サイズにも影響されます。バルク酸化タングステンの密度は、その小さな内部細孔とコンパクトな構造のために、理論値に近いですが、ナノスケールの酸化タングステン（ナノ粒子またはナノロッドなど）の見かけの密度は、ナノ粒子とナノ粒子の間の多数のボイドと低いかさ密度のために、おそらくわずか  $4 \sim 5 \text{ g/cm}^3$  で大幅に減少します。この違いは、高密度酸化タングステンが沈降や加工の影響を受けやすいタングステン粉末の製造など、実用化において特に重要ですが、

### 著作権および法的責任に関する声明

低密度のナノ酸化タングステンは、その高い比表面積のために触媒やコーティングに適しています。

産業用途では、酸化タングステンの密度は、その処理および使用性能に直接影響します。高密度酸化タングステンは、還元プロセスでの質量損失が制御可能であるため、タングステン金属またはタングステンワイヤの調製に適しています。低密度酸化タングステンナノは、その軽量特性のために、タングステンプラスチックまたはタングステンゴムなどの複合材料に使用されています。CTIA GROUP LTD は、結晶構造と粒子形態を最適化して、さまざまなタングステン製品のニーズを満たすことにより、酸化タングステンの密度を調整します。酸化タングステンの密度は、その物理的特性を反映しているだけでなく、そのアプリケーション設計における重要なパラメータでもあります。

### 5.3 酸化タングステンの熱安定性

酸化タングステンの熱安定性は、高温環境における酸化タングステンの重要な特性であり、耐火材料、光電子デバイス、および高温触媒への適用性を直接決定します。三酸化タングステン ( $WO_3$ ) を例にとると、熱安定性が高く、高温で結晶構造の完全性を維持できますが、その特定の性能は、その化学組成、結晶形態、および調製条件に密接に関連しています。以下については、融点、分解温度、熱膨張係数の3つの側面から詳しく説明します。

大気圧での三酸化タングステンの熱安定性は次のとおりです: 約  $1000^{\circ}C$  未満では、その結晶構造 (通常は単斜晶系の結晶形) は安定したままで、大きな分解や相変態は起こりません。温度が  $1000\sim 1200^{\circ}C$  に上昇すると、単斜晶系から直交または六角形の結晶性など、結晶変換が発生する可能性があります。青色の酸化タングステンと紫色の酸化タングステンは、高温でさらに酸素を失い、二酸化タングステンまたはタングステン金属に変換されやすい酸素空孔が多いため、熱安定性がわずかに低くなっています。二酸化タングステン ( $WO_2$ ) は、その低酸化構造が還元環境で分解しにくいため、より熱的に安定しています。

酸化タングステンの熱安定性は、大気の影響も受けます。酸化性雰囲気 (空気など) では、三酸化タングステンは融点近くまで安定することができますが、還元性雰囲気 (水素など) では、酸素空孔が増加し、熱安定性が低下し、低温 ( $700\sim 800^{\circ}C$  など) でタングステン金属に分解し始める可能性があります。この特性は、タングステン粉末の製造に広く使用されており、酸化タングステンの還元は、大気と温度を制御することによって達成されます。ナノスケールの酸化タングステンの熱安定性は、その高い比表面積と表面エネルギーが高温での結晶粒合体または構造変化の影響を受けやすくするため、バルク材料の熱安定性よりもわずかに低いです。

実際の用途では、酸化タングステンの熱安定性により、高温環境に最適な材料となっています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

ます。例えば、タングステン ワイヤーまたはタングステン ヒーターの製造では、その高温安定性が機械加工プロセスの信頼性を保証します。光触媒の分野では、その構造安定性が長期的な性能を保証します。

### 5.3.1 酸化タングステンの融点

酸化タングステンの融点は、その熱安定性の重要な指標であり、極端な高温での構造保持能力を反映しています。例えば、三酸化タングステン ( $WO_3$ ) の場合、その融点は通常  $1473^{\circ}C$  (約  $1700K$ ) と決定され、高温材料において大きな利点となる値です。融点は、タングステン - 酸素結合 ( $W-O$ ) が高い共有結合およびイオン性特性を有し、結合エネルギーが強いいため、酸化タングステンの化学結合強度および結晶構造と密接に関連しています。

三酸化タングステンの融点は、単斜晶系の結晶形態で最も典型的であり、その  $WO_6$  八面体三次元ネットワーク構造は、破壊するために非常に高いエネルギーを必要とします。パラタングステン酸アンモニウムによって焼成される黄色酸化タングステンの融点は、微量の不純物や粒子サイズによってわずかに変動することがありますが、通常は  $1470^{\circ}C$  ー  $1480^{\circ}C$  です。青色の酸化タングステンと紫色の酸化タングstenは、結晶格子の全体的な安定性を弱める酸素空孔の存在により、それぞれ  $1450-1470^{\circ}C$  と  $1430-1460^{\circ}C$  のわずかに低い融点を持っています。二酸化タングステン ( $WO_2$ ) は、融点が約  $1700^{\circ}C$  と高く、酸化状態の構造が低いいため高温での融解が困難ですが、酸化性雰囲気では三酸化タングstenに容易に変換されます。

酸化タングステンの融点は、地形の影響も受けます。バルク酸化タングステンの融点は、その緻密な構造と均一な熱伝導のために理論値に近いです。ナノスケールの酸化タングstenの融点は、高い表面積と表面が粒子が合体または高温で熔融することを容易にするため、 $50-100^{\circ}C$  減少する可能性があります。この違いは、高温還元プロセスにより適したタングsten金属製造における高融点の酸化タングstenなど、実際の用途では特に注意を払う必要があります。

産業用途では、酸化タングstenの高融点は、タングstenヒーターや高温炉ライニング材料などの耐火材料に最適です。CTIA GROUP LTD は、結晶構造と純度を制御して過酷な高温環境の要求を満たすことにより、酸化タングstenの融点性能をさらに向上させます。酸化タングstenの融点は、その熱安定性と高温用途の基礎を直接反映しています。

### 5.3.2 酸化タングステンの分解温度

酸化タングstenの分解温度は、それが特定の条件下で酸素原子を失い始めるか、または熱安定性と密接に関連している化学変化を受け始める温度を指します。三酸化タングsten ( $WO_3$ ) を例にとると、その分解温度は大気酸化性雰囲気ですべて非常に高く、通常は融点

(1473° C)を超えます。しかし、還元雰囲気では、分解温度は大幅に低下し、タングステン粉末製造の重要なパラメータになります。

空気中では、三酸化タングステンの分解温度は、熔融後も  $\text{WO}_3$  組成を保持し、約 1500～1600° C まで少量の酸素をゆっくりと揮発させる可能性があるため、明確に定義することは困難です。水素などの還元雰囲気では、三酸化タングステンは 700～900° C で分解し始め、青色酸化タングステン ( $\text{WO}_{2.9}$ ) または紫色の酸化タングステンを形成し、最終的に 1000～1200° C でタングステンに変換されます。この分解過程は酸素空孔の形成と密接に関連しており、温度が高いほど還元度が深くなります。青色の酸化タングステンと紫色の酸化タングステンは、より低い温度で分解し、さらに酸素は、二酸化タングステンまたはタングステンを形成するために 800～1000° C の範囲で失われます。二酸化タングステン ( $\text{WO}_2$ ) は分解温度が高く、不活性雰囲気では約 1500° C まで安定ですが、酸化性雰囲気では急速に酸化して三酸化タングステンになります。

酸化タングステンの分解温度は、粒子サイズにも影響されます。高い表面積と表面活性のために、ナノスケールの酸化タングステンの分解温度は 50-100° C 低下する可能性があり、減少は 600-800° C で開始されます。バルク酸化タングステンは、緻密な構造、より高い分解温度およびより強い安定性を有する。この特性は、タングステン金属の工業的還元において、例えば、正確な温度制御による段階的な分解のために十分に活用されます。

実際のアプリケーションでは、酸化タングステンの分解温度は、高温還元プロセスでのその挙動を決定します。酸化タングステンの分解温度は、その熱安定性と化学反応性の交差点です。

### 5.3.3 酸化タングステンの熱膨張係数

酸化タングステンの熱膨張係数は、温度変化下でのその体積膨張または線膨張の程度であり、熱応力に応答する結晶構造の能力を反映しています。三酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) を例にとると、その熱膨張係数は室温から 1000° C の範囲で約  $6-8 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$  であり、これは比較的 low、高温での良好な寸法安定性を持っていることを示しています。

三酸化タングステンの熱膨張係数は、 $\text{WO}_6$  八面体のタイトな配置が結晶格子の熱膨張を制限するため、単斜晶系結晶形態で典型的です。A、B、C の 3 つの軸に沿った膨張係数にはわずかな違いがあり、たとえば、C 軸に沿ってわずかに高くなる可能性があります (約  $8 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ) は、格子の非対称性により、熱応力が不均一に分布しています。タングステン酸分解によって調製された黄色酸化タングステンの熱膨張係数は、粒子サイズおよび不純物によってわずかに異なり得るが、一般的には  $6-9 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$  の間に留まる。青色の

#### 著作権および法的責任に関する声明

酸化タングステンと紫色の酸化タングステンは、熱膨張係数がわずかに高く（約  $8-10 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ）、および酸素空孔により格子が緩和され、熱膨張がより明白になります。二酸化タングステン ( $\text{WO}_2$ ) の熱膨張係数は約  $5-7 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$  であり、構造が単純なため、膨張性がわずかに低くなります。

酸化タングステンの熱膨張係数は、形態および調製条件によっても影響を受ける。バルク酸化タングステンの熱膨張係数は、その均一な内部応力のために理論値に近いです。しかし、ナノスケールの酸化タングステン（ナノ薄膜など）は、表面効果や粒界の増加により熱膨張係数を 10-20% 増加させる可能性があり、高温で変形しやすくなっています。この特性は、熱応力による亀裂が回避されるスマートガラスなどの薄膜アプリケーションで特に考慮されます。

産業用途では、酸化タングステンの熱膨張係数が低いため、タングステン-銅複合材料やオプトエレクトロニクスデバイスなどの高温環境の繊細な部品に適しています。CTIA GROUP LTD 結晶構造を最適化し、酸化タングステンの熱膨張係数を低減することにより、高温タングステン製品中の酸化タングステンの性能を向上させます。酸化タングステンの熱膨張係数は、その熱安定性と機械的特性の重要な実施形態です。

#### 5.4 酸化タングステンの溶解度

酸化タングステンの溶解度は、その化学的性質の重要な側面であり、湿式製錬、化学反応、および溶液調製におけるその挙動に直接影響します。三酸化タングステン（黄色酸化タングステン）を例にとると、水にほとんど溶けず、溶解度が非常に低く（約  $0.02 \text{g}/100 \text{mL}$ 、 $25^\circ \text{C}$ ）、難溶性化合物です。この特性は、その強力な共有結合-イオンハイブリッド結合（W-O 結合）と安定した結晶構造に由来するため、従来の条件下では水分子による解離が困難でした。

酸性溶液では、酸化タングステンの溶解度はわずかに異なりますが、それでも制限されています。例えば、希塩酸または硫酸では、微量のタングステン酸が表面上に形成される可能性があるため、三酸化タングステンの溶解度はわずかに増加するだけですが、全体は不溶性のままです。しかし、強酸（例えば、濃硝酸）では、酸化タングステンは、特に加熱条件下でゆっくりと反応し、可溶性タングステン酸またはタングステン酸塩を形成する。この反応は、鉄マンガング重石または灰重石の湿式精製に広く使用されており、酸化タングステンを酸浸出によって溶液中間体に変換し、さらにタングステン金属に加工します。対照的に、二酸化タングステン ( $\text{WO}_2$ ) は、酸化状態の構造が低いため、強酸に対してわずかに溶解性が高く、反応性が高くなります。

アルカリ性溶液中の酸化タングステンの溶解度は、特に  $\text{NaOH}$  や  $\text{KOH}$  などの強塩基で大幅に改善されます。三酸化タングステンは、タングステン酸ナトリウム ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) を形成する

ために水酸化ナトリウムと反応することができ、溶解度は 100ml あたり数十グラムに達することができます。例えば、80° C の濃アルカリ溶液中で、三酸化タングステンは次の反応で急速に溶解します： $WO_3 + 2NaOH \rightarrow Na_2WO_4 + H_2O$ 。この特性は、例えば、パラタングステン酸アンモニウムからのタングステン化合物の調製において、タングステン酸の工業生産の基礎であり、これはしばしば酸化タングステンをアルカリ化することによって達成される。青色の酸化タングステンと紫色の酸化タングステンは、アルカリへの溶解度が似ていますが、酸素空孔が多いため、反応速度がわずかに速くなります。

酸化タングステンの溶解度は、トポグラフィーと粒子サイズにも影響されます。ナノスケールの酸化タングステン（ナノ粒子など）の比表面積が高いため、酸塩基溶液への溶解速度はバルク材料よりも高くなりますが、それでも不溶性の範囲にあります。エタノールやアセトンなどの有機溶媒では、酸化タングステンは有機分子と反応する活性部位がないため、ほぼ完全に不溶性です。酸化タングステンの溶解度は、その化学的安定性と反応選択性を反映しており、これは化学および冶金分野でのその応用の重要な特性です。

## 5.5 酸化タングステンの硬度と機械的強度

酸化タングステンの硬度と機械的強度は、その物理的特性の重要な現れであり、耐摩耗性材料、コーティング、および構造部品への適合性を決定します。酸化タングステンの一般的な形態である三酸化タングステン ( $WO_3$ ) は、硬度と機械的強度が高いですが、結晶形態、形態、および調製条件によって具体的な値が異なります。

三酸化タングステンの硬度は、その  $WO_6$  八面体結晶構造によるものであり、タングステン-酸素結合の強力な共有結合およびイオン特性により、変形に対する高い耐性が得られます。単斜晶系結晶形態では、酸化タングステンは、青色酸化タングステンや紫色酸化タングステンなどの非整数化合物よりも緻密な格子配置と優れた機械的特性を有する。バルク酸化タングステンの硬度と強度はセラミック材料のものに近いですが、ナノスケールの酸化タングステンの機械的特性は、粒界の増加と粒子効果により変化します。酸化タングステンの硬度は、タングステン銅複合材料の補強相となり、全体的な耐摩耗性を向上させます。

機械的強度の面では、酸化タングステンは良好な耐圧縮性を示しますが、せん断抵抗と引張抵抗は弱いです。この特性は、単斜晶系結晶形態の層状配置など、その結晶構造の異方性に関連しており、これにより特定の方向で破壊されやすくなります。工業的には、酸化タングステンは、多くの場合、パラタングステン酸アンモニウムによって粉末に焼成され、その後、成形にプレスされ、その機械的強度は、プレス密度と焼結条件の影響を受けます。高温で焼結された酸化タングステンブロックはより強く、緩いナノ酸化タングステン粉末はより壊れやすいです。

酸化タングステンの硬度と機械的強度も欠陥の影響を受けます。格子歪みのため、酸素空孔の多い紫色の酸化タングステンの硬度と強度は、三酸化タングステンの硬度と強度より

### 著作権および法的責任に関する声明

もわずかに低くなっていますが、それでも触媒担体のニーズを満たすには十分です。実際の用途では、タングステンプラスチックやタングステンゴムとの組み合わせなどのコンパウンドによって酸化タングステンの機械的特性が強化され、靱性と強度が向上することがよくあります。CTIA グループ株式会社は、結晶構造と粒子形態を最適化することにより、タングステン製品中の酸化タングステンの機械的特性を改善します。酸化タングステンの硬度と機械的強度は、その結晶構造と実用性の組み合わせを反映して、その耐久性アプリケーションの重要な指標です。

### 5.5.1 酸化タングステンのモース硬度

酸化タングステンのモース硬度は、その耐スクラッチ性を測定するための重要なパラメータであり、外部侵食に対する表面抵抗を反映しています。三酸化タングステン ( $WO_3$ ) の場合、モース硬度は通常 4.5〜5.5 であり、一般的なセラミック材料(アルミナ、硬度 9 など)よりもわずかに低いですが、多くの金属酸化物よりも高くなります。このレベルの硬度は、耐摩耗性コーティングや機械部品に価値があります。

三酸化タングステンのモース硬度は、主にその  $WO_6$  八面体結晶構造によるものであり、タングステン-酸素結合の強い共価体は高い耐スクラッチ性を提供します。単斜晶系形態では、酸化タングステンは、その緻密な格子配置および表面上の強い原子間接着のために、約 5 の硬度を有する。メタタングステン酸アンモニウムの水熱法によって調製されたタングステンナノ酸化物の硬度は、粒界効果とナノ粒子の表面欠陥により、全体の強度を弱めるために、わずかに低くなる(約 4.5)ことがあります。二酸化タングステン ( $WO_2$ ) は、酸化状態が低く、構造がコンパクトなため、硬度が約 5.5〜6 とわずかに高くなっています。

酸化タングステンのモース硬度は、トポグラフィーと粒子サイズにも影響されます。バルク酸化タングステンの硬度は、その構造的完全性と表面欠陥が少ないため、5.5 に近いです。ナノスケールの酸化タングステン(ナノフィルムやナノ粒子など)の硬度は 4〜4.5 に低下する可能性があり、比表面積が高く、粒界が増加するため、表面が傷付きやすくなります。また、酸素空孔が多い青色の酸化タングステンと紫色の酸化タングステンは、硬度がわずかに低く(約 4-5)、格子歪みにより原子間結合力が低下します。

実際の用途では、酸化タングステンのモース硬度は、耐摩耗性コーティングまたは複合材料の補強相として適しています。例えば、フェロタングステンまたは金タングステンに酸化タングステンを添加すると、表面硬度および耐摩耗性を向上させることができます。酸化タングステンのモース硬度は、その機械的特性の基礎であり、耐久性に直接影響します。

### 5.5.2 酸化タングステンの圧縮強度

#### 著作権および法的責任に関する声明

酸化タングステンの圧縮強度は、その機械的強度のコア指標であり、圧力下での変形および破砕に対する耐性を反映しています。三酸化タングステン ( $WO_3$ ) を例にとると、その圧縮強度は通常 500~800MPa であり、セラミック材料の中では適度に高性能であり、高压環境に適しています。

三酸化タングステンの圧縮強度は、その単斜晶系結晶構造と密接に関連しており、 $WO_6$ 八面体の三次元ネットワークは高い耐圧縮性を提供します。タングステン酸の焼成によって調製されたバルク酸化タングステンの圧縮強度は、そのタイトな粒間結合といくつかの内部欠陥のために、700~800MPa に達することができます。ナノスケールの酸化タングステンの圧縮強度は大幅に低下し(約 300~500MPa)、粒界ボイドと粒界効果により、圧力下で破壊されやすくなります。二酸化タングステン ( $WO_2$ ) は、その単純な構造とより強い格子安定性のために、わずかに高い圧縮強度、約 800~900MPa を有する。

酸化タングステンの圧縮強度も調製プロセスの影響を受けます。高密度のため、高温焼結酸化タングステンブロックの圧縮強度は上限に近く、一方、ルース粉末酸化タングステン ( [タングステン粉末](#) 前駆体など) の圧縮強度は低く、わずか 200~300MPa です。さらに、酸素空孔が多い青色の酸化タングステンと紫色の酸化タングstenは、圧縮強度がわずかに低く(約 400~600MPa)、欠陥により結晶格子の全体的な強度が弱くなります。

実際の用途では、酸化タングステンの圧縮強度により、タングステンワイヤの製造におけるプレスブランクの原料などの高压成形プロセスに適しています。CTIA GROUP LTD は、耐圧材料のタングステン企業のニーズを満たすために焼結条件を最適化することにより、酸化タングステンの圧縮強度を向上させます。酸化タングステンの圧縮強度は、その機械的特性の重要な実施形態であり、高压環境での信頼性を決定します。

### 5.5.3 酸化タングステンのせん断強度

酸化タングステンのせん断強度は、その機械的強度のもう一つの重要なパラメータであり、せん断応力によって引き起こされる変形や破壊に抵抗する能力を反映しています。三酸化タングステン ( $WO_3$ ) を例にとると、そのせん断強度は通常 200~300 MPa で、圧縮強度よりも低く、特定の異方性を示します。この特性により、せん断力が高いアプリケーションでは効果が少し低下しますが、それでも実用的です。

三酸化タングステンのせん断強度は、その単斜晶系結晶構造に関連しており、 $WO_6$ 八面体

#### 著作権および法的責任に関する声明

の層状配置により、一部の方向で弱くなります。 \_ パラタングステン酸アンモニウムの焼成によって得られるバルク酸化タングステンのせん断強度は、粒間結合力が特定のせん断応力に抵抗するのに十分であるため、約 250〜300MPa です。ナノスケールの酸化タングステンのせん断強度は、粒界の増加と粒子間の緩い結合により大幅に低下し(約 100〜200MPa)、せん断下での滑りが容易になります。二酸化タングステン( $WO_2$ )は、そのより均質な構造のために、約 300〜350MPa のわずかに高いせん断強度を有する。

酸化タングステンのせん断強度は、形態や欠陥によっても影響を受けます。その層状構造により、薄膜酸化タングステンのせん断強度は低く(約 150-200MPa)、中間膜に沿って破壊されやすいです。しかし、酸素空孔の多い青色酸化タングステンと紫酸化タングステンのせん断強度はさらに低下し(約 120-180MPa)、格子歪みによりせん断抵抗が弱くなります。複合材料では、酸化タングステンのせん断強度は、タングステン銅または銀タングステンを添加して全体的な特性を改善することによって強化することができます。

実際のアプリケーションでは、酸化タングステンのせん断強度により、タングステンヒーターなどのせん断応力が低いシナリオで優れた性能を発揮します。酸化タングステンのせん断強度は、その機械的特性を補完し、複雑な応力環境でのその制限と可能性を反映しています。

## 5.6 酸化タングステンの比表面積

酸化タングステンの比表面積は、その物理的特性の重要なパラメータであり、その粒子サイズ、形態、表面活性を直接反映し、触媒作用、吸着、エネルギー貯蔵への応用に重要な影響を与えます。三酸化タングステンを例にとると、その比表面積は調製方法や粒子サイズによって異なり、通常は 1〜100m<sup>2</sup>/g の範囲で変動し、これはその機能性の重要な指標です。

バルク酸化タングstenは、その大きな粒子(ミクロンスケール)と活性部位の限られた表面露出のために、通常 1〜5m<sup>2</sup>/g の低比表面積を有する。 パラタングステン酸アンモニウムの高温焼成によって得られる黄色酸化タングステンの比表面積は、一般に 2〜10m<sup>2</sup>/g であり、還元プロセス中に過度の表面活性を必要としないため、タングステン粉末前駆体に適しています。対照的に、ナノスケールの酸化タングステンの比表面積は、メタタングステン酸アンモニウムの水熱法によって調製されたナノ粒子またはナノロッドのように、比表面積が 50〜100m<sup>2</sup>/g と大幅に増加します。この高い比表面積は、粒子サイズ(10-

100 nm)と形態学的多様性(ナノワイヤやナノフラワーなど)の減少によるもので、その結果、表面原子の割合が大幅に高くなります。

酸化タングステンの比表面積は、その結晶形と酸素空孔にも関連しています。単斜晶系酸化タングステンは比較的安定した比表面積を有するが、六角形のナノ構造はチャネル効果によりより高い比表面積を有し、光触媒またはガスセンサーでよく使用される(タングステン技術を参照)。青色の酸化タングステンと紫色の酸化タングステンの比表面積は、同じサイズの三酸化タングステンの比表面積(約10~20%の増加)よりもわずかに高く、酸素空孔とより活性な部位により表面粗さが増加します。二酸化タングステン( $WO_2$ )は、その単純な結晶構造と粒子が合体する傾向のため、比表面積が小さくなっています(5-20 $m^2/g$ )。

実用化では、酸化タングステンの高い比表面積は、例えば、有機汚染物質を分解するとき、ナノ酸化タングステンの高い表面積は、より多くの反応物を吸着し、効率を向上させることができる触媒の分野で優れています。酸化タングステンの比表面積は、その表面機能性を直接反映しており、ナノテクノロジーへの応用のための重要なパラメータです。

## 5.7 酸化タングステンのかさ密度

酸化タングステンのかさ密度は、粒子間の空隙および蓄積特性を反映し、その貯蔵、輸送および加工特性に重要な影響を与える、天然包装状態でのその粉末の密度を指す。例えば、三酸化タングステン( $WO_3$ )の場合、かさ密度は通常 1.0~2.5 $g/cm^3$ であり、粒子間の空隙が多いため、理論密度(7.16 $g/cm^3$ )よりもはるかに低くなっています。

バルク酸化タングステンは、タングステン酸の焼成によって生成されるミクロンサイズの黄色酸化タングステンのような高い嵩密度を有し、約 2.0~2.5 $g/cm^3$ の緩い密度を有する。この高い嵩密度は、より大きな粒子(1-10 $\mu m$ )、よりタイトなパッキング、およびより少ないボイドによるものであり、タングステン金属またはタングステンワイヤの工業生産に適しています。例えば、ナノスケールの酸化タングステンのかさ密度は著しく減少し、例えば、水熱法によって調製されたナノ粒子のかさ密度は、ナノ粒子(10-100nm)間のギャップの増加と緩い蓄積により、わずか 0.5~1.0 $g/cm^3$ である。この低密度により、タングステンプラスチックまたはタングステンゴムに容易に分散させることができます。

酸化タングステンのかさ密度は、形態や結晶形にも影響されます。単斜晶系酸化タングステン粒子は規則的で、高い嵩密度(1.5-2.5 $g/cm^3$ )を有するが、六角形のナノロッドまたはナノチューブは、その複雑な形態のために低い嵩密度(0.8-1.5 $g/cm^3$ )を有する。青色の酸化タングステンと紫色の酸化タングステンは、酸素空孔が粒子表面を粗くし、蓄積効

### 著作権および法的責任に関する声明

率が低下するため、緩い密度がわずかに低くなります ( $1.0\text{--}2.0\text{ g/cm}^3$ )。二酸化タングステン ( $\text{WO}_2$ ) は、その粒子が凝集する傾向があるため、約  $1.5\text{--}2.2\text{ g/cm}^3$  の緩い密度を持っています。

実際のアプリケーションでは、酸化タングステンのかさ密度は、その処理技術に影響を与えます。例えば、かさ密度の高い酸化タングステンはプレス時に入手が容易であり、一方、かさ密度の低いナノ酸化タングステンは軽量コーティングに適しています。CTIA GROUP LTD は、さまざまなタングステン市場のニーズに合わせて粒子サイズと形態を調整することにより、酸化タングステンのかさ密度を最適化します。酸化タングステンの緩い密度は、その物理的特性と実用性との間の重要な架け橋です。

### 5.8 酸化タングステンの光学特性

酸化タングステンの光学特性は、光触媒、フォトクロミックおよび光電子デバイスにおけるその応用の基礎であり、その結晶構造および電子構造に密接に関連しています。タングステン酸化物の一般的な形態である三酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) を例にとると、その光学特性には光の吸収、透過、反射の特性が含まれ、バンドギャップと欠陥状態による多様性を示します。

三酸化タングステンは、紫外線と一部の可視光を吸収することができ、黄色の外観を有する広いバンドギャップ半導体である約  $2.5\text{--}2.8\text{ eV}$  のエネルギーバンドギャップを有する。

この光学特性は、水の分解や有機汚染物質の分解など、光触媒の分野で利点をもたらします。非対称構造のため、単斜晶系酸化タングステンはわずかに広い光吸収エッジを有するが、六角形のナノ構造はわずかに小さいバンドギャップ ( $2.4\text{--}2.7\text{ eV}$ ) および量子効果によるより広い吸収範囲を有することができる。青色酸化タングステンと紫色酸化タングステンとの間のバンドギャップはさらに減少し ( $2.0\text{--}2.5\text{ eV}$ )、酸素空孔による欠陥エネルギー準位の導入により、光吸収は近赤外領域に拡大します。

酸化タングステンの光学特性は、エレクトロクロミック能力にも現れます。電界の作用下で、三酸化タングステンはイオンインターカレーション ( $\text{Li}^+$  など) によって黄色から青色または灰色に色を変えることができます。この特性により、透過率を 80% から 10% 未満に低減できるスマートガラスに広く使用されています。薄膜の形態の酸化タングステンの光学特性はより優れており、反射および透過特性は制御可能な厚さのために容易に調整することができます。ナノスケールの酸化タングステンは、光散乱効果が増強されており、半透明または白色に見えることがあります。

実用化では、酸化タングステンの光学特性は、オプトエレクトロニクスの分野で輝かせます。例えば、タングステン酸系光触媒は、その光吸収特性を利用して汚染物質を分解し、タングステンヒーターの光学コーティング剤は、その変色特性を利用しています。CTIA

#### 著作権および法的責任に関する声明

GROUP LTD は、結晶構造を最適化することにより、タングステン企業の酸化タングステンの光学特性を改善します。酸化タングステンの光学特性は、そのハイテクアプリケーションの中心にあります

### 5.8.1 酸化タングステンの光吸収と光触媒特性

酸化タングステンの光吸収および光触媒特性は、その光学特性の重要な現れであり、水の光分解、汚染物質の分解および太陽エネルギー利用におけるその効率を直接決定します。三酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) を例にとると、その光吸収範囲は主に紫外線と一部の可視光領域に集中しており、エネルギーバンドギャップは 2.5~2.8 eV であり、効果的な光触媒材料となっています。

単斜晶系結晶形態の酸化タングステン光吸収端は約 400~500nm であり、 $\text{WO}_6$ 八面体の非対称配置により、電子は  $02p$  軌道から  $W5d$  軌道に遷移して光生成電子 - 正孔対を生成します。この特性により、紫外線下でメチレンブルーなどの有機染料を非常に効率的に分解できます。ナノ効果およびチャネル構造により、六方晶酸化タングステンは、わずかに広い光吸収範囲 (550nm まで) および特にナノロッドまたはナノフラワーの形で、より高い比表面積およびより活性な部位を有する、より強い光触媒活性を有する。青色酸化タングステンと紫色の酸化タングステンの光吸収は、より多くの酸素空孔を有する近赤外領域にまで及び、光応答性は欠陥エネルギー準位によって強化されます。

酸化タングステンの光触媒特性は、形態や欠陥によっても影響を受けます。その高い比表面積と短いキャリア拡散経路のために、ナノスケールの酸化タングステンは、光生成電子 - 正孔分離の効率が高く、その光触媒性能はバルク材料のそれよりも優れています。酸素空孔は、キャリアの寿命を延ばし、触媒効率をさらに向上させるための電子トラップとして使用されます。例えば、水の光分解から水素を製造する場合、六方晶酸化タングステンの水素生成速度は数十  $\mu\text{mol/h} \cdot \text{g}$  に達することがあります。工業的には、[タングステン酸カルシウム](#) 酸化タングステンと組み合わせることで、光吸収と触媒性能をさらに最適化します。

### 5.8.2 酸化タングステンのフォトクロミック特性

酸化タングステンのフォトクロミック特性は、その光学特性のユニークな現れである光の下でその色を可逆的に変化させるその能力を指します。三酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) を例にとると、そのフォトクロミック特性は光誘起電子移動と酸素空孔形成に由来するため、スマートガラスやディスプレイデバイスへの応用が期待できます。

単斜晶系酸化タングステンは、紫外線下で黄色から青色または灰色に変化し、光生成電子

と格子酸素との反応により酸素空孔が形成され、タングステンは  $W^{6+}$  から  $W^{5+}$  に減少します。この変色プロセスには、通常、水またはプロトン源（表面吸着された  $H_2O$  など）が関与し、次の反応が行われます： $WO_3 + hv \rightarrow WO_{3-x} + x/2 O_2$ 。ナノスケールの酸化タングステンは、高い比表面積が表面反応を加速し、色の变化時間を数秒に短縮することができるので、より強いフォトクロミック特性を有する。チャネル構造のため、六角形酸化タングステンの変色効率はわずかに高くなりますが、安定性はわずかに劣ります。

酸化タングステンのフォトクロミック特性は、酸素空孔やトポグラフィーの影響も受けます。青と紫の酸化タングステンの初期酸素空孔は、それらに低いフォトクロミック閾値を与え、より低い光強度で色を変えることができます。薄膜の形態の酸化タングステンは、その制御可能な厚さと色の深さと速度の調整が容易なため、光学デバイスでよく使用されます。エレクトロクロミズムと比較して、フォトクロミズムは可逆性が低く、長期間の照明は構造に不可逆的な変化をもたらす可能性があります。実際のアプリケーションでは、酸化タングステンのフォトクロミック特性により、光制御された窓やセンサーに有望です。CTIA GROUP LTD は、ナノ構造を最適化することにより、タングステン化学品中の酸化タングステンの色変化特性を改善します。酸化タングステンのフォトクロミック特性は、その光学用途にとってユニークな利点です。

## 5.9 酸化タングステンの電気的性質

酸化タングステンの電気的特性は、電子デバイス、センサー、およびエレクトロクロミックアプリケーションにおける酸化タングステンの主要な特性であり、その結晶構造、電子構造、および欠陥状態に密接に関連しています。[三酸化タングステン](#) を例にとると、その電気的特性は半導体の挙動に典型的であり、導電率とキャリア移動度は結晶形態と環境条件の影響を受け、多様性と同調性を示します。

n 型半導体として、三酸化タングステンの導電率は、温度、酸素空孔およびドーピングに応じて、通常  $10^{-7}$ – $10^{-3}$  S / cm の範囲にあります。単斜晶系結晶形態では、酸化タングステンの電子は主に酸素空孔の欠陥状態に由来し、 $W^{6+}$  は部分的に  $W^{5+}$  に還元され、追加の電子キャリアを提供します。この特性により、 $NO_2$  または  $H_2S$  に対する応答が導電率を大幅に変化させるなど、ガスセンサーに優れています。チャネル構造により、六角形の酸化タングステンは、 $10^{-2}$  S/cm までの高い電子移動度と伝導性を持ち、高感度アプリケーションに適しています。

酸化タングステンの電気的特性もエレクトロクロミック特性を有する。電場の作用下で、イオン ( $Li^+$  や  $H^+$  など) が結晶格子に埋め込まれ、電子の注入により、導電率が大幅に増加します。たとえば、スマートグラスでは、三酸化タングステンが絶縁状態から導電状態に変化し、色が黄色から青色に変わります。このダイナミックな変化は、電子構造の同調性に起因しているため、電気化学デバイスで広く使用されています。ナノスケールの酸化タングステンは、より優れた電気的特性を有し、その高い比表面積と短いキャリアパスにより、電子輸送効率を改善するためにタングステン化学物質の機能化によく使用されま

### 著作権および法的責任に関する声明

す。

実用化では、酸化タングステンの電気的特性は、エレクトロニクスの分野で大きな注目を集めています。例えば、[青色の酸化タングステン](#) と [紫色の酸化タングステン](#) は、より多くの酸素空孔のためにより高い導電率のために電極材料に適している。酸化タングステンの電気的特性は、その半導体特性の柔軟性を反映して、そのハイテクアプリケーションの基礎です。

### 5.9.1 酸化タングステンの半導体特性

酸化タングステンの半導体特性は、その電気的特性の中心であり、センサー、太陽電池、およびオプトエレクトロニクスデバイスにおいて重要です。三酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) を例にとると、n 型ワイドバンドギャップ半導体として、エネルギーバンドギャップは 2.5 ~ 2.8 eV であり、電子伝導性は酸素空孔またはドーピングによって導入されたキャリアから導き出されます。

単斜晶系酸化タングstenは半導体の最も一般的な形態であり、その伝導帯は W 5d 軌道で構成され、価電子帯は O 2p 軌道によって支配されます。酸素空孔は、ドナーの欠陥として、自由電子を供与して、 $10^{-7}$ – $10^{-4}$  S / cm の間の伝導性を作ります。この特性により、 $\text{NO}_2$  などの酸化性ガスに敏感になり、電子を吸着して捕捉し、導電率を低下させます。チャンネル構造により、六角形の酸化タングstenは、電子移動度と導電率が  $10^{-3}$ – $10^{-2}$  S / cm と高く、高感度センサーに適しています。二酸化タングsten ( $\text{WO}_2$ ) は金属導体に近く、電気伝導率が高いですが、半導体特性は弱いです。

酸化タングstenの半導体特性は、温度とトポグラフィーの影響も受けます。室温では、その導電率は低く、温度が上昇する (200 ~ 400 °C まで) と、熱励起された電子が増加し、導電率が大幅に増加します。ナノスケールの酸化タングsten (ナノワイヤやナノシートなど) は、量子効果や表面状態、キャリア濃度が高い、半導体性能が優れているため、バンドギャップがわずかに小さくなります (2.4 ~ 2.7 eV)。例えば、[タングsten](#) 粉末ベースのセンサーでは、ナノ酸化タングstenはバルク材料よりも数十倍感度の高い CO を検出できます。実用化では、酸化タングstenの半導体特性により、ガス検出や光電変換に優れています。CTIA GROUP LTD は、タングsten市場のニーズを満たすために、ドーピング (例えば、タングsten酸ナトリウム) または酸素空孔を操作することにより、酸化タングstenの導電率と応答性を最適化します。酸化タングstenの半導体特性は、その電子構造の多様性を反映して、その電気的応用の基礎です。

### 5.9.2 酸化タングstenのエレクトロクロミック特性

#### 著作権および法的責任に関する声明

酸化タングステンのエレクトロクロミック特性は、電界の作用下でその色を可逆的に変化させる能力を指し、これはその電気的特性のユニークな現れです。三酸化タングステン ( $WO_3$ ) を例にとると、そのエレクトロクロミック特性は、イオンインターカレーションと電子注入によって引き起こされる電子構造の変化によるものであり、スマートガラスやディスプレイデバイスで広く使用されています。

単斜晶系酸化タングステンは、エレクトロクロミズムの典型的な材料です。電圧 (1~3V など) を印加すると、 $WO_6$  の八面体間空間に小さなイオン ( $Li^+$  や  $H^+$  など) が埋め込まれ、結晶格子に電子が注入され、タングステンが  $W^{6+}$  から  $W^{5+}$  に還元され、酸素空孔が発生します。反応は、 $WO_3 + xLi^+ + xe^- \rightarrow Li_xWO_3$  です。この変更により、酸化タングステンが黄色から青または灰色に変化し、透過率が 80% から 10% 未満に低下します。イオンが分離された後、色は電気的調整能力を反映して可逆的に回復します。ナノスケールの酸化タングステンは、短い拡散経路がイオンインターカレーションを加速し、変色時間を数秒に短縮できるため、より強力なエレクトロクロミック特性を有する。

酸化タングステンのエレクトロクロミック特性は、結晶形態と欠陥によっても影響を受けます。チャンネル構造により、六角形の酸化タングステンはイオン拡散が速く、変色効率が高くなりますが、サイクリング安定性はわずかに劣ります。青と紫の酸化タングステンの初期酸素空孔により、変色閾値が低くなり、応答が速くなります。薄膜の形態の酸化タングステンは、その制御可能な厚さ、色の深さと速度の容易な調整のために、光学デバイスでよく使用されます。フォトクロミズムと比較して、エレクトロクロミズムはより制御可能で可逆的です。

実用化では、酸化タングステンのエレクトロクロミック特性により、エネルギー効率の高い建物やディスプレイ技術に非常に望ましいものとなっています。例えば、[タングステン](#) 銅ベースの電極は、導電性と色変化特性を改善するために酸化タングステンと配合されています。酸化タングステンのエレクトロクロミック特性は、その電気的特性の高度なアプリケーションであり、その汎用性を実証しています。

## 5.10 酸化タングステンの熱的性質

酸化タングステンの熱特性は、高温環境での重要な特性であり、耐火材料、熱電デバイス、および高温処理への適合性を決定します。タングステン酸化物の一般的な形態である [三酸化タングステン](#) ( $WO_3$ ) を例にとると、その熱特性には、熱安定性、熱膨張特性、熱伝導率が含まれ、これらは結晶構造と化学組成に密接に関連しています。

三酸化タングステンの熱特性は、融点が約  $1473^\circ C$  と高い熱安定性を特徴とし、結晶構造は  $1000^\circ C$  未満でも無傷のままです。この特性により、高温でもその機能を維持することができます。タングステン生産における安定した前駆体として。酸化タングステンは、熱膨張係数が低く (約  $6-8 \times 10^{-6} K^{-1}$ )、寸法安定性が良好で、精密デバイスに適していま

### 著作権および法的責任に関する声明

す。熱伝導率の面では、酸化タングステンは、格子振動の熱伝達効率が限られているため、熱伝導率が低くなっていますが、一部の熱管理ニーズを満たすには十分です。

酸化タングステンの熱特性は、結晶形態と形態によって異なります。単斜晶系形態は酸化タングステンの最高の熱安定性を有するが、一方、ナノ構造の六角形形態は、その高い表面エネルギーのためにわずかに低い熱安定性を有する。青色の酸化タングステンと紫色の酸化タングステンは、高温で酸素が失われる傾向があり、それらの熱特性は三酸化タングステンのものよりわずかに劣っています。ナノスケールの酸化タングステンは、粒界散乱が強化されたため、熱伝導率が低くなっています(約 0.5-2 W / m · K)が、軽量の断熱性に利点があります。

実用化では、酸化タングステンの熱特性により、高温の分野で優れた性能を発揮します。例えば、耐熱性を向上させるために、酸化鉄タングステンを添加します。CTIA GROUP LTD は、結晶構造を操作することにより、タングステン価格の酸化タングステンの熱特性を最適化します。酸化タングステンの熱特性は、その高温用途の基礎です。

#### 5.10.1 酸化タングステンの熱安定性

酸化タングステンの熱安定性は、その熱特性の中心であり、高温で構造と機能を維持する能力を反映しています。三酸化タングステン(WO<sub>3</sub>)を例にとると、熱安定性が高く、融点は 1473 °C で、1000 °C 未満では大きな分解や相変態がないため、耐火材料や高温触媒に非常に価値があります。単斜晶系酸化タングステンは最も熱的に安定した形態であり、その WO<sub>6</sub>八面体ネットワークは約 1200 °C まで安定であり、結晶形の遷移(直交または六角形の結晶形態など)のみが発生します。パラタングステン酸アンモニウムの焼成によって得られる黄色の酸化タングステンは、空気中の 1000 °C 以上の高温に耐えることができ、水素中で 700-900 °C で青色の酸化タングステンまたは紫色の酸化タングステンに分解し始め、最終的に タングステン金属に分解します。二酸化タングステン(WO<sub>2</sub>)は、不活性雰囲気下で 1500 °C まで熱的に安定しています。

酸化タングステンの熱安定性は、トポグラフィの影響を受けます。その緻密な構造により、バルク酸化タングステンはナノスケールの酸化タングステンよりも優れた熱安定性を有する。ナノ粒子は表面エネルギーが高いため、600-800 °C で結晶粒の合体または分解が起こることがあります。酸素空孔が多い酸化タングステンは、高温で酸素損失を起こしやすく、熱安定性が低下します。酸化タングステンの熱安定性は、過酷な環境での信頼性に直接影響する高温アプリケーションの鍵です。

#### 5.10.2 酸化タングステンの熱膨張特性

酸化タングステンの熱膨張特性は、温度変化下での寸法安定性を反映して、その熱特性の

重要な側面です。三酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) を例にとると、その熱膨張係数は  $6 \sim 810^{-6} \text{K}^{-1}$ 、これは低膨張材料であり、高温デバイスに優れています。

単斜晶系形態における酸化タングステンの熱膨張係数は、結晶軸の非対称性によりわずかに変化し、例えば、c 軸に沿って約  $8 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 、a 軸と b 軸に沿ってわずかに低くなります ( $6-7 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ )。この低膨張は、 $\text{WO}_6$  八面体の強力な結合によるもので、結晶格子の熱振動を制限します。タングステン酸によって調製された酸化タングstenは、安定した熱膨張性能を有し、精密部品に適しています。二酸化タングsten ( $\text{WO}_2$ ) は、熱膨張係数がわずかに低くなっています ( $5-7 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ )、青と紫の酸化タングstenはわずかに高い酸素空孔を持っています。

酸化タングstenの熱膨張特性は、トポグラフィーの影響を受けます。バルク酸化タングstenの膨張は均一ですが、ナノスケールの酸化タングstenの熱膨張係数は粒界効果により 10~20%増加する可能性があり、変形しやすいです。実際の用途では、酸化タングstenの熱膨張が低いため、タングsten銅複合材料の熱応力亀裂を低減することができます。酸化タングstenの熱膨張は、温度変化の環境での安定性を確保するその熱特性の重要な補足です。

## 5.11 酸化タングstenのガス感受性

酸化タングstenのガス感度は、特定のガス環境でその電気的特性を変化させる能力を指し、これはガスセンサーの分野でのそのアプリケーションの重要な特性です。例えば、タングsten酸化物の一般的な形態である三酸化タングsten ( $\text{WO}_3$ ) は、酸化性ガス ( $\text{NO}_2$  など) や還元性ガス ( $\text{H}_2\text{S}$  など) に対して高い感度を持つ n 型半導体であり、これはその表面吸着と電子移動のメカニズムによるものです。

三酸化タングstenのガス感度は、主にその結晶構造と表面特性に依存します。単斜晶系酸化タングstenの  $\text{WO}_6$  八面体の非対称配置により、表面には多数の配位不飽和タングsten原子と酸素原子があり、ガス分子を効果的に吸着することができます。例えば、 $\text{NO}_2$  環境では、酸化タングstenが表面に電子を捕捉し、導電率が低下し、感度は数十倍に達することがあります。六方晶酸化タングstenは、そのチャンネル構造と特にナノロッドまたはナノシートの形でより高い比表面積により、よりガスに敏感であり、低濃度のガス (ppm レベルの CO など) に対してより速く反応します。青色の酸化タングstenと紫色の酸化タングstenは、酸素の空孔が多く、表面活性部位の増加によりガス感受性がさらに向上します。

酸化タングstenのガス感度は、温度と地形の影響を受けます。200-400° C の動作温度では、熱励起がガス吸着と電子移動を強化するため、最高のガス感度を備えています。その高い比表面積と短いキャリアパスにより、ナノスケールの酸化タングstenは、数秒の

ガスに対する応答時間が短く、回復時間が速くなります。例えば、タングステン 粉末ベースのセンサーでは、ナノ酸化タングステンは 100 以上の感度で  $H_2$  を検出できます。対照的に、バルク酸化タングステンはガス感受性が低く、活性部位が少ないため応答が遅くなります。

実際の用途では、酸化タングステンのガス感度は、環境モニタリングと産業安全に最適です。たとえば、タングステン銅 は酸化タングステンと配合され、電気伝導率を改善し、センサーの性能をさらに最適化します。酸化タングステンのガス感度は、その電気的特性の拡張であり、ガス検出におけるその実用的な価値を反映しています。

## 5.12 酸化タングステンの酸化還元反応

酸化タングステンの酸化還元反応は、その化学的性質の重要な実施形態であり、異なる酸化状態間の変換能力を反映しています。三酸化タングステン ( $WO_3$ ) を例にとると、高酸化化合物として、低酸化状態 ( $WO_2$  など) または タングステン金属 に還元することができます。また、他の物質を酸化することができます。これは冶金学および触媒作用におけるその基本的な反応です。

還元反応では、三酸化タングステンは水素雰囲気中で有意な酸化還元活性を示します。例えば、 $700\sim 900^\circ C$  では、三酸化タングステンは徐々に酸素を失い、青色酸化タングステン ( $WO_2$ ) を形成します。9)、紫色の酸化タングステン、これは最終的に  $1000\sim 1200^\circ C$  でタングステン金属に変換され、反応は  $WO_3 + 3H_2 \rightarrow W + 3H_2O$  です。この段階的な還元プロセスは、タングステンフィラメントの工業生産における中核的なステップであり、酸素空孔の増加は、単斜晶系からより緩い形態への結晶構造の変化を伴います。還元速度は温度や水素濃度と密接に関係しており、高温は反応を加速させますが、粒子の凝集を引き起こす可能性があります。

酸化タングステンは、酸化剤として反応に関与することもあります。例えば、二酸化タングステン ( $WO_2$ ) は、酸素または空気中で  $500\sim 700^\circ C$  に加熱すると、次の反応で三酸化タングステンに酸化することができます:  $2WO_2 + O_2 \rightarrow 2WO_3$ 。この酸化反応は、タングステン酸塩調製の間ステップとしてよく使用されます。表面積が大きいので、ナノスケールの酸化タングステンは還元および酸化反応速度が速いが、安定性はわずかに劣る。酸素空孔は酸化還元反応において重要な役割を果たし、例えば、青色酸化タングステンは欠陥状態のために容易に減少する。

実用化では、酸化タングステンの酸化還元反応は、タングステン冶金学および触媒再生に広く使用されています。CTIA GROUP LTD は、雰囲気や温度などの還元条件を最適化することにより、タングステン市場における酸化タングステンの変換効率を向上させます。酸化タングステンの酸化還元反応は、その化学活性の中心であり、産業におけるその多様性

### 著作権および法的責任に関する声明

を示しています。

### 5.13 酸化タングステンの酸塩基反応

酸化タングステンの酸塩基反応は、その化学的性質の重要な側面であり、酸または塩基と反応して対応するタングステン化合物を形成することができるその両性酸化物の特性を反映しています。三酸化タングステン ( $WO_3$ ) を例にとると、その酸塩基反応能力は、湿式製錬やタングステン化学製剤において重要な役割を果たします。

酸性条件下では、三酸化タングステンは水にほとんど溶けないため、反応性が限られています。HCl や  $H_2SO_4$  などの希酸では、三酸化タングステンは非常に溶解度が低く、微量のタングステン酸は表面にのみ形成される可能性があります。しかし、濃酸 ( $HNO_3$  など) では、三酸化タングステンはゆっくりと反応してタングステン酸を形成することがあります： $WO_3 + H_2O \rightarrow H_2WO_4$ 。この反応は、鉄マンガン重石または灰重石の精製に利用され、酸浸出を通じて酸化タングステンを可溶性化合物に変換します。二酸化タングステン ( $WO_2$ ) は、酸化状態の構造が低いため、より溶解性が高いため、酸中でわずかに反応性が高くなります。

アルカリ性条件下では、酸化タングステンはより高い反応性を示します。三酸化タングステンは、タングステン酸ナトリウムを形成するために強塩基 (NaOH など) と反応し、反応は： $WO_3 + 2NaOH \rightarrow Na_2WO_4 + H_2O$  です。80° C の濃アルカリ溶液中で、反応は迅速に完了し、水溶性タングステン酸塩を生成します。この特性は、パラタングステン酸アンモニウムの工業生産における基本的なステップです。ナノスケールの酸化タングステンの高い表面積のために、アルカリ反応速度はより速くなりますが、それは局所的な構造的損傷を伴う可能性があります。青色の酸化タングステンと紫色の酸化タングステンは、アルカリ反応性が似ていますが、酸素空孔が多いため、より完全に溶解します。

実用化では、酸化タングステンの酸塩基反応がタングステンの抽出および精製に使用される。酸化タングステンの酸塩基反応は、その両性特性と化学的柔軟性を反映しており、これが湿式処理の鍵です。

### 5.14 酸化タングステンの触媒特性

酸化タングステンの触媒性能は、その化学的性質の高レベルの実施形態であり、光触媒、熱触媒、および電極触媒の分野で広く使用されています。三酸化タングステン ( $WO_3$ )、タングステン酸化物の一般的な形態を例にとると、その触媒性能は、その半導体特性、高い表面積と界面活性サイトによるものであり、これらは環境保護とエネルギーの分野でのその主要な利点です。

三酸化タングステンは、そのバンドギャップ (2.5–2.8 eV) が紫外線や一部の可視光を吸収するのに適しているため、優れた光触媒性能を持っています。光の下では、酸化タングス

テンは光生成された電子-正孔対を生成し、水を分解したり有機汚染物質を分解したりします。例えば、単斜晶系酸化タングステンは、紫外線下で 90%以上の効率でメチレンブルーを分解することができます。六方晶酸化タングステンナノ酸化タングステンは、そのチャネル構造と高い比表面積により触媒活性が高く、水の光分解による水素製造によく使用されます。青色酸化タングステンと紫色の酸化タングステンは、酸素空孔による近赤外領域への光吸収が広がるため、より強い光触媒性能を持っています。

酸化タングステンの熱触媒特性は、高温反応に優れています。例えば、500〜700° Cでは、三酸化タングステンは、その表面上の酸素原子の強い酸化特性により、炭化水素の酸化または脱水素を触媒します。活性部位の数が多く、熱触媒効率が高いため、ナノスケールの酸化タングステンは、安定性を向上させるためにタングステン酸カルシウムと組み合わせられることがよくあります。電気触媒の分野では、酸化タングステンは酸素発生反応(OER)の触媒として使用され、その高い導電性と安定性によりアルカリ性電解質で良好に機能します。

実用化では、酸化タングステンの触媒性能は、公害防止や新エネルギーの分野で大きな注目を集めています。例えば、タングステン プラスチックベースの触媒は、VOC を分解するためにその高い活性を利用します。CTIA GROUP LTD は、結晶構造と形態を操作することにより、タングステン価格における酸化タングステンの触媒性能を最適化します。酸化タングステンの触媒特性は、化学特性を集中的に反映したもので、現代の技術におけるその可能性を示しています。

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.

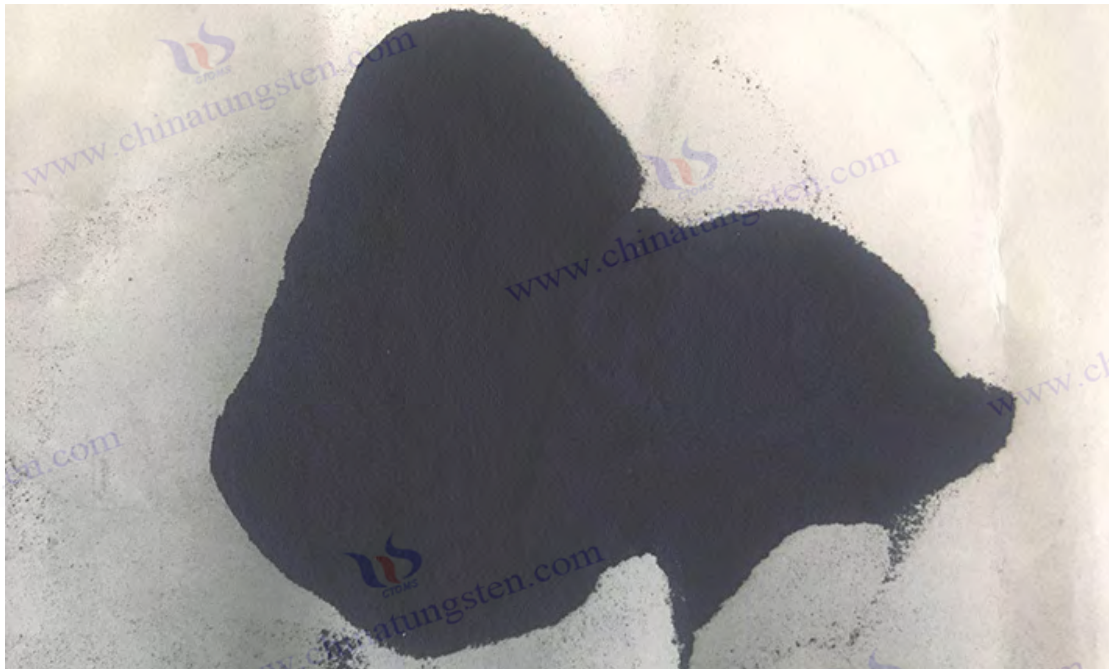
### 5. Procurement information

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

Phone: +86 592 5129696

For more yellow tungsten oxide 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 GROUP LTD WO<sub>2</sub>.72

## 第6章 酸化タングステンの調製方法

### 6.1 酸化タングステンの伝統的な調製方法

酸化タングステンの伝統的な調製方法は、産業や実験室で一般的な技術的手段であり、サンプルで効率的なプロセスを通じて特定の特性を持つ酸化タングステンを調製することを目的としています。三酸化タングステン（黄色酸化タングステン）を例にとると、その伝統的な調製方法には、高温固相反応法、ゾルゲル法、水熱法などがあり、独自の特性を持ち、タングステン粉末の製造、光触媒調製などのさまざまなアプリケーションシナリオに適しています。

高温固相反応法は、業界で最も一般的な伝統的な方法であり、通常、パラタングステン酸アンモニウムまたはタングステン酸を原料とし、か焼を使用し、高温で分解して酸化タングステンを生成します。この方法は単純で歩留まりが高く、タングステン金属前駆体材料の大量生産に適していますが、製品の粒子が大きく（ミクロンスケール）、比表面積が小さくなります。ゾルゲル法は、溶液化学反応によって酸化タングステンを調製し、原料は主にタングステン酸ナトリウムまたは酸化タングステンであり、生成物は溶解およびゲル化後の熱処理によって得られる。この方法は、均一な粒子を持つナノスケールの酸化タングステンを調製することができ、高精度のアプリケーションに適していますが、プロセスは複雑でコストが高くなります。

水熱法は、メタタングステン酸アンモニウムまたはタングステン酸を原料として反応釜内

#### 著作権および法的責任に関する声明

で酸化タングステンを合成するために、高温高压の水溶液環境を使用する別の伝統的な調製方法です。この方法は、ナノロッドやナノシートなどの特殊な形態を持つ酸化タングステンを生成することができ、結晶形態は制御可能（六角形または単斜晶系の結晶形など）であり、光触媒やセンサー材料に広く使用されています。水熱法には、高純度と形態制御という利点がありますが、反応時間が長くなり、機器の要件が高くなります。

実際には、従来の調製方法の選択は、対象製品の性質と使用方法によって異なります。研究室では、高性能タングステン製品を調製するためにゾルゲル法と水熱法を好みます。酸化タングステンの伝統的な調製方法は、その工業化と機能化の基礎を築いており、それぞれに独自の利点と制限があります。

### 6.1.1 酸化タングステンの伝統的な調製方法 - 高温固相反応法

高温固相反応法は、その単純なプロセス、低コストおよび高収率で知られている酸化タングステンの調製のための最も伝統的で広く使用されている方法の 1 つです。三酸化タングステン ( $WO_3$ ) を例にとると、この方法は、タングステン含有原料を高温で焼成して分解または酸化して酸化タングステンを形成することにより、タングステンワイヤーおよびタングステン金属前駆体の工業生産に一般的に使用されています。

この方法の典型的な原料には、パラタングステン酸アンモニウム (APT) とタングステン酸が含まれます。パラタングステン酸アンモニウムを例にとると、空気中で  $500\sim 700^\circ C$  で

焼成され、三酸化タングステんに分解され、反応は  $(NH_4)_{10}(H_2W_{12}O_{42}) \cdot 4H_2O \rightarrow 12WO_3 + 10NH_3 + 7H_2O$ 。得られる酸化タングステンは、ほとんどが単斜晶系結晶形で、粒子サイズは  $1\sim 10\mu m$  で、色は黄色（すなわち、黄色の酸化タングステン）です。水素還元雰囲気中で焼成すると、青色酸化タングステン ( $WO_2$ 、生成することができます<sup>9</sup>) または 紫色の酸化タングステン、酸素空孔含有量は温度と雰囲気によって異なります（タングステン研究を参照）。タングステン酸は、 $600\sim 800^\circ C$  で直接酸化タングステんに分解され、反応は  $H_2WO_4 \rightarrow WO_3 + H_2O$ 、生成物は高純度ですが、粒子は粗いです。

高温固相反応法の利点は、設備が単純（マッフル炉で十分）であり、大規模生産に適していることです。焼成温度と保持時間は重要なパラメータであり、例えば、 $600^\circ C$  で 2 時間保持することで結晶化度の高い酸化タングステンを得ることができ、 $800^\circ C$  以上では過剰な結晶粒成長が発生する可能性があります。また、酸化性雰囲気（空気など）では三酸化タングステんが発生し、還元性雰囲気（ $H_2/N_2$  混合物など）では整数の酸化タングステんが発生するため、雰囲気制御も重要です。この方法は、鉄マンガング重石または灰重石から抽出されたタングステン化合物の処理に広く使用されています。

ただし、この方法の限界は、製品の粒子サイズが大きく、比表面積が小さい（通常は  $<10m^2 /$

g) ため、光触媒などの高活性を必要とするアプリケーションには適していないことです。CTIA GROUP LTD は、勾配温度上昇などの焼成条件を最適化することにより、タングステン企業の酸化タングステンの品質を向上させます。高温固相反応法は、酸化タングステン工業製剤の基礎であり、シンプルで効率的ですが、形態制御が限られています。

### 6.1.2 酸化タングステン - ギルゲル法/酸化タングステンのギル - ギル調製方法の伝統的な調製方法

ギルゲル法は、溶液の化学反応によって酸化タングステンを調製するための伝統的な方法であり、ナノスケールで高純度の酸化タングステンを製造する能力で知られています。例えば、三酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) は、ギル形成、ゲル化、熱処理のステップを通じて均質な粒子や薄膜を生成する方法であり、光触媒、センサー、エレクトロクロミック材料に適しています。

この方法の典型的な原料には、タングステン酸ナトリウムおよびタングステンアルコキシド (例えば、タングステンエタノール) が含まれる。タングステン酸ナトリウムを例にとると、まず水に溶かし、酸 ( $\text{HCl}$  など) を加えて pH を 1-2 に調整し、タングステン酸ナトリウムを加水分解してタングステン酸ギルを形成すると、反応は  $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4 + 2\text{NaCl}$  です。ギルは、攪拌または静置下で徐々にゲルに凝集し、続いて乾燥 ( $100\text{--}150^\circ\text{C}$ ) および熱処理 ( $400\text{--}600^\circ\text{C}$ ) を経て酸化タングステンを生成します。得られた製品のほとんどは単斜晶系の結晶形であり、粒子サイズは  $10\text{--}50\text{ nm}$  で制御でき、比表面積は  $50\text{--}100\text{ m}^2/\text{g}$  と高いです。タングステンアルコキシドは、アルコール化と重縮合によって直接形成され、酸化タングステンは、より高い純度ですが、より高いコストである熱処理後に形成されます。

ギルゲル法の利点は、生成物粒子が小さく均質であり、多孔質酸化タングステンまたは薄膜の調製など、テンプレート剤 (界面活性剤など) を添加することで形態を操作できることです。例えば、エレクトロクロミック用の酸化タングステン膜は、ナノメートルレベルまでの厚さのガラス基板上にゲルを紡糸することによって調製することができます。熱処理の温度と時間は重要なパラメータであり、 $500^\circ\text{C}$  で 2 時間すると、酸化タングステンの適度な結晶化度が得られますが、温度が高すぎる (たとえば、 $800^\circ\text{C}$ ) と粒子の成長を引き起こす可能性があります。通常、大気は空気ですが、不活性な雰囲気 ( $\text{N}_2$  など) は不純物を減らします。

この方法の限界は、プロセスが複雑で、サイクルが長く、原材料のコストが高いため、大規模な工業生産には適していないことです。実験室では、ギルゲル法が、例えば、性能を改善するためにタングステンプラスチック複合材料によって、ナノ酸化タングステンを調製するためによく使用されます。ギルゲル法は、柔軟性と繊細さを兼ね備えた酸化タングステンの高精度調製のための伝統的な選択肢です。

#### 著作権および法的責任に関する声明

### 6.1.3 酸化タングステンの伝統的な調製方法 - 水熱法

水熱法は、高温高压の水溶液環境を使用して酸化タングステンを調製する伝統的な方法であり、特殊な形態と高結晶化度の生成能力で知られています。三酸化タングステン ( $WO_3$ ) を例にとると、この方法は、光触媒や電池材料に広く使用されている閉鎖反応ケトルでタングステン含有前駆体を反応させることにより、ナノロッド、ナノシート、またはナノフラワーの形で酸化タングステンを調製します。

熱水プロセスの典型的な原料には、メタタングステン酸アンモニウムと[タングステン酸ナトリウム]が含まれます。メタタングステン酸アンモニウムを例にとると、それを水に溶かし、酸 ( $HNO_3$  など) を加えて pH を 2-4 に調整し、前駆体溶液を形成し、150-200 °C および高压 (1-5MPa) で 12-24 時間反応させて酸化タングステンを生成します。反応は、 $(NH_4)_5H_5[H_2(WO_4)_6] \rightarrow WO_3 + NH_3 + H_2O$  です。得られる酸化タングステンは、ほとんどが六角形であり、その形態は、直径 20-50nm のナノロッドの生成など、構造指向剤 (CTAB など) を添加することによって変更することができます。タングステン酸ナトリウムは、同様の条件下で単斜晶系酸化タングステンを形成し、粒子はより均一です。

水熱法の利点は、結晶形態と形態が制御可能であり、製品の比表面積が高く (50-150m<sup>2</sup> / g)、結晶化度が良好であることです。反応温度、時間、pH は重要なパラメータであり、例えば、六角形の結晶性ナノロッドは 180 °C で 24 時間反応することで得られるのに対し、アモルファス酸化タングステンは 120 °C での短時間の反応で形成され得る。圧力は反応器を通じて自己生成され、核形成と成長が加速されます。また、高压環境により酸素の空孔が減少し、製品の純度が確保されます。青色または紫色の酸化タングステンが必要な場合は、還元剤 ( $NaBH_4$  など) を後処理に添加することができます。

この方法の限界は、高い設備要件 (高压反応器など) と長い反応サイクルであり、大規模生産には適していません。工業的には、水熱法は、主に高付加価値の酸化タングステンを調製するために使用されます：[タングステン酸カルシウム複合材料](#)。CTIA GROUP LTD は、タングステン化学品の性能を水熱条件最適化することにより、酸化タングステンを改善します。水熱法は、酸化タングステンナノファブリケーションの伝統的なツールであり、高品質と多様性を兼ね備えています。

### 6.1.4 酸化タングステンの伝統的な調製方法 - タングステン酸アンモニウム法

タングステン酸アンモニウム法は、原材料の容易な入手可能性と成熟した技術のために広く産業や実験室で広く使用されている酸化タングステンの調製のための伝統的な方法の一つです。三酸化タングステン (黄色酸化タングステン) を例にとると、この方法は、タングステン粉末およびタングステンワイヤの製造のための前駆体材料としてしばしば使用されるタングステン酸アンモニウムの化学変換または熱処理によって酸化タングステンを生成する。

#### 著作権および法的責任に関する声明

タングステン酸アンモニウム法は、通常、パラタングステン酸アンモニウム (APT) またはメタタングステン酸アンモニウムを原料として使用します。パラタングステン酸アンモニウムを例にとると、溶液中の酸 (HCl など) と反応して不溶性タングステン酸沈殿物を形成し、熱処理により酸化タングステンに変換されます。典型的なプロセスは、パラタングステン酸アンモニウムを水に溶解し、塩酸を添加して pH を 2~3 に調整してタングステン酸を生成し、反応は： $(\text{NH}_4)_{10}(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}) \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 10\text{HCl} \rightarrow 12\text{H}_2\text{WO}_4 + 10\text{NH}_4\text{Cl}$ 。続いて、タングステン酸を 400~600° C で焼成して酸化タングステンに分解します： $\text{H}_2\text{WO}_4 \rightarrow \text{WO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 。得られた酸化タングステンは、主に単斜晶系結晶型で、粒子サイズは 1~5 μm、明るい黄色、高純度です。

この方法の利点は、プロセスが簡単で、鉄マンガ重石や灰重石から抽出されたタングステン化合物などの原材料が広く入手できることです。酸性度、反応温度、焼成条件は重要なパラメータであり、例えば、pH が低すぎると不純物が沈殿し、焼成温度が高すぎる (例: 800° C) と穀物の成長を引き起こす可能性があります。メタタングステン酸アンモニウムは、その分子構造が分解しやすく、細粒酸化タングステンの調製に適しているため、同様の条件下でより速く反応します。[青色酸化タングステン](#) が必要な場合は、製品を還元雰囲気 (H<sub>2</sub> など) で処理できます。

タングステン酸アンモニウム法の限界は、製品が大きな粒子サイズと低い比表面積 (5~20 m<sup>2</sup> / g) を有し、高活性用途には適していないことです。タングステン酸アンモニウム法は、高効率と経済性を兼ね備えた酸化タングステンの伝統的な調製のための古典的なプロセスです。

#### 6.1.5 酸化タングステンの伝統的な調製方法 - タングステン酸塩の塩酸分解方法

タングステン酸塩の塩酸分解法は、その高い純度と制御性で知られている酸化タングステンの調製のための伝統的な湿式化学法です。三酸化タングステン (WO<sub>3</sub>) を例にとると、この方法は、[タングステン酸 \(タングステン酸ナトリウム など\)](#) を塩酸と反応させて酸化タングステンまたはその前駆体を製造し、実験室やファインケミカル分野でよく使用されます。

この方法の典型的なプロセスは、次の通りです：タングステン酸ナトリウムは、水に溶解され、濃度は通常 0.1~0.5 mol / L であり、塩酸 (1~2 mol / L) は、ゆっくりと添加され、pH は 1~2 に調整され、タングステン酸沈殿物が生成され、反応は： $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4 + 2\text{NaCl}$ 。洗浄および濾過後、タングステン酸は焼成され、400~600° C で酸化タングステンに分解されます： $\text{H}_2\text{WO}_4 \rightarrow \text{WO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 。得られる酸化タングステンの大部分は単斜晶系の結晶

形であり、粒子サイズは 0.5〜2 μm であり、純度は 99%以上に達することができます。ナノスケールの酸化タングステンが必要な場合は、界面活性剤(CTAB など)を反応に添加して、粒子サイズを 50〜100nm に制御できます。

タングステン酸塩の塩酸分解法の利点は、製品が高品質のタングステン化学品の調製に適している高純度で微粒子であることです。反応条件は重要であり、例えば、pH が低すぎる (<1) とヘテロ相が形成される可能性があり、焼成温度が高すぎる (例えば、700° C) と穀物の凝集につながる可能性がある。タングステン酸ナトリウムは広く供給されており、多くの場合、タングステン酸カルシウムから処理されます。還元性雰囲気中で熱処理すると、特定の触媒用途向けに紫色の酸化タングステンを製造できます。溶液の濃度と液滴の加速も製品の形態に影響を及ぼし、ゆっくりと滴下することでより均一な粒子を得ることができます。

この方法の限界は、多くのプロセスステップがあり、廃液処理のコストが高く、大規模な工業生産には適していないことです。実験室では、この方法は、例えばタングステンプラスチック複合材料の補強相として、高純度の酸化タングステンを調製するためによく使用されます。CTIA GROUP LTD は、反応パラメータを最適化することにより、タングステン企業における酸化タングステンの品質を向上させます。タングステン酸塩の塩酸分解法は、繊細で制御可能な酸化タングステンの伝統的な調製のための高純度の選択肢です。

#### 6.1.6 酸化タングステンの伝統的な調製方法 - パラタングステン酸アンモニウムの熱分解法

パラタングステン酸アンモニウムの熱分解法は、酸化タングステンを調製するための伝統的な高温プロセスであり、その直接性と工業的利用可能性のために広く使用されています。三酸化タングステン (WO<sub>3</sub>) を例にとると、この方法は、高温で酸化タングステンを生成するためにパラタングステン酸アンモニウム (APT) を分解し、これは産業でタングステン金属と タングステンワイヤー前駆体 を製造する主な方法です。

プロセスフローは次のとおりです:パラタングステン酸アンモニウムをマッフル炉に入れ、空气中で 500〜700° C で 2〜4 時間焼成し、酸化タングステんに分解し、反応は:  $(\text{NH}_4)_{10}(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}) \cdot 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 12\text{WO}_3 + 10\text{NH}_3 + 7\text{H}_2\text{O}$ 。得られた酸化タングステンは、粒子サイズが 1〜10 μm で、明るい黄色(すなわち、黄色の酸化タングステン)を有する単斜晶系である。水素雰囲気で焼成すると、青色酸化タングステン (WO<sub>2</sub>.) または紫色の酸化タングステンが形成され、酸素空孔含有量は温度と還元時間とともに増加します。パラタングステン酸アンモニウムは、通常、灰重石から抽出され、高純度で安定した分解生成物を持っています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

この方法の利点は、プロセスが簡単で、必要な設備（通常の焼成炉など）が低く、大規模生産に適していることです。焼成温度と雰囲気は重要なパラメータであり、例えば、高結晶化度酸化タングステンは  $600^{\circ}\text{C}$  で空気中で生成され、整数酸化タングステンは  $800^{\circ}\text{C}$  で水素中に形成されます。保持時間は粒子サイズに影響し、微粒子は短時間（1 時間）で形成され、粒子は長期間（4 時間）で成長します。原材料の純度と含水率も製品の品質に影響を与え、高純度のパラタングステン酸アンモニウムから 99.9% の酸化タングステンを得ることができます。

制限は、製品に大きな粒子と低い比表面積 ( $2\sim 10\text{m}^2/\text{g}$ ) があるため、ナノアプリケーションには適していないことです。工業的には、CTIA GROUP LTD 酸化タングステンは、勾配加熱と雰囲気制御タングステンの価格性能によって最適化されています。パラタングステン酸アンモニウムの熱分解は、効率的かつ経済的である酸化タングステンの伝統的な調製の産業バックボーンです。

## 6.2 酸化タングステンの新しい調製方法

酸化タングステンの新しい調製方法は、伝統的な技術に基づいて開発された高度な技術であり、現代の科学技術のニーズを満たすために特殊な形態を持つ高性能酸化タングステンを調製することを目指しています。タングステン酸化物の一般的な形態である三酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) を例にとると、新しい方法には、蒸着、マイクロ波支援、電気化学堆積などがあり、従来の方法よりもナノ化と機能化に注目しています。

蒸着法（化学蒸着法、CVD 法など）は、ガス状のタングステン前駆体 ( $\text{WF}_6$  など）によって高温基板上に酸化タングステンを分解および蒸着することであり、薄膜やナノワイヤの調製に一般的に使用されます。例えば、 $500\sim 700^{\circ}\text{C}$  では、 $\text{WF}_6$  は酸素と反応して酸化タングステン膜を形成し、 $\text{WF}_6 + 3/2\text{O}_2 \rightarrow \text{WO}_3 + 3\text{F}_2$  という反応を示します。得られる製品は、結晶化度が高く、ナノメートルレベルまで厚さを制御可能であり、エレクトロクロミックデバイスに適しています。マイクロ波支援法は、マイクロ波加熱を使用して反応を加速し、タングステン酸を原料として溶液中にナノ酸化タングステンを迅速に生成し、反応時間を数分に短縮し、比表面積は  $100\text{m}^2/\text{g}$  に達することができます。

電気化学的堆積は、タングステン含有溶液（例えば、タングステン酸ナトリウム）の電気分解であり、電極上に酸化タングステンを堆積させる。例えば、 $1\sim 3\text{V}$  では、タングステン酸イオンはカソードで還元され、調整可能な形態（ナノシートや多孔質構造など）を持つ酸化タングステンの薄膜として堆積し、電池電極に適しています。新しい方法では、セシウム-タングステンブロンズなどの特殊な酸化タングステンを調製することもでき、これをドーピングして光熱特性を改善することができます。これらの方法の製品は高純度で多様な形

### 著作権および法的責任に関する声明

態ですが、機器は複雑でコストが高くなります。

### 6.2.1 酸化タングステンの新しい調製方法 - 電気化学堆積法

電気化学堆積は、その高い効率、制御性および形態学的多様性のために現代の材料科学で大きな注目を集めている酸化タングステンの調製のための新しい方法です。 三酸化タングステン (黄色酸化タングステン) を例にとると、この方法は、タングステン含有溶液を電気分解することにより電極の表面に酸化タングステンを堆積させるために使用されます。これは、薄膜やナノ構造の調製によく使用され、エレクトロクロミックデバイス、バッテリー電極、センサーに適しています。

この方法の典型的なプロセスは、タングステン酸ナトリウムまたはタングステン酸を原料として 0.01~0.1 mol / L の電解質を調製し、酸 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> など) を添加して pH を 1~3 に調整することです。直流電界 (1-3V) の下で、タングステン酸イオンは陰極で還元され、次の反応で酸化タングステンとして堆積します:  $\text{WO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{WO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 。得られる酸化タングステンは、ほとんどが単斜晶系の結晶形であり、その形態は、低電圧 (1 V) で緻密な薄膜を形成したり、高電圧 (3 V) で多孔質構造を生成するなどの電解条件によって変更することができます。堆積後、通常、結晶化度と安定性を向上させるために 300~500 °C で熱処理されます。

電気化学堆積の利点は、プロセスが簡単で、トポグラフィーが制御可能であり、酸化タングステン膜を ITO ガラスなどの導電性基板上に直接生成できることです。電解質の濃度、電圧、および堆積時間は重要なパラメータであり、例えば、0.05 mol/L のタングステン酸ナトリウムを 2V で 30 分間堆積させると、厚さ約 200nm の均質な膜が得られます。テンプレート (ポリエチレングリコールなど) を添加することで、ナノロッドまたはナノシートを 50~100m<sup>2</sup>/g の比表面積で調製できます。電極材料も製品に影響を与え、例えば、タングステン銅電極上に堆積した酸化タングステンはより導電性があります。

この方法の限界は、歩留まりが低いため、小規模な高精度の調製に適しており、工業的な大量生産には適していないことです。実験室では、電気化学堆積は、例えば、サイクリング性能を改善するための電池の電極材料として、タングステン化学物質の機能性薄膜を調製するためによく使用されます。電気化学堆積は、正確で機能的な酸化タングステンを調製するための新しく効率的な方法です。

### 6.2.2 酸化タングステンの新しい調製方法 - 蒸着法

蒸着は、酸化タングステン薄膜またはナノ構造を調製するための高度な新しい方法であり、その高純度、高結晶化度、および基板適合性により、光電子デバイスおよび触媒の分

野で優れています。例えば、三酸化タングステン ( $WO_3$ ) は、高温でガス状タングステン前駆体を分解および堆積させることにより、タングステンフィラメントコーティングまたは光触媒薄膜を製造するためによく使用されます。

この方法の一般的なプロセスには、化学蒸着 (CVD) と物理蒸着 (PVD) があります。CVD の場合、タングステン金属またはタングステン化合物 ( $WF_6$  など) を前駆体として使用し、酸素雰囲気中で  $400\sim 700^\circ\text{C}$  の基板 (シリコンウェーハなど) に堆積し、 $WF_6 + 3/2O_2 \rightarrow WO_3 + 3F_2$

の反応を示します。得られた酸化タングstenは、厚さ  $10\sim 500\text{nm}$  および高い結晶化度を有する単斜晶系結晶膜である。PVD は酸素中で反応し、タングステン粉末ターゲットをスパッタリングすることにより酸化タングstenを形成し、超薄膜の調製に適しています。ナノワイヤが必要な場合は、気流と温度 ( $600^\circ\text{C}$ 、低圧など) を調整することで実現できます。

蒸着法の利点は、製品の高純度 ( $>99.9\%$ )、さまざまな形態 (薄膜、ナノワイヤ、ナノ粒子)、および厚さを正確に制御する能力です。蒸着温度、空気圧、酸素流量は重要なパラメータであり、例えば  $500^\circ\text{C}$ 、低酸素流量は高密度の膜を生成し、高温および高流量は多孔質構造を生成します。タングステン酸カルシウムをドーピングすると、光触媒性能を向上させることができます。基板の選択も重要であり、例えば、[タングステン銅] 基板上に堆積した酸化タングstenはより導電性が高い。

この方法の限界は、装置が複雑 (真空システムなど) であること、コストが高いこと、大量生産に適していないことです。工業的には、蒸着は主にタングsten市場での光電コーティングの調製など、高付加価値の用途に使用されます。CTIA GROUP LTD は、蒸着条件を最適化することにより、タングsten企業における酸化タングstenの品質を向上させます。蒸着は、ハイテク分野に適した酸化タングstenを調製するための新しい精密プロセスです。

### 6.2.3 酸化タングstenの新しい調製方法 - 生物学的テンプレート法

バイオテンプレート法は、その環境保護とユニークな形態のためにナノ材料の分野で大きな注目を集めている天然の生物学的構造を使用して酸化タングstenを調製するための新たな新しい方法です。三酸化タングsten ( $WO_3$ ) を例にとると、この方法は、生物学的テンプレート (バクテリアや植物繊維など) を介してタングsten前駆体の堆積と変換をガイドし、光触媒やエネルギー貯蔵材料に適した酸化タングstenの多孔質または複雑な構造を生成します。

この方法の典型的なプロセスは、次の通りです: タングsten酸ナトリウムまたは メタタングsten酸アンモニウム をタングsten源として使用し、 $0.1\sim 0.5\text{ mol/L}$  溶液を調製し、生物学的テンプレート (セルロースまたはタンパク質など) をそれに浸してテンプレ

ートの表面にタングステンイオンを吸着します。その後、熱処理(400-600° C)または水熱反応(150-200° C)により、テンプレートは分解し、酸化タングステンを生成します。例えば、細菌性セルローステンプレートを使用して、180° Cで12時間の水熱後に500° Cで焼成し、細孔径が20~100nm、比表面積が80~150m<sup>2</sup>/gの多孔質酸化タングステンを得る。得られた酸化タングステンは、主に単斜晶系または六角形の結晶形態であり、形態はテンプレート構造を継承します。

生物学的テンプレート法の利点は、環境にやさしく、製品が独自の形態(多孔質、網状など)を持ち、高活性アプリケーションに適していることです。例えば、植物繊維はマクロポーラス構造を生成し、細菌テンプレートはナノスケールの細孔を生成するなど、テンプレートの種類と反応条件が重要です。還元剤(グルコースなど)を添加すると、青色の酸化タングステンまたは紫色の酸化タングステンを調製できます。熱処理温度は細孔の保存に影響し、高すぎる(例:800° C)と多孔質構造が破壊される可能性があります。溶液の濃度と含浸時間もタングステンの負荷に影響を与え、最適化後に高純度の酸化タングステンを得ることができます。この方法の限界は、テンプレートの調製が複雑で歩留まりが低いいため、工業規模の生産には適していないことです。実験室では、光触媒性能を向上させるためのタングステンプラスチックベースの触媒を調製するために、バイオテンプレート法がよく使用されます。

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 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 GROUP LTD 黄色酸化タングステン

## 第七章 酸化タングステン製造設備

### 7.1 酸化タングステン製造のための主な設備

酸化タングステンの製造には複数のプロセスステップが含まれ、その主要な設備は、原材料処理から完成品の準備までのプロセスを達成するための鍵です。三酸化タングステン、タングステン酸化物の一般的な形態を例にとると、主な設備には、原材料処理装置、反応装置、後処理装置が含まれ、これらは一緒になって生産効率と製品品質を確保し、タングステン粉末とタングステンワイヤーの工業生産に広く使用されています。

原材料処理装置は、生産の最初のステップであり、鉄マンガ重石や灰重石などの鉬石を、その後の反応に適した粒状または溶液状態に変換するために使用されます。主に、原材料を破碎、分類、精製するためのクラッシャー、ミル、スクリーニング装置が含まれます。例えば、ジョークラッシャーは鉬石をセンチメートルレベルまで粉碎し、ボールミルはさらにミクロンレベルまで粉碎し、原料粒子が均一でその後の浸出や焼成に便利になるようにします。これらの機器は、耐摩耗性があり、より硬いタングステン鉬石に対処するための高い処理能力を備えている必要があります。

反応装置は酸化タングステン製造の中心であり、化学変換または熱分解に使用されます。パラタングステン酸アンモニウムの熱分解法を例にとると、マッフル炉またはロータリーキルンは、酸化タングステンを生成するために 500-700° C で原料を焼成します。マッフル炉は、高い温度制御精度(±5° C)で、小ロット生産に適しています。ロータリーキルンは、最大トン数の出力を持つ連続生産に適しています。青色の酸化タングステンまたは紫

#### 著作権および法的責任に関する声明

色の酸化タングステンを製造するためには、大気と温度を制御するための水素還元装置を装備する必要があります。湿式プロセスでは、酸浸出プラントやアルカリ溶解プラントなどの反応器を使用して、タングステン酸を酸化タングステン前駆体に変換します。

後処理装置は、乾燥炉、スクリーニング機、プレス機など、酸化タングステンの精製と成形に使用されます。乾燥オーブンは、湿式に調製された酸化タングステンを 100〜200 °C の温度で粉末状態に乾燥させ、凝集を防ぎます。スクリーニング機は、タングステン市場の多様なニーズを満たすために、異なる粒子サイズの酸化タングステンを分離します。一方、プレスは、粉末を塊に押し込んで、輸送やさらなる処理を容易にします。

### 7.1.1 原材料取扱機器

原材料処理装置は、タングステン含有鉱石または化合物をその後の反応に適した形態に処理するために使用される酸化タングステン製造の最初のステップです。三酸化タングステンの生産を例にとると、原材料加工装置には、破碎および粉碎装置、スクリーニングおよび等級付け装置、および補助装置が含まれ、これらは灰重石やパラタングステン酸アンモニウムなどの原材料を処理するために使用され、粒子サイズと純度がプロセス要件を満たしていることを確認します。

破碎および粉碎装置は、未加工の鉱石または粗い粒子をサイズに押しつぶす責任があります。たとえば、ジョークラッシャーは鉄マンガン重石を 5〜10 cm に粉碎し、ハンマーク

ラッシャーはさらに 1〜2 cm に粉碎し、次にボールミルまたはロッドミルで 50〜200 μm に粉碎します。この段階的な破碎および粉碎プロセスは、微粒子が表面積を増加させ、化学反応を促進するため、その後の浸出の効率を向上させます。装置は、タングステン鉱石の高硬度（モース硬度 5-7）に耐えるために、耐摩耗性鋼またはセラミックで作られている必要があります。タングステン酸などの化学原料の場合、粉碎の必要性は低く、通常は軽い粉碎のみが必要です。

スクリーニングおよびグレーディング装置は、粒子サイズの異なる原材料を分離し、製品の品質を向上させるために使用されます。振動スクリーンまたは空気分級機は、粉碎された粒子をサイズ別に選別します（例：湿式製錬用に 100 μm の微粉末をく、粉碎のために 100 μm の粗粉末に戻します）。湿式プロセスでは、沈降タンクまたは遠心分離機が懸濁液中の粒子を分類し、均質性を確保します。ナノスケールの酸化タングステンの製造には、10〜50 μm の精度で超微細スクリーニング装置（超音波ふるいなど）を装備する必要があります。これらのデバイスは、タングステン化学物質の粒子分布に直接影響を与えます。

補助装置には、コンベヤー、集塵機、保管サイロが含まれます。ベルトコンベアは各工程

#### 著作権および法的責任に関する声明

に原材料を輸送し、粉碎時に発生する粉塵は集塵機(バグフィルターなど)で回収し、環境安全性を確保しています。加工原料の貯蔵量は数トンから数十トンに及びます。CTIA GROUP LTD は、原材料の取り扱い装置を最適化することにより、タングステン企業における酸化タングステンの生産効率を向上させました。原材料の取り扱い装置は、酸化タングステン生産の基礎であり、その後のプロセスがスムーズに実行されることを保証します。

#### 7.1.1.1 破碎および粉碎装置

破碎および粉碎装置は、酸化タングステン製造における原料処理の基幹装置であり、タングステン含有鉱石または粗粒子をその後の処理に適したサイズに粉碎するために使用されます。[酸化タングステン](#) の製造を例にとると、これらの装置は、鉄マンガ重石や灰重石などの硬質原料を処理して、タングステン金属やタングステン粉末の製造の重要な部分である湿潤浸出または熱分解のための微粒子を提供します。

破碎装置には、主にジョークラッシャー、コーンクラッシャー、ハンマークラッシャーが含まれます。ジョークラッシャーは主要な一次破碎力であり、50〜100cm から 5〜10cm の鉱石を破碎し、処理能力は 100〜500 t / h で、高硬度(モース硬度 5〜7)のタングステン鉱石に適しています。コーンクラッシャーは二次破碎に使用され、高い破碎率で粒子を 1〜3cm に減らし、連続生産に適しています。ハンマークラッシャーは、シンプルな構造でありながら高い耐摩耗性で、一度に 1〜2cm に粉碎できる柔らかいタングステン化合物([タングステン酸カルシウム](#)など)に適しています。機器のライニングプレートは、主にマンガ鋼または高クロム合金でできており、耐用年数を延ばします。

粉碎装置には、ボールミル、ロッドミル、振動ミルが含まれます。ボールミルは 50-200 の  $\mu\text{m}$  に粉碎された粒子を粉碎する最も一般的に使用される装置であり、粉碎媒体は鋼球か陶磁器球であり、速度および餌に材料比率(例えば 10:1)は粒子の細かさに影響を与える。ロッドミルは湿式粉碎に適しており、製品サイズは均一(100〜300  $\mu\text{m}$ )で、湿式製錬前の準備によく使用されます。振動ミルは、ナノスケールの酸化タングステンの調製に適した 10〜50  $\mu\text{m}$  までの超微粉碎に使用されますが、エネルギー消費量は高いです。ミルライニングには、汚染を減らすためにアルミナなどの耐摩耗性材料が必要です。

破碎および粉碎装置の選択は、原材料の性質と目標粒子サイズによって異なります。例えば、タングステンプラスチックの製造には超微粒子が必要であり、振動ミルが好まれます。ボールミルは主に工業規模で使用されます。破碎および粉碎装置は、酸化タングステン原料処理のバックボーンであり、その後のプロセス効果に直接影響します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

### 7.1.1.2 スクリーニングおよびグレーディング機器

スクリーニングおよび等級分け装置は、酸化タングステン製造における原材料処理の重要な部分であり、粉碎された粒子と粉砕された粒子を分離し、粒度分布がプロセス要件を満たしていることを確認するために使用されます。三酸化タングステンの製造を例にとると、これらの装置はパラタングステン酸アンモニウムまたは鉍石粉末を処理して、タングステン化学薬品およびタングステンフィラメントの調製における重要なステップであるその後の反応のための均質な原料を提供します。

スクリーニング装置には、主に振動スクリーン、ترونメルスクリーン、超音波スクリーンが含まれます。振動スクリーンは、粒子が多層スクリーン（細孔サイズ 10  $\mu\text{m}$ –5mm）によって異なるグレードに分割される最も一般的に使用される装置であり、例えば、<100  $\mu\text{m}$  の微粉は湿式製錬のためにふるいにかけられ、200  $\mu\text{m}$  の粗い粉末は粉碎のために戻されます。振動の周波数（1000–3000 振動/分）とスクリーンの材質（ステンレス鋼など）は、分離効率に影響します。ترونメルスクリーンは、50–200 t / h の容量を持つ大量のスクリーニングに適しており、タングステン粉末前駆体の工業生産によく使用されます。超音波ふるいは、超微粒子（<50  $\mu\text{m}$ ）に使用され、目詰まりを防ぐための超音波振動によるナノ酸化タングステンの調製に適しています。

等級分け装置には、気流分級機と遠心分離機が含まれます。空気分級機は、空気の流れを使用して、例えば 10–100 m / s の風速で粒子をサイズごとに分離し、20–50  $\mu\text{m}$  の微粉末を分離します。遠心分離機は湿式分級に使用され、遠心力（500–2000 g）を使用して懸濁液中の粒子を分離し、多くの場合、湿式粉碎と組み合わせて、10–300  $\mu\text{m}$  の分類範囲で分類します。これらの装置は、均一な粒子サイズを確保し、タングステン酸 変換効率を向上させます。スクリーニングおよびグレーディング機器の性能は、製品の品質に直接影響します。例えば、粒子が細かすぎると粉塵の損失が大きくなり、粗すぎる粒子は反応効率が低下する可能性があります。CTIA GROUP LTD は、高効率のスクリーニングおよびグレーディング装置を統合することにより、タングステン製品中の酸化タングステンの粒子分布を最適化します。スクリーニングおよび等級分け装置は、酸化タングステンの生産にとって重要な保証であり、原材料の品質とプロセスの安定性を確保します。

### 7.1.2 反応装置

反応装置は、酸化タングステン製造の中核装置であり、原材料から酸化タングステンへの化学的または物理的変換を実現するために使用されます。三酸化タングステン（黄色酸化

#### 著作権および法的責任に関する声明

タングステン)を例にとると、反応装置には、アルカリ加水分解および酸分解装置、焼成および熱分解装置、および補助反応装置が含まれ、これらは広くタングステン粉末およびタングステンワイヤーの工業生産に使用され、プロセスと製品品質の高効率を確保します。

アルカリ加水分解および酸加水分解装置は、鉄マンガング重石や灰重石などの鉱石を可溶性タングステン化合物またはタングステン酸に変換するために湿式製錬で使用されます。アルカリ加水分解装置(高压反応器など)は、高温高压で水酸化ナトリウムで鉱石を処理し、タングステン酸ナトリウムを生成し、不溶性鉱石の処理に適しています。酸分解装置(耐酸性反応タンクなど)は、タングステン酸を浸出させるために塩酸または硝酸を使用し、タングステン酸カルシウムおよび他の原料に適しています。これらの機械は、ステンレス鋼やエナメルなどの耐食性材料で作られていることが求められ、数十リットルから数トンまでの容量の混合および加熱システムが装備されています。

焼成および熱分解装置は、パラタングステン酸アンモニウムやタングステン酸などの前駆体を酸化タングステンに変換するために使用されます。マッフル炉は、400-800° C の温度制御と±5° C の精度で、小ロット生産に適しており、実験室または高純度の酸化タングステン調製に適しています。ロータリーキルンは、10-50 メートルの長さで1日あたり数トンの容量で、工業的な連続生産に使用され、空気または水素雰囲気中で青色の酸化タングステンまたは紫色の酸化タングステンを生成することができます。これらのデバイスには、反応の均一性と生成物の結晶化度を確保するために、高温耐性と雰囲気制御システムが必要です。

補助反応ユニットには、ガス供給システム(水素パイプラインや酸素パイプラインなど)、攪拌機、温度制御装置などがあります。ガス供給システムは、0.1-10m³/h の流量で、例えば酸化タングステンを還元するための水素などの反応雰囲気を調整します。攪拌機は、溶液が均一に反応し、温度制御装置(熱電対など)が反応条件を維持することを保証します。反応装置は、直接変換効率と製品性能に影響を与える酸化タングステン製造の技術的中核です。

#### 7.1.2.1 アルカリ加水分解および酸分解装置

アルカリ加水分解および酸加水分解装置は、タングステン含有原料を可溶性中間体に変換するか、または直接酸化タングステン前駆体を生成するために使用される酸化タングステン製造の湿式プロセスにおける主要な反応装置です。例として三酸化タングステンの生産を取ると、これらの機器は、灰重石やパラタングステン酸アンモニウムなどの原材料を処理し、タングステン化学品の調製の重要な部分であるアルカリ性または酸性媒体を介してタングステンの抽出を実現します。

アルカリ加水分解装置には、主に高压反応器と大気攪拌槽が含まれます。高压反応器は、不溶性鉬石（鉄マンガン重石など）の処理に使用され、鉬石は水酸化ナトリウム（10-20%濃度）で 150-200° C および 1-5MPa で分解されて[タングステン酸ナトリウム]を生成し、反応は： $\text{CaWO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ 。装置は、50L から数千リットルまでの容量を持つ耐アルカリ性ステンレス鋼（例：316L）でできており、高压シールおよび加熱システムが装備されていますが、大気攪拌タンクはその後の溶液調整に使用され、攪拌速度は 100〜500rpm で均質な反応を確保します。アルカリ加水分解プラントは、高回収プロセスに適していますが、より多くのエネルギーを消費します。

酸分解プラントには、耐酸性反応タンクとろ過ユニットが含まれています。タングステン酸は、例えばタングステン酸から塩酸または硝酸（1-6 mol / L）で浸出されます： $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4 + 2\text{NaCl}$ 。タンクはエナメルまたは PTFE でできており、耐食性が高く、容量は 10〜1000 L で、攪拌機（50〜200 rpm）と加熱装置（50〜100° C）が装備されています。ろ過装置（プレートおよびフレームフィルタープレスなど）は、製品の純度を確保するために、1〜10 t/h の処理能力でタングステン酸沈殿物を分離します。酸化タングステンを直接生成する場合、タングステン酸をさらに焼成することができる。

アルカリ加水分解装置と酸加水分解装置は、原材料の特性に応じて選択する必要があります。例えば、灰重石は主にアルカリ化されており、タングステン酸カルシウムは酸性化されています。CTIA GROUP LTD は、耐圧層を追加するなど、機器設計を最適化することにより、タングステン企業の酸化タングステン生産効率を向上させます。アルカリ加水分解および酸加水分解装置は、タングステンの効率的な抽出と変換を保証する酸化タングステン湿式プロセスの基礎です。

### 7.1.2.2 焼成および熱分解装置

焼成および熱分解装置は、乾燥プロセスの重要なリンクである酸化タングステんに前駆体の熱処理を変換するために使用される酸化タングステンの製造における中核的な反応装置です。三酸化タングステンの製造を例にとると、これらの装置は、パラタングステン酸アンモニウムまたはタングステン酸を処理して、高温分解によって酸化タングステンを生成し、これは広く タングステン金属 およびタングステン粉末前駆体の製造に使用されています。

焼成装置には、主にマッフル炉とロータリーキルンが含まれます。マッフル炉は、300〜1000° C の温度範囲、±5° C の温度制御精度、および 10〜500L の容量で、小ロットまたは実験室での生産に適しています。例えば、パラタングステン酸アンモニウムは、三酸化

タングステンを生成するために、500～700° C で 2～4 時間焼成されます： $(\text{NH}_4)_{10}(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}) \cdot 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 12\text{WO}_3 + 10\text{NH}_3 + 7\text{H}_2\text{O}$ 。ロータリーキルンは、長さ 10～50 メートル、内径 1～3 メートル、温度 400～800° C、最大 1～10 トン/日の出力で、工業連続生産に使用されます。ロータリーキルンは、ロータリードライブ(1-5 rpm)と大気制御システムを備えており、空気中に黄色の酸化タングステンを、水素中に青色または紫色の酸化タングステンを生成します。

熱分解装置は、耐火レンガやニッケル基合金などの高温耐性材料が必要であり、分解によって発生する  $\text{NH}_3$  や  $\text{H}_2\text{O}$  を処理するための排ガス処理装置(スクラバーなど)が装備されています。温度と雰囲気は、例えば、高い結晶化度酸化タングステンを生成するための 600° C の空気雰囲気、整数の酸化タングステンを生成するための 800° C の水素雰囲気などの重要なパラメータです。保持時間は粒子サイズに影響し、2 時間で 1～5  $\mu\text{m}$  の粒子、4 時間で 10  $\mu\text{m}$  の粒子になります。ナノスケールの酸化タングステンが必要な場合は、噴霧乾燥前処理と組み合わせることができます。

焼成および熱分解装置には、プロセスが簡単で収率が高いという利点がありますが、エネルギー消費が高く、粒子制御が限られています。焼成および熱分解装置は、酸化タングステン乾式プロセスのバックボーンであり、効率的な変換と工業適合性を保証します。

### 7.1.3 分離精製装置

分離精製装置は、反応生成物から酸化タングステンまたはその前駆体を抽出し、精製するために使用される酸化タングステンの製造における主要な装置です。三酸化タングステン(黄色酸化タングステン)を例にとると、これらの機器には、固液分離装置と結晶化および再結晶装置が含まれ、これらは広く湿式製錬および乾燥プロセスで使用され、タングステン粉末およびタングステンフィラメント前駆体の純度と品質を確保します。

固液分離装置は、反応によって発生する液体(廃液など)から固体(タングステン酸など)を分離するために使用されます。典型的な機器には、鉄マンガן重石酸加水分解物からのタングステン酸の抽出に適した、1～10 t / h の容量の圧力(0.5～1 MPa)で懸濁液をろ過するプレートアンドフレームフィルタープレスと遠心分離機が含まれます。遠心分離機は、高速分離のために遠心力(500-2000 g)を使用するため、高純度生産の小ロットに適しています。これらのデバイスは、酸性およびアルカリ性の環境に対処するために、ポリプロピレンやステンレス鋼などの耐食性材料で作られている必要があります。分離効率は、その後の精製に直接影響します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

結晶化および再結晶装置は、タングステン酸ナトリウムまたはパラタングステン酸アンモニウムなどの可溶性タングステン化合物を精製するために使用されます。温度(20-80° C)と濃度を制御することにより、結晶化タンクは、30° Cに冷却すると結晶化するパラタングステン酸アンモニウムなどのタングステン化合物を溶液から最大 99.5%の純度で沈殿させることができます。再結晶装置(蒸発晶析装置など)は、複数回の溶解結晶化により不純物を除去する装置で、高純度の酸化タングステン製造に適しています。この装置には、攪拌機(50-200rpm)と温度制御システムが装備されており、均一な結晶成長を確保します。

分離精製装置は、プロセスに適合させる必要があります。例えば、タングステン化学品を製造する湿式プロセスは固液分離に依存しているが、乾式プロセスは結晶化と精製に焦点を当てている。分離および精製装置は、酸化タングステン製造の重要なリンクであり、製品の純度と回収を保証します。

### 7.1.3.1 固液分離装置

固液分離装置は、反応混合物から固体生成物を抽出するために使用される酸化タングステン製造における分離および精製のための重要な装置です。例として三酸化タングステンの製造を取り上げると、これらの装置は、灰重石酸分解またはアルカリ加水分解およびタングステン金属前駆体の調製におけるコアステップであるタングステン酸または酸化タングステン粒子を分離した後、懸濁液を処理します。

一般的な固液分離装置には、プレートおよびフレームフィルタープレス、遠心分離機、真空フィルターが含まれます。プレートとフレームのフィルタープレスは、懸濁液中の固形物(タングステン酸など)を圧力(0.5~1.5MPa)でフィルターケーキに押し込み、濾液を排出し、処理能力は1~20 t / hで、大規模生産に適しています。遠心分離機は、高速回転(1000-3000 rpm)を使用して遠心力(500-2000 g)を生成し、タングステン酸などの微粒子をタングステン酸溶液から迅速に分離し、高純度の要件に適しています。真空フィルターは負圧(0.01~0.08 MPa)でろ過され、実験室や小ロット生産に適しており、ろ過精度は最大1~10 μmです。

機器は、酸性(HCl など)またはアルカリ性(NaOH など)の環境に対応するために、ポリプロピレンフィルタークロスや316Lステンレス鋼ハウジングなどの耐食性材料で作成する必要があります。濾材(濾布やメンブレンなど)の細孔径(5~50 μm)は分離効果に影響し、細かすぎると詰まりやすく、粗すぎると漏れています。圧力、回転速度、ろ過時間などの運転パラメータを最適化する必要があります。例えば、水分含有量が<20%のケーキは、1MPaで30分間のろ過後に得ることができます。乾燥させる場合は、タングステンプラスチック

#### 著作権および法的責任に関する声明

プロセスと組み合わせることができます。

固液分離装置の効率は、タングステンの回収に直接影響します。例えば、遠心分離機は微粒子の 95%以上を回収することができます。CTIA GROUP LTD は、タングステン会社における酸化タングステンの製造プロセスを、多段式固液分離プラントを装備することで最適化しています。固液分離装置は、酸化タングステン湿式プロセスの基礎であり、固体製品の効率的な抽出を保証します。

### 7.1.3.2 結晶化および再結晶装置

結晶化および再結晶装置は、溶液から高純度のタングステン化合物を沈殿させるために使用される酸化タングステン製造における精製のための重要な装置です。三酸化タングステンの製造を例にとると、これらの装置は、高品質のタングステン化学品の調製の重要な部分である結晶化条件を制御することにより、タングステン酸ナトリウムまたはパラタングステン酸アンモニウム溶液を処理して純粋な結晶を生成します。

晶析装置には、晶析タンクと冷却晶析装置が含まれます。結晶化タンクは、冷却または蒸発によってタングステン化合物を沈殿させ、例えば、パラタングステン酸アンモニウム溶液は 80° C から 30° C に冷却され、最大 99.5%の純度で針状結晶を沈殿させる。タンク容量は 50-5000L で、攪拌機(50-200rpm)と温度制御システムを装備し、均一な結晶成長を確保します。冷却金型は冷却水を循環させることで沈殿を加速するため、1~10t/日の処理能力を持つ連続生産に適しています。[青色酸化タングステン](#) が必要な場合は、結晶をさらに熱処理することができます。

再結晶装置には、蒸発晶析装置と溶解タンクが含まれています。蒸発晶析装置は、加熱(50-100° C)によって溶液を濃縮し、タングステン酸ナトリウム溶液などの不純物を除去した後、再結晶し、飽和まで蒸発し、その後冷却して高純度結晶を沈殿させ、純度を 99.9%に高めることができます。溶解タンクは、一次結晶を再溶解し、結晶化プロセスを繰り返すために使用され、耐食性材料(エナメル質など)と加熱装置が装備されています。蒸発速度と冷却速度が重要であり、速すぎると結晶の欠陥につながる可能性があり、遅すぎると非効率につながる可能性があります。

結晶化および再結晶装置の利点は、精製効果が顕著であるが、エネルギー消費が高く、高付加価値製品に適していることです。結晶化および再結晶装置は、酸化タングステン精製のための精密ツールであり、製品の品質を保証します。

## 7.2 酸化タングステンの補助生産設備

酸化タングステン補助生産設備は、主要設備を支える装置であり、材料輸送、環境制御、完成品加工に使用されます。三酸化タングステンの生産を例にとると、これらの機器には、

#### 著作権および法的責任に関する声明

タングステン金属およびタングステン粉末の生産ラインの継続性と安全性を確保するためのマテリアルハンドリング機器、除塵機器、包装機器が含まれます。

マテリアルハンドリング機器は、機械搬送装置(ベルトコンベアなど)や空気輸送装置(エアフローパイプなど)など、原材料、中間体、完成品の輸送を担当し、すべてのプロセスがシームレスであることを保証します。除塵装置(バグフィルターなど)は、10~100m<sup>3</sup>/分の処理能力で研削または焼成からの粉塵を収集し、環境保護要件を満たしています。包装装置(自動袋詰め機など)は、タングステン市場の多様な包装ニーズに適した 100~500袋/時の効率で酸化タングステン粉末を袋または樽に充填します。

補助デバイスは、メインデバイスと一致する必要があります。例えば、搬送装置は耐摩耗性があり、タングステン酸カルシウムなどの硬質粒子に適応する必要があります。集塵装置は、10 μm<粉じんを効率よくろ過する必要があります。CTIA GROUP LTD は、補助生産設備を統合することにより、タングステン製品中の酸化タングステンの生産効率を向上させます。酸化タングステンの補助生産設備は、生産ラインの保証であり、全体的なプロセスフローを最適化します。

### 7.2.1 マテリアルハンドリング機器

マテリアルハンドリング装置は、酸化タングステン補助生産のための重要な装置であり、これは様々なプロセス間で原材料、中間体および完成品を輸送するために使用される。三酸化タングステンの生産を例にとると、これらの機器には、タングステン化学生産ラインの連続性を確保するために、灰重石やタングステン酸などの材料を処理するための機械搬送装置と空気圧輸送装置が含まれます。

ベルトコンベアやスクリーコンベアなどの機械式搬送装置は、粉碎から反応工程まで顆粒や粉体を搬送し、搬送能力は 10~500t/h で、大量生産に適しています。エアフローパイプなどの空気輸送装置は、圧縮空気(0.1~0.5 MPa)を使用して微粉末(タングステン粉末など)を輸送し、長距離または閉伝送に適しています。搬送装置は、タングステン材料の高硬度に対応するために、耐摩耗性材料(ゴムベルトやステンレス鋼パイプなど)で作られている必要があります。マテリアルハンドリング機器の選択は、材料の性質とプロセスのレイアウトによって異なります。例えば、スクリーコンベアは湿った材料に使用され、空気圧コンベアは乾燥粉末に使用されます。マテリアルハンドリング機器は、酸化タングステン製造間のリンクであり、スムーズなプロセスを保証します。

#### 7.2.1.1 機械搬送装置

機械式搬送装置は、短距離および大規模輸送に使用される酸化タングステン製造における

#### 著作権および法的責任に関する声明

材料輸送の主要な補助装置です。三酸化タングステンの生産を例にとると、これらの機器には、鉄マンガ重石やタングステン酸などの材料を扱うベルトコンベヤー、スクリーコンベヤー、バケットエレベーターが含まれ、タングステン金属生産ラインの重要なサポートです。

ベルトコンベアは、幅 0.5~2m、速度 1~5m/s、搬送能力 50~1000t/h のゴムまたはポリエステルベルトを介して材料を輸送し、破碎から粉碎までの連続移送に適しています。スクリーコンベヤーは、パイプ径 0.1~0.5m、搬送能力 1~50t/h の材料を押すために回転スクリーを使用しており、湿った材料や粉末(タングステン酸塩など)に適しています。バケットエレベータは、スペースに制約のあるシナリオに適した 5~50m の高さで材料を垂直に持ち上げます。この装置には、摩耗を減らすために耐摩耗性ライナー(マンガ鋼など)が必要です。機械式搬送装置の利点は、構造がシンプルでメンテナンスが容易なことですが、長距離や微粉体の輸送には適していません。CTIA GROUP LTD は、タングステン価格で酸化タングステンの生産効率を向上させるために、高効率の機械搬送装置を備えています。機械式搬送装置は、酸化タングステン製造の信頼性の高い助手であり、材料の流れを確保します。

#### 7.2.1.2 空気輸送装置

空気輸送装置は、微粒子を輸送するために空気の流れを使用する酸化タングステン製造における材料輸送のための高度な補助装置です。三酸化タングステンの生産を例にとると、これらの機器には、タングステン粉末またはタングステン化学物質の閉鎖伝送に適した紫色の酸化タングステンを処理する正圧空気輸送システムと負圧空気輸送システムが含まれます。正圧空気輸送システムは、パイプ径 50~300 mm、搬送距離 10~500 m、容量 1~

50 t / h の圧縮空気(0.1~0.5 MPa)を介して材料を目標点に押し込み、長距離輸送に適しています。負圧空気輸送システムは、真空ポンプ(0.01-0.08 MPa)を使用して短距離で材料を吸引しますが、粉塵制御が優れているため、実験室やクリーンな環境に適しています。パイプはステンレス鋼またはポリウレタンでできており、耐摩耗性と目詰まり防止性があります。空気輸送装置には、気密性があり、粉塵漏れがないという利点がありますが、より多くのエネルギーを消費し、パイプラインの定期的な清掃が必要です。空気輸送装置は、酸化タングステンの生産を効率的にサポートし、プロセスの近代化のレベルを高めます。

#### 7.2.2 乾燥および冷却装置

乾燥および冷却装置は、反応生成物または中間体の水分および温度を処理するために使用

される酸化タングステンの製造における重要な補助装置である。三酸化タングステン（黄色酸化タングステン）を例にとると、これらの機器には、材料の物理的状態がその後の処理または保管のニーズを満たすことを保証するために、タングステン粉末およびタングステンワイヤの製造に広く使用されている乾燥装置および冷却装置が含まれます。

乾燥装置は、湿式に調製された酸化タングステンまたはタングステン酸などの前駆体から水を除去するために使用されます。典型的な機器には噴霧乾燥機とオーブンが含まれ、噴霧乾燥機は懸濁液を噴霧し、熱風(150-300° C)で瞬時に乾燥させ、処理能力は 1-10 t / h で、得られる粉末は均一な粒子サイズ(10-50 μm)を持ち、連続生産に適しています。オーブンは、50-5000 L の容量で 100-200° C で静的に乾燥され、小ロットや高純度の酸化

タングステンに適しており、乾燥時間は 2-8 時間です。乾燥装置は、水分残留物による凝集を避けるために、正確な温度制御(±5° C)と耐腐食性材料(ステンレス鋼など)が必要です。

冷却装置は、焼成または乾燥後の酸化タングステンの高温状態を減少させ、酸化を防止し、または包装を容易にするために使用されます。一般的な機器には、ドラムを回転させることで酸化タングステンを 500° C から 50° C に還元する冷却ドラムと、5-20t/h の容量を持つ冷氣(20-50° C)があります。流動床クーラーは、空気流(0.5-2 m / s)を使用して、青色酸化タングステンまたは紫色酸化タングステンに適した微粉末を冷却し、均一な冷却と固結防止を実現します。この装置には、温度が急速に低下することを保証するための効率的な熱交換システムが必要です。

乾燥および冷却装置は、プロセスに適合させる必要があります。例えば、タングステン化学品の湿式生産は噴霧乾燥に依存していますが、乾式プロセスではドラムの冷却が必要です。乾燥および冷却装置は、酸化タングステン製造の補助柱であり、材料の安定性と加工性を確保します。

#### 7.2.2.1 乾燥装置

乾燥装置は、湿式調製製品から水を除去するために使用される酸化タングステンの製造における主要な補助装置です。三酸化タングステンの製造の場合、例えば、これらの装置は、タングステン金属前駆体の乾燥状態を確保するために、灰重石酸分解後にタングステン酸またはパラタングステン酸アンモニウム溶液の結晶化生成物进行处理します。

一般的な乾燥装置には、噴霧乾燥機、オーブン、真空乾燥機などがあります。噴霧乾燥機は、高圧ノズル(0.5-2MPa)を介して懸濁液を噴霧し、水は熱風(150-300° C)によって瞬時に蒸発し、処理能力は 1-10 t / h で、得られる粉末粒径は 10-50 μm であり、タングステン粉末の連続生産に適しています。オーブンは 100-200° C で静的に乾燥され、容量は 50

〜5000 L、乾燥時間は 2〜8 時間で、高純度の酸化タングステンの小バッチに適しています。真空乾燥機は 0.01-0.08MPa、50-100° C の負圧で運転するため、タングステン酸などの熱に弱い材料に適しており、高温分解を回避します。

乾燥装置には、残留物や過熱凝集を防ぐための耐腐食性材料(316L ステンレス鋼など)と精密な温度制御システム(±5° C)が必要です。熱風の流れ、供給速度、温度は重要なパラメータであり、例えば、噴霧乾燥機は、200° C で 5L/min の供給で水分含有量が<1%の粉末を生成することができます。 ナノスケールの酸化タングステンが必要な場合は、乾燥温度を 150° C に下げて粒子の合体を減らすことができます。また、罰金を回収するために、集塵機(サイクロンセパレーターなど)を装備する必要があります。

乾燥装置の効率は、製品の品質に直接影響します。例えば、噴霧乾燥機は、タングステン酸を均質な粉末に迅速に乾燥させることができ、その後の焼成の効率を向上させることができます。CTIA GROUP LTD は、乾燥プラントのパラメータを最適化することにより、タングステン企業における酸化タングステン製造の品質を向上させます。乾燥装置は、粉末の乾燥と流動性を保証する酸化タングステン湿式プロセスの保証です。

#### 7.2.2.2 冷却装置

冷却装置は、高温製品または中間体の温度を下げるために使用される酸化タングステンの製造における重要な補助装置です。三酸化タングステンの製造を例にとると、これらの装置は焼成された酸化タングステンまたはタングステン粉末を処理し、タングステン化学薬品およびタングステンフィラメントの調製に必要な部分である室温に 500-800° C に還元します。

一般的な冷却装置には、冷却ドラム、流動床クーラー、水冷スクリーマシなどがあります。冷却ドラムは、シリンダー(1-5rpm)と冷氣(20-50° C)を回転させることで酸化タングステンを冷却し、直径 0.5-2m、処理能力は 5-20t/h で、大量生産に適しています。流動床クーラーは、空気流(0.5〜2 m / s)を使用して粉末を 600° C から 50° C に 10〜30 分間懸濁および冷却し、均一な冷却と固化防止を備えた青または紫の酸化タングステンに適しています。水冷式スクリーマシは、冷却材料を水冷ジャケット(10-30° C)とスクリーマシに通すため、小規模生産や連続生産に適しています。

冷却装置には、急速冷却と酸化防止のために、効率的な熱交換器システム(銅管熱交換器など)と耐高温材料(耐火鋼など)が必要です。冷却媒体(空気または水)、流量、機器の長さが重要であり、例えば、冷却ドラムは 1m/s の風速で 10t/h の酸化タングステンを処理できます。温度の低下が遅すぎると、酸素空孔が減少する可能性があり、タングステンプラスチックの性能に影響を与えます。また、粉末の損失を避けるために、機器は防塵性である必要があります。

#### 著作権および法的責任に関する声明

冷却装置の性能は、その後の処理と保管に影響を与えます。例えば、流動床クーラーは粉末を緩く保ち、包装を容易にします。冷却装置は、材料の物理的状态を確保する酸化タングステン製造の安定剤です。

### 7.2.3 環境保護処理装置

環境保護処理装置は、生産工程で発生する廃ガスや廃水を処理するために使用される酸化タングステンの製造に必要な補助装置です。例えば、三酸化タングステンの製造の場合、これらの施設には、鉄マンガ重石またはパラタングステン酸アンモニウム反応からの汚染物質を処理するための排気ガス処理装置および廃水処理装置が含まれ、環境基準への準拠を確保し、タングステン市場の持続可能な開発をサポートします。

廃ガス処理プラントは、焼成または酸分解による  $\text{NH}_3$ 、 $\text{SO}_2$ 、または粉塵を処理します。バグフィルターは、 $10\text{--}100\text{m}^3/\text{min}$  の処理能力と 99%以上の効率で微細な粉塵 ( $<10\text{ }\mu\text{m}$ ) を収集します。スクラバーは、高さ  $5\text{--}20\text{ m}$ 、ガス速度  $1\text{--}3\text{ m/s}$  で酸性ガス ( $\text{HCl}$  など) を灰汁 ( $\text{NaOH}$  など) で吸収し、排出が基準を満たしていることを確認します。廃水処理装置は、酸およびアルカリの廃液または重金属イオンを処理し、沈殿槽内の石灰で酸性廃水 ( $\text{pH } 2\text{--}4\text{--}7\text{--}8$ ) を中和し、 $10\text{--}1000\text{m}^3/\text{h}$  の処理能力でタングステン残渣を沈殿させます。

環境にやさしい処理装置には、PP や FRP などの耐食性材料と高効率ろ過システムが必要であり、汚染物質の除去率を  $>95\%$  に抑える必要があります。液気比 ( $2\text{--}5\text{ L/m}^3$ ) や沈降時間 ( $1\text{--}4$  時間) などの運転パラメータを最適化する必要があります。タングステン酸カルシウム廃棄物が関与している場合は、 $\text{Ca}^{2+}$  を除去するために追加のイオン交換装置が必要です。CTIA GROUP LTD は、環境保護装置の統合により、タングステン製品中の酸化タングステンのグリーン生産レベルを向上させました。環境保護処理装置は、環境への影響を減らし、企業の競争力を強化する酸化タングステン生産の環境保護保証です。

#### 7.2.3.1 排ガス処理装置

廃ガス処理装置は、反応と焼成によって生成された廃ガスを処理するために使用される酸化タングステンの製造における環境補助装置です。三酸化タングステンの生産を例にとると、これらの機器は、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{HCl}$ 、または灰重晶酸分解またはタングステン酸熱分解によって生成された粉塵を処理し、排出がタングステン化学生産のグリーン保証である環境保護基準を満たしていることを確認します。

一般的な排ガス処理装置には、バグハウス、スクラバー、活性炭吸着器などがあります。バグフィルターは、ポリエステルフィルターバッグ (細孔サイズ  $1\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$ ) を介して粉塵

#### 著作権および法的責任に関する声明

を捕捉し、処理能力は  $10\sim 100\text{m}^3/\text{分}$ 、除去率は $>99\%$ で、タングステン粉末の粉碎プロセスに適しています。スクラバーは、直径  $1\sim 3\text{m}$ 、液気比  $2\sim 5\text{L}/\text{m}^3$ 、処理能力  $50\sim 500\text{m}^3$  の灰汁 ( $5\sim 10\%\text{NaOH}$ ) スプレーで酸性ガス ( $\text{SO}_2$  など) を吸収します。活性炭吸着器は、揮発性物質 (溶剤残渣など) を吸着し、小規模な排ガス処理に適しています。

この装置には、排気ガスが標準 ( $\text{NH}_3 < 10\text{ mg}/\text{m}^3$  など) まで排出されるように、耐食性材料 (FRP など) と高効率ろ過システムが必要です。空気量、スプレー流量、バッグ交換間隔が重要で、例えば、スクラバーは  $3\text{m}^3/\text{s}$  の速度で  $200\text{m}^3/\text{h}$  の排気ガスを処理できます。排気ガス処理装置は、酸化タングステン製造の環境バリアであり、空気の質を確保します。

### 7.2.3.2 排水処理設備

廃水処理装置は、湿式プロセスによって発生する廃水进行处理するために使用される酸化タングステン製造における環境に優しい補助装置です。三酸化タングステンの生産を例にとると、これらの機器は、タングステン市場におけるグリーン生産の鍵である廃水が標準まで排出されることを保証するために、タングステン酸ナトリウムまたはパラタングステン酸アンモニウムの反応後に酸およびアルカリの廃液と重金属イオンを処理します。

一般的な排水処理装置には、中和沈殿槽、イオン交換塔、膜分離装置などがあります。中和沈殿槽は、酸性廃水 ( $\text{pH } 2\sim 4\sim 7\sim 8$ ) を石灰または  $\text{NaOH}$  で中和し、タングステン残留物と重金属 ( $\text{Pb}^{2+}$  など) を沈殿させ、タンク容量は  $10\sim 1000\text{m}^3$ 、処理能力は  $5\sim 500\text{m}^3/\text{h}$  です。イオン交換カラムは、残留タングステンイオン ( $\text{WO}_4^{2-}$  など) を樹脂を介して吸着し、廃液のタングステン含有量は  $1\text{mg}/\text{L}$  以下と、高純度の要求に適しています。膜分離装置 (逆浸透膜など) は、 $1\sim 100\text{ m}^3/\text{h}$  の容量と回収率 $>90\%$ の微量不純物をろ過します。

排水処理装置には、COD や重金属の除去率を  $95\%$  以上確保するために、耐食性材料 (PE や PVC など) と高効率の沈殿システムが必要です。中和剤の量 ( $0.1\sim 1\text{ kg }/\text{m}^3$ ) と沈降時間 ( $1\sim 4$  時間) を最適化する必要があります。タングステン酸カルシウムが廃水に含まれている場合、凝集剤は沈降効率を改善するために添加されるべきです。廃水処理装置は、酸化タングステン製造における環境保護の基礎であり、水の安全性を確保します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

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

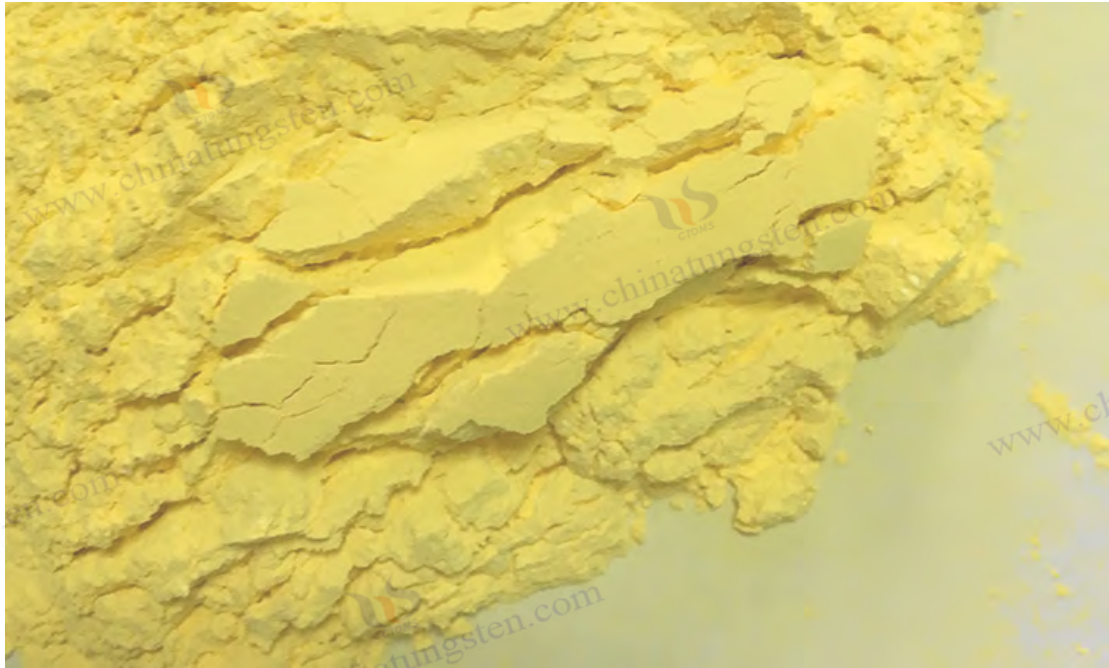
Packing: Inner sealed plastic bag, outer iron drum or woven bag, net weight 50kg or 100kg, moisture-proof design.  
 Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including WO<sub>3</sub> content, impurity analysis, particle size (FSSS method), loose density and moisture data.

### 5. Procurement information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)  
 Phone: +86 592 5129696

For more yellow tungsten oxide 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 GROUP LTD 黄色酸化タングステン

## 第 8 章 酸化タングステンの検出原理に関する研究

### 8.1 酸化タングステン検出-分光法

分光法は、酸化タングステンの検出にとって重要な技術であり、特定の波長の電磁波との相互作用を分析することにより、その組成、構造および特性を明らかにします。三酸化タングステン (黄色酸化タングステン) を例にとると、分光分析方法には、蛍光 X 線分光法 (XRF)、ラマン分光法、紫外可視分光法などがあり、これらはタングステン粉末とタングステンフィラメントの品質管理と研究に広く使用されています。

蛍光 X 線分光法 (XRF) は、酸化タングステン中の原子を X 線で励起し、その特徴的な蛍光線を検出し、タングステンと不純物元素の含有量を定量的に分析します。例えば、三酸化タングステン のサンプルは、XRF 中のタングステンの  $K\alpha$  線 (約 59 keV) を示しており、その純度 (>99%) や微量元素 (Fe、Ca など) の測定に使用できます。この方法は、非破壊で高速であり、タングステン市場の製品の工業検査に適しています。ハンドヘルド蛍光 X 線分析計などの機器は、検出限界が ppm と低く、ハンズオン時間はわずか数分です。

ラマン分光法は、酸化タングステンの分子振動をレーザーで励起し、その結晶構造と化学結合特性を分析します。例えば、単斜晶系の三酸化タングステンは、 $807\text{ cm}^{-1}$  および  $717\text{ cm}^{-1}$  で W-O-W 結合のラマンピークを示し、青色の酸化タングステンまたは紫色の酸化タングステンとの構造上の違いを区別できます。この方法は結晶形に敏感で、タングステン化学物質の微視的特性の研究に適しています。ラマン分光計 ( $532\text{ nm}$  レーザーなど) は、高分解能でナノスケールのサンプルを検出することができます。

#### 著作権および法的責任に関する声明

紫外可視分光法(UV-Vis)を使用して、酸化タングステンのバンドギャップと光学特性を反映した光吸収特性を検出しました。三酸化タングステンは、400〜450nm の吸収端と約 2.5〜2.8eV のエネルギーバンドギャップを有し、これはその光触媒性能を検証するために使用することができます。検出波長が 200〜800 nm の分光光度計などの機器は、実験室での分析に適しています。分光法は、酸化タングステン検出の科学的な基盤であり、多次元情報を提供します。

### 8.1.1 酸化タングステン検出 - 蛍光 X 線分光分析

蛍光 X 線分光法(XRF)は、X 線によって試料原子を励起し、その特性蛍光線を測定し、元素の組成と含有量を分析する酸化タングステンを検出するための高効率な分光法です。三酸化タングステンの製造を例にとると、XRF は、鉄マンガン重石または灰重石処理後の酸化タングステンの純度を検出するために使用され、タングステン金属の品質管理のための重要な技術です。

XRF の検出原理は、原子レベルの遷移に基づいています。X 線(エネルギー10-50keV)は、酸化タングステンを照射してタングステン原子の内部電子(L シェルなど)を励起し、タングステンの K $\alpha$  線(59.3keV)や K $\beta$  線(67.2keV)などの空孔を外側の電子が埋めると特徴的な蛍光を発生します。蛍光強度は、検出器(Si(Li)検出器など)で記録して、タングステン含有量(精度 0.1%) $\pm$ 不純物元素(Fe の K $\alpha$  線、6.4 keV など)を定量化できます。50-100 W の電力と ppm 範囲までの検出限界を備えたベンチトップ XRF 分析装置などの機器は、迅速な分析に適しています。

XRF の強みは、非破壊で高速な多元素検出機能にあります。例えば、パラタングステン酸アンモニウムの焼成によって生成される酸化タングステンの検出は、タングステン含有量が 99.5%>確認でき、5 分以内に微量の Mo または Si を同定することができます。サンプル調製は、粉末錠剤または直接ブロックとして簡単に行うことができますが、マトリックスの影響を避けるために標準試料(純粋な WO<sub>3</sub>など)を校正する必要があります。タングステン酸カルシウムが検出された場合、Ca 含有量を同時に分析して、原材料の純度を確認することができます。感度を確保するためには、チューブ電圧(40-60kV)や電流(1-2mA)などの機器パラメータを最適化する必要があります。

XRF の限界は、0 などの軽元素に敏感ではないということであり、他の方法と組み合わせて酸化状態を確認する必要があります。工業的には、CTIA グループ株式会社は、タングステン価格における酸化タングステンの品質一貫性を監視するために XRF を使用しています。蛍光 X 線分光法は、酸化タングステン検出の業界ベンチマークであり、高速で信頼性の高い元素情報を提供します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

### 8.1.2 酸化タングステン検出 - ラマン分光法

ラマン分光法は、レーザーによってサンプルの分子振動を励起し、その結晶構造と化学結合特性を分析する酸化タングステンを検出するための重要な分光法です。三酸化タングステンの製造を例にとると、ラマン分光法を使用して、タングステン化学薬品とタングステン粉末の微視的特性を研究するための精密なツールであるタングステン酸熱分解によって生成された酸化タングステン結晶形態を区別します。

ラマン分光法の検出原理は、光の非弾性散乱に基づいています。レーザー(532nm や 785nm など)に酸化タングステンを照射して W-O 結合の振動を励起し、散乱光の波長シフトが分子特性を反映します。例えば、三酸化タングステン単斜晶系結晶形のラマンピークは  $807\text{cm}^{-1}$  (W-O-W 伸縮振動)と  $717\text{cm}^{-1}$  (W-O 曲げ振動)であり、六角形の結晶形は  $690\text{cm}^{-1}$  付近に特徴的なピークがあります。

青色の酸化タングステンまたは紫色の酸化タングステンの場合、酸素空孔がピーク幅または変位の増加を引き起こすかどうかを欠陥状態と判断できます。ラマン顕微鏡のような分解能  $<1\text{ cm}^{-1}$  の装置は、微量分析に適しています。

ラマン分光法の利点は、その高感度と非破壊性です。酸化タングステンの検出 変換された酸化タングステンは、数秒で結晶形を確認でき、複雑なサンプル調製なしで粉末またはフィルムから直接測定できます。サンプルの過熱を避けるために、レーザー出力(1~50

mW)と積分時間(5~60 秒)を調整する必要があります。例えば、ナノ酸化タングステンの検出では、10 mW のレーザーと 20 s の積分により、W-O 結合のピークが鮮明に分離されます。サンプルに蛍光不純物(有機残留物など)が含まれている場合は、785 nm レーザーでバックグラウンドを抑制する必要があります。ラマン分光法の限界は、金属元素の含有量に関する直接的な情報がないため、XRF と組み合わせて使用することです。

### 8.2 酸化タングステン検出 - 電気化学分析

酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ )は、光、電気、熱に対する独自の特性により、触媒、センサー、エネルギー貯蔵材料などの分野で広く使用されている重要な機能性材料です。それらの特性を正確に特徴付けて検出するために、電気化学分析は効率的で感度の高い方法となっています。電気化学分析は、溶液中の物質の電気化学的特性に基づいており、電極反応中の電気的パラメータ(電流、電位、電気量など)を測定することにより、物質の組成と濃度を分析します。この方法は、酸化タングステンの酸化還元特性と特定の条件下でのその化学的挙動の研究に特に適しています。

電気化学分析の基本原理は、電気化学反応から導き出されます。一般的な電気化学システ

ムでは、セルは作用電極、参照電極、および補助電極で構成され、総称して3電極システムと呼ばれます。作用電極は酸化タングステンが反応する場所であり、参照電極(例えば、カロメル飽和電極)は安定した電位基準を提供するために使用され、補助電極(例えば、白金電極)は回路閉鎖を完了する。印加電位が作用電極に印加されると、酸化タングステンは酸化反応または還元反応を起こし、測定可能な電流信号を生成することがあります。これらの信号の変化を記録することで、物質の濃度や反応機構、電気化学的性質などを推測することができます。

酸化タングステンの検出に関しては、電気化学分析には大きな利点があります。まず、感度が高く、微量レベルの物質を検出することができるため、ナノ材料や薄膜中の酸化タングステンの挙動を研究するために特に重要です。第二に、電気化学的方法は操作が簡単で、機器のコストが比較的低いため、実験室や産業分野のアプリケーションに適しています。さらに、この方法は、反応速度や電極表面の変化などの動的情報を提供し、これはタングステン酸またはタングステン化学物質の電気化学的挙動を研究する上で非常に重要です。

一般的な電気化学分析技術には、サイクリックボルタンメトリー、ポーラログラフィー、電位差滴定などがあります。その中でも、サイクリックボルタンメトリーは、その直感性と幅広い適用性のために、酸化タングステンの検出によく使用されます。サイクリックボルタンメトリーは、時間とともに直線的に変化する電位を適用することにより電流応答を記録し、その結果、特徴的なボルタンメトリー曲線が得られます。これらの曲線は、酸化タングステンの酸化還元電位だけでなく、電極表面への吸着または拡散挙動も明らかにします。例えば、酸化タングステンを電極材料として使用すると、そのボルタンペア曲線は顕著な酸化および還元のピークを示すことがあり、これはその可逆的な電気化学反応特性を示す。

実際のアプリケーションでは、酸化タングステンの電気化学的検出には、多くの場合、実験条件の最適化が必要です。例えば、電解質(硫酸や硝酸溶液など)の選択は反応性に影響しますが、電極材料(タングステン金属やガラス状炭素電極など)の表面状態は検出感度に直接影響します。さらに、タングステン研究の分野での研究では、酸化タングステンの結晶形(単斜晶系や斜方晶など)がその電気化学的特性に大きな影響を与えることが示されているため、検出前にサンプルの構造特性を明らかにする必要があります。

検出精度をさらに向上させるために、他の技術を組み合わせることができます。例えば、ナノ構造の酸化タングステン電極の使用など、近年のタングステン技術の進歩と組み合わせることで、信号強度を大幅に向上させることができます。さらに、タングステン酸の電気化学的挙動は、酸化タングステンの検出に対する理論的支持も提供します。例えば、タングステン酸ナトリウム溶液中での電気化学反応は、酸化タングステンの反応メカニズムを理解するための制御実験として使用することができます。

環境モニタリングの分野では、酸化タングステンの電気化学試験を使用して、センシング材料としての性能を評価することもできます。例えば、酸化タングステンベースのガスセ

#### 著作権および法的責任に関する声明

ンサは、電気化学的方法によって特定のガスの濃度の変化を検出することができます。この用途は、電気化学反応におけるタングステン製品の高い選択性によるものです。また、タングステン価格の変動も検査装置のコストに影響を与える可能性があるため、産業用途では経済性を考慮する必要があります。

ただし、電気化学分析には限界があります。例えば、選択性が低いと、特に複雑なマトリックス中の酸化タングステンを検出する際に、干渉物質の影響につながる可能性があります。さらに、電極表面は時間の経過とともに不動態化される可能性があり、長期検出の安定性に影響を与えます。これらの問題に対して、研究者たちは、タングステン-銅複合電極を使用して電気伝導率を改善したり、安定剤として タングステン酸カルシウムを導入したりするなど、さまざまな改善を提案しました。

結論として、電気化学分析は酸化タングステンを検出するための強力なツールを提供します。その高感度、操作の容易さ、動的分析機能により、タングステンの学術研究や産業応用において重要な位置を占めています。実験条件と電極材料を継続的に最適化することにより、電気化学的方法は酸化タングステン検出の応用価値をさらに高めることが期待されます。

### 8.2.1 酸化タングステン検出 - ボルタンメトリー

ボルタンメトリーは電気化学分析の重要な分野であり、酸化タングステンの電気化学的特性を検出するのに特に適しています。電極の電位と電流の関係を測定してボルトアンペア曲線を生成することで、物質の定性的および定量的な分析が可能になります。酸化タングステンの検出では、ボルタンメトリーは、特にその酸化還元挙動と電極触媒特性を研究する際に、その高感度と高速応答のために好まれます。

ボルタンメトリーの基本原理は、オームの法則と電気化学反応速度論に基づいています。実験では、通常、作用電極(タングステン金属または酸化タングステン薄膜電極など)、参照電極、および補助電極の3電極システムが使用されます。線形掃引や周期掃引などの時間変動電位を印加することにより、電極表面上の酸化タングステンの酸化反応または還元反応から生じる電流が記録されます。結果として得られる電流-電位曲線(すなわち、ボルタンメトリー)は、物質の電気化学的特性を視覚的に表現します。

サイクリックボルタンメトリー(CV)は、酸化タングステンのボルタンメトリー検出で最も一般的に使用される手法の1つです。これは、電位の範囲を繰り返しスキャンすることにより、対称的なボルトアンペア曲線を生成します。例えば、酸化タングステンの静電容量特性を調べると、ボルトアンペア曲線は長方形であり、優れた電気化学的エネルギー貯蔵能力を有することを示している。その触媒性能を研究すると、曲線の酸化還元ピークが特定の反応電位と反応速度を明らかにします。

ボルタンメトリーの利点は、操作のしやすさと情報量が多いことです。酸化タングステン

#### 著作権および法的責任に関する声明

の場合、その濃度を決定するだけでなく、電極表面上の反応メカニズムを分析することもできます。例えば、酸性電解質中のタングステン粉末から調製された酸化タングステン電極のボルタンメトリー曲線は、異なる酸化状態遷移に対応する複数のピークを示すことがあります。この特性は、酸化タングステンの多価挙動を理解するのに役立つため、タングステンデータ研究において特に重要です。

ボルタンメトリーの検出には、実験条件の最適化が不可欠です。たとえば、スキャンレートの選択は、ボルタンペア曲線の形状とピーク電流に直接影響します。一般に、タングステン酸化物の拡散制御プロセスの研究には低速のスキャンレートが適しており、表面反応の分析には高速のスキャンレートが適しています。さらに、電解質の pH とイオン強度も試験結果に影響を与える可能性があります。例えば、タングステン酸溶液中では、酸化タングステンのボルタンメトリー挙動はプロトン濃度によって異なり得る。

酸化タングステン検出におけるボルタンメトリーの応用は、他の技術との組み合わせにも反映されています。例えば、タングステン企業が開発したナノテクノロジーと組み合わせることで、表面積の大きい酸化タングステン電極を作製することができ、検出感度を向上させることができます。さらに、フェロタングステンやタングステンプラスチックなどの複合材料の導入も、電極の安定性と導電性を高めることができます。

実際には、ボルタンメトリーは、光電極触媒の分野で酸化タングステンの性能をテストするために使用されてきました。例えば、そのボルタンペア曲線を分析することにより、照明下での酸化タングステンの電荷移動効率を決定することが可能です。このアプリケーションは、新エネルギーの分野で酸化タングステンの開発を促進するため、タングステン市場で非常に重要です。

しかし、ボルタンメトリーはいくつかの課題にも直面しています。例えば、電極表面の汚染や経年劣化は、シグナルドリフトを引き起こし、アッセイの再現性に影響を与える可能性があります。さらに、複雑なサンプルでは、酸化タングステンが他の物質の電気化学信号と重なり、選択性が低下する可能性があります。これらの問題を解決するために、研究者たちは、干渉を減らし、空間分解能を向上させるために、タングステン針を微小電極として使用する実験を行いました。

### 8.3 その他の酸化タングステン検出方法

電気化学分析に加えて、酸化タングステンとはさまざまな物理的および化学的方法で検出できます。これらの方法にはそれぞれ独自の特性があり、さまざまなアプリケーションシナリオや検査ニーズに適しています。以下では、ボルタンメトリー以外の他の検出技術について、その原理、利点、および制限に焦点を当てて詳しく説明し、酸化タングステンの包括的な特性評価のためのさまざまなオプションを提供します。

タングステンの知識の研究では、分光法は一般的に使用される非電気化学的検出方法で

#### 著作権および法的責任に関する声明

す。例えば、紫外可視分光法 (UV-Vis) や赤外分光法 (IR) を使用して、酸化タングステンの光学特性や化学結合特性を検出することができます。UV-Vis 分光法は、特定の波長での吸収ピークを測定することにより、酸化タングステンの濃度を間接的に推定でき、IR 分光法は、その結晶構造における W-O 結合の振動を特定できます。これらの方法は電極反応を必要とせず、黄色または青色の酸化タングステンの色バリエーションの分析に特に適しています。

X 線回折 (XRD) は、酸化タングステンの結晶構造を分析するために使用される別の重要な検出技術です。X 線の回折パターンを測定することにより、X 線の結晶形態 (単斜晶系または六角形など) と結晶化度の程度を決定することができます。この方法は、タングステン研究の分野、特にパラタングステン酸アンモニウムの熱分解によって形成される酸化タングステンの研究で広く使用されています。さらに、XRD は、鉄マンガングン重石残留物などのサンプル中の不純物を検出することができます。

走査型電子顕微鏡 (SEM) と透過型電子顕微鏡 (TEM) は、酸化タングステンの顕微鏡的形態と粒子径分析に焦点を当てています。SEM は表面トポグラフィ情報を提供し、TEM はナノスケール構造に関する洞察を提供します。これは、粒径と形態が直接その特性に影響を与えるため、球状タングステン粉末の酸化によって生成される酸化タングステンの研究にとって特に重要です。また、エネルギー分光法 (EDS) と組み合わせることで、元素分布を定量化することが可能です。

化学分析の分野では、酸化タングステンの検出に重量法および滴定法も使用されます。重量法は、高温焙煎によってメタタングステン酸アンモニウムを酸化タングステンに変換し、その質量を秤量します。この分析法はシンプルで簡単ですが、高いサンプル純度が必要です。滴定法は、タングステン酸ナトリウムとの反応によりタングステン含有量を決定するため、溶液系での分析に適しています。

これらの方法のメリットは、その多様性と補完性にあります。例えば、分光法は迅速なスクリーニングに適しており、XRD と SEM は構造情報を提供します。しかし、電気化学的方法よりも感度が低いことが多く、一部の技術 (TEM など) では高価な機器と複雑な前処理が必要であり、これはタングステンニュースで産業用途のボトルネックとしてよく引用されます。

検出方法を選択する場合、サンプルのステータスとテストターゲットの間にはトレードオフがあります。例えば、タングステンフィラメントの表面で酸化された酸化タングステンは SEM 分析により適しており、溶液中の酸化タングステンは化学滴定により適しています。さらに、タングステン市場の需要の多様化は、ポータブル分光計の開発など、検出技術の革新も推進しています。

### 8.3.1 酸化タングステン検出 - 熱重量分析

#### 著作権および法的責任に関する声明

熱重量分析 (TGA) は、酸化タングステン の熱安定性、分解挙動、および含有量測定の研究に広く使用されている質量変化ベースの検出技術です。これは、制御された温度プログラムの下での温度または時間の関数としてサンプル質量の変化を測定することにより、酸化タングステンの物理化学的特性に関する詳細な情報を提供します。この方法は、タングステン技術の分野、特にその合成プロセスと熱処理特性の分析において重要な用途があります。

熱重量分析の基本原理は、加熱中の物質の質量の変化を利用することです。例えば、酸化タングstenは、水の揮発、結晶形遷移、または化学分解により無重力であり得る。実験は通常、熱重量分析装置で行われ、サンプルをマイクロ天びんに載せ、窒素または空気雰囲気中で一定速度で加熱します。質量-温度プロファイル (TG 曲線) を記録することにより、酸化タングステンの熱挙動を解析することができます。

酸化タングstenを検出する場合、熱重量分析は、次のシナリオで一般的に使用されます。まず、サンプル中の揮発性成分を決定します。例えば、紫色の酸化タングstenは加熱すると結合した水を放出することがあり、TG 曲線は対応する無重力ステップを示します。第二に、この方法は酸化タングstenの酸化還元反応を研究することができます。例えば、還元性雰囲気 (例えば、水素) 中で、酸化タングstenをタングsten金属に変換し、質量減少の程度を用いてその純度を計算することができます。

熱重量分析の利点は、その高精度と非破壊性です。三酸化タングstenの検出のために、TGA はマイクログラム範囲の感度で小さな質量変化を正確に測定できます。さらに、示差走査熱量測定 (DSC) と組み合わせて使用することで、融解温度や相変化温度など、酸化タングstenの熱影響をさらに分析することができます。このハイフン付き手法は、タングstenデータ研究で特に一般的です。

熱重量分析には、実験条件の制御が重要です。例えば、ランプアップの速度は分解反応の分解能に影響し、精度と効率のバランスをとるために、通常は  $5\sim 10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  が選択されます。空気中では酸化タングstenは安定しているかもしれませんが、不活性な雰囲気では異なる変化を遂げるすることができます。さらに、サンプルサイズ (通常は  $5\sim 10\text{ mg}$ ) は、不均一な熱伝達を避けるために適度である必要があります。

実際のアプリケーションでは、タングsten粉末の酸化によって生成される酸化タングstenの品質分析に、熱重量分析がよく使用されます。例えば、高温でのタングstenパテの重量減少を測定することにより、その中の酸化タングstenの量を推定することができます。さらに、タングstenヒーターの熱安定性も、高温環境での性能を確保するために TGA に依存しています。

ただし、熱重量分析には制限があります。例えば、酸化タングstenの寄与を他の無重力

#### 著作権および法的責任に関する声明

物質と直接区別することはできないため、XRD や分光法と組み合わせて検証されることがよくあります。さらに、高温はサンプルの揮発や機器の汚染につながり、長期的な信頼性に影響を与える可能性があります。これらの問題を解決するために、タングステン製品の研究では、低温乾燥などの前処理ステップがよく使用されます。



CTIA GROUP LTD 黄色酸化タングステン

## 第9章酸化タングステンの応用分野

多機能材料として、酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) は、高い化学的安定性、優れた電気的特性、光触媒活性など、その独自の物理的および化学的特性により、多くの分野で幅広い用途を示しています。エネルギーから環境保護、電子機器まで、酸化タングステンの用途は拡大を続けており、関連産業の革新と発展を促進しています。この章では、エネルギー分野での特定の使用に焦点を当てて、その主なアプリケーション領域について詳しく説明します。

### 9.1 エネルギー分野での酸化タングステンの応用

エネルギーは現代の社会開発の中核であり、エネルギー分野での酸化タングステンの応用は、主にエネルギー貯蔵、エネルギー変換、再生可能エネルギー開発に焦点を当てています。その多価特性、半導体特性、および高い表面積により、バッテリー、コンデンサ、および光触媒に理想的な材料となっています。以下では、エネルギーセクターでの特定のアプリケーションをさまざまな視点から分析します。

酸化タングstenは、その優れた電気化学的特性のおかげでエネルギーに使用されます。例えば、n型半導体としては、可視光を吸収し、電子移動反応に関与することができる適度なバンドギャップ(約 2.6-3.0 eV)を持っています。さらに、タングsten研究は、酸化タングstenナノ構造(ナノロッドやナノシートなど)がそれらの比表面積および反応性を大幅に増加させ、エネルギーデバイスの効率を高めることができることを示している。

#### 著作権および法的責任に関する声明

エネルギー貯蔵の分野では、酸化タングステンはリチウムイオン電池やスーパーキャパシタに一般的に使用されており、その高い理論容量と高速イオン輸送能力が大きな注目を集めています。エネルギー変換の面では、酸化タングステンの光触媒特性は、水の分解から水素を生成する可能性を秘めています。さらに、タングステン技術の進歩により、太陽電池や燃料電池の探求も推進されています。

実際には、酸化タングステンの性能最適化は合成プロセスに依存します。例えば、パラタングステン酸アンモニウムまたはメタタングステン酸アンモニウムの熱分解により、特定のエネルギーデバイスのニーズを満たすために、異なる結晶形態の酸化タングステンを調製することができる。また、タングステン価格の変動は、エネルギー分野での商業化プロセスにも影響を与えるため、コスト管理が研究の焦点となっています。

### 9.1.1 リチウムイオン電池への酸化タングステンの応用

リチウムイオン電池 (LIB) は、現代の携帯型電子機器や電気自動車の中核的なエネルギー貯蔵技術です。酸化タングステン 高性能電極材料として、バッテリー容量とサイクル安定性を向上させる上で大きな利点があります。その高い理論容量 (約 693 mAh / g) と多電子伝達能力により、リチウムイオン電池のアノード材料に人気があります。

リチウムイオン電池では、酸化タングステンは可逆的な酸化還元反応を通じてリチウムイオンを貯蔵します。反応機構は、 $WO_3 + 6Li^+ + 6e^- \rightleftharpoons W + 3Li_2O$  と表すことができます。この反応は、高容量を提供するだけでなく、タングステン金属の形成により電気伝導性も向上させます。しかし、純粋な酸化タングステンの体積膨張と低い導電性は、その実用化を制限しているため、性能はしばしば複合材料またはナノロギゼーションによって最適化されます。

ナノ粒子やナノワイヤーなどのナノ構造酸化タングステンは、その特性を大幅に改善します。例えば、タングステン粉末の酸化によって生成された酸化タングステンナノ粒子は、その高い表面積および短い拡散経路のために、充放電中の体積変化を効果的に緩和することができる。さらに、グラフェンやタングステン銅などの炭素材料と配合することで、導電性と構造安定性をさらに向上させることができます。

実用化では、酸化タングステンの調製プロセスは、その特性に大きな影響を与えます。例えば、水熱法で合成された酸化タングステンナノロッドは、リチウムイオン電池において優れたサイクル性能を示し、容量保持率は 80% 以上です。さらに、タングステンが開発したドーピング技術 (モリブドドーピングなど) は、その電子構造を調整し、細胞の効率をさらに向上させることができます。

リチウムイオン電池への酸化タングステンの適用は、急速充電および放電性能にも反映されています。研究によると、その擬似容量性の動作により、電気自動車の急速充電ニーズ

#### 著作権および法的責任に関する声明

に不可欠な高容量を高速に維持できることが示されています。さらに、酸化タングステンは、グリーンエネルギーの開発動向に沿っている他の遷移金属酸化物よりも毒性が低く、安定性が高いです。

しかし、課題は残っています。例えば、酸化タングステンは、最初のサイクルで大きな不可逆的な容量損失を有し、これは固体電解質界面(SEI)膜の形成によって悪化する可能性があります。この問題を解決するために、研究者たちは タングステンプラスチック を緩衝層として使用するか、またはプレリチウム化技術によって最初の効率を改善しようと試みました。さらにタングステン市場の需要は、鉄マンガン重石直接調製 酸化タングステンの利用など、低コストの合成方法の研究を推進しています。

### 9.1.2 スーパーキャパシタへの酸化タングステンの応用

スーパーキャパシタ(SC)は、その高い電力密度と長いサイクル寿命により、エネルギー貯蔵のスターテクノロジーです。酸化タングステンは、その高い擬似容量性能と良好な化学的安定性により、スーパーキャパシタの電極材料において重要な位置を占めています。従来の炭素ベースの材料と比較して、酸化タングステンはファラデー反応を通じて追加の静電容量を提供できるため、エネルギー密度が大幅に向上します。

スーパーキャパシタでは、酸化タングステンのエネルギー貯蔵メカニズムは、電気二重層容量と擬似容量を組み合わせています。その擬似容量は、表面またはバルク相での急速な酸化還元反応( $\text{WO}_3 + \text{H}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{HWO}_3$ など)に由来します。この反応は、酸化タングステンが最大 500~700 F / g の比静電容量を示す酸性電解質で特に顕著です。さらに、球状のタングステン粉末から調製された酸化タングステンなどの多孔質構造は、電解質の接触面積を増加させ、性能をさらに向上させます。

酸化タングステンのナノ変換は、そのスーパーキャパシタの性能を向上させるための鍵です。例えば、タングステンフィラメントの酸化によって製造された酸化タングステンナノシートは、その高い比表面積と高速なイオン拡散経路により、充放電率を大幅に増加させることができます。さらに、銀 - タングステンまたはフェロ - タングステンとの配合は、電気伝導性を高め、酸化タングステンの固有の低導電率欠陥を補償することができます。

実用化では、酸化タングステンの調製方法は、その特性に大きな影響を与えます。例えば、電気化学堆積によってタングステン針の表面に生成された酸化タングステン膜は、優れたサイクル安定性を持ち、数万サイクル持続することができます。さらに、タングステン技術の進歩により、酸化タングステンと炭素材料を負極として組み合わせた非対称スーパーキャパシタの開発にもつながり、動作電圧ウィンドウが大幅に広がりました。

スーパーキャパシタにおける酸化タングステンの利点には、その環境への配慮も含まれま

#### 著作権および法的責任に関する声明

す。酸化タングステンは、ニッケルやコバルトを含む材料と比較して、幅広い原材料(例えば、シェライト)から入手可能であり、環境に優しい方法で製造されています。また、ウェアラブルデバイスの電源など、フレキシブルな電子デバイスへの応用の可能性が浮上していると Tungsten News は指摘しています。

しかし、酸化タングステンの導電率の低さやサイクル中の構造劣化が依然としてボトルネックとなっています。この目的のために、研究者たちは、タングステンセシウムをドーピングするか、タングステン酸カルシウムを導入することにより、その特性を改善しようとしました。さらに、タングステンの知識研究は、導電性ポリマーのコーティングなどの表面改質も、その安定性を向上させるのに効果的であることを示しています。

要約すると、スーパーキャパシタへの酸化タングステンの適用は、高静電容量と長寿命の可能性を示しています。材料設計とデバイス構造の最適化により、高出力エネルギー貯蔵の分野におけるその見通しは明るくなります。

### 9.1.3 水素を生成するための光触媒水分解における酸化タングステンの応用

光触媒水が分解して水素を生成することは、太陽エネルギーからクリーンエネルギーを生成するための重要な方法であり、酸化タングステン は、その優れた光触媒性能と化学的安定性により、この分野のスター材料となっています。その適度なバンドギャップ (2.6–2.8 eV) により、可視光を効果的に吸収することができ、太陽光による水分解反応において大きな利点が得られます。

光触媒プロセスでは、酸化タングステンは光触媒として作用し、光子を吸収して電子 – 正孔対を生成します。電子は水分子の還元に関与して水素 ( $H_2$ ) を形成し、正孔は水を酸化して酸素 ( $O_2$ ) を生成します。反応は、 $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$  と表すことができます。しかし、純粋な酸化タングステンの光生成キャリアの高い再結合率はその効率を制限するため、性能はしばしば修飾または再結合によって最適化されます。

ナノ構造の酸化タングステンは、その光触媒活性を有意に改善しました。例えば、ソルボサーマル法で合成された酸化タングステンナノロッドは、その高い表面積と最適化されたキャリア輸送経路により、水素製造の効率を大幅に向上させることができます。さらに、タングステン酸前駆体によって調製された酸化タングステン膜は、特にバイアス圧力の助けを借りて、光触媒水分解で良好に機能します。

酸化タングステンの修飾は、その光触媒性能を向上させるための鍵です。例えば、タングステン金 または 二硫化タングステン をドーピングすることにより、バンドギャップを減少させ、光吸収の効率を向上させることができる。さらに、 $TiO_2$  または タングステン酸塩 再結合によって形成されるヘテロ接合は、光生成された電子と正孔を効果的に分離することができ、それによって量子収率を向上させます。

#### 著作権および法的責任に関する声明

実際のアプリケーションでは、酸化タングステンの安定性はその利点の1つです。他の光触媒(CdS など)と比較して、酸化タングステンは酸性または酸化性の環境で腐食しにくいのです。さらに、タングステン製品の研究では、放射線遮蔽材料との組み合わせも光触媒反応器の設計に使用できることが示されています。

しかし、酸化タングステンは偏った伝導帯を有しており、水を直接還元する効率が制限されます。この目的のために、研究者はしばしば Pt やタングステン粒子などの助触媒を導入して水素生成を促進します。

## 9.2 環境分野での酸化タングステンの応用

酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) は、その優れた光触媒特性、化学的安定性、および汎用性により、環境分野で幅広い潜在的な用途を示しています。それは空気浄化や下水処理であるかどうか、酸化タングステンは、効果的に環境保護のための効率的なソリューションを提供し、そのユニークな物理的および化学的特性を通じて汚染物質を除去することができます。以下は、環境分野での特定のアプリケーションについての詳細な説明です。

環境分野では、酸化タングステンの半導体特性がそのコア強度です。そのバンドギャップ (約 2.6~3.0 eV) により、可視光を吸収し、光生成された電子と正孔を励起し、酸化還元反応を引き起こして汚染物質を分解します。さらに、タングステンの研究は、酸化タングステンナノ構造(ナノ粒子や薄膜など)がその比表面積と触媒活性を大幅に増加させることができることを示しており、環境管理に優れています。

実際には、酸化タングステンの調製方法はその特性にとって重要です。例えば、パラタングステン酸アンモニウムの熱分解または水熱法によって調製された酸化タングステンの結晶形態および形態は、特定の環境要件に応じて最適化することができます。また、タングステン価格の変動は、環境保護分野での商品化プロセスにも影響を与えるため、低コストの合成技術が大きな注目を集めています。

### 9.2.1 空気浄化における酸化タングステンの応用

大気汚染は世界的な問題であり、酸化タングステンは、その光触媒特性とガス感受性特性により、空気浄化に重要な役割を果たしています。揮発性有機化合物(VOC)、窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )、その他の有害ガスを効果的に分解し、屋内外の空気質改善を技術サポートします。

光触媒による空気浄化では、酸化タングステンは光エネルギーを吸収して電子 - 正孔対を形成し、それが次に活性酸素種を生成します(例:  $\cdot\text{OH}$  および  $\text{O}_2^-$ )、これらの種は汚染物質を酸化して  $\text{CO}_2$  および  $\text{H}_2\text{O}$  に分解することができます。例えば、タングステン粉末の酸化によって製造された酸化タングステンナノ粒子は、紫外線または可視光の照射下でホルムアルデヒドおよびベンゼンなどの VOC を効率的に分解することができます。さらに、タ

ングステンの知識研究は、モリブデンまたはタングステン銅をドーピングすると、その光触媒効率をさらに向上させることができることを示しています。

酸化タングステンの多孔質構造は、その空気浄化性能の鍵です。例えば、ソルボサーマル法で合成された酸化タングステンナノシートは表面積が広く、より多くの汚染物質分子を吸着することができ、それによって分解効率が向上します。さらに、タングステンによって開発された複合材料(酸化タングステンと  $\text{TiO}_2$  のヘテロ接合など)は、光生成キャリアの寿命を延ばし、さらに精製効果を高めることができます。

実際には、酸化タングstenは、空気清浄機や建材に使用するための薄膜やコーティングに作られることがよくあります。例えば、タングstenフィラメントの酸化に基づく酸化タングstenコーティングは、太陽光の下で汚染物質を連続的に分解することができ、窓や壁に適しています。また、タングstenニュースでは、フェロタングstenと配合して  $\text{NO}_x$  を処理するなど、自動車の排ガス浄化にも可能性が検討されていると報じられています。

しかし、酸化タングstenの光触媒活性は、そのバンドギャップとキャリア再結合率によって制限されます。これを行うために、研究者たちはセシウムタングstenをドーピングするか、表面改質することにより、その特性を最適化しようとしました。さらに、暗い場所での活性が低いため、屋内での幅広い用途が制限され、黄色酸化タングstenなどの可視光応答性酸化タングstenの変種をさらに開発する必要があります。

### 9.2.2 下水処理における酸化タングstenの応用

下水処理は環境保護の重要な部分であり、酸化タングstenは、その光触媒分解能力と吸着性能により、水中の有機汚染物質、重金属イオン、染料の除去に優れた性能を発揮します。水資源の持続可能な利用のための技術サポートを提供します。

光触媒廃水処理では、酸化タングstenが光誘起反応により有機汚染物質を分解します。例えば、そのナノ粒子は、光にさらされると、ローダミンBやメチレンブルーなどの染料を無害な小分子に酸化することができます。その結果、タングsten酸前駆体から調製した酸化タングstenナノロッドは、可視光下で優れた分解効率を示すことが示されました。さらに、タングstenデータは、二硫化タングstenと組み合わせた後、光触媒活性を30%以上増加させることができることを示しています。

酸化タングstenの吸着特性は、廃水処理にも役割を果たします。例えば、多孔質構造により、重金属イオン ( $\text{Pb}^{2+}$  や  $\text{Cd}^{2+}$  など) を効率的に吸着し、表面配位やイオン交換による除去を行うことができます。また、タングstenプラスチックと酸化タングstenの複合材料は、吸着能力をさらに高めることができ、高濃度の廃水処理に適しています。

実際のアプリケーションでは、酸化タングstenの安定性はその利点の1つです。例え

#### 著作権および法的責任に関する声明

ば、酸性廃水中の球状タングステン粉末に基づいて調製された酸化タングステンの光触媒性能は、数サイクル持続することができる。しかし、酸化タングステンの光触媒効率は、キャリア再結合と光吸収範囲によって制限されます。この目的のために、研究者たちは、タングステン金をドーピングするか、またはタングステン酸ヘテロ接合を構築することにより、その特性を改善しようとしていました。また、リサイクルや再利用が難しく、タングステン針基板に酸化タングステンを装填するなど、固定化技術の開発が必要です。

### 9.3 スマートマテリアルの分野における酸化タングステンの応用

スマートマテリアルの分野における酸化タングステンの応用は、主にそのエレクトロクロミックおよびガス感受性の特性に反映されています。これらの機能により、スマートウィンドウ、センサー、ディスプレイで価値を発揮し、スマートテクノロジーの開発を推進します。

スマートマテリアルでは、酸化タングステンの汎用性は、その調整可能な電子構造と光学特性に由来します。例えば、エレクトロクロミックな挙動により、印加された電界に応じて色が変化する一方で、ガス感知特性により、特定のガスに対して高い感度が得られます。さらに、タングステン製品の研究では、酸化タングステンのナノ化学エネルギーがその応答速度と安定性を大幅に向上させることができることが示されています。

実際には、酸化タングステンの調製プロセスは、その性能にとって非常に重要です。例えば、スパッタリング法やCVD(化学気相成長法)により作製された酸化タングステン膜は、スマートデバイスに対して優れた均一性と密着性を有します。さらに、タングステン技術の進歩も、フレキシブルエレクトロニクスの探求を推進しています。

#### 9.3.1 エレクトロクロミックデバイスにおける酸化タングステンの応用

エレクトロクロミックデバイス(ECD)は、印加電界の下で色を変えることができるため、スマートウィンドウやディスプレイで広く使用されています。酸化タングstenは、その優れたエレクトロクロミック特性により、この分野の主流材料となっています。その色はクリアからダークブルーに変化し、応答時間が短く、サイクル寿命が長くなります。

酸化タングステンのエレクトロクロミックメカニズムは、イオンインターカレーションと電子移動に基づいています。例えば、 $\text{Li}^+$ または $\text{H}^+$ が埋め込まれている場合、反応は $\text{WO}_3 + x\text{M}^+ + x\text{e}^- \rightleftharpoons \text{M}_x\text{WO}_3$  (MはLiまたはH)となります。この可逆的な反応により、スマートウィンドウの光透過率を動的に調整し、建物のエネルギー消費を節約できます。さらに、タングステンの学術研究は、酸化タングステンの多孔質構造がイオン拡散を加速し、変色効率を向上させることができることを示しています。

実用化では、酸化タングステン膜の調製が鍵となります。例えば、タングステン金属基板上に電気化学的堆積によって生成される酸化タングstenは、高い光学コントラストを有

する。さらに、タングステンヒーター支援熱処理は、その結晶構造を最適化し、さらにその性能を向上させることができます。

酸化タングステンの利点には、その安定性も含まれます。例えば、タングステン酸ナトリウム電解質では、色の变化サイクルは数千回に達することがあります。また、Tungsten News は、ウェアラブルディスプレイなど、フレキシブル ECD への応用が浮上していると指摘しています。

しかし、酸化タングステンの応答速度と色範囲にはまだ改善の余地があります。この目的のために、研究者たちは、紫色の酸化タングステンをドーピングするか、タングステンゴムと混合することにより、その特性を最適化しようとしてきました。

### 9.3.2 ガスセンサーにおける酸化タングステンの応用

ガスセンサーは、環境中の有害ガスを検出するために使用され、酸化タングステンはその高い感度と選択性により、この分野で重要な用途があります。NO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、CO などのガスを効果的に検出でき、産業安全や環境モニタリングに適しています。

酸化タングステンのガス検出メカニズムは、表面吸着とコンダクタンスの変化に基づいています。例えば、NO<sub>2</sub>が酸化タングステンの表面に吸着すると、その捕捉された電子が抵抗の増加につながり、検出可能な信号が得られます。研究によると、青色の酸化タングステンナノワイヤは、表面積が大きいいため、NO<sub>2</sub>の検出限界が ppb まで下がる可能性があります。実用化では、酸化タングステンの形態はその特性に大きな影響を与えます。例えば、タングステンフィラメント上に蒸着することによって生成される酸化タングステンナノアレイは、高速応答性と回復特性を有する。

酸化タングステンの利点には、高温安定性も含まれます。例えば、タングステン粒子基板上の酸化タングステンセンサーは 300° C で安定しており、産業環境に適しています。さらに、タングステンのデータは、湿度の乱れに対するその耐性が多くの金属酸化物のそれよりも優れていることを示しています。しかし、酸化タングステンのベースラインドリフトと長期安定性はまだ改善する必要があります。これを行うために、研究者は表面改質または放射線遮蔽材料と組み合わせてその特性を強化しようとします。

### 9.4 電子情報分野における酸化タングステンの応用

優れた半導体特性を持つ材料として、酸化タングステン (WO<sub>3</sub>) は、電子情報の分野で幅広い応用の可能性を示しています。その高い化学的安定性、適度なバンドギャップ (2.6–3.0 eV)、および良好な電気的特性により、電界効果トランジスタ、メモリデバイス、およびその他の電子部品に最適です。情報技術の急速な発展に伴い、高性能電子デバイスにおける酸化タングステンの役割はますます顕著になっています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

電子情報の分野では、酸化タングステンの汎用性は、その調整可能な電子構造と薄膜製造能力に由来します。例えば、その n 型半導体特性により、電子を効率的に輸送することができ、ナノワイヤや薄膜などのナノ構造構造は、デバイスの性能を大幅に向上させます。さらに、タングステンの研究は、酸化タングステンのドーピングおよび配合技術により、電子デバイスの高い要件を満たすために、その導電性と安定性をさらに最適化できることを示しています。

実用化では、酸化タングステンの調製プロセスは、その特性に大きな影響を与えます。例えば、化学蒸着またはスパッタリングによって製造された酸化タングステン膜は、その高い均一性とコンパクト性により、マイクロエレクトロニクスデバイスに適しています。さらに、タングステン技術の進歩により、フレキシブルエレクトロニクスやウェアラブルデバイスの探求が進められており、タングステンの価格の変動も研究者に低コストの合成方法の開発を促しています。

#### 9.4.1 電界効果トランジスタへの酸化タングステンの応用

電界効果トランジスタ (FET) は、現代の電子機器のコアコンポーネントであり、アンプ、スイッチ、および集積回路で広く使用されています。酸化タングステンは、その優れた半導体特性と高いキャリア移動度により、電界効果トランジスタのチャネル材料またはゲート媒体として大きな可能性を示しています。そのアプリケーションは、デバイスの性能を向上させるだけでなく、低電力で高度に統合された電子デバイスの開発も推進します。

電界効果トランジスタでは、酸化タングステンの役割は主にチャネル層として機能する能力に反映されています。n 型半導体としては、適度なバンドギャップを持ち、ゲート電圧が印加されたときの電子の流れを効果的に制御できるため、スイッチング機能が可能になります。例えば、熱酸化タングステン金属によって生成された酸化タングステン薄膜は、従来のアモルファスシリコンよりもはるかに高い  $10\sim 20\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  のキャリア移動度を有することができる。さらに、タングステンの知識研究は、酸化タングステンのナノワイヤ構造が散乱効果を大幅に低減し、その次元輸送特性による移動度をさらに改善できることを示しています。

電界効果トランジスタに酸化タングステンを使用すると、誘電率が高い (約 20-50) という利点もあり、従来の  $\text{SiO}_2$  (酸化チタン) に代わるゲート誘電体として使用できます。たとえば、原子層堆積 (ALD) によって調製された酸化タングステン膜は、リーク電流が低く、ブレークダウン電圧が高いため、ゲートの厚さを薄くし、デバイスのスイッチング速度と電力効率を向上させることができます。さらに、タングステンが開発したドーピング技術 (モリブデンドーピングなど) は、その誘電特性をさらに最適化することができます。

実際には、酸化タングステンの調製プロセスは、その性能にとって非常に重要です。例えば、ソルボサーマル法で合成された酸化タングステンナノロッドは、高い結晶化度と低い

欠陥密度により、電界効果トランジスタ中で優れたオン/オフ比(最大  $10^5$  以上)を示します。さらに、タングステン粉末の酸化によって生成される酸化タングステンの多孔質構造は、チャンネルの表面積を増加させ、電流応答をさらに改善することができます。

酸化タングステンの利点は、既存のプロセスとの互換性にも反映されています。例えば、薄膜はスパッタリングや蒸着によってシリコン基板上に成膜することができ、CMOS プロセスとシームレスに統合することができます。さらに、タングステンデータは、酸化タングステンが低温調製で優れた性能を保持することを示しており、タングステンプラスチックをベースにした曲げ可能なトランジスタなどのフレキシブルエレクトロニクスの分野での可能性を秘めています。

特定のケースでは、酸化タングステンは高性能薄膜トランジスタ (TFT) の開発に使用されてきました。例えば、タングステンフィラメント酸化に基づく酸化タングステン膜は、ディスプレイバックプレーンで高速応答と高い安定性を示します。さらに、タングステンニユーアスは、次世代のディスプレイ技術のために、完全透明 FET などの透明電子デバイスへの応用も増加していると報じました。

しかし、酸化タングステンは、電界効果トランジスタにおいて依然としていくつかの課題に直面しています。たとえば、本質的に導電率が低いと、抵抗損失が大きくなり、デバイスの効率に影響を与える可能性があります。これを行うために、研究者たちはタングステン銅または銀タングステンをドーピングすることによって導電率を改善しようとしてきました。さらに、界面の欠陥は閾値電圧ドリフトを誘発する可能性があり、表面の不動態化またはタングステン酸カルシウムとの配合によって改善する必要があります。性能の最適化という点では、酸化タングステンのナノ構造設計が鍵となります。例えば、タングステン針の基板上に成長した酸化タングステンナノアレイは、その高いアスペクト比により電場を操作する能力を大幅に向上させることができます。さらに、タングステン技術の進歩により、5G 通信用の RF FET などの高周波デバイスでの使用が促進されています。

電界効果トランジスタへの酸化タングステンの適用も環境に優しいです。希少元素を含む材料と比較して、その原材料は豊富(鉄マンガン重石など)であり、製造プロセスはより環境に優しいです。さらに、タングステンに対する需要の高まりにより、研究者はパラタングステン酸アンモニウムを使用した酸化タングステン膜の直接合成など、低コストの調製方法を模索するようになりました。将来的には、デバイスの小型化と集積化の改善に伴い、電界効果トランジスタにおける酸化タングステンの役割がより顕著になるでしょう。高性能、低消費電力の電子デバイスにおけるその可能性は、電子情報の分野で新たな開発の機会をもたらします。

#### 9.4.2 メモリデバイスにおける酸化タングステンの応用

メモリデバイスは、電子情報の分野では、フラッシュメモリなどの不揮発性メモリと抵抗メモリなどの新しいメモリ技術の両方を含む、電子情報分野の中核をなすものです。酸化

タングステンは、その抵抗スイッチング特性、高速応答、および高い安定性により、メモリデバイスでの重要な応用の可能性を秘めています。そのユニークな物理化学的特性により、次世代の高密度ストレージ技術の候補材料となっています。

メモリデバイスでは、酸化タングステン（ $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ）は主に抵抗性ランダムアクセスメモリ（RRAM）に使用されています。RRAM は、材料の抵抗状態に基づいて高抵抗状態と低抵抗状態を切り替え、データの保存を可能にします。酸化タングステンの抵抗スイッチングメカニズムは、酸素空孔の移動と導電性フィラメントの形成によるものです。例えば、印加電界下では、酸素イオンが酸化タングステンの薄膜内を移動し、「書き込み」操作を可能にする導電路を形成します。結果は、タングステン酸前駆体によって調製された酸化タングステンが安定したスイッチング比（最大  $10^3$  以上）を有することを示しています。

酸化タングステンのナノ構造は、その貯蔵性能を大幅に向上させます。例えば、電気化学堆積法によって生成される酸化タングステンナノ粒子は、その高い表面積および欠陥密度のために酸素空孔の濃度を増加させることができ、それによってスイッチング速度および耐久性を向上させることができる。さらに、タングステンの研究により、酸化タングステンの多孔質膜は RRAM で低い動作電圧（ $<1\text{V}$ ）を示すことが示されており、低電力アプリケーションに適しています。

実用化では、酸化タングステンの調製プロセスは、その特性に大きな影響を与えます。例えば、マグネトロンスパッタリングによりタングステン金属電極上に堆積した酸化タングステン膜は、高い均一性と低い欠陥率を有し、それらの貯蔵窓を数千サイクル維持することができる。さらに、タングステンが開発した複合技術（例えば、フェロタングステンとの組み合わせ）は、導電性フィラメントの安定性を高めることができます。

メモリデバイスにおける酸化タングステンの利点には、その高温安定性も含まれます。たとえば、タングステン粒子基板に基づく酸化タングステン貯蔵ユニットは、 $200^\circ\text{C}$  で動作でき、過酷な環境に適しています。さらに、タングステンデータは、従来のフラッシュメモリよりも消去速度が速く（ $<10\text{ns}$ ）、ストレージ密度が高いことを示しています。

特定のケースでは、酸化タングステンを使用して高密度 RRAM アレイが開発されています。例えば、タングステンヒーターアシストアニールにより作製した酸化タングステン膜は、クロスアレイ構造において優れた耐干渉性を示します。さらに、Tungsten News は、人工知能チップ用のアナログシナプスデバイスなど、ニューロモルフィックコンピューティングの可能性が浮かび上がっていると報告しています。

しかし、酸化タングステンはメモリデバイスで依然として課題に直面しています。たとえば、抵抗スイッチングのランダム性は、データストレージの不整合につながる可能性があります。これを行うために、研究者たちは、タングステンセシウムをドーピングするか、タングステン酸緩衝層を導入することにより、性能を最適化しようとしました。さらに、長期のサイクリング後に疲労が発生する可能性があり、これは界面エンジニアリング（例

例えば、タングステン金との組み合わせ）によって改善する必要があります。

性能の最適化という点では、酸化タングステンの多層構造設計が鍵となります。例えば、ALD によって調製された酸化タングステン/二硫化タングステンヘテロ接合は、スイッチングの一貫性を大幅に向上させることができます。さらに、タングステン技術の進歩により、超高密度ストレージ用の垂直 RRAM などの 3 次元ストレージでの使用が推進されています。

メモリデバイスへの酸化タングステンの適用には、経済的な利点もあります。その原材料源は豊富（シェーライトなど）であり、製造コストは制御可能です。さらに、タングステンに対する需要の高まりにより、研究者はメタタングステン酸アンモニウムを用いた酸化タングステン貯蔵層の直接合成など、工業的な調製方法を探索するようになりました。

## 9.5 機械製造の分野における酸化タングステンの応用

酸化タングステン ( $WO_3$ ) は、優れた特性を持つ材料であり、機械工学の分野で独自の価値を示しています。その高い硬度、高温耐性、化学的安定性により、工具コーティングや耐摩耗性部品に最適です。現代の製造業で高効率で長寿命のツールに対する需要が高まるにつれて、酸化タングステンの使用は徐々に拡大しており、被削性と機器の耐久性を向上させるための重要なサポートを提供しています。

機械工学では、酸化タングステンの適用は主にその物理化学的性質に依存します。遷移金属酸化物として、その結晶構造により、高い機械的強度と耐食性が得られます。さらに、タングステンの研究は、酸化タングステンの特性は、ドーピングまたはコンパウンド技術を通じて要求の厳しい産業環境のニーズを満たすためにさらに最適化することができることを示しています。コーティング材料として、または機能性添加剤として、酸化タングstenは、機械部品の耐久性と加工効率を大幅に向上させることができます。

実用化では、酸化タングステンの調製プロセスは、その特性に大きな影響を与えます。例えば、溶射や化学蒸着 (CVD) によって製造された酸化タングステンコーティングは、高い接着性と均質性を備えているため、高速切断やヘビーデューティな条件に適しています。さらに、タングステン技術の進歩は精密製造での使用につながり、タングステン価格の変動により、研究者はパラタングステン酸アンモニウムを使用した酸化タングステンの直接調製など、より経済的な合成方法を開発するようになりました。

### 9.5.1 工具コーティングへの酸化タングステンの応用

工具コーティングは、切削性能を向上させ、工具寿命を延ばすための機械製造における重要な技術であり、酸化タングstenは、その高い硬度、耐摩耗性、および熱安定性により、この分野で大きな利点があります。工具とワークピースの間の摩擦を効果的に低減し、切削温度を下げ、加工効率と表面品質を向上させることができます。

#### 著作権および法的責任に関する声明

工具コーティングでは、酸化タングステンは通常、超硬または高速度鋼の基材に薄膜として塗布されます。その高い硬度（モース硬度で9に近い）により、切断中の摩耗や変形に耐性があります。例えば、物理蒸着（PVD）によってタングステン金属工具に堆積された酸化タングステンコーティングは、表面硬度が2000〜2500 HVで、コーティングされていない工具よりもはるかに高くなっています。さらに、タングステンの知識研究は、酸化タングステンの低摩擦係数（約0.4-0.6）が切削抵抗を大幅に低減し、工具寿命を延ばすことができることを示しています。

酸化タングステンの高温耐性は、工具コーティングのもう一つの利点です。高速切削では、工具の表面温度は800°C以上に達することがありますが、酸化タングステンの融点は1473°Cと高く、高温で構造安定性を維持できます。例えば、タングステン粉末の酸化によって製造される酸化タングステンコーティングは、チタン合金またはステンレス鋼を加工する際の熱疲労および酸化摩耗に抵抗するのに効果的です。

実際には、酸化タングステンは、性能を最適化するために他の材料と配合されることがよくあります。例えば、タングステン銅またはフェロタングステンの複合コーティングは、酸化タングステンの高い硬度を保持するだけでなく、熱伝導率を向上させ、切断ゾーンでの熱蓄積を減少させます。さらに、タングステンが開発したドーピング技術（モリブデンなど）は、コーティングの靱性をさらに高め、脆性破壊を防ぐことができます。

酸化タングステンコーティングの調製プロセスは、その性能にとって重要です。例えば、マグネトロンスパッタリングで作製した酸化タングステン膜は、小型化・均一性が高く、厚さを1μmから5μmまで精密に制御できるため、精密加工に適しています。また、タングステンフィラメントの酸化によって生成される酸化タングステンコーティングは、旋削加工やフライス加工時に優れた付着防止特性を示し、被削材の付着を低減します。

特定のケースでは、酸化タングステンコーティング工具は、航空宇宙および自動車製造で広く使用されています。例えば、アルミニウム合金を加工する場合、タングステンニードル基板をベースにした酸化タングステンコーティング工具は、表面粗さを20%以上低減することができます。さらに、タングステンニュースは、グリーン製造の傾向に沿って、クライアントへの依存を減らし、高速ドライカットでのその応用が出現していると報告しました。

しかし、酸化タングステンコーティングにはいくつかの課題もあります。たとえば、もろく、重切削時に剥がれる可能性があります。この目的のために、研究者たちは銀タングステンをドーピングするか、タングステンプラスチック緩衝層を導入することにより、靱性を向上させようとしていました。さらに、基板への接着性をさらに最適化する必要があり、溶射またはイオンビームアシスト堆積により、接着性を効果的に向上させることができま

#### 著作権および法的責任に関する声明

す。

性能の最適化という点では、酸化タングステンの多層構造設計が鍵となります。例えば、酸化タングステン/二硫化タングステン複合コーティングは、高硬度と自己潤滑性を兼ね備えており、工具寿命を大幅に延ばします。また、タングステンのデータによると、セラミックスなどの超硬材料の加工に優れており、ハイエンド製造での使用を促進しています。

工具コーティングに酸化タングステンを使用することも、経済的な利点を提供します。その原料は豊富（鉄マンガ重石など）で、製造コストは抑えることができます。タングステン市場の需要の増加に伴い、機械製造における酸化タングステンコーティング工具の位置はさらに強化され、効率的な加工を確実にサポートします。

### 9.5.2 耐摩耗性部品への酸化タングステンの応用

耐摩耗性部品は、ベアリング、ギア、シールなど、高い摩擦と摩耗にさらされる機械製造の主要部品です。酸化タングステンは、その高い硬度、耐食性、耐疲労性により、耐摩耗性部品に重要な応用の可能性を秘めています。コンポーネントの寿命を大幅に延ばし、メンテナンスコストを削減し、重機や過酷な条件に適しています。

耐摩耗性部品では、酸化タングステンはコーティングまたは複合材料の形でよく使用されます。その高い硬度と低摩擦特性により、アブレイブ摩耗や凝着摩耗に耐性があります。例えば、タングステン金属基板上にプラズマ溶射することによって作成される酸化タングステンコーティングは、従来の鋼よりも3〜5倍の耐摩耗性があります。また、タングステンの学術研究は、酸化タングステンの結晶構造が高応力下で安定なままで、表面の剥離を防ぐことができることを示しています。

酸化タングステンの耐食性は、耐摩耗性部品のもう一つの大きな利点です。湿気の多い環境や酸性の環境では、酸化や化学的攻撃に対する耐性は、多くの金属材料よりも優れています。例えば、タングステン粒子の酸化によって製造された酸化タングステンコーティングは、オフショア機器で良好に機能し、塩水噴霧腐食に抵抗するのに効果的です。また、タングステンヒーターの補助を受けたタングステンヒーターでアニールされた酸化タングステンは密度が高く、耐食性がさらに向上します。

実際には、酸化タングステンは、性能を最適化するために他の材料と配合されることがよくあります。例えば、タングステン酸カルシウムとの複合コーティングは、耐摩耗性部品で優れた耐衝撃性を示し、掘削機の歯に適しています。また、タングステンによって開発された酸化タングステン/球状タングステン粉末混合物は、高密度と均一性を有する粉末冶金によって調製され、ヘビーデューティベアリングに適しています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

酸化タングステンの調製プロセスは、その耐摩耗性に大きな影響を与えます。例えば、レーザークラディングによって生成された酸化タングステンコーティングは、500MPa を超える接着強度で基板に冶金学的結合を形成します。さらに、タングステンパテと酸化タングステンの混合物を焼結して、ミル内での使用に適した耐摩耗性ライナーを作ることができます。

特定のケースでは、酸化タングステンは建設機械の耐久性を向上させるために使用されています。例えば、タングステン金基板をベースにした酸化タングステンコーティングは、鉱山機械のギアの寿命を 50%以上延ばします。さらに、タングステンニュースは、タービンブレードなどの高温耐摩耗性部品での使用が、航空宇宙産業のニーズを満たすために増加していると報告しています。

しかし、酸化タングステンは、耐摩耗性部品にも課題があります。たとえば、その脆性は、大きな衝撃で亀裂を引き起こす可能性があります。これを行うために、研究者たちはタングステン酸をドーピングするか、タングステンゴム緩衝層を導入することにより、靱性を向上させようとしてきました。さらに、その処理コストは高く、大規模なアプリケーションを達成するためには準備プロセスを最適化する必要があります。

性能の最適化に関しては、酸化タングステンの微細構造設計が鍵となります。例えば、酸化タングステン/タングステン酸ナトリウム複合コーティングは、熱処理されて勾配構造を形成し、耐疲労性が大幅に向上します。さらに、タングステンのデータは、潤滑条件下での耐摩耗性が多くのセラミック材料よりも優れていることを示しており、摺動部品での使用を促進しています。

耐摩耗性部品への酸化タングステンの適用も環境にやさしいです。その原材料は豊富（スケライトなど）であり、製造プロセスは制御可能です。タングステン市場の拡大に伴い、酸化タングステンは機械製造における地位をさらに高め、耐久性の高い部品に信頼性の高いソリューションを提供します。

## 9.6 生物医学的応用における酸化タングステン

多機能材料として、酸化タングステン ( $WO_3$ ) は、生物医学分野でますます重要な応用の可能性を示しています。高い生体適合性、光学応答性、電気化学的活性など、そのユニークな物理化学的特性は、バイオセンサー、光療法、その他の医療技術において大きな利点をもたらします。生物医学における高感度で低侵襲的な材料に対する需要が高まる中、酸化タングステンの研究と応用は急速に拡大しています。

生物医学では、酸化タングステンの半導体特性がその中核的な強みです。そのバンドギャップ (約 2.6~3.0 eV) により、可視光を吸収して光電反応に参加することができ、ナノ粒子や薄膜などのナノ構造は、その表面積と反応性を大幅に増加させます。さらに、タング

ステンの研究は、酸化タングステン表面が生体適合性を高めるために官能基化できることを示しており、in vitro および in vivo のアプリケーションに適しています。

実用化では、酸化タングステンの調製プロセスは、その特性に大きな影響を与えます。例えば、水熱法またはソルボサーマル法で合成された酸化タングステンナノ材料は、その高純度および制御可能な形態により、生物医学的ニーズに適している。さらに、タングステン技術の進歩はウェアラブル医療機器での探求を推進しており、タングステンの価格の変動により、研究者はパラタングステン酸アンモニウムを使用した酸化タングステンの直接調製など、低コストの合成方法を開発するようになりました。

#### 9.6.1 バイオセンサーにおける酸化タングステンの応用

バイオセンサーは、バイオマーカーの検出、疾患状態のモニタリング、個別化医療のサポートなど、バイオメディカル分野で重要なツールです。酸化タングstenは、その高い感度、高速応答、電気化学的安定性により、バイオセンサーの高感度材料として優れた性能を発揮しています。グルコース、酵素、DNA など、さまざまな生体分子を効果的に検出することができ、疾患の診断や健康管理を確実にサポートします。

バイオセンサーでは、酸化タングステンの役割は主にその電気化学的および光電子の特性に基づいています。n 型半導体であるこの半導体は、目的の分析対象物と接触すると表面で電荷移動が起こり、導電率や光信号が変化します。例えば、タングステン金属電極への電気化学堆積によって生成された酸化タングステンナノフィルムは、 $\mu\text{M}$  レベルまで検出限界を有することができます。さらに、タングステンの知識研究は、酸化タングステンのナノワイヤ構造が、その高い表面積と高速な電子輸送能力により、センサーの感度を大幅に向上させることができることを示しています。

酸化タングステンの多孔質構造は、バイオセンサーにおけるその主要な利点です。例えば、ソルボサーマル法で合成された酸化タングステンナノ粒子は、酵素分子(グルコースオキシダーゼなど)を効果的に吸着して高選択的に検出できる活性部位を豊富に有しています。また、タングステン粉末の酸化により生成される酸化タングステン多孔質膜は、酸化還元反応が速いため、 $\text{H}_2\text{O}_2$  の検出時に優れた応答速度を示します。

実際には、酸化タングstenは、性能を最適化するために他の材料と配合されることがよくあります。例えば、タングステン銅で形成された複合電極は、酸化タングステンの高感度を保持するだけでなく、電気伝導率を向上させるため、リアルタイムの監視に適しています。さらに、タングステンが開発したドーピング技術(例えば、銀タングステンドーピング)は、その干渉防止能力をさらに強化し、複雑な生物学的マトリックスにおける偽陽性シグナルを減らすことができます。

酸化タングステンバイオセンサーの調製プロセスは、その性能にとって重要です。例えば、タングステンフィラメント基板上に溶射して作製した酸化タングステン膜は、高い均一性

と安定性を有し、その検出範囲は nM から mM までの生体分子濃度をカバーすることができます。さらに、タングステンデータは、酸化タングステンが酸性または中性の環境で活性を維持し、血液または体液の分析に適していることを示しています。

特定のケースでは、酸化タングステンは携帯型グルコースセンサーの開発に使用されています。例えば、タングステン針電極をベースにした酸化タングステンセンサーは、糖尿病モニタリングにおいて高速応答(<5 秒)と高い再現性を示します。さらに、Tungsten News は、CEA などのがん細胞マーカーの検出におけるその可能性が浮上しており、早期診断の新たな道を提供していると報告しました。

しかし、酸化タングステンはバイオセンサーの課題にも直面しています。例えば、時間の経過とともに表面が生物付着し、検査の精度に影響を与える可能性があります。この目的のために、研究者たちは、表面改質(PEG 化など)またはタングステンプラスチックとのコンパウンドによる汚染に対する耐性を改善しようと試みました。さらに、その選択性は複雑な生物学的環境では不十分である可能性があり、タングステン酸カルシウムをドーピングするか、またはヘテロ接合を構築することによって最適化する必要があります。

性能の最適化という点では、酸化タングステンのナノ構造設計が鍵となります。例えば、酸化タングステン/二硫化タングステン複合ナノアレイは、その高い比表面積と相乗効果により、検出限界と応答速度を大幅に向上させることができます。さらに、タングステンの需要の増加は、鉄マンガングン重石原料に基づく低コストのデバイスなどのウェアラブルセンサーでの使用を推進しています。

バイオセンサーへの酸化タングステンの適用には、バイオセーフティの利点もあります。その低い毒性と分解性により、埋め込み型モニタリングデバイスなどの in vivo での使用に適しています。生物医学技術の進歩に伴い、酸化タングステンは精密医療と健康モニタリングにおいてより大きな役割を果たすでしょう。

### 9.6.2 光熱療法における酸化タングステンの応用

光熱療法(PTT)は、光熱効果を利用してがん細胞を殺傷する非侵襲的療法であり、酸化タングステンは、その優れた光熱変換効率と近赤外線(NIR)吸収能力により、この分野で重要な応用の可能性を秘めています。光にさらされると光エネルギーを熱エネルギーに変換し、局所的な高温を達成して腫瘍を殺すことができ、がん治療の効率的なオプションを提供します。

光温熱療法では、酸化タングステンの光熱特性は、その強力な NIR 吸収特性(700-1100 nm)によるものです。例えば、水熱法によって合成された酸化タングステンナノ粒子は、808nm のレーザー照射下で 40-50%の光熱変換効率を達成することができ、これは従来の金ナノ材料のそれよりもはるかに高い。さらに、タングステンの学術研究は、酸化タングステン

#### 著作権および法的責任に関する声明

の酸素欠陥が、その局所表面プラズモン共鳴 (LSPR) 効果を増強し、光熱性能をさらに向上させることができることを示しています。

酸化タングステンのナノ構造は、光熱療法におけるその主要な利点です。例えば、タングステン粒子の酸化によって製造された酸化タングステンナノロッドは、その高いアスペクト比と表面活性により、腫瘍細胞のアポトーシスを誘導するのに十分な 50~60° C まで急速に上昇する可能性があります。さらに、タングステン酸前駆体によって調製された酸化タングステンナノシートは、in vivo で良好な分散性と光熱安定性を示しました。

実際には、酸化タングステンは生体適合性を最適化するために表面改質されることがよくあります。例えば、ポリエチレングリコール (PEG) またはタングステングムでコーティングされた酸化タングステンナノ粒子は、迅速に除去することなく、長期間にわたって血液中を循環することができます。さらに、タングステンヒーターの助けを借りて合成された酸化タングステンは、光熱効率をさらに向上させる、より高い結晶化度を有する。

光熱療法における酸化タングステンの利点には、その汎用性も含まれます。例えば、セシウムとタングステンをドーピングして形成した酸化タングステンナノ複合材料は、優れた光熱特性を持つだけでなく、CT イメージングの造影剤としても使用でき、診断と治療の一体化を実現します。さらに、タングステン製品の研究では、放射線遮蔽材料との組み合わせが放射線治療の効果を高めるために使用できることが示されています。

特定のケースでは、酸化タングステンはマウスモデルでの光熱療法実験に使用されています。例えば、球状タングステン粉末に基づく酸化タングステンナノ粒子は、NIR 照射下で腫瘍部位の温度を 55° C に上昇させることができ、腫瘍の成長を大幅に阻害することができます。

しかし、酸化タングステンは光熱療法においても課題に直面しています。例えば、深部組織への光の透過性は限られており、光ファイバー技術や高波長レーザーの組み合わせが必要です。さらに、その長期的な in vivo 代謝経路は完全には理解されておらず、さらなるバイオセーフティを評価する必要があります。これを行うために、研究者たちはタングステン酸をドーピングするか、タングステン金と配合することにより、その特性を最適化しようとしています。

性能の最適化に関しては、酸化タングステンのトポグラフィー制御が重要です。例えば、酸化タングステンナノフローラル構造は、その多孔性と高い吸収性により、光熱変換効率を大幅に向上させることができます。さらに、タングステン市場の需要の成長は、灰重石原料に基づく低コストのナノ材料などの光熱療法デバイスでの商業化を推進しています。

光熱療法における酸化タングステンの適用も相乗的な可能性を秘めています。例えば、化学療法薬 (ドキソルビシンなど) と併用することで、その光熱効果により薬物放出効率を高

#### 著作権および法的責任に関する声明

め、熱化学療法併用療法を実現することができます。ナノメディシンの発展により、酸化タングステンは癌の精密治療において重要な位置を占めるでしょう。

## 9.7 光学ディスプレイの分野における酸化タングステンの応用

酸化タングステン ( $WO_3$ ) は、その優れた光学特性とエレクトロクロミック特性により、光学ディスプレイの分野で幅広い応用の可能性を示しています。調整可能な光透過率、高い光学コントラスト、高速応答能力など、その独自の物理化学的特性により、ディスプレイ、スマートウィンドウ、およびその他の光学デバイスの重要な材料となっています。高精細、低消費電力、インテリジェンスの方向へのディスプレイ技術の発展に伴い、酸化タングステンの役割はますます重要になっています。

光学ディスプレイの分野では、酸化タングステン コア強度はそのエレクトロクロミック特性です。電界を印加することにより、その色を透明と濃い青の間で可逆的に切り替えることができ、これはイオンインターカレーションと電子移動プロセスに由来する特性です。さらに、タングステンの研究は、ナノフィルムやナノ粒子などの酸化タングステンナノ構造が、光学応答速度と安定性を大幅に向上させ、現代のディスプレイデバイスの高い要件を満たすことができることを示しています。

実用化では、酸化タングステンの調製プロセスは、その特性に大きな影響を与えます。例えば、スパッタリング法や CVD (化学気相成長法) 法で作製した酸化タングステン膜は、均一性や光透過性が高いため、大面積ディスプレイデバイスに適しています。さらに、タングステン技術の進歩は、フレキシブルディスプレイでのその探求を促進しており、タングステンの変動価格は、研究者がパラタングステン酸アンモニウムを使用して酸化タングステンの直接調製などの低コストの合成方法を開発するように促しています。

### 9.7.1 ディスプレイへの酸化タングステンの応用

ディスプレイは、液晶ディスプレイ (LCD)、有機発光ダイオードディスプレイ (OLED)、新しいエレクトロクロミックディスプレイなど、光学ディスプレイの分野における主要なアプリケーションです。酸化タングstenは、そのエレクトロクロミック特性と高い光学コントラストにより、ディスプレイの調光層またはピクセル材料として価値があります。ダイナミックな色調整とエネルギー節約を可能にし、次世代のディスプレイ技術に革新的なソリューションを提供します。

ディスプレイでは、酸化タングステンのエレクトロクロミックメカニズムは、可逆的なイオンインターカレーション反応に基づいています。例えば、 $Li^+$  または  $H^+$  が埋め込まれている場合、反応は  $WO_3 + xM^+ + xe^- \rightleftharpoons M_xWO_3$  ( $M$  は  $Li$  または  $H$ ) となります。このプロセスにより、光透過率が 80% 以上から 10% 未満に減少し、非常に高い光学コントラストが得られます。例えば、タングステン金属基板上に電気化学堆積して作製した酸化タングステン膜は、色の变化応答時間がミリ秒と短いため、高速ディスプレイに適しています。さらに、

#### 著作権および法的責任に関する声明

タングステンの知識研究は、酸化タングステンの多孔質構造がイオン拡散を加速し、スイッチング効率をさらに向上させることができることを示しています。

ディスプレイに酸化タングステンを使用することは、その広いスペクトル応答性からも恩恵を受けます。バンドギャップ (2.6–3.0 eV) により、可視範囲では良好な透明性が得られますが、挿入後は暗く見えるため、調光やプライバシー保護に適しています。例えば、タングステン粉末の酸化によって製造された酸化タングステンナノフィルムは、スマートディスプレイの明るさを動的に調整し、まぶしさを低減し、視覚的な快適性を向上させることができます。

実際には、酸化タングステンは、性能を最適化するために他の材料と配合されることがよくあります。例えば、タングステン銅で形成された複合フィルムは、酸化タングステンの高いコントラストを保持するだけでなく、電気伝導率を向上させ、大面積ディスプレイに適しています。さらに、タングステンが開発したドーピング技術(モリブデンドーピングなど)は、色の变化範囲を調整し、青色から緑色または灰色などの表示色の多様性を増やすことができます。

酸化タングステンディスプレイの調製プロセスは、その性能にとって重要です。例えば、マグネトロンスパッタリングによりタングステンフィラメント基板上に成膜した酸化タングステン膜は、高い接着性と均一性を有し、その厚さを 50–200nm の間で精密に制御できるため、高解像度ディスプレイに適しています。さらに、タングステンデータは、酸化タングステンが低温調製条件下でその光学特性を保持することを示しており、タングステンプラスチックをベースにした曲げ可能なスクリーンなどのフレキシブルディスプレイに可能性があります。

特定のケースでは、酸化タングステンはエレクトロクロミックディスプレイの開発に使用されています。例えば、タングステンニードル基板をベースにした酸化タングステンコーティングは、電子ペーパーにおいて優れた画素スイッチング速度と低消費電力を示します。さらに、Tungsten News は、ホログラフィックディスプレイや拡張現実 (AR) デバイスなどの透明ディスプレイでの使用が増加していると報告しています。

しかし、酸化タングステンはディスプレイにも課題をもたらします。例えば、その色が変化するサイクル寿命は、イオンインターカレーション疲労によって短縮され、安定性はタングステン酸カルシウムをドーピングするか、タングステン酸ナトリウム溶液などの電解質を最適化することによって改善することができます。さらに、その初期の透明性は、一部のアプリケーションでは不十分な場合があり、表面改質または銀タングステンとの配合によって改善する必要があります。

性能の最適化という点では、酸化タングステンのナノ構造設計が鍵となります。例えば、酸化タングステンナノアレイは、その高い表面積と高速なイオン輸送能力により、ディスプレイのリフレッシュレートを大幅に向上させることができます。さらに、タングステン

#### 著作権および法的責任に関する声明

の需要の高まりは、鉄マンガ重石原料からの低コストの薄膜の調製など、フレキシブル OLED バックシートでの使用を推進しています。

ディスプレイへの酸化タングステンの適用には、省エネの利点もあります。その動的調光機能により、バックライトのエネルギー消費が削減され、デバイスの寿命が延びます。インテリジェンスと柔軟性へのディスプレイ技術の発展に伴い、酸化タングステンは光学ディスプレイの分野でより大きな役割を果たすでしょう。

## 9.8 触媒担体における酸化タングステンの応用

酸化タングステン は、触媒担体の分野で重要な応用価値を有しており、その高い表面積、化学的安定性および酸性部位は、担持触媒のための優れた支持材料となっている。化学、エネルギー、環境分野では、酸化タングステンは、触媒効率を向上させるための活性成分をサポートすることにより、幅広い反応に信頼性の高いプラットフォームを提供します。

触媒担体の中で、酸化タングステンの多孔質構造と表面活性がその中核的な利点です。その比表面積は  $50 \sim 200 \text{ m}^2 / \text{g}$  に達する可能性があり、金属または酸化物の活性相を効果的に分散させ、触媒の活性と選択性を高めることができます。さらに、タングステン研究は、ルイス酸やブレンステッド酸などの酸化タングステンの酸性部位が、アルキル化や異性化などのさまざまな酸触媒反応を促進することができることを示しています。

実用化では、酸化タングステンの調製プロセスは、その特性に大きな影響を与えます。例えば、メタタングステン酸アンモニウムのソルボサーマルまたは熱分解によって生成される酸化タングステンは、高い気孔率と熱安定性を有し、高温触媒環境に適しています。さらに、タングステン製品の研究は、石油精製や廃ガス処理などの工業触媒への応用につながっています。

### 9.8.1 担持触媒への酸化タングステンの応用

酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) は、その優れた物理的および化学的特性により、担持触媒の分野で重要な応用価値を持っています。多機能キャリア材料として、酸化タングステンは、その高い表面積、化学的安定性および表面酸性サイトにより、活性成分を効果的に支持し、触媒の活性、選択性および安定性を改善することができる。化学品製造、エネルギー変換、環境ガバナンスにおけるさまざまな触媒反応に広く使用されており、工業プロセスを効率的にサポートします。

支持された触媒の中で、酸化タングステンの主な利点は、その多孔質構造と高い分散能力です。その比表面積は通常  $50 \sim 200 \text{ m}^2 / \text{g}$  であり、貴金属や遷移金属酸化物などの活性成分に十分な付着部位を提供し、凝集を防ぎ、利用率を高めます。さらに、タングステン研

#### 著作権および法的責任に関する声明

究は、酸化タングステンのルイス酸およびブレンステッド酸部位が活性と相乗的に作用し、アルキル化、異性化および脱水などの酸触媒反応を促進することができることを示している。この特性により、石油化学および有機合成で非常に人気があります。

酸化タングステンの熱安定性は、支持触媒のもう一つのハイライトです。その構造は高温（最大 600-700° C）で無傷のままであり、過酷な触媒条件に適しています。例えば、メタタングステン酸アンモニウムの熱分解によって調製された酸化タングステン担体は、高温水素化反応において優れた焼結抵抗を示します。さらに、タングステン技術の進歩により、ナノロッドやナノシート構造などのトポグラフィー制御が推進され、触媒特性がさらに向上しています。

実際の用途では、酸化タングステンは、含浸、共沈、またはソルボサーマル法によって活性成分と組み合わされることがよくあります。例えば、酸化タングステン上に Pt または Pd を充填した触媒は、水素化脱硫 (HDS) 反応において高い変換率と硫黄中毒に対する耐性を示します。これは、酸化タングステンと金属 (SMSI) との間の強い相互作用によるもので、活性部位を安定させ、触媒の寿命を延ばします。また、タングステン粉末の酸化によって生成される酸化タングステン担体は、気相触媒反応に適した高い多孔性により、気体分子の拡散効率を大幅に向上させることができます。

特定のケースでは、酸化タングステン担持触媒は石油精製に広く使用されています。例えば、Ni/酸化タングステン触媒は、炭化水素分解において、90%以上の転化率で重油を軽質留分に変換することができます。さらに、タングステンデータは、酸化タングステンとフェロウォルフラムによって調製された支持体が、その表面酸性による炭素沈着の抑制によるメタン乾燥改質における炭素沈着に対して優れた耐性を示すことを示しています。

酸化タングステンは、環境触媒作用においても重要な用途があります。例えば、Pd/酸化タングステン触媒は、揮発性有機化合物 (VOC) の酸化において、トルエンを CO<sub>2</sub> および H<sub>2</sub>O に完全に変換することができ、95%以上の変換率で行うことができます。タングステンフィラメント基板上に生成された酸化タングステン担体の高均質性は、スプレーによって活性成分の均一な分布を保証します。また、タングステンニュースでは、タングステン銅と配合して低温活性を向上させるなど、NO<sub>x</sub> の選択的触媒還元 (SCR) の可能性が浮上していると報じています。

しかし、担体としての酸化タングステンにはいくつかの課題もあります。例えば、表面が過度に酸性になると、選択性を低下させる副反応が引き起こされる可能性があります。これを行うために、研究者たちはセシウム、タングステン、またはアルカリ金属をドーピングすることにより、酸性部位の強度と分布を調整しようとしました。また、その比表面積は長期の高温で減少する可能性があり、二硫化タングステンとの配合や焼成条件の最適化により細孔構造を維持する必要があります。

性能の最適化という点では、酸化タングステンの微視的なトポグラフィー設計が重要で

#### 著作権および法的責任に関する声明

す。例えば、テンプレート法で調製した酸化タングステンナノチューブは、その高い多孔性と指向性チャネルにより、活性成分の分散とアクセス性を大幅に向上させることができます。また、タングステン社が開発した酸化タングステン/タングステン酸複合キャリアは、ホットプレス法で調製されており、高い機械的強度を持ち、固定床反応器に適しています。

酸化タングステン担持触媒の調製プロセスは、その性能に大きな影響を与えます。例えば、タングステンヒーターによって焼成された酸化タングステン担体の結晶化度および多孔性は、高温および高圧での触媒の安定性を確保するために正確に制御することができます。また、タングステン粒子の酸化によって生成される酸化タングステンは、有機汚染物質の分解のために  $\text{TiO}_2$  をサポートするなど、光触媒の分野でも応用されており、その相乗効果により光触媒効率が大幅に向上します。

グリーンケミストリーの分野では、酸化タングステン担持触媒が持続可能な開発の可能性を示しています。例えば、Cu/酸化タングステン触媒は、メタノールへの  $\text{CO}_2$  水素化において高い選択性 (>80%) を示し、炭素の回収と利用のための新しいアプローチを提供します。

酸化タングステンは、豊富な原材料と制御可能な製造コストを備えており、その大規模な用途の基礎を築いています。さらに、タングステン市場の需要の高まりにより、研究者は効率的な酸化反応のために、酸化タングステンと金の組み合わせなどの新しい複合担体を探求するようになりました。

実際の工業化では、酸化タングステン担持触媒の耐久性が鍵となります。タングステンプラスチックをバインダーとして調製した酸化タングステンキャリアは、長期運転で優れた耐摩耗性を示します。さらに、タングステン酸前駆体から調製された酸化タングステンは、低温合成プロセスを通じて、より活性な部位を保持し、触媒効率を向上させることができます。

担持触媒への酸化タングステンの適用も環境に優しいです。この製造プロセスは、従来の毒性の高い担体の使用を避け、グリーンケミストリーの原則に沿っています。触媒技術の継続的な進歩により、酸化タングステンは化学工業、エネルギー、環境保護の分野でより大きな役割を果たし、効率的な触媒作用のための多様な選択肢を提供します。

## 9.9 耐火布地の分野での酸化タングステンの応用

酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) は、その優れた熱安定性と化学的不活性により、耐火性生地分野で独自の可能性を提供します。遷移金属酸化物として、酸化タングステンは、高温で構造的完全性を維持し、その表面特性を通じて布地の難燃性を高めることができます。産業安全、日常生活、公共交通機関における耐火材料の需要が高まる中、酸化タングステンは機能性添加剤またはコーティング材料として徐々に注目を集めています。

### 著作権および法的責任に関する声明

耐火性生地では、酸化タングステンの役割は、主にその高い融点(1473° C)と耐酸化性に反映されており、火災条件下での生地の燃焼速度を遅くすることができます。さらに、タングステンは、その高い表面積と熱伝導率により、ナノ粒子の形で熱を分散し、火炎伝播を抑制するのに効果的であることが示されています。繊維基材と配合するか、コーティングとして使用するかにかかわらず、酸化タングステンは布地の耐火性能を向上させます。

実際の用途では、酸化タングステンの調製プロセスがその効果にとって重要です。例えば、ソルボサーマル合成により合成された酸化タングステンナノ粒子は布繊維中に均一に分散しており、CVD(化学気相成長法)により調製された薄膜は表面コーティングに適しています。さらに、タングステン技術の進歩により、フレキシブルファブリックへの応用が促進されていますが、タングステンの価格が変動しているため、研究者はパラタングステン酸アンモニウムを使用した直接調製など、低コストの合成経路を探索しています。

### 9.9.1 工業分野での酸化タングステン耐火布地の応用

耐火性生地の需要は、産業部門、特に石油化学、冶金、電力などのリスクの高い産業で特に深刻です。その高い耐熱性と難燃性により、酸化タングステン耐火性生地は、これらのシナリオで防護服、作業服、または機器カバーの材料として大きな利点を示します。火花や高温から作業者を保護するだけでなく、機器の寿命を延ばします。

産業用途では、酸化タングステンの熱安定性がその中核的な利点です。たとえば、製鉄所や溶接工場では、生地は最大 1000° C の瞬間的な温度にさらされる可能性があります。タングステン金属基板上の酸化によって生成される酸化タングステンコーティングの耐熱性は、布地の熱分解速度を大幅に低減することができます。さらに、タングステンの知識研究は、酸化タングステンナノ粒子が高温で緻密な酸化物層を形成し、酸素を効果的に分離し、燃焼を抑制することができることを示しています。

酸化タングステン耐火布の調製は、通常、それらをアラミドまたは綿などの繊維と配合することによって達成されます。例えば、酸化タングステンナノ粒子を繊維の表面に含浸させることによるタングステン粉末の酸化は、布地の制限酸素指数(LOI)を増加させ、業界標準(例えば、LOI>28%)を満たすかそれを超えることができます。さらに、タングステン社が開発したドープモリブデンなどの配合技術により、生地の耐熱衝撃性をさらに高めることができます。

特定のシナリオでは、酸化タングステン耐火布地は防護服に広く使用されています。例えば、石油掘削装置では、タングステンフィラメント酸化に基づく酸化タングステンコーティング布地は石油火災に耐えることができ、その熱伝導性は局所的な高温を迅速に分散させ、火傷を防ぐのに役立ちます。また、タングステンニュースは、アーク放電による火災を効果的に防ぐことができるケーブルラッピング材料として電力業界で使用されていると報じました。

#### 著作権および法的責任に関する声明

ただし、酸化タングステンには工業用耐火性生地にも制限があります。例えば、その重量は生地への負担を増やし、着心地に影響を与える可能性があります。これを行うために、研究者たちは軽量のタングステン銅を配合するか、ナノ粒子のサイズを最適化することにより、重量を減らそうとしました。また、その準備コストは高く、大規模生産によるコストダウンが必要です。

性能の最適化という点では、酸化タングステンの多層構造設計が鍵となります。例えば、タングステン針の基板上に成長した酸化タングステンナノコーティングは、その高い接着性のために、繰り返し高温にさらされた後も無傷のままです。さらに、タングステンのデータは、酸性または油性の環境で優れた安定性を持っていることを示しており、それが石油化学産業での使用を促進しています。酸化タングステン耐火性ファブリックは、産業用途でも持続可能性の利点があります。その原料は鉄マンガ重石から抽出でき、リサイクルの可能性が非常に高いです。タングステン市場の需要の増加に伴い、産業安全保護におけるその地位はさらに強化され、高リスクの運用に信頼性の高い保証を提供します。

### 9.9.2 日常生活における酸化タングステン耐火布地の応用

日常生活の分野では、耐火性生地の適用は家庭用繊維、衣類、装飾材料をカバーし、酸化タングステン 耐火性生地は、その難燃性と安全性から注目を集めています。それは効果的に家の中での火災のリスクを減らし、特にカーテン、カーペット、寝具などの可燃性物質の生活環境の安全率を向上させることができます。

日常的な用途では、酸化タングステンの難燃性メカニズムは、その熱遮蔽性と酸素隔離能力に基づいています。たとえば、火災の初期段階では、コーティングが生地の表面に保護層を形成し、炎の広がりを遅らせることができます。タングステン前駆体の LOI 値は、タングステン酸前駆体を酸化タングステンのナノコーティングに噴霧することにより、30%以上に増やすことができ、これは家庭用繊維の防火要件を満たすことができます。さらに、タングステンの学術研究は、そのナノ粒子が熱放射の一部を吸収し、布地の発火点を減らすことができることを示している。

酸化タングステン耐火性生地の調製は、快適さと機能性を考慮に入れる必要があります。例えば、酸化タングステンナノ粒子をゾルゲル法を用いて綿繊維に埋め込むことで、柔らかさと通気性を保持しながら難燃効果を付与します。また、タングステン粒子の酸化によって製造された酸化タングステンコーティングは、ホットプレスプロセスによってカーテン生地に接着することができ、耐久性が向上します。

特定のシナリオでは、酸化タングステン耐火布が家庭用品に使用されます。たとえば、タングステンヒータープロセスに基づく酸化タングステンコーティングカーペットは、タバコや火花が接触するとすぐに自己消火し、延焼を防ぐことができます。さらに、タングステン製品の研究では、子供のパジャマに使用すると、火傷のリスクを大幅に減らし、厳格なホームテキスタイルの安全基準を満たすことができることが示されています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

しかし、酸化タングステンは、日常の耐火性生地にも課題をもたらします。たとえば、その色（通常は黄色または青）は生地の美観に影響を与える可能性があり、タングステンプラスチックと配合する必要があります。また、頻繁な清掃に対応するためには、その洗浄性をさらに向上させる必要があります。研究者は表面のシラン化によってこの問題を改善しようとしています。

性能の最適化という点では、酸化タングステンの微細構造設計が重要です。例えば、酸化タングステンナノファイバーは、耐火性と柔らかさを兼ね備えたエレクトロスピニング技術によって綿織物と組み合わせられます。さらに、タングステンの需要の高まりは、経済的なコーティングを準備するための灰重石原料の使用など、低コストの家庭用テキスタイルでの使用を推進しています。

日常生活における酸化タングステン耐火性生地の適用は、環境保護の可能性も秘めています。その製造プロセスは、グリーンホームテキスタイルのトレンドに沿った従来のハロゲン難燃剤の毒性問題を回避できます。消費者の安全意識が高まるにつれ、酸化タングステンは日常の防火の分野で場所を占めるでしょう。

### 9.9.3 公共交通機関の分野での酸化タングステン耐火布地の応用

耐火性生地の需要は、飛行機、電車、自動車などの車両に室内装飾品や座席材が使用されている公共交通機関部門で特に厳しいものです。酸化タングステン耐火布は、その高い難燃性と耐久性により、この分野の安全材料として大きな可能性を示しています。火災のリスクを効果的に減らし、乗客の命を守ることができます。

公共交通機関の用途では、酸化タングステンの耐火性能は、高温での安定性にに基づいています。例えば、航空機のシート生地では、コーティングは短時間の炎にさらされると炭化層を形成し、延焼を防ぎます。噴霧法によりタングステン酸を酸化タングステンに変換するナノコーティングの LOI 値は、航空基準 (FAR 25.853 など) を満たす 35% 以上に達することができます。さらに、タングステンのデータは、高温の煙道ガス環境での毒性の放出が少ないため、安全性がさらに向上することを示しています。

酸化タングステン耐火性生地の調製は、軽量性と耐摩耗性を考慮する必要があります。例えば、球状のタングステン粉末基板上に蒸着して作製した酸化タングステン膜は、ポリエステル繊維に 10% 以下の重量で接着できるため、航空機の内装に適しています。さらに、フェロタングステンと酸化タングステンの複合コーティングは、ホットプレスプロセスによって調製され、耐摩耗性が高く、列車の座席に適しています。

特定のシナリオでは、酸化タングステン耐火布が車内に使用されます。たとえば、タングステンゴールド技術に基づく酸化タングステンコーティングカーテンは、高速鉄道の発火源に耐えることができ、その熱シールド効果によりキャビンの温度が大幅に低下します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

ただし、酸化タングステンには、公共交通機関の耐火性生地にも制限があります。例えば、その剛性は生地の柔らかさに影響を与える可能性があり、タングステングムと配合して改善する必要があります。さらに、極端な湿度下での性能安定性をさらに検証する必要があります。研究者たちはセシウムタングステンをドーピングすることで最適化を試みました。

性能の最適化という点では、酸化タングステンの多孔質構造設計が鍵となります。例えば、酸化タングステンナノグリッドは、軽量で難燃性が高いテンプレート法によって調製されます。さらに、タングステン市場の需要の成長は、低コストのコーティングのためのタングステン酸前駆体の使用など、航空宇宙分野での大規模なアプリケーションを推進しています。

公共交通機関での酸化タングステン耐火性生地の適用も規制適応性を持っています。国際的な防火基準(IMO FTPC など)に準拠し、世界の輸送部門での推進を推進しています。安全規制が厳しくなるにつれて、酸化タングステンは公共交通機関の安全性においてより大きな役割を果たすようになります。

## 9.10 農業用フィルムへの酸化タングステンの応用

多機能遷移金属酸化物として、酸化タングステン( $WO_3$ )は、農業用フィルム(農業用フィルムと呼ばれる)の調製や性能最適化など、その独自の物理的および化学的特性により、多くの分野で幅広い応用の可能性を示しています。現代農業の重要な材料として、農業用フィルムは主に温室マルチング、プラスチックフィルムマルチング、作物保護に使用され、その性能は作物の成長効率と収量に直接影響します。地球規模の気候変動の激化と資源不足に伴い、高性能で持続可能な農業用フィルムの開発が農業技術研究の焦点となっています。近年、酸化タングステンは、その光吸収特性、熱安定性、ナノテクノロジーの可能性により、農業用フィルムへの応用が注目されています。この論文では、農業用フィルムにおける酸化タングステンのメカニズム、調製方法、性能上の利点、および実用化の見通しについて詳しく説明します。また、科学的データと産業慣行に基づいて、その可能性と課題を包括的に分析します。

### 1. 酸化タングステンの基本特性は、農業用フィルムのニーズと一致しています

酸化タングステンは、良好な光吸収能力(特に近赤外領域、700-2500nm)、熱伝導率(約  $1.6W/m \cdot K$ )、および化学的安定性を備えたワイドバンドギャップ半導体(バンドギャップ  $2.6-3.0 eV$ )です。これらの特性により、光と熱を調節し、紫外線を遮断し、材料の耐久性を向上させるという自然な利点が得られます。農業用フィルムの主な機能には、保温、光制御、UV 保護、アンチエイジング、抗菌などがあり、酸化タングステンの特性はこれらのニーズと非常に互換性があります。

- 光と熱制御の農業用フィルムは、作物のニーズに応じて光透過率と断熱性能を調

#### 著作権および法的責任に関する声明

整する必要があります。酸化タングステン（TiO<sub>2</sub>）は近赤外光（NIR）を強く吸収するため、理想的な光熱変換材料となります。たとえば、酸化タングステンをドーピングしたポリエチレン（PE）農業用フィルムは、赤外線（NIR）を熱に変換し、温室内の夜間温度を 2〜5℃ 上昇させ、作物の成長サイクルを延長できることが示されています。

- 紫外線（UV）は、作物の DNA や農業用フィルム材料に有害です。酸化タングステンのバンドギャップは、UV-B（280-315nm）と UV-A の一部（315-400nm）を吸収し、作物を保護し、農業用フィルムの老化を遅らせるのに効果的です。実験では、厚さ 50 nm の酸化タングステンコーティングが UV 透過率を約 95% 低減できることが示されています。
- 抗菌性と耐久性に優れた酸化タングステンの光触媒活性は、光に反応して活性酸素種（ROS）を生成することができ、抗菌効果があり、害虫や病気の蔓延を減らします。同時に、その高い硬度（モース硬度で 8.5-9）と化学的安定性により、農業用フィルムの耐候性が向上し、耐用年数が延びます。

これらの特性は、酸化タングステンが農業用フィルムの機能を最適化するだけでなく、現代農業の持続可能な開発のニーズに沿った環境適応性を向上させることができることを示しています。

## 2. 農業用フィルムにおける酸化タングステンの調製と応用

酸化タングステンは、通常、ナノ粒子、薄膜、または複合材料の形でマトリックス材料（ポリエチレン、ポリ乳酸（PLA）など）に組み込むことにより、農業用フィルムに適用されます。調製方法の選択は、その性能とコストに直接影響します。

- **ナノ粒子ドーピング** は、ナノスケールの酸化タングステン（粒子サイズ 10〜100nm）をポリマーマトリックスに分散させることにより、複合農業用フィルムの調製を可能にします。一般的に使用される方法には、溶融ブレンドと溶液ブレンドが含まれます。例えば、タングステンの研究では、高速攪拌により PE と酸化タングステンナノ粒子（比表面積 50-200m<sup>2</sup>/g）を混合することにより、調製された農業用フィルムは、近赤外線遮蔽率を 60% 向上させ、高い可視光透過率（約 70%）を維持したと報告しています。この方法は低コストで、大規模生産に適しています。
- 薄膜コーティングは、厚さ（25-100 nm）と構造を正確に制御した物理蒸着（PVD）または化学蒸着（CVD）によって農業用フィルムの表面に堆積されます。たとえば、PLA 基板フィルム上の 50nm 酸化タングステンコーティングの酸素透過性（OP）は、 $0.46 \times 10^{-16} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm} / \text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{PA}$  を下回ると、気密性が大幅に向上します。この方法はハイエンドの農業用フィルムに適していますが、設備コストは高くなります。
- 複合機能材料は、酸化タングステンを TiO<sub>2</sub>（酸化タングステン）、ZnO（酸化亜鉛）、

### 著作権および法的責任に関する声明

ZnO(酸化チタン)、GnO(グラフェン)などの他の材料と組み合わせることで、性能をさらに向上させます。例えば、酸化タングステン/TiO<sub>2</sub>複合コーティングは、両者の光触媒活性を組み合わせ、酸化タングステンの光熱効果を保持しながら、(大腸菌に対する)阻害率を 99%以上としている。この複合形態は、機能性農業用フィルムに明るい未来を秘めています。

これらの調製方法には独自の長所と短所があり、農業用フィルム(温室フィルム、プラスチックフィルムなど)の特定の用途に応じて適切なプロセスを選択する必要があります。ナノ粒子ドーピングはコストに敏感なシナリオに適しており、薄膜コーティングは高性能のニーズに適しています。

### 3. 農業用フィルムにおける酸化タングステンの性能上の利点

農業用フィルムに酸化タングステンを適用すると、多くの主要な特性が大幅に改善されており、その利点を分析するために次のデータとケーススタディが使用されています。

- 絶縁酸化タングステンのスペクトル操作と局所  
表面プラズモン共鳴(LSPR)効果により、近赤外領域で高い吸収率を示します。例えば、1100nm のセシウムドープ酸化タングステンナノ粒子ドープ農業用フィルムは 90%であったが、可視光線透過率は 75%以上のままであった。この選択的なスペクトル操作は、光合成に必要な光を保証するだけでなく、特に寒冷地では、熱変換を通じて夜間の温度を上昇させます。実験によると、北部の冬の温室では、酸化タングステン農業用フィルムを使用した温室内の温度は、通常の PE フィルムよりも 3〜4° C 高いことが示されています。
- 紫外線保護とアンチエイジング  
酸化タングステン UV 吸収能力は、農業用フィルムの老化率を大幅に低減します。PLA /酸化タングステン複合フィルムの場合、UV-B 領域の透過率は 90%から 5%に減少し、屋外暴露の 6 か月後、機械的強度(引張強度)はわずか 10%減少しましたが、純粋な PLA フィルムのそれは 40%以上減少しました。この結果は、酸化タングステンが効果的に光酸化劣化を遅らせ、農業用フィルムの寿命を延ばすことができることを示しています。
- ナノ酸化タングステンは、光の下で ROS の生成を触媒し、細菌の細胞膜を破壊することができます。この研究では、2 重量%の酸化タングステンを含む PE フィルムは、24 時間以内に大腸菌に対して 5 log<sub>10</sub> CFU /cm<sup>2</sup> の殺傷率を示し、病原体感染のリスクを大幅に低減することを示しました。これは、マルチで覆われた土壌の健康にとって特に重要です。
- 酸素バリアと保存果物や野菜の粘着フィルムでは、酸化タングステンの緻密なコーティングが酸素透過性を低下させます。たとえば、厚さ 50 nm の酸化タングステンコーティングは、PLA 膜の酸素透過性を 80%低下させ、果物や野菜の呼吸を遅らせ、貯蔵寿命を 1〜2 週間延長します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

#### 4. 実用化事例と効果

農業用フィルムへの酸化タングステン（AST）の適用は、多くのシナリオで検証されており、以下を実際のケースと組み合わせてその影響を分析します。

- 温室マルチングフィルム中国北西部では、酸化タングステンナノ粒子ドーピング PE 温室フィルムの使用により、冬季に温室内の温度が 3.5° C 上昇し、トマトの収量が 15% 増加しました。同時に、その UV 遮断機能は、作物の日焼け率を減らし、果物の品質を向上させます。
- 中国南部の田植えでは、酸化タングステン/TiO<sub>2</sub> 複合マルチフィルムを使用して、土壌温度を 2° C 上昇させ、苗の成長を促進しました。その静菌効果により、根の病気の発生率が低下し、イネの収量が約 10% 増加しました。
- 果物と野菜のしがみつくフィルム輸出品物の包装では、PLA / 酸化タングステン複合フィルムは、イチゴの貯蔵寿命を 20 日間（通常のフィルムはわずか 12 日間）に延長し、腐敗率を減らし、市場で高い評価を得ています。

これらのケースは、酸化タングステンが実際の農業生産における農業用フィルムの実用的価値、特に収量と品質の向上を大幅に向上させることができることを示しています。

#### 5. アプリケーションの課題と解決策

酸化タングステン（AST）は農業用フィルムに大きな利点がありますが、その用途にはまだいくつかの課題があり、対処する必要があります。

- コストの問題酸化タングステン（ナノ粒子や薄膜堆積など）の調製には費用がかかります。現在の市場価格は約 20~30 米ドル / kg ですが、通常の PE 農業用フィルムはわずか 1~2 米ドル / kg です。ソリューションには、生産プロセスの最適化（エネルギー消費を 1kWh/kg に削減する極低温熱水プロセスなど）や、タングステン市場からのリサイクル資源（タングステンスクラップワイヤーなど）の利用が含まれます。
- 分散液と相溶性酸化タングステンナノ粒子は、ポリマーマトリックス内で凝集しやすく、フィルムの均一性に影響を与えます。適合性は、表面改質（シランカップリング剤など）または分散剤（PVP など）の添加によって改善でき、実験では改質後の分散が 50% 増加することが示されています。
- 環境への影響ナノ酸化タングステンの潜在的な生態毒性を評価する必要があります。研究によると、10 mg / kg < 土壌への蓄積は微生物に大きな影響を与えませんが、長期使用を監視する必要があります。生分解性基材を使用すると、キャリアオーバーのリスクが軽減されます。

技術改善と環境評価を通じて、これらの課題を徐々に克服することができ、酸化タングステン農業用フィルムの広範な適用につながります。

#### 著作権および法的責任に関する声明

## 6. 今後の展開見通し

農業用フィルムにおける酸化タングステンの適用は、特に以下の方向で、幅広い見通しを持っています。

- インテリジェントな農業用フィルム:酸化タングステンのエレクトロクロミック特性と組み合わせて、光透過率を動的に調整できるインテリジェントな農業用フィルムが開発され、さまざまな照明条件に適応します。
- 持続可能性:タングステンのスクラップリサイクル技術を活用して、コストを削減し、循環型経済を実現します。
- 多機能統合:センシング技術と組み合わせることで、温度制御、静菌、モニタリングを統合した農業用フィルムが準備され、精密農業のレベルを向上させます。

タングステン技術の進歩と市場の需要の伸びに伴い、酸化タングステンは新世代の農業用フィルムの中核材料となり、農業の近代化のプロセスを促進することが期待されています。

## 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

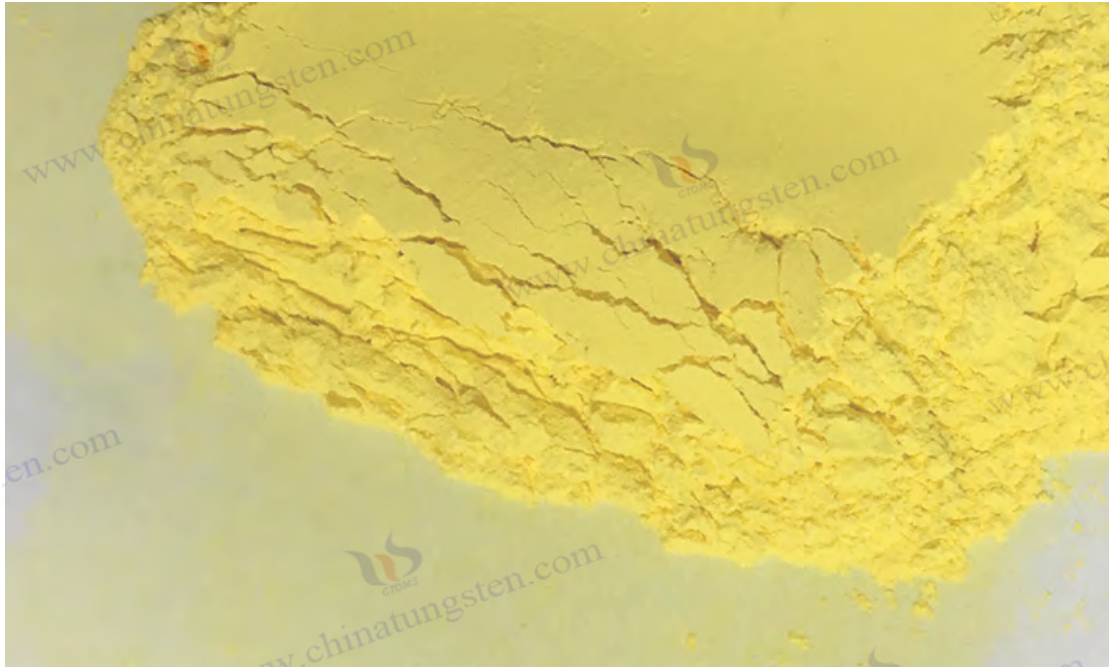
Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Phone: +86 592 5129696

For more yellow tungsten oxide 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".



著作権および法的責任に関する声明



CTIA GROUP LTD 黄色酸化タングステン

## 第 10 章酸化タングステンの安全性と環境保護

酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) は、エネルギー、環境、エレクトロニクス、生物医学の分野で優れた性能を発揮する広く使用されている材料です。しかし、その製造、使用、廃棄に伴う安全性と環境の問題は無視できません。潜在的な健康リスクから環境への影響まで、酸化タングステンの安全性と持続可能性は、研究と工業化の重要な考慮事項となっています。この章では、これらの問題について詳細に検討し、適切な適用のためのガイダンスを提供します。

安全性と環境保護の分野では、酸化タングステンの物理的および化学的特性は利点と課題の両方です。その高い安定性と低い溶解性は、毒性のリスクの一部を低減しますが、ナノスケールの酸化タングstenは、その高い表面積と潜在的な生物学的活性のために、人間と環境に特定の影響を与える可能性があります。さらに、タングステンの研究は、生産プロセスにおけるエネルギー消費と廃棄物排出も、グリーンケミストリーの原則に準拠するために最適化する必要があることを示しています。

実際のアプリケーションでは、酸化タングステンの安全性と環境管理は、科学的な評価と制御手段に依存しています。例えば、タングsten技術の合成プロセスを改善することで副産物の排出量を削減できる一方で、タングsten価格の変動は、パラタングsten酸アンモニウムの効率的な変換など、低コストで環境に優しい製造方法の開発を推進しています。

### 著作権および法的責任に関する声明

## 10.1 酸化タングステンの安全性

酸化タングステンの安全性に関する懸念は、主に製造、輸送、使用中の人間の健康への潜在的な影響に関連しています。金属酸化物として、その安全性は、物理的形態（粉末、フィルム、ナノ粒子など）、曝露経路（吸入、皮膚接触、または摂取）、および用量と密接に関連しています。これらのリスクを理解し、適切な予防措置を講じることは、安全なアプリケーションを確保するための鍵です。

その巨視的な形態では、酸化タングステンは通常、高い化学的安定性とヒトに対する低い急性毒性を有する黄色または青色の粉末の形で存在します。例えば、タングステン金属の熱酸化によって生成される酸化タングステン粉末は、非常に低い溶解度 ( $<0.1 \text{ g/L}$ ) を有し、皮膚や消化管を通じて容易に吸収されません。しかし、タングステンの知識研究では、粉塵の形で吸入は、特に高濃度にさらされた場合（生産現場など）、呼吸器の炎症を引き起こし、軽度の肺の炎症を引き起こす可能性があることが示されています。

ナノスケールの酸化タングステンは、その高い表面積と生物学的活性のためにより複雑です。例えば、水熱法により合成された酸化タングステンナノ粒子（粒子径  $<100\text{nm}$ ）は、細胞膜を貫通し、酸化ストレスまたは炎症反応を引き起こす可能性があります。インビトロ実験では、高用量 ( $>100 \mu\text{g/mL}$ ) の酸化タングステンナノ粒子が肺細胞（A549 細胞など）に対して毒性があり、活性酸素種（ROS）の生成を通じてアポトーシスを誘導する可能性があることが示されました。さらに、データは、血中の長期的な蓄積が肝臓と腎臓の機能に影響を与える可能性があることを示唆していますが、現在の *in vivo* 研究データはまだ限られています。

産業環境では、酸化タングステンの安全リスクは生産プロセスにも関与します。例えば、タングステン粉末を酸化して酸化タングステンを生成する場合、粉塵が適切に制御されていないと、作業者が吸入するリスクにつながる可能性があります。この目的のために、換気および個人用保護具（N95 マスクや手袋など）の使用が推奨されます。さらに、タングステン企業は、職業暴露限界（OSHA が定めた  $5 \text{ mg/m}^3$  など）への準拠を確保するために、運用手順で空気中の粒子濃度を定期的に監視することを日常的に要求しています。

輸送と保管の面では、酸化タングステンは不燃性および非爆発性の物質であり、比較的安全です。ただし、包装が破損して粉体が漏れ、環境を汚染したり、吸い込んだりする恐れがある場合は、警告付きの密閉容器を使用してください。また、タングステンニュースは、静電気や風による拡散を避けるために、ナノの形で輸送する際には特別な注意を払う必要があると報じました。

ナノ酸化タングステンのバイオセーフティのために、研究者は表面改質を通じて毒性を低減させようと試みました。例えば、タングステンプラスチックまたは PEG と配合された酸化タングステンナノ粒子は、細胞毒性を有意に低下させています。さらに、タングステン市場の需要の成長は、低毒性合成経路（鉄マンガン系原料を使用）の開発など、安全性

### 著作権および法的責任に関する声明

評価の開発を推進しています。

バイオセンサーや光熱療法などの実際のアプリケーションでは、酸化タングステンの安全性を特定のアプリケーションベースで評価する必要があります。例えば、埋め込み型デバイスに含まれる酸化タングステンは、長期的な生体適合性を確保し、免疫反応を回避する必要があります。研究によると、その毒性は重金属酸化物(CdO など)よりもはるかに低いことが示されていますが、さらに多くの臨床データが必要です。

## 10.2 酸化タングステンの環境保護

酸化タングステンの環境問題は、生産、使用、廃棄の段階で生態系への影響をカバーしています。毒性が低いにもかかわらず、生産時のエネルギー消費、廃水、排気ガス、および廃棄後の廃棄方法は、環境に負荷をかける可能性があります。これらの課題に取り組むことは、その持続可能なアプリケーションを達成するために不可欠です。

製造段階では、酸化タングステンの調製には通常、高温焙煎または化学反応が含まれます。例えば、酸化タングステンを生成するためのタングステン酸の熱分解は、大量のエネルギー(約 500~800 °C)と CO<sub>2</sub>排出量を必要とします。また、タングステンアカデミックは、HCl や NaOH などの酸塩基溶媒を用いて酸化タングステンを抽出すると、タングステン含有廃水が発生する可能性があります。処理せずに直接排出すると土壌や水質汚濁につながると指摘しました。研究によると、10 mg / L を超えるタングステン濃度は、魚などの水生生物に有毒である可能性があります。

ナノ酸化タングステンの製造による環境への影響はさらに深刻です。例えば、ソルボサーマルプロセスによって合成された酸化タングステンナノ粒子は、プロセス中に有機溶媒(エタノールや DMF など)を使用する可能性があり、回収されない場合は大気中に揮発したり、水系に入ったりする可能性があります。また、タングステン粒子が酸化されてナノ酸化タングステンを形成すると、粉塵が適切に制御されていないと、風とともに広がり、空気の質に影響を与える可能性があります。

使用段階では、酸化タングステンは化学的に安定しており、溶解または分解しにくいいため、環境への影響が少なくなります。例えば、触媒担体や難燃性コーティング剤として、使用中に有害物質をほとんど放出しません。しかし、酸化タングステンナノ粒子が環境中に放出されると(例えば、摩耗や洗浄を通じて)、それらは土壌や水域に入る可能性があり、長期的な蓄積は生態学的バランスを乱す可能性があります。研究によると、土壌中のその沈着は微生物の活動に影響を与える可能性があることが示されていますが、特定のメカニズムをさらに調査する必要があります。

廃棄段階は、酸化タングステンの環境保護問題の焦点です。リサイクルして埋め立てられなければ、タングステン資源は浪費され、ナノ粒子は浸出水とともに移動する可能性が

### 著作権および法的責任に関する声明

ります。例えば、タングステンフィラメントの酸化によって生成された酸化タングステンコーティングは、剥がれると廃棄物とともに環境に入る可能性があります。この目的のために、タングステン製品の研究は、タングステンは、リサイクルを達成するために、廃酸化タングステンをタングステン銅に変換するなど、酸浸出または高温還元を通じて、タングステンを回収できることを示唆しています。

環境の最適化という点では、酸化タングステンのグリーン生産が鍵となります。例えば、タングステンヒーターによる低温合成はエネルギー消費を削減でき、廃水中のタングステンは沈殿物によって回収することができます。

酸化タングステンの環境保護は、依然として政策支援が必要です。たとえば、排出基準とリサイクル基準を設定することで、エコロジカルフットプリントを効果的に削減できます。タングステンの需要が高まるにつれて、灰重石から直接抽出するなどの環境に優しいプロセスがトレンドになります。

### 10.3 酸化タングステンの安全データシート (MSDS)

安全データシート (MSDS) は、酸化タングステンの製造、輸送、および使用に関する標準化された安全性情報を提供する、化学物質安全管理のための重要な文書です。以下は、酸化タングステンの MSDS の主な内容の詳細なリストであり、その性質と国際的な慣行に従って、オペレーターと関係者がそのリスクと保護対策を理解することを確認します。

#### 1. 化学ラベリング

- 名前: 三酸化タングステン、 $WO_3$ )
- CAS 番号: 1314-35-8
- 外観: 黄色または青色の粉末、ナノサイズの微粒子。

#### 2. 危険有害性の概要

- 健康被害: 吸入すると呼吸器への炎症を引き起こす可能性があり、高濃度の粉塵に長期間さらされると肺の不快感を引き起こす可能性があります。タングステンナノ酸化物は、潜在的に細胞毒性を有する可能性があります。
- 環境への危険: 水や土壌に入ると、生態系に影響を与える可能性があるため、避ける必要があります。
- 物理的危険性: 不燃性および非爆発性ですが、ほこりはわずかな火災の危険をもたらす可能性があります。

#### 3. 組成・組成情報

##### 著作権および法的責任に関する声明

- 純度:>99%(工業用またはナノスケール)。
- 不純物:微量のタングステン酸または未反応のタングステン金属が含まれている場合があります。

#### 4. 応急処置

- 吸入:換気の良い場所に移動し、呼吸困難がある場合はすぐに医師の診察を受けてください。
- 皮膚に付着した方:石鹼水で洗い、汚れた衣服を脱いでください。
- アイコンタクト:少なくとも 15 分間多量の水ですすぎ、刺激が続く場合は医師の診察を受けてください。
- 摂取:口をすすぎ、水で希釈し、必要に応じて医師の診察を受けてください。

#### 5. 防火対策

- 消火方法:不燃性の乾燥粉末または砂を使用しますが、ほこりの飛散は避けてください。
- 特別なリスク:酸化タングステンの煙は高温で放出される可能性があります。

#### 6. 漏れの応急処置

- 方法:飛散するほこりを避け、密閉容器に集めるために、掃除機または湿式で清掃します。
- 保護:防塵マスクと手袋を着用してください。

#### 7. 取り扱いと保管

- 操作:粉塵の発生を避け、局所換気装置を使用し、保護具を着用してください。
- 保管:酸や強酸化剤から離れた涼しく乾燥した場所に、密閉容器に入れて保管してください。

#### 8. 暴露制御/個人保護

- 暴露限界:OSHA PEL は  $5 \text{ mg / m}^3$  (タングステン中)です。
- 保護具:N95 マスク、保護メガネ、手袋、必要に応じて防塵服。

#### 9. 物理化学的性質

- 融点: $1473^{\circ} \text{C}$ ;密度: $7.16 \text{ g / cm}^3$ ;溶解性:水にわずかに溶けます( $<0.1 \text{ g / L}$ )。
- 安定性:化学的に安定しており、分解しにくい。

#### 著作権および法的責任に関する声明

## 10. 毒物学情報

- 急性毒性:LD50(ラット、経口)>2000 mg / kg、低毒性。
- 慢性的な影響:長期間の吸入は肺の炎症を引き起こす可能性があり、ナノスケールでは細胞毒性が懸念されるはずです。

## 11. 生態情報

- 生態毒性:水生生物に対する毒性は低いですが、高濃度(>10 mg / L)は有害である可能性があります。
- 持続性:生分解しにくく、環境に蓄積する可能性があります。

## 12. 廃棄

- 方法:リサイクルを優先するか、直接排出を避けるために地域の規制に従って埋め立てます。
- 注意:ほこりの拡散を防ぐため、密閉包装を使用してください。

## 13. 配送情報

- 分類:非危険物ですが、防湿性と漏れ防止のパッケージである必要があります。
- 輸送要件:「酸化タングステン」のマークがあり、保護の提案が示されています。

## 14. 規制情報

- OSHA、REACH などの規制への準拠、ナノスケールのリスクは、用途に応じてさらに評価する必要があります。

## 15. その他の情報

- 作成日:2025 年 3 月 29 日(現在の日付を想定)。
- 注:MSDS は、情報が最新の研究と一貫していることを確認するために、定期的に更新されます。

MSDS、酸化タングステン に従うことにより、安全管理を標準化し、潜在的なリスクを減らすことができます。さらに、タングステン企業は、さまざまな分野での安全な使用を確保するために、特定のアプリケーション(タングステンニードルベースコーティングなど)に対する特定の安全推奨事項を補完することができます。

### 著作権および法的責任に関する声明



CTIA GROUP LTD 黄色酸化タングステン

## 第 11 章酸化タングステンの国内および外国の規格

重要な工業原料および機能材料として、酸化タングステン ( $WO_3$ ) は、世界中の超合金製造、触媒、電子デバイス、光学ディスプレイに広く使用されています。その品質、性能、安全性を確保するために、国内外で一連の基準が策定されています。これらの規格は、酸化タングステンの化学組成、物理的特性、製造プロセス、および試験方法を標準化し、生産、取引、および適用のための統一された基盤を提供します。この章では、酸化タングステンの中国国内規格と国際規格の要件と違いについて説明します。

標準化プロセスでは、純度、粒子サイズ、形態などの酸化タングステンの特性が注目されています。各国は自国の産業ニーズと技術レベルに応じて基準を策定しますが、その中で世界最大のタングステン生産国である中国は比較的完全な標準システムを持っていますが、国際標準は世界貿易の普遍性にもっと注意を払っています。さらに、タングステンの研究は、環境保護と安全要因は、現代の持続可能な開発の要件を満たすための基準の策定において考慮する必要があることを示しています。

実際には、酸化タングステン規格の実施は、試験技術と生産技術の進歩に依存します。例えば、タングステン技術の最適化は、基準を満たすために製品品質を向上させることができますが、タングステン価格の変動は、パラタングステン酸アンモニウムからの酸化タングステンの効率的な生産など、低コストに準拠したプロセスの開発を推進しています。

### 11.1 中国の国家規格

#### 著作権および法的責任に関する声明

世界最大のタングステン埋蔵量と生産量を持つ国として、中国は酸化タングステンの生産と応用のための深い基盤を持っており、その国家標準システムは、製品の品質を確保し、産業開発を促進する上で重要な役割を果たしてきました。中国国家規格(GB / T)は、主に非鉄金属の標準化のための国家技術委員会(TC243)によって策定および管理されている酸化タングステンの分類、品質要件、および試験方法に関する詳細な規定を持っています。

## 主な規格:GB / T 3457-2013「酸化タングステン」

中国の主な規格は GB/T 3457-2013「酸化タングステン」で、1998 年版(GB/T 3457-1998)の改訂版であり、2013 年に発行および実施されました。酸化タングステンを三酸化タングステン(黄色のタングステン、 $WO_3$ )と青色の酸化タングステン(青色のタングステン、 $W_{20}O_{58}$ )の 2 種類に分け、さまざまな産業用途に適しています。

### • 分類と仕様

- 黄色タングステン( $WO_3$ ):高純度要件の淡黄色の結晶性粉末で、主にタングステン金属粉末と超合金の製造に使用されます。この規格では、タングステン含有量( $WO_3$ )が 99.9%以上(一級品)以上であると規定されており、不純物(Fe、Mo、S など)の含有量には厳しい制限があります。たとえば、鉄(Fe)の含有量は 0.001%を超えてはなりません。
- ブルータングステン( $W_{20}O_{58}$ ):ダークブルーまたはブルーブラックの結晶性粉末は、タングステン化合物の混合酸化状態であり、タングステン粉末を調製するための還元によく使用されます。この規格では、タングステン含有量が 98.5%以上であることが求められており、酸素指数と粒度分布に関する特定の規定があります。

- 物性標準ペアである酸化タングステン、粒子サイズ、緩い密度、および形態が標準化されました。例えば、黄色のタングステンの平均粒径は 5~25  $\mu m$  に制御し、

緩い密度は 1.5~3.0g/cm<sup>3</sup> に抑えて、その後の処理への適合性を確保する必要があります。さらに、酸化によって製造された酸化タングステンであるタングステン粉末は、粒子サイズの均一性を確保するためにふるい分け試験に合格する必要があります。

- 化学組成 GB / T 3457-2013 には、不純物限界の詳細な表がリストされています。例えば、黄色タングステン中のヒ素(As)の含有量は 0.0005%を超えてはならず、リン(P)は 0.001%を超えてはなりません。これらの要件は、中国、特に電子材料などのハイエンドアプリケーションにおける高純度酸化タングステンの需要を反映しています。
- 試験方法規格は、化学分析および物理試験の特定の方法を指定しています。例えば、タングステン含有量は重量法と分光光度法で決定され、トラップ元素はタングステンフィラメント誘導結合プラズマ発光分光法(ICP-OES)で分析されます。さらに、粒度分布はレーザー粒度分布分析装置によって決定され、正確で再現性の

### 著作権および法的責任に関する声明

ある結果を確保できます。

#### その他の関連規格

- GB / T 4196-2011 “タングステン酸”:それは高純度の酸化タングステンの調製によく使用されるため、酸化タングステンの前駆体としてのタングステン酸の品質要件を指定します。
- GB / T 26038-2010 “タングステン粉末の技術条件”:間接的に酸化タングステンを巻き込み、それはタングステン粉末の主原料であるため、標準要件は酸化タングステンの純度に密接に関連しています。

**特性と用途:** 中国の国家規格は、超硬合金およびタングステン製品の製造における酸化タングステンの品質管理に特に重点を置いて、工業的実用性に焦点を当てています。例えば、株洲超硬合金グループのようなタングステンの会社は厳密に生産の GB/T 3457-2013 に従ってプロダクトが国内および外国市場の必要性を満たすことを保障します。さらに、タングステンニュースは、中国の基準の改訂では、生産からの酸性廃水の排出を減らすなどの環境保護要件も考慮に入れていると報じました。

**開発動向:** ナノテクノロジーの発展に伴い、中国はナノ酸化タングステンの基準を策定しています。例えば、光触媒の分野における酸化タングステンの可能性のために、粒度分布 (<100nm) と比表面積の検出を追加する必要があります。また、タングステン市場のグローバル化に伴い、国際基準に合わせる取り組みが進められています。

## 11.2 国際規格

国際規格は、主に国際標準化機構 (ISO) およびその他の権威ある機関によって開発された、酸化タングステンの世界的な取引と適用のための統一されたフレームワークを提供します。これらの規格は一般的により一般的で、さまざまな国の産業ニーズと規制要件に合わせて、国を越えた一貫性と技術的な互換性に焦点を当てています。

### 主な規格:ISO 10477-1 タングステン化合物の一般仕様

ISO は、酸化タングステンのための独立した規格を持っていませんが、タングステンやタングステン粉末などのその関連化合物は、間接的にタングステン化合物のための ISO 10477-1 一般仕様でカバーされています。この規格は、ISO / TC 119 (粉末冶金技術委員会) によって開発され、酸化タングステンを含むタングステンベースの材料に適用されます。

- 分類と仕様 ISO 10477-1 は、酸化タングステンをタングステン粉末の製造のための前駆体材料と見なしており、これは工業グレードおよび高純度グレードに分類されます。工業用グレードの  $W_3$  の含有量要件は  $\geq 98\%$ 、高純度グレード  $\geq 99.95\%$  であり、不純物限界 ( $Fe \leq 0.005\%$  など) は中国の規格よりもわずかに広く、国際貿

#### 著作権および法的責任に関する声明

易におけるコストと適用性のバランスを反映しています。

- 物性標準は、酸化タングステンの柔軟な粒子サイズ、通常 1〜50  $\mu\text{m}$ 、およびアプリケーションに応じて調整できる 1.0〜3.5 g/cm<sup>3</sup> のかさ密度を必要とします。さらに、タングステン針基板の酸化によって生成される酸化タングステン膜は、光学的透明度および均一性の要件を満たす必要があります。
- 検出方法 ISO 規格は、化学組成を決定するための蛍光 X 線分光法 (XRF)、粒子サイズを決定するためのレーザー回折など、国際的に認められた分析方法を使用しています。これらの方法は、タングステンアカデミックの最新技術と一致しており、結果のグローバルな比較可能性を確保しています。

### その他の国際規格

- ASTM B771-11 タングステン材料の試験方法:酸化タングステンの純度と物理的特性を試験するために、米国材料試験協会 (ASTM) によって開発された規格。例えば、酸素含有量は、タングステンヒーターの減少によってテストされます。
- JIS H 1403「タングステン粉末及び酸化タングステンの分析方法」:日本工業規格 (JIS) では、酸化タングステンの化学分析について詳細な規定が定められており、半導体などの高純度用途に重点を置いています。

### 機能とアプリケーション:

国際規格は、共通性と互換性に重点を置いています。たとえば、ISO 規格では、さまざまな産業用途に対して不純物の制限が緩くなっていますが、ASTM および JIS 規格は、タングステンと金の複合材料の製造などのハイエンドアプリケーションに偏っています。

### 中国の規格との違い

- **純度要件:**黄色タングステン ( $\geq 99.9\%$ ) の中国規格の純度要件は、ISO 工業グレード ( $\geq 98\%$ ) の純度要件よりも高く、ハイエンドタングステン製品の分野での中国の主導的地位を反映しています。
- **検出方法:**国際規格では、より自動化された機器 (XRF など) を使用していますが、中国の規格では、さまざまな技術レベルの研究室に適した従来の化学方法 (重量法など) が考慮されています。
- **環境への配慮**国際規格は、ISO 14001 など、生産プロセスの環境保護のためのより厳しい要件を持っています、酸化タングステン、ライフサイクルの環境への影響、および中国の基準は、この点でまだ改善されています。

### 動向

#### 著作権および法的責任に関する声明

オプトエレクトロニクスや生物医学の分野でのナノ酸化タングステンの台頭に伴い、国際規格はナノ材料の特性に近づいています。例えば、ISO/TC 229 (Nanotechnology Council) では、特定の表面積と毒性試験の要件を追加する予定です。また、タングステン市場のグローバル化は、中国の GB / T 規格と ISO 規格の段階的な統合など、規格の統一を促進しています。



CTIA GROUP LTD WO<sub>3</sub>

## 第 12 章 酸化タングステンの事実と数字

重要な工業材料および機能性化合物として、酸化タングステン (WO<sub>3</sub>) は、そのユニークな物理的および化学的特性により、多くの分野で幅広い用途を示しています。この章の目的は、酸化タングステンの基本的な事実と詳細なデータ、その物理的および化学的特性、生産パラメータ、およびアプリケーションの技術指標を含む詳細なデータを体系的に整理し、研究者、エンジニア、業界の実務家に包括的な参照を提供することです。データの正確性は、現在の科学文献と産業慣行に基づいており、コンテンツの権威と有用性を確保しています。

事実と数字を照合するとき、酸化タングステンの汎用性が中心的な焦点です。その高い安定性、半導体特性、光学特性により、エネルギー、エレクトロニクス、触媒の分野で注目されています。また、タングステン研究の進歩は、そのデータシステムを充実させ続け、タングステン技術の最適化は、生産と応用の精度を促進します。タングステン価格のボラティリティは、市場の需要も反映しており、データ分析の経済的背景を提供しています。

### 12.1 酸化タングステンの主な事実は何ですか

タングステン化合物ファミリーの重要なメンバーとして、酸化タングステンの基本的な事実は、化学組成、物理的形態、歴史的背景および工業的使用をカバーしています。ここでは、その性質を包括的に理解するための酸化タングステンに関する重要な事実を示します。

#### 著作権および法的責任に関する声明

- 酸化タングステンの化学組成と構造は、主に三酸化タングステン ( $W_2O_3$ ) の形で存在し、分子量は  $231.84g / mol$  で、1つのタングステン原子と3つの酸素原子で構成されています。その結晶構造は、単斜晶系、斜方晶系、立方晶系など多様であり、単斜晶系は室温で最も安定しています。さらに、青色酸化タングステン ( $W_{20}O_{58}$ ) と黄色酸化タングステンも、バリエーションとして特定の用途で一般的です。青色酸化タングステンは、部品  $W^{5+}$  および  $W^{6+}$  を含む非化学量論的混合酸化物です。
- 酸化タングステンの物理的形態は、通常、粉末または薄膜の形で提供されます。工業用グレードの黄色タングステンは淡黄色の結晶性粉末であり、ナノグレードは微粒子 ( $<100nm$ ) です。青色酸化タングステンは、わずかに大きい粒径の濃い青色または青黒色の粉末です。薄膜の形態は、主に光学および電子アプリケーション向けの堆積技術によって調製されます。
- タングステンの発見と歴史は、1781年にスウェーデンの化学者カール・ヴィルヘルム・シェーラーによって最初に発見され、その重要な化合物である酸化タングステンは、19世紀初頭に工業的に生産され始めました。初期の頃は、タングステン酸の熱分解によって調製され、顔料およびセラミック産業で使用されていました。今日、製造プロセスは、タングステン金属の酸化または鉄マンガン重石などの鉱石に由来するように進化しています。
- 酸化タングステンの主な供給源は、主に灰重石 ( $CaWO_4$ ) や鉄マンガン重石 ( $FeMnWO_4$ ) などのタングステン鉱石です。中国は世界最大のタングステン生産国であり、ロシア、カナダ、オーストラリアと並んで世界の生産量の約80%を占めています。さらに、リサイクルされたタングステン粉末またはスクラップ (タングステンフィラメントなど) も重要な供給源です。
- 工業用酸化タングステンは、タングステン銅や超硬合金などのタングステン製品の製造における重要な中間体です。エネルギー分野では、リチウムイオン電池や光触媒に使用されています。エレクトロニクス分野では、電界効果トランジスタやメモリに使用されています。環境分野では、触媒や難燃性生地に使用されています。さらに、タングステン企業は、スマートウィンドウなどのエレクトロクロミックデバイスにそれを適用します。
- 安全性と環境保護酸化タングステンは、急性毒性が低い ( $LD50 > 2000mg/kg$ 、ラット経口) が、粉塵の吸入は呼吸器刺激を引き起こす可能性があります。ナノスケールの酸化タングステンは、その潜在的な細胞毒性のために特に懸念されています。環境保護の面では、その生産エネルギー消費量は高く (焙煎のための  $500-800^{\circ}C$  など)、廃水の排出は厳密に制御する必要があります。
- 市場と経済タングステンニュースによると、世界の酸化タングステン市場は、主に超硬合金とエレクトロニクス産業によって推進されている約5〜70,000トンの年間需要を持っています。中国が供給を支配しており、2025年には需給バランスと生産コストを反映して、価格は20〜30米ドル/kgで変動すると予想されています。

#### 著作権および法的責任に関する声明

す。

- 技術の進歩酸化タングステンのナノ変換は、光熱療法のためのタングステン粒子の酸化によって生成されるナノ粒子など、近年の研究ホットスポットとなっています。さらに、タングステン市場のグローバル化は、柔軟性を向上させるためにタングステンプラスチックとコンパウンドするなど、新エネルギーやスマート材料への応用を促進しています。

これらの事実は、科学と産業における酸化タングステンの確立をもたらし、その多様性と開発の可能性は、それを学際的な研究の重要な対象にしています。

## 12.2 酸化タングステンのすべてのデータ(物理化学的特性、生産および応用技術パラメータ)

以下は、酸化タングステンの包括的なデータであり、その物理化学的特性、生産技術パラメータ、およびアプリケーションの主要な指標をカバーしています。このデータは、最新の研究および業界標準(GB/T 3457-2013 や ISO 10477-1 など)に基づいており、実際のアプリケーションシナリオと組み合わせて整理されています。

### 物理化学的性質

- 分子式:  $WO_3$  (主に三酸化タングステン、青色酸化タングステンは  $W_{20}O_{58}$  です)。
- 分子量: 231.84 g / mol
- 外観: 黄色のタングステンは淡黄色の粉末、青色のタングステンは濃い青色の粉末、ナノレベルは微粒子です
- 結晶構造: 単斜晶系(室温で安定、空間群  $P2_1/n$ )、斜方晶(高温相)、立方晶(ナノフォームで一般的)。
- 融点:  $1473^{\circ}C$  (約 1700K)。
- 沸点: 約  $1700^{\circ}C$  (W と  $O_2$  に分解)。
- 密度: 7.16 g /  $cm^3$  (黄色のタングステン)、7.0-7.2 g /  $cm^3$  (青いタングステン)。
- 溶解性: 水 (<0.1 g / L,  $25^{\circ}C$ ) にわずかに溶け、強アルカリ (NaOH など) に可溶で タングステン酸を形成します
- 硬度: モース硬度で約 8.5-9 (アルミナに近い)。
- バンドギャップエネルギー: 2.6-3.0 eV (n 型半導体、可視光応答)。
- 熱伝導率: 約 1.6W/m · K (室温)
- 比表面積: ナノメートルで 50-200  $m^2/g$ 、工業用グレードで 5-20  $m^2/g$
- 粒子サイズ: 工業用グレード 5-25  $\mu m$ 、ナノスケール 10-100nm
- 緩い密度: 1.5-3.0 g /  $cm^3$  (粒子サイズによって異なります)。
- 屈折率: 2.2-2.5 (可視範囲)。
- 誘電率: 20-50 (薄膜状態、周波数依存)。

### 著作権および法的責任に関する声明

## 生産技術パラメータ

- 食材:
  - 鉱石: 鉄マンガン重石、灰重石
  - 前駆体: タングステン酸、メタタングステン酸アンモニウム
  - リサイクル品: タングステンニードル、タングステンヒーター
- 制作方法:
  - 焙煎方法:
    - 原材料: タングステン粉末 または タングステン酸
    - 温度: 500-800° C
    - 雰囲気: 空気または酸素
    - 利回り: >95%
    - エネルギー消費量: 約 1.5-2 kWh/kg
  - ウェットケミストリー:
    - 原材料: タングステン酸ナトリウム
    - プロセス: 酸性沈殿+焼成 (400-600° C)
    - 純度: >99.9%
    - 廃水: タングステンイオンが含まれており、リサイクルが必要です
  - ナノシンセシス:
    - 方法: ソルボサーマル法、水熱法
    - 温度: 150-250° C
    - 溶剤: 水、エタノール
    - 粒度制御: 10-100 nm
- 純度要件:
  - 工業グレード:  $WO_3 \geq 98\%$
  - 高純度グレード:  $WO_3 \geq 99.95\%$
  - 不純物限界 (例として Fe):  $\leq 0.001\%$  (中国規格)、 $\leq 0.005\%$  (ISO)
- 装備:
  - ロースター、タングステンヒーター、オートクレーブ (ナノスケール)
  - 検出: XRF、ICP-OES、レーザー粒度計

## 技術パラメータの適用

### 一. エネルギーセクター

- リチウムイオン電池負極:
  - 理論容量: 693 mAh/g
  - サイクル寿命: 500-1000 回 (80%の容量を保持)
  - 動作電圧: 0.01-3.0 V vs. Li/Li<sup>+</sup>
- スーパーキャパシタ:
  - 比コンデンサ: 500-700 F / g
  - サイクル安定性: >10,000 サイクル

### 著作権および法的責任に関する声明

- 電力密度:5-10 kW / kg
- 水の光触媒分解:
  - 光熱効率:20-40%(808 nm)
  - 水素製造速度:100-500  $\mu\text{mol/h} \cdot \text{g}$

## 二. 電子情報分野

- FET:
  - キャリア移動性:10-20 $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$
  - オン/オフ比:10° -10° C
  - 動作周波数:MHz-GHz 範囲
- メモリデバイス (RRAM):
  - 抵抗スイッチング比:10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup>
  - 消去速度:<10ns
  - 耐久性:>10 倍

## 三. 機械工学の分野では

- ツールコーティング:
  - 硬度:2000-2500 HV
  - 摩擦係数:0.4-0.6
  - 耐熱性:>800° C
- 耐摩耗性部品:
  - 接着強度:>500MPa
  - 摩耗率:<0.01 $\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$

## 四. バイオメディカル分野

- バイオセンサー:
  - 検出限界: $\mu\text{M}$ -nM グレード(グルコースなど)
  - 応答時間:<5 秒
  - 感度:10-50  $\mu\text{A} / \text{mM} \cdot \text{cm}^2$
- 光温熱療法:
  - 光-熱変換効率:40-50%(NIR)
  - 加熱範囲:50-60° C
  - 生体適合性:PEG 修飾が必要

## 五. 光学ディスプレイフィールド

- エレクトロクロミックデバイス:
  - 透過率変化:80%→10%
  - 応答時間:ミリ秒

### 著作権および法的責任に関する声明

- サイクル寿命:>10° C

#### 六. 触媒キャリア

##### o サポートされている触媒:

- 比表面積:50-200m<sup>2</sup> / g
- 水素化変換率:>90%
- 耐熱性:500-700° C

#### 七. 難燃性生地

- o LOI:28-35%
- o 耐熱性:>1000° C (短時間)
- o 熱伝導率:1.5-2 W / m · K

付録:酸化タングステン用語の多言語用語集(中国語、英語、日本語、韓国語)

| カテゴリ       | 中国語    | 英語                              | 日本語         | 韓国語       |
|------------|--------|---------------------------------|-------------|-----------|
| ベースの名前     | 氧化钨    | Tungsten Trioxide               | 三酸化タングステン   | 삼산화텅스텐    |
|            | 三氧化钨   | Tungsten Trioxide               | 三酸化タングステン   | 삼산화텅스텐    |
|            | 钨      | Tungsten                        | タングステン      | 텅스텐       |
|            | 黄钨     | Yellow Tungsten Oxide           | 黄色酸化タングステン  | 황색산화텅스텐   |
|            | 蓝钨     | Blue Tungsten Oxide             | 青色酸化タングステン  | 청색산화텅스텐   |
| 物理的な形      | 纳米氧化钨  | Nano Tungsten Trioxide          | ナノ三酸化タングステン | 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        |
| 生産プロセス     | 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      |
|            | 化学气相沉积 | Chemical Vapor Deposition (CVD) | 化学気相蒸着      | 화학기상증착    |
|            | 钨酸     | Tungstic Acid                   | タングステン酸     | 텅스텐산      |
| アプリケーション分野 | 锂离子电池  | Lithium-Ion Battery             | リチウムイオン電池   | 리튬이온배터리   |
|            | 超级电容器  | Supercapacitor                  | スーパーキャパシタ   | 슈퍼커패시터    |
|            | 光催化    | Photocatalysis                  | 光触媒         | 광촉매       |
|            | 场效应晶体管 | Field-Effect Transistor (FET)   | 電界効果トランジスタ  | 전계효과트랜지스터 |
|            | 存储器件   | Memory Device                   | メモリデバイス     | 메모리디바이스   |
|            | 刀具涂层   | Tool Coating                    | 工具コーティング    | 공구코팅      |
|            | 生物传感器  | Biosensor                       | バイオセンサー     | 바이오센서     |
|            | 光热治疗   | Photothermal Therapy            | 光熱療法        | 광열치료      |
|            | 电致变色器件 | Electrochromic Device           | 電気変色デバイス    | 전기변색디바이스  |

著作権および法的責任に関する声明

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   |
| その他の<br>関連用語 | 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   |

## 説明

1. **中国語**: 中国の国家規格 (GB / T 3457-2013 など) と業界の慣行に基づいて、用語の標準化を確保します。
2. **英語**: 国際用語を採用し、ISO および ASTM 規格に準拠し、科学文献で広く使用されています。
3. **日本語**: 日本の工業規格 (JIS H 1403 など) や技術文献を参照し、発音や書き方の癖に注意しましょう。
- 一. **韓国語**: 韓国の化学や材料の分野で一般的に使用される表現に基づいており、実用化との一貫性を確保しています。

## 著作権および法的責任に関する声明

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)