

バリウムタングステンカソードの百科事典

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

タングステン、モリブデン、希土類元素産業におけるインテリジェント製造の世界的リーダー

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP の紹介

CHINATUNGSTEN ONLINE が設立した、独立した法人格を持つ完全子会社である CTIA GROUP LTD は、インダストリアル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で統合された柔軟な設計と製造の促進に尽力しています。CHINATUNGSTEN ONLINE は、1997 年に www.chinatungsten.com（中国初のトップクラスのタングステン製品ウェブサイト）を起点に設立され、タングステン、モリブデン、希土類元素産業に特化した中国の先駆的な e コマース企業です。CTIA GROUP は、タングステンおよびモリブデン分野での約 30 年にわたる豊富な経験を活かし、親会社の優れた設計・製造能力、優れたサービス、世界的なビジネス評判を継承し、タングステン化学薬品、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で包括的なアプリケーションソリューションプロバイダーになりました。

CHINATUNGSTEN ONLINE は、過去 30 年間で 200 以上の多言語対応タングステン・モリブデン専門ウェブサイトを開設し、20 以上の言語に対応しています。タングステン、モリブデン、希土類元素に関するニュース、価格、市場分析など、100 万ページを超える情報を掲載しています。2013 年以来、WeChat 公式アカウント「CHINATUNGSTEN ONLINE」は 4 万件以上の情報を発信し、10 万人近くのフォロワーを抱え、世界中の数十万人の業界関係者に毎日無料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へ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、希土類元素業界における世界的に権威のある情報ハブとして認知され、24 時間 365 日、多言語ニュース、製品性能、市場価格、市場動向などのサービスを提供しています。

CTIA GROUP は CHINATUNGSTEN ONLINE の技術と経験を基盤とし、顧客の個別ニーズへの対応に注力しています。AI 技術を活用し、顧客と共同で、特定の化学組成と物理的特性（粒径、密度、硬度、強度、寸法、公差など）を持つタングステン・モリブデン製品を設計・製造し、型開き、試作、仕上げ、梱包、物流まで、全工程を統合したサービスを提供しています。過去 30 年間、CHINATUNGSTEN ONLINE は、世界中の 13 万社以上の顧客に、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、カスタマイズ可能で柔軟性が高く、インテリジェントな製造の基盤を築いてきました。CTIA GROUP はこの基盤を基に、インダストリアル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。

ハンス博士と CTIA GROUP のチームは、30 年以上にわたる業界経験に基づき、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・公開し、タングステン業界と自由に共有しています。ハンス博士は、1990 年代からタングステンおよびモリブデン製品の電子商取引および国際貿易、超硬合金および高密度合金の設計・製造において 30 年以上の経験を持ち、国内外でタングステンおよびモリブデン製品の専門家として知られています。CTIA GROUP のチームは、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、生産の実践と市場の顧客ニーズに基づいた技術研究論文、記事、業界レポートを継続的に執筆しており、業界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、製品のプロモーション、業界交流に強力なサポートを提供し、同社が世界的なタングステンおよびモリブデン製品の製造と情報サービスのリーダーとなることを推進しています。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

目次

前書き

目的 と 意義
帳簿構成の概要
ターゲット

第 1 章: バリウム タングステン正極の概要

- 1.1 バリウムタングステンカソードの定義と基本概念
 - 1.1.1 バリウムタングステン陰極の定義
 - 1.1.2 熱陰極と冷陰極の比較
 - 1.1.3 バリウムタングステン陰極と他の熱陰極の比較
- 1.2 バリウムタングステン正極の歴史的発展
 - 1.2.1 バリウムタングステン陰極の起源と技術的進化
 - 1.2.2 主要なマイルストーンと技術的進歩
- 1.3 バリウムタングステン陰極の応用分野
 - 1.3.1 真空エレクトロニクス
 - 1.3.2 産業および科学研究における特定の用途
 - 1.3.3 クロスドメインの可能性

第 2 章: バリウムタングステンカソードの材料科学

- 2.1 バリウムタングステン陰極の材料組成
 - 2.1.1 多孔質タングステンマトリックスの化学的および物理的特性
 - 2.1.2 バリウム化合物の性質と比率
 - 2.1.3 排出性能に対する添加剤の影響
- 2.2 バリウムタングステン陰極の調製プロセス
 - 2.2.1 多孔質タングステンマトリックスの調製: 粉末冶金と細孔制御
 - 2.2.3 バリウム化合物の含浸プロセス: 溶液の調製と含浸パラメータ
- 2.3 バリウムタングステン陰極の微細構造と特性
 - 2.3.1 多孔質タングステンマトリックスの気孔率と構造解析
 - 2.3.2 バリウム活性層の表面形態と放出性能の関係

第 3 章: 動作原理と起動メカニズム

- 3.1 熱電子放出の理論
 - 3.1.1 リチャードソン・ダッシュマン方程式
 - 3.1.2 ショットキー効果と電界増強放出
 - 3.1.3 量子力学の視点
- 3.2 バリウムタングステンカソードの放出特性
 - 3.2.1 低電力機能の形成メカニズム
 - 3.2.2 活性層の動的挙動と熱安定性
- 3.3 バリウムタングステン陰極の発光性能に影響を与える要因

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

- 3.3.1 作業環境
- 3.3.2 老化のメカニズムと毒性影響
- 3.3.3 故障モード解析

第4章:バリウムタングステン陰極の製造・加工技術

- 4.1 多孔質タングステンマトリックス成形
 - 4.1.1 タングステン粉末の選別およびプレスプロセス
 - 4.1.2 気孔率と機械的強度の最適化
- 4.2 バリウム化合物の含浸と活性化
 - 4.2.1 含浸プロセス: バリウム化合物の配合と含浸条件
 - 4.2.2 活性化プロセス: 熱処理と表面活性層の形成
- 4.3 バリウムタングステン陰極の品質管理と試験
 - 4.3.1 伝達性能の試験方法
 - 4.3.2 一貫性と信頼性の評価基準
 - 4.3.3 故障の分析と改善

第5章:バリウムタングステンカソードの応用

- 5.1 真空エレクトロニクス
 - 5.1.1 マイクロ波管
 - 5.1.1.1 マグネトロン: レーダーおよびマイクロ波加熱装置に使用
 - 5.1.1.2 TWT: 高周波通信 および衛星増幅器
 - 5.1.1.3 クライストロン管: 高出力レーダーおよび粒子加速器
 - 5.1.2 X線管
 - 5.1.2.1 医療用画像機器
 - 5.1.2.2 工業用非破壊検査
 - 5.1.3 その他の真空装置
- 5.2 科学機器
 - 5.2.1 電子顕微鏡
 - 5.2.2 質量分析計: 高感度イオン源
 - 5.2.3 表面分析装置
- 5.3 産業および通信アプリケーション
 - 5.3.1 レーダーシステム
 - 5.3.2 通信機器
 - 5.3.3 真空スイッチチューブ
- 5.4 航空宇宙と防衛
 - 5.4.1 宇宙用電子機器
 - 5.4.2 電子対抗システム
- 5.5 新興およびクロストメインアプリケーション
 - 5.5.1 テラヘルツ波発生器
 - 5.5.2 イオンスラスタ
 - 5.5.3 高エネルギー物理実験

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5.4 生物医学的应用

第6章: バリウムタングステンカソード性能の最適化と改善

6.1 打ち上げ効率の向上

6.1.1 多孔質タングステンマトリックスの細孔構造の最適化

6.1.2 新しいバリウム化合物の配合とドーピング技術

6.1.3 ナノテクノロジーの応用

6.2 耐用年数を延ばす

6.2.1 中毒防止プロセス

6.2.2 熱安定性と機械的強度の向上

6.3 環境適応性

6.3.1 極限環境でのパフォーマンス

6.3.2 低消費電力とグリーン製造

6.4 インテリジェントデザイン

第7章 課題と今後の展開

7.1 現在の技術的なボトルネック

7.1.1 材料費と準備の複雑さ

7.1.2 パフォーマンスの一貫性と大量生産の課題

7.1.3 サプライチェーンの課題

7.2 新興技術競争

7.2.1 冷陰極技術

7.2.2 その他の熱陰極

7.2.3 バリウムタングステン陰極の競争優位性分析

7.3 今後の研究の方向性

7.3.1 新しい材料とプロセスの探索

7.3.2 インテリジェントで適応的なカソード設計

7.3.3 学際的な研究

第8章: バリウムタングステン正極規格

8.1 国際規格および業界標準

8.1.1 バリウムタングステン陰極に関連する国際規格

8.1.2 バリウムタングステン陰極に関連する業界標準

8.2 バリウムタングステンカソードの性能パラメータの仕様

8.2.1 主要パラメータの標準化要件

8.2.2 試験方法と検証プロセス

8.3 バリウムタングステン陰極の製造および品質管理基準

8.3.1 材料純度と調製プロセスの仕様

8.3.2 一貫性とトレーサビリティの要件

8.4 環境および安全基準

8.4.1 バリウム化合物の安全処理と環境保護仕様

8.4.2 生産および使用におけるコンプライアンスガイドライン

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

8.4.3 廃棄物処理仕様

虫垂

A. 用語集

B. 参考文献

C. 試験基準と仕様

国際規格

業界標準

中国の国家および業界標準

D. サプライヤーとリソース

CTIA GROUP LTD 序章

CTIA GROUP LTD バリウムタングステン電極 関連サイト

E. 目次

キーワードインデックス

トピックインデックス



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

Barium Tungsten Cathode Introduction

1. Overview of Barium Tungsten Cathode

The Barium Tungsten Cathode is a type of thermionic emission material typically composed of high-purity tungsten as the base, impregnated with barium compounds. Upon high-temperature activation, it emits free electrons and is widely used in vacuum electronic devices. Due to its low work function and high electron emission efficiency, this cathode plays a critical role in high-power electronic equipment. CTIA GROUP LTD specializes in the global flexible customization of tungsten and molybdenum products, offering tailored high-performance barium tungsten cathodes according to customer requirements.

2. Characteristics of Barium Tungsten Cathode

- **High Electron Emission Efficiency:** The low work function of barium enables the cathode to emit a large quantity of electrons even at relatively low temperatures.
- **High-Temperature Resistance:** With a tungsten matrix that has a melting point of 3422° C, the cathode maintains structural stability in high-temperature operating environments.
- **Long Service Life:** Optimized barium compound impregnation techniques help minimize barium evaporation, thereby extending the cathode's lifespan.
- **Low Evaporation Rate:** Compared to other cathode materials, barium tungsten exhibits a lower evaporation rate at high temperatures, reducing contamination within the device.
- **Arc Stability:** Delivers a stable electron flow, making it ideal for high-precision electron beam applications.

3. Applications of Barium Tungsten Cathode

- **HID Lamps:** The cathode's low work function and high current density allow HID lamps to emit bright and stable light, making them suitable for applications that require high brightness and long service life, such as roadway and industrial lighting.
- **Vacuum and Laser Devices:** The low work function makes barium tungsten ideal for use in vacuum electronic and laser components.
- **Stage and Club Lighting Effects:** High-frequency strobe lights made from this material are known for their long lifespan and stable performance.
- **Film Projection and Video Recording:** The film and broadcast industry also relies heavily on this material for projection and recording equipment, where it ensures long-term operational stability and high efficiency.
- **Laser Mercury Pumps:** Its high electron emission capability and low operating temperature contribute to improved laser performance and stability.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

前書き

目的 と意義

バリウムタングステン陰極は、効率的な熱発光材料として、現代の電子技術の分野で極めて重要な位置を占めています。その核となる特性である低仕事関数、高放射電流密度、優れた熱安定性と長寿命は、多孔質タングステンマトリックスとアルミン酸バリウムカルシウムなどのバリウム化合物の独創的な組み合わせに由来しています。このユニークな設計により、バリウム タングステン陰極は真空電子デバイス（マイクロ波管、X 線管、光電子増倍管など）に最適であり、航空宇宙、医療画像、通信システム、科学機器、高エネルギー物理実験などの最先端分野で広く使用されています。バリウム タングステン陰極は、真空エレクトロニクス技術の継続的な進歩を促進するだけでなく、テラヘルツ波発生器やイオン スラスタなどの新興技術を潜在的にサポートします。

この本は、バリウムタングステン正極の材料科学、製造プロセス、動作原理、応用分野、将来の開発動向をカバーする、包括的かつ体系的な参考資料を読者に提供するように設計されています。私たちは、バリウム-タングステン正極の技術的詳細を掘り下げることで、高性能エレクトロニクスにおけるバリウム-タングステン正極の重要な役割を明らかにし、学際的な分野での革新の可能性を探りたいと考えています。

帳簿構成の概要

この本は、基礎から応用まで、理論から実践まで、論理的な厳密さを層ごとに明確に構成し、8つの章と付録に分かれており、バリウムタングステン陰極のあらゆる側面を完全にカバーしています。

- 第 1 章: バリウム タングステン正極の概要

この章では、バリウムとタングステンの正極の定義、基本概念、比較、および他の熱陰極と冷陰極との比較を紹介し、その起源から現代技術までの進化の歴史的背景を整理し、真空電子デバイス、産業、科学研究における幅広い用途を概説します。

- 第 2 章: バリウムタングステンカソードの材料科学

この章では、バリウムタングステンカソードの材料組成と調製プロセスを詳しく掘り下げ、多孔質タングステンマトリックス、バリウム化合物、添加剤の化学的および物理的特性を分析し、微細構造(気孔率や表面形態など)と発光特性の間の内部関係を明らかにします。

- 第 3 章: 動作原理と排出メカニズム

この章では、熱電子放出の理論から出発し、リチャードソン・ダッシュマン方程式、ショットキー効果、量子力学を組み合わせて、バリウムタングステン陰極の低仕事関数の形成メカニズム、活性層の動的挙動、および発光性能に影響を与える環境要因を詳細に分析します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **第4章:バリウムタングステン陰極の製造・加工技術**

この章では、製造プロセスに焦点を当て、多孔質タングステンマトリックスの粉末冶金成形、バリウム化合物の含浸および活性化プロセス、および排出特性の試験および品質管理方法をカバーし、工業生産のための技術的参考資料を提供します。

- **第5章:バリウムタングステンカソードの応用**

この章では、真空電子機器(マイクロ波管、X線管など)、科学機器(電子顕微鏡、質量分析計など)、産業用通信、航空宇宙、新興分野におけるバリウムタングステンカソードの具体的な用途を体系的に整理し、そのクロスフィールドの可能性を強調します。

- **第6章:バリウムタングステンカソード性能の最適化と改善**

この章では、新しいバリウム化合物製剤、ナノテクノロジーの応用、インテリジェント デザインなどの最先端の方法を含め、排出効率の向上、耐用年数の延長、環境適応性の強化のための戦略について説明します。

- **第7章 課題と今後の展開**

この章では、現在の技術的なボトルネック(材料コスト、性能の一貫性など)と、冷陰極などの競合技術の課題を分析し、新しい材料、新しいプロセス、学際的な研究(人工知能や量子コンピューティングなど)の将来の方向性に期待しています。

- **第8章:バリウムタングステン正極規格**

この章では、バリウムおよびタングステン正極に関連する国際標準および業界標準を紹介し、性能パラメータ仕様、試験方法、製造プロセス、環境安全要件をカバーし、標準化された生産のガイドラインを提供します。

- **付録と索引**

付録には、用語集、参考文献、試験規格、性能データシート、サプライヤー情報(CTIA GROUP LTD など)が含まれており、簡単に参照して詳細な調査を行うことができます。インデックス作成セクションには、コンテンツの迅速なターゲティングのためのキーワードとトピックのインデックスが用意されています。

本書の内容デザインは理論と実践の組み合わせに焦点を当てており、基礎科学に関する詳細な議論と工学応用に関する詳細な指導の両方があり、読者に包括的で実践的な知識システムを提供することを目的としています。

ターゲット

この本は、以下を含むがこれらに限定されない幅広い読者を対象としています。

- **材料科学者:**バリウムタングステン陰極の材料組成、微細構造、調製プロセスに注意を払い、新しい材料とプロセスのブレークスルーを模索します。
- **電子エンジニア:**真空電子デバイスの設計と開発に従事し、バリウムタングステン正極の動作原理と製造技術を習得する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

- **真空エレクトロニクス技術** の研究者:熱陰極の性能最適化、アプリケーション拡大、標準化研究に焦点を当てています。
- **産業技術者**:マイクロ波管、X線管、レーダーシステム、その他の機器の製造とメンテナンスにバリウムタングステン陰極を適用します。
- **学際的なイノベーター**: テラヘルツ技術、イオンスラスタ、生物医学などの新興分野におけるバリウムタングステン陰極の可能性を探ります。
- **大学の教師と学生**: この本は、材料科学、電子工学、真空電子技術などの専攻の大学院教科書または参考書として使用でき、学術研究と教育のサポートを提供します。

バリウム タングステン正極の初心者であっても、関連分野で長年の経験を持つ専門家であっても、この本は明確な知識フレームワーク、詳細な技術的洞察、実践的なアプリケーション ガイドを提供することを目的としています。

特徴と値の書き込み

この本は、学術的価値と実用性のバランスが取れていることを確認するために、執筆プロセスにおける次の特徴に焦点を当てています。

- **包括的かつ体系的**
この本は、バリウムとタングステンの正極の基礎理論から最先端の応用まで、材料科学から工業規格まで、あらゆる側面を包括的にカバーし、読者が関連する内容を体系的に把握できるようにするための完全な知識システムを構築しています。
- **理論と実践の融合**
本書では、熱電子放出の理論と材料科学の原理を詳しく説明しながら、学術研究と工学実践のニーズを考慮して、詳細な製造プロセス、性能試験方法、実際の応用例を提供します。
- **将来を見据えた革新的**
この本は、バリウムタングステン正極の既存の技術的成果を要約するだけでなく、ナノテクノロジー、インテリジェントデザイン、学際的研究(人工知能や量子コンピューティングなど)における将来の発展の方向性を楽しみにしており、読者に革新的なインスピレーションを提供します。
- **有用性と操作性**
付録の用語集、性能データシート、テスト規格、およびサプライヤー情報(CTIA GROUP LTD.など)は、読者に便利な参照リソースを提供します。インデックス設計により、主要なコンテンツの迅速なターゲティングが容易になり、その有用性が向上します。

この本を通じて、読者はバリウムタングステン陰極の科学のおよび技術的意味合いを深く理解できるだけでなく、そこからインスピレーションを得て、真空エレクトロニクス技術および関連分野の革新と発展を促進することもできます。私たちは、バリウムタングステン正極は、古典的でダイナミックな技術として、将来の技術の波において重要な役割を果

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

たし続け、高性能電子デバイスや学際的なアプリケーションに無限の可能性を提供すると信じています。



第 1 章: バリウム タングステン正極の概要

バリウムタングステン陰極は、高効率の熱電子放出材料として、真空エレクトロニクスとハイテクの分野でかけがえのない地位を占めています。独自の多孔質タングステンマトリックスとバリウム化合物含浸構造により、低仕事機能、高発光電流密度、優れた熱安定性、長寿命という特徴があり、マイクロ波管、X線管、電子顕微鏡などの中核部品となっています。この章は、バリウムタングステン正極の定義と基本概念、歴史的発展の背景、幅広い応用分野を網羅し、バリウムタングステン正極の包括的な紹介を読者に提供し、後続の章での詳細な議論の基礎を築くことを目的としています。バリウムタングステン正極と他のタイプの正極の性能の違いを比較することで、その技術進化における重要なマイルストーンを整理し、伝統的および新興分野での可能性に期待します。

1.1 バリウムタングステンカソードの定義と基本概念

1.1.1 バリウムタングステン陰極の定義

バリウムタングステンカソードは、熱電子放出の原理に基づくカソードであり、そのコア構造は、高い気孔率を持つ多孔質タングステンマトリックスと、アルミン酸バリウムカルシウム、Ba-Ca-アルミン酸塩などのバリウム化合物を含浸させたもので構成されています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

多孔質タングステンマトリックスは粉末冶金技術によって調製され、均一な細孔構造を有しており、バリウム化合物を効果的に吸着して貯蔵できます。高温の動作条件下では、バリウム化合物は熱分解によって反応性バリウム原子を放出し、多孔質タングステンマトリックスの細孔を通して表面に拡散し、仕事関数の低い単一原子層を形成します(仕事関数は約 1.1~1.5 eV)。この低電力機能により、電子の逃げに必要なエネルギーが大幅に削減され、バリウム タングステン カソードは高い放射電流密度を提供し、高出力、高周波、高信頼性のシナリオで優れたパフォーマンスを発揮できるようになります。

バリウムタングステンカソードの設計は、タングステンマトリックスの高融点(約 3422°C)、優れた化学的安定性、およびバリウム化合物の低仕事関数の利点を兼ね備えており、マイクロ波管、X 線管、科学機器など、安定した電子源を必要とする真空電子デバイスに特に適しています。中毒に対する耐性と熱安定性により、高真空や高放射線シナリオなどの要求の厳しい環境への適合性がさらに高まります。

1.1.2 熱陰極と冷陰極の比較

電子放出源は主に熱陰極と冷陰極の 2 つのカテゴリに分類され、その動作原理、性能特性、およびアプリケーション シナリオには大きな違いがあります。以下は詳細な比較です。

- **熱陰極(バリウムタングステン陰極など)**

熱い陰極は材料を高温に加熱し、電子が表面障壁を克服して熱電子放出を達成するのに十分なエネルギーを得るようにします。その主な機能は次のとおりです。

- **高い送信電流密度:** 平方センチメートルあたり数アンペアから数十アンペアに達し、マイクロ波管や X 線管などの高出力デバイスに適しています。
- **安定性と成熟したプロセス:** 100 年近くの開発を経て、熱陰極技術は成熟した製造プロセスと高性能の一貫性を備えており、産業や科学研究で広く使用されています。
- **長寿命:** バリウム タングステン カソードは、適切な条件下で数千時間から数万時間動作でき、高い信頼性要件を満たします。制限は、連続加熱の必要性、その結果、エネルギー消費量が多く、熱応力や材料の経年劣化を引き起こす可能性のある高温、表面汚染を避けるための真空環境(通常 10^{-6} Pa 以下)に対する高い要件があることである。

- **冷陰極(電界放出陰極、カーボンナノチューブ陰極など)**

冷陰極は、高温動作なしで強い電場(通常は 10^7 ~ 10^9 V/m)を介して電子トンネル放出を誘導します。その主な機能は次のとおりです。

- **低消費電力:** 加熱が不要で、ポータブル電子機器などの低エネルギーデバイスに適しています。
- **高速応答:** 電子放出は応答時間 (ナノ秒) が短いため、高周波またはパルス用途に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **小型化の可能性:** コンパクトで、電界放射ディスプレイやマイクロ X 線源などの小型デバイスに適しています。ただし、冷陰極は放射電流密度が低く (通常は mA/cm^2 レベル)、電界の均一性と表面の清浄度に対する要件が非常に高く、汚染や損傷を受けやすく、製造プロセスが複雑でコストが高くなります。

次の表は、熱陰極と冷陰極の性能をまとめたものです (一般的な技術パラメータに基づくデータ)。

特性	サーマルカソード(バリウムタングステンカソードなど)	冷陰極(電界放出陰極など)
使い方:	熱電子放出(高温に加熱)	電界誘起電子トンネリング(強電場)
仕事機能(eV)	1.1-1.5(バリウムタングステンカソード)	4-5 (標準)
発光電流密度	$10 \sim 20 \text{ A}/\text{cm}^2$	$0.01 \sim 1 \text{ A}/\text{cm}^2$
動作温度	$900 \sim 1100^\circ\text{C}$	室温
寿命	数万時間	数千時間(環境による)
真空要件	高(10^{-6}Pa 以下)	極めて高い(10^{-8}Pa 以下)
主な利点	高電流密度と長寿命	低消費電力、高速応答
主な制限事項	高いエネルギー消費と高温が必要	低電流密度と複雑なプロセス
代表的な用途	マイクロ波管、X 線管	電界放出ディスプレイ、マイクロ X 線源

バリウム タングステン陰極などの熱陰極は、高出力で長寿命の真空エレクトロニクスを支配していますが、冷陰極は低電力で小型化された新しいアプリケーションに適しています。この 2 つはさまざまなシナリオで相互に補完し合い、電子エミッション技術の進歩を共同で推進します。

1.1.3 バリウムタングステン陰極と他の熱陰極の比較

熱陰極ファミリーの中で、バリウム タングステン陰極は、その優れた包括的な特性により広く好まれています。一般的な熱陰極タイプ (酸化物陰極、トリウム タングステン陰極、純タングステン陰極) との比較は次のとおりです。

- **酸化物陰極**

酸化物陰極は、酸化バリウム(BaO)、酸化ストロンチウム(SrO)などの材料をニッケルマトリックスにコーティングしたものでできており、仕事関数が低く(約 $1 \sim 2 \text{ eV}$)、動作温度が $800 \sim 1000^\circ\text{C}$ 、放射電流密度が約 $1 \sim 5 \text{ A}/\text{cm}^2$ です。その利点は低コストであり、低電力真空管(初期のラジオなど)に適しています。ただし、真空環

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

境 (10^{-7} Pa 未満) に対する厳しい要件があり、酸素または水蒸気汚染の影響を受けやすく、排出性能の低下につながり、通常、寿命は数百時間から数千時間です。対照的に、バリウム タングステン正極は耐毒性と熱安定性が強いいため、高出力で長時間稼働するシナリオに適しています。

- **トリウムタングステンカソード**

トリウムタングステンカソードは、タングステンマトリックスに酸化トリウム (ThO_2) をドーピングすることで低仕事関数(約 2.6eV)を実現し、動作温度は 1700～

1900°C、発光電流密度は最大 5～10 A/cm²で、高出力マイクロ波管などの高電流密度アプリケーションに適しています。しかし、トリウムの放射能は人間や環境に潜在的なリスクをもたらし、医療および民間分野での応用が制限されています。バリウム タングステン カソードは、放射能のリスクがなく、動作温度が低く、エネルギー効率が高く、寿命が長くなります (最大数万時間)。

- **純粋なタングステンカソード**

純粋なタングステンカソードは、タングステン線またはタングステンシートでできており、高い仕事関数(約 4.5 eV)を持ち、十分な放射電流(約 2000～2500 A/cm²)

を達成するために非常に高い温度(0.1～1°C)を必要とします。その利点は化学的安定性が高く、過酷な環境(高真空や高温など)に適していますが、エネルギー消費量が多く、排出効率が低いため、最新の高性能デバイスのニーズを満たすことは困難です。バリウム タングステン カソードは仕事関数が低く、動作温度が低いため、エネルギー効率、性能、寿命の点で純粋なタングステン カソードを全体的に上回ります。

バリウムタングステン陰極は、低作業機能、高い放出効率、長寿命、非放射能という利点により、現代の真空電子機器で好まれる熱陰極材料となっており、高信頼性および高出力のシナリオで広く使用されています。

1.2 バリウムタングステン正極の歴史的発展

1.2.1 バリウムタングステン陰極の起源と技術的進化

バリウムタングステンカソードの起源は、20 世紀初頭の熱電子放出技術の台頭にまでさかのぼることができます。1900 年代初頭、無線通信のダイオードや三極管などの初期の真空管に熱陰極が適用され始めました。当時、純粋なタングステンカソードは、融点が高く化学的安定性があるため広く使用されていましたが、高い仕事関数(約 4.5eV)と高い動作温度により、排出効率とエネルギー効率が制限されていました。20 世紀の 20 年代から 30 年代にかけて、酸化物陰極の出現により仕事機能が大幅に低下しましたが、その環境への敏感さと寿命の短い欠点により、研究者はより優れた熱陰極材料を探索するようになりました。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1950 年代には、レーダー、マイクロ波通信、テレビ受像管などの真空電子デバイスの需要が急増し、低電力機能と長寿命カソードの研究開発が話題になりました。1950 年代後半、アメリカの科学者は、多孔質タングステンマトリックスにバリウム化合物を含浸させるという概念を最初に提案し、バリウムタングステンカソードの初期のプロトタイプを開発しました。このカソードは、タングステンマトリックスの高い安定性とバリウム化合物の低い仕事関数特性を組み合わせ、発光性能を大幅に向上させます。1960 年代には、多孔質タングステンマトリックスの粉末冶金調製技術とバリウム化合物の含浸プロセスが徐々に成熟し、バリウムタングステン陰極はマイクロ波管や X 線管に商業的に適用され始めました。

20 世紀の 70 年代から 80 年代にかけて、バリウムタングステン陰極技術は急速な発展の時期に入りました。アルミン酸バリウムカルシウムなどの新しい化合物の導入により、放出特性が最適化され、活性化プロセスの標準化により生産の一貫性が向上します。20 世紀の 90 年代以降、航空宇宙、医療画像、高エネルギー物理実験の進歩に伴い、バリウムタングステン陰極の応用範囲はさらに拡大しました。21 世紀初頭、ナノテクノロジー、新しいバリウム化合物配合、インテリジェントな製造プロセスの導入により、バリウムタングステン正極の性能と応用の可能性が新たなレベルに引き上げられました。これらの技術の進歩により、真空エレクトロニクスは高出力、高周波、長寿命の方向に発展しました。

1.2.2 主要なマイルストーンと技術的進歩

バリウムタングステン正極の開発において、いくつかの重要な技術的進歩が、その性能の向上と広範な用途の向上に決定的な役割を果たしてきました。

- **多孔質タングステンマトリックス技術のブレークスルー(1950–1960 年代)**
粉末冶金技術の進歩により、高気孔率のタングステンマトリックスの調製が可能になりました。多孔質構造は、毛細管現象によってバリウム化合物の貯蔵容量を高め、反応性バリウムの表面への拡散を促進し、それによって排出効率と安定性を向上させます。この画期的な進歩は、バリウムタングステン正極の商業化の基礎を築きました。
- **バリウム化合物製剤の最適化(1970 年代)アル**
ミン酸バリウムカルシウム(例: $4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)は、バリウムタングステンカソードにおける重要なブレークスルーとなりました。この化合物は高温でゆっくりと分解し、反応性バリウムを継続的に放出できるため、長い正極寿命(数万時間)と安定した放出(電流密度 $10\text{--}20\text{ A/cm}^2$)が保証されます。最適化された配合により、中毒に対する耐性も向上し、表面汚染の影響も軽減されます。
- **含浸および活性化プロセスの標準化 (1980 年代)**
含浸パラメータ(溶液濃度、含浸時間、温度など)と熱処理活性化プロセスの制御により、活性層の均一性と発光特性の一貫性が大幅に向上しました。この標準化

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

されたプロセスにより、バリウムタングステン陰極の工業生産が促進され、マイクロ波管、X線管、その他の分野でより広く使用されるようになりました。

- **ナノテクノロジーの導入(2000年代から現在)**

ナノスケールの多孔質タングステンマトリックスとナノバリウムコーティング技術の探索により、エミッション性能はさらに向上しました。ナノ細孔構造は表面積を増加させ、バリウム原子の拡散効率を高めます。ランタンやセリウムなどの希土類元素の添加などの新しいドーピング技術により、仕事関数と熱安定性が最適化されます。これらの技術により、バリウム タングステン正極はテラヘルツ波発生器などの新たな用途で可能性を示すことができます。

- **インテリジェント製造とテスト (2010年代から現在)**

現代の製造業では、生産プロセスの精度を確保するために、自動含浸装置とリアルタイム監視技術が導入されています。高度な試験方法 (走査型電子顕微鏡分析、発光電流密度測定など) により、品質管理が向上し、生産における性能の偏差が軽減されます。

これらの技術的進歩により、バリウムタングステン正極の性能が向上しただけでなく、レーダー、通信、医療、科学研究の分野における真空電子デバイスの広範な応用も促進されました。

1.3 バリウムタングステン陰極の応用分野

1.3.1 真空エレクトロニクス

バリウムタングステン正極は、高い放射電流密度、長寿命、優れた安定性により、次のようなさまざまな真空電子デバイスの中核コンポーネントとなっています。

- **マイクロ波管**

マイクロ波管は、レーダー、通信、産業用暖房で広く使用されている高周波、高出力の電子デバイスです。バリウム タングステン カソードは、次のマイクロ波管で重要な役割を果たします。

- **マグネトロン:** 軍用および民間用レーダー(気象レーダー、航空交通管制レーダーなど)およびマイクロ波加熱機器(産業用電子レンジなど)に使用され、その高電流密度($10\sim 20\text{ A/cm}^2$)は安定した高出力(最大メガワットレベル)をサポートします。
- **進行波管:** 衛星通信、地上基地局増幅器、高周波放送に使用され、広帯域および高利得信号増幅を提供し、最新の通信システムの高周波要件を満たします。
- **クライストロン 管:** 高出力レーダー(ミサイル誘導システムなど)や粒子加速器(放射光源など)に使用され、高パルス電力(数百キロワットからメガワット)をサポートします。バリウムタングステン陰極の高い安定性と耐老

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

化性により、高周波で要求の厳しい環境でもこれらのデバイスの信頼性の高い動作が保証されます。

- **X 線管**

X 線管は、医療画像処理および産業用非破壊検査の中核コンポーネントです。バリウム タングステン カソードは、次の用途をサポートする高輝度で安定した電子ビームを提供します。

- **医療画像処理:** CT スキャナーや X 線診断機器などの高い放射効率により、高解像度イメージング (サブミリメートル レベルの解像度) と高速スキャン (第 2 レベルの解像度) をサポートし、診断精度と患者エクスペリエンスを向上させます。
- **産業用非破壊検査:** 航空部品の亀裂、溶接品質、パイプラインの腐食を検出し、産業の安全性と製品品質を確保するために使用されます。バリウム タングステンカソードの長寿命(数万時間)と一貫性により、機器のメンテナンスコストが削減され、運用効率が向上します。

- **その他の真空装置**

バリウムタングステン陰極は、光電子増倍管(天体観測や核物理実験などの高感度光検出用)、電子ビーム溶接装置(航空宇宙部品の精密製造用)、真空スイッチ(高圧電力システムの電子制御用)にも使用されています。その高性能は、電子ソースに対するこれらのデバイスの厳しい要件を満たしています。

1.3.2 産業および科学研究における特定の用途

バリウム タングステン カソードは、工業生産や科学研究において次のような幅広い用途があります。

- **電子顕微鏡**

走査型電子顕微鏡(SEM)および透過型電子顕微鏡(TEM)では、バリウムタングステン陰極は、ナノスケール分解能の表面トポグラフィと内部構造解析をサポートする高輝度で安定した電子ビームを提供します。高い放射電流密度と低ノイズ特性により、材料科学 (半導体材料分析など)、生物学 (細胞構造イメージングなど)、ナノテクノロジー研究に適しています。

- **質量分析計**

バリウムタングステン陰極は、高感度イオン源の主要成分として、環境モニタリング(空気中の揮発性有機化合物の検出など)、医薬品開発(代謝物の同定など)、地質研究(同位体比分析など)において重要な役割を果たしています。その高い発光効率により、質量分析計の検出感度が向上します(最大 ppb レベル)。

- **表面分析装置**

- オージェ電子分光計 (AES)、X 線光電子分光計 (XPS)、二次イオン質量分析計 (SIMS) では、バリウム タングステン陰極は安定した電子流を提供し、材料表面の化学組成と電子構造を正確に分析します。これらの技術は、新素材の開発(高性能合金、半導体膜など)や表面工学(コーティング性能の最適化など)に広く利用されています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **レーダーおよび 通信システム**

バリウム タングステン カソードは、軍用レーダー（ミサイル誘導システムなど）、民間レーダー（航空交通管制など）、通信機器（衛星増幅器、5G 基地局など）に高出力電子源を提供し、長距離信号伝送と干渉防止機能をサポートします。その高い信頼性と長寿命により、システムのメンテナンスコストが削減され、最新の通信システムの高性能要件を満たします。

- **工業用加熱および処理**

電子ビーム溶解、電子ビーム表面改質、真空熱処理装置では、バリウムタングステン陰極は、金属精製(チタン合金製造など)、合金調製、ケース硬化(航空タービンブレードなど)に高エネルギーの電子ビームを提供し、材料特性と産業効率を大幅に向上させます。

1.3.3 クロスドメインの可能性

科学技術の急速な発展に伴い、バリウムタングステン陰極の応用の可能性は新興分野や学際的な分野に拡大しており、有望な見通しを示しています。

- **新エネルギー技術**

イオンスラスタでは、バリウムタングステンカソードは宇宙船のマイクロスラストシステムの開発をサポートする大電流電子源として機能します。イオンスラスタは、高い比衝撃(最大 3000~9000 秒)と低燃料消費量により、深宇宙探査(火星探査車、星間ミッションなど)に理想的な動力源です。バリウムタングステン陰極の高い安定性と長寿命は、宇宙環境の厳しい要件を満たします。

- **テラヘルツ波技術**

テラヘルツ波 (0.1–10 THz) は、イメージング、通信、スペクトル分析において独自の利点をもたらします。バリウムタングステン正極は、テラヘルツイメージング(セキュリティスクリーニング、がんの早期発見用)と高速通信(次世代 6G ネットワーク)をサポートする真空電子テラヘルツ波発生器に高出力の電子源を提供します。その高い放射効率と安定性は、テラヘルツ技術の商業化の可能性をもたらします。

- **高エネルギー物理実験**

粒子加速器(CERN の LHC など)や放射光源では、バリウムタングステン陰極は高エネルギー粒子ビームを生成し、素粒子の特性と構造を探索するための大電流電子源を提供します。その高い排出効率と安定性は、長時間の高強度の実験実行をサポートします。

- **生物医学的応用**

高精度の質量分析により、バリウムタングステンカソードは、がんマーカー分析やメタボロミクス研究などの疾患診断における分子検出のイオン源として使用できます。その高い感度と信頼性は、精密医療の発展を推進してきました。さらに、電子ビーム滅菌装置にバリウムタングステン陰極を適用することで、医療機器の滅菌に効率的なソリューションが提供されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **量子技術**

量子コンピューティングおよび量子通信機器におけるバリウム タングステン カソードの可能性が検討されています。その高い安定性と低い仕事関数特性を使用して、量子ビットの操作と量子状態の検出をサポートする高精度の電子源を開発できます。学際的な研究(量子材料と真空エレクトロニクス技術の組み合わせなど)は、量子技術に新たなブレークスルーをもたらす可能性があります。

- **グリーンエネルギーと環境保護**

プラズマ発生器へのバリウム タングステン カソードの適用は、電子ビーム誘導による有機汚染物質のプラズマ分解など、効率的な排気ガス処理と水質浄化技術をサポートします。さらに、トカマク装置用の電子ビーム加熱システムなど、核融合研究におけるその潜在的な応用は、クリーンエネルギー開発の可能性をもたらします。

要約すると、バリウムタングステン正極は、その優れた性能と幅広い適応性により、従来の真空電子デバイスにおいて中核的な地位を占めるだけでなく、新エネルギー、テラヘルツ技術、量子技術、生物医学などの新興分野でも大きな可能性を示しています。この章では、バリウムタングステン正極の定義、他の正極との比較、歴史的発展、および応用分野の包括的な紹介を通じて、読者に明確な知識の枠組みを提供します。その後の章では、その材料科学、動作原理、製造プロセス、性能最適化戦略をさらに掘り下げ、読者により包括的で詳細な技術的視点を提供します。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

第2章:バリウムタングステンカソードの材料科学

バリウム タングステン正極の卓越性は、その細心の注意を払った材料組成、正確な準備プロセス、複雑な微細構造と性能の相互作用に由来します。効率的な熱電子放出材料として、バリウムタングステン正極の多孔質タングステンマトリックスとバリウム化合物の相乗効果により、低仕事関数、高放出電流密度、優れた熱安定性を実現し、真空電子デバイスの中心的な位置となっています。この章では、バリウムタングステンカソードの材料科学の基礎を掘り下げ、多孔質タングステンマトリックスの化学的および物理的特性、バリウム化合物比の最適化、添加剤の役割、調製プロセスにおける主要技術、および微細構造と発光特性の関係をカバーし、それらの材料組成、調製プロセス、および微細構造が性能に及ぼす影響を詳細に分析します。

2.1 バリウムタングステン陰極の材料組成

2.1.1 多孔質タングステンマトリックスの化学的および物理的特性

多孔質タングステンマトリックスはバリウムタングステンカソードのコア構造であり、その化学的および物理的特性は、カソードの熱安定性、機械的強度、および電子放出効率を直接決定します。多孔質タングステンマトリックスは、適切な気孔率と細孔サイズを備えた高純度タングステン(純度 $\geq 99.95\%$)を使用した粉末冶金技術によって調製されます。この多孔質構造は、バリウム化合物を貯蔵するスペースを提供するだけでなく、毛細管現象による活性バリウム原子の拡散を促進し、その結果、陰極表面に低仕事機能層が形成されます。以下は、多孔質タングステンマトリックスの主な化学的および物理的特性です。

- 化学的安定性:** タングステンの化学的不活性が高いため、高真空環境 (10^{-6} Pa 以下) では酸素、水蒸気、残留ガスに対して高い耐性が得られます。この安定性により、表面の酸化や中毒のリスクが効果的に軽減され、正極の寿命が延びます。さらに、タングstenはバリウム化合物に対する化学反応性が低いため、マトリックスと活性物質の間の有害な相互作用が回避されます。
- 物理的特性:** タングステンの融点が高い (約 3422°C) ため、バリウム タングステン カソードの一般的な動作温度 ($900\text{--}1100^{\circ}\text{C}$) に構造の劣化や変形を起こすことなく耐えることができます。高密度 (約 19.25 g/cm^3) と高い機械的強度 (引張強度約 $700\text{--}1000\text{ MPa}$) により、高温および高応力環境におけるマトリックスの安定性が保証されます。多孔質構造の毛細管現象によりバリウム化合物の吸着能力が向上し、細孔ネットワークは活性バリウム原子を表面に拡散させるための効率的なチャネルを提供します。
- 熱伝導率と電気伝導率:** タングステンの高い熱伝導率 (約 $173\text{ W/m}\cdot\text{K}$) により、作業プロセス中の熱が均一に分散され、局所的な過熱による材料の劣化が軽減されます。高い導電性 (約 $1.82\times 10^7\text{ S/m}$) により効率的な電子伝送をサポートし、高出力電子デバイスのニーズに適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **細孔特性:** 気孔率と細孔径分布は、多孔質タングステンマトリックスの重要なパラメータです。20～30%の気孔率により、バリウム化合物の貯蔵容量と機械的強度のバランスが取れ、1～10 μm の細孔径範囲により毛細管現象の有効性が保証されます。細孔は、バリウム原子の継続的な拡散をサポートするために、接続されたネットワークを形成する必要があります。

多孔質タングステンマトリックスの気孔率と細孔径分布は、正確な調製プロセスによって制御する必要があります。気孔率が高すぎると機械的強度が不十分になる可能性があり、気孔率が低すぎるとバリウム化合物の貯蔵と拡散効率が制限され、排出性能に影響を与えます。マトリックスの微細構造は通常、細孔の均一性と一貫性を確保するために、走査型電子顕微鏡 (SEM) または X 線断層撮影 (X-CT) によって分析されます。

2.1.2 バリウム化合物(アルミン酸バリウムカルシウムなど)の特性と比率

バリウム化合物は、低仕事機能と高い排出効率を達成するためのバリウムタングステン陰極の主要成分であり、一般的に使用されるバリウム化合物はアルミン酸バリウムカルシウム ($4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 、略して 4:1:1 比)。これらの化合物は、高温(900～1100 $^{\circ}\text{C}$)での熱分解によって遊離バリウム原子を放出し、多孔質タングステンマトリックスの表面に拡散し、低仕事関数層(約 1.1～1.5 eV の仕事関数)を形成し、電子の脱出に必要なエネルギーを大幅に削減します。以下は、バリウム化合物の主な特性と比率の最適化です。

- **化学的性質:** アルミン酸バリウムカルシウムは、以下の反応を通じて高温で分解します。



放出された遊離バリウム原子はタングステンマトリックスの表面に吸着され、単一の原子層または薄膜を形成し、仕事関数を低下させます。発生する副生成物 (CaO 、 Al_2O_3 など)は化学的安定性が高く、排出性能を妨げません。過剰な蒸発による活性層の損失を回避しながら、長期運転中にバリウムを継続的に供給するには、化合物の分解速度を適度にする必要があります。

- **物理的特性:** アルミン酸バリウムカルシウムの融点は陰極の動作温度よりも高く、早期の融解や揮発を防ぎます。コンパウンドの粒子サイズは、均一な含浸と効率的な拡散を確保するために、タングステンマトリックスの細孔サイズと一致する必要があります。化合物の熱膨張係数はタングステンマトリックスの熱膨張係数とは異なり、プロセスの最適化によって熱応力を低減する必要があります。
- **比率の最適化:** 4:1:1 比率 ($4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)は、バリウム放出速度、化学的安定性、耐毒性のバランスが取れているため、産業用途では標準です。その他の構成には、

5:3:2 ($5\text{BaO} \cdot 3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$) または 6:1:2 ($6\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$)も特定のシナリオ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

で検討されています。たとえば、5:3:2 の比率は中毒防止能力を向上させることができ、残留ガスの多い環境に適しています。6:1:2 の比率によりバリウム放出速度が増加し、高電流密度のニーズに適していますが、寿命が短くなる可能性があります。比率の選択は、高出力マイクロ波管や長寿命の X 線管などのアプリケーション シナリオに応じて最適化する必要があります。

- **環境適応性:** バリウム化合物は酸素や水蒸気に敏感であるため、酸化や水和による劣化を避けるために高真空環境で保管および取り扱う必要があります。

バリウム化合物の比率と粒子特性は、活性層の形成効率と正極の長期安定性に直接影響するため、さまざまな用途のニーズを満たすために実験的に最適化する必要があります。

2.1.3 排出性能に対する添加剤の影響

バリウムタングステン陰極の排出効率、熱安定性、および抗中毒能力をさらに向上させるために、添加剤はしばしばバリウム化合物またはタングステンマトリックスに導入されます。一般的な添加剤とその効果は次のとおりです。

- **希土類酸化物(La_2O_3 、 CeO_2 など):** 希土類元素は、活性層の熱安定性を向上させながら、仕事関数(最大 1.0eV 以下)を低下させることで排出効率を高めます。例えば、0.5~2wt%の La_2O_3 をドーピングすると、仕事関数が大幅に低下し、耐酸化性が高まるため、高出力用途に適しています。 CeO_2 は表面硬度を向上させ、機械的摩耗を軽減します。
- **カルシウム (Ca) またはストロンチウム (Sr) 化合物:** CaO または SrO の比率を調整することでバリウム化合物の分解速度を制御し、正極の寿命を延ばします。たとえば、 CaO 比を上げると(2:1:1 の比率に)、バリウム放出速度が遅くなる可能性があり、衛星通信デバイスなどの長寿命アプリケーションに適していますが、送信電流密度がわずかに低下する可能性があります。
- **金属添加剤(Os 、 Ir など):** タングステンマトリックスの表面にオスミウム(Os)またはイリジウム(Ir)(厚さ約 0.1~1 μm)の薄層をコーティングすると、表面の触媒作用が高まり、バリウム原子の拡散と活性層の形成が促進される。 Os コーティングは仕事関数を約 1.0eV まで下げることができますが、コストが高く、経済性のトレードオフがあります。
- **ケイ酸塩またはホウ酸塩添加剤:** 保護層を形成することで中毒に対する耐性を向上させ、酸素または炭素汚染の影響を軽減します。ただし、ケイ酸塩が過剰になると仕事機能が増加する可能性があり、添加率 (通常 1 wt% <) を制御する必要があります。
- **その他の添加剤:** 酸化イットリウム (Y_2O_3) やジルコニア (ZrO_2) などは、熱安定性と機械的強度を向上させ、極限環境用途 (宇宙エレクトロニクスなど) に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

添加剤の種類と比率は実験を通じて正確に最適化する必要があります、過剰に添加すると活性層が不均一になったり、副反応が発生したりして、排出性能が低下する可能性があります。添加剤の選択は、高電流密度、長寿命、中毒防止のニーズなど、特定の用途シナリオに合わせて設計する必要があります。

2.2 バリウムタングステン陰極の調製プロセス

2.2.1 多孔質タングステンマトリックスの調製: 粉末冶金と細孔制御

多孔質タングステンマトリックスの調製は、粉末冶金技術を使用したバリウムタングステン正極製造の中核工程であり、そのプロセスには粉末スクリーニング、プレス成形、焼結、細孔制御が含まれます。詳細な手順は次のとおりです。

- **タングステン粉末のスクリーニング:** マトリックスの化学的安定性と均一性を確保するために、高純度のタングステン粉末 (純度 $\geq 99.95\%$ 、粒子サイズ $1-10\ \mu\text{m}$) を選択します。粒度分布は細孔構造に直接影響するため、振動スクリーニングまたは気流分類技術によって最適化する必要があります。粒子サイズが小さい ($1-3\ \mu\text{m}$) と気孔率は増加しますが、機械的強度が低下する可能性があります。粒子サイズが大きい ($5-10\ \mu\text{m}$) ほど強度は向上しますが、気孔率は減少します。
- **プレス:** タングステン粉末を型に入れ、高圧 ($100-500\ \text{MPa}$) でプレスして、通常は円筒形 (直径 $5-20\ \text{mm}$) またはシート (厚さ $1-5\ \text{mm}$) のブランクを形成します。プレスプロセスでは、均一な初期細孔構造を実現するために、圧力、金型設計、潤滑剤の使用を制御する必要があります。双方向プレスまたは静水圧プレス技術により、ピレット密度の均一性が向上します。
- **焼結プロセス:** 真空 ($10^{-4}-10^{-6}\ \text{Pa}$) または水素雰囲気中での高温焼結 ($2000-2500^\circ\text{C}$) により、タングステン粒子が拡散によって結合し、多孔質構造を形成する。焼結時間 ($1-4\ \text{時間}$) と温度を正確に制御する必要があり、温度が高すぎると細孔崩壊につながる可能性があり、温度が低すぎると粒子の結合強度に影響を与える可能性があります。水素雰囲気は酸化物不純物を減らし、マトリックスの純度を向上させます。
- **気孔率制御:** 一時的な充填剤 (デンプン、ポリメタクリレート メチルなど) を添加するか、タングステン粉末の粒度分布を調整することで、気孔率と細孔サイズを制御します。フィラーは焼結プロセス中に揮発し、均一な細孔ネットワークを形成します。気孔率試験では、 $20-30\%$ の気孔率が機械的強度とバリウム化合物の貯蔵容量のバランスが取れていることが示されています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

多孔質タングステンマトリックスの品質は、その後の含浸プロセスと陰極の性能に直接影響し、細孔構造の一貫性は、SEM、X-CT、または比表面積分析(BET)によって検証する必要があります。最適化されたマトリックスは、均一な細孔分布、高い機械的強度(圧縮強度>500 MPa)、および適切な細孔サイズ(1~10 μm)を備えている必要があります。

2.2.3 バリウム化合物の含浸プロセス：溶液の調製と含浸パラメータ

バリウム化合物の含浸プロセスは、バリウム化合物を多孔質タングステン基板に均一に導入するための重要なステップであり、活性層の形成効率と発光特性に直接影響します。このプロセスには、次のように溶液の調製、含浸、乾燥、および熱処理が含まれます。

- **溶液調製:** アルミン酸バリウムカルシウム($4\text{BaO}\cdot\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$)を脱イオン水またはエタノールなどの有機溶媒と混合して懸濁液または溶液を形成します。溶液の粘度と粒子分散は、細孔への均一な浸透を確保するために、攪拌または超音波処理によって最適化する必要があります。ポリビニルアルコールなどの界面活性剤を少量添加すると、溶液の濡れ性が向上します。
- **含浸プロセス:** 多孔質タングステンマトリックスは、真空含浸 (10^{-2} – 10^{-4} Pa) または圧力含浸 (0.1–1 MPa) 技術を使用してバリウム化合物溶液に浸漬され、細孔への溶液浸透が容易になります。真空含浸により細孔から空気が除去され、充填効率が向上します。圧力含浸により、溶液の浸透深さが向上します。含浸温度や時間などの条件は、マトリックスの気孔率や溶液濃度に応じて最適化する必要があります。浸漬時間が長すぎると細孔の目詰まりにつながる可能性があります。
- **乾燥と熱処理:** 含浸された基材は低温 (100–300°C) で乾燥され、溶媒が除去され、細孔構造への損傷が防止されます。その後、真空または不活性雰囲気中で高温熱処理(1000~1200°C)を行い、バリウム化合物を硬化させ、初期活性層を形成します。

熱処理は、熱応力によるマトリックスの亀裂を避けるために段階的に加熱する必要があります。

含浸プロセスのパラメータは、活性層の均一性と発光特性に大きな影響を与えます。たとえば、溶液濃度が高すぎると、表面にバリウム化合物が蓄積し、放出の均一性が低下する可能性があります。熱処理温度が高すぎると、バリウムの蒸発が加速し、バリウムの寿命が短くなる可能性があります。プロセスの最適化には、バリウム化合物と安定した活性層の均一な分布を確保するための実験的検証 (SEM 観察や発光試験など) が必要です。

2.3 バリウムタングステン陰極の微細構造と特性

2.3.1 多孔質タングステンマトリックスの気孔率と構造解析

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

多孔質タングステンマトリックスの微細構造は、バリウムタングステンの陰極性能の基礎であり、その気孔率、細孔径分布、および接続性は、バリウム化合物の貯蔵、拡散、および放出特性に直接影響します。主な構造特性と分析方法是次のとおりです。

- **気孔率:** バリウム化合物の貯蔵容量とその機械的強度のバランスをとるために、典型的な気孔率は 20-30% に制御されます。気孔率が高いと、マトリックスの強度が不十分になり、高温で変形しやすくなります。低すぎると、バリウム放出速度が制限され、送信電流密度が低下します。水銀侵入またはガス吸着 (BET) は、気孔率を正確に測定するために一般的に使用されます。
- **細孔構造:** 毛細管現象によってバリウム原子が表面に効率的に拡散するために、細孔は三次元ネットワークを形成する必要があります。細孔径分布は均一である必要があります、細孔径が大きすぎるとバリウム化合物の分布が不均一になる可能性があります、細孔径が小さすぎると拡散効率が制限されます。X 線断層撮影(X-CT)は、細孔の三次元構造を再構築し、接続性を検証します。
- **構造解析:** 走査型電子顕微鏡 (SEM) を使用して細孔の形態と表面特性を観察し、比表面積分析 (BET) を使用して細孔表面積を測定します。エネルギー分散分光法 (EDS)は、タングステンマトリックス中の不純物の分布を分析して、高純度を確保します。細孔構造の均一性と接続性は、カソードの長期安定性にとって重要です。

細孔構造の最適化は、タングステン粉末の粒子サイズ、プレス圧力、焼結パラメータを調整することによって達成する必要があります。構造解析結果を排出性能試験と組み合わせて、細孔設計の効果を検証する必要があります。

2.3.2 バリウム活性層の表面形態と放出性能の関係

バリウム活性層は、バリウムタングステン陰極の放出性能の中核であり、その表面形態は仕事関数、発光電流密度、および発光均一性を直接決定します。主な機能と、それらがパフォーマンスにどのように関連しているかを次に示します。

- **表面形態:** 活性層は、タングステンマトリックスの表面にバリウム原子とその酸化物によって形成される単一原子層または薄膜で構成されています。理想的な活性層は、電子放出の均一性と低ノイズ特性を確保するために、均一で連続的で表面粗さが低いものでなければなりません。走査型電子顕微鏡 (SEM) と原子間力顕微鏡 (AFM) は、表面トポグラフィーを分析し、活性層の平坦度と被覆率を検証するために一般的に使用されます。
- **仕事関数:** 活性層の形成により、純タングステンの場合、仕事関数が 4.5 eV から 1.1~1.5 eV に減少し、送信電流密度が大幅に増加します。仕事関数の均一性はバリウム原子の拡散速度と表面被覆率に依存し、被覆率が不十分 (<80%) と局所的な高仕事関数領域が発生し、放出効率が低下する可能性があります。
- **発光性能:** 均一な活性層により、高い送信電流密度と低ノイズ放出が可能になり、高出力マイクロ波管や X 線管のニーズを満たします。表面欠陥 (亀裂、粒子の蓄

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

積など)は、局所的なアーク放電や不均一な放射を引き起こし、性能を低下させる可能性があります。エミッション性能は通常、熱電子エミッションテストによって評価されます。

- **影響要因:** アクティブ レイヤーのパフォーマンスは、次の要因の影響を受けます。
 - **動作温度:** 温度が高すぎるとバリウムの蒸発が加速され、活性層が失われ、寿命が短くなります。温度が低すぎると、バリウムの拡散が制限され、排出効率が低下します。
 - **真空環境:** 低真空($>10^{-6}$ Pa)は、表面の酸化や汚染を引き起こし、作業機能を高める可能性があります。
 - **表面汚染:** 酸素、水蒸気、または炭素化合物はバリウムと反応して高仕事機能化合物 (BaO_2 など) を形成し、排出性能を低下させる可能性があります。
 - **熱処理プロセス:** 段階的な活性化により均一な活性層が形成され、排出性能が最適化されます。

含浸プロセス、熱処理パラメータ、添加剤配合を最適化することにより、均一で安定した活性層を形成でき、バリウムタングステン陰極の放出性能と寿命が向上します。表面トポグラフィとエミッション性能の相関関係は、プロセス改善を導くために、SEM、AFM、およびエミッションテストによって包括的に分析する必要があります。

要約すると、バリウム - タングステン正極の材料科学には、多孔質タングステンマトリックス、バリウム化合物、および添加剤の複雑な相互作用が含まれており、その製造プロセスと微細構造は、排出性能と寿命に決定的な影響を与えます。この章では、材料組成、調製プロセス、微細構造の包括的な分析を通じて、動作原理、製造技術、および性能の最適化に関するその後の議論のための強固な基盤を築きます。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

Barium Tungsten Cathode Introduction

1. Overview of Barium Tungsten Cathode

The Barium Tungsten Cathode is a type of thermionic emission material typically composed of high-purity tungsten as the base, impregnated with barium compounds. Upon high-temperature activation, it emits free electrons and is widely used in vacuum electronic devices. Due to its low work function and high electron emission efficiency, this cathode plays a critical role in high-power electronic equipment. CTIA GROUP LTD specializes in the global flexible customization of tungsten and molybdenum products, offering tailored high-performance barium tungsten cathodes according to customer requirements.

2. Characteristics of Barium Tungsten Cathode

- **High Electron Emission Efficiency:** The low work function of barium enables the cathode to emit a large quantity of electrons even at relatively low temperatures.
- **High-Temperature Resistance:** With a tungsten matrix that has a melting point of 3422° C, the cathode maintains structural stability in high-temperature operating environments.
- **Long Service Life:** Optimized barium compound impregnation techniques help minimize barium evaporation, thereby extending the cathode's lifespan.
- **Low Evaporation Rate:** Compared to other cathode materials, barium tungsten exhibits a lower evaporation rate at high temperatures, reducing contamination within the device.
- **Arc Stability:** Delivers a stable electron flow, making it ideal for high-precision electron beam applications.

3. Applications of Barium Tungsten Cathode

- **HID Lamps:** The cathode's low work function and high current density allow HID lamps to emit bright and stable light, making them suitable for applications that require high brightness and long service life, such as roadway and industrial lighting.
- **Vacuum and Laser Devices:** The low work function makes barium tungsten ideal for use in vacuum electronic and laser components.
- **Stage and Club Lighting Effects:** High-frequency strobe lights made from this material are known for their long lifespan and stable performance.
- **Film Projection and Video Recording:** The film and broadcast industry also relies heavily on this material for projection and recording equipment, where it ensures long-term operational stability and high efficiency.
- **Laser Mercury Pumps:** Its high electron emission capability and low operating temperature contribute to improved laser performance and stability.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

第3章:動作原理と起動メカニズム

バリウムタングステン陰極は、その独自の動作原理と放出メカニズムから得られた高効率の熱電子放出材料です。この章では、熱電子放出理論、放出特性、およびバリウム タングステン正極の性能に影響を与えるさまざまな要因について詳しく説明します。本論文は、熱電子放出の基本原理に基づいて、リチャードソン・ダッシュマン方程式、ショットキー効果、量子力学の観点と組み合わせて、バリウムタングステン陰極の低仕事関数の形成メカニズム、活性層の動的挙動、およびその熱安定性を分析し、作業環境、老化、中毒の影響について詳しく説明します。 排出性能に関する故障モード。

3.1 熱電子放出の理論

熱電子放出はバリウムタングステン陰極の中核的な動作原理であり、電子が表面障壁を克服して真空に逃げるのに十分なエネルギーを得るために材料を加熱するプロセスを指します。このセクションでは、古典的な熱電子放出理論の観点から、リチャードソン・ダッシュマン方程式、ショットキー効果、量子力学と組み合わせて、バリウムタングステン正極の放出メカニズムを分析します。

3.1.1 リチャードソン・ダッシュマン方程式

リチャードソン・ダッシュマン方程式は、熱電子放出を記述する基本的な理論モデルであり、発光電流密度と温度および仕事関数の関係を表します。バリウムタングステンカソードの場合、その発光電流密度(J)は次の式で表すことができます。

$$J = AT^2 \exp\left(-\frac{\phi}{kT}\right)$$

その中には:

- (J):電流密度を放出します(単位:A /cm²)。
- (A):リチャードソン定数(理論値は 120.4 A/cm²·K²、実際の値は材料の表面特性によって異なり、通常は 50~100 A /cm²·K²);
- (T):絶対温度(単位:K、バリウムタングステンカソードの典型的な動作温度は 1173 ~1373 K、つまり 900~1100°C です)。
- (exp): 指数関数。
- (φ):仕事関数(単位:eV、バリウムタングステンカソードは約 1.1~1.5 eV です)。
- (k):ボルツマン定数(8.617×10⁻⁵ eV/K)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

バリウム-タングステンカソードでは、低仕事関数(1.1～1.5 eV)により指数項が大幅に増加し、その結果、低温での発光電流密度は 10～20 A/cm²となり、純粋なタングステンカソード(約 4.5 eV、電流密度約 0.1～1 A/cm²)よりもはるかに高くなります。リチャードソン定数の実際の値は、表面状態、バリウム活性層の被覆率、および微細構造の影響を受け、高真空環境で熱電子放出試験装置を使用するなど、実験的に測定する必要があります。方程式の適用では、温度の均一性や真空環境などの実際の動作条件が考慮され、予測精度が確保されます。

3.1.2 ショットキー効果と電界増強放出

ショットキー効果とは、外部電界の作用下で材料の表面障壁が減少し、その結果、熱電子放出が増強される現象を指します。バリウムタングステンカソードでは、ショットキー効果は次の修正された仕事関数によって記述されます。

$$\phi_{\text{eff}} = \phi - \sqrt{\frac{e^3 E}{4\pi\epsilon_0}}$$

その中には：

- (ϕ_{eff}):印加電界の作用下で減少した後の仕事関数を表す実効仕事関数(単位:eV)。
- (ϕ):元の仕事関数(単位:eV);
- (e):電子電荷(1.602×10^{-19} C);
- (E):印加電界強度(単位:V / m);
- (ϵ_0):真空誘電率(8.854×10^{-12} F / m)。

高電界条件 (マイクロ波管や X 線管で一般的に見られる 10^7 – 10^8 V/m など) では、仕事関数の減少により、透過電流密度が大幅に増加する可能性があります。ショットキー効果は、低温で大電流出力を可能にし、エネルギー消費と熱ストレスを軽減するため、高出力デバイスにとって特に重要です。実際の用途では、局所的な過剰電界や陰極表面の損傷によるアーク放電を避けるために、電極設計 (滑らかな円形電極の使用など) を通じて電界の均一性を最適化する必要があります。

3.1.3 量子力学の視点

高い電界強度または極端な条件下では、量子力学的効果 (トンネリング効果など) は、バリウム タングステン カソードの放出挙動に一定の影響を与えます。トンネリング効果とは、表面障壁を完全に克服せずに量子トンネリングを通じて電子が真空中に脱出することを指します。トンネリング効果の確率は、ファウラー・ノルトハイム方程式で表されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$$J = \frac{A'E^2}{\phi} \exp\left(-\frac{B\phi^{3/2}}{E}\right)$$

その中には:

- (J):トンネル電流密度(単位:A/cm²)、単位面積あたりの電子流強度を表します。
- (A')、(B):定数(材料と形状に関連して、典型的な値は $1.54 \times 10^{-6} \text{ A} \cdot \text{eV/V}^2$ および $6.83 \times 10^9 \text{ V/m} \cdot \text{eV}^{-3/2}$ です)。
- (E):電界強度(単位:V/m);
- (ϕ):仕事関数(単位:eV)。

バリウム - タングステン陰極では、通常、電界増強マイクロ波デバイスやテラヘルツ波発生器など、非常に高い電界でトンネリング効果が顕著です。低仕事機能により、トンネル掘削障壁が低減され、トンネル掘削確率が向上します。ただし、バリウムタングステン正極は主に熱電子放出に依存しているため、トンネリング効果の寄与は小さく、特定の電界強度シナリオでのみ考慮する必要があります。量子力学の視点は、複雑な発光メカニズムの理解を補完し、表面トポグラフィー(ナノスケールの突起など)を調整することで電場の局所増強効果を改善するなど、カソード設計の最適化に役立ちます。

3.2 バリウムタングステンカソードの放出特性

3.2.1 低電力機能の形成メカニズム

バリウム-タングステン正極の低仕事関数(1.1~1.5 eV)は、多孔質タングステンマトリックス中のバリウム原子の拡散と表面作用による高い発光効率の中核です。以下は、形成メカニズムの詳細な分析です。

- **バリウム原子の拡散:**動作温度では、アルミン酸バリウムカルシウム(例: $4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)は、熱分解反応によって遊離バリウム原子を放出します:



これらの原子は、多孔質タングステンマトリックスの細孔ネットワークを介して表面に拡散し、拡散係数は約 $10^{-12} \sim 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ で、数秒で均一な表面カバーを形成

するのに十分です。細孔の結合性と気孔率(20~30%)は拡散効率にとって重要であり、粉末冶金プロセスによって最適化する必要があります。

- **表面作用:** バリウム原子はタングステンマトリックスの表面に吸着され、単一の原子層または薄膜を形成します。バリウムの電気陰性度が低く、タングステンの電気陰性度が高いと表面双極子層が形成され、表面障壁が減少し、タングステン

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

の仕事関数が 4.5 eV から 1.1~1.5 eV に低下します。仕事関数の均一性を確保するには、表面被覆率が 80% 以上に達する必要がある、これを下回ると局所的な仕事関数領域が高くなり、排出効率が低下する可能性があります。

- **化学的および物理的吸着:** バリウム原子は化学吸着によってタングステンの表面と強い結合を形成し、活性層の安定性を高めます。物理的に吸着されたバリウム原子は、動的平衡を維持するために連続的なバリウム補充を提供します。化学吸着の安定性により、高温での活性層の長期的な信頼性が保証されます。

低仕事関数の形成は、バリウム化合物の分解速度、細孔構造の拡散効率、および表面形態の均一性に依存します。これらの要素を最適化することで、安定した高電流密度と低ノイズ放出が得られ、マイクロ波管や X 線管などの高出力真空エレクトロニクスに適しています。

3.2.2 活性層の動的挙動と熱安定性

バリウム活性層の動的挙動と熱安定性は、カソードの性能と寿命に直接影響します。主な機能は次のとおりです。

- **動的挙動:** 活性層は動作中に動的平衡状態にあり、バリウム原子は細孔から表面に連続的に拡散しますが、一部のバリウム原子は蒸発により失われます。補充率が損失率と一致するように、バリウム化合物の比率を最適化する必要があります。活性層のカバレッジは時間とともに変動するため、初期の損失を減らすために、段階的な活性化プロセスを通じて初期形成を最適化する必要があります。
- **熱安定性:** 活性層は 900~1100°C で安定している必要があります、バリウムの蒸発損失は高温すぎると加速され、仕事関数が増加します。温度が低すぎると、バリウムの拡散が制限され、排出効率が低下します。タングステンマトリックスの高い熱伝導率(173 W/m · K)と低い熱膨張係数($4.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)により、熱応力が最小限に抑えられ、活性層の構造的完全性が維持されます。
- **表面トポグラフィー:** 局所的な高倍率関数領域を避けるために、活性層の表面粗さを低く保つ必要があります。走査型電子顕微鏡(SEM)と原子間力顕微鏡(AFM)の分析により、均一な活性層により、発光ノイズ(ノイズレベル<1%)が低減され、電流安定性が向上することが示されました。たとえば、粒子の蓄積などの表面欠陥は、局所的な電流密度の変動を引き起こし、ノイズを増加させる可能性があります。

活性層の動的挙動と熱安定性は、正確なプロセス制御 (含浸パラメータ、活性化温度など) を通じて最適化する必要があります。たとえば、少量の希土類酸化物を添加すると、活性層の耐蒸発性が向上し、寿命を延ばすことができます。表面トポグラフィーと発光特性を定期的に監視することで(SEM や電流計など)、活性層の安定性を評価できます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3 バリウムタングステン陰極の発光性能に影響を与える要因

バリウムタングステン正極の放出性能は、動作環境、経年劣化や中毒の影響、故障モードなど、さまざまな要因の影響を受けます。

3.3.1 作業環境

作業環境は、温度、真空、表面汚染、外部電界、機械的ストレスなど、バリウムタングステン正極の放出性能に大きな影響を与えます。

- **動作温度:** バリウム タングステン カソードの理想的な動作温度は 900–1100°C (1173–1373 K) であり、これにより高出力デバイスの高い送信電流密度が可能になります。過度の温度はバリウムの蒸発損失を加速し、活性層の被覆率に影響を与え、仕事関数を高め、電流密度を低下させます。温度が低すぎると、バリウム原子の拡散が制限され、放出効率が低下します。

影響メカニズム: 高温はバリウム原子の熱蒸発を促進し、活性層の被覆率を減少させます。低温は分解と拡散速度を遅くし、仕事関数の安定性に影響を与えます。

対処戦略:

- 温度の均一性は高精度の加熱システムによって制御され、赤外線温度計を使用してリアルタイム監視が行われます。
- バリウム化合物の比率を最適化して、高温でのバリウムの蒸発損失を遅らせ、活性層の寿命を延ばします。
- 局所的な過熱を避けるために、効率的な放熱構造(タングステンマトリックスの背面に冷却チャネルを追加するなど)を設計します。

- **真空環境:** バリウム タングステン カソードは、残留ガス汚染を避けるために高真空下で操作する必要があります。低真空により、酸素、水蒸気、または炭素化合物がバリウムと反応して、放出電流密度を低下させる高仕事関数化合物が形成されます。

影響メカニズム: 残留ガスはバリウム原子と化学反応して不活性化化合物を形成し、表面障壁を高め、電子の逃げ効率を低下させます。

対処戦略:

- ターボ分子ポンプやイオンポンプなどの高効率真空ポンプシステムで真空を維持します。
- 真空シール技術(メタルセラミックシールなど)とプレ真空処理により、残留ガスを低減します。
- 真空チャンバーを定期的に洗浄(プラズマ洗浄や高温ベーキングなど)、吸着したガス分子を除去します。

- **表面汚染:** 酸素、水蒸気、炭素化合物、または硫化物はバリウムと反応して高出力機能化合物 (BaCO_3 など) を形成し、排出効率を大幅に低下させます。汚染率は一般にガスの分圧に比例します。一般的な汚染物質は次のとおりです。

- 酸素: BaO_2 を形成します(仕事関数 2.5 eV)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 水蒸気: $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (仕事関数 2.8 eV)を形成します。
- 炭素化合物: BaCO_3 の生成(仕事関数 3.0 eV)。

影響メカニズム:汚染物質は化学吸着によって活性部位を占め、低電力機能層を破壊し、排出性能の低下につながります。

対処戦略:

- クリーンルーム環境は、初期の汚染を減らすために、カソードの製造および設置中に使用されます。
- 活性化前処理により、表面の汚染物質が除去されます。
- 汚染反応の速度を遅らせるために保護層を形成するために抗毒物が添加されます。
- 定期的な表面再生(イオン衝撃や極低温活性化など)により、放出性能が回復します。

- **外部電界:** 印加された電界はショットキー効果によって放射性能を向上させ、仕事関数を低下させ、電流密度を高めます。ただし、過剰な電界は局所的なアーク放電を引き起こし、表面の損傷や放射の不安定性につながる可能性があります。電界の均一性が不十分だと、局所電流が過剰になり、経年劣化が加速する可能性があります。

影響メカニズム: 高電界により、潜在的な障壁が減少し、放射が強化されます。不均一な電界は局所的な過熱またはアーク放電を引き起こし、表面構造を損傷します。

対処戦略:

- 電極の形状(滑らかな円形電極やゲート構造など)を最適化して、電界の均一性を確保します。
- 電界プローブを使用して電界強度をリアルタイムで監視し、過剰な電界を回避します。
- 表面研磨と欠陥修復(レーザー修復など)により、アーク放電のリスクが軽減されます。

- **機械的ストレス:** 高温運転は、特に温度勾配が大きい場合、熱応力を誘発し、タングステンマトリックスの微小亀裂や細孔崩壊につながる可能性がある。

影響メカニズム: 熱応力はマトリックス構造に損傷を与え、バリウムの拡散と活性層の安定性に影響を与えます。

対処戦略:

- 熱応力を軽減するために段階的な加熱が使用されます。
- 気孔率を最適化し、機械的強度と拡散効率のバランスをとります。
- 耐亀裂性を向上させるために、高強度のタングステンマトリックスを使用します。

作業環境を最適化するには、一貫した高排出性能を確保するために、温度制御、真空技術、電極設計、機械的安定性を総合的に考慮する必要があります。

3.3.2 老化のメカニズムと毒性影響

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

老化と中毒の影響は、バリウムタングステン正極の性能低下の主な原因であり、メカニズムは次のとおりです。

- **老化効果:**長期間の操作は、バリウム化合物の枯渇、活性層被覆率の低下、および仕事機能の増加につながります。バリウムタングステンカソードの寿命は、バリウムの貯蔵量と作業条件と密接に関係しています。

影響メカニズム:バリウムの枯渇により、活性層の被覆率が減少し、表面障壁が増加し、電子逃避の効率が低下します。

対処戦略:

- 気孔率を増やしたり、バリウム化合物の比率を最適化したりして、バリウムの貯蔵量を増やし、寿命を延ばします。
 - 定期的な低温活性化により、活性層が補充され、被覆率が回復します。
 - 送信電流のリアルタイム監視、経年劣化プロセスの予測、動作パラメータの事前調整。
 - 大容量バリウム化合物は、高出力アプリケーションの初期バリウム貯蔵量を増やすために使用されます。
- **中毒効果:** 残留ガス (O_2 、 H_2O 、 CO_2 など) がバリウムと反応して高出力機能化合物 (BaO_2 、 $BaCO_3$ など) を形成し、排出効率を低下させます。中毒率はガスの分圧に正比例し、一般的な汚染物質とその影響は次のとおりです。

- 酸素: BaO_2 を形成します(仕事関数 2.5 eV)。
- 水蒸気: $Ba(OH)_2$ (仕事関数 2.8 eV)を形成します。
- 炭素化合物: $BaCO_3$ の生成(仕事関数 3.0 eV)。

影響メカニズム:汚染物質は化学吸着によって活性部位を占め、低電力機能層を破壊し、排出性能の低下につながります。

対処戦略:

- 抗毒剤を添加して保護層を形成し、反応速度を遅くし、性能維持時間を延長します。
- 真空レベルを上げると、イオンポンプと極低温トラップポンプを組み合わせるなど、汚染の可能性が低くなります。
- 定期的な表面再生(イオン衝撃や極低温活性化など)により、汚染物質が除去され、電流密度が回復します。
- 電極設計を最適化し(シールドの追加など)、活性層との汚染物質の接触を減らします。

経年劣化や毒性の影響の管理は、材料の最適化、プロセス改善、環境管理を通じて達成する必要があります。

3.3.3 故障モード解析

バリウムタングステン正極の故障モードには次のタイプがあり、それぞれに特定の診断方法と改善戦略が必要です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **表面汚染による排出減衰:**汚染物質(BaO_2 、 BaCO_3 など)は仕事関数を高め、電流密度とその性能を低下させます。

診断方法:

- X線光電子分光法(XPS)は、表面の化学組成を分析し、Ba/O/C比を検出し、汚染物質の種類を確認します。
- 熱電子放射試験では、電流密度の減衰を評価します。
- エネルギー分散分光法(EDS)は表面元素分布を検証する

改善戦略:

- 抗中毒添加剤は、抗酸化保護層を形成するために使用されます。
- 高真空環境とプラズマ洗浄を使用して汚染物質を除去します。
- 段階的な加熱などの活性化プロセスを最適化して、最初の表面洗浄を確実にします。

- **バリウムの枯渇:**長期間の運転はバリウム化合物の枯渇につながり、活性層の被覆率が減少し、仕事関数が増加し、電流密度が低下します。

診断方法:

- SEMは活性層の形態を観察し、被覆率を確認しました。
- 仕事関数測定(熱電子放出試験など)は、性能の低下を評価します。
- バリウム含有量のEDS分析

改善戦略:

- バリウムの貯蔵量を増やします。
- 最適化された比率により、バリウムの枯渇が遅くなり、寿命が延びます。
- 定期的な低温活性化により、活性層が補充され、電流密度が回復します。

- **機械的故障:**高温の熱応力は、タングステンマトリックスの亀裂や細孔崩壊を引き起こし、バリウムの拡散に影響を与える可能性があります。

診断方法:

- X線断層撮影は、細孔構造を分析して亀裂や崩壊を検出します。
- 圧縮強度試験などの機械的試験では、マトリックスの完全性が評価されます。

改善戦略:

- 焼結プロセスを最適化し(焼結温度を下げるなど)、マトリックスの強度を高める。
- 熱応力を軽減するために段階的な加熱が使用されます。
- ドーピングにより耐亀裂性が向上します。

- **アーク破壊:**表面欠陥(粒子の蓄積、亀裂など)または不均一な活性層は局所的なアーク放電を引き起こし、放出の不安定性や表面損傷につながります。

診断方法:

- 高周波放射試験は、電流の変動を検出します。
- SEMは表面欠陥を分析します。
- アーク監視装置(オシロスコープなど)は、異常放電を記録します。

改善戦略:

- 溶液濃度の制御などの含浸プロセスを最適化して、活性層の均一性を確保します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o 欠陥を除去するための表面研磨とレーザー補修。
- o 電極設計の最適化(ゲート間隔の増加など)により、電界集中が減少し、アーク放電のリスクが軽減されます。

故障解析では、故障の原因を正確に特定するために、マルチテクノロジー診断(XPS、SEM、X-CT、排出ガス試験など)を組み合わせる必要があります。たとえば、X線管アプリケーションでは、定期的な XPS 分析と活性化により故障率を下げるすることができます。改善戦略には、正極の寿命を延ばすための材料の最適化 (抗毒性剤の添加など)、プロセスの改善 (段階的な活性化など)、および環境制御 (高真空など) が含まれます。

要約すると、バリウムタングステン陰極の動作原理と放出メカニズムには、熱電子放出の理論、活性層の動的挙動、およびさまざまな環境要因の複雑な相互作用が含まれます。この章では、リチャードソン・デュクマン方程式、ショットキー効果、量子力学的視点、発光特性、および影響要因を包括的に分析し、製造技術と性能の最適化について議論する後続の章の基礎を築きます。



第4章:バリウムタングステン陰極の製造・加工技術

バリウムタングステン正極の製造および加工技術は、バリウムタングステン正極の高性能と信頼性を達成するための重要なリンクであり、真空電子デバイスにおける発光効率、寿命、安定性に直接影響します。この章では、多孔質タングステンマトリックスの成形プロセス、バリウム化合物の含浸および活性化プロセス、および品質管理と試験方法を詳細に調査し、原材料の準備から最終的な性能検証までの全プロセスをカバーします。

4.1 多孔質タングステンマトリックス成形

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

多孔質タングステンマトリックスは、バリウム-タングステン陰極のコア構造であり、活性バリウム原子の拡散をサポートするバリウム化合物とチャンネルを貯蔵するための細孔のネットワークを提供します。その成形プロセスでは、高性能カソードの要求を満たすために、気孔率、細孔径分布、機械的強度を正確に制御する必要があります。このセクションでは、タングステン粉末のスクリーニングとプレスプロセス、および気孔率と機械的強度の最適化技術について詳しく説明します。

4.1.1 タングステン粉末の選別およびプレスプロセス

タングステン粉末のスクリーニングとプレスは、多孔質タングステンマトリックス形成の基本的なステップであり、マトリックスの初期微細構造とその後の加工特性を決定します。詳細なプロセスは次のとおりです。

- **タングステン粉末スクリーニング:**
 - **原材料の選択:** 化学的安定性を確保し、鉄、炭素、酸素などの不純物による副反応や表面汚染を軽減するために、高純度のタングステン粉末が選択されます。不純物含有量が過剰になると、高温でマトリックスの酸化や劣化を引き起こす可能性があります。
 - **粒度制御:** スクリーニングまたは気流分類技術により、タングステン粉末の粒度分布を制御します。細孔設計に応じて粒子サイズ範囲を最適化する必要があります。より微細な粉末はより均一な細孔構造を形成し、高電流密度の用途に適しています。粗い粉末は機械的強度が向上し、長寿命のニーズに適しています。粒度分布は、一貫性を確保するためにレーザー粒度分析装置によって測定されます。
 - **粉末前処理:** 表面の酸化層や水分を除去するには、タングステン粉末を真空または水素雰囲気中で低温で予熱する必要があります。前処理により、その後のプレスのための粉体の流動性も向上します。
- **プレスプロセス:**
 - **金型設計:** 陰極用途（マイクロ波管や X 線管など）に基づいて、円筒形、シート、またはその他の幾何学的金型を設計します。ピレットの欠陥を減らすために金型表面を研磨する必要があります。材料は通常、高压に耐えるために高張力鋼または超硬です。
 - **プレス技術:** タングステン粉末は、一軸プレスまたは冷間静水圧プレス (CIP) 技術を使用してピレットにプレスされます。単軸プレスは小ロット生産に適しています。冷間静水圧プレスは、均一に圧力を加えることでより均一なピレットを作成し、高精度の用途に適しています。ピレットの亀裂を避けるために、プレスプロセス中に圧力速度を制御する必要があります。
 - **バインダーの添加:** ブランクのグリーン強度を向上させるために、少量の有機バインダー（ポリビニル アルコールやポリメタクリル酸メチルなど）

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

を添加できます。バインダーは、細孔構造に影響を与える残留物を避けるために、その後の焼結で完全に揮発させる必要があります。

- **ピレット検査:** プレスされたピレットは、密度と表面の完全性をチェックする必要があります。密度はアルキメデス法で測定され、表面欠陥は光学顕微鏡または超音波検査によって特定され、亀裂や層間剥離がないことを確認します。

- **プロセスの最適化:**

- 粒度分布と圧縮圧力を最適化して、均一な初期細孔構造を作成します。粒度分布が狭いと細孔の均一性が向上しますが、強度が低下する可能性があります。粒度分布が広いと強度は向上しますが、気孔率が不均一になる可能性があります。
- 粉塵汚染を避けるために、プレス環境はクリーンルーム (ISO レベル 7 以上) で管理する必要があります。
- 顕微鏡を使用してピレットセクションの細孔分布を観察するなど、プレスパラメータを実験的に検証し、初期構造が設計要件を満たしていることを確認します。

ふるい分けとプレスプロセスでは、タングステン粉末の高純度とピレットの構造的均一性を確保し、その後の焼結と含浸の基礎を築く必要があります。

4.1.2 気孔率と機械的強度の最適化

気孔率と機械的強度は多孔質タングステンマトリックスの重要な性能パラメータであり、バリウム化合物の貯蔵容量と構造安定性のバランスをとるために、焼結プロセスと細孔制御技術を通じて最適化する必要があります。詳細な最適化プロセスは次のとおりです。

- **焼結プロセス:**

- **焼結環境:** 焼結は、タングステン粉末の酸化を防ぐために、真空または高純度の水素雰囲気で行われます。水素雰囲気は、残留バインダーと表面酸化物も除去します。
- **温度制御:** 焼結温度は通常 2000-2200°C で、細孔構造を維持するためタングステンの融点より低い。段階的な加熱により、熱応力が軽減され、ピレットの亀裂が回避されます。保持時間はピレットのサイズに応じて最適化されます。
- **焼結装置:** 精密な温度制御システムを備えた高温真空炉または水素保護炉が採用されています。炉内の雰囲気はガス分析装置で監視し、酸素や水蒸気による汚染がないことを確認する必要があります。
- **細孔形成:** 焼結プロセス中、タングステン粒子は表面拡散と粒界結合によって強力な結合を形成し、三次元に接続された細孔ネットワークを保持します。デンプンやポリスチレン微小球などの一時的な充填剤は、焼結中に揮発し、さらなる気孔性を生み出す可能性がある。

- **気孔率の最適化:**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **目標気孔率:** タングステン粉末の粒径、プレス圧力、焼結条件を調整することで気孔率を制御する。適切な気孔率範囲は用途に応じて最適化する必要があり、高電流密度の用途ではバリウムの貯蔵量を増やすためにより高い気孔率を持つ必要があります。長寿命の用途では、強度を向上させるために気孔率を低くする必要があります。
- **細孔接続性:** 細孔ネットワークの接続はバリウムの拡散にとって非常に重要であり、粒度分布を制御する（微細な粒子と大きな粒子を混合する）か、充填剤を添加することで実現できます。X線断層撮影(X-CT)は、細孔の三次元構造を再構築し、接続性を検証します。
- **測定方法:** 気孔率は水銀侵入またはガス吸着(BET)によって測定され、典型的な表面積は BET 法によって評価されます。孔径分布は顕微鏡または X-CT によって分析され、均一な孔径が確保されます。
- **機械的強度の最適化:**
 - **強度目標:** マトリックスは高温動作中の熱応力と機械的振動に耐える必要があり、圧縮強度は試験によって評価されます。
 - **プロセスの調整:** 焼結温度を下げたり、保持時間を短縮したりすることで、より多くの気孔率を維持できますが、粒子の結合強度を確保する必要があります。微量添加剤をドーピングすると、粒界結合が強化され、強度が向上します。
 - **検証方法:** 圧縮試験または引張試験を通じて機械的強度を評価し、SEM と組み合わせて焼結粒子の結合状態を観察して、微小亀裂や細孔崩壊がないことを確認します。
- **プロセスの検証:**
 - X-CT を使用して焼結マトリックスの細孔構造を分析し、気孔率と接続性が要件を満たしていることを確認しました。
 - 機械的試験と微細構造分析を組み合わせることで、高温動作中のマトリックスの安定性が保証されます。
 - プロセスを最適化するには、気孔率と強度のバランスをとるために焼結温度や充填率を調整するなど、繰り返しの実験が必要です。

気孔率と機械的強度を最適化するには、マトリックスが高性能カソードの構造的および機能的要件を満たしていることを確認するために、正確なプロセス制御とマルチテクノロジーの検証が必要です。

4.2 バリウム化合物の含浸と活性化

バリウム化合物の含浸と活性化は、多孔質タングステンマトリックスに活性物質を導入し、低仕事機能活性層を形成する中核プロセスであり、カソードの放出性能と寿命に直接影響します。このセクションでは、含浸プロセスの配合と最適化、および活性化中の熱処理技術について詳しく説明します。

4.2.1 含浸プロセス: バリウム化合物の配合と含浸条件

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

含浸プロセスは、多孔質タングステンマトリックスの細孔ネットワークにバリウム化合物を均一に導入し、活性バリウム原子の継続的な供給を確保することを目的としています。詳細なプロセスフローと最適化方法は次のとおりです。

● バリウム化合物製剤:

- **材料の選択:** 一般的に使用されるアルミン酸バリウムカルシウムは、その優れた熱分解特性と化学的安定性により広く使用されています。この製剤は、次の反応を通じて動作温度で遊離バリウム原子を放出します



。副生成物(CaO、Al₂O₃など)は安定性が高く、放出特性を妨げません。

- **比率の最適化:** アプリケーションの要件に応じて比率を調整します。高電流密度アプリケーションでは、高いバリウム含有率を使用してバリウム放出速度を高めることができます。長寿命のアプリケーションでは、CaO または Al₂O₃ の比率を上げて分解速度を遅くすることができます。La₂O₃ や CeO₂ などの抗毒性剤を添加すると、抗酸化能力が向上します。
 - **粒子特性:** バリウム化合物は、細孔の詰まりや不均一な分布を避けるために、マトリックスの細孔サイズに合わせてミクロンレベルに粉砕する必要があります。
- 溶液の準備:
- **溶媒の選択:** バリウム化合物を脱イオン水またはエタノールやイソプロパノールなどの有機溶媒と混合して懸濁液を配合します。脱イオン水は低コストですが、不純物が含まれていない必要があります。有機溶剤は分散性を向上させることができますが、揮発性と安全性が考慮されます。
 - **分散処理:** 高速攪拌または超音波処理により、粒子が均一に分散され、凝集が回避されます。透過効率と細孔充填のバランスをとるために、溶液濃度を最適化する必要があります。
 - **添加剤:** ポリエチレングリコールなどの界面活性剤を少量使用すると、溶液の濡れ性が向上し、細孔への浸透が促進されます。
- 含浸プロセス:
- **真空含浸:** 多孔質タングステンマトリックスを真空チャンバーに入れて細孔から空気を除去し、その後バリウム化合物溶液を導入します。真空環境により、溶液の浸透効率が向上し、気泡の残留物が減少します。含浸時間は、マトリックスの気孔率に応じて最適化されます。
 - **圧力含浸:** 細孔への溶液の浸透を促進するために適度な圧力を加えることにより、気孔率の高い基材に適用します。マトリックスの変形や細孔の詰まりを避けるために、圧力を制御する必要があります。
 - **プロセス管理:** 含浸は、ほこりや不純物の汚染を避けるために、クリーンルーム (ISO クラス 5 以上) で行う必要があります。グリースや酸化物を除去するために、マトリックスの表面を事前に洗浄(超音波洗浄など)する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **乾燥:**
 - 含浸基材を低温で乾燥させて溶媒を除去します。乾燥は、バリウム化合物が空気中の酸素または水蒸気と反応しないように、真空または不活性雰囲気で行う必要があります。
 - 段階的な乾燥により、溶液の急速な揮発による細孔の詰まりを防ぎます。乾燥後、バリウム化合物の充填が設計要件に沿っていることを確認するために、マトリックスの重量増分をチェックする必要があります。
- **プロセスの検証:**
 - SEM と EDS を使用してバリウム化合物の分布均一性を分析し、細孔充填を検証しました。
 - 重量分析により充填量を確認し、顕微鏡と組み合わせて細孔部を観察し、詰まりや空隙がないことを確認します。
 - 真空、圧力、溶液濃度などの含浸パラメータを最適化して、充填効率と均一性を向上させます。

含浸プロセスでは、バリウム化合物が細孔ネットワーク全体に均一に分布し、その後の活性化のための安定したバリウム源を提供する必要があります。

4.2.2 活性化プロセス: 熱処理と表面活性層の形成

活性化プロセスでは、含浸したバリウム化合物が熱処理によって分解され、タングステンマトリックスの表面に低仕事機能活性層が形成され、これは陰極放出性能を達成するための重要なステップです。詳細なプロセスは次のとおりです。

- **熱処理:**
 - **環境制御:** 活性化は、バリウム化合物の酸化や汚染を防ぐために、高真空または不活性雰囲気 (高純度アルゴンなど) で行われます。ターボ分子ポンプなどの真空ポンプシステムは、残留ガスの分圧を低く抑えます。
 - **温度手順:** 熱応力によるマトリックスの亀裂を避けるために、段階的な加熱が採用されています。保持時間はバリウム化合物の比率に応じて最適化されます。高温によりバリウム化合物の分解が促進され、遊離バリウム原子が放出され、細孔を通して表面に拡散します。
 - **設備要件:** 精密な温度制御システムを備えた高温真空炉または抵抗加熱炉を使用してください。赤外線温度計は基板温度をリアルタイムで監視し、均一性を確保します。
- **界面活性剤層の形成:**
 - **バリウムの拡散と吸着:** 遊離バリウム原子は細孔のネットワークを介してタングステンマトリックスの表面に拡散し、単一の原子層または薄膜を形成します。化学吸着したバリウム原子はタングステン表面と強い結合を形成し、仕事関数を 1.1~1.5 eV に減少させます。物理的に吸着されたバリウム原子は、継続的な補充を提供し、活性層の動的平衡を維持します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **表面トポグラフィ制御:** 活性層は均一かつ連続的である必要があります。研磨によって表面粗さを低レベルに制御する必要があります。不均一なアクティブ層は、局所的な高電力機能領域につながり、放射効率を低下させる可能性があります。
- **相加効果:** 少量の希土類酸化物を添加すると、活性層の熱安定性が向上し、バリウムの蒸発損失が遅くなります。
- **プロセスの最適化:**
 - 活性化温度と時間は、バリウム化合物の比率とマトリックスの細孔構造に応じて調整する必要があります。温度が高すぎると、バリウムの蒸発が加速され、寿命が短くなる可能性があります。活性化が不十分な場合、活性層の被覆率が低くなり、放射性能に影響を与える可能性があります。
 - 段階的な活性化は段階的に実行でき、活性層を形成する前にバリウム化合物を安定化します。
 - 活性化後は、熱応力による表面欠陥を避けるために室温まで冷却する必要があります。
- **プロセスの検証:**
 - アクティブ層のエミッション性能は、熱電子エミッションテストを使用して検証され、電流密度が目標値に達していることを確認します。
 - AFM と SEM は表面トポグラフィを解析し、活性層の均一性と粗さを確認します。
 - XPS は、表面の化学組成を分析して、バリウム原子被覆率と仕事関数低減の効果を検証します。

活性化プロセスでは、カソードの高性能動作を保証するために、安定した活性層を形成するための正確な温度と環境制御が必要です。

4.3 バリウムタングステン陰極の品質管理と試験

品質管理とテストは、排出性能テスト、適合性評価、故障分析など、バリウム タングステン正極の性能の一貫性と信頼性を確保するための重要な側面です。このセクションでは、方法論と標準について詳しく説明します。

4.3.1 伝達性能の試験方法

エミッション性能試験は、バリウムタングステンカソードの電流密度、仕事関数、およびエミッション安定性を評価して、製造プロセスの有効性を検証するように設計されています。詳細なテスト方法は次のとおりです。

- **熱電子放出試験:**
 - **試験条件:** 高真空環境で、陰極を動作温度まで加熱し、陽極コレクターと精密電流計を使用して発光電流を測定します。試験装置には、高精度の電源と温度制御システムを装備する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **テスト手順:** 徐々に増加する陽極電圧を印加し、電流-電圧特性曲線 (IV 曲線) を記録します。Richardson-Dushman 方程式を使用して仕事関数を計算します:

$$J = AT^2 \exp\left(-\frac{\phi}{kT}\right)$$

仕事関数が 1.1~1.5 eV の範囲にあり、電流密度が設計要件を満たしていることを確認します。

- **データ分析:** 送信電流の安定性とノイズレベルを評価します。異常な変動は、不均一な活性層または表面汚染を示している可能性があります。
- **パルステスト:**
 - **試験目的:** 高出力デバイスの過渡動作条件をシミュレートし、高電界または高電流密度下でのカソードの性能を評価します。
 - **テストプロセス:** パルス電圧を印加して過渡電流密度と応答時間を測定します。テストでは、表面欠陥や不均一性による放出ノイズを検出します。
 - **機器要件:** 高周波パルス電源とオシロスコープを使用して電流波形を記録し、測定精度を確保します。
- **寿命試験:**
 - **テスト条件:** シミュレートされた動作条件下で数千時間連続運転し、電流密度の減衰を監視します。
 - **テストプロセス:** 電流密度と仕事関数の変化を定期的に記録し、性能減衰曲線を描画します。テストでは、経年劣化率と活性層の安定性を評価します。
 - **データ分析:** 減衰曲線を通じて正極の寿命を予測し、アプリケーションのニーズが確実に満たされるようにします。
- **検証方法:**
 - テスト結果は、電流密度が目標値に達し、作業機能が期待を満たす必要があるなど、設計仕様と比較する必要があります。
 - 機器のエラーや環境干渉を除いたデータの信頼性を確保するための複数のテスト。

エミッション性能試験は、標準化された試験環境で実行され、マルチパラメータ分析と組み合わせて、正極の性能がアプリケーション要件を満たしていることを確認します。

4.3.2 一貫性と信頼性の評価基準

一貫性と信頼性は、バリウム タングステン カソードの大規模生産の重要な要件であり、次の基準によって評価されます。

- **適合性評価:**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **パラメータモニタリング:** 複数のバッチの正極の放射電流密度、仕事関数、寿命の統計分析、および変動係数(標準偏差/平均)の計算。バッチ間で一貫したパフォーマンスを確保するには、変動係数を低く抑える必要があります。
- **微細構造の検証:** SEM と X-CT を使用してマトリックスの細孔構造とバリウム化合物の分布を分析し、バッチ間で一貫した気孔率と充填量を確保します。表面粗さは AFM で測定します。
- **プロセス制御:** 統計的プロセス制御 (SPC) テクノロジーを使用して、プレス圧力、焼結温度、含浸パラメータをリアルタイムで監視し、時間内の偏差を調整します。管理図を使用して、主要なパラメータの安定性を追跡できます。
- **信頼性評価:**
 - **加速老化試験:** 高温または高電流密度条件下で動作し、極端な環境におけるカソードの性能低下を評価します。テスト結果は、平均故障間隔 (MTBF) と故障確率を計算するために使用されます。
 - **環境適応性試験:** ささまざまな環境におけるカソードの安定性を検証するために、シミュレートされた動作条件下でテストします。
 - **標準開発:** 信頼性指標は、アプリケーション要件 (マイクロ波管や X 線管など) に基づいて開発されます。
- **検証方法:**
 - マルチバッチのテストデータを組み合わせて、生産プロセスの再現性と安定性を評価します。
 - 統計ソフトウェアを使用してパラメータ分布を分析し、正規分布または目標許容誤差が満たされていることを確認します。
 - 測定の精度と一貫性を確保するために、試験装置を定期的に校正してください。

適合性と信頼性の評価には、生産およびアプリケーションにおけるカソードの性能安定性を確保するための体系的なテストとデータ分析が必要です。

4.3.3 故障の分析と改善

故障解析は、バリウムタングステンカソードの劣化または故障の原因を特定し、的を絞った改善策を提案することを目的としています。一般的な故障モードと解析方法は次のとおりです。

- **表面汚染:**
 - **故障メカニズム:** 酸素、水蒸気、または炭素化合物がバリウムと反応して高仕事機能化合物 (BaO_2 や BaCO_3 など) を形成し、排出性能を低下させます。
 - **診断方法:**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- X線光電子分光法(XPS)は、表面の化学組成を分析し、Ba/O/C比を検出し、汚染物質の種類を確認します。
- 熱電子放射試験では、電流密度の減衰を評価して汚染の影響を検証します。
- 改善策:
 - 真空レベルを上げて、残留ガスの汚染を減らします。
 - La_2O_3 などの抗毒剤を添加して保護層を形成します。
 - プラズマ洗浄は、表面の汚染物質を除去するために使用されます。
- バリウム枯渇:
 - 故障メカニズム:長期間の操作は、バリウム化合物の枯渇、活性層被覆率の低下、および作業機能の増加につながります。
 - 診断方法:
 - SEMとEDSは、バリウム含有量と活性層の形態を分析して、カバレッジを検証しました。
 - 仕事関数測定(熱電子放出試験による)は、パフォーマンスの低下を評価します。
 - 改善策:
 - バリウム化合物の比率を最適化して、バリウムの貯蔵量を増やします。
 - 気孔率を改善して充填能力を高めます。
 - 活性層を補充するための定期的な低温活性化。
- 機械的故障:
 - 故障メカニズム: 熱応力や機械的振動により、マトリックスの亀裂や細孔崩壊が発生し、バリウムの拡散に影響を与える可能性があります。
 - 診断方法:
 - X-CTは細孔構造を解析し、ひび割れや崩壊を検出します。
 - 機械的試験(圧縮試験など)では、基板の強度が評価されます。
 - 改善策:
 - 焼結プロセスを最適化して粒子の結合を強化する。
 - 熱応力を軽減するために段階的な加熱が使用されます。
 - ZrO_2 をドーピングすることで耐亀裂性が向上します。
- アーク破壊:
 - 故障メカニズム: 表面欠陥や不均一な活性層は局所的なアーク放電を引き起こし、放電の不安定性や表面損傷につながります。
 - 診断方法:
 - SEMは、粒子の蓄積や亀裂などの表面欠陥を検出します。
 - 高周波放射試験(周波数 1kHz)は、電流変動を記録します。
 - オシロスコープはアーク信号を監視します。
 - 改善策:
 - 最適化された含浸プロセスにより、活性層の均一性が保証されます。
 - 表面研磨により欠陥が減少します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 電極設計を最適化して電界濃度を低減します。
- 故障解析方法:
 - 故障ツリー分析 (FTA): 故障原因ツリーを構築して、主要な故障モード (バリウムの枯渇や表面汚染など) とその根本原因 (プロセス パラメータの逸脱など) を特定します。
 - 統計的プロセス制御 (SPC): 故障データを分析し、プロセスのボトルネックを特定し、主要なパラメータを最適化します。
 - マルチテクニク診断: XPS、SEM、X-CT、および排出ガス試験を組み合わせ、故障メカニズムを包括的に分析します。
- 改善戦略:
 - プロセスパラメータ(焼結温度、含浸圧力など)を最適化して、陰極の一貫性を向上させます。
 - 温度センサーやガス分析装置などのオンライン監視システムを導入し、プロセスの逸脱をリアルタイムで検出します。
 - 故障解析結果をプロセス改善に応用し、故障率を低減するためのフィードバックメカニズムを確立します。

故障分析では、根本原因を特定し、効果的な改善策を提案するために、マルチテクノロジー診断と体系的な分析方法を組み合わせる必要があります。

この章では、タングステンマトリックスの形成から活性層の形成までのプロセスの各ステップ、および性能テストと故障解析の主要な方法について詳しく説明し、高性能カソードの製造と最適化のための強固な技術基盤を提供し、その後のアプリケーション開発と性能向上のためのプロセス保証を提供します。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Barium Tungsten Cathode Introduction

1. Overview of Barium Tungsten Cathode

The Barium Tungsten Cathode is a type of thermionic emission material typically composed of high-purity tungsten as the base, impregnated with barium compounds. Upon high-temperature activation, it emits free electrons and is widely used in vacuum electronic devices. Due to its low work function and high electron emission efficiency, this cathode plays a critical role in high-power electronic equipment. CTIA GROUP LTD specializes in the global flexible customization of tungsten and molybdenum products, offering tailored high-performance barium tungsten cathodes according to customer requirements.

2. Characteristics of Barium Tungsten Cathode

- **High Electron Emission Efficiency:** The low work function of barium enables the cathode to emit a large quantity of electrons even at relatively low temperatures.
- **High-Temperature Resistance:** With a tungsten matrix that has a melting point of 3422° C, the cathode maintains structural stability in high-temperature operating environments.
- **Long Service Life:** Optimized barium compound impregnation techniques help minimize barium evaporation, thereby extending the cathode's lifespan.
- **Low Evaporation Rate:** Compared to other cathode materials, barium tungsten exhibits a lower evaporation rate at high temperatures, reducing contamination within the device.
- **Arc Stability:** Delivers a stable electron flow, making it ideal for high-precision electron beam applications.

3. Applications of Barium Tungsten Cathode

- **HID Lamps:** The cathode's low work function and high current density allow HID lamps to emit bright and stable light, making them suitable for applications that require high brightness and long service life, such as roadway and industrial lighting.
- **Vacuum and Laser Devices:** The low work function makes barium tungsten ideal for use in vacuum electronic and laser components.
- **Stage and Club Lighting Effects:** High-frequency strobe lights made from this material are known for their long lifespan and stable performance.
- **Film Projection and Video Recording:** The film and broadcast industry also relies heavily on this material for projection and recording equipment, where it ensures long-term operational stability and high efficiency.
- **Laser Mercury Pumps:** Its high electron emission capability and low operating temperature contribute to improved laser performance and stability.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

第5章:バリウムタングステンカソードの応用

バリウムタングステンカソードは、その低い仕事関数、高い放射電流密度、および優れた熱安定性により、多くのハイテク分野で効率的な熱電子放射源として重要な役割を果たしています。この章では、真空エレクトロニクス、科学機器、産業および通信、航空宇宙および防衛、および新興および分野横断的なアプリケーションにおけるバリウム タングステン カソードの具体的な用途について詳細に説明し、さまざまなシナリオにおけるバリウム タングステン カソードの役割と技術要件を分析します。

5.1 真空エレクトロニクス

真空電子デバイスは、真空環境での電子の動きを利用して信号の増幅、発振、エネルギー変換を実現し、通信、レーダー、産業分野で広く使用されています。バリウム タングステン陰極は高効率の電子放出源として機能し、これらのデバイスに大電流電子の安定した流れを提供し、高出力および高周波数の要件を満たします。

5.1.1 マイクロ波管

マイクロ波管は、電子ビームを使用して電磁場と相互作用し、マイクロ波信号を生成または増幅する真空電子デバイスの一種で、レーダー、通信、科学実験で広く使用されています。バリウムタングステンカソードは、その高い発光効率と安定性により、マイクロ波管に不可欠です。

5.1.1.1 マグネトロン: レーダーおよびマイクロ波加熱装置に使用

- **機器紹介:** マグネトロンは、電場と磁場の相互作用下で特定の軌道に沿って電子を移動させることにより、共振器キャビティを励起して高周波マイクロ波信号(通常は GHz 範囲)を生成する高出力マイクロ波発振器です。そのコアコンポーネントには、陰極(電子源)、陽極共振共振器、および磁場システムが含まれます。マグネトロンは、高出力 (kW から MW) パルスまたは連続マイクロ波信号を生成できるため、レーダー システム (気象レーダー、軍用目標追跡レーダーなど) やマイクロ波加熱装置 (工業用電子レンジ、マイクロ波乾燥装置など) で広く使用されています。

動作原理: 陰極は電子を放出し、交差電場と磁場の作用下で回転する電子雲を形成し、陽極共振共振器と結合して特定の周波数のマイクロ波信号を生成します。

- **バリウムタングステン陰極機能:** バリウムタングステン陰極はマグネトロンの電子源として機能し、高電流密度の電子流を提供し、高出力マイクロ波出力をサポートします。
- **カソード要件:**
 - **高電流密度:** マグネトロンは、高出力をサポートするために高い送信電流密度を必要とします。バリウムタングステンカソードは、電力需要を満たすために高温で安定した放出を提供します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **高速応答:** レーダー パルス動作では、カソードが低エミッション ノイズと均一な活性層で、マイクロ秒以内に高周波パルス電圧に応答する必要があります。
- **耐振動性:** 軍用レーダーの機械的振動では、細孔の崩壊や活性層の剥離を防ぐために陰極マトリックスの高い機械的強度が必要であり、焼結プロセスとマトリックス構造を最適化する必要があります。
- **技術的利点:** バリウム タングステン陰極は仕事関数が低く、熱安定性が高いため、高出力およびパルス条件下で長時間動作でき、効率的で信頼性の高い電子源に対するマグネトロンニーズを満たします。

5.1.1.2 TWT:高周波通信および衛星増幅器

- **機器紹介:** 進行波管 (TWT) は、電子ビームと進行波場の相互作用を通じて高周波信号を増幅する広帯域マイクロ波増幅器です。そのコアコンポーネントには、陰極、徐波構造、電子ビーム集束システム、および収集電極が含まれます。TWTは、その高ゲインと広帯域特性により、衛星通信(上り/下り信号増幅)、5G 基地局、放送システムで広く使用されています。
- 動作原理:** 陰極から放出される電子ビームは、低波構造(スパイラルなど)で入力マイクロ波信号と同期して移動し、電子ビームの運動エネルギーが信号に伝達されて増幅と出力が実現されます。
- **バリウム-タングステン陰極の作用:** バリウム-タングステン陰極は安定した電子ビームを提供し、進行波管の高周波信号増幅をサポートします。
- **カソード要件:**
 - **高い発光均一性:** 進行波管は信号増幅の品質を確保するために安定した電子ビームを必要とし、信号の歪みを避けるために陰極活性層は均一で表面粗さが低い必要があります。
 - **長寿命:** 衛星通信には長い正極寿命が必要であり、バリウムの蒸発損失を遅らせるためにバリウム化合物の比率を最適化する必要があります。
 - **抗毒性:** 宇宙環境には微量の残留ガスが存在する可能性があり、性能を維持するには抗毒物を追加する必要があります。
- **技術的利点:** バリウム タングステン陰極の高電流密度と耐中毒機能により、高周波、長寿命動作における進行波管の信号の安定性と信頼性が保証されます。

5.1.1.3 クライストロン管: 高出力レーダーおよび粒子加速器

- **機器紹介:** クライストロンは、共振共振器内の電子ビームの速度変調を通じてマイクロ波信号を生成または増幅する高出力マイクロ波増幅器または発振器です。そのコアコンポーネントには、陰極、共振キャビティ、ドリフト管、および収集電極が含まれます。クライストロン管は、高出力レーダー(航空交通管制レーダー、ミサイル誘導レーダーなど)や粒子加速器(放射光源、CERN の LHC など)に広く使用されています。
- 動作原理:** カソードから放出される電子ビームは、共振キャビティを通過するときに速度変調され、密度変調ビームを形成し、後続のキャビティで運動エネルギーをマイクロ波エネルギーに変換します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **バリウム タングステン カソードの作用:** バリウム タングステン カソードは大電流電子ビームを提供し、クライストロン管の高出力をサポートします。
- **カソード要件:**
 - **超高電流密度:** クライストロンは MW レベルの出力をサポートするために非常に高い電子流量を必要とし、高電界での放射を強化するにはカソードをショットキー効果と組み合わせる必要があります。
 - **熱安定性:** 動作温度の変動により、カソードが安定した性能を維持する必要があります。マトリックスの熱伝導率と活性層の耐熱性を最適化する必要があります。
 - **高真空適合性:** 超高真空陰極では、表面汚染による性能低下を避ける必要があります。
- **技術的利点:** バリウム タングステン カソードは、高出力および高電界条件下で安定した電子放出を提供し、クライストロン管の極端な動作要件を満たします。

5.1.2 X 線管

X 線管は、金属ターゲットに高エネルギー電子を照射して X 線を生成する真空装置で、医療や産業分野で広く使用されています。バリウムタングステンカソードは、高効率の電子源を提供します。

5.1.2.1 医用画像機器(CT スキャナー、X 線診断装置など)

- **機器の紹介:** X 線管は、医療画像機器 (コンピューター断層撮影 CT、X 線診断機器など) の中核コンポーネントであり、ヒト組織イメージング用の陽極ターゲット (タングステンやモリブデンなど) に電子的に衝突することによって X 線を生成します。その主なコンポーネントには、カソード、アノード、および真空ハウジングが含まれます。CT スキャナーは多角 X 線投影によって 3 次元画像を生成し、診断用 X 線装置は骨や軟部組織の検査に使用されます。
- 仕組み:** カソードは、高電圧電界の加速下でアノードに衝突する電子を放出し、透視イメージング用の特徴的な X 線と連続スペクトル X 線を生成します。
- **バリウム タングステン カソードの作用:** バリウム タングステン カソードは、高品質の X 線信号を生成する高エネルギー電子ビームを提供します。
- **カソード要件:**
 - **高い発光安定性:** イメージング品質には安定した電子の流れが必要であり、電流変動を低減するために陰極を均一に放出する必要があります。
 - **クイックスタート:** 診断装置は迅速に起動する必要があり、陰極は動作温度に達し、短時間で安定して放出する必要があります。
 - **長寿命:** 医療機器には長い陰極寿命が必要であり、バリウムの貯蔵と中毒防止機能を最適化する必要があります。
- **技術的利点:** バリウムタングステン陰極の高電流密度と高速応答能力により、X 線管の画像精度と信頼性が保証され、医療機器の高い基準を満たします。

5.1.2.2 工業用非破壊検査

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **機器の紹介:** X 線管は、内部欠陥 (亀裂、気孔など)、溶接品質、電子部品構造を検出するために産業用 NDT で使用されます。医療用 X 線管と同様に機能しますが、厚い金属や複合材料を透過するにはより高い X 線エネルギーが必要です。アプリケーションシナリオには、航空部品検査、パイプライン溶接解析、半導体パッケージ検査などがあります。
仕組み: 高エネルギーの電子ビームがターゲットに衝突して X 線を生成し、サンプルを送信した後に検出器によって捕捉され、内部構造の画像が形成されます。
- **バリウム タングステン陰極の作用:** バリウム タングステン陰極は高強度の電子ビームを提供し、高エネルギー X 線の生成をサポートします。
- **カソード要件:**
 - **高出力:** 工業検査には高エネルギーの X 線が必要であり、陰極には高電流密度を提供する必要があります。
 - **環境適応性:** 産業環境では振動や温度変化が発生する可能性があり、陰極には高い機械的強度と熱安定性が必要です。
 - **耐汚染性:** 理想的でない真空条件では、添加剤による中毒に対する陰極を強化する必要があります。
- **技術的利点:** バリウム タングステン陰極の堅牢性と高い発光効率により、産業検査の厳しい条件に適しており、高品質の X 線信号を提供します。

5.1.3 その他の真空装置

- **光電子増倍 管:**
 - **機器紹介:** 光電子増倍管 (PMT) は、微弱な光信号を電気信号に変換する高感度光検出器で、放射線検出器 (ガンマ線検出など)、天体観測、科学実験における光子計数に広く使用されています。そのコアコンポーネントには、光電陰極、電子増倍管、および陽極が含まれます。
動作原理: 光電陰極は光子を吸収して電子を放出し、電子は乗算器によって増幅され、陽極によって収集されて検出可能な電気信号を形成します。
 - **バリウム タングステン陰極作用:** 高感度の電子放出を提供し、初期光電信号の生成をサポートします。
 - **カソード要件:** 光子検出精度を確保するには、非常に低い発光ノイズと高速応答時間が必要です。
 - **技術的利点:** バリウム タングステン陰極の低ノイズと高感度特性により、光電子増倍管の理想的な電子源となります。
- **電子ビーム溶接装置:**
 - **装置紹介:** 電子ビーム溶接装置は、高エネルギーの電子ビーム溶融材料を利用して高精度溶接を行い、航空宇宙、自動車製造、原子力産業で広く使用されています。そのコアコンポーネントには、カソード、電子光学システム、真空チャンバーが含まれます。
動作原理: 陰極から放出される電子ビームは高真空中で加速および集束され、ワークピースに衝突して局所的な高温を発生させ、深溶融溶接を実現します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **バリウムタングステンカソードアクション:** 深熔融溶接をサポートする高エネルギー電子ビームを提供します。
- **陰極の要件:** 高電流密度と安定した電子ビーム集束性能が必要であり、過熱を避けるために動作温度を正確に制御する必要があります。
- **技術的 利点:** バリウム タングステン陰極の高い放出効率と安定性により、溶接の精度と効率が保証されます。

5.2 科学機器

バリウム タングステン カソードは、科学機器の高性能電子源として機能し、高精度と感度の要件を満たす高解像度のイメージングおよび分析タスクをサポートします。

5.2.1 電子顕微鏡

- **機器紹介:** 電子顕微鏡は電子ビームイメージングを使用し、走査型電子顕微鏡 (SEM) と透過型電子顕微鏡 (TEM) に分けられます。SEM は、電子ビームを介してサンプルの表面をスキャンし、二次電子または後方散乱電子を収集して、ナノメートルの解像度で表面トポグラフィ画像を形成します。TEM は、電子ビームで極薄サンプルを貫通し、サブオングストロームレベルまでの解像度で内部構造の画像を生成します。どちらも材料科学、生物学、ナノテクノロジーの研究で広く使用されています。
仕組み: カソードから放出された電子ビームは、電場によって加速され、磁場によって集束され、スキャン (SEM) または透過 (TEM) され、検出器によって捕捉され、高解像度の画像が生成されます。
- **バリウムタングステン陰極作用:** 高輝度の電子ビームを提供し、サブナノスケールのイメージングをサポートします。
- **カソード要件:**
 - **高輝度:** 高分解能を実現するには、高電流密度と低エミッションノイズが必要です。
 - **安定性:** 長期イメージングには、放射電流の変動が少なく、活性層の均一性を最適化する必要があります。
 - **真空適合性:** 超高真空では、汚染に対する強力な陰極耐性が必要です。
- **技術的利点:** バリウム タングステン陰極は輝度が高く安定性が高いため、SEM および TEM の理想的な電子源となります。

5.2.2 質量分析計: 高感度イオン源

- **機器紹介:** 質量分析計は、サンプル分子をイオン化し、質量電荷比を測定することにより分子組成と構造を決定する分析機器であり、化学分析、環境モニタリング、生物医学研究で広く使用されています。そのコアコンポーネントには、イオン源、質量分析装置、および検出器が含まれます。
動作原理: 陰極は電子を放出してサンプル分子に衝突し、イオンを生成した後、電場または磁場によって分離され、質量電荷比に従って分子種が検出されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **バリウムタングステン陰極作用:** サンプルイオン化のための安定した電子の流れを提供します。
- **カソード要件:**
 - **高感度:** イオン化効率を向上させるには低エネルギー電子の安定した流れが必要であり、カソードは低温で動作する必要があります。
 - **長寿命:** 分析タスクは長期間実行する必要があります、バリウム比を最適化してカソードを延長する必要があります。
- **技術的利点:** バリウム タングステン陰極の低い仕事関数と高い発光効率により、質量分析計の高感度と長期安定性が保証されます。

5.2.3 表面分析装置

- **機器の紹介:** オージェ電子分光計 (AES) および X 線光電子分光計 (XPS) は、材料表面の化学組成と電子構造を研究するために使用される表面分析装置です。AES は、電子ビームでサンプルを励起して元素種を分析することにより、オージェ電子を生成します。XPS は X 線を介して光電子を励起し、元素と化学状態を測定します。どちらも材料科学や半導体研究で広く使用されています。
- 仕組み:** 陰極を放出する電子または X 線源がサンプルを励起し、放出された電子をエネルギー スペクトル分析のために収集します。
- **バリウムタングステン陰極作用:** 安定した電子ビーム(AES)を提供し、高精度の表面分析をサポートします。
- **カソード要件:**
 - **高精度:** 低エネルギー電子の安定した流れが必要であり、カソードは均一な発光と低ノイズ特性を提供する必要があります。
 - **超高真空互換性:** カソードは表面汚染を避ける必要があります。
- **技術的利点:** バリウム タングステン正極は均一な放出と汚染に対する耐性があるため、高精度の表面分析作業に適しています。

5.3 産業および通信アプリケーション

バリウムタングステンカソードは、産業および通信分野における高出力電子ソースと信号増幅機能をサポートし、高い信頼性と効率のニーズに応えます。

5.3.1 レーダーシステム

- **機器紹介:** レーダーシステムは、マイクロ波信号を送受信することによって目標の位置と速度を検出し、軍用レーダー(防空レーダー、ミサイル誘導レーダーなど)と民間レーダー(航空交通管制、気象レーダーなど)に分けられます。そのコアコンポーネントには、マイクロ波源(マグネトロンやクライストロンなど)、アンテナ、信号プロセッサが含まれます。
- 動作原理:** 陰極から放出された電子ビームは、マイクロ波管内で高出力のマイクロ波信号を生成し、アンテナによって送信された後、検出器に反射されます。
- **バリウムタングステン陰極作用:** 高出力の電子流を提供し、マイクロ波信号の生成をサポートします。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **カソード要件:**
 - **高出力:** 高出力信号伝送をサポートするには、高電流密度が必要です。
 - **耐振動性:** モバイル プラットフォーム (船上レーダーなど) には、カソードマトリックスの高い機械的強度が必要です。
 - **高速応答:** パルスレーダーはカソードによって迅速に起動し、安定して送信する必要があります。
- **技術的利点:** バリウム タングステン正極は高い放出効率と堅牢性により、レーダーシステムの理想的な電子源となります。

5.3.2 通信機器

- **機器紹介:** 衛星通信および地上基地局アンプは、進行波管またはソリッドステートアンプに依存して高周波信号を増幅し、長距離信号伝送に使用されます。衛星通信はグローバルな通信ネットワークをサポートし、地上基地局は 5G や放送システムに利用されています。
- 動作原理:** 陰極から放出される電子ビームは、進行波管内の入力信号を増幅し、高出力信号を出力します。
- **バリウムタングステン陰極作用:** 安定した電子の流れを提供し、信号増幅をサポートします。
- **カソード要件:**
 - **高周波安定性:** 低ノイズの電子流が必要であり、陰極活性層は均一である必要があります。
 - **長寿命:** 衛星通信には長い陰極寿命が必要であり、中毒防止と蒸発性能を最適化する必要があります。
- **技術的利点:** バリウム タングステン陰極は、高周波信号の増幅と長期動作をサポートし、通信機器の高い信頼性要件を満たします。

5.3.3 真空スイッチチューブ

- **機器紹介:** 真空スイッチ管は、電力システムの回路ブレーカー、配電、負荷制御に使用される高電圧スイッチングデバイスで、電子制御による高速スイッチングを実現します。そのコアコンポーネントには、カソード、アノード、および真空ハウジングが含まれます。
- 動作原理:** カソードは電子を放出し、高電圧でアークまたはオン電流を形成して回路スイッチングを実現します。
- **バリウムタングステン陰極作用:** 大電流の電子流を提供し、高速スイッチング動作をサポートします。
- **カソード要件:**
 - **高電流密度:** 大電流スイッチング動作のサポートが必要です。
 - **耐アーク性:** 表面欠陥によるアーク放電を回避し、表面トポグラフィーを最適化する必要があります。
- **技術的利点:** バリウム タングステン正極は高い放出効率と安定性を備えているため、高電圧、高出力のスイッチング アプリケーションに適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.4 航空宇宙と防衛

バリウム タングステン カソードは、航空宇宙および防衛における高信頼性および高性能エレクトロニクスをサポートし、極限環境の要求を満たします。

5.4.1 宇宙用電子機器

- **機器紹介:** 宇宙電子機器には、極度の真空および放射線環境で動作する必要がある深宇宙探査機や衛星の通信モジュール、推進システム、科学機器が含まれます。典型的なアプリケーションには、衛星通信システム (GPS 衛星など) や探査機 (火星探査機など) の電子ソースが含まれます。
動作原理: カソードは電子の流れを提供し、通信信号の増幅または推進剤のイオン化をサポートします。
- **バリウムタングステンカソードアクション:** 長期の宇宙ミッションをサポートする信頼性の高い電子源を提供します。
- **カソード要件:**
 - **極限環境への適応性:** 宇宙真空や放射線環境でも安定して動作する必要があります。
 - **長寿命:** ミッション サイクルは最大数年であり、寿命を延ばすにはバリウム貯蔵を最適化する必要があります。
 - **低消費電力:** 省エネには低発熱量が必要です。
- **技術的利点:** バリウム タングステン陰極は信頼性が高く、仕事機能が低いため、宇宙用途に適しています。

5.4.2 電子対抗システム

- **機器の紹介:** 電子対抗システムは、高出力マイクロ波信号を使用して、敵の通信、レーダー、または高出力マイクロ波兵器や妨害装置などの電子機器を妨害または妨害します。そのコアコンポーネントはマイクロ波源 (クロストロンやマグネトロンなど) です。
動作原理: 陰極から放出される電子ビームは、指向性アンテナを介して干渉ターゲットを放射する高出力マイクロ波信号を生成します。
- **バリウムタングステンカソードアクション:** 超高出力の電子流を提供し、マイクロ波信号の生成をサポートします。
- **カソード要件:**
 - **超高出力:** MW レベルの出力をサポートするには、非常に高い電流密度が必要です。
 - **高速応答:** パルス動作には、高速起動と安定した放射が必要です。
- **技術的利点:** バリウム タングステン カソードは、高電界と高出力下で安定した電子の流れを提供し、カウンター システムのニーズを満たします。

5.5 新興およびクロスドメインアプリケーション

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

バリウム タングステン正極は、新興技術分野で幅広い可能性を示し、最先端の研究と学際的な応用をサポートします。

5.5.1 テラヘルツ波発生器

- **機器紹介:** テラヘルツ波発生器は、テラヘルツイメージング(セキュリティ、医療診断など)や高速通信のためにテラヘルツ波を生成します。そのコアコンポーネントには、電子源と発振器(進行波管やクライストロン管など)が含まれます。
動作原理: 陰極から放出された電子ビームは高周波場で振動し、テラヘルツ波を生成します。
- **バリウムタングステン陰極作用:** 高周波電子ビームを提供し、テラヘルツ波の生成をサポートします。
- **カソード要件:**
 - **高周波応答:** トンネリング効果と組み合わせて、高磁場の強放射をサポートする必要があります。
 - **安定性:** 高真空・高温で低騒音が求められる。
- **技術的利点:** バリウム タングステン陰極の仕事関数が低く、電流密度が高いため、テラヘルツ波発生器の高い要件に適しています。

5.5.2 イオンスラスタ

- **機器紹介:** イオンスラスタは、電離推進剤(キセノンなど)を介してイオンビームを生成し、深宇宙探査機や衛星の姿勢制御にマイクロ推力(μN ~ mN レベル)を提供する低推力、高効率の宇宙推進システムです。
動作原理: カソードは電子イオン化推進剤を放出し、電界が加速した後にイオンが放出されて推力が発生します。
- **バリウムタングステン陰極作用:** 高効率の電子源を提供し、推進剤のイオン化をサポートします。
- **カソード要件:**
 - **高効率:** イオン化効率を向上させるには、効率的な電子の流れが必要です。
 - **長寿命:** 深宇宙ミッションには数年間の運用が必要です。
- **技術的利点:** バリウム タングステン カソードの高い排出効率と長寿命により、イオン スラスタの低消費電力と長期動作がサポートされます。

5.5.3 高エネルギー物理実験

- **デバイスの説明:** CERN の LHC などの粒子加速器は、高エネルギー物理学研究のために電場と磁場を介して荷電粒子を加速します。その電子源は、最初の粒子ビームまたは補助ビームを生成するために使用されます。
動作原理: 陰極から放出された電子ビームは加速され、加速器に注入され、粒子衝突実験に参加します。
- **バリウム タングステン カソード アクション:** 粒子ビームの生成をサポートする大電流電子源を提供します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **カソード要件:**
 - **超高電流密度:** 高エネルギー粒子ビームをサポートする必要があります。
 - **安定性:** 超高真空下で長時間動作する必要があります。
- **技術的利点:** バリウム タングステン カソードの高性能と安定性は、高エネルギー物理実験の極端な条件を満たします。

5.5.4 生物医学的应用

- **機器紹介:** 高精度質量分析は、バイオマーカーの質量電荷比を検出することにより、疾患診断(早期がん検診、代謝性疾患検出など)に使用されます。そのコアコンポーネントは質量分析計のイオン源です。
動作原理: 陰極は電子を放出して生体サンプルに衝突し、イオンは生成され、質量分析によって分析されます。
- **バリウムタングステンカソードアクション:** 安定した電子の流れを提供し、高感度イオン化をサポートします。
- **カソード要件:**
 - **高感度:** 低エネルギー電子の安定した流れが必要です。
 - **低ノイズ:** 解析精度には、非常に低いエミッションノイズが必要です。
- **技術的利点:** バリウム タングステン正極の高感度と低ノイズ特性により、バリウム タングステン正極は生物医学質量分析に理想的な電子源となります。

要約すると、バリウムタングステンカソードは、その低い仕事関数、高電流密度、および優れた安定性により、真空エレクトロニクス、科学機器、産業および通信、航空宇宙および防衛、および新興分野で幅広い応用価値を示しています。この章では、各アプリケーションシナリオの機器原理と正極の技術要件を詳細に紹介し、ハイテク分野の発展を促進する上でのバリウムタングステン正極の重要な役割を明確にし、その後の性能最適化と学際的な研究のためのアプリケーション指向の参考資料を提供します。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

第6章:バリウムタングステンカソード性能の最適化と改善

バリウム タングステン正極の性能の最適化と改善は、真空エレクトロニクスおよびハイテク用途における性能を向上させるための鍵であり、排出効率の向上、耐用年数の延長、環境適応性の強化、インテリジェントな設計の実現を目指しています。この章では、多孔質タングステンマトリックスの細孔構造の最適化、新規バリウム化合物の配合、ナノテクノロジーの応用、抗毒性プロセス、熱的および機械的安定性の向上、低電力グリーン製造、およびインテリジェントな監視技術について詳細に説明し、材料設計からプロセスの最適化までのあらゆる戦略をカバーしています。

6.1 打ち上げ効率の向上

バリウムタングステン陰極の発光効率の向上は、発光電流密度の増加、仕事関数の低減、電子の発光均一性の向上など、バリウムタングステン正極の性能を最適化する中核的な目標です。このセクションでは、多孔質タングステンマトリックスの細孔構造の最適化、新規バリウム化合物の配合とドーピング、およびナノテクノロジーの応用について説明します。

6.1.1 多孔質タングステンマトリックスの細孔構造の最適化

多孔質タングステンマトリックスの細孔構造は、バリウム原子の拡散速度と活性層の形成効率に直接影響し、気孔率と接続性を最適化することで放出効率を大幅に向上させることができます。

- **気孔率の調整:**

- **最適化目標:** 気孔率を調整することにより、バリウム化合物の貯蔵とマトリックスの機械的強度のバランスをとります。気孔率が高いとバリウムの貯蔵が増加し、高電流密度の放出が促進されます。気孔率が低いため、長寿命用途の強度が向上します。
- **プロセス方法:** 微細なタングステン粉末をより大きな粒子と混合して、バイモーダル細孔分布を形成し、接続性を高めます。ポリスチレン微小球などの一時的な充填剤は、焼結中に揮発し、均一な細孔ネットワークを形成します。
- **焼結パラメータの最適化:** 焼結温度、加熱速度、保持時間を調整し、細孔を保持しながら粒子が結合するようにする。真空または水素雰囲気は酸化を防ぎます。

- **細孔接続性の強化:**

- **技術的手段:** タングステン粉末の粒度分布とプレス圧力を制御することにより、バリウム原子の表面への拡散を促進するために、三次元接続された細孔ネットワークが形成されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **検証方法:** X 線断層撮影 (X-CT) は細孔構造を再構築して接続性を確認します。水銀圧法は気孔率と細孔径分布を測定します。
- **性能の向上:**最適化された細孔構造により、バリウム拡散効率が向上し、活性表面層の被覆率が増加し、仕事関数が低下し、送信電流密度が向上します。
- **プロセス検証:** 走査型電子顕微鏡 (SEM) を使用して細孔断面積を観察し、サーミオントロニック放出試験と組み合わせて発光性能を評価し、均一性と安定性を確保します。

気孔構造の最適化は、効率的な排出のための構造基盤を提供するために、精密な粉末冶金および焼結プロセスを通じて達成する必要があります。

6.1.2 新しいバリウム化合物の配合とドーピング技術

新しいバリウム化合物製剤とドーピング技術は、活性層の形成と安定性を最適化し、仕事関数を低減し、排出効率を向上させます。

- **新しいバリウム化合物配合:**
 - **フォーミュラ調整:** 従来のアルミン酸バリウムカルシウム ($4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 4:1:1) は、モル比を調整することでバリウム含有量を増加させ、遊離バリウムの放出速度を加速するため、高電流密度の用途に適しています。バリウム比が低いため分解が遅くなり、長寿命のニーズに適しています。
 - **代替化合物:** ケイ酸バリウム (Ba_2SiO_4 など) またはチタン酸バリウム (BaTiO_3 など) は、特定の温度範囲でより安定した熱分解特性を備え、副生成物の干渉を低減するため、代替品として検討します。
 - **粒子の最適化:** バリウム化合物をサブミクロンレベルまで粉砕して、マトリックスの細孔サイズに一致させ、含浸の均一性を向上させ、活性層の被覆率を高めます。
- **ドーピング技術:**
 - **ドーパントの選択:** 活性層の熱安定性を高め、仕事関数を低下させるために、希土類酸化物 (La_2O_3 、 CeO_2 、 $<2\text{wt}\%$) を添加しました。 La_2O_3 は仕事関数の低い Ba-La-O 錯体を形成し、 CeO_2 は抗酸化能力を向上させます。
 - **ドーピング方法:** ドーパントをバリウム化合物と混合して粉砕して懸濁液を調製するか、含浸後に二次含浸によって導入して均一な分布を確保します。超音波分散は凝集を防ぎます。
 - **作用機序:** ドーパントは、バリウムの蒸発を抑制し、活性層の寿命を延ばしながら、表面の電子構造を変化させることで仕事関数を低下させます。
- **性能の向上:** 新しい配合とドーピング技術により、仕事関数が低減され、送信電流密度が増加し、放出の均一性が向上します。
- **プロセス検証:** X 線光電子分光法 (XPS) を使用して、表面の化学組成を分析し、ドーパントの分布を確認しました。熱電子放出試験により、仕事関数と電流密度の増加が検証されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

新しい配合とドーピング技術は、マトリックスの細孔構造との適合性を確保するために実験的に最適化する必要があります。

6.1.3 ナノテクノロジーの応用

ナノテクノロジーは、ナノスケールのバリウムコーティングとナノ多孔質タングステンマトリックスを含むナノスケール構造を構築することにより、バリウム-タングステン陰極の発光効率を向上させます。

- **ナノスケールのバリウムコーティング:**
 - **調製方法:** 原子層蒸着 (ALD) または化学気相成長法 (CVD) を使用して、タングステン マトリックスの表面にナノスケールの酸化バリウム コーティングを堆積します。ALD は $\text{Ba}(\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_2)_2$ を前駆体として使用し、均一性を確保するために一定の温度で層ごとに堆積します。
 - **利点:** ナノコーティングは、バリウム原子の表面被覆率を高め、仕事関数を低下させ、バリウム蒸発損失を低減します。コーティングの比表面積が高いため、電子放出効率が向上します。
 - **プロセス制御:** 蒸着速度を制御し、コーティングが厚すぎて細孔を塞がれないように、蒸着は高真空で行う必要があります。
- **ナノ多孔質タングステンマトリックス:**
 - **調製方法:** ナノ細孔は、電気化学的エッチングまたはステンシル法(陽極酸化アルミニウムテンプレートなど)によってタングステンマトリックスの表面に形成されます。テンプレート法では、 Al_2O_3 テンプレートを使用して、プラズマ増強化学気相成長法(PECVD)によってタングステンを堆積させた後、テンプレートを除去します。
 - **利点:** ナノ細孔は比表面積を増加させ、バリウムの貯蔵と拡散効率を向上させ、放出電流密度を高めます。
 - **プロセスの課題:** ナノポアは崩壊を避けるために接続性を維持する必要があります。マトリックスの強度は、 ZrO_2 をドーピングすることによって強化されます。
- **パフォーマンスの向上:** ナノテクノロジーは、排出効率を高め、作業機能を低下させ、排出の均一性を向上させることができます。
- **検証方法:** 原子間力顕微鏡(AFM)でコーティングの形態を分析し、粗さを確認します。ナノ細孔構造を検出するための SEM および X-CT。送信テストでは、電流密度の増加が検証されます。

ナノテクノロジーは調製コストと拡張性に対処する必要がありますが、性能が大幅に向上する可能性があるため、研究のホットスポットとなっています。

6.2 耐用年数を延ばす

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

寿命を延ばすことは、バリウムタングステンカソードの最適化にとって重要な方向であり、耐中毒プロセスや熱安定性と機械的強度の向上を伴い、経年劣化や故障を遅らせます。

6.2.1 中毒防止プロセス

抗毒プロセスは、環境汚染物質に対する陰極の耐性を向上させることにより、活性層の老化を遅らせます。

- **抗酸化物質汚染メカニズム:**

- **汚染源:** 残留ガス (O_2 、 H_2O 、 CO_2 など) は表面バリウムと反応して高出力機能化合物 (BaO_2 、 $BaCO_3$ など) を形成し、排出性能を低下させます。
- **保護ポリシー:**
 - **抗毒性剤の添加:** 希土類酸化物 (Sc_2O_3 、 Y_2O_3 など) をドーピングして保護層を形成し、バリウムと酸素の反応を阻害します。 Sc_2O_3 は、酸化速度を低下させる安定した Ba-Sc-O 錯体を形成します。
 - **表面コーティング:** バリアとして物理蒸着 (PVD) によって Al_2O_3 などの酸化物の薄い層を堆積し、汚染物質の浸透を防ぎます。
 - **活性化後処理:** 活性化後、低温アニーリングにより安定したバリウム吸着層が形成され、汚染防止能力が向上します。

- **プロセスの最適化:**

- 含浸と活性化は、初期汚染を減らすために超高真空で行われます。
- 不純物の侵入を避けるために、高純度のバリウム化合物とクリーンルームを使用してください。

- **性能の向上:** 中毒防止プロセスにより、真空環境でのカソードの寿命が延び、伝達電流の減衰率が低下します。

- **検証方法:** XPS は表面の化学組成を分析し、汚染物質の含有量を検出します。加速老化試験では、抗毒性特性が評価されます。

中毒防止プロセスでは、理想的でない環境におけるカソードの長期安定性を確保するために、保護対策の組み合わせが必要です。

6.2.2 熱安定性と機械的強度の向上

熱安定性と機械的強度の向上により、高温動作中のバリウム蒸発と構造的破損が軽減され、正極の寿命が延びます。

- **熱安定性の向上:**

- **バリウム化合物の最適化:** 従来の配合よりも高温で分解する Ba_2SiO_4 などの熱安定性の高いバリウム化合物を採用し、バリウムの蒸発を遅らせます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **ドーピング強化:** ZrO_2 または HfO_2 をマトリックスまたは活性層に添加して、高温でのバリウム原子の揮発を抑制し、活性層とマトリックスの結合力を向上させます。
- **活性化プロセスの最適化:** 段階的な活性化により均一な活性層が形成され、高温活性化中のバリウム損失が減少します。
- **機械的強度の向上:**
 - **マトリックス強化:** Re または ThO_2 をドーピングすることにより、タングステンマトリックスの粒界結合を強化し、圧縮強度を向上させます。
 - **焼結の最適化:** 焼結温度を下げ、保温時間を延長することで、粒子結合の密度を高め、マイクロクラックを低減します。
 - **細孔構造設計:** 勾配細孔構造 (表面の気孔率が高く、内部の気孔率が低い) により、強度とバリウム貯蔵のニーズのバランスが取れています。
- **性能の向上:** 熱安定性の向上により、高温でのカソードの寿命が延びます。高振動環境(軍用レーダーなど)に耐えるための機械的強度の向上。
- **検証方法:** 熱重量分析 (TGA) を使用して、バリウムの蒸発速度を評価しました。マトリックスの強度と微細構造を観察するための圧縮試験と SEM。寿命試験により、長期的な性能が検証されます。

熱安定性と機械的強度の向上は、材料とプロセスの相乗的な最適化によって達成されます。

6.3 環境適応性

バリウムタングステン正極の環境適応性を高めることで、極端な環境性能と低電力設計を含む、極端な条件やグリーン製造の要求下でも動作できるようになります。

6.3.1 極限環境でのパフォーマンス

極端な環境 (宇宙真空、高放射線、温度サイクルなど) では、正極の性能に対する要求が高くなり、安定性を確保するために最適化された材料と構造が必要です。

- **宇宙真空と放射線:**
 - **最適化戦略:** 抗放射線添加剤を添加して、マトリックスと活性層の抗放射線損傷能力を強化します。表面に ZrO_2 コーティングを施し、放射粒子を遮蔽します。
 - **真空互換性:** 超高真空で陰極を活性化して密閉し、残留ガス汚染を軽減します。
- **温度サイクル:**
 - **最適化戦略:** 熱応力を低減するために、熱膨張係数の低いタングステンマトリックスが使用されます。段階的な加熱により、活性層の亀裂が回避されます。
 - **検証方法:** 熱サイクル試験では、性能の低下を評価します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **高振動環境:**
 - **最適化戦略:** 冷間静水圧プレスにより高密度マトリックスを形成し、耐振動性を高めます。勾配細孔設計により、構造靱性が向上します。
- **パフォーマンスの向上:**最適化されたカソードは、真空、強い放射線および振動環境でも安定して動作でき、耐用年数が延長されます。
- **検証方法:**環境シミュレーション試験(放射線、真空、振動)と排出試験を組み合わせ、性能安定性を確認します。

極端な環境最適化には、材料、プロセス、構造設計を総合的に考慮する必要があります。

6.3.2 低消費電力とグリーン製造

低消費電力とグリーン製造は、エネルギー消費と環境への影響を削減することを目的とした、現代の正極設計における重要な方向性です。

- **低電力設計:**
 - **動作温度の低下:** Sc_2O_3 または La_2O_3 をドーピングすることで仕事関数が低下し、陰極が動作温度で高い電流密度を提供し、加熱電力を低下させます。
 - **効率的な加熱構造:** 熱効率を向上させるために、Mo フィラメントなどの最適化されたヒーターを使用して高熱伝導率マトリックスを設計します。
 - **検証方法:** 熱電子放出試験は低温性能を評価します。熱画像は加熱の均一性を分析します。
- **グリーンマニュファクチャリング:**
 - **環境に優しい素材:** 環境への害を軽減するために、 CeO_2 などの無毒の添加剤を使用します。タングステン粉末とバリウム化合物を回収して、原材料の消費量を削減します。
 - **省エネプロセス:** 低温焼結と高効率含浸(真空浸漬)により、エネルギー消費量を削減します。
 - **廃棄物処理:** バリウム化合物廃液回収システムを確立し、化学沈殿によって Ba^{2+} イオンを回収し、排出量を削減します。
- **パフォーマンスの向上:** 低電力設計により、加熱電力が削減されます。グリーン製造によるエネルギー消費と廃棄物排出量を削減します。
- **検証方法:** エネルギー消費分析により、製造と運用効率が評価されます。環境影響評価(LCA)は、グリーンマニュファクチャリングの有効性を確認するものです。

低消費電力とグリーン製造には、パフォーマンスと環境上の利点のバランスが必要です。

6.4 インテリジェントデザイン

インテリジェントな設計により、センサーの統合と適応制御を含むリアルタイムの監視と動的調整を通じてカソードの性能が向上します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- センサー監視:
 - **センサータイプ:**統合された小型温度センサー(熱電対など)と電流センサーは、カソードの状態を監視します。圧力センサは、真空環境の変化を検出します。
 - **設置方法:** センサーはカソード マトリックスまたは真空デバイス ハウジングに埋め込まれ、マイクロ回路を介してデータを送信します。
 - **監視パラメータ:** 動作温度、伝送電流、真空をリアルタイムで記録して、活性層の老化や汚染を予測します。
- 動的調整:
 - **制御システム:** マイクロコントロールユニット (MCU) に基づくフィードバック システムを開発し、センサー データに基づいて加熱電力または起動条件を調整します。たとえば、放出電流が>5%低下すると、補助バリウム原子の低温活性化がトリガーされます。
 - **適応アルゴリズム:** 機械学習モデルを使用して履歴データを分析し、動作パラメータを最適化し、寿命を延ばします。
- パフォーマンスの向上: インテリジェントな設計により、正極の寿命が延び、偶発的な故障が減少します。
- 検証方法: センサーの精度と制御システムの応答を評価するためのシミュレートされた動作テスト。故障分析により、インテリジェンスの有効性が確認されます。

インテリジェント設計は、センサーの小型化とデータ処理の複雑さに対処しますが、その可能性は大きいです。

要約すると、バリウムタングステン陰極の性能の最適化と改善は、細孔構造の最適化、新しい配合、ナノテクノロジー、中毒防止プロセス、熱機械的安定性の向上、低電力グリーン製造、インテリジェント設計を通じて、排出効率、寿命、および環境適応性を大幅に向上させます。この章では、高性能正極を開発するための体系的な技術ルートを提供し、次の章の技術的課題と将来の開発の基礎を築きます。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Barium Tungsten Cathode Introduction

1. Overview of Barium Tungsten Cathode

The Barium Tungsten Cathode is a type of thermionic emission material typically composed of high-purity tungsten as the base, impregnated with barium compounds. Upon high-temperature activation, it emits free electrons and is widely used in vacuum electronic devices. Due to its low work function and high electron emission efficiency, this cathode plays a critical role in high-power electronic equipment. CTIA GROUP LTD specializes in the global flexible customization of tungsten and molybdenum products, offering tailored high-performance barium tungsten cathodes according to customer requirements.

2. Characteristics of Barium Tungsten Cathode

- **High Electron Emission Efficiency:** The low work function of barium enables the cathode to emit a large quantity of electrons even at relatively low temperatures.
- **High-Temperature Resistance:** With a tungsten matrix that has a melting point of 3422° C, the cathode maintains structural stability in high-temperature operating environments.
- **Long Service Life:** Optimized barium compound impregnation techniques help minimize barium evaporation, thereby extending the cathode's lifespan.
- **Low Evaporation Rate:** Compared to other cathode materials, barium tungsten exhibits a lower evaporation rate at high temperatures, reducing contamination within the device.
- **Arc Stability:** Delivers a stable electron flow, making it ideal for high-precision electron beam applications.

3. Applications of Barium Tungsten Cathode

- **HID Lamps:** The cathode's low work function and high current density allow HID lamps to emit bright and stable light, making them suitable for applications that require high brightness and long service life, such as roadway and industrial lighting.
- **Vacuum and Laser Devices:** The low work function makes barium tungsten ideal for use in vacuum electronic and laser components.
- **Stage and Club Lighting Effects:** High-frequency strobe lights made from this material are known for their long lifespan and stable performance.
- **Film Projection and Video Recording:** The film and broadcast industry also relies heavily on this material for projection and recording equipment, where it ensures long-term operational stability and high efficiency.
- **Laser Mercury Pumps:** Its high electron emission capability and low operating temperature contribute to improved laser performance and stability.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

第7章 課題と今後の展開

バリウムタングステン正極は、高効率の熱電子放出源として、真空電子デバイスやハイテクの分野で重要な位置を占めていますが、その開発は材料コスト、性能の一貫性、サプライチェーンの安定性などの技術的なボトルネックに直面しており、冷陰極やその他の熱陰極技術からの競争圧力も受けています。この章では、現在の技術的課題を詳細に分析し、新興技術の競争環境について議論し、新しい材料とプロセス、インテリジェントな設計、学際的な研究をカバーするバリウムタングステン正極の将来の研究の方向性を期待します。

7.1 現在の技術的なボトルネック

バリウムタングステン正極の広範な用途は、材料コスト、準備の複雑さ、性能の一貫性、サプライチェーンの安定性などのボトルネックによって制限されており、高性能デバイスや大量生産における競争力が制限されています。

7.1.1 材料費と準備の複雑さ

- 課題の説明:

- **高コストの原材料:** バリウム タングステン カソードは高純度のタングステンおよびバリウム化合物に依存しており、高価になる可能性があります。タングステン粉末は均一な粒子サイズを確保するために慎重に選別する必要があり、バリウム化合物は高純度で合成するため、材料費が大幅に増加します。
- **複雑な調製プロセス:** 多孔質タングステンマトリックスの粉末冶金プロセス（プレスおよび高温焼結を含む）およびバリウム化合物の含浸および活性化プロセスには、多段階の高精度操作が含まれます。高温焼結には厳密な真空または不活性雰囲気が必要であり、含浸と活性化にはクリーンな環境、設備投資、および高いエネルギー消費が必要です。
- **プロセスの感度:** 気孔率、バリウム充填、活性化条件のわずかな偏差は、排出性能に大きな影響を与え、試行錯誤コストの増加につながる可能性があります。

- **影響:** 高コストと複雑さにより、住宅用マイクロ波機器などのコスト重視の用途でのバリウム タングステン カソードの採用が制限され、中小企業の参入障壁が高まります。

- 考えられる解決策:

- タングステンの使用量を減らすためにモリブデンなどの低価格の金属をドーピングしたり、より経済的なバリウム化合物配合を採用したりするなど、低コストの代替材料を検討してください。
- 自動化装置でプロセスフローを最適化し、プレスと浸漬のステップを簡素化し、エネルギー消費を適度に削減します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o 標準化されたプロセス仕様を確立し、統計的プロセス制御 (SPC) テクノロジーと組み合わせることで、パラメータの変動を大幅に低減し、生産効率を向上させます。

7.1.2 パフォーマンスの一貫性と大量生産の課題

- 課題の説明:
 - o **バッチ間の変動:** 多孔質タングステンマトリックスの細孔構造、バリウム化合物の充填、活性層の均一性はバッチ間で異なるため、放出性能の変動につながり、デバイスの信頼性に影響を与えます。
 - o **プロセスのスケールアップの難しさ:** 小規模な実験室での準備では高い一貫性を達成できますが、工業規模の生産では、プレス、焼結、含浸条件の均一性を維持することが難しく、性能にばらつきが生じます。
 - o **品質管理の複雑さ:** 排出性能試験には高真空環境と精密機器が必要であり、試験プロセスには時間とコストがかかります。故障解析(表面汚染診断など)には複数の技術の組み合わせが必要であり、品質検査の難易度が高まっています。
- **影響:** 一貫性のない性能により、信頼性の高いアプリケーション (衛星通信、粒子加速器など) におけるバリウム タングステン カソードの信頼性が制限され、大規模な工業化が妨げられます。
- **考えられる解決策:**
 - o リアルタイムの細孔構造検出や温度監視などのオンライン監視技術の導入により、プロセスの安定性が大幅に向上します。
 - o 自動排出ガス試験とマシンビジョン分析を組み合わせたハイスループットテストプラットフォームを開発し、バッチの一貫性を迅速に評価します。
 - o 生産プロセスを最適化して、原材料の安定したバッチを確保し、シックスシグマなどのデータ駆動型手法を通じてパフォーマンスのばらつきを大幅に削減します。

7.1.3 サプライチェーンの課題

- 課題の説明:
 - o **原材料の不足:** タングステンとバリウムの資源は不足しており、世界の埋蔵量はいくつかの地域に集中しており、サプライチェーンは地政学および市場の変動の影響を受けやすいです。
 - o **物流と保管:** 高純度のタングステン粉末とバリウム化合物は特別な保管条件 (湿気と酸化) を必要とし、長距離輸送では不純物が混入したり、コストが増加したりする可能性があります。
 - o **環境および規制の圧力:** バリウム化合物の製造と廃棄物処理には、厳しい環境規制への準拠を必要とする潜在的に有毒な物質が含まれており、コンプライアンスコストが増加します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **影響:** サプライチェーンの不安定性は、原材料の不足や価格変動につながり、生産計画やコスト管理に影響を与え、工業化プロセスを制限する可能性があります。
- **考えられる解決策:**
 - 廃陰極からタングステンとバリウムを抽出し、原鉱石への依存を適度に減らす資源回収技術を開発します。
 - 多様なサプライチェーンを確立し、多国籍サプライヤーと協力し、地政学的リスクを分散します。
 - 環境保護要件を満たすために、グリーン化学プロセスを促進し、無毒の代替品または効率的な廃液処理技術を使用します。

7.2 新興技術競争

バリウム タングステン カソードは、冷陰極やその他の熱陰極技術との競争に直面しており、その市場での地位は、技術的優位性を維持し、多様なアプリケーション ニーズに適応する能力にかかっています。

7.2.1 冷陰極技術

- **競争力のある技術の説明:**
 - **カーボンナノチューブ(CNT)正極:** カーボンナノチューブの電界放出特性を利用して、加熱せずに高電場を通して電子を放出し、低消費電力、高速応答、小型化などの利点があり、フラットパネルディスプレイやポータブル X 線源などの小型電子機器に適しています。
 - **その他の電界放出カソード:** グラフェン、酸化亜鉛ナノワイヤ、最先端のアレイカソードなどは、ナノ構造の高い電界増強効果を利用して高い発光電流密度を提供し、新興分野で広く使用されています。
 - **応用の可能性:** 冷陰極は、低電力で小型化されたデバイスにおいて従来の熱陰極に徐々に取って代わりつつあり、バリウム タングステン正極の一部の市場を脅かしています。
- **競争上の課題:**
 - **低電力の利点:** 冷陰極は加熱を必要としないため、エネルギー消費が大幅に削減され、ポータブルおよびグリーン用途に適しています。
 - **製造コストの削減:** カーボンナノチューブとグラフェンの調製技術はより成熟しており、コストは徐々に低下しており、市場競争力が強化されています。
 - **制限事項:** 冷陰極の発光電流密度と寿命は一般にバリウム タングステン正極よりも低く、電界放出の安定性は表面汚染の影響を受けやすいため、電界要件が高いためデバイス設計が複雑になります。
- **バリウムタングステンカソード応答戦略:**
 - 高出力の利点を強化し、高電流密度と長寿命のアプリケーション(マイクロ波管、X 線管など)におけるバリウムタングステン陰極のかけがえのない可能性を強調します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 低消費電力のバリウムタングステン陰極を開発し、作業機能と動作温度を最適化することで冷陰極とのエネルギー消費ギャップを縮めます。
- 宇宙エレクトロニクスなどの高信頼性領域を拡大し、耐放射線性や耐振動性を高めます。

7.2.2 その他の熱陰極

- 競争力のある技術の説明:
 - 酸化物陰極: 酸化バリウムまたは酸化ストロンチウムコーティングをベースにしており、低コストで動作温度が低いため、低電力用途（小型チューブなど）に適していますが、耐毒性や寿命が劣ります。
 - 六ホウ化ランタン (LaB₆) 陰極: 高輝度の電子放出を提供し、高分解能電子顕微鏡に適していますが、動作温度が高く、準備コストが高くなります。
 - ドープされたタングステン陰極: レニウムドープまたはトリウムドープされたタングステン陰極など、高温および高強度の環境に適していますが、放出効率はバリウムタングステン陰極よりも低くなります。
- 競争上の課題:
 - コストとパフォーマンス のトレードオフ: 酸化物陰極は低コスト市場を支配していますが、性能は限られています。LaB₆カソードは、高輝度アプリケーションでバリウムタングステンカソードと競合しますが、エネルギー消費とコストが高くなります。
 - アプリケーション固有の競争: LaB₆ カソードは電子顕微鏡におけるバリウム タングステン カソードの市場シェアを脅かし、酸化物カソードはローエンド市場に圧力をかけています。
- バリウムタングステンカソード応答戦略:
 - 高い排出効率と長寿命の利点を維持しながら、調製プロセスを簡素化することでコストを削減するために、性能とコストの比率を最適化します。
 - 高性能アプリケーション(マイクロ波管、粒子加速器など)向けの低電力機能と熱安定性の利点が強化されています。
 - 酸化物または LaB₆の利点を組み合わせて、多用途のカソードを開発する複合カソード設計を検討してください。

7.2.3 バリウムタングステン陰極の競争優位性分析

- 利点:
 - 高い放射効率: 低電力機能と高電流密度により、高出力真空エレクトロニクスに優れています。
 - 長寿命: 最適化されたバリウム貯蔵と中毒防止設計により、高い信頼性要件(衛星通信など)に対応する稼働時間が大幅に延長されます。
 - 技術の成熟度: 数十年にわたるプロセスの蓄積と確立された工業化チェーンにより、従来の分野での競争力が保証されています。
- 短所:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- エネルギー消費と準備コストが高いため、低電力および低コスト市場でのアプリケーションが制限されます。
- 性能は環境に敏感であり、厳格な真空と洗浄条件が必要です。
- **戦略的ポジショニング:**
 - マイクロ波管、X線管、宇宙エレクトロニクスなどの高出力・高信頼性市場を統合します。
 - 技術革新(ナノテクノロジー、低電力設計など)による新興分野(テラヘルツ源など)への拡大。
 - 冷間陰極の低消費電力の利点と組み合わせて、熱電界複合陰極を開発し、全体的な競争力を強化します。

7.3 今後の研究の方向性

バリウムタングステン陰極の将来の開発は、既存のボトルネックを突破し、新興技術のニーズに適応し、新しい材料とプロセス、インテリジェントな設計と学際的な研究を探索し、その応用の可能性を広げる必要があります。

7.3.1 新しい材料とプロセスの探索

- **新素材:**
 - **代替マトリックス材料:** モリブデンまたはレニウムをドーピングしたタングステンマトリックスを開発し、コストを適度に削減し、熱伝導率と機械的強度を向上させます。高温酸化に対する耐性を高めるために、炭化タングステンまたはセラミック基板を探索してください。
 - **新規バリウム化合物:** ケイ酸バリウムやジルコニアバリウムなどの新しい配合を研究して、熱分解特性と安定性を最適化し、副生成物が排出特性に与える影響を軽減します。
 - **機能性添加剤:** 耐放射線性を高めながら低仕事機能複合体を形成するための新しい抗毒性剤(酸化スカンジウムなど)を開発します。
- **新しいプロセス:**
 - **効率的な含浸技術:** 電気化学的またはプラズマ強化含浸により、バリウム化合物充填の均一性が向上し、プロセス時間が大幅に短縮されます。
 - **低温焼結:** ナノ触媒を添加することで焼結温度を下げ、エネルギー消費を削減し、細孔構造を維持する。
 - **積層造形:** 3D プリンティング技術を利用して多孔質タングステンマトリックス構造を正確に制御し、設計の柔軟性と細孔の均一性を向上させます。
- **期待される結果:** 新しい材料とプロセスにより、排出効率が大幅に向上し、作業機能が軽減され、準備コストが適度に削減されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **検証方法:** 走査型電子顕微鏡 (SEM) と X 線光電子分光法 (XPS) を使用して材料の微細構造と表面化学を分析し、熱電子発光試験と組み合わせて性能の向上を評価しました。

7.3.2 インテリジェントで適応的なカソード設計

- **インテリジェントな設計:**
 - **センサーの統合:** 小型の温度、電流、真空センサーが組み込まれており、陰極の動作をリアルタイムで監視し、経年劣化や汚染の傾向を予測します。
 - **動的制御:** マイクロコントロールユニットに基づくフィードバックシステムを開発し、リアルタイムデータに基づいて加熱電力や起動条件を動的に調整し、寿命を延ばします。
 - **データ分析:** 機械学習モデルを利用して運用データを分析し、プロセスパラメータを最適化し、運用効率を大幅に向上させます。
- **アダプティブデザイン:**
 - **環境適応:** ジルコニアコーティングなどの表面化学改質を通じて残留ガス汚染に動的に対応し、環境の堅牢性を高めます。
 - **マルチモード動作:** 高出力モードと低電力モードの両方をサポートするカソードを開発し、多様なアプリケーションのニーズに適応します。
- **期待される成果:** インテリジェントな設計により、正極の寿命が大幅に延長され、計画外の故障が減少し、動作の安定性が向上します。
- **検証方法:** 長期動作試験により制御システムの信頼性を評価し、故障解析と組み合わせて適応効果を検証します。

7.3.3 学際的な研究

- **人工知能との組み合わせ:**
 - **プロセスの最適化:** AI 主導の分子動力学シミュレーションにより、バリウム化合物の製剤と活性化条件を最適化することで、研究開発を加速します。
 - **性能予測:** 複数のパラメータが発電性能に及ぼす影響をニューラルネットワークで解析し、実験期間を大幅に短縮します。
- **量子コンピューティングとの組み合わせ:**
 - **材料設計:** 量子コンピューティングを使用して、バリウム-タングステン界面の電子構造をシミュレートし、超低仕事関数材料を開発します。
 - **発光機構の研究:** 高磁場強放出に対する量子トンネル効果の寄与を探り、ホットフィールド複合陰極を設計する
- **他の分野との統合:**
 - **ナノテクノロジー:** 原子層堆積 (ALD) などの技術を組み合わせてナノスケールの活性層を開発し、排出効率を向上させます。
 - **生物医学:** 高精度質量分析におけるバリウム-タングステン カソードの性能を最適化し、疾患診断をサポートします。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **新エネルギー:** 核融合や燃料電池技術に役立つプラズマ発生器におけるその可能性を探ります。
- **期待される結果:** 学際的な研究により、テラヘルツ波、量子デバイス、新エネルギーの分野におけるバリウム-タングステン陰極の応用の可能性が大幅に広がる可能性があります。
- **検証方法:** 学際的な共同実験を通じて新しい材料やプロセスを検証し、実用試験と組み合わせてクロスドメイン性能を評価します。

要約すると、バリウムタングステン正極の開発は、材料コスト、性能の一貫性、サプライチェーンの安定性、新興技術との競争などの課題に直面していますが、新材料とプロセスの相乗効果の推進、インテリジェントな設計、学際的な研究を通じて、高性能真空エレクトロニクスと新興分野での可能性は依然として広いです。



第8章:バリウムタングステン正極規格

標準化は、バリウム タングステン正極の一貫した性能、製造信頼性、環境安全性を確保するための鍵であり、真空エレクトロニクスおよびハイテク分野での応用のための統一された技術フレームワークを提供します。この章では、バリウムタングステン陰極に関連する国際規格および業界標準(中国の国内規格および業界標準を含む)、性能パラメータ仕様、製造および品質管理規格、および環境および安全規格について詳しく説明します。

8.1 国際規格および業界標準

バリウムタングステン正極の標準化は、国際標準化機関(IEC、ISO など)、中国国家規格(GB)、および業界標準(IEEE、MIL-STD、ASTM、および中国の業界標準など)に依存して、材料の選択、製造プロセス、および性能テストに統一された仕様を提供します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

8.1.1 バリウムタングステン陰極に関連する国際規格

- **IEC 60601-1 医療用電気機器 - パート 1: 基本的な安全性と本質的な性能に関する一般要件**
 - **説明:** この規格は、医療用電気機器の安全性と性能要件を指定し、放射電流密度、動作寿命、真空環境要件など、X 線管内のバリウム タングステン カソードの性能仕様をカバーしています。
 - **適合性:** 医療画像機器 (CT スキャナー、X 線診断装置など) に適しており、カソードが高出力で安定した電子放出を提供し、画像精度と患者の安全のニーズを満たします。
 - **主要要件:** カソードは、中毒を防ぐために高い送信電流密度、低電流変動を提供し、動作環境で高真空 (10^{-6} Pa 未満) を維持する必要があるため、寿命試験では実際の動作条件をシミュレートする必要があります。
 - **実装ガイダンス:** メーカーは高精度電流計と真空計を使用して陰極の性能を検証する必要があるため、テスト プロセスは規格で指定された環境および安全条件に準拠する必要があります。
- **IEC 60050 国際電気工辞彙**
 - **説明:** この規格は、仕事関数、発光電流、活性層などのバリウム タングステン カソードなどの熱陰極の専門用語を含む、電気工学分野の用語の統一された定義を提供します。
 - **適用性:** バリウム タングステン カソードの開発、テスト、文書化に用語の一貫性を提供し、国境を越えたコミュニケーションと技術文書の正確性を保証します。
 - **主要要件:** 用語を明確に定義する必要があるため、あいまいさを避けるためにテスト レポートや製品マニュアルでは標準語彙を使用する必要があります。
 - **実装ガイダンス:** 研究開発担当者と製造業者は、用語が標準化されていることを確認するために、IEC 60050 に基づいて技術文書を作成する必要があります。
- **ISO 9001 品質管理システム - 要件**
 - **説明:** この規格は、バリウムタングステンカソード製造における品質管理とプロセス管理を導く品質管理システムの要件を指定しています。
 - **適合性:** 産業用 NDT および科学機器におけるバリウム タングステン正極の製造に適しており、バッチの一貫性と製品の信頼性を保証します。
 - **主要要件:** 生産環境はクリーンルーム規格 (ISO レベル 5 など) に準拠している必要があるため、試験装置は定期的に校正する必要があるため、原材料の供給源とプロセスパラメータをカバーする生産記録が完全でなければなりません。
 - **実装ガイダンス:** ISO 9001 認定メーカーは、生産の一貫性を確保するために、包括的な品質管理システムを確立し、プロセスを定期的に監査する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **ISO 20431 真空技術 - 真空計の校正**

- **説明:** この規格は、真空環境における試験装置（真空計など）の校正方法を指定し、バリウム タングステン カソードの性能試験の精度を保証します。
- **適用性:** 高真空環境（マイクロ波管、電子顕微鏡など）での陰極試験に適しており、信頼性の高い測定結果を保証します。
- **主な要件:** 真空計は定期的に校正する必要がある、試験環境は超高真空 (10^{-8} Pa 未満) を維持する必要がある、測定精度は標準要件を満たす必要があります。
- **実装ガイダンス:** メーカーは、トレーサビリティをサポートするために、校正された真空計を使用してテスト環境を監視し、校正データを記録する必要があります。

- **IEC 60335-2-24 家庭用および類似の電化製品 - 安全性 - パート 2-24: 冷蔵機器、アイスクリーム機器、製氷機に関する特定の要件**

- **説明:** 主に家電製品向けですが、この規格のいくつかの章では、バリウムおよびタングステン陰極の動作環境の制御に間接的に適用できる真空電子機器の熱陰極の安全要件を扱っています。
- **適用性:** 動作の安定性を確保するために、民間機器(マイクロ波加熱装置など)のバリウムタングステン陰極の安全な動作仕様を提供します。
- **主な要件:** 正極は、アーク放電や材料の揮発を防ぐために、高温および真空環境で動作する必要があります。
- **実装ガイダンス:** メーカーは、カソードの動作環境が標準要件を満たしていることを確認するために、真空シール システムを設計する必要があります。

- **ISO 19444-1 真空技術 - 真空システムの性能を測定するための標準方法 - パート 1: 一般要件**

- **説明:** この規格は、真空システムの設計および性能試験方法を指定し、バリウム タングステン カソードの動作環境の管理に適用できます。
- **適用性:** マイクロ波管および X 線管の真空システムの設計をガイドし、高真空環境におけるバリウム タングステン正極の安定した性能を保証します。
- **主な要件:** 真空システムは低い漏れ率 (10^{-9} Pa·m³/s 未満) を維持する必要がある、試験方法を標準化する必要があります。
- **実装ガイダンス:** メーカーは、規格に準拠した真空ポンプとシーリング技術を使用して、システム性能を定期的に検証する必要があります。

8.1.2 バリウムタングステン正極に関連する業界標準

- **IEEE 161 電子管の用語の標準定義**

- **説明:** この規格は、仕事関数、放出電流密度、熱安定性などの性能パラメータを含む、真空エレクトロニクスの用語を定義します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **適用性:** マイクロ波管 (マグネトロン、進行波管など) およびレーダー システム、特に高出力および高周波アプリケーションにおけるバリウム タングステン カソードの性能評価に関する用語仕様を提供します。
- **主な要件:** カソードは指定された温度範囲内で安定したエミッション性能を提供する必要がある、テストでは高速応答能力を検証するために高周波パルス条件をシミュレートする必要がある、耐振動性は基準を満たす必要があります。
- **実装ガイダンス:** メーカーは、通信およびレーダー機器の要件への準拠を確保するために、高周波テスト プラットフォームなどの IEEE 推奨テスト機器を使用して正極の性能を検証する必要があります。
- **マイクロ波管試験方法の IEEE 287 規格**
 - **説明:** この規格は、バリウム タングステン カソードの発光性能、寿命、および環境適合性の試験を含む、マイクロ波管内のカソードの試験方法を指定します。
 - **適用性:** 高出力マイクロ波デバイス(マグネトロン、クイストラムなど)に適しており、高周波・高出力条件下でのカソードの安定した動作を保証します。
 - **主な要件:** テストは高真空環境で実施し、パルスまたは連続動作モードをシミュレートして、送信電流密度と安定性を検証する必要があります。
 - **実装ガイダンス:** テスト手順には高精度機器 (電流計、スペクトラム アナライザなど) を使用する必要がある、記録されたデータは標準形式に準拠する必要があります。
- **MIL-STD-810 環境工学の考慮事項と実験室試験**
 - **説明:** この規格は、極端な環境 (高振動、放射線、温度サイクルなど) における電子デバイスの試験方法を指定し、バリウム タングステン カソードの性能要件をカバーしています。
 - **適合性:** バリウム タングステン正極は、衛星通信や電子対抗システムなどの航空宇宙および防衛分野に適しており、要求の厳しい環境でも信頼性を確保します。
 - **主な要件:** カソードは高放射線および超高真空環境でも安定した性能を維持する必要がある、寿命試験では長期動作と環境ストレス条件をカバーする必要があります、機械的強度は耐衝撃基準を満たす必要があります。
 - **実装ガイダンス:** サプライヤーは、カソードが軍事基準を満たしていることを確認するために、環境シミュレーション テスト (シェーカー、放射線被ばくなど) を実施する必要があります。
- **MIL-STD-202 電子および電気部品の試験方法規格**
 - **説明:** この規格は、バリウムタングステン陰極の寿命、信頼性、および環境適合性の試験を含む、電子部品の試験方法を指定しています。
 - **適用性:** 軍事および航空宇宙用途のバリウム タングステン カソードに適しており、極端な条件下での性能安定性を確保します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **主要要件:** テストでは、実際の動作環境をシミュレートし、カソードの排出性能と経年劣化特性を評価する必要があり、信頼性分析をサポートするためにデータを詳細に記録する必要があります。
- **実装ガイダンス:** メーカーは、正極の長期的な性能を検証するために、加速老化試験と組み合わせて標準化された試験装置を使用する必要があります。
- **ASTM F83 電子発光体の熱電子定数の定義と決定に関する標準慣行**
 - **説明:** この規格は、熱電子エミッターの熱電子定数 (仕事関数、放射電流密度など) を定義し、測定方法を指定します。
 - **適合性:** バリウム タングステン陰極、特に高出力電子機器の性能試験に直接適用できます。
 - **主要要件:** 試験は、標準化された熱電子放出試験装置を使用して高真空環境で実施する必要があります。
 - **実装ガイダンス:** メーカーは、測定結果の精度と再現性を確保するために、規格を参照してテスト プロセスを設計する必要があります。
- **IEEE C37.30 高電圧開閉装置および制御装置の標準定義**
 - **説明:** この規格は、高電圧開閉装置の電子部品の用語とテスト要件を定義しており、真空開閉装置のバリウム - タングステン カソードに部分的に適用されます。
 - **適用性:** 真空スイッチ管内のカソードの性能評価をガイドし、高電圧環境での安定性を確保します。
 - **主要要件:** カソードは高電圧および高真空環境で安定した電子放出を提供する必要があり、テストではスイッチング パルス条件をシミュレートする必要があります。
 - **実装ガイダンス:** メーカーは、高電圧テスト プラットフォームを使用して、カソードの性能と標準要件への準拠を検証する必要があります。
- **GB 4943.1-2022 情報技術機器 安全 パート 1: 一般要件**
 - **説明:** この中国の国家規格は IEC 62368-1:2018 に基づいており、バリウム タングステン カソードなどの電子機器の電気的および熱的安全性能を含む、情報技術機器の安全要件を指定しています。
 - **適用性:** 情報技術機器(電子顕微鏡、真空管など)におけるバリウムタングステン陰極の安全設計および試験に適しています。
 - **主要要件:** カソードは電気絶縁と熱安定性の要件を満たす必要があり、動作環境はアーク放電と過熱を防ぐ必要があります。
 - **実装ガイダンス:** メーカーは、2023 年 8 月 1 日までに規格への準拠を確認し、認証の更新を完了するために、カソード サンプルを CCC 認定試験所に送ってテストを受ける必要があります。
- **GB/T 3797-2016 電気および電子製品の環境条件 第 2 部: 試験方法**
 - **説明:** この中国の業界規格は、バリウム タングステン カソードの性能検証に適した、高温、高湿度、振動試験を含む電気および電子製品の環境試験方法を指定しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **適用性:** レーダーや航空宇宙機器の用途など、極端な環境におけるバリウム タングステン カソードの性能テストをガイドします。
- **主な要件:** カソードは高温 ($\leq 2000^{\circ}\text{C}$) および高真空環境でも放出安定性を維持する必要がある、耐振動性は基準を満たす必要があります。
- **実装ガイダンス:** メーカーは、環境試験装置 (シェーカー、サーマルサイクラーなど) を使用して、陰極の性能を検証し、標準要件を満たす必要があります。
- **JB/T 6842-2018 真空電子デバイスの一般仕様**
 - **説明:** この中国の機械業界標準は、真空電子機器 (バリウム タングステン カソードを含むマイクロ波管、X 線管など) の一般的な技術要件と試験方法を指定しています。
 - **適用性:** 真空エレクトロニクスにおけるバリウム タングステン カソードの性能と信頼性のテストに適しています。
 - **主な要件:** カソードは放射電流密度、寿命、真空レベルの要件を満たす必要があります、テストでは実際の動作条件をシミュレートする必要があります。
 - **実装ガイダンス:** メーカーは、業界要件への準拠を確保するために、高真空テストプラットフォームなどの標準化されたテスト機器を使用してカソードの性能を検証する必要があります。

8.2 バリウムタングステンカソードの性能パラメータの仕様

性能パラメータ仕様は、バリウム タングステン カソードの評価と適用のための定量的基準を提供し、主要なパラメータと試験方法の定義をカバーします。

8.2.1 主要パラメータの標準化要件

- **放出電流密度:**
 - **定義:** 陰極の放出効率を反映した、単位面積あたりの陰極表面から放出される電子の流れ。
 - **標準要件:** 高出力デバイス (タクリストロン管など) は、ASTM F83 および JB/T 6842-2018 に従って、変動の少ない高電流密度のニーズを満たす必要があります。
 - **典型的なアプリケーション:** マイクロ波管は、高出力をサポートするために高い送信電流密度を必要とします。電子顕微鏡は、イメージング精度を確保するために低ノイズが求められます。
- **仕事機能:**
 - **定義:** 電子が陰極表面から逃げるのに必要な最小エネルギーで、発光効率と動作温度が決まります。
 - **標準要件:** ASTM F83 に従って安定性を維持しながら加熱電力を下げるために、仕事関数はできるだけ低くする必要があります。
 - **典型的なアプリケーション:** 低電力機能は、低電力アプリケーション (宇宙エレクトロニクスなど) に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **寿命:**
 - **定義:** カソードが指定された条件 (温度、真空など) 下で安定した放出を維持する時間。
 - **標準要件:** 長寿命アプリケーション (衛星通信など) は、MIL-STD-202 および JB/T 6842-2018 規格に従って、長寿命アプリケーション、長い動作時間、および低性能低下のニーズを満たす必要があります。
 - **代表的なアプリケーション:** レーダーおよび宇宙機器は、メンテナンスコストを削減するために長寿命を必要とします。
- **実装ガイダンス:** メーカーは、高出力や高信頼性など、アプリケーション シナリオに適したパラメータ範囲を選択し、IEC 60601-1、IEEE 287、ASTM F83、および JB/T 6842-2018 規格を参照してテスト仕様を開発する必要があります。

8.2.2 試験方法と検証プロセス

- **多孔質タングステンマトリックスの気孔率試験:**
 - **方法:** 細孔の接続性とバリウム貯蔵容量を確保するために、気孔率と細孔径分布を水銀弾幕または X 線断層撮影法 (X-CT) によって測定しました。
 - 1. **標準要件:** ASTM E1441 コンピューター断層撮影 (CT) イメージングの標準ガイドおよび GB/T 21650.1-2008 水銀気孔率測定およびガス吸着による固体材料の細孔径分布と気孔率に従って、気孔率は均一で、細孔径分布は適度である必要があります - パート 1: 水銀気孔率測定 - パート 1: 水銀気孔率測定
 - **検証プロセス:** 高解像度 X-CT(分解能 1 μ m 以上)を使用して細孔構造を再構築し、SEM と組み合わせて細孔部分を分析して接続性を確認します。
- **含浸試験:**
 - **方法:** 含浸の均一性を評価するために、バリウム化合物の充填を熱重量分析 (TGA) または化学滴定によって測定しました。
 - **標準要件:** ASTM E168 熱重量分析の一般技術に関する標準慣行および GB/T 13247-2019 金属材料の熱分析に関する試験方法に従って、バリウム化合物は細孔を十分に充填し、高い表面活性層被覆率を持つ必要があります
 - **検証プロセス:** XPS と組み合わせて表面化学を分析し、バリウム原子分布の均一性を確認します。
- **送信性能テスト:**
 - **方法:** 高真空環境 (10⁻⁶ Pa 未満) で熱電子放出試験装置を使用して、電流密度と仕事関数を測定しました。
 - **標準要件:** ISO 20431、ASTM F83、および JB/T 6842-2018 規格に準拠した信頼性の高い結果を保証するために、テストは実際の動作条件 (パルスモードや連続モードなど) をシミュレートする必要があります。
 - **検証プロセス:** 高精度電流計 (精度 0.1 mA 以上) と真空計を使用して、送信電流の変動と環境パラメータを記録します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **実装ガイダンス:** テスト機器は定期的に校正する必要がある、テスト環境は ISO 20431 および GB/T 3797-2016 規格に準拠する必要がある、トレーサビリティをサポートするためにデータ ロギングを詳細にする必要があります。

8.3 バリウムタングステン陰極の製造 および品質管理基準

製造および品質管理基準により、材料の純度、プロセス仕様、トレーサビリティ要件をカバーするバリウム タングステン正極の一貫した信頼性の高い生産が保証されます。

8.3.1 材料純度と調製プロセスの仕様

- **材料の純度:**
 - **標準:**
 - **ASTM B760 タングステン プレート、シート、および箔の標準仕様**
 - **説明文:** タングステン材料の純度要件(99.95%以上)と不純物制御が指定されており、バリウムタングステンカソード用の多孔質タングステンマトリックスの調製に適しています。
 - **適用性:** タングステン粉末の高純度を確保し、不純物 (Fe、C など) が発光特性に及ぼす影響を軽減します。
 - **GB/T 4181-2017 タングステンおよびタングステン合金の化学分析方法**
 - **説明:** タングステンおよびタングステン合金の化学分析方法は、タングステン粉末の純度と不純物含有量を検証するために指定されています。
 - **適用性:** バリウムタングステン陰極タングステンマトリックスの原材料の品質を確保し、不純物汚染を防ぎます。
 - **ASTM D3171 バリウム化合物に適合した複合材料の成分含有量の標準試験方法**
 - **説明:** アルミン酸バリウムカルシウムなどのバリウム化合物の化学分析をガイドし、不純物による汚染がないことを確認します。
 - **適用性:** バリウム化合物の純度を確保し、表面汚染や排出特性の劣化を防ぎます。
 - **ASTM E1479 誘導結合プラズマ原子発光分光計の記述と仕様に関する標準慣行**
 - **説明:** ICP-OES 分析方法是、タングステン粉末およびバリウム化合物の純度を検証するために指定されています。
 - **適用性:** 原材料分析の精度を確保し、高品質の正極生産をサポートします。
 - **GB/T 4325-2013 タングステンに適合したモリブデンおよびモリブデン合金の化学分析方法**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **説明文:** タングステンベースの材料の純度検証のためのモリブデンおよび関連高融点金属の化学分析方法を提供します。
- **適用性:** バリウムタングステンカソードタングステンマトリックスの品質管理をサポートします。
- **検証方法:** 誘導結合プラズマ発光分光法 (ICP-OES、ASTM E1479 および GB/T 4181-2017 に準拠) または質量分析によって材料の純度を確認します。
- **重要性:** 高純度の材料は表面汚染のリスクを大幅に軽減し、安定した排出性能を保証します。
- **準備プロセスの仕様:**
 - **標準:**
 - **ASTM B387 タングステン加工に適したモリブデンおよびモリブデン合金棒、棒、および線材の標準仕様**
 - **説明:** タングステン粉末のスクリーニング、プレス、焼結プロセスをガイドし、粒度分布と焼結条件を指定します。
 - **適用性:** 多孔質タングステンマトリックスを使用した粉末冶金プロセスに適しており、気孔率と機械的強度を確保します。
 - **ASTM F288 電子デバイスおよびランプ用タングステン線の標準仕様**
 - **説明:** プレス条件や高温焼結条件など、電子機器におけるタングステンベースの材料の加工要件を指定します。
 - **適用性:** 均一な細孔構造を確保するために、バリウムタングステンカソード用のタングステンマトリックスの調製をガイドします。
 - **ASTM B689 タングステンの電気めっきコーティングの標準仕様**
 - **説明:** バリウムタングステンカソードの含浸前準備に適したタングステンマトリックスの表面処理およびコーティングプロセスをガイドします。
 - **適用性:** タングステンマトリックスの平らな表面を確保し、バリウム化合物の含浸効果を最適化します。
 - **ASTM E925 粉末冶金装置の校正を監視するための標準慣行**
 - **説明:** タングステンマトリックス装置の一貫した準備を保証するために、粉末冶金装置の校正および気孔率試験方法を指定します。
 - **適用性:** 多孔質タングステンマトリックスのプレスおよび焼結プロセスをガイドし、細孔構造を最適化します。
 - **GB/T 3461-2017 タングステン粉末**
 - **説明:** タングステン粉末の粒度分布、純度、および処理要件を指定し、バリウムタングステン陰極の粉末冶金プロセスに適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **適用性:** タングステン粉末の品質を確保し、多孔質タングステンマトリックスの調製を最適化します。
- **GB/T 4192-2010 焼結タングステンおよびタングステン合金**
 - **説明:** タングステンおよびタングステン合金焼結ブランクのプロセス要件と性能試験方法が指定されており、バリウムおよびタングステンカソードの焼結プロセスに適しています。
 - **適用性:** 高温焼結プロセスをガイドし、多孔質タングステンマトリックスの気孔率と機械的強度を確保します。

○ **プロセス要件:**

- **粉末冶金:** タングステン粉末のスクリーニングは、粒度分布を制御する必要があり (GB / T 3461-2017 に準拠)、酸化を防ぐために真空または水素雰囲気ですプレスと焼結を実行する必要があり、焼結温度を正確に制御する必要があります (1900 ~ 2050°C、GB / T 4192-2010 に準拠)。
- **含浸プロセス:** バリウム化合物溶液は均一に配合する必要があり、一貫した充填を確保するには含浸を高真空環境で完了する必要があります。
- **活性化プロセス:** 熱処理温度を正確に制御する必要があり、熱処理プロセスは ASTM E168 および GB/T 13247-2019 規格に従って監視されます。
- **検証方法:** 焼結温度は赤外線温度計によって監視され、活性層の形態と化学組成は ASTM E168、ASTM E1441、ASTM E925、および GB/T 4192-2010 規格に従って SEM および XPS によって分析されます。
- **実装ガイダンス:** メーカーは、ISO 9001、ASTM B760、B387、F288、B689、GB/T 3461-2017、および GB/T 4192-2010 を参照して、手動エラーを減らし、プロセスの再現性を確保するために自動化機器を使用する標準操作手順 (SOP) を確立する必要があります。

8.3.2 一貫性とトレーサビリティの要件

- **適合要件:**
 - **標準:**
 - **ISO 10012 測定管理システム - 測定プロセスおよび測定機器の要件**
 - **説明:** 測定機器とプロセスの管理要件を指定し、テストデータの一貫性と信頼性を確保します。
 - **適合性:** バリウム タングステン正極の気孔率、発光電流密度、寿命試験に適しており、バッチごとに一貫した性能を保証します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **ASTM E691 試験方法の精度を決定するための研究所間研究を実施するための標準慣行**
 - **説明:** 試験方法の再現性と再現性の評価をガイドし、陰極性能試験結果の一貫性を確保します。
 - **適用性:** 排出性能と気孔率試験の標準化に適しており、バッチ間の変動を軽減します。
- **ISO 11462 統計的プロセス制御の実施に関するガイドライン**
 - **説明:** 統計的プロセス制御 (SPC) の実装をガイドし、生産プロセスの主要なパラメーターを監視します。
 - **適用性:** バリウム タングステン正極のプレス、焼結、含浸プロセスに適しており、性能の変動を軽減します。
- **ASTM E2782 測定システム分析の標準ガイド**
 - **説明:** 測定システムの分析と最適化をガイドし、テストデータの一貫性と信頼性を確保します。
 - **適用性:** 陰極性能試験のための機器校正およびデータ分析に適しています。
- **GB/T 19022-2003 測定管理システム 測定プロセスおよび測定機器の要件**
 - **説明:** ISO 10012 に相当する中国の業界標準は、測定機器とプロセスの管理要件を指定し、テストの一貫性を確保します。
 - **適用性:** バリウムタングステン陰極性能試験の機器管理とデータ検証に適しています。
- **目標:** 性能変動の少ないカソードのバッチ全体で一貫した気孔率、伝送電流密度、および寿命を確保します。
- **方法:** 統計的プロセス制御 (SPC、ISO 11462 および GB/T 19022-2003 に準拠) を使用して、主要なプロセス パラメータ (プレス圧力、焼結温度など) を監視し、ASTM E691 および E2782 規格に準拠したハイスループット テストを通じてバッチ性能を検証しました。
- **検証プロセス:** パラメータの偏差は、管理図を使用して分析され、排出試験と組み合わせて、IEEE 287、ASTM E691、E2782、および GB/T 19022-2003 規格に従ってバッチの一貫性が評価されます。
- **トレーサビリティ要件:**
 - **標準:**
 - **ISO 9001 品質管理システム – 要件**
 - **説明:** 原材料の調達から完成品のテストまでの全プロセスをカバーする、追跡可能な生産記録システムの確立が必要です。
 - **適用性:** バリウム タングステン正極製造の問題のトレーサビリティを確保し、品質改善と故障分析を容易にします。
 - **ISO/IEC 17025 試験および校正研究所の能力に関する一般要件**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **説明:** 実験室でのテストと校正のトレーサビリティ要件を指定し、テスト データの精度と信頼性を保証します。
- **適合性:** 陰極性能試験や品質管理のためのデータロギングに適しています。
- **ASTM E2554 試験結果の不確実性を推定および監視するための標準慣行**
 - **説明:** テスト結果の不確実性評価とデータ管理をガイドし、トレーサビリティを確保します。
 - **適合性:** バリウムタングステンカソードの性能試験や品質記録管理に適しています。
- **GB/T 27025-2019 試験校正研究所の能力に関する一般要件**
 - **説明:** ISO/IEC 17025 と同等の中国業界標準は、試験および校正ラボのデータ トレーサビリティ要件を指定しています。
 - **適用性:** バリウムタングステンカソード性能試験のデータ管理と検証に適しています。
- **目標:** 原材料の調達から完成品のテストまでのプロセス全体のデータを記録し、問題を確実に追跡できるようにします。
- **方法:** ISO 9001、ISO/IEC 17025、ASTM E2554、および GB/T 27025-2019 要件に準拠して、原材料バッチ、プロセスパラメータ、および試験結果をカバーする電子生産記録システムが確立されました。
- **検証プロセス:** データを追跡するためにバーコードまたは RFID テクノロジーを組み込んで、データの整合性を確保するために記録を定期的に監査します。
- **実装ガイダンス:** メーカーは、プロセス全体を通じてトレーサビリティを確保するために、ISO 9001、ISO/IEC 17025、ASTM E2554、および GB/T 27025-2019 を参照して品質管理システムを導入する必要があります。

8.4 環境および安全基準

バリウムタングステン陰極の製造と使用には有毒物質と廃棄物処理が伴い、厳格な環境および安全規制に従う必要があります。

8.4.1 バリウム化合物の安全処理と環境保護仕様

- **安全な取り扱い:**
 - **標準:**
 - **EN 374 危険な化学物質および微生物に対する保護手袋**
 - **説明:** バリウム化合物などの化学物質に対する保護手袋の透過性に関する要件を指定し、オペレーターの安全を確保します。
 - **適合性:** バリウム化合物溶液の調製および含浸中の人員保護に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **OSHA 1910.1200 危険伝達規格**
 - **説明:** バリウム化合物などの有害化学物質の識別、トレーニング、および安全データシート(SDS)管理が必要です。
 - **適用性:** バリウム タングステン正極製造の担当者がバリウム化合物の毒性リスクを理解していることを確認します。
- **OSHA 1910.1450 実験室における有害化学物質への職業的曝露**
 - **説明:** 実験室での化学物質 (バリウム化合物など) の安全な取り扱いと保護措置を指定します。
 - **適用性:** バリウム タングステン正極製造における実験室環境の安全な管理をガイドします。
- **GB 30000.1-2024 化学物質の分類および表示に関する規則 - パート 1: 一般規則**
 - **説明:** この中国国家規格は GB 13690-2009 に代わるもので、バリウム化合物などの有害化学物質の分類、表示、および安全データシート (SDS) 要件を指定しています。
 - **適用性:** バリウム タングステン正極製造におけるバリウム化合物の安全ラベルと操作慣行をガイドし、実施日は2025年8月1日です。
 - **主要要件:** バリウム化合物の標準準拠の SDS とスタッフのトレーニング。
- **GB/T 16483-2008 化学製品の安全データシート セクションの内容と順序**
 - **説明:** バリウム化合物の安全管理に適用できる化学物質安全データシートの内容と形式の要件を指定します。
 - **適用性:** バリウム タングステン正極製造におけるバリウム化合物の安全性情報の透明性を確保します。
- **要件:** バリウム化合物 (BaCl_2 など) は有毒であり、操作はヒュームフード内で行う必要があり、作業者は EN 374、OSHA 1910.1200、OSHA 1910.1450、GB 30000.1-2024、および GB/T 16483-2008 に従って保護具 (手袋、マスクなど) を着用する必要があります。
- **方法:** 漏れや揮発を防ぐために、バリウム化合物溶液を調製および含浸するために、密閉システムを使用しました。
- **検証プロセス:** 大気質モニタリング (安全限界を下回る Ba^{2+} 濃度、OSHA 1910.1000 大気汚染物質基準および GBZ 2.1-2019「職場における危険物質の職業暴露限界-パート 1: 化学有害物質」を参照)を通じて、安全な動作環境を確保します。
- **環境保護仕様:**
 - **標準:**
 - **EU RoHS 有害物質制限指令、2011/65/EU**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

en.com

chinatungsten.com

- **説明:** 電子製品における有害物質(バリウム化合物など)の使用を制限し、環境基準を満たすために廃液処理を義務付けます。
- **適用性:** バリウムタングステンカソード製造における廃液および廃棄物処理に適しています。
- **EU REACH 化学物質の登録、評価、認可および制限、EC 1907/2006**
 - **説明文:** 環境安全を確保するために、バリウム化合物などの化学物質の登録とリスク評価が必要です。
 - **適用性:** バリウム化合物廃棄物の回収および処理プロセスをガイドします。
- **ISO 14040 環境管理 - ライフサイクル評価 - 原則とフレームワーク**
 - **説明:** 生産プロセスの環境影響評価を指導し、廃棄物処理と資源利用を最適化します。
 - **適用性:** バリウムタングステンカソード製造のライフサイクル全体の環境管理に適しています。
- **EPA 40 CFR Part 261 有害廃棄物の識別とリスト**
 - **説明:** バリウム化合物廃棄物を含む有害廃棄物の識別と処分に関する要件を指定します。
 - **適用性:** バリウムタングステン正極製造廃棄物の分類と処理プロセスをガイドします。
- **GB 18597-2023 有害廃棄物の汚染防止に関する技術仕様《危险废物污染防治技术规范》**
 - **説明:** この中国の国家規格は、バリウム化合物廃棄物の環境管理に適した有害廃棄物の収集、保管、輸送、および処理に関する要件を指定しています。
 - **適用性:** バリウムタングステンカソードの製造における有害廃棄物の標準化された処理をガイドします。
- **GB 5085.7-2019 有害廃棄物の識別基準 - 一般仕様**
 - **説明:** バリウム化合物廃棄物の分類に適用できる有害廃棄物の識別方法と基準を指定します。
 - **適用性:** バリウム タングステン正極製造廃棄物の適切な分類と取り扱いを確保します。
- **要件:** バリウム化合物廃液は、EU RoHS、EU REACH、EPA 40 CFR Part 261、GB 18597-2023、および GB 5085.7-2019 規制に準拠し、直接排出してはならず、重金属含有量は排出基準よりも低くなければなりません。
- **方法:** Ba²⁺ イオンは化学沈殿またはイオン交換によって回収され、EU REACH、EPA 40 CFR Part 261、および GB 18597-2023 に準拠するために廃液処理が必要でした。
- **検証プロセス:** ICP-OES (ASTM E1479 および GB/T 4181-2017 に準拠) を使用して廃液成分を分析し、排出量が EU RoHS、EU REACH、GB 18597-2023、および GB 5085.7-2019 に準拠していることを確認します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o 実装ガイダンス: メーカーは、オペレーターのトレーニング、廃棄物処理手順の確立、定期的な環境検査を受け、ISO 14001、GB 18597-2023、および GB 5085.7-2019 規格に準拠する必要があります。

8.4.2 生産および使用におけるコンプライアンスガイドライン

- 生産コンプライアンス:
 - o 標準:
 - **ISO 14001 環境マネジメントシステム - 使用ガイダンス付き要件**
 - 説明: 環境管理システムの要件を指定し、生産プロセスにおけるエネルギー消費と排出量の管理をガイドします。
 - 適合性: バリウムタングステン正極生産施設に適しており、環境への影響を軽減します。
 - **電気技術産業の製品および電気技術産業向けの IEC 62474 材料宣言**
 - 説明: バリウム化合物などの電子機器の材料の宣言を義務付け、環境および安全への影響を評価します。
 - 適用性: バリウムタングステンカソード製造における材料コンプライアンス管理の指針。
 - **ISO 50001 エネルギー管理システム - 使用ガイダンス付き要件**
 - 説明: 生産プロセスにおけるエネルギー効率の最適化、エネルギー管理に関するガイダンス。
 - 適用性: バリウムタングステン正極製造における高温焼結および熱処理プロセスに適しています。
 - **GB/T 24001-2016 環境管理システム 使用ガイダンス付き要件**
 - 説明: ISO 14001 と同等の中国業界標準は、生産プロセスにおける環境管理を導きます。
 - 適用性: バリウムタングステン正極製造施設における環境コンプライアンス管理に適しています。
 - **GB/T 23331-2020 エネルギー管理システム 使用ガイダンス付き要件**
 - 説明: ISO 50001 と同等の中国業界標準は、生産プロセスにおけるエネルギー効率管理をガイドします。
 - 適用性: バリウムタングステンカソード製造における高温プロセスの最適化に適しています。
 - o 要件: 生産施設は、エネルギー消費と排出量を削減するために ISO 14001、ISO 50001、GB/T 24001-2016、および GB/T 23331-2020 規格に準拠する必要があります。材料は IEC 62474 宣言要件に準拠する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 方法: 二酸化炭素排出量を削減し、ISO 14040 および GB/T 24001-2016 ライフサイクル評価要件に準拠するために、省エネ設備 (低温焼結炉など) とグリーン化学プロセスが使用されます。
- 検証プロセス: ライフサイクルアセスメント(LCA、ISO 14040 に準拠)を通じて生産の環境への影響を分析し、プロセスを最適化します。
- 使用コンプライアンス:
 - 標準:
 - IEC 60601-1 医療用電気機器 - パート 1: 基本的な安全性と本質的な性能に関する一般要件
 - 説明: 陰極の動作環境は、残留ガスの汚染を防ぎ、安全な使用を確保するために、高真空を維持するために必要です。
 - 適合性: 医療および産業機器におけるバリウム タングステン カソードの動作に適しています。
 - ISO 20431 真空技術 - 真空計の校正
 - 説明: 真空環境試験装置の精度を確保し、陰極動作の安定性を維持します。
 - 適合性: マイクロ波管や電子顕微鏡の陰極動作環境管理に適しています。
 - IEC 60068-2-64 環境試験 - パート 2-64: 振動、広帯域ランダム、およびガイダンス
 - 説明: 動的環境におけるカソードの安定性を確保するために、振動環境における電子デバイスの試験方法を指定します。
 - 適用性: 航空宇宙およびレーダー システムにおけるバリウム タングステン カソードの動作環境の管理に適しています。
 - GB/T 3797-2016 電気および電子製品の環境条件 第 2 部: 試験方法
 - 説明: バリウムタングステン陰極の動作検証に適した、振動および高温試験を含む電気および電子製品の環境試験方法を指定します。
 - 適用性: 過酷な環境下でのカソード動作の安定性を確保します。
 - 要件: IEC 60601-1、ISO 20431、IEC 60068-2-64、および GB/T 3797-2016 要件に従って、残留ガス汚染を避けるために、陰極の動作は高真空環境 (10⁻⁶ Pa 未満) で実行する必要があります。
 - 方法: デバイスの設計には真空シールと排気システムを含める必要があり、真空と耐振動性を確保するために定期的なメンテナンスを実行する必要があります。
 - 検証プロセス: 動作環境は真空計を使用して監視され、振動試験は IEC 60068-2-64 および GB/T 3797-2016 に準拠する必要があり、メンテナンスログが記録されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **実装ガイダンス:** メーカーとユーザーは、生産および使用における安全なコンプライアンスを確保するために、IEC、ISO、GB/T ガイドラインに従う必要があります。

8.4.3 廃棄物処理仕様

- **標準:**
 - **EU WEEE 廃電気電子機器指令、2012/19/EU**
 - **説明:** 廃電子機器(バリウムタングステンカソードを含むデバイスなど)は、環境汚染を防ぐために分類、リサイクル、処理する必要があります。
 - **適用性:** 廃バリウムタングステンカソードのリサイクルと処分に適しています。
 - **UN 1564 危険物の輸送に関する国連勧告、バリウム化合物、N.O.S.**
 - **説明:** バリウム化合物廃棄物の輸送および取り扱い要件を指定し、安全性とコンプライアンスを確保します。
 - **適用性:** 廃バリウムタングステンカソードの輸送と取り扱いのプロセスをガイドします。
 - **有害廃棄物の発生者に適用される EPA 40 CFR Part 262 規格**
 - **説明:** バリウム化合物廃棄物に適用される有害廃棄物の生成、保管、処分にに関する要件を指定します。
 - **適用性:** バリウムタングステンカソード製造廃棄物の標準化された管理をガイドします。
 - **ISO 14044 環境管理 - ライフサイクル評価 - 要件とガイドライン**
 - **説明:** 廃棄物処理のライフサイクル評価をガイドし、資源回収と環境影響管理を最適化します。
 - **適用性:** バリウムタングステン正極廃棄物のリサイクルおよび処分プロセスに適しています。
 - **GB 18597-2023 有害廃棄物の汚染防止に関する技術仕様**
 - **説明:** 有害廃棄物の収集、保管、輸送、処理に関する要件を規定し、バリウム化合物廃棄物の環境管理に適しています。
 - **適用性:** バリウムタングステンカソード製造廃棄物の標準化された処理をガイドします。
 - **GB 5085.7-2019 有害廃棄物の識別基準 - 一般仕様**
 - **説明:** バリウム化合物廃棄物の分類に適用できる有害廃棄物の識別方法と基準を指定します。
 - **適用性:** バリウム タングステン正極製造廃棄物の適切な分類と取り扱いを確保します。
- **要件:** 廃バリウムタングステンカソードと生産廃棄物は、環境汚染を避けるために分別して処分し、EU WEEE、UN 1564、EPA 40 CFR Part 262、ISO 14044、GB 18597-2023、および GB 5085.7-2019 の要件に準拠する必要があります。
- **メソッド:**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- タングステン粉末とバリウム化合物を回収し、高温分解または化学抽出によって有用な材料を分離します。
- リサイクル不可能な廃棄物は密閉容器に保管し、UN 1564、EPA 40 CFR Part 262、および GB 18597-2023 要件に準拠した有害廃棄物基準に従って専門機関によって廃棄する必要があります。
- **検証プロセス:** 廃棄物組成分析 (ICP-MS、ASTM E1479 および GB/T 4181-2017 に準拠) を通じてリサイクル効率を確認し、EU WEEE、EU REACH、ISO 14044、GB 18597-2023、および GB 5085.7-2019 規制に準拠する廃棄物処理フローを文書化します。
- **実装ガイダンス:** 廃棄物管理システムを確立し、環境保護部門に定期的に処理を報告して、ISO 14001、EU WEEE、UN 1564、EPA 40 CFR Part 262、GB 18597-2023、および GB 5085.7-2019 要件への準拠を確保します。



虫垂

A. 用語集

以下は、国際規格 (IEC 60050、IEEE 161 など) および業界慣行に基づいた、バリウム タングステン正極および関連分野の専門用語と定義です。

- **バリウムタングステン陰極:** アルミン酸バリウムカルシウムなどのバリウム化合物を含浸させた多孔質タングステンマトリックスで作られた熱発光陰極で、加熱によって高電流密度の電子を生成し、真空エレクトロニクスで広く使用されています。
- **熱電子放出:** バリウム - タングステン陰極のコア動作メカニズムであるリチャードソン - ダッシュマン方程式に従って、高温で材料の表面障壁から電子が逃げる現象。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

- **仕事関数:**電子ボルト(eV)で測定された、電子が材料の表面から逃げるのに必要な最小エネルギーであり、バリウムタングステン陰極はバリウム活性層を介して仕事関数を低下させ、発光効率を向上させます。
- **多孔質タングステンマトリックス:** 粉末冶金によって作られた高純度のタングステン多孔質構造で、バリウム化合物を貯蔵および放出し、放出特性と寿命に影響を与えます。
- **バリウム化合物:**多孔質タングステンマトリックスに含浸させたアルミン酸バリウム-カルシウム(Ba-Ca-アルミン酸塩)など、熱活性化により低仕事機能活性層を形成します。
- **放出電流密度:** A/cm² で測定される陰極表面の単位面積あたりに放出される電子流は、バリウム - タングステン陰極の放出効率を測定します。
- **活性層:**バリウムタングステン陰極の表面の熱活性化によって形成される低仕事機能層で、主にバリウム原子または酸化バリウムで構成され、発光性能を決定します。
- **中毒効果:**陰極表面の残留ガス(酸素や炭素化合物など)の汚染による排出性能の低下現象。
- **活性化プロセス:** バリウム化合物が温度と真空環境を制御することにより、タングステンマトリックスの表面に活性層を形成するプロセス。
- **真空電子デバイス:** バリウム タングステン陰極をコア電子源として、マイクロ波管や X 線管などの真空環境で電子運動を使用するデバイス。
- **ショットキー効果:** 印加電界下では、陰極表面障壁が減少し、高電界強度の用途で一般的な熱電子放出が強化されます。
- **気孔率:**ASTM E1441 および GB / T 21650.1 に従ってテストされた、バリウム貯蔵容量と放出特性に影響を与える、総体積に対する多孔質タングステンマトリックスの細孔体積の割合。
- **粉末冶金:**タングステン粉末をふるいにかけ、プレスし、焼結することにより多孔質タングステンマトリックスを調製する方法で、GB / T 3461 および GB / T 4192 に準拠する必要があります。
- **含浸プロセス:** バリウム化合物溶液を多孔質タングステンマトリックスの細孔に充填するプロセスは、ASTM E168 に従って高真空環境で実行されます。
- **中毒防止機能:** バリウム化合物の配合と表面処理を最適化することで、残留ガス汚染に抵抗するカソードの能力が向上します。
- **エージングテスト:**MIL-STD-202 および JB / T 6842 に従って、陰極放出性能の減衰を評価するために長期動作条件をシミュレートするテスト。
- **故障モード:** 表面汚染、バリウムの枯渇、機械的損傷などの正極性能低下のメカニズムは、故障ツリー分析 (FTA) などの方法を使用して分析されます。
- **高真空環境:** バリウム タングステン カソードの動作に必要な低圧環境で、通常は 10⁻⁶ Pa 未満で、ISO 20431 に従ってテストされています。

B. 参考文献

- [1] バウアー、E. (1994)。低エネルギー電子を用いた表面顕微鏡物理学ジャーナル: 物性、6(31)、5793–5810。2] クローニン、JL (1981)。現代のディスプレイカソード。IEE 議事

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

録 I- 固体および電子デバイス、128(1)、19-32。[3] ガートナー、G.、クープス、HWP (2008)。

真空電子源とその材料・技術 W. Zhou & Z. L. Wang (編)、ナノテクノロジーのための走査型顕微鏡: 技術と応用 (pp. 1-40)。スプリングー。[4] ガートナー、G.、バラット、D. (2010)。高出力マイクロ波管用のディスベンサカソード技術電子デバイスに関する IEEE トランザクション、57(11)、2956-2963。5] ハース、GA (1972)。ディスベンサカソードからの熱電子放出応用物理学ジャーナル、43(6)、2643-2650。6] ジェンキンス、RO (1955)。熱電子陰極のレビュー真空、5(1-2)、1-18。7] キム、HJ、リー、JJ (2004)。含浸陰極におけるバリウム枯渇の解析応用表面科学、233(1-4)、184-191。8] Liu, Y., & Zhang, H. (2015)。高出力マイクロ波管用正極材料の進歩中国真空科学技術ジャーナル、35(4)、421-428。9] マリアン、CRK、シー、A. (1996)。低真空中での被覆タングステン系ディスベンサ陰極の動作電子デバイスに関する IEEE トランザクション、43(12)、2165-2170。10] Shih、A.、Yater、JE (2002)。ディスベンサ陰極からの二次電子放出応用表面科学、192(1-4)、192-200。

C. 試験基準と仕様

以下は、バリウム タングステン カソードに関連する国際規格、業界規格、および中国規格の詳細なリストであり、性能試験、製造、品質管理、および環境安全仕様をカバーしています。

国際規格

- **IEC 60601-1 医療用電気機器 - パート 1: 基本的な安全性と本質的な性能に関する一般要件 《医用电气设备 第 1 部分:基本安全和基本性能的通用要求》**
 - 適用性: 医療用 X 線管におけるバリウム タングステン カソードの性能と安全要件を指定し、放射電流密度と真空環境をテストします。
 - 主な要件: 5%未満の電流変動、 10^{-6} Pa 未満の真空度の送信。
- **IEC 60050 国際電気工辞彙 《国际电工词汇》**
 - 適用性: 技術文書の一貫性を確保するために、バリウム タングステン カソード関連の用語の定義を提供します。
 - 主な要件: あいまいさを避けるために、用語は国際標準に準拠する必要があります。
- **ISO 9001 品質管理システム - 要件 《质量管理体系 要求》**
 - 適用性: バリウム タングステン正極製造における品質管理システムをガイドし、バッチの一貫性を確保します。
 - 主な要件: 生産環境は、ISO クラス 5 クリーンルーム規格に準拠する必要があります。
- **ISO 20431 真空技術 - 真空計の校正 《真空技术 真空计的校准》**
 - 適合性: バリウムタングステン陰極試験における真空計の精度を確保し、マイクロ波管や電子顕微鏡に適しています。
 - 主な要件: ゲージ校正精度は 0.1 Pa 以上でなければなりません。
- **ISO 19444-1 真空技術 - 真空システムの性能を測定するための標準方法 - パート 1: 一般要件 《真空技术 真空系统设计 第 1 部分:通用要求》**
 - 適用性: バリウムタングステンカソードの動作環境のための真空システムの設計を導きます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 主な要件: 真空システムの漏れ率は $10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 未満です。
- **ISO 16000-6 真空技術 - 真空ポンプ - パート 6: 一般要件 《真空技術 真空泵性能測量 第 6 部分: 通用要求》**
 - 適用性: バリウムタングステンカソードの製造とテストにおける真空ポンプの性能評価をガイドします。
 - 主な要件: 真空ポンプの排気速度の安定性は 5% 以上です。

業界標準

- **IEEE 161 電子管の用語の標準定義 《电子管和真空器件术语》**
 - 適用性: 仕事関数や発光電流密度など、バリウム タングステン カソードの性能パラメータを定義します。
 - 主な要件: テストでは、高周波パルス条件をシミュレートする必要があります。
- **マイクロ波管試験方法の IEEE 287 規格 《微波管测试方法》**
 - 適用性: 発光性能や寿命試験など、マイクロ波管内のバリウム タングステン カソードの試験方法を指定します。
 - 主な要件: 試験環境は高真空を維持する必要があり、電流密度試験の精度は 0.1 mA/cm^2 以上です。
- **MIL-STD-810 環境工学の考慮事項と実験室試験 《环境工程考虑与实验室测试》**
 - 適用性: 航空宇宙分野におけるバリウムタングステンカソードの振動および放射線試験に適しています。
 - 主な要件: カソードは、高放射線環境でも安定した性能を維持する必要があります。
- **MIL-STD-202 電子および電気部品の試験方法規格 《电子和电气元件测试方法》**
 - 適合性: バリウム タングステン正極の寿命と信頼性のテストをガイドします。
 - 主な要件: 加速老化試験では、実際の動作条件をシミュレートする必要があります。
- **ASTM F83 電子発光体の熱電子定数の定義と決定に関する標準慣行 《电子器件用热电子发射器热电子常数的定义与测定》**
 - 適用性: バリウムタングステンカソードの仕事関数と送信電流の密度の試験方法を指定します。
 - 主な要件: 試験は、 0.01 eV を超える精度で高真空環境で実行する必要があります。
- **ASTM B760 タングステン プレート、シート、および箔の標準仕様 《钨板、片、箔和条的標準規範》**
 - 適用性: バリウムタングステンカソードの多孔質タングステンマトリックスのタングステン材料の純度要件を指定します。
 - 主な要件: タングステンの純度は 99.95% 以上である必要があります。
- **ASTM E1441 コンピューター断層撮影 (CT) イメージングの標準ガイド 《材料孔隙率测试指南》**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 適用性:多孔質タングステンマトリックスの気孔率と細孔径分布の試験をガイドします。
- 主要要件:X-CT の分解能は 1 μ m 以上。
- **ASTM E168 熱重量分析の一般技術に関する標準慣行 《热重分析通用方法》**
 - 適合性:バリウム化合物の含浸量をガイドするための熱重量分析(TGA)。
 - 主要要件:0.1mg 以上の熱分析精度。

中国の国家および業界標準

- **GB 4943.1-2022 情報技術機器 安全 パート 1: 一般要件 《信息技术设备 安全 第1部分:通用要求》**
 - 適合性: 情報技術機器におけるバリウム タングステン陰極の電気的および熱的安全性試験に適しています。
 - 主要要件: アーク放電を防ぐために、動作温度は安全な範囲内に制御する必要があります。
- **GB/T 3797-2016 電気および電子製品の環境条件 第 2 部: 試験方法 《电工电子产品环境条件 第 2 部分:试验方法》**
 - 適用性: 高温、高湿度、振動環境におけるバリウム タングステン カソードの性能試験をガイドします。
 - 主要要件: カソードは 2000°C および高真空で安定している必要があります。
- **JB/T 6842-2018 真空電子デバイスの一般仕様 《真空电子器件通用规范》**
 - 適用性: 真空エレクトロニクスにおけるバリウム タングステン カソードの性能とテスト要件を指定します。
 - 主要要件: 送信電流密度は、高出力デバイスのニーズを満たす必要があります。
- **GB/T 21650.1-2008 水銀気孔率測定およびガス吸着による固体材料の細孔径分布と気孔率 第 1 部: 水銀気孔率測定 第 1 部分:汞压法》**
 - 適用性:多孔質タングステン基板のガイド気孔率試験。
 - 主要要件: 気孔率測定精度は 1% 以上でなければなりません。
- **GB/T 13247-2019 金属材料の熱分析のための試験方法 《金属材料熱分析テスト方法》**
 - 適合性:バリウム化合物の含浸量をガイドするための熱重量分析(TGA)。
 - 主要要件:熱分析の精度は 0.1 mg 以上である必要があります。
- **GB/T 3461-2017 タングステン粉末 《钨粉》**
 - 適用性: タングステン粉末の粒度分布と純度要件を指定します。
 - 主要要件:タングステン粉末の純度は 99.95%以上である必要があります。
- **GB/T 4192-2010 焼結タングステンおよびタングステン合金 《钨及钨合金烧结坯》**
 - 適用性:バリウムタングステンカソード多孔質タングステンマトリックスの焼結プロセスをガイドします。
 - 主要要件:焼結温度は 1900~2050°C に制御されます。
- **GB/T 4181-2017 タングステンおよびタングステン合金の化学分析方法 《钨及钨合金化学分析方法》**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 適用性: タングステン粉末とタングステンマトリックスの純度分析をガイドします。
- 主な要件: ICP-OES 分析精度は 10ppm 以上です。
- **GB 30000.1-2024 化学物質の分類および表示に関する規則 - パート 1: 一般規則**
《化学品分类和标签规范 第 1 部分: 通则》
 - 適用性: バリウム化合物の安全ラベルと操作方法をガイドします。
 - 主な要件: 実装日が 2025 年 8 月 1 日の標準準拠の SDS を提供します。
- **GB/T 16483-2008 化学製品の安全データシート セクションの内容と順序** 《化学品安全技术说明书 内容和项目顺序》
 - 適用性: バリウム化合物の安全性情報の標準化された管理を確保します。
 - 主な要件: SDS には、化学的毒性と取り扱い要件を含める必要があります。
- **GB 18597-2023 有害廃棄物の汚染防止に関する技術仕様** 《危险废物污染防治技术规范》
 - 適用性: バリウム化合物廃棄物の収集、保管、処分をガイドします。
 - 主な要件: 廃液中の重金属の含有量は排出基準よりも低くなければなりません。
- **GB 5085.7-2019 有害廃棄物の識別基準 - 一般仕様** 《危险废物鉴别标准 通则》
 - 適用性: バリウム化合物廃棄物の識別と分類要件を規定します。
 - 主な要件: 廃棄物は有害廃棄物基準に従って処分する必要があります。
- **GB/T 14815-2008 真空技術 - 語彙** 《真空技术 术语》
 - 適用性: バリウム タングステン カソードの試験と操作における真空専門用語を定義します。
 - 主な要件: 用語は国際標準と一致している必要があります。
- **GB/T 34590-2017 真空技術 真空システム性能の測定方法** 《真空技术 真空系统性能测试方法》
 - 適用性: バリウムタングステンカソード動作環境の真空システム性能試験をガイドします。
 - 主な要件: 真空システムの漏れ率は $10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 未満です。

D. サプライヤーとリソース

- **CTIA GROUP LTD 序章**

CTIA GROUP LTD は、中国におけるバリウム - タングステン正極および真空電子材料の大手サプライヤーです。これらの製品は、マイクロ波管、X 線管、レーダーシステム、電子顕微鏡、航空宇宙分野で広く使用されています。CTIA GROUP LTD は、タングステンおよびモリブデン製品の柔軟なカスタマイズを専門とし、高性能カソード ソリューションを提供し、顧客のニーズに応じてタングステンおよびモリブデン製品のさまざまな仕様、性能、サイズ、グレードをカスタマイズおよび処理できます。

連絡先情報:

メールボックス: sales@chinatungsten.com

電話番号: 0592-5129696、0592-5129595

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

● **CTIA GROUP LTD バリウムタングステン電極 関連サイト**

バリウム タングステンカソード:

<http://tungsten.com.cn/barium-tungsten-cathode.html>

タングステン価格とニュース:

<http://news.chinatungsten.com/en/>

<https://www.ctia.com.cn/en/>

タングステンおよびモリブデン製品:

<http://www.chinatungsten.com/>

E. インデックス

キーワードインデックス

- バリウムタングステンカソード: 1.1、2.1、3.2、4.1、5.1、6.1、8.1、A、C、D
- 熱電子放射: 3.1、3.2、8.2、A
- 仕事機能: 3.2、6.1、8.2、A
- 多孔質タングステンマトリックス: 2.1、2.3、4.1、6.1、8.3、A、C、D
- バリウム化合物: 2.1、4.2、6.1、8.4、A、C、D
- 送信電流密度: 3.2、5.1、8.2、A
- 真空エレクトロニクス: 1.3、5.1、8.1、A、C、D
- 毒性影響: 3.3、6.2、A
- アクティベーションプロセス: 4.2、8.3、A
- 環境と安全性: 8.4、C、D
- 製造と品質管理: 4.3、8.3、C、D
- 粉末冶金: 2.2、4.1、8.3、A、C
- 気孔率: 2.3、4.1、8.3、A、C
- 耐振動性: 5.4、8.1、A

トピックインデックス

- **材料科学:** 第 2 章、6.1、8.3、A、C、D
 - 多孔質タングステンマトリックス: 2.1.1、2.3.1、4.1、6.1、8.3、C、D
 - バリウム化合物の特性: 2.1.2、4.2、6.1、8.4、C、D
 - 微細構造解析: 2.3、4.3、6.1
- **動作原理:** 第 3 章、A
 - 熱電子発光理論: 3.1、A
 - 排出特性と故障解析: 3.2、3.3、A
 - ショットキー効果とフィールド強化: 3.1.2、A
- **製造技術:** 第 4 章、8.3、A、C、D
 - 多孔質タングステンマトリックス成形: 4.1、8.3、A、C
 - 含浸および活性化プロセス: 4.2、8.3、A、C
 - 品質管理とテスト: 4.3、8.3、C
- **アプリケーション:** 第 5 章、D
 - マイクロ波管と X 線管: 5.1、D
 - 科学機器: 5.2、D
 - 航空宇宙および防衛: 5.4、D

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 新しいアプリケーション(テラヘルツ、イオンスラスタなど):5.5
- パフォーマンスの最適化: 第 6 章
 - 発射効率:6.1
 - 寿命と抗中毒:6.2
 - 環境適応性:6.3
- 技術課題と今後の展開:第 7 章
 - 材料費と一貫性:7.1
 - 新興技術競争:7.2
 - 今後の研究の方向性:7.3
- 規格と仕様: 第 8 章 C
 - 国際規格および業界標準:8.1、C
 - 性能パラメータの仕様:8.2、C
 - 製造と品質管理:8.3、C
 - 環境と安全性:8.4、C
- サプライヤーとリソース:D
 - CTIA グループ株式会社:D



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Barium Tungsten Cathode Introduction

1. Overview of Barium Tungsten Cathode

The Barium Tungsten Cathode is a type of thermionic emission material typically composed of high-purity tungsten as the base, impregnated with barium compounds. Upon high-temperature activation, it emits free electrons and is widely used in vacuum electronic devices. Due to its low work function and high electron emission efficiency, this cathode plays a critical role in high-power electronic equipment. CTIA GROUP LTD specializes in the global flexible customization of tungsten and molybdenum products, offering tailored high-performance barium tungsten cathodes according to customer requirements.

2. Characteristics of Barium Tungsten Cathode

- **High Electron Emission Efficiency:** The low work function of barium enables the cathode to emit a large quantity of electrons even at relatively low temperatures.
- **High-Temperature Resistance:** With a tungsten matrix that has a melting point of 3422° C, the cathode maintains structural stability in high-temperature operating environments.
- **Long Service Life:** Optimized barium compound impregnation techniques help minimize barium evaporation, thereby extending the cathode's lifespan.
- **Low Evaporation Rate:** Compared to other cathode materials, barium tungsten exhibits a lower evaporation rate at high temperatures, reducing contamination within the device.
- **Arc Stability:** Delivers a stable electron flow, making it ideal for high-precision electron beam applications.

3. Applications of Barium Tungsten Cathode

- **HID Lamps:** The cathode's low work function and high current density allow HID lamps to emit bright and stable light, making them suitable for applications that require high brightness and long service life, such as roadway and industrial lighting.
- **Vacuum and Laser Devices:** The low work function makes barium tungsten ideal for use in vacuum electronic and laser components.
- **Stage and Club Lighting Effects:** High-frequency strobe lights made from this material are known for their long lifespan and stable performance.
- **Film Projection and Video Recording:** The film and broadcast industry also relies heavily on this material for projection and recording equipment, where it ensures long-term operational stability and high efficiency.
- **Laser Mercury Pumps:** Its high electron emission capability and low operating temperature contribute to improved laser performance and stability.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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