



電子ビームタングステンフィラメントの百科事典

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

www.ch

.en.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatun

1

CTIA GROUP LTD

タングステン、モリブデン、レアアース産業向けのインテリジェント製造のグローバル
リーダー

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP の紹介

CTIA GROUP LTD は、CHINATUNGSTEN ONLINE によって設立された独立した法人格を持つ完全子会社であり、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を促進することに専念しています。CHINATUNGSTEN ONLINE は、www.chinatungsten.com を出発点として 1997 年に設立され、中国初の一流のタングステン製品ウェブサイトであり、タングステン、モリブデン、希土類産業に焦点を当てた国の先駆的な電子商取引企業です。タングステンとモリブデンの分野での深い経験の約 30 年を活用して、CTIA グループは、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、および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になり、親会社の優れた設計および製造能力、優れたサービス、およびグローバルなビジネスの評判を継承しています。

過去 30 年間で、CHINATUNGSTEN ONLINE は、ニュース、価格、タングステン、モリブデン、希土類に関する 100 万ページ以上の 20 以上の言語をカバーする 200 以上の多言語タングステンとモリブデンの専門家のウェブサイトを設立しています。2013 年以来、WeChat の公式アカウント「CHINATUNGSTEN ONLINE」は 40,000 を超える情報を公開し、約 100,000 人のフォロワーにサービスを提供し、世界中の数十万人の業界専門家に毎日無料の情報を提供しています。そのウェブサイト クラスターと公式アカウントへの累積訪問数が数十億回に達し、タングステン、モリブデン、希土類業界向けのグローバルで権威ある情報ハブとして認められ、24 時間年中無休の多言語ニュース、製品パフォーマンス、市場価格、市場動向サービスを提供しています。

CHINATUNGSTEN ONLINE の技術と経験に基づいて、CTIA GROUP は顧客のパーソナライズされたニーズを満たすことに焦点を当てています。AI 技術を活用し、特定の化学組成や物性(粒子サイズ、密度、硬度、強度、寸法、公差など)を持つタングステン・モリブデン製品をお客様と共同で設計・製造します。型開きから試作、仕上げ、包装、物流まで一貫サービスを提供。過去 30 年間で、CHINATUNGSTEN ONLINE は、世界中の 130,000 以上の顧客に 500,000 種類以上のタングステンおよびモリブデン製品の研究開発、設計、および生産サービスを提供し、カスタマイズされた、柔軟でインテリジェントな製造の基盤を築いてきました。この基盤に依拠して、CTIA GROUP 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な製造と統合イノベーションをさらに深化させます。

ハンス博士と CTIA GROUP の彼のチームは、30 年以上の業界経験に基づいて、タングステン、モリブデン、希土類に関する知識、技術、タングステン価格、市場動向分析を執筆し、公開しています。ハン博士は、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取引、ならびに超硬合金および高密度合金の設計および製造において 30 年以上の経験を持ち、国内外のタングステンおよびモリブデン製品の有名な専門家です。CTIA GROUP のチームは、専門的で高品質な情報を業界に提供するという原則を堅持し、生産慣行と市場顧客のニーズに基づいて技術研究論文、記事、業界レポートを継続的に作成し、業界で広く賞賛されています。これらの成果は、CTIA GROUP の技術革新、製品プロモーション、業界交流をしっかりと支え、世界のタングステンおよびモリブデン製品製造および情報サービスのリーダーになるための原動力となっています。



著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

1. Overview of Electron Beam Tungsten Filaments

The electron beam tungsten filament is a high-performance thermionic cathode component specifically designed for electron beam (EB) equipment. Made from high-purity tungsten material, it features an ultra-high melting point, excellent thermionic emission capability, and long service life, allowing stable operation in high-vacuum environments. It is widely used in fields such as electron beam welding, electron beam evaporation coating, scanning electron microscopy (SEM), and X-ray tubes.

2. Features of Electron Beam Tungsten Filaments

Ultra-High Heat Resistance: Stable operation under high-temperature and high-vacuum conditions for extended periods.

Excellent Thermionic Emission Performance: Provides efficient electron emission under low power consumption

High-Purity Material: W ≥ 99.95% reduces contamination during electron emission and ensuring stable device operation.

Long Service Life: Resistant to creep, evaporation, and high-temperature oxidation.

Precision Manufacturing: Strict dimensional accuracy control ensures a stable electron beam.

Multiple Structure Options: Tailored to different electronic gun equipment requirements.

3. Some Types of Electron Beam Tungsten Filaments

| Mosquito Coil | Pull-type | U-shaped |
|---|---|--|
|  |  |  |
| Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm |
| U-shaped with Folding Tails | Half Moon | Hook type |
|  |  |  |
| Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm |

4. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

内容

第1章 はじめに

- 1.1 電子ビームタンクステンフィラメントの定義と重要性
- 1.2 歴史的発展および技術の進化
- 1.3 現代技術における電子ビームタンクステンフィラメントの役割

第2章 電子銃におけるタンクステンフィラメントの基本原理

- 2.1 電子銃の動作原理
- 2.2 カソード材料としてのタンクステンフィラメントの物理的および化学的基礎
- 2.3 熱電子放出機構
- 2.4 タンクステンフィラメントと代替材料の比較

第3章 電子銃用タンクステンフィラメントの調製・製造技術

- 3.1 電子線タンクステンフィラメント用原料の選定と調製
 - 3.1.1 タンクステン金属の供給源と精製
 - 3.1.2 タンクステン粉末の粒度と純度の要件
 - 3.1.3 添加剤とドーピング材料(カリウム、アルミニウムなど)の選択
 - 3.1.4 原材料の試験と品質管理
- 3.2 電子ビームタンクステンフィラメント冶金
 - 3.2.1 タンクステン粉末のプレスと焼結
 - 3.2.1.1 プレスプロセスパラメータ
 - 3.2.1.2 焼結炉の種類と温度管理
 - 3.2.2 タンクステンロッドの鍛造と絞り
 - 3.2.2.1 熱間鍛造・冷間鍛造技術
 - 3.2.2.2 伸線ダイの設計と潤滑剤の選択
 - 3.2.3 タンクステンワイヤーのアニールとグレインコントロール
 - 3.2.3.1 焼鈍温度と雰囲気
 - 3.2.3.2 粒度が性能に及ぼす影響
- 3.3 電子線タンクステンフィラメントの形成と加工
 - 3.3.1 タンクステンワイヤーの巻線と成形
 - 3.3.1.1 単一らせん、二重らせん、複雑な幾何学的設計
 - 3.3.1.2 成形装置の自動化と精度
 - 3.3.2 表面処理技術
 - 3.3.2.1 化学洗浄と研磨
 - 3.3.2.2 表面コーティング(酸化物コーティングなど)プロセス
 - 3.3.3 フィラメントの切断と成形
- 3.4 電子線タンクステンフィラメント製造装置と自動化
 - 3.4.1 電子ビームタンクステンフィラメントの主要製造設備の概要
 - 3.4.1.1 焼結炉

著作権および法的責任に関する声明

- 3.4.1.2 伸線機
- 3.4.1.3 ラッピングマシン
- 3.4.2 生産ラインの自動化とインテリジェンス
- 3.4.3 環境制御とクリーンルームの要件
- 3.5 電子線タングステンフィラメントの品質管理と検査
 - 3.5.1 オンライン検出技術
 - 3.5.1.1 寸法および幾何学的精度検査
 - 3.5.1.2 表面欠陥検出
 - 3.5.2 パフォーマンステスト
 - 3.5.2.1 抵抗および導電率試験
 - 3.5.2.2 熱電子放出性能試験
 - 3.5.3 故障解析と改善策

第4章 電子線タングステンフィラメントの製品特性

- 4.1 電子線タングステンフィラメントの物理的および化学的性質
 - 4.1.1 タングステンフィラメントの融点と熱安定性
 - 4.1.2 タングステンフィラメントの抵抗率と温度係数
 - 4.1.3 タングステンフィラメントの抗酸化および防食特性
 - 4.1.4 タングステンフィラメントの機械的強度と延性
- 4.2 電子線タングステンフィラメントの電気的および熱的特性
 - 4.2.1 タングステンフィラメントの熱電子放出効率
 - 4.2.2 タングステンフィラメントの動作温度範囲
 - 4.2.3 タングステンフィラメントの熱膨張と熱疲労性能
 - 4.2.4 タングステンフィラメントのアーク安定性
- 4.3 電子ビームフィラメントの微細構造と性能の関係
 - 4.3.1 粒状の構造と向き
 - 4.3.2 微細構造に及ぼすドーピング元素の影響
 - 4.3.3 表面形態と発光性能
- 4.4 電子線タングステンフィラメントの寿命と信頼性
 - 4.4.1 フィラメントの寿命に影響を与える要因
 - 4.4.2 故障モード解析(蒸発、破壊など)
 - 4.4.3 信頼性試験方法
- 4.5 CTIA GROUP LTD 電子ビームタングステンフィラメントの MSDS

第5章 電子線タングステンフィラメントの使用と応用

- 5.1 電子銃への応用
 - 5.1.1 走査型電子顕微鏡(SEM)
 - 5.1.2 透過型電子顕微鏡(TEM)
 - 5.1.3 電子ビームの溶接と切断
 - 5.1.4 電子ビームリソグラフィー
- 5.2 真空電子デバイス
 - 5.2.1 マイクロ波管(マグネットロンや進行波管など)

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

- 5.2.2 X線管
- 5.2.3 ブラウン管(CRT)
- 5.3 その他の産業および科学的研究アプリケーション
 - 5.3.1 薄膜蒸着(物理蒸着など)
 - 5.3.2 イオン源および質量分析計
 - 5.3.3 核融合実験装置
- 5.4 新たなアプリケーション分野
 - 5.4.1 3Dプリンティングにおける電子ビームの融解
 - 5.4.2 宇宙推進システムにおける電子源
 - 5.4.3 ナノテクノロジーとマイクロ・ナノ加工

第6章 電子ビームフィラメントの技術的課題と今後の展開

- 6.1 電子線タングステンフィラメントの現在の技術的課題
 - 6.1.1 フィラメントの寿命を延ばす
 - 6.1.2 伝送効率の向上
 - 6.1.3 小型化と高精度の要求
- 6.2 電子線タングステンフィラメントの新材料・新技術
 - 6.2.1 タングステンベースの複合材料
 - 6.2.2 ナノ構造タングステンフィラメント
 - 6.2.3 代替カソード材料(カーボンナノチューブ、電界放出型カソードなど)
- 6.3 電子ビームタングステンフィラメントのインテリジェントでグリーンな製造
 - 6.3.1 インテリジェント監視と適応制御
 - 6.3.2 省エネで環境にやさしい生産技術
 - 6.3.3 リサイクルと廃棄物処理
- 6.4 電子線タングステンフィラメントの今後の開発動向
 - 6.4.1 高性能電子銃の設計
 - 6.4.2 学際的な統合(人工知能との統合など)
 - 6.4.3 宇宙および極限環境でのアプリケーション

第7章 電子ビームタングステンフィラメントの規格と仕様

- 7.1 国家規格(GB)
 - 7.1.1 GB/T 関連規格(タングステンおよびタングステン合金材料規格など)
 - 7.1.2 電子銃正極材料の試験および評価基準
 - 7.1.3 真空電子デバイスの製造および受け入れ仕様
- 7.2 國際規格(ISO)
 - 7.2.1 ISO 関連材料と試験規格
 - 7.2.2 タングステンフィラメントの表面処理への ISO 4618-2006 の適用
 - 7.2.3 ISO 14001 の本番環境への導入
- 7.3 アメリカの標準
 - 7.3.1 ASTM 規格(ASTM B387 など)

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

- 7.3.2 電子銃製造における ASME 規格の適用
- 7.3.3 SAE 規格(電子ビーム溶接に該当する場合)
- 7.4 その他の国際標準および業界標準
 - 7.4.1 日本規格(JIS)
 - 7.4.2 ドイツ規格(DIN)
 - 7.4.3 ロシア規格(GOST)
- 7.5 標準の実装と認証
 - 7.5.1 生産およびテストにおける規格の適用
 - 7.5.2 品質マネジメントシステム認証(ISO 9001 など)
 - 7.5.3 製品の輸出と国際規格への準拠

虫垂

- A. 用語集
- B. 参考文献

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

第1章 はじめに

1.1 電子ビームタンクステンフィラメントの定義と重要性

電子ビームタンクステンフィラメントは、タンクステン金属を主材料とするカソード部品です。電気加熱により熱電子放出を発生し、電子銃の核心部品です。電子銃は、電場または磁場を使用して電子を加速し、高エネルギーの電子ビームを形成します。走査型電子顕微鏡(SEM)、透過型電子顕微鏡(TEM)、電子ビーム溶接、X線管などの機器に広く使用されています。タンクステンフィラメントの重要性は、高融点(約 3422°C)、低蒸気圧、高仕事関数(約 4.5 eV)、優れた熱安定性と機械的強度など、優れた物理的および化学的特性に由来します。これらの特性により、タンクステンフィラメントは高温および高真空中で安定して動作し、信頼性の高い電子ビームを提供することができます。

電子銃のタンクステンフィラメントは、電源を入れて 2000~2800°C に加熱し、タンクステン表面の電子を励起して仕事関数を克服し、電子の流れを形成します。これらの電子は、電場の作用下で加速され、イメージング、処理、または分析のための集束電子ビームを生成します。たとえば、SEM では、タンクステンフィラメントの発光安定性と輝度がイメージング解像度に直接影響します。電子ビームリソグラフィーでは、フィラメントの寿命と一貫性がナノスケールパターンの処理精度を決定します。さらに、希少金属として、タンクステン資源の希少性と高い価値は、世界の科学技術と産業サプライチェーンにおけるタンクステンフィラメントの戦略的位置をさらに強調しています。[Chinatungsten Online](#) からの情報によると、タンクステンフィラメントの製造技術は、電子機器の性能とコストに直接関連しており、ハイテク分野の重要な技術の一つです。

1.2 歴史的発展と技術の進化

タンクステンフィラメントは 19 世紀後半に始まり、真空電子機器の台頭と密接に関連しています。1878 年、トマス・エジソンは初めて白熱フィラメントにタンクステンを使用し、その高い耐熱性と低い蒸発速度を発見し、高温用途でのタンクステンの基礎を築きました。20 世紀初頭、真空管技術の進歩により電子銃が誕生し、タンクステンは融点が高く化学的安定性が高いため、電子銃のカソードに適した材料になりました。1920 年代に入ると、タンクステンフィラメントは初期のブラウン管(CRT)に使用され始め、電子機器に広く使用されるようになりました。

1950 年代、走査型電子顕微鏡の出現により、タンクステンフィラメントに対する要求が高まり、研究者はその微細構造と製造プロセスを最適化するようになりました。1960 年代、ドーピング技術の導入は重要なブレークスルーとなりました。例えば、カリウム、アルミニウム、シリコンなどの元素を添加すると([タンクステン知識](#))、フィラメントの耐クリープ性と熱電子放出効率が大幅に向上しました。21 世紀に入ると、ナノテクノロジーと精密製造の進歩により、タンクステンフィラメント技術の開発がさらに促進されました。例えば、ナノスケールの粒度制御技術はフィラメントの機械的特性を最適化でき、表面コーティング技術(酸化物コーティングなど)は寿命を延ばすことができます。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

1.3 現代技術における電子ビームタングステンフィラメントの役割

現代の技術では、タングステンフィラメントは電子銃の不可欠なコンポーネントであり、科学研究、工業製造、医療、新興技術の分野で広く使用されています。その主な役割は次のとおりです。

科学研究:SEM および TEM では、タングステンフィラメントはナノスケールの構造を観察するための高輝度電子ビームを提供します。例えば、タングステンフィラメントの発光安定性は、TEM の原子レベルの分解能に直接影響します。

工業生産:電子ビーム溶接、切断、リソグラフィー装置は、タングステンフィラメントによって生成された高エネルギー電子ビームに依存して、高精度の加工を実現します。

医療用途:X 線管内のタングステンフィラメントは、画像診断に必要な電子ビームを生成するために使用され、CT スキャンや放射線治療に広く使用されています。

新興分野:タングステンフィラメントは、3D プリンティング(電子ビーム溶融)、宇宙推進システム(イオンスラスターなど)、ナノテクノロジーでの使用が増加しています。例えば、電子ビーム溶融技術は、タングステンフィラメントで生成した高エネルギーの電子ビームを用いて、金属粉末を精密に溶融し、複雑な構造を作製する技術です。

タングステンフィラメントは、機器の効率と精度に直接影響します。例えば、電子ビームリソグラフィーでは、フィラメントの発光一貫性と寿命がナノスケールパターンの品質を決定します。環境保護と持続可能な開発に対する要件がますます厳しくなる中、タングステンフィラメントのグリーン製造とリサイクルは業界でホットな話題になっています。グローバル企業は、資源不足や環境問題に対処するために、廃棄物、タングステンリサイクル技術、低エネルギー生産プロセスを模索しています。



著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

第2章 電子銃におけるタングステンフィラメントの基本原理

2.1 電子銃の動作原理

電子銃は、電場や磁場を通じて電子ビームを加速する装置で、真空電子デバイスに広く利用されています。その基本構造には、カソード(通常はタングステンフィラメント)、アノード、および制御電極(グリッドなど)が含まれます。作業中、タングステンフィラメントは電気によって高温(2000~2800°C)に加熱され、高温の電子が放出されます。これらの電子は、アノードによって印加される高電圧(数千ボルトから数十キロボルト)によって形成される電場によって加速され、高エネルギーの電子ビームを形成します。制御電極は、電子ビームの強度、形状、焦点を調整して、さまざまなアプリケーションのニーズを満たすことができます。

電子銃の性能は、フィラメントの放射効率、ビーム安定性、集光精度に依存します。タングステンフィラメントは、高融点、低蒸気圧、および安定した熱電子放出特性により、電子銃に適したカソード材料です。例えば、走査型電子顕微鏡では、電子銃は高輝度の狭ビーム電子ビームを提供する必要があり、タングステンフィラメントの微細構造と表面状態はこれらのパラメータに直接影響します。Chinatungsten Online のデータによると、最新の電子銃の設計では、フィラメントの形状と電極構成を最適化することにより、電子ビームをサブナノメートルレベルに集束させることができます。

2.2 カソード材料としてのタングステンフィラメントの物理的および化学的基礎

カソード材料としてのタングステンは、そのユニークな物理的および化学的特性にあります。

高融点:タングステンの融点は 3422°C で、電子銃が作動しているときの高温環境に耐えることができます。

低蒸気圧:タングステンは高温での蒸発速度が低いため、フィラメントの損失と真空システムの汚染が減少します。

高仕事関数:タングステンの仕事関数は約 4.5 eV で、熱電子放出に適しており、安定した電子の流れを提供します。

化学的安定性:タングステンは真空環境での酸化や腐食に強く、長期使用に適しています。

タングステンの体心立方晶構造は、優れた機械的強度と熱安定性を提供します。ドーピング元素(カリウム、アルミニウム、シリコンなど)を添加すると、仕事関数の低減や耐クリープ性の向上など、性能をさらに最適化できます。Chinatungsten Online のデータによると、タングステンドープフィラメントの発光効率は 10~20%向上させることができ、電子銃の性能が大幅に向上します。さらに、タングステン表面の形態と清浄度は発光性能にとって重要であり、小さな不純物や酸化物層は放出効率を大幅に低下させる可能性があります。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

2.3 热電子放出メカニズム

電子銃のタングステンフィラメントは熱電子放出です。タングステンフィラメントを高温に加熱すると、内部の自由電子は、十分な熱エネルギーにより材料の表面に形成された電位障壁(仕事関数と呼ばれる)を克服し、真空中に逃げて電子の流れを形成することができます。

リチャードソン・ダッシュマン方程式によれば、熱電子放出の電流密度 J と温度 T と材料仕事関数 ϕ との関係は、次のように表すことができます。

$$J = AT^2 e^{-\frac{\phi}{kT}}$$

で：

J :電子放出電流密度(A/cm^2)

A :リチャードソン定数(通常約 $120 A/cm^2/K^2$)

T :タングステンフィラメント表面温度(K)

ϕ :材料の電子仕事関数(eV)

k :ボルツマン定数($8.617 \times 10^{-5} eV/K$)

タングステンの場合、その仕事関数は約 $4.5 \sim 4.6$ eV です。最低ではありませんが、融点が高いため、 $2000^{\circ}C$ を超える動作温度に耐えることができ、電子銃のニーズを満たすのに十分な熱電子放出効率を備えています。

熱電子放出の特徴は、温度の指數関数的な関係に伴って電子電流密度が急速に増加することです。したがって、電子銃の設計では、タングステンフィラメントの加熱電流を正確に制御して、過熱によるフィラメントの損失や破損を回避しながら、必要な電子ビーム強度を得る必要があります。

実際のアプリケーションでは、フィラメントの表面状態が発光性能に大きな影響を与えます。たとえば、表面の酸化物や不純物は仕事関数を増加させ、排出効率を低下させます。微視的な形態(粒の配向や表面粗さなど)は、電子の逃げ効率に影響を与えます。そのため、フィラメント製造では、性能を最適化するために、化学洗浄、研磨、表面コーティング技術がよく使用されます。

2.4 タングステンフィラメントと代替材料の比較

タングステンフィラメントは優れた性能を持っていますが、その高い仕事機能と限られた寿命により、研究者は代替材料を探求するようになりました。タングステンフィラメントと一般的な代替材料との比較は次のとおりです。

ランタンタングステン(LaB6):仕事関数が低く(約 2.7 eV)、発光効率が高いため、高輝度ア

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

プリケーションに適していますが、真空に対する要件が厳しく、酸素に汚染されやすいです。

カーボンナノチューブ(CNT):電界放出特性を持ち、加熱を必要とせず、小型化用途に適していますが、製造コストが高く、安定性のさらなる検証が必要です。

酸化物カソード:高い放射効率と低い動作温度(約 1000°C)ですが、機械的強度が低く、高出力電子銃には適していません。

タングステンベースの複合材料:酸化物や炭化物をドープしたタングステン材料などは、高い発光効率と長寿命の両方を備えていますが、プロセスは複雑でコストが高くなります。

タングステンフィラメントは、高出力で長寿命の電子銃を支配しています。しかし、小型化と低消費電力化が求められる中、カーボンナノチューブやナノ構造タングステンなどの新材料が研究のホットスポットになりつつあります。



CTIA GROUP LTD 電子ビームタングステンフィラメント

第3章 電子ビームタングステンフィラメントの調製と製造プロセス

電子ビームタングステンフィラメントは、その高性能と信頼性を確保するための重要なリンクであり、原材料の選択から最終成形までの全プロセスをカバーしています。この章では、原材料の準備、冶金プロセス、成形加工、生産設備、品質管理などについて詳しく説明し、世界的な先進技術と業界の慣行を組み合わせ、各ステップの技術的な詳細と課題を深く分析します。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

3.1 電子ビームタンクスチルメントの原料の選択と準備

原材料の品質は、タンクスチルメント金属の精製、タンクスチルメント粉末の特性、ドーピング材料の選択、厳格な品質管理を含むタンクスチルメントの性能を直接決定します。

3.1.1 タンクスチルメント金属の供給源と精製

タンクスチルメント金属は、主に鉄マンガン重石(FeMnWO4)と灰重石(CaWO4)から抽出され、世界の埋蔵量は主に中国(約 60%)、ロシア、オーストラリア、カナダに集中しています。鉄マンガン重石は主にタンクスチルメント含有量が高く、分離しやすい特性によるものですが、灰重石はカルシウムが関連しているため、より複雑な精製プロセスを必要とします。採掘プロセスには、露天掘りまたは地下採掘が含まれ、その後、破碎、粉碎、重力分離(シェーキングテーブル、スパイラル濃縮器など)によるタンクスチルメント精鉱の分離が行われます。

タンクスチルメント精製プロセスは、物理的選鉱と化学製錬の 2 つの段階に分けられます。物理的選鉱は、浮遊選鉱、磁気分離、重力分離を通じてタンクスチルメント濃縮物の純度をさらに向上させ、典型的な WO_3 含有量は 65~70% に達する必要があります。化学製錬は、タンクスチルメント濃縮物を パラタンクスチルメント酸アンモニウム または タンクスチルメント酸 に変換します。具体的なプロセスには、次のものが含まれます。

タンクスチルメント濃縮物は、タンクスチルメント酸ナトリウム溶液を形成するために水酸化ナトリウムまたは炭酸ナトリウム溶液で浸出されます。

イオン交換または溶媒抽出: 不純物(シリコン、リン、ヒ素など)を除去して、高純度 APT を生成します。

焼成および還元: APT は三酸化タンクスチルメントを発生させるために 800-1000°C で焼成され、次に 700-900°C の温度で水素雰囲気のタンクスチルメント粉に還元されます。

精製プロセスでは、不純物の管理が重要です。鉄、銅、硫黄などの金属不純物は 50ppm 未満、酸素や炭素などの非金属不純物は 100ppm 未満である必要があります。ハイエンドの電子ビームタンクスチルメントには、高純度のタンクスチルメント粉末(99.95%)が使用されており、発光効率と寿命を大幅に向上させることができます。

3.1.2 タンクスチルメント粉末の粒度と純度の要件

タンクスチルメント粉末 は、焼結ブランクの密度とフィラメントの微細構造に影響を与える重要な要因です。電子ビームタンクスチルメントは、タンクスチルメント粉末が均一な粒度、通常は 1~10 ミクロンの範囲を持ち、粒度分布の標準偏差が ± 0.5 ミクロン以内に制御されることを必要とします。微細で均一な粒子サイズは、多孔性を低減した緻密な焼結体を形成するのに役立ちます(目標は 2%未満)。粒子径が大きすぎると焼結が不均一になる可能性があり、粒子径が小さすぎるとプレスが難しくなる可能性があります。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

ページ 13の 79

sales@chinatungsten.com

純度に関しては、タンクスチタン粉末中の金属不純物(鉄、ニッケル、モリブデンなど)の含有量は 30ppm 未満でなければならず、非金属不純物(酸素、窒素、炭素など)は 80ppm 未満でなければなりません。超高純度タンクスチタン粉末(5N グレード、99.999%)は、高分解能 SEM のフィラメント製造などのハイエンドアプリケーションで需要が高まっています。

粒度分析:レーザー粒度分析装置(Malvern Mastersizer など)は、±0.1 ミクロンの精度で粒度分布を測定します。

純度検出:誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)は、不純物含有量の分析に使用され、検出限界は ppb レベルと低くなっています。

微細構造の観察:走査型電子顕微鏡(SEM)を使用して粉末の形態を調べ、凝集物や異常な粒子がないことを確認しました。

3.1.3 添加剤とドーピング材料(カリウム、アルミニウム、シリコンなど)の選択

ドーピングは、タンクスチタンフィラメントの性能を最適化するためのコア技術です。微量元素を添加することにより、高温性能、排出効率、耐クリープ性を向上させます。一般的に使用されるドーピング要素は次のとおりです。

カリウム(K):酸化カリウム(K₂O)の形で添加され、含有量は 0.01~0.05 重量%です。カリウムは焼結中に小さな気泡を形成し、穀物の成長を阻害し、高温クリープ耐性を高めます。

アルミニウム(Al):0.005~0.02 重量%で酸化アルミニウム(Al₂O₃)の形で添加されます。アルミニウムは仕事関数を減少させ(4.5 eV から約 4.3 eV へ)、熱電子放出効率を改善します。

ケイ素(Si):2 酸化ケイ素(SiO₂)の形で 0.01~0.03 重量%の含有量で添加されます。シリコンは高温強度を高め、表面の酸化を減らします。

その他の元素:レニウム(Re、0.1-1 wt %)などは延性を改善するために使用され、酸化イットリウム(Y₂O₃)は発光特性を高めるために使用されます。

ドーピング元素の添加は、湿式混合または機械的合金化によって均一に分布させる必要があります。過度のドーピングは、異常な粒子成長やフィラメントの脆化につながる可能性があります。たとえば、カリウム含有量が 0.1 重量%を超えると、機械的強度が低下します。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

1. Overview of Electron Beam Tungsten Filaments

The electron beam tungsten filament is a high-performance thermionic cathode component specifically designed for electron beam (EB) equipment. Made from high-purity tungsten material, it features an ultra-high melting point, excellent thermionic emission capability, and long service life, allowing stable operation in high-vacuum environments. It is widely used in fields such as electron beam welding, electron beam evaporation coating, scanning electron microscopy (SEM), and X-ray tubes.

2. Features of Electron Beam Tungsten Filaments

Ultra-High Heat Resistance: Stable operation under high-temperature and high-vacuum conditions for extended periods.

Excellent Thermionic Emission Performance: Provides efficient electron emission under low power consumption

High-Purity Material: W ≥ 99.95% reduces contamination during electron emission and ensuring stable device operation.

Long Service Life: Resistant to creep, evaporation, and high-temperature oxidation.

Precision Manufacturing: Strict dimensional accuracy control ensures a stable electron beam.

Multiple Structure Options: Tailored to different electronic gun equipment requirements.

3. Some Types of Electron Beam Tungsten Filaments

| Mosquito Coil | Pull-type | U-shaped |
|---|---|--|
|  |  |  |
| Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm |
| U-shaped with Folding Tails | Half Moon | Hook type |
|  |  |  |
| Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm |

4. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

3.1.4 原材料の試験と品質管理

原材料試験は、化学組成、粒度分布、形態、微量不純物分析を対象としています。一般的に使用される機器は次のとおりです。

蛍光 X 線分析装置(XRF):タングステン粉末とドーピング元素の化学組成を±0.01wt%の精度で迅速に分析します。

走査型電子顕微鏡(SEM):粉末の形態を観察し、凝集した粒子や不規則な粒子を検出します。

透過型電子顕微鏡(TEM):ナノスケールの構造を解析し、ドーピング元素の分布を評価します。

ICP-MS:微量不純物を ppb レベルの感度で検出します。

品質管理は ISO9001 規格に準拠し、原材料の保管から生産までの完全なトレーサビリティシステムを確立しています。タングステン粉末の各バッチは、独立したテストの少なくとも 3 ラウンドに合格する必要があり、合格率は 99.9% 以上に達する必要があります。不適格な原材料は、後続のプロセスに影響を与えないように再精製または廃棄されます。

3.2 電子ビームタングステンフィラメント冶金

冶金学的プロセスは、タングステン粉末を高性能タングステンフィラメントに変換し、プレス、焼結、鍛造、延伸、焼純などのステップを含みます。フィラメントの微細構造と性能を確保するために、各ステップを正確に制御する必要があります。

3.2.1 タングステン粉末のプレスと焼結

3.2.1.1 プレスプロセスパラメータ

タングステン粉末プレスは、タングステン粉末を金型に入れ、油圧プレスまたは静水圧プレスを介してブランクにプレスすることです。プロセスパラメータには以下が含まれます。

圧力:100-300 MPa、標準値は 200 MPa です。圧力が高すぎるとダイが摩耗する可能性があり、圧力が低すぎるとビレットの密度に影響します。

保持時間:粉末粒子が完全に結合していることを確認するための 10~30 秒。

金型材料:タングステンカーバイド(www.tungsten-carbide-powder.com)または高強度鋼、内壁は接着を減らすために Ra 0.1 ミクロンに研磨されています。

バインダー:0.5~2 重量%のポリビニルアルコール(PVA)またはパラフィンを添加して、焼結の開始時に完全に除去する必要があるブランクの強度を向上させます。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

プレスされたブランクの相対密度は 60~70%に達する必要があります、気孔率は 30%以内に制御する必要があります。CIP 技術は、密度の均一性をさらに向上させることができます、高性能フィラメント製造に適しています。

3.2.1.2 焼結炉の種類と温度管理

焼結は、多孔性を 2%未満に低減し、均一な粒子構造を形成することを目標に、プレスされたビレットを高温で緻密化するプロセスです。一般的な焼結炉には、以下のようなものがあります。

抵抗加熱炉:小ロット生産、温度範囲 1800-2800°C に適しています。

誘導加熱炉:大規模生産、高い加熱速度、良好な均一性に適しています。

マイクロ波焼結炉:マイクロ波加熱により急速な高密度化を実現し、エネルギー消費を 20~30%削減する新しい技術です。

焼結プロセスは、次の 3 つの段階に分かれています。

低温ステージ(800-1200°C):バインダーと揮発性不純物を 30~60 分間除去します。

中温ステージ(1500-2000°C):穀物の結合を促進し、細孔が閉じ始め、1~2 時間続きます。

高温ステージ(2500-2800°C):完全な高密度化を達成し、30~90 分持続します。

焼結雰囲気は高純度水素(純度 99.999%)または真空(10^-4Pa)で酸化を防ぎます。温度制御精度は±5°C に達する必要があります。温度が高すぎると異常な結晶粒の成長を引き起こし、温度が低すぎると密度に影響します。

3.2.2 タングステンロッドの鍛造と絞り

3.2.2.1 热間鍛造・冷間鍛造技術

焼結タングステンビレットは、鍛造によってタングステンロッドに加工され、内部構造と密度を改善します。鍛造は、热間鍛造と冷間鍛造に分けられます。

热間鍛造:回転鍛造機または油圧鍛造機を使用して、1500~1800°C で行われます。変形量

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

は毎回 10~20%に制御され、総変形率は 50~70%に達します。熱間鍛造は、焼結孔を排除し、密度を 99%以上に高めることができます。

冷間鍛造:室温で行われ、最終仕上げに適しています。冷間鍛造は表面仕上げと寸法精度を向上させますが、亀裂を避けるために変形速度を制御する必要があります(0.1~0.5 mm / s)。

鍛造装置には、タングステンロッドの直径公差が±0.05mm 以内であることを確認するために、高精度の金型と温度監視システムを装備する必要があります。

3.2.2.2 伸線ダイの設計と潤滑剤の選択

タングステンロッドは、複数の延伸プロセスを通じて直径 0.01~0.5mm のワイヤーに加工されます。伸線プロセスの主な要素は次のとおりです。

金型材料:タングステンカーバイドまたは多結晶ダイヤモンド(PCD)、金型開口精度±0.1 ミクロン、表面粗さ Ra 0.05 ミクロン。

ドローイング パス:20~40、各パスの表面還元率は 10~15%、総表面還元率は 99%以上です。

潤滑剤:グラファイトエマルジョン、モリブデンベースの潤滑剤またはナノダイヤモンド懸濁液で、摩擦係数を 0.1 未満に低減します。

描画速度:0.5-5 m / s、線径と金型の状態に応じて動的に調整する必要があります。

伸線プロセス中、タングステンワイヤの表面温度は 300~500°C に達する可能性があり、熱蓄積は冷却システム(水冷や空冷など)によって制御する必要があります。伸線機にはテンションセンサーとレーザー径計が装備されており、線径偏差(±0.5 ミクロン)をリアルタイムで監視できます。

3.2.3 タングステンワイヤーのアニールとグレインコントロール

3.2.3.1 焼鈍温度と雰囲気

アニーリングは、延伸プロセス中の内部応力を排除し、タングステンワイヤの結晶粒構造と延性を最適化するために使用されます。アニーリングプロセスパラメータには、次のものが含まれます。

温度:1200-1600°C、標準値は 1400°C です。 細い線材には低温焼鈍(1200°C)、太い線材には高温焼鈍(1600°C)が適しています。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

時間:10-60 秒、過度の穀物の成長を避けるための短いアニーリング時間。

雰囲気:酸化を防ぐための高純度水素(99.999%)または不活性ガス(アルゴンなど)。

設備:連続焼鈍炉または真空焼鈍炉、温度制御精度±3°C。

アニーリングプロセス中、タンクステンワイヤは抵抗加熱または誘導加熱によって加熱され、局所的な過熱を避ける必要があります。

3.2.3.2 粒度が性能に及ぼす影響

粒径は、タンクステンワイヤの機械的強度、延性、および熱電子放出性能に直接影響します。理想的な粒径は 1~5 ミクロンです。

粒子が大きすぎる(>10 ミクロン):引張強度を低下させ、高温クリープを増加させます。

小さすぎる粒子(<1 ミクロン):脆性が増し、延性が低下します。

穀物制御は、ドーピングとアニーリングのプロセスによって達成されます。カリウムドーピングは小さな泡を形成し、粒界の移動を妨げ、細い粒子を維持します。アニーリングの温度と時間を正確に制御することで、二次再結晶を回避します。走査型電子顕微鏡と電子後方散乱回折(EBSD)を使用して、粒子のサイズと配向を分析し、纖維構造の形成を確認します。

3.3 電子線タンクステンフィラメントの形成と加工

成形および機械加工は、タンクステンフィラメントを特定の形状(スパイラルやコーンなど)に加工して、電子銃内のフィラメントの発光性能と機械的安定性を確保するプロセスです。

3.3.1 タンクステンワイヤーの巻線と成形

3.3.1.1 単一らせん、二重らせん、複雑な幾何学的設計

タンクステンフィラメントの形状は、電子ビームの明るさと集束性能に直接影響します。一般的な設計には、次のものがあります。

シングルヘリカルフィラメント:低電力電子銃(小型 SEM など)に適しています。

二重らせんフィラメント:2 つのタンクステンフィラメントを平行に巻いて発光面積を増やし、高輝度アプリケーション(TEM など)に適しています。

複雑な幾何学的設計:テーパースパイラル、マルチセグメントスパイラル、フラットスパイラルなど、高解像度リソグラフィー装置などの特殊電子銃用。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

スパイラル設計では、次のパラメータを考慮する必要があります。

スパイラル径:0.5-2.0mm。

間隔の均一性:排出の均一性を確保します。

らせん角:30-60°、電子ビームの集束特性に影響を与えます。

複雑な幾何学的設計は、コンピューター支援設計(CAD)と有限要素解析(FEA)によって最適化され、熱分布と機械的安定性を確保します。

3.3.1.2 成形装置の自動化と精度

巻線装置は CNC システムを採用し、高精度サーボモーターとレーザー距離計を装備。主なテクノロジーは次のとおりです。

サーボ制御:巻線速度 0.1-10 rpm、精度±0.01 rpm。

レーザー測距:スパイラルの直径とピッチのリアルタイムモニタリング、±1 ミクロンの精度。

張力制御:0.1-5 N、タングステンワイヤーの変形や破損を防ぎます。

自動巻線機は多軸リンクエージをサポートしているため、複雑な幾何学的形状の迅速なプロトタイピングが可能です。最新の機器は、マシンビジョンシステムを統合してスパイラル欠陥(不均一な間隔や表面の引っかき傷など)を検出し、スクラップ率を 0.5%未満に削減します。

3.3.2 表面処理技術

3.3.2.1 化学洗浄と研磨

タングステンワイヤの表面は、放出性能を確保するために、酸化物、油、延伸残留物がないようにする必要があります。化学洗浄プロセスには以下が含まれます。

酸洗い:フッ化水素酸(HF)と硝酸(HNO₃)(比率 1:3)の混合物を使用し、10~30 秒間浸して表面の酸化物を取り除きます。

アルカリ洗浄:水酸化ナトリウム(NaOH)溶液を使用して酸性残留物を中和し、洗浄時間は 5~15 秒です。

超音波洗浄:脱イオン水、周波数 40kHz、時間 1~3 分で実施し、小さな粒子を除去します。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

ページ 20の 79

sales@chinatungsten.com

洗浄後、リン酸(H3PO4)と硫酸(H2SO4)の混合電解質を使用して電解化学研磨を行い、電流密度は 0.1~0.5 A/cm²、研磨時間は 10~20 秒です。研磨後、表面粗さ Ra は 0.05 ミクロン未満に低下し、発光均一性が大幅に向上します。

3.3.2.2 表面コーティング(酸化物コーティングなど)プロセス

表面コーティングは、仕事機能を減らし、排出効率と寿命を向上させます。一般的なコーティングには、酸化イットリウム(Y2O3)、酸化ジルコニウム(ZrO2)、酸化トリウム(ThO2)などがあります。コーティングプロセスには以下が含まれます。

化学気相成長法(CVD):厚さ 0.1-1 ミクロン、均一性±0.01 ミクロンの酸化物コーティングを 600-800°C で蒸着します。

プラズマ溶射:厚いコーティング(1~5 ミクロン)に適しており、高温で強力に接着します。

ゾルゲル法:高精度フィラメントに適したナノスケールのコーティングを生成します。

高温による剥がれを避けるために、コーティングは固めである必要があります。

3.3.3 フィラメントの切断と成形

フィラメント切断は、±5 ミクロンの精度でレーザー切断または EDM 切断を使用します。レーザー切断は、パルスレーザー(波長 1064 nm、出力 10-50 W)、切断速度 0.1-1 mm/s を使用し、熱影響部を回避します。EDM 切断は複雑な形状に適しており、電極ギャップは 10~20 ミクロンに制御されています。

切断後、高精度の固定具と顕微鏡を使用してフィラメントを成形し、フィラメントの形状を調整します。成形装置には、±2 ミクロンの位置決め精度を持つサーボシステムが装備されており、スパイラル形状が設計要件を満たしていることを確認します。

3.4 電子線タンクステンフィラメント製造装置と自動化

生産設備と自動化技術は、フィラメントの一貫性と効率を向上させるための鍵であり、焼結炉、伸線機、巻線機、インテリジェント生産ラインをカバーしています。

3.4.1 主要な生産設備の概要

3.4.1.1 焼結炉

焼結炉は、高温(2800°C)および高真空(10^-5 Pa)の環境をサポートする必要があります。最新の焼結炉は、次の技術を使用しています。

PLC 制御:多段加熱プログラム、温度偏差±3°C。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

雰囲気系:高純度水素またはアルゴン、流量制御精度±0.1L/min。

冷却システム:水冷または空冷、冷却速度 10-50°C /分。

マイクロ波焼結炉は新たなトレンドであり、エネルギー消費量を 30%削減し、焼結時間を 50%短縮します。

3.4.1.2 伸線機

伸線機には、マルチパスダイと自動潤滑システムが装備されています。主なパラメータは次のとおりです。

金型数:20~40、開口縮小率 10~15%。

描画速度:0.5-10 m / s、ワイヤーの破損を避けるために動的に調整されます。

直径測定システム:レーザー直径測定器、精度±0.5 ミクロン。

高速伸線機は、1回の延伸長さが数千メートルの連続生産をサポートします。

3.4.1.3 ラッピングマシン

巻線機は、複雑なスパイラル設計をサポートするために 6 軸 CNC システムを採用しています。主なテクノロジーは次のとおりです。

サーボモーター:速度精度±0.01rpm。

レーザーモニタリング:±1 ミクロンの精度でスパイラル形状をリアルタイムに検出します。

張力制御:0.1-5 N、動的に調整可能。

自動巻線機は、毎分 150~200 本のスパイラルを 0.3%未満のスクラップ率で生成できます。

3.4.2 生産ラインの自動化とインテリジェンス

自動化された生産ラインには、次のテクノロジーが統合されています。

センサー:温度、圧力、線径、その他のパラメータを±0.1%の精度で監視します。

マシンビジョン:99.9%の認識率で表面の欠陥と幾何学的な偏差を検出します。

AI アルゴリズム:生産データの分析、機器の故障の予測、プロセスパラメータの最適化を

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

行います。

インテリジェントな生産ラインは、産業用モノのインターネット(IoT)を介してデバイスを接続し、データは分析のためにリアルタイムでクラウドにアップロードされます。

3.4.3 環境制御とクリーンルームの要件

タングステンフィラメントの製造は、ISO クラス 5(クラス 100)のクリーンルームで行う必要があります。環境パラメータには、次のものが含まれます。

温度:20±1°C、熱膨張が精度に影響を与えるのを避けるため。

湿度:40~60%、静電気の蓄積を防ぎます。

空気清浄度:1 立方メートルあたり 100 0.5 ミクロン粒子未満。

クリーンルームには、粉塵汚染を防ぐための高効率フィルター(HEPA)と陽圧システムが装備されています。空気中の粒子濃度は、ISO 14644-1 規格に準拠していることを確認するために定期的にテストされています。

3.5 電子ビームタングステンフィラメントの品質管理と検査

品質管理は、フィラメントの性能が電子銃の要件を満たしていることを確認するために、オンライン検査、性能テスト、故障分析を含む生産プロセス全体で実行されます。

3.5.1 オンライン検出技術

3.5.1.1 寸法および幾何学的精度検査

寸法検査では、レーザー径ゲージと光学顕微鏡を使用して、タングステン線径、スパイラルピッチ、および幾何学的偏差を測定します。

直径:精度±0.1mm、偏差±1.0mm 未満。

スパイラルピッチ:精度±2.0mm で、放射の均一性を確保します。

幾何学的偏差:3D スキャナーで測定され、偏差は±0.5mm 未満です。

オンライン検出システムは、毎秒 1,000 のデータポイントを収集し、制御システムにリアルタイムのフィードバックを提供し、プロセスパラメータを自動的に調整します。

3.5.1.2 表面欠陥検出

表面の欠陥(亀裂、酸化物残留物、引っかき傷など)は、次の手法で特定されます。

走査型電子顕微鏡(SEM):倍率 1000~10000 倍で、ナノスケールの欠陥を検出します。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

X線非破壊検査:内部の亀裂と細孔の特定、浸透深さ 0.1~1mm。

マシンビジョン:AIアルゴリズムと組み合わせた高解像度カメラで、検出率は 99.8%。

欠陥検出は製品の 100%をカバーし、スクラップ率は 0.2%以下に制御されています。

3.5.2 パフォーマンステスト

3.5.2.1 抵抗および導電率試験

抵抗試験では、4プローブ法を使用して、タングステンワイヤの抵抗率($5.6\mu\Omega \cdot \text{cm}$, 20°C)と温度係数($0.0045 /^\circ\text{C}$)を測定します。テスト条件には、次のものが含まれます。

温度範囲:20-2800°C、実際の作業環境をシミュレートします。

電流精度: $\pm 0.1\mu\text{A}$ 、測定精度を確保。

導電率試験は、高温でのフィラメントの電気的安定性を確認するために真空チャンバー内で行われます。

3.5.2.2 热電子放出性能試験

热電子放出試験は、高真空(10^{-6}Pa)環境で実施され、2000~2800°Cでのフィラメントの放出電流密度を測定します。テスト機器には次のものが含まれます。

真空チャンバー:電子コレクターと電圧源を装備。

温度監視:赤外線温度計、精度 $\pm 5^\circ\text{C}$ 。

電流測定:ピコアンメーター、精度 $\pm 0.1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。

テスト結果はリチャードソン・ダッシュマン方程式に準拠している必要があります、放出電流

密度の目標は $1\sim 5\text{ A}/\text{cm}^2$ です。

3.5.3 故障解析と改善策

故障解析により、フィラメントの破損、蒸発、表面劣化の原因を特定します。一般的な方法は次のとおりです。

SEM およびエネルギー分散型分光計(EDS):フラクチャーの形態と化学組成を分析し、粒界の欠陥や不純物を特定します。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

X線トモグラフィー(CT):内部の亀裂や細孔を±1ミクロンの精度で検出します。

熱重量分析(TGA):高温蒸発速度を測定し、寿命を評価します。

改善には、ドーピング処方の最適化(カリウム含有量の増加など)、焼結温度の調整(50°Cの減少)、表面コーティングの強化が含まれます。



CTIA GROUP LTD 電子ビームタンクスチルメント

第4章 電子ビームタンクスチルメントの製品特性

電子ビームタンクスチルメントは、走査型電子顕微鏡、電子ビーム溶接装置、X線管などの高精度電子機器での性能を直接測定します。この章では、タンクスチルメントの物理的および化学的特性、電気的および熱的特性、微細構造と性能の関係、寿命と信頼性、および CTIA GROUP LTD.が提供する製品安全データシート(MSDS)について詳しく説明します。これらの特性を詳細に解析することで、極限条件下でのタンクスチルメントの挙動とその最適化方向が明らかになります。

4.1 電子ビームタンクスチルメントの物理的および化学的性質

タンクスチルメントは、電子銃のカソード材料としての使用の基礎であり、高温および高真空中での安定性と機能性を決定します。

4.1.1 タンクスチルメントの融点と熱安定性

タンクスチルメントは、自然界に見られる金属の最高融点の1つである非常に高い融点(3422°C)で知られています。この特性により、電子銃の動作温度(通常は 2000~2800°C)で、溶融したり大幅に変形したりすることなく、構造的完全性を維持できます。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

ページ 25の 79

sales@chinatungsten.com

タングステンの高い融点は、原子間に非常に強い金属結合を持つ体心立方体(BCC)結晶構造に由来します。

熱安定性は、タングステンフィラメントのもう一つの重要な利点であり、非常に低い蒸気圧に反映されています。2800°Cでは、タングステンの蒸気圧はわずか 10^{-7} Paであり、これは長時間の高温でも材料の蒸発速度が非常に低いことを意味します。たとえば、2500°Cでは、タングステンフィラメントの質量損失率は約 $0.01 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ であり、これはランタンタングステン(LaB6)などの他のカソード材料よりもはるかに低くなっています。この低蒸発特性により、フィラメント径の細化が抑えられ、真空システム内の汚染を回避しながら耐用年数を延ばします。

熱安定性の別の現れは、タングステンフィラメントの熱衝撃に対する耐性です。電子銃の起動と停止の間、フィラメントは急速な高温と低温のサイクル(室温から 2500°Cまで、最大 100°C/s の加熱速度)を受けます。タングステンの高熱容量($0.13 \text{ J/g}\cdot\text{K}$)と優れた熱伝導率($173 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)により、熱を迅速に分散させ、局所的な過熱と熱ストレスを低減します。ドーピング元素(カリウムなど)は、熱安定性をさらに高め、小さな気泡を形成することで結晶粒の成長を阻害し、高温クリープ速度を低下させます。実際の試験では、カリウムドープタングステンフィラメントは、2600°Cで 5000 時間以上連続して動作し、質量損失は 5%未満であることが示されています。

4.1.2 タングステンフィラメントの抵抗率と温度係数

タングステンフィラメントは、加熱効率と電流安定性に直接影響する電気的性能のコアパラメータです。20°Cでは、タングステンの抵抗率は $5.6 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ であり、温度が上昇すると抵抗率は非線形に増加します。2500°Cでは、抵抗率は $50 \sim 60 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ まで上昇し、約 10 倍に増加します。この変化は、電子散乱に対する温度の影響によるものです。高温では、格子振動が増強され、電子の動きが妨げられます。

タングステンの TCR(抵抗温度係数)は、20~1000°Cの範囲で約 $0.0045 /^{\circ}\text{C}$ であり、抵抗率は温度とともに直線的に増加することを示していますが、より高い温度($>2000^{\circ}\text{C}$ など)では、TCR はわずかに減少します(約 $0.0038 /^{\circ}\text{C}$)、結晶構造のわずかな変化を反映しています。抵抗率の安定性により、フィラメントは動的温度条件下で予測可能な電気的特性を持つことができます。例えば、電子銃では、フィラメントは通常、定電流電源(電流 $0.5 \sim 5 \text{ A}$)によって加熱され、抵抗率が安定して変化するため、加熱電力($50 \sim 200 \text{ W}$)を精密に制御して、過熱や過熱を回避できます。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

ドーピング元素は抵抗率に小さな影響を与えます。例えば、0.01 重量%のアルミニウムを添加すると、アルミニウム原子がタンクステン原子を部分的に置き換えるため、抵抗率を約 5% 低下させ、電子伝導経路を最適化することができます。表面処理(酸化物コーティングなど)は、抵抗率への影響は小さくなりますが、コーティングの分解により、高温での表面抵抗がわずかに増加する可能性があります。実際のアプリケーションでは、フィラメント抵抗は 4 プローブ法によって $\pm 0.1 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ の精度で測定され、バッチ間の一貫性が確保されます。

4.1.3 タングステンフィラメントの抗酸化および防食特性

タンクステンフィラメントは、その表面が残留酸素と反応して酸化物を形成するのが難しいため、高真空環境(10^{-6} Pa)で優れた耐酸化性を示します。一般的な電子銃の動作条件(2500°C 、真空 10^{-7} Pa)では、酸化速度はほぼゼロであり、表面は滑らかで酸化物の蓄積がありません。しかし、理想的でない真空環境(10^{-4} Pa など)や空気中では、タンクステンは高温で酸素と容易に反応し、黄色の揮発性化合物である三酸化タンクステンを形成します。例えば、 1000°C の空気中では、タンクステン表面の酸化速度は約 $0.1 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{min}$ であり、その結果、材料が急速に失われます。

耐食性により、タンクステンフィラメントは、水蒸気、窒素、微量炭化水素などの電子銃内の残留ガスに耐えることができます。高真空下では、これらのガスの分圧は非常に低く($< 10^{-8} \text{ Pa}$)、タンクステンへの影響はごくわずかです。ただし、より低い真空レベル(10^{-5} Pa など)では、水蒸気が表面に微小腐食を引き起こし、酸化物の薄い層を形成し、放出効率を低下させる可能性があります。イットリアや酸化ジルコニウムなどの表面コーティングは、ガス分子の侵入をブロックする保護層を形成することにより、耐食性を大幅に向上させます。テストは、酸化イットリウムコーティングが酸化速度を 60% 減少させ、 10^{-5} Pa の真空下で 2000 時間明らかな劣化を維持できることを示しています。

化学腐食に対するタンクステンフィラメントは、アーク放電生成物に対するそれらの耐性にも反映されています。電子銃では、アーク放電により活性イオン(O^{2+} 、 N^{2+} など)を含むプラズマが生成される場合があります。タンクステンの高い化学的安定性により、その表面はイオン衝撃による損傷を受けにくくなり、長期的な性能が維持されます。

4.1.4 タングステンフィラメントの機械的強度と延性

タンクステンフィラメントは、高温および高応力環境でそれらにとって重要な特性です。室温では、タンクステンは $800 \sim 1000 \text{ MPa}$ の引張強度と約 600 MPa の降伏強度を有する。 2500°C でも引張強度は $300 \sim 500 \text{ MPa}$ にとどまり、ニッケルなどの他のカソード材料($< 100 \text{ MPa}$)よりもはるかに高いです。高強度は、タンクステンの BCC 結晶構造と低欠陥密度に由来し、ドーピング元素はさらに特性を最適化します。たとえば、0.05 重量%のカリウムを添加すると、粒界の強化により引張強度が 20% 向上し、高温変形が減少します。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

延性は、延伸および巻線中のタングステンフィラメントの重要なパラメータです。純粋なタングステンは室温で脆く、破断点伸びはわずか 1~2%ですが、ドーピング(レニウム、0.1~1 重量%など)とアニーリングプロセスにより、破断点伸びを 5~10%に増やすことができます。レニウムドーピングは、転位運動のエネルギー障壁を減らし、塑性変形能力を高めます。アニール(1200-1600°C、水素雰囲気)により、延伸応力がなくなり、均一な纖維状結晶粒構造が形成され、延性がさらに向上します。実際のテストでは、描画中のレニウムドープタングステンワイヤーの破損率は 0.1%未満であり、複雑なスパイラル形成に適していることが示されています。

機械的強度と延性のバランスは、フィラメントの耐振動性にとって重要です。電子銃では、フィラメントは機械的振動(10~100Hz)または熱衝撃を受ける可能性があります。最適化されたタングステンフィラメントは、1000 回の振動試験(振幅 0.5mm)で亀裂がなく、優れた機械的信頼性を示しました。

4.2 電子線タングステンフィラメントの電気的および熱的特性

電気的および熱的特性は、電子銃内のタングステンフィラメントの加熱効率、電子放出性能、および熱管理能力を決定し、その機能の中核です。

4.2.1 タングステンフィラメントの熱電子放出効率

熱電子放出効率は、仕事関数、表面状態、および動作温度によって決定されるカソード材料としてのタングステンフィラメントの主要な指標です。純粋なタングステンの仕事関数は 4.5 eV であり、電子が表面から逃げるために必要なエネルギーが高いことを示しています。2500°C では、タングステンフィラメントの発光電流密度は 1~5 A/cm²で、明るさは約 10⁵~10⁶ A/cm²です。SR は、ほとんどの電子銃アプリケーションに適しています。放出効率は、リチャードソン・ダッシュマン方程式に従います。

$$J = AT^2 e^{-\frac{\phi}{kT}}$$

ここで、(J)は放出電流密度、(A)はリチャードソン定数(約 120 A/cm²·K²)、(T)は絶対温度、(phi)は仕事関数、(k)はボルツマン定数(8.617×10⁻⁵ eV/K)です。この方程式は、排出効率は温度とともに指数関数的に増加するが、高温は蒸発を促進するため、バランスを最適化する必要があることを示しています。

ドーピングと表面コーティングにより、排出効率が大幅に向上します。0.01 wt % のアル

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

ミニウムを追加すると、仕事関数を 4.3 eV に減らし、放出電流密度を 15 ～ 20% 増加させることができます。酸化イットリウム(Y2O3)コーティング(厚さ 0.1-1 ミクロン)は、仕事関数をさらに 4.2 eV に低減し、放出効率を 30% 向上させ、2600°C で 8 A /cm² に達します。表面の清浄度は排出性能に大きな影響を与え、微量の酸化物または炭素汚染は仕事関数を 0.1 ～ 0.2 eV 増加させ、効率を 10% 低下させる可能性があります。化学洗浄(フッ化水素酸+硝酸)と電気化学研磨(Ra < 0.05 ミクロン)により、表面の純度を確保し、発光の均一性を最適化します。

実際のアプリケーションでは、電子コレクターとピコアンペアメーターを備えた真空試験装置によって、±0.1 μA/cm² の精度で放出効率が測定されます。ドープおよびコーティングされたフィラメントは、10⁷ A/cm²・高分解能 SEM の sr は、サブナノメートルイメージングのニーズを満たす。

4.2.2 タングステンフィラメントの動作温度範囲

タングステンフィラメントは、アプリケーションシナリオに応じて 2000 ～ 2800°C です。

低電力デバイス(ブラウン管など)は、2000 ～ 2200°C と 0.1 ～ 1mA の放出電流を使用します。

高輝度デバイス(透過型電子顕微鏡など)は、2600 ～ 2800°C と 5 ～ 10mA の発光電流を使用します。温度選択は、排出効率と寿命のバランスをとる必要があります。温度が 100°C 上昇するごとに、放出電流密度は約 2 倍に増加しますが、蒸発速度は 3 ～ 4 倍に増加し、寿命は 30 ～ 50% 短縮されます。

温度制御は、定電流または定電圧電源を介して実現され、一般的な加熱電力は 50 ～ 200W です。赤外線温度計(精度±5°C)または熱電対は、フィラメントの温度をリアルタイムで監視して、局所的な過熱を回避します。フィラメント形状設計(二重らせんなど)は、熱放散面積を増やし、温度勾配を減らし、熱応力を減らします。例えば、二重らせんフィラメントの温度均一性は、単一らせんの温度均一性よりも 20% 高く、局所的なホットスポットは 50% 減少します。

極端な条件(核融合装置など)では、フィラメントが一時的に 3000°C を超えることがあります。その場合、性能を維持するために特別なドーピング(レニウムなど)またはコーティング(酸化ジルコニウムなど)が必要になります。試験では、レニウムドープフィラメントは 2900°C で 100 時間動作し、質量損失は 10% 未満であることが示されています。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

1. Overview of Electron Beam Tungsten Filaments

The electron beam tungsten filament is a high-performance thermionic cathode component specifically designed for electron beam (EB) equipment. Made from high-purity tungsten material, it features an ultra-high melting point, excellent thermionic emission capability, and long service life, allowing stable operation in high-vacuum environments. It is widely used in fields such as electron beam welding, electron beam evaporation coating, scanning electron microscopy (SEM), and X-ray tubes.

2. Features of Electron Beam Tungsten Filaments

Ultra-High Heat Resistance: Stable operation under high-temperature and high-vacuum conditions for extended periods.

Excellent Thermionic Emission Performance: Provides efficient electron emission under low power consumption

High-Purity Material: W ≥ 99.95% reduces contamination during electron emission and ensuring stable device operation.

Long Service Life: Resistant to creep, evaporation, and high-temperature oxidation.

Precision Manufacturing: Strict dimensional accuracy control ensures a stable electron beam.

Multiple Structure Options: Tailored to different electronic gun equipment requirements.

3. Some Types of Electron Beam Tungsten Filaments

| Mosquito Coil | Pull-type | U-shaped |
|---|---|--|
|  |  |  |
| Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm |
| U-shaped with Folding Tails | Half Moon | Hook type |
|  |  |  |
| Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm |

4. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

4.2.3 タングステンフィラメントの熱膨張と熱疲労性能

タングステンの熱膨張係数は $4.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (20-1000°C)であり、これは金属の中では比較的低く、高温での変形が少ないことを示しています。2500°C では、熱膨張係数は $5.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ にわずかに増加しますが、それでも優れた寸法安定性を維持します。熱膨張が低いため、ホットサイクルとコールドサイクル中のフィラメントの機械的ストレスが軽減され、電子銃の頻繁な起動とシャットダウンに特に適しています。例えば、フィラメントの長さは、20°C から 2500°C に上昇しても 1.1%しか変化せず、スパイラル形状への影響はごくわずかです。

熱疲労性能は、加熱と冷却の繰り返しサイクルにおけるフィラメントの耐久性を反映しています。1000 ホットコールドサイクルテスト(20-2500°C、昇温速度 100°C / s)では、カリウムドープタングステンフィラメントの亀裂発生率は 1%未満であり、純粋なタングステン(亀裂率 5%)よりもはるかに優れています。熱疲労の改善は、次の要因によるものです。

粒構造の最適化:微細な粒子(1~5 ミクロン)は、粒界を通じて応力を分散させ、亀裂の伝播を減らします。

ドーピング強化:カリウムバブルとレニウムドーピングは、粒界強度を高め、微小亀裂の形成を抑制します。

表面処理:研磨とコーティングにより、表面応力の集中を減らし、疲労の起点を減らします。

熱疲労試験では、高温サイクル炉と走査型電子顕微鏡(SEM)を使用して亀裂の形態を解析し、有限要素シミュレーションと組み合わせて応力分布を予測し、フィラメント設計を最適化します。

4.2.4 タングステンフィラメントのアーク安定性

アーク安定性とは、高電圧(5~20 kV)での異常放電(アーク破壊など)を回避するフィラメントの能力を指し、これは電子銃ビームの品質の鍵です。アーク放電は、表面の欠陥、残留ガス、または電界の不均一性によって引き起こされ、電子ビームのジッターや機器の損傷を引き起こす可能性があります。タングステンフィラメントの高い化学的安定性と表面仕上げ($\text{Ra} < 0.05 \text{ ミクロン}$)により、アーク放電のリスクが大幅に低減されます。

真空度は、アークの安定性の重要な要素です。 10^{-7} Pa では、残留ガス分圧は非常に低く、アーク発生の確率は 0.01%未満です。より低い真空度(10^{-5} Pa など)では、水蒸気または酸素が微小放電を引き起こす可能性があります。表面コーティング(酸化ジルコニウムなど)は、絶縁耐力を高めることにより、放電のリスクを 50%低減します。フィラメントの形状設計も安定性に影響します。二重らせんフィラメントは、均一な電界分布によりアーク発生率を 30%減少させます。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

アーク安定性試験は、10~20 kV の電圧を印加し、放電電流を監視した高真空チャンバーで実施されました(<1μA は許容できると考えられていました)。試験結果によると、表面処理を最適化したフィラメントは、アーク放電なしで 15kV で 1000 時間連続運転でき、高精度電子銃の要件を満たすことができました。

4.3 電子線タンクステンフィラメントの微細構造と性能の関係

タンクステンフィラメントの微細構造は、粒状構造、ドーピング元素の分布、表面形態など、その機械的、電気的、発光特性に直接影響します。

4.3.1 粒状の構造と向き

タンクステンフィラメントは通常、平均サイズが 1~5 ミクロンの微細な等軸結晶です。延伸および焼鈍プロセスは、軸方向に沿って纖維状構造を形成し、結晶粒配向は主に<110>方向に、70~80%を占めます。纖維状構造は、電子伝導経路を最適化し、抵抗率を 5%低減しながら、粒界を強化する(15~20%増加)ことにより引張強度を向上させます。電子線後方散乱回折(EBSD)分析では、<110>配向粒子は高温でのクリープ率が低く、フィラメントの寿命が 30%延長されることが示されています。

粒度は性能に大きく影響します。粒子が大きすぎる(>10 ミクロン)と、機械的強度が低下し、高温変形が増加します。粒径が小さすぎる(<1 ミクロン)と粒界密度が増加し、脆性の原因となります。理想的なサイズ(2~4 ミクロン)は、ドーピングとアニーリングによって制御され、例えば、カリウムドーピングは小さな泡を形成し、粒界の移動を妨げ、均一な粒を維持します。SEM および透過型電子顕微鏡(TEM)の観察により、最適化された結晶粒構造を持つフィラメントは、引張強度が 400 MPa、2500°C での破断点伸びが 8%であることが示されています。

4.3.2 微細構造に及ぼすドーピング元素の影響

ドーピング元素(カリウム、アルミニウム、レニウムなど)は、結晶粒の成長と表面の電子構造を変えることにより、フィラメントの性能を最適化します。

カリウム(K、0.01-0.05 重量%):焼結中に直径 0.1~0.5μm の気泡を形成し、粒界に分布して粒の成長を妨げ、粒径を 2~3μm に保ちます。カリウム気泡はまた、粒界強度を高め、高温亀裂を減らし、耐用年数を 20~40%延長します。

アルミニウム(Al、0.005-0.02 wt %):{100}水晶面の露出を促進し、仕事関数を 0.2 eV 減少

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

させ、放出電流密度を 15%増加させます。格子内のアルミニウム原子の均一な分布(TEM-EDS による検証)により、電子伝導性が最適化されます。

レニウム(Re、0.1-1 重量%):格子可塑性を改善し、転位密度を減らし、延性を 10%向上させます。また、レニウムは高温の再結晶を阻害し、纖維構造を維持します。

ドーピング要素の分布は、パフォーマンスの不均一につながる局所的な濃縮を避けるために均一である必要があります。エネルギー分散型分光法(EDS)分析は、タンクステンドーピングが粒界欠陥を 30%減少させ、粒配向の一貫性を 20%改善し、機械的特性と発光特性を大幅に向上させることを示しています。

4.3.3 表面形態と発光性能

粗さ、結晶面の露出、微視的欠陥などの表面形態は、熱電子放出の均一性と効率に直接影響します。理想的な表面粗さ $Ra < 0.05$ ミクロンは、電気化学研磨によって達成され、局所的な電界集中を減らし、放射の一貫性を 10%向上させます。原子間力顕微鏡(AFM)分析によると、研磨面の山から谷までの高さは < 10 nm であり、これは未処理の表面(50~100 nm)よりもはるかに低いことを示しています。

結晶面の露出は、発光性能にとって重要です。 $\{100\}$ ファセットは、仕事関数が低い(4.3 eV)ため、 $\{110\}$ ファセット(4.6 eV)よりも電子の脱出に適しています。アルミニウムと表面コーティング(酸化イットリウムなど)をドーピングすると、 $\{100\}$ ファセットの割合が 20%増加し、放出電流密度が 15%向上します。酸化イットリウムコーティング(厚さ 0.1-1 ミクロン)は、ナノスケールの結晶構造を形成することにより表面の電子状態を最適化し、仕事関数をさらに 4.2 eV に低減します。

表面の欠陥(傷や酸化物残留物など)は、局所的な過熱やアーク放電を引き起こし、放出効率を低下させる可能性があります。化学洗浄とプラズマ処理により欠陥が除去され、表面の清浄度は 99.9% に達し、排出の均一性を確保します。実際のテストでは、2600°C で表面形態を最適化したフィラメントの発光電流密度偏差は 1%未満であり、高分解能電子銃の要件を満たしていることが示されています。

4.4 電子銃タンクステンフィラメントの寿命と信頼性

電子銃タンクステンフィラメントの寿命と信頼性は、高精度装置(走査型電子顕微鏡、X 線管、電子ビーム露光装置など)での応用性能を決定する重要な指標です。タンクステンフィラメントの寿命は通常 500~2000 時間で、作業条件、材料特性、製造プロセス、環境要因など、多くの要因の影響を受けます。このセクションでは、フィラメントの寿命に影響を与える要因、主な故障モードとその解析方法、およびフィラメント設計の最適化と耐用年数の延長のための技術サポートを提供する信頼性試験の標準化されたプロセスについて詳しく説明します。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

4.4.1 フィラメントの寿命に影響を与える要因

タングステンフィラメントの寿命は、複数の内部要因と外部要因の組み合わせによって影響を受けます。以下は主な要因とその作用機序です。

使用温度

機能: タングステンフィラメントは通常 2500-2800°C で動作します。高温はタングステン原子の蒸発を促進し、その結果、直径が薄くなり、抵抗が増加します。

技術的な詳細: 2700°C では、蒸発速度は約 0.01~0.05 mg /cm² · h であり、直径の薄化速度

は 0.1~0.5 μm / h です。例えば、走査型電子顕微鏡(SEM)では、フィラメント径を 0.2 mm から 0.15 mm に細くすると、発光電流密度が 20% 減少し、寿命が 500 時間に短縮されます。温度が 100°C 上昇するごとに、蒸発速度は約 4 倍に増加し、寿命は 50% 減少します。

最適化戦略: カリウム(0.01-0.05 wt%)をドープして穀物の成長を抑制し、蒸発速度を 30% 減少させます。表面コーティング(酸化ジルコニウム、厚さ 0.5~1 ミクロンなど)は、蒸発速度を 50% 減少させ、寿命を 1500 時間に延長します。

真空環境

アクション: 残留ガス(酸素や窒素など)が表面の酸化またはアーク放電を引き起こし、フィラメントの劣化を促進します。

技術的な詳細: 10^{-5} Pa の真空下では、酸素分圧 > 0.01 Pa は三酸化タンクステン(WO₃)、www.tungsten-oxide.com)の形成につながり、仕事関数を 0.1~0.2 eV 増加させ、放出効率を 15% 低下させます。アーク放電(発生率 0.01%)は、フィラメントの破損や電極の損傷を引き起こす可能性があります。例えば、X 線管では、 10^{-7} Pa で真空度が不足すると、フィラメントの寿命は 2000 時間から 1000 時間に短縮されます。

最適化戦略: ターボ分子ポンプ(排気速度 500-2000 L/s)を備えた高真空システム(10^{-8} Pa)を使用して、酸化速度を 80% 削減します。高温ベーリング(400°C、24 時間)により、残留ガスが除去され、寿命が 25% 延長されます。

熱サイクルと熱応力

アクション: 電子銃のホットサイクルとコールドサイクル(20-2700°C、昇温速度 100°C / s)は熱応力を誘発し、粒界に微小な亀裂を引き起こします。

技術的な詳細: 1000 回の熱サイクル後、純粋なタンクステンフィラメントの亀裂率は 5% に達し、引張強度は 10% 減少しました(800 MPa から 720 MPa)。透過型電子顕微鏡(TEM)では、熱応力によりビームが 0.5 nm シフトし、分解能に影響が出ました。レニウム(0.1-1 wt%)をドーピングすると延性が向上し、亀裂率は 1% に低下しました。

最適化戦略: フィラメントの形状の最適化(二重らせん、放出面積を 30% 増加させるなど)により、熱応力が分散され、亀裂率が 20% 減少します。低速加熱(50°C/s)により、応力の蓄積が減少し、寿命が 15% 延長されます。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright © 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

ページ 34 の 79

sales@chinatungsten.com

現在の負荷

効果:高い放出電流(10~100mA など)は、フィラメントの熱負荷を増加させ、蒸発と機械的疲労を促進します。

技術的な詳細:電子ビーム溶接(EBW)では、100mA の電流によりフィラメント温度が局所的に 50°C 上昇し、蒸発速度が 2 倍に増加し、寿命が 1000 時間から 600 時間に短縮されます。電流の変動が>1%になると熱不均一性が発生し、破損率が 10%増加します。

最適化戦略:定電流電源(精度±0.1mA)を使用して電流の安定性を制御すると、破損率が 50% 減少します。マルチセグメントスパイラルフィラメントは、セグメント化されたエミッションを通じて局所的な過熱を減らし、寿命を 20%延長します。

製造上の欠陥

影響:表面の欠陥(傷、介在物、Ra>0.05 ミクロンなど)または内部の細孔は、局所的な過熱と破損を引き起こします。

技術的な詳細: 表面の引っかき傷は、電流密度に 5%の偏差を引き起こし、EBL では>1nm のパターン偏差を引き起こします。内部の細孔(直径>1 ミクロン)は引張強度を 15%低下させ、破損率は 2%に達します。例えば、SEM フィラメントの寿命は、表面の酸化物の蓄積により 1500 時間から 800 時間に短縮されます。

最適化戦略:電気化学研磨(Ra<0.05 ミクロン)により、表面欠陥が排除され、発光均一性が 15%向上します。X 線トモグラフィー(分解能 0.1 ミクロン)により、内部の欠陥を検出し、スクラップ率を 0.3%に低減します。

ドーピングとコーティングの品質

機能:ドーピングエレメントとコーティングの不均一性は、熱安定性と放出効率に影響を与えます。

技術的な詳細:カリウムドーピング(0.01~0.05 wt%)を>5%の偏差で行うと、粒径が不均一になり(2~10 ミクロン)、熱安定性が 10%低下します。剥離率>1%のイットリアコーティング(厚さ 0.1~1 ミクロン)は、タンクステン基板を露出させ、酸化速度を 50%増加させます。TEM では、コーティング欠陥により輝度が 20%低下します(10^7 から 8×10^6 A/cm² · sr)。

最適化戦略:粉末冶金はドーピングの均一性を確保し(偏差<1%)、化学蒸着(CVD)はコーティングの厚さの偏差を<5%制御し、寿命を 30%延長します。

4.4.2 故障モード解析(蒸発、破壊など)

タンクステンフィラメントの故障モードには、主に蒸発、破壊、表面劣化、アーク放電が含まれ、それぞれが寿命と性能に大きな影響を与えます。以下は詳細な分析です。

蒸発

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

定義:タンクステン原子は高温で表面から逃げるため、フィラメントの直径が薄くなり、性能が低下します。

メカニズム:2700°C では、蒸発速度は 0.01~0.05 mg /cm²·h、直径は 0.1~0.5μm / h 薄くなり、抵抗は 20%増加し、放出電流密度は 30%減少します。例えば、SEM では、フィラメントが直径<0.15mm まで蒸発した後、輝度が 10⁶ から 5×10^5 A/cm² · sr に低下し、イメージング品質が低下します。

影響要因:動作温度(>2600°C)、真空(>10⁻⁷ Pa)、表面粗さ(Ra>0.05 ミクロン)。

分析方法:走査型電子顕微鏡(SEM)で径変化を観察(精度±0.1 ミクロン)、熱重量分析(TGA)、精度±0.01mg)で蒸発速度を測定。

最適化対策:アルミドーピング(0.005-0.02wt%)は蒸発率を 30%減少させ、酸化ジルコニウムコーティング(厚さ 0.5 ミクロン)は蒸発速度を 50%減少させます。インテリジェント監視システム(赤外線温度測定、精度±2°C)は、リアルタイムで温度を調整し、寿命を 20%延長します。

骨折

定義:熱応力または機械的疲労によって引き起こされるフィラメントの脆性または延性破壊。

メカニズム:熱サイクル(20-2700°C、1000 回)により、粒界にマイクロクラック(長さ 1-10 ミクロン)が誘発され、引張強度が 15%低下します。大電流(>10mA)は局所的な過熱を引き起こし、フラクチャー率を 10%増加させます。例えば、EBW では、フィラメントの破損により溶接が中断し、>4 時間のダウントIMEが発生します。

影響要因:粒径(>5 ミクロン)、熱応力(>100MPa)、表面欠陥(引っかき深さ>1 ミクロン)。

解析方法:亀裂の原因(粒界または表面)を特定するための破壊解析(SEM、倍率 1000 倍)、結晶粒配向を解析するための電子後方散乱回折(EBSD)(<110>が 80%を占めています)。

最適化対策:レニウムドーピング(0.1-1 wt%)により延性が 20%向上し、二重らせん設計により応力が分散され、破壊率が 30%減少します。低速加熱(50°C/s)により、熱衝撃が低減され、寿命が 15%延長されます。

表面劣化

定義:酸化、汚染物質の蓄積、またはコーティングの剥離によって引き起こされる表面性能の低下。

メカニズム:10⁻⁵ Pa では、酸素が WO₃ 形成(厚さ 0.1-1 ミクロン)を引き起こし、仕事関数が 0.2 eV 増加し、放出効率が 15%低下します。コーティングの剥離(>1%)は、タンクステン基板を露出させ、酸化速度を 50%増加させます。例えば、X 線管では、表面の劣化によりイメージングの解像度が 0.8mm に低下します。

影響要因:真空間(>10⁻⁷ Pa)、コーティング品質(均一性偏差>5%)、残留ガス(O₂>0.01 Pa)。

分析方法:X 線光電子分光法(XPS、精度±0.1at%)で表面の化学組成を分析し、原子間力顕微鏡(AFM、精度±1nm)で粗さ(Ra<0.05μms)を測定します。

最適化対策:高真空間(10⁻⁸Pa)は酸化速度を 80%低減し、原子層堆積(ALD)コーティング(厚さ 10-50nm)は密着性を向上させ、剥離率を 0.5%に低減します。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

アーク放電

定義: 残留ガスまたは表面欠陥によって引き起こされた異常な放電により、フィラメントの損傷または破損が発生します。

メカニズム: 10^{-6} Pa では、アーク発生率は 0.01% であり、局所温度は $>3000^{\circ}\text{C}$ 上昇し、溶融または破壊を引き起こします。たとえば、TEM では、アーク放電によってビームが 1 nm シフトし、分解能が 0.3 nm に低下します。

影響要因: 真空度($>10^{-7}$ Pa)、表面粗さ($\text{Ra}>0.05$ ミクロン)、電極間隔(偏差 >0.01 mm)。

解析方法: 高周波オシロスコープ(サンプリングレート 1GHz)でアーク波形を記録し、質量分析計(精度 ± 0.01 ppm)で残留ガスを解析します。

最適化対策: 精密な電極設計(スペーシング公差 ± 0.01 mm)によりアークリスクを 50% 低減し、高温ベーキング(400°C 、24 時間)によりガスを除去し、入射率を 0 に低下させます。

最適化対策: 精密な電極設計(間隔公差 ± 0.01 mm)によりアークリスクが 50% 減少し、高温ベーキング(400°C 、24 時間)によりガスが除去され、発生率が 0.001% に低下します。

4.4.3 信頼性試験方法

信頼性試験は、タンクステンフィラメントの寿命、性能、安定性、および故障リスクを標準化された方法で評価し、実際のアプリケーションでの信頼性を確保します。主なテスト方法は次のとおりです。

加速寿命試験

定義: 高温および高電流条件下での長期動作をシミュレートして、フィラメントの寿命を予測します。

方法: 2700°C 、 10^{-7} Pa 真空チャンバーで 1000 時間、放出電流 10-100mA で運転し、電流密度減衰(目標 $<5\%$)を記録します。直径(SEM、精度 ± 0.1 ミクロン)と抵抗(4 プローブ法、 $\pm 0.1\mu\Omega \cdot \text{cm}$)を 100 時間ごとに測定します。

アプリケーションシナリオ SEM フィラメント試験では、加速寿命試験では、GB/T 15065 規格を満たす 1500 時間の寿命と $0.02 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ の蒸発速度が予測されます。

技術的な詳細: 電流を測定するにはピコ電流計(精度 $\pm 0.1\mu\text{A}$)を使用し、温度を監視するには赤外線温度計($\pm 5^{\circ}\text{C}$)を使用します。データをワイブル分布に当てはめ、故障時間(誤差 $<5\%$)を予測します。

最適化: 自動テストプラットフォーム(応答時間 <1 秒)により、効率が 50% 向上し、バッチの一貫性が $>99\%$ 向上します。

サーマルサイクル試験

定義: 热サイクルとコールドサイクル($20-2700^{\circ}\text{C}$ 、1000 回)をシミュレートして、熱応力と機械的安定性を評価します。

方法: 加熱速度 $100^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 、 20°C への冷却、サイクルタイム 10 分。ひび割れ(SEM、倍率 1000 倍)、引張強度(万能試験機、 $\pm 0.1\text{MPa}$)を検出します。

アプリケーションシナリオ: TEM フィラメント試験では、熱サイクル試験により、レニウ

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

ムドープフィラメントの亀裂率は<1%であり、引張強度は 400MPa にとどまることが示されています。

技術的な詳細:EBSD は粒径の配向(<110>が 80%を占める)の解析に使用され、破壊解析は亀裂の原因(粒界または表面)を特定します。このテストは、ISO11539 規格に準拠しています。

最適化:低速加熱(50°C/s)によりクラック率が 20%減少し、自動記録システム(精度±0.1%)によりデータの信頼性が向上します。

排出安定性試験

定義:長期運転中の電流変動と輝度減衰を測定します。

方法:2600°C、 10^{-8} Pa で 500 時間、放射電流 1~10μA、記録的な変動(目標<0.5%)で運転。ピコアンメーター($\pm 0.01\mu\text{A}$)と輝度計($10^5\text{--}10^8\text{A/cm}^2 \cdot \text{sr}$)を使用してください。

アプリケーションシナリオ:EBL フィラメント試験では、安定性試験では、0.1%の電流変動と<3%の輝度減衰が示され、7nm ノードチップ製造の要件を満たしています。

技術的な詳細:電流はフィードバック制御システムによって調整され(応答時間<1ms)、データは正規分布($\sigma<1\%$)に準拠します。このテストは、DIN EN 60695 規格に準拠しています。

最適化:AI アルゴリズム(精度>95%)は、変動傾向を予測し、電源パラメータを調整し、安定性を 10%向上させます。

抗酸化試験

定義:微量酸素環境でのフィラメントの表面安定性を評価します。

方法:酸素分圧 0.01Pa で 10^{-5} Pa、2600°C、1000 時間、酸化物層の厚さ(XPS、 ± 0.1 nm)を測定します。

アプリケーションシナリオ:X 線管フィラメント試験において、イットリア被覆フィラメント酸化物層の厚さ<0.1 ミクロン、仕事関数変化<0.1eV。

技術的な詳細:酸化物形態(WO₃ 粒子<100 nm)の SEM 観察、質量損失(± 0.01 mg)の TGA 測定。テストは ISO6848 に準拠しています。

最適化:高真空(10^{-8} Pa)は酸化速度を 80%減少させ、ALD コーティング(厚さ 10 nm)は耐酸化性を 50%向上させます。

故障モード解析

定義:複数の技術的手段を通じて、故障の原因を特定し、改善策を提案する。

方法:SEM(破壊分析)、XPS(表面化学)、EBSD(結晶粒構造)、TGA(蒸発速度)を組み合わせて、蒸発、破壊、表面劣化、アーク放電を分析します。

アプリケーションシナリオ:EBW フィラメントテストでは、分析によると、故障の 80%は表面の酸化によって引き起こされ、コーティングプロセスを改善すると寿命が 40%延長されます。

技術的な詳細: データは FMECA (Failure Mode, Effects and Hazard Analysis) モデルに統合され、リスク優先度 (RPN) は <100 です。分析レポートは ISO9001 の要件を満たしています。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

ます。

最適化:機械学習(精度>95%)が故障モードを予測し、ドーピング(レニウム 0.1wt%)とコーティング(ジルコニア 0.5 ミクロン)を最適化し、スクラップ率を 0.2% に低減します。

信頼性試験は、実際のアプリケーションでのフィラメントの安定性を保証します。テストデータは、ISO 9001 および GB / T 9383 規格に従って 5 年間記録する必要があります。将来的には、マルチパラメータ統合テストプラットフォームの開発(コストを現在の 50% に削減)し、効率を 30% 向上させる必要があります。

4.5 CTIA GROUP LTD の電子銳タンクスチルメントの MSDS

製品安全データシート(MSDS)は、GB/T 16483 および OSHA の要件に準拠した、電子銳タンクスチルメントの安全な使用、保管、廃棄に関する標準化された情報を提供します。以下は、製造、輸送、使用中の安全コンプライアンスを確保するための詳細です。

パート I: 製品名

英語名: 電子ビームタンクスチルメント

CAS 番号: 7440-33-7

パート II: 成分/組成情報

内容量 ≥ 99.95%

総不純物含有量 ≤ 0.05%

パート III: ハザードの概要

健康被害: この製品は目や皮膚に刺激を与えません。

爆発の危険性: この製品は不燃性で刺激性がありません。

パート IV: 応急処置

皮膚に付着した部分: 汚染された衣服を脱ぎ、大量の流水ですすいでください。

アイコンタクト: まぶたを持ち上げ、流水または生理食塩水ですすいでください。医師の診察を受けてください。

吸入: シーンを新鮮な空気に任せます。呼吸が困難な場合は、酸素を与えてください。医師の診察を受けてください。

摂取: 温かい水をたくさん飲み、嘔吐を誘発します。医師の診察を受けてください。

第 5 部 消防対策

有害な燃焼生成物: 自然分解生成物は不明です。

消火方法: 消防士はガスマスクと全身消防服を着用し、風上方向の消火活動を行う必要があります。消火剤: 乾燥した革の粉、砂、土。

パート VI: 漏れの緊急治療

緊急治療: 漏れた汚染エリアを隔離し、出入りを制限します。火源を遮断します。緊急時対応要員は、防塵マスク(フルフェイスマスク)と抗毒性服の着用をお勧めします。ほこり

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

がかかるないように、慎重に掃き、袋に入れて安全な場所に移してください。漏れが多い場合は、プラスチックシートまたはキャンバスで覆ってください。回収してリサイクルするか、廃棄物処理場に運んで処分します。

パートVII:操作、廃棄、保管

操作上の注意:オペレーターは特別なトレーニングを受け、操作手順を厳守する必要があります。オペレーターは、自吸式フィルター防塵マスク、化学安全保護メガネ、抗毒性浸透作業服、ゴム手袋を着用することをお勧めします。火気や熱源に近づかず、職場での喫煙は固く禁じられています。防爆換気システムと機器を使用してください。ほこりの発生を避けてください。酸化剤やハロゲンとの接触を避けてください。輸送中は、梱包やコンテナの損傷を防ぐために、静かに積み降ろしてください。対応する種類と量の消防用設備と漏洩救急用救急医療設備を装備します。空の容器には有害物質が残っている可能性があります。

保管上の注意:涼しく換気の良い倉庫に保管してください。火気や熱源から遠ざけてください。酸化剤やハロゲンとは別に保管し、混合してはいけません。対応する種類と量の消防設備を装備します。保管場所には、漏れを封じ込めるための適切な材料を装備する必要があります。

パートVIII:連絡先制御/個人保護

中国 MAC(mg / m³):6

旧ソビエト連邦 MAC(mg / m³):6

TLVTN:ACGIH 1mg / m³

TLVWN:ACGIH 3mg / m³

モニタリング方法:チオシアノ酸カリウム-塩化チタン分光光度法

エンジニアリング制御:生産プロセスはほこりがなく、完全に換気されています。

呼吸器系の保護:空気中の粉塵濃度が基準を超える場合は、自吸式フィルター防塵マスクを着用する必要があります。緊急時に救助して避難するときは、空気呼吸器を着用する必要があります。

目の保護具:化学安全メガネを着用してください。

身体保護:有毒物質の侵入を防ぐ作業服を着用してください。

手の保護具:ゴム手袋を着用してください。

パートIX:物理的および化学的性質

主な成分:ピュア

外観と特性:ソリッド、メタリックブライトホワイト

融点(°C):N / A

沸点(°C):N / A

相対密度(水=1):13~18.5(20°C)

蒸気密度(空気=1):データなし

飽和蒸気圧(kPa):データなし

燃焼熱(kJ / mol):データなし

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

臨界温度(°C):データなし
臨界圧力(MPa):データなし
水分配係数の対数:データなし
引火点(°C):データなし
発火温度(°C):データなし
爆発限界上限%(V / V):データなし
爆発下限%(V / V):データなし
溶解性:硝酸およびフッ化水素酸に可溶

パート X: 安定性と反応性
禁止されている非互換性: 強酸および強塩基

パート XI:

急性毒性:データなし
LC50:データなし

パート XII: 生態情報
この部分のデータはありません

パート XIII: 廃棄物処理

廃棄物の特性: 廃棄物の処理方法: 处分する前に、関連する国および地域の規制を参照してください。可能であればリサイクルしてください。

パート XIV: 交通情報

包装カテゴリ: Z01

輸送上の注意: 梱包は完全で、出荷時には積み込みがしっかりとされている必要があります。輸送中は、コンテナが漏れたり、倒れたり、損傷したりしないようにしてください。酸化剤、ハロゲン、食用化学薬品などと混合して輸送することは固く禁じられています。輸送中は、日光、雨、高温にさらされないように保護する必要があります。輸送後、車両は徹底的に清掃する必要があります。

パート XV: サプライヤー情報

サプライヤー: CTIA GROUP LTD
電話番号: 0592-5129696/5129595

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn



CTIA GROUP LTD 電子ビームタングステンフィラメント

第5章 電子銃におけるタングステンフィラメントの目的と応用

電子銃のタングステンフィラメントは、科学研究、工業製造、医療機器、および新興技術で広く使用されています。高融点、低蒸気圧、高発光効率など、電子銃の基幹部品として、ナノスケールのイメージングから高精度な加工まで、さまざまな用途を牽引しています。この章では、電子銃、真空電子デバイス、産業および科学技術アリケーション、および新興分野でのタングステンフィラメントの具体的な使用について詳しく説明し、それらの性能要件、技術的課題、および最適化の方向性を分析します。

5.1 電子銃への応用

電子銃は、タングステンフィラメントを使用して高エネルギーの電子ビームを生成するもので、顕微鏡、加工装置、半導体製造などに広く利用されています。このセクションでは、走査型電子顕微鏡(SEM)、透過型電子顕微鏡(TEM)、電子ビームの溶接と切断、および電子ビームリソグラフィーにおけるタングステンフィラメントの主要な役割について説明します。

5.1.1 走査型電子顕微鏡(SEM)

走査型電子顕微鏡(SEM)は、タングステンフィラメントによって生成された電子ビームを使用してサンプルの表面をスキャンし、二次電子、反射電子、または特性X線を検出することにより高解像度の画像を形成します。材料科学、生物学、半導体分析で広く使用されています。SEMの分解能は通常1~5 nmで、被写界深度が大きいため、複雑な3次元構造の観察に適しています。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

SEM のタングステンフィラメントは、高輝度で安定した電子ビームを提供することです。典型的な労働条件は次のとおりです。

放射電流:1~10 μ A、イメージングの安定性を確保するために、変動を 1%未満に保つ必要があります。

明るさ:10⁵~10⁶ A/cm²·sr は、解像度と信号強度に影響します。

動作温度:2500~2700°C、排出効率と寿命のバランス。

真密度:10⁻⁷ Pa、酸化とアーク放電を防ぎます。

タングステンフィラメントは、SEM の解像度とイメージング品質に直接影響します。たとえば、高分解能モードでは、フィラメントはビーム幅が狭い(<5 nm)電子ビームを提供する必要があり、カリウムドーピング(0.01~0.05 wt %)は、粒子構造を最適化することにより、発光均一性を 15%向上させることができます。表面コーティング(酸化イットリウムなど、厚さ 0.1~1 ミクロン)は仕事関数を減少させ(4.5 eV から 4.2 eV)、輝度を 20%増加させます。これは、半導体ウェーハの欠陥や生体サンプルの超微細構造などのナノスケールの特徴を観察するのに適しています。

フィラメントの寿命は、SEM の運用コストの重要な要素です。標準的なタングステンフィラメントの寿命は 500~2000 時間で、ドーピングとコーティングを最適化することで 3000 時間に延長できます。例えば、二重らせんフィラメントは放出面積を増やすことで、局所的な過熱を減らし、寿命を 30%延ばします。実際のアプリケーションでは、フィラメント交換サイクルは機器のダウンタイムに影響を与えますが、自動フィラメントアライメントシステム(精度±1 ミクロン)により、メンテナンス時間を 50%短縮できます。技術的な課題には、次のようなものがあります。

エミッション安定性:電流変動(>1%)により画像ノイズが発生するため、定電流電源(精度±0.1mA)と高真空環境が必要です。

寿命とコスト:フィラメントを頻繁に交換すると、運用コストが増加し、長寿命のフィラメントを開発する必要があります(目標 5,000 時間)。

小型化:ポータブル SEM では、高輝度を維持しながらフィラメント径を 0.05~0.1mm に縮小する必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

ページ 43の 79

sales@chinatungsten.com

最適化戦略には、ナノスケールの表面処理(プラズマ研磨、 $Ra < 0.02$ ミクロンなど)とインテリジェントモニタリングシステム(電流と温度のリアルタイム検出)の使用が含まれ、スクラップ率を 0.5%未満に減らし、イメージング品質を 10%向上させます。

5.1.2 透過型電子顕微鏡(TEM)

透過型電子顕微鏡(TEM)は、高エネルギーの電子ビームを用いて薄い試料を透過し、原子レベルの分解能(0.1-0.2 nm)の画像を生成します。結晶構造解析、ナノマテリアルの特性評価、生体分子イメージングに広く使用されています。TEM は、SEM よりもタングステンフィラメントの性能要件が高く、より高い輝度と狭いビーム幅が必要です。

TEM のタングステンフィラメントには以下が含まれます。

放出電流: 10-50 μ A、原子レベルの分解能を確保するために必要な変動は 0.5%未満です。

明るさ: 10^7 - 10^8 A/cm²·SR では、高解像度のイメージングをサポートするためには、高い発光効率が必要です。

動作温度: 2600-2800°C、長期運転を維持するためには高い熱安定性が必要です。

真空度: 10^{-8} Pa、電子ビームの散乱とフィラメントの酸化を防ぎます。

タングステンフィラメントは TEM 分解能の鍵です。例えば、高分解能 TEM(HRTEM)では、フィラメントはビーム幅<0.5nm の電子ビームを提供する必要があります。アルミニウム(0.005-0.02 重量%)と酸化イットリウムコーティングをドーピングすると、輝度が 30% 増加し、仕事関数が 4.2 eV に減少し、サブオングストロームイメージングの要件を満たします。二重らせんまたはテーパーフィラメントは、電界分布を最適化することによりビームの集束を改善し、ビーム幅の偏差を 20% 減少させます。

フィラメントの寿命は、交換コスト(真空システムのメンテナンスを含む)が高いため、TEM にとって特に重要です。最適化されたフィラメントの寿命は 2600°C で 800-1500 時間で、レニウムドープ(0.1-1 wt %)フィラメントは 2000 時間に達することができ、延性を高めることで機械的破壊を減らします。表面研磨($Ra < 0.05$ ミクロン)と高真空間環境(10^{-8} Pa)により、蒸発率が 50% 減少し、寿命が 25% 延長されます。

技術的な課題には、次のようなものがあります。

高輝度要件: TEM には 10^8 A/cm²·SR の明るさは、純粋なタングステンフィラメントでは満たすのが困難です。新しいコーティングまたは複合材料が必要です。

熱ドリフト: フィラメントの温度変動(>5°C)はビームドリフトを引き起こし、正確な温度制御(± 2 °C)が必要です。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

長寿命:高い動作温度は蒸発を促進し、高温耐性コーティング(酸化ジルコニウムなど)を開発する必要があります。

最適化戦略には、ナノ構造タングステンフィラメント(粒径<100nm)を使用して発光効率を20%向上させることや、AI モニタリングシステムを統合してフィラメントの寿命を予測し、予期しない故障を 50%削減することが含まれます。

5.1.3 電子ビームの溶接と切断

電子ビーム溶接 (EBBW) および切断は、タングステンフィラメントによって生成された高エネルギー電子ビーム(10~100kW)を使用して材料を溶融または気化し、高精度に加工します。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。EBW は深い溶接(深さと幅の比率>20:1)を形成でき、切断精度は±0.01mm です。

EBW および切断のタングステンフィラメントには、次のものが含まれます。

放出電流:10-100 mA、大電流は高出力をサポートします。

加速電圧:50-150 kV、高エネルギー電子ビームを発生。

動作温度:2600-2800°C、高熱負荷に耐える必要があります。

真空中度:10^-5 Pa、わずかな残留ガスが許容されます。

フィラメントは、高出力で安定した電子ビームを提供する必要があります。例えば、EBW では、フィラメントは 60kW の電子ビームを発生させ、チタン合金(50mm 厚)を溶接する場合、溶接幅は<1mm、熱影響部は<0.5mm です。カリウムドープフィラメントは、粒子の成長を阻害することで熱安定性を向上させ、寿命は 1000 時間です。表面コーティング(酸化ジルコニウムなど)は、仕事関数を減らし、放出電流密度を 20%増加させ、高出力をサポートします。

切断用途では、フィラメントは狭いビーム幅(<0.1 mm)の電子ビームを提供する必要があります。ステンレス(厚さ 10mm)を切断する場合、切断平滑度 Ra は<0.1 ミクロンです。二重らせんフィラメントは、ビームの安定性を向上させるために発光面積を増やし、電流変動は<1%です。高真空中度(10^-5Pa)により、ビーム散乱を低減し、処理精度を確保します。

技術的な課題には、次のようなものがあります。

高い電力安定性:電流変動(>2%)により溶接部が不均一になり、定電流電源(精度±0.5mA)が必要になります。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

フィラメントの寿命:大電流は蒸発を促進し、長寿命のフィラメント(目標 2000 時間)が必要です。

残留ガス: 10^{-5} Pa の酸素は酸化を引き起こし、表面保護コーティングが必要になる場合があります。

最適化戦略には、複合タンクスチルフィラメント(タンクスチル-酸化イットリウムなど)を使用して放射効率を 30%向上させることや、リアルタイムビーム電流監視システム(精度 $\pm 0.1\mu\text{A}$)を使用して処理の一貫性を確保することが含まれます。

5.1.4 電子ビームリソグラフィー

電子ビームリソグラフィー(EBL)は、タンクスチルフィラメントによって生成された電子ビームを使用して、ナノスケールのパターンを直接描画し、半導体デバイス、マスク、ナノ構造を製造します。分解能は $<10\text{nm}$ に達することができ、チップの研究開発や量子デバイス製造に広く使用されています。

EBL のタンクスチルフィラメントには、以下のものがあります。

放射電流: $1\text{-}10\text{nA}$ 、非常に高い安定性が必要(変動 $<0.1\%$)。

明るさ: $10^7\text{-}10^8\text{ A/cm}^2\cdot\text{sr}$ 、ナノスケールのフォーカシングをサポートします。

動作温度: $2500\text{-}2700^\circ\text{C}$ 、バランスの取れた排出ガスと寿命。

真空間: 10^{-8} Pa 、ビーム散乱を防ぐため。

フィラメントの発光一貫性は EBL の鍵です。例えば、7nm のノードチップを製造する場合、フィラメントはビーム幅が $<5\text{nm}$ の電子ビームを提供する必要があります。アルミニウムと酸化イットリウムコーティングをドーピングすると、輝度が 25%増加し、 $\pm 1\text{nm}$ のパターン精度が保証されます。二重らせんフィラメントは、電界分布を最適化することでビームの安定性を向上させ、電流偏差は $<0.05\%$ です。フィラメントの寿命は 500 時間以上である必要があります。EBL 装置のメンテナンスコストが高いため、レニウムドープフィラメントは 1,000 時間に達することがあり、蒸発率は 40%減少します。

技術的な課題には、次のようなものがあります。

超高安定性:電流変動($>0.1\%$)によりパターン歪みが発生し、超精密な電源(精度 $\pm 0.01\text{nA}$)が必要です。

長寿命:高輝度への要求により、フィラメントの損失が加速し、新しい材料(ナノ構造タンクスチルなど)が必要になります。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

ビームフォーカシング:ナノスケールのパターンにはサブナノメートルのビーム幅が必要であり、そのためには最適化されたフィラメント形状と電極設計が必要です。

最適化戦略には、輝度を 30%向上させるためのフィールドアシスト発光コーティング(トリアなど)の使用や、リアルタイムのキャリブレーションを確保するための統合ビームファイードバックシステム(応答時間<1 ミリ秒)が含まれます。

5.2 真空電子デバイス

真空電子デバイスは、タングステンフィラメントを使用して電子電流を生成し、マイクロ波、X 線、およびディスプレイ技術を駆動します。このセクションでは、マイクロ波管、X 線管、ブラウン管でのアプリケーションについて説明します。

5.2.1 マイクロ波管(マグネットロンや進行波管など)

マイクロ波管は、タングステンフィラメントを使用して電子の流れを生成し、磁場または電界の作用下で高周波の電磁波を生成します。レーダー、衛星通信、マイクロ波加熱に広く使用されています。マグネットロンは電子レンジや軍用レーダーで使用され、進行波管(TWT)は高周波通信で使用されます。

マイクロ波管内のタングステンフィラメントには、次のものが含まれます。

放出電流:1~10 mA、信号品質を確保するために安定性<1%が必要です。

動作温度:2400-2600°C、バランスの取れた排出ガスと寿命。

真空度:10⁻⁶ Pa、アーク放電と酸化を防ぎます。

出力:マグネットロン 1-10 kW、TWT10-100 W。

マグネットロンでは、フィラメントは 5mA の電子電流を供給し、1kW の電力で 2.45GHz のマイクロ波を生成します。カリウムをドープしたフィラメントは、熱安定性を向上させることで寿命を 5,000 時間に延ばし、家庭用電子レンジに適しています。進行波管には、フィラメント電流の変動が<0.5%と、より高い安定性が必要です。アルミニウムと酸化イットリウムコーティングをドーピングすると、放射効率が 20%向上し、10GHz の高周波信号をサポートします。

技術的な課題には、次のようなものがあります。

高い安定性:電流変動(>1%)は信号の歪みを引き起こし、高精度の電源(精度±0.1mA)が必要です。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

長寿命:高出力は蒸発を促進し、高温耐性コーティングが必要です。

小型化:衛星 TWT では、高放射を維持するために<フィラメント径を 0.1mm にする必要があります。

最適化戦略には、ナノスケールの粒子フィラメント(粒子<100 nm)を使用して発光効率を 15%向上させ、真空包装技術(10^{-7} Pa)を使用して寿命を 30%延長することが含まれます。

5.2.2 X 線管

X 線管は、タンクステンフィラメントを使用して電子ビームを生成し、電子ビームが金属ターゲット(タンクステンやモリブデンなど)に衝突して X 線を生成します。これらは、医用画像(CT、X 線装置)および産業用非破壊検査で広く使用されています。

X 線管内のタンクステンフィラメントには、次のものが含まれます。

放射電流:1-10 mA、高強度 X 線をサポートします。

加速電圧:30-150 kV、X 線エネルギーを決定します。

動作温度:2500-2700°C、高い熱安定性が必要です。

真空度: 10^{-7} Pa、酸化とアーク放電を防ぎます。

フィラメントは、高い放射効率と長寿命を提供する必要があります。例えば、CT スキャンでは、フィラメントは 5mA の電子電流を生成し、120kV の X 線を生成し、<0.5mm の画像分解能を有する。カリウムドープフィラメントの寿命は 1000~3000 時間で、表面コーティング(酸化ジルコニアなど)により発光電流密度が 20%増加し、ハイスループットイメージングをサポートします。二重らせんフィラメントは、放出面積を増やすことで局所的な過熱を減らし、寿命を 25%延ばします。

技術的な課題には、次のようなものがあります。

高強度の要件:高線量の X 線には大電流(>10mA)が必要であり、フィラメントの損失が加速します。

熱管理:フィラメントとターゲットの間の距離が小さく(<10mm)、効率的な熱放散が必要です。

ライフタイムコスト:フィラメントの頻繁な交換は、医療機器のメンテナンスコストを増加させます。

最適化戦略には、複合タンクステンフィラメント(タンクステン-酸化イットリウムなど)

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

を使用して放出効率を 30%向上させ、統合冷却システム(水冷、流量 0.5 L / min)を使用してフィラメント温度を 50°C 低下させることができます。

5.2.3 ブラウン管(CRT)

ブラウン管(CRT)は、タングステンフィラメントを使用して電子ビームを生成し、蛍光スクリーンに衝突して画像を生成します。これらは、従来のディスプレイ、産業用監視、および航空計器で使用されています。LCD と OLED は徐々に CRT に取って代わっていますが、特定の領域(高信頼性ディスプレイなど)ではまだ使用されています。

CRT のタングステンフィラメントには、次のものが含まれます。

放射電流:0.1-1 mA、低電流は表示機能をサポートします。

動作温度:2000-2200°C、低温は耐用年数を延ばします。

真空度:10⁻⁶ Pa、蛍光スクリーンの汚染を防ぎます。

加速電圧:10-30 kV、明るい画像を生成します。

フィラメントは、安定した低電力の電子の流れを提供する必要があります。たとえば、航空ディスプレイでは、フィラメントは 0.5mA の電子の流れを生成し、高コントラストの画像を生成し、寿命は 5,000~10,000 時間です。カリウムドープフィラメントは、仕事関数を減らすことにより、放出効率を 15%向上させます。シングルヘリックスフィラメントは、構造がシンプルで低コストであるため、大規模生産に適しています。

技術的な課題には、次のようなものがあります。

長寿命: CRT は超長寿命(>10,000 時間)が必要であり、高温蒸発がボトルネックです。

低消費電力:ディスプレイには、低加熱電力(<50 W)と最適化されたフィラメント形状が必要です。

環境適応性:航空用 CRT は、振動(10~100Hz)や温度変化(-40~70°C)に耐える必要があります。

最適化戦略には、低ワーク機能コーティング(酸化トリウムなど)を使用して動作温度を 100°C 下げたり、防振設計(フィラメント固定精度±1 ミクロン)を使用して信頼性を 20%向上させたりすることが含まれます。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

1. Overview of Electron Beam Tungsten Filaments

The electron beam tungsten filament is a high-performance thermionic cathode component specifically designed for electron beam (EB) equipment. Made from high-purity tungsten material, it features an ultra-high melting point, excellent thermionic emission capability, and long service life, allowing stable operation in high-vacuum environments. It is widely used in fields such as electron beam welding, electron beam evaporation coating, scanning electron microscopy (SEM), and X-ray tubes.

2. Features of Electron Beam Tungsten Filaments

Ultra-High Heat Resistance: Stable operation under high-temperature and high-vacuum conditions for extended periods.

Excellent Thermionic Emission Performance: Provides efficient electron emission under low power consumption

High-Purity Material: W ≥ 99.95% reduces contamination during electron emission and ensuring stable device operation.

Long Service Life: Resistant to creep, evaporation, and high-temperature oxidation.

Precision Manufacturing: Strict dimensional accuracy control ensures a stable electron beam.

Multiple Structure Options: Tailored to different electronic gun equipment requirements.

3. Some Types of Electron Beam Tungsten Filaments

| Mosquito Coil | Pull-type | U-shaped |
|---|---|--|
|  |  |  |
| Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm |
| U-shaped with Folding Tails | Half Moon | Hook type |
|  |  |  |
| Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm |

4. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

5.3 その他の産業および科学的研究アプリケーション

タングステンフィラメントは、薄膜形成、イオン源、質量分析計、核融合実験装置に重要な用途があり、工業生産や最先端の科学的研究をサポートしています。

5.3.1 薄膜蒸着(物理蒸着など)

物理蒸着(PVD)は、タングステンフィラメントを使用して電子ビームを生成して材料を蒸発させたり、スパッタリングして薄膜(厚さ 0.1~10 ミクロン)を堆積させたりして、光学コーティング、半導体製造、および耐摩耗性コーティングの用途に使用します。

PVD のタングステンフィラメントには、次のものが含まれます。

放出電流:1-10 mA、材料の蒸発をサポートします。

動作温度:2500-2700°C、高い熱安定性が必要です。

真空度:10⁻⁶ Pa、フィルムの汚染を防ぎます。

出力:1-10 kW、蒸発源を駆動します。

フィラメントは、安定した高エネルギー電子ビームを提供する必要があります。例えば、光学コーティングでは、フィラメントは 5mA の電子電流を生成し、二酸化ケイ素(SiO₂)を蒸発させ、厚さ 0.5 ミクロン、均一性±1%の反射防止膜を成膜します。アルミニウムドープフィラメントは発光効率を 20%向上させ、二重らせんフィラメントは電流変動を<1%に低減し、フィルム品質を確保します。

技術的な課題には、次のようなものがあります。

薄膜の均一性:ビーム電流が不均一になると厚さがずれ、フィラメントの形状を最適化する必要があります。

長寿命:高出力は蒸発を促進し、高温耐性コーティングが必要です。

材料の適合性:蒸発材料が異なれば、ビームパラメータの調整が必要です。

最適化戦略には、マルチセグメントスパイラルフィラメントを使用してビームの均一性を 15%向上させることや、リアルタイムビーム制御システム(精度±0.1μA)を使用して蒸着の一貫性を確保することが含まれます。

5.3.2 イオン源および質量分析計

イオン源は、タングステンフィラメントを使用して電子の流れを生成し、ガス分子をイオン化してイオンビームを形成し、質量分析、イオン注入、表面分析に使用されます。質量

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

分析計は、10^-6 Da の分解能で化学分析に使用されます。

イオン源のタングステンフィラメントには、次のものが含まれます。

放射電流:0.1-1mA、高い安定性が必要(変動<0.1%)。

動作温度:2400-2600°C、バランスの取れた排出ガスと寿命。

真空度:10^-7 Pa、イオンビーム散乱を防ぐため。

イオン化効率:>10%、高感度分析をサポートします。

フィラメントは、安定した低電力の電子の流れを提供する必要があります。例えば、質量分析計では、フィラメントは 0.5mA の電子の流れを生成し、ヘリウムをイオン化して 10^6cps のイオン信号を生成します。カリウムドープフィラメントの寿命は 2000 時間で、表面研磨($R_a < 0.05$ ミクロン)により電流変動が 50%減少し、分析精度が向上します。

技術的な課題には、次のようなものがあります。

超高安定性:電流変動(>0.1%)により分解能が低下し、高精度の電源が必要になります。

長寿命:フィラメントの頻繁な交換は、分析効率に影響します。

小型化:ポータブル質量分析計には、直径 0.1mm<小さなフィラメントが必要です。

最適化戦略には、電界放出アシストコーティングを使用して放射効率を 20%向上させることや、安定性を確保するための統合電流フィードバックシステム(応答時間<1 ミリ秒)などがあります。

5.3.3 核融合実験装置

核融合実験装置(トカマクや慣性閉じ込め核融合など)は、タングステンフィラメントを使用して高エネルギーの電子の流れを生成し、プラズマまたは診断システムを駆動し、高温プラズマの振る舞いを研究します。

核融合装置のタングステンフィラメントには、次のものが含まれます。

放出電流:10-100 mA、高出力プラズマをサポートします。

動作温度:2700-3000°C、非常に高い熱安定性が必要です。

真空度:10^-8 Pa、汚染を防ぎます。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

耐放射線性:中性子やガンマ線に耐性があります。

フィラメントは極端な条件に耐える必要があります。例えば、トカマクでは、フィラメントは 50mA の電子電流を発生させ、1keV のプラズマを駆動し、1000 時間動作します。レニウムをドープしたフィラメントは延性を高めることで熱衝撃に耐え、酸化ジルコニウムコーティングは蒸発率を 50% 減少させ、高温運転を可能にします。

技術的な課題には、次のようなものがあります。

過酷な環境:高温(>3000°C)と放射線により、フィラメントの劣化が加速します。

ハイパワー:大電流(>100mA)には高い伝送効率が必要です。

長寿命:このデバイスはメンテナンスコストが高く、超長寿命のフィラメント(>5000 時間)が必要です。

最適化戦略には、タングステンベースの複合材料(タングステン-タングステンカーバイドなど)を使用して耐放射線性を 30% 向上させ、真空シール技術(10^{-9} Pa)を使用して寿命を 40% 延長することが含まれます。

5.4 新たなアプリケーション分野

タングステンフィラメントは、3D プリンティング、宇宙推進、ナノテクノロジーなどの新興分野で大きな可能性を示しており、技術革新を推進しています。

5.4.1 3D プリンティングにおける電子ビームの融解

電子ビーム溶融(EBM)は、タングステンフィラメントを使用して高エネルギー電子ビーム(50~100kW)を生成し、金属粉末を溶解し、 ± 0.1 mm の精度で複雑な部品を製造します。航空宇宙および医療用インプラントに広く使用されています。

EBM のタングステンフィラメントには以下が含まれます。

放出電流:10-50 mA、高出力溶融をサポートします。

加速電圧:60-100 kV、高エネルギービームを発生。

動作温度:2600-2800°C、高い熱安定性が必要です。

真空度: 10^{-5} Pa、わずかなほこりが許容されます。

フィラメントは、高出力で安定した電子ビームを提供する必要があります。たとえば、チタン合金の航空部品を製造する場合、フィラメントは 30mA の電子流を生成し、粉末を溶

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

かして 0.05mm の層厚を形成し、表面粗さ $Ra < 5$ ミクロンを形成します。カリウムドープ フィラメントの寿命は最大 1000 時間で、二重らせんフィラメントはビームの安定性を 20% 向上させます。

技術的な課題には、次のようなものがあります。

高い電力安定性:電流の変動(>2%)により、層の厚さが不均一になります。

粉塵汚染:金属粉がフィラメントを汚染し、保護コーティングが必要になる場合があります。

長寿命:高出力は蒸発を促進し、高温耐性のある材料を必要とします。

最適化戦略には、酸化トリウムコーティングを使用して発光効率を 30% 向上させることや、ビームスキャンシステム(精度 ± 0.1 mm)を使用して溶融均一性を確保することが含まれます。

5.4.2 宇宙推進システムにおける電子源

タングステンフィラメントは、イオンスラスターやホール効果スラスターの電子源として使用され、推進剤(キセノンなど)をイオン化して推力を発生させ、衛星や深宇宙探査で使用されます。

宇宙推進におけるタングステンフィラメントには、以下のものがあります。

放出電流:1~10 mA、効率的なイオン化をサポートします。

動作温度:2500-2700°C、長寿命が必要です。

真空度: 10^{-8} Pa、宇宙真空に耐えることができます。

耐放射線性:宇宙線や太陽風に耐性があります。

フィラメントは、電子の安定した流れを提供する必要があります。例えば、イオンスラスターでは、フィラメントは 5mA の電子を生成し、キセノンガスをイオン化して 0.1N の推力を生成し、寿命は数年です。レニウムドープフィラメントは延性を高めることで振動(10-100Hz)に耐え、酸化イットリウムコーティングは寿命を 50% 延ばします。

技術的な課題には、次のようなものがあります。

超長寿命:宇宙ミッションには>10,000 時間の寿命が必要です。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

ページ 54 の 79

sales@chinatungsten.com

環境適応性:-100~100°C および放射線に耐える必要があります。

低消費電力:スラスターは低発熱電力(<100W)を必要とします。

最適化戦略には、電界放出アシストフィラメントを使用して動作温度を 100°C 下げたり、酸化ジルコニウムなどの耐放射線コーティングを使用して信頼性を 30% 向上させたりする必要があります。

5.4.3 ナノテクノロジーとマイクロ・ナノ加工

タンクステンフィラメントは、電子ビーム誘起堆積法(EBID)およびナリソグラフィーで電子ビームを生成し、センサー、量子デバイス、および MEMS のアプリケーション用のナノスケール構造を 1~5nm の分解能で作製します。

マイクロナノ加工におけるタンクステンフィラメントには、次のものが含まれます。

放射電流:0.1-1nA、超高安定性が必要(変動<0.05%)。

明るさ:10⁸ A/cm²·SR は、ナノスケールフォーカシングをサポートします。

動作温度:2500-2700°C、長寿命が必要です。

真空度:10⁻⁸ Pa、ビーム散乱を防ぐため。

フィラメントは、非常に狭いビーム幅の電子ビームを提供する必要があります。例えば、EBID では、フィラメントは 0.5nA の電子電流を生成し、±0.5nm の精度でカーボンナノワイヤ(直径<5nm)を堆積させます。フィラメントにアルミニウムと酸化トリウムコーティングをドープすると、明るさが 30%、寿命が 500 時間向上します。

技術的な課題には、次のようなものがあります。

超高分解能:<1nm のビーム幅が必要であり、フィラメントの形状を最適化する必要があります。

安定性:電流変動(>0.05%)は構造上の欠陥につながります。

小型化:微細加工装置には、直径 0.05mm<小さなフィラメントが必要です。

最適化戦略には、発光効率を 20% 向上させるためのナノ構造タンクステンフィラメントの使用と、処理精度を確保するためのビームキャリブレーションシステム(精度±0.01nA)

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

が含まれます。



CTIA GROUP LTD 電子ビームタングステンフィラメント

第6章 電子ビームフィラメントの技術的課題と今後の展開

電子ビームタングステンフィラメントは、高精度のイメージング、処理、科学的研究において重要な役割を果たします。しかし、アプリケーションの需要の増加に伴い、タングステンフィラメントは、寿命、効率、小型化、環境適応性の点で技術的な課題に直面しています。同時に、新素材、インテリジェント技術、グリーン製造は、タングステンフィラメントの開発に新たな機会を提供します。この章では、現在の技術的課題、新素材と新技術、インテリジェントでグリーンな製造、および将来の開発動向について詳しく説明します。また、高性能電子銃や新興分野でのタングステンフィラメントの可能性に期待しています。

6.1 電子ビームタングステンフィラメントの現在の技術的課題

電子銃のタングステンフィラメントは、デバイスの解像度、安定性、および運用コストに直接影響します。このセクションでは、フィラメントの寿命、排出効率、小型化、高精度の要件に関する主な技術的課題を分析します。

6.1.1 フィラメントの寿命を延ばす

タングステンフィラメント(500-2000 時間)は、特に高輝度アプリケーション(透過型電子顕微鏡、TEM)では、フィラメントが 2600-2800°C で長時間動作する必要があり、蒸発や機械的劣化を引き起こす電子銃の動作効率とコストを制限する重要な要素です。主な課題は次のとおりです。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

高温蒸発:2700°C では、タングステンの蒸発速度は約 0.01~0.05mg /cm² · h であり、フィラメントの直径が薄くなり(0.1~0.5μm / h)、抵抗が増加し、放出効率が 30%低下します。例えば、SEM では、フィラメント径を 0.2mm から 0.15mm に小さくすると、発光電流密度が 20%減少し、イメージング品質が大幅に低下します。

熱疲労:電子銃の高温・低温サイクル(20-2700°C、昇温速度 100°C/s)により熱応力が生じ、粒界に微小亀裂が生じやすくなります。テストでは、1,000 サイクル後、純粋なタングステンフィラメントの亀裂率は 5%に達し、カリウムドープフィラメントの亀裂率は 1%に減少することが示されていますが、それでも超長寿命(>5,000 時間)の要件を満たすには不十分です。

表面劣化:10^-5 Pa の真空下では、残留酸素が表面酸化を引き起こして三酸化タングステンを形成し、仕事関数が 0.1~0.2 eV 低下し、放出効率が 15%低下します。酸化物の蓄積は、アーク放電を引き起こし、電子銃を損傷する可能性もあります。

コストとメンテナンス:フィラメントを頻繁に交換すると、機器のダウンタイムとメンテナンスコストが増加します。例えば、TEM フィラメントの交換には 4~8 時間かかり、真空システムのメンテナンスが必要で、1 回で最大数千ドルの費用がかかります。

応答戦略には、高温耐性コーティング(酸化ジルコニウム、厚さ 0.5-1 ミクロンなど)を使用して蒸発速度を 50%削減すること、レニウム(0.1-1 wt %)をドーピングして延性を改善し、亀裂を 30%削減すること、真空システム(10^-8 Pa)を最適化して酸化を最小限に抑えることが含まれます。目標は、フィラメントの寿命を 5000 時間に延長し、メンテナンス頻度を 50%削減することです。

6.1.2 伝送効率の向上

放出効率は、電子ビームの明るさとビーム品質を決定し、電子銃の分解能と処理精度に直接影響します。純粋なタングステンフィラメント(4.5 eV)の仕事関数は比較的高く、放出電流密度(1~5 A /cm²)を制限します。主な課題は次のとおりです。

高い仕事関数:2600°C では、タングステンフィラメントの放出電流密度はわずか 3~5 A /cm² であり、TEM(10 ^ 8 A /cm² · sr が必要)または電子ビームリソグラフィー(EBL、10 nA の安定した電流が必要)の要件を満たすことは困難です。アルミニウム(0.005-0.02 wt %)をドーピングすると、仕事関数を 4.3 eV に減らし、放出効率を 15%向上させることができます。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

ページ 57 の 79

sales@chinatungsten.com

ますが、電界放出カソード(仕事関数<3 eV)と競争するにはまだ十分ではありません。発光均一性:表面欠陥(引っかき傷、酸化物、 $R_a > 0.05$ ミクロンなど)は、不均一な局所電界と最大 5%の電流密度偏差を引き起こし、SEM イメージング品質または EBL パターン精度に影響を与えます。電気化学研磨は、表面粗さを 0.02 ミクロンに減らすことができますが、コストが高く、プロセスが複雑です。

電流安定性:フィラメントの温度変動($>5^\circ\text{C}$)または電流ジッター($>1\%$)は、ビーム電流の偏差を引き起こし、分解能を低下させます。例えば、EBL では、0.1%の電流変動がパターン偏差 $>1\text{nm}$ を生むため、超精密な電源(精度 $\pm 0.01\text{nA}$)が必要です。

高温要件:排出効率を向上させるには、より高い動作温度($>2800^\circ\text{C}$)が必要ですが、蒸発が加速され、寿命が 50%短縮されます。例えば、 2600°C から 2800°C に温度が上昇すると、放出電流密度は 2 倍になりますが、蒸発速度は 4 倍になります。

その戦略には、放出効率を 30%向上させるための低仕事関数コーティング(酸化トリウム、仕事関数 4.1 eV など)の開発、放出均一性を 20%向上させるための粒子構造(サイズ 2~4 ミクロン)の最適化、電流安定性を確保するためのビームフィードバックシステムの統合(応答時間 <1 ミリ秒)が含まれます。目標は、放射電流密度を 10 A/cm^2 に、輝度を 10^8 A/cm^2 に増やすことです。SR の。

6.1.3 小型化と高精度の要求

ポータブルデバイス(ハンドヘルド SEM など)やナノファブリケーション(EBID など)の台頭により、フィラメントの小型化(直径 $0.1\text{mm} <$)と高精度の要件を満たす必要があります。主な課題は次のとおりです。

小型化製造:フィラメントの直径を 0.2mm から 0.05mm に縮小するため、超精密な延伸・巻線加工(公差 ± 1 ミクロン)が要求されます。小さなフィラメントの粒子制御はより困難であり、粒子サイズ >5 ミクロンは脆性破壊を起こしやすく、破壊率は 10%です。カリウムドーピングは穀物(2~3 ミクロン)を最適化できますが、コストは 20%増加します。

高精度ビーム:ナノ加工には $<1\text{ nm}$ のビーム幅が必要であり、フィラメントは $10^8 \text{ A/cm}^2 \cdot \text{SR}$ の明るさと 0.05%の電流安定性。マイクロフィラメントの発光面積は小さく、電流密度偏差は簡単に 5%に達する可能性があるため、形状(テーパーフィラメントなど)と電界分布を最適化する必要があります。

熱管理:マイクロフィラメントの放熱面積が小さく、局所的な過熱のリスクが 50%増加し、温度勾配が 100°C/mm に達するため、熱ドリフトとビーム偏差が生じる可能性があります。例えば、EBID では、 5°C の温度変動によりビームの偏差が 0.5nm となり、処理精度が低下します。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

機械的安定性:マイクロフィラメントは、振動環境(10~100Hz)で変位(>1 ミクロン)しやすく、ビームフォーカシングに影響を与えます。航空機器や携帯機器では、±0.5 ミクロンのフィラメント固定精度が求められており、新しい支持構造が必要です。

その戦略には、ナノスケールの描画プロセス(公差±0.5 ミクロン)による製造精度の向上、熱管理を改善し温度勾配を 30%低減するための高熱伝導性コーティング(炭化タングステンなど)の開発、電界均一性を最適化するための微小電極(ピッチ<0.1mm)の集積化などがあります。目標は、フィラメントの直径を 0.05mm に縮小し、ビーム幅を 0.5nm 以内に制御することです。

6.2 電子線タングステンフィラメントの新材料・新技術

上記の課題に対処するために、新しい材料と技術(タングステンベースの複合材料、ナノ構造タングステンフィラメント、代替カソード材料など)は、フィラメントの性能を向上させるための新しい道筋を提供します。

6.2.1 タングステンベースの複合材料

タングステンベースの複合材料は、強化相または機能コーティングを添加することにより、フィラメントの熱安定性、発光効率、および機械的特性を改善します。主な開発の方向性は次のとおりです。

タングステン - レニウム合金:0.1-5 重量%のレニウムを添加すると、延性が 10%向上し、高温クリープ率が 30%減少し、寿命が 40%延長されます。レニウム原子は、格子の可塑性を最適化し、熱疲労亀裂を低減します。例えば、タングステン - レニウムフィラメント(www.tungsten-rhenium.com)は、2800°C で 3000 時間の寿命と蒸発速度の 20%減少を有する。

酸化タングステン複合材料:酸化イットリウム(Y2O3、0.5-2 重量%)または酸化ジルコニア(ZrO2、0.1-1 重量%)をドーピングすると、ナノスケールの分散相が形成され、結晶粒の成長が阻害され、結晶粒径が 2~3 ミクロンに維持され、引張強度が 15%増加します。また、この酸化物は仕事関数を 4.2 eV に低減し、放出電流密度を 25%増加させるため、高輝度 TEM に適しています。

炭化タングステン複合材料:炭化タングステン(WC、0.1-0.5 wt %)を添加すると、表面硬度が増加し(HV 2000)、耐摩耗性が 50%向上し、高出力電子ビーム溶接に適しています。炭化タングステン層(厚さ 0.1 ミクロン)も耐酸化性を向上させ、酸化速度を 60%減少させます。

製造技術:粉末冶金とプラズマ溶射を使用して、ドーピング元素の均一な分布を確保するための複合フィラメントを調製します(偏差<1%)。レーザー焼結は、ナノスケールの強化

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

相を形成し、粒界強度を 20% 向上させることができます。

課題には、複合材料の高コスト(純粋なタンクステンよりも 30~50%高い)と複雑な処理(高温焼結、>2000°C)が含まれます。将来的には、化学気相成長法(CVD)などの低コストの調製技術を最適化し、コストを 20%削減する必要があります。

6.2.2 ナノ構造タンクステンフィラメント

ナノ構造のタンクステンフィラメントは、粒径(<100nm)と表面形態を制御することで性能を向上させ、特に小型化や高精度のアプリケーションに適しています。主なテクノロジは次のとおりです。

ナノ結晶タンクステン: 粒径は 50-100nm に縮小され、粒界密度は 50%増加し、引張強度は 20%(1200MPa まで)増加し、延性は 10%増加します。ナノ結晶構造により、粒界の摺動により熱応力が分散し、熱疲労亀裂が 40%減少します。例えば、2700°C でのナノ結晶フィラメントの寿命は 2500 時間です。

ナノスケール表面工学: プラズマエッティングと原子層堆積(ALD)を使用してナノスケールのテクスチャ($R_a < 0.01$ マイクロメートル)を形成し、露出した{100}結晶面の割合を 30%増加させ、仕事関数を 4.3 eV に減少させ、発光電流密度を 25%増加させます。ナノコーティング(厚さ 10~50nm の酸化トリウムなど)は、仕事関数をさらに 4.1eV に減少させ、明るさは 10^8 A/cm²に達します。SR の。

微細加工: 電気化学堆積とレーザー微細加工により、直径 0.05mm、公差±0.5 ミクロンのフィラメントを製造。ナノスケールの描画プロセスにより、粒子の配向を制御し(<110>が 80%を占め)、発光均一性が 15%向上します。

熱管理: ナノ構造は比表面積を増加させ、熱伝導率を 10%(190 W / m · K まで)向上させ、温度勾配を 30%減少させ、マイクロフィラメントに適しています。

課題には、ナノ構造調製の高コスト(従来のフィラメントよりも 50%高い)や安定性の問題(粒子が高温で成長する可能性がある)などがあります。将来的には、ナノ構造を安定に保つために、低温焼結技術(<1500°C)と自己修復コーティングを開発する必要があります。

6.2.3 代替カソード材料(カーボンナノチューブ、電界放出型カソードなど)

タンクステンフィラメントの性能のボトルネックを打破するために、代替カソード材料(カーボンナノチューブや電界放出カソードなど)が研究のホットスポットになっています。主な指示は次のとおりです。

カーボンナノチューブ(CNT): CNT は、仕事関数が低く(2.5-3 eV)、電流密度が高い(>10⁹

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

A/cm²)ため、高温動作が不要(<500°C)、寿命は最大 10,000 時間です。CNT カソードは EBL で<1nm のビーム幅を提供し、ナノ加工に適しています。しかし、CNT は機械的安定性が低く、振動環境(10-100Hz)で破損しやすいため、複合基板(シリコンなど)による支持が必要です。

電界放出型カソード(FEC):先端の放電原理に基づいて、FEC(タングステン針や酸化ジルコニウムタングステンなど)は 10 ^ 9 A /cm²を提供します。室温での sr 輝度、仕事関数 2.9 eV、電流安定性 0.01%。FEC は高分解能 TEM で 0.1nm の分解能を達成しますが、非常に高い真空間(10^-10 Pa)を必要とし、タングステンフィラメントの 10 倍のコストがかかります。

グラフェンや MoS₂ などの二次元材料は、仕事関数が低く(3-3.5 eV)、化学的安定性が高いため、マイクロカソードに適しています。グラフェンカソードは、イオン源で 0.1mA の安定した電流を供給し、寿命は 5000 時間ですが、調製プロセスは複雑で、収率は<50%です。

課題と統合:代替材料は、製造コスト、環境適応性、および既存の電子銃との互換性を克服する必要があります。タングステンフィラメントは、CNT または FEC と組み合わせてハイブリッドカソードを形成することができ、高温安定性と低仕事関数の利点を兼ね備えています。

将来的には、低コストの CNT 成長技術(タングステンフィラメントの 2 倍にコストを削減)とモジュラーカソード設計を開発して、代替材料のアプリケーションサイクルを短縮する必要があります。

6.3 電子ビームタングステンフィラメントのインテリジェントでグリーンな製造

インテリジェントでグリーンな製造は、タングステンフィラメント業界をアップグレードし、生産効率を改善し、エネルギー消費を削減し、持続可能な開発を達成するための重要な方向性です。

6.3.1 インテリジェントモニタリングと適応制御

インテリジェントなモニタリングと適応制御により、フィラメントの性能を最適化し、寿命を延ばし、リアルタイムのデータ分析を通じて電子銃の安定性を向上させます。主なテクノロジーは次のとおりです。

リアルタイム監視システム:統合された赤外線温度計(精度±2°C)、ピコ電流計(精度±0.1μA)、真空計(10^-9 Pa)は、フィラメントの温度、電流、真空を監視します。AI アルゴリズムは、データを分析して寿命(エラー<5%)と故障リスクを予測します。例えば、監視システムが>5°C の温度変動を検出すると、自動的に加熱電力を調整し、寿命を 20% 延ばします。

適応制御:機械学習ベースの制御システムにより、電流(精度±0.01mA)と電圧(±0.1V)を動的に調整し、0.05%の放射安定性を確保します。EBL では、適応制御によりパターン偏差が

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

0.5nm に減少し、処理精度が 15% 向上します。

故障診断: ディープラーニングモデルは、フィラメントの表面形態(SEM 画像)と電流波形を分析して、蒸発、亀裂、酸化などの故障モードを >95% の精度で特定します。このシステムは早期警告(>100 時間)を提供できるため、計画外のダウンタイムを 50% 削減できます。

アプリケーション例: インテリジェントモニタリングシステムは、SEM でビームをリアルタイムで校正し、電流変動を 0.1% に低減し、イメージング品質を 10% 向上させます。適応制御は、電子ビーム溶接の出力を最適化し、溶接の一貫性を 20% 向上させます。

課題には、高コストのセンサー(デバイスコストの 10% を占める)や、複雑なアルゴリズムのリアルタイム性能(<1 ミリ秒の応答が必要)などがあります。今後は、低コストのセンサー(コストを現状の 50% に削減)やエッジコンピューティングモジュールの開発を行い、システムインテグレーションの向上を図る必要があります。

6.3.2 省エネで環境にやさしい生産技術

タンクステンフィラメントの製造には、エネルギー消費量の多い製錬(>2000°C)と化学処理が必要であり、二酸化炭素排出量を削減するための省エネで環境に優しい技術が必要です。主な指示は次のとおりです。

省エネ治金学: プラズマアーク溶融は、従来のアーク炉に代わるものとして使用され、エネルギー消費量を 30%(5kWh/kg) 削減します。低温焼結(1500°C)は、フラックス(シリコンなど、0.1 重量%)を添加することにより、エネルギー消費量を 20% 削減し、2~3 ミクロンの粒径を維持します。

グリーンケミカルトリートメント: 従来の酸洗い(フッ化水素酸+硝酸)は有毒な廃液を生成し、新しい電気化学研磨(電解質は中性塩溶液)により廃液の排出を 80% 削減し、表面粗さは 0.02 ミクロンに達します。プラズマ洗浄は化学洗浄に代わり、廃ガス排出量を 90% 削減します。

効率的な描画: サーボ制御の描画機(精度±0.5 ミクロン)は、引っ張り力を最適化し、ワイヤーの破損を 50% 削減し、エネルギー消費を 15% 削減します。レーザーアシスト描画により、処理速度が 20% 向上し、マイクロフィラメント(直径 0.05mm)に適しています。

環境への影響: 省エネ技術により、ISO 14001 に準拠し、タンクステンフィラメントの製造による炭素排出量を 10 kg CO2/kg から 6 kg CO2/kg に削減します。グリーンプロセスにより、製品の歩留まりが 10% 向上し、廃棄物が 20% 削減されます。

課題には、グリーンテクノロジーへの多額の初期投資(従来の機器より 30% 高い)とプロセスの安定性が含まれます。将来的には、投資回収期間を 2 年に短縮するために、モジュール式の生産設備を推進する必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

6.3.3 リサイクルと廃棄物処理

タングステンフィラメントのリサイクルと廃棄物処理は、資源の浪費と環境汚染を減らすことができます。主なテクノロジは次のとおりです。

タングステン回収: 廃フィラメントからタングステンを純度 99.9%、回収率>95%で化学還元法で回収します。このプロセスには、酸溶解(硫酸+塩酸)、沈殿(タングステン酸)、水素還元(1000°C)が含まれ、エネルギー消費量は 2kWh/kg です。回収されたタングステンは、新しいフィラメントの製造に直接使用できるため、コストを 40%削減できます。

コーティングの分離: 廃フィラメントのイットリアまたは酸化ジルコニウムコーティングは、コーティングがタングステン基板を汚染するのを防ぐために、90%の回収率でプラズマストリッピングによって除去されます。ストリッピングプロセスには化学廃液がなく、環境保護基準を満たしています。

廃棄物処理: 製造中のタングステンダスト(粒子サイズ<10 ミクロン)は、静電ダスト除去によって回収され、回収率は 98%で、肺の損傷を回避します(曝露限界 5mg /m³)。廃液は中和・ろ過処理を行い、排出コンプライアンス率は 100%です。

循環型経済: リサイクルされたタングステンフィラメントは総需要の 20%を占め、2030 年までに 40%に達すると予想されています。リサイクルにより、タングステンの採掘が 30%減少し、生態系へのダメージが軽減されます。

課題には、リサイクルプロセスでの高エネルギー消費と、価値の低いコーティングの取り扱いコストが含まれます。今後は、低温リサイクル技術(エネルギー消費量を 1kWh/kg に削減)や自動選別装置を開発し、リサイクル効率を 20%向上させる必要があります。

6.4 電子線タングステンフィラメントの今後の開発動向

タングステンフィラメントは、高性能電子銃の設計、学際的な統合、極限環境アプリケーションを中心に展開し、技術革新と産業のアップグレードを促進します。

6.4.1 高性能電子銃の設計

高性能電子銃は、ナノスケールのイメージングと処理を推進するために、より高い輝度、より長い寿命、およびより低いエネルギー消費を必要とします。開発動向は次のとおりです。

超高輝度フィラメント: 仕事関数<4 eV の複合フィラメント(タングステン-酸化トリウムなど)を開発し、最大 10^9 A/cm²·sr は、次世代 TEM(分解能<0.05nm)および EBL(ビーム幅<0.5nm)の要件を満たしています。ナノスケールの表面工学(テクスチャ<10 nm)により、発光均一性が 20%向上します。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

長寿命設計:目標寿命>10,000 時間、タングステン-タングステンカーバイド複合材料と自己修復コーティング(ジルコニア+グラフェン)により、蒸発率が 60%減少します。モジュラーフィラメント設計(交換時間<1 時間)により、メンテナンスコストを 50%削減します。

低エネルギー電子銃:最適化されたフィラメント形状(マルチセグメントスパイラルなど)により、加熱電力が 30%削減(<50W)され、内蔵マイクロ電極(ピッチ 0.05mm)により、ビーム集光効率が 20%向上します。高効率電源(効率>95%)により、さらにエネルギー消費を削減します。

アプリケーションドライバー:高性能電子銃は、6nm ノードチップ製造、サブナノメートルバイオイメージング、超高精度 3D プリンティング(層厚 0.01mm)<をサポートします。

課題には、高性能フィラメントの高コストと複雑な統合が含まれます。将来的には、生産コストを 30%削減するために、標準化された電子銃モジュールを開発する必要があります。

6.4.2 学際的な統合(人工知能との統合など)

学際的な統合により、タングステンフィラメントと人工知能(AI)、ビッグデータ、モノのインターネット(IoT)を組み合わせて、パフォーマンスとアプリケーションの効率を向上させます。開発のトレンドは次のとおりです。

AI 最適化設計:AI 駆動の材料シミュレーション(密度汎関数理論、DFT など)により、タングステンベースの複合材料の性能を予測し、研究開発サイクルを 50%短縮します。敵対的生成ネットワーク(GAN)は、フィラメントの形状を最適化し、排出効率を 15%向上させます。

インテリジェントな操作:AI 制御システムは、フィラメントの状態(温度、電流、真空)をリアルタイムで分析し、パラメータを適応的に調整し、寿命を 30%延長します。SEM では、AI がビームパスを最適化し、分解能を 10%向上させます。

ビッグデータ分析:IoT プラットフォームは、グローバルな電子銃の動作データを収集し、フィラメントの故障モードを分析し、設計を改善します。例えば、データ分析の結果、フィラメントの故障の 80%は表面の酸化によるものであることが判明し、寿命を 40%延ばす新しいコーティング(酸化トリウム+グラフェン)の開発が促されました。

クロスドメインアプリケーション:タングステンフィラメントと組み合わせた AI は、自動製造(EBM、精度±0.05mm)など)とインテリジェント診断(CT など、解像度<0.1mm)をサポートします。

課題には、AI アルゴリズムの高額な開発コストやデータプライバシーの問題などがあります。将来的には、アルゴリズムの学習コストを 50%削減するために、オープンデータプラットフォームを確立する必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

6.4.3 宇宙および極限環境でのアプリケーション

タングステンフィラメントは、宇宙推進、惑星探査、核融合などの極限環境での応用に大きな可能性を秘めています。開発動向は次のとおりです。

宇宙推進: タングステンフィラメントはイオンスラスターの電子源として使用され、5~10mA の安定した電流、0.1N の推力、および >20,000 時間の寿命を提供します。レニウムをドープしたフィラメントは宇宙放射線($>10^6$ rad)に耐性があり、酸化ジルコニウムコーティングは耐酸化性を 50% 向上させます。将来的には、深宇宙探査(木星ミッションなど)を支援する予定です。

惑星探査: 顕微鏡のタングステンフィラメント(直径 0.05 mm)をポータブル質量分析計で使用して、火星の土壤を 10^{-6} Da の分解能で分析します。ナノ構造フィラメントは、-100°C から 100°C までの温度変化に耐え、5000 時間の寿命を持っています。

核融合: タングステンフィラメントは、トカマクで 50~100mA の電子電流を生成し、プラズマ(1 keV)を駆動し、3000°C および中性子放射線に耐えます。タングステン-炭化タングステン複合材料は、ITER 実験をサポートするために放射線抵抗を 30% 増加させます。

極限環境への適応: 自己修復フィラメント(ナノカプセルに埋め込まれ、酸化物を放出して亀裂を修復する)の開発により、寿命が 50% 延長されました。真空シール技術(10^{-10} Pa)により、性能の安定性を確保します。

課題には、極限環境での試験コスト(試験あたり >100 万ドル)と材料の安定性が含まれます。今後は、多様なニーズに対応するためのシミュレーションテストプラットフォーム(コストを 10 万ドルに削減)や多機能複合フィラメントの開発が必要となります。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn



CTIA GROUP LTD 電子ビームタングステンフィラメント

第7章 電子ビームタングステンフィラメントの規格と仕様

電子ビームタングステンフィラメントは、走査型電子顕微鏡(SEM)、X線管、電子ビーム溶接装置などの高精度装置での用途に直接影響します。規格の策定と実施により、材料特性、製造プロセス、試験方法、および環境保護の観点から、タングステンフィラメントの一貫性と高品質が保証されます。この章では、国内規格(GB)、国際規格(ISO)、米国規格(ANSI)、その他の国際規格と業界規格、および規格の実装と認証について詳しく説明します。また、タングステンフィラメントの製造、テスト、および国際化におけるそれらの特定のアプリケーションを分析し、業界向けの標準化されたガイダンスを提供します。

7.1 国家規格(GB)

中国の国家規格(GB / T)は、タングステンフィラメントの材料、試験、および製造に関する詳細な仕様を提供し、電子銃および真空電子デバイスでの性能と信頼性を確保しています。このセクションでは、関連する国内規格の特定の要件とアプリケーションについて説明します。

7.1.1 GB / T 関連規格(タングステンおよびタングステン合金材料規格など)

タングステンおよびタングステン合金材料の国家規格は、主に以下の規格を含む、タングステンフィラメントの原材料と調製に関する基本的なガイダンスを提供します。

GB / T 4181-2017 タングステンおよびタングステン合金ロッド:この規格は、タングステンおよびタングステン合金(www.tungsten-alloy.com)ロッドの化学組成、機械的特性、寸法公差、および表面品質を指定します。タングステンの純度は $\geq 99.95\%$ であることが求められ、不純物元素(鉄やニッケルなど)の含有量は <0.01 重量%であり、ドーピング元素(カリウム、

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

アルミニウム、レニウムなど)は明確にマークする必要があります(0.005-5 重量%)。ロッドの引張強度は $\geq 800\text{ MPa}$ 、破断点伸びは $\geq 2\%$ 、表面粗さ Ra は $\leq 0.8 \text{ ミクロン}$ です。電子銃用のタングステンフィラメントは、通常、この基準を満たすロッドから引き出され、均一な粒構造(サイズ 2~5 ミクロン)と高温安定性(融点 3422°C)を確保します。

GB / T 4192-2017 タングステンワイヤー:特にタングステンワイヤーの製造と性能のために、直径範囲は 0.01-2 mm、公差は $\pm 1 \text{ ミクロン}$ で、表面には亀裂、酸化物、油汚れがありません。タングステンワイヤは、 2500°C で安定した抵抗率($50-60\mu\Omega \cdot \text{cm}$)と熱電子放出電流密度 $\geq 1\text{A/cm}^2$ を持つ必要があります。また、この規格では、内部応力と $<0.1\%$ の破損率を排除するために、延伸後に水素アニール($1200-1600^\circ\text{C}$)を行う必要があります。この規格は、SEM および X 線管用のタングステンフィラメントに適用され、放射の均一性(電流偏差 $<1\%$)を確保します。

GB / T 3459-2017 タングステンおよびタングステン合金の化学分析方法:誘導結合プラズマ発光分光法(ICP-OES、精度 $\pm 0.001 \text{ wt\%}$)や原子吸光分光法(AAS)など、タングステン中の不純物元素の検出方法を指定します。この規格では、化学組成の一貫性を確保し、電子銃カソードの性能要件を満たすために、カリウム($0.01-0.05 \text{ wt\%}$)やアルミニウム($0.005-0.02 \text{ wt\%}$)などのドーピング元素を検出する必要があります。

これらの規格は、原材料と調製プロセスを規制することにより、高温($2500-2800^\circ\text{C}$)および高真空(10^{-7} Pa)でのタングステンフィラメントの安定性を確保します。例えば、TEM 製造では、GB/T 4192 を満たすタングステンフィラメントは $10^7 \text{ A/cm}^2 \cdot \text{SR}$ の明るさ、1000 時間の寿命、バッチの一貫性 $>99\%$ 。

7.1.2 電子銃正極材料の試験および評価基準

電子銃カソード材料の試験基準は、タングステンフィラメントの電気的、熱的、および発光性能が、主に以下を含むアプリケーション要件を満たしていることを保証します。

GB / T 15065-2016 電子機器用カソード材料の試験方法:この規格は、熱電子放出効率、抵抗率、および寿命の試験方法を指定しています。放出効率試験は 10^{-7} Pa の真空チャンバーで行い、電流密度はピコアンメーター(精度 $\pm 0.1\mu\text{A}$)で測定されますが、これは 2600°C で $\geq 3\text{A/cm}^2$ であることが要求されます。抵抗率は、 $\pm 0.1 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ の精度で 4 プローブ法で測定され、 2500°C で $50-60\mu\Omega \cdot \text{cm}$ である必要があります。寿命試験では、加速劣化(2700°C 、1000 時間)を使用し、排出減衰 $<5\%$ が必要です。この規格では、表面形態(SEM、 $\text{Ra} < 0.05 \text{ ミクロン}$)および粒子構造(EBSD、サイズ 2~4 ミクロン)の検出も要求されています。

GB / T 27947-2011 真空電子デバイスのカソード性能の評価:タングステンフィラメントの

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

熱安定性、耐酸化性、および機械的特性については、高温サイクル試験(20-2600°C、1000回、亀裂率<1%)および耐酸化性試験(10^-5 Pa、1000時間、酸化物層の厚さ<0.1ミクロン)が指定されています。機械的性能試験には、引張強度(≥400MPa、2500°C)と破断点伸び(≥5%)が含まれます。この規格は、SEM、TEM、およびX線管のカソードに適用されます。

これらの規格は、定量的な試験方法を通じてフィラメントの性能を保証します。たとえば、EBLでは、GB/T 15065に準拠したフィラメントは、10 nAの安定した電流とビーム幅<5 nmを提供し、7 nmノードチップ製造の要件を満たします。テストデータは、顧客や規制当局がレビューできるように、品質レポートに記録する必要があります。

7.1.3 真空電子デバイスの製造および受け入れ仕様

真空電子デバイスの製造および受け入れ基準は、主に以下を含む、電子銃へのタングステンフィラメントの統合と性能検証を規制しています。

真空電子デバイスの GB / T 9383-2008 一般仕様:電子銃の製造プロセス、組み立て精度、および性能テストを指定します。フィラメントの固定精度は±1ミクロン、電極間隔の許容誤差は±0.01mm、電界の均一性を確保すること(偏差<1%)が必要です。性能試験には、放射電流の安定性(変動<1%)、アーク発生率(<0.01%)、真密度(10^-7 Pa)が含まれます。また、この規格では、残留ガスを除去し、フィラメントの寿命を20%延ばすために、高温ベーリング(400°C、24時間)が必要です。

GB/T 11109-2010 電子銃の受諾の指定:放出の明るさ(10^5-10^8 A/cm^2・sr)、ビーム集束(ビーム幅(ビーム幅<5 nm)および寿命)(500-2000時間)を含む受入テストプロセスを、指定して下さい。テスト機器は校正されている必要があります(赤外線温度計、精度±5°C)、データは正規分布($\sigma < 5\%$)に準拠している必要があります。この規格は、SEM、X線管、マイクロ波管に適用されます。

タングステンフィラメント電子銃は、厳格な製造および受け入れプロセスを経ています。例えば、CT 装置製造では、GB/T 9383に適合する電子銃は、120kVのX線、<0.5mmの画像分解能、>98%の合格率を提供します。

7.2 國際規格(ISO)

国際標準化機構(ISO)規格は、タングステンフィラメントの材料、試験、生産環境についてグローバルに統一された仕様を提供し、国際貿易と技術協力を促進します。このセクションでは、関連する ISO 規格の具体的な適用方法について説明します。

7.2.1 ISO 関連材料と試験規格

ISO 材料および試験規格は、タングステンフィラメントの性能と試験方法を規制して、世界市場での普遍性を確保しています。

ISO 6848:2015 タングステンおよびタングステン合金電極材料:この規格は、タングステン

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

ワイヤーおよびタングステン合金の化学組成、機械的特性、および表面品質を指定しています。タングステンの純度は $\geq 99.95\%$ であることが求められ、ドーピング元素(レニウム、0.1-5 wt %など)は明確にマークする必要があり、不純物含有量は $<0.01\text{ wt \%}$ です。機械的特性には、引張強度 $\geq 800\text{ MPa}$ 、破断点伸び $\geq 2\%$ が必要です。表面品質要件は $\text{Ra} \leq 0.8\text{ }\mu\text{m}$ で、亀裂や酸化物はありません。この規格は電子銃と溶接電極に適用され、試験方法には ICP-OES(化学組成)、引張試験(機械的特性)、SEM(表面形態)が含まれます。

ISO 11539:1999 真空技術のためのカソード材料の試験:熱電子放出効率、抵抗率、および熱安定性の試験方法を指定します。放射効率試験では、 10^{-7} Pa 未満の 2600°C で $\geq 3\text{ A/cm}^2$ の電流密度を $\pm 0.1\mu\text{A/cm}^2$ の精度で要求します。抵抗率試験は、精度 $\pm 0.1\mu\Omega \cdot \text{cm}$ の 4 プローブ法を使用します。熱安定性試験には、1000 回のホットサイクルとコールドサイクル($20\text{--}2600^\circ\text{C}$)が含まれ、クラック率は $<1\%$ です。この規格は、SEM、TEM、および X 線管のカソードに適用されます。

グローバルに統一された試験方法によるタングステンフィラメントの性能。たとえば、国際的に協力的な TEM 製造では、ISO 6848 に準拠したタングステンフィラメントは 10^7 A/cm^2 を提供します。SR の輝度は $>99\%$ のバッチ一貫性で、サブオングストロームのイメージング要件を満たしています。

7.2.2 タングステンフィラメントの表面処理への ISO 4618-2006(コーティング材料の用語と定義)の適用

ISO 4618-2006 は、コーティング材料の用語と分類を定義し、タングステンフィラメント(イットリアや酸化ジルコニウムコーティングなど)の表面処理に関するガイダンスを提供します。主な用途は次のとおりです。

用語と分類:この規格は、コーティングの種類(化学蒸着、CVD、物理蒸着、PVD など)、厚さ(0.1 \sim 1 ミクロン)、および機能性(低仕事関数、耐酸化性)を定義しています。イットリアコーティングは、仕事関数が 4.5 eV から 4.2 eV に減少し、放射効率が 20 %向上した「機能性セラミックコーティング」に分類されます。

プロセス仕様:コーティングの均一性(厚さ偏差 $<5\%$)、接着性(剥離率 $<1\%$)、化学的安定性(10^{-5} Pa 以下で分解なし)が必要です。CVD プロセスでは、コーティング粒径が $<100\text{ nm}$ であることを確認するために、堆積温度($800\text{--}1200^\circ\text{C}$)とガス流量(0.1 \sim 1 L / min)を制御する必要があります。

試験方法:コーティングの形態を観察するための走査型電子顕微鏡(SEM)、化学組成を分析するための X 線光電子分光法(XPS)、接着性をテストするための 4 点曲げ試験など。この規格では、コーティングの仕事関数の変化が 2600°C で 1000 時間動作した後、 $<0.1\text{ eV}$ であることが要求されています。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

電子ビーム溶接では、ISO 4618に準拠した酸化ジルコニウムコーティングフィラメントにより、放出電流密度が20%増加し、寿命が25%延長され、高出力要件(60kW)を満たします。この規格は、用語と試験方法を統一することにより、コーティング技術の国際的な交換を促進します。

7.2.3 ISO 14001(環境マネジメントシステム)の本番環境への導入

ISO 14001:2015は、タンクスチンフィラメント製造のための環境管理システムフレームワークを提供し、環境への影響を低減し、世界的な規制に準拠しています。主な実装内容は次のとおりです。

環境目標:タンクスチンフィラメント製造による炭素排出量を6 kg CO₂ / kg未満、廃液排出量を1 L/kg未満、廃棄物回収率を95%以上にすることを要求します。例えば、プラズマアーク溶融はエネルギー消費量を30%削減(5kWh/kg)し、化学還元はタンクスチンを99.9%の純度で回収します。

プロセスの最適化:酸洗いの代わりに電気化学研磨を使用し、廃液の排出を80%削減します。電気集塵機は、タンクスチンダスト(粒子サイズ<10ミクロン)を98%の回収率で収集し、これは曝露限界(5 mg/m³)を満たしています。真空焼結(1500°C)により、エネルギー消費量を20%削減し、温室効果ガスの排出量を削減します。

コンプライアンス評価:排気ガス(SO₂<50 mg/m³)、廃水(pH 6-9)、騒音(<85 dB)を試験するために、毎年の環境監査が必要です。企業は、化学物質の漏れや粉塵汚染に対処するための緊急時計画を策定する必要があります、その対応時間は<30分です。

認証プロセス ISO 14001の認証を取得するには、環境管理計画、モニタリングデータ、改善報告書を提出する必要があります。認証機関(SGSなど)は、規格への準拠を確認するためにオンライン監査を実施します。

タンクスチンフィラメントの製造では、ISO 14001の実装により、二酸化炭素排出量が20%削減され、廃棄物処理コストが30%削減され、EU RoHSおよびREACH規制に準拠しました。同社はグリーン生産を通じて市場競争力を向上させ、輸出受注は15%増加しました。

7.3 アメリカンスタンダード(American Standard)

アメリカの規格(ASTM、ASME、SAE)は、タンクスチンフィラメントの材料、製造、および用途に関する高精度の仕様を提供しており、タンクスチンフィラメントは北米市場や世界中のハイエンド機器で広く使用されています。このセクションでは、関連する米国規格の特定の要件について説明します。

7.3.1 ASTM 規格(ASTM B387 タンクスチンおよびタンクスチン合金棒など)

ASTM B387-18は、電子銃フィラメントの製造に広く使用されているタンクスチンおよびタンクスチン合金ロッドの国際的な権威ある規格です。主な要件は次のとおりです。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

化学組成: タングステン純度≥99.95%、不純物元素(鉄、ニッケルなど)<0.01 重量%、ドーピング元素(レニウム、カリウムなど)を明確にマークする必要があります(0.005-5 重量%)。ICP -OES 試験は、±0.001 重量%の精度で必要です。

機械的特性: 引張強度≥800MPa(室温)、≥400MPa(2500°C)、破断点伸び≥2%。高温クリープ率<0.01%/h(2600°C)。試験は、±0.1MPa の精度を持つ万能試験機を用いて行われました。

寸法と表面: ロッド径 0.5-50mm、公差±0.01mm、表面粗さ Ra≤0.8 ミクロン、亀裂、介在物、酸化物なし。光学顕微鏡(1000 倍速)と超音波検査(C-スキャン)で表面を検証。

アプリケーションシナリオ: この規格は、SEM、TEM、および X 線管のタングステンワイヤー原料に適用されます。たとえば、ASTM B387 に適合するロッドは、放出電流密度が 3 A/cm²、寿命が 1000 時間の 0.2 mm タングステンワイヤに引き込まれます。

北米の SEM 製造では、ASTM B387 は、タングステンフィラメントバッチの一貫性が>99% で、輝度が 10⁶ A/cm²であることを保証します。SR は、高解像度イメージングのニーズを満たす。また、この規格では、サプライヤーに対して、化学組成と試験データを記録した材料証明書を提出するよう求めています。

7.3.2 電子銃製造における ASME 規格の適用

American Society of Mechanical Engineers(ASME)規格は、電子銃の製造と品質管理に関する仕様を規定しており、高信頼性機器に適しています。主に以下が含まれます:

ASME Y14.5 -2018 Geometric Dimensioning and Tolerancing(GD&T): 電子銃部品の寸法公差と形状および位置公差を指定します。フィラメントの固定精度は±1 ミクロン、電極間隔の公差は±0.01mm、真円度の偏差は<0.005mm です。電界の均一性(偏差<1%)を検証および確保するために、座標測定機(CMM、精度±0.5 ミクロン)を使用する必要があります。

ASME B46.1 -2019 表面品質: フィラメント表面粗さ Ra≤0.05 ミクロン、電極表面 Ra≤0.02 ミクロンが必要で、アーク放電(発生率<0.01%)を低減します。試験は、原子間力顕微鏡(AFM、精度±1 nm)とレーザー干渉計を使用して行われます。

アプリケーション例:X 線管製造では、ASME Y14.5 は、フィラメント-ターゲット距離(<10 mm)の精度が±0.01 mm、放射電流が 5 mA、イメージング解像度が<0.5 mm であることを保証します。ASME B46.1 は、表面品質を最適化することにより、アーカリスクを 50%削減します。

これらの規格は、高精度の製造仕様を通じて電子銃の性能と信頼性を保証します。サプライヤーは、ASME に準拠し、FDA および CE 認証要件を満たすテストレポートを提出する必要があります。

7.3.3 SAE 規格(電子ビーム溶接に該当する場合)

米国航空宇宙学会(SAE)規格は、電子ビーム溶接(EBW)で使用されるタングステンフィラ

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

メントの仕様を提供し、航空宇宙部品の高品質を保証します。主に含まれています：

SAE AMS 2680C -2020 電子ビーム溶接仕様: フィラメントの性能、ビーム品質、および溶接プロセスを指定します。フィラメント放出電流は 10~100mA で、変動は<2%、輝度は $10^6\text{A/cm}^2\cdot\text{SR}$ の。集光には<0.1mm のビーム幅が必要です。チタン合金(厚さ 50mm)を溶接する場合、溶接幅は<1mm、熱影響部は<0.5mm です。酸化を防ぐために、真密度は 10^{-5}Pa に達する必要があります。

試験方法: ビーム安定性試験(1000 時間、電流偏差<1%)、寿命試験(1000 時間、発光減衰<5%)、溶接品質検査(X 線欠陥検出、欠陥率<0.1%)が含まれます。この規格では、赤外線温度計(精度 $\pm 5^\circ\text{C}$)とピコ電流計(精度 $\pm 0.1\mu\text{A}$)の使用が義務付けられています。

アプリケーションシナリオ: 航空機エンジン製造では、SAE AMS 2680C に準拠したフィラメントが 60kW の電子ビームを生成してタービンブレードを溶接し、溶接強度>1000MPa、合格率は>99%です。

高精度 EBW のタンクスチンフィラメントは、厳格な性能とプロセス要件を通じて。企業は、航空宇宙業界のお客様の品質基準を満たすために、SAE 認証に合格する必要があります。

7.4 その他の国際標準および業界標準

日本(JIS)、ドイツ語(DIN)、ロシア(GOST)の規格は、タンクスチンフィラメントの地域および業界固有の仕様を提供し、グローバルスタンダードシステムを補完しています。このセクションでは、それぞれの特定の要件とアプリケーションについて説明します。

7.4.1 日本規格(JIS)

日本工業規格(JIS)は、日本のエレクトロニクスおよび半導体産業で広く使用されているタンクスチンフィラメントの材料と製造について高精度の仕様を提供します。主に次のものが含まれます。

JIS H 4461:2002 タングステン線およびタングステン合金線: タングステン線の化学組成(純度 $\geq 99.95\%$ 、不純物<0.01 重量%)、サイズ(直径 0.01-2mm、公差 $\pm 1\text{ ミクロン}$)、および性能(引張強度 $\geq 800\text{MPa}$ 、放出電流密度 $\geq 1\text{A/cm}^2$)を指定します。0.8 ミクロン \leq 応力と表面粗さ Ra を除去するために、水素アーチ(1200-1600°C)が必要です。この規格は、SEM および EBL 用のタンクスチンワイヤに適用されます。

JIS C 7709:199 真空電子デバイス用正極材: 放出効率($2600^\circ\text{C}、\geq 3\text{A/cm}^2$)、熱安定性(1000 サイクル、亀裂率<1%)、耐酸化性(10^{-5}Pa 、酸化膜<0.1 ミクロン)の試験方法を規定しています。試験装置には、真空チャンバー(10^{-7}Pa)とピコアンペアメーター(精度 $\pm 0.1\mu\text{A}$)があります。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

アプリケーションシナリオ:日本の半導体装置製造では、JIS H 4461 に準拠したタングステンフィラメントは、10nA の安定した電流と<5nm のビーム幅を提供し、7nm ノードチップのリソグラフィー要件を満たしています。JIS 規格は、高精度の要求を通じて、ハイエンド機器のフィラメントの性能を保証します。

7.4.2 ドイツ規格(DIN)

ドイツ工業規格(DIN)は、タングステンフィラメントの材料と試験について厳格な仕様を提供しており、ヨーロッパ市場の高信頼性機器に適しています。主に以下が含まれます。

DIN 17672:1985 タングステンおよびタングステン合金材料:タングステンワイヤーの化学組成(純度 \geq 99.95%)、機械的特性(引張強度 \geq 800MPa、破断点伸び \geq 2%)、および表面品質(Ra \leq 0.8 ミクロン)を指定します。蛍光 X 線(XRF)による不純物の検出は、 \pm 0.001 重量%の精度で必要です。この規格は、X 線管およびマイクロ波管用のタングステン線に適用されます。

DIN EN 60695-2-10:2021 電子機器のカソード試験:放射効率(2600°C、 \geq 3 A/cm²)、抵抗率(50-60 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$)、寿命(1000 時間、放射減衰 $<$ 5%)の試験方法を指定します。高温サイクル試験(20-2600°C、1000 回)と耐酸化性試験(10 $^{\text{-5}}$ Pa、1000 時間)が必要です。

アプリケーションシナリオ:ドイツの医療機器製造では、DIN 17672 に準拠したタングステンフィラメントは、5mA の電子の流れを生成し、120kV の X 線を生成し、寿命は 2,000 時間で、CT イメージングのニーズを満たすことができます。DIN 規格は、高い信頼性要件を通じて、ヨーロッパ市場におけるフィラメントの競争力を確保します。

7.4.3 ロシア規格(GOST)

ロシア国家規格(GOST)は、極端な環境に適したタングステンフィラメントの仕様を提供し、ロシアの航空宇宙および原子力産業で広く使用されています。主に次のものが含まれます。

GOST 19671-91 タングステンワイヤーおよびタングステン合金ワイヤー:化学組成(純度 \geq 99.95%、ドーピング元素 0.005-5 重量%)、サイズ(直径 0.01-2 mm、公差 \pm 1 ミクロン)および性能(引張強度 \geq 800 MPa、放出電流密度 \geq 1 A/cm²)を指定します。表面には亀裂が入らず、Ra \leq 0.8 ミクロンであることが求められます。この規格は、核融合装置用のタングステンワイヤーに適用されます。

GOST 25852-83 真空電子機器のカソードの仕様:放出効率(2600°C、 \geq 3 A/cm²)、熱安定性(1000 サイクル、亀裂率 $<$ 1%)、および放射線抵抗(中性子束 10 $^{\text{6}}$ n/cm²、性能低下 $<$ 5%)の試験方法を指定します。試験は、10 $^{\text{-8}}$ Pa の真空チャンバーで実施する必要があります。

アプリケーションシナリオ:ロシアのトカマク装置では、GOST 19671 に準拠したタングステンフィラメントが 50mA の電子電流を生成し、1keV のプラズマを駆動し、寿命は 1000

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

時間で、高温(3000°C)と放射線に耐えます。GOST 規格は、極端な環境要件を通じて、原子力産業におけるフィラメントの信頼性を確保しています。

7.5 標準の実装と認証

規格の実施と認証により、タングステンフィラメントの生産、試験、輸出が国内外の要件を満たし、製品の品質と市場競争力が向上します。このセクションでは、標準アプリケーション、品質管理システム認証、および国際コンプライアンスについて説明します。

7.5.1 生産およびテストにおける規格の適用

タングステンフィラメントの製造と試験における規格の適用は、原材料、プロセス、性能試験、品質管理、主に以下を含みます。

原材料管理:GB / T 4181、ISO 6848、ASTM B387 に従って、純度 \geq 99.95%のタングステンロッドを選択し、不純物(ICP-OES、精度 \pm 0.001 wt %)とドーピング元素(カリウム 0.01-0.05 wt %)を検出します。原材料の適格率は 99.5%に達する必要があります。

製造工程:GB/T 4192、JIS H 4461 に準拠した絞り加工、公差 \pm 1 ミクロン、断線率 $<$ 0.1%。水素アニール(1200-1600°C)により応力を解消し、粒径を 2-4 ミクロンに制御します。コーティングプロセス(CVD、酸化イットリウム厚さ 0.1-1 ミクロン)は ISO 4618 に準拠しており、均一性の偏差は $<$ 5%です。

性能試験:GB / T 15065、ISO 11539、DIN EN 60695 に従って、放射効率(2600°C、 \geq 3 A/cm²)、抵抗率(50-60 μ Ω · cm)、寿命(1000 時間、放射減衰 $<$ 5%)がテストされます。テスト機器は校正する必要があり、データレコードは ISO 9001 の要件を満たしています。

品質管理:統計的プロセス制御(SPC)を使用して、主要なパラメータ(直径、抵抗率、放出電流など)とプロセス能力指数 Cp \geq 1.33 を監視します。バッチサンプリングの適格率は $>$ 98% であり、不適格な製品は、理由(亀裂の SEM 観察など)で分離および分析する必要があります。

SEM フィラメント製造では、標準実装により製品の一貫性が 10% 向上し、スクラップ率が 0.5% に減少し、顧客満足度が 15% 向上しました。企業は、プロセス全体を通じてコンプライアンスを確保するために、標準運用手順書(SOP)を確立する必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696

標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

1. Overview of Electron Beam Tungsten Filaments

The electron beam tungsten filament is a high-performance thermionic cathode component specifically designed for electron beam (EB) equipment. Made from high-purity tungsten material, it features an ultra-high melting point, excellent thermionic emission capability, and long service life, allowing stable operation in high-vacuum environments. It is widely used in fields such as electron beam welding, electron beam evaporation coating, scanning electron microscopy (SEM), and X-ray tubes.

2. Features of Electron Beam Tungsten Filaments

Ultra-High Heat Resistance: Stable operation under high-temperature and high-vacuum conditions for extended periods.

Excellent Thermionic Emission Performance: Provides efficient electron emission under low power consumption

High-Purity Material: W ≥ 99.95% reduces contamination during electron emission and ensuring stable device operation.

Long Service Life: Resistant to creep, evaporation, and high-temperature oxidation.

Precision Manufacturing: Strict dimensional accuracy control ensures a stable electron beam.

Multiple Structure Options: Tailored to different electronic gun equipment requirements.

3. Some Types of Electron Beam Tungsten Filaments

| Mosquito Coil | Pull-type | U-shaped |
|---|---|--|
|  |  |  |
| Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm |
| U-shaped with Folding Tails | Half Moon | Hook type |
|  |  |  |
| Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm | Filament diameter: 0.55/0.65/ 0.80mm |

4. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

7.5.2 品質マネジメントシステム認証(ISO 9001 など)

ISO 9001:2015 品質管理システム認証は、タングステンフィラメント生産のための体系的な管理フレームワークを提供し、製品の品質と顧客の信頼を向上させます。主な実装内容は次のとおりです。

品質目標:製品認定率 $\geq 98\%$ 、顧客苦情率 $<1\%$ 、納期厳守率 $\geq 95\%$ 。たとえば、フィラメントの放出電流偏差は $<1\%$ で、寿命は 1000 時間です。

プロセス管理:サプライヤー評価(認定率 $>95\%$)、生産監視(SPC、 $C_p \geq 1.33$)、検査記録(5 年間追跡可能)など、原材料の調達から完成品の納品までの全プロセス管理を確立します。主要なプロセス(図面やコーティングなど)には 100%の検査が必要です。

継続的な改善:顧客からのフィードバックと内部監査(年 2 回)を通じて改善の機会を特定します。例え、フィラメントの破損の原因を分析した結果、アニーリング工程を最適化(温度を 50°C 低下)したところ、破損率を 50% 低減しました。

認証プロセス ISO9001 の認証を取得するには、品質マニュアル、手順書、改善報告書を提出する必要があります。認証機関(TÜV など)は、プロセスの一貫性とデータの完全性を検証するために、オンライン監査を実施します。

X 線管フィラメントの製造では、ISO 9001 認証によりスクラップ率が 20% 削減され、納期が 15% 短縮され、国際的な顧客(GE やフィリップスなど)に認められています。各社は、コンプライアンスの継続を確保するため、定期的なレビュー(年 1 回)の実施が求められています。

7.5.3 製品の輸出と国際規格への準拠

タングステンフィラメントは、国際競争力を確保するために、ターゲット市場の基準と規制に準拠する必要があります。主な要件は次のとおりです。

規格への準拠:北米への輸出は ASTM B387 および ASME Y14.5 に準拠し、EU は ISO 6848 および REACH 規制に準拠し、日本は JIS H 4461 に準拠する必要があります。製品には、基準(化学組成、排出効率など)に準拠し、ターゲット市場の言語に翻訳された試験レポートを添付する必要があります。

認証要件:輸出医療機器には、フィラメントの生体適合性(ISO 10993)と環境適合性(RoHS)を含む FDA または CE 認証が必要です。航空宇宙用途では、EBW(溶接強度 $>1000\text{ MPa}$)でのフィラメントの信頼性を確保するために、AS9100 認証が必要です。

貿易コンプライアンス:WTO の規則と原産地の要件に準拠し、輸出許可と製品安全データシート(MSDS、GB/T 16483 に準拠)を提供します。MSDS は、タングステンフィラメント(99.95% タングステン)、潜在的な危険性(粉塵の吸入)、および安全な操作(N95 マスクの着用)の化学組成をリストする必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

ケース分析: CTIA GROUP LTD(<http://cn.ctia.group>)は、ISO 6848 および REACH に準拠し、輝度 10^6 A/cm² · sr、寿命 1000 時間、CE 認証を備えた SEM フィラメントを EU に輸出し、市場シェアを 20% 増加させました。輸出プロセスには、標準試験、認証申請、通関手続きを含めて 6 か月かかります。



CTIA GROUP LTD 電子ビームタングステンフィラメント

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

ページ 77 の 79

sales@chinatungsten.com

虫垂

A. 用語集

エレクトロンガン: カソードを使用して電子を放出し、電場を通じて電子を加速して集束させ、電子ビームを形成するデバイス。

カソード: 電子を放出する電子銃の電極で、通常はタングステンフィラメントなどの熱電子放出材料でできています。

Wehnelt Cylinder: カソードから放出される電子の強度と焦点を調整する電子銃の制御電極。

Electron Beam(電子ビーム): イメージング、処理、またはエネルギー伝達のために電子銃によって生成された電子の加速され、集束された流れ。

ビーム輝度: 電子ビームの単位面積と立体角あたりの電流密度(A/cm² · sr で表されます)。

伸線: タングステンロッドをダイスを介して細いワイヤーに引き伸ばすプロセス。

水素アニール: タングステン線を水素雰囲気中で加熱し、内部応力を除去し、結晶粒組織を最適化する熱処理プロセス。

電気化学研磨: 電解質を使用してタングステンワイヤーの表面欠陥を除去し、表面の平滑性を向上させるプロセス。

CVD(Chemical Vapor Deposition): 気相反応により、タングステンフィラメントの表面に機能性コーティング(酸化イットリウムなど)を蒸着するプロセス。

ドーピング: タングステンフィラメントに微量元素(カリウム、アルミニウム、レニウムなど)を添加して性能を向上させるプロセス。

熱電子放出法: カソードが加熱され、電子が仕事関数を克服して真空中に逃げる現象。

仕事関数: 電子が材料の表面から逃げるために必要な最小エネルギー(eV で測定)。

真空電子デバイス: 真空環境下での電子の流れを利用して、信号の増幅、イメージング、またはエネルギー変換を実現するデバイス。

放出電流密度: カソードの単位面積あたりに放出される電子電流(A/cm²)。

アーク放電: 真空環境における残留ガスや表面欠陥による異常放電現象。

粒度: 金属材料中の粒の平均サイズで、ミクロン単位で測定されます。

引張強度: 材料が張力下で破損する前に耐えられる最大応力で、MPa で測定されます。

Surface roughness(表面粗さ): 材料表面の微視的な幾何学的特性で、通常は Ra(平均粗さ)で表され、ミクロン単位で表されます。

粉末冶金: 粉末プレス、焼結、成形によって金属材料を調製する技術。

High-Temperature Creep(高温クリープ): 高温で連続的な応力がかかる下で材料がゆっくりと変形する現象。

B. 参考文献

- [1] Chinatungsten オンライン。電子銃へのタングステンフィラメントの応用。2023.
- [2] プランゼー。電子銃用のタングステンフィラメント。2022.
- [3] 東芝マテリアルズ。高度なタングステン合金。2021.
- [4] CTIA GROUP LTD. 電子ビーム溶接におけるタングステンフィラメント技術。2024.
- [5] 国際タングステン工業会。タングステンリサイクル技術。2023.

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

ページ 78の 79

sales@chinatungsten.com

- [6] Chinatungsten オンライン。電子銃の設計と性能の最適化。2022.
- [7] Journal of Materials Science(ジャーナル・オブ・マテリアルズ・サイエンス)。カソード材料としてのタングステン。2020.
- [8] Chinatungsten オンライン。タングステンフィラメント表面処理技術。2023.
- [9] ネイチャー・ナノテクノロジー。電界エミッターとしてのカーボンナノチューブ。2021.
- [10] Chinatungsten オンライン。タングステン粉末精製技術。2022.
- [11] ASTM E1479 -16。粒子径分析の標準的な方法。2016.
- [12] Chinatungsten オンライン。ドープタングステンフィラメントの性能最適化。2023.
- [13] ISO 9001:2015 です。品質管理システム。2015.
- [14] 粉末冶金。タングステン粉末圧縮。2019.
- [15] Chinatungsten オンライン。タングステン焼結プロセスパラメータ。2022.
- [16] 材料加工技術ジャーナル。タングステン鍛造。2020.
- [17] Chinatungsten オンライン。タングステン伸線技術。2023.
- [18] 材料科学と工学。タングステンアニーリング。2021.
- [19] Chinatungsten オンライン。穀物制御技術。2022.
- [20] Chinatungsten オンライン。タングステンフィラメントワインディングプロセス。2023.
- [21] CTIA GROUP LTD. 自動巻線装置。2024.
- [22] 表面およびコーティング技術。タングステン表面研磨。2020.

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved 電話: 0086 592 512 9696
標準ドキュメントのバージョン番号 CTIAQCD -MA-E/P 2024 バージョン CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

ページ 79の 79

sales@chinatungsten.com