

Enzyklopädie der Barium-Wolfram-Kathode

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Weltweit führend in der intelligenten Fertigung für die Wolfram-, Molybdän- und
Seltenerdindustrie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, eine hundertprozentige Tochtergesellschaft mit unabhängiger Rechtspersönlichkeit, die von CHINATUNGSTEN ONLINE gegründet wurde, widmet sich der Förderung der intelligenten, integrierten und flexiblen Entwicklung und Herstellung von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets. CHINATUNGSTEN ONLINE, gegründet 1997 mit www.chinatungsten.com als Ausgangspunkt – Chinas erster erstklassiger Website für Wolframprodukte – ist das bahnbrechende E-Commerce-Unternehmen des Landes mit Fokus auf die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Industrien. CTIA GROUP nutzt fast drei Jahrzehnte umfassende Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän, erbt die außergewöhnlichen Entwicklungs- und Fertigungskapazitäten, die erstklassigen Dienstleistungen und den weltweiten Ruf ihres Mutterunternehmens und wird so zu einem umfassenden Anbieter von Anwendungslösungen in den Bereichen Wolframchemikalien, Wolframmetalle, Hartmetalle, hochdichte Legierungen, Molybdän und Molybdänlegierungen.

In den vergangenen 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE über 200 mehrsprachige professionelle Websites zu den Themen Wolfram und Molybdän in mehr als 20 Sprachen erstellt, die über eine Million Seiten mit Nachrichten, Preisen und Marktanalysen zu Wolfram, Molybdän und Seltenen Erden enthalten. Seit 2013 wurden auf dem offiziellen WeChat-Konto „CHINATUNGSTEN ONLINE“ über 40.000 Informationen veröffentlicht, die fast 100.000 Follower erreichen und täglich Hunderttausenden von Branchenexperten weltweit kostenlose Informationen bieten. Mit Milliarden von Besuchen auf seinem Website-Cluster und seinem offiziellen Konto hat sich das Unternehmen zu einer anerkannten globalen und maßgeblichen Informationsdrehscheibe für die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Branche entwickelt, die rund um die Uhr mehrsprachige Nachrichten, Informationen zu Produktleistung, Marktpreisen und Markttrends bietet.

Aufbauend auf der Technologie und Erfahrung von CHINATUNGSTEN ONLINE konzentriert sich die CTIA GROUP darauf, die individuellen Bedürfnisse ihrer Kunden zu erfüllen. Mithilfe von KI-Technologie entwickelt und produziert sie gemeinsam mit ihren Kunden Wolfram- und Molybdänprodukte mit spezifischen chemischen Zusammensetzungen und physikalischen Eigenschaften (wie Partikelgröße, Dichte, Härte, Festigkeit, Abmessungen und Toleranzen). Das Angebot umfasst integrierte Dienstleistungen für den gesamten Prozess, vom Formenöffnen und der Probeproduktion bis hin zur Veredelung, Verpackung und Logistik. In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE weltweit über 130.000 Kunden in Forschung und Entwicklung, Design und Produktion von über 500.000 Arten von Wolfram- und Molybdänprodukten unterstützt und so den Grundstein für eine maßgeschneiderte, flexible und intelligente Fertigung gelegt. Auf dieser Grundlage vertieft die CTIA GROUP die intelligente Fertigung und integrierte Innovation von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets weiter.

Dr. Hanns und sein Team bei der CTIA GROUP haben auf der Grundlage ihrer über 30-jährigen Branchenerfahrung auch Fachwissen, Technologien, Wolframpreise und Markttrendanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden verfasst und veröffentlicht und geben diese kostenlos an die Wolframbranche weiter. Dr. Han, mit über 30 Jahren Erfahrung seit den 1990er Jahren im E-Commerce und internationalen Handel mit Wolfram- und Molybdänprodukten sowie in der Entwicklung und Herstellung von Hartmetallen und hochdichten Legierungen, ist im In- und Ausland ein renommierter Experte für Wolfram- und Molybdänprodukte. Getreu dem Grundsatz, der Branche professionelle und qualitativ hochwertige Informationen zu liefern, verfasst das Team der CTIA GROUP kontinuierlich technische Forschungsarbeiten, Artikel und Branchenberichte auf Grundlage der Produktionspraxis und der Kundenbedürfnisse und findet dafür breite Anerkennung in der Branche. Diese Erfolge stellen eine solide Unterstützung für die technologische Innovation, die Produktförderung und den Branchenaustausch der CTIA GROUP dar und verhelfen ihr zu einem führenden Unternehmen in der globalen Herstellung von Wolfram- und Molybdänprodukten sowie bei Informationsdienstleistungen.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Zweck und Bedeutung

Überblick über die Buchstruktur

Zielgruppe

Kapitel 1: Überblick über Barium-Wolfram-Kathoden

1.1 Definition und Grundbegriff der Bariumwolframkathode

1.1.1 Definition der Barium-Wolfram-Kathode

1.1.2 Vergleich von Heißkathode und Kaltkathode

1.1.3 Vergleich von Bariumwolframkathoden mit anderen thermischen Kathoden

1.2 Historische Entwicklung der Barium-Wolfram-Kathode

1.2.1 Ursprung und technische Entwicklung der Bariumwolframkathoden

1.2.2 Wichtige Meilensteine und technologische Durchbrüche

1.3 Anwendungsgebiete von Bariumwolframkathoden

1.3.1 Vakuum-Elektronik

1.3.2 Spezifische Verwendungen in Industrie und wissenschaftlicher Forschung

1.3.3 Domänenübergreifendes Potenzial

Kapitel 2: Materialwissenschaft der Barium-Wolfram-Kathoden

2.1 Materialzusammensetzung der Bariumwolframkathode

2.1.1 Chemische und physikalische Eigenschaften der porösen Wolframmatrix

2.1.2 Eigenschaften und Verhältnisse von Bariumverbindungen

2.1.3 Einfluss von Additiven auf das Emissionsverhalten

2.2 Herstellungsprozess der Barium-Wolfram-Kathode

2.2.1 Herstellung poröser Wolframmatrix: Pulvermetallurgie und Porenkontrolle

2.2.3 Imprägnierprozess von Bariumverbindungen: Lösungsvorbereitung und Imprägnierparameter

2.3 Gefüge und Eigenschaften von Bariumwolframkathoden

2.3.1 Porositäts- und Strukturanalyse poröser Wolframmatrix

2.3.2 Zusammenhang zwischen Oberflächenmorphologie und Emissionsverhalten der aktiven Bariumschicht

Kapitel 3: Funktionsprinzip und Startmechanismus

3.1 Theorie der thermionischen Emission

3.1.1 Richardson-Dushman-Gleichung

3.1.2 Schottky-Effekt und feldverstärkte Emission

3.1.3 Perspektive der Quantenmechanik

3.2 Emissionseigenschaften von Bariumwolframkathoden

3.2.1 Entstehungsmechanismus der Low-Power-Funktion

3.2.2 Dynamisches Verhalten und thermische Stabilität aktiver Schichten

3.3 Faktoren, die das Emissionsverhalten von Bariumwolframkathoden beeinflussen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 3.3.1 Arbeitsumfeld
- 3.3.2 Mechanismus des Alterns und Toxizitätseffekte
- 3.3.3 Fehlermöglichkeitsanalyse

Kapitel 4: Herstellungs - und Verarbeitungstechnologie der Bariumwolframkathode

- 4.1 Poröses Wolfram-Matrix-Spritzgießen
 - 4.1.1 Sieb- und Pressprozess von Wolframpulver
 - 4.1.2 Optimierung der Porosität und mechanischen Festigkeit
- 4.2 Imprägnierung und Aktivierung von Bariumverbindungen
 - 4.2.1 Imprägnierverfahren: Formulierung der Bariumverbindung und Imprägnierbedingungen
 - 4.2.2 Aktivierungsprozess: Wärmebehandlung und Bildung der oberflächenaktiven Schicht
- 4.3 Qualitätskontrolle und Prüfung von Bariumwolframkathoden
 - 4.3.1 Prüfverfahren für die Übertragung der Leistung
 - 4.3.2 Bewertungskriterien für Konsistenz und Zuverlässigkeit
 - 4.3.3 Fehleranalyse und -verbesserung

Kapitel 5: Anwendung der Barium-Wolfram-Kathode

- 5.1 Vakuum-Elektronik
 - 5.1.1 Mikrowellenröhre
 - 5.1.1.1 Magnetron: wird in Radar- und Mikrowellenheizgeräten verwendet
 - 5.1.1.2 TWT: Hochfrequenzkommunikation und Satellitenverstärker
 - 5.1.1.3 Klystron-Röhre: Hochleistungsradar und Teilchenbeschleuniger
 - 5.1.2 Röntgenröhren
 - 5.1.2.1 Medizinische bildgebende Verfahren
 - 5.1.2.2 Industrielle zerstörungsfreie Prüfung
 - 5.1.3 Sonstige Vakuumgeräte
- 5.2 Wissenschaftliche Instrumente
 - 5.2.1 Elektronenmikroskop
 - 5.2.2 Massenspektrometer: Hochempfindliche Ionenquelle
 - 5.2.3 Geräte für die Oberflächenanalytik
- 5.3 Industrie- und Kommunikationsanwendungen
 - 5.3.1 Radarsystem
 - 5.3.2 Kommunikationsgeräte
 - 5.3.3 Vakuum-Schaltröhre
- 5.4 Luft- und Raumfahrt und Verteidigung
 - 5.4.1 Elektronische Geräte der Raumfahrt
 - 5.4.2 Elektronisches Gegenmaßnahmenystem
- 5.5 Neue und domänenübergreifende Anwendungen
 - 5.5.1 Terahertz-Wellengenerator
 - 5.5.2 Iontriebwerke
 - 5.5.3 Experimente in der Hochenergiephysik
 - 5.5.4 Biomedizinische Anwendungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kapitel 6: Optimierung und Verbesserung der Leistung der Bariumwolframkathode

- 6.1 Verbessern Sie die Effizienz des Starts
 - 6.1.1 Optimierung der Porenstruktur der porösen Wolframmatrix
 - 6.1.2 Formulierung und Dotierungstechnologie neuer Bariumverbindungen
 - 6.1.3 Anwendungen der Nanotechnologie
- 6.2 Lebensdauer verlängern
 - 6.2.1 Anti-Vergiftungs-Prozess
 - 6.2.2 Verbesserung der thermischen Stabilität und der mechanischen Festigkeit
- 6.3 Anpassungsfähigkeit an die Umwelt
 - 6.3.1 Leistung in extremen Umgebungen
 - 6.3.2 Geringer Stromverbrauch und umweltfreundliche Fertigung
- 6.4 Intelligentes Design

Kapitel 7: Herausforderungen und zukünftige Entwicklung

- 7.1 Aktuelle technische Engpässe
 - 7.1.1 Materialkosten und Komplexität der Vorbereitung
 - 7.1.2 Leistungskonsistenz und Herausforderungen bei der Massenproduktion
 - 7.1.3 Herausforderungen in der Lieferkette
- 7.2 Wettbewerb um aufstrebende Technologien
 - 7.2.1 Kaltkathoden-Technologie
 - 7.2.2 Sonstige Wärmekathoden
 - 7.2.3 Wettbewerbsvorteilsanalyse von Bariumwolframkathoden
- 7.3 Zukünftige Forschungsrichtungen
 - 7.3.1 Erforschung neuer Materialien und Verfahren
 - 7.3.2 Intelligentes und adaptives Kathodendesign
 - 7.3.3 Interdisziplinäre Forschung

Kapitel 8: Standards für Barium-Wolframkathoden

- 8.1 Internationale und Industriestandards
 - 8.1.1 Internationale Normen in Bezug auf Bariumwolframkathoden
 - 8.1.2 Industriestandards in Bezug auf Bariumwolframkathoden
- 8.2 Spezifikation der Leistungsparameter der Bariumwolframkathode
 - 8.2.1 Normungsanforderungen für Schlüsselparameter
 - 8.2.2 Prüfverfahren und Verifizierungsverfahren
- 8.3 Standards für die Herstellung und Qualitätskontrolle von Bariumwolframkathoden
 - 8.3.1 Vorgaben für Materialreinheit und Aufbereitungsprozess
 - 8.3.2 Anforderungen an Kohärenz und Rückverfolgbarkeit
- 8.4 Umwelt- und Sicherheitsstandards
 - 8.4.1 Vorschriften für die Sicherheitsbehandlung und den Umweltschutz von Bariumverbindungen
 - 8.4.2 Compliance-Richtlinien bei Herstellung und Verwendung
 - 8.4.3 Vorschriften zur Abfallentsorgung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang

A. Glossar

B. Verweise

C. Prüfnormen und Spezifikationen

Internationale Normen

Industriestandard

Chinesische nationale und Branchenstandards

D. Lieferanten und Ressourcen

CTIA GROUP LTD Einleitung

CTIA GROUP LTD Barium-Wolframelektrode Verwandte Websites

E. Inhaltsverzeichnis

Stichwort-Index

Themen-Index



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

Barium Tungsten Cathode Introduction

1. Overview of Barium Tungsten Cathode

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

2. Characteristics of Barium Tungsten Cathode

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

3. Applications of Barium Tungsten Cathode

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Vorwort

Zweck und Bedeutung

Die Barium-Wolfram-Kathode nimmt als effizientes thermionenemittierendes Material eine zentrale Stellung im Bereich der modernen Elektronik ein. Seine Kerneigenschaften – geringe Arbeitsfunktion, hohe Emissionsstromdichte sowie hervorragende thermische Stabilität und lange Lebensdauer – beruhen auf der ausgeklügelten Kombination einer porösen Wolframmatrix mit einer Bariumverbindung wie Barium-Calciumaluminat. Dieses einzigartige Design macht Barium-Wolfram-Kathoden ideal für elektronische Vakuumgeräte (wie Mikrowellenröhren, Röntgenröhren und Photomultiplier-Röhren) und wird häufig in hochmodernen Bereichen wie Luft- und Raumfahrt, medizinischer Bildgebung, Kommunikationssystemen, wissenschaftlichen Instrumenten und Experimenten in der Hochenergiephysik eingesetzt. Barium-Wolfram-Kathoden fördern nicht nur die kontinuierliche Weiterentwicklung der Vakuumelektronik, sondern bieten auch eine potenzielle Unterstützung für neue Technologien wie Terahertz-Wellengeneratoren und Ionentriebwerke.

Dieses Buch soll den Lesern ein umfassendes und systematisches Referenzmaterial für Bariumwolfram-Kathoden bieten, das die Materialwissenschaft, den Herstellungsprozess, das Funktionsprinzip, die Anwendungsbereiche und zukünftige Entwicklungstrends abdeckt. Wir hoffen, ihre entscheidende Rolle in der Hochleistungselektronik aufzudecken, indem wir uns mit den technischen Details von Barium-Wolfram-Kathoden befassen und gleichzeitig ihr Innovationspotenzial in interdisziplinären Bereichen erforschen.

Überblick über die Buchstruktur

Dieses Buch hat eine klare Struktur, von der Basis bis zur Anwendung, von der Theorie bis zur Praxis, logische Strenge, Schicht für Schicht, unterteilt in acht Kapitel und Anhänge, die alle Aspekte der Bariumwolframkathoden vollständig abdecken:

- **Kapitel 1: Überblick über Barium-Wolfram-Kathoden**

Dieses Kapitel legt den Grundstein für das Buch, indem es die Definition, die grundlegenden Konzepte und Vergleiche von Barium- und Wolframkathoden und ihren Vergleich mit anderen Heiß- und Kaltkathoden einführt, den historischen Kontext ihrer Entwicklung von ihren Ursprüngen bis zur modernen Technologie sortiert und ihr breites Anwendungsspektrum in elektronischen Vakuumgeräten, in der Industrie und in der wissenschaftlichen Forschung skizziert.

- **Kapitel 2: Materialwissenschaft der Barium-Wolfram-Kathoden**

Dieses Kapitel befasst sich mit der Materialzusammensetzung und dem Herstellungsprozess von Bariumwolframkathoden, analysiert die chemischen und physikalischen Eigenschaften von porösen Wolframmatrizen, Bariumverbindungen und Additiven und zeigt die interne Beziehung zwischen Mikrostruktur (wie Porosität und Oberflächenmorphologie) und Emissionseigenschaften auf.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Kapitel 3: Funktionsprinzip und Emissionsmechanismus**

Dieses Kapitel geht von der Theorie der thermionischen Emission aus und kombiniert die Richardson-Dushman-Gleichung, den Schottky-Effekt und die Quantenmechanik, um den Entstehungsmechanismus der Low-Work-Funktion der Bariumwolframkathode, das dynamische Verhalten der aktiven Schicht und die Umweltfaktoren, die das Emissionsverhalten beeinflussen, im Detail zu analysieren.

- **Kapitel 4: Herstellungs- und Verarbeitungstechnologie der Bariumwolframkathode**

Dieses Kapitel konzentriert sich auf den Herstellungsprozess und umfasst das pulvermetallurgische Formen von porösen Wolframmatrizen, den Imprägnierungs- und Aktivierungsprozess von Bariumverbindungen sowie die Prüf- und Qualitätskontrollmethoden für Emissionseigenschaften und bietet eine technische Referenz für die industrielle Produktion.

- **Kapitel 5: Anwendung der Barium-Wolfram-Kathode**

In diesem Kapitel werden die spezifischen Anwendungen der Bariumwolframkathode in elektronischen Vakuumgeräten (z. B. Mikrowellenröhren, Röntgenröhren), wissenschaftlichen Instrumenten (z. B. Elektronenmikroskopen, Massenspektrometern), industrieller Kommunikation, Luft- und Raumfahrt und aufstrebenden Bereichen systematisch sortiert und ihr feldübergreifendes Potenzial hervorgehoben.

- **Kapitel 6: Optimierung und Verbesserung der Leistung der Bariumwolframkathode**

In diesem Kapitel werden Strategien zur Verbesserung der Emissionseffizienz, zur Verlängerung der Lebensdauer und zur Verbesserung der Anpassungsfähigkeit an die Umwelt erörtert, einschließlich modernster Methoden wie neuartiger Bariumverbindungsformulierungen, Nanotechnologieanwendungen und intelligentem Design.

- **Kapitel 7: Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen**

Dieses Kapitel analysiert aktuelle technische Engpässe (wie Materialkosten, Leistungskonsistenz) und Herausforderungen konkurrierender Technologien wie Kaltkathoden und wirft einen Ausblick auf die zukünftige Ausrichtung neuer Materialien, neuer Verfahren und interdisziplinärer Forschung (wie Künstliche Intelligenz und Quantencomputing).

- **Kapitel 8: Standards für Barium-Wolframkathoden**

In diesem Kapitel werden internationale und industrielle Normen für Barium- und Wolframkathoden vorgestellt, die Spezifikationen für Leistungsparameter, Prüfmethode, Herstellungsprozesse und Anforderungen an die Umweltsicherheit abdecken und Richtlinien für eine standardisierte Produktion enthalten.

- **Anhänge und Verzeichnisse**

Die Anhänge enthalten Glossare, Referenzen, Prüfnormen, Leistungsdatenblätter und Lieferanteninformationen (z. B. CTIA GROUP LTD) zum einfachen Nachschlagen und für eine eingehende Recherche. Der Abschnitt "Indizierung" enthält Keyword- und Themenindizes für eine schnelle Inhaltsausrichtung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die inhaltliche Gestaltung dieses Buches konzentriert sich auf die Kombination von Theorie und Praxis, wobei sowohl eingehende Diskussionen über Grundlagenforschung als auch detaillierte Anleitungen zu ingenieurtechnischen Anwendungen enthalten sind, um den Lesern ein umfassendes und praktisches Wissenssystem zu vermitteln.

Zielgruppe

Dieses Buch richtet sich an eine breite Palette von Lesern, einschließlich, aber nicht beschränkt auf:

- **Materialwissenschaftler:** Achten Sie auf die Materialzusammensetzung, die Mikrostruktur und den Herstellungsprozess von Barium-Wolfram-Kathoden und suchen Sie nach Durchbrüchen bei neuen Materialien und Prozessen.
- **Elektronikingenieur:** Beschäftigt sich mit dem Design und der Entwicklung von elektronischen Vakuumgeräten und ist es notwendig, das Funktionsprinzip und die Herstellungstechnologie der Bariumwolframkathode zu beherrschen.
- **Forscher der Vakuumelektronik:** Fokus auf die Leistungsoptimierung, Anwendungserweiterung und Standardisierungsforschung von thermischen Kathoden.
- **Industrietechniker:** Anwendung von Barium-Wolfram-Kathoden bei der Herstellung und Wartung von Mikrowellenröhren, Röntgenröhren, Radarsystemen und anderen Geräten.
- **Interdisziplinäre Innovatoren:** Erforschung des Potenzials von Barium-Wolfram-Kathoden in aufstrebenden Bereichen wie Terahertz-Technologie, Ionentriebwerke, Biomedizin und mehr.
- **Lehrer und Studenten an Hochschulen und Universitäten:** Dieses Buch kann als Lehrbuch für Absolventen oder Nachschlagewerk für die Hauptfächer Materialwissenschaften, Elektrotechnik, Vakuumelektronik usw. verwendet werden, um die akademische Forschung und Lehre zu unterstützen.

Ganz gleich, ob Sie ein Neuling auf dem Gebiet der Bariumwolfram-Kathoden oder ein Experte mit jahrelanger Erfahrung in verwandten Bereichen sind, dieses Buch soll Ihnen einen klaren Wissensrahmen, detaillierte technische Einblicke und praktische Anwendungsleitfäden bieten.

Schreiben von Features und Werten

Dieses Buch konzentriert sich auf die folgenden Merkmale des Schreibprozesses, um sicherzustellen, dass sein akademischer Wert und seine Praktikabilität ausgewogen sind:

- **Umfassend und systematisch**
Dieses Buch deckt umfassend alle Dimensionen von Barium- und Wolframkathoden ab, von der Grundlagentheorie bis zu hochmodernen Anwendungen, von der Materialwissenschaft bis zu industriellen Normen, und baut ein vollständiges Wissenssystem auf, um sicherzustellen, dass die Leser die relevanten Inhalte systematisch erfassen können.
- **Theorie und Praxis verbinden**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Neben einer eingehenden Erläuterung der Theorie der thermionischen Emission und der Prinzipien der Materialwissenschaft bietet dieses Buch detaillierte Herstellungsprozesse, Leistungstestmethoden und praktische Anwendungsfälle unter Berücksichtigung der Anforderungen der akademischen Forschung und der technischen Praxis.

- **Zukunftsweisend und innovativ**

Dieses Buch fasst nicht nur die bestehenden technischen Errungenschaften von Bariumwolfram-Kathoden zusammen, sondern wirft auch einen Ausblick auf die zukünftige Entwicklungsrichtung in den Bereichen Nanotechnologie, intelligentes Design und interdisziplinäre Forschung (wie Künstliche Intelligenz und Quantencomputing) und bietet den Lesern innovative Inspirationen.

- **Nützlichkeit und Bedienbarkeit**

Glossar, Leistungsdatenblätter, Prüfnormen und Lieferanteninformationen (z. B. CTIA GROUP LTD) im Anhang bieten den Lesern praktische Referenzressourcen. Das Index-Design ermöglicht eine schnelle Ausrichtung auf wichtige Inhalte und erhöht deren Nützlichkeit.

Durch dieses Buch können die Leser nicht nur die wissenschaftliche und technische Bedeutung von Barium-Wolfram-Kathoden tief verstehen, sondern sich auch davon inspirieren lassen, um Innovation und Entwicklung in der Vakuumelektronik und verwandten Bereichen zu fördern. Wir glauben, dass Barium-Wolfram-Kathoden als klassische und dynamische Technologie auch in zukünftigen technologischen Wellen eine wichtige Rolle spielen werden und unendliche Möglichkeiten für elektronische Hochleistungsgeräte und interdisziplinäre Anwendungen bieten.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kapitel 1: Überblick über Barium-Wolfram-Kathoden

Als hocheffizientes thermionisches Emissionsmaterial nimmt die Barium-Wolfram-Kathode eine unersetzliche Stellung im Bereich der Vakuumelektronik und Hightech ein. Seine einzigartige poröse Wolframmatrix und die mit Bariumverbindungen imprägnierte Struktur verleihen ihm die Eigenschaften einer geringen Arbeitsfunktion, einer hohen Emissionsstromdichte, einer hervorragenden thermischen Stabilität und einer langen Lebensdauer, was ihn zu einer Kernkomponente von Mikrowellenröhren, Röntgenröhren, Elektronenmikroskopen und anderen Geräten macht. Ziel dieses Kapitels ist es, den Lesern eine umfassende Einführung in die Bariumwolframkathoden zu geben, indem es ihre Definition und grundlegenden Konzepte, den historischen Entwicklungskontext und ein breites Spektrum an Anwendungsbereichen abdeckt und die Grundlage für eine eingehende Diskussion in den folgenden Kapiteln legt. Durch den Vergleich der Leistungsunterschiede zwischen Barium-Wolfram-Kathoden und anderen Kathodentypen werden wir die wichtigsten Meilensteine in ihrer technologischen Entwicklung herausarbeiten und uns auf ihr Potenzial in traditionellen und aufstrebenden Bereichen freuen.

1.1 Definition und Grundbegriff der Bariumwolframkathode

1.1.1 Definition der Barium-Wolfram-Kathode

Die Barium-Wolfram-Kathode ist eine Kathode, die auf dem Prinzip der thermionischen Emission basiert, und ihre Kernstruktur besteht aus einer porösen Wolframmatrix mit hoher Porosität und imprägnierten Bariumverbindungen wie Bariumcalciumaluminat, Ba-Ca-Aluminat. Die poröse Wolframmatrix wird durch pulvermetallurgische Technologie hergestellt und weist eine gleichmäßige Porenstruktur auf, die Bariumverbindungen effektiv adsorbieren und speichern kann. Unter Hochtemperaturbedingungen setzen Bariumverbindungen durch thermische Zersetzung reaktive Bariumatome frei, die durch die Poren der porösen Wolframmatrix an die Oberfläche diffundieren und eine Einzelatomlage mit geringer Arbeitsfunktion (Arbeitsfunktion von etwa 1,1–1,5 eV) bilden. Diese Low-Power-Funktion reduziert die für den Elektronenaustritt erforderliche Energie erheblich, so dass Barium-Wolfram-Kathoden eine hohe Emissionsstromdichte bieten und in Szenarien mit hoher Leistung, hoher Frequenz und hoher Zuverlässigkeit eine gute Leistung erbringen können.

Das Design von Barium-Wolfram-Kathoden kombiniert den hohen Schmelzpunkt der Wolframmatrix (ca. 3422 °C), die ausgezeichnete chemische Stabilität und die Vorteile von Bariumverbindungen mit geringer Arbeitsfunktion, wodurch sie sich besonders für elektronische Vakuumgeräte eignen, die eine stabile Elektronenquelle benötigen, wie z. B. Mikrowellenröhren, Röntgenröhren und wissenschaftliche Instrumente. Seine Vergiftungsbeständigkeit und thermische Stabilität verbessern seine Eignung für anspruchsvolle Umgebungen, wie z. B. Hochvakuum oder Szenarien mit hoher Strahlung.

1.1.2 Vergleich von Heißkathode und Kaltkathode

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Elektronenemissionsquellen werden hauptsächlich in zwei Kategorien unterteilt: Heißkathode und Kaltkathode, und es gibt erhebliche Unterschiede in ihren Funktionsprinzipien, Leistungsmerkmalen und Anwendungsszenarien. Im Folgenden finden Sie einen detaillierten Vergleich:

- **Thermische Kathoden (z. B. Barium-Wolfram-Kathoden)**

Die heiße Kathode erhitzt das Material auf eine hohe Temperatur, so dass die Elektronen genügend Energie erhalten, um die Oberflächenbarriere zu überwinden und eine thermionische Emission zu erreichen. Zu den Hauptmerkmalen gehören:

- **Hohe Sendestromdichte:** Erreicht mehrere Ampere bis Dutzende von Ampere pro Quadratcentimeter und eignet sich für Hochleistungsgeräte wie Mikrowellenröhren und Röntgenröhren.
- **Stabilität und ausgereifter Prozess:** Nach fast hundert Jahren Entwicklung verfügt die Thermokathodentechnologie über ausgereifte Herstellungsprozesse und eine hohe Leistungskonsistenz und wird häufig in der Industrie und wissenschaftlichen Forschung eingesetzt.
- **Lange Lebensdauer:** Barium-Wolfram-Kathoden können unter den richtigen Bedingungen Tausende bis Zehntausende von Stunden betrieben werden und erfüllen hohe Zuverlässigkeitsanforderungen. Die Einschränkungen sind die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Erwärmung, die zu einem hohen Energieverbrauch führt, hohe Temperaturen, die zu thermischer Belastung oder Materialalterung führen können, und hohe Anforderungen an eine Vakuumumgebung (typischerweise 10^{-6} Pa oder weniger), um eine Oberflächenkontamination zu vermeiden.

- **Kalte Kathoden (z. B. Feldemissionskathoden, Kohlenstoffnanoröhren-Kathoden)**

Kalte Kathoden induzieren Elektronentunnelemission durch starke elektrische Felder (normalerweise 10^7 – 10^9 V/m) ohne Betrieb bei hohen Temperaturen. Zu den Hauptmerkmalen gehören:

- **Geringer Stromverbrauch :** Keine Heizung erforderlich, geeignet für energiesparende Geräte wie tragbare Elektronik.
- **Schnelle Reaktion:** Die Elektronenemission hat eine kurze Ansprechzeit (Nanosekunde) und eignet sich daher für hochfrequente oder gepulste Anwendungen.
- **Miniaturisierungspotenzial:** Kompakt und geeignet für miniaturisierte Geräte wie Feldemissionsdisplays oder Mikro-Röntgenquellen. Kaltkathoden haben jedoch eine geringe Emissionsstromdichte (in der Regel im mA/cm²-Bereich), extrem hohe Anforderungen an die Gleichmäßigkeit des elektrischen Feldes und die Oberflächensauberkeit, sind anfällig für Verunreinigungen oder Beschädigungen und haben einen komplexen Herstellungsprozess und hohe Kosten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In der folgenden Tabelle ist die Leistung von Heißkathoden im Vergleich zu Kaltkathoden zusammengefasst (Daten basieren auf gemeinsamen technischen Parametern):

Charakteristisch	Wärmekathoden (z.B. Bariumwolframkathoden)	Kaltkathode (z.B. Feldemissionskathode)
So funktioniert's:	Thermionische Emission (auf hohe Temperatur erhitzt)	Feldinduziertes Elektronentunneln (starkes elektrisches Feld)
Arbeitsfunktion (eV)	1,1–1,5 (Barium-Wolfram-Kathode)	4–5 (typisch)
Emissionsstromdichte	10–20 A/cm ²	0,01 bis 1 A/cm ²
Betriebstemperatur	900 bis 110850 °C	Raumtemperatur
Lebensdauer	Zehntausende von Stunden	Tausende von Stunden (je nach Umgebung)
Anforderungen an das Vakuum	Hoch (10 ⁻⁶ Pa oder weniger)	Extrem hoch (10 ⁻⁸ Pa oder weniger)
Wesentliche Vorteile	Hohe Stromdichte und lange Lebensdauer	Geringer Stromverbrauch, schnelle Reaktion
Wichtigste Einschränkungen	Hoher Energieverbrauch und hohe Temperaturanforderungen	Geringe Stromdichte und komplexer Prozess
Typische Anwendungen	Mikrowellenröhren, Röntgenröhren	Feldemissionsanzeige, Mikro-Röntgenquelle

Heiße Kathoden, wie z. Barium-Wolfram-Kathoden, dominieren die Hochleistungs- und langlebige Vakuumelektronik, während kalte Kathoden besser für miniaturisierte Anwendungen mit geringem Stromverbrauch geeignet sind. Beide ergänzen sich in unterschiedlichen Szenarien und fördern gemeinsam den Fortschritt der elektronischen Emissionstechnik.

1.1.3 Vergleich von Bariumwolframkathoden mit anderen thermischen Kathoden

Unter den thermischen Kathoden sind Barium-Wolfram-Kathoden aufgrund ihrer hervorragenden umfassenden Eigenschaften weithin beliebt. Hier ist ein Vergleich mit gängigen thermischen Kathodentypen (Oxidkathoden, Thoriumwolframkathoden, reine Wolframkathoden):

- **Oxid-Kathode**

Die Oxidkathode besteht aus Bariumoxid (BaO), Strontiumoxid (SrO) und anderen Materialien, die auf einer Nickelmatrix beschichtet sind, mit einer niedrigen Arbeitsfunktion (ca. 1–2 eV), einer Betriebstemperatur von 800–1000 °C und einer Emissionsstromdichte von etwa 1–5 A/cm². Sein Vorteil sind die geringen Kosten und er eignet sich für Vakuumröhren mit geringer Leistung (wie z. B. frühe Radios). Es stellt jedoch strenge Anforderungen an Vakuumumgebungen (weniger als 10⁻⁷ Pa), ist anfällig für Sauerstoff- oder Wasserdampfverunreinigungen, was zu einer verringerten Emissionsleistung führt, und hat in der Regel eine Lebensdauer von Hunderten bis Tausenden von Stunden. Im Gegensatz dazu weisen Bariumwolfram-Kathoden eine höhere

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Giftbeständigkeit und thermische Stabilität auf, wodurch sie sich für Hochleistungsszenarien mit langer Laufzeit eignen.

- **Thorium-Wolfram-Kathode**

Die Thorium-Wolfram-Kathode erreicht eine niedrige Arbeitsfunktion (ca. 2,6 eV) durch die Dotierung von Thoriumoxid (ThO_2) in einer Wolframmatrix mit einer Betriebstemperatur von 1700–1900 °C und einer Emissionsstromdichte von bis zu 5–10 A/cm², wodurch sie für Anwendungen mit hoher Stromdichte, wie z. B. Hochleistungs-Mikrowellenröhren, geeignet ist. Die Radioaktivität von Thorium birgt jedoch potenzielle Risiken für Mensch und Umwelt, was seine Anwendung im medizinischen und zivilen Bereich einschränkt. Barium-Wolfram-Kathoden haben kein radioaktives Risiko, niedrigere Betriebstemperaturen, eine höhere Energieeffizienz und eine längere Lebensdauer (bis zu Zehntausende von Stunden).

- **Kathoden aus reinem Wolfram**

Reine Wolframkathoden bestehen aus Wolframdraht oder Wolframblech, haben eine hohe Arbeitsfunktion (ca. 4,5 eV) und benötigen extrem hohe Temperaturen (2000–2500 °C), um einen ausreichenden Emissionsstrom (ca. 0,1–1 A/cm²) zu erreichen. Seine Vorteile sind eine hohe chemische Stabilität und die Eignung für extreme Umgebungen (z. B. Hochvakuum oder hohe Temperaturen), aber sein hoher Energieverbrauch und seine geringe Emissionseffizienz machen es schwierig, die Anforderungen moderner Hochleistungsgeräte zu erfüllen. Die geringe Arbeitsfunktion und die niedrige Betriebstemperatur von Barium-Wolfram-Kathoden führen dazu, dass sie reine Wolfram-Kathoden in Bezug auf Energieeffizienz, Leistung und Langlebigkeit auf ganzer Linie übertreffen.

Die Barium-Wolfram-Kathode hat sich aufgrund ihrer Vorteile der geringen Arbeitsfunktion, der hohen Emissionseffizienz, der langen Lebensdauer und der Nicht-Radioaktivität zum bevorzugten thermischen Kathodenmaterial in modernen Vakuum-Elektronikgeräten entwickelt und wird häufig in Szenarien mit hoher Zuverlässigkeit und hoher Leistung eingesetzt.

1.2 Historische Entwicklung der Barium-Wolfram-Kathode

1.2.1 Ursprung und technische Entwicklung der Bariumwolframkathoden

Der Ursprung der Barium-Wolfram-Kathoden lässt sich auf den Aufstieg der thermionischen Emissionstechnologie zu Beginn des 20. Jahrhunderts zurückführen. In den frühen 1900er Jahren wurden heiße Kathoden an frühen Vakuumröhren wie Dioden und Trioden in der Funkkommunikation angebracht. Zu dieser Zeit waren reine Wolframkathoden aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer chemischen Stabilität weit verbreitet, aber ihre hohe Arbeitsfunktion (ca. 4,5 eV) und ihre hohe Betriebstemperatur schränkten die Emissionseffizienz und die Energieeffizienz ein. In den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts verringerte das Aufkommen von Oxidkathoden die Arbeitsfunktion erheblich, aber ihre Umweltempfindlichkeit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und ihre kurzen Lebensdauermängel veranlassten die Forscher, bessere thermische Kathodenmaterialien zu erforschen.

In den 1950er Jahren, mit dem sprunghaften Anstieg der Nachfrage nach elektronischen Vakuumgeräten wie Radar, Mikrowellenkommunikation und Fernsehbildröhren, wurde die Forschung und Entwicklung von Kathoden mit geringer Leistung und langer Lebensdauer zu einem heißen Thema. In den späten 1950er Jahren schlugen amerikanische Wissenschaftler erstmals das Konzept vor, Bariumverbindungen in einer porösen Wolframmatrix zu imprägnieren, und entwickelten einen frühen Prototyp einer Bariumwolframkathode. Diese Kathode kombiniert die hohe Stabilität der Wolframmatrix mit den geringen Arbeitsfunktionseigenschaften von Bariumverbindungen und verbessert so die Emissionsleistung erheblich. In den 1960er Jahren reiften die pulvermetallurgische Vorbereitungstechnologie für poröse Wolframmatrix und der Imprägnierprozess von Bariumverbindungen allmählich aus, und Bariumwolframkathoden begannen, kommerziell in Mikrowellenröhren und Röntgenröhren eingesetzt zu werden.

In den 70er und 80er Jahren des 20. Jahrhunderts trat die Barium-Wolfram-Kathodentechnologie in eine Phase rasanter Entwicklung ein. Die Einführung neuer Verbindungen wie Barium-Calciumaluminat optimiert die Emissionseigenschaften, und die Standardisierung von Aktivierungsprozessen verbessert die Produktionskonsistenz. Seit den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde mit der Weiterentwicklung der Luft- und Raumfahrt, der medizinischen Bildgebung und der Experimente in der Hochenergiephysik der Anwendungsbereich von Bariumwolframkathoden weiter erweitert. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts hat die Einführung der Nanotechnologie, neuer Bariumverbindungsformulierungen und intelligenter Herstellungsverfahren die Leistungsfähigkeit und das Anwendungspotenzial von Bariumwolframkathoden auf ein neues Niveau gehoben. Diese technologischen Fortschritte haben die Entwicklung der Vakuumelektronik in Richtung hoher Leistung, hoher Frequenz und langer Lebensdauer vorangetrieben.

1.2.2 Wichtige Meilensteine und technologische Durchbrüche

Bei der Entwicklung von Barium-Wolfram-Kathoden haben mehrere wichtige technologische Durchbrüche eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung ihrer Leistung und ihrer weit verbreiteten Anwendungen gespielt:

- **Durchbruch in der Technologie der porösen Wolframmatrix (1950 – 1960er Jahre)**
Fortschritte in der Pulvermetallurgie haben es ermöglicht, Wolframmatrizen mit hoher Porosität herzustellen. Die poröse Struktur erhöht die Speicherkapazität von Bariumverbindungen durch Kapillarwirkung und fördert die Diffusion von reaktivem Barium an die Oberfläche, wodurch die Emissionseffizienz und -stabilität verbessert wird. Dieser Durchbruch legte den Grundstein für die Kommerzialisierung von Barium-Wolfram-Kathoden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Optimierung der Formulierung von Bariumverbindungen (1970er Jahre)**
Bariumcalciumaluminat (z. B. $4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) wurde zu einem wichtigen Durchbruch bei Barium-Wolfram-Kathoden. Diese Verbindung zersetzt sich langsam bei hohen Temperaturen und ist in der Lage, kontinuierlich reaktives Barium freizusetzen, was eine lange Lebensdauer der Kathoden (Zehntausende von Stunden) und eine stabile Emission (Stromdichte von $10\text{--}20 \text{ A/cm}^2$) gewährleistet. Die optimierte Formel verbessert auch die Beständigkeit gegen Vergiftungen und reduziert die Auswirkungen von Oberflächenverunreinigungen.
- **Standardisierung von Imprägnier- und Aktivierungsprozessen (1980er Jahre)**
Die Kontrolle der Imprägnierparameter (z. B. Lösungskonzentration, Imprägnierzeit, Temperatur) und des Aktivierungsprozesses der Wärmebehandlung verbesserte die Gleichmäßigkeit der aktiven Schicht und die Konsistenz der Emissionseigenschaften erheblich. Dieses standardisierte Verfahren hat die industrielle Herstellung von Barium-Wolfram-Kathoden gefördert und sie in Mikrowellenröhren, Röntgenröhren und anderen Bereichen eingesetzt.
- **Einführung der Nanotechnologie (2000er Jahre bis heute):**
Die Erforschung der nanoskaligen porösen Wolframmatrix und der Nanobarium-Beschichtungstechnologie hat die Emissionsleistung weiter verbessert. Die Nanoporenstruktur vergrößert die Oberfläche und erhöht die Diffusionseffizienz von Bariumatomen. Neue Dotierungstechniken, wie die Zugabe von Seltenerdelementen wie Lanthan oder Cer, optimieren die Arbeitsfunktion und thermische Stabilität. Diese Technologien ermöglichen es, dass Barium-Wolfram-Kathoden ihr Potenzial in neuen Anwendungen wie Terahertz-Wellengeneratoren zeigen.
- **Intelligente Fertigung und Prüfung (2010er Jahre bis heute)** Die moderne Fertigung hat automatisierte Imprägnieranlagen und Echtzeitüberwachungstechnologien eingeführt, um die Genauigkeit des Produktionsprozesses zu gewährleisten. Fortschrittliche Prüfmethode (z. B. Rasterelektronenmikroskopie, Messung der Emissionsstromdichte) verbessern die Qualitätskontrolle und reduzieren Leistungsabweichungen in der Produktion.

Diese technologischen Durchbrüche haben nicht nur die Leistung von Barium-Wolfram-Kathoden verbessert, sondern auch die breite Anwendung von elektronischen Vakuumgeräten in den Bereichen Radar, Kommunikation, Medizin und wissenschaftliche Forschung gefördert.

1.3 Anwendungsgebiete von Bariumwolframkathoden

1.3.1 Vakuum-Elektronik

Die hohe Emissionsstromdichte, die lange Lebensdauer und die hervorragende Stabilität von Barium-Wolfram-Kathoden machen sie zu den Kernkomponenten einer Vielzahl von elektronischen Vakuumgeräten, darunter:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Mikrowellen-Röhren**

Mikrowellenröhren sind elektronische Hochfrequenz- und Hochleistungsgeräte, die häufig in der Radar-, Kommunikations- und Industrieheizung eingesetzt werden. Barium-Wolfram-Kathoden spielen eine Schlüsselrolle in den folgenden Mikrowellenröhren:

- **Magnetron:** Seine hohe Stromdichte (10–20 A/cm²) wird in militärischen und zivilen Radaren (z. B. Wetterradaren, Radaren für Flugsicherungen) und Mikrowellenheizgeräten (z. B. industrielle Mikrowellenherde) eingesetzt und unterstützt aufgrund seiner hohen Stromdichte (10–20 A/cm²) eine stabile hohe Ausgangsleistung (bis ins Megawatt-Niveau).
- **Wanderfeldröhre:** wird für die Satellitenkommunikation, den Verstärker von Bodenbasisstationen und den Hochfrequenzrundfunk verwendet und bietet Breitband- und High-Gain-Signalverstärkung, um die Hochfrequenzanforderungen moderner Kommunikationssysteme zu erfüllen.
- **Klystron-Röhre :** wird für Hochleistungsradare (z. B. Raketenleitsysteme) und Teilchenbeschleuniger (z. B. Synchrotronstrahlungsquellen) verwendet, die eine hohe Impulsleistung (Hunderte von Kilowatt bis Megawatt) unterstützen. Die hohe Stabilität und Alterungsbeständigkeit von Barium-Wolfram-Kathoden gewährleisten einen zuverlässigen Betrieb dieser Bauelemente in hochfrequenten, anspruchsvollen Umgebungen.

- **Röntgenröhren**

Röntgenröhren sind die Kernkomponenten der medizinischen Bildgebung und der industriellen zerstörungsfreien Prüfung. Barium-Wolfram-Kathoden bieten einen hochhellen, stabilen Elektronenstrahl, der die folgenden Anwendungen unterstützt:

- **Medizinische Bildgebung:** Wie CT-Scanner und Röntgendiagnostikinstrumente unterstützen ihre hohe Emissionseffizienz hochauflösende Bildgebung (Auflösung bis zu Submillimeter) und schnelles Scannen (Auflösung der zweiten Ebene), wodurch die diagnostische Genauigkeit und die Patientenerfahrung verbessert werden.
- **Industrielle zerstörungsfreie Prüfung:** Wird verwendet, um Risse, Schweißnahtqualität und Rohrleitungskorrosion von Luftfahrtkomponenten zu erkennen, um die industrielle Sicherheit und Produktqualität zu gewährleisten. Die lange Lebensdauer (Zehntausende von Stunden) und die Konsistenz von Barium-Wolfram-Kathoden senken die Wartungskosten der Geräte und verbessern die Betriebseffizienz.

- **Andere Vakuumgeräte**

Barium-Wolfram-Kathoden werden auch in Photomultiplier-Röhren (für die hochempfindliche Lichtdetektion, wie z. B. astronomische Beobachtungen und kernphysikalische Experimente), Elektronenstrahlschweißgeräten (für die Präzisionsfertigung von Luft- und Raumfahrtkomponenten) und Vakuumschaltern (für die elektronische Steuerung von Hochspannungsnetzen) verwendet. Seine hohe Leistung erfüllt die hohen Anforderungen dieser Geräte für elektronische Quellen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.2 Spezifische Verwendungen in Industrie und wissenschaftlicher Forschung

Barium-Wolfram-Kathoden haben ein breites Anwendungsspektrum in der industriellen Produktion und wissenschaftlichen Forschung, darunter:

- **Elektronenmikroskopie**

In der Rasterelektronenmikroskopie (REM) und der Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) bieten Barium-Wolfram-Kathoden einen hochhellen, stabilen Elektronenstrahl, der die Oberflächentopographie und die interne Strukturanalyse mit nanoskaliger Auflösung unterstützt. Aufgrund seiner hohen Emissionsstromdichte und seines geringen Rauschens eignet es sich für die Materialwissenschaften (z. B. Halbleitermaterialanalyse), die Biologie (z. B. Zellstrukturbildgebung) und die Nanotechnologieforschung.

- **Massenspektrometer**

Als Schlüsselkomponente einer hochempfindlichen Ionenquelle spielt die Barium-Wolfram-Kathode eine wichtige Rolle bei der Umweltüberwachung (z. B. zum Nachweis flüchtiger organischer Verbindungen in der Luft), bei der Arzneimittelentwicklung (z. B. zur Identifizierung von Metaboliten) und in der geologischen Forschung (z. B. Isotopenverhältnisanalyse). Seine hohe Emissionseffizienz verbessert die Nachweisempfindlichkeit des Massenspektrometers (bis in den ppb-Bereich).

- **Geräte zur Oberflächenanalytik**

- In Auger-Elektronenspektrometern (AES), Röntgen-Photoelektronenspektrometern (XPS) und Sekundärionen-Massenspektrometern (SIMS) bietet die Barium-Wolfram-Kathode einen stabilen Elektronenfluss für eine genaue Analyse der chemischen Zusammensetzung und der elektronischen Struktur der Materialoberfläche. Diese Technologien werden häufig bei der Entwicklung neuer Materialien (z. B. Hochleistungslegierungen, Halbleiterfilme) und in der Oberflächentechnik (z. B. zur Optimierung der Beschichtungsleistung) eingesetzt.

- **Radar- und Kommunikationssysteme**

Barium-Wolfram-Kathoden sind Hochleistungs-Elektronenquellen in militärischen Radaren (z. B. Raketenleitsystemen), zivilen Radaren (z. B. Flugsicherung) und Kommunikationsgeräten (z. B. Satellitenverstärkern, 5G-Basisstationen) und unterstützen die Signalübertragung über große Entfernungen und Entstörungsfähigkeiten. Seine hohe Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer reduzieren die Wartungskosten des Systems und erfüllen die hohen Leistungsanforderungen moderner Kommunikationssysteme.

- **Industrielle Heizung und Verarbeitung**

Beim Elektronenstrahlschmelzen, bei der Oberflächenmodifikation von Elektronenstrahlen und bei der Vakuum-Wärmebehandlung liefern Barium-Wolfram-Kathoden hochenergetische Elektronenstrahlen für die Metallreinigung (z. B. Herstellung von Titanlegierungen), die Legierungsvorbereitung und das Einsatzhärten (z. B. Turbinenschaufeln für die Luftfahrt), wodurch die Materialeigenschaften und die industrielle Effizienz erheblich verbessert werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.3 Domänenübergreifendes Potenzial

Mit der rasanten Entwicklung von Wissenschaft und Technologie erweitert sich das Anwendungspotenzial von Barium-Wolfram-Kathoden auf aufstrebende und interdisziplinäre Bereiche, die vielversprechende Perspektiven bieten:

- **Neue Energietechnik**

In Iontriebwerken dient die Barium-Wolfram-Kathode als Hochstrom-Elektronenquelle, um die Entwicklung von Mikroschubsystemen für Raumfahrzeuge zu unterstützen. Iontriebwerke sind mit ihrem hohen spezifischen Impuls (bis zu 3000–9000 Sekunden) und ihrem geringen Treibstoffverbrauch ideale Energiequellen für die Erforschung des Weltraums (z. B. Mars-Rover, interstellare Missionen). Die hohe Stabilität und lange Lebensdauer von Barium-Wolfram-Kathoden erfüllen die hohen Anforderungen der Weltraumumgebung.

- **Terahertz-Wellen-Technologie**

Terahertz-Wellen (0,1–10 THz) bieten einzigartige Vorteile in der Bildgebung, Kommunikation und Spektralanalyse. Die Barium-Wolfram-Kathode stellt eine Hochleistungs-Elektronenquelle in einem Vakuum-Elektronen-Terahertz-Wellengenerator dar, der die Terahertz-Bildgebung (für Sicherheitsuntersuchungen, Krebsfrüherkennung) und Hochgeschwindigkeitskommunikation (6G-Netzwerke der nächsten Generation) unterstützt. Seine hohe Emissionseffizienz und Stabilität bieten die Möglichkeit für die Kommerzialisierung der Terahertz-Technologie.

- **Experimente in der Hochenergiephysik**

In Teilchenbeschleunigern (wie dem LHC des CERN) und Synchrotronstrahlungsquellen stellen Barium-Wolfram-Kathoden eine Hochstrom-Elektronenquelle dar, um hochenergetische Teilchenstrahlen zu erzeugen und die Eigenschaften und die Struktur von Elementarteilchen zu erforschen. Seine hohe Emissionseffizienz und Stabilität ermöglichen lange, hochintensive Versuchsläufe.

- **Biomedizinische Anwendungen**

Durch die hochpräzise Massenspektrometrie können Bariumwolframkathoden als Ionenquelle für den molekularen Nachweis in der Krankheitsdiagnose verwendet werden, z. B. bei der Krebsmarkeranalyse und bei Metabolomik-Studien. Seine hohe Sensitivität und Zuverlässigkeit haben die Entwicklung der Präzisionsmedizin vorangetrieben. Darüber hinaus bietet die Anwendung von Bariumwolframkathoden in Elektronenstrahlsterilisationsanlagen eine effiziente Lösung für die Sterilisation von Medizinprodukten.

- **Quantentechnologie**

Die potenzielle Anwendung von Barium-Wolfram-Kathoden in Quantencomputern und Quantenkommunikationsgeräten wird derzeit untersucht. Seine hohe Stabilität und seine geringen Arbeitsfunktionseigenschaften können genutzt werden, um hochpräzise Elektronenquellen zu entwickeln, die die Manipulation von Quantenbits und die Detektion von Quantenzuständen unterstützen. Interdisziplinäre Forschung (wie die Kombination von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Quantenmaterialien und Vakuumelektronik) kann neue Durchbrüche in der Quantentechnologie bringen.

- **Grüne Energie und Umweltschutz**

Die Anwendung von Barium-Wolfram-Kathoden in Plasmageneratoren unterstützt effiziente Abgasbehandlungs- und Wasserreinigungstechniken, wie z. B. den Plasmaabbau organischer Schadstoffe durch Elektronenstrahlinduktion. Darüber hinaus bieten seine potenziellen Anwendungen in der Kernfusionsforschung, wie z. B. Elektronenstrahlheizsysteme für Tokamak-Bauelemente, Möglichkeiten für die Entwicklung sauberer Energie.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Barium-Wolfram-Kathoden mit ihrer hervorragenden Leistung und breiten Anpassungsfähigkeit nicht nur eine Kernposition in traditionellen elektronischen Vakuumgeräten einnehmen, sondern auch ein großes Potenzial in aufstrebenden Bereichen wie der neuen Energie, der Terahertz-Technologie, der Quantentechnologie und der Biomedizin aufweisen. Dieses Kapitel bietet den Lesern einen klaren Wissensrahmen durch die Definition von Bariumwolframkathoden, Vergleiche mit anderen Kathoden, historische Entwicklungen und umfassende Einführungen in Anwendungsbereiche. In den folgenden Kapiteln werden die Materialwissenschaft, die Arbeitsprinzipien, die Herstellungsprozesse und die Strategien zur Leistungsoptimierung näher erläutert und den Lesern eine umfassendere und tiefere technische Perspektive geboten.



Kapitel 2: Materialwissenschaft der Barium-Wolfram-Kathoden

Die Exzellenz von Barium-Wolfram-Kathoden beruht auf ihrer sorgfältigen Materialzusammensetzung, präzisen Präparationsprozessen und dem Zusammenspiel von komplexer Mikrostruktur und Leistung. Als effizientes thermionisches Emissionsmaterial erreicht

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

der synergistische Effekt der porösen Wolframmatrix der Bariumwolfram Kathode und der Bariumverbindung eine geringe Arbeitsfunktion, eine hohe Emissionsstromdichte und eine hervorragende thermische Stabilität, was es zu einer zentralen Position in elektronischen Vakuumgeräten macht. Dieses Kapitel befasst sich mit den materialwissenschaftlichen Grundlagen von Bariumwolframkathoden, analysiert detailliert den Einfluss ihrer Materialzusammensetzung, ihres Herstellungsprozesses und ihrer Mikrostruktur auf die Leistung, behandelt die chemischen und physikalischen Eigenschaften poröser Wolframmatrizen, die Optimierung der Bariumverbindungsverhältnisse, die Rolle von Additiven, Schlüsseltechnologien im Aufbereitungsprozess und die Beziehung zwischen Mikrostruktur und Emissionseigenschaften.

2.1 Materialzusammensetzung der Bariumwolfram Kathode

2.1.1 Chemische und physikalische Eigenschaften der porösen Wolframmatrix

Die poröse Wolframmatrix ist die Kernstruktur der Bariumwolfram Kathode, und ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften bestimmen direkt die thermische Stabilität, die mechanische Festigkeit und die Elektronenemissionseffizienz der Kathode. Die poröse Wolframmatrix wird durch Pulvermetallurgietechnologie unter Verwendung von hochreinem Wolfram (Reinheit $\geq 99,95\%$) mit geeigneter Porosität und Porengröße hergestellt. Diese poröse Struktur bietet nicht nur Platz für die Lagerung von Bariumverbindungen, sondern erleichtert auch die Diffusion aktiver Bariumatome durch Kapillarwirkung, was zur Bildung einer arbeitsarmen Funktionsschicht auf der Oberfläche der Kathode führt. Im Folgenden sind die wichtigsten chemischen und physikalischen Eigenschaften der porösen Wolframmatrix aufgeführt:

- **Chemische Stabilität:** Die hohe chemische Inertheit von Wolfram macht es sehr widerstandsfähig gegen Sauerstoff, Wasserdampf und Restgase in Hochvakuumumgebungen (10^{-6} Pa oder weniger). Diese Stabilität reduziert effektiv das Risiko einer Oberflächenoxidation oder -vergiftung und verlängert die Lebensdauer der Kathoden. Darüber hinaus weist Wolfram eine geringe chemische Reaktivität gegenüber Bariumverbindungen auf, wodurch unerwünschte Wechselwirkungen zwischen der Matrix und dem Wirkstoff vermieden werden.
- **Physikalische Eigenschaften:** Der hohe Schmelzpunkt von Wolfram (ca. $3422\text{ }^{\circ}\text{C}$) ermöglicht es, den typischen Betriebstemperaturen ($900\text{--}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$) von Barium-Wolfram-Kathoden ohne strukturelle Verschlechterung oder Verformung standzuhalten. Hohe Dichte (ca. $19,25\text{ g/cm}^3$) und hohe mechanische Festigkeit (Zugfestigkeit ca. $700\text{--}1000\text{ MPa}$) gewährleisten die Stabilität der Matrix in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hoher Beanspruchung. Die Kapillarwirkung der porösen Struktur erhöht die Adsorptionskapazität von Bariumverbindungen, und das Porennetzwerk bietet einen effizienten Kanal für die Diffusion aktiver Bariumatome an die Oberfläche.
- **Thermische und elektrische Leitfähigkeit:** Die hohe Wärmeleitfähigkeit von Wolfram (ca. $173\text{ W/m}\cdot\text{K}$) sorgt für eine gleichmäßige Wärmeverteilung während des Arbeitsprozesses und reduziert so die Materialdegradation durch lokale Überhitzung. Die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hohe Leitfähigkeit (ca. $1,82 \times 10^7$ S/m) unterstützt eine effiziente elektronische Übertragung und ist damit für die Anforderungen von elektronischen Hochleistungsgeräten geeignet.

- **Poreneigenschaften:** Porosität und Porengrößenverteilung sind Schlüsselparameter für poröse Wolframmatrix. Die Porosität von 20–30 % gleicht die Speicherkapazität und die mechanische Festigkeit der Bariumverbindungen aus, und der Porengrößenbereich von 1–10 μm gewährleistet die Wirksamkeit der Kapillarwirkung. Die Poren müssen ein verbundenes Netzwerk bilden, um die kontinuierliche Diffusion von Bariumatomen zu unterstützen.

Die Porosität und Porengrößenverteilung der porösen Wolframmatrix muss durch einen präzisen Vorbereitungsprozess kontrolliert werden, eine zu hohe Porosität kann zu einer unzureichenden mechanischen Festigkeit führen, und eine zu geringe Porosität schränkt die Lager- und Diffusionseffizienz von Bariumverbindungen ein und beeinträchtigt die Emissionsleistung. Die Mikrostruktur der Matrix wird in der Regel durch Rasterelektronenmikroskopie (REM) oder Röntgentomographie (Röntgen-CT) analysiert, um die Gleichmäßigkeit und Konsistenz der Poren zu gewährleisten.

2.1.2 Eigenschaften und Verhältnisse von Bariumverbindungen (z. B. Bariumcalciumaluminat)

Bariumverbindungen sind die Schlüsselkomponenten der Bariumwolframkathode, um eine geringe Arbeitsfunktion und eine hohe Emissionseffizienz zu erreichen, und die am häufigsten verwendeten Bariumverbindungen sind Bariumcalciumaluminat (wie $4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, abgekürzt als Verhältnis 4:1:1). Diese Verbindungen setzen durch thermische Zersetzung bei hohen Temperaturen (900–1100 °C) freie Bariumatome frei und diffundieren an die Oberfläche der porösen Wolframmatrix, wodurch sie eine Schicht mit geringer Arbeitsfunktion (Arbeitsfunktion von etwa 1,1–1,5 eV) bilden, die die für den Elektronenaustritt erforderliche Energie erheblich reduziert. Im Folgenden sind die wichtigsten Eigenschaften und die Optimierung des Verhältnisses von Bariumverbindungen aufgeführt:

- **Chemische Eigenschaften:** Barium-Calciumaluminat zersetzt sich bei hohen Temperaturen durch folgende Reaktionen:

$$4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 4\text{Ba} + \text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{O}_2$$

Die freigesetzten freien Bariumatome werden an der Oberfläche der Wolframmatrix adsorbiert und bilden eine einzelne Atomlage oder einen dünnen Film, wodurch die Arbeitsfunktion verringert wird. Die anfallenden Nebenprodukte (z. B. CaO , Al_2O_3) weisen eine hohe chemische Stabilität auf und beeinträchtigen das Emissionsverhalten nicht. Die Zersetzungsrates der Verbindung muss moderat sein, um eine kontinuierliche Bariumversorgung während des Langzeitbetriebs zu gewährleisten und gleichzeitig einen Verlust der aktiven Schicht durch übermäßige Verdunstung zu vermeiden.
- **Physikalische Eigenschaften:** Der Schmelzpunkt von Bariumcalciumaluminat ist höher als die Betriebstemperatur der Kathode, wodurch ein vorzeitiges Schmelzen oder

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verflüchtigen verhindert wird. Die Partikelgröße der Verbindung muss der Porengröße der Wolframmatrix entsprechen, um eine gleichmäßige Imprägnierung und eine effiziente Diffusion zu gewährleisten. Der Wärmeausdehnungskoeffizient der Verbindung unterscheidet sich von dem der Wolframmatrix, und die thermische Belastung muss durch Prozessoptimierung reduziert werden.

- **Optimierung des Übersetzungsverhältnisses:** Verhältnis 4:1:1 ($4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) ist Standard in industriellen Anwendungen, da es die Bariumfreisetzungsrates, die chemische Stabilität und die Toxizitätsbeständigkeit in Einklang bringt. Andere Konfigurationen umfassen 5:3:2 ($5\text{BaO} \cdot 3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$) oder 6:1:2 ($6\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$) wird ebenfalls in spezifischen Szenarien untersucht. Zum Beispiel kann das Verhältnis von 5:3:2 die Anti-Vergiftungsfähigkeit verbessern und ist für Umgebungen mit hohem Restgas geeignet; Das Verhältnis von 6:1:2 erhöht die Bariumfreisetzungsrates, die für hohe Anforderungen an die Stromdichte geeignet ist, aber die Lebensdauer verkürzen kann. Die Auswahl des Verhältnisses sollte je nach Anwendungsszenario optimiert werden, wie z.B. bei Hochleistungs-Mikrowellenröhren oder langlebigen Röntgenröhren.
- **Anpassungsfähigkeit an die Umwelt:** Bariumverbindungen reagieren empfindlich auf Sauerstoff und Wasserdampf und müssen in einer Hochvakuumumgebung gelagert und gehandhabt werden, um eine Zersetzung durch Oxidation oder Hydratation zu vermeiden.

Das Verhältnis und die Partikeleigenschaften von Bariumverbindungen wirken sich direkt auf die Bildungseffizienz der aktiven Schicht und die Langzeitstabilität der Kathode aus und müssen experimentell optimiert werden, um den Anforderungen verschiedener Anwendungen gerecht zu werden.

2.1.3 Einfluss von Additiven auf das Emissionsverhalten

Um die Emissionseffizienz, die thermische Stabilität und die Vergiftungsfähigkeit von Bariumwolframkathoden weiter zu verbessern, werden häufig Additive in Bariumverbindungen oder Wolframmatrizen eingebracht. Im Folgenden sind gängige Zusatzstoffe und ihre Wirkungen aufgeführt:

- **Seltenerdoxide (z. B. La_2O_3 , CeO_2):** Seltenerdelemente erhöhen die Emissionseffizienz, indem sie die Arbeitsfunktion reduzieren (bis zu 1,0 eV oder weniger) und gleichzeitig die thermische Stabilität der aktiven Schicht verbessern. So reduziert beispielsweise die Dotierung mit 0,5–2 Gew.-% La_2O_3 die Arbeitsfunktion erheblich und erhöht die Oxidationsbeständigkeit, wodurch sie für Hochleistungsanwendungen geeignet ist. CeO_2 verbessert die Oberflächenhärte und reduziert den mechanischen Verschleiß.
- **Calcium (Ca) oder Strontium (Sr) Verbindungen:** Steuern Sie die Zersetzungsrates von Bariumverbindungen, indem Sie das Verhältnis von CaO oder SrO anpassen und die Lebensdauer der Kathode verlängern. Zum Beispiel kann eine Erhöhung des CaO-Verhältnisses (auf ein Verhältnis von 2:1:1) die Bariumfreisetzungsrates verlangsamen, die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

für langlebige Anwendungen wie Satellitenkommunikationsgeräte geeignet ist, aber die Sendestromdichte leicht verringern kann.

- **Metalladditive (z. B. Os, Ir):** Das Beschichten einer dünnen Schicht aus Osmium (Os) oder Iridium (Ir) (ca. 0,1–1 µm dick) auf der Oberfläche der Wolframmatrix kann die Katalyse der Oberfläche verbessern, die Diffusion von Bariumatomen und die Bildung aktiver Schichten fördern. OS-Beschichtungen können die Arbeitsfunktion auf etwa 1,0 eV reduzieren, aber die Kosten sind höher und es gibt einen Kompromiss zwischen der Wirtschaftlichkeit.
- **Silikat- oder Boratzusätze:** Verbessern Sie die Widerstandsfähigkeit gegen Vergiftungen, indem Sie eine Schutzschicht bilden und die Auswirkungen von Sauerstoff- oder Kohlenstoffverschmutzung reduzieren. Überschüssiges Silikat kann jedoch die Arbeitsfunktion erhöhen, und das Zugabeverhältnis (normalerweise < 1 Gew.-%) muss kontrolliert werden.
- **Andere Additive:** wie Yttriumoxid (Y_2O_3) oder Zirkonoxid (ZrO_2), die die thermische Stabilität und mechanische Festigkeit verbessern und für Anwendungen in extremen Umgebungen (z. B. Raumfahrtelctronik) geeignet sind.

Art und Verhältnis der Additive müssen durch Experimente genau optimiert werden, und eine übermäßige Zugabe kann zu ungleichmäßigen aktiven Schichten oder Nebenreaktionen führen, wodurch die Emissionsleistung verringert wird. Die Auswahl der Additive muss für spezifische Anwendungsszenarien ausgelegt werden, wie z. B. hohe Stromdichte, lange Lebensdauer oder Vergiftungsschutzanforderungen.

2.2 Herstellungsprozess der Barium-Wolfram-Kathode

2.2.1 Herstellung poröser Wolframmatrix: Pulvermetallurgie und Porenkontrolle

Die Herstellung einer porösen Wolframmatrix ist ein zentraler Schritt bei der Herstellung von Bariumwolframkathoden unter Verwendung der Pulvermetallurgietechnologie, und der Prozess umfasst das Pulversieb, das Pressformen, das Sintern und die Porenkontrolle. Hier sind die detaillierten Schritte:

- **Wolframpulver-Screening:** Wählen Sie [hochreines Wolframpulver](#) (Reinheit $\geq 99,95\%$, Partikelgröße 1–10 µm), um die chemische Stabilität und Gleichmäßigkeit der Matrix zu gewährleisten. Die Partikelgrößenverteilung hat einen direkten Einfluss auf die Porenstruktur und muss durch Vibrationscreening oder Luftströmungsklassifizierungstechnologie optimiert werden. Kleinere Partikelgrößen (1–3 µm) erhöhen die Porosität, können aber die mechanische Festigkeit verringern; Größere Partikelgrößen (5–10 µm) erhöhen die Festigkeit, verringern aber die Porosität.
- **Pressen:** Wolframpulver wird in eine Form gegeben und unter hohem Druck (100–500 MPa) gepresst, um Rohlinge zu formen, die in der Regel zylindrisch (5–20 mm Durchmesser) oder Bleche (1–5 mm dick) sind. Der Pressprozess erfordert die Kontrolle

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

des Drucks, des Formdesigns und des Schmiermitteleinsatzes, um eine gleichmäßige anfängliche Porenstruktur zu erreichen. Bidirektionale oder isostatische Presstechniken verbessern die Gleichmäßigkeit der Knüppeldichte.

- **Sinterprozess:** Beim Hochtemperaturesintern (2000–2500 °C) im Vakuum (10^{-4} – 10^{-6} Pa) oder in Wasserstoffatmosphäre können sich Wolframpartikel durch Diffusion zu einer porösen Struktur verbinden. Die Sinterzeit (1–4 Stunden) und die Temperatur müssen genau gesteuert werden, eine zu hohe Temperatur kann zum Porenkollaps führen, und eine zu niedrige Temperatur beeinträchtigt die Haftfestigkeit der Partikel. Die Wasserstoffatmosphäre reduziert Oxidverunreinigungen und verbessert die Reinheit der Matrix.
- **Porositätskontrolle:** Kontrollieren Sie die Porosität und Porengröße durch Zugabe von temporären Füllstoffen (z. B. Stärke, Polymethylmethacrylat) oder Anpassung der Partikelgrößenverteilung von Wolframpulver. Der Füllstoff verflüchtigt sich während des Sinterprozesses, wodurch ein gleichmäßiges Porennetzwerk entsteht. Porositätstests zeigen, dass eine Porosität von 20–30 % die mechanische Festigkeit mit der Speicherkapazität von Bariumverbindungen ausgleicht.

Die Qualität der porösen Wolframmatrix wirkt sich direkt auf den nachfolgenden Imprägnierprozess und die Kathodenleistung aus, und die Konsistenz der Porenstruktur muss durch REM, X-CT oder spezifische Oberflächenanalyse (BET) überprüft werden. Die optimierte Matrix sollte eine gleichmäßige Porenverteilung, eine hohe mechanische Festigkeit (Druckfestigkeit >500 MPa) und eine geeignete Porengröße (1–10 µm) aufweisen.

2.2.3 Imprägnierprozess von Bariumverbindungen: Lösungsvorbereitung und Imprägnierparameter

Der Imprägnierprozess von Bariumverbindungen ist ein wichtiger Schritt bei der gleichmäßigen Einführung von Bariumverbindungen in poröse Wolframsubstrate, was sich direkt auf die Bildungseffizienz und die Emissionseigenschaften der aktiven Schicht auswirkt. Der Prozess umfasst die Lösungsvorbereitung, Imprägnierung, Trocknung und Wärmebehandlung wie folgt:

- **Lösungsvorbereitung:** Bariumcalciumaluminat (z. B. $4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) wird mit entionisiertem Wasser oder einem organischen Lösungsmittel wie Ethanol zu einer Suspension oder Lösung vermischt. Die Viskosität und die Partikeldispersion der Lösung müssen durch Rühren oder Beschallung optimiert werden, um ein gleichmäßiges Eindringen in die Poren zu gewährleisten. Die Zugabe einer kleinen Menge Tensid, wie z. B. Polyvinylalkohol, verbessert die Benetzbarkeit der Lösung.
- **Imprägnierverfahren:** Die poröse Wolframmatrix wird unter Verwendung von Vakuumimprägnierungstechniken (10^{-2} – 10^{-4} Pa) oder Druckimprägnierung (0,1–1 MPa) in eine Bariumverbindungslösung getaucht, um das Eindringen der Lösung in die Poren zu erleichtern. Die Vakuumimprägnierung entfernt Luft aus den Poren und verbessert die Fülleffizienz; Die Druckimprägnierung erhöht die Eindringtiefe der Lösung. Bedingungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

wie Imprägniertemperatur und -zeit sollten entsprechend der Porosität der Matrix und der Lösungskonzentration optimiert werden, und eine zu lange Einweichzeit kann zu einer Verstopfung der Poren führen.

- **Trocknung und Wärmebehandlung:** Das imprägnierte Substrat wird bei niedrigen Temperaturen (100–300°C) getrocknet, um Lösungsmittel zu entfernen und eine Beschädigung der Porenstruktur zu vermeiden. Es folgt eine Hochtemperatur-Wärmebehandlung (1000–1200 °C) im Vakuum oder in inerter Atmosphäre, um die Bariumverbindung auszuhärten und eine erste aktive Schicht zu bilden. Die Wärmebehandlung sollte Schritt für Schritt erhitzt werden, um thermische Spannungen zu vermeiden, die zu Rissen in der Matrix führen.

Die Parameter des Imprägnierprozesses haben einen wesentlichen Einfluss auf die Gleichmäßigkeit und die Emissionseigenschaften der aktiven Schicht. So kann z. B. eine zu hohe Lösungskonzentration zur Ansammlung von Bariumverbindungen auf der Oberfläche führen, wodurch die Gleichmäßigkeit der Emission verringert wird. Zu hohe Wärmebehandlungstemperaturen können die Verdampfung von Barium beschleunigen und seine Lebensdauer verkürzen. Die Prozessoptimierung erfordert eine experimentelle Validierung (z. B. REM-Beobachtung oder Emissionsprüfung), um eine gleichmäßige Verteilung von Bariumverbindungen und stabilen aktiven Schichten zu gewährleisten.

2.3 Gefüge und Eigenschaften von Bariumwolframkathoden

2.3.1 Porositäts- und Strukturanalyse poröser Wolframmatrix

Die Mikrostruktur der porösen Wolframmatrix ist die Grundlage für die Kathodenleistung von Bariumwolfram, und seine Porosität, Porengrößenverteilung und Konnektivität wirken sich direkt auf die Lager-, Diffusions- und Emissionseigenschaften von Bariumverbindungen aus. Im Folgenden sind die wichtigsten strukturellen Merkmale und Analysemethoden aufgeführt:

- **Porosität:** Die typische Porosität wird auf 20–30 % kontrolliert, um die Speicherkapazität der Bariumverbindung mit ihrer mechanischen Festigkeit in Einklang zu bringen. Eine hohe Porosität kann zu einer unzureichenden Matrizenfestigkeit und einer leichten Verformung bei hohen Temperaturen führen. Ist sie zu niedrig, wird die Bariumfreisetzungsrage begrenzt und die Sendestromdichte reduziert. Quecksilberintrusion oder Gasadsorption (BET) wird häufig verwendet, um die Porosität genau zu messen.
- **Porenstruktur:** Poren müssen ein dreidimensionales Netzwerk bilden, um eine effiziente Diffusion von Bariumatomen an die Oberfläche durch Kapillarwirkung zu gewährleisten. Die Porengrößenverteilung sollte gleichmäßig sein, eine zu große Porengröße kann zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Bariumverbindungen führen, und eine zu kleine Porengröße schränkt die Diffusionseffizienz ein. Die Röntgentomographie (Röntgentomographie (Röntgen-CT) rekonstruiert die dreidimensionale Struktur der Poren und verifiziert die Konnektivität.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Strukturanalyse:** Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) wird verwendet, um die Porenmorphologie und Oberflächeneigenschaften zu beobachten, und die spezifische Oberflächenanalyse (BET) wird verwendet, um die Porenoberfläche zu messen. Die energiedispersive Spektroskopie (EDS) analysiert die Verteilung von Verunreinigungen in Wolframmatrizen, um eine hohe Reinheit zu gewährleisten. Die Gleichmäßigkeit und Konnektivität der Porenstruktur sind entscheidend für die Langzeitstabilität der Kathode.

Die Optimierung der Porenstruktur muss durch die Anpassung der Partikelgröße, des Pressdrucks und der Sinterparameter des Wolframpulvers erreicht werden. Die Ergebnisse der Strukturanalyse müssen mit dem Emissionsleistungstest kombiniert werden, um die Auswirkungen des Porendesigns zu überprüfen.

2.3.2 Zusammenhang zwischen Oberflächenmorphologie und Emissionsverhalten der aktiven Bariumschicht

Die aktive Bariumschicht ist der Kern der Emissionsleistung der Bariumwolfram Kathode, und ihre Oberflächenmorphologie bestimmt direkt die Arbeitsfunktion, die Emissionsstromdichte und die Emissionsgleichmäßigkeit. Im Folgenden sind die wichtigsten Funktionen aufgeführt und wie sie sich auf die Leistung beziehen:

- **Oberflächenmorphologie:** Die aktive Schicht besteht aus einer einzelnen Atomlage oder einem dünnen Film, der aus Bariumatomen und ihren Oxiden auf der Oberfläche einer Wolframmatrix gebildet wird. Die ideale aktive Schicht sollte gleichmäßig, kontinuierlich und mit geringer Oberflächenrauheit sein, um eine gleichmäßige Elektronenemission und ein geringes Rauschen zu gewährleisten. Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Rasterkraftmikroskopie (AFM) werden häufig verwendet, um die Oberflächentopographie zu analysieren und die Ebenheit und Abdeckung aktiver Schichten zu überprüfen.
- **Arbeitsfunktion:** Durch die Ausbildung der aktiven Schicht wird die Arbeitsfunktion von 4,5 eV auf 1,1–1,5 eV für reines Wolfram reduziert, wodurch die Sendestromdichte deutlich erhöht wird. Die Gleichmäßigkeit der Arbeitsfunktion hängt von der Diffusionsrate und der Oberflächenbedeckung der Bariumatome ab, und eine unzureichende Abdeckung (<80%) kann zu lokalen Bereichen mit hoher Arbeitsfunktion führen, was die Emissionseffizienz verringert.
- **Emissionsleistung:** Die gleichmäßige aktive Schicht ermöglicht eine hohe Sendestromdichte und eine geringe Geräuschemission und erfüllt damit die Anforderungen von Hochleistungs-Mikrowellenröhren oder Röntgenröhren. Oberflächenfehler (z. B. Risse, Partikelansammlungen) können lokale Lichtbögen oder ungleichmäßige Emissionen auslösen und die Leistung verringern. Das Emissionsverhalten wird in der Regel durch thermionische Emissionsprüfung bewertet.
- **Einflussfaktoren:** Die Leistung der aktiven Schicht wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Betriebstemperatur:** Zu hohe Temperaturen beschleunigen die Verdunstung von Barium, was zum Verlust der aktiven Schicht und zur Verkürzung der Lebensdauer führt. Eine zu niedrige Temperatur begrenzt die Diffusion von Barium und verringert die Emissionseffizienz.
- **Vakuumumgebung:** Niedriges Vakuum ($>10^{-6}$ Pa) kann zu Oberflächenoxidation oder Kontamination führen und die Arbeitsfunktion erhöhen.
- **Oberflächenkontamination:** Sauerstoff-, Wasserdampf- oder Kohlenstoffverbindungen können mit Barium reagieren, um Verbindungen mit hoher Arbeitsfunktion (wie BaO_2) zu bilden, wodurch die Emissionsleistung verringert wird.
- **Wärmebehandlungsprozess:** Durch die schrittweise Aktivierung entsteht eine gleichmäßige aktive Schicht, die die Emissionsleistung optimiert.

Durch die Optimierung des Imprägnierprozesses, der Wärmebehandlungsparameter und der Additivformulierung kann eine gleichmäßige und stabile aktive Schicht gebildet werden, die die Emissionsleistung und die Lebensdauer von Bariumwolframkathoden verbessert. Die Korrelation zwischen Oberflächentopographie und Emissionsverhalten muss umfassend durch REM, AFM und Emissionstests analysiert werden, um die Prozessverbesserung zu unterstützen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Materialwissenschaft der Barium-Wolfram-Kathoden das komplexe Zusammenspiel von porösen Wolframmatrizen, Bariumverbindungen und Additiven umfasst und dessen Herstellungsprozess und Mikrostruktur einen entscheidenden Einfluss auf das Emissionsverhalten und die Lebensdauer haben. Durch eine umfassende Analyse der Materialzusammensetzung, des Präparationsprozesses und des Gefüges wird in diesem Kapitel eine solide Grundlage für die anschließende Diskussion von Funktionsprinzipien, Fertigungstechnologie und Leistungsoptimierung gelegt.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Barium Tungsten Cathode Introduction

1. Overview of Barium Tungsten Cathode

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

2. Characteristics of Barium Tungsten Cathode

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

3. Applications of Barium Tungsten Cathode

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Kapitel 3: Funktionsprinzip und Startmechanismus

Als hocheffizientes thermionisches Emissionsmaterial leitet sich die Bariumwolframkathode von ihrem einzigartigen Funktionsprinzip und Emissionsmechanismus ab. Dieses Kapitel befasst sich mit der thermionischen Emissionstheorie, den Emissionseigenschaften und verschiedenen Faktoren, die die Leistung von Bariumwolframkathoden beeinflussen. Basierend auf dem Grundprinzip der thermionischen Emission, kombiniert mit der Richardson-Dushman-Gleichung, dem Schottky-Effekt und der Perspektive der Quantenmechanik, analysiert diese Arbeit den Entstehungsmechanismus der Low-Work-Funktion der Bariumwolframkathode, das dynamische Verhalten der aktiven Schicht und ihre thermische Stabilität und geht auf die Auswirkungen der Arbeitsumgebung, Alterung und Vergiftungseffekte ein. und Fehlermodus für das Emissionsverhalten.

3.1 Theorie der thermionischen Emission

Die thermionische Emission ist das zentrale Funktionsprinzip der Barium-Wolfram-Kathode, die sich auf den Prozess des Erhitzens des Materials bezieht, um genügend Energie für Elektronen zu erhalten, um die Oberflächenbarriere zu überwinden und in das Vakuum zu entweichen. In diesem Abschnitt wird der Emissionsmechanismus der Bariumwolframkathode aus der Perspektive der klassischen thermionischen Emissionstheorie analysiert, kombiniert mit der Richardson-Dushman-Gleichung, dem Schottky-Effekt und der Quantenmechanik.

3.1.1 Richardson-Dushman-Gleichung

Die Richardson-Dushman-Gleichung ist ein grundlegendes theoretisches Modell zur Beschreibung der thermionischen Emission, das die Beziehung zwischen der Emissionsstromdichte und der Temperatur und der Arbeitsfunktion ausdrückt. Für eine Barium-Wolfram-Kathode kann ihre Emissionsstromdichte (J) durch die folgende Gleichung beschrieben werden:

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

Thereinto:

- (J): Emissionsstromdichte (Einheit: A/cm²);
- (A): Richardson-Konstante (theoretischer Wert ist 120,4 A/cm²· K², der tatsächliche Wert variiert je nach Oberflächenbeschaffenheit des Materials, in der Regel 50–100 A/cm²· K²);
- (T): Absolute Temperatur (Einheit: K, die typische Betriebstemperatur der Barium-Wolfram-Kathode beträgt 1173–1373 K, d.h. 900–1100°C);
- (exp): Exponentialfunktion.
- (ϕ): Arbeitsfunktion (Einheit: eV, Barium-Wolfram-Kathode ist ca. 1,1–1,5 eV);
- (k): Boltzmann-Konstante (8,617×10⁻⁵ eV/K).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In Barium-Wolfram-Kathoden erhöht die niedrige Arbeitsfunktion (1,1–1,5 eV) den Exponentialterm erheblich, was zu einer Emissionsstromdichte von 10–20 A/cm² bei niedrigeren Temperaturen führt, die viel höher ist als bei reinen Wolframkathoden (ca. 4,5 eV und Stromdichte von ca. 0,1–1 A/cm²). Der tatsächliche Wert der Richardson-Konstante wird durch den Oberflächenzustand, die Bedeckung der aktiven Bariumschicht und die Mikrostruktur beeinflusst und muss experimentell gemessen werden, z. B. mit thermionischen Emissionsprüfgeräten in einer Hochvakuumumgebung. Bei der Anwendung von Gleichungen werden die tatsächlichen Betriebsbedingungen wie Temperaturnormierung und Vakuumumgebung berücksichtigt, um die Genauigkeit der Vorhersage zu gewährleisten.

3.1.2 Schottky-Effekt und feldverstärkte Emission

Der Schottky-Effekt bezieht sich auf das Phänomen, dass die Oberflächenbarriere des Materials unter der Einwirkung eines externen elektrischen Feldes verringert wird, was zu einer Erhöhung der thermionischen Emission führt. In Barium-Wolfram-Kathoden wird der Schottky-Effekt durch folgende modifizierte Arbeitsfunktion beschrieben:

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

Thereinto:

- (ϕ_{eff}): die effektive Arbeitsfunktion (Einheit: eV), die die Arbeitsfunktion darstellt, nachdem sie unter der Einwirkung eines angelegten elektrischen Feldes reduziert wurde;
- (ϕ): Ursprüngliche Arbeitsfunktion (Einheit: eV);
- (e): elektronische Leistung (1.602×10^{-19} C);
- (E): Angelegte elektrische Feldstärke (Einheit: V/m);
- (ϵ_0): Dielektrizitätskonstante im Vakuum ($8,854 \times 10^{-12}$ F/m).

Unter Bedingungen mit hohem elektrischem Feld (z. B. 10^7 – 10^8 V/m, wie sie häufig in Mikrowellenröhren oder Röntgenröhren zu finden sind) kann die Verringerung der Arbeitsfunktion die übertragene Stromdichte erheblich erhöhen. Der Schottky-Effekt ist besonders wichtig für Hochleistungsbaulemente, da er eine hohe Stromabgabe bei niedrigeren Temperaturen ermöglicht und so den Energieverbrauch und die thermische Belastung reduziert. In praktischen Anwendungen muss die Gleichmäßigkeit des elektrischen Feldes durch das Elektrodendesign (z. B. die Verwendung glatter kreisförmiger Elektroden) optimiert werden, um Lichtbögen zu vermeiden, die durch lokale übermäßige elektrische Felder und Schäden an der Kathodenoberfläche verursacht werden.

3.1.3 Perspektive der Quantenmechanik

Bei hoher Feldstärke oder extremen Bedingungen haben quantenmechanische Effekte (wie z.B. der Tunneleffekt) einen gewissen Einfluss auf das Emissionsverhalten von Bariumwolframkathoden. Der Tunneleffekt bezieht sich auf das Entweichen von Elektronen in ein Vakuum durch

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Quantentunneln, ohne die Oberflächenbarriere vollständig zu überwinden. Die Wahrscheinlichkeit des Tunneleffekts wird durch die Fowler-Nordheim-Gleichung beschrieben:

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

Thereinto:

- (J): Tunnelstromdichte (Einheit: A/cm²), die die Elektronenflussintensität pro Flächeneinheit darstellt;
- (A'), (B): konstant (bezogen auf Material und Geometrie, typische Werte sind 1,54×10⁻⁶ A·eV/V² und 6,83×10⁹ V/m·eV^{-3/2});
- (E): Elektrische Feldstärke (Einheit: V/m);
- (φ): Arbeitsfunktion (Einheit: eV).

In Barium-Wolfram-Kathoden sind Tunneleffekte in der Regel bei sehr hohen elektrischen Feldern signifikant, wie z. B. in feldverstärkten Mikrowellengeräten oder Terahertz-Wellengeneratoren. Die Low-Work-Funktion reduziert die Tunnelsperre und verbessert die Tunnelfahrscheinlichkeit. Da die Barium-Wolfram-Kathode jedoch hauptsächlich auf thermionischer Emission beruht, hat der Tunneleffekt einen geringen Beitrag und muss nur in bestimmten Szenarien mit hoher Feldstärke berücksichtigt werden. Die Perspektive der Quantenmechanik ergänzt das Verständnis komplexer Emissionsmechanismen und hilft bei der Optimierung des Kathodendesigns, z. B. durch die Verbesserung des lokalen Verstärkungseffekts des elektrischen Feldes durch Anpassung der Oberflächentopographie (z. B. nanoskalige Vorsprünge).

3.2 Emissionseigenschaften von Bariumwolframkathoden

3.2.1 Entstehungsmechanismus der Low-Power-Funktion

Die geringe Arbeitsfunktion (1,1–1,5 eV) der Barium-Wolfram-Kathode ist der Kern ihrer hohen Emissionseffizienz, die auf die Diffusion und Oberflächenwirkung von Bariumatomen in der porösen Wolframmatrix zurückzuführen ist. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse des Entstehungsmechanismus:

- **Diffusion von Bariumatomen:** Bei Betriebstemperatur kann Bariumcalciumaluminat (z. B. 4BaO·CaO·Al₂O₃) setzt durch eine thermische Zersetzungsreaktion freie Bariumatome frei:



Diese Atome diffundieren durch ein Porennetzwerk aus poröser Wolframmatrix an die Oberfläche, mit einem Diffusionskoeffizienten von etwa 10⁻¹²–10⁻¹⁰ m²/s, was ausreicht, um in Sekundenschnelle eine gleichmäßige Oberflächenbedeckung zu bilden. Die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Porenkonnektivität und die Porosität (20–30 %) sind entscheidend für die Diffusionseffizienz und müssen durch pulvermetallurgische Prozesse optimiert werden.

- **Oberflächenwirkung:** Bariumatome werden an der Oberfläche der Wolframmatrix adsorbiert, um eine einzelne Atomlage oder einen dünnen Film zu bilden. Die geringe Elektronegativität von Barium und die hohe Elektronegativität von Wolfram bilden eine Oberflächendipolschicht, die die Oberflächenbarriere reduziert und die Arbeitsfunktion von Wolfram von 4,5 eV auf 1,1–1,5 eV reduziert. Die Oberflächenabdeckung sollte mehr als 80 % erreichen, um die Gleichmäßigkeit der Arbeitsfunktion zu gewährleisten, unterhalb derer dies zu lokalen Bereichen mit hoher Arbeitsfunktion führen und die Emissionseffizienz verringern kann.
- **Chemische und physikalische Adsorption:** Bariumatome gehen durch chemische Adsorption starke Bindungen mit der Oberfläche von Wolfram ein, um die Stabilität der aktiven Schicht zu verbessern. Physikalisch adsorbierte Bariumatome sorgen für eine kontinuierliche Bariumnachschubversorgung, um das dynamische Gleichgewicht aufrechtzuerhalten. Die Stabilität der Chemisorption gewährleistet die langfristige Zuverlässigkeit der aktiven Schicht bei hohen Temperaturen.

Die Bildung der Low-Work-Funktion hängt von der Zersetzungsrate der Bariumverbindungen, der Diffusionseffizienz der Porenstruktur und der Gleichmäßigkeit der Oberflächenmorphologie ab. Die Optimierung dieser Faktoren führt zu einer stabil hohen Stromdichte und geringen Geräuschemission, wodurch sie für Hochleistungs-Vakuumelektronik wie Mikrowellenröhren und Röntgenröhren geeignet sind.

3.2.2 Dynamisches Verhalten und thermische Stabilität aktiver Schichten

Das dynamische Verhalten und die thermische Stabilität der aktiven Bariumschicht wirken sich direkt auf die Leistung und Lebensdauer der Kathode aus. Hier sind die wichtigsten Funktionen:

- **Dynamisches Verhalten:** Die aktive Schicht befindet sich während des Betriebs im dynamischen Gleichgewicht, wobei Bariumatome kontinuierlich aus den Poren an die Oberfläche diffundieren, während einige Bariumatome durch Verdunstung verloren gehen. Es ist notwendig, das Verhältnis der Bariumverbindung zu optimieren, um sicherzustellen, dass die Wiederauffüllungsrate der Verlustrate entspricht. Die aktive Schichtabdeckung schwankt mit der Zeit, und die anfängliche Bildung muss durch einen schrittweisen Aktivierungsprozess optimiert werden, um frühzeitige Verluste zu reduzieren.
- **Thermische Stabilität:** Die aktive Schicht muss bei 900–1100 °C stabil sein, und der Verdampfungsverlust von Barium wird bei zu hohen Temperaturen beschleunigt, was zu einer Erhöhung der Arbeitsfunktion führt. Eine zu niedrige Temperatur begrenzt die Bariumdiffusion und verringert die Emissionseffizienz. Die hohe Wärmeleitfähigkeit (173 W/m·K) und der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient ($4,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) der Wolframmatrix sorgen dafür, dass die thermische Belastung minimiert und die strukturelle Integrität der aktiven Schicht erhalten bleibt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Oberflächentopographie:** Die Oberflächenrauheit der aktiven Schicht sollte gering gehalten werden, um lokale Hochleistungsfunktionsbereiche zu vermeiden. Die Analyse der Rasterelektronenmikroskopie (REM) und der Rasterkraftmikroskopie (AFM) zeigte, dass eine gleichmäßige aktive Schicht das Emissionsrauschen (Geräuschpegel <1%) reduzierte und die Stromstabilität verbesserte. Beispielsweise können Oberflächendefekte wie Partikelablagerungen lokale Schwankungen der Stromdichte verursachen, die das Rauschen erhöhen.

Das dynamische Verhalten und die thermische Stabilität der aktiven Schicht müssen durch eine präzise Prozesssteuerung (z. B. Imprägnierparameter, Aktivierungstemperatur) optimiert werden. So kann beispielsweise die Zugabe einer kleinen Menge Seltenerdoxide die Verdunstungsbeständigkeit der aktiven Schicht verbessern und ihre Lebensdauer verlängern. Durch regelmäßige Überwachung der Oberflächentopographie und der Emissionseigenschaften (z. B. durch REM oder Amperemeter) kann die Stabilität der aktiven Schicht beurteilt werden.

3.3 Faktoren, die das Emissionsverhalten von Bariumwolframkathoden beeinflussen

Das Emissionsverhalten von Barium-Wolfram-Kathoden wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst, darunter die Betriebsumgebung, Alterungs- und Vergiftungseffekte sowie Ausfallmodi.

3.3.1 Arbeitsumfeld

Die Arbeitsumgebung hat einen erheblichen Einfluss auf das Emissionsverhalten von Bariumwolframkathoden, einschließlich Temperatur, Vakuum, Oberflächenverschmutzung, externes elektrisches Feld und mechanische Beanspruchung.

- **Betriebstemperatur:** Die ideale Betriebstemperatur für Barium-Wolfram-Kathoden beträgt 900–1100 °C (1173–1373 K), was eine hohe Sendestromdichte für Hochleistungsgeräte ermöglicht. Zu hohe Temperaturen beschleunigen den Verdampfungsverlust von Barium, beeinträchtigen die Bedeckung der aktiven Schicht, erhöhen die Arbeitsfunktion und verringern die Stromdichte. Eine zu niedrige Temperatur begrenzt die Diffusion von Bariumatomen und verringert die Emissionseffizienz.

Einflussmechanismus: Hohe Temperaturen beschleunigen die thermische Verdampfung von Bariumatomen und verringern die Abdeckung der aktiven Schicht; Niedrige Temperaturen verlangsamen die Zersetzungs- und Diffusionsrate, was sich auf die Stabilität der Arbeitsfunktion auswirkt.

Bewältigungsstrategien:

- Die Temperaturgleichmäßigkeit wird durch ein hochpräzises Heizsystem gesteuert, und die Echtzeitüberwachung erfolgt mit einem Infrarot-Thermometer.
- Optimieren Sie das Verhältnis von Bariumverbindungen, um den Verdampfungsverlust von Barium bei hohen Temperaturen zu verlangsamen und die Lebensdauer der aktiven Schicht zu verlängern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Entwerfen Sie eine effiziente Wärmeableitungsstruktur (z. B. durch Hinzufügen von Kühlkanälen auf der Rückseite der Wolframmatrix), um eine lokale Überhitzung zu vermeiden.
- **Vakuummgebung:** Barium-Wolfram-Kathoden müssen im Hochvakuum betrieben werden, um eine Restgaskontamination zu vermeiden. Das niedrige Vakuum bewirkt, dass Sauerstoff, Wasserdampf oder Kohlenstoffverbindungen mit Barium reagieren, um Verbindungen mit hoher Arbeitsfunktion zu bilden, die die Emissionsstromdichte verringern.

Einflussmechanismus: Das Restgas reagiert chemisch mit Bariumatomen zu inerten Verbindungen, wodurch die Oberflächenbarriere erhöht und die Fluchteffizienz der Elektronen verringert wird.

Bewältigungsstrategien:

- Halten Sie das Vakuum mit einem hocheffizienten Vakuumpumpensystem aufrecht, z. B. einer Turbomolekular- oder Ionenpumpe.
- Vakuumiertechnik (z.B. Metall-Keramik-Versiegelung) und Vorvakuumbehandlung reduzieren Restgase.
- Reinigen Sie die Vakuumkammer regelmäßig (z. B. Plasmareinigung oder Hochtemperatur-Backen), um adsorbierte Gasmoleküle zu entfernen.
- **Oberflächenkontamination:** Sauerstoff, Wasserdampf, Kohlenstoffverbindungen oder Sulfide reagieren mit Barium zu Hochleistungsverbindungen (wie BaCO_3), wodurch die Emissionseffizienz erheblich verringert wird. Die Verschmutzungsrate ist in der Regel proportional zum Partialdruck des Gases. Zu den häufigsten Schadstoffen gehören:
 - Sauerstoff: Bildet BaO_2 (Arbeitsfunktion 2,5 eV).
 - Wasserdampf: bildet Ba(OH)_2 (Arbeitsfunktion 2,8 eV).
 - Kohlenstoffverbindungen: Bildung von BaCO_3 (Arbeitsfunktion 3.0 eV).

Einflussmechanismus: Der Schadstoff nimmt durch Chemisorption das aktive Zentrum ein, zerstört die Funktionsschicht mit geringer Leistung und führt zu einer Abnahme der Emissionsleistung.

Bewältigungsstrategien:

- Reinraumumgebungen werden bei der Kathodenherstellung und -installation eingesetzt, um die Erstkontamination zu reduzieren.
- Die Voraktivierungsbehandlung entfernt Oberflächenverunreinigungen.
- Antitoxine werden hinzugefügt, um eine Schutzschicht zu bilden, um die Geschwindigkeit der Verschmutzungsreaktion zu verlangsamen.
- Periodische Oberflächenregeneration (z. B. Ionenbeschuss oder kryogene Aktivierung) stellt die Emissionsleistung wieder her.
- **Externes elektrisches Feld:** Das angelegte elektrische Feld erhöht die Emissionsleistung durch den Schottky-Effekt, reduziert die Arbeitsfunktion und erhöht die Stromdichte. Übermäßige elektrische Felder können jedoch lokale Lichtbögen auslösen, die zu Oberflächenschäden oder Emissionsinstabilität führen. Eine unzureichende Gleichmäßigkeit des elektrischen Feldes kann zu einem übermäßigen lokalen Strom führen und die Alterung beschleunigen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Einflussmechanismus: hohes elektrisches Feld reduziert Potentialbarrieren und erhöht die Emission; Das ungleichmäßige elektrische Feld löst eine lokale Überhitzung oder Lichtbögen aus, wodurch die Oberflächenstruktur beschädigt wird.

Bewältigungsstrategien:

- Optimieren Sie die Elektrodengeometrie (z. B. glatte kreisförmige Elektrode oder Gate-Struktur), um die Gleichmäßigkeit des elektrischen Feldes zu gewährleisten.
 - Verwenden Sie elektrische Feldsonden, um die elektrische Feldstärke in Echtzeit zu überwachen und übermäßige elektrische Felder zu vermeiden.
 - Oberflächenpolitur und Defektreparatur (z. B. Laserreparatur) verringern das Risiko von Lichtbögen.
- **Mechanische Beanspruchung:** Der Betrieb bei hohen Temperaturen kann zu thermischen Spannungen führen, insbesondere bei großen Temperaturgradienten, die zu Mikrorissen oder Porenkollaps der Wolframmatrix führen.

Einflussmechanismus: Thermischer Stress führt zu einer Schädigung der Matrixstruktur, die die Bariumdiffusion und die Stabilität der aktiven Schicht beeinträchtigt.

Bewältigungsstrategien:

- Eine schrittweise Erwärmung wird eingesetzt, um die thermische Belastung zu reduzieren.
- Optimieren Sie die Porosität, balancieren Sie mechanische Festigkeit und Diffusionseffizienz aus.
- Verwenden Sie eine hochfeste Wolframmatrix, um die Rissbeständigkeit zu verbessern.

Die Optimierung der Arbeitsumgebung erfordert eine umfassende Berücksichtigung der Temperaturregelung, der Vakuumtechnologie, des Elektrodendesigns und der mechanischen Stabilität, um eine gleichbleibend hohe Emissionsleistung zu gewährleisten.

3.3.2 Mechanismus des Alterns und Toxizitätseffekte

Alterungs- und Vergiftungseffekte sind die Hauptgründe für die Verschlechterung der Leistung der Bariumwolfram Kathode, und der Mechanismus ist wie folgt:

- **Alterungseffekt:** Ein langfristiger Betrieb führt zur Erschöpfung der Bariumverbindungen, zur Abnahme der aktiven Schichtabdeckung und zur Erhöhung der Arbeitsfunktion. Die Lebensdauer einer Barium-Wolfram-Kathode hängt eng mit der Menge des gelagerten Bariums und den Arbeitsbedingungen zusammen.

Einflussmechanismus: Der Bariummangel verringert die Abdeckung der aktiven Schicht, erhöht die Oberflächenbarriere und verringert die Effizienz des Elektronenaustritts.

Bewältigungsstrategien:

- Erhöhen Sie die Porosität oder optimieren Sie die Verhältnisse von Bariumverbindungen, um die Bariumlagerung zu erhöhen und die Lebensdauer zu verlängern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die regelmäßige Aktivierung bei niedrigen Temperaturen füllt die aktive Schicht wieder auf und stellt die Deckkraft wieder her.
- Echtzeitüberwachung des Sendestroms, Vorhersage des Alterungsprozesses und Anpassung der Betriebsparameter im Voraus.
- Bariumverbindungen mit hoher Kapazität werden verwendet, um die anfängliche Bariumspeicherkapazität für Hochleistungsanwendungen zu erhöhen.
- **Vergiftungseffekt:** Restgase (wie O_2 , H_2O , CO_2) reagieren mit Barium zu Hochleistungsfunktionsverbindungen (wie BaO_2 , $BaCO_3$), wodurch die Emissionseffizienz verringert wird. Die Vergiftungsrate ist direkt proportional zum Partialdruck des Gases, und zu den üblichen Schadstoffen und ihren Auswirkungen gehören:
 - Sauerstoff: Bildet BaO_2 (Arbeitsfunktion 2,5 eV).
 - Wasserdampf: bildet $Ba(OH)_2$ (Arbeitsfunktion 2,8 eV).
 - Kohlenstoffverbindungen: Bildung von $BaCO_3$ (Arbeitsfunktion 3.0 eV).**Einflussmechanismus:** Der Schadstoff nimmt durch Chemisorption das aktive Zentrum ein, zerstört die Funktionsschicht mit geringer Leistung und führt zu einer Abnahme der Emissionsleistung.
Bewältigungsstrategien:
 - Antitoxische Mittel werden zugesetzt, um eine Schutzschicht zu bilden, die die Reaktionsgeschwindigkeit verlangsamt und die Leistungserhaltungszeit verlängert.
 - Die Erhöhung des Vakuumniveaus verringert die Wahrscheinlichkeit einer Kontamination, z. B. durch die Verwendung einer Kombination aus Ionenpumpen und Kryo-Fallenpumpen.
 - Regelmäßige Oberflächenregeneration (z. B. Ionenbeschuss oder kryogene Aktivierung) entfernt Verunreinigungen und stellt die Stromdichte wieder her.
 - Optimieren Sie das Elektrodendesign (z. B. durch zusätzliche Abschirmung), um den Kontakt von Verunreinigungen mit der aktiven Schicht zu reduzieren.

Das Management von Alterungs- und Toxizitätseffekten muss durch Materialoptimierung, Prozessverbesserung und Umweltkontrolle erreicht werden.

3.3.3 Fehlermöglichkeitsanalyse

Zu den Fehlermodi von Bariumwolframkathoden gehören die folgenden Typen, die jeweils spezifische Diagnosemethoden und Verbesserungsstrategien erfordern:

- **Emissionsdämpfung durch Oberflächenverschmutzung:** Schadstoffe (wie BaO_2 , $BaCO_3$) erhöhen die Arbeitsfunktion und verringern die Stromdichte und deren Leistung.
Diagnostische Methoden:
 - Die Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS) analysiert die chemische Zusammensetzung der Oberfläche, erkennt das BA/O/C-Verhältnis und bestätigt die Art der Verunreinigung.
 - Thermionische Emissionstests bewerten die Dämpfung der Stromdichte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die energiedispersive Spektroskopie (EDS) überprüft die Verteilung von Oberflächenelementen.

Verbesserungsstrategie:

- Anti-Vergiftungs-Additive werden verwendet, um eine antioxidative Schutzschicht zu bilden.
 - Verwenden Sie eine Hochvakuumumgebung und Plasmareinigung, um Verunreinigungen zu entfernen.
 - Optimieren Sie den Aktivierungsprozess, wie z. B. die schrittweise Erwärmung, um eine erste Oberflächenreinigung zu gewährleisten.
- **Bariumabbau:** Ein langfristiger Betrieb führt zur Erschöpfung von Bariumverbindungen, die aktive Schichtabdeckung nimmt ab, die Arbeitsfunktion nimmt zu und die Stromdichte nimmt ab.

Diagnostische Methoden:

- Das REM beobachtet die Morphologie der aktiven Schicht und verifiziert die Bedeckung.
- Messungen der Arbeitsfunktion (z. B. thermionische Emissionstests) beurteilen die Leistungsverschlechterung.
- EDS-Analyse des Bariumgehalts.

Verbesserungsstrategie:

- Erhöhen Sie die Bariumlagerung.
 - Das optimierte Verhältnis verlangsamt den Bariumabbau und verlängert die Lebensdauer.
 - Regelmäßige Aktivierung bei niedrigen Temperaturen füllt die aktive Schicht wieder auf, um die Stromdichte wiederherzustellen.
- **Mechanisches Versagen:** Thermische Spannung bei hohen Temperaturen kann zu Rissbildung oder Porenkollaps der Wolframmatrix führen, was die Bariumdiffusion beeinträchtigt.

Diagnostische Methoden:

- Die Röntgentomographie analysiert die Porenstruktur, um Risse oder Kollaps zu erkennen.
- Mechanische Prüfungen, wie z. B. Druckfestigkeitsprüfungen, beurteilen die Integrität der Matrix.

Verbesserungsstrategie:

- Optimieren Sie den Sinterprozess (z. B. Senkung der Sintertemperatur), um die Festigkeit der Matrix zu erhöhen.
 - Eine schrittweise Erwärmung wird eingesetzt, um die thermische Belastung zu reduzieren.
 - Die Dotierung verbessert die Rissbeständigkeit.
- **Lichtbogenversagen:** Oberflächendefekte (z. B. Partikelablagerungen, Risse) oder unebene aktive Schichten lösen lokale Lichtbögen aus, die zu Emissionsinstabilität oder Oberflächenschäden führen.

Diagnostische Methoden:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Der hochfrequente Emissionstest erkennt Stromschwankungen.
- REM analysiert Oberflächenfehler.
- Lichtbogenüberwachungsgeräte (z. B. Oszilloskope) zeichnen abnormale Entladungen auf.

Verbesserungsstrategie:

- Optimieren Sie den Imprägnierprozess, z. B. die Steuerung der Lösungskonzentration, um die Homogenität der aktiven Schicht sicherzustellen.
- Oberflächenpolitur und Laserreparatur zur Beseitigung von Defekten.
- Optimierungen des Elektrodendesigns (z. B. Vergrößerung des Torabstands) reduzieren die Konzentration des elektrischen Feldes und verringern das Risiko von Lichtbögen.

Die Fehleranalyse erfordert eine Kombination von Diagnosen mit mehreren Technologien (z. B. XPS, REM, X-CT, Emissionsprüfungen), um die Fehlerursache genau zu identifizieren. Bei Röntgenröhrenanwendungen kann beispielsweise die regelmäßige XPS-Analyse und -Aktivierung die Ausfallraten senken. Zu den Verbesserungsstrategien gehören Materialoptimierung (z. B. Zugabe von antitoxischen Mitteln), Prozessverbesserungen (z. B. schrittweise Aktivierung) und Umweltkontrolle (z. B. Hochvakuum), um die Lebensdauer der Kathoden zu verlängern.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Funktionsprinzip und der Emissionsmechanismus der Barium-Wolfram-Kathode die Theorie der thermionischen Emission, das dynamische Verhalten der aktiven Schicht und das komplexe Zusammenspiel verschiedener Umweltfaktoren beinhalten. Dieses Kapitel bietet eine umfassende Analyse der Richardson-Ducman-Gleichung, des Schottky-Effekts, der quantenmechanischen Perspektive, der Emissionseigenschaften und der Einflussfaktoren und legt damit den Grundstein für die folgenden Kapitel, in denen die Fertigungstechnologie und die Leistungsoptimierung erörtert werden.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kapitel 4: Herstellungs- und Verarbeitungstechnologie der Bariumwolframkathode

Die Herstellungs- und Verarbeitungstechnologie von Barium-Wolfram-Kathoden ist ein Schlüsselglied für ihre hohe Leistung und Zuverlässigkeit, was sich direkt auf ihre Emissionseffizienz, Lebensdauer und Stabilität in elektronischen Vakuumgeräten auswirkt. In diesem Kapitel werden der Formgebungsprozess von porösen Wolframmatrizen, der Imprägnier- und Aktivierungsprozess von Bariumverbindungen sowie die Qualitätskontroll- und Prüfmethode ausführlich untersucht, wobei der gesamte Prozess von der Rohstoffvorbereitung bis zur abschließenden Leistungsüberprüfung abgedeckt wird.

4.1 Poröses Wolfram-Matrix-Spritzgießen

Die poröse Wolframmatrix ist die Kernstruktur der Barium-Wolfram-Kathode und bietet ein Netzwerk von Poren zur Speicherung von Bariumverbindungen und Kanälen zur Unterstützung der Diffusion aktiver Bariumatome. Der Formprozess erfordert eine präzise Kontrolle der Porosität, der Porengrößenverteilung und der mechanischen Festigkeit, um die Anforderungen von Hochleistungskathoden zu erfüllen. In diesem Abschnitt werden die Sieb- und Pressprozesse von Wolframpulver sowie die Optimierungstechniken für Porosität und mechanische Festigkeit beschrieben.

4.1.1 Sieb- und Pressprozess von Wolframpulver

Das Sieben und Pressen von Wolframpulver sind die grundlegenden Schritte der porösen Wolframmatrixbildung, die das anfängliche Gefüge und die nachfolgenden Verarbeitungseigenschaften der Matrix bestimmt. Im Folgenden finden Sie den detaillierten Prozess:

- **Wolframpulver-Screening:**
 - **Rohstoffauswahl:** Hochreines Wolframpulver wird ausgewählt, um die chemische Stabilität zu gewährleisten und Nebenreaktionen oder Oberflächenkontaminationen durch Verunreinigungen wie Eisen, Kohlenstoff oder Sauerstoff zu reduzieren. Ein zu hoher Gehalt an Verunreinigungen kann bei hohen Temperaturen zu Oxidation oder Degradation der Matrix führen.
 - **Partikelgrößenkontrolle:** Steuern Sie die Partikelgrößenverteilung von Wolframpulver durch Sieb- oder Luftstromklassifizierungstechniken. Der Partikelgrößenbereich muss entsprechend dem Porendesign optimiert werden. Feinere Pulver erzeugen eine gleichmäßigere Porenstruktur und eignen sich daher für Anwendungen mit hoher Stromdichte. Grobere Pulver bieten eine verbesserte mechanische Festigkeit und eignen sich für eine lange Lebensdauer. Die Partikelgrößenverteilung wird mit einem Laser-Partikelgrößenanalysator gemessen, um die Konsistenz zu gewährleisten.
 - **Pulvervorbehandlung:** Um die Oberflächenoxidschicht oder Feuchtigkeit zu entfernen, muss Wolframpulver bei niedriger Temperatur in einer Vakuum- oder

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wasserstoffatmosphäre vorgewärmt werden. Die Vorbehandlung verbessert auch die Fließfähigkeit des Pulvers für das anschließende Pressen.

- **Vorgang des Pressens:**
 - **Formendesign:** Entwerfen Sie zylindrische, Blech- oder andere geometrische Formen basierend auf kathodischen Anwendungen (z. B. Mikrowellenröhren oder Röntgenröhren). Die Oberfläche der Form muss poliert werden, um Knüppelfehler zu reduzieren, und das Material besteht in der Regel aus hochfestem Stahl oder Hartmetall, um hohem Druck standzuhalten.
 - **Presstechnik:** Wolframpulver wird mittels uniaxialer Pressung oder kaltisostatischer Presstechnik (CIP) zu Knüppeln gepresst. Das einachsige Pressen eignet sich für die Produktion von Kleinserien; Durch das kaltisostatische Pressen entsteht durch gleichmäßige Druckausübung ein gleichmäßiger Knüppel, wodurch er für hochpräzise Anwendungen geeignet ist. Die Druckrate muss während des Pressvorgangs kontrolliert werden, um Risse im Knüppel zu vermeiden.
 - **Bindemittelzugabe:** Um die Grünfestigkeit des Rohlings zu verbessern, kann eine kleine Menge organisches Bindemittel (z. B. Polyvinylalkohol oder Polymethylmethacrylat) zugesetzt werden. Das Bindemittel sollte beim anschließenden Sintern vollständig verflüchtigt werden, um Rückstände zu vermeiden, die die Porenstruktur beeinträchtigen.
 - **Knüppelinspektion:** Der gepresste Knüppel muss auf Dichte und Oberflächenintegrität überprüft werden. Die Dichtemessung erfolgt nach der Archimedes-Methode, und Oberflächendefekte werden durch optische Mikroskopie oder Ultraschallprüfung identifiziert, um sicherzustellen, dass keine Risse oder Delamination entstehen.
- **Prozessoptimierung:**
 - Optimieren Sie die Partikelgrößenverteilung und den Kompressionsdruck, um eine gleichmäßige anfängliche Porenstruktur zu schaffen. Die enge Partikelgrößenverteilung verbessert die Gleichmäßigkeit der Poren, kann aber die Festigkeit verringern. Eine breite Partikelgrößenverteilung erhöht die Festigkeit, kann aber zu einer ungleichmäßigen Porosität führen.
 - Die Pressumgebung sollte in einem Reinraum (ISO-Stufe 7 oder höher) kontrolliert werden, um eine Staubkontamination zu vermeiden.
 - Experimentelle Validierung von Pressparametern, z. B. die Verwendung eines Mikroskops zur Beobachtung der Porenverteilung des Knüppelabschnitts, um sicherzustellen, dass die ursprüngliche Struktur den Designanforderungen entspricht.

Der Sieb- und Pressprozess muss die hohe Reinheit des Wolframpulvers und die strukturelle Konsistenz des Knüppels sicherstellen, um die Grundlage für das anschließende Sintern und Imprägnieren zu schaffen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1.2 Optimierung der Porosität und mechanischen Festigkeit

Porosität und mechanische Festigkeit sind die wichtigsten Leistungsparameter poröser Wolframmatrix, die durch Sinterprozess und Porenkontrolltechnologie optimiert werden müssen, um die Lagerkapazität und strukturelle Stabilität von Bariumverbindungen auszugleichen. Im Folgenden finden Sie einen detaillierten Optimierungsprozess:

- **Sinter-Prozess:**
 - **Sinterumgebung:** Das Sintern wird in einer Vakuum- oder hochreinen Wasserstoffatmosphäre durchgeführt, um die Oxidation von Wolframpulver zu verhindern. Die Wasserstoffatmosphäre entfernt auch Bindemittelreste und Oberflächenoxide.
 - **Temperaturregelung:** Die Sintertemperatur liegt typischerweise bei 2000–2200 °C und damit unter dem Schmelzpunkt von Wolfram, um die Porenstruktur zu erhalten. Die stufenweise Beheizung reduziert die thermische Belastung und vermeidet Rissbildung des Knüppels. Die Haltezeit wird entsprechend der Größe des Knüppels optimiert.
 - **Sinteranlagen:** Es werden Hochtemperatur-Vakuumöfen oder Wasserstoffschutzöfen eingesetzt, die mit präzisen Temperaturregelungssystemen ausgestattet sind. Die Atmosphäre im Ofen muss mit einem Gasanalysator überwacht werden, um sicherzustellen, dass keine Verunreinigung durch Sauerstoff oder Wasserdampf vorhanden ist.
 - **Porenbildung:** Während des Sinterprozesses gehen Wolframpartikel durch Oberflächendiffusion und Korngrenzbindung starke Bindungen ein, während ein dreidimensional verbundenes Porennetzwerk erhalten bleibt. Temporäre Füllstoffe wie Stärke oder Polystyrol-Mikrosphären können sich während des Sinterns verflüchtigen, wodurch zusätzliche Porosität entsteht.
- **Optimierung der Porosität:**
 - **Zielporosität:** Kontrollieren Sie die Porosität, indem Sie die Partikelgröße des Wolframpulvers, den Pressdruck und die Sinterbedingungen anpassen. Der geeignete Porositätsbereich muss je nach Anwendung optimiert werden, und Anwendungen mit hoher Stromdichte müssen eine höhere Porosität aufweisen, um die Bariumspeicherung zu erhöhen. Anwendungen mit langer Lebensdauer erfordern eine geringere Porosität, um die Festigkeit zu verbessern.
 - **Porenkonnektivität:** Die Verbindung von Porennetzwerken ist entscheidend für die Bariumdiffusion und kann durch die Steuerung der Partikelgrößenverteilung (Mischen von feinen und größeren Partikeln) oder die Zugabe von Füllstoffen erreicht werden. Die Röntgentomographie (Röntgentomographie (Röntgen-CT)) rekonstruiert die dreidimensionale Struktur der Poren und verifiziert die Konnektivität.
 - **Messmethode:** Die Porosität wird durch Quecksilberintrusion oder Gasadsorption (BET) gemessen, und die typische Oberfläche wird durch die BET-Methode

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

bewertet. Die Porengrößenverteilung wird mittels Mikroskopie oder X-CT analysiert, um eine gleichmäßige Porengröße zu gewährleisten.

- **Optimierung der mechanischen Festigkeit:**
 - **Festigkeitsziel:** Die Matrix muss thermischen Belastungen und mechanischen Vibrationen während des Hochtemperaturbetriebs standhalten, und die Druckfestigkeit wird durch Tests bewertet.
 - **Prozessanpassungen:** Durch die Reduzierung der Sintertemperatur oder die Verkürzung der Haltezeit kann eine höhere Porosität erhalten bleiben, aber die Festigkeit der Partikelbindung muss sichergestellt werden. Dotierungsspurenadditive können die Bindung der Korngrenzen verbessern und die Festigkeit verbessern.
 - **Verifizierungsmethode:** Bewerten Sie die mechanische Festigkeit durch Druck- oder Zugversuche und beobachten Sie den Bindungszustand der gesinterten Partikel in Kombination mit REM, um sicherzustellen, dass keine Mikrorisse oder Porenkollaps entstehen.
- **Prozess-Validierung:**
 - Mit Hilfe der X-CT wurde die Porenstruktur der gesinterten Matrix analysiert, um zu überprüfen, ob die Porosität und Konnektivität den Anforderungen entspricht.
 - Mechanische Prüfungen in Kombination mit einer Gefügeanalyse stellen die Stabilität der Matrix während des Hochtemperaturbetriebs sicher.
 - Die Optimierung des Prozesses erfordert iterative Experimente, wie z. B. die Anpassung der Sintertemperatur und des Füllstoffverhältnisses, um Porosität und Festigkeit auszugleichen.

Die Optimierung der Porosität und der mechanischen Festigkeit erfordert eine präzise Prozesskontrolle und eine technologieübergreifende Validierung, um sicherzustellen, dass die Matrix die strukturellen und funktionalen Anforderungen von Hochleistungskathoden erfüllt.

4.2 Imprägnierung und Aktivierung von Bariumverbindungen

Die Imprägnierung und Aktivierung von Bariumverbindungen ist der Kernprozess des Einbringens von Wirkstoffen in die poröse Wolframmatrix und die Bildung einer aktiven Schicht mit geringer Arbeitsfunktion, die sich direkt auf die Emissionsleistung und die Lebensdauer der Kathode auswirkt. In diesem Abschnitt werden die Formulierung und Optimierung des Imprägnierprozesses sowie die Wärmebehandlungstechniken während der Aktivierung beschrieben.

4.2.1 Imprägnierverfahren: Formulierung der Bariumverbindung und Imprägnierbedingungen

Ziel des Imprägnierverfahrens ist es, Bariumverbindungen gleichmäßig in das Porennetzwerk der porösen Wolframmatrix einzubringen und so eine kontinuierliche Versorgung mit aktiven

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bariumatomen zu gewährleisten. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Prozessablauf- und Optimierungsmethode:

- **Formulierung der Bariumverbindung:**

- **Materialauswahl:** Das häufig verwendete Bariumcalciumaluminat wird aufgrund seiner hervorragenden thermischen Zersetzungseigenschaften und chemischen Stabilität häufig verwendet. Die Formulierung setzt freie Bariumatome bei Betriebstemperatur durch folgende Reaktionen frei:



Nebenprodukte (z. B. CaO, Al₂O₃) sind sehr stabil und beeinträchtigen die Emissionseigenschaften nicht.

- **Verhältnisoptimierung:** Passen Sie das Verhältnis entsprechend den Anwendungsanforderungen an. Anwendungen mit hoher Stromdichte können ein hohes Bariumgehaltsverhältnis verwenden, um die Bariumfreisetzungsrates zu erhöhen. Anwendungen mit langer Lebensdauer können das Verhältnis von CaO oder Al₂O₃ erhöhen, um die Zersetzungsrates zu verlangsamen. Die Zugabe von antioxischen Mitteln wie La₂O₃ oder CeO₂ verbessert die antioxische Kapazität.
- **Partikeleigenschaften:** Bariumverbindungen müssen auf den Mikrometerbereich gemahlen werden, um der Porengröße der Matrix zu entsprechen, um verstopfte Poren oder ungleichmäßige Verteilung zu vermeiden.

- **Vorbereitung der Lösung:**

- **Lösungsmittelauswahl:** Bariumverbindungen werden mit deionisiertem Wasser oder organischen Lösungsmitteln wie Ethanol oder Isopropanol gemischt, um eine Suspension zu formulieren. Deionisiertes Wasser ist kostengünstig, muss aber frei von Verunreinigungen sein. Organische Lösungsmittel können die Dispergierbarkeit verbessern, aber Flüchtigkeit und Sicherheit werden berücksichtigt.
- **Dispersionsverarbeitung:** Hochgeschwindigkeitsrühren oder Beschallung sorgt für eine gleichmäßige Dispergierung der Partikel, um eine Agglomeration zu vermeiden. Die Lösungskonzentration muss optimiert werden, um die Permeabilitätseffizienz und die Porenfüllung auszugleichen.
- **Additive:** Kleine Mengen an Tensiden wie Polyethylenglykol können die Benetzbarkeit der Lösung verbessern und das Eindringen in die Poren fördern.

- **Imprägnierprozess:**

- **Vakuumimprägnierung:** Eine poröse Wolframmatrix wird in eine Vakuumkammer gegeben, um Luft aus den Poren zu entfernen, und anschließend wird eine Bariumverbindungslösung eingeführt. Die Vakuumumgebung verbessert die Effizienz der Lösungspenetration und reduziert Blasenrückstände. Die Imprägnierzeit wird entsprechend der Porosität der Matrix optimiert.
- **Druckimprägnierung:** Trägt sich auf Substrate mit hoher Porosität auf, indem mäßiger Druck ausgeübt wird, um das Eindringen der Lösung in die Poren zu

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

erleichtern. Der Druck muss kontrolliert werden, um eine Verformung der Matrix oder eine Verstopfung der Poren zu vermeiden.

- **Prozesskontrolle:** Die Imprägnierung sollte in einem Reinraum (ISO-Klasse 5 oder höher) durchgeführt werden, um eine Kontamination durch Staub oder Verunreinigungen zu vermeiden. Die Oberfläche der Matrix muss vorgereinigt werden (z. B. Ultraschallreinigung), um Fette oder Oxide zu entfernen.
- **Trocknen:**
 - Das imprägnierte Substrat wird bei niedriger Temperatur getrocknet, um das Lösungsmittel zu entfernen. Die Trocknung sollte im Vakuum oder in inerter Atmosphäre erfolgen, um die Reaktion von Bariumverbindungen mit Sauerstoff oder Wasserdampf in der Luft zu vermeiden.
 - Die schrittweise Trocknung verhindert Porenverstopfungen, die durch eine schnelle Verflüchtigung der Lösung verursacht werden. Nach dem Trocknen muss die Matrix auf Gewichtsschritte überprüft werden, um sicherzustellen, dass die Füllung der Bariumverbindung den Designanforderungen entspricht.
- **Prozess-Validierung:**
 - REM und EDS wurden verwendet, um die Gleichmäßigkeit der Verteilung von Bariumverbindungen zu analysieren und die Porenfüllung zu überprüfen.
 - Bestätigen Sie die Menge der Füllung durch gravimetrische Analyse und beobachten Sie den Porenschnitt in Kombination mit einem Mikroskop, um sicherzustellen, dass keine Verstopfungen oder Hohlräume vorhanden sind.
 - Optimieren Sie Imprägnierparameter wie Vakuum, Druck und Lösungskonzentration, um die Abfülleffizienz und -gleichmäßigkeit zu verbessern.

Der Imprägnierprozess muss sicherstellen, dass die Bariumverbindungen gleichmäßig über das Porennetzwerk verteilt sind, um eine stabile Bariumquelle für die anschließende Aktivierung zu schaffen.

4.2.2 Aktivierungsprozess: Wärmebehandlung und Bildung der oberflächenaktiven Schicht

Der Aktivierungsprozess zersetzt die imprägnierte Bariumverbindung durch Wärmebehandlung und bildet eine aktive Schicht mit geringer Arbeitsfunktion auf der Oberfläche der Wolframmatrix, was ein wichtiger Schritt zur Erzielung einer kathodischen Emissionsleistung ist. Im Folgenden finden Sie den detaillierten Prozess:

- **Wärmebehandlung:**
 - **Umweltkontrolle:** Die Aktivierung erfolgt im Hochvakuum oder in einer inerten Atmosphäre (z. B. hochreines Argon), um eine Oxidation oder Kontamination von Bariumverbindungen zu verhindern. Vakuumpumpensysteme, wie z. B. Turbomolekularpumpen, sorgen für einen niedrigen Partialdruck des Restgases.
 - **Temperaturverfahren:** Es wird eine schrittweise Erwärmung eingesetzt, um eine Rissbildung der Matrix aufgrund thermischer Belastung zu vermeiden. Die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Haltezeit wird entsprechend dem Verhältnis der Bariumverbindungen optimiert. Hohe Temperaturen führen zur Zersetzung von Bariumverbindungen, wobei freie Bariumatome freigesetzt und durch Poren an die Oberfläche diffundiert werden.

- **Ausrüstungsanforderungen:** Verwenden Sie einen Hochtemperatur-Vakuumofen oder einen Widerstandsheizofen mit präzisiertem Temperaturregelungssystem. Infrarot-Thermometer überwachen die Substrattemperatur in Echtzeit und sorgen so für Gleichmäßigkeit.
- **Bildung der Tensidschicht:**
 - **Bariumdiffusion und Adsorption:** Freie Bariumatome diffundieren durch ein Netzwerk von Poren an die Oberfläche der Wolframmatrix und bilden eine einzelne Atomlage oder einen dünnen Film. Die chemisorbierten Bariumatome gehen eine starke Bindung mit der Wolframoberfläche ein, wodurch sich die Arbeitsfunktion auf 1,1–1,5 eV reduziert. Die physikalisch adsorbierten Bariumatome sorgen für eine kontinuierliche Nachfüllung und halten das dynamische Gleichgewicht der aktiven Schicht aufrecht.
 - **Kontrolle der Oberflächentopographie:** Die aktive Schicht sollte gleichmäßig und kontinuierlich sein, und die Oberflächenrauheit sollte durch Polieren auf einem niedrigen Niveau kontrolliert werden. Die unebene aktive Schicht kann zu lokalen Hochleistungsfunktionsbereichen führen, die den Emissionswirkungsgrad verringern.
 - **Additiver Effekt:** Die Zugabe einer kleinen Menge Seltenerdoxide kann die thermische Stabilität der aktiven Schicht verbessern und den Verdampfungsverlust von Barium verlangsamen.
- **Prozessoptimierung:**
 - Die Aktivierungstemperatur und -zeit sollten entsprechend dem Verhältnis der Bariumverbindungen und der Porenstruktur der Matrix angepasst werden. Eine zu hohe Temperatur kann die Verdunstung von Barium beschleunigen und die Lebensdauer verkürzen. Eine unzureichende Aktivierung kann zu einer geringen Bedeckung der aktiven Schicht führen, was sich auf die Emissionsleistung auswirkt.
 - Die schrittweise Aktivierung kann schrittweise erfolgen, wobei die Bariumverbindung stabilisiert wird, bevor sie eine aktive Schicht bildet.
 - Nach der Aktivierung muss es auf Raumtemperatur abgekühlt werden, um Oberflächendefekte durch thermische Belastung zu vermeiden.
- **Prozess-Validierung:**
 - Das Emissionsverhalten der aktiven Schicht wird mittels thermionischer Emissionsprüfung überprüft, um sicherzustellen, dass die Stromdichte den Zielwert erreicht.
 - AFM und REM analysieren die Oberflächentopographie, um die Gleichmäßigkeit und Rauheit der aktiven Schicht zu bestätigen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- XPS analysiert die chemische Zusammensetzung der Oberfläche, um die Auswirkungen der Abdeckung von Bariumatomen und der Verringerung der Arbeitsfunktion zu überprüfen.

Der Aktivierungsprozess erfordert eine präzise Temperatur- und Umgebungskontrolle, um eine stabile aktive Schicht zu bilden, die den Hochleistungsbetrieb der Kathode gewährleistet.

4.3 Qualitätskontrolle und Prüfung von Bariumwolframkathoden

Qualitätskontrolle und -prüfung sind Schlüsselaspekte für die Gewährleistung der Konsistenz und Zuverlässigkeit der Leistung der Bariumwolframkathode, einschließlich Emissionsleistungsprüfungen, Konformitätsbewertungen und Fehleranalysen. In diesem Abschnitt werden die Methodik und die Standards beschrieben.

4.3.1 Prüfverfahren für die Übertragung der Leistung

Die Emissionsleistungsprüfung dient der Bewertung der Stromdichte, der Arbeitsfunktion und der Emissionsstabilität von Barium-Wolfram-Kathoden, um die Wirksamkeit des Herstellungsprozesses zu überprüfen. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Testmethode:

- **Thermionischer Emissionstest:**
 - **Testbedingungen:** Erhitzen Sie die Kathode in einer Hochvakuumumgebung auf Betriebstemperatur und messen Sie den Emissionsstrom mit einem Anodenkollektor und einem Präzisionsamperemeter. Das Prüfgerät muss mit einer hochpräzisen Stromversorgung und Temperierung ausgestattet sein.
 - **Prüfverfahren:** Anlegen einer allmählich ansteigenden Anodenspannung und Aufnahme der Strom-Spannungs-Kennlinie (I-U-Kurve). Berechnen Sie die Arbeitsfunktion anhand der Richardson-Dushman-Gleichung:

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

Stellen Sie sicher, dass die Arbeitsfunktion im Bereich von 1,1 bis 1,5 eV liegt und die Stromdichte den Auslegungsanforderungen entspricht.

- **Datenanalyse:** Beurteilen Sie die Stabilität und den Geräuschpegel des übertragenen Stroms. Ungewöhnliche Schwankungen können auf unebene aktive Schichten oder Oberflächenverunreinigungen hinweisen.
- **Puls-Test:**
 - **Testzweck:** Simulation transienter Betriebsbedingungen in Hochleistungsgeräten und Bewertung der Leistung von Kathoden bei hohen elektrischen Feldern oder hohen Stromdichten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Testprozess:** Anlegen einer Impulsspannung zur Messung der transienten Stromdichte und der Reaktionszeit. Bei der Prüfung wird das emittierte Geräusch aufgrund von Oberflächenfehlern oder Inhomogenität erkannt.
- **Geräteanforderungen:** Verwenden Sie Hochfrequenz-Impulsnetzteile und Oszilloskope, um aktuelle Wellenformen aufzuzeichnen und so die Messgenauigkeit zu gewährleisten.
- **Lebensdauer-Tests:**
 - **Testbedingungen:** Dauerbetrieb über Tausende von Stunden unter simulierten Betriebsbedingungen, Überwachung des Abfalls der Stromdichte.
 - **Testprozess:** Zeichnen Sie regelmäßig die Stromdichte und Änderungen der Arbeitsfunktion auf und zeichnen Sie Leistungsabfallkurven. Tests bewerten die Alterungsraten und die Stabilität der aktiven Schicht.
 - **Datenanalyse:** Vorhersage der Kathodenlebensdauer anhand von Dämpfungskurven, um sicherzustellen, dass die Anwendungsanforderungen erfüllt werden.
- **Überprüfungsmethode:**
 - Die Testergebnisse sollten mit den Konstruktionspezifikationen verglichen werden, wie z. B. die Stromdichte sollte den Zielwert erreichen und die Arbeitsfunktion sollte den Erwartungen entsprechen.
 - Mehrere Tests zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit der Daten, ohne Gerätefehler oder Umwelteinflüsse.

Die Emissionsleistungsprüfung wird in einer standardisierten Testumgebung in Kombination mit einer Multiparameteranalyse durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Kathodenleistung den Anwendungsanforderungen entspricht.

4.3.2 Bewertungskriterien für Konsistenz und Zuverlässigkeit

Konsistenz und Zuverlässigkeit sind wichtige Anforderungen für die Großproduktion von Barium-Wolfram-Kathoden und werden anhand der folgenden Kriterien bewertet:

- **Konformitätsbewertung:**
 - **Parameterüberwachung:** Statistische Analyse der Emissionsstromdichte, der Arbeitsfunktion und der Lebensdauer mehrerer Kathodenchargen und Berechnung des Variationskoeffizienten (Standardabweichung/Mittelwert). Der Variationsfaktor muss gering gehalten werden, um eine gleichbleibende Leistung von Charge zu Charge zu gewährleisten.
 - **Mikrostrukturverifizierung:** Analysieren Sie die Porenstruktur der Matrix und die Verteilung der Bariumverbindung mithilfe von REM und X-CT, um eine konsistente Porosität und ein konsistentes Füllvolumen von Charge zu Charge zu gewährleisten. Die Messung der Oberflächenrauheit erfolgt mittels AFM.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Prozesssteuerung:** Die Technologie der statistischen Prozesskontrolle (SPC) wird verwendet, um den Pressdruck, die Sintertemperatur und die Imprägnierparameter in Echtzeit zu überwachen und Abweichungen rechtzeitig anzupassen. Regelkarten können verwendet werden, um die Stabilität wichtiger Parameter zu verfolgen.
- **Zuverlässigkeitsbewertung:**
 - **Beschleunigte Alterungsprüfung:** Arbeitet unter Bedingungen mit hohen Temperaturen oder hoher Stromdichte, um die Leistungsverschlechterung der Kathode in extremen Umgebungen zu beurteilen. Die Testergebnisse werden verwendet, um die mittlere Zeit zwischen Ausfällen (MTBF) und die Ausfallwahrscheinlichkeit zu berechnen.
 - **Environmental Adaptability Testing:** Tests unter simulierten Betriebsbedingungen, um die Stabilität der Kathode in verschiedenen Umgebungen zu überprüfen.
 - **Standardentwicklung:** Zuverlässigkeitsindikatoren werden basierend auf den Anwendungsanforderungen (z. B. Mikrowellenröhren oder Röntgenröhren) entwickelt.
- **Überprüfungsmethode:**
 - Kombinieren Sie Testdaten aus mehreren Chargen, um die Wiederholbarkeit und Stabilität des Produktionsprozesses zu bewerten.
 - Verwenden Sie Statistiksoftware, um Parameterverteilungen zu analysieren und sicherzustellen, dass Normalverteilungen oder Zieltoleranzen eingehalten werden.
 - Kalibrieren Sie die Prüfgeräte regelmäßig, um die Messgenauigkeit und -konsistenz sicherzustellen.

Die Bewertung von Konformität und Zuverlässigkeit erfordert systematische Tests und Datenanalysen, um die Leistungsstabilität von Kathoden in Produktion und Anwendung zu gewährleisten.

4.3.3 Fehleranalyse und -verbesserung

Ziel der Fehleranalyse ist es, die Ursachen für die Degradation oder den Ausfall von Barium-Wolfram-Kathoden zu identifizieren und gezielte Verbesserungsmaßnahmen vorzuschlagen. Im Folgenden sind gängige Fehlermodi und Analysemethoden aufgeführt:

- **Verschmutzung der Oberfläche:**
 - **Versagensmechanismus:** Sauerstoff-, Wasserdampf- oder Kohlenstoffverbindungen reagieren mit Barium zu Verbindungen mit hoher Arbeitsfunktion (wie BaO_2 oder BaCO_3), wodurch die Emissionsleistung verringert wird.
 - **Diagnostische Methoden:**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS) analysiert die chemische Zusammensetzung der Oberfläche, erkennt das BA/O/C-Verhältnis und bestätigt die Art der Verunreinigung.
- Bei der thermionischen Emissionsprüfung wird die Dämpfung der Stromdichte bewertet, um Kontaminationseffekte zu überprüfen.
- **Verbesserungsmaßnahmen:**
 - Erhöhen Sie das Vakuumniveau, um die Restgaskontamination zu reduzieren.
 - Antitoxine wie La_2O_3 werden zugesetzt, um eine Schutzschicht zu bilden.
 - Die Plasmareinigung wird eingesetzt, um Oberflächenverunreinigungen zu entfernen.
- **Barium-Abbau:**
 - **Ausfallmechanismus:** Ein langfristiger Betrieb führt zur Erschöpfung der Bariumverbindungen, zur Abnahme der aktiven Schichtabdeckung und zur Erhöhung der Arbeitsfunktion.
 - **Diagnostische Methoden:**
 - REM und EDS analysierten den Bariumgehalt und die Morphologie der aktiven Schicht, um die Bedeckung zu überprüfen.
 - Messungen der Arbeitsfunktion (durch thermionische Emissionstests) beurteilen die Leistungsminderung.
 - **Verbesserungsmaßnahmen:**
 - Optimieren Sie das Verhältnis von Bariumverbindungen, um die Bariumlagerung zu erhöhen.
 - Verbessern Sie die Porosität, um die Füllkapazität zu erhöhen.
 - Regelmäßige Aktivierung bei niedriger Temperatur, um die aktive Schicht wieder aufzufüllen.
- **Mechanisches Versagen:**
 - **Versagensmechanismus:** Thermische Belastung oder mechanische Vibrationen können zu Matrixrissen oder Porenkollaps führen, was sich auf die Bariumdiffusion auswirkt.
 - **Diagnostische Methoden:**
 - X-CT analysiert die Porenstruktur, um Risse oder Kollaps zu erkennen.
 - Mechanische Tests (z. B. Drucktests) beurteilen die Substratfestigkeit.
 - **Verbesserungsmaßnahmen:**
 - Optimieren Sie den Sinterprozess, um die Partikelbindung zu verbessern.
 - Eine schrittweise Erwärmung wird eingesetzt, um die thermische Belastung zu reduzieren.
 - Dotiert mit ZrO_2 verbessert die Rissbeständigkeit.
- **Ausfall des Lichtbogens:**
 - **Ausfallmechanismus:** Oberflächendefekte oder unebene aktive Schichten lösen lokale Lichtbögen aus, die zu Emissionsinstabilität oder Oberflächenschäden führen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Diagnostische Methoden:**
 - REM erkennt Oberflächenfehler wie Partikelablagerungen oder Risse.
 - Der Hochfrequenz-Emissionstest (Frequenz 1 kHz) erfasst Stromschwankungen.
 - Das Oszilloskop überwacht das Lichtbogensignal.
- **Verbesserungsmaßnahmen:**
 - Ein optimierter Imprägnierprozess gewährleistet die Gleichmäßigkeit der aktiven Schicht.
 - Das Polieren der Oberfläche reduziert Defekte.
 - Optimieren Sie das Elektrodendesign, um die Konzentration des elektrischen Feldes zu reduzieren.
- **Methode der Fehleranalyse:**
 - **Fehlerbaumanalyse (FTA):** Erstellen Sie einen Fehlerursachenbaum, um die wichtigsten Fehlermodi (z. B. Bariumabbau oder Oberflächenkontamination) und deren Ursachen (z. B. Abweichungen von Prozessparametern) zu identifizieren.
 - **Statistische Prozesskontrolle (SPC):** Analysieren Sie Fehlerdaten, identifizieren Sie Prozessengpässe und optimieren Sie wichtige Parameter.
 - **Multi-Technique-Diagnose:** Kombinieren Sie XPS-, REM-, X-CT- und Emissionstests, um Fehlermechanismen umfassend zu analysieren.
- **Verbesserungsstrategie:**
 - Optimieren Sie Prozessparameter (z. B. Sintertemperatur, Imprägnierdruck), um die kathodische Konsistenz zu verbessern.
 - Einführung von Online-Überwachungssystemen, wie z. B. Temperatursensoren oder Gasanalytoren, um Prozessabweichungen in Echtzeit zu erkennen.
 - Richten Sie einen Feedback-Mechanismus ein, um die Ergebnisse der Fehleranalyse zur Prozessverbesserung anzuwenden und die Fehlerrate zu reduzieren.

Die Fehleranalyse erfordert eine Kombination aus technologieübergreifender Diagnose und systematischen Analysemethoden, um sicherzustellen, dass die Ursache identifiziert und wirksame Verbesserungsmaßnahmen vorgeschlagen werden.

In diesem Kapitel werden die einzelnen Schritte des Prozesses von der Wolframmatrixbildung bis zur aktiven Schichtbildung sowie die wichtigsten Methoden der Leistungsprüfung und Fehleranalyse erläutert, die eine solide technische Grundlage für die Herstellung und Optimierung von Hochleistungskathoden bieten und eine Prozessgarantie für die nachfolgende Anwendungsentwicklung und Leistungsverbesserung bieten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Barium Tungsten Cathode Introduction

1. Overview of Barium Tungsten Cathode

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

2. Characteristics of Barium Tungsten Cathode

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

3. Applications of Barium Tungsten Cathode

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Kapitel 5: Anwendung der Barium-Wolfram-Kathode

Barium-Wolfram-Kathoden spielen aufgrund ihrer geringen Arbeitsfunktion, ihrer hohen Emissionsstromdichte und ihrer hervorragenden thermischen Stabilität eine Schlüsselrolle als effiziente thermionische Emissionsquellen in vielen High-Tech-Bereichen. In diesem Kapitel werden die spezifischen Anwendungen von Bariumwolframkathoden in der Vakuumelektronik, in wissenschaftlichen Instrumenten, in Industrie und Kommunikation, Luft- und Raumfahrt und Verteidigung sowie in neuen und bereichsübergreifenden Anwendungen ausführlich erörtert und ihre Rollen und technischen Anforderungen in verschiedenen Szenarien analysiert.

5.1 Vakuum-Elektronik

Vakuumelektronische Bauelemente nutzen die Bewegung von Elektronen in einer Vakuumumgebung, um eine Signalverstärkung, Schwingung oder Energieumwandlung zu erreichen, und werden häufig in den Bereichen Kommunikation, Radar und Industrie eingesetzt. Barium-Wolfram-Kathoden dienen als hocheffiziente Quelle für Elektronenemissionen, die einen stetigen Fluss von Hochstromelektronen zu diesen Bauelementen liefern und hohe Leistungs- und Frequenzanforderungen erfüllen.

5.1.1 Mikrowellenröhre

Mikrowellenröhren sind eine Klasse von vakuumelektronischen Geräten, die Elektronenstrahlen verwenden, um mit elektromagnetischen Feldern zu interagieren und Mikrowellensignale zu erzeugen oder zu verstärken, die in Radar-, Kommunikations- und wissenschaftlichen Experimenten weit verbreitet sind. Barium-Wolfram-Kathoden sind aufgrund ihrer hohen Emissionseffizienz und Stabilität in Mikrowellenröhren unverzichtbar.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.1.1.1 Magnetron: wird in Radar- und Mikrowellenheizgeräten verwendet

- **Einführung in die Ausrüstung:** Magnetron ist ein Hochleistungs-Mikrowellenoszillator, der den Resonatorhohlraum zur Erzeugung hochfrequenter Mikrowellensignale (normalerweise im GHz-Bereich) anregt, indem Elektronen unter der Wechselwirkung von elektrischen und magnetischen Feldern entlang einer bestimmten Umlaufbahn bewegt werden. Zu seinen Kernkomponenten gehören eine Kathode (Elektronenquelle), ein Anodenresonanzhohlraum und ein Magnetfeldsystem. Magnetrons werden aufgrund ihrer Fähigkeit, Hochleistungsimpulse (kW bis MW) oder kontinuierliche Mikrowellensignale zu erzeugen, häufig in Radarsystemen (z. B. Wetterradaren, militärischen Zielverfolgungsradaran) und Mikrowellenheizgeräten (z. B. industrielle Mikrowellenherde, Mikrowellentrocknungsgeräte) eingesetzt.

Funktionsprinzip: Die Kathode emittiert Elektronen, die unter Einwirkung von kreuzelektrischen und magnetischen Feldern eine rotierende Elektronenwolke bilden, die mit dem Anodenresonanzhohlraum gekoppelt ist, um ein Mikrowellensignal mit einer bestimmten Frequenz zu erzeugen.

- **Funktion der Bariumwolframkathode:** Die Bariumwolframkathode dient als Elektronenquelle des Magnetrons, sorgt für einen Elektronenfluss mit hoher Stromdichte und unterstützt eine Mikrowellenausgabe mit hoher Leistung.
- **Anforderungen an die Kathode:**
 - **Hohe Stromdichte:** Magnetrons benötigen eine hohe Sendestromdichte, um eine hohe Ausgangsleistung zu unterstützen. Barium-Wolfram-Kathoden bieten eine stabile Emission bei hohen Temperaturen, um den Strombedarf zu decken.
 - **Schnelle Reaktion:** Für den Betrieb von Radarimpulsen muss die Kathode innerhalb von Mikrosekunden auf hochfrequente Impulsspannungen reagieren, mit geringem Emissionsrauschen und einer gleichmäßigen aktiven Schicht.
 - **Vibrationsfestigkeit:** Mechanische Schwingungen im militärischen Radar erfordern eine hohe mechanische Festigkeit der Kathodenmatrix, um einen Porenkollaps oder eine Abplatzung der aktiven Schicht zu verhindern, und der Sinterprozess und die Matrixstruktur müssen optimiert werden.
- **Technische Vorteile:** Die geringe Arbeitsfunktion und die hohe thermische Stabilität von Bariumwolfram-Kathoden ermöglichen den Betrieb über längere Zeiträume unter hohen Leistungs- und Pulsbedingungen und erfüllen so die Anforderungen von Magnetronen an effiziente und zuverlässige Elektronenquellen.

5.1.1.2 TWT: Hochfrequenzkommunikation und Satellitenverstärker

- **Einführung in die Ausrüstung:** Die Wanderfeldröhre (TWT) ist ein Breitband-Mikrowellenverstärker, der hochfrequente Signale durch die Wechselwirkung von Elektronenstrahlen mit Wanderwellenfeldern verstärkt. Zu den Kernkomponenten gehören eine Kathode, eine Slow-Wave-Struktur, ein Elektronenstrahlfokussierungssystem und eine Sammelelektrode. TWTs werden aufgrund ihrer hohen Verstärkung und Breitbandeigenschaften häufig in der Satellitenkommunikation (Uplink-/Downstream-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Signalverstärkung), 5G-Basisstationen und Rundfunksystemen eingesetzt.

Funktionsprinzip: Der von der Kathode emittierte Elektronenstrahl bewegt sich synchron mit dem Eingangsmikrowellensignal in einer langsamen Wellenstruktur (z. B. einer Spirale), und die kinetische Energie des Elektronenstrahls wird auf das Signal übertragen, um eine Verstärkung und Ausgabe zu erreichen.

- **Wirkung der Barium-Wolfram-Kathoden:** Die Barium-Wolfram-Kathode sorgt für einen stabilen Elektronenstrahl, der die hochfrequente Signalverstärkung der Wanderwellenröhre unterstützt.
- **Anforderungen an die Kathode:**
 - **Hohe Emissionsgleichmäßigkeit:** Die Wanderfeldröhre benötigt einen stabilen Elektronenstrahl, um die Qualität der Signalverstärkung zu gewährleisten, und die aktive Kathodenschicht muss gleichmäßig sein und eine geringe Oberflächenrauheit aufweisen, um Signalverzerrungen zu vermeiden.
 - **Lange Lebensdauer:** Die Satellitenkommunikation erfordert eine lange Lebensdauer der Kathoden, und das Verhältnis der Bariumverbindungen muss optimiert werden, um den Verdunstungsverlust von Barium zu verlangsamen.
 - **Antitoxizität:** Es können Spuren von Restgasen in der Weltraumumgebung vorhanden sein, und Antitoxine müssen hinzugefügt werden, um die Leistung aufrechtzuerhalten.
- **Technische Vorteile:** Die hohe Stromdichte und die Anti-Vergiftungsfähigkeit von Barium-Wolfram-Kathoden gewährleisten die Signalstabilität und Zuverlässigkeit von Wanderfeldröhren im hochfrequenten, langlebigen Betrieb.

5.1.1.3 Klystron-Röhre: Hochleistungsradar und Teilchenbeschleuniger

- **Einführung in die Ausrüstung:** Klystron ist ein Hochleistungs-Mikrowellenverstärker oder -oszillator, der Mikrowellensignale durch die Geschwindigkeitsmodulation eines Elektronenstrahls im Resonanzhohlraum erzeugt oder verstärkt. Zu den Kernkomponenten gehören eine Kathode, ein Resonanzhohlraum, ein Driftrohr und eine Sammelelektrode. Klystron-Röhren werden häufig in Hochleistungsradaren (z. B. Flugsicherungsradaren, Raketenleitradaren) und Teilchenbeschleunigern (z. B. Synchrotronstrahlungsquellen, LHCs des CERN) eingesetzt.

Funktionsprinzip: Der von der Kathode emittierte Elektronenstrahl wird beim Durchgang durch den Resonanzhohlraum geschwindigkeitsmoduliert und bildet einen Dichtemodulationsstrahl, der im nachfolgenden Hohlraum kinetische Energie in Mikrowellenenergie umwandelt.

- **Barium-Wolfram-Kathode Wirkung:** Die Barium-Wolfram-Kathode liefert einen Hochstrom-Elektronenstrahl, der die hohe Ausgangsleistung der Klystron-Röhre unterstützt.
- **Anforderungen an die Kathode:**
 - **Ultrahohe Stromdichte:** Das Klystron benötigt einen extrem hohen Elektronenfluss, um eine Leistung im MW-Bereich zu unterstützen, und die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kathode muss mit dem Schottky-Effekt kombiniert werden, um die Emission bei hohen elektrischen Feldern zu verbessern.

- **Thermische Stabilität:** Schwankungen der Betriebstemperatur erfordern, dass die Kathode eine stabile Leistung beibehält, und die Wärmeleitfähigkeit der Matrix und die Wärmebeständigkeit der aktiven Schicht müssen optimiert werden.
- **Hochvakuum-Kompatibilität:** Bei Ultrahochvakuum-Kathoden ist es notwendig, Leistungseinbußen durch Oberflächenverunreinigungen zu vermeiden.
- **Technische Vorteile:** Barium-Wolfram-Kathoden bieten eine stabile Elektronenemission bei hoher Leistung und hohen elektrischen Feldbedingungen und erfüllen damit die extremen Betriebsanforderungen von Klystron-Röhren.

5.1.2 Röntgenröhren

Röntgenröhren sind Vakuumgeräte, die Röntgenstrahlen erzeugen, indem sie Metallziele mit hochenergetischen Elektronen beschießen und in medizinischen und industriellen Bereichen weit verbreitet sind. Mit der Barium-Wolfram-Kathode steht ihm eine hocheffiziente Elektronenquelle zur Verfügung.

5.1.2.1 Medizinische bildgebende Geräte (z. B. CT-Scanner, Röntgendiagnostikgeräte)

- **Einführung in die Ausrüstung:** Röntgenröhren sind die Kernkomponenten medizinischer Bildgebungsgeräte (z. B. Computertomographie, CT, Röntgendiagnostikinstrumente), die Röntgenstrahlen erzeugen, indem sie Anodenziele (wie Wolfram oder Molybdän) elektronisch für die Bildgebung von menschlichem Gewebe beschießen. Zu den Hauptkomponenten gehören die Kathode, die Anode und das Vakuumgehäuse. CT-Scanner erzeugen dreidimensionale Bilder durch Mehrwinkel-Röntgenprojektionen, und diagnostische Röntgengeräte werden für die Untersuchung von Knochen oder Weichgewebe eingesetzt.

Funktionsweise: Die Kathode emittiert Elektronen, die die Anode unter der Beschleunigung eines elektrischen Hochspannungsfeldes bombardieren, wodurch charakteristische Röntgenstrahlen und kontinuierliche spektrale Röntgenstrahlen für die fluoroskopische Bildgebung erzeugt werden.

- **Barium-Wolfram-Kathode Wirkung:** Die Barium-Wolfram-Kathode liefert einen hochenergetischen Elektronenstrahl, der ein hochwertiges Röntgensignal erzeugt.
- **Anforderungen an die Kathode:**
 - **Hohe Emissionsstabilität:** Die Abbildungsqualität erfordert einen stabilen Elektronenfluss, und die Kathode muss gleichmäßig emittiert werden, um Stromschwankungen zu reduzieren.
 - **Schnellstart:** Das Diagnosegerät muss schnell starten, und die Kathode muss in kurzer Zeit die Betriebstemperatur erreichen und stabil emittieren.
 - **Lange Lebensdauer:** Medizinische Geräte erfordern eine lange Lebensdauer der Kathoden, und es ist notwendig, die Bariumlagerung und die Vergiftungsschutzfähigkeiten zu optimieren.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Technische Vorteile:** Die hohe Stromdichte und das schnelle Ansprechverhalten von Barium-Wolfram-Kathoden gewährleisten die Abbildungsgenauigkeit und Zuverlässigkeit von Röntgenröhren und erfüllen die hohen Standards von Medizinprodukten.

5.1.2.2 Industrielle zerstörungsfreie Prüfung

- **Einführung in die Ausrüstung:** Röntgenröhren werden in der industriellen ZfP eingesetzt, um interne Defekte (wie Risse, Porosität), die Schweißqualität oder die Struktur elektronischer Komponenten zu erkennen. Es funktioniert ähnlich wie medizinische Röntgenröhren, benötigt aber eine höhere Röntgenenergie, um dicke Metalle oder Verbundwerkstoffe zu durchdringen. Zu den Anwendungsszenarien gehören die Inspektion von Luftfahrtkomponenten, die Analyse von Pipeline-Schweißnähten und die Inspektion von Halbleitergehäusen.

So funktioniert es: Ein hochenergetischer Elektronenstrahl bombardiert das Ziel, um Röntgenstrahlen zu erzeugen, die nach der Übertragung der Probe vom Detektor eingefangen werden und ein Bild der inneren Struktur bilden.

- **Barium-Wolfram-Kathode Wirkung:** Die Barium-Wolfram-Kathode liefert einen hochintensiven Elektronenstrahl, der die Erzeugung hochenergetischer Röntgenstrahlung unterstützt.
- **Anforderungen an die Kathode:**
 - **Hohe Ausgangsleistung:** Die industrielle Inspektion erfordert hochenergetische Röntgenstrahlen, und Kathoden müssen eine hohe Stromdichte bieten.
 - **Anpassungsfähigkeit an die Umwelt:** In industriellen Umgebungen kann es zu Vibrationen oder Temperaturschwankungen kommen, und Kathoden müssen eine hohe mechanische Festigkeit und thermische Stabilität aufweisen.
 - **Kontaminationsbeständigkeit:** Nicht ideale Vakuumbedingungen erfordern eine Verbesserung der Kathode gegen Vergiftung durch Additive.
- **Technische Vorteile:** Die Robustheit und hohe Emissionseffizienz von Barium-Wolfram-Kathoden machen sie für die anspruchsvollen Bedingungen der industriellen Inspektion geeignet und liefern qualitativ hochwertige Röntgensignale.

5.1.3 Sonstige Vakuumiergeräte

- **Photomultiplier-Röhre :**
 - **Einführung in die Ausrüstung:** Die Photomultiplier-Röhre (PMT) ist ein hochempfindlicher Photodetektor, der schwache Lichtsignale in elektrische Signale umwandelt, die häufig in Strahlungsdetektoren (z. B. Gammastrahlendetektion), astronomischen Beobachtungen und Photonenmessungen in wissenschaftlichen Experimenten verwendet werden. Zu seinen Kernkomponenten gehören eine Photokathode, ein Elektronenvervielfacher und eine Anode.

Funktionsprinzip: Die Photokathode absorbiert Photonen und gibt Elektronen ab, die durch den Multiplikator verstärkt und von der Anode zu einem nachweisbaren elektrischen Signal gesammelt werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Barium-Wolfram-Kathodenwirkung:** Bietet eine hochempfindliche Elektronenemission und unterstützt die Erzeugung erster photoelektrischer Signale.
- **Kathodenanforderungen:** Extrem geringes Emissionsrauschen und eine schnelle Reaktionszeit sind erforderlich, um die Genauigkeit der Photonendetektion zu gewährleisten.
- **Technische Vorteile:** Das geringe Rauschen und die hohe Empfindlichkeit von Barium-Wolfram-Kathoden machen sie zu idealen Elektronenquellen für Photomultiplier-Röhren.
- **Elektronenstrahlschweißgerät:**
 - **Geräteinführung:** Elektronenstrahlschweißgeräte verwenden hochenergetische Elektronenstrahlschmelzen für das Hochpräzisionsschweißen, das in der Luft- und Raumfahrt, im Automobilbau und in der Nuklearindustrie weit verbreitet ist. Zu den Kernkomponenten gehören eine Kathode, ein elektronenoptisches System und eine Vakuumkammer.

Funktionsprinzip: Der von der Kathode emittierte Elektronenstrahl wird im Hochvakuum beschleunigt und fokussiert, wodurch das Werkstück beschossen wird, um eine lokale hohe Temperatur zu erzeugen und ein Tiefschmelzschweißen zu erreichen.
 - **Barium-Wolfram-Kathodenwirkung:** Bietet einen hochenergetischen Elektronenstrahl, der das Tiefschmelzschweißen unterstützt.
 - **Anforderungen an die Kathoden:** Eine hohe Stromdichte und eine stabile Elektronenstrahlfokussierung sind erforderlich, und die Betriebstemperatur muss genau geregelt werden, um eine Überhitzung zu vermeiden.
 - **Technische Vorteile:** Die hohe Emissionseffizienz und Stabilität der Barium-Wolfram-Kathoden sorgen für Präzision und Effizienz beim Schweißen.

5.2 Wissenschaftliche Instrumente

Barium-Wolfram-Kathoden dienen als Hochleistungs-Elektronenquellen in wissenschaftlichen Instrumenten und unterstützen hochauflösende Bildgebungs- und Analyseaufgaben, die den Anforderungen an hohe Präzision und Empfindlichkeit gerecht werden.

5.2.1 Elektronenmikroskop

- **Einführung in die Ausrüstung:** Das Elektronenmikroskop nutzt die Elektronenstrahlbildung und wird in Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) unterteilt. REM tastet die Oberfläche der Probe durch einen Elektronenstrahl ab, sammelt Sekundärelektronen oder rückgestreute Elektronen, um ein Oberflächentopographiebild mit einer Auflösung von Nanometern zu erstellen; TEM durchdringt ultradünne Proben mit einem Elektronenstrahl, um Bilder von internen Strukturen mit Auflösungen bis in den Sub-Angström-Bereich zu erzeugen. Beide sind in den Materialwissenschaften, in der Biologie und in der Nanotechnologieforschung weit verbreitet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

So funktioniert es: Der von der Kathode emittierte Elektronenstrahl wird durch ein elektrisches Feld beschleunigt und durch ein Magnetfeld fokussiert, abgetastet (REM) oder durchdrungen (TEM) und vom Detektor eingefangen, um ein hochauflösendes Bild zu erzeugen.

- **Barium-Wolfram-Kathodenwirkung:** Bietet einen Elektronenstrahl mit hoher Helligkeit und unterstützt die Bildgebung im Sub-Nanobereich.
- **Anforderungen an die Kathode:**
 - **Hohe Helligkeit:** Eine hohe Stromdichte und ein geringes Emissionsrauschen sind erforderlich, um eine hohe Auflösung zu erreichen.
 - **Stabilität:** Die Langzeitbildgebung erfordert geringe Schwankungen des Emissionsstroms, und die Gleichmäßigkeit der aktiven Schicht muss optimiert werden.
 - **Vakuumkompatibilität:** Ultrahochvakuum erfordert eine hohe Beständigkeit der Kathoden gegen Verschmutzungen.
- **Technische Vorteile:** Die hohe Helligkeit und Stabilität der Barium-Wolfram-Kathode machen sie zu einer idealen Elektronenquelle für REM und TEM.

5.2.2 Massenspektrometer: Hochempfindliche Ionenquelle

- **Einführung in die Ausrüstung:** Das Massenspektrometer ist ein Analyseinstrument, das die molekulare Zusammensetzung und Struktur durch Ionisierung von Probenmolekülen und Messung ihres Masse-zu-Ladungs-Verhältnisses bestimmt und in der chemischen Analyse, Umweltüberwachung und biomedizinischen Forschung weit verbreitet ist. Zu den Kernkomponenten gehören eine Ionenquelle, ein Massenanalysator und ein Detektor.
- **Funktionsprinzip:** Die Kathode sendet Elektronen aus, um die Probenmoleküle zu bombardieren, und nach der Erzeugung von Ionen werden sie durch elektrische oder magnetische Felder getrennt, und die Molekülspezies werden gemäß dem Masse-Ladungs-Verhältnis detektiert.
- **Kathodische Wirkung von Bariumwolfram:** Bietet einen stabilen Elektronenfluss für die Ionisation der Probe.
- **Anforderungen an die Kathode:**
 - **Hohe Empfindlichkeit:** Zur Verbesserung der Ionisationseffizienz ist ein stetiger Fluss niederenergetischer Elektronen erforderlich, und die Kathode muss bei niedrigeren Temperaturen betrieben werden.
 - **Lange Lebensdauer:** Analytische Aufgaben müssen über lange Zeiträume laufen, und Kathoden müssen durch Optimierung des Bariumverhältnisses verlängert werden.
- **Technische Vorteile:** Die geringe Arbeitsfunktion und die hohe Emissionseffizienz der Barium-Wolfram-Kathode sorgen für eine hohe Empfindlichkeit und Langzeitstabilität des Massenspektrometers.

5.2.3 Geräte für die Oberflächenanalytik

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Einführung in die Ausrüstung:** Auger-Elektronenspektrometer (AES) und Röntgenphotoelektronenspektrometer (XPS) sind Instrumente zur Oberflächenanalyse, die zur Untersuchung der chemischen Zusammensetzung und elektronischen Struktur von Materialoberflächen verwendet werden. AES erzeugt Auger-Elektronen, indem die Probe mit einem Elektronenstrahl angeregt wird, um Elementarspezies zu analysieren. XPS regt Photoelektronen durch Röntgenstrahlen, Messelemente und chemische Zustände an. Beide sind in den Materialwissenschaften und der Halbleiterforschung weit verbreitet.
Funktionsweise: Eine Kathoden-emittierende Elektronen- oder Röntgenquelle regt die Probe an und sammelt die emittierten Elektronen für die Energiespektralanalyse.
- **Barium-Wolfram-Kathodische Wirkung:** Bietet einen stabilen Elektronenstrahl (AES) zur Unterstützung einer hochpräzisen Oberflächenanalyse.
- **Anforderungen an die Kathode:**
 - **Hohe Präzision:** Ein stabiler Fluss von niederenergetischen Elektronen ist erforderlich, und die Kathode muss eine gleichmäßige Emission und ein geringes Rauschen bieten.
 - **Ultrahochvakuum-Kompatibilität:** Die Kathode muss eine Kontamination der Oberfläche vermeiden.
- **Technische Vorteile:** Durch die gleichmäßige Emission und Beständigkeit gegen Verschmutzung eignen sich Barium-Wolfram-Kathoden für hochpräzise Oberflächenanalyseaufgaben.

5.3 Industrie- und Kommunikationsanwendungen

Barium-Wolfram-Kathoden unterstützen elektronische Hochleistungsquellen und Signalverstärkungsfunktionen im Industrie- und Kommunikationsbereich und erfüllen die Anforderungen an hohe Zuverlässigkeit und Effizienz.

5.3.1 Radarsystem

- **Einführung in die Ausrüstung:** Das Radarsystem erfasst die Zielposition und -geschwindigkeit durch Senden und Empfangen von Mikrowellensignalen und wird in militärisches Radar (z. B. Luftverteidigungsradar, Raketenleitradar) und ziviles Radar (z. B. Flugsicherung, Wetterradar) unterteilt. Zu den Kernkomponenten gehören eine Mikrowellenquelle (z. B. ein Magnetron oder Klystron), eine Antenne und ein Signalprozessor.
Funktionsprinzip: Der von der Kathode emittierte Elektronenstrahl erzeugt in der Mikrowellenröhre ein Hochleistungs-Mikrowellensignal, das nach der Übertragung durch die Antenne zum Detektor zurückreflektiert wird.
- **Barium-Wolfram-Kathoden-Wirkung:** Bietet einen leistungsstarken Elektronenfluss und unterstützt die Erzeugung von Mikrowellensignalen.
- **Anforderungen an die Kathoden:**
 - **Hohe Ausgangsleistung:** Eine hohe Stromdichte ist erforderlich, um eine leistungsstarke Signalübertragung zu unterstützen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Vibrationsfestigkeit:** Mobile Plattformen (wie z. B. Schiffsradare) erfordern eine hohe mechanische Festigkeit der Kathodenmatrix.
- **Schnelle Reaktion:** Das Impulsradar muss schnell von der Kathode gestartet und stabil gesendet werden.
- **Technische Vorteile:** Die hohe Emissionseffizienz und Robustheit der Barium-Wolfram-Kathode machen sie zu einer idealen Elektronenquelle für Radarsysteme.

5.3.2 Kommunikationsgeräte

- **Einführung in die Ausrüstung:** Verstärker für Satellitenkommunikation und Bodenbasisstationen werden für die Signalübertragung über große Entfernungen verwendet, wobei Wanderfeldröhren oder Halbleiterverstärker zur Verstärkung hochfrequenter Signale verwendet werden. Die Satellitenkommunikation unterstützt globale Kommunikationsnetze, und terrestrische Basisstationen werden für 5G und Rundfunksysteme verwendet.

Funktionsprinzip: Der von der Kathode emittierte Elektronenstrahl verstärkt das Eingangssignal in der Wanderfeldröhre und gibt ein Hochleistungssignal aus.

- **Barium-Wolfram-Kathoden-Wirkung:** Bietet einen stabilen Elektronenfluss und unterstützt die Signalverstärkung.
- **Anforderungen an die Kathoden:**
 - **Hochfrequenzstabilität:** Ein rauscharmer Elektronenfluss ist erforderlich, und die aktive Kathodenschicht muss gleichmäßig sein.
 - **Lange Lebensdauer:** Die Satellitenkommunikation erfordert eine lange Lebensdauer der Kathoden, und die Vergiftungs- und Verdunstungsleistung muss optimiert werden.
- **Technische Vorteile:** Barium-Wolfram-Kathoden unterstützen die Hochfrequenz-Signalverstärkung und den Langzeitbetrieb und erfüllen damit die hohen Zuverlässigkeitsanforderungen von Kommunikationsgeräten.

5.3.3 Vakuum-Schaltröhre

- **Geräteinführung:** Die Vakuumschaltröhre ist ein Hochspannungsschaltgerät, das für Leistungsschalter, Stromverteilung und Laststeuerung in Stromversorgungssystemen verwendet wird und durch elektronische Steuerung ein schnelles Schalten ermöglicht. Zu den Kernkomponenten gehören eine Kathode, eine Anode und ein Vakuumgehäuse.

Funktionsprinzip: Die Kathode emittiert Elektronen, die einen Lichtbogen oder Einschaltstrom bei hoher Spannung bilden, um das Schalten des Stromkreises zu realisieren.

- **Barium-Wolfram-Kathoden-Wirkung:** Bietet einen Hochstrom-Elektronenfluss und unterstützt einen schnellen Schaltvorgang.
- **Anforderungen an die Kathoden:**
 - **Hohe Stromdichte:** Erfordert Unterstützung für den Hochstrom-Schaltbetrieb.
 - **Lichtbogenbeständigkeit:** Es ist notwendig, Lichtbögen durch Oberflächenfehler zu vermeiden und die Oberflächentopographie zu optimieren.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Technische Vorteile:** Die hohe Emissionseffizienz und Stabilität von Barium-Wolfram-Kathoden machen sie geeignet für Hochspannungs- und Hochleistungsschaltanwendungen.

5.4 Luft- und Raumfahrt und Verteidigung

Barium-Wolfram-Kathoden unterstützen eine hochzuverlässige und leistungsstarke Elektronik in der Luft- und Raumfahrt sowie im Verteidigungsbereich, um den Anforderungen extremer Umgebungen gerecht zu werden.

5.4.1 Elektronische Geräte der Raumfahrt

- **Einführung in die Ausrüstung:** Zu den elektronischen Geräten der Raumfahrt gehören Kommunikationsmodule, Antriebssysteme und wissenschaftliche Instrumente in Weltraumsonden und Satelliten, die in extremen Vakuum- und Strahlungsumgebungen betrieben werden müssen. Typische Anwendungen sind elektronische Quellen für Satellitenkommunikationssysteme (z. B. GPS-Satelliten) und Sonden (z. B. Mars-Rover).
Funktionsprinzip: Die Kathode sorgt für den Elektronenfluss und unterstützt die Verstärkung des Kommunikationssignals oder die Ionisation des Treibstoffs.
- **Barium-Wolfram-Kathoden-Wirkung:** Bietet eine hochzuverlässige Elektronenquelle zur Unterstützung langfristiger Weltraummissionen.
- **Anforderungen an die Kathoden:**
 - **Anpassungsfähigkeit an extreme Umgebungen:** Es muss in Weltraum-, Vakuum- und Strahlungsumgebungen stabil funktionieren.
 - **Lange Lebensdauer:** Der Einsatzzyklus beträgt bis zu mehreren Jahren, und die Bariumlagerung muss optimiert werden, um die Lebensdauer zu verlängern.
 - **Geringer Stromverbrauch:** Um Energie zu sparen, ist eine geringe Heizleistung erforderlich.
- **Technische Vorteile:** Die hohe Zuverlässigkeit und die geringe Arbeitsfunktion von Barium-Wolfram-Kathoden machen sie zu einer bevorzugten Wahl für Raumfahrtanwendungen.

5.4.2 Elektronisches Gegenmaßnahmenystem

- **Einführung in die Ausrüstung:** Elektronische Gegenmaßnahmenysteme verwenden Hochleistungs-Mikrowellensignale, um die feindliche Kommunikation, Radare oder elektronische Ausrüstung, einschließlich Hochleistungs-Mikrowellenwaffen und Störsender, zu stören oder zu zerstören. Seine Kernkomponente ist eine Mikrowellenquelle (z. B. ein Clostron- oder Magnetron).
Funktionsprinzip: Der von der Kathode emittierte Elektronenstrahl erzeugt ein Hochleistungs-Mikrowellensignal, das über eine Richtantenne ein störendes Ziel aussendet.
- **Barium-Wolfram-Kathoden-Wirkung:** Bietet einen ultrahohen Elektronenfluss und unterstützt die Erzeugung von Mikrowellensignalen.
- **Anforderungen an die Kathoden:**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Ultrahahe Leistung:** Erfordert eine extrem hohe Stromdichte, um eine Leistung im MW-Bereich zu unterstützen.
- **Schnelle Reaktion:** Der Impulsbetrieb erfordert einen schnellen Start und eine stabile Emission.
- **Technische Vorteile:** Barium-Wolfram-Kathoden sorgen für einen stabilen Elektronenfluss unter hohen elektrischen Feldern und hohen Leistungen und erfüllen damit die Anforderungen von Zählersystemen.

5.5 Neue und domänenübergreifende Anwendungen

Barium-Wolfram-Kathoden weisen ein umfangreiches Potenzial in aufstrebenden Technologiefeldern auf und unterstützen Spitzenforschung und interdisziplinäre Anwendungen.

5.5.1 Terahertz-Wellengenerator

- **Geräteinführung:** Der Terahertz-Wellengenerator erzeugt Terahertz-Wellen für die Terahertz-Bildgebung (z. B. Sicherheit, medizinische Diagnose) und Hochgeschwindigkeitskommunikation. Zu den Kernkomponenten gehören eine elektronische Quelle und ein Oszillator (z. B. eine Wanderfeldröhre oder eine Klystronröhre).
Funktionsprinzip: Der von der Kathode emittierte Elektronenstrahl schwingt in einem hochfrequenten Feld und erzeugt dabei Terahertz-Wellen.
- **Barium-Wolfram-Kathoden-Wirkung:** Liefert einen hochfrequenten Elektronenstrahl und unterstützt die Erzeugung von Terahertz-Wellen.
- **Anforderungen an die Kathoden:**
 - **Hoher Frequenzgang:** Es ist notwendig, eine starke Hochfeldemission in Kombination mit einem Tunneleffekt zu unterstützen.
 - **Stabilität:** Bei hohem Vakuum und hohen Temperaturen ist ein geringer Geräuschpegel erforderlich.
- **Technische Vorteile:** Durch die geringe Arbeitsfunktion und die hohe Stromdichte der Barium-Wolfram-Kathoden sind sie für die hohen Anforderungen von Terahertz-Wellengeneratoren geeignet.

5.5.2 Ionentriebwerke

- **Einführung in die Ausrüstung:** Ionentriebwerke sind schubarme, hocheffiziente Raumfahrtantriebssysteme, die Ionenstrahlen durch ionisierende Treibstoffe (wie Xenon) erzeugen, um Mikroschub (μN bis mN) für die Lageregelung von Weltraumsonden oder Satelliten bereitzustellen.
Funktionsprinzip: Die Kathode gibt elektronenionisierendes Treibmittel ab, und die Ionen werden ausgestoßen, nachdem das elektrische Feld beschleunigt wurde, um Schub zu erzeugen.
- **Barium-Wolfram-Kathode Wirkung:** Bietet eine hocheffiziente Elektronenquelle und unterstützt die Ionisierung des Treibstoffs.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Anforderungen an die Kathoden:**
 - **Hoher Wirkungsgrad:** Ein effizienter Elektronenfluss ist erforderlich, um die Ionisationseffizienz zu verbessern.
 - **Lange Lebensdauer:** Weltraummissionen erfordern einen mehrjährigen Betrieb.
- **Technische Vorteile:** Die hohe Emissionseffizienz und die lange Lebensdauer der Barium-Wolfram-Kathode unterstützen den geringen Stromverbrauch und den langfristigen Betrieb des Ionentriebwerks.

5.5.3 Experimente in der Hochenergiephysik

- Teilchenbeschleuniger wie der LHC des CERN beschleunigen geladene Teilchen durch elektrische und magnetische Felder für die Forschung in der Hochenergiephysik. Seine Elektronenquelle wird verwendet, um einen anfänglichen Teilchenstrahl oder einen Hilfsstrahl zu erzeugen.
Funktionsprinzip: Der von der Kathode emittierte Elektronenstrahl wird beschleunigt und in den Beschleuniger injiziert, um am Teilchenkollisionsexperiment teilzunehmen.
- **Barium-Wolfram-Kathoden-Wirkung:** Bietet eine Hochstrom-Elektronenquelle zur Unterstützung der Teilchenstrahlerzeugung.
- **Anforderungen an die Kathoden:**
 - **Ultrahohe Stromdichte:** Notwendigkeit, hochenergetische Teilchenstrahlen zu unterstützen.
 - **Stabilität:** Es muss lange Zeit im Ultrahochvakuum arbeiten.
- **Technische Vorteile:** Die hohe Leistungsfähigkeit und Stabilität von Barium-Wolfram-Kathoden erfüllen die extremen Bedingungen von Experimenten in der Hochenergiephysik.

5.5.4 Biomedizinische Anwendungen

- **Einführung in die Ausrüstung:** Die hochpräzise Massenspektrometrie wird für die Diagnose von Krankheiten (z. B. Krebsfrüherkennung, Erkennung von Stoffwechselerkrankungen) eingesetzt, indem das Masse-zu-Ladungs-Verhältnis von Biomarkern nachgewiesen wird. Sein Kernstück ist die Ionenquelle des Massenspektrometers.
Funktionsprinzip: Die Kathode sendet Elektronen aus, um biologische Proben zu bombardieren, und die Ionen werden durch Massenspektrometrie erzeugt und analysiert.
- **Barium-Wolfram-Kathoden-Wirkung:** Bietet einen stabilen Elektronenfluss und unterstützt die hochempfindliche Ionisation.
- **Anforderungen an die Kathoden:**
 - **Hohe Empfindlichkeit:** Erfordert einen stabilen Fluss von niederenergetischen Elektronen.
 - **Geringes Rauschen:** Die Genauigkeit der Analyse erfordert ein sehr geringes Emissionsrauschen.
- **Technische Vorteile:** Die hohe Empfindlichkeit und das geringe Rauschen von Barium-Wolfram-Kathoden machen sie zu idealen Elektronenquellen für die biomedizinische Massenspektrometrie-Analyse.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Barium-Wolfram-Kathoden aufgrund ihrer geringen Arbeitsfunktion, ihrer hohen Stromdichte und ihrer hervorragenden Stabilität eine breite Palette von Anwendungswerten in der Vakuumelektronik, in wissenschaftlichen Instrumenten, in der Industrie und Kommunikation, in der Luft- und Raumfahrt und in der Verteidigung sowie in aufstrebenden Bereichen gezeigt haben. Dieses Kapitel stellt die Geräteprinzipien der einzelnen Anwendungsszenarien und ihre technischen Anforderungen an Kathoden im Detail vor, verdeutlicht die Schlüsselrolle von Barium-Wolfram-Kathoden bei der Förderung der Entwicklung von High-Tech-Bereichen und bietet eine anwendungsorientierte Referenz für die anschließende Leistungsoptimierung und interdisziplinäre Forschung.



Kapitel 6: Optimierung und Verbesserung der Leistung der Bariumwolframkathode

Die Leistungsoptimierung und -verbesserung von Barium-Wolfram-Kathoden sind der Schlüssel zur Verbesserung ihrer Leistung in Vakuumelektronik und High-Tech-Anwendungen, mit dem Ziel, die Emissionseffizienz zu verbessern, die Lebensdauer zu verlängern, die Anpassungsfähigkeit an die Umwelt zu verbessern und ein intelligentes Design zu ermöglichen. In diesem Kapitel werden die Optimierung der Porenstruktur poröser Wolframmatrix, die Formulierung neuartiger Bariumverbindungen, die Anwendung von Nanotechnologie, Anti-Toxizitätsprozesse, Verbesserungen der thermischen und mechanischen Stabilität, umweltfreundliche Fertigung mit geringem Stromverbrauch und intelligente Überwachungstechnologien ausführlich behandelt, wobei eine breite Palette von Strategien vom Materialdesign bis zur Prozessoptimierung abgedeckt wird.

6.1 Verbessern Sie die Effizienz des Starts

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Verbesserung der Emissionseffizienz von Bariumwolframkathoden ist ein Kernziel der Optimierung ihrer Leistung, einschließlich der Erhöhung der Emissionsstromdichte, der Verringerung der Arbeitsfunktion und der Verbesserung der Emissionsgleichmäßigkeit von Elektronen. Dieser Abschnitt befasst sich mit der Optimierung der Porenstruktur poröser Wolframmatrix, der Formulierung und Dotierung neuartiger Bariumverbindungen und der Anwendung der Nanotechnologie.

6.1.1 Optimierung der Porenstruktur der porösen Wolframmatrix

Die Porenstruktur der porösen Wolframmatrix wirkt sich direkt auf die Diffusionsrate von Bariumatomen und die Bildungseffizienz der aktiven Schicht aus, und die Emissionseffizienz kann durch Optimierung der Porosität und Konnektivität erheblich verbessert werden.

- **Porositäts-Verordnung:**
 - **Optimierungsziel:** Gleichgewicht zwischen der Speicherung von Bariumverbindungen und der mechanischen Festigkeit der Matrix durch Anpassung der Porosität. Eine hohe Porosität erhöht die Bariumspeicherung, was zu einer hohen Stromdichteemission beiträgt. Die geringe Porosität erhöht die Festigkeit für langlebige Anwendungen.
 - **Prozessmethode:** Feines Wolframpulver wird mit größeren Partikeln gemischt, um eine bimodale Porenverteilung zu bilden und die Konnektivität zu verbessern. Temporäre Füllstoffe, wie z. B. Polystyrol-Mikrosphären, verflüchtigen sich während des Sinterns und bilden ein gleichmäßiges Porennetzwerk.
 - **Optimierung der Sinterparameter:** Passen Sie die Sintertemperatur, die Heizrate und die Haltedauer an, um sicherzustellen, dass sich die Partikel binden und gleichzeitig die Poren erhalten. Vakuum oder Wasserstoffatmosphäre verhindern die Oxidation.
- **Verbesserte Porenkonnektivität:**
 - **Technische Mittel:** Durch die Steuerung der Partikelgrößenverteilung von Wolframpulver und des Pressdrucks wird ein dreidimensional verbundenes Porennetzwerk gebildet, um die Diffusion von Bariumatomen an die Oberfläche zu fördern.
 - **Verifizierungsmethode:** Die Röntgentomographie (Röntgentomographie (X-CT)) rekonstruiert die Porenstruktur, um die Konnektivität zu bestätigen; Die Quecksilberdruckmethode misst die Porosität und die Porengrößenverteilung.
- **Leistungsverbesserung:** Die optimierte Porenstruktur kann die Bariumdiffusionseffizienz verbessern, die Abdeckung der aktiven Oberflächenschicht erhöhen, die Arbeitsfunktion verringern und die Sendestromdichte erhöhen.
- **Prozessvalidierung:** Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) wird zur Beobachtung von Porenquerschnitten verwendet, kombiniert mit der thermiontronic-Emissionsprüfung, um die Emissionsleistung zu bewerten und so Gleichmäßigkeit und Stabilität zu gewährleisten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Optimierung der Porenstruktur muss durch präzise Pulvermetallurgie- und Sinterprozesse erreicht werden, um die strukturelle Grundlage für eine effiziente Emission zu schaffen.

6.1.2 Formulierung und Dotierungstechnologie neuer Bariumverbindungen

Neuartige Bariumverbindungsformulierungen und Dotierungstechniken optimieren die Bildung und Stabilität der aktiven Schicht, reduzieren die Arbeitsfunktion und verbessern die Emissionseffizienz.

- **Neue Formulierung der Bariumverbindung:**
 - **Rezepturanpassung:** Traditionelles Barium-Calciumaluminat ($4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 4:1:1) erhöht den Bariumgehalt durch Anpassung des molaren Verhältnisses und beschleunigt die Freisetzungsrates von freiem Barium, wodurch es für Anwendungen mit hoher Stromdichte geeignet ist. Das niedrige Bariumverhältnis verlangsamt die Zersetzung und ist für eine lange Lebensdauer geeignet.
 - **Alternative Verbindungen:** Untersuchen Sie Bariumsilikate (z. B. Ba_2SiO_4) oder Bariumtitanate (z. B. BaTiO_3) als Alternativen aufgrund ihrer stabileren thermischen Zersetzungseigenschaften über einen bestimmten Temperaturbereich und reduzieren Sie die Interferenz von Nebenprodukten.
 - **Partikeloptimierung:** Mahlen Sie Bariumverbindungen bis in den Submikrometerbereich, um die Porengröße der Matrix anzupassen, die Gleichmäßigkeit der Imprägnierung zu verbessern und die Abdeckung der aktiven Schicht zu verbessern.
- **Dopingtechnik:**
 - **Dotiermittelauswahl:** Seltenerdoxide (wie La_2O_3 , CeO_2 , <2 Gew.-%) wurden hinzugefügt, um die thermische Stabilität der aktiven Schicht zu verbessern und die Arbeitsfunktion zu verringern. La_2O_3 bildet Ba-La-O-Komplexe mit geringer Arbeitsfunktion, und CeO_2 verbessert die antioxidative Kapazität.
 - **Dopingmethode:** Das Dotierungsmittel wird mit einer Bariumverbindung gemischt und gemahlen, um eine Suspension herzustellen, oder es wird durch eine Sekundärprägnierung nach der anderen eingeführt, um eine gleichmäßige Verteilung zu gewährleisten. Die Ultraschalldispersion verhindert die Agglomeration.
 - **Wirkmechanismus:** Dotierstoffe reduzieren die Arbeitsfunktion, indem sie die elektronische Struktur der Oberfläche verändern, während sie die Bariumverdunstung hemmen und die Lebensdauer der aktiven Schicht verlängern.
- **Leistungsverbesserungen:** Neue Formulierungen und Dotierungstechniken reduzieren die Arbeitsfunktion, erhöhen die Sendestromdichte und verbessern die Emissionsgleichmäßigkeit.
- **Prozessverifizierung:** Die Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS) wurde verwendet, um die chemische Zusammensetzung der Oberfläche zu analysieren und die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dotierungsverteilung zu bestätigen. Thermionische Emissionstests belegen die Erhöhung der Arbeitsfunktion und der Stromdichte.

Neue Formulierungen und Dotierungstechniken müssen experimentell optimiert werden, um die Kompatibilität mit der Porenstruktur der Matrix zu gewährleisten.

6.1.3 Anwendungen der Nanotechnologie

Die Nanotechnologie verbessert die Emissionseffizienz von Barium-Wolfram-Kathoden durch die Konstruktion nanoskaliger Strukturen, die nanoskalige Bariumbeschichtungen und nanoporöse Wolframmatrizen umfassen.

- **Nanoskalige Barium-Beschichtung:**
 - **Herstellungsverfahren:** Die Atomlagenabscheidung (ALD) oder die chemische Gasphasenabscheidung (CVD) wird verwendet, um nanoskalige Bariumoxidschichten auf der Oberfläche der Wolframmatrix abzuscheiden. ALD verwendet $Ba(C_2H_5O_2)_2$ als Vorläufer und wird Schicht für Schicht bei einer bestimmten Temperatur abgeschieden, um eine Gleichmäßigkeit zu gewährleisten.
 - **Vorteile:** Nanobeschichtungen erhöhen die Oberflächenabdeckung von Bariumatomen, verringern die Arbeitsfunktion und reduzieren die Verdampfungsverluste von Barium. Die hohe spezifische Oberfläche der Beschichtung verbessert die Effizienz der Elektronenemission.
 - **Prozesskontrolle:** Die Abscheidung sollte im Hochvakuum erfolgen, um die Abscheidungsgeschwindigkeit zu kontrollieren und zu vermeiden, dass die Beschichtung zu dick ist, um die Poren zu verstopfen.
- **Nanoporöse Wolframmatrix:**
 - **Präparationsmethode:** Nanoporen werden auf der Oberfläche der Wolframmatrix durch elektrochemisches Ätzen oder Schablonenmethoden (z. B. eloxierte Aluminiumschablonen) gebildet. Bei der Template-Methode wird eine Al_2O_3 -Template verwendet, um die Matrix nach der Abscheidung von Wolfram durch plasmagestützte chemische Gasphasenabscheidung (PECVD) zu entfernen.
 - **Vorteile:** Nanoporen vergrößern die spezifische Oberfläche, verbessern die Bariumspeicher- und Diffusionseffizienz und erhöhen die Emissionsstromdichte.
 - **Herausforderungen bei den Prozessen:** Nanoporen müssen ihre Konnektivität aufrechterhalten, um einen Kollaps zu vermeiden. Die Festigkeit der Matrix wird durch die Dotierung mit ZrO_2 erhöht.
- **Verbesserte Leistung:** Die Nanotechnologie kann die Emissionseffizienz erhöhen, die Arbeitsfunktion verringern und die Emissionsgleichmäßigkeit verbessern.
- **Verifizierungsmethode:** Rasterkraftmikroskopie (AFM) zur Analyse der Schichtmorphologie und zur Bestätigung der Rauheit; REM und X-CT zum Nachweis von Nanoporenstrukturen; Sendetests belegen eine erhöhte Stromdichte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Nanotechnologie muss sich mit den Kosten für die Vorbereitung und der Skalierbarkeit befassen, aber ihr Potenzial für erhebliche Leistungsverbesserungen macht sie zu einem Forschungs-Hotspot.

6.2 Lebensdauer verlängern

Die Verlängerung der Lebensdauer ist eine wichtige Richtung für die Optimierung der Barium-Wolfram-Kathoden, die Vergiftungsschutzprozesse und Verbesserungen der thermischen Stabilität und der mechanischen Festigkeit umfasst, um Alterung und Ausfall zu verlangsamen.

6.2.1 Anti-Vergiftungs-Prozess

Das Anti-Gift-Verfahren verlangsamt die Alterung der aktiven Schicht, indem es die Beständigkeit der Kathode gegen Umweltschadstoffe verbessert.

- **Antioxidativer Kontaminationsmechanismus:**
 - **Verschmutzungsquellen:** Restgase (wie O_2 , H_2O , CO_2) reagieren mit Oberflächen-Barium zu Hochleistungsverbindungen (wie BaO_2 , $BaCO_3$), was die Emissionsleistung verringert.
 - **Schutzrichtlinie:**
 - **Antitoxische Wirkstoffe** hinzufügen: Dotiert mit Seltenerdoxiden (wie Sc_2O_3 , Y_2O_3), um eine Schutzschicht zu bilden und die Reaktion von Barium mit Sauerstoff zu hemmen. Sc_2O_3 bildet einen stabilen Ba-Sc-O-Komplex, der die Oxidationsrate reduziert.
 - **Oberflächenbeschichtung:** Scheidet eine dünne Oxidschicht wie Al_2O_3 durch physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) als Barriere ab und verhindert so das Eindringen von Verunreinigungen.
 - **Nachaktivierungsbehandlung:** Nach der Aktivierung bildet das Tieftemperaturglühen eine stabile Bariumadsorptionsschicht, um die Anti-Verschmutzungsfähigkeit zu verbessern.
- **Prozessoptimierung:**
 - Die Imprägnierung und Aktivierung erfolgt im Ultrahochvakuum, um die Erstkontamination zu reduzieren.
 - Verwenden Sie hochreine Bariumverbindungen und Reindräume, um das Eindringen von Verunreinigungen zu vermeiden.
- **Leistungsverbesserung:** Der Anti-Vergiftungsprozess verlängert die Lebensdauer der Kathode in einer Vakuumumgebung und reduziert die Dämpfungsrates des übertragenen Stroms.
- **Verifizierungsmethode:** XPS analysiert die chemische Zusammensetzung der Oberfläche und erkennt den Gehalt an Verunreinigungen; Tests zur beschleunigten Alterung bewerten die Antitoxizitätseigenschaften.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Das Anti-Vergiftungsverfahren erfordert eine Kombination von Schutzmaßnahmen, um die Langzeitstabilität der Kathode in nicht idealen Umgebungen zu gewährleisten.

6.2.2 Verbesserung der thermischen Stabilität und der mechanischen Festigkeit

Verbesserte thermische Stabilität und mechanische Festigkeit reduzieren die Bariumverdampfung und das strukturelle Versagen während des Hochtemperaturbetriebs und verlängern so die Lebensdauer der Kathoden.

- **Verbesserungen der thermischen Stabilität:**
 - **Optimierung von Bariumverbindungen:** Verwendung von hochgradig thermisch stabilen Bariumverbindungen wie Ba_2SiO_4 , die sich bei einer höheren Temperatur als herkömmliche Formulierungen zersetzen und die Bariumverdampfung verlangsamen.
 - **Dotierungsverbesserung:** ZrO_2 oder HfO_2 wird der Matrix oder aktiven Schicht zugesetzt, um die Verflüchtigung von Bariumatomen bei hohen Temperaturen zu hemmen und die Bindungskraft der aktiven Schicht an die Matrix zu verbessern.
 - **Optimierung des Aktivierungsprozesses:** Die schrittweise Aktivierung bildet eine gleichmäßige aktive Schicht, die den Bariumverlust bei Hochtemperaturaktivierung reduziert.
- **Verbesserung der mechanischen Festigkeit:**
 - **Matrixverstärkung:** Verbessern Sie die Korngrenzenbindung der Wolframmatrix durch Dotierung von Re oder ThO_2 , um die Druckfestigkeit zu verbessern.
 - **Sinteroptimierung:** Reduziert die Sintertemperatur und verlängert die Wärmeretentionszeit, was zu dichteren Partikelbindungen und reduzierten Mikrorissen führt.
 - **Porenstrukturdesign:** Die Gradientenporenstruktur (hohe Porosität auf der Oberfläche, geringe Porosität im Inneren) gleicht Festigkeit und Bariumspeicherbedarf aus.
- **Leistungsverbesserung:** Eine verbesserte thermische Stabilität verlängert die Lebensdauer der Kathode bei hohen Temperaturen. Erhöhte mechanische Festigkeit, um Umgebungen mit hohen Vibrationen standzuhalten (z. B. militärische Radargeräte).
- **Verifizierungsmethode:** Die thermogravimetrische Analyse (TGA) wurde verwendet, um die Verdampfungsrate von Barium zu bewerten. Druckprüfung und REM zur Beobachtung der Matrixfestigkeit und Mikrostruktur; Lebensdauertests belegen die Langzeitleistung.

Verbesserungen der thermischen Stabilität und der mechanischen Festigkeit werden durch synergistische Optimierung von Materialien und Prozessen erreicht.

6.3 Anpassungsfähigkeit an die Umwelt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Verbesserung der Anpassungsfähigkeit von Barium-Wolfram-Kathoden an die Umwelt ermöglicht den Betrieb unter extremen Bedingungen und Anforderungen an eine umweltfreundliche Fertigung, was eine extreme Umwelleistung und Designs mit geringem Stromverbrauch erfordert.

6.3.1 Leistung in extremen Umgebungen

Extreme Umgebungen (z. B. Weltraumvakuum, hohe Strahlung, Temperaturwechsel) stellen höhere Anforderungen an die Kathodenleistung und erfordern optimierte Materialien und Strukturen, um die Stabilität zu gewährleisten.

- **Weltraumvakuum und Strahlung:**
 - **Optimierungsstrategie:** Fügen Sie Anti-Strahlungs-Additive hinzu, um die Strahlungsschutzfähigkeit der Matrix und der aktiven Schicht zu verbessern. Oberfläche mit einer ZrO₂-Beschichtung abgeschieden, um strahlende Partikel abzuschirmen.
 - **Vakuumkompatibilität:** Aktiviert und dichtet die Kathode im Ultrahochvakuum ab und reduziert so die Restgaskontamination.
- **Temperaturwechsel:**
 - **Optimierungsstrategie:** Zur Reduzierung der thermischen Belastung wird eine Wolframmatrix mit niedrigem Wärmeausdehnungskoeffizienten verwendet. Durch die schrittweise Erwärmung wird ein Aufreißen der aktiven Schicht vermieden.
 - **Verifizierungsmethode:** Bei Temperaturwechseltests wird die Leistungsverschlechterung bewertet.
- **Umgebung mit hohen Vibrationen:**
 - **Optimierungsstrategie:** Formen Sie durch kaltisostatisches Pressen eine Matrix mit hoher Dichte, um die Vibrationsfestigkeit zu erhöhen. Das Design der Gradientenporen verbessert die strukturelle Zähigkeit.
- **Verbesserte Leistung:** Die optimierte Kathode kann in Vakuum-, Strahlungs- und Vibrationsumgebungen stabil betrieben werden, und die Lebensdauer wird verlängert.
- **Verifizierungsmethode:** Umweltsimulationstest (Strahlung, Vakuum, Vibration) in Kombination mit einem Emissionstest zur Bestätigung der Leistungsstabilität.

Die Optimierung extremer Umgebungen erfordert eine umfassende Berücksichtigung von Materialien, Prozessen und strukturellem Design.

6.3.2 Geringer Stromverbrauch und umweltfreundliche Fertigung

Geringer Stromverbrauch und umweltfreundliche Fertigung sind wichtige Richtungen im modernen Kathodendesign, die darauf abzielen, den Energieverbrauch und die Umweltbelastung zu reduzieren.

- **Design mit geringem Stromverbrauch:**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Reduzierte Betriebstemperatur:** Die Arbeitsfunktion wird durch Dotierung von Sc_2O_3 oder La_2O_3 reduziert, so dass die Kathode bei Betriebstemperatur eine hohe Stromdichte bietet und die Heizleistung reduziert.
- **Effiziente Heizstruktur:** Entwerfen Sie eine Matrix mit hoher Wärmeleitfähigkeit mit optimierten Heizelementen wie Mo-Filament, um den thermischen Wirkungsgrad zu verbessern.
- **Verifizierungsmethode:** Der thermionische Emissionstest bewertet die Leistung bei niedrigen Temperaturen; Die Wärmebildgebung analysiert die Gleichmäßigkeit der Heizung.
- **Umweltfreundliche Fertigung:**
 - **Umweltfreundliche Materialien:** Verwenden Sie ungiftige Zusatzstoffe wie CeO_2 , um Umweltschäden zu reduzieren. Rückgewinnung von Wolframpulver und Bariumverbindungen, um den Rohstoffverbrauch zu senken.
 - **Energiesparendes Verfahren:** Niedertemperatur-Sintern und hocheffiziente Imprägnierung (Vakuumbauchen) werden eingesetzt, um den Energieverbrauch zu senken.
 - **Abfallbehandlung:** Einrichtung eines Systems zur Rückgewinnung von Bariumverbindungen zur Rückgewinnung von Ba^{2+} -Ionen durch chemische Fällung und zur Reduzierung von Emissionen.
- **Verbesserte Leistung:** Das stromsparende Design reduziert die Heizleistung; Reduzieren Sie den Energieverbrauch und die Abfallemissionen durch umweltfreundliche Fertigung.
- **Verifizierungsmethode:** Die Analyse des Energieverbrauchs bewertet die Produktions- und Betriebseffizienz; Die Umweltverträglichkeitsprüfung (LCA) bestätigt die Wirksamkeit einer umweltfreundlichen Produktion.

Geringer Stromverbrauch und umweltfreundliche Fertigung erfordern ein Gleichgewicht zwischen Leistung und Umweltvorteilen.

6.4 Intelligentes Design

Das intelligente Design verbessert die Kathodenleistung durch Echtzeitüberwachung und dynamische Anpassungen, einschließlich Sensorintegration und adaptiver Steuerung.

- **Sensor-Überwachung:**
 - **Sensortyp:** Integrierte Miniatur-Temperatursensoren (z. B. Thermoelemente) und Stromsensoren überwachen den Kathodenstatus. Drucksensoren erkennen Veränderungen in der Vakuumumgebung.
 - **Installationsmethode:** Der Sensor ist in die Kathodenmatrix oder das Gehäuse des Vakuumgeräts eingebettet und überträgt Daten über eine Mikroschaltung.
 - **Überwachungsparameter:** Zeichnen Sie Betriebstemperatur auf, übertragen Sie Strom und Vakuum in Echtzeit, um die Alterung oder Kontamination der aktiven Schicht vorherzusagen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Dynamische Anpassung:**
 - **Steuerungssystem:** Entwickeln Sie ein Feedback-System auf Basis einer Mikrosteuerungseinheit (MCU), um die Heizleistung oder die Aktivierungsbedingungen auf der Grundlage von Sensordaten anzupassen. Wenn beispielsweise der Emissionsstrom um $>5\%$ abfällt, wird die Tieftemperaturaktivierung des zusätzlichen Bariumatoms ausgelöst.
 - **Adaptive Algorithmen:** Verwenden Sie Machine Learning-Modelle, um historische Daten zu analysieren, Betriebsparameter zu optimieren und die Lebensdauer zu verlängern.
- **Verbesserte Leistung:** Intelligentes Design verlängert die Lebensdauer der Kathode und reduziert versehentliche Ausfälle.
- **Verifizierungsmethode:** Simulierter Betriebstest zur Bewertung der Sensorgenauigkeit und des Ansprechverhaltens des Steuerungssystems; Die Fehleranalyse bestätigt die Wirksamkeit der Intelligenz.

Intelligentes Design befasst sich mit der Miniaturisierung von Sensoren und der Komplexität der Datenverarbeitung, aber sein Potenzial ist erheblich.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Leistungsoptimierung und die Verbesserung der Bariumwolframkathode die Emissionseffizienz, die Lebensdauer und die Anpassungsfähigkeit an die Umwelt durch Optimierung der Porenstruktur, neue Formulierungen, Nanotechnologie, Anti-Vergiftungsverfahren, Verbesserung der thermomechanischen Stabilität, umweltfreundliche Fertigung mit geringem Stromverbrauch und intelligentes Design erheblich verbessern. Dieses Kapitel bietet einen systematischen technischen Weg für die Entwicklung von Hochleistungskathoden und legt den Grundstein für die technischen Herausforderungen und die zukünftige Entwicklung des nächsten Kapitels.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Barium Tungsten Cathode Introduction

1. Overview of Barium Tungsten Cathode

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

2. Characteristics of Barium Tungsten Cathode

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

3. Applications of Barium Tungsten Cathode

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Kapitel 7: Herausforderungen und zukünftige Entwicklung

Als hocheffiziente thermionische Emissionsquelle nimmt die Bariumwolframkathode eine wichtige Position im Bereich der elektronischen Vakuumgeräte und der Hightech ein, aber ihre Entwicklung ist mit technischen Engpässen wie Materialkosten, Leistungskonsistenz und Lieferkettenstabilität konfrontiert und steht auch unter Wettbewerbsdruck durch Kaltkathoden und andere Heißkathodentechnologien. Dieses Kapitel bietet eine eingehende Analyse der aktuellen technischen Herausforderungen, diskutiert die Wettbewerbslandschaft neuer Technologien und gibt einen Ausblick auf zukünftige Forschungsrichtungen für Barium-Wolfram-Kathoden, die neue Materialien und Prozesse, intelligentes Design und interdisziplinäre Forschung umfassen.

7.1 Aktuelle technische Engpässe

Die weit verbreitete Anwendung von Bariumwolfram-Kathoden wird durch Engpässe wie Materialkosten, Aufbereitungskomplexität, Leistungskonsistenz und Stabilität der Lieferkette eingeschränkt, die ihre Wettbewerbsfähigkeit bei Hochleistungsgeräten und in der Massenproduktion einschränken.

7.1.1 Materialkosten und Komplexität der Vorbereitung

- **Beschreibung der Herausforderung:**
 - **Kostspielige Rohstoffe:** Barium-Wolfram-Kathoden basieren auf hochreinen Wolfram- und Bariumverbindungen, die teuer sein können. Wolframpulver muss sorgfältig gesiebt werden, um eine gleichmäßige Partikelgröße zu gewährleisten, und Bariumverbindungen müssen mit hoher Reinheit synthetisiert werden, was die Materialkosten erheblich erhöht.
 - **Komplexe Aufbereitungsprozesse:** Der pulvermetallurgische Prozess der porösen Wolframmatrix (einschließlich Pressen und Hochtemperaturesintern) und der Imprägnier- und Aktivierungsprozess von Bariumverbindungen umfassen mehrstufige und hochpräzise Vorgänge. Das Hochtemperaturesintern erfordert ein strenges Vakuum oder eine inerte Atmosphäre, Imprägnierung und Aktivierung erfordern eine saubere Umgebung, Investitionen in die Ausrüstung und einen hohen Energieverbrauch.
 - **Prozessempfindlichkeit:** Kleine Abweichungen in der Porosität, der Bariumpackung und den Aktivierungsbedingungen können die Emissionsleistung erheblich beeinträchtigen, was zu höheren Kosten für Versuch und Irrtum führt.
- **Auswirkungen:** Hohe Kosten und Komplexität schränken die Einführung von Bariumwolframkathoden in kostensensiblen Anwendungen wie Mikrowellengeräten für Privathaushalte ein und erhöhen die Eintrittsbarriere für kleine und mittlere Unternehmen.
- **Mögliche Lösung:**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Erkunden Sie kostengünstige alternative Materialien, wie z. B. die Dotierung von preisgünstigen Metallen wie Molybdän, um den Wolframverbrauch zu reduzieren, oder verwenden Sie wirtschaftlichere Bariumverbindungsformulierungen.
- Optimieren Sie den Prozessablauf und vereinfachen Sie die Press- und Tauchschritte mit automatisierten Geräten, um den Energieverbrauch moderat zu senken.
- Legen Sie standardisierte Prozessspezifikationen fest, kombiniert mit der Technologie der statistischen Prozesskontrolle (SPC), um Parameterschwankungen erheblich zu reduzieren und die Produktionseffizienz zu verbessern.

7.1.2 Leistungskonsistenz und Herausforderungen bei der Massenproduktion

- **Beschreibung der Herausforderung:**
 - **Variationen von Charge zu Charge:** Die Porenstruktur, die Füllung der Bariumverbindung und die Gleichmäßigkeit der aktiven Schicht der porösen Wolframmatrix variieren zwischen den Chargen, was zu Schwankungen in der Emissionsleistung führt und die Zuverlässigkeit des Geräts beeinträchtigt.
 - **Schwierigkeit beim Prozess-Scale-up:** Mit der Laborvorbereitung im kleinen Maßstab kann eine hohe Konsistenz erreicht werden, aber in der Produktion im industriellen Maßstab ist die Gleichmäßigkeit der Press-, Sinter- und Imprägnierbedingungen schwer aufrechtzuerhalten, was zu einer ungleichmäßigen Leistung führt.
 - **Komplexität der Qualitätskontrolle:** Die Prüfung der Emissionsleistung erfordert eine Hochvakuumumgebung und Präzisionsinstrumente, was den Prüfprozess zeitaufwändig und kostspielig macht. Die Fehleranalyse (z. B. die Diagnose von Oberflächenverunreinigungen) erfordert eine Kombination mehrerer Technologien, was die Schwierigkeit der Qualitätsprüfung erhöht.
- **Auswirkung:** Eine inkonsistente Leistung schränkt die Glaubwürdigkeit von Bariumwolfram-Kathoden in hochzuverlässigen Anwendungen (z. B. Satellitenkommunikation, Teilchenbeschleuniger) ein und behindert die Industrialisierung in großem Maßstab.
- **Mögliche Lösung:**
 - Die Einführung von Online-Überwachungstechnologien, wie z. B. der Echtzeit-Erkennung der Porenstruktur und der Temperaturüberwachung, verbessert die Prozessstabilität erheblich.
 - Entwicklung einer Testplattform mit hohem Durchsatz, die automatisierte Emissionstests und Bildverarbeitungsanalysen kombiniert, um die Chargenkonsistenz schnell zu bewerten.
 - Optimieren Sie Produktionsprozesse, um stabile Rohstoffchargen zu gewährleisten und Leistungsschwankungen durch datengesteuerte Methoden wie Six Sigma erheblich zu reduzieren.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.1.3 Herausforderungen in der Lieferkette

- **Beschreibung der Herausforderung:**
 - **Rohstoffknappheit:** Wolfram- und Bariumressourcen sind knapp, die globalen Reserven konzentrieren sich auf einige wenige Regionen und die Lieferketten sind anfällig für geopolitische und Marktschwankungen.
 - **Logistik und Lagerung:** Hochreines Wolframpulver und Bariumverbindungen erfordern besondere Lagerbedingungen (Feuchtigkeit und Oxidation), und Langstreckentransporte können Verunreinigungen einführen oder die Kosten erhöhen.
 - **Ökologischer und regulatorischer Druck:** Bei der Herstellung und Entsorgung von Bariumverbindungen fallen potenziell giftige Substanzen an, die die Einhaltung strenger Umweltvorschriften erfordern, was die Kosten für die Einhaltung der Vorschriften erhöht.
- **Auswirkungen:** Die Instabilität der Lieferkette kann zu Rohstoffknappheit oder Preisschwankungen führen, die Produktionspläne und die Kostenkontrolle beeinträchtigen und den Industrialisierungsprozess einschränken.
- **Mögliche Lösung:**
 - Entwicklung einer Ressourcenrückgewinnungstechnologie zur Extraktion von Wolfram und Barium aus Abfallkathoden, um die Abhängigkeit von Rohern moderat zu verringern.
 - Etablieren Sie eine diversifizierte Lieferkette, kooperieren Sie mit multinationalen Lieferanten und diversifizieren Sie geopolitische Risiken.
 - Fördern Sie umweltfreundliche chemische Prozesse, verwenden Sie ungiftige Alternativen oder effiziente Technologien zur Behandlung von Abfallflüssigkeiten, um die Anforderungen des Umweltschutzes zu erfüllen.

7.2 Wettbewerb um aufstrebende Technologien

Barium-Wolfram-Kathoden stehen im Wettbewerb mit Kaltkathoden und anderen Heißkathodentechnologien, und ihre Marktposition hängt von ihrer Fähigkeit ab, ihre technischen Vorteile beizubehalten und sich an unterschiedliche Anwendungsanforderungen anzupassen.

7.2.1 Kaltkathoden-Technologie

- **Wettbewerbsfähige Technologie Beschreibung:**
 - **Kathode an Kohlenstoffnanoröhren (CNT):** Unter Ausnutzung der Feldemissionseigenschaften von Kohlenstoffnanoröhren emittieren sie Elektronen durch hohe elektrische Felder ohne Erwärmung und bieten die Vorteile eines geringen Stromverbrauchs, einer schnellen Reaktion und Miniaturisierung,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

wodurch sie für elektronische Miniaturgeräte wie Flachbildschirme und tragbare Röntgenquellen geeignet sind.

- **Andere Feldemissionskathoden** wie Graphen, Zinkoxid-Nanodrähte und hochmoderne Array-Kathoden beruhen auf dem hohen elektrischen Feldverstärkungseffekt von Nanostrukturen, um eine hohe Emissionsstromdichte zu gewährleisten, und werden in aufstrebenden Bereichen häufig eingesetzt.
- **Anwendungspotenzial:** Kaltkathoden ersetzen nach und nach traditionelle Heißkathoden in leistungsschwachen und miniaturisierten Geräten und bedrohen einige Märkte für Barium-Wolfram-Kathoden.
- **Wettbewerbsfähige Herausforderungen:**
 - **Geringer Stromverbrauch:** Die Kaltkathode muss nicht beheizt werden, wodurch der Energieverbrauch erheblich gesenkt wird und sie für tragbare und umweltfreundliche Anwendungen geeignet ist.
 - **Reduzierte Herstellungskosten:** Die Präparationstechnologie von Kohlenstoffnanoröhren und Graphen wird immer ausgereifter, und die Kosten sinken allmählich, was die Wettbewerbsfähigkeit des Marktes erhöht.
 - **Einschränkungen:** Die Emissionsstromdichte und die Lebensdauer von Kaltkathoden sind im Allgemeinen niedriger als die von Barium-Wolfram-Kathoden, und die Stabilität der Feldemission ist anfällig für Oberflächenverunreinigungen, was die Komplexität des Gerätedesigns aufgrund hoher Anforderungen an das elektrische Feld erhöht.
- **Reaktionsstrategie für Bariumwolframkathoden:**
 - Heben Sie die Vorteile der hohen Leistung hervor und unterstreichen Sie die Unersetzlichkeit von Barium-Wolfram-Kathoden in Anwendungen mit hoher Stromdichte und langer Lebensdauer (z. B. Mikrowellenröhren, Röntgenröhren).
 - Entwicklung von Barium-Wolfram-Kathoden mit geringem Stromverbrauch, um den Energieverbrauchslücke zu Kaltkathoden durch Optimierung der Arbeitsfunktion und der Betriebstemperatur zu verringern.
 - Erweitern Sie Bereiche mit hoher Zuverlässigkeit, wie z. B. Raumfahrt Elektronik, um die Strahlungs- und Vibrationsbeständigkeit zu verbessern.

7.2.2 Sonstige Wärmekathoden

- **Wettbewerbsfähige Technologie Beschreibung:**
 - **Oxidkathoden:** Basierend auf Bariumoxid- oder Strontiumoxid-Beschichtungen haben sie niedrige Kosten und niedrigere Betriebstemperaturen, wodurch sie für Anwendungen mit geringer Leistung (z. B. kleine Röhren) geeignet sind, aber sie bieten eine schlechte Toxizitätsbeständigkeit und Langlebigkeit.
 - **Lanthanhexaborid (LaB₆)-Kathode:** Bietet eine Elektronenemission mit hoher Helligkeit und ist für hochauflösende Elektronenmikroskopie geeignet, hat aber eine hohe Betriebstemperatur und hohe Vorbereitungskosten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Dotierte Wolframkathoden:** wie Rhenium- oder Thorium-dotierte Wolframkathoden, die für Umgebungen mit hohen Temperaturen und hoher Festigkeit geeignet sind, aber die Emissionseffizienz ist geringer als die von Barium-Wolfram-Kathoden.
- **Wettbewerbsfähige Herausforderungen:**
 - **Kompromiss zwischen Kosten und Leistung:** Oxidkathoden dominieren den Billigmarkt, haben aber eine begrenzte Leistung. LaB₆-Kathoden konkurrieren mit Barium-Wolfram-Kathoden in Anwendungen mit hoher Helligkeit, jedoch mit höherem Energieverbrauch und höheren Kosten.
 - **Anwendungsspezifischer Wettbewerb:** LaB₆-Kathoden bedrohen den Marktanteil von Barium-Wolfram-Kathoden in der Elektronenmikroskopie, während Oxidkathoden den Low-End-Markt unter Druck setzen.
- **Reaktionsstrategie für Bariumwolframkathoden:**
 - Optimieren Sie das Leistungs-Kosten-Verhältnis, um die Kosten zu senken, indem Sie den Aufbereitungsprozess vereinfachen und gleichzeitig eine hohe Emissionseffizienz und Vorteile für eine lange Lebensdauer beibehalten.
 - Verbesserte Vorteile bei der Low-Power-Funktion und der thermischen Stabilität für Hochleistungsanwendungen (z. B. Mikrowellenröhren, Teilchenbeschleuniger).
 - Entdecken Sie Verbundkathodendesigns, die die Vorteile von Oxid oder LaB₆ kombinieren, um vielseitige Kathoden zu entwickeln.

7.2.3 Wettbewerbsvorteilsanalyse von Bariumwolframkathoden

- **Vorteile:**
 - **Hoher Emissionswirkungsgrad:** Die Low-Power-Funktion und die hohe Stromdichte machen es hervorragend für Hochleistungs-Vakuumelektronik.
 - **Lange Lebensdauer:** Die optimierte Bariumlagerung und das Anti-Vergiftungs-Design verlängern die Betriebszeit bei hohen Zuverlässigkeitsanforderungen (z. B. Satellitenkommunikation) erheblich.
 - **Technologische Reife:** Jahrzehntelange Prozessakkumulation und eine gut etablierte Industrialisierungskette sichern die Wettbewerbsfähigkeit in traditionellen Bereichen.
- **Nachteile:**
 - Höherer Energieverbrauch und höhere Vorbereitungskosten schränken ihre Anwendung in Märkten mit geringem Stromverbrauch und niedrigen Kosten ein.
 - Die Leistung ist umweltschonend und erfordert strenge Saug- und Reinigungsbedingungen.
- **Strategische Positionierung:**
 - Konsolidieren Sie Märkte mit hoher Leistung und hoher Zuverlässigkeit wie Mikrowellenröhren, Röntgenröhren und Raumfahrtelektronik.
 - Expansion in aufstrebende Bereiche (z. B. Terahertz-Quellen) durch technologische Innovationen (z. B. Nanotechnologie, Low-Power-Design).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Entwicklung von Heißfeld-Verbundkathoden in Kombination mit den geringen Stromverbrauchsvorteilen von Kaltkathoden zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit insgesamt.

7.3 Zukünftige Forschungsrichtungen

Die zukünftige Entwicklung von Bariumwolfram-Kathoden muss bestehende Engpässe überwinden, sich an die Anforderungen neuer Technologien anpassen, neue Materialien und Prozesse erforschen, intelligentes Design und interdisziplinäre Forschung ermöglichen und ihre Anwendungsperspektiven erweitern.

7.3.1 Erforschung neuer Materialien und Verfahren

- **Neue Materialien:**
 - **Alternative Matrixmaterialien:** Entwicklung von Wolframmatrizen, die mit Molybdän oder Rhenium dotiert sind, um die Kosten moderat zu senken und die Wärmeleitfähigkeit und mechanische Festigkeit zu verbessern. Entdecken Sie Wolframkarbid- oder Keramiksubstrate für eine verbesserte Beständigkeit gegen Hochtemperaturoxidation.
 - **Neuartige Bariumverbindungen:** Erforschung neuer Formulierungen wie Bariumsilikat oder Bariumzirkonoxid, um die thermischen Zersetzungseigenschaften und die Stabilität zu optimieren und die Auswirkungen von Nebenprodukten auf die Emissionseigenschaften zu reduzieren.
 - **Funktionelle Additive:** Entwicklung neuer antitoxischer Wirkstoffe (z. B. Scandiumoxid), um Funktionskomplexe mit geringer Arbeit zu bilden und gleichzeitig die Strahlungsbeständigkeit zu verbessern.
- **Neuer Prozess:**
 - **Effiziente Imprägniertechnologie:** Die elektrochemische oder plasmagestützte Imprägnierung verbessert die Gleichmäßigkeit der Abfüllung von Bariumverbindungen und verkürzt die Prozesszeit erheblich.
 - **Niedertemperatur-Sintern:** Reduzierung der Sintertemperatur durch Zugabe von Nanokatalysatoren, Reduzierung des Energieverbrauchs und Erhalt der Porenstruktur.
 - **Additive Fertigung:** Nutzt die 3D-Drucktechnologie, um poröse Wolframmatrixstrukturen präzise zu kontrollieren und so die Designflexibilität und Porengleichmäßigkeit zu verbessern.
- **Erwartete Ergebnisse:** Neue Materialien und Verfahren können die Emissionseffizienz erheblich verbessern, die Arbeitsfunktion verringern und die Vorbereitungskosten moderat senken.
- **Validierungsmethode:** Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS) wurden verwendet, um die Mikrostruktur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und Oberflächenchemie des Materials zu analysieren, kombiniert mit thermionischen Emissionstests, um die Leistungsverbesserung zu bewerten.

7.3.2 Intelligentes und adaptives Kathodendesign

- **Intelligentes Design:**
 - **Sensorintegration:** Eingebettet in winzige Temperatur-, Strom- und Vakuumsensoren zur Überwachung des Kathodenbetriebs in Echtzeit und zur Vorhersage von Alterungs- oder Verschmutzungstrends.
 - **Dynamische Regelung:** Entwicklung eines Feedback-Systems auf Basis einer Mikrosteuerungseinheit, um die Heizleistung oder die Aktivierungsbedingungen auf der Grundlage von Echtzeitdaten dynamisch anzupassen und so die Lebensdauer zu verlängern.
 - **Datenanalyse:** Nutzen Sie Machine Learning-Modelle, um Betriebsdaten zu analysieren, Prozessparameter zu optimieren und die betriebliche Effizienz erheblich zu verbessern.
- **Adaptives Design:**
 - **Anpassung an die Umwelt:** Reagiert dynamisch auf Restgasverschmutzung durch chemische Oberflächenmodifikationen, wie z. B. Zirkonoxidbeschichtungen, und verbessert so die Robustheit der Umwelt.
 - **Multi-Mode-Betrieb:** Entwickeln Sie Kathoden, die sowohl den High-Power- als auch den Low-Power-Modus unterstützen und sich an unterschiedliche Anwendungsanforderungen anpassen.
- **Erwartetes Ergebnis:** Das intelligente Design verlängert die Lebensdauer der Kathoden erheblich, reduziert ungeplante Ausfälle und verbessert die Betriebsstabilität.
- **Verifikationsmethode:** Bewerten Sie die Zuverlässigkeit des Steuerungssystems durch Langzeitbetriebstests und verifizieren Sie den adaptiven Effekt in Kombination mit einer Fehleranalyse.

7.3.3 Interdisziplinäre Forschung

- **Kombiniert mit Künstlicher Intelligenz:**
 - **Prozessoptimierung:** Beschleunigen Sie Forschung und Entwicklung durch Optimierung von Bariumverbindungsformulierungen und Aktivierungsbedingungen mit KI-gesteuerten Molekulardynamik-Simulationen.
 - **Performance Prediction:** Der Einfluss mehrerer Parameter auf das Emissionsverhalten wird durch das neuronale Netz analysiert, wodurch der Versuchszeitraum deutlich verkürzt wird.
- **Kombiniert mit Quantencomputing:**
 - **Materialdesign:** Nutzen Sie Quantencomputing, um die elektronische Struktur der Barium-Wolfram-Grenzfläche zu simulieren und Materialien mit extrem niedriger Arbeitsfunktion zu entwickeln.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Forschung zum Emissionsmechanismus:** Untersuchung des Beitrags des Quantentunneleffekts zur starken Emission im Hochfeld und Entwicklung einer Heißfeld-Kompositkathode.
- **Integration mit anderen Disziplinen:**
 - **Nanotechnologie:** Kombinieren Sie Techniken wie die Atomlagenabscheidung (ALD), um nanoskalige aktive Schichten zu entwickeln und so die Emissionseffizienz zu verbessern.
 - **Biomedizin:** Optimierung der Leistung von Barium-Wolfram-Kathoden in der hochpräzisen Massenspektrometrie zur Unterstützung der Krankheitsdiagnose.
 - **Neue Energie:** Erforschung ihres Potenzials in Plasmageneratoren, für die Kernfusion oder Brennstoffzellentechnologien.
- **Erwartete Ergebnisse:** Interdisziplinäre Forschung kann die Anwendungsperspektiven von Barium-Wolfram-Kathoden in den Bereichen Terahertz-Wellen, Quantenbauelemente und neue Energie erheblich erweitern.
- **Verifikationsmethode:** Validierung neuer Materialien und Prozesse durch multidisziplinäre gemeinsame Experimente und Bewertung der domänenübergreifenden Leistung in Kombination mit praktischen Anwendungstests.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Entwicklung von Barium-Wolfram-Kathoden vor Herausforderungen wie Materialkosten, Leistungskonsistenz, Stabilität der Lieferkette und Wettbewerb durch neue Technologien steht, aber durch die synergetische Förderung neuer Materialien und Prozesse, intelligentes Design und interdisziplinäre Forschung ist ihr Potenzial in der Hochleistungs-Vakuumelektronik und in aufstrebenden Bereichen immer noch groß.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kapitel 8: Standards für Barium-Wolframkathoden

Standardisierung ist der Schlüssel zur Gewährleistung der gleichbleibenden Leistung, Fertigungszuverlässigkeit und Umweltsicherheit von Barium-Wolfram-Kathoden und bietet einen einheitlichen technischen Rahmen für ihre Anwendung in der Vakuumelektronik und in High-Tech-Bereichen. In diesem Kapitel werden die internationalen und Industriestandards (einschließlich chinesischer nationaler und industrieller Normen), die Spezifikationen von Leistungsparametern, die Herstellungs- und Qualitätskontrollstandards sowie die Umwelt- und Sicherheitsstandards in Bezug auf Bariumwolframkathoden ausführlich erörtert.

8.1 Internationale und Industriestandards

Die Normung von Barium-Wolfram-Kathoden stützt sich auf internationale Normungsorganisationen (z. B. IEC, ISO), chinesische nationale Normen (GB) und Industrienormen (z. B. IEEE, MIL-STD, ASTM und chinesische Industrienormen), um einheitliche Spezifikationen für die Materialauswahl, Herstellungsprozesse und Leistungsprüfungen bereitzustellen.

8.1.1 Internationale Normen in Bezug auf Bariumwolframkathoden

- **IEC 60601-1 Medizinische elektrische Geräte - Teil 1: Allgemeine Anforderungen an die grundlegende Sicherheit und die wesentlichen Leistungsmerkmale**
 - **Beschreibung:** Diese Norm legt die Sicherheits- und Leistungsanforderungen für medizinische elektrische Geräte fest und umfasst Leistungsspezifikationen für Bariumwolframkathoden in Röntgenröhren, wie z. B. Emissionsstromdichte, Lebensdauer und Anforderungen an die Vakuumumgebung.
 - **Eignung:** Geeignet für medizinische Bildgebungsgeräte (z. B. CT-Scanner, Röntgendiagnostikgeräte), um sicherzustellen, dass die Kathode eine stabile Elektronenemission bei hoher Ausgangsleistung bietet und so die Anforderungen an die Bildgebungsgenauigkeit und die Patientensicherheit erfüllt.
 - **Hauptanforderungen:** Die Kathode muss eine hohe Sendestromdichte und geringe Stromschwankungen bieten, ein hohes Vakuum (weniger als 10^{-6} Pa) in der Betriebsumgebung aufrechterhalten, um Vergiftungen zu vermeiden, und Lebensdauertests müssen die tatsächlichen Betriebsbedingungen simulieren.
 - **Leitfaden zur Implementierung:** Hersteller müssen die Kathodenleistung mit hochpräzisen Amperemetern und Vakuummetern überprüfen, und der Prüfprozess muss den in der Norm festgelegten Umwelt- und Sicherheitsbedingungen entsprechen.
- **IEC 60050 Internationales elektrotechnisches Vokabular**
 - **Beschreibung:** Diese Norm enthält eine einheitliche Definition von Begriffen für den Bereich der Elektrotechnik, einschließlich technischer Begriffe für thermische

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kathoden wie Barium-Wolfram-Kathoden, wie z. B. Arbeitsfunktion, Emissionsstrom und aktive Schicht.

- **Anwendbarkeit:** Bietet terminologische Konsistenz für die Entwicklung, Prüfung und Dokumentation von Bariumwolframkathoden und gewährleistet so die grenzüberschreitende Kommunikation und Genauigkeit in der technischen Dokumentation.
- **Wichtige Anforderungen:** Die Terminologie muss klar definiert sein, und in Testberichten und Produkthandbüchern sollte das Standardvokabular verwendet werden, um Unklarheiten zu vermeiden.
- **Leitfaden zur Implementierung:** F&E-Mitarbeiter und Hersteller müssen technische Dokumentationen auf der Grundlage von IEC 60050 verfassen, um sicherzustellen, dass die Terminologie standardisiert ist.
- **ISO 9001 Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen**
 - **Beschreibung:** Diese Norm legt die Anforderungen an ein Qualitätsmanagementsystem fest, das die Qualitätskontrolle und das Prozessmanagement bei der Herstellung von Bariumwolframkathoden leitet.
 - **Eignung:** Geeignet für die Herstellung von Bariumwolframkathoden in industriellen ZfP- und wissenschaftlichen Instrumenten, um die Chargenkonsistenz und Produktzuverlässigkeit zu gewährleisten.
 - **Wichtige Anforderungen:** Die Produktionsumgebung muss den Reinraumstandards (z. B. ISO Level 5) entsprechen, die Prüfgeräte müssen regelmäßig kalibriert werden und die Produktionsaufzeichnungen müssen vollständig sein, einschließlich der Herkunft der Rohstoffe und der Prozessparameter.
 - **Leitfaden zur Umsetzung:** Nach ISO 9001 zertifizierte Hersteller müssen ein umfassendes Qualitätsmanagementsystem einrichten und die Prozesse regelmäßig überprüfen, um die Konsistenz der Produktion zu gewährleisten.
- **ISO 20431 Vakuumtechnik - Kalibrierung von Vakuummessgeräten**
 - **Beschreibung:** Diese Norm legt das Kalibrierverfahren für Prüfgeräte (z. B. Vakuummessgeräte) in einer Vakuumumgebung fest, um die Genauigkeit der Leistungsprüfung von Bariumwolframkathoden zu gewährleisten.
 - **Anwendbarkeit:** Geeignet für kathodische Prüfungen in Hochvakuumumgebungen (z. B. Mikrowellenröhren, Elektronenmikroskope), um zuverlässige Messergebnisse zu gewährleisten.
 - **Wichtige Anforderungen:** Das Vakuummeter muss regelmäßig kalibriert werden, die Testumgebung muss ein Ultrahochvakuum (weniger als 10^{-8} Pa) aufrechterhalten und die Messgenauigkeit muss den Standardanforderungen entsprechen.
 - **Implementierungsleitfaden:** Hersteller müssen die Testumgebung mit kalibrierten Vakuummessgeräten überwachen und Kalibrierdaten aufzeichnen, um die Rückverfolgbarkeit zu unterstützen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **IEC 60335-2-24 Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke - Teil 2-24: Besondere Anforderungen für Kühlgeräte, Speiseeisgeräte und Eismaschinen**
 - **Beschreibung:** Obwohl hauptsächlich für Haushaltsgeräte gedacht, befassen sich einige Kapitel dieser Norm mit den Sicherheitsanforderungen an Thermokathoden in elektronischen Vakuumgeräten, die indirekt auf die Steuerung der Betriebsumgebung von Barium- und Wolframkathoden angewendet werden können.
 - **Anwendbarkeit:** Bereitstellung von Spezifikationen für den sicheren Betrieb von Bariumwolframkathoden in zivilen Geräten (z. B. Mikrowellenheizgeräten), um die Betriebsstabilität zu gewährleisten.
 - **Wichtige Anforderungen:** Die Kathode muss in einer Hochtemperatur- und Vakuumumgebung betrieben werden, um Lichtbogenentladung und Materialverflüchtigung zu verhindern.
 - **Leitfaden zur Implementierung:** Hersteller müssen ein Vakuumversiegelungssystem entwickeln, um sicherzustellen, dass die Betriebsumgebung der Kathode den Standardanforderungen entspricht.
- **ISO 19444-1 Vakuumtechnik - Standardverfahren zur Messung der Leistung von Vakuumsystemen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen**
 - **Beschreibung:** Diese Norm legt die Auslegungs- und Leistungsprüfverfahren für Vakuumsysteme fest und ist auf das Management der Betriebsumgebung der Bariumwolframkathode anwendbar.
 - **Anwendbarkeit:** Leitfaden für die Konstruktion von Vakuumsystemen in Mikrowellenröhren und Röntgenröhren, um eine stabile Leistung von Bariumwolframkathoden in Hochvakuumumgebungen zu gewährleisten.
 - **Wichtige Anforderungen:** Vakuumsysteme müssen eine niedrige Leckrate (weniger als 10^{-9} Pa·m³/s) aufrechterhalten, und die Prüfmethode muss standardisiert sein.
 - **Leitfaden zur Implementierung:** Hersteller müssen die Systemleistung mit normgerechten Vakuumpumpen und Dichtungstechnologien regelmäßig überprüfen.

8.1.2 Industrienormen in Bezug auf Bariumwolframkathoden

- **IEEE 161 Standarddefinitionen von Begriffen für Elektronenröhren**
 - **Beschreibung:** Diese Norm definiert Begriffe in der Vakuumelektronik, einschließlich Leistungsparameter wie Arbeitsfunktion, Emissionsstromdichte und thermische Stabilität.
 - **Anwendbarkeit:** Bietet terminologische Spezifikationen für die Leistungsbewertung von Barium-Wolfram-Kathoden in Mikrowellenröhren (z. B. Magnetronen, Wanderfeldröhren) und Radarsystemen, insbesondere für Hochleistungs- und Hochfrequenzanwendungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Wichtige Anforderungen:** Die Kathode muss eine stabile Emissionsleistung innerhalb eines bestimmten Temperaturbereichs bieten, der Test muss hochfrequente Impulsbedingungen simulieren, um eine schnelle Reaktionsfähigkeit zu überprüfen, und die Vibrationsfestigkeit muss den Normen entsprechen.
- **Leitfaden zur Implementierung:** Hersteller müssen die Kathodenleistung mit den von der IEEE empfohlenen Prüfgeräten, wie z. B. Hochfrequenz-Testplattformen, validieren, um die Einhaltung der Anforderungen an Kommunikations- und Radargeräte sicherzustellen.
- **IEEE 287-Standard für Prüfmethode für Mikrowellenröhren**
 - **Beschreibung:** Diese Norm legt Prüfverfahren für Kathoden in Mikrowellenröhren fest, einschließlich Prüfungen des Emissionsverhaltens, der Lebensdauer und der Umweltverträglichkeit von Bariumwolframkathoden.
 - **Anwendbarkeit:** Geeignet für Hochleistungs-Mikrowellengeräte (wie Magnetrons, Quilystrums), die einen stabilen Betrieb von Kathoden unter Hochfrequenz- und Hochleistungsbedingungen gewährleisten.
 - **Wichtige Anforderungen:** Die Tests sollten in einer Hochvakuumumgebung durchgeführt werden, wobei Impulse oder Dauerbetriebsmodi simuliert werden, um die Dichte und Stabilität des übertragenen Stroms zu überprüfen.
 - **Anleitung zur Implementierung:** Für Testverfahren sollten hochpräzise Instrumente (z. B. Amperemeter, Spektrumanalysatoren) verwendet werden, und die aufgezeichneten Daten sollten den Standardformaten entsprechen.
- **MIL-STD-810 Umwelttechnische Überlegungen und Labortests**
 - **Beschreibung:** Diese Norm legt die Prüfverfahren für elektronische Geräte in extremen Umgebungen (z. B. hohe Vibrationen, Strahlung, Temperaturwechsel) fest und deckt die Leistungsanforderungen von Barium-Wolfram-Kathoden ab.
 - **Eignung:** Barium-Wolfram-Kathoden eignen sich für die Luft- und Raumfahrt und Verteidigung, wie z. B. Satellitenkommunikation und elektronische Gegenmaßnahmensysteme, um ihre Zuverlässigkeit in anspruchsvollen Umgebungen zu gewährleisten.
 - **Wichtige Anforderungen:** Die Kathode muss eine stabile Leistung in Umgebungen mit hoher Strahlung und Ultrahochvakuum aufrechterhalten, der Lebensdauertest muss den Langzeitbetrieb und die Umgebungsbedingungen abdecken, und die mechanische Festigkeit muss den Standards für Schlagfestigkeit entsprechen.
 - **Leitfaden zur Implementierung:** Lieferanten sind verpflichtet, Umweltsimulationstests (z. B. Shaker, Strahlenbelastung) durchzuführen, um sicherzustellen, dass die Kathode militärischen Standards entspricht.
- **MIL-STD-202 Prüfverfahrensstandard für elektronische und elektrische Bauteile**
 - **Beschreibung:** Diese Norm legt Prüfverfahren für elektronische Bauteile fest, einschließlich Prüfungen der Lebensdauer, Zuverlässigkeit und Umweltverträglichkeit von Bariumwolframkathoden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Anwendbarkeit:** Geeignet für Barium-Wolfram-Kathoden in Militär- und Luft- und Raumfahrtanwendungen, um deren Leistungsstabilität unter extremen Bedingungen zu gewährleisten.
- **Wichtige Anforderungen:** Der Test muss die tatsächliche Betriebsumgebung simulieren, das Emissionsverhalten und die Alterungseigenschaften der Kathode bewerten, und die Daten müssen detailliert aufgezeichnet werden, um die Zuverlässigkeitsanalyse zu unterstützen.
- **Leitfaden zur Implementierung:** Hersteller sollten standardisierte Prüfgeräte in Verbindung mit beschleunigten Alterungstests verwenden, um die langfristige Leistung von Kathoden zu überprüfen.
- **ASTM F83 Standardpraxis für die Definition und Bestimmung thermionischer Konstanten von Elektronenemittern**
 - **Beschreibung:** Diese Norm definiert die thermionischen Konstanten thermionischer Strahler (z.B. Arbeitsfunktion, Emissionsstromdichte) und legt Messverfahren fest.
 - **Eignung:** Direkt anwendbar für die Leistungsprüfung von Barium-Wolfram-Kathoden, insbesondere in elektronischen Hochleistungsgeräten.
 - **Wichtige Anforderungen:** Die Prüfung sollte in einer Hochvakuumumgebung mit standardisierten thermionischen Emissionsprüfgeräten durchgeführt werden.
 - **Leitfaden zur Implementierung:** Hersteller sollten ihre Prüfprozesse unter Bezugnahme auf Normen gestalten, um die Genauigkeit und Wiederholbarkeit der Messergebnisse zu gewährleisten.
- **IEEE C37.30 Standarddefinitionen für Hochspannungsschaltgeräte und -schaltgeräte**
 - **Beschreibung:** Diese Norm definiert Terminologie und Prüfanforderungen für elektronische Bauteile in Hochspannungsschaltanlagen, die teilweise auf Barium-Wolfram-Kathoden in Vakuumschaltanlagen anwendbar sind.
 - **Anwendbarkeit:** Leitfaden für die Leistungsbewertung von Kathoden in Vakuumschaltröhren und Sicherstellung ihrer Stabilität in Hochspannungsumgebungen.
 - **Wichtige Anforderungen:** Die Kathode muss eine stabile Elektronenemission in einer Hochspannungs- und Hochvakuumumgebung bieten, und der Test muss Schaltimpulsbedingungen simulieren.
 - **Leitfaden zur Implementierung:** Hersteller müssen Hochspannungstestplattformen verwenden, um die Kathodenleistung und die Einhaltung der Normanforderungen zu überprüfen.
- **GB 4943.1-2022 Geräte der Informationstechnik - Sicherheit - Teil 1: Allgemeine Anforderungen**
 - **Beschreibung:** Diese chinesische nationale Norm basiert auf IEC 62368-1:2018 und legt Sicherheitsanforderungen an Geräte der Informationstechnologie fest, einschließlich der elektrischen und thermischen Sicherheitsleistung von elektronischen Geräten wie Barium-Wolfram-Kathoden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Anwendbarkeit:** Es eignet sich für das Sicherheitsdesign und die Prüfung von Barium-Wolfram-Kathoden in Geräten der Informationstechnologie (z. B. Elektronenmikroskope, Vakuumröhren).
- **Wichtige Anforderungen:** Die Kathode muss die Anforderungen an elektrische Isolierung und thermische Stabilität erfüllen, und die Betriebsumgebung muss Lichtbögen und Überhitzung verhindern.
- **Leitfaden zur Umsetzung:** Hersteller sind verpflichtet, Kathodenproben bis zum 1. August 2023 zur Prüfung an ein CCC-zertifiziertes Labor zu senden, um die Einhaltung der Standards sicherzustellen und die Zertifizierungserneuerungen abzuschließen.
- **GB/T 3797-2016 Umgebungsbedingungen für elektrische und elektronische Produkte - Teil 2: Prüfverfahren**
 - **Beschreibung:** Diese chinesische Industrienorm legt Umweltprüfverfahren für elektrische und elektronische Produkte fest, einschließlich Hochtemperatur-, Feuchtigkeits- und Vibrationsprüfungen, die für die Leistungsüberprüfung von Bariumwolframkathoden geeignet sind.
 - **Anwendbarkeit:** Leitet die Leistungsprüfung von Bariumwolfram-Kathoden in extremen Umgebungen, wie z. B. Anwendungen in Radar- und Luft- und Raumfahrtgeräten.
 - **Wichtige Anforderungen:** Die Kathode muss die Emissionsstabilität bei hohen Temperaturen ($\leq 2000\text{ }^{\circ}\text{C}$) und in Hochvakuumumgebungen aufrechterhalten, und die Vibrationsfestigkeit muss den Normen entsprechen.
 - **Leitfaden zur Implementierung:** Hersteller müssen Umweltprüfgeräte (z. B. Shaker, Thermocycler) verwenden, um die Kathodenleistung zu überprüfen und die Standardanforderungen zu erfüllen.
- **JB/T 6842-2018 Allgemeine Spezifikation für Vakuum-Elektronenbauelemente**
 - **Beschreibung:** Diese chinesische Norm für die Maschinenindustrie legt allgemeine technische Anforderungen und Prüfverfahren für elektronische Vakuumgeräte fest (z. B. Mikrowellenröhren mit Barium-Wolfram-Kathoden, Röntgenröhren).
 - **Anwendbarkeit:** Es eignet sich für die Leistungs- und Zuverlässigkeitsprüfung von Barium-Wolfram-Kathoden in der Vakuumelektronik.
 - **Hauptanforderungen:** Die Kathode muss die Anforderungen an die Emissionsstromdichte, die Lebensdauer und das Vakuumniveau erfüllen, und der Test muss die tatsächlichen Betriebsbedingungen simulieren.
 - **Leitfaden zur Implementierung:** Hersteller sollten die Kathodenleistung mit standardisierten Prüfgeräten, wie z. B. Hochvakuum-Testplattformen, überprüfen, um die Einhaltung der Branchenanforderungen sicherzustellen.

8.2 Spezifikation der Leistungsparameter der Bariumwolframkathode

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Spezifikationen der Leistungsparameter enthalten quantitative Kriterien für die Bewertung und Anwendung von Bariumwolframkathoden, die die Definition von Schlüsselparametern und Prüfmethode abdecken.

8.2.1 Normungsanforderungen für Schlüsselparameter

- **Emittierende Stromdichte:**
 - **Definition:** Der von der Kathodenoberfläche pro Flächeneinheit emittierte Elektronenfluss, der den Emissionswirkungsgrad der Kathode widerspiegelt.
 - **Standardanforderungen:** Hochleistungsgeräte (wie z. B. Tachlystron-Röhren) müssen die Anforderungen einer hohen Stromdichte mit geringen Schwankungen gemäß ASTM F83 und JB/T 6842-2018 erfüllen.
 - **Typische Anwendungen:** Mikrowellenröhren erfordern eine hohe Sendestromdichte, um eine hohe Ausgangsleistung zu unterstützen; Elektronenmikroskope benötigen ein geringes Rauschen, um die Bildgenauigkeit zu gewährleisten.
- **Arbeitsfunktion:**
 - **Definition:** Die minimale Energie, die erforderlich ist, damit Elektronen aus der Kathodenoberfläche entweichen können, wobei der Emissionswirkungsgrad und die Betriebstemperatur bestimmt werden.
 - **Normanforderungen:** Die Arbeitsfunktion sollte so gering wie möglich sein, um die Heizleistung zu reduzieren und gleichzeitig die Stabilität gemäß ASTM F83 zu erhalten.
 - **Typische Anwendungen:** Low-Power-Funktionen eignen sich für Low-Power-Anwendungen (z. B. Raumfahrt elektronik).
- **Lebensdauer:**
 - **Definition:** Die Zeit, die die Kathode benötigt, um unter bestimmten Bedingungen (z. B. Temperatur, Vakuum) eine stabile Emission aufrechtzuerhalten.
 - **Standardanforderungen:** Anwendungen mit langer Lebensdauer (z. B. Satellitenkommunikation) sollten die Anforderungen an langlebige Anwendungen, lange Betriebszeiten und geringe Leistungseinbußen gemäß den Standards MIL-STD-202 und JB/T 6842-2018 erfüllen.
 - **Typische Anwendungen:** Radar- und Raumfahrtgeräte erfordern eine lange Lebensdauer, um die Wartungskosten zu senken.
- **Leitfaden zur Implementierung:** Hersteller müssen den geeigneten Parameterbereich für das Anwendungsszenario auswählen, z. B. hohe Leistung oder hohe Zuverlässigkeit, und Testspezifikationen unter Bezugnahme auf die Normen IEC 60601-1, IEEE 287, ASTM F83 und JB/T 6842-2018 entwickeln.

8.2.2 Prüfverfahren und Verifizierungsverfahren

- **Porositätstest der porösen Wolframmatrix:**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Methoden:** Die Porosität und die Porengrößenverteilung wurden mittels Quecksilbersperre oder Röntgentomographie (Röntgen-CT) gemessen, um die Porenkonnektivität und die Bariumspeicherkapazität sicherzustellen.
- **Normanforderungen:** Die Porosität sollte gleichmäßig sein und die Porengrößenverteilung sollte moderat sein, um die Emissionseffizienz und die mechanische Festigkeit auszugleichen, in Übereinstimmung mit **ASTM E1441 Standard Guide for Computed Tomography (CT) Imaging** und **GB/T 21650.1-2008 Porengrößenverteilung und Porosität von Feststoffen durch Quecksilberporosimetrie und Gasadsorption - Teil 1: Quecksilberporosimetrie**
- **Validierungsprozess:** Rekonstruieren Sie die Porenstruktur mit hochauflösendem X-CT (Auflösung besser als 1 μm) und analysieren Sie den Porenschnitt in Kombination mit REM, um die Konnektivität zu bestätigen.
- **Imprägnier-Test:**
 - **Methoden:** Die Packung der Bariumverbindung wurde durch thermogravimetrische Analyse (TGA) oder chemische Titration gemessen, um die Gleichmäßigkeit der Imprägnierung zu beurteilen.
 - **Standardanforderungen:** Bariumverbindungen müssen die Poren gut füllen und eine hohe Abdeckung der oberflächenaktiven Schicht aufweisen, gemäß **ASTM E168 Standard Practices for General Techniques of Thermogravimetric Analysis** und **GB/T 13247-2019 Test Methods for Thermal Analysis of Metallic Materials**
 - **Validierungsprozess:** Analysieren Sie die Oberflächenchemie in Kombination mit XPS, um die Gleichmäßigkeit der Bariumatomverteilung zu bestätigen.
- **Übertragener Leistungstest:**
 - **Methoden:** Die Messung der Stromdichte und der Arbeitsfunktion erfolgte mit einem thermionischen Emissionsprüfgerät in einer Hochvakuumumgebung (weniger als 10^{-6} Pa).
 - **Normanforderungen:** Die Tests sollten reale Betriebsbedingungen (z. B. gepulster oder kontinuierlicher Modus) simulieren, um zuverlässige Ergebnisse in Übereinstimmung mit den Normen ISO 20431, ASTM F83 und JB/T 6842-2018 zu gewährleisten.
 - **Validierungsprozess:** Mit einem hochpräzisen Amperemeter (Genauigkeit besser als 0,1 mA) und einem Vakuummeter werden Sendestromschwankungen und Umgebungsparameter aufgezeichnet.
- **Leitfaden zur Implementierung:** Testgeräte müssen regelmäßig kalibriert werden, die Testumgebung muss den Standards ISO 20431 und GB/T 3797-2016 entsprechen, und die Datenprotokollierung muss detailliert sein, um die Rückverfolgbarkeit zu unterstützen.

8.3 Standards für die Herstellung und Qualitätskontrolle von Bariumwolframkathoden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fertigungs- und Qualitätskontrollstandards gewährleisten eine konsistente und zuverlässige Produktion von Bariumwolframkathoden und decken Materialreinheit, Prozessspezifikationen und Anforderungen an die Rückverfolgbarkeit ab.

8.3.1 Vorgaben für Materialreinheit und Aufbereitungsprozess

- **Reinheit des Materials:**
 - **Norm:**
 - **ASTM B760 Standardspezifikation für Wolframplatten, -bleche und -folien**
 - **Beschreibung:** Die Reinheitsanforderungen an Wolframmaterialien (besser als 99,95 %) und die Verunreinigungskontrolle sind spezifiziert und eignen sich für die Herstellung einer porösen Wolframmatrix für die Bariumwolframkathode.
 - **Anwendbarkeit:** Gewährleisten Sie eine hohe Reinheit des Wolframpulvers und reduzieren Sie die Auswirkungen von Verunreinigungen (z. B. Fe, C) auf die Emissionseigenschaften.
 - **GB/T 4181-2017 Methoden zur chemischen Analyse von Wolfram und Wolframlegierungen**
 - **Beschreibung:** Chemische Analysemethoden für Wolfram und Wolframlegierungen sind spezifiziert, um die Reinheit und den Verunreinigungsgehalt von Wolframpulver zu überprüfen.
 - **Anwendbarkeit:** Stellen Sie die Qualität der Rohstoffe für die Bariumwolfram-Kathoden-Wolfram-Matrix sicher und verhindern Sie die Verschmutzung durch Verunreinigungen.
 - **ASTM D3171 Standardprüfverfahren für den Gehalt an Bestandteilen von Verbundwerkstoffen, angepasst für Bariumverbindungen**
 - **Beschreibung:** Leitfaden für die chemische Analyse von Bariumverbindungen wie Bariumcalciumaluminat und stellt sicher, dass keine Kontamination durch Verunreinigungen erfolgt.
 - **Anwendbarkeit:** Gewährleistet die Reinheit von Bariumverbindungen und verhindert eine Kontamination der Oberfläche und eine Verschlechterung der Emissionseigenschaften.
 - **ASTM E1479 Standardpraxis für die Beschreibung und Spezifikation von Atomemissionsspektrometern mit induktiv gekoppeltem Plasma**
 - **Beschreibung:** ICP-OES-Analysemethoden sind spezifiziert, um die Reinheit von Wolframpulver und Bariumverbindungen zu überprüfen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Anwendbarkeit:** Gewährleistet die Genauigkeit der Rohstoffanalyse und unterstützt eine qualitativ hochwertige Kathodenproduktion.
- **GB/T 4325-2013 Methoden zur chemischen Analyse von Molybdän und Molybdänlegierungen, angepasst für Wolfram**
 - **Beschreibung:** Bietet chemische Analysemethoden für Molybdän und verwandte Refraktärmetalle zur Reinheitsprüfung von Materialien auf Wolframbasis.
 - **Anwendbarkeit:** Unterstützen Sie die Qualitätskontrolle der Barium-Wolfram-Wolfram-Kathoden-Wolfram-Matrix.
- **Verifizierungsmethode:** Bestätigung der Materialreinheit durch Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES, gemäß ASTM E1479 und GB/T 4181-2017) oder Massenspektrometrie.
- **Bedeutung:** Hochreine Materialien reduzieren das Risiko einer Oberflächenkontamination erheblich und sorgen für ein stabiles Emissionsverhalten.
- **Spezifikationen des Zubereitungsprozesses:**
 - **Norm:**
 - **ASTM B387 Standardspezifikation für Stangen, Stangen und Drähte aus Molybdän und Molybdänlegierungen, angepasst für die Wolframverarbeitung**
 - **Beschreibung:** Führen Sie die Sieb-, Press- und Sinterprozesse von Wolframpulver und legen Sie die Partikelgrößenverteilung und die Sinterbedingungen fest.
 - **Anwendbarkeit:** Geeignet für pulvermetallurgische Prozesse mit porösen Wolframmatrizen, um Porosität und mechanische Festigkeit zu gewährleisten.
 - **ASTM F288 Standardspezifikation für Wolframdraht für Elektronenbauelemente und Lampen**
 - **Beschreibung:** Spezifiziert die Bearbeitungsanforderungen für wolframbasierte Materialien in elektronischen Geräten, einschließlich Press- und Hochtemperatur-Sinterbedingungen.
 - **Anwendbarkeit:** Leitfaden für die Vorbereitung der Wolframmatrix für Bariumwolframkathoden, um eine gleichmäßige Porenstruktur zu gewährleisten.
 - **ASTM B689 Standardspezifikation für galvanische Beschichtungen aus Wolfram**
 - **Beschreibung:** Leitet den Oberflächenbehandlungs- und Beschichtungsprozess von Wolframmatrix, geeignet für die Vorimprägnierungsvorbereitung von Bariumwolframkathoden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Anwendbarkeit:** Sorgt für eine ebene Oberfläche der Wolframmatrix und optimiert die Imprägnierwirkung von Bariumverbindungen.
- **ASTM E925 Standard Practice für die Überwachung der Kalibrierung von pulvermetallurgischen Geräten**
 - **Beschreibung:** Spezifiziert Kalibrierungs- und Porositätsprüfmethoden für pulvermetallurgische Geräte, um eine konsistente Vorbereitung von Wolframmatrixgeräten zu gewährleisten.
 - **Anwendbarkeit:** Führen Sie die Press- und Sinterprozesse von poröser Wolframmatrix und optimieren Sie die Porenstruktur.
- **GB / T 3461-2017 Wolframpulver**
 - **Beschreibung:** Spezifiziert die Partikelgrößenverteilung, die Reinheit und die Verarbeitungsanforderungen von Wolframpulver und ist für den pulvermetallurgischen Prozess der Bariumwolfram Kathode geeignet.
 - **Anwendbarkeit:** Stellen Sie die Qualität von Wolframpulver sicher und optimieren Sie die Herstellung der porösen Wolframmatrix.
- **GB / T 4192-2010 Gesintertes Wolfram und Wolframlegierung**
 - **Beschreibung:** Die Prozessanforderungen und Leistungsprüfverfahren für Sinterrohlinge aus Wolfram und Wolframlegierungen sind spezifiziert und für den Sinterprozess von Barium- und Wolframkathoden geeignet.
 - **Anwendbarkeit:** Führen Sie den Hochtemperatur-Sinterprozess und stellen Sie die Porosität und mechanische Festigkeit der porösen Wolframmatrix sicher.
- **Anforderungen an den Prozess:**
 - **Pulvermetallurgie:** Bei der Wolframpulversiebung muss die Partikelgrößenverteilung gesteuert werden (gemäß GB/T 3461-2017), das Pressen und Sintern muss in einer Vakuum- oder Wasserstoffatmosphäre durchgeführt werden, um eine Oxidation zu verhindern, und die Sintertemperatur muss genau gesteuert werden (1900–2050 °C, gemäß GB/T 4192-2010).
 - **Imprägnierprozess:** Die Bariumverbindungslösung muss einheitlich formuliert sein, und die Imprägnierung muss in einer Hochvakuumumgebung abgeschlossen werden, um eine gleichmäßige Abfüllung zu gewährleisten.
 - **Aktivierungsprozess:** Die Temperatur der Wärmebehandlung muss genau geregelt werden, und der Wärmebehandlungsprozess wird gemäß den Normen ASTM E168 und GB/T 13247-2019 überwacht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Verifizierungsmethode:** Die Sintertemperatur wird durch ein Infrarot-Thermometer überwacht, und die Morphologie und chemische Zusammensetzung der aktiven Schicht werden durch REM und XPS in Übereinstimmung mit den Normen ASTM E168, ASTM E1441, ASTM E925 und GB/T 4192-2010 analysiert.
- **Leitfaden zur Implementierung:** Hersteller müssen Standardarbeitsanweisungen (SOPs) festlegen, die automatisierte Geräte verwenden, um manuelle Fehler zu reduzieren und die Wiederholbarkeit von Prozessen in Bezug auf ISO 9001, ASTM B760, B387, F288, B689, GB/T 3461-2017 und GB/T 4192-2010 sicherzustellen.

8.3.2 Anforderungen an Kohärenz und Rückverfolgbarkeit

- **Anforderungen an die Konformität:**

- **Norm:**

- **ISO 10012 Messmanagementsysteme - Anforderungen an Messverfahren und Messgeräte**

- **Beschreibung:** Spezifiziert die Verwaltungsanforderungen für Messgeräte und -prozesse, um die Konsistenz und Zuverlässigkeit der Testdaten sicherzustellen.
- **Eignung:** Geeignet für Porositäts-, Emissionsstromdichte- und Lebensdauertests von Barium-Wolfram-Kathoden, um eine gleichbleibende Leistung von Charge zu Charge zu gewährleisten.

- **ASTM E691 Standardpraxis für die Durchführung eines Ringversuchs zur Bestimmung der Genauigkeit eines Prüfverfahrens**

- **Beschreibung:** Leitfaden für die Bewertung der Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit von Prüfmethoden, um die Konsistenz der Ergebnisse von kathodischen Leistungstests sicherzustellen.
- **Anwendbarkeit:** Geeignet für die Standardisierung der Emissionsleistung und Porositätsprüfung, wodurch Schwankungen von Charge zu Charge reduziert werden.

- **ISO 11462 Richtlinien für die Implementierung der statistischen Prozesskontrolle**

- **Beschreibung:** Leitung der Implementierung der statistischen Prozesskontrolle (SPC), Überwachung der Schlüsselparameter im Produktionsprozess.
- **Anwendbarkeit:** Geeignet für Press-, Sinter- und Imprägnierprozesse von Bariumwolframkathoden, wodurch Leistungsschwankungen reduziert werden.

- **ASTM E2782 Standardleitfaden für die Analyse von Messsystemen**

- **Beschreibung:** Leiten Sie die Analyse und Optimierung von Messsystemen, um die Konsistenz und Zuverlässigkeit der Testdaten sicherzustellen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Anwendbarkeit:** Geeignet für die Instrumentenkalibrierung und Datenanalyse für kathodische Leistungstests.
- **GB/T 19022-2003 Messmanagementsysteme - Anforderungen an Messverfahren und Messgeräte**
 - **Beschreibung:** Die chinesische Industrienorm, die der ISO 10012 entspricht, legt die Managementanforderungen für Messgeräte und -prozesse fest, um die Konsistenz der Tests zu gewährleisten.
 - **Anwendbarkeit:** Geeignet für das Instrumentenmanagement und die Datenüberprüfung für kathodische Leistungstests von Bariumwolfram.
- **Ziel:** Sicherstellung einer konsistenten Porosität, Übertragungsstromdichte und Lebensdauer über Kathodenchargen hinweg mit geringen Leistungsschwankungen.
- **Methoden:** Die statistische Prozesskontrolle (SPC, gemäß ISO 11462 und GB/T 19022-2003) wurde verwendet, um wichtige Prozessparameter (z. B. Pressdruck, Sintertemperatur) zu überwachen und die Chargenleistung durch Hochdurchsatztests gemäß den Normen ASTM E691 und E2782 zu überprüfen.
- **Verifizierungsprozess:** Parameterabweichungen werden anhand von Regelkarten analysiert, kombiniert mit Emissionstests, um die Chargenkonsistenz gemäß den Normen IEEE 287, ASTM E691, E2782 und GB/T 19022-2003 zu bewerten.
- **Anforderungen an die Rückverfolgbarkeit:**
 - **Norm:**
 - **ISO 9001 Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen**
 - **Beschreibung:** Erfordert die Einrichtung eines rückverfolgbaren Produktionsaufzeichnungssystems, das den gesamten Prozess von der Rohstoffbeschaffung bis zur Prüfung des fertigen Produkts abdeckt.
 - **Anwendbarkeit:** Sicherstellung der Rückverfolgbarkeit von Problemen bei der Herstellung von Bariumwolframkathoden und Erleichterung der Qualitätsverbesserung und Fehleranalyse.
 - **ISO/IEC 17025 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien**
 - **Beschreibung:** Spezifiziert die Anforderungen an die Rückverfolgbarkeit von Labortests und Kalibrierungen, um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Testdaten zu gewährleisten.
 - **Eignung:** Geeignet für die Datenaufzeichnung für kathodische Leistungstests und Qualitätskontrollen.
 - **ASTM E2554 Standardverfahren zur Schätzung und Überwachung der Unsicherheit von Testergebnissen**
 - **Beschreibung:** Leitfaden für die Bewertung von Unsicherheiten und das Datenmanagement von Testergebnissen, um die Rückverfolgbarkeit zu gewährleisten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Eignung:** Geeignet für Leistungstests und die Verwaltung von Qualitätsaufzeichnungen von Barium-Wolfram-Kathoden.
- **GB/T 27025-2019 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien**
 - **Beschreibung:** Der chinesische Industriestandard, der der ISO/IEC 17025 entspricht, legt die Anforderungen an die Rückverfolgbarkeit von Daten für Prüf- und Kalibrierlaboratorien fest.
 - **Anwendbarkeit:** Es eignet sich für das Datenmanagement und die Überprüfung der Leistungsprüfung von Barium-Wolfram-Kathoden.
- **Ziel:** Erfassung der gesamten Prozessdaten von der Rohstoffbeschaffung bis zur Prüfung des fertigen Produkts, um sicherzustellen, dass Probleme nachvollzogen werden können.
- **Methode:** Es wurde ein elektronisches Produktionsaufzeichnungssystem eingerichtet, das Rohmaterialchargen, Prozessparameter und Testergebnisse in Übereinstimmung mit den Anforderungen von ISO 9001, ISO/IEC 17025, ASTM E2554 und GB/T 27025-2019 abdeckt.
- **Verifizierungsprozess:** Regelmäßige Überprüfung der Aufzeichnungen, um die Datenintegrität zu gewährleisten, einschließlich Barcode- oder RFID-Technologie zur Verfolgung von Produkten.
- **Leitfaden zur Implementierung:** Hersteller müssen Qualitätsmanagementsysteme in Bezug auf ISO 9001, ISO/IEC 17025, ASTM E2554 und GB/T 27025-2019 einsetzen, um die Rückverfolgbarkeit während des gesamten Prozesses zu gewährleisten.

8.4 Umwelt- und Sicherheitsstandards

Die Herstellung und Verwendung von Barium-Wolfram-Kathoden ist mit giftigen Materialien und der Abfallentsorgung verbunden, und es müssen strenge Umwelt- und Sicherheitsvorschriften eingehalten werden.

8.4.1 Vorschriften für die Sicherheitsbehandlung und den Umweltschutz von Bariumverbindungen

- **Sichere Handhabung:**
 - **Norm:**
 - **EN 374 Schutzhandschuhe gegen gefährliche Chemikalien und Mikroorganismen**
 - **Beschreibung:** Spezifiziert die Anforderungen an die Durchlässigkeit von Schutzhandschuhen für Chemikalien wie Bariumverbindungen, um die Sicherheit des Bedieners zu gewährleisten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Eignung:** Geeignet für den Personenschutz bei der Herstellung und Imprägnierung von Bariumverbindungslösungen.
- **OSHA 1910.1200 Norm für Gefahrenkommunikation**
 - **Beschreibung:** Erfordert die Identifizierung, Schulung und das Management von Sicherheitsdatenblättern (SDB) für gefährliche Chemikalien, wie z. B. Bariumverbindungen.
 - **Anwendbarkeit:** Stellen Sie sicher, dass das Personal in der Herstellung von Bariumwolframkathoden die Toxizitätsrisiken von Bariumverbindungen versteht.
- **OSHA 1910.1450 Berufsbedingte Exposition gegenüber gefährlichen Chemikalien in Laboratorien**
 - **Beschreibung:** Spezifiziert den sicheren Umgang und die Schutzmaßnahmen für Chemikalien (z. B. Bariumverbindungen) in Laboratorien.
 - **Anwendbarkeit:** Leitfaden für das sichere Management von Laborumgebungen bei der Herstellung von Bariumwolframkathoden.
- **GB 30000.1-2024 Regeln für die Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien - Teil 1: Allgemeine Regeln**
 - **Beschreibung:** Diese chinesische nationale Norm ersetzt GB 13690-2009 und legt die Anforderungen an die Einstufung, Kennzeichnung und Sicherheitsdatenblätter (SDB) für gefährliche Chemikalien wie Bariumverbindungen fest.
 - **Anwendbarkeit:** Leitfaden für die Sicherheitskennzeichnung und die Betriebspraktiken für Bariumverbindungen bei der Herstellung von Bariumwolframkathoden mit einem Umsetzungsdatum vom 1. August 2025.
 - **Wichtige Anforderungen:** Normkonformes Sicherheitsdatenblatt für Bariumverbindungen und Schulung des Personals.
- **GB/T 16483-2008 Sicherheitsdatenblatt für chemische Produkte - Inhalt und Reihenfolge der Abschnitte**
 - **Beschreibung:** Gibt die Anforderungen an Inhalt und Format des Stoffsicherheitsdatenblatts an, das für das Sicherheitsmanagement von Bariumverbindungen gilt.
 - **Anwendbarkeit:** Sorgen Sie für Transparenz bei den Sicherheitsinformationen von Bariumverbindungen bei der Herstellung von Bariumwolframkathoden.
- **Anforderungen:** Bariumverbindungen (z. B. BaCl₂) sind giftig, und der Betrieb muss in Abzügen durchgeführt werden, und die Arbeiter sind verpflichtet, Schutzausrüstung (z. B. Handschuhe, Masken) gemäß EN 374, OSHA 1910.1200, OSHA 1910.1450, GB 30000.1-2024 und GB/T 16483-2008 zu tragen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Methode:** Ein geschlossenes System wurde verwendet, um eine Bariumverbindungslösung herzustellen und zu imprägnieren, um Leckagen und Verflüchtigungen zu verhindern.
- **Verifizierungsprozess:** Durch die Überwachung der Luftqualität (Ba^{2+} -Konzentration unter sicheren Grenzwerten, siehe **OSHA 1910.1000 Air Contaminants Standard** und **GBZ 2.1-2019 "Occupational Exposure Limits for Hazardous Agents in the Workplace - Part 1: Chemical Hazardous Agents"** wird eine sichere Betriebsumgebung gewährleistet.
- **Spezifikationen für den Umweltschutz:**
 - **Norm:**
 - **EU-RoHS-Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe, 2011/65/EU**
 - **Beschreibung:** Beschränken Sie die Verwendung gefährlicher Substanzen (z. B. Bariumverbindungen) in elektronischen Produkten und verlangen Sie die Behandlung von Flüssigabfällen, um Umweltstandards zu erfüllen.
 - **Anwendbarkeit:** Geeignet für die Abfallflüssigkeit und die Abfallbehandlung bei der Herstellung von Barium-Wolfram-Kathoden.
 - **EU-REACH-Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe, EG 1907/2006**
 - **Beschreibung:** Erfordert die Registrierung und Risikobewertung von Chemikalien wie Bariumverbindungen, um die Umweltsicherheit zu gewährleisten.
 - **Anwendbarkeit:** Leitfaden für den Rückgewinnungs- und Behandlungsprozess von Abfällen aus Bariumverbindungen.
 - **ISO 14040 Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen**
 - **Beschreibung:** Leitung der Umweltverträglichkeitsprüfung des Produktionsprozesses, Optimierung der Abfallentsorgung und Ressourcennutzung.
 - **Anwendbarkeit:** Es eignet sich für das Umweltmanagement der Bariumwolframkathodenproduktion über den gesamten Lebenszyklus.
 - **EPA 40 CFR Part 261 Identifizierung und Auflistung von gefährlichen Abfällen**
 - **Beschreibung:** Legt Anforderungen an die Identifizierung und Entsorgung gefährlicher Abfälle, einschließlich Abfällen aus Bariumverbindungen, fest.
 - **Anwendbarkeit:** Leitfaden für den Klassifizierungs- und Behandlungsprozess von Abfällen aus der Herstellung von Bariumwolframkathoden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **GB 18597-2023 Technische Spezifikation für die Kontrolle der Umweltverschmutzung durch gefährliche Abfälle**
 - **Beschreibung:** Diese chinesische nationale Norm legt die Anforderungen an die Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung von gefährlichen Abfällen fest, die für das Umweltmanagement von Abfällen aus Bariumverbindungen geeignet sind.
 - **Anwendbarkeit:** Leitfaden für die standardisierte Behandlung von gefährlichen Abfällen bei der Herstellung von Barium-Wolfram-Kathoden.
- **GB 5085.7-2019 Identifizierungsstandards für gefährliche Abfälle - Allgemeine Spezifikationen**
 - **Beschreibung:** Legt die Methoden und Standards zur Identifizierung gefährlicher Abfälle fest, die für die Einstufung von Abfällen aus Bariumverbindungen gelten.
 - **Anwendbarkeit:** Sicherstellung der ordnungsgemäßen Klassifizierung und Handhabung von Abfällen aus der Herstellung von Bariumwolframkathoden.
- **Anforderungen:** Bariumverbindungsabfälle müssen den Vorschriften EU RoHS, EU REACH, EPA 40 CFR Part 261, GB 18597-2023 und GB 5085.7-2019 entsprechen und dürfen nicht direkt eingeleitet werden, und der Schwermetallgehalt muss niedriger als die Emissionsnorm sein.
- **Methoden:** Ba²⁺-Ionen wurden durch chemische Fällung oder Ionenaustausch zurückgewonnen, und die Behandlung von Abfallflüssigkeiten war erforderlich, um EU REACH, EPA 40 CFR Part 261 und GB 18597-2023 zu entsprechen.
- **Validierungsprozess:** Analyse von flüssigen Abfallkomponenten mittels ICP-OES (gemäß ASTM E1479 und GB/T 4181-2017), um sicherzustellen, dass die Emissionen den EU-RoHS, EU REACH, GB 18597-2023 und GB 5085.7-2019 entsprechen.
- **Leitfaden zur Umsetzung:** Hersteller müssen die Bediener schulen, Abfallentsorgungsverfahren einrichten, sich regelmäßigen Umweltinspektionen unterziehen und die Normen ISO 14001, GB 18597-2023 und GB 5085.7-2019 einhalten.

8.4.2 Compliance-Richtlinien bei Herstellung und Verwendung

- **Einhaltung der Produktionsvorschriften:**
 - **Norm:**
 - **ISO 14001 Umweltmanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Beschreibung:** Spezifiziert die Anforderungen des Umweltmanagementsystems und leitet die Kontrolle des Energieverbrauchs und der Emissionen im Produktionsprozess.
- **Eignung:** Geeignet für Produktionsanlagen für Bariumwolframkathoden, wodurch die Umweltbelastung reduziert wird.
- **IEC 62474 Materialdeklaration für Produkte der und für die elektrotechnische Industrie**
 - **Beschreibung:** Erfordert Deklarationen von Materialien in der Elektronik, wie z. B. Bariumverbindungen, zur Bewertung von Umwelt- und Sicherheitsauswirkungen.
 - **Anwendbarkeit:** Leitfaden für das Material-Compliance-Management bei der Herstellung von Bariumwolframkathoden.
- **ISO 50001 Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Gebrauchsanweisung**
 - **Beschreibung:** Leitfaden zum Energiemanagement, zur Optimierung der Energieeffizienz in Produktionsprozessen.
 - **Anwendbarkeit:** Geeignet für Hochtemperatur-Sinter- und Wärmebehandlungsprozesse bei der Herstellung von Barium-Wolfram-Kathoden.
- **GB/T 24001-2016 Umweltmanagementsysteme - Anforderungen mit Gebrauchsanweisung**
 - **Beschreibung:** Der chinesische Industriestandard, der der ISO 14001 entspricht, leitet das Umweltmanagement im Produktionsprozess.
 - **Anwendbarkeit:** Geeignet für das Umwelt-Compliance-Management in Produktionsanlagen für Bariumwolfram-Kathoden.
- **GB/T 23331-2020 Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Gebrauchsanweisung**
 - **Beschreibung:** Die chinesische Industrienorm, die der ISO 50001 entspricht, leitet das Energieeffizienzmanagement im Produktionsprozess.
 - **Anwendbarkeit:** Geeignet für die Hochtemperatur-Prozessoptimierung bei der Herstellung von Barium-Wolfram-Kathoden.
- **Anforderungen:** Produktionsanlagen müssen den Normen ISO 14001, ISO 50001, GB/T 24001-2016 und GB/T 23331-2020 entsprechen, um den Energieverbrauch und die Emissionen zu reduzieren, und die Materialien müssen den Deklarationsanforderungen der IEC 62474 entsprechen.
- **Methode:** Energiesparende Anlagen (z. B. Niedertemperatur-Sinteröfen) und umweltfreundliche chemische Prozesse werden eingesetzt, um den CO2-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fußabdruck zu reduzieren und die Anforderungen der Ökobilanz ISO 14040 und GB/T 24001-2016 zu erfüllen.

- **Validierungsprozess:** Analysieren Sie die Umweltauswirkungen der Produktion durch eine Ökobilanz (LCA, gemäß ISO 14040) und optimieren Sie den Prozess.
- **Einhaltung der Nutzung:**
 - **Norm:**
 - **IEC 60601-1 Medizinische elektrische Geräte - Teil 1: Allgemeine Anforderungen an die grundlegende Sicherheit und die wesentlichen Leistungsmerkmale**
 - **Beschreibung:** Die Betriebsumgebung der Kathode muss ein hohes Vakuum aufrechterhalten, um eine Restgaskontamination zu verhindern und eine sichere Verwendung zu gewährleisten.
 - **Eignung:** Geeignet für den Betrieb von Barium-Wolfram-Kathoden in medizinischen und industriellen Geräten.
 - **ISO 20431 Vakuumtechnik - Kalibrierung von Vakuummessgeräten**
 - **Beschreibung:** Stellen Sie die Genauigkeit von Vakuum-Umgebungsprüfgeräten sicher und halten Sie die Stabilität des Kathodenbetriebs aufrecht.
 - **Eignung:** Geeignet für das Management der Kathodenbetriebsumgebung in Mikrowellenröhren und Elektronenmikroskopen.
 - **IEC 60068-2-64 Umweltprüfung - Teil 2-64: Vibrationen, Breitbandzufälligkeit und Führung**
 - **Beschreibung:** Spezifiziert die Prüfverfahren für elektronische Geräte in Vibrationsumgebungen, um die Stabilität der Kathode in dynamischen Umgebungen zu gewährleisten.
 - **Anwendbarkeit:** Geeignet für das Management der Betriebsumgebung von Barium-Wolfram-Kathoden in Luft- und Raumfahrt- und Radarsystemen.
 - **GB/T 3797-2016 Umgebungsbedingungen für elektrische und elektronische Produkte - Teil 2: Prüfverfahren**
 - **Beschreibung:** Spezifiziert Umweltprüfverfahren für elektrische und elektronische Produkte, einschließlich Vibrations- und Hochtemperaturprüfungen, die für die Betriebsprüfung von Bariumwolframkathoden geeignet sind.
 - **Anwendbarkeit:** Gewährleistet die Stabilität des Kathodenbetriebs in rauen Umgebungen.
 - **Anforderungen:** Der Kathodenbetrieb sollte in einer Hochvakuumumgebung (weniger als 10^{-6} Pa) durchgeführt werden, um eine Restgaskontamination gemäß den Anforderungen von IEC 60601-1, ISO 20431, IEC 60068-2-64 und GB/T 3797-2016 zu vermeiden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Methode:** Das Gerätedesign sollte eine Vakuumdichtung und ein Abluftsystem umfassen, und es sollte eine regelmäßige Wartung durchgeführt werden, um die Vakuum- und Vibrationsbeständigkeit zu gewährleisten.
- **Verifizierungsprozess:** Die Betriebsumgebung wird mit einem Vakuummeter überwacht, und der Vibrationstest muss IEC 60068-2-64 und GB/T 3797-2016 entsprechen, und das Wartungsprotokoll wird aufgezeichnet.
- **Leitfaden zur Implementierung:** Hersteller und Benutzer müssen die IEC-, ISO- und GB/T-Richtlinien befolgen, um eine sichere Einhaltung in Produktion und Verwendung zu gewährleisten.

8.4.3 Vorschriften zur Abfallentsorgung

- **Norm:**

- **EU-Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte, 2012/19/EU**
 - **Beschreibung:** Elektroaltgeräte (z. B. Geräte, die Barium-Wolfram-Kathoden enthalten) müssen klassifiziert, recycelt und behandelt werden, um Umweltverschmutzung zu vermeiden.
 - **Anwendbarkeit:** Es eignet sich für das Recycling und die Entsorgung von Barium-Wolfram-Kathodenabfällen.
- **UN 1564 UN-Empfehlungen für die Beförderung gefährlicher Güter, Bariumverbindung, n.a.g.**
 - **Beschreibung:** Spezifiziert die Transport- und Handhabungsanforderungen für Abfälle aus Bariumverbindungen, um Sicherheit und Konformität zu gewährleisten.
 - **Anwendbarkeit:** Leitfaden für den Transport- und Handhabungsprozess von Bariumwolframkathoden aus Abfällen.
- **EPA 40 CFR Part 262 Standards für Erzeuger gefährlicher Abfälle**
 - **Beschreibung:** Spezifiziert die Anforderungen an die Erzeugung, Lagerung und Beseitigung gefährlicher Abfälle, die für Abfälle aus Bariumverbindungen gelten.
 - **Anwendbarkeit:** Leitfaden für die standardisierte Entsorgung von Abfällen aus der Herstellung von Bariumwolframkathoden.
- **ISO 14044 Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Richtlinien**
 - **Beschreibung:** Leitfaden für die Ökobilanz der Abfallentsorgung, Optimierung der Ressourcenrückgewinnung und des Umweltverträglichkeitsmanagements.
 - **Anwendbarkeit:** Geeignet für den Recycling- und Entsorgungsprozess von Barium-Wolfram-Kathodenabfällen.
- **GB 18597-2023 Technische Spezifikation für die Kontrolle der Umweltverschmutzung durch gefährliche Abfälle**
 - **Beschreibung:** Spezifiziert die Anforderungen an die Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung von gefährlichen Abfällen und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eignet sich für das Umweltmanagement von Abfällen aus Bariumverbindungen.

- **Anwendbarkeit:** Leitfaden für die standardisierte Behandlung von Abfällen aus der Herstellung von Bariumwolframkathoden.
- **GB 5085.7-2019 Identifizierungsstandards für gefährliche Abfälle - Allgemeine Spezifikationen**
 - **Beschreibung:** Legt die Methoden und Standards zur Identifizierung gefährlicher Abfälle fest, die für die Einstufung von Abfällen aus Bariumverbindungen gelten.
 - **Anwendbarkeit:** Sicherstellung der ordnungsgemäßen Klassifizierung und Handhabung von Abfällen aus der Herstellung von Bariumwolframkathoden.
- **Anforderungen:** Abfälle von Barium-Wolfram-Kathoden und Produktionsabfällen sollten sortiert und entsorgt werden, um Umweltbelastungen zu vermeiden, und den Anforderungen von EU WEEE, UN 1564, EPA 40 CFR Part 262, ISO 14044, GB 18597-2023 und GB 5085.7-2019 entsprechen.
- **Methoden:**
 - Rückgewinnung von Wolframpulver und Bariumverbindungen zur Trennung nützlicher Materialien durch Hochtemperaturcracken oder chemische Extraktion.
 - Nicht recycelbare Abfälle sollten in einem verschlossenen Behälter gelagert und von einer Berufsorganisation gemäß den Normen für gefährliche Abfälle entsorgt werden, die den Anforderungen von UN 1564, EPA 40 CFR Part 262 und GB 18597-2023 entsprechen.
- **Verifizierungsprozess:** Bestätigung der Recyclingeffizienz durch Analyse der Abfallzusammensetzung (ICP-MS, gemäß ASTM E1479 und GB/T 4181-2017), Dokumentation des Abfallentsorgungsflusses zur Einhaltung der Vorschriften EU WEEE, EU REACH, ISO 14044, GB 18597-2023 und GB 5085.7-2019.
- **Umsetzungsleitfaden:** Richten Sie ein Abfallmanagementsystem ein und melden Sie die Behandlung regelmäßig den Umweltschutzabteilungen, um die Einhaltung der Anforderungen von ISO 14001, EU WEEE, UN 1564, EPA 40 CFR Part 262, GB 18597-2023 und GB 5085.7-2019 sicherzustellen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Barium Tungsten Cathode Introduction

1. Overview of Barium Tungsten Cathode

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

2. Characteristics of Barium Tungsten Cathode

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

3. Applications of Barium Tungsten Cathode

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Anhang

A. Glossar

Im Folgenden finden Sie technische Begriffe und Definitionen für Bariumwolframkathoden und verwandte Bereiche, die auf internationalen Standards (z. B. IEC 60050, IEEE 161) und Branchenpraktiken basieren.

- **Barium-Wolframkathode:** Eine thermisch emittierende Kathode aus einer porösen Wolframmatrix, die mit Bariumverbindungen wie Barium-Calciumaluminat imprägniert ist, die durch Erhitzen Elektronen mit hoher Stromdichte erzeugt und in der Vakuumelektronik weit verbreitet ist.
- **Thermionische Emission:** Das Phänomen, dass Elektronen bei hohen Temperaturen aus der Oberflächenbarriere eines Materials entweichen, gemäß der Richardson-Dushman-Gleichung, dem zentralen Arbeitsmechanismus der Barium-Wolfram-Kathode.
- **Arbeitsfunktion:** Die minimale Energie, die erforderlich ist, damit Elektronen von der Oberfläche des Materials entweichen, gemessen in Elektronenvolt (eV), und der Barium-Wolfram-Kathode reduziert die Arbeitsfunktion durch die aktive Bariumschicht, um die Emissionseffizienz zu verbessern.
- **Poröse Wolframmatrix:** Eine hochreine poröse Wolframstruktur, die durch Pulvermetallurgie hergestellt wird, um Bariumverbindungen zu speichern und freizusetzen, was sich auf die Emissionseigenschaften und die Langlebigkeit auswirkt.
- **Bariumverbindungen:** wie Barium-Calciumaluminat (Ba-Ca-Aluminat), imprägniert in einer porösen Wolframmatrix, durch thermische Aktivierung, um eine aktive Schicht mit geringer Arbeitsfunktion zu bilden.
- **Emissionsstromdichte:** Der pro Flächeneinheit der Kathodenoberfläche emittierte Elektronenfluss, gemessen in A/cm², misst die Emissionseffizienz der Barium-Wolfram-Kathode.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Aktive Schicht:** Eine Schicht mit geringer Arbeitsfunktion, die durch thermische Aktivierung auf der Oberfläche der Bariumwolframkathode gebildet wird und hauptsächlich aus Bariumatomen oder Bariumoxid besteht, die die Emissionsleistung bestimmt.
- **Vergiftungseffekt:** Das Phänomen der verminderten Emissionsleistung aufgrund der Kontamination von Restgasen (wie Sauerstoff und Kohlenstoffverbindungen) auf der Kathodenoberfläche.
- **Aktivierungsprozess:** Ein Prozess, bei dem Bariumverbindungen eine aktive Schicht auf der Oberfläche einer Wolframmatrix bilden, indem sie die Temperatur und die Vakuumumgebung steuern.
- **Vakuum-Elektronen-Bauelement:** Ein Gerät, das eine elektronische Bewegung in einer Vakuumumgebung verwendet, wie z. B. Mikrowellenröhren und Röntgenröhren, mit der Barium-Wolfram-Kathode als Kernelektronenquelle.
- **Schottky-Effekt:** Unter dem angelegten elektrischen Feld wird die Barriere der Kathodenoberfläche reduziert, wodurch die thermionische Emission verstärkt wird, die bei Anwendungen mit hoher Feldstärke üblich ist.
- **Porosität:** Der prozentuale Anteil des Porenvolumens in der porösen Wolframmatrix am Gesamtvolumen, der sich auf die Bariumspeicherkapazität und die Emissionseigenschaften auswirkt, getestet gemäß ASTM E1441 und GB/T 21650.1.
- **Pulvermetallurgie:** Ein Verfahren zur Herstellung einer porösen Wolframmatrix durch Sieben, Pressen und Sintern von Wolframpulver, das GB/T 3461 und GB/T 4192 entsprechen muss.
- **Imprägnierprozess:** Der Prozess des Einfüllens einer Bariumverbindungslösung in die Poren einer porösen Wolframmatrix wird in einer Hochvakuumumgebung gemäß ASTM E168 durchgeführt.
- **Anti-Vergiftungsfähigkeit:** Die Fähigkeit der Kathode, Restgasverunreinigungen zu widerstehen, wird durch die Optimierung von Bariumverbindungsformulierungen und Oberflächenbehandlungen verbessert.
- **Alterungstest:** Ein Test, der Langzeitbetriebsbedingungen simuliert, um die Dämpfung der kathodischen Emissionsleistung gemäß MIL-STD-202 und JB/T 6842 zu bewerten.
- **Fehlermodus:** Der Mechanismus der Verschlechterung der Kathodenleistung, wie z. B. Oberflächenverunreinigung, Bariumabbau oder mechanische Beschädigung, wird mit Methoden wie der Fehlerbaumanalyse (FTA) analysiert.
- **Hochvakuumumgebung:** Die Niederdruckumgebung, die für den Betrieb der Barium-Wolfram-Kathode erforderlich ist, typischerweise unter 10^{-6} Pa, getestet gemäß ISO 20431.

B. Verweise

- [1] Bauer, E. (1994). Oberflächenmikroskopie mit niederenergetischen Elektronen. *Zeitschrift für Physik: Kondensierte Materie*, 6(31), 5793–5810.[2] Cronin, J. L. (1981). Moderne Dispenser-Kathoden. *IEE-Verfahren I - Festkörper- und Elektronenbauelemente*, 128(1), 19–32.[3] Gaertner, G., & Koops, H. W. P. (2008). Vakuum-Elektronenquellen und ihre Materialien und Technologien. In W. Zhou & Z. L. Wang (Hrsg.), *Rasterelektronenmikroskopie für die Nanotechnologie: Techniken und*

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendungen (S. 1–40). Springer. [4] Gartner, G., & Barratt, D. (2010). Dispenser-Kathodentechnologie für Hochleistungs-Mikrowellenröhren. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 57(11), 2956–2963. [5] Haas, G. A. (1972). Thermionische Emission von Dispenser-Kathoden. *Zeitschrift für Angewandte Physik*, 43(6), 2643–2650. [6] Jenkins, R. O. (1955). Ein Überblick über thermionische Kathoden. *Vakuum*, 5(1–2), 1–18. [7] Kim, H. J., & Lee, J. J. (2004). Analyse des Bariumabbaus in imprägnierten Kathoden. *Angewandte Oberflächenwissenschaft*, 233(1–4), 184–191. [8] Liu, Y., & Zhang, H. (2015). Fortschritte bei Kathodenmaterialien für Hochleistungs-Mikrowellenröhren. *Chinesische Zeitschrift für Vakuumwissenschaft und -technologie*, 35(4), 421–428. [9] Marrian, C. R. K., & Shih, A. (1996). Der Betrieb von beschichteten Spenderkathoden auf Wolframbasis bei schlechtem Vakuum. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 43(12), 2165–2170. [10] Shih, A., & Yater, J. E. (2002). Sekundärelektronenemission von Dispenser-Kathoden. *Angewandte Oberflächenwissenschaft*, 192(1–4), 192–200.

C. Prüfnormen und Spezifikationen

Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Liste internationaler, industrieller und chinesischer Normen in Bezug auf Bariumwolframkathoden, die Leistungsprüfungen, Herstellung, Qualitätskontrolle und Umweltsicherheitspezifikationen abdecken.

Internationale Normen

- **IEC 60601-1 Medizinische elektrische Geräte - Teil 1: Allgemeine Anforderungen an die grundlegende Sicherheit und die wesentlichen Leistungsmerkmale**
 - Anwendbarkeit: Spezifiziert die Leistungs- und Sicherheitsanforderungen von Bariumwolframkathoden in medizinischen Röntgenröhren, zur Prüfung der Emissionsstromdichte und der Vakuumumgebung.
 - Wichtigste Anforderungen: Sendestromschwankungen von weniger als 5%, Vakuumgrad weniger als 10^{-6} Pa.
- **IEC 60050 Internationales elektrotechnisches Vokabular**
 - Anwendbarkeit: Stellen Sie Definitionen der Terminologie im Zusammenhang mit Bariumwolframkathoden bereit, um die Konsistenz der technischen Dokumentation zu gewährleisten.
 - Wichtige Anforderungen: Die Terminologie muss internationalen Standards entsprechen, um Mehrdeutigkeiten zu vermeiden.
- **ISO 9001 Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen**
 - Anwendbarkeit: Leitfaden für Qualitätsmanagementsysteme bei der Herstellung von Bariumwolframkathoden zur Sicherstellung der Chargenkonsistenz.
 - Wichtige Anforderungen: Die Produktionsumgebung muss den Reinraumnormen der ISO-Klasse 5 entsprechen.
- **ISO 20431 Vakuumtechnik - Kalibrierung von Vakuummessgeräten**
 - Eignung: Gewährleistet die Genauigkeit des Vakuummessgeräts bei der Prüfung von Barium-Wolfram-Kathoden, geeignet für Mikrowellenröhren und Elektronenmikroskopie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Wichtige Anforderungen: Die Genauigkeit der Kalibrierung des Messgeräts muss besser als 0,1 Pa sein.
- **ISO 19444-1 Vakuumtechnik - Standardverfahren zur Messung der Leistung von Vakuumsystemen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen**
 - Anwendbarkeit: Leitfaden für die Entwicklung von Vakuumsystemen für die Betriebsumgebung von Barium-Wolfram-Kathoden.
 - Wichtigste Anforderungen: Das Vakuumsystem hat eine Leckrate von weniger als 10^{-9} Pa·m³/s.
- **ISO 16000-6 Vakuumtechnik - Vakuumpumpen - Teil 6: Allgemeine Anforderungen**
 - Anwendbarkeit: Leitfaden für die Leistungsbewertung von Vakuumpumpen bei der Herstellung und Prüfung von Barium-Wolfram-Kathoden.
 - Wichtigste Anforderungen: Die Stabilität des Saugvermögens der Vakuumpumpe ist besser als 5 %.

Industriestandard

- **IEEE 161 Standarddefinitionen von Begriffen für Elektronenröhren**
 - Anwendbarkeit: Definieren Sie die Leistungsparameter der Bariumwolframkathode, wie z. B. die Arbeitsfunktion und die Emissionsstromdichte.
 - Wichtigste Anforderungen: Der Test muss hochfrequente Impulsbedingungen simulieren.
- **IEEE 287-Standard für Prüfmethode für Mikrowellenröhren**
 - Anwendbarkeit: Spezifiziert Prüfmethode für Bariumwolframkathoden in Mikrowellenröhren, wie z. B. Emissionsleistungs- und Lebensdauertests.
 - Wichtigste Anforderungen: Die Testumgebung muss ein hohes Vakuum aufrechterhalten und die Genauigkeit der Stromdichtepfung ist besser als 0,1 mA/cm².
- **MIL-STD-810 Umwelttechnische Überlegungen und Labortests**
 - Anwendbarkeit: Geeignet für die Vibrations- und Strahlungsprüfung von Barium-Wolfram-Kathoden in der Luft- und Raumfahrt.
 - Wichtige Anforderungen: Die Kathode muss eine stabile Leistung in Umgebungen mit hoher Strahlung aufrechterhalten.
- **MIL-STD-202 Prüfverfahrensstandard für elektronische und elektrische Bauteile**
 - Eignung: Leitet die Langlebigkeits- und Zuverlässigkeitsprüfung von Barium-Wolfram-Kathoden.
 - Wichtige Anforderungen: Beschleunigte Alterungstests müssen die tatsächlichen Betriebsbedingungen simulieren.
- **ASTM F83 Standardpraxis für die Definition und Bestimmung thermionischer Konstanten von Elektronenemittern**
 - Anwendbarkeit: Gibt das Prüfverfahren für die Arbeitsfunktion der Barium-Wolfram-Kathode und die Dichte des übertragenen Stroms an.
 - Wichtigste Anforderungen: Der Test sollte in einer Hochvakuumumgebung mit einer Genauigkeit von besser als 0,01 eV durchgeführt werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **ASTM B760 Standardspezifikation für Wolframplatten, -bleche und -folien**
 - Anwendbarkeit: Spezifiziert die Reinheitsanforderungen von Wolframmaterialien für die poröse Wolframmatrix der Bariumwolfram Kathode.
 - Wichtige Anforderungen: Die Reinheit des Wolframs muss besser als 99,95 % sein.
- **ASTM E1441 Standardhandbuch für die Bildgebung mit Computertomographie (CT)**
 - Anwendbarkeit: Leitet die Porositäts- und Porengrößenverteilungsprüfung von porösen Wolframmatrizen.
 - Wichtigste Anforderung: X-CT-Auflösung besser als 1 µm.
- **ASTM E168 Standardpraktiken für allgemeine Techniken der thermogravimetrischen Analyse**
 - Eignung: Thermogravimetrische Analyse (TGA) zur Steuerung der Imprägnierungsmenge von Bariumverbindungen.
 - Wichtigste Anforderung: Genauigkeit der thermischen Analyse besser als 0,1 mg.

Chinesische nationale und Branchenstandards

- **GB 4943.1-2022 Geräte der Informationstechnik - Sicherheit - Teil 1: Allgemeine Anforderungen**
 - Eignung: Geeignet für die elektrische und thermische Sicherheitsprüfung von Barium-Wolfram-Kathoden in Geräten der Informationstechnik.
 - Wichtige Anforderungen: Die Betriebstemperatur sollte in einem sicheren Bereich geregelt werden, um eine Lichtbogenentladung zu verhindern.
- **GB/T 3797-2016 Umgebungsbedingungen für elektrische und elektronische Produkte - Teil 2: Prüfverfahren**
 - Anwendbarkeit: Leitfaden für die Leistungsprüfung von Bariumwolframkathoden in Umgebungen mit hohen Temperaturen, hoher Luftfeuchtigkeit und Vibrationen.
 - Wichtige Anforderungen: Die Kathode muss bei 2000 °C und Hochvakuum stabil sein.
- **JB/T 6842-2018 Allgemeine Spezifikation für Vakuum-Elektronenbauelemente**
 - Anwendbarkeit: Spezifiziert die Leistungs- und Prüfanforderungen von Barium-Wolfram-Kathoden in der Vakuumelektronik.
 - Wichtige Anforderungen: Die Sendestromdichte muss den Anforderungen von Hochleistungsgeräten gerecht werden.
- **GB/T 21650.1-2008 Porengrößenverteilung und Porosität von Feststoffen durch Quecksilberporosimetrie und Gasadsorption - Teil 1: Quecksilberporosimetrie**
 - Anwendbarkeit: Leitporositätsprüfung von porösen Wolframsubstraten.
 - Wichtigste Anforderungen: Die Genauigkeit der Porositätsmessung muss besser als 1 % sein.
- **GB/T 13247-2019 Prüfverfahren für die thermische Analyse metallischer Werkstoffe**
 - Eignung: Thermogravimetrische Analyse (TGA) zur Steuerung der Imprägnierungsmenge von Bariumverbindungen.
 - Wichtigste Anforderung: Die Genauigkeit der thermischen Analyse muss besser als 0,1 mg sein.
- **GB / T 3461-2017 Wolframpulver**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Anwendbarkeit: Gibt die Partikelgrößenverteilung und die Reinheitsanforderungen von Wolframpulver an.
- Wichtige Anforderungen: Die Reinheit von Wolframpulver muss besser als 99,95 % sein.
- **GB / T 4192-2010 Gesintertes Wolfram und Wolframlegierung**
 - Anwendbarkeit: Führen Sie den Sinterprozess der porösen Wolframmatrix aus Bariumwolfram Kathode.
 - Wichtigste Anforderung: Sintertemperatur geregelt bei 1900–2050 °C.
- **GB/T 4181-2017 Methoden zur chemischen Analyse von Wolfram und Wolframlegierungen**
 - Anwendbarkeit: Leitfaden für die Reinheitsanalyse von Wolframpulver und Wolframmatrix.
 - Wichtigste Anforderung: Die Genauigkeit der ICP-OES-Analyse ist besser als 10 ppm.
- **GB 30000.1-2024 Regeln für die Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien - Teil 1: Allgemeine Regeln**
 - Anwendbarkeit: Leitfaden für die Sicherheitskennzeichnung und die Betriebspraktiken für Bariumverbindungen.
 - Wichtigste Anforderung: Stellen Sie ein standardkonformes Sicherheitsdatenblatt mit einem Implementierungsdatum vom 1. August 2025 bereit.
- **GB/T 16483-2008 Sicherheitsdatenblatt für chemische Produkte - Inhalt und Reihenfolge der Abschnitte**
 - Anwendbarkeit: Stellen Sie die standardisierte Verwaltung von Sicherheitsinformationen von Bariumverbindungen sicher.
 - Wichtigste Anforderungen: Das Sicherheitsdatenblatt muss Anforderungen an die chemische Toxizität und die Handhabung enthalten.
- **GB 18597-2023 Technische Spezifikation für die Kontrolle der Umweltverschmutzung durch gefährliche Abfälle**
 - Anwendbarkeit: Leitet die Sammlung, Lagerung und Entsorgung von Abfällen aus Bariumverbindungen.
 - Zentrale Anforderungen: Der Gehalt an Schwermetallen in der Abfallflüssigkeit muss unter der Emissionsnorm liegen.
- **GB 5085.7-2019 Identifizierungsstandards für gefährliche Abfälle - Allgemeine Spezifikationen**
 - Anwendbarkeit: Legen Sie die Anforderungen an die Identifizierung und Einstufung von Abfällen aus Bariumverbindungen fest.
 - Zentrale Anforderungen: Die Entsorgung von Abfällen erfolgt gemäß den Normen für gefährliche Abfälle.
- **GB/T 14815-2008 Vakuumtechnik – Vokabular**
 - Anwendbarkeit: Definieren Sie technische Begriffe für das Vakuum bei der Prüfung und dem Betrieb von Barium-Wolfram-Kathoden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Wichtige Anforderungen: Die Terminologie muss mit internationalen Standards übereinstimmen.
- **GB/T 34590-2017 Vakuumtechnik - Methoden zur Messung der Leistung von Vakuumsystemen**
 - Anwendbarkeit: Anleitung zur Leistungsprüfung von Vakuumsystemen für die Betriebsumgebung von Barium-Wolfram-Kathoden.
 - Wichtigste Anforderungen: Das Vakuumsystem hat eine Leckrate von weniger als 10^{-9} Pa·m³/s.

D. Lieferanten & Ressourcen

- **CTIA GROUP LTD Einleitung**

CTIA GROUP LTD ist ein führender Anbieter von Barium-Wolfram-Kathoden- und Vakuum-Elektronikmaterialien in China. Die Produkte werden häufig in Mikrowellenröhren, Röntgenröhren, Radarsystemen, Elektronenmikroskopen und in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt. CTIA GROUP LTD ist auf die flexible Anpassung von Wolfram- und Molybdänprodukten spezialisiert, bietet Hochleistungskathodenlösungen und kann verschiedene Spezifikationen, Leistungen, Größen und Qualitäten von Wolfram- und Molybdänprodukten nach Kundenwunsch anpassen und verarbeiten.

Kontaktinformationen:

Briefkasten: sales@chinatungsten.com

Telefon: 0592-5129696, 0592-5129595

- **CTIA GROUP LTD Barium-Wolframelektrode Verwandte Websites**

Barium-Wolfram-Kathode:

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

Wolfram Preis und Nachrichten:

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

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

Wolfram- und Molybdänprodukte:

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

E. Inhaltsverzeichnis

Stichwort-Index

- Barium-Wolfram-Kathoden: 1.1, 2.1, 3.2, 4.1, 5.1, 6.1, 8.1, A, C, D
- Thermionische Abstrahlung: 3.1, 3.2, 8.2, A
- Arbeitsfunktion: 3.2, 6.1, 8.2, A
- Poröse Wolframmatrix: 2.1, 2.3, 4.1, 6.1, 8.3, A, C, D
- Bariumverbindungen: 2.1, 4.2, 6.1, 8.4, A, C, D
- Sendestromdichte: 3.2, 5.1, 8.2, A
- Vakuum-Elektronik: 1.3, 5.1, 8.1, A, C, D
- Toxizitätswirkungen: 3.3, 6.2, A
- Aktivierungsprozess: 4.2, 8.3, A
- Umwelt und Sicherheit: 8.4, C, D

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Fertigung & Qualitätskontrolle: 4.3, 8.3, C, D
- Pulvermetallurgie: 2.2, 4.1, 8.3, A, C
- Porosität: 2.3, 4.1, 8.3, A, C
- Vibrationsfestigkeit: 5.4, 8.1, A

Themen-Index

- **Materialwissenschaft:** Kapitel 2, 6.1, 8.3, A, C, D
 - Poröse Wolframmatrix: 2.1.1, 2.3.1, 4.1, 6.1, 8.3, C, D
 - Eigenschaften der Bariumverbindung: 2.1.2, 4.2, 6.1, 8.4, C, D
 - Gefügeanalyse: 2.3, 4.3, 6.1
- **Funktionsprinzip:** Kapitel 3, A
 - Thermionische Emissionstheorie: 3.1, A
 - Emissionskennlinien und Fehleranalyse: 3.2, 3.3, A
 - Schottky-Effekt und Bildschärfe: 3.1.2, A
- **Herstellungsverfahren:** Kapitel 4, 8.3, A, C, D
 - Bildung poröser Wolframmatrix: 4.1, 8.3, A, C
 - Imprägnier- und Aktivierungsprozess: 4.2, 8.3, A, C
 - Qualitätskontrolle und Prüfung: 4.3, 8.3, C
- **Anwendungen:** Kapitel 5, D
 - Mikrowellenröhre vs. Röntgenröhre: 5.1, D
 - Wissenschaftliche Instrumente: 5.2, D
 - Luft- und Raumfahrt & Verteidigung: 5.4, D
 - Neue Anwendungen (z. B. Terahertz, Ionentriebwerke): 5.5
- **Performance-Optimierung:** Kapitel 6
 - Brenneffizienz: 6.1
 - Lebensdauer und Anti-Vergiftung: 6.2
 - Anpassungsfähigkeit an die Umwelt: 6.3
- **Technologische Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen:** Kapitel 7
 - Materialaufwand und -konsistenz: 7.1
 - Wettbewerb für aufstrebende Technologien: 7.2
 - Zukünftige Forschungsrichtungen: 7.3
- **Normen und Spezifikationen:** Kapitel 8, C
 - Internationale und Industriestandards: 8.1, C
 - Angabe der Leistungsparameter: 8.2, C
 - Fertigung & Qualitätskontrolle: 8.3, C
 - Umwelt und Sicherheit: 8.4, C
- **Lieferanten und Ressourcen:**D
 - CTIA GROUP LTD: D

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT