

Encyclopédie de la cathode de baryum tungstène

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Leader mondial de la fabrication intelligente pour les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares

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

PRÉSENTATION DU GROUPE CTIA

CTIA GROUP LTD, filiale à 100 % dotée d'une personnalité juridique indépendante et créée par CHINATUNGSTEN ONLINE, se consacre à la promotion de la conception et de la fabrication intelligentes, intégrées et flexibles de matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel. Fondée en 1997 avec www.chinatungsten.com comme point de départ – le premier site web chinois de produits en tungstène de premier plan –, CHINATUNGSTEN ONLINE est une entreprise pionnière du e-commerce en Chine, spécialisée dans les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares. Fort de près de trois décennies d'expérience approfondie dans les domaines du tungstène et du molybdène, CTIA GROUP hérite des capacités exceptionnelles de conception et de fabrication de sa société mère, de ses services de qualité supérieure et de sa réputation commerciale mondiale, devenant ainsi un fournisseur de solutions d'application complètes dans les domaines des produits chimiques à base de tungstène, des métaux tungstène, des carbures cémentés, des alliages haute densité, du molybdène et de ses alliages.

Au cours des 30 dernières années, CHINATUNGSTEN ONLINE a créé plus de 200 sites web professionnels multilingues sur le tungstène et le molybdène, couvrant plus de 20 langues, avec plus d'un million de pages d'actualités, de prix et d'analyses de marché liées au tungstène, au molybdène et aux terres rares. Depuis 2013, son compte officiel WeChat « CHINATUNGSTEN ONLINE » a publié plus de 40 000 informations, alimentant près de 100 000 abonnés et fournissant quotidiennement des informations gratuites à des centaines de milliers de professionnels du secteur dans le monde entier. Avec des milliards de visites cumulées sur son site web et son compte officiel, CHINATUNGSTEN ONLINE est devenu une plateforme d'information mondiale reconnue et faisant autorité pour les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares, fournissant 24 h/24 et 7 j/7 des informations multilingues, des informations sur les performances des produits, les prix et les tendances du marché.

S'appuyant sur la technologie et l'expérience de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP s'attache à répondre aux besoins personnalisés de ses clients. Grâce à l'IA, CTIA GROUP conçoit et fabrique en collaboration avec ses clients des produits en tungstène et en molybdène présentant des compositions chimiques et des propriétés physiques spécifiques (telles que la granulométrie, la densité, la dureté, la résistance, les dimensions et les tolérances). L'entreprise propose des services intégrés complets, allant de l'ouverture du moule à la production d'essai, en passant par la finition, l'emballage et la logistique. Au cours des 30 dernières années, CHINATUNGSTEN ONLINE a fourni des services de R&D, de conception et de production pour plus de 500 000 types de produits en tungstène et en molybdène à plus de 130 000 clients dans le monde, posant ainsi les bases d'une fabrication personnalisée, flexible et intelligente. Fort de ce socle, CTIA GROUP approfondit la fabrication intelligente et l'innovation intégrée des matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel.

Forts de plus de 30 ans d'expérience dans le secteur, le Dr Hanns et son équipe de CTIA GROUP ont également rédigé et publié des analyses de connaissances, de technologies, de prix et de tendances du marché du tungstène, du molybdène et des terres rares, qu'ils partagent librement avec l'industrie du tungstène. Fort de plus de 30 ans d'expérience depuis les années 1990 dans le commerce électronique et le commerce international de produits en tungstène et en molybdène, ainsi que dans la conception et la fabrication de carbures cémentés et d'alliages haute densité, le Dr Han est un expert reconnu des produits en tungstène et en molybdène, tant au niveau national qu'international. Fidèle à sa volonté de fournir des informations professionnelles et de qualité à l'industrie, l'équipe de CTIA GROUP rédige régulièrement des articles de recherche technique, des articles et des rapports sectoriels basés sur les pratiques de production et les besoins des clients, ce qui lui vaut une large reconnaissance au sein du secteur. Ces réalisations apportent un soutien solide à l'innovation technologique, à la promotion des produits et aux échanges industriels du CTIA GROUP, le propulsant pour devenir un leader mondial dans la fabrication de produits en tungstène et en molybdène et dans les services d'information.



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

Table des matières

Préface

Objectif et signification

Vue d'ensemble de la structure du livre

Public cible

Chapitre 1 : Présentation des cathodes de tungstène baryum

1.1 Définition et concept de base de la cathode de tungstène de baryum

1.1.1 Définition de la cathode de tungstène de baryum

1.1.2 Comparaison de la cathode chaude et de la cathode froide

1.1.3 Comparaison des cathodes de tungstène de baryum avec d'autres cathodes thermiques

1.2 Développement historique de la cathode de tungstène de baryum

1.2.1 Origine et évolution technique des cathodes de tungstène baryum

1.2.2 Principaux jalons et percées technologiques

1.3 Domaines d'application des cathodes de tungstène de baryum

1.3.1 Électronique du vide

1.3.2 Utilisations spécifiques dans l'industrie et la recherche scientifique

1.3.3 Potentiel intersectoriel

Chapitre 2 : Science des matériaux des cathodes de baryum et de tungstène

2.1 Composition matérielle de la cathode de tungstène de baryum

2.1.1 Propriétés chimiques et physiques de la matrice de tungstène poreuse

2.1.2 Propriétés et ratios des composés barytés

2.1.3 Effet des additifs sur le rendement en matière d'émissions

2.2 Processus de préparation de la cathode de tungstène de baryum

2.2.1 Préparation d'une matrice de tungstène poreuse : métallurgie des poudres et contrôle des pores

2.2.3 Procédé d'imprégnation des composés de baryum : paramètres de préparation de la solution et d'imprégnation

2.3 Microstructure et propriétés des cathodes de baryum et de tungstène

2.3.1 Analyse de la porosité et de la structure d'une matrice de tungstène poreuse

2.3.2 Relation entre la morphologie de surface et les performances d'émission de la couche de baryum actif

Chapitre 3 : Principe de fonctionnement et mécanisme de lancement

3.1 Théorie de l'émission thermionique

3.1.1 Équation de Richardson-Dushman

3.1.2 Effet Schottky et émission améliorée par le champ

3.1.3 Perspective de la mécanique quantique

3.2 Caractéristiques d'émission des cathodes de tungstène de baryum

3.2.1 Mécanisme de formation d'une fonction de faible puissance

3.2.2 Comportement dynamique et stabilité thermique des couches actives

3.3 Facteurs affectant les performances d'émission de la cathode de baryum-tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 3.3.1 Environnement de travail
- 3.3.2 Mécanisme du vieillissement et effets toxiques
- 3.3.3 Analyse des modes de défaillance

Chapitre 4 : Technologie de fabrication et de traitement de la cathode de baryum-tungstène

- 4.1 Moulage de matrice de tungstène poreux
 - 4.1.1 Processus de criblage et de pressage de la poudre de tungstène
 - 4.1.2 Optimisation de la porosité et de la résistance mécanique
- 4.2 Imprégnation et activation des composés barytés
 - 4.2.1 Procédé d'imprégnation : formulation du composé de baryum et conditions d'imprégnation
 - 4.2.2 Procédé d'activation : traitement thermique et formation de la couche tensioactive
- 4.3 Contrôle de la qualité et essais des cathodes de tungstène de baryum
 - 4.3.1 Méthode d'essai pour la transmission de la performance
 - 4.3.2 Critères d'évaluation de l'uniformité et de la fiabilité
 - 4.3.3 Analyse et amélioration des défaillances

Chapitre 5 : Application de la cathode de tungstène de baryum

- 5.1 Électronique du vide
 - 5.1.1 Tube à micro-ondes
 - 5.1.1.1 Magnétron : utilisé dans les équipements de chauffage radar et micro-ondes
 - 5.1.1.2 TWT : Amplificateurs de communications à haute fréquence et de satellites
 - 5.1.1.3 Tube Klystron : radar de haute puissance et accélérateur de particules
 - 5.1.2 Tubes à rayons X
 - 5.1.2.1 Équipement d'imagerie médicale
 - 5.1.2.2 Essais non destructifs industriels
 - 5.1.3 Autres appareils à vide
- 5.2 Instruments scientifiques
 - 5.2.1 Microscope électronique
 - 5.2.2 Spectromètre de masse : source d'ions à haute sensibilité
 - 5.2.3 Équipement d'analyse de surface
- 5.3 Applications industrielles et de communication
 - 5.3.1 Système radar
 - 5.3.2 Équipement de communication
 - 5.3.3 Tube du vacuostat
- 5.4 Aérospatiale et défense
 - 5.4.1 Appareils électroniques spatiaux
 - 5.4.2 Système de contre-mesures électroniques
- 5.5 Applications émergentes et interdomaines
 - 5.5.1 Générateur d'ondes térahertz
 - 5.5.2 Propulseurs ioniques
 - 5.5.3 Expériences de physique des hautes énergies
 - 5.5.4 Applications biomédicales

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chapitre 6 : Optimisation et amélioration des performances de la cathode de baryum tungstène

- 6.1 Améliorer l'efficacité du lancement
 - 6.1.1 Optimisation de la structure des pores d'une matrice de tungstène poreuse
 - 6.1.2 Formulation et technologie de dopage des nouveaux composés du baryum
 - 6.1.3 Applications de la nanotechnologie
- 6.2 Prolonger la durée de vie
 - 6.2.1 Procédé anti-empoisonnement
 - 6.2.2 Amélioration de la stabilité thermique et de la résistance mécanique
- 6.3 Adaptabilité à l'environnement
 - 6.3.1 Performances dans des environnements extrêmes
 - 6.3.2 Faible consommation d'énergie et fabrication écologique
- 6.4 Conception intelligente

Chapitre 7 : Défis et développement futur

- 7.1 Goulets d'étranglement techniques actuels
 - 7.1.1 Coût des matériaux et complexité de la préparation
 - 7.1.2 Uniformité du rendement et défis de la production de masse
 - 7.1.3 Défis de la chaîne d'approvisionnement
- 7.2 Concurrence dans les technologies émergentes
 - 7.2.1 Technologie de cathode froide
 - 7.2.2 Autres cathodes thermiques
 - 7.2.3 Analyse de l'avantage concurrentiel des cathodes de tungstène au baryum
- 7.3 Orientations futures de la recherche
 - 7.3.1 Exploration de nouveaux matériaux et procédés
 - 7.3.2 Conception intelligente et adaptative de la cathode
 - 7.3.3 Recherche interdisciplinaire

Chapitre 8 : Étalons de cathode de tungstène au baryum

- 8.1 Normes internationales et de l'industrie
 - 8.1.1 Normes internationales relatives aux cathodes de baryum et de tungstène
 - 8.1.2 Normes de l'industrie relatives aux cathodes de baryum et de tungstène
- 8.2 Spécification des paramètres de performance de la cathode de tungstène de baryum
 - 8.2.1 Exigences de normalisation pour les paramètres clés
 - 8.2.2 Méthodes d'essai et processus de vérification
- 8.3 Normes de fabrication et de contrôle de la qualité des cathodes de baryum et de tungstène
 - 8.3.1 Spécifications relatives à la pureté du matériau et au processus de préparation
 - 8.3.2 Exigences en matière d'uniformité et de traçabilité
- 8.4 Normes environnementales et de sécurité
 - 8.4.1 Normes relatives à l'innocuité, au traitement et à la protection de l'environnement pour les composés de baryum
 - 8.4.2 Lignes directrices sur la conformité à la production et à l'utilisation
 - 8.4.3 Spécifications relatives à l'élimination des déchets

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Appendice

A. Glossaire

B. Références

C. Normes et spécifications d'essai

Normes internationales

Norme de l'industrie

Normes nationales et industrielles chinoises

D. Fournisseurs et ressources

Présentation de CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD Électrode de baryum tungstène Sites Web connexes

E. Indice

Index des mots-clés

Index des sujets



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

Préface

Objectif et signification

La cathode de baryum et de tungstène, en tant que matériau émetteur de thermion efficace, occupe une position centrale dans le domaine de la technologie électronique moderne. Ses principales propriétés - faible fonction de travail, densité de courant d'émission élevée, excellente stabilité thermique et longue durée de vie - proviennent de la combinaison ingénieuse d'une matrice de tungstène poreuse avec un composé de baryum tel que l'aluminate de baryum et de calcium. Cette conception unique rend les cathodes de baryum et de tungstène idéales pour les appareils électroniques sous vide (tels que les tubes à micro-ondes, les tubes à rayons X et les tubes photomultiplicateurs), et sont largement utilisées dans des domaines de pointe tels que l'aérospatiale, l'imagerie médicale, les systèmes de communication, les instruments scientifiques et les expériences de physique des hautes énergies. Les cathodes de tungstène au baryum favorisent non seulement l'avancement continu de la technologie de l'électronique du vide, mais fournissent également un soutien potentiel pour les technologies émergentes telles que les générateurs d'ondes térahertz et les propulseurs ioniques.

Ce livre est conçu pour fournir aux lecteurs un matériau de référence complet et systématique pour les cathodes de baryum et de tungstène, couvrant sa science des matériaux, son processus de fabrication, son principe de fonctionnement, ses domaines d'application et ses tendances de développement futures. Nous espérons découvrir son rôle essentiel dans l'électronique haute performance en nous penchant sur les détails techniques des cathodes de baryum-tungstène, tout en explorant leur potentiel d'innovation dans des domaines interdisciplinaires.

Vue d'ensemble de la structure du livre

Ce livre a une structure claire, de la base à l'application, de la théorie à la pratique, la rigueur logique, couche par couche, divisée en huit chapitres et annexes, couvrant entièrement tous les aspects des cathodes de tungstène de baryum :

- **Chapitre 1 : Présentation des cathodes de tungstène baryum**

Ce chapitre jette les bases du livre, introduisant la définition, les concepts de base et les comparaisons des cathodes de baryum et de tungstène et leur comparaison avec d'autres cathodes chaudes et froides, triant le contexte historique de son évolution de son origine à la technologie moderne, et décrivant son large éventail d'applications dans les dispositifs électroniques sous vide, l'industrie et la recherche scientifique.

- **Chapitre 2 : Science matérielle des cathodes de tungstène de baryum**

Ce chapitre se penche sur la composition des matériaux et le processus de préparation des cathodes de tungstène de baryum, analyse les propriétés chimiques et physiques des matrices poreuses de tungstène, des composés de baryum et des additifs, et révèle la relation interne entre la microstructure (comme la porosité et la morphologie de surface) et les propriétés d'émission.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Chapitre 3 : Principe de fonctionnement et mécanisme d'émission**

Ce chapitre part de la théorie de l'émission thermionique et combine l'équation de Richardson-Dushman, l'effet Schottky et la mécanique quantique pour analyser en détail le mécanisme de formation de la fonction de faible travail de la cathode de baryum tungstène, le comportement dynamique de la couche active et les facteurs environnementaux affectant la performance d'émission.

- **Chapitre 4 : Technologie de fabrication et de traitement de la cathode de baryum-tungstène**

Ce chapitre se concentre sur le processus de fabrication, couvrant le moulage par métallurgie des poudres d'une matrice de tungstène poreuse, le processus d'imprégnation et d'activation des composés de baryum, et les méthodes d'essai et de contrôle de la qualité des propriétés d'émission, fournissant une référence technique pour la production industrielle.

- **Chapitre 5 : Application de la cathode de tungstène de baryum**

Ce chapitre aborde systématiquement les applications spécifiques de la cathode de baryum-tungstène dans les dispositifs électroniques sous vide (tels que les tubes à micro-ondes, les tubes à rayons X), les instruments scientifiques (tels que les microscopes électroniques, les spectromètres de masse), les communications industrielles, l'aérospatiale et les domaines émergents, en mettant en évidence son potentiel inter-domaines.

- **Chapitre 6 : Optimisation et amélioration des performances de la cathode de baryum tungstène**

Ce chapitre traite des stratégies visant à améliorer l'efficacité des émissions, à prolonger la durée de vie et à améliorer l'adaptabilité environnementale, y compris les méthodes de pointe telles que les nouvelles formulations de composés de baryum, les applications nanotechnologiques et la conception intelligente.

- **Chapitre 7 : Défis et développements futurs**

Ce chapitre analyse les goulets d'étranglement techniques actuels (tels que les coûts des matériaux, la cohérence des performances) et les défis des technologies concurrentes telles que les cathodes froides, et se penche sur l'orientation future des nouveaux matériaux, des nouveaux processus et de la recherche interdisciplinaire (comme l'intelligence artificielle et l'informatique quantique).

- **Chapitre 8 : Étalons de cathode de tungstène au baryum**

Ce chapitre présente les normes internationales et industrielles relatives aux cathodes de baryum et de tungstène, couvrant les spécifications des paramètres de performance, les méthodes d'essai, les processus de fabrication et les exigences de sécurité environnementale, fournissant des lignes directrices pour une production normalisée.

- **Annexes et index**

Les annexes comprennent des glossaires, des références, des normes d'essai, des fiches de données de performance et des informations sur les fournisseurs (par exemple, CTIA GROUP LTD) pour une référence facile et une recherche approfondie. La section d'indexation fournit des index de mots-clés et de sujets pour un ciblage rapide du contenu.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La conception du contenu de ce livre se concentre sur la combinaison de la théorie et de la pratique, avec à la fois des discussions approfondies sur la science fondamentale et des conseils détaillés sur les applications de l'ingénierie, visant à fournir aux lecteurs un système de connaissances complet et pratique.

Public cible

Ce livre est destiné à un large éventail de lecteurs, y compris, mais sans s'y limiter :

- **Scientifiques des matériaux** : prêter attention à la composition des matériaux, à la microstructure et au processus de préparation des cathodes de baryum et de tungstène, et rechercher des percées dans de nouveaux matériaux et processus.
- **Ingénieur en électronique** : Engagé dans la conception et le développement de dispositifs électroniques sous vide, il est nécessaire de maîtriser le principe de fonctionnement et la technologie de fabrication de la cathode de baryum et de tungstène.
- **Chercheurs en technologie électronique du vide** : se concentrent sur l'optimisation des performances, l'expansion des applications et la recherche de normalisation des cathodes thermiques.
- **Techniciens industriels** : appliquer des cathodes de baryum et de tungstène dans la production et l'entretien de tubes à micro-ondes, de tubes à rayons X, de systèmes radar et d'autres équipements.
- **Innovateurs interdisciplinaires** : Explorer le potentiel des cathodes de baryum tungstène dans des domaines émergents tels que la technologie térahertz, les propulseurs ioniques, la biomédecine, etc.
- **Enseignants et étudiants dans les collèges et les universités** : Ce livre peut être utilisé comme manuel d'études supérieures ou livre de référence pour les majors en science des matériaux, en génie électronique, en technologie électronique du vide, etc., afin de fournir un soutien à la recherche et à l'enseignement universitaires.

Que vous soyez un nouveau venu dans le domaine des cathodes de tungstène baryum ou un expert avec des années d'expérience dans des domaines connexes, ce livre vise à vous fournir un cadre de connaissances clair, des informations techniques approfondies et des guides d'application pratiques.

Écrire des caractéristiques et des valeurs

Ce livre se concentre sur les caractéristiques suivantes du processus d'écriture pour s'assurer que sa valeur académique et son aspect pratique sont équilibrés :

- **Exhaustif et systématique**
Ce livre couvre de manière exhaustive toutes les dimensions des cathodes de baryum et de tungstène, de la théorie de base aux applications de pointe, de la science des matériaux aux normes industrielles, et construit un système de connaissances complet pour s'assurer que les lecteurs peuvent systématiquement saisir le contenu pertinent.
- **Allier théorie et pratique**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tout en exposant en profondeur la théorie de l'émission thermionique et les principes de la science des matériaux, ce livre fournit des processus de fabrication détaillés, des méthodes d'essai de performance et des cas d'application pratiques, en tenant compte des besoins de la recherche universitaire et de la pratique de l'ingénierie.

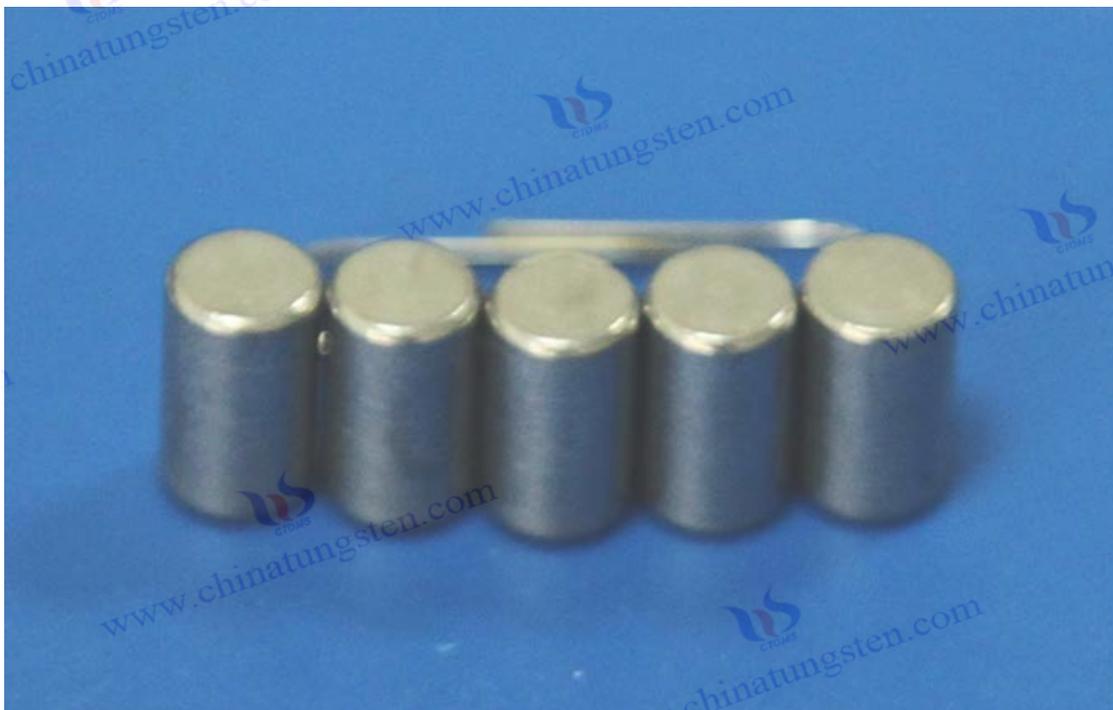
- **Tourné vers l'avenir et innovant**

Ce livre résume non seulement les réalisations techniques existantes des cathodes de baryum-tungstène, mais se réjouit également de son orientation future en matière de développement dans les domaines de la nanotechnologie, de la conception intelligente et de la recherche interdisciplinaire (comme l'intelligence artificielle et l'informatique quantique), offrant aux lecteurs une inspiration innovante.

- **Utilité et opérabilité**

Le glossaire, les fiches de données de performance, les normes d'essai et les informations sur les fournisseurs (par exemple, CTIA GROUP LTD) en annexe fournissent aux lecteurs des ressources de référence pratiques. La conception de l'index facilite le ciblage rapide du contenu clé et renforce son utilité.

À travers ce livre, les lecteurs peuvent non seulement comprendre en profondeur la connotation scientifique et technique des cathodes de baryum et de tungstène, mais aussi s'en inspirer pour promouvoir l'innovation et le développement dans la technologie de l'électronique du vide et les domaines connexes. Nous pensons que les cathodes de baryum-tungstène, en tant que technologie classique et dynamique, continueront à jouer un rôle important dans les futures vagues technologiques, offrant des possibilités infinies pour les dispositifs électroniques haute performance et les applications interdisciplinaires.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chapitre 1 : Présentation des cathodes de tungstène baryum

En tant que matériau d'émission thermoïonique très efficace, la cathode de baryum et de tungstène occupe une position irremplaçable dans le domaine de l'électronique du vide et de la haute technologie. Sa matrice poreuse unique de tungstène et sa structure imprégnée de composé de baryum lui confèrent les caractéristiques d'une faible fonction de travail, d'une densité de courant d'émission élevée, d'une excellente stabilité thermique et d'une longue durée de vie, ce qui en fait un composant essentiel des tubes à micro-ondes, des tubes à rayons X, des microscopes électroniques et d'autres équipements. Ce chapitre vise à fournir aux lecteurs une introduction complète aux cathodes de baryum-tungstène, couvrant leur définition et leurs concepts de base, le contexte de développement historique et un large éventail de domaines d'application, jetant les bases d'une discussion approfondie dans les chapitres suivants. En comparant les différences de performance entre les cathodes de baryum-tungstène et d'autres types de cathodes, nous déterminerons les étapes clés de leur évolution technologique et nous nous réjouissons de leur potentiel dans les domaines traditionnels et émergents.

1.1 Définition et concept de base de la cathode de tungstène de baryum

1.1.1 Définition de la cathode de tungstène de baryum

La cathode de tungstène de baryum est une cathode basée sur le principe de l'émission thermionique, et sa structure centrale se compose d'une matrice de tungstène poreuse à haute porosité et de composés de baryum imprégnés tels que l'aluminate de baryum et de calcium, le Ba-Ca-Aluminate. La matrice poreuse de tungstène est préparée par la technologie de la métallurgie des poudres et a une structure poreuse uniforme, qui peut adsorber et stocker efficacement les composés de baryum. Dans des conditions de fonctionnement à haute température, les composés de baryum libèrent des atomes de baryum réactifs par décomposition thermique, qui se diffusent à la surface à travers les pores de la matrice poreuse de tungstène, formant une couche monoatomique avec une faible fonction de travail (fonction de travail d'environ 1,1 à 1,5 eV). Cette fonction de faible consommation réduit considérablement l'énergie requise pour l'échappement des électrons, ce qui permet aux cathodes baryum-tungstène de fournir une densité de courant d'émission élevée et de bien fonctionner dans des scénarios de haute puissance, de haute fréquence et de haute fiabilité.

La conception des cathodes de tungstène de baryum combine le point de fusion élevé de la matrice de tungstène (environ 3422 °C), une excellente stabilité chimique et les avantages de la faible fonction de travail des composés de baryum, ce qui les rend particulièrement adaptées aux appareils électroniques sous vide qui nécessitent une source d'électrons stable, tels que les tubes à micro-ondes, les tubes à rayons X et les instruments scientifiques. Sa résistance à l'empoisonnement et sa stabilité thermique améliorent encore son aptitude aux environnements exigeants, tels que les scénarios de vide poussé ou de rayonnement élevé.

1.1.2 Comparaison de la cathode chaude et de la cathode froide

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les sources d'émission d'électrons sont principalement divisées en deux catégories : la cathode chaude et la cathode froide, et il existe des différences significatives dans leurs principes de fonctionnement, leurs caractéristiques de performance et leurs scénarios d'application. Voici une comparaison détaillée :

- **Cathodes thermiques (telles que les cathodes de tungstène baryum)**

La cathode chaude chauffe le matériau à haute température, de sorte que les électrons obtiennent suffisamment d'énergie pour surmonter la barrière de surface et obtenir une émission thermoïonique. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- **Densité de courant de transmission élevée** : atteignant plusieurs ampères à des dizaines d'ampères par centimètre carré, adapté aux appareils de haute puissance tels que les tubes à micro-ondes et les tubes à rayons X.
- **Stabilité et processus matures** : Après près de cent ans de développement, la technologie de cathode thermique a des processus de fabrication matures et une cohérence de haute performance, et est largement utilisée dans l'industrie et la recherche scientifique.
- **Longue durée de vie** : les cathodes de tungstène au baryum peuvent fonctionner pendant des milliers à des dizaines de milliers d'heures dans les bonnes conditions, répondant à des exigences de fiabilité élevées. Les limites sont la nécessité d'un chauffage continu, entraînant une consommation d'énergie élevée, des températures élevées pouvant provoquer des contraintes thermiques ou un vieillissement des matériaux, et des exigences élevées pour un environnement sous vide (généralement 10^{-6} Pa ou moins) pour éviter la contamination des surfaces.

- **Cathodes froides (par exemple, cathodes d'émission de champ, cathodes de nanotubes de carbone)**

Les cathodes froides induisent une émission d'électrons à effet tunnel à travers de puissants champs électriques (généralement 10^7 - 10^9 V/m) sans fonctionnement à haute température.

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- **Faible consommation d'énergie** : Aucun chauffage n'est nécessaire, adapté aux appareils à faible consommation d'énergie tels que les appareils électroniques portables.
- **Réponse rapide** : L'émission d'électrons a un temps de réponse court (nanoseconde), ce qui la rend adaptée aux applications à haute fréquence ou pulsées.
- **Potentiel de miniaturisation** : Compact et adapté aux dispositifs miniaturisés tels que les écrans d'émission de champ ou les sources de micro-rayons X. Cependant, les cathodes froides ont une faible densité de courant d'émission (généralement au niveau mA/cm²), des exigences extrêmement élevées en matière d'uniformité du champ électrique et de propreté de surface, sont susceptibles d'être contaminées ou endommagées, ont un processus de fabrication complexe et un coût élevé.

Le tableau suivant résume les performances des cathodes chaudes par rapport aux cathodes froides (données basées sur des paramètres techniques courants) :

[COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)

Caractéristique	Cathodes thermiques (par exemple, cathodes en baryum-tungstène)	Cathode froide (par exemple, cathode d'émission de champ)
Comment ça marche :	Émission thermoionique (chauffée à haute température)	Effet tunnel d'électrons induit par le champ (champ électrique fort)
Fonction de travail (Ev)	1,1 à 1,5 (cathode de tungstène de baryum)	4 à 5 (typique)
Densité du courant d'émission	10 à 20 A/cm ²	0,01 à 1 A/cm ²
Température de fonctionnement	900 à 110850 °C	température ambiante
Durée de vie	Des dizaines de milliers d'heures	Des milliers d'heures (selon l'environnement)
Exigences en matière de vide	Élevée (10 ⁻⁶ Pa ou moins)	Extrêmement élevé (10 ⁻⁸ Pa ou moins)
Principaux avantages	Densité de courant élevée et longue durée de vie	Faible consommation d'énergie, réponse rapide
Principales limitations	Consommation d'énergie élevée et température élevée requise	Faible densité de courant et processus complexe
Applications typiques	Tubes à micro-ondes, tubes à rayons X	Affichage de l'émission de champ, source de micro-rayons X

Les cathodes chaudes, telles que les cathodes de tungstène baryum, dominent l'électronique sous vide haute puissance et longue durée, tandis que les cathodes froides sont mieux adaptées aux applications émergentes miniaturisées à faible consommation. Les deux se complètent dans différents scénarios et favorisent conjointement les progrès de la technologie des émissions électroniques.

1.1.3 Comparaison des cathodes de tungstène de baryum avec d'autres cathodes thermiques

Parmi la famille des cathodes thermiques, les cathodes en baryum et tungstène sont largement appréciées pour leurs excellentes propriétés globales. Voici une comparaison avec les types de cathodes thermiques courants (cathodes d'oxyde, cathodes de tungstène au thorium, cathodes de tungstène pur) :

- **Cathode d'oxyde**

La cathode d'oxyde est constituée d'oxyde de baryum (BaO), d'oxyde de strontium (SrO) et d'autres matériaux revêtus d'une matrice de nickel, avec une faible fonction de travail (environ 1 à 2 eV), une température de fonctionnement de 800 à 1000 °C et une densité de courant d'émission d'environ 1 à 5 A/cm². Son avantage est son faible coût et convient aux tubes à vide de faible puissance (comme les premières radios). Cependant, il a des exigences strictes pour les environnements sous vide (moins de 10⁻⁷ Pa), est sensible à la contamination par l'oxygène ou la vapeur d'eau entraînant une réduction des performances

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'émission, et a généralement une durée de vie de centaines à des milliers d'heures. En revanche, les cathodes de tungstène baryum ont une résistance au poison et une stabilité thermique plus fortes, ce qui les rend adaptées aux scénarios de puissance élevée et de longue durée.

- **Cathode en tungstène thorium**

La cathode de tungstène au thorium atteint une fonction de travail faible (environ 2,6 eV) en dotant l'oxyde de thorium (ThO_2) dans une matrice de tungstène, avec une température de fonctionnement de 1700 à 1900 °C et une densité de courant d'émission allant jusqu'à 5 à 10 A/cm², ce qui la rend adaptée aux applications à haute densité de courant telles que les tubes à micro-ondes haute puissance. Cependant, la radioactivité du thorium présente des risques potentiels pour l'homme et l'environnement, limitant son application dans les domaines médical et civil. Les cathodes de tungstène au baryum n'ont aucun risque radioactif, des températures de fonctionnement plus basses, une efficacité énergétique plus élevée et une durée de vie plus longue (jusqu'à des dizaines de milliers d'heures).

- **Cathodes en tungstène pur**

Les cathodes en tungstène pur sont constituées de fil de tungstène ou de feuille de tungstène, ont une fonction de travail élevée (environ 4,5 eV) et nécessitent des températures extrêmement élevées (2000-2500°C) pour atteindre un courant d'émission suffisant (environ 0,1-1 A/cm²). Ses avantages sont une forte stabilité chimique et adaptés aux environnements extrêmes (tels que le vide poussé ou la température élevée), mais sa consommation d'énergie élevée et sa faible efficacité d'émission rendent difficile de répondre aux besoins des appareils modernes à haute performance. La faible fonction de travail et la faible température de fonctionnement des cathodes de tungstène baryum leur permettent de surpasser les cathodes de tungstène pur dans tous les domaines en termes d'efficacité énergétique, de performances et de longévité.

La cathode de baryum et de tungstène est devenue le matériau de cathode thermique préféré dans les appareils électroniques sous vide modernes en raison de ses avantages de faible fonction de travail, d'efficacité d'émission élevée, de longue durée de vie et de non-radioactivité, et est largement utilisée dans les scénarios de haute fiabilité et de haute puissance.

1.2 Développement historique de la cathode de tungstène de baryum

1.2.1 Origine et évolution technique des cathodes de tungstène baryum

L'origine des cathodes de tungstène baryum remonte à l'essor de la technologie d'émission thermionique au début du 20e siècle. Au début des années 1900, les cathodes chaudes ont commencé à être appliquées aux premiers tubes à vide tels que les diodes et les triodes dans les communications radio. À cette époque, les cathodes en tungstène pur étaient largement utilisées en raison de leur point de fusion élevé et de leur stabilité chimique, mais leur fonction de travail élevée (environ 4,5 eV) et leur température de fonctionnement élevée limitaient l'efficacité des émissions et l'efficacité énergétique. Dans les années 20 et 30 du XXe siècle, l'émergence des cathodes d'oxyde a considérablement réduit la fonction de travail, mais leur sensibilité environnementale et leurs

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

défauts de courte durée de vie ont incité les chercheurs à explorer de meilleurs matériaux de cathodes thermiques.

Dans les années 1950, avec l'augmentation de la demande d'appareils électroniques sous vide tels que le radar, la communication par micro-ondes et les tubes télévisuels, la recherche et le développement de cathodes à faible consommation d'énergie et à longue durée de vie sont devenus un sujet brûlant. À la fin des années 1950, des scientifiques américains ont proposé pour la première fois le concept d'imprégnation de composés de baryum dans une matrice de tungstène poreuse et ont développé un premier prototype de cathode de tungstène de baryum. Cette cathode combine la grande stabilité de la matrice de tungstène avec les caractéristiques de faible fonction de travail des composés de baryum, améliorant considérablement les performances d'émission. Dans les années 1960, la technologie de préparation de la métallurgie des poudres de la matrice poreuse de tungstène et le processus d'imprégnation des composés de baryum ont progressivement mûri, et les cathodes de tungstène de baryum ont commencé à être utilisées commercialement dans les tubes à micro-ondes et les tubes à rayons X.

Dans les années 70 et 80 du 20e siècle, la technologie de la cathode de baryum et de tungstène est entrée dans une période de développement rapide. L'introduction de nouveaux composés tels que l'aluminate de baryum et de calcium optimise les propriétés d'émission, et la standardisation des processus d'activation améliore la cohérence de la production. Depuis les années 90 du 20e siècle, avec les progrès de l'aérospatiale, de l'imagerie médicale et des expériences de physique des hautes énergies, le champ d'application des cathodes de baryum et de tungstène s'est encore élargi. Au début du 21e siècle, l'introduction de la nanotechnologie, de nouvelles formulations de composés de baryum et de processus de fabrication intelligents a porté les performances et le potentiel d'application des cathodes de baryum tungstène à un nouveau niveau. Ces avancées technologiques ont conduit au développement de l'électronique du vide dans le sens d'une puissance élevée, d'une fréquence élevée et d'une longue durée de vie.

1.2.2 Principaux jalons et percées technologiques

Dans le développement des cathodes de baryum tungstène, plusieurs percées technologiques clés ont joué un rôle décisif dans l'amélioration de leurs performances et de leurs applications généralisées :

- **Percée dans la technologie des matrices de tungstène poreuses (années 1950-1960)**
Les progrès de la technologie de la métallurgie des poudres ont permis de préparer des matrices de tungstène à haute porosité. La structure poreuse augmente la capacité de stockage des composés de baryum par capillarité et favorise la diffusion du baryum réactif vers la surface, améliorant ainsi l'efficacité et la stabilité de l'émission. Cette percée a jeté les bases de la commercialisation des cathodes de baryum-tungstène.
- **Optimisation de la formulation de composés de baryum (années 1970) L'**
aluminate de baryum et de calcium (par exemple, $4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) est devenu une percée clé dans les cathodes de baryum tungstène. Ce composé se décompose lentement à

haute température et est capable de libérer en continu du baryum réactif, assurant une longue durée de vie de la cathode (des dizaines de milliers d'heures) et une émission stable (densité de courant de 10 à 20 A/cm²). La formule optimisée améliore également la résistance à l'empoisonnement et réduit l'impact de la contamination de surface.

- **Normalisation des procédés d'imprégnation et d'activation (années 1980)**

Le contrôle des paramètres d'imprégnation (par exemple, la concentration de la solution, le temps d'imprégnation, la température) et le processus d'activation du traitement thermique ont considérablement amélioré l'uniformité de la couche active et la cohérence des propriétés d'émission. Ce processus standardisé a favorisé la production industrielle de cathodes de baryum et de tungstène, ce qui les rend plus largement utilisées dans les tubes à micro-ondes, les tubes à rayons X et d'autres domaines.

- **L'introduction de la nanotechnologie (des années 2000 à aujourd'hui),**

l'exploration de la matrice de tungstène poreuse à l'échelle nanométrique et de la technologie de revêtement nanobarium a encore amélioré les performances d'émission. La structure nanoporeuse augmente la surface et améliore l'efficacité de diffusion des atomes de baryum. De nouvelles techniques de dopage, telles que l'ajout d'éléments de terres rares tels que le lanthane ou le cérium, optimisent la fonction de travail et la stabilité thermique. Ces technologies permettent aux cathodes de baryum et de tungstène de montrer un potentiel dans des applications émergentes telles que les générateurs d'ondes térahertz.

- **Fabrication et tests intelligents (des années 2010 à aujourd'hui) La**

fabrication moderne a introduit des équipements d'imprégnation automatisés et une technologie de surveillance en temps réel pour garantir la précision du processus de production. Des méthodes d'essai avancées (p. ex., analyse par microscopie électronique à balayage, mesure de la densité du courant d'émission) améliorent le contrôle de la qualité et réduisent les écarts de performance en production.

Ces percées technologiques ont non seulement amélioré les performances des cathodes de baryum tungstène, mais ont également favorisé l'application généralisée des dispositifs électroniques sous vide dans les domaines du radar, des communications, de la recherche médicale et scientifique.

1.3 Domaines d'application des cathodes de tungstène de baryum

1.3.1 Électronique du vide

La densité de courant d'émission élevée, la longue durée de vie et l'excellente stabilité des cathodes de baryum-tungstène en font les composants essentiels d'une variété de dispositifs électroniques sous vide, notamment :

- **Tubes à micro-ondes**

Les tubes à micro-ondes sont des appareils électroniques à haute fréquence et à haute puissance largement utilisés dans les radars, les communications et le chauffage industriel. Les cathodes de baryum et de tungstène jouent un rôle clé dans les tubes à micro-ondes suivants :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Magnétron** : Utilisé dans les radars militaires et civils (par exemple, les radars météorologiques, les radars de contrôle du trafic aérien) et les équipements de chauffage par micro-ondes (par exemple, les fours à micro-ondes industriels), sa densité de courant élevée (10-20 A/cm²) prend en charge une puissance de sortie élevée stable (jusqu'au niveau du mégawatt).
- **Tube à ondes progressives** : utilisé pour la communication par satellite, l'amplificateur de station de base au sol et la diffusion à haute fréquence, fournissant une amplification de signal à large bande et à gain élevé pour répondre aux exigences à haute fréquence des systèmes de communication modernes.
- **Tube Klystron** : utilisé pour les radars de haute puissance (tels que les systèmes de guidage de missiles) et les accélérateurs de particules (tels que les sources de rayonnement synchrotron), prenant en charge une puissance d'impulsion élevée (de centaines de kilowatts à mégawatts). La grande stabilité et la résistance au vieillissement des cathodes barium-tungstène garantissent un fonctionnement fiable de ces appareils dans des environnements exigeants et à haute fréquence.

- **Tubes à rayons X**

Les tubes à rayons X sont les composants essentiels de l'imagerie médicale et des contrôles non destructifs industriels. Les cathodes de tungstène au baryum fournissent un faisceau d'électrons stable et à haute luminosité qui prend en charge les applications suivantes :

- **Imagerie médicale** : tels que les scanners CT et les instruments de diagnostic à rayons X, leur efficacité d'émission élevée prend en charge l'imagerie haute résolution (résolution jusqu'au niveau submillimétrique) et le balayage rapide (résolution de deuxième niveau), améliorant ainsi la précision du diagnostic et l'expérience du patient.
- **Essais non destructifs industriels** : Utilisé pour détecter les fissures, la qualité des soudures et la corrosion des pipelines des composants aéronautiques afin d'assurer la sécurité industrielle et la qualité des produits. La longue durée de vie (des dizaines de milliers d'heures) et la consistance des cathodes de tungstène baryum réduisent les coûts de maintenance des équipements et améliorent l'efficacité opérationnelle.

- **Autres appareils à vide**

Les cathodes de tungstène au baryum sont également utilisées dans les tubes photomultiplicateurs (pour la détection de la lumière à haute sensibilité, comme les observations astronomiques et les expériences de physique nucléaire), les équipements de soudage par faisceau d'électrons (pour la fabrication de précision de composants aérospatiaux) et les vacuostats (pour le contrôle électronique des systèmes d'alimentation à haute tension). Ses hautes performances répondent aux exigences strictes de ces appareils pour les sources électroniques.

1.3.2 Utilisations spécifiques dans l'industrie et la recherche scientifique

Les cathodes de tungstène au baryum ont un large éventail d'applications dans la production industrielle et la recherche scientifique, notamment :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Microscopie électronique**

En microscopie électronique à balayage (MEB) et en microscopie électronique à transmission (MET), les cathodes barium-tungstène fournissent un faisceau d'électrons stable et à haute luminosité qui prend en charge la topographie de surface à résolution nanométrique et l'analyse de la structure interne. Sa densité de courant d'émission élevée et ses caractéristiques de faible bruit le rendent adapté à la science des matériaux (par exemple, l'analyse des matériaux de semi-conducteurs), à la biologie (par exemple, l'imagerie de la structure cellulaire) et à la recherche en nanotechnologie.

- **Spectromètre de masse**

En tant que composant clé d'une source d'ions à haute sensibilité, la cathode de baryum et de tungstène joue un rôle important dans la surveillance de l'environnement (comme la détection des composés organiques volatils dans l'air), le développement de médicaments (comme l'identification des métabolites) et la recherche géologique (comme l'analyse des rapports isotopiques). Son efficacité d'émission élevée améliore la sensibilité de détection du spectromètre de masse (jusqu'au niveau ppb).

- **Équipement d'analyse de surface**

- Dans le spectromètre d'électrons Auger (AES), le spectromètre de photoélectrons à rayons X (XPS) et le spectromètre de masse d'ions secondaires (SIMS), la cathode de baryum-tungstène fournit un flux d'électrons stable pour une analyse précise de la composition chimique et de la structure électronique de la surface du matériau. Ces technologies sont largement utilisées dans le développement de nouveaux matériaux (tels que les alliages haute performance, les films semi-conducteurs) et l'ingénierie de surface (comme l'optimisation des performances des revêtements).

- **Systèmes radar et de communication**

Les cathodes de baryum et de tungstène fournissent des sources d'électrons de haute puissance dans les radars militaires (tels que les systèmes de guidage de missiles), les radars civils (tels que le contrôle du trafic aérien) et les équipements de communication (tels que les amplificateurs satellites, les stations de base 5G), prenant en charge la transmission de signaux longue distance et les capacités anti-interférence. Sa grande fiabilité et sa longue durée de vie réduisent les coûts de maintenance du système et répondent aux exigences de haute performance des systèmes de communication modernes.

- **Chauffage et traitement industriels**

Dans les équipements de fusion par faisceau d'électrons, de modification de surface des faisceaux d'électrons et de traitement thermique sous vide, les cathodes de tungstène au baryum fournissent des faisceaux d'électrons à haute énergie pour la purification des métaux (par exemple, la production d'alliages de titane), la préparation des alliages et la cémentation (par exemple, les aubes de turbines d'aviation), améliorant considérablement les propriétés des matériaux et l'efficacité industrielle.

1.3.3 Potentiel intersectoriel

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Avec le développement rapide de la science et de la technologie, le potentiel d'application des cathodes de baryum-tungstène s'étend à des domaines émergents et interdisciplinaires, montrant des perspectives prometteuses :

- **Nouvelle technologie énergétique**

Dans les propulseurs ioniques, la cathode de baryum et de tungstène sert de source d'électrons à courant élevé pour soutenir le développement de systèmes de micropoussée d'engins spatiaux. Les propulseurs ioniques sont des sources d'énergie idéales pour l'exploration de l'espace lointain (par exemple, le rover martien, les missions interstellaires) grâce à leur impulsion spécifique élevée (jusqu'à 3000 à 9000 secondes) et à leur faible consommation de carburant. La grande stabilité et la longue durée de vie des cathodes de tungstène baryum répondent aux exigences élevées de l'environnement spatial.

- **Technologie d'ondes térahertz**

Les ondes térahertz (0,1 à 10 THz) offrent des avantages uniques en matière d'imagerie, de communication et d'analyse spectrale. La cathode de baryum et de tungstène fournit une source d'électrons de haute puissance dans un générateur d'ondes térahertz sous vide qui prend en charge l'imagerie térahertz (pour le contrôle de sécurité, la détection précoce du cancer) et la communication à haut débit (réseaux 6G de nouvelle génération). Son efficacité d'émission élevée et sa stabilité offrent la possibilité de commercialiser la technologie térahertz.

- **Expériences de physique des hautes énergies**

Dans les accélérateurs de particules (comme le LHC du CERN) et les sources de rayonnement synchrotron, les cathodes de baryum-tungstène fournissent une source d'électrons à courant élevé pour générer des faisceaux de particules de haute énergie et explorer les propriétés et la structure des particules élémentaires. Son efficacité d'émission élevée et sa stabilité permettent des essais expérimentaux longs et de haute intensité.

- **Applications biomédicales**

Grâce à l'analyse par spectrométrie de masse de haute précision, les cathodes de baryum et de tungstène peuvent être utilisées comme source d'ions pour la détection moléculaire dans le diagnostic des maladies, comme l'analyse des marqueurs du cancer et les études métaboliques. Sa sensibilité et sa fiabilité élevées ont conduit au développement de la médecine de précision. De plus, l'application de la cathode de baryum et de tungstène dans les équipements de stérilisation par faisceau d'électrons fournit une solution efficace pour la stérilisation des dispositifs médicaux.

- **Technologie quantique**

L'application potentielle des cathodes de baryum-tungstène dans l'informatique quantique et les équipements de communication quantique est à l'étude. Sa grande stabilité et ses caractéristiques de faible fonction de travail peuvent être utilisées pour développer des sources d'électrons de haute précision afin de soutenir la manipulation de bits quantiques et la détection d'états quantiques. La recherche interdisciplinaire (comme la combinaison de matériaux quantiques et de la technologie de l'électronique du vide) peut apporter de nouvelles percées dans la technologie quantique.

- **Énergie verte et protection de l'environnement**

[COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)

L'application de la cathode de baryum et de tungstène dans les générateurs de plasma permet de traiter efficacement les gaz d'échappement et de purifier l'eau, comme la dégradation par plasma des polluants organiques par induction de faisceaux d'électrons. De plus, ses applications potentielles dans la recherche sur la fusion nucléaire, telles que les systèmes de chauffage par faisceaux d'électrons pour les dispositifs tokamaks, offrent des possibilités de développement d'énergies propres.

En résumé, les cathodes baryum-tungstène, avec leurs excellentes performances et leur grande adaptabilité, occupent non seulement une position centrale dans les dispositifs électroniques sous vide traditionnels, mais montrent également un grand potentiel dans des domaines émergents tels que les nouvelles énergies, la technologie térahertz, la technologie quantique et la biomédecine. Ce chapitre fournit aux lecteurs un cadre clair de connaissances à travers la définition des cathodes de baryum-tungstène, des comparaisons avec d'autres cathodes, des développements historiques et des introductions complètes aux domaines d'application. Les chapitres suivants approfondiront la science des matériaux, les principes de fonctionnement, les processus de fabrication et les stratégies d'optimisation des performances, offrant aux lecteurs une perspective technique plus complète et plus approfondie.



Chapitre 2 : Science des matériaux des cathodes de baryum et de tungstène

L'excellence des cathodes de tungstène baryum provient de la composition méticuleuse de leurs matériaux, de leurs processus de préparation précis et de l'interaction entre la microstructure complexe et les performances. En tant que matériau d'émission thermoïonique efficace, l'effet synergique de la matrice de tungstène poreuse de la cathode de tungstène de baryum et du composé de baryum permet d'obtenir une fonction de travail faible, une densité de courant d'émission élevée et une excellente stabilité thermique, ce qui en fait une position centrale dans les dispositifs électroniques sous vide. Ce chapitre se penche sur les bases de la science des matériaux des cathodes de tungstène de baryum, analyse en détail l'impact de leur composition matérielle, de leur processus de préparation et de leur microstructure sur les performances, couvrant les propriétés chimiques et physiques des matrices de tungstène poreuses, l'optimisation des ratios de composés de baryum, le

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rôle des additifs, les technologies clés dans le processus de préparation et la relation entre la microstructure et les propriétés d'émission.

2.1 Composition matérielle de la cathode de tungstène de baryum

2.1.1 Propriétés chimiques et physiques de la matrice de tungstène poreuse

La matrice de tungstène poreuse est la structure centrale de la cathode de tungstène de baryum, et ses propriétés chimiques et physiques déterminent directement la stabilité thermique, la résistance mécanique et l'efficacité d'émission d'électrons de la cathode. La matrice de tungstène poreuse est préparée par la technologie de la métallurgie des poudres à l'aide de tungstène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$), avec une porosité et une taille de pores appropriées. Cette structure poreuse fournit non seulement de l'espace pour le stockage des composés de baryum, mais facilite également la diffusion d'atomes de baryum actifs par capillarité, ce qui entraîne la formation d'une couche de fonction à faible travail à la surface de la cathode. Voici les principales propriétés chimiques et physiques de la matrice de tungstène poreuse :

- **Stabilité chimique** : La grande inertie chimique du tungstène le rend très résistant à l'oxygène, à la vapeur d'eau et aux gaz résiduels dans des environnements sous vide poussé (10^{-6} Pa ou moins). Cette stabilité réduit efficacement le risque d'oxydation de surface ou d'empoisonnement et prolonge la durée de vie de la cathode. De plus, le tungstène a une faible réactivité chimique aux composés barytés, évitant ainsi les interactions indésirables entre la matrice et la substance active.
- **Propriétés physiques** : Le point de fusion élevé du tungstène (environ $3422\text{ }^{\circ}\text{C}$) lui permet de résister aux températures de fonctionnement typiques ($900\text{--}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$) des cathodes de baryum-tungstène sans dégradation structurelle ni déformation. Une densité élevée (environ $19,25\text{ g/cm}^3$) et une résistance mécanique élevée (résistance à la traction d'environ $700\text{ à }1000\text{ MPa}$) assurent la stabilité de la matrice dans des environnements à haute température et à forte contrainte. L'action capillaire de la structure poreuse améliore la capacité d'adsorption des composés de baryum, et le réseau de pores fournit un canal efficace pour la diffusion d'atomes de baryum actifs à la surface.
- **Conductivité thermique et électrique** : La conductivité thermique élevée du tungstène (environ $173\text{ W/m}\cdot\text{K}$) assure une distribution uniforme de la chaleur pendant le processus de travail, réduisant ainsi la dégradation des matériaux causée par la surchauffe locale. La conductivité élevée (environ $1,82\times 10^7\text{ S/m}$) permet une transmission électronique efficace, ce qui la rend adaptée aux besoins des appareils électroniques de haute puissance.
- **Propriétés des pores** : La porosité et la distribution de la taille des pores sont des paramètres clés pour la matrice de tungstène poreuse. La porosité de $20\text{ à }30\%$ équilibre la capacité de stockage et la résistance mécanique des composés de baryum, et la plage de taille des pores de $1\text{ à }10\text{ }\mu\text{m}$ garantit l'efficacité de l'action capillaire. Les pores doivent former un réseau connecté pour soutenir la diffusion continue des atomes de baryum.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La porosité et la distribution de la taille des pores de la matrice de tungstène poreuse doivent être contrôlées par un processus de préparation précis, une porosité trop élevée peut entraîner une résistance mécanique insuffisante, et une porosité trop faible limitera l'efficacité de stockage et de diffusion des composés de baryum et affectera les performances d'émission. La microstructure de la matrice est généralement analysée par microscopie électronique à balayage (MEB) ou tomographie à rayons X (X-CT) pour assurer l'uniformité et la cohérence des pores.

2.1.2 Propriétés et ratios des composés de baryum (tels que l'aluminate de baryum et de calcium)

Les composés de baryum sont les composants clés de la cathode de tungstène de baryum pour obtenir une fonction de travail faible et une efficacité d'émission élevée, et les composés de baryum couramment utilisés sont l'aluminate de baryum et de calcium (tel que $4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, abrégé en rapport 4:1:1). Ces composés libèrent des atomes de baryum libres par décomposition thermique à haute température (900-1100°C) et diffusent à la surface de la matrice poreuse de tungstène, formant une couche de faible fonction de travail (fonction de travail d'environ 1,1-1,5 eV), ce qui réduit considérablement l'énergie nécessaire à l'échappement des électrons. Voici les principales propriétés et l'optimisation du rapport des composés de baryum :

- **Propriétés chimiques** : L'aluminate de baryum et de calcium se décompose à haute température par les réactions suivantes :



Les atomes de baryum libres libérés sont adsorbés à la surface de la matrice de tungstène, formant une seule couche atomique ou un film mince, réduisant la fonction de travail. Les sous-produits générés (par exemple, CaO, Al_2O_3) ont une grande stabilité chimique et n'interfèrent pas avec les performances d'émission. Le taux de décomposition du composé doit être modéré pour assurer un approvisionnement continu en baryum pendant le fonctionnement à long terme tout en évitant la perte de couche active due à une évaporation excessive.

- **Propriétés physiques** : Le point de fusion de l'aluminate de baryum et de calcium est supérieur à la température de fonctionnement de la cathode, empêchant la fusion prématurée ou la volatilisation. La taille des particules du composé doit correspondre à la taille des pores de la matrice de tungstène pour assurer une imprégnation uniforme et une diffusion efficace. Le coefficient de dilatation thermique du composé est différent de celui de la matrice de tungstène, et la contrainte thermique doit être réduite grâce à l'optimisation du processus.
- **Optimisation du rapport** : rapport 4:1:1 ($4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) est standard dans les applications industrielles car il équilibre le taux de libération de baryum, la stabilité chimique et la résistance à la toxicité. D'autres configurations incluent 5:3:2 ($5\text{BaO} \cdot 3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$) ou 6:1:2 ($6\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$) est également exploré dans des scénarios spécifiques. Par exemple, le rapport de 5:3:2 peut améliorer la capacité anti-empoisonnement et convient aux environnements à forte teneur en gaz résiduels ; Le rapport 6:1:2 augmente le taux de libération de baryum, ce qui convient aux besoins de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

densité de courant élevée mais peut réduire la durée de vie. La sélection du rapport doit être optimisée en fonction du scénario d'application, tel que les tubes à micro-ondes haute puissance ou les tubes à rayons X à longue durée de vie.

- **Adaptabilité environnementale** : Les composés de baryum sont sensibles à l'oxygène et à la vapeur d'eau et doivent être stockés et manipulés dans un environnement sous vide poussé pour éviter la dégradation due à l'oxydation ou à l'hydratation.

Le rapport et les caractéristiques des particules des composés de baryum affectent directement l'efficacité de formation de la couche active et la stabilité à long terme de la cathode, et doivent être optimisés expérimentalement pour répondre aux besoins de différentes applications.

2.1.3 Effet des additifs sur le rendement en matière d'émissions

Afin d'améliorer encore l'efficacité d'émission, la stabilité thermique et la capacité anti-intoxication des cathodes de baryum-tungstène, des additifs sont souvent introduits dans les composés de baryum ou les matrices de tungstène. Voici les additifs courants et leurs effets :

- **Oxydes de terres rares (p. ex., La_2O_3 , CeO_2)** : Les éléments de terres rares améliorent l'efficacité des émissions en réduisant la fonction de travail (jusqu'à 1,0 eV ou moins) tout en améliorant la stabilité thermique de la couche active. Par exemple, le dopage avec 0,5 à 2 % en poids de La_2O_3 réduit considérablement la fonction de travail et améliore la résistance à l'oxydation, ce qui le rend adapté aux applications à haute puissance. Le CeO_2 améliore la dureté de la surface et réduit l'usure mécanique.
- **Composés de calcium (Ca) ou de strontium (Sr)** : contrôlent le taux de décomposition des composés de baryum en ajustant le rapport de CaO ou de SrO et prolongent la durée de vie de la cathode. Par exemple, l'augmentation du rapport CaO (à un rapport de 2:1:1) peut ralentir le taux de libération de baryum, ce qui convient aux applications à longue durée de vie telles que les dispositifs de communication par satellite, mais peut réduire légèrement la densité du courant d'émission.
- **Additifs métalliques (par exemple, Os, Ir)** : L'enrobage d'une fine couche d'osmium (Os) ou d'iridium (Ir) (d'environ 0,1 à 1 μm d'épaisseur) sur la surface de la matrice de tungstène peut améliorer la catalyse de la surface, favorisant la diffusion des atomes de baryum et la formation de couches actives. Les revêtements OS peuvent réduire la fonction de travail à environ 1,0 eV, mais le coût est plus élevé et il y a un compromis entre l'économie.
- **Additifs de silicate ou de borate** : Améliorent la résistance à l'empoisonnement en formant une couche protectrice et réduisent les effets de la pollution par l'oxygène ou le carbone. Cependant, un excès de silicate peut augmenter la fonction de travail, et le rapport d'ajout (généralement < 1 % en poids) doit être contrôlé.
- **Autres additifs** : tels que l'oxyde d'yttrium (Y_2O_3) ou la zircone (ZrO_2), qui améliorent la stabilité thermique et la résistance mécanique, adaptés aux applications en environnement extrême (telles que l'électronique spatiale).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le type et le rapport d'additifs doivent être optimisés avec précision par des expériences, et un ajout excessif peut entraîner des couches actives inégales ou des réactions secondaires, réduisant ainsi les performances d'émission. Le choix des additifs doit être conçu pour des scénarios d'application spécifiques, tels qu'une densité de courant élevée, une longue durée de vie ou des besoins anti-empoisonnement.

2.2 Processus de préparation de la cathode de tungstène de baryum

2.2.1 Préparation d'une matrice de tungstène poreuse : métallurgie des poudres et contrôle des pores

La préparation d'une matrice de tungstène poreuse est une étape essentielle de la fabrication de cathodes de tungstène de baryum, à l'aide de la technologie de la métallurgie des poudres, et le processus comprend le criblage de poudre, le moulage par pressage, le frittage et le contrôle des pores. Voici les étapes détaillées :

- **Criblage de poudre de tungstène** : Sélectionnez [de la poudre de tungstène de haute pureté](#) (pureté $\geq 99,95\%$, taille des particules de 1 à 10 μm) pour garantir la stabilité chimique et l'uniformité de la matrice. La distribution granulométrique a un impact direct sur la structure des pores et doit être optimisée par le criblage des vibrations ou la technologie de classification du flux d'air. Des particules de plus petite taille (1 à 3 μm) augmentent la porosité mais peuvent réduire la résistance mécanique ; Des particules de plus grande taille (5 à 10 μm) améliorent la résistance mais réduisent la porosité.
- **Pressage** : La poudre de tungstène est placée dans un moule et pressée sous haute pression (100 à 500 MPa) pour former des ébauches, généralement cylindriques (5 à 20 mm de diamètre) ou en feuille (1 à 5 mm d'épaisseur). Le processus de pressage nécessite le contrôle de la pression, de la conception du moule et de l'utilisation de lubrifiant pour obtenir une structure initiale uniforme des pores. Les techniques de pressage bidirectionnel ou de pressage isostatique améliorent l'uniformité de la densité des billettes.
- **Procédé de frittage** : Le frittage à haute température (2000-2500°C) sous vide (10^{-4} - 10^{-6} Pa) ou sous atmosphère d'hydrogène permet aux particules de tungstène de se combiner par diffusion pour former une structure poreuse. Le temps de frittage (1 à 4 heures) et la température doivent être contrôlés avec précision, une température trop élevée peut entraîner un effondrement des pores et une température trop basse affectera la force d'adhérence des particules. L'atmosphère d'hydrogène réduit les impuretés d'oxyde et améliore la pureté de la matrice.
- **Contrôle de la porosité** : Contrôlez la porosité et la taille des pores en ajoutant des charges temporaires (par exemple, de l'amidon, du polyméthacrylate de méthyle) ou en ajustant la distribution granulométrique de la poudre de tungstène. La charge se volatilise pendant le processus de frittage, créant un réseau de pores uniforme. Les tests de porosité montrent qu'une porosité de 20 à 30 % équilibre la résistance mécanique avec la capacité de stockage du composé de baryum.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La qualité de la matrice de tungstène poreuse affecte directement le processus d'imprégnation ultérieur et les performances de la cathode, et la cohérence de la structure des pores doit être vérifiée par MEB, X-CT ou analyse de surface spécifique (BET). La matrice optimisée doit avoir une distribution uniforme des pores, une résistance mécanique élevée (résistance à la compression >500 MPa) et une taille de pores appropriée (1-10 µm).

2.2.3 Procédé d'imprégnation des composés de baryum : paramètres de préparation de la solution et d'imprégnation

Le processus d'imprégnation des composés de baryum est une étape clé dans l'introduction uniforme de composés de baryum dans des substrats de tungstène poreux, ce qui affecte directement l'efficacité de formation et les propriétés d'émission de la couche active. Le processus comprend la préparation de la solution, l'imprégnation, le séchage et le traitement thermique comme suit :

- **Préparation de la solution** : L'aluminate de baryum et de calcium (tel que le $4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) est mélangé à de l'eau désionisée ou à un solvant organique tel que l'éthanol pour former une suspension ou une solution. La viscosité et la dispersion des particules de la solution doivent être optimisées par agitation ou sonication pour assurer une pénétration uniforme dans les pores. L'ajout d'une petite quantité de tensioactif, comme l'alcool polyvinylique, améliore la mouillabilité de la solution.
- **Procédé d'imprégnation** : La matrice poreuse de tungstène est immergée dans une solution de composé de baryum, en utilisant des techniques d'imprégnation sous vide (10^{-2} – 10^{-4} Pa) ou d'imprégnation sous pression (0,1–1 MPa) pour faciliter la pénétration de la solution dans les pores. L'imprégnation sous vide élimine l'air des pores et améliore l'efficacité du remplissage ; L'imprégnation sous pression augmente la profondeur de pénétration de la solution. Des conditions telles que la température et le temps d'imprégnation doivent être optimisées en fonction de la porosité de la matrice et de la concentration de la solution, et un temps de trempage trop long peut entraîner un colmatage des pores.
- **Séchage et traitement thermique** : Le substrat imprégné est séché à basse température (100-300°C) pour éliminer les solvants et éviter d'endommager la structure des pores. S'ensuit un traitement thermique à haute température (1000-1200°C) sous vide ou sous atmosphère inerte pour durcir le composé de baryum et former une première couche active. Le traitement thermique doit être chauffé étape par étape pour éviter que le stress thermique ne provoque la fissuration de la matrice.

Les paramètres du processus d'imprégnation ont un impact significatif sur l'uniformité et les propriétés d'émission de la couche active. Par exemple, une concentration de solution trop élevée peut entraîner l'accumulation de composés de baryum à la surface, réduisant ainsi l'uniformité de l'émission ; Des températures de traitement thermique trop élevées peuvent accélérer l'évaporation du baryum et raccourcir sa durée de vie. L'optimisation des procédés nécessite une validation expérimentale (par exemple, observation MEB ou tests d'émission) pour assurer une distribution uniforme des composés de baryum et des couches actives stables.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.3 Microstructure et propriétés des cathodes de baryum et de tungstène

2.3.1 Analyse de la porosité et de la structure d'une matrice de tungstène poreuse

La microstructure de la matrice poreuse de tungstène est à la base des performances de la cathode du tungstène de baryum, et sa porosité, la distribution de la taille des pores et sa connectivité affectent directement les propriétés de stockage, de diffusion et d'émission des composés de baryum. Voici les principales caractéristiques structurelles et les méthodes d'analyse :

- **Porosité** : La porosité typique est contrôlée à 20-30 % pour équilibrer la capacité de stockage du composé de baryum avec sa résistance mécanique. Une porosité élevée peut entraîner une résistance insuffisante de la matrice et une déformation facile à des températures élevées. S'il est trop faible, le taux de libération de baryum sera limité et la densité du courant d'émission sera réduite. L'intrusion de mercure ou l'adsorption de gaz (BET) est couramment utilisée pour mesurer avec précision la porosité.
- **Structure des pores** : Les pores doivent former un réseau tridimensionnel pour assurer une diffusion efficace des atomes de baryum à la surface par capillarité. La distribution de la taille des pores doit être uniforme, une taille de pores trop grande peut entraîner une distribution inégale des composés de baryum, et une taille de pores trop petite limitera l'efficacité de la diffusion. La tomographie à rayons X (X-CT) reconstruit la structure tridimensionnelle des pores et vérifie la connectivité.
- **Analyse structurelle** : La microscopie électronique à balayage (MEB) est utilisée pour observer la morphologie des pores et les propriétés de surface, et l'analyse de surface spécifique (BET) est utilisée pour mesurer la surface des pores. La spectroscopie à dispersion d'énergie (EDS) analyse la distribution des impuretés dans les matrices de tungstène pour garantir une grande pureté. L'uniformité et la connectivité de la structure des pores sont essentielles à la stabilité à long terme de la cathode.

L'optimisation de la structure des pores doit être obtenue en ajustant la taille des particules, la pression de pression et les paramètres de frittage de la poudre de tungstène. Les résultats de l'analyse structurelle doivent être combinés avec le test de performance des émissions pour vérifier l'effet de la conception des pores.

2.3.2 Relation entre la morphologie de surface et les performances d'émission de la couche de baryum actif

La couche active de baryum est au cœur des performances d'émission de la cathode de baryum-tungstène, et sa morphologie de surface détermine directement la fonction de travail, la densité du courant d'émission et l'uniformité de l'émission. Voici les principales caractéristiques et leur lien avec les performances :

- **Morphologie de surface** : La couche active est constituée d'une seule couche atomique ou d'un film mince formé d'atomes de baryum et de leurs oxydes à la surface d'une matrice de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungstène. La couche active idéale doit être uniforme, continue avec une faible rugosité de surface pour assurer l'uniformité de l'émission d'électrons et les caractéristiques de faible bruit. La microscopie électronique à balayage (MEB) et la microscopie à force atomique (AFM) sont couramment utilisées pour analyser la topographie de surface et vérifier la planéité et la couverture des couches actives.

- **Fonction de travail** : La formation de la couche active réduit la fonction de travail de 4,5 eV à 1,1-1,5 eV pour le tungstène pur, augmentant ainsi considérablement la densité du courant de transmission. L'uniformité de la fonction de travail dépend du taux de diffusion et de la couverture de surface des atomes de baryum, et une couverture insuffisante (<80 %) peut conduire à des régions locales à fonction de travail élevé, réduisant l'efficacité de l'émission.
- **Performance d'émission** : La couche active uniforme permet une densité de courant de transmission élevée et une faible émission sonore, répondant aux besoins des tubes à micro-ondes ou des tubes à rayons X de haute puissance. Les défauts de surface (par exemple, les fissures, l'accumulation de particules) peuvent déclencher des arcs électriques localisés ou des émissions inégales, réduisant ainsi les performances. Les performances d'émission sont généralement évaluées par des tests d'émission thermioniques.
- **Facteurs d'influence** : Les performances de la couche active sont affectées par les facteurs suivants :
 - **Température de fonctionnement** : Une température excessive accélère l'évaporation du baryum, ce qui entraîne la perte de la couche active et raccourcit la durée de vie. Une température trop basse limite la diffusion du baryum et réduit l'efficacité de l'émission.
 - **Environnement sous vide** : Un vide faible ($>10^{-6}$ Pa) peut provoquer une oxydation ou une contamination de surface, augmentant ainsi la fonction de travail.
 - **Contamination de surface** : L'oxygène, la vapeur d'eau ou les composés carbonés peuvent réagir avec le baryum pour former des composés à haute fonction (tels que le BaO_2), réduisant ainsi les performances d'émission.
 - **Processus de traitement thermique** : L'activation étape par étape crée une couche active uniforme, optimisant les performances d'émission.

En optimisant le processus d'imprégnation, les paramètres de traitement thermique et la formulation des additifs, une couche active uniforme et stable peut être formée, améliorant les performances d'émission et la durée de vie des cathodes de tungstène baryum. La corrélation entre la topographie de surface et les performances d'émission doit être analysée de manière exhaustive par MEB, AFM et tests d'émission pour guider l'amélioration des processus.

En résumé, la science des matériaux des cathodes de baryum-tungstène implique l'interaction complexe de matrices poreuses de tungstène, de composés de baryum et d'additifs, et son processus de préparation et sa microstructure ont un impact décisif sur les performances d'émission et la durée de vie. Grâce à une analyse complète de la composition des matériaux, du processus de préparation et de la microstructure, ce chapitre jette une base solide pour une discussion ultérieure sur les principes de fonctionnement, la technologie de fabrication et l'optimisation des performances.

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



Chapitre 3 : Principe de fonctionnement et mécanisme de lancement

En tant que matériau d'émission thermoïonique très efficace, la cathode de baryum et de tungstène est dérivée de son principe de fonctionnement unique et de son mécanisme d'émission. Ce chapitre se penche sur la théorie de l'émission thermionique, les caractéristiques d'émission et divers facteurs qui influencent les performances des cathodes de baryum-tungstène. Basé sur le principe de base de l'émission thermionique, combiné à l'équation de Richardson-Dushman, à l'effet Schottky et à la perspective de la mécanique quantique, cet article analyse le mécanisme de formation de la fonction de faible travail de la cathode de tungstène de baryum, le comportement dynamique de la couche active et sa stabilité thermique, et développe les effets de l'environnement de travail, du vieillissement et des effets d'empoisonnement. et le mode de défaillance sur les performances en matière d'émissions.

3.1 Théorie de l'émission thermionique

L'émission thermionique est le principe de fonctionnement de base de la cathode de tungstène de baryum, qui fait référence au processus de chauffage du matériau pour obtenir suffisamment d'énergie pour que les électrons franchissent la barrière de surface et s'échappent dans le vide. Cette section analyse le mécanisme d'émission de la cathode de baryum tungstène du point de vue de la théorie classique de l'émission thermionique, combinée à l'équation de Richardson-Dushman, à l'effet Schottky et à la mécanique quantique.

3.1.1 Équation de Richardson-Dushman

L'équation de Richardson-Dushman est un modèle théorique de base décrivant l'émission thermionique, qui exprime la relation entre la densité du courant d'émission et la température et la fonction de travail. Pour une cathode de baryum-tungstène, sa densité de courant d'émission (J) peut être décrite par l'équation suivante :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

Y compris :

- (J) : Densité de courant d'émission (unité : A/cm²) ;
- (A) : Constante de Richardson (la valeur théorique est de 120,4 A/cm²· K², la valeur réelle varie en fonction des propriétés de surface du matériau, généralement 50–100 A/cm²· K²) ;
- (T) : Température absolue (unité : K, la température de fonctionnement typique de la cathode de baryum-tungstène est de 1173–1373 K, c'est-à-dire 900–1100°C) ;
- (exp) : fonction exponentielle.
- (φ) : fonction de travail (unité : eV, cathode de baryum-tungstène d'environ 1,1 à 1,5 eV) ;
- (k) : Constante de Boltzmann (8,617×10⁻⁵ eV/K).

Dans les cathodes de baryum-tungstène, la fonction de travail faible (1,1-1,5 eV) augmente considérablement le terme exponentiel, ce qui entraîne une densité de courant d'émission de 10 à 20 A/cm² à des températures plus basses, bien supérieure à celle des cathodes de tungstène pur (environ 4,5 eV et une densité de courant d'environ 0,1-1 A/cm²). La valeur réelle de la constante de Richardson est affectée par l'état de surface, la couverture de la couche active de baryum et la microstructure, et doit être mesurée expérimentalement, par exemple à l'aide d'un équipement d'essai d'émission thermoïonique dans un environnement sous vide poussé. L'application d'équations prend en compte les conditions de fonctionnement réelles, telles que l'uniformité de la température et l'environnement de vide, afin d'assurer la précision de la prédiction.

3.1.2 Effet Schottky et émission améliorée par le champ

L'effet Schottky fait référence au phénomène selon lequel la barrière de surface du matériau est réduite sous l'action d'un champ électrique externe, ce qui entraîne une augmentation de l'émission thermoïonique. Dans les cathodes de tungstène baryum, l'effet Schottky est décrit par la fonction de travail modifiée suivante :

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

Y compris :

- (φ_{eff}) : la fonction de travail effective (unité : eV), qui représente la fonction de travail après avoir été réduite sous l'action d'un champ électrique appliqué ;
- (φ) : Fonction de travail d'origine (unité : eV) ;
- (e) : puissance électronique (1,602×10⁻¹⁹ C) ;
- (E) : Intensité du champ électrique appliqué (unité : V/m) ;
- (ε₀) : Constante diélectrique du vide (8,854×10⁻¹² F/m).

Dans des conditions de champ électrique élevé (par exemple, 10⁷–10⁸ V/m, que l'on trouve couramment dans les tubes à micro-ondes ou les tubes à rayons X), la réduction de la fonction de travail peut augmenter considérablement la densité du courant transmis. L'effet Schottky est

[COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)

particulièrement important pour les appareils de haute puissance, car il permet une sortie de courant élevée à des températures plus basses, réduisant ainsi la consommation d'énergie et le stress thermique. Dans les applications pratiques, l'uniformité du champ électrique doit être optimisée par la conception d'électrodes (par exemple, l'utilisation d'électrodes circulaires lisses) pour éviter les arcs électriques causés par des champs électriques locaux excessifs et les dommages à la surface de la cathode.

3.1.3 Perspective de la mécanique quantique

Dans des conditions extrêmes, les effets de la mécanique quantique (tels que l'effet tunnel) ont un certain impact sur le comportement d'émission des cathodes de baryum-tungstène. L'effet tunnel fait référence à la fuite des électrons dans le vide par effet tunnel quantique sans surmonter complètement la barrière de surface. La probabilité d'effet tunnel est décrite par l'équation de Fowler-Nordheim :

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

Y compris :

- (J) : densité de courant à effet tunnel (unité : A/cm²), qui représente l'intensité du flux d'électrons par unité de surface ;
- (A'), (B) : constante (liée au matériau et à la géométrie, les valeurs typiques sont 1,54×10⁻⁶ A·eV/V² et 6,83×10⁹ V/m·eV^{-3/2}) ;
- (E) : Intensité du champ électrique (unité : V/m) ;
- (φ) : Fonction de travail (unité : eV).

Dans les cathodes baryum-tungstène, les effets tunnel sont généralement significatifs à des champs électriques très élevés, comme dans les dispositifs à micro-ondes améliorés ou les générateurs d'ondes térahertz. La fonction de travail faible réduit la barrière de creusement de tunnel et améliore la probabilité de tunnel. Cependant, étant donné que la cathode de tungstène de baryum repose principalement sur l'émission thermionique, l'effet tunnel a une faible contribution et ne doit être pris en compte que dans des scénarios spécifiques d'intensité de champ élevée. La perspective de la mécanique quantique complète la compréhension des mécanismes d'émission complexes et aide à optimiser la conception des cathodes, comme l'amélioration de l'effet d'amélioration local du champ électrique en ajustant la topographie de la surface (par exemple, les protubérances à l'échelle nanométrique).

3.2 Caractéristiques d'émission des cathodes de tungstène de baryum

3.2.1 Mécanisme de formation d'une fonction de faible puissance

La fonction de faible travail (1,1 à 1,5 eV) de la cathode de baryum-tungstène est au cœur de son efficacité d'émission élevée, qui est due à la diffusion et à l'action de surface des atomes de baryum dans la matrice poreuse de tungstène. Voici une analyse détaillée du mécanisme de formation :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Diffusion des atomes de baryum** : À la température de fonctionnement, l'aluminate de baryum et de calcium (par exemple $4BaO \cdot CaO \cdot Al_2O_3$) libère des atomes de baryum libres par une réaction de décomposition thermique :



ces atomes diffusent vers la surface à travers un réseau de pores de matrice de tungstène poreuse, avec un coefficient de diffusion d'environ 10^{-12} – 10^{-10} m²/s, ce qui est suffisant pour former une couverture de surface uniforme en quelques secondes. La connectivité des pores et la porosité (20 à 30 %) sont essentielles pour l'efficacité de la diffusion et doivent être optimisées par les procédés de métallurgie des poudres.

- **Action de surface** : Les atomes de baryum sont adsorbés à la surface de la matrice de tungstène pour former une seule couche atomique ou un film mince. La faible électronégativité du baryum et l'électronégativité élevée du tungstène forment une couche dipolaire de surface, ce qui réduit la barrière de surface et réduit la fonction de travail de 4,5 eV à 1,1-1,5 eV de tungstène. La couverture de surface doit atteindre plus de 80 % pour assurer l'uniformité de la fonction de travail, en dessous de laquelle peut conduire à des régions locales à haute fonction de travail et réduire l'efficacité des émissions.
- **Adsorption chimique et physique** : Les atomes de baryum forment des liaisons solides avec la surface du tungstène par adsorption chimique pour améliorer la stabilité de la couche active. Les atomes de baryum physiquement adsorbés fournissent un réapprovisionnement continu en baryum pour maintenir l'équilibre dynamique. La stabilité de la chimisorption garantit la fiabilité à long terme de la couche active à haute température.

La formation de la fonction de travail faible dépend du taux de décomposition des composés de baryum, de l'efficacité de diffusion de la structure des pores et de l'uniformité de la morphologie de surface. L'optimisation de ces facteurs permet d'obtenir une densité de courant élevée stable et une faible émission sonore, ce qui les rend adaptés à l'électronique sous vide haute puissance telle que les tubes à micro-ondes et les tubes à rayons X.

3.2.2 Comportement dynamique et stabilité thermique des couches actives

Le comportement dynamique et la stabilité thermique de la couche active de baryum affectent directement les performances et la durée de vie de la cathode. Voici les principales caractéristiques :

- **Comportement dynamique** : La couche active est en équilibre dynamique pendant le fonctionnement, les atomes de baryum se diffusant continuellement des pores vers la surface, tandis que certains atomes de baryum sont perdus en raison de l'évaporation. Il est nécessaire d'optimiser le rapport entre les composés de baryum pour s'assurer que le taux de réapprovisionnement correspond au taux de perte. La couverture de la couche active fluctue avec le temps, et la formation initiale doit être optimisée par un processus d'activation étape par étape pour réduire les pertes précoces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Stabilité thermique** : La couche active doit être stable à 900-1100 °C, et la perte par évaporation du baryum est accélérée à une température trop élevée, ce qui entraîne une augmentation de la fonction de travail. Une température trop basse limite la diffusion du baryum et réduit l'efficacité des émissions. La conductivité thermique élevée (173 W/m·K) et le faible coefficient de dilatation thermique ($4,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) de la matrice de tungstène garantissent que les contraintes thermiques sont minimisées et que l'intégrité structurelle de la couche active est maintenue.
- **Topographie de surface** : La rugosité de surface de la couche active doit être maintenue à un niveau faible pour éviter les régions locales de fonction à haute puissance. L'analyse de la microscopie électronique à balayage (MEB) et de la microscopie à force atomique (AFM) a montré qu'une couche active uniforme réduisait le bruit d'émission (niveau de bruit <1 %) et améliorerait la stabilité du courant. Par exemple, les défauts de surface tels que l'accumulation de particules peuvent provoquer des fluctuations locales de la densité du courant, augmentant ainsi le bruit.

Le comportement dynamique et la stabilité thermique de la couche active doivent être optimisés grâce à un contrôle précis du processus (par exemple, paramètres d'imprégnation, température d'activation). Par exemple, l'ajout d'une petite quantité d'oxydes de terres rares peut améliorer la résistance à l'évaporation de la couche active et prolonger sa durée de vie. La surveillance régulière de la topographie de surface et des propriétés d'émission (par exemple, par MEB ou ampèremètre) permet d'évaluer la stabilité de la couche active.

3.3 Facteurs affectant les performances d'émission de la cathode de baryum-tungstène

Les performances d'émission des cathodes de baryum-tungstène sont affectées par divers facteurs, notamment l'environnement de fonctionnement, les effets du vieillissement et de l'empoisonnement, et les modes de défaillance.

3.3.1 Environnement de travail

L'environnement de travail a un impact significatif sur les performances d'émission des cathodes de baryum-tungstène, notamment la température, le vide, la pollution de surface, le champ électrique externe et les contraintes mécaniques.

- **Température de fonctionnement** : La température de fonctionnement idéale pour les cathodes de baryum-tungstène est de 900 à 1100 °C (1173 à 1373 K), ce qui permet une densité de courant de transmission élevée pour les appareils haute puissance. Une température excessive accélère la perte par évaporation du baryum, affecte la couverture de la couche active, augmente la fonction de travail et réduit la densité du courant. Une température trop basse limite la diffusion des atomes de baryum et réduit l'efficacité d'émission.

Mécanisme d'influence : une température élevée accélère l'évaporation thermique des atomes de baryum et réduit la couverture de la couche active ; Les basses températures

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ralentissent la décomposition et le taux de diffusion, ce qui affecte la stabilité de la fonction de travail.

Stratégies d'adaptation :

- L'uniformité de la température est contrôlée par un système de chauffage de haute précision, et la surveillance en temps réel est effectuée à l'aide d'un thermomètre infrarouge.
- Optimiser le rapport des composés de baryum pour ralentir la perte par évaporation du baryum à haute température et prolonger la durée de vie de la couche active.
- Concevez une structure de dissipation thermique efficace (par exemple, en ajoutant des canaux de refroidissement à l'arrière de la matrice de tungstène) pour éviter la surchauffe locale.

- **Environnement de vide :** Les cathodes de tungstène baryum doivent être utilisées sous vide poussé pour éviter la contamination par les gaz résiduels. Le vide faible fait réagir l'oxygène, la vapeur d'eau ou les composés carbonés avec le baryum pour former des composés à haute fonction de travail qui réduisent la densité du courant d'émission.

Mécanisme d'influence : Le gaz résiduel réagit chimiquement avec les atomes de baryum pour former des composés inertes, augmentant la barrière de surface et réduisant l'efficacité de fuite des électrons.

Stratégies d'adaptation :

- Maintenez le vide avec un système de pompe à vide à haut rendement, tel qu'une pompe turbomoléculaire ou ionique.
- La technologie d'étanchéité sous vide (par exemple, l'étanchéité métallo-céramique) et le traitement sous vide réduisent les gaz résiduels.
- Nettoyez régulièrement la chambre à vide (par exemple, nettoyage au plasma ou cuisson à haute température) pour éliminer les molécules de gaz adsorbées.

- **Contamination de surface :** L'oxygène, la vapeur d'eau, les composés carbonés ou les sulfures réagissent avec le baryum pour former des composés à haute puissance (tels que le $BaCO_3$), réduisant considérablement l'efficacité des émissions. Le taux de pollution est généralement proportionnel à la pression partielle du gaz. Les polluants courants comprennent :

- Oxygène : Forme du BaO_2 (fonction de travail 2,5 eV).
- Vapeur d'eau : forme $Ba(OH)_2$ (fonction de travail 2,8 eV).
- Composés carbonés : Formation de $BaCO_3$ (fonction de travail 3,0 eV).

Mécanisme d'influence : Le polluant occupe le site actif par chimisorption, détruit la couche de fonction de faible puissance et entraîne une diminution des performances d'émission.

Stratégies d'adaptation :

- Les environnements de salle blanche sont utilisés lors de la fabrication et de l'installation de la cathode pour réduire la contamination initiale.
- Le traitement de préactivation élimine les contaminants de surface.
- Des antitoxiques sont ajoutés pour former une couche protectrice afin de ralentir le taux de réaction de la pollution.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- La régénération périodique de surface (comme le bombardement d'ions ou l'activation cryogénique) rétablit les performances d'émission.
- **Champ électrique externe** : Le champ électrique appliqué améliore les performances d'émission grâce à l'effet Schottky, réduisant la fonction de travail et augmentant la densité de courant. Cependant, des champs électriques excessifs peuvent déclencher des arcs électriques localisés, entraînant des dommages à la surface ou une instabilité des émissions. Une uniformité insuffisante du champ électrique peut entraîner un courant local excessif, accélérant ainsi le vieillissement.

Mécanisme d'influence : un champ électrique élevé réduit les barrières potentielles et améliore l'émission ; Le champ électrique inégal déclenche une surchauffe locale ou un arc électrique, endommageant la structure de surface.

Stratégies d'adaptation :

- Optimisez la géométrie de l'électrode (par exemple, une électrode circulaire lisse ou une structure de grille) pour assurer l'uniformité du champ électrique.
- Utilisez des sondes de champ électrique pour surveiller l'intensité du champ électrique en temps réel afin d'éviter les champs électriques excessifs.
- Le polissage de surface et la réparation des défauts (comme la réparation au laser) réduisent le risque d'arc électrique.
- **Contrainte mécanique** : Le fonctionnement à haute température peut induire une contrainte thermique, en particulier dans les cas de gradients de température importants, entraînant des microfissures ou l'effondrement des pores de la matrice de tungstène.

Mécanisme d'influence : Le stress thermique endommage la structure de la matrice, affectant la diffusion du baryum et la stabilité de la couche active.

Stratégies d'adaptation :

- Le chauffage étape par étape est utilisé pour réduire le stress thermique.
- Optimisez la porosité, équilibrez la résistance mécanique et l'efficacité de la diffusion.
- Utilisez une matrice de tungstène à haute résistance pour améliorer la résistance aux fissures.

L'optimisation de l'environnement de travail nécessite une prise en compte complète du contrôle de la température, de la technologie du vide, de la conception des électrodes et de la stabilité mécanique pour garantir des performances constantes à haute émission.

3.3.2 Mécanisme du vieillissement et effets toxiques

Les effets du vieillissement et de l'empoisonnement sont les principales raisons de la détérioration des performances de la cathode de baryum tungstène, et le mécanisme est le suivant :

- **Effet de vieillissement** : le fonctionnement à long terme entraîne l'épuisement des composés de baryum, la diminution de la couverture de la couche active et l'augmentation de la fonction de travail. La durée de vie d'une cathode de baryum tungstène est étroitement liée à la quantité de baryum stockée et aux conditions de travail.

[COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)

Mécanisme d'influence : L'appauvrissement en baryum réduit la couverture de la couche active, augmente la barrière de surface et réduit l'efficacité de l'échappement des électrons.

Stratégies d'adaptation :

- Augmentez la porosité ou optimisez les ratios de composés de baryum pour augmenter le stockage du baryum et prolonger la durée de vie.
 - L'activation régulière à basse température reconstitue la couche active pour restaurer la couverture.
 - Surveillance en temps réel du courant de transmission, prédiction du processus de vieillissement et réglage préalable des paramètres de fonctionnement.
 - Les composés de baryum de grande capacité sont utilisés pour augmenter le stockage initial de baryum pour les applications à haute puissance.
- **Effet d'empoisonnement** : Les gaz résiduels (tels que O_2 , H_2O , CO_2) réagissent avec le baryum pour former des composés fonctionnels de haute puissance (tels que BaO_2 , $BaCO_3$), réduisant ainsi l'efficacité des émissions. Le taux d'intoxication est directement proportionnel à la pression partielle du gaz, et les polluants courants et leurs effets comprennent :
- Oxygène : Forme du BaO_2 (fonction de travail 2,5 eV).
 - Vapeur d'eau : forme $Ba(OH)_2$ (fonction de travail 2,8 eV).
 - Composés carbonés : Formation de $BaCO_3$ (fonction de travail 3,0 eV).

Mécanisme d'influence : Le polluant occupe le site actif par chimisorption, détruit la couche de fonction de faible puissance et entraîne une diminution des performances d'émission.

Stratégies d'adaptation :

- Des agents antitoxiques sont ajoutés pour former une couche protectrice, ralentissant la vitesse de réaction et prolongeant le temps de maintien des performances.
- L'augmentation du niveau de vide réduit la probabilité de contamination, par exemple en utilisant une combinaison de pompes ioniques et de pompes à piège cryogéniques.
- La régénération régulière de la surface (comme le bombardement d'ions ou l'activation cryogénique) élimine les contaminants et rétablit la densité du courant.
- Optimisez la conception de l'électrode (p. ex., ajoutez un blindage) pour réduire le contact des contaminants avec la couche active.

La gestion des effets du vieillissement et de la toxicité doit être réalisée par l'optimisation des matériaux, l'amélioration des processus et le contrôle de l'environnement.

3.3.3 Analyse des modes de défaillance

Les modes de défaillance des cathodes de baryum-tungstène comprennent les types suivants, chacun nécessitant des méthodes de diagnostic et des stratégies d'amélioration spécifiques :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Atténuation des émissions causée par la pollution de surface** : les polluants (tels que BaO_2 , $BaCO_3$) augmentent la fonction de travail et réduisent la densité du courant et ses performances.

Méthode(s) diagnostique(s) :

- La spectroscopie photoélectronique à rayons X (XPS) analyse la composition chimique de la surface, détecte le rapport Ba/O/C et confirme le type de contaminant.
- Les essais d'émission thermoionique évaluent l'atténuation de la densité de courant.
- La spectroscopie à dispersion d'énergie (EDS) vérifie la distribution des éléments de surface.

Stratégie d'amélioration :

- Des additifs anti-empoisonnement sont utilisés pour former une couche protectrice antioxydante.
 - Utilisez un environnement sous vide poussé et un nettoyage au plasma pour éliminer les contaminants.
 - Optimisez le processus d'activation, comme le chauffage étape par étape, pour assurer le nettoyage initial de la surface.
- **Appauvrissement en baryum** : Le fonctionnement à long terme entraîne l'épuisement des composés de baryum, la couverture de la couche active diminue, la fonction de travail augmente et la densité de courant diminue.

Méthode(s) diagnostique(s) :

- Le MEB a observé la morphologie de la couche active et vérifié la couverture.
- Les mesures de la fonction de travail (telles que les tests d'émission thermoionique) évaluent la dégradation des performances.
- Analyse par EDS de la teneur en baryum.

Stratégie d'amélioration :

- Augmentez le stockage du baryum.
 - Le rapport optimisé ralentit l'épuisement du baryum et prolonge la durée de vie.
 - Une activation régulière à basse température permet de reconstituer la couche active pour restaurer la densité du courant.
- **Défaillance mécanique** : Les contraintes thermiques à haute température peuvent provoquer des fissures ou un effondrement des pores de la matrice de tungstène, affectant la diffusion du baryum.

Méthode(s) diagnostique(s) :

- La tomographie à rayons X analyse la structure des pores pour détecter les fissures ou les effondrements.
- Les essais mécaniques, tels que les essais de résistance à la compression, évaluent l'intégrité de la matrice.

Stratégie d'amélioration :

- Optimiser le processus de frittage (par exemple, réduire la température de frittage) pour améliorer la résistance de la matrice.
- Le chauffage étape par étape est utilisé pour réduire le stress thermique.
- Le dopage améliore la résistance aux fissures.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Défaillance de l'arc** : Les défauts de surface (par exemple, l'accumulation de particules, les fissures) ou les couches actives inégales déclenchent un arc électrique localisé, entraînant une instabilité d'émission ou des dommages de surface.

Méthode(s) diagnostique(s) :

- Le test d'émission à haute fréquence détecte les fluctuations de courant.
- Le MEB analyse les défauts de surface.
- Les dispositifs de surveillance d'arc (tels que les oscilloscopes) enregistrent les décharges anormales.

Stratégie d'amélioration :

- Optimiser le processus d'imprégnation, par exemple en contrôlant la concentration de la solution, pour assurer l'homogénéité de la couche active.
- Polissage de surface et réparation au laser pour éliminer les défauts.
- L'optimisation de la conception des électrodes (par exemple, l'augmentation de l'espacement des grilles) réduit la concentration du champ électrique et réduit le risque d'arc électrique.

L'analyse des défaillances nécessite une combinaison de diagnostics multitechnologiques (par exemple, XPS, SEM, X-CT, tests d'émissions) pour identifier avec précision la cause de la défaillance. Par exemple, dans les applications de tubes à rayons X, l'analyse et l'activation régulières du XPS peuvent réduire les taux d'échec. Les stratégies d'amélioration comprennent l'optimisation des matériaux (par exemple, l'ajout d'agents antitoxiques), l'amélioration des processus (par exemple, l'activation étape par étape) et le contrôle de l'environnement (par exemple, le vide poussé) pour prolonger la durée de vie de la cathode.

En résumé, le principe de fonctionnement et le mécanisme d'émission de la cathode baryum-tungstène impliquent la théorie de l'émission thermionique, le comportement dynamique de la couche active et l'interaction complexe de divers facteurs environnementaux. Ce chapitre fournit une analyse complète de l'équation de Richardson-Ducman, de l'effet Schottky, de la perspective de la mécanique quantique, des caractéristiques d'émission et des facteurs d'influence, jetant les bases des chapitres suivants pour discuter de la technologie de fabrication et de l'optimisation des performances.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chapitre 4 : Technologie de fabrication et de traitement de la cathode de baryum-tungstène

La technologie de fabrication et de traitement des cathodes de baryum-tungstène est un maillon clé pour atteindre leurs performances et leur fiabilité élevées, ce qui affecte directement leur efficacité d'émission, leur durée de vie et leur stabilité dans les dispositifs électroniques sous vide. Ce chapitre explore en détail le processus de moulage de la matrice poreuse de tungstène, le processus d'imprégnation et d'activation des composés de baryum, ainsi que les méthodes de contrôle de la qualité et d'essai, couvrant l'ensemble du processus, de la préparation des matières premières à la vérification finale des performances.

4.1 Moulage de matrice de tungstène poreux

La matrice poreuse de tungstène est la structure centrale de la cathode baryum-tungstène, fournissant un réseau de pores pour stocker les composés de baryum et des canaux pour soutenir la diffusion d'atomes de baryum actifs. Son processus de moulage nécessite un contrôle précis de la porosité, de la distribution de la taille des pores et de la résistance mécanique pour répondre aux exigences des cathodes haute performance. Cette section détaille les processus de criblage et de pressage de la poudre de tungstène, ainsi que les techniques d'optimisation de la porosité et de la résistance mécanique.

4.1.1 Processus de criblage et de pressage de la poudre de tungstène

Le criblage et le pressage de la poudre de tungstène sont les étapes de base de la formation d'une matrice de tungstène poreuse, qui détermine la microstructure initiale et les propriétés de traitement ultérieures de la matrice. Voici le processus détaillé :

- **Criblage de poudre de tungstène :**
 - **Sélection de la matière première :** La poudre de tungstène de haute pureté est sélectionnée pour assurer la stabilité chimique, réduisant les réactions secondaires ou la contamination de surface causée par des impuretés telles que le fer, le carbone ou l'oxygène. Une teneur excessive en impuretés peut provoquer l'oxydation ou la dégradation de la matrice à des températures élevées.
 - **Contrôle de la taille des particules :** Contrôlez la distribution granulométrique de la poudre de tungstène grâce à des techniques de criblage ou de classification du flux d'air. La plage de taille des particules doit être optimisée en fonction de la conception des pores. Les poudres plus fines créent une structure de pores plus uniforme, ce qui les rend adaptées aux applications à haute densité de courant ; Les poudres plus grossières offrent une résistance mécanique améliorée et conviennent aux besoins de longue durée. La distribution granulométrique est mesurée par un analyseur de taille de particules laser pour assurer la cohérence.
 - **Prétraitement de la poudre :** Pour éliminer la couche d'oxyde de surface ou l'humidité, la poudre de tungstène doit être préchauffée à basse température dans

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

une atmosphère de vide ou d'hydrogène. Le prétraitement améliore également la fluidité de la poudre pour le pressage ultérieur.

- **Processus de pressage :**
 - **Conception de moules :** concevez des moules cylindriques, en feuille ou d'autres moules géométriques basés sur des applications cathodiques (telles que des tubes à micro-ondes ou des tubes à rayons X). La surface du moule doit être polie pour réduire les défauts de billette, et le matériau est généralement en acier à haute résistance ou en carbure pour résister à une pression élevée.
 - **Technologie de pressage :** La poudre de tungstène est pressée en billettes à l'aide du pressage uniaxial ou du pressage isostatique à froid (CIP). Le pressage à axe unique convient à la production de petits lots ; Le pressage isostatique à froid crée une billette plus uniforme en appliquant une pression uniforme, ce qui le rend adapté aux applications de haute précision. Le taux de pression doit être contrôlé pendant le processus de pressage pour éviter les fissures dans la billette.
 - **Ajout de liant :** Pour améliorer la résistance à l'état vert de l'ébauche, une petite quantité de liant organique (comme l'alcool polyvinylique ou le méthacrylate de polyméthyle) peut être ajoutée. Le liant doit être complètement volatilisé lors du frittage ultérieur pour éviter que les résidus n'affectent la structure des pores.
 - **Inspection des billettes :** La masse usinée doit être vérifiée pour la densité et l'intégrité de la surface. La masse volumique est mesurée par la méthode d'Archimède, et les défauts de surface sont identifiés par microscopie optique ou inspection par ultrasons, garantissant l'absence de fissures ou de délamination.
- **Optimisation des processus :**
 - Optimisez la distribution granulométrique et la pression de compression pour créer une structure de pores initiale uniforme. La distribution granulométrique étroite améliore l'uniformité des pores mais peut réduire la résistance ; Une large distribution granulométrique améliore la résistance mais peut entraîner une porosité inégale.
 - L'environnement de pressage doit être contrôlé dans une salle blanche (niveau ISO 7 ou supérieur) pour éviter la contamination par la poussière.
 - Validez expérimentalement les paramètres de pressage, par exemple à l'aide d'un microscope pour observer la distribution des pores de la section de billette, afin de vous assurer que la structure initiale répond aux exigences de conception.

Le processus de criblage et de pressage doit garantir la haute pureté de la poudre de tungstène et la consistance structurelle de la billette pour jeter les bases du frittage et de l'imprégnation ultérieurs.

4.1.2 Optimisation de la porosité et de la résistance mécanique

La porosité et la résistance mécanique sont les paramètres de performance clés de la matrice de tungstène poreux, qui doivent être optimisés par le processus de frittage et la technologie de contrôle des pores pour équilibrer la capacité de stockage et la stabilité structurelle des composés de baryum.

Voici un processus d'optimisation détaillé :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Processus de frittage :**
 - **Environnement de frittage :** Le frittage est effectué dans une atmosphère de vide ou d'hydrogène de haute pureté pour éviter l'oxydation de la poudre de tungstène. L'atmosphère d'hydrogène élimine également les liants résiduels et les oxydes de surface.
 - **Contrôle de la température :** La température de frittage est généralement de 2000 à 2200 °C, en dessous du point de fusion du tungstène pour préserver la structure des pores. Le chauffage étape par étape réduit les contraintes thermiques et évite la fissuration de la billette. Le temps de maintien est optimisé en fonction de la taille de la billette.
 - **Équipement de frittage :** Des fours à vide à haute température ou des fours de protection à l'hydrogène sont utilisés, équipés de systèmes de contrôle de température précis. L'atmosphère du four doit être surveillée par un analyseur de gaz pour s'assurer qu'il n'y a pas de contamination par l'oxygène ou la vapeur d'eau.
 - **Formation de pores :** Au cours du processus de frittage, les particules de tungstène forment des liaisons solides par diffusion de surface et liaison aux limites de grains, tout en conservant un réseau de pores connectés tridimensionnels. Les charges temporaires, telles que les microsphères d'amidon ou de polystyrène, peuvent se volatiliser pendant le frittage, créant ainsi une porosité supplémentaire.
- **Optimisation de la porosité :**
 - **Porosité cible :** contrôlez la porosité en ajustant la taille des particules de poudre de tungstène, la pression de pression et les conditions de frittage. La plage de porosité appropriée doit être optimisée en fonction de l'application, et les applications à haute densité de courant doivent avoir une porosité plus élevée pour augmenter le stockage du baryum ; Les applications à longue durée de vie nécessitent une porosité plus faible pour améliorer la résistance.
 - **Connectivité des pores :** La connexion des réseaux de pores est cruciale pour la diffusion du baryum et peut être réalisée en contrôlant la distribution granulométrique (en mélangeant des particules fines et plus grosses) ou en ajoutant des charges. La tomographie à rayons X (X-CT) reconstruit la structure tridimensionnelle des pores et vérifie la connectivité.
 - **Méthode de mesure :** La porosité est mesurée par intrusion de mercure ou adsorption de gaz (BET), et la surface typique est évaluée par la méthode BET. La distribution de la taille des pores est analysée par microscopie ou X-CT pour assurer une taille uniforme des pores.
- **Optimisation de la résistance mécanique :**
 - **Objectif de résistance :** La matrice doit résister aux contraintes thermiques et aux vibrations mécaniques pendant le fonctionnement à haute température, et la résistance à la compression est évaluée par des essais.
 - **Ajustements du processus :** La réduction de la température de frittage ou le raccourcissement du temps de maintien peut préserver plus de porosité, mais la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

force de liaison des particules doit être assurée. Les additifs de traces de dopage peuvent améliorer la liaison des joints de grains et améliorer la résistance.

- **Méthode de vérification** : Évaluez la résistance mécanique à l'aide d'essais de compression ou de traction, et observez l'état de liaison des particules frittées en combinaison avec le MEB pour garantir l'absence de microfissures ou d'effondrement des pores.
- **Validation du processus** :
 - X-CT a été utilisé pour analyser la structure des pores de la matrice frittée afin de vérifier que la porosité et la connectivité répondaient aux exigences.
 - Les essais mécaniques combinés à l'analyse microstructurale garantissent la stabilité de la matrice lors d'un fonctionnement à haute température.
 - L'optimisation du processus nécessite des expériences itératives, telles que l'ajustement de la température de frittage et du rapport de charge pour équilibrer la porosité et la résistance.

L'optimisation de la porosité et de la résistance mécanique nécessite un contrôle précis du processus et une validation multi-technologies pour s'assurer que la matrice répond aux exigences structurelles et fonctionnelles des cathodes haute performance.

4.2 Imprégnation et activation des composés barytés

L'imprégnation et l'activation des composés de baryum sont le processus central d'introduction de substances actives dans une matrice de tungstène poreuse et de formation d'une couche active à faible fonction, qui affecte directement les performances d'émission et la durée de vie de la cathode. Cette section détaille la formulation et l'optimisation du processus d'imprégnation, ainsi que les techniques de traitement thermique lors de l'activation.

4.2.1 Procédé d'imprégnation : formulation du composé de baryum et conditions d'imprégnation

Le processus d'imprégnation vise à introduire uniformément des composés de baryum dans le réseau de pores de la matrice poreuse de tungstène, assurant ainsi un approvisionnement continu en atomes de baryum actifs. Voici un flux de processus détaillé et une méthode d'optimisation :

- **Formulation du composé de baryum** :
 - **Sélection des matériaux** : L'aluminate de baryum et de calcium couramment utilisé est largement utilisé en raison de ses excellentes propriétés de décomposition thermique et de sa stabilité chimique. La formulation libère des atomes de baryum libres à la température de fonctionnement par les réactions suivantes :



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

les sous-produits (par exemple, CaO , Al_2O_3) sont très stables et n'interfèrent pas avec les propriétés d'émission.

- **Optimisation du rapport** : Ajustez le rapport en fonction des exigences de l'application. Les applications à haute densité de courant peuvent utiliser un rapport de teneur en baryum élevé pour augmenter le taux de libération de baryum. Les applications à longue durée de vie peuvent augmenter le rapport de CaO ou d' Al_2O_3 pour ralentir le taux de décomposition. L'ajout d'agents antitoxiques tels que La_2O_3 ou CeO_2 améliore la capacité antioxydante.
- **Caractéristiques des particules** : Les composés de baryum doivent être broyés au micron pour correspondre à la taille des pores de la matrice afin d'éviter d'obstruer les pores ou de distribuer de manière inégale.
- **Préparation de la solution** :
 - **Sélection des solvants** : Les composés de baryum sont mélangés à de l'eau désionisée ou à des solvants organiques tels que l'éthanol ou l'isopropanol pour formuler une suspension. L'eau déminéralisée est peu coûteuse, mais elle doit être exempte d'impuretés ; Les solvants organiques peuvent améliorer la dispersibilité, mais la volatilité et la sécurité sont prises en compte.
 - **Traitement de dispersion** : L'agitation ou la sonication à grande vitesse assure une dispersion uniforme des particules pour éviter l'agglomération. La concentration de la solution doit être optimisée pour équilibrer l'efficacité de la perméabilité et le remplissage des pores.
 - **Additifs** : De petites quantités de tensioactifs, tels que le polyéthylène glycol, peuvent améliorer la mouillabilité de la solution et favoriser la pénétration dans les pores.
- **Processus d'imprégnation** :
 - **Imprégnation sous vide** : Une matrice poreuse de tungstène est placée dans une chambre à vide pour éliminer l'air des pores, puis une solution de composé de baryum est introduite. L'environnement sous vide améliore l'efficacité de pénétration de la solution et réduit les résidus de bulles. Le temps d'imprégnation est optimisé en fonction de la porosité de la matrice.
 - **Imprégnation sous pression** : S'applique aux substrats à haute porosité en appliquant une pression modérée pour faciliter la pénétration de la solution dans les pores. La pression doit être contrôlée pour éviter la déformation de la matrice ou l'obstruction des pores.
 - **Contrôle du processus** : L'imprégnation doit être effectuée dans une salle blanche (classe ISO 5 ou supérieure) pour éviter la contamination par la poussière ou les impuretés. La surface de la matrice doit être pré-nettoyée (par exemple, nettoyage par ultrasons) pour éliminer la graisse ou les oxydes.
- **Séchage** :
 - Le substrat imprégné est séché à basse température pour éliminer le solvant. Le séchage doit être effectué sous vide ou sous atmosphère inerte pour éviter la réaction des composés barytés avec l'oxygène ou la vapeur d'eau de l'air.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Le séchage étape par étape empêche l'obstruction des pores causée par la volatilisation rapide de la solution. Après le séchage, la matrice doit être vérifiée pour les incréments de poids afin de s'assurer que le remplissage en composé de baryum est conforme aux exigences de conception.

- **Validation du processus :**

- Le MEB et l'EDS ont été utilisés pour analyser l'uniformité de distribution des composés de baryum afin de vérifier le remplissage des pores.
- Confirmez la quantité de remplissage par analyse gravimétrique et observez la section des pores en combinaison avec un microscope pour vous assurer qu'il n'y a pas de blocages ou de vides.
- Optimisez les paramètres d'imprégnation tels que le vide, la pression et la concentration de la solution pour améliorer l'efficacité et l'uniformité du remplissage.

Le processus d'imprégnation doit garantir que les composés de baryum sont uniformément répartis dans le réseau de pores afin de fournir une source stable de baryum pour l'activation ultérieure.

4.2.2 Procédé d'activation : traitement thermique et formation de la couche tensioactive

Le processus d'activation décompose le composé de baryum imprégné par traitement thermique et forme une couche active à faible fonction de travail à la surface de la matrice de tungstène, ce qui constitue une étape clé dans l'obtention de performances d'émission cathodique. Voici le processus détaillé :

- **Traitement thermique :**

- **Contrôle de l'environnement :** L'activation est effectuée dans un vide poussé ou une atmosphère inerte (par exemple, argon de haute pureté) pour prévenir l'oxydation ou la contamination des composés de baryum. Les systèmes de pompes à vide, tels que les pompes turbomoléculaires, assurent une faible pression partielle de gaz résiduel.
- **Procédure de température :** Le chauffage étape par étape est utilisé pour éviter la fissuration de la matrice due au stress thermique. Le temps de maintien est optimisé en fonction du rapport entre les composés barytés. Les températures élevées provoquent la décomposition des composés de baryum, libérant des atomes de baryum libres et se diffusant à la surface à travers les pores.
- **Exigences de l'équipement :** Utilisez un four à vide à haute température ou un four à résistance avec un système de contrôle de température précis. Les thermomètres infrarouges surveillent la température du substrat en temps réel, assurant ainsi l'uniformité.

- **Formation de la couche de tensioactif :**

- **Diffusion et adsorption du baryum :** Les atomes de baryum libres diffusent à la surface de la matrice de tungstène à travers un réseau de pores, formant une seule couche atomique ou un film mince. Les atomes de baryum chimisorptés forment

[COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)

une liaison solide avec la surface du tungstène, réduisant la fonction de travail à 1,1-1,5 eV. Les atomes de baryum physiquement adsorbés assurent un réapprovisionnement continu et maintiennent l'équilibre dynamique de la couche active.

- **Contrôle de la topographie de surface** : La couche active doit être uniforme et continue, et la rugosité de la surface doit être contrôlée à un faible niveau par polissage. La couche active inégale peut conduire à des régions locales de fonction de haute puissance, réduisant ainsi l'efficacité de l'émission.
- **Effet additif** : L'ajout d'une petite quantité d'oxydes de terres rares peut améliorer la stabilité thermique de la couche active et ralentir la perte par évaporation du baryum.
- **Optimisation des processus** :
 - La température et le temps d'activation doivent être ajustés en fonction du rapport entre les composés de baryum et de la structure des pores de la matrice. Une température trop élevée peut accélérer l'évaporation du baryum et raccourcir la durée de vie ; Une activation insuffisante peut entraîner une faible couverture de la couche active, ce qui affecte les performances en matière d'émissions.
 - L'activation étape par étape peut être effectuée par étapes, en stabilisant le composé de baryum avant de former une couche active.
 - Après activation, il doit être refroidi à température ambiante pour éviter les défauts de surface causés par le stress thermique.
- **Validation du processus** :
 - Les performances d'émission de la couche active sont vérifiées à l'aide d'essais d'émission thermoïonique afin de s'assurer que la densité de courant atteint la valeur cible.
 - L'AFM et le MEB analysent la topographie de la surface pour confirmer l'uniformité et la rugosité de la couche active.
 - XPS analyse la composition chimique de la surface pour vérifier l'effet de la couverture d'atomes de baryum et de la réduction de la fonction de travail.

Le processus d'activation nécessite un contrôle précis de la température et de l'environnement pour former une couche active stable afin d'assurer le fonctionnement haute performance de la cathode.

4.3 Contrôle de la qualité et essais des cathodes de tungstène de baryum

Le contrôle de la qualité et les essais sont des aspects clés pour garantir l'uniformité et la fiabilité des performances de la cathode de baryum-tungstène, y compris les tests de performance des émissions, l'évaluation de la conformité et l'analyse des défaillances. Cette section détaille la méthodologie et les normes.

4.3.1 Méthode d'essai pour la transmission de la performance

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les tests de performance des émissions sont conçus pour évaluer la densité de courant, la fonction de travail et la stabilité des émissions des cathodes de baryum-tungstène afin de vérifier l'efficacité du processus de fabrication. Voici une méthode d'essai détaillée :

- **Test d'émission thermoionique :**

- **Conditions d'essai :** Dans un environnement sous vide poussé, chauffez la cathode à la température de fonctionnement et mesurez le courant d'émission à l'aide d'un collecteur d'anode et d'un ampèremètre de précision. L'appareil de test doit être équipé d'une alimentation électrique de haute précision et d'un système de contrôle de la température.
- **Procédure d'essai :** Appliquez une tension d'anode qui augmente progressivement et enregistrez la courbe caractéristique courant-tension (courbe I-V). Calculez la fonction de travail à l'aide de l'équation de Richardson-Dushman : assurez-vous

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

que la fonction de travail se situe dans la plage de 1,1 à 1,5 eV et que la densité de courant est conforme aux exigences de conception.

- **Analyse des données :** Évaluez la stabilité et les niveaux de bruit du courant transmis. Des fluctuations anormales peuvent indiquer des couches actives inégales ou une contamination de surface.
- **Test de pouls :**
 - **Objectif du test :** Simuler des conditions de fonctionnement transitoires dans des dispositifs de haute puissance et évaluer les performances des cathodes sous des champs électriques élevés ou des densités de courant élevées.
 - **Processus de test :** Appliquez une tension d'impulsion pour mesurer la densité du courant transitoire et le temps de réponse. Les tests détectent le bruit émis en raison de défauts de surface ou d'une inhomogénéité.
 - **Exigences en matière d'équipement :** Utilisez des alimentations à impulsions haute fréquence et des oscilloscopes pour enregistrer les formes d'onde de courant afin d'assurer la précision des mesures.
- **Test de durée de vie :**
 - **Conditions de test :** Fonctionnement continu pendant des milliers d'heures dans des conditions de fonctionnement simulées, surveillance de la décroissance de la densité de courant.
 - **Processus de test :** Enregistrez régulièrement la densité de courant et les modifications de la fonction de travail, et dessinez des courbes de décroissance des performances. Les tests évaluent les taux de vieillissement et la stabilité de la couche active.
 - **Analyse des données :** prédir la durée de vie de la cathode à l'aide de courbes d'atténuation pour vous assurer que les besoins de l'application sont satisfaits.
- **Méthode de vérification :**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Les résultats des tests doivent être comparés aux spécifications de conception, par exemple la densité de courant doit atteindre la valeur cible et la fonction de travail doit répondre aux attentes.
- Plusieurs tests pour garantir la fiabilité des données, à l'exclusion des erreurs d'équipement ou des interférences environnementales.

Les tests de performance des émissions sont effectués dans un environnement d'essai standardisé, combiné à une analyse multiparamètre, pour s'assurer que les performances de la cathode répondent aux exigences de l'application.

4.3.2 Critères d'évaluation de l'uniformité et de la fiabilité

La cohérence et la fiabilité sont des exigences clés pour la production à grande échelle de cathodes de baryum-tungstène et sont évaluées selon les critères suivants :

- **Évaluation de la conformité :**
 - **Surveillance des paramètres :** Analyse statistique de la densité du courant d'émission, de la fonction de travail et de la durée de vie de plusieurs lots de cathodes, et calcul du coefficient de variation (écart-type/moyenne). Le facteur de variation doit être maintenu à un faible niveau pour garantir des performances constantes d'un lot à l'autre.
 - **Vérification de la microstructure :** Analysez la structure des pores de la matrice et la distribution des composés de baryum à l'aide du MEB et du X-CT pour garantir une porosité et un volume de remplissage constants d'un lot à l'autre. La rugosité de surface est mesurée par AFM.
 - **Contrôle du processus :** La technologie de contrôle statistique du processus (SPC) est utilisée pour surveiller la pression de pressage, la température de frittage et les paramètres d'imprégnation en temps réel, et ajuster les écarts dans le temps. Les cartes de contrôle peuvent être utilisées pour suivre la stabilité des paramètres clés.
- **Évaluation de la fiabilité :**
 - **Essai de vieillissement accéléré :** Fonctionne dans des conditions de température élevée ou de densité de courant élevée pour évaluer la dégradation des performances de la cathode dans des environnements extrêmes. Les résultats des tests sont utilisés pour calculer le temps moyen entre les pannes (MTBF) et la probabilité de défaillance.
 - **Essais d'adaptabilité à l'environnement :** Essais dans des conditions de fonctionnement simulées pour vérifier la stabilité de la cathode dans différents environnements.
 - **Développement de normes :** Les indicateurs de fiabilité sont développés en fonction des exigences de l'application (par exemple, tubes à micro-ondes ou tubes à rayons X).
- **Méthode de vérification :**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Combinez les données d'essai de plusieurs lots pour évaluer la répétabilité et la stabilité du processus de production.
- Utilisez un logiciel statistique pour analyser les distributions de paramètres afin de vous assurer que les distributions normales ou les tolérances cibles sont respectées.
- Étalonnez régulièrement l'équipement de test pour assurer l'exactitude et la cohérence des mesures.

L'évaluation de la conformité et de la fiabilité nécessite des tests et une analyse systématiques des données pour garantir la stabilité des performances des cathodes en production et dans les applications.

4.3.3 Analyse et amélioration des défaillances

L'analyse des défaillances vise à identifier les causes de la dégradation ou de la défaillance de la cathode de baryum tungstène, et à proposer des mesures d'amélioration ciblées. Voici les modes de défaillance et les méthodes d'analyse courants :

- **Contamination de surface :**
 - **Mécanisme de défaillance :** L'oxygène, la vapeur d'eau ou les composés carbonés réagissent avec le baryum pour former des composés à haute fonction (tels que le BaO_2 ou le $BaCO_3$), réduisant ainsi les performances d'émission.
 - **Méthode(s) diagnostique(s) :**
 - La spectroscopie photoélectronique à rayons X (XPS) analyse la composition chimique de la surface, détecte le rapport Ba/O/C et confirme le type de contaminant.
 - Les essais d'émission thermoïonique évaluent l'atténuation de la densité de courant pour vérifier les effets de contamination.
 - **Mesures d'amélioration :**
 - Augmentez le niveau de vide pour réduire la contamination par les gaz résiduels.
 - Des antitoxiques tels que La_2O_3 sont ajoutés pour former une couche protectrice.
 - Le nettoyage au plasma est utilisé pour éliminer les contaminants de surface.
- **Épuisement du baryum :**
 - **Mécanisme de défaillance :** le fonctionnement à long terme entraîne l'épuisement des composés de baryum, la diminution de la couverture de la couche active et l'augmentation de la fonction de travail.
 - **Méthode(s) diagnostique(s) :**
 - Le MEB et l'EDS ont analysé la teneur en baryum et la morphologie de la couche active pour vérifier la couverture.
 - Les mesures de la fonction de travail (par des tests d'émission thermique) évaluent la dégradation des performances.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Mesures d'amélioration :**
 - Optimiser le rapport entre les composés de baryum pour augmenter le stockage du baryum.
 - Améliorer la porosité pour augmenter la capacité de remplissage.
 - Activation régulière à basse température pour reconstituer la couche active.
- **Défaillance mécanique :**
 - **Mécanisme de défaillance :** Le stress thermique ou les vibrations mécaniques peuvent provoquer la fissuration de la matrice ou l'effondrement des pores, affectant la diffusion du baryum.
 - **Méthode(s) diagnostique(s) :**
 - X-CT analyse la structure des pores pour détecter les fissures ou les effondrements.
 - Les essais mécaniques (tels que les essais de compression) évaluent la résistance du substrat.
 - **Mesures d'amélioration :**
 - Optimisez le processus de frittage pour améliorer la liaison des particules.
 - Le chauffage étape par étape est utilisé pour réduire le stress thermique.
 - Dopé au ZrO_2 améliore la résistance aux fissures.
- **Défaillance de l'arc :**
 - **Mécanisme de défaillance :** Les défauts de surface ou les couches actives inégales déclenchent des arcs électriques localisés, entraînant une instabilité d'émission ou des dommages de surface.
 - **Méthode(s) diagnostique(s) :**
 - Le MEB détecte les défauts de surface tels que l'accumulation de particules ou les fissures.
 - L'essai d'émission à haute fréquence (fréquence 1 kHz) enregistre les fluctuations de courant.
 - L'oscilloscope surveille le signal de l'arc.
 - **Mesures d'amélioration :**
 - Le processus d'imprégnation optimisé assure l'uniformité de la couche active.
 - Le polissage de surface réduit les défauts.
 - Optimiser la conception des électrodes pour réduire la concentration du champ électrique.
- **Méthode d'analyse des défaillances :**
 - **Analyse de l'arbre des défaillances (FTA) :** Construisez un arbre des causes de défaillance pour identifier les principaux modes de défaillance (par exemple, l'épuisement du baryum ou la contamination de surface) et leurs causes profondes (par exemple, les écarts des paramètres du processus).
 - **Contrôle statistique des processus (SPC) :** analysez les données de défaillance, identifiez les goulets d'étranglement du processus et optimisez les paramètres clés.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Diagnostics multitechniques** : combinez les tests XPS, SEM, X-CT et d'émission pour analyser de manière exhaustive les mécanismes de défaillance.
- **Stratégie d'amélioration** :
 - Optimisez les paramètres du processus (par exemple, la température de frittage, la pression d'imprégnation) pour améliorer la cohérence cathodique.
 - L'introduction de systèmes de surveillance en ligne, tels que des capteurs de température ou des analyseurs de gaz, pour détecter les écarts de processus en temps réel.
 - Établissez un mécanisme de rétroaction pour appliquer les résultats de l'analyse des défaillances à l'amélioration des processus et à la réduction du taux d'échec.

L'analyse des défaillances nécessite une combinaison de diagnostics multitechnologiques et de méthodes d'analyse systématiques pour s'assurer que la cause profonde est identifiée et que des mesures d'amélioration efficaces sont proposées.

Ce chapitre détaille chaque étape du processus, de la formation de la matrice de tungstène à la formation de la couche active, ainsi que les méthodes clés de test de performance et d'analyse des défaillances, fournissant une base technique solide pour la production et l'optimisation des cathodes haute performance, et fournissant une garantie de processus pour le développement ultérieur de l'application et l'amélioration des performances.



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

Chapitre 5 : Application de la cathode de tungstène de baryum

Les cathodes de tungstène baryum jouent un rôle clé en tant que sources d'émission thermoïoniques efficaces dans de nombreux domaines de haute technologie en raison de leur faible fonction de travail, de leur densité de courant d'émission élevée et de leur excellente stabilité thermique. Ce chapitre traite en détail des utilisations spécifiques des cathodes de baryum-tungstène dans l'électronique du vide, les instruments scientifiques, l'industrie et les communications, l'aérospatiale et la défense, ainsi que les applications émergentes et inter-domaines, et analyse leurs rôles et leurs exigences techniques dans différents scénarios.

5.1 Électronique du vide

Les dispositifs électroniques à vide utilisent le mouvement des électrons dans un environnement vide pour réaliser l'amplification du signal, l'oscillation ou la conversion d'énergie, et sont largement utilisés dans les domaines des communications, du radar et de l'industrie. Les cathodes de tungstène de baryum servent de source d'émission d'électrons à haut rendement, fournissant un flux constant d'électrons à courant élevé à ces dispositifs, répondant ainsi à des exigences de puissance et de fréquence élevées.

5.1.1 Tube à micro-ondes

Les tubes à micro-ondes sont une classe de dispositifs électroniques à vide qui utilisent des faisceaux d'électrons pour interagir avec des champs électromagnétiques afin de générer ou d'amplifier des signaux micro-ondes, qui sont largement utilisés dans les expériences radar, les communications et les expériences scientifiques. Les cathodes de baryum et de tungstène sont indispensables dans les tubes à micro-ondes en raison de leur efficacité d'émission et de leur stabilité élevées.

5.1.1.1 Magnétron : utilisé dans les équipements de chauffage radar et micro-ondes

- **Présentation de l'équipement** : Le magnétron est un oscillateur à micro-ondes de haute puissance qui excite la cavité du résonateur pour générer des signaux micro-ondes à haute fréquence (généralement dans la gamme GHz) en déplaçant les électrons le long d'une orbite spécifique sous l'interaction des champs électriques et magnétiques. Ses composants de base comprennent une cathode (source d'électrons), une cavité de résonance d'anode et un système de champ magnétique. Les magnétrons sont largement utilisés dans les systèmes radar (par exemple, les radars météorologiques, les radars de suivi des cibles militaires) et les équipements de chauffage à micro-ondes (par exemple, les fours à micro-ondes industriels, les équipements de séchage par micro-ondes) en raison de leur capacité à générer des impulsions de haute puissance (kW à MW) ou des signaux micro-ondes continus.

Principe de fonctionnement : La cathode émet des électrons, formant un nuage d'électrons en rotation sous l'action de champs électriques et magnétiques croisés, couplé à la cavité résonnante de l'anode pour générer un signal micro-ondes d'une fréquence spécifique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Fonction de la cathode de baryum et de tungstène** : La cathode de baryum et de tungstène sert de source d'électrons du magnétron, fournissant un flux d'électrons à haute densité de courant et prenant en charge la sortie de micro-ondes de haute puissance.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Densité de courant élevée** : Les magnétrons nécessitent une densité de courant d'émission élevée pour prendre en charge une puissance de sortie élevée. Les cathodes de tungstène baryum fournissent une émission stable à haute température pour répondre aux demandes de puissance.
 - **Réponse rapide** : le fonctionnement par impulsions radar exige que la cathode réponde aux tensions d'impulsion à haute fréquence en quelques microsecondes, avec un faible bruit d'émission et une couche active uniforme.
 - **Résistance aux vibrations** : Les vibrations mécaniques dans les radars militaires nécessitent une résistance mécanique élevée de la matrice cathodique pour éviter l'effondrement des pores ou l'écaillage de la couche active, et le processus de frittage et la structure de la matrice doivent être optimisés.
- **Avantages techniques** : La faible fonction de travail et la grande stabilité thermique des cathodes de baryum-tungstène leur permettent de fonctionner pendant de longues périodes dans des conditions de puissance et d'impulsion élevées, répondant ainsi aux besoins des magnétrons en matière de sources d'électrons efficaces et fiables.

5.1.1.2 TWT : Amplificateurs de communications à haute fréquence et de satellites

- **Présentation de l'équipement** : Le tube à ondes progressives (TWT) est un amplificateur à micro-ondes à large bande qui amplifie les signaux haute fréquence grâce à l'interaction de faisceaux d'électrons avec des champs d'ondes progressives. Ses composants de base comprennent une cathode, une structure à ondes lentes, un système de focalisation du faisceau d'électrons et une électrode collectrice. Les TWT sont largement utilisés dans les communications par satellite (amplification du signal en liaison montante/descendante), les stations de base 5G et les systèmes de diffusion en raison de leurs caractéristiques de gain élevé et de large bande.

Principe de fonctionnement : Le faisceau d'électrons émis par la cathode se déplace de manière synchrone avec le signal micro-ondes d'entrée dans une structure à ondes lentes (telle qu'une spirale), et l'énergie cinétique du faisceau d'électrons est transférée au signal pour obtenir l'amplification et la sortie.

- **Action de la cathode baryum-tungstène** : La cathode baryum-tungstène fournit un faisceau d'électrons stable, soutenant l'amplification du signal haute fréquence du tube à ondes progressives.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Uniformité d'émission élevée** : le tube à ondes progressives a besoin d'un faisceau d'électrons stable pour assurer la qualité de l'amplification du signal, et la couche active de la cathode doit être uniforme et avoir une faible rugosité de surface pour éviter la distorsion du signal.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Longue durée de vie** : La communication par satellite nécessite une longue durée de vie de la cathode, et le rapport des composés de baryum doit être optimisé pour ralentir la perte par évaporation du baryum.
- **Antitoxicité** : Il peut y avoir des traces de gaz résiduels dans l'environnement spatial, et des antitoxiques doivent être ajoutés pour maintenir les performances.
- **Avantages techniques** : La densité de courant élevée et les capacités anti-empoisonnement des cathodes de tungstène de baryum garantissent la stabilité du signal et la fiabilité des tubes à ondes progressives en fonctionnement à haute fréquence et à longue durée de vie.

5.1.1.3 Tube Klystron : radar de haute puissance et accélérateur de particules

- **Présentation** de l'équipement : Klystron est un amplificateur ou un oscillateur à micro-ondes de haute puissance qui génère ou amplifie des signaux micro-ondes grâce à la modulation de vitesse d'un faisceau d'électrons dans la cavité de résonance. Ses composants de base comprennent une cathode, une cavité de résonance, un tube de dérive et une électrode de collecte. Les tubes Klystron sont largement utilisés dans les radars de haute puissance (par exemple, les radars de contrôle du trafic aérien, les radars de guidage de missiles) et les accélérateurs de particules (par exemple, les sources de rayonnement synchrotron, les LHC du CERN).

Principe de fonctionnement : Le faisceau d'électrons émis par la cathode est modulé en vitesse lorsqu'il traverse la cavité résonnante, formant un faisceau de modulation de densité, qui convertit l'énergie cinétique en énergie micro-ondes dans la cavité suivante.

- **Action de la cathode de baryum et de tungstène** : La cathode de baryum et de tungstène fournit un faisceau d'électrons à courant élevé, soutenant la puissance de sortie élevée du tube de klystron.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Densité de courant ultra-élevée** : Le klystron nécessite un flux d'électrons extrêmement élevé pour prendre en charge une production de niveau MW, et la cathode doit être combinée avec l'effet Schottky pour améliorer l'émission à des champs électriques élevés.
 - **Stabilité thermique** : Les fluctuations de la température de fonctionnement exigent que la cathode maintienne des performances stables, et la conductivité thermique de la matrice et la résistance à la chaleur de la couche active doivent être optimisées.
 - **Compatibilité avec le vide élevé** : Dans les cathodes à ultravide poussé, il est nécessaire d'éviter la dégradation des performances causée par la contamination de surface.
- **Avantages techniques** : Les cathodes de tungstène de baryum assurent une émission d'électrons stable dans des conditions de puissance élevée et de champ électrique élevé, répondant aux exigences de fonctionnement extrêmes des tubes klystron.

5.1.2 Tubes à rayons X

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les tubes à rayons X sont des dispositifs à vide qui génèrent des rayons X en bombardant des cibles métalliques avec des électrons de haute énergie, largement utilisés dans les domaines médical et industriel. La cathode de baryum et de tungstène lui fournit une source d'électrons très efficace.

5.1.2.1 Équipement d'imagerie médicale (p. ex., tomodesitomètres, appareils de diagnostic par rayons X)

- **Présentation de l'équipement** : Les tubes à rayons X sont les composants essentiels des équipements d'imagerie médicale (tels que la tomodesitométrie, les instruments de diagnostic par rayons X), qui génèrent des rayons X en bombardant électroniquement des cibles d'anode (telles que le tungstène ou le molybdène) pour l'imagerie des tissus humains. Ses principaux composants comprennent la cathode, l'anode et le boîtier du vide. Les tomodesitomètres génèrent des images tridimensionnelles grâce à des projections de rayons X multi-angles, et les appareils à rayons X diagnostiques sont utilisés pour l'examen des os ou des tissus mous.

Comment ça marche : La cathode émet des électrons qui bombardent l'anode sous l'accélération d'un champ électrique à haute tension, produisant des rayons X caractéristiques et des rayons X spectraux continus pour l'imagerie fluoroscopique.

- **Action de la cathode de baryum et de tungstène** : La cathode de baryum et de tungstène fournit un faisceau d'électrons de haute énergie qui génère un signal de rayons X de haute qualité.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Haute stabilité d'émission** : la qualité de l'image nécessite un flux d'électrons stable, et la cathode doit être émise uniformément pour réduire les fluctuations de courant.
 - **Démarrage rapide** : l'équipement de diagnostic doit démarrer rapidement, et la cathode doit atteindre la température de fonctionnement et émettre de manière stable en peu de temps.
 - **Longue durée de vie** : Les équipements médicaux nécessitent une longue durée de vie de la cathode et il est nécessaire d'optimiser le stockage du baryum et les capacités anti-empoisonnement.
- **Avantages techniques** : La densité de courant élevée et les capacités de réponse rapide des cathodes de baryum-tungstène garantissent la précision et la fiabilité de l'imagerie des tubes à rayons X, répondant aux normes élevées des dispositifs médicaux.

5.1.2.2 Essais non destructifs industriels

- **Présentation de l'équipement** : Les tubes à rayons X sont utilisés dans les CND industriels pour détecter les défauts internes (tels que les fissures, la porosité), la qualité de la soudure ou la structure des composants électroniques. Il fonctionne de la même manière que les tubes à rayons X médicaux, mais nécessite une énergie de rayons X plus élevée pour pénétrer les métaux épais ou les composites. Les scénarios d'application comprennent l'inspection de composants aéronautiques, l'analyse des soudures de pipelines et l'inspection de boîtiers de semi-conducteurs.

Comment ça marche : Un faisceau d'électrons de haute énergie bombarde la cible pour

[COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)

générer des rayons X, qui sont capturés par le détecteur après la transmission de l'échantillon, formant une image de la structure interne.

- **Action de la cathode de baryum et de tungstène** : La cathode de baryum et de tungstène fournit un faisceau d'électrons de haute intensité, favorisant la génération de rayons X à haute énergie.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Puissance de sortie élevée** : L'inspection industrielle nécessite des rayons X à haute énergie et les cathodes doivent fournir une densité de courant élevée.
 - **Adaptabilité à l'environnement** : Les environnements industriels peuvent subir des vibrations ou des changements de température, et les cathodes doivent avoir une résistance mécanique et une stabilité thermique élevées.
 - **Résistance à l'encrassement** : Les conditions de vide non idéales nécessitent que la cathode soit renforcée contre l'empoisonnement par des additifs.
- **Avantages techniques** : La robustesse et l'efficacité d'émission élevée des cathodes de baryum-tungstène les rendent adaptées aux conditions exigeantes de l'inspection industrielle, fournissant des signaux de rayons X de haute qualité.

5.1.3 Autres appareils à vide

- **Tube photomultiplicateur** :
 - **Présentation de l'équipement** : Le tube photomultiplicateur (PMT) est un photodétecteur à haute sensibilité qui convertit les signaux lumineux faibles en signaux électriques, qui sont largement utilisés dans les détecteurs de rayonnement (tels que la détection des rayons gamma), les observations astronomiques et le comptage de photons dans les expériences scientifiques. Ses composants de base comprennent une photocathode, un multiplicateur d'électrons et une anode.
 - **Principe de fonctionnement** : La photocathode absorbe les photons et émet des électrons, qui sont amplifiés par le multiplicateur et collectés par l'anode pour former un signal électrique détectable.
 - **Action cathodique baryum-tungstène** : Fournit une émission d'électrons très sensible et soutient la génération de signaux photoélectriques initiaux.
 - **Exigences en matière de cathode** : Un bruit d'émission extrêmement faible et un temps de réponse rapide sont nécessaires pour garantir la précision de la détection des photons.
 - **Avantages techniques** : Les caractéristiques de faible bruit et de sensibilité élevée des cathodes de baryum-tungstène en font des sources d'électrons idéales pour les tubes photomultiplicateurs.
- **Équipement de soudage par faisceau d'électrons** :
 - **Introduction de l'équipement** : L'équipement de soudage par faisceau d'électrons utilise des matériaux fondus à faisceau d'électrons à haute énergie pour le soudage de haute précision, qui est largement utilisé dans l'aérospatiale, la construction automobile et les industries nucléaires. Ses composants de base comprennent une cathode, un système optique d'électrons et une chambre à vide.

Principe de fonctionnement : Le faisceau d'électrons émis par la cathode est

[COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)

accélééré et focalisé sous vide poussé, bombardant la pièce pour générer localement une température élevée et réaliser un soudage par fusion profonde.

- **Action cathodique de baryum tungstène** : Fournit un faisceau d'électrons de haute énergie qui prend en charge le soudage à fusion profonde.
- **Exigences en matière de cathode** : Une densité de courant élevée et des performances de focalisation stables du faisceau d'électrons sont requises, et la température de fonctionnement doit être contrôlée avec précision pour éviter la surchauffe.
- **Avantages techniques** : L'efficacité d'émission élevée et la stabilité des cathodes de tungstène de baryum garantissent la précision et l'efficacité du soudage.

5.2 Instruments scientifiques

Les cathodes de baryum et de tungstène servent de sources d'électrons haute performance dans les instruments scientifiques, prenant en charge les tâches d'imagerie et d'analyse à haute résolution qui répondent aux exigences de haute précision et de sensibilité.

5.2.1 Microscope électronique

- **Présentation de l'équipement** : Le microscope électronique utilise l'imagerie par faisceau d'électrons et est divisé en microscopie électronique à balayage (MEB) et microscopie électronique à transmission (MET). Le MEB balaie la surface de l'échantillon à travers un faisceau d'électrons, collecte des électrons secondaires ou des électrons rétrodiffusés pour former une image de topographie de surface avec une résolution de l'ordre du nanomètre ; La MET pénètre des échantillons ultra-minces à l'aide d'un faisceau d'électrons pour générer des images de structures internes avec des résolutions allant jusqu'au niveau sub-ångström. Les deux sont largement utilisés dans la recherche en science des matériaux, en biologie et en nanotechnologie.

Comment ça marche : Le faisceau d'électrons émis par la cathode est accéléré par un champ électrique et focalisé par un champ magnétique, balayé (MEB) ou pénétré (MET) et capturé par le détecteur pour générer une image à haute résolution.

- **Action cathodique de baryum tungstène** : Fournit un faisceau d'électrons à haute luminosité et prend en charge l'imagerie à l'échelle subnanométrique.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Haute luminosité** : Une densité de courant élevée et un faible bruit d'émission sont nécessaires pour obtenir une haute résolution.
 - **Stabilité** : L'imagerie à long terme nécessite de faibles fluctuations du courant d'émission, et l'uniformité de la couche active doit être optimisée.
 - **Compatibilité avec le vide** : L'ultra-vide nécessite une forte résistance de la cathode à la contamination.
- **Avantages techniques** : La haute luminosité et la stabilité de la cathode de baryum tungstène en font une source idéale d'électrons pour le MEB et le MET.

5.2.2 Spectromètre de masse : source d'ions à haute sensibilité

[COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)

- **Introduction de l'équipement** : Le spectromètre de masse est un instrument analytique qui détermine la composition et la structure moléculaires en ionisant les molécules d'échantillon et en mesurant leur rapport masse/charge, et est largement utilisé dans l'analyse chimique, la surveillance de l'environnement et la recherche biomédicale. Ses composants de base comprennent une source d'ions, un analyseur de masse et un détecteur.
Principe de fonctionnement : La cathode émet des électrons pour bombarder les molécules de l'échantillon, et après avoir généré des ions, elles sont séparées par des champs électriques ou magnétiques, et les espèces moléculaires sont détectées en fonction du rapport masse/charge.
- **Action cathodique du baryum tungstène** : Fournit un flux stable d'électrons pour l'ionisation de l'échantillon.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Haute sensibilité** : un flux constant d'électrons de faible énergie est nécessaire pour améliorer l'efficacité de l'ionisation, et la cathode doit fonctionner à des températures plus basses.
 - **Longue durée de vie** : les tâches analytiques doivent fonctionner pendant de longues périodes, et les cathodes doivent être étendues en optimisant le rapport de baryum.
- **Avantages techniques** : La faible fonction de travail et l'efficacité d'émission élevée de la cathode barium-tungstène garantissent une sensibilité élevée et une stabilité à long terme du spectromètre de masse.

5.2.3 Équipement d'analyse de surface

- **Présentation de l'équipement** : Le spectromètre d'électrons Auger (AES) et le spectromètre de photoélectrons à rayons X (XPS) sont des instruments d'analyse de surface utilisés pour étudier la composition chimique et la structure électronique des surfaces des matériaux. AES génère des électrons Auger en excitant l'échantillon avec un faisceau d'électrons pour analyser les espèces élémentaires ; XPS excite les photoélectrons par le biais des rayons X, des éléments de mesure et des états chimiques. Les deux sont largement utilisés dans la science des matériaux et la recherche sur les semi-conducteurs.
Comment ça marche : Une cathode émettant des électrons ou une source de rayons X excite l'échantillon et recueille les électrons émis pour l'analyse spectrale de l'énergie.
- **Action cathodique baryum-tungstène** : Fournit un faisceau d'électrons stable (AES) pour soutenir l'analyse de surface de haute précision.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Haute précision** : un flux stable d'électrons de basse énergie est nécessaire, et la cathode doit fournir une émission uniforme et des caractéristiques de faible bruit.
 - **Compatibilité avec le vide ultra-poussé** : La cathode doit éviter la contamination de surface.
- **Avantages techniques** : L'émission uniforme et la résistance à la contamination des cathodes de baryum et de tungstène les rendent adaptées aux tâches d'analyse de surface de haute précision.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Applications industrielles et de communication

Les cathodes de tungstène de baryum prennent en charge les sources électroniques de haute puissance et les fonctions d'amplification du signal dans les domaines de l'industrie et de la communication, répondant ainsi aux besoins de fiabilité et d'efficacité élevées.

5.3.1 Système radar

- **Introduction de l'équipement** : Le système radar détecte la position et la vitesse de la cible en émettant et en recevant des signaux micro-ondes, et est divisé en radar militaire (tel que le radar de défense aérienne, le radar de guidage de missile) et le radar civil (tel que le contrôle du trafic aérien, le radar météorologique). Ses composants de base comprennent une source micro-ondes (telle qu'un magnétron ou un klystron), une antenne et un processeur de signal.

Principe de fonctionnement : Le faisceau d'électrons émis par la cathode génère un signal micro-ondes de haute puissance dans le tube à micro-ondes, qui est réfléchi vers le détecteur après avoir été transmis par l'antenne.

- **Action cathodique de baryum tungstène** : Fournit un flux d'électrons de haute puissance et prend en charge la génération de signaux micro-ondes.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Puissance de sortie élevée** : Une densité de courant élevée est nécessaire pour prendre en charge la transmission de signaux de haute puissance.
 - **Résistance aux vibrations** : Les plates-formes mobiles (telles que les radars de bord) nécessitent une résistance mécanique élevée de la matrice cathodique.
 - **Réponse rapide** : Le radar d'impulsion doit être rapidement démarré par la cathode et transmis de manière stable.
- **Avantages techniques** : L'efficacité d'émission élevée et la robustesse de la cathode de baryum-tungstène en font une source idéale d'électrons pour les systèmes radar.

5.3.2 Équipement de communication

- **Présentation de l'équipement** : La communication par satellite et les amplificateurs de station de base au sol sont utilisés pour la transmission de signaux longue distance, en s'appuyant sur des tubes à ondes progressives ou des amplificateurs à semi-conducteurs pour amplifier les signaux haute fréquence. La communication par satellite prend en charge les réseaux de communication mondiaux, et les stations de base terrestres sont utilisées pour la 5G et les systèmes de diffusion.

Principe de fonctionnement : Le faisceau d'électrons émis par la cathode amplifie le signal d'entrée dans le tube à ondes progressives et émet un signal de haute puissance.

- **Action cathodique de baryum tungstène** : Fournit un flux stable d'électrons, soutenant l'amplification du signal.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Stabilité à haute fréquence** : un flux d'électrons à faible bruit est nécessaire et la couche active de la cathode doit être uniforme.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Longue durée de vie** : La communication par satellite nécessite une longue durée de vie de la cathode, et les performances anti-empoisonnement et d'évaporation doivent être optimisées.
- **Avantages techniques** : Les cathodes de tungstène de baryum prennent en charge l'amplification du signal haute fréquence et le fonctionnement à long terme, répondant aux exigences de fiabilité élevées des équipements de communication.

5.3.3 Tube du vacuostat

- **Présentation de l'équipement** : Le tube de commutation à vide est un dispositif de commutation haute tension utilisé pour les disjoncteurs, la distribution d'énergie et le contrôle de charge dans les systèmes d'alimentation, permettant une commutation rapide grâce au contrôle électronique. Ses composants de base comprennent une cathode, une anode et un boîtier à vide.

Principe de fonctionnement : La cathode émet des électrons, formant un arc ou un courant continu à haute tension pour réaliser la commutation de circuit.

- **Action cathodique baryum-tungstène** : Fournit un flux d'électrons à courant élevé et prend en charge un fonctionnement de commutation rapide.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Densité de courant élevée** : Nécessite la prise en charge du fonctionnement de commutation à courant élevé.
 - **Résistance à l'arc** : Il est nécessaire d'éviter les arcs électriques causés par des défauts de surface et d'optimiser la topographie de surface.
- **Avantages techniques** : L'efficacité d'émission élevée et la stabilité des cathodes de baryum et de tungstène les rendent adaptées aux applications de commutation à haute tension et à haute puissance.

5.4 Aérospatiale et défense

Les cathodes de tungstène au baryum prennent en charge l'électronique haute fiabilité et haute performance dans l'aérospatiale et la défense pour répondre aux exigences des environnements extrêmes.

5.4.1 Appareils électroniques spatiaux

- **Présentation de l'équipement** : Les appareils électroniques spatiaux comprennent des modules de communication, des systèmes de propulsion et des instruments scientifiques dans les sondes et les satellites de l'espace lointain, qui doivent fonctionner dans des environnements de vide et de rayonnement extrêmes. Les applications typiques comprennent les sources électroniques pour les systèmes de communication par satellite (tels que les satellites GPS) et les sondes (telles que le rover martien).

Principe de fonctionnement : La cathode fournit un flux d'électrons, prenant en charge l'amplification du signal de communication ou l'ionisation du propergol.

- **Action cathodique baryum-tungstène** : Fournit une source d'électrons de haute fiabilité pour soutenir les missions spatiales à long terme.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Exigences en matière de cathode :**
 - **Adaptabilité aux environnements extrêmes :** Il doit fonctionner de manière stable dans les environnements de vide spatial et de rayonnement.
 - **Longue durée de vie :** Le cycle de mission peut aller jusqu'à plusieurs années et le stockage du baryum doit être optimisé pour prolonger la durée de vie.
 - **Faible consommation d'énergie :** Une faible puissance de chauffage est nécessaire pour économiser de l'énergie.
- **Avantages techniques :** La grande fiabilité et la faible fonction de travail des cathodes de tungstène baryum en font un choix privilégié pour les applications spatiales.

5.4.2 Système de contre-mesures électroniques

- **Introduction à l'équipement :** Les systèmes de contre-mesures électroniques utilisent des signaux micro-ondes de haute puissance pour brouiller ou perturber les communications, les radars ou l'équipement électronique de l'ennemi, y compris les armes à micro-ondes de haute puissance et les brouilleurs. Son composant principal est une source micro-ondes (comme un clostron ou un magnétron).
Principe de fonctionnement : Le faisceau d'électrons émis par la cathode génère un signal micro-ondes de haute puissance qui émet une cible interférente à travers une antenne directionnelle.
- **Action cathodique baryum-tungstène :** fournit un flux d'électrons de très haute puissance et prend en charge la génération de signaux micro-ondes.
- **Exigences en matière de cathode :**
 - **Ultra-haute puissance :** Nécessite une densité de courant extrêmement élevée pour prendre en charge une sortie de niveau MW.
 - **Réponse rapide :** le fonctionnement par impulsions nécessite un démarrage rapide et une émission stable.
- **Avantages techniques :** Les cathodes de baryum et de tungstène fournissent un flux stable d'électrons sous des champs électriques élevés et des puissances élevées, répondant aux besoins des systèmes de compteur.

5.5 Applications émergentes et interdomaines

Les cathodes de tungstène au baryum présentent un potentiel considérable dans les domaines technologiques émergents, soutenant la recherche de pointe et les applications interdisciplinaires.

5.5.1 Générateur d'ondes térahertz

- **Présentation de l'équipement :** Le générateur d'ondes térahertz génère des ondes térahertz pour l'imagerie térahertz (comme la sécurité, le diagnostic médical) et la communication à haut débit. Ses composants de base comprennent une source électronique et un oscillateur (tel qu'un tube à ondes progressives ou un tube klystron).
Principe de fonctionnement : Le faisceau d'électrons émis par la cathode oscille dans un champ à haute fréquence, générant des ondes térahertz.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Action cathodique baryum-tungstène** : fournit un faisceau d'électrons à haute fréquence et prend en charge la génération d'ondes térahertz.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Réponse à haute fréquence** : Il est nécessaire de prendre en charge une forte émission à haut champ en combinaison avec un effet tunnel.
 - **Stabilité** : Un faible bruit est nécessaire à vide poussé et à des températures élevées.
- **Avantages techniques** : La faible fonction de travail et la densité de courant élevée des cathodes de tungstène baryum les rendent adaptées aux exigences élevées des générateurs d'ondes térahertz.

5.5.2 Propulseurs ioniques

- **Présentation de l'équipement** : Les propulseurs ioniques sont des systèmes de propulsion spatiale à faible poussée et à haut rendement qui génèrent des faisceaux d'ions à l'aide de propergols ionisants (tels que le xénon) pour fournir une micro-poussée (niveaux μN à mN) pour le contrôle d'attitude des sondes ou des satellites de l'espace lointain.
Principe de fonctionnement : La cathode émet un propulseur ionisant d'électrons, et les ions sont éjectés après l'accélération du champ électrique pour générer une poussée.
- **Action cathodique baryum-tungstène** : fournit une source d'électrons à haut rendement et soutient l'ionisation du propergol.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Haute efficacité** : Un flux d'électrons efficace est nécessaire pour améliorer l'efficacité de l'ionisation.
 - **Longue durée de vie** : Les missions dans l'espace lointain nécessitent plusieurs années d'exploitation.
- **Avantages techniques** : L'efficacité d'émission élevée et la longue durée de vie de la cathode baryum-tungstène favorisent la faible consommation d'énergie et le fonctionnement à long terme du propulseur ionique.

5.5.3 Expériences de physique des hautes énergies

- **Description de l'appareil** : Les accélérateurs de particules, tels que le LHC du CERN, accélèrent les particules chargées grâce à des champs électriques et magnétiques pour la recherche en physique des hautes énergies. Sa source d'électrons est utilisée pour générer un premier faisceau de particules ou un faisceau auxiliaire.
Principe de fonctionnement : Le faisceau d'électrons émis par la cathode est accéléré et injecté dans l'accélérateur pour participer à l'expérience de collision de particules.
- **Action cathodique baryum-tungstène** : Fournit une source d'électrons à courant élevé pour soutenir la génération de faisceaux de particules.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Densité de courant ultra-élevée** : Besoin de prendre en charge des faisceaux de particules de haute énergie.
 - **Stabilité** : Il doit fonctionner pendant une longue période sous ultra-vide poussé.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Avantages techniques** : Les hautes performances et la stabilité des cathodes de tungstène de baryum répondent aux conditions extrêmes des expériences de physique des hautes énergies.

5.5.4 Applications biomédicales

- **Introduction de l'équipement** : L'analyse par spectrométrie de masse de haute précision est utilisée pour le diagnostic des maladies (telles que le dépistage précoce du cancer, la détection des maladies métaboliques) en détectant le rapport masse/charge des biomarqueurs. Son composant central est la source d'ions du spectromètre de masse.
Principe de fonctionnement : La cathode émet des électrons pour bombarder des échantillons biologiques, et les ions sont générés et analysés par spectrométrie de masse.
- **Action cathodique de baryum tungstène** : Fournit un flux d'électrons stable et prend en charge l'ionisation à haute sensibilité.
- **Exigences en matière de cathode** :
 - **Haute sensibilité** : nécessite un flux stable d'électrons de faible énergie.
 - **Faible bruit** : La précision de l'analyse nécessite un bruit d'émission très faible.
- **Avantages techniques** : La sensibilité élevée et les caractéristiques de faible bruit des cathodes de baryum et de tungstène en font des sources d'électrons idéales pour l'analyse biomédicale par spectrométrie de masse.

En résumé, les cathodes de tungstène au baryum ont montré un large éventail de valeurs d'application dans l'électronique sous vide, les instruments scientifiques, l'industrie et les communications, l'aérospatiale et la défense, et les domaines émergents en raison de leur faible fonction de travail, de leur densité de courant élevée et de leur excellente stabilité. Ce chapitre présente en détail les principes d'équipement de chaque scénario d'application et leurs exigences techniques pour les cathodes, clarifie le rôle clé des cathodes de baryum-tungstène dans la promotion du développement de domaines de haute technologie et fournit une référence orientée vers l'application pour l'optimisation des performances ultérieures et la recherche interdisciplinaire.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chapitre 6 : Optimisation et amélioration des performances de la cathode de baryum tungstène

L'optimisation des performances et l'amélioration des cathodes de tungstène au baryum sont essentielles pour améliorer leurs performances dans l'électronique du vide et les applications de haute technologie, dans le but d'améliorer l'efficacité des émissions, de prolonger la durée de vie, d'améliorer l'adaptabilité environnementale et de permettre une conception intelligente. Ce chapitre traite en détail de l'optimisation de la structure des pores de la matrice de tungstène poreuse, de la formulation de nouveaux composés de baryum, de l'application de la nanotechnologie, des procédés antitoxicités, de l'amélioration de la stabilité thermique et mécanique, de la fabrication écologique à faible consommation d'énergie et des technologies de surveillance intelligentes, couvrant une gamme complète de stratégies allant de la conception des matériaux à l'optimisation des processus.

6.1 Améliorer l'efficacité du lancement

L'amélioration de l'efficacité d'émission des cathodes de baryum-tungstène est un objectif central de l'optimisation de leurs performances, impliquant l'augmentation de la densité du courant d'émission, la réduction de la fonction de travail et l'amélioration de l'uniformité d'émission des électrons. Cette section traite de l'optimisation de la structure des pores de la matrice poreuse de tungstène, de la formulation et du dopage de nouveaux composés de baryum et de l'application de la nanotechnologie.

6.1.1 Optimisation de la structure des pores d'une matrice de tungstène poreuse

La structure poreuse de la matrice poreuse de tungstène affecte directement le taux de diffusion des atomes de baryum et l'efficacité de formation de la couche active, et l'efficacité d'émission peut être considérablement améliorée en optimisant la porosité et la connectivité.

- **Régulation de la porosité :**
 - **Objectif d'optimisation :** Équilibrer le stockage des composés de baryum et la résistance mécanique de la matrice en ajustant la porosité. Une porosité élevée augmente le stockage du baryum, ce qui est propice à l'émission à haute densité de courant. La faible porosité améliore la résistance pour les applications à longue durée de vie.
 - **Méthode de processus :** La poudre de tungstène fine est mélangée à des particules plus grosses pour former une distribution bimodale des pores et améliorer la connectivité. Les charges temporaires, telles que les microsphères de polystyrène, se volatilisent pendant le frittage, créant un réseau de pores uniforme.
 - **Optimisation des paramètres de frittage :** Ajustez la température de frittage, la vitesse de chauffage et la durée de maintien pour vous assurer que les particules se lient tout en conservant les pores. Le vide ou l'atmosphère d'hydrogène empêche l'oxydation.
- **Connectivité des pores améliorée :**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Moyens techniques** : En contrôlant la distribution granulométrique de la poudre de tungstène et la pression de pression, un réseau de pores connecté tridimensionnel est formé pour favoriser la diffusion des atomes de baryum à la surface.
- **Méthode de vérification** : La tomographie à rayons X (X-CT) reconstruit la structure des pores pour confirmer la connectivité ; La méthode de pression au mercure mesure la porosité et la distribution de la taille des pores.
- **Amélioration des performances** : La structure poreuse optimisée peut améliorer l'efficacité de la diffusion du baryum, augmenter la couverture de la couche de surface active, réduire la fonction de travail et augmenter la densité du courant de transmission.
- **Validation du processus** : La microscopie électronique à balayage (MEB) est utilisée pour observer les sections efficaces des pores, combinée à des tests d'émission thermioniques pour évaluer les performances d'émission afin d'assurer l'uniformité et la stabilité.

L'optimisation de la structure des pores doit être réalisée grâce à des procédés précis de métallurgie des poudres et de frittage afin de fournir la base structurelle d'une émission efficace.

6.1.2 Formulation et technologie de dopage des nouveaux composés du baryum

De nouvelles formulations de composés de baryum et des techniques de dopage optimisent la formation et la stabilité de la couche active, réduisent la fonction de travail et améliorent l'efficacité de l'émission.

- **Nouvelle formulation de composé de baryum** :
 - **Ajustement de la formule** : L'aluminate de baryum et de calcium traditionnel ($4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 4:1:1) augmente la teneur en baryum en ajustant le rapport molaire et accélère le taux de libération de baryum libre, ce qui le rend adapté aux applications à haute densité de courant. Le faible rapport de baryum ralentit la décomposition et convient aux besoins de longue durée.
 - **Composés alternatifs** : Explorez les silicates de baryum (par exemple, Ba_2SiO_4) ou les titanates de baryum (par exemple, BaTiO_3) comme alternatives en raison de leurs propriétés de décomposition thermique plus stables sur une certaine plage de température et réduisez les interférences de sous-produits.
 - **Optimisation des particules** : Broyez les composés de baryum au niveau submicronique pour correspondre à la taille des pores de la matrice, améliorer l'uniformité de l'imprégnation et améliorer la couverture de la couche active.
- **Technologie de dopage** :
 - **Sélection des dopants** : Des oxydes de terres rares (tels que La_2O_3 , CeO_2 , <2 % en poids) ont été ajoutés pour améliorer la stabilité thermique de la couche active et réduire la fonction de travail. La_2O_3 forme des complexes Ba-La-O avec une faible fonction de travail, et le CeO_2 améliore la capacité antioxydante.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Méthode de dopage** : Le dopant est mélangé à un composé de baryum et broyé pour préparer une suspension, ou il est introduit par imprégnation secondaire après imprégnation pour assurer une distribution uniforme. La dispersion ultrasonique empêche l'agglomération.
- **Mécanisme d'action** : Les dopants réduisent la fonction de travail en modifiant la structure électronique de la surface, tout en inhibant l'évaporation du baryum et en prolongeant la durée de vie de la couche active.
- **Améliorations des performances** : Les nouvelles formulations et les techniques de dopage réduisent la fonction de travail, augmentent la densité du courant de transmission et améliorent l'uniformité des émissions.
- **Vérification du processus** : La spectroscopie photoélectronique à rayons X (XPS) a été utilisée pour analyser la composition chimique de la surface et confirmer la distribution des dopants. Des tests d'émission thermionique vérifient l'augmentation de la fonction de travail et de la densité du courant.

Les nouvelles formulations et techniques de dopage doivent être optimisées expérimentalement pour assurer leur compatibilité avec la structure des pores de la matrice.

6.1.3 Applications de la nanotechnologie

La nanotechnologie améliore l'efficacité d'émission des cathodes de baryum-tungstène en construisant des structures à l'échelle nanométrique, impliquant des revêtements de baryum à l'échelle nanométrique et des matrices de tungstène nanoporeuses.

- **Revêtement de baryum à l'échelle nanométrique** :
 - **Méthode de préparation** : Le dépôt par couche atomique (ALD) ou le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) est utilisé pour déposer des revêtements d'oxyde de baryum à l'échelle nanométrique à la surface de la matrice de tungstène. L'ALD utilise $Ba(C_2H_5O_2)_2$ comme précurseur et est déposé couche par couche à une certaine température pour assurer l'uniformité.
 - **Avantages** : Les nanorevêtements augmentent la couverture de surface des atomes de baryum, réduisent la fonction de travail et réduisent les pertes par évaporation du baryum. La surface spécifique élevée du revêtement améliore l'efficacité de l'émission d'électrons.
 - **Contrôle du processus** : Le dépôt doit être effectué sous vide poussé pour contrôler le taux de dépôt et éviter que le revêtement ne soit trop épais pour obstruer les pores.
- **Matrice de tungstène nanoporeuse** :
 - **Méthode de préparation** : Des nanopores sont formés à la surface de la matrice de tungstène par des méthodes de gravure électrochimique ou de pochoir (telles que les gabarits en aluminium anodisé). La méthode du modèle utilise un modèle Al_2O_3 pour retirer le modèle après le dépôt de tungstène par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Avantages** : Les nanopores augmentent la surface spécifique, améliorent l'efficacité du stockage et de la diffusion du baryum et augmentent la densité du courant d'émission.
- **Défis du processus** : Les nanopores doivent maintenir leur connectivité pour éviter de s'effondrer ; La résistance de la matrice est renforcée par le dopage au ZrO_2 .
- **Amélioration des performances** : La nanotechnologie peut augmenter l'efficacité des émissions, réduire la fonction de travail et améliorer l'uniformité des émissions.
- **Méthode de vérification** : microscopie à force atomique (AFM) pour analyser la morphologie du revêtement et confirmer la rugosité ; MEB et X-CT pour détecter les structures nanoporeuses ; Les tests de transmission vérifient l'augmentation de la densité de courant.

La nanotechnologie doit s'attaquer aux coûts de préparation et à l'évolutivité, mais son potentiel d'amélioration significative des performances en fait un haut lieu de la recherche.

6.2 Prolonger la durée de vie

La prolongation de la durée de vie est une direction importante pour l'optimisation de la cathode de baryum tungstène, impliquant des processus anti-empoisonnement et des améliorations de la stabilité thermique et de la résistance mécanique pour ralentir le vieillissement et les défaillances.

6.2.1 Procédé anti-empoisonnement

Le procédé anti-poison ralentit le vieillissement de la couche active en améliorant la résistance de la cathode aux polluants environnementaux.

- **Mécanisme de contamination antioxydante** :
 - **Sources de pollution** : Les gaz résiduels (tels que O_2 , H_2O , CO_2) réagissent avec le baryum de surface pour former des composés à haute puissance (tels que BaO_2 , $BaCO_3$), ce qui réduit les performances d'émission.
 - **Politique de protection** :
 - **Ajouter des agents antitoxiques** : Dopé avec des oxydes de terres rares (tels que Sc_2O_3 , Y_2O_3) pour former une couche protectrice et inhiber la réaction du baryum avec l'oxygène. Sc_2O_3 forme un complexe Ba-Sc-O stable qui réduit le taux d'oxydation.
 - **Revêtement de surface** : Dépose une fine couche d'oxyde, tel que Al_2O_3 , par dépôt physique en phase vapeur (PVD) comme barrière, empêchant la pénétration des contaminants.
 - **Traitement post-activation** : Après l'activation, le recuit à basse température forme une couche stable d'adsorption de baryum pour améliorer la capacité anti-pollution.
- **Optimisation des processus** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- L'imprégnation et l'activation sont effectuées sous ultravide pour réduire la contamination initiale.
- Utilisez des composés de baryum de haute pureté et des salles blanches pour éviter l'introduction d'impuretés.
- **Amélioration des performances** : Le processus anti-empoisonnement prolonge la durée de vie de la cathode dans un environnement sous vide et réduit le taux d'atténuation du courant transmis.
- **Méthode de vérification** : XPS analyse la composition chimique de la surface et détecte le contenu des contaminants ; Des tests de vieillissement accéléré évaluent les propriétés antitoxicité.

Le processus anti-empoisonnement nécessite une combinaison de mesures de protection pour assurer la stabilité à long terme de la cathode dans des environnements non idéaux.

6.2.2 Amélioration de la stabilité thermique et de la résistance mécanique

L'amélioration de la stabilité thermique et de la résistance mécanique réduit l'évaporation du baryum et les défaillances structurelles lors d'un fonctionnement à haute température, prolongeant ainsi la durée de vie de la cathode.

- **Améliorations de la stabilité thermique** :
 - **Optimisation des composés de baryum** : Utilisation de composés de baryum thermiquement stables tels que le Ba_2SiO_4 qui se décomposent à une température plus élevée que les formulations conventionnelles, ralentissant ainsi l'évaporation du baryum.
 - **Amélioration du dopage** : Le ZrO_2 ou le HfO_2 est ajouté à la matrice ou à la couche active pour inhiber la volatilisation des atomes de baryum à haute température et améliorer la force de liaison de la couche active à la matrice.
 - **Optimisation du processus d'activation** : L'activation étape par étape forme une couche active uniforme, réduisant la perte de baryum lors de l'activation à haute température.
- **Amélioration de la résistance mécanique** :
 - **Renforcement de la matrice** : Améliorez la liaison des joints de grains de la matrice de tungstène en dotant Re ou ThO_2 pour améliorer la résistance à la compression.
 - **Optimisation du frittage** : Réduit la température de frittage et prolonge le temps de rétention de chaleur, ce qui permet d'obtenir des liaisons de particules plus denses et une réduction des microfissures.
 - **Conception de la structure des pores** : La structure des pores en gradient (porosité élevée en surface, faible porosité à l'intérieur) équilibre la résistance et les besoins en stockage de baryum.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Amélioration des performances** : Une meilleure stabilité thermique prolongera la durée de vie de la cathode à haute température ; Résistance mécanique accrue pour résister aux environnements à fortes vibrations (par exemple, les radars militaires).
- **Méthode de vérification** : L'analyse thermogravimétrique (ATG) a été utilisée pour évaluer le taux d'évaporation du baryum. Essais de compression et MEB pour observer la résistance de la matrice et la microstructure ; Les tests de durée de vie permettent de vérifier les performances à long terme.

L'amélioration de la stabilité thermique et de la résistance mécanique est obtenue grâce à l'optimisation synergique des matériaux et des processus.

6.3 Adaptabilité à l'environnement

L'amélioration de l'adaptabilité environnementale des cathodes de baryum-tungstène leur permet de fonctionner dans des conditions extrêmes et des exigences de fabrication écologiques, impliquant des performances environnementales extrêmes et des conceptions à faible consommation.

6.3.1 Performances dans des environnements extrêmes

Les environnements extrêmes (par exemple, le vide spatial, les rayonnements élevés, les cycles de température) imposent des exigences plus élevées en matière de performances de la cathode, nécessitant des matériaux et des structures optimisés pour assurer la stabilité.

- **Vide spatial et rayonnement** :
 - **Stratégie d'optimisation** : Ajouter des additifs anti-radiations pour améliorer la capacité d'endommagement anti-radiation de la matrice et de la couche active. Surface déposée avec un revêtement de ZrO_2 pour protéger les particules rayonnantes.
 - **Compatibilité avec le vide** : Active et scelle la cathode sous ultravide, réduisant ainsi la contamination par les gaz résiduels.
- **Cycle de température** :
 - **Stratégie d'optimisation** : Une matrice de tungstène à faible coefficient de dilatation thermique est utilisée pour réduire le stress thermique. Le chauffage étape par étape évite la fissuration de la couche active.
 - **Méthode de vérification** : Les tests de cyclage thermique évaluent la dégradation des performances.
- **Environnement à fortes vibrations** :
 - **Stratégie d'optimisation** : Former une matrice haute densité par pressage isostatique à froid pour améliorer la résistance aux vibrations. La conception des pores dégradés améliore la robustesse structurelle.
- **Performances améliorées** : La cathode optimisée peut fonctionner de manière stable dans le vide, les environnements à fort rayonnement et à vibrations, et la durée de vie est prolongée.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Méthode de vérification** : Essai de simulation environnementale (rayonnement, vide, vibrations) combiné à un essai d'émission pour confirmer la stabilité des performances.

L'optimisation d'environnements extrêmes nécessite une prise en compte complète des matériaux, des processus et de la conception structurelle.

6.3.2 Faible consommation d'énergie et fabrication écologique

La faible consommation d'énergie et la fabrication écologique sont des orientations importantes dans la conception moderne des cathodes, visant à réduire la consommation d'énergie et l'impact environnemental.

- **Conception à faible consommation d'énergie** :
 - **Température de fonctionnement réduite** : La fonction de travail est réduite par le dopage Sc_2O_3 ou La_2O_3 de sorte que la cathode fournit une densité de courant élevée à la température de fonctionnement, réduisant ainsi la puissance de chauffage.
 - **Structure chauffante efficace** : concevez une matrice à haute conductivité thermique avec des éléments chauffants optimisés tels que le filament Mo pour améliorer l'efficacité thermique.
 - **Méthode de vérification** : L'essai d'émission thermionique évalue les performances à basse température ; L'imagerie thermique analyse l'uniformité de la chaleur.
- **Fabrication verte** :
 - **Matériaux respectueux de l'environnement** : Utilisez des additifs non toxiques comme le CeO_2 pour réduire les dommages environnementaux. Récupérez la poudre de tungstène et les composés de baryum pour réduire la consommation de matières premières.
 - **Processus d'économie d'énergie** : Le frittage à basse température et l'imprégnation à haut rendement (trempage sous vide) sont utilisés pour réduire la consommation d'énergie.
 - **Traitement des déchets** : Mettre en place un système de récupération des déchets liquides composés de baryum pour récupérer les ions Ba^{2+} par précipitation chimique et réduire les émissions.
- **Performances améliorées** : La conception à faible consommation réduit la puissance de chauffage ; Réduire la consommation d'énergie et les émissions de déchets issus de la fabrication écologique.
- **Méthode de vérification** : l'analyse de la consommation d'énergie évalue l'efficacité de la fabrication et de l'exploitation ; L'évaluation de l'impact sur l'environnement (ACV) confirme l'efficacité de la fabrication verte.

La faible consommation d'énergie et la fabrication écologique nécessitent un équilibre entre performance et avantages environnementaux.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.4 Conception intelligente

La conception intelligente améliore les performances de la cathode grâce à une surveillance en temps réel et à des ajustements dynamiques, impliquant l'intégration de capteurs et un contrôle adaptatif.

- **Surveillance des capteurs :**
 - **Type de capteur :** Des capteurs de température miniatures intégrés (par exemple, des thermocouples) et des capteurs de courant surveillent l'état de la cathode. Les capteurs de pression détectent les changements dans l'environnement du vide.
 - **Méthode d'installation :** Le capteur est intégré dans la matrice cathodique ou le boîtier du dispositif à vide et transmet les données via un microcircuit.
 - **Paramètres de surveillance :** Enregistrez la température de fonctionnement, le courant de transmission et le vide en temps réel pour prédire le vieillissement ou la contamination de la couche active.
- **Réglage dynamique :**
 - **Système de contrôle :** Développez un système de rétroaction basé sur une unité de microcontrôle (MCU) pour ajuster la puissance de chauffage ou les conditions d'activation en fonction des données du capteur. Par exemple, lorsque le courant d'émission diminue de >5 %, l'activation à basse température de l'atome de baryum supplémentaire est déclenchée.
 - **Algorithmes adaptatifs :** utilisez des modèles d'apprentissage automatique pour analyser les données historiques, optimiser les paramètres de fonctionnement et prolonger la durée de vie.
- **Performances améliorées :** La conception intelligente prolonge la durée de vie de la cathode et réduit les défaillances accidentelles.
- **Méthode de vérification :** Test de fonctionnement simulé pour évaluer la précision du capteur et la réponse du système de contrôle ; L'analyse des défaillances confirme l'efficacité du renseignement.

La conception intelligente répond à la miniaturisation des capteurs et à la complexité du traitement des données, mais son potentiel est important.

En résumé, l'optimisation des performances et l'amélioration de la cathode de baryum-tungstène améliorent considérablement l'efficacité des émissions, la durée de vie et l'adaptabilité environnementale grâce à l'optimisation de la structure des pores, aux nouvelles formulations, à la nanotechnologie, au processus anti-empoisonnement, à l'amélioration de la stabilité thermomécanique, à la fabrication verte à faible consommation d'énergie et à la conception intelligente. Ce chapitre fournit une voie technique systématique pour le développement de cathodes haute performance, jetant les bases des défis techniques et du développement futur du chapitre suivant.

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



Chapitre 7 : Défis et développement futur

En tant que source d'émission thermionique à haut rendement, la cathode de baryum et de tungstène occupe une position importante dans le domaine des dispositifs électroniques sous vide et de la haute technologie, mais son développement se heurte à des goulets d'étranglement techniques tels que le coût des matériaux, la cohérence des performances et la stabilité de la chaîne d'approvisionnement, et est également soumis à la pression concurrentielle des cathodes froides et d'autres technologies de cathodes chaudes. Ce chapitre fournit une analyse approfondie des défis techniques actuels, discute du paysage concurrentiel des technologies émergentes et attend avec impatience les orientations futures de la recherche sur les cathodes de baryum-tungstène, couvrant les nouveaux matériaux et processus, la conception intelligente et la recherche interdisciplinaire.

7.1 Goulets d'étranglement techniques actuels

L'application généralisée des cathodes de baryum et de tungstène est limitée par des goulets d'étranglement tels que le coût des matériaux, la complexité de la préparation, la cohérence des performances et la stabilité de la chaîne d'approvisionnement, qui limitent leur compétitivité dans les dispositifs haute performance et la production de masse.

7.1.1 Coût des matériaux et complexité de la préparation

- **Description du défi :**
 - **Matières premières coûteuses :** Les cathodes de tungstène de baryum reposent sur des composés de tungstène et de baryum de haute pureté, qui peuvent être coûteux. La poudre de tungstène doit être soigneusement tamisée pour assurer une taille de particule uniforme, et les composés de baryum doivent être synthétisés avec une grande pureté, ce qui augmente considérablement les coûts des matériaux.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Procédés de préparation complexes** : Le processus de métallurgie des poudres de la matrice poreuse de tungstène (y compris le pressage et le frittage à haute température) et le processus d'imprégnation et d'activation des composés de baryum impliquent des opérations de haute précision en plusieurs étapes. Le frittage à haute température nécessite un vide strict ou une atmosphère inerte, l'imprégnation et l'activation nécessitent un environnement propre, un investissement en équipement et une consommation d'énergie élevée.
- **Sensibilité du processus** : De petits écarts de porosité, de garnissage de baryum et de conditions d'activation peuvent affecter considérablement les performances d'émission, entraînant des coûts d'essais et d'erreurs plus élevés.
- **Impact** : Le coût élevé et la complexité limitent l'adoption des cathodes de tungstène de baryum dans les applications sensibles aux coûts, telles que les équipements résidentiels à micro-ondes, et augmentent la barrière à l'entrée pour les petites et moyennes entreprises.
- **Solution potentielle** :
 - Explorez des matériaux alternatifs peu coûteux, tels que le dopage de métaux à bas prix tels que le molybdène pour réduire l'utilisation de tungstène, ou adoptez des formulations de composés de baryum plus économiques.
 - Optimisez le flux de processus et simplifiez les étapes de pressage et de trempage avec des équipements automatisés pour réduire modérément la consommation d'énergie.
 - Établissez des spécifications de processus standardisées, combinées à la technologie de contrôle statistique des processus (SPC), réduisez considérablement les fluctuations des paramètres et améliorez l'efficacité de la production.

7.1.2 Uniformité du rendement et défis de la production de masse

- **Description du défi** :
 - **Variations d'un lot à l'autre** : La structure des pores, le remplissage du composé de baryum et l'uniformité de la couche active de la matrice de tungstène poreuse varient d'un lot à l'autre, ce qui entraîne des fluctuations des performances d'émission et affecte la fiabilité du dispositif.
 - **Difficulté de mise à l'échelle du processus** : La préparation en laboratoire à petite échelle peut atteindre une grande cohérence, mais dans la production à l'échelle industrielle, l'uniformité dans les conditions de pressage, de frittage et d'imprégnation est difficile à maintenir, ce qui entraîne des performances inégales.
 - **Complexité du contrôle de la qualité** : Les tests de performance des émissions nécessitent un environnement de vide poussé et des instruments de précision, ce qui rend le processus de test long et coûteux. L'analyse des défaillances (comme le diagnostic de la contamination de surface) nécessite une combinaison de plusieurs technologies, ce qui augmente la difficulté de l'inspection de la qualité.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Impact** : Les performances incohérentes limitent la crédibilité des cathodes de baryum-tungstène dans les applications à haute fiabilité (par exemple, les communications par satellite, les accélérateurs de particules) et entravent l'industrialisation à grande échelle.
- **Solution potentielle** :
 - L'introduction de technologies de surveillance en ligne, telles que la détection de la structure des pores en temps réel et la surveillance de la température, améliore considérablement la stabilité du processus.
 - Développez une plate-forme de test à haut débit qui combine des tests d'émission automatisés et une analyse de vision industrielle pour évaluer rapidement la cohérence des lots.
 - Optimisez les processus de production pour garantir des lots stables de matières premières et réduisez considérablement la variabilité des performances grâce à des méthodes basées sur les données telles que Six Sigma.

7.1.3 Défis de la chaîne d'approvisionnement

- **Description du défi** :
 - **Rareté des matières premières** : Les ressources en tungstène et en baryum sont rares, les réserves mondiales sont concentrées dans quelques régions et les chaînes d'approvisionnement sont sensibles aux fluctuations géopolitiques et du marché.
 - **Logistique et stockage** : La poudre de tungstène de haute pureté et les composés de baryum nécessitent des conditions de stockage spéciales (humidité et oxydation), et le transport longue distance peut introduire des impuretés ou augmenter les coûts.
 - **Pressions environnementales et réglementaires** : La production et l'élimination des déchets de composés de baryum impliquent des substances potentiellement toxiques qui nécessitent le respect de réglementations environnementales strictes, ce qui augmente les coûts de conformité.
- **Impact** : L'instabilité de la chaîne d'approvisionnement peut entraîner des pénuries de matières premières ou des fluctuations de prix, affectant les plans de production et le contrôle des coûts, et limitant le processus d'industrialisation.
- **Solution potentielle** :
 - Mettre au point une technologie de récupération des ressources pour extraire le tungstène et le baryum des cathodes de déchets afin de réduire modérément la dépendance au minerai brut.
 - Établissez une chaîne d'approvisionnement diversifiée, coopérez avec des fournisseurs multinationaux et diversifiez les risques géopolitiques.
 - Promouvoir les procédés chimiques écologiques, utiliser des alternatives non toxiques ou des technologies efficaces de traitement des déchets liquides pour répondre aux exigences de protection de l'environnement.

7.2 Concurrence dans les technologies émergentes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les cathodes de tungstène de baryum sont concurrencées par les cathodes froides et d'autres technologies de cathodes chaudes, et leur position sur le marché dépend de leur capacité à maintenir leurs avantages techniques et à s'adapter aux divers besoins d'application.

7.2.1 Technologie de cathode froide

- **Description de la technologie compétitive :**
 - **Cathode de nanotubes de carbone (CNT) :** Utilisant les caractéristiques d'émission de champ des nanotubes de carbone, ils émettent des électrons à travers des champs électriques élevés sans chauffage, offrant les avantages d'une faible consommation d'énergie, d'une réponse rapide et d'une miniaturisation, ce qui les rend adaptés aux appareils électroniques miniatures tels que les écrans plats et les sources de rayons X portables.
 - **Autres cathodes d'émission de champ :** telles que le graphène, les nanofils d'oxyde de zinc et les cathodes de réseau de pointe, s'appuient sur l'effet d'amélioration du champ électrique élevé des nanostructures pour fournir une densité de courant d'émission élevée et sont largement utilisées dans les domaines émergents.
 - **Potentiel d'application :** Les cathodes froides remplacent progressivement les cathodes chaudes traditionnelles dans les dispositifs à faible consommation et miniaturisés, menaçant certains marchés des cathodes de baryum et de tungstène.
- **Défis concurrentiels :**
 - **Avantage de la faible consommation d'énergie :** la cathode froide ne nécessite pas de chauffage, ce qui réduit considérablement la consommation d'énergie, ce qui la rend adaptée aux applications portables et écologiques.
 - **Réduction des coûts de fabrication :** La technologie de préparation des nanotubes de carbone et du graphène devient plus mature, et le coût diminue progressivement, ce qui améliore la compétitivité du marché.
 - **Limites :** La densité du courant d'émission et la durée de vie des cathodes froides sont généralement inférieures à celles des cathodes de tungstène au baryum, et la stabilité de l'émission du champ est sensible à la contamination de surface, ce qui augmente la complexité de la conception du dispositif en raison des exigences élevées en matière de champ électrique.
- **Stratégie d'intervention en matière de cathode de baryum et de tungstène :**
 - Améliorez les avantages de la haute puissance et mettez en évidence l'irremplaçabilité des cathodes de baryum-tungstène dans les applications à haute densité de courant et à longue durée de vie (telles que les tubes à micro-ondes, les tubes à rayons X).
 - Développer des cathodes baryum-tungstène de faible puissance pour réduire l'écart de consommation d'énergie avec des cathodes froides en optimisant la fonction de travail et la température de fonctionnement.
 - Étendre les domaines à haute fiabilité tels que l'électronique spatiale pour améliorer la résistance aux radiations et aux vibrations.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.2.2 Autres cathodes theramiques

- **Description de la technologie compétitive :**
 - **Cathodes d'oxyde :** Basées sur des revêtements d'oxyde de baryum ou d'oxyde de strontium, elles ont un faible coût et des températures de fonctionnement plus basses, ce qui les rend adaptées aux applications à faible puissance (telles que les petits tubes), mais elles offrent une résistance à la toxicité et une longévité médiocres.
 - **Cathode d'hexaborure de lanthane (LaB₆) :** Fournit une émission d'électrons à haute luminosité et convient à la microscopie électronique à haute résolution, mais a une température de fonctionnement élevée et des coûts de préparation élevés.
 - **Cathodes en tungstène dopées :** telles que les cathodes en tungstène dopées au rhénium ou au thorium, adaptées aux environnements à haute température et à haute résistance, mais l'efficacité d'émission est inférieure à celle des cathodes de tungstène au baryum.
- **Défis concurrentiels :**
 - **Rapport coût/performance :** Les cathodes d'oxyde dominent le marché à faible coût, mais ont des performances limitées ; Les cathodes LaB₆ sont en concurrence avec les cathodes barium-tungstène dans les applications à haute luminosité, mais avec une consommation d'énergie et un coût plus élevés.
 - **Concurrence spécifique à l'application :** Les cathodes LaB₆ menacent la part de marché des cathodes de baryum-tungstène en microscopie électronique, tandis que les cathodes d'oxyde exercent une pression sur le marché bas de gamme.
- **Stratégie d'intervention en matière de cathode de baryum et de tungstène :**
 - Optimisez les rapports performance-coût pour réduire les coûts en simplifiant le processus de préparation tout en maintenant une efficacité élevée en matière d'émissions et des avantages de longue durée.
 - Fonction basse consommation améliorée et stabilité thermique pour les applications hautes performances (par exemple, tubes à micro-ondes, accélérateurs de particules).
 - Explorez des conceptions de cathodes composites qui combinent les avantages de l'oxyde ou du LaB₆ pour développer des cathodes polyvalentes.

7.2.3 Analyse de l'avantage concurrentiel des cathodes de tungstène au baryum

- **Avantages :**
 - **Efficacité d'émission élevée :** La fonction de faible puissance et la densité de courant élevée le rendent excellent dans l'électronique sous vide haute puissance.
 - **Longue durée de vie :** Le stockage optimisé du baryum et la conception anti-empoisonnement prolongent considérablement le temps de fonctionnement pour les exigences de fiabilité élevées (par exemple, les communications par satellite).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Maturité technologique** : Des décennies d'accumulation de processus et une chaîne d'industrialisation bien établie assurent sa compétitivité dans les domaines traditionnels.
- **Inconvénients** :
 - L'augmentation de la consommation d'énergie et des coûts de préparation limite leur application sur les marchés à faible consommation et à faible coût.
 - Les performances sont sensibles à l'environnement et nécessitent des conditions strictes d'aspiration et de nettoyage.
- **Positionnement stratégique** :
 - Consolider les marchés à haute puissance et à haute fiabilité tels que les tubes à micro-ondes, les tubes à rayons X et l'électronique spatiale.
 - Expansion dans des domaines émergents (p. ex., sources térahertz) grâce à des innovations technologiques (p. ex., nanotechnologie, conception à faible consommation).
 - Développer des cathodes composites à champ chaud, combinées aux avantages de la faible consommation d'énergie des cathodes froides, afin d'améliorer la compétitivité globale.

7.3 Orientations futures de la recherche

Le développement futur des cathodes de baryum-tungstène doit surmonter les goulets d'étranglement existants, s'adapter aux besoins des technologies émergentes, explorer de nouveaux matériaux et processus, une conception intelligente et une recherche interdisciplinaire, et élargir leurs perspectives d'application.

7.3.1 Exploration de nouveaux matériaux et procédés

- **Nouveaux matériaux** :
 - **Matériaux matriciels alternatifs** : Développer des matrices de tungstène dopées au molybdène ou au rhénium pour réduire modérément les coûts et améliorer la conductivité thermique et la résistance mécanique. Explorez les substrats en carbure de tungstène ou en céramique pour une résistance accrue à l'oxydation à haute température.
 - **Nouveaux composés de baryum** : Rechercher de nouvelles formulations telles que le silicate de baryum ou la zircone de baryum pour optimiser les propriétés de décomposition thermique et la stabilité, et réduire l'impact des sous-produits sur les propriétés d'émission.
 - **Additifs fonctionnels** : Développer de nouveaux agents antitoxiques (tels que l'oxyde de scandium) pour former des complexes fonctionnels à faible travail tout en améliorant la résistance aux radiations.
- **Nouveau processus** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Technologie d'imprégnation efficace** : L'imprégnation électrochimique ou assistée par plasma améliore l'uniformité du remplissage des composés de baryum, réduisant considérablement le temps de traitement.
- **Frittage à basse température** : Réduire la température de frittage en ajoutant des nanocatalyseurs, en réduisant la consommation d'énergie et en préservant la structure des pores.
- **Fabrication additive** : Utilise la technologie d'impression 3D pour contrôler avec précision les structures poreuses de la matrice de tungstène, améliorant ainsi la flexibilité de conception et l'uniformité des pores.
- **Résultats attendus** : Les nouveaux matériaux et procédés peuvent améliorer considérablement l'efficacité des émissions, réduire la fonction de travail et réduire modérément les coûts de préparation.
- **Méthode de validation** : La microscopie électronique à balayage (MEB) et la spectroscopie photoélectronique à rayons X (XPS) ont été utilisées pour analyser la microstructure et la chimie de surface du matériau, combinées à des tests d'émission thermoionique pour évaluer l'amélioration des performances.

7.3.2 Conception intelligente et adaptative de la cathode

- **Conception intelligente** :
 - **Intégration des capteurs** : Intégré avec de minuscules capteurs de température, de courant et de vide pour surveiller le fonctionnement de la cathode en temps réel et prédire les tendances de vieillissement ou de contamination.
 - **Contrôle dynamique** : Développez un système de rétroaction basé sur une unité de microcontrôle pour ajuster dynamiquement la puissance de chauffage ou les conditions d'activation en fonction des données en temps réel, prolongeant ainsi la durée de vie.
 - **Analyse des données** : utilisez des modèles d'apprentissage automatique pour analyser les données opérationnelles, optimiser les paramètres de processus et améliorer considérablement l'efficacité opérationnelle.
- **Conception adaptative** :
 - **Adaptation environnementale** : Répond dynamiquement à la pollution par les gaz résiduels par des modifications chimiques de surface, telles que les revêtements en zircone, améliorant ainsi la robustesse de l'environnement.
 - **Fonctionnement multimode** : Développez des cathodes qui prennent en charge les modes haute puissance et basse consommation, s'adaptant aux divers besoins des applications.
- **Résultat attendu** : La conception intelligente prolonge considérablement la durée de vie de la cathode, réduit les défaillances imprévues et améliore la stabilité opérationnelle.
- **Méthode de vérification** : Évaluez la fiabilité du système de contrôle par le biais d'un test de fonctionnement à long terme et vérifiez l'effet adaptatif en combinaison avec l'analyse des défaillances.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.3.3 Recherche interdisciplinaire

- **Combiné à l'intelligence artificielle :**
 - **Optimisation des procédés :** Accélérez la recherche et le développement en optimisant les formulations de composés de baryum et les conditions d'activation grâce à des simulations de dynamique moléculaire basées sur l'IA.
 - **Prédiction de performance :** L'influence de plusieurs paramètres sur la performance d'émission est analysée par le réseau neuronal, ce qui raccourcit considérablement la période expérimentale.
- **Combiné à l'informatique quantique :**
 - **Conception matérielle :** Utilisez l'informatique quantique pour simuler la structure électronique de l'interface baryum-tungstène et développer des matériaux à très faible fonction de travail.
 - **Recherche sur le mécanisme d'émission :** Explorer la contribution de l'effet tunnel quantique à l'émission forte à haut champ, et concevoir une cathode composite à champ chaud.
- **Intégration avec d'autres disciplines :**
 - **Nanotechnologie :** Combiner des techniques telles que le dépôt de couches atomiques (ALD) pour développer des couches actives à l'échelle nanométrique afin d'améliorer l'efficacité des émissions.
 - **Biomédical :** Optimisation des performances des cathodes de baryum-tungstène en spectrométrie de masse de haute précision pour soutenir le diagnostic des maladies.
 - **Nouvelles énergies :** Explorer son potentiel dans les générateurs de plasma, au service de la fusion nucléaire ou des technologies des piles à combustible.
- **Résultats attendus :** La recherche interdisciplinaire peut élargir considérablement les perspectives d'application des cathodes de baryum-tungstène dans les domaines des ondes térahertz, des dispositifs quantiques et des nouvelles énergies.
- **Méthode de vérification :** Validez de nouveaux matériaux et procédés par le biais d'expériences conjointes multidisciplinaires, et évaluez les performances interdomaines en combinaison avec des tests d'application pratiques.

En résumé, le développement de cathodes de baryum-tungstène est confronté à des défis tels que le coût des matériaux, la cohérence des performances, la stabilité de la chaîne d'approvisionnement et la concurrence des technologies émergentes, mais grâce à la promotion synergique de nouveaux matériaux et processus, à la conception intelligente et à la recherche interdisciplinaire, son potentiel dans l'électronique du vide haute performance et les domaines émergents est encore large.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 8 : Étalons de cathode de tungstène au baryum

La normalisation est la clé pour garantir les performances constantes, la fiabilité de fabrication et la sécurité environnementale des cathodes de baryum-tungstène, en fournissant un cadre technique unifié pour leur application dans l'électronique du vide et les domaines de haute technologie. Ce chapitre traite en détail des normes internationales et industrielles (y compris les normes nationales et industrielles chinoises), des spécifications des paramètres de performance, des normes de fabrication et de contrôle de la qualité, ainsi que des normes environnementales et de sécurité liées aux cathodes de baryum-tungstène.

8.1 Normes internationales et de l'industrie

La normalisation des cathodes de baryum et de tungstène s'appuie sur les organisations internationales de normalisation (par exemple, IEC, ISO), les normes nationales chinoises (GB) et les normes industrielles (par exemple, IEEE, MIL-STD, ASTM et les normes de l'industrie chinoise) pour fournir des spécifications uniformes pour la sélection des matériaux, les processus de fabrication et les tests de performance.

8.1.1 Normes internationales relatives aux cathodes de baryum et de tungstène

- **CEI 60601-1 Appareils électromédicaux - Partie 1 : Exigences générales pour la sécurité de base et les performances essentielles**
 - **Description** : Cette norme spécifie les exigences de sécurité et de performance pour les équipements électromédicaux, couvrant les spécifications de performance des cathodes de baryum et de tungstène dans les tubes à rayons X, telles que la densité de courant d'émission, la durée de vie opérationnelle et les exigences relatives à l'environnement sous vide.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Aptitude** : Convient aux équipements d'imagerie médicale (par exemple, les scanners CT, les appareils de diagnostic par rayons X), garantissant que la cathode fournit une émission d'électrons stable à une puissance de sortie élevée, répondant aux besoins de précision d'imagerie et de sécurité des patients.
- **Exigences clés** : La cathode doit fournir une densité de courant de transmission élevée, de faibles fluctuations de courant, maintenir un vide élevé (moins de 10^{-6} Pa) dans l'environnement de fonctionnement pour éviter l'empoisonnement, et les tests de durée de vie doivent simuler les conditions de fonctionnement réelles.
- **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants doivent vérifier les performances de la cathode à l'aide d'ampèremètres et de jauges à vide de haute précision, et le processus d'essai doit être conforme aux conditions environnementales et de sécurité spécifiées par la norme.
- **CEI 60050 Vocabulaire électrotechnique international**
 - **Description** : Cette norme fournit une définition uniforme des termes pour le domaine de l'ingénierie électrique, y compris des termes techniques pour les cathodes thermiques telles que les cathodes de tungstène de baryum, telles que la fonction de travail, le courant d'émission et la couche active.
 - **Applicabilité** : Assure la cohérence terminologique du développement, des essais et de la documentation des cathodes de baryum-tungstène, assurant ainsi la communication transfrontalière et l'exactitude de la documentation technique.
 - **Exigences clés** : La terminologie doit être clairement définie et un vocabulaire standard doit être utilisé dans les rapports de test et les manuels de produits pour éviter toute ambiguïté.
 - **Guide de mise en œuvre** : Le personnel de R&D et les fabricants doivent rédiger une documentation technique basée sur la norme CEI 60050 pour s'assurer que la terminologie est normalisée.
- **ISO 9001 Systèmes de management de la qualité – Exigences**
 - **Description** : Cette norme spécifie les exigences d'un système de gestion de la qualité, guidant le contrôle de la qualité et la gestion des processus dans la production de cathodes de baryum tungstène.
 - **Aptitude** : Convient à la production de cathodes de baryum et de tungstène dans les instruments industriels de CND et scientifiques, garantissant l'uniformité des lots et la fiabilité du produit.
 - **Exigences clés** : L'environnement de production doit être conforme aux normes des salles blanches (par exemple, ISO niveau 5), l'équipement d'essai doit être étalonné régulièrement et les registres de production doivent être complets, couvrant la source des matières premières et les paramètres du processus.
 - **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants certifiés ISO 9001 doivent établir un système complet de gestion de la qualité et auditer régulièrement les processus pour garantir la cohérence de la production.
- **ISO 20431 Technique du vide - Étalonnage des vacuomètres**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Description** : Cette norme spécifie la méthode d'étalonnage des équipements d'essai (tels que les vacuomètres) dans un environnement sous vide, garantissant la précision des essais de performance de la cathode de baryum tungstène.
- **Applicabilité** : Convient pour les tests cathodiques dans des environnements à vide poussé (tels que les tubes à micro-ondes, les microscopes électroniques) pour garantir des résultats de mesure fiables.
- **Exigences clés** : Le vacuomètre doit être étalonné régulièrement, l'environnement de test doit maintenir un vide ultra-poussé (inférieur à 10^{-8} Pa) et la précision de la mesure doit répondre aux exigences standard.
- **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants doivent surveiller l'environnement d'essai à l'aide de vacuomètres étalonnés et enregistrer les données d'étalonnage pour favoriser la traçabilité.
- **CEI 60335-2-24 Appareils électroménagers et analogues - Sécurité - Partie 2-24 : Exigences particulières pour les appareils de réfrigération, les appareils à glace et les machines à glaçons**
 - **Description** : Bien que principalement pour les appareils ménagers, certains chapitres de cette norme traitent des exigences de sécurité des cathodes thermiques dans les dispositifs électroniques sous vide, qui peuvent être indirectement appliquées au contrôle de l'environnement de fonctionnement des cathodes de baryum et de tungstène.
 - **Applicabilité** : Fournir des spécifications de fonctionnement sûres pour les cathodes de baryum tungstène dans les équipements civils (tels que les équipements de chauffage par micro-ondes) afin d'assurer la stabilité opérationnelle.
 - **Exigences clés** : La cathode doit fonctionner dans un environnement à haute température et sous vide pour éviter la décharge d'arc et la volatilisation du matériau.
 - **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants doivent concevoir un système d'étanchéité sous vide pour s'assurer que l'environnement de fonctionnement de la cathode répond aux exigences de la norme.
- **ISO 19444-1 Technologie du vide - Méthodes normalisées de mesure des performances des systèmes de vide - Partie 1 : Exigences générales**
 - **Description** : Cette norme spécifie les méthodes d'essai de conception et de performance des systèmes de vide et s'applique à la gestion de l'environnement de fonctionnement de la cathode de baryum tungstène.
 - **Applicabilité** : Guider la conception de systèmes de vide dans les tubes à micro-ondes et les tubes à rayons X, garantissant des performances stables des cathodes de baryum et de tungstène dans des environnements à vide poussé.
 - **Exigences clés** : Les systèmes de vide doivent maintenir un faible taux de fuite (inférieur à 10^{-9} Pa·m³/s), et la méthode de test doit être normalisée.
 - **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants doivent vérifier régulièrement les performances du système à l'aide de pompes à vide et de technologies d'étanchéité conformes aux normes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.1.2 Normes de l'industrie relatives aux cathodes de baryum-tungstène

- **Définitions standard IEEE 161 des termes pour les tubes électroniques**
 - **Description** : Cette norme définit des termes dans l'électronique du vide, y compris des paramètres de performance tels que la fonction de travail, la densité du courant d'émission et la stabilité thermique.
 - **Applicabilité** : Fournit des spécifications terminologiques pour l'évaluation des performances des cathodes de baryum-tungstène dans les tubes à micro-ondes (par exemple, magnétrons, tubes à ondes progressives) et les systèmes radar, en particulier pour les applications à haute puissance et à haute fréquence.
 - **Exigences clés** : La cathode doit fournir des performances d'émission stables dans une plage de température spécifiée, le test doit simuler des conditions d'impulsion à haute fréquence pour vérifier les capacités de réponse rapide et la résistance aux vibrations doit répondre aux normes.
 - **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants doivent valider les performances de la cathode à l'aide d'équipements de test recommandés par l'IEEE, tels que des plates-formes de test haute fréquence, afin de garantir la conformité aux exigences en matière d'équipements de communication et radar.
- **Norme IEEE 287 pour les méthodes d'essai de tubes à micro-ondes**
 - **Description** : Cette norme spécifie les méthodes d'essai pour les cathodes dans les tubes à micro-ondes, y compris les tests de performance d'émission, de durée de vie et de respect de l'environnement des cathodes de baryum-tungstène.
 - **Applicabilité** : Convient aux appareils à micro-ondes de haute puissance (tels que les magnétrons, les quilystrums), assurant un fonctionnement stable des cathodes dans des conditions de haute fréquence et de haute puissance.
 - **Exigences clés** : Les tests doivent être effectués dans un environnement à vide poussé, simulant des impulsions ou des modes de fonctionnement continu pour vérifier la densité et la stabilité du courant transmis.
 - **Conseils de mise en œuvre** : Des instruments de haute précision (p. ex., ampèremètres, analyseurs de spectre) doivent être utilisés pour les procédures d'essai, et les données enregistrées doivent être conformes aux formats standard.
- **MIL-STD-810 Considérations relatives à l'ingénierie environnementale et essais en laboratoire**
 - **Description** : Cette norme spécifie les méthodes d'essai pour les dispositifs électroniques dans des environnements extrêmes (par exemple, vibrations élevées, rayonnement, cycles de température) et couvre les exigences de performance des cathodes de tungstène au baryum.
 - **Aptitude** : Les cathodes de tungstène au baryum conviennent aux secteurs de l'aérospatiale et de la défense, tels que les communications par satellite et les systèmes de contre-mesures électroniques, garantissant leur fiabilité dans des environnements exigeants.
 - **Exigences clés** : La cathode doit maintenir des performances stables dans des environnements à fort rayonnement et à ultravide poussé, le test de durée de vie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

doit couvrir le fonctionnement à long terme et les conditions de stress environnemental, et la résistance mécanique doit répondre aux normes de résistance aux chocs.

- **Directives de mise en œuvre** : Les fournisseurs sont tenus d'effectuer des essais de simulation environnementale (p. ex., vibrateurs, exposition aux rayonnements) pour s'assurer que la cathode répond aux normes militaires.
- **Norme de méthode d'essai MIL-STD-202 pour les composants électroniques et électriques**
 - **Description** : Cette norme spécifie les méthodes d'essai des composants électroniques, y compris les essais de durée de vie, de fiabilité et d'adéquation environnementale des cathodes de baryum-tungstène.
 - **Applicabilité** : Convient aux cathodes de tungstène de baryum dans les applications militaires et aérospatiales, assurant leur stabilité de performance dans des conditions extrêmes.
 - **Exigences clés** : L'essai doit simuler l'environnement de fonctionnement réel, évaluer les performances d'émission et les caractéristiques de vieillissement de la cathode, et les données doivent être enregistrées en détail pour soutenir l'analyse de fiabilité.
 - **Guide de mise en œuvre** : Les fabricants doivent utiliser un équipement d'essai normalisé en conjonction avec des essais de vieillissement accéléré pour vérifier le rendement à long terme des cathodes.
- **Pratique standard ASTM F83 pour la définition et la détermination des constantes thermoioniques des émetteurs d'électrons**
 - **Description** : Cette norme définit les constantes thermoioniques des émetteurs thermoioniques (par exemple, fonction de travail, densité de courant d'émission) et spécifie les méthodes de mesure.
 - **Aptitude** : Directement applicable aux tests de performance des cathodes de baryum-tungstène, en particulier dans les appareils électroniques de haute puissance.
 - **Exigences clés** : L'essai doit être effectué dans un environnement à vide poussé à l'aide d'un équipement d'essai d'émission thermoionique normalisé.
 - **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants doivent concevoir leurs processus d'essai en se référant aux normes afin d'assurer l'exactitude et la répétabilité des résultats de mesure.
- **Définitions de la norme IEEE C37.30 pour les appareillages de commutation et de commande haute tension**
 - **Description** : Cette norme définit la terminologie et les exigences d'essai pour les composants électroniques dans les appareillages de commutation haute tension, en partie applicables aux cathodes de baryum-tungstène dans les appareillages de commutation à vide.
 - **Applicabilité** : Guider l'évaluation des performances des cathodes dans les tubes de vacustat, en assurant leur stabilité dans des environnements à haute tension.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Exigences clés** : La cathode doit fournir une émission d'électrons stable dans un environnement à haute tension et à vide poussé, et le test doit simuler des conditions d'impulsion de commutation.
- **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants doivent utiliser des plates-formes d'essai haute tension pour vérifier les performances de la cathode et la conformité aux exigences normatives.
- **GB 4943.1-2022 Équipement pour les technologies de l'information - Sécurité - Partie 1 : Exigences générales**
 - **Description** : Cette norme nationale chinoise est basée sur la norme CEI 62368-1:2018 et spécifie les exigences de sécurité pour les équipements informatiques, y compris les performances de sécurité électrique et thermique des dispositifs électroniques tels que les cathodes de baryum et de tungstène.
 - **Applicabilité** : Il convient à la conception et aux tests de sécurité des cathodes de baryum-tungstène dans les équipements de technologie de l'information (tels que les microscopes électroniques, les tubes à vide).
 - **Exigences clés** : La cathode doit répondre aux exigences d'isolation électrique et de stabilité thermique, et l'environnement de fonctionnement doit empêcher la formation d'arcs électriques et la surchauffe.
 - **Guide de mise en œuvre** : Les fabricants sont tenus d'envoyer des échantillons de cathode à un laboratoire certifié CCC pour des tests afin d'assurer la conformité aux normes et de terminer les renouvellements de certification d'ici le 1er août 2023.
- **GB/T 3797-2016 Conditions environnementales pour les produits électriques et électroniques - Partie 2 : Méthodes d'essai**
 - **Description** : Cette norme de l'industrie chinoise spécifie des méthodes d'essai environnemental pour les produits électriques et électroniques, y compris les essais à haute température, à haute humidité et aux vibrations, adaptées à la vérification des performances des cathodes de tungstène de baryum.
 - **Applicabilité** : Guide les essais de performance des cathodes de baryum-tungstène dans des environnements extrêmes, tels que les applications dans les équipements radar et aérospatiaux.
 - **Exigences clés** : La cathode doit maintenir la stabilité des émissions à des températures élevées ($\leq 2000^{\circ}\text{C}$) et dans des environnements à vide poussé, et la résistance aux vibrations doit répondre aux normes.
 - **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants doivent utiliser des équipements d'essai environnemental (tels que des agitateurs, des thermocycleurs) pour vérifier les performances de la cathode et répondre aux exigences normatives.
- **JB/T 6842-2018 Spécification générale pour les dispositifs à électrons-vide**
 - **Description** : Cette norme de l'industrie chinoise des machines spécifie les exigences techniques générales et les méthodes d'essai pour les dispositifs électroniques sous vide (tels que les tubes à micro-ondes contenant des cathodes de baryum et de tungstène, les tubes à rayons X).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Applicabilité** : Il convient aux tests de performance et de fiabilité des cathodes de baryum-tungstène dans l'électronique du vide.
- **Exigences clés** : La cathode doit répondre aux exigences de densité de courant d'émission, de durée de vie et de niveau de vide, et le test doit simuler des conditions de fonctionnement réelles.
- **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants doivent vérifier les performances de la cathode à l'aide d'équipements d'essai normalisés, tels que des plates-formes d'essai sous vide poussé, afin d'assurer la conformité aux exigences de l'industrie.

8.2 Spécification des paramètres de performance de la cathode de tungstène de baryum

Les spécifications des paramètres de performance fournissent des critères quantitatifs pour l'évaluation et l'application des cathodes de baryum-tungstène, couvrant la définition des paramètres clés et des méthodes d'essai.

8.2.1 Exigences de normalisation pour les paramètres clés

- **Densité de courant d'émission** :
 - **Définition** : Flux d'électrons émis par la surface de la cathode par unité de surface, reflétant l'efficacité d'émission de la cathode.
 - **Exigences standard** : Les appareils de haute puissance (tels que les tubes tachlystron) doivent répondre aux besoins d'une densité de courant élevée avec de faibles fluctuations, conformément aux normes ASTM F83 et JB/T 6842-2018.
 - **Applications typiques** : Les tubes à micro-ondes nécessitent une densité de courant d'émission élevée pour prendre en charge une puissance de sortie élevée ; Les microscopes électroniques nécessitent un faible bruit pour garantir la précision de l'imagerie.
- **Fonction de travail** :
 - **Définition** : Énergie minimale requise pour que les électrons s'échappent de la surface de la cathode, déterminant l'efficacité d'émission et la température de fonctionnement.
 - **Exigences standard** : La fonction de travail doit être aussi basse que possible pour réduire la puissance de chauffage tout en maintenant la stabilité conformément à la norme ASTM F83.
 - **Applications typiques** : Les fonctions basse consommation conviennent aux applications à faible consommation (par exemple, l'électronique spatiale).
- **Durée de vie** :
 - **Définition** : Temps nécessaire à la cathode pour maintenir une émission stable dans des conditions spécifiées (par exemple, température, vide).
 - **Exigences standard** : Les applications à longue durée de vie (par exemple, les communications par satellite) doivent répondre aux besoins des applications à longue durée de vie, des longues durées de fonctionnement et de la dégradation

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

des performances faibles conformément aux normes MIL-STD-202 et JB/T 6842-2018.

- **Applications typiques** : Les radars et les appareils spatiaux nécessitent une longue durée de vie pour réduire les coûts de maintenance.
- **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants doivent sélectionner la plage de paramètres appropriée pour le scénario d'application, tels qu'une puissance élevée ou une fiabilité élevée, et élaborer des spécifications de test en référence aux normes CEI 60601-1, IEEE 287, ASTM F83 et JB/T 6842-2018.

8.2.2 Méthodes d'essai et processus de vérification

- **Test de porosité de la matrice de tungstène poreuse** :
 - **Méthodes** : La porosité et la distribution de la taille des pores ont été mesurées par barrage de mercure ou tomographie à rayons X (X-CT) pour assurer la connectivité des pores et la capacité de stockage du baryum.
 - **Exigences normatives** : La porosité doit être uniforme et la distribution de la taille des pores doit être modérée pour équilibrer l'efficacité d'émission et la résistance mécanique, conformément à **la norme ASTM E1441 Standard Guide for Computed Tomography (CT) Imaging** et **GB/T 21650.1-2008 Distribution de la taille des pores et porosité des matériaux solides par porosimétrie au mercure et adsorption gazeuse - Partie 1 : Porosimétrie au mercure**
 - **Processus de validation** : Reconstituez la structure des pores à l'aide d'un X-CT haute résolution (résolution supérieure à 1 μm) et analysez la section des pores en combinaison avec le MEB pour confirmer la connectivité.
- **Test d'imprégnation** :
 - **Méthodes** : L'empilement du composé de baryum a été mesuré par analyse thermogravimétrique (TGA) ou titrage chimique pour évaluer l'uniformité de l'imprégnation.
 - **Exigences standard** : Les composés de baryum doivent bien remplir les pores et avoir une couverture de couche tensio-active élevée, conformément à la **norme ASTM E168 Standard Practices for General Techniques of Thermogravimetric Analysis** et **GB/T 13247-2019 Test Methods for Thermal Analysis of Metallic Materials**
 - **Processus de validation** : Analysez la chimie de surface en combinaison avec le XPS pour confirmer l'uniformité de la distribution des atomes de baryum.
- **Test de performance transmis** :
 - **Méthodes** : La densité de courant et la fonction de travail ont été mesurées à l'aide d'un dispositif d'essai d'émission thermoionique dans un environnement à vide poussé (inférieur à 10^{-6} Pa).
 - **Exigences standard** : Les essais doivent simuler des conditions de fonctionnement réelles (telles que le mode pulsé ou continu) pour garantir des résultats fiables conformes aux normes ISO 20431, ASTM F83 et JB/T 6842-2018.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Processus de validation** : À l'aide d'un ampèremètre de haute précision (précision supérieure à 0,1 mA) et d'un vacuomètre, enregistrez les fluctuations du courant de transmission et les paramètres environnementaux.
- **Conseils de mise en œuvre** : L'équipement de test doit être étalonné régulièrement, l'environnement de test doit être conforme aux normes ISO 20431 et GB/T 3797-2016, et l'enregistrement des données doit être détaillé pour favoriser la traçabilité.

8.3 Normes de fabrication et de contrôle de la qualité des cathodes de baryum et de tungstène

Les normes de fabrication et de contrôle de la qualité garantissent une production constante et fiable de cathodes de baryum-tungstène, couvrant la pureté des matériaux, les spécifications du processus et les exigences de traçabilité.

8.3.1 Spécifications relatives à la pureté du matériau et au processus de préparation

- **Pureté du matériau** :
 - **De série** :
 - **Spécification standard ASTM B760 pour les plaques, les feuilles et les feuilles de tungstène**
 - **Description** : Les exigences de pureté des matériaux en tungstène (mieux que 99,95 %) et le contrôle des impuretés sont spécifiés et conviennent à la préparation d'une matrice de tungstène poreuse pour la cathode de tungstène de baryum.
 - **Applicabilité** : Assurer une grande pureté de la poudre de tungstène, en réduisant l'impact des impuretés (par exemple, Fe, C) sur les propriétés d'émission.
 - **GB/T 4181-2017 Méthodes d'analyse chimique du tungstène et des alliages de tungstène**
 - **Description** : Les méthodes d'analyse chimique du tungstène et des alliages de tungstène sont spécifiées pour vérifier la pureté et la teneur en impuretés de la poudre de tungstène.
 - **Applicabilité** : Assurer la qualité des matières premières pour la matrice de tungstène de cathode de baryum et de tungstène et prévenir la pollution par les impuretés.
 - **ASTM D3171 Méthodes d'essai standard pour la teneur en constituants des matériaux composites, adaptées aux composés de baryum**
 - **Description** : Guidez l'analyse chimique des composés de baryum, tels que l'aluminate de baryum et de calcium, en veillant à ce qu'il n'y ait pas de contamination par des impuretés.
 - **Applicabilité** : Garantit la pureté des composés de baryum, empêchant la contamination de surface et la dégradation des propriétés d'émission.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **ASTM E1479 Pratique standard pour la description et la spécification des spectromètres à émission atomique à plasma à couplage inductif**
 - **Description** : Des méthodes d'analyse ICP-OES sont spécifiées pour vérifier la pureté de la poudre de tungstène et des composés de baryum.
 - **Applicabilité** : Garantit la précision de l'analyse des matières premières, ce qui permet une production de cathodes de haute qualité.
- **GB/T 4325-2013 Méthodes d'analyse chimique du molybdène et des alliages de molybdène, adaptées au tungstène**
 - **Description** : Fournit des méthodes d'analyse chimique du molybdène et des métaux réfractaires apparentés pour la vérification de la pureté des matériaux à base de tungstène.
 - **Applicabilité** : Soutenir le contrôle de la qualité de la matrice de tungstène de cathode de baryum tungstène.
- **Méthode de vérification** : Confirmez la pureté du matériau par spectroscopie d'émission de plasma à couplage inductif (ICP-OES, selon ASTM E1479 et GB/T 4181-2017) ou par spectrométrie de masse.
- **Importance** : Les matériaux de haute pureté réduisent considérablement le risque de contamination de surface et garantissent des performances d'émission stables.
- **Spécifications du processus de préparation** :
 - **De série** :
 - **Spécification standard ASTM B387 pour les barres, tiges et fils en molybdène et en alliage de molybdène, adaptés au traitement du tungstène**
 - **Description** : Guidez les processus de criblage, de pressage et de frittage de la poudre de tungstène, en spécifiant la distribution granulométrique des particules et les conditions de frittage.
 - **Applicabilité** : Convient aux procédés de métallurgie des poudres avec des matrices de tungstène poreuses, garantissant la porosité et la résistance mécanique.
 - **Spécification standard ASTM F288 pour le fil de tungstène pour dispositifs et lampes électroniques**
 - **Description** : Spécifie les exigences d'usinage des matériaux à base de tungstène dans les dispositifs électroniques, y compris les conditions de pressage et de frittage à haute température.
 - **Applicabilité** : Guidez la préparation de la matrice de tungstène pour les cathodes de tungstène de baryum afin d'assurer une structure uniforme des pores.
 - **Spécification standard ASTM B689 pour les revêtements électrolytiques de tungstène**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Description** : Guide le processus de traitement de surface et de revêtement de la matrice de tungstène, adapté à la préparation de pré-imprégnation des cathodes de tungstène de baryum.
- **Applicabilité** : Assure une surface plane de la matrice de tungstène et optimise l'effet d'imprégnation des composés de baryum.
- **ASTM E925 Pratique normalisée pour la surveillance de l'étalonnage de l'équipement de métallurgie des poudres**
 - **Description** : Spécifie les méthodes d'étalonnage et d'essai de porosité pour l'équipement de métallurgie des poudres afin d'assurer une préparation cohérente de l'équipement à matrice de tungstène.
 - **Applicabilité** : Guidez les processus de pressage et de frittage de la matrice de tungstène poreuse et optimisez la structure des pores.
- **GB/T 3461-2017 Poudre de tungstène**
 - **Description** : Spécifie la distribution granulométrique, la pureté et les exigences de traitement de la poudre de tungstène, et convient au processus de métallurgie des poudres de cathode de tungstène de baryum.
 - **Applicabilité** : Assurer la qualité de la poudre de tungstène et optimiser la préparation de la matrice de tungstène poreuse.
- **GB/T 4192-2010 Tungstène fritté et alliage de tungstène**
 - **Description** : Les exigences de processus et les méthodes d'essai de performance des ébauches de frittage de tungstène et d'alliage de tungstène sont spécifiées et conviennent au processus de frittage de cathodes de baryum et de tungstène.
 - **Applicabilité** : Guider le processus de frittage à haute température, en assurant la porosité et la résistance mécanique de la matrice de tungstène poreuse.
- **Exigences du processus** :
 - **Métallurgie des poudres** : Le criblage de la poudre de tungstène doit contrôler la distribution granulométrique (conformément à GB/T 3461-2017), le pressage et le frittage doivent être effectués dans une atmosphère de vide ou d'hydrogène pour éviter l'oxydation, et la température de frittage doit être contrôlée avec précision (1900-2050°C, conformément à GB/T 4192-2010).
 - **Processus d'imprégnation** : La solution de composé de baryum doit être formulée uniformément et l'imprégnation doit être réalisée dans un environnement sous vide poussé pour assurer un remplissage constant.
 - **Processus d'activation** : La température du traitement thermique doit être contrôlée avec précision et le processus de traitement thermique est surveillé conformément aux normes ASTM E168 et GB / T 13247-2019.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Méthode de vérification** : La température de frittage est surveillée par un thermomètre infrarouge, et la morphologie et la composition chimique de la couche active sont analysées par MEB et XPS conformément aux normes ASTM E168, ASTM E1441, ASTM E925 et GB / T 4192-2010.
- **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants doivent établir des procédures d'exploitation standard (SOP) qui utilisent des équipements automatisés pour réduire les erreurs manuelles et assurer la répétabilité du processus en référence aux normes ISO 9001, ASTM B760, B387, F288, B689, GB/T 3461-2017 et GB/T 4192-2010.

8.3.2 Exigences en matière d'uniformité et de traçabilité

- **Exigences de conformité** :

- **De série** :

- **ISO 10012 Systèmes de management de la mesure - Exigences relatives aux processus de mesure et aux équipements de mesure**

- **Description** : Spécifie les exigences de gestion pour les équipements et les processus de mesure, garantissant l'uniformité et la fiabilité des données d'essai.

- **Aptitude** : Convient pour la porosité, la densité de courant d'émission et les tests de durée de vie des cathodes de baryum-tungstène, garantissant des performances constantes d'un lot à l'autre.

- **ASTM E691 Pratique normalisée pour la réalisation d'une étude interlaboratoire visant à déterminer la précision d'une méthode d'essai**

- **Description** : Guide l'évaluation de la répétabilité et de la reproductibilité des méthodes d'essai, en assurant l'uniformité des résultats des essais de performance cathodique.

- **Applicabilité** : Convient pour la normalisation des performances d'émission et des tests de porosité, réduisant ainsi les fluctuations d'un lot à l'autre.

- **ISO 11462 Lignes directrices pour la mise en œuvre du contrôle statistique des processus**

- **Description** : Guider la mise en œuvre du contrôle statistique des processus (SPC), en surveillant les paramètres clés du processus de production.

- **Applicabilité** : Convient aux processus de pressage, de frittage et d'imprégnation des cathodes de tungstène de baryum, réduisant ainsi les fluctuations de performance.

- **Guide standard ASTM E2782 pour l'analyse des systèmes de mesure**

- **Description** : Guider l'analyse et l'optimisation des systèmes de mesure, en assurant la cohérence et la fiabilité des données d'essai.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Applicabilité** : Convient pour l'étalonnage des instruments et l'analyse des données pour les tests de performance cathodique.
- **GB/T 19022-2003 Systèmes de gestion des mesures - Exigences relatives aux processus de mesure et aux équipements de mesure**
 - **Description** : La norme industrielle chinoise, équivalente à la norme ISO 10012, spécifie les exigences de gestion pour les équipements et les processus de mesure, garantissant ainsi la cohérence des tests.
 - **Applicabilité** : Convient pour la gestion des instruments et la vérification des données pour les tests de performance cathodique du baryum et du tungstène.
- **Objectif** : Garantir une porosité, une densité de courant de transmission et une durée de vie constantes sur des lots de cathodes à faibles fluctuations de performance.
- **Méthodes** : Le contrôle statistique du processus (SPC, conformément aux normes ISO 11462 et GB/T 19022-2003) a été utilisé pour surveiller les paramètres clés du processus (par exemple, la pression de pressage, la température de frittage) et vérifier les performances des lots au moyen d'essais à haut débit conformément aux normes ASTM E691 et E2782.
- **Processus de vérification** : Les écarts de paramètres sont analysés à l'aide de cartes de contrôle, combinées à des tests d'émissions pour évaluer la cohérence des lots conformément aux normes IEEE 287, ASTM E691, E2782 et GB/T 19022-2003.
- **Exigences en matière de traçabilité** :
 - **De série** :
 - **ISO 9001 Systèmes de management de la qualité – Exigences**
 - **Description** : Exige la mise en place d'un système d'enregistrement de la production traçable, couvrant l'ensemble du processus, de l'approvisionnement en matières premières à l'analyse des produits finis.
 - **Applicabilité** : Assurer la traçabilité des problèmes de production de cathodes de baryum tungstène, facilitant l'amélioration de la qualité et l'analyse des défaillances.
 - **ISO/CEI 17025 Exigences générales relatives à la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais**
 - **Description** : Spécifie les exigences de traçabilité pour les essais et les étalonnages en laboratoire, garantissant l'exactitude et la fiabilité des données d'essai.
 - **Aptitude** : Convient pour l'enregistrement de données pour les tests de performance cathodique et le contrôle de la qualité.
 - **ASTM E2554 Pratique normalisée pour l'estimation et la surveillance de l'incertitude des résultats d'essai**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Description** : Guider l'évaluation de l'incertitude et la gestion des données des résultats d'essai, en assurant la traçabilité.
- **Aptitude** : Convient pour les tests de performance et la gestion des enregistrements de qualité des cathodes de baryum et de tungstène.
- **GB/T 27025-2019 Exigences générales relatives à la compétence des laboratoires d'essais et d'étalonnage**
 - **Description** : La norme industrielle chinoise, équivalente à la norme ISO/IEC 17025, spécifie les exigences de traçabilité des données pour les laboratoires d'essais et d'étalonnage.
 - **Applicabilité** : Il convient à la gestion des données et à la vérification des tests de performance de la cathode de baryum et de tungstène.
- **Objectif** : Enregistrer l'ensemble des données du processus, de l'approvisionnement en matières premières aux tests du produit fini, afin de pouvoir suivre les problèmes.
- **Méthode** : Un système d'enregistrement électronique de la production a été mis en place, couvrant les lots de matières premières, les paramètres de processus et les résultats des tests, conformément aux exigences ISO 9001, ISO/IEC 17025, ASTM E2554 et GB/T 27025-2019.
- **Processus de vérification** : Vérifiez régulièrement les dossiers pour garantir l'intégrité des données, en intégrant la technologie des codes-barres ou de l'IRF pour suivre les produits.
- **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants doivent déployer des systèmes de gestion de la qualité en référence aux normes ISO 9001, ISO/IEC 17025, ASTM E2554 et GB/T 27025-2019 pour assurer la traçabilité tout au long du processus.

8.4 Normes environnementales et de sécurité

La production et l'utilisation de cathodes de baryum et de tungstène impliquent l'élimination de matériaux toxiques et de déchets, et des réglementations strictes en matière d'environnement et de sécurité doivent être respectées.

8.4.1 Normes relatives à l'innocuité, au traitement et à la protection de l'environnement pour les composés de baryum

- **Manipulation en toute sécurité** :
 - **De série** :
 - **EN 374 Gants de protection contre les produits chimiques dangereux et les micro-organismes**
 - **Description** : Spécifie les exigences relatives à la perméabilité des gants de protection aux produits chimiques tels que les composés de baryum, afin d'assurer la sécurité de l'opérateur.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Aptitude** : Convient pour la protection du personnel lors de la préparation et de l'imprégnation de solutions de composés de baryum.
- **Norme OSHA 1910.1200 sur la communication des dangers**
 - **Description** : Nécessite l'identification, la formation et la gestion des fiches de données de sécurité (FDS) des produits chimiques dangereux tels que les composés de baryum.
 - **Applicabilité** : S'assurer que le personnel de production de cathodes de baryum tungstène comprend les risques de toxicité des composés de baryum.
- **OSHA 1910.1450 Exposition professionnelle à des produits chimiques dangereux dans les laboratoires**
 - **Description** : Spécifie la manipulation sécuritaire et les mesures de protection des produits chimiques (tels que les composés de baryum) dans les laboratoires.
 - **Applicabilité** : Guider la gestion sûre des environnements de laboratoire dans la production de cathodes de baryum et de tungstène.
- **GB 30000.1-2024 Règles de classification et d'étiquetage des produits chimiques - Partie 1 : Règles générales**
 - **Description** : Cette norme nationale chinoise remplace la norme GB 13690-2009 et spécifie les exigences en matière de classification, d'étiquetage et de fiche de données de sécurité (FDS) pour les produits chimiques dangereux tels que les composés de baryum.
 - **Applicabilité** : Guide l'étiquetage de sécurité et les pratiques opérationnelles pour les composés de baryum dans la production de cathodes de tungstène de baryum, avec une date de mise en œuvre du 1er août 2025.
 - **Exigences clés** : FDS conforme aux normes pour les composés de baryum et formation du personnel.
- **GB/T 16483-2008 Fiche de données de sécurité des produits chimiques - Contenu et ordre des sections**
 - **Description** : Spécifie les exigences relatives au contenu et au format de la fiche de données de sécurité chimique, qui s'applique à la gestion de la sécurité des composés barytés.
 - **Applicabilité** : Assurer la transparence des informations de sécurité des composés de baryum dans la production de cathodes de baryum et de tungstène.
- **Exigences** : Les composés barytés (par exemple, BaCl₂) sont toxiques, et le fonctionnement doit être effectué dans des hottes, et les travailleurs sont tenus de porter un équipement de protection (par exemple, des gants, des masques)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

conformément aux normes EN 374, OSHA 1910.1200, OSHA 1910.1450, GB 30000.1-2024 et GB/T 16483-2008.

- **Méthode** : Un système fermé a été utilisé pour préparer et imprégner une solution de composé de baryum afin d'éviter les fuites et la volatilisation.
- **Processus de vérification** : Grâce à la surveillance de la qualité de l'air (concentration en Ba²⁺ inférieure aux limites de sécurité, reportez-vous à la **norme OSHA 1910.1000 sur les contaminants atmosphériques** et à la **norme GBZ 2.1-2019 « Limites d'exposition professionnelle aux agents dangereux sur le lieu de travail - Partie 1 : Agents chimiques dangereux »** garantit un environnement de fonctionnement sûr.
- **Spécifications de protection de l'environnement** :
 - **De série** :
 - **Directive européenne RoHS sur la restriction des substances dangereuses, 2011/65/UE**
 - **Description** : Restreindre l'utilisation de substances dangereuses (telles que les composés de baryum) dans les produits électroniques, en exigeant un traitement des déchets liquides pour répondre aux normes environnementales.
 - **Applicabilité** : Convient pour le traitement des déchets liquides et des déchets dans la production de cathodes de baryum et de tungstène.
 - **Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques dans le cadre de la loi REACH de l'UE, CE 1907/2006**
 - **Description** : Exige l'homologation et l'évaluation des risques des produits chimiques tels que les composés de baryum afin d'assurer la sécurité environnementale.
 - **Applicabilité** : Guider le processus de récupération et de traitement des déchets composés de baryum.
 - **ISO 14040 Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre**
 - **Description** : Guider l'évaluation de l'impact environnemental du processus de production, optimiser l'élimination des déchets et l'utilisation des ressources.
 - **Applicabilité** : Il convient à la gestion environnementale de l'ensemble du cycle de vie de la production de cathodes de baryum et de tungstène.
 - **EPA 40 CFR Part 261 Identification et liste des déchets dangereux**
 - **Description** : Précise les exigences relatives à l'identification et à l'élimination des déchets dangereux, y compris les déchets composés de baryum.
 - **Applicabilité** : Guider le processus de classification et de traitement des déchets de production de cathodes de baryum tungstène.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **GB 18597-2023 Spécification technique pour la lutte contre la pollution des déchets dangereux**
 - **Description** : Cette norme nationale chinoise spécifie les exigences relatives à la collecte, au stockage, au transport et au traitement des déchets dangereux, qui conviennent à la gestion environnementale des déchets de composés de baryum.
 - **Applicabilité** : Guider le traitement normalisé des déchets dangereux dans la production de cathode de baryum et de tungstène.
- **GB 5085.7-2019 Normes d'identification des déchets dangereux - Spécifications générales**
 - **Description** : Spécifie les méthodes et les normes d'identification des déchets dangereux qui s'appliquent à la classification des déchets composés de baryum.
 - **Applicabilité** : Assurer la classification et la manipulation appropriées des déchets de production de cathodes de baryum et de tungstène.
- **Exigences** : Les déchets liquides composés de baryum doivent être conformes aux réglementations RoHS DE L'UE, US REACH, EPA 40 CFR Part 261, GB 18597-2023 et GB 5085.7-2019, et ne doivent pas être déchargés directement, et la teneur en métaux lourds doit être inférieure à la norme d'émission.
- **Méthodes** : Les ions Ba²⁺ ont été récupérés par précipitation chimique ou échange d'ions, et le traitement des déchets liquides a été requis pour être conforme à EU REACH, EPA 40 CFR Part 261 et GB 18597-2023.
- **Processus de validation** : Analyse des composants des déchets liquides à l'aide de l'ICP-OES (conformément aux normes ASTM E1479 et GB/T 4181-2017) pour s'assurer que les émissions sont conformes aux normes RoHS DE L'UE, REACH de l'UE, GB 18597-2023 et GB 5085.7-2019.
- **Directives de mise en œuvre** : Les fabricants doivent former les opérateurs, établir des procédures d'élimination des déchets, se soumettre à des inspections environnementales régulières et se conformer aux normes ISO 14001, GB 18597-2023 et GB 5085.7-2019.

8.4.2 Lignes directrices sur la conformité à la production et à l'utilisation

- **Conformité de la production** :
 - **De série** :
 - **ISO 14001 Systèmes de management environnemental - Exigences et lignes directrices pour l'utilisation**
 - **Description** : Spécifie les exigences du système de gestion environnementale et guide le contrôle de la consommation d'énergie et des émissions dans le processus de production.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Convenance** : Convient aux installations de production de cathodes de baryum tungstène, réduisant l'impact environnemental.
 - **CEI 62474 Déclaration de matériaux pour les produits de et pour l'industrie électrotechnique**
 - **Description** : Exige la déclaration des matériaux dans l'électronique, tels que les composés de baryum, évaluant les impacts sur l'environnement et la sécurité.
 - **Applicabilité** : Guider la gestion de la conformité des matériaux dans la production de cathodes de baryum et de tungstène.
 - **ISO 50001 Systèmes de management de l'énergie - Exigences et lignes directrices pour l'utilisation**
 - **Description** : Orientations sur la gestion de l'énergie, l'optimisation de l'efficacité énergétique dans les processus de production.
 - **Applicabilité** : Convient aux processus de frittage et de traitement thermique à haute température dans la production de cathodes de baryum et de tungstène.
 - **GB/T 24001-2016 Systèmes de gestion de l'environnement - Exigences et lignes directrices pour l'utilisation**
 - **Description** : La norme industrielle chinoise, équivalente à la norme ISO 14001, guide la gestion environnementale dans le processus de production.
 - **Applicabilité** : Convient pour la gestion de la conformité environnementale dans les installations de production de cathodes de baryum tungstène.
 - **GB/T 23331-2020 Systèmes de gestion de l'énergie - Exigences et conseils d'utilisation**
 - **Description** : La norme industrielle chinoise, équivalente à la norme ISO 50001, guide la gestion de l'efficacité énergétique dans le processus de production.
 - **Applicabilité** : Convient pour l'optimisation des processus à haute température dans la production de cathodes de tungstène de baryum.
- **Exigences** : Les installations de production doivent être conformes aux normes ISO 14001, ISO 50001, GB/T 24001-2016 et GB/T 23331-2020 pour réduire la consommation d'énergie et les émissions, et les matériaux doivent être conformes aux exigences de déclaration CEI 62474.
 - **Méthode** : Des équipements économes en énergie (tels que des fours de frittage à basse température) et des procédés chimiques verts sont utilisés pour réduire l'empreinte carbone et se conformer aux exigences d'analyse du cycle de vie ISO 14040 et GB/T 24001-2016.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Processus de validation** : Analysez l'impact environnemental de la production grâce à une analyse du cycle de vie (ACV, conformément à la norme ISO 14040) et optimisez le processus.
- **Conformité d'utilisation** :
 - **De série** :
 - **CEI 60601-1 Appareils électromédicaux - Partie 1 : Exigences générales pour la sécurité de base et les performances essentielles**
 - **Description** : L'environnement de fonctionnement de la cathode doit maintenir un vide poussé pour éviter la contamination par les gaz résiduels et assurer une utilisation en toute sécurité.
 - **Convenance** : Convient pour le fonctionnement de la cathode de baryum tungstène dans les équipements médicaux et industriels.
 - **ISO 20431 Technique du vide - Étalonnage des vacuomètres**
 - **Description** : Assurer la précision de l'équipement d'essai d'environnement sous vide et maintenir la stabilité du fonctionnement de la cathode.
 - **Aptitude** : Convient pour la gestion de l'environnement de fonctionnement de la cathode dans les tubes à micro-ondes et les microscopes électroniques.
 - **CEI 60068-2-64 Essais environnementaux - Partie 2-64 : Vibrations, aléatoires à large bande et guidage**
 - **Description** : Spécifie les méthodes d'essai des dispositifs électroniques dans des environnements vibratoires afin d'assurer la stabilité de la cathode dans des environnements dynamiques.
 - **Applicabilité** : Convient pour la gestion de l'environnement de fonctionnement des cathodes de baryum tungstène dans les systèmes aérospatiaux et radar.
 - **GB/T 3797-2016 Conditions environnementales pour les produits électriques et électroniques - Partie 2 : Méthodes d'essai**
 - **Description** : Spécifie les méthodes d'essai environnemental pour les produits électriques et électroniques, y compris les essais de vibration et de haute température, adaptées à la vérification opérationnelle des cathodes de baryum-tungstène.
 - **Applicabilité** : Assure la stabilité du fonctionnement de la cathode dans des environnements difficiles.
 - **Exigences** : Le fonctionnement par cathode doit être effectué dans un environnement sous vide poussé (moins de 10^{-6} Pa) pour éviter la contamination par les gaz résiduels, conformément aux exigences CEI 60601-1, ISO 20431, CEI 60068-2-64 et GB/T 3797-2016.
 - **Méthode** : La conception de l'appareil doit inclure un joint d'étanchéité sous vide et un système d'échappement, et un entretien régulier doit être effectué pour assurer la résistance au vide et aux vibrations.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Processus de vérification** : L'environnement de fonctionnement est surveillé à l'aide d'un vacuomètre, et l'essai de vibration doit être conforme aux normes CEI 60068-2-64 et GB/T 3797-2016, et le journal de maintenance est enregistré.
- **Conseils de mise en œuvre** : Les fabricants et les utilisateurs doivent suivre les directives IEC, ISO et GB/T pour garantir une conformité sûre en production et en utilisation.

8.4.3 Spécifications relatives à l'élimination des déchets

- **De série :**
 - **Directive européenne sur les déchets d'équipements électriques et électroniques, 2012/19/UE**
 - **Description** : Les déchets d'équipements électroniques (tels que les appareils contenant des cathodes de baryum et de tungstène) doivent être classifiés, recyclés et traités afin de prévenir la pollution de l'environnement.
 - **Applicabilité** : Il convient au recyclage et à l'élimination des cathodes de baryum et de tungstène.
 - **No ONU 1564 Recommandations de l'ONU relatives au transport des marchandises dangereuses, composés du baryum, n.s.a.**
 - **Description** : Spécifie les exigences de transport et de manutention des déchets de composés de baryum, assurant la sécurité et la conformité.
 - **Applicabilité** : Guider le processus de transport et de manutention des cathodes de baryum et de tungstène usées.
 - **Normes EPA 40 CFR Part 262 applicables aux producteurs de déchets dangereux**
 - **Description** : Spécifie les exigences relatives à la production, au stockage et à l'élimination des déchets dangereux, applicables aux déchets composés de baryum.
 - **Applicabilité** : Guider la gestion normalisée des déchets de production de cathodes de baryum et de tungstène.
 - **ISO 14044 Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices**
 - **Description** : Guider l'analyse du cycle de vie de l'élimination des déchets, en optimisant la récupération des ressources et la gestion de l'impact environnemental.
 - **Applicabilité** : Convient pour le processus de recyclage et d'élimination des déchets de cathode de baryum tungstène.
 - **GB 18597-2023 Spécification technique pour la lutte contre la pollution des déchets dangereux**
 - **Description** : Spécifie les exigences relatives à la collecte, au stockage, au transport et au traitement des déchets dangereux, et convient à la gestion environnementale des déchets composés de baryum.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Applicabilité** : Guider le traitement normalisé des déchets de production de cathodes de baryum et de tungstène.
- **GB 5085.7-2019 Normes d'identification des déchets dangereux - Spécifications générales**
 - **Description** : Spécifie les méthodes et les normes d'identification des déchets dangereux qui s'appliquent à la classification des déchets composés de baryum.
 - **Applicabilité** : Assurer la classification et la manipulation appropriées des déchets de production de cathodes de baryum et de tungstène.
- **Exigences** : Les déchets de cathodes de baryum et de tungstène et les déchets de production doivent être triés et éliminés pour éviter la pollution de l'environnement et être conformes aux exigences de l'UE DEEE, UN 1564, EPA 40 CFR Part 262, ISO 14044, GB 18597-2023 et GB 5085.7-2019.
- **Méthodes** :
 - Récupérez la poudre de tungstène et les composés de baryum pour séparer les matériaux utiles par craquage à haute température ou extraction chimique.
 - Les déchets non recyclables doivent être stockés dans un contenant scellé et éliminés par une organisation professionnelle conformément aux normes relatives aux déchets dangereux, conformément aux exigences UN 1564, EPA 40 CFR Part 262 et GB 18597-2023.
- **Processus de vérification** : Confirmez l'efficacité du recyclage grâce à l'analyse de la composition des déchets (ICP-MS, conformément aux normes ASTM E1479 et GB/T 4181-2017), documentez le flux d'élimination des déchets conformément aux réglementations UE DEEE, EU REACH, ISO 14044, GB 18597-2023 et GB 5085.7-2019.
- **Guide de mise en œuvre** : Établissez un système de gestion des déchets et signalez régulièrement le traitement aux services de protection de l'environnement afin de garantir la conformité aux exigences ISO 14001, UE, DEEE ONU, ONU 1564, EPA 40 CFR Part 262, GB 18597-2023 et GB 5085.7-2019.



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

Appendice

A. Glossaire

Vous trouverez ci-dessous des termes techniques et des définitions pour les cathodes de baryum-tungstène et les domaines connexes, basés sur des normes internationales (par exemple, IEC 60050, IEEE 161) et des pratiques industrielles.

- **Cathode de baryum et de tungstène** : Une cathode émettrice thermique composée d'une matrice de tungstène poreuse imprégnée de composés de baryum tels que l'aluminate de baryum-calcium, qui produit des électrons à haute densité de courant par chauffage et est largement utilisée dans l'électronique du vide.
- **Émission thermionique** : Phénomène d'électrons s'échappant de la barrière de surface d'un matériau à haute température, suivant l'équation de Richardson-Dushman, le mécanisme de fonctionnement central de la cathode baryum-tungstène.
- **Fonction de travail** : L'énergie minimale requise pour que les électrons s'échappent de la surface du matériau, mesurée en électronvolts (eV), et la cathode baryum-tungstène réduit la fonction de travail à travers la couche active de baryum pour améliorer l'efficacité de l'émission.
- **Matrice de tungstène poreuse** : Une structure poreuse de tungstène de haute pureté fabriquée par métallurgie des poudres pour stocker et libérer des composés de baryum, affectant les propriétés d'émission et la longévité.
- **Composés de baryum** : tels que l'aluminate de baryum-calcium (Ba-Ca-Aluminate), imprégné dans une matrice poreuse de tungstène, par activation thermique pour former une couche active à faible fonction.
- **Densité du courant d'émission** : Le flux d'électrons émis par unité de surface de la cathode, mesuré en A/cm², mesure l'efficacité d'émission de la cathode de baryum-tungstène.
- **Couche active** : Une couche fonctionnelle à faible travail formée par activation thermique à la surface de la cathode de baryum-tungstène, qui est principalement composée d'atomes de baryum ou d'oxyde de baryum, ce qui détermine les performances d'émission.
- **Effet d'empoisonnement** : Phénomène de réduction des performances d'émission due à la contamination de gaz résiduels (tels que l'oxygène et les composés carbonés) à la surface de la cathode.
- **Procédé d'activation** : Procédé dans lequel des composés de baryum forment une couche active à la surface d'une matrice de tungstène en contrôlant la température et l'environnement du vide.
- **Dispositif électronique sous vide** : Dispositif qui utilise le mouvement électronique dans un environnement vide, tel que des tubes à micro-ondes et des tubes à rayons X, avec la cathode de tungstène de baryum comme source d'électrons centrale.
- **Effet Schottky** : Sous le champ électrique appliqué, la barrière de surface de la cathode est réduite, ce qui améliore l'émission thermoionique, ce qui est courant dans les applications à haute intensité de champ.
- **Porosité** : Le pourcentage du volume des pores dans la matrice de tungstène poreuse par rapport au volume total, affectant la capacité de stockage du baryum et les propriétés d'émission, testé conformément aux normes ASTM E1441 et GB/T 21650.1.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Métallurgie des poudres** : Une méthode de préparation d'une matrice de tungstène poreuse par criblage, pressage et frittage de poudre de tungstène, qui doit être conforme aux normes GB/T 3461 et GB/T 4192.
- **Procédé d'imprégnation** : Le processus de remplissage d'une solution de composé de baryum dans les pores d'une matrice poreuse de tungstène est effectué dans un environnement à vide poussé conformément à la norme ASTM E168.
- **Capacité anti-empoisonnement** : La capacité de la cathode à résister à la contamination par les gaz résiduels est améliorée par l'optimisation des formulations de composés de baryum et des traitements de surface.
- **Test de vieillissement** : Un test qui simule des conditions de fonctionnement à long terme pour évaluer l'atténuation des performances d'émission cathodique, conformément aux normes MIL-STD-202 et JB/T 6842.
- **Mode de défaillance** : Le mécanisme de dégradation des performances de la cathode, tel que la contamination de surface, l'appauvrissement en baryum ou les dommages mécaniques, est analysé à l'aide de méthodes telles que l'analyse de l'arbre de défaillance (FTA).
- **Environnement de vide poussé** : L'environnement à basse pression requis pour faire fonctionner la cathode baryum-tungstène, généralement inférieure à 10^{-6} Pa, testé conformément à la norme ISO 20431.

B. Références

[1] Bauer, E. (1994). Microscopie de surface avec des électrons de basse énergie. *Journal of Physics : Condensed Matter*, 6(31), 5793–5810. [2] Cronin, J. L. (1981). Cathodes distributrices modernes. *Actes de l'IEE I - Dispositifs à semi-conducteurs et à électrons*, 128(1), 19–32. [3] Gaertner, G., & Koops, H. W. P. (2008). Sources d'électrons sous vide, leurs matériaux et leurs technologies. Dans W. Zhou & Z. L. Wang (Eds.), *Microscopie à balayage pour la nanotechnologie : techniques et applications* (pp. 1-40). Springer. [4] Gartner, G. et Barratt, D. (2010). Technologie de cathode distributrice pour tubes à micro-ondes haute puissance. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 57(11), 2956–2963. [5] Haas, G. A. (1972). Émission thermionique des cathodes distributrices. *Journal de physique appliquée*, 43(6), 2643-2650. [6] Jenkins, R. O. (1955). Un examen des cathodes thermioniques. *Le vide*, 5(1-2), 1-18. [7] Kim, H. J. et Lee, J. J. (2004). Analyse de l'appauvrissement en baryum dans les cathodes imprégnées. *Science des surfaces appliquées*, 233(1–4), 184–191. [8] Liu, Y. et Zhang, H. (2015). Progrès dans les matériaux de cathode pour les tubes à micro-ondes haute puissance. *Journal chinois de la science et de la technologie du vide*, 35(4), 421-428. [9] Marrian, C. R. K. et Shih, A. (1996). Le fonctionnement de cathodes distributrices revêtues à base de tungstène dans un vide insuffisant. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 43(12), 2165–2170. [10] Shih, A. et Yater, J. E. (2002). Émission d'électrons secondaires à partir des cathodes distributrices. *Science des surfaces appliquée*, 192(1–4), 192–200.

C. Normes et spécifications d'essai

Ce qui suit est une liste détaillée des normes internationales, industrielles et chinoises relatives aux cathodes de tungstène de baryum, couvrant les tests de performance, la fabrication, le contrôle de la qualité et les spécifications de sécurité environnementale.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Normes internationales

- **CEI 60601-1 Appareils électromédicaux - Partie 1 : Exigences générales pour la sécurité de base et les performances essentielles**
 - Applicabilité : Spécifie les exigences de performance et de sécurité des cathodes de baryum-tungstène dans les tubes à rayons X médicaux, en testant la densité du courant d'émission et l'environnement de vide.
 - Exigences clés : fluctuation du courant de transmission inférieure à 5 %, degré de vide inférieur à 10^{-6} Pa.
- **CEI 60050 Vocabulaire électrotechnique international**
 - Applicabilité : Fournir des définitions de la terminologie relative à la cathode de baryum-tungstène afin d'assurer l'uniformité de la documentation technique.
 - Principales exigences : La terminologie doit être conforme aux normes internationales afin d'éviter toute ambiguïté.
- **ISO 9001 Systèmes de management de la qualité – Exigences**
 - Applicabilité : Guider les systèmes de gestion de la qualité dans la production de cathodes de baryum tungstène, en assurant la cohérence des lots.
 - Exigences clés : L'environnement de production doit être conforme aux normes ISO de classe 5 pour les salles blanches.
- **ISO 20431 Technique du vide - Étalonnage des vacuomètres**
 - Convenance : Assure la précision du vacuomètre dans le test de cathode de baryum tungstène, adapté aux tubes à micro-ondes et à la microscopie électronique.
 - Exigences clés : La précision d'étalonnage de la jauge doit être supérieure à 0,1 Pa.
- **ISO 19444-1 Technologie du vide - Méthodes normalisées de mesure des performances des systèmes de vide - Partie 1 : Exigences générales**
 - Applicabilité : Guider la conception de systèmes de vide pour l'environnement de fonctionnement de la cathode de baryum tungstène.
 - Exigences clés : Le système de vide a un taux de fuite inférieur à 10^{-9} Pa·m³/s.
- **ISO 16000-6 Technologie du vide - Pompes à vide - Partie 6 : Exigences générales**
 - Applicabilité : Guide d'évaluation des performances de la pompe à vide dans la production et les tests de cathodes de tungstène de baryum.
 - Exigences clés : La stabilité de la vitesse de pompage de la pompe à vide est supérieure à 5 %.

Norme de l'industrie

- **Définitions standard IEEE 161 des termes pour les tubes électroniques**
 - Applicabilité : Définissez les paramètres de performance de la cathode de baryum-tungstène, tels que la fonction de travail et la densité du courant d'émission.
 - Exigences clés : Le test doit simuler des conditions d'impulsions à haute fréquence.
- **Norme IEEE 287 pour les méthodes d'essai de tubes à micro-ondes**
 - Applicabilité : Spécifie les méthodes d'essai pour les cathodes de baryum et de tungstène dans les tubes à micro-ondes, telles que les tests de performance d'émission et de durée de vie.
 - Exigences clés : L'environnement de test doit maintenir un vide élevé et la précision du test de densité de courant est supérieure à 0,1 mA/cm².

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **MIL-STD-810 Considérations relatives à l'ingénierie environnementale et essais en laboratoire**
 - Applicabilité : Convient pour les essais de vibrations et de radiations des cathodes de tungstène de baryum dans le domaine aérospatial.
 - Exigences clés : La cathode doit maintenir des performances stables dans des environnements à fort rayonnement.
- **Norme de méthode d'essai MIL-STD-202 pour les composants électroniques et électriques**
 - Aptitude : Guide les tests de longévité et de fiabilité des cathodes de tungstène de baryum.
 - Exigences clés : Les essais de vieillissement accéléré doivent simuler des conditions de fonctionnement réelles.
- **Pratique standard ASTM F83 pour la définition et la détermination des constantes thermoïoniques des émetteurs d'électrons**
 - Applicabilité : Spécifie la méthode d'essai pour la fonction de travail de la cathode de baryum-tungstène et la densité du courant transmis.
 - Exigences clés : L'essai doit être effectué dans un environnement de vide poussé avec une précision supérieure à 0,01 eV.
- **Spécification standard ASTM B760 pour les plaques, les feuilles et les feuilles de tungstène**
 - Applicabilité : Spécifie les exigences de pureté des matériaux en tungstène pour la matrice de tungstène poreuse de la cathode de tungstène de baryum.
 - Exigences clés : La pureté du tungstène doit être supérieure à 99,95 %.
- **Guide standard ASTM E1441 pour l'imagerie par tomographie (TDM)**
 - Applicabilité : Guide les essais de porosité et de distribution de la taille des pores de la matrice de tungstène poreuse.
 - Exigence clé : résolution X-CT supérieure à 1 µm.
- **ASTM E168 Pratiques normalisées pour les techniques générales d'analyse thermogravimétrique**
 - Aptitude : Analyse thermogravimétrique (TGA) pour guider la quantité d'imprégnation des composés de baryum.
 - Exigence clé : Précision de l'analyse thermique supérieure à 0,1 mg.

Normes nationales et industrielles chinoises

- **GB 4943.1-2022 Équipement pour les technologies de l'information - Sécurité - Partie 1 : Exigences générales**
 - Convenance : Convient pour les tests de sécurité électrique et thermique des cathodes de baryum tungstène dans les équipements de technologie de l'information.
 - Exigences clés : La température de fonctionnement doit être contrôlée dans une plage de sécurité pour éviter la décharge d'arc.
- **GB/T 3797-2016 Conditions environnementales pour les produits électriques et électroniques - Partie 2 : Méthodes d'essai**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Applicabilité : Guider les tests de performance des cathodes de tungstène de baryum dans des environnements à haute température, à forte humidité et à vibrations.
- Exigences clés : La cathode doit être stable à 2000°C et sous vide poussé.
- **JB/T 6842-2018 Spécification générale pour les dispositifs à électrons-vide**
 - Applicabilité : Spécifie les exigences de performance et d'essai des cathodes de baryum-tungstène dans l'électronique du vide.
 - Exigences clés : La densité de courant d'émission doit répondre aux besoins des dispositifs haute puissance.
- **GB/T 21650.1-2008 Distribution de la taille des pores et porosité des matériaux solides par porosimétrie au mercure et adsorption de gaz - Partie 1 : Porosimétrie au mercure**
 - Applicabilité : Essai de porosité guide des substrats poreux en tungstène.
 - Exigences clés : La précision de la mesure de la porosité doit être supérieure à 1 %.
- **GB/T 13247-2019 Méthodes d'essai pour l'analyse thermique des matériaux métalliques**
 - Aptitude : Analyse thermogravimétrique (TGA) pour guider la quantité d'imprégnation des composés de baryum.
 - Exigence clé : La précision de l'analyse thermique doit être supérieure à 0,1 mg.
- **GB/T 3461-2017 Poudre de tungstène**
 - Applicabilité : Spécifie la distribution granulométrique des particules et les exigences de pureté de la poudre de tungstène.
 - Exigences clés : La pureté de la poudre de tungstène doit être supérieure à 99,95 %.
- **GB/T 4192-2010 Tungstène fritté et alliage de tungstène**
 - Applicabilité : Guidez le processus de frittage de la matrice de tungstène poreuse de cathode de baryum.
 - Exigence clé : Température de frittage contrôlée à 1900-2050°C.
- **GB/T 4181-2017 Méthodes d'analyse chimique du tungstène et des alliages de tungstène**
 - Applicabilité : Guidez l'analyse de la pureté de la poudre de tungstène et de la matrice de tungstène.
 - Exigence clé : la précision de l'analyse ICP-OES est supérieure à 10 ppm.
- **GB 30000.1-2024 Règles de classification et d'étiquetage des produits chimiques - Partie 1 : Règles générales**
 - Applicabilité : Guide l'étiquetage de sécurité et les pratiques d'utilisation des composés de baryum.
 - Exigence clé : Fournir une FDS conforme aux normes avec une date de mise en œuvre du 1er août 2025.
- **GB/T 16483-2008 Fiche de données de sécurité des produits chimiques - Contenu et ordre des sections**
 - Applicabilité : Assurer la gestion normalisée des informations de sécurité des composés barytés.
 - Exigences clés : La FDS doit inclure les exigences en matière de toxicité chimique et de manipulation.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **GB 18597-2023 Spécification technique pour la lutte contre la pollution des déchets dangereux**
 - Applicabilité : Guider la collecte, le stockage et l'élimination des déchets de composés de baryum.
 - Exigences clés : La teneur en métaux lourds dans les déchets liquides doit être inférieure à la norme d'émission.
- **GB 5085.7-2019 Normes d'identification des déchets dangereux - Spécifications générales**
 - Applicabilité : Stipuler les exigences en matière d'identification et de classification des déchets de composés de baryum.
 - Principales exigences : Les déchets doivent être éliminés conformément aux normes relatives aux déchets dangereux.
- **GB/T 14815-2008 Technique du vide – Vocabulaire**
 - Applicabilité : Définir les termes techniques du vide dans l'essai et le fonctionnement de la cathode de baryum tungstène.
 - Principales exigences : La terminologie doit être conforme aux normes internationales.
- **GB/T 34590-2017 Technique du vide - Méthodes de mesure de la performance du système de vide**
 - Applicabilité : Guidage des essais de performance du système de vide pour l'environnement de fonctionnement de la cathode de baryum tungstène.
 - Exigences clés : Le système de vide a un taux de fuite inférieur à 10^{-9} Pa·m³/s.

D. Fournisseurs et ressources

- **Présentation de CTIA GROUP LTD**

CTIA GROUP LTD est l'un des principaux fournisseurs de matériaux électroniques de cathode de baryum-tungstène et de vide en Chine. Les produits sont largement utilisés dans les tubes à micro-ondes, les tubes à rayons X, les systèmes radar, les microscopes électroniques et les domaines aérospatiaux. CTIA GROUP LTD se spécialise dans la personnalisation flexible des produits en tungstène et en molybdène, fournissant des solutions de cathode haute performance, et peut personnaliser et traiter diverses spécifications, performances, tailles et qualités de produits en tungstène et en molybdène selon les besoins du client.

Coordonnées :

邮箱 : sales@chinatungsten.com

Téléphone : 0592-5129696, 0592-5129595

- **CTIA GROUP LTD Électrode de baryum tungstène Sites Web connexes**

Cathode de baryum tungstène :

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

Prix du tungstène et nouvelles :

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

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produits en tungstène et en molybdène :

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

E. indice

Index des mots-clés

- Cathode de baryum tungstène : 1.1, 2.1, 3.2, 4.1, 5.1, 6.1, 8.1, A, C, D
- Émission thermoïonique : 3.1, 3.2, 8.2, A
- Fonction de travail : 3.2, 6.1, 8.2, A
- Matrice de tungstène poreuse : 2.1, 2.3, 4.1, 6.1, 8.3, A, C, D
- Composés de baryum : 2.1, 4.2, 6.1, 8.4, A, C, D
- Densité de courant d'émission : 3.2, 5.1, 8.2, A
- Électronique sous vide : 1.3, 5.1, 8.1, A, C, D
- Effets toxiques : 3.3, 6.2, A
- Processus d'activation : 4.2, 8.3, A
- Environnement et sécurité : 8.4, C, D
- Fabrication et contrôle de la qualité : 4.3, 8.3, C, D
- Métallurgie des poudres : 2.2, 4.1, 8.3, A, C
- Porosité : 2.3, 4.1, 8.3, A, C
- Résistance aux vibrations : 5.4, 8.1, A

Index des sujets

- **Science des matériaux** : Chapitre 2, 6.1, 8.3, A, C, D
 - Matrice de tungstène poreuse : 2.1.1, 2.3.1, 4.1, 6.1, 8.3, C, D
 - Propriétés du composé de baryum : 2.1.2, 4.2, 6.1, 8.4, C, D
 - Analyse de la microstructure : 2.3, 4.3, 6.1
- **Principe de fonctionnement** : Chapitre 3, A
 - Théorie de l'émission thermionique : 3.1, A
 - Caractéristiques d'émission et analyse des défaillances : 3.2, 3.3, A
 - Effet Schottky et amélioration du champ : 3.1.2, A
- **Techniques de fabrication** : Chapitre 4, 8.3, A, C, D
 - Formation d'une matrice de tungstène poreuse : 4.1, 8.3, A, C
 - Processus d'imprégnation et d'activation : 4.2, 8.3, A, C
 - Contrôle de la qualité et tests : 4.3, 8.3, C
- **Applications** : Chapitre 5, D
 - Tube à micro-ondes ou tube à rayons X : 5.1, D
 - Instruments scientifiques : 5.2, D
 - Aérospatiale et défense : 5.4, D
 - Applications émergentes (p. ex., térahertz, propulseurs ioniques) : 5.5
- **Optimisation des performances** : Chapitre 6
 - Efficacité de tir : 6.1
 - Durée de vie et anti-empoisonnement : 6.2
 - Adaptabilité environnementale : 6.3
- **Défis technologiques et développements futurs** : chapitre 7
 - Coût et consistance des matériaux : 7.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Concurrence dans les technologies émergentes : 7,2
- Orientations futures de la recherche : 7,3
- **Normes et spécifications** : Chapitre 8, C
 - Normes internationales et industrielles : 8.1, C
 - Spécification des paramètres de performance : 8.2, C
 - Fabrication et contrôle de la qualité : 8.3, C
 - Environnement et sécurité : 8.4, C
- **Fournisseurs et ressources** :D
 - CTIA GROUP LTD : D



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT