

Энциклопедия электронно-лучевых вольфрамовых нитей

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Мировой лидер в области интеллектуального производства для вольфрамовой,
молибденовой и редкоземельной промышленности

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696
Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

ЗНАКОМСТВО С CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, дочерняя компания с независимой правосубъектностью, учрежденная CHINATUNGSTEN ONLINE, занимается продвижением интеллектуального, интегрированного и гибкого проектирования и производства вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного интернета. CHINATUNGSTEN ONLINE, основанная в 1997 году с www.chinatungsten.com в качестве отправной точки — первый в Китае веб-сайт высшего уровня по вольфрамовым продуктам — является новаторской компанией электронной коммерции в стране, специализирующейся на вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности. Опираясь на почти тридцатилетний опыт работы в области вольфрама и молибдена, CTIA GROUP наследует исключительные возможности своей материнской компании в области проектирования и производства, превосходные услуги и глобальную деловую репутацию, став поставщиком комплексных прикладных решений в области химических веществ вольфрама, металлов вольфрама, твердых сплавов, сплавов высокой плотности, молибдена и молибденовых сплавов.

За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE создала более 200 многоязычных профессиональных веб-сайтов по вольфраму и молибдену, охватывающих более 20 языков, с более чем миллионом страниц новостей, цен и анализа рынка, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными элементами. С 2013 года официальный аккаунт WeChat «CHINATUNGSTEN ONLINE» опубликовал более 40 000 единиц информации, обслуживая почти 100 000 подписчиков и ежедневно предоставляя бесплатную информацию сотням тысяч профессионалов отрасли по всему миру. Благодаря совокупному количеству посещений веб-сайта и официального аккаунта, достигшему миллиардов раз, компания стала признанным глобальным и авторитетным информационным центром для вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной отраслей, предоставляющим 24/7 многоязычные новости, характеристики продукции, рыночные цены и услуги по рыночным тенденциям.

Опираясь на технологии и опыт CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP фокусируется на удовлетворении индивидуальных потребностей клиентов. Используя технологию искусственного интеллекта, она совместно с клиентами разрабатывает и производит вольфрамовые и молибденовые изделия с определенным химическим составом и физическими свойствами (такими как размер частиц, плотность, твердость, прочность, размеры и допуски). Она предлагает комплексные интегрированные услуги, начиная от вскрытия пресс-форм, пробного производства и заканчивая отделкой, упаковкой и логистикой. За последние 30 лет компания CHINATUNGSTEN ONLINE предоставила услуги по исследованиям и разработкам, проектированию и производству более 500 000 видов вольфрамовых и молибденовых изделий для более чем 130 000 клиентов по всему миру, заложив основу для индивидуального, гибкого и интеллектуального производства. Опираясь на эту основу, CTIA GROUP еще больше углубляет интеллектуальное производство и интегрированные инновации в области вольфрама и молибдена в эпоху промышленного интернета.

Д-р Ханне и его команда в CTIA GROUP, основываясь на своем более чем 30-летнем опыте работы в отрасли, также написали и обнародовали знания, технологии, цены на вольфрам и рыночные тенденции, связанные с вольфрамом, молибденом и редкоземельными элементами, свободно делясь ими с вольфрамовой промышленностью. Д-р Хан, обладая более чем 30-летним опытом работы с 1990-х годов в электронной коммерции и международной торговле вольфрамовыми и молибденовыми изделиями, а также в разработке и производстве цементированных карбидов и сплавов высокой плотности, является признанным экспертом в области вольфрама и молибдена как внутри страны, так и за рубежом. Придерживаясь принципа предоставления профессиональной и качественной информации отрасли, команда CTIA GROUP постоянно пишет технические исследовательские работы, статьи и отраслевые отчеты, основанные на производственной практике и потребностях клиентов на рынке, завоевав широкое признание в отрасли. Эти достижения обеспечивают надежную поддержку технологических инноваций, продвижения продукции и отраслевых обменов CTIA GROUP, что позволяет ей стать лидером в мировом производстве вольфрамовой и молибденовой продукции и информационных услугах.



CTIA GROUP LTD

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа CTIAQCD -MA-E/P 2024 версия CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Electron Beam Tungsten Filaments Introduction

1. Overview of Electron Beam Tungsten Filaments

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

2. Features of Electron Beam Tungsten Filaments

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

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

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

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

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

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

3. Some Types of Electron Beam Tungsten Filaments

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

4. Purchasing Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696
Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Содержание

Глава 1 Введение

- 1.1 Определение и значение электронно-лучевой вольфрамовой нити
- 1.2 Историческое развитие и технологическая эволюция
- 1.3 Роль электронно-лучевой вольфрамовой нити в современных технологиях

Глава 2 Основные принципы использования вольфрамовой нити в электронной пушке

- 2.1 Принцип работы электронной пушки
- 2.2 Физико-химические основы вольфрамовой нити как катодного материала
- 2.3 Механизм термоэмиссионной эмиссии
- 2.4 Сравнение вольфрамовых нитей накаливания и альтернативных материалов

Глава 3 Подготовка и технология производства вольфрамовой нити для электронной пушки

- 3.1 Выбор и подготовка сырья для электронно-лучевой вольфрамовой нити
 - 3.1.1 Источник и очистка металлического вольфрама
 - 3.1.2 Требования к размеру частиц и чистоте вольфрамового порошка
 - 3.1.3 Подбор добавок и легирующих материалов (таких как калий, алюминий и т.д.)
 - 3.1.4 Испытание сырья и контроль качества
- 3.2 Электронно-лучевая металлургия вольфрамовых нитей
 - 3.2.1 Прессование и спекание вольфрамового порошка
 - 3.2.1.1 Параметры процесса прессования
 - 3.2.1.2 Тип печи для спекания и регулирование температуры
 - 3.2.2 Ковка и волочение вольфрамовых стержней
 - 3.2.2.1 Технология горячей и холодной штамповки
 - 3.2.2.2 Конструкция волочильной матрицы и выбор смазки
 - 3.2.3 Отжиг и контроль зерна вольфрамовой проволоки
 - 3.2.3.1 Температура и атмосфера отжига
 - 3.2.3.2 Влияние размера зерна на эксплуатационные характеристики
- 3.3 Формование и обработка электронно-лучевой вольфрамовой нити
 - 3.3.1 Намотка и формовка вольфрамовой проволоки
 - 3.3.1.1 Одинарная спираль, двойная спираль и сложные геометрические конструкции
 - 3.3.1.2 Автоматизация и точность формовочного оборудования
 - 3.3.2 Технология обработки поверхности
 - 3.3.2.1 Химическая очистка и полировка
 - 3.3.2.2 Процесс нанесения поверхностного покрытия (например, оксидного покрытия)
 - 3.3.3 Резка и формовка нитей
- 3.4 Оборудование и автоматизация для производства электронно-лучевых

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

вольфрамовых нитей

3.4.1 Обзор основного производственного оборудования для электронно-лучевых вольфрамовых нитей

3.4.1.1 Печь для спекания

3.4.1.2 Волоочильная машина

3.4.1.3 Упаковочная машина

3.4.2 Автоматизация и интеллект производственных линий

3.4.3 Требования к контролю окружающей среды и чистым помещениям

3.5 Контроль качества и инспекция электронно-лучевой вольфрамовой нити

3.5.1 Технология онлайн-детектирования

3.5.1.1 Контроль размерной и геометрической точности

3.5.1.2 Обнаружение поверхностных дефектов

3.5.2 Тестирование производительности

3.5.2.1 Испытание на сопротивление и проводимость

3.5.2.2 Испытание на тепловую эмиссию электронов

3.5.3 Анализ отказов и меры по их устранению

Глава 4 Характеристики электронно-лучевой вольфрамовой нити

4.1 Физико-химические свойства электронно-лучевой вольфрамовой нити

4.1.1 Температура плавления и термическая стабильность вольфрамовой нити

4.1.2 Удельное сопротивление и температурный коэффициент вольфрамовой нити

4.1.3 Антиокислительные и антикоррозионные свойства вольфрамовой нити

4.1.4 Механическая прочность и пластичность вольфрамовой нити

4.2 Электрические и тепловые характеристики электронно-лучевой вольфрамовой нити

4.2.1 Эффективность термоэмиссионной эмиссии вольфрамовой нити накала

4.2.2 Диапазон рабочих температур вольфрамовой нити накала

4.2.3 Тепловое расширение и термоусталостные характеристики вольфрамовой

нити

4.2.4 Дуговая стабильность вольфрамовой нити

4.3 Взаимосвязь между микроструктурой и характеристиками электронно-лучевой нити накала

4.3.1 Структура и ориентация зерна

4.3.2 Влияние легирующих элементов на микроструктуру

4.3.3 Морфология поверхности и эмиссионные характеристики

4.4 Срок службы и надежность электронно-лучевой вольфрамовой нити

4.4.1 Факторы, влияющие на срок службы нити накала

4.4.2 Анализ видов разрушения (например, испарение, разрушение)

4.4.3 Метод испытания на надежность

4.5 MSDS of CTIA GROUP LTD электронно-лучевая вольфрамовая нить

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа CTIAQCD -MA-E/P 2024 версия CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Глава 5 Использование и применение электронно-лучевой вольфрамовой нити

5.1 Применение в электронной пушке

- 5.1.1 Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)
- 5.1.2 Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ)
- 5.1.3 Электронно-лучевая сварка и резка
- 5.1.4 Электронно-лучевая литография

5.2 Вакуумные электронные устройства

- 5.2.1 Микроволновые трубки (такие как магнетроны и лампы бегущей волны)
- 5.2.2 Рентгеновская трубка
- 5.2.3 Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ)

5.3 Другие промышленные и научные исследования

- 5.3.1 Осаждение тонких пленок (например, физическое осаждение из газовой фазы)
- 5.3.2 Ионный источник и масс-спектрометр
- 5.3.3 Экспериментальное устройство для термоядерного синтеза

5.4 Новые области применения

- 5.4.1 Электронно-лучевое плавление в 3D-печати
- 5.4.2 Источники электронов в космических двигательных установках
- 5.4.3 Нанотехнологии и микро-нанообработка

Глава 6 Технические проблемы и будущее развитие электронно-лучевой нити накала

6.1 Современные технические проблемы электронно-лучевой вольфрамовой нити

- 6.1.1 Продление срока службы нити накала
- 6.1.2 Повышение эффективности передачи
- 6.1.3 Требования к миниатюризации и высокой точности

6.2 Новые материалы и технологии электронно-лучевых вольфрамовых нитей

- 6.2.1 Композиционные материалы на основе вольфрама
- 6.2.2 Наноструктурированная вольфрамовая нить
- 6.2.3 Альтернативные катодные материалы (например, углеродные нанотрубки, полевые эмиссионные катоды)

6.3 Интеллектуальное и экологичное производство электронно-лучевой вольфрамовой нити

- 6.3.1 Интеллектуальный мониторинг и адаптивное управление
- 6.3.2 Энергосберегающая и экологически чистая технология производства
- 6.3.3 Переработка и переработка отходов

6.4 Будущие тенденции развития электронно-лучевых вольфрамовых нитей

- 6.4.1 Проектирование высокопроизводительной электронной пушки
- 6.4.2 Междисциплинарная интеграция (например, интеграция с искусственным интеллектом)
- 6.4.3 Применение в космосе и экстремальных условиях

Глава 7 Стандарты и спецификации на электронно-лучевые вольфрамовые нити

7.1 Национальные стандарты (GB)

7.1.1 Стандарты, относящиеся к GB/T (например, стандарты на вольфрам и вольфрамовые сплавы)

7.1.2 Стандарты испытаний и оценки катодных материалов электронной пушки

7.1.3 Технические условия на изготовление и приемку вакуумных электронных устройств

7.2 Международные стандарты (ISO)

7.2.1 Материалы, относящиеся к ISO, и стандарты испытаний

7.2.2 Применение стандарта ISO 4618-2006 к обработке поверхности вольфрамовых нитей

7.2.3 Внедрение стандарта ISO 14001 в производство

7.3 Американский стандарт

7.3.1 Стандарты ASTM (например, ASTM B387)

7.3.2 Применение стандартов ASME при изготовлении электронных пушек

7.3.3 Стандарты SAE (если применимо к электронно-лучевой сварке)

7.4 Другие международные и отраслевые стандарты

7.4.1 Японский стандарт (JIS)

7.4.2 Немецкий стандарт (DIN)

7.4.3 Российский стандарт (ГОСТ)

7.5 Внедрение и сертификация стандартов

7.5.1 Применение стандартов в производстве и испытаниях

7.5.2 Сертификация системы менеджмента качества (например, ISO 9001)

7.5.3 Экспорт продукции и соответствие международным стандартам

Приложение

А. Глоссарий

В. Ссылки

Глава 1 Введение

1.1 Определение и важность электронно-лучевой вольфрамовой нити накаливания

Электронно-лучевая вольфрамовая нить представляет собой катодный компонент с металлическим вольфрамом в качестве основного материала. Она производит тепловую эмиссию электронов за счет электрического нагрева и является основным компонентом электронной пушки. Электронные пушки используют электрические или магнитные поля для ускорения электронов и формирования высокоэнергетических электронных пучков. Они широко используются в сканирующих электронных микроскопах (СЭМ), просвечивающих электронных микроскопах (ПЭМ), электронно-лучевой сварке, рентгеновских трубках и другом оборудовании. Важность вольфрамовых нитей обусловлена их превосходными физическими и химическими свойствами: высокой температурой плавления (около 3422°C), низким давлением пара, высокой рабочей функцией (около 4,5 эВ), а также отличной термической стабильностью и механической прочностью. Эти свойства позволяют вольфрамовым нитям стабильно работать в условиях высоких температур и высокого вакуума и обеспечивать надежные электронные пучки.

Вольфрамовая нить в электронной пушке должна нагревать ее до 2000-2800°C путем включения, возбуждая электроны на поверхности вольфрама для преодоления рабочей функции и выхода, образуя поток электронов. Эти электроны ускоряются под действием электрического поля для генерации сфокусированного электронного пучка для визуализации, обработки или анализа. Например, в РЭМ стабильность излучения и яркость вольфрамовой нити напрямую влияют на разрешение изображения; В электронно-лучевой литографии срок службы и консистенция нити определяют точность обработки наноразмерного рисунка. Кроме того, поскольку вольфрамовые волокна являются редким металлом, дефицит и высокая стоимость ресурсов вольфрама еще больше подчеркивают стратегическое положение вольфрамовых нитей в глобальной научно-технической и промышленной цепочке поставок. Согласно информации от Chinatungsten Online, технология производства вольфрамовых нитей напрямую связана с производительностью и стоимостью электронного оборудования, и является одной из ключевых технологий в сфере высоких технологий.

1.2 Историческое развитие и технологическая эволюция

Производство вольфрамовых нитей началось в конце 19 века и тесно связано с развитием вакуумной электроники. В 1878 году Томас Эдисон впервые использовал вольфрам в нитях накаливания и обнаружил его высокую устойчивость к температурам и низкую скорость испарения, заложив основу для использования вольфрама в высокотемпературных приложениях. В начале 20-го века достижения в технологии электронных ламп привели к рождению электронных пушек, и вольфрам стал предпочтительным материалом для катодов электронных пушек из-за его высокой температуры плавления и химической стабильности. В 1920-х годах вольфрамовые нити начали использоваться в ранних электронно-лучевых трубках (ЭЛТ), что ознаменовало их широкое использование в электронных устройствах.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

В 1950-х годах появление сканирующих электронных микроскопов предъявляло более высокие требования к вольфрамовым нитям, что побудило исследователей оптимизировать их микроструктуру и производственный процесс. В 1960-х годах важным прорывом стало внедрение допинговых технологий. Например, добавление таких элементов, как калий, алюминий и кремний ([знания о вольфраме](#)) значительно улучшило сопротивление ползучести и эффективность тепловой электронной эмиссии нити. Вступая в 21 век, достижения в области нанотехнологий и прецизионного производства еще больше способствовали развитию технологии вольфрамовых нитей. Например, технология наноразмерного контроля зерна может оптимизировать механические свойства нити, а технологии нанесения поверхностных покрытий (такие как оксидное покрытие) могут продлить срок службы.

1.3 Роль электронно-лучевой вольфрамовой нити в современных технологиях

В современных технологиях вольфрамовые нити являются незаменимым компонентом электронных пушек и широко используются в научных исследованиях, промышленном производстве, медицинском лечении и новых технологиях. Его основные функции включают в себя:

Научные исследования: В СЭМ и ПЭМ вольфрамовые нити обеспечивают пучки электронов высокой яркости для наблюдения наноразмерных структур. Например, эмиссионная стабильность вольфрамовых нитей непосредственно влияет на разрешение ПЭМ на атомном уровне.

Промышленное производство: Оборудование для электронно-лучевой сварки, резки и литографии использует высокоэнергетические электронные пучки, генерируемые вольфрамовыми нитями, для достижения высокоточной обработки.

Применение в медицине: Вольфрамовые нити в рентгеновских трубках используются для генерации электронных пучков, необходимых для диагностической визуализации, и широко используются в компьютерной томографии и лучевой терапии.

Новые области: Вольфрамовые нити все чаще используются в 3D-печати (электронно-лучевое плавление), космических двигательных установках (таких как ионные двигатели) и нанотехнологиях. Например, технология электронно-лучевого плавления использует высокоэнергетический электронный пучок, генерируемый вольфрамовой нитью, для точного плавления металлических порошков для создания сложных структур.

Вольфрамовые нити напрямую влияют на эффективность и точность оборудования. Например, в электронно-лучевой литографии консистенция излучения и срок службы нитей определяют качество наноразмерных узоров. В связи со все более строгими требованиями к охране окружающей среды и устойчивому развитию, экологически чистое производство и

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

переработка вольфрамовых нитей стали актуальной темой в отрасли. Глобальные компании изучают технологии переработки вольфрама и процессы производства с низким энергопотреблением, чтобы справиться с нехваткой ресурсов и экологическими проблемами.



CTIA GROUP LTD Электронно-лучевая вольфрамовая нить

Глава 2 Основные принципы использования вольфрамовой нити в электронной пушке

2.1 Принцип работы электронной пушки

Электронная пушка — это устройство, которое ускоряет электронный пучок через электрическое или магнитное поле и широко используется в вакуумных электронных устройствах. Его базовая структура включает катод (обычно вольфрамовую нить), анод и контрольный электрод (например, сетку). При работе вольфрамовая нить нагревается до высокой температуры (2000-2800°C) с помощью электричества, выделяя горячие электроны; Эти электроны ускоряются электрическим полем, образованным высоким напряжением (от нескольких тысяч вольт до десятков киловольт), приложенным анодом для формирования высокоэнергетического электронного пучка. Управляющий электрод регулирует интенсивность, форму и фокусировку электронного пучка в соответствии с потребностями различных областей применения.

Производительность электронной пушки зависит от эффективности излучения, стабильности луча и точности фокусировки нити накаливания. Вольфрамовые нити являются предпочтительным катодным материалом для электронных пушек из-за их высокой температуры плавления, низкого давления пара и стабильных тепловых характеристик электронной эмиссии. Например, в сканирующем электронном микроскопе электронная

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

пушка должна обеспечивать электронный пучок высокой яркости с узким лучом, а микроструктура и состояние поверхности вольфрамовой нити напрямую влияют на эти параметры. Согласно данным Chinatungsten Online, современные конструкции электронных пушек могут фокусировать электронный пучок на субнанометровом уровне за счет оптимизации геометрии нити накала и конфигурации электродов.

2.2 Физико-химические основы вольфрамовой нити как катодного материала

Вольфрам как катодный материал обуславливается своими уникальными физико-химическими свойствами:

Высокая температура плавления: температура плавления вольфрама составляет 3422 °C, что позволяет выдерживать высокую температуру окружающей среды при работе электронной пушки.

Низкое давление пара: вольфрам имеет низкую скорость испарения при высоких температурах, что снижает потери нити накала и загрязнение вакуумной системы.

Высокая рабочая функция: Рабочая функция вольфрама составляет около 4,5 эВ, что подходит для термоэмиссионной эмиссии и обеспечивает стабильный поток электронов.

Химическая стабильность: вольфрам устойчив к окислению и коррозии в вакуумной среде и подходит для длительного использования.

Кубическая кристаллическая структура вольфрама, центрированная по телу, придает ему превосходную механическую прочность и термическую стабильность. Добавление легирующих элементов (таких как калий, алюминий и кремний) может еще больше оптимизировать производительность, например, снизить рабочую функцию или улучшить сопротивление ползучести. Согласно данным Chinatungsten Online, эффективность излучения нитей, легированных вольфрамом, может быть увеличена на 10-20%, что значительно улучшит характеристики электронных пушек. Кроме того, морфология и чистота поверхности вольфрама имеют решающее значение для показателей выбросов, а крошечные примеси или оксидные слои могут значительно снизить эффективность выбросов.

2.3 Механизм термоэмиссионной эмиссии

Вольфрамовая нить в электронной пушке имеет термоэмиссионное излучение. Когда вольфрамовая нить нагревается до высокой температуры, свободные электроны внутри могут преодолевать потенциальный барьер (называемый рабочей функцией), образующийся на поверхности материала благодаря достаточной тепловой энергии, а затем уходить в вакуум, образуя поток электронов.

Согласно уравнению Ричардсона-Душмана, связь между текущей плотностью J тепловой электронной эмиссии и температурой T и функцией работы материала ϕ может быть выражена как:

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа CTIAQCD -MA-E/P 2024 версия CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

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

В:

J: Плотность тока электронной эмиссии (А/см²)

A : постоянная Ричардсона (обычно около 120 А/см²/К²)

T: Температура поверхности вольфрамовой нити (К)

φ : электронная функция работы материала (эВ)

k: постоянная Больцмана (8,617×10⁻⁵ эВ /К)

Для вольфрама его рабочая функция составляет около 4,5–4,6 эВ. Хотя он не самый низкий, благодаря высокой температуре плавления он может выдерживать рабочие температуры выше 2000 °С, что делает его эффективность тепловой электронной эмиссии достаточной для удовлетворения потребностей электронных пушек.

Характерной чертой тепловой электронной эмиссии является то, что плотность электронного тока быстро возрастает с экспоненциальной зависимостью температуры. Таким образом, конструкция электронной пушки должна точно контролировать ток нагрева вольфрамовой нити, чтобы получить необходимую интенсивность электронного пучка, избегая при этом потери или обрыва нити накала из-за перегрева.

В практическом применении состояние поверхности нити накала оказывает значительное влияние на характеристики выбросов. Например, поверхностные оксиды или примеси увеличат рабочую функцию и снижат эффективность выбросов; Микроскопическая морфология (например, ориентация зерен и шероховатость поверхности) влияет на эффективность убегания электронов. Поэтому при производстве филаментных нитей часто используются методы химической очистки, полировки и нанесения поверхностных покрытий для оптимизации производительности.

2.4 Сравнение вольфрамовых нитей накаливания и альтернативных материалов

Несмотря на то, что вольфрамовые нити обладают отличными эксплуатационными характеристиками, их высокая рабочая функция и ограниченный срок службы побудили исследователей изучить альтернативные материалы. Вот сравнение вольфрамовых нитей с распространенными альтернативными материалами:

Лантановый вольфрам (LaB6): Он имеет низкую рабочую функцию (около 2,7 эВ) и высокую эффективность выбросов, что делает его пригодным для приложений с высокой яркостью, но имеет строгие требования к вакууму и легко загрязняется кислородом.

Углеродные нанотрубки (УНТ): они обладают полевыми эмиссионными свойствами, не

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

требуют нагрева и подходят для миниатюрных приложений, но их производственные затраты высоки, а их стабильность требует дальнейшей проверки.

Оксидный катод: высокая эмиссионная эффективность и низкая рабочая температура (около 1000°C), но плохая механическая прочность и не подходит для мощных электронных пушек.

Композитные материалы на основе вольфрама: такие как вольфрамовые материалы, легированные оксидами или карбидами, обладают высокой эффективностью выбросов и длительным сроком службы, но процесс сложен и дорога высока.

Вольфрамовая нить делает его доминирующим в мощной и долговечной электронной пушке. Однако в условиях потребности в миниатюризации и низком энергопотреблении новые материалы, такие как углеродные нанотрубки и наноструктурированный вольфрам, становятся горячими точками исследований.



CTIA GROUP LTD Электронно-лучевая вольфрамовая нить

CTIA GROUP LTD

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Electron Beam Tungsten Filaments Introduction

1. Overview of Electron Beam Tungsten Filaments

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

2. Features of Electron Beam Tungsten Filaments

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

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

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

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

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

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

3. Some Types of Electron Beam Tungsten Filaments

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

4. Purchasing Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696
Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Глава 3 Процесс подготовки и производства электронно-лучевой вольфрамовой нити

Электронно-лучевая вольфрамовая нить является ключевым звеном для обеспечения ее высокой производительности и надежности, охватывающей весь процесс от выбора сырья до окончательной формовки. В этой главе подробно обсуждаются подготовка сырья, металлургический процесс, обработка формовки, производственное оборудование, контроль качества и т. д., сочетая мировые передовые технологии и отраслевые практики, а также глубоко анализируя технические детали и проблемы каждого этапа.

3.1 Выбор и подготовка сырья для электронно-лучевой вольфрамовой нити

Качество сырья напрямую определяет производительность вольфрамовых нитей, которая предполагает очистку металлического вольфрама, характеристики вольфрамового порошка, подбор легирующих материалов и строгий контроль качества.

3.1.1 Источник и очистка металлического вольфрама

Металлический вольфрам в основном добывается из вольфрамита (FeMnWO_4) и шеелита (CaWO_4), при этом мировые запасы в основном сосредоточены в Китае (около 60%), России, Австралии и Канаде. Вольфрамит в основном обусловлен высоким содержанием вольфрама и легкими характеристиками разделения, в то время как шеелит требует более сложного процесса очистки из-за связанного с ним кальция. Процесс добычи включает в себя открытую или подземную добычу полезных ископаемых с последующим разделением вольфрамового концентрата путем дробления, измельчения и гравитационной сепарации (например, встряхивающий стол, спиральный концентратор).

Процесс очистки вольфрама делится на два этапа: физическое обогащение и химическая плавка. Физическое обогащение еще больше улучшает чистоту вольфрамового концентрата за счет флотации, магнитной сепарации и гравитационной сепарации, а типичное содержание WO_3 должно достигать 65-70%. Химическая плавка превращает вольфрамовый концентрат в [паравольфрам аммония](#) или [вольфрамовую кислоту](#). Конкретный процесс включает в себя:

Вольфрамовый концентрат выщелачивают раствором гидроксида натрия или карбоната натрия с образованием [раствора](#) вольфрама натрия.

Ионообменная или жидкостная экстракция: удаляет примеси (такие как кремний, фосфор, мышьяк) для получения АРТ высокой чистоты.

Кальцинирование и восстановление: АРТ прокаливают при $800-1000^\circ\text{C}$ для получения [триоксида вольфрама](#), а затем восстанавливают до порошка вольфрама в атмосфере водорода при температуре $700-900^\circ\text{C}$.

В процессе очистки решающее значение имеет контроль над примесями. Металлические

примеси, такие как железо, медь и сера, должны быть менее 50 ppm, а неметаллические примеси, такие как кислород и углерод, должны быть менее 100 ppm. Вольфрамовый порошок высокой чистоты (99,95%) используется в высококачественных нитях электронной пушки, что позволяет значительно повысить эффективность и срок службы выбросов.

3.1.2 Требования к размеру частиц и чистоте вольфрамового порошка

Вольфрамовый порошок является ключевым фактором, влияющим на плотность спеченных заготовок и микроструктуру нитей. Электронно-лучевая вольфрамовая нить требует, чтобы вольфрамовый порошок имел равномерный размер частиц, обычно в диапазоне 1-10 микрон, а стандартное отклонение распределения частиц по размерам должно контролироваться в пределах $\pm 0,5$ микрона. Мелкий и равномерный размер частиц помогает сформировать плотное спеченное тело с пониженной пористостью (целевой размер менее 2%). Слишком большой размер частиц может привести к неравномерному спеканию, в то время как слишком малый размер частиц может увеличить сложность прессования.

С точки зрения чистоты, содержание металлических примесей (таких как железо, никель и молибден) в вольфрамовом порошке должно быть менее 30 ppm, а неметаллических примесей (таких как кислород, азот и углерод) должно быть менее 80 ppm. Вольфрамовый порошок сверхвысокой чистоты (марка 5N, 99,999%) пользуется все большим спросом в высокотехнологичных приложениях, таких как производство нитей для РЭМ высокого разрешения. Методы обнаружения включают:

Анализ размеров частиц: Лазерный анализатор размера частиц (например, Malvern Mastersizer) измеряет распределение частиц по размерам с точностью до $\pm 0,1$ микрона.

Определение чистоты: Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) используется для анализа содержания примесей с пределом обнаружения до уровня ppb.

Наблюдение за микроструктурой: С помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) изучалась морфология порошка, чтобы убедиться в отсутствии агломератов или аномальных частиц.

3.1.3 Подбор добавок и легирующих материалов (таких как калий, алюминий, кремний и т.д.)

Легирование является основной технологией для оптимизации характеристик вольфрамовых нитей. Он улучшает свои высокие температурные характеристики, эффективность выбросов и сопротивление ползучести за счет добавления микроэлементов. К наиболее часто используемым легирующим элементам относятся:

Калий (K): добавляется в виде оксида калия (K_2O), с содержанием 0,01-0,05 мас.%. Калий

образует крошечные пузырьки во время спекания, подавляет рост зерна и повышает сопротивление ползучести при высоких температурах.

Алюминий (Al): добавляется в виде оксида алюминия (Al_2O_3) в концентрации 0,005-0,02 мас.%. Алюминий снижает рабочую функцию (с 4,5 эВ до примерно 4,3 эВ) и повышает эффективность тепловой электронной эмиссии.

Кремний (Si): Добавляется в виде диоксида кремния (SiO_2) в концентрации 0,01-0,03 мас.%. Кремний повышает термостойкость и снижает поверхностное окисление.

Другие элементы: такие как рений (Re, 0,1-1 мас.%) используется для улучшения пластичности, а оксид иттрия (Y_2O_3) используется для улучшения эмиссионных свойств.

Добавки легирующих элементов должны быть равномерно распределены путем влажного смешивания или механического легирования. Чрезмерное содержание допинга может привести к аномальному росту зерна или охрупчиванию нитей. Например, содержание калия, превышающее 0,1 мас.%, снизит механическую прочность.

3.1.4 Испытание сырья и контроль качества

Тестирование сырья включает в себя химический состав, распределение частиц по размерам, морфологию и анализ следовых примесей. Обычно используемое оборудование включает в себя:

Рентгенофлуоресцентный спектрометр (РФА): Быстрый анализ химического состава вольфрамового порошка и легирующих элементов с точностью до $\pm 0,01$ мас.%.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ): наблюдение за морфологией порошка и обнаружение агломерированных или неправильных частиц.

Провсвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ): анализ наноразмерных структур и оценка распределения легирующих элементов.

ICP-MS: Обнаружение следовых примесей с чувствительностью уровня ppb.

Контроль качества осуществляется в соответствии со стандартами ISO 9001 и создает полную систему прослеживаемости от хранения сырья до производства. Каждая партия вольфрамового порошка должна пройти не менее трех раундов независимых испытаний, а проходной показатель должен достигать более 99,9%. Некачественное сырье повторно очищается или отбраковывается, чтобы не влиять на последующие процессы.

3.2 Электронно-лучевая металлургия вольфрамовых нитей

Металлургический процесс превращает вольфрамовый порошок в высокоэффективную

вольфрамовую нить, включая такие этапы, как прессование, спекание, ковка, волочение и отжиг. Каждый этап должен точно контролироваться, чтобы обеспечить микроструктуру и производительность нити.

3.2.1 Прессование и спекание вольфрамового порошка

3.2.1.1 Параметры процесса прессования

Прессование вольфрамового порошка заключается в помещении вольфрамового порошка в форму и прессовании его в заготовку с помощью гидравлического пресса или изостатического пресса. К параметрам процесса относятся:

Давление: 100-300 МПа, типичное значение 200 МПа. Слишком высокое давление может привести к износу штампа, слишком низкое давление повлияет на плотность заготовки.

Время выдержки: 10-30 секунд для обеспечения полного соединения частиц порошка.

Материал формы: карбид вольфрама (www.tungsten-carbide-powder.com) или высокопрочная сталь, внутренняя стенка отполирована до Ra 0,1 микрон для снижения адгезии.

Связующее вещество: Добавьте 0,5-2 мас.% поливинилового спирта (ПВА) или парафина для улучшения прочности заготовки, которую необходимо полностью удалить в начале спекания.

Относительная плотность прессованной заготовки должна достигать 60-70%, а пористость должна контролироваться в пределах 30%. Технология SIP может еще больше улучшить однородность плотности и подходит для производства высокопроизводительных филаментов.

3.2.1.2 Тип печи для спекания и регулирование температуры

Спекание – это процесс уплотнения прессованной заготовки при высокой температуре, с целью снижения пористости до менее чем 2% и формирования однородной структуры зерна. К распространенным печам для спекания относятся:

Печь сопротивления: подходит для мелкосерийного производства, диапазон температур 1800-2800°C.

Печь с индукционным нагревом: подходит для крупносерийного производства, высокой скорости нагрева и хорошей однородности.

Микроволновая печь для спекания: новая технология, которая обеспечивает быстрое уплотнение за счет микроволнового нагрева, снижая потребление энергии на 20-30%.

Процесс спекания делится на три этапа:

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Низкотемпературная стадия (800-1200°C): удаляет связующие вещества и летучие примеси, сохраняется 30-60 минут.

Средняя температурная стадия (1500-2000°C): Способствует склеиванию зерен и поры начинают закрываться, продолжаясь 1-2 часа.

Высокая температурная стадия (2500-2800°C): достигает полного уплотнения, длится 30-90 минут.

Атмосфера спекания представляет собой водород высокой чистоты (чистота 99,999%) или вакуум (10^{-4} Па) для предотвращения окисления. Точность регулирования температуры должна достигать $\pm 5^\circ\text{C}$. Слишком высокая температура вызовет аномальный рост зерна, в то время как слишком низкая температура повлияет на плотность.

3.2.2 Ковка и волочение вольфрамовых стержней

3.2.2.1 Технология горячей и холодной штамповки

Спеченная вольфрамовая заготовка перерабатывается в вольфрамовые стержни методомковки для улучшения внутренней структуры и плотности. Ковка делится на горячую штамповку и холодную штамповку:

Горячая штамповка: выполняется при температуре 1500-1800°C с использованием ротационной ковочной машины или гидравлической ковочной машины. Величина деформации контролируется на уровне 10-20% каждый раз, а общая скорость деформации достигает 50-70%. Горячая штамповка позволяет устранить спеченные поры и увеличить плотность до более чем 99%.

Холодная штамповка: проводится при комнатной температуре и подходит для окончательной отделки. Холодная штамповка улучшает качество поверхности и точность размеров, но скорость деформации необходимо контролировать (0,1-0,5 мм/с), чтобы избежать трещин. Кузнечное оборудование должно быть оснащено высокоточными пресс-формами и системами контроля температуры, чтобы гарантировать, что допуск по диаметру вольфрамового стержня находится в пределах $\pm 0,05$ мм.

3.2.2.2 Конструкция волочильной матрицы и выбор смазки

Вольфрамовый пруток перерабатывается в проволоку диаметром 0,01-0,5 мм с помощью нескольких процессов волочения. К ключевым элементам процесса волочения проволоки относятся:

Материал формы: карбид вольфрама или поликристаллический алмаз (PCD), точность апертуры формы $\pm 0,1$ мкм, шероховатость поверхности Ra 0,05 мкм.

Проходы волочения: 20-40, с коэффициентом уменьшения поверхности 10-15% за каждый проход и общим коэффициентом уменьшения поверхности более 99%.

Смазка: графитовая эмульсия, смазка на основе молибдена или наноалмазная суспензия, снижающая коэффициент трения до уровня ниже 0,1.

Скорость волочения: 0,5-5 м/с, необходимо динамически регулировать в зависимости от диаметра проволоки и состояния формы.

В процессе волочения проволоки температура поверхности вольфрамовой проволоки может достигать 300-500 °С, а накопление тепла необходимо контролировать с помощью системы охлаждения (например, водяного охлаждения или воздушного охлаждения). Волочильная машина оснащена датчиком натяжения и лазерным измерителем диаметра для контроля отклонения диаметра проволоки ($\pm 0,5$ мкм) в режиме реального времени.

3.2.3 Отжиг и контроль зерна вольфрамовой проволоки

3.2.3.1 Температура и атмосфера отжига

Отжиг используется для устранения внутренних напряжений в процессе волочения и оптимизации структуры зерна и пластичности вольфрамовой проволоки. Параметры процесса отжига включают в себя:

Температура: 1200-1600°C, типичное значение 1400°C. Для тонких проводов подходит низкотемпературный отжиг (1200°C), для толстых проводов используется высокотемпературный отжиг (1600°C).

Время: 10-60 секунд, короткое время отжига, чтобы избежать чрезмерного роста зерна.

Атмосфера: водород высокой чистоты (99,999%) или инертный газ (например, аргон) для предотвращения окисления.

Оборудование: Печь непрерывного отжига или вакуумная печь для отжига, точность регулирования температуры $\pm 3^\circ\text{C}$.

В процессе отжига вольфрамовая проволока нагревается за счет резистивного нагрева или индукционного нагрева, поэтому необходимо избегать локального перегрева.

3.2.3.2 Влияние размера зерна на эксплуатационные характеристики

Размер зерна напрямую влияет на механическую прочность, пластичность и тепловую электронную эмиссию вольфрамовой проволоки. Идеальный размер зерна – 1-5 мкм:

Слишком крупные зерна (>10 мкм): снижают прочность на разрыв и увеличивают ползучесть

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

при высоких температурах.

Слишком мелкие зерна (<1 мкм): повышают хрупкость и снижают пластичность.

Контроль зерна достигается за счет процессов легирования и отжига. Легирование калием образует крошечные пузырьки, препятствуя миграции зерен на границе и поддерживая мелкие зерна; Точный контроль температуры и времени отжига позволяет избежать вторичной рекристаллизации. Сканирующая электронная микроскопия и дифракция обратного рассеяния электронов (EBSD) используются для анализа размера и ориентации зерен для обеспечения формирования волокнистых структур.

3.3 Формование и обработка электронно-лучевой вольфрамовой нити

Формовка и механическая обработка — это процесс обработки вольфрамовых нитей в определенные геометрические формы (например, спирали или конусы) для обеспечения эмиссионных характеристик и механической стабильности нити в электронной пушке.

3.3.1 Намотка и формовка вольфрамовой проволоки

3.3.1.1 Одинарная спираль, двойная спираль и сложные геометрические конструкции

Геометрия вольфрамовой нити напрямую влияет на яркость и фокусировочные характеристики электронного пучка. К распространенным конструкциям относятся:

Односпиральная нить: подходит для маломощных электронных пушек (например, небольших СЭМ).

Двойная спираль: Две вольфрамовые нити наматываются параллельно для увеличения площади излучения, что подходит для приложений с высокой яркостью (например, ТЕМ).

Сложные геометрические конструкции: такие как конические спирали, многосегментные спирали или плоские спирали, для специальных электронных пушек, например, в оборудовании для литографии с высоким разрешением.

При проектировании спирали следует учитывать следующие параметры:

Диаметр спирали: 0,5-2,0 мм.

Равномерность расстояния: Обеспечивает равномерность выбросов.

Угол наклона спирали: $30-60^\circ$, влияет на фокусировочные характеристики электронного пучка.

Сложная геометрическая конструкция оптимизируется с помощью системы

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

автоматизированного проектирования (CAD) и анализа методом конечных элементов (FEA) для обеспечения теплового распределения и механической стабильности.

3.3.1.2 Автоматизация и точность формовочного оборудования

В намоточном оборудовании используется система ЧПУ, оснащенная высокоточным серводвигателем и лазерным дальномером. Ключевые технологии включают в себя:

Сервоуправление: скорость намотки 0,1-10 об/мин, точность $\pm 0,01$ об/мин.

Лазерная дальномерность: контроль диаметра и шага спирали в режиме реального времени, точность до ± 1 мкм.

Контроль натяжения: 0,1-5 Н, для предотвращения деформации или обрыва вольфрамовой проволоки.

Автоматизированный намоточный станок поддерживает многоосевую рычажку, что позволяет быстро создавать прототипы сложных геометрических форм. Современное оборудование интегрирует системы машинного зрения для обнаружения спиральных дефектов (таких как неравномерное расстояние и царапины на поверхности), снижая процент брака до менее чем 0,5%.

3.3.2 Технология обработки поверхности

3.3.2.1 Химическая очистка и полировка

Поверхность вольфрамовой проволоки должна быть очищена от оксидов, масел и остатков волочения, чтобы обеспечить характеристики выбросов. Процесс химической очистки включает в себя:

Травление: Используйте смесь фтористоводородной кислоты (HF) и азотной кислоты (HNO₃) (соотношение 1:3), замочите на 10-30 секунд для удаления поверхностных оксидов.

Щелочная очистка: Используйте раствор гидроксида натрия (NaOH) для нейтрализации кислотных остатков, время очистки составляет 5-15 секунд.

Ультразвуковая очистка: проводится в деионизированной воде, частота 40 кГц, время 1-3 минуты, для удаления мельчайших частиц.

После очистки выполняется электрохимическая полировка с использованием смешанного электролита из фосфорной кислоты (H₃PO₄) и серной кислоты (H₂SO₄), плотность тока 0,1-0,5 А/см², время полировки 10-20 секунд. После полировки шероховатость поверхности Ra снижается до уровня ниже 0,05 мкм, что значительно улучшает однородность излучения.

3.3.2.2 Процесс нанесения поверхностного покрытия (например, оксидного покрытия)

Поверхностные покрытия снижают рабочую функцию и повышают эффективность выбросов и срок службы. К распространенным покрытиям относятся оксид иттрия (Y_2O_3), оксид циркония (ZrO_2) и оксид тория (ThO_2). Процессы нанесения покрытий включают в себя:

Химическое осаждение из газовой фазы (CVD): осаждение оксидных покрытий при температуре 600-800°C толщиной 0,1-1 мкм и однородностью $\pm 0,01$ мкм.

Плазменное напыление: подходит для толстых покрытий (1-5 мкм), сильная адгезия при высоких температурах.

Золь-гель метод: производит наноразмерные покрытия, подходящие для высокоточных филаментов.

Покрытие должно быть прочным, чтобы избежать отслаивания из-за высокой температуры.

3.3.3 Резка и формовка нитей

Для резки нитей используется лазерная резка или электроэрозионная резка с точностью до ± 5 мкм. При лазерной резке используется импульсный лазер (длина волны 1064 нм, мощность 10-50 Вт), скорость резки 0,1-1 мм/с, без поражения зоны термического воздействия. Электроэрозионная резка подходит для сложных форм, а зазор между электродами контролируется на уровне 10-20 мкм.

После резки филаменту придается форма с помощью высокоточного приспособления и микроскопа для корректировки формы филамента. Формовочное оборудование оснащено сервосистемой с точностью позиционирования ± 2 мкм, чтобы геометрия спирали соответствовала проектным требованиям.

3.4 Оборудование и автоматизация для производства электронно-лучевых вольфрамовых нитей

Производственное оборудование и технологии автоматизации являются ключом к улучшению консистенции и эффективности филамента, охватывая печи для спекания, волочильные машины для проволоки, намоточные машины и интеллектуальные производственные линии.

3.4.1 Обзор основного производственного оборудования

3.4.1.1 Печь для спекания

Печь для спекания должна поддерживать среду при высоких температурах (2800°C) и высоком вакууме (10^{-5} Па). В современных печах для спекания используются следующие технологии:

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Управление ПЛК: многоступенчатая программа нагрева, отклонение температуры $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Атмосферная система: высокочистый водород или аргон, точность регулирования расхода $\pm 0,1$ л/мин.

Система охлаждения: водяное или воздушное, скорость охлаждения $10-50^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

Микроволновые печи для спекания являются новой тенденцией, снижая потребление энергии на 30% и сокращая время спекания на 50%.

3.4.1.2 Волоочильная машина

Волоочильная машина оснащена многоходовыми штампами и автоматической системой смазки. К ключевым параметрам относятся:

Количество форм: 20-40, коэффициент уменьшения апертуры 10-15%.

Скорость волочения: 0,5-10 м/с, динамически регулируется во избежание обрыва проволоки.

Система измерения диаметра: Лазерный прибор для измерения диаметра, точность $\pm 0,5$ мкм.

Высокоскоростные волоочильные машины обеспечивают непрерывное производство, при этом длина одного волочения составляет несколько тысяч метров.

3.4.1.3 Упаковочная машина

На намоточном станке используется шестиосевая система ЧПУ для поддержки сложных спиральных конструкций. Ключевые технологии включают в себя:

Серводвигатель: точность скорости $\pm 0,01$ об/мин.

Лазерный мониторинг: обнаружение геометрии спирали в режиме реального времени с точностью до ± 1 микрон.

Контроль натяжения: 0,1-5 Н, динамически регулируется.

Автоматизированный намоточный станок может производить 150-200 спиралей в минуту с процентом брака менее 0,3%.

3.4.2 Автоматизация и интеллект производственных линий

Автоматизированная производственная линия объединяет в себе следующие технологии:

Датчик: контролирует температуру, давление, диаметр проволоки и другие параметры с

точностью до $\pm 0,1\%$.

Машинное зрение: обнаружение поверхностных дефектов и геометрических отклонений с коэффициентом распознавания 99,9%.

Алгоритмы искусственного интеллекта: анализируют производственные данные, прогнозируют отказы оборудования и оптимизируют параметры процесса.

Интеллектуальные производственные линии подключают устройства через промышленный Интернет вещей (IIoT), а данные загружаются в облако в режиме реального времени для анализа.

3.4.3 Требования к контролю окружающей среды и чистым помещениям

Производство вольфрамовых нитей должно осуществляться в чистых помещениях класса ISO 5 (класс 100). К параметрам окружающей среды относятся:

Температура: $20 \pm 1^\circ\text{C}$, чтобы тепловое расширение не влияло на точность.

Влажность: 40-60%, для предотвращения накопления статического электричества.

Чистота воздуха: менее 100 частиц размером 0,5 мкм на кубический метр.

Чистое помещение оснащено высокоэффективным фильтром (HEPA) и системой положительного давления для предотвращения загрязнения пылью. Концентрация частиц в воздухе регулярно проверяется на соответствие стандартам ISO 14644-1.

3.5 Контроль качества и инспекция электронно-лучевой вольфрамовой нити

Контроль качества проходит через весь производственный процесс, включая онлайн-проверку, тестирование производительности и анализ отказов, чтобы убедиться, что характеристики нити соответствуют требованиям электронной пушки.

3.5.1 Технология онлайн-детектирования

3.5.1.1 Контроль размерной и геометрической точности

Для контроля размеров с помощью лазерного измерителя диаметра и оптического микроскопа измеряются диаметр вольфрамовой проволоки, шаг спирали и геометрическое отклонение:

Диаметр: точность $\pm 0,1$ мм, отклонение менее $\pm 1,0$ мм.

Шаг спирали: точность $\pm 2,0$ мм, что обеспечивает равномерность выбросов.

Геометрическое отклонение: измерено 3D-сканером, отклонение составляет менее $\pm 0,5$ мм.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Онлайн-система обнаружения собирает 1000 точек данных в секунду, обеспечивает обратную связь в режиме реального времени с системой управления и автоматически корректирует параметры процесса.

3.5.1.2 Обнаружение поверхностных дефектов

Поверхностные дефекты (например, трещины, остатки оксидов, царапины) выявляются с помощью следующих методов:

Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ): увеличение в 1000-10000 раз, обнаружение наноразмерных дефектов.

Рентгеновский неразрушающий контроль: выявление внутренних трещин и пор, глубина проникновения 0,1-1 мм.

Машинное зрение: камеры с высоким разрешением в сочетании с алгоритмами искусственного интеллекта, с коэффициентом обнаружения 99,8%.

Дефектоскопия охватывает 100% продукции, а процент брака контролируется ниже 0,2%.

3.5.2 Тестирование производительности

3.5.2.1 Испытание на сопротивление и проводимость

При испытании на сопротивление используется метод четырех зондов для измерения удельного сопротивления ($5,6 \mu\text{Ом}\cdot\text{см}$, 20°C) и температурного коэффициента ($0,0045/^\circ\text{C}$) вольфрамовой проволоки. Условия испытания включают в себя:

Диапазон температур: $20-2800^\circ\text{C}$, имитирующий реальную рабочую среду.

Погрешность по току: $\pm 0,1 \mu\text{A}$, что обеспечивает точность измерений.

Испытание на электропроводность проводится в вакуумной камере для проверки электрической стабильности нити накала при высоких температурах.

3.5.2.2 Испытание на тепловую эмиссию электронов

Термоэмиссионные испытания проводятся в условиях высокого вакуума (10^{-6} Па) для измерения плотности тока излучения нити накала при $2000-2800^\circ\text{C}$. В состав испытательного оборудования входят:

Вакуумная камера: оснащена электронным коллектором и источником напряжения.

Контроль температуры: инфракрасный термометр, точность $\pm 5^\circ\text{C}$.

Измерение тока: Пикоамперметр, точность $\pm 0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

Результаты испытаний должны соответствовать уравнению Ричардсона-Душмана, а целевая плотность тока излучения составляет $1-5 \text{ A}/\text{cm}^2$.

3.5.3 Анализ отказов и меры по их устранению

Анализ отказов выявляет причину обрыва нити, испарения или деградации поверхности. К распространенным методам относятся:

SEM и энергодисперсионный спектрометр (EDS): Анализируйте морфологию и химический состав трещин, а также выявляйте дефекты границ зерен или примеси.

Рентгеновская томография (КТ): обнаруживает внутренние трещины и поры с точностью до ± 1 микрона.

Термогравиметрический анализ (ТГА): измеряет скорость испарения при высокой температуре и оценивает срок службы.

Улучшения включают оптимизацию формулы легирования (например, увеличение содержания калия), регулировку температуры спекания (снижение ее на 50°C) и укрепление поверхностного покрытия.



CTIA GROUP LTD Электронно-лучевая вольфрамовая нить

CTIA GROUP LTD

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа CTIAQCD -MA-E/P 2024 версия CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Electron Beam Tungsten Filaments Introduction

1. Overview of Electron Beam Tungsten Filaments

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

2. Features of Electron Beam Tungsten Filaments

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

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

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

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

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

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

3. Some Types of Electron Beam Tungsten Filaments

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

4. Purchasing Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696
Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Глава 4 Характеристики электронно-лучевой вольфрамовой нити

Электронно-лучевые вольфрамовые нити напрямую определяют их характеристики в высокоточном электронном оборудовании, включая сканирующие электронные микроскопы, оборудование для электронно-лучевой сварки и рентгеновские трубки. В этой главе подробно обсуждаются физические и химические свойства, электрические и термические свойства, микроструктура и взаимосвязь, срок службы и надежность вольфрамовых нитей, а также Паспорт безопасности материалов (MSDS), предоставленный CTIA GROUP LTD. Благодаря глубокому анализу этих характеристик выявлено поведение вольфрамовых нитей в экстремальных условиях и направление их оптимизации.

4.1 Физико-химические свойства электронно-лучевой вольфрамовой нити

Вольфрамовые нити являются основой для их использования в качестве катодных материалов в электронных пушках, а также определяют их стабильность и функциональность в условиях высоких температур и высокого вакуума.

4.1.1 Температура плавления и термическая стабильность вольфрамовой нити

Вольфрамовые нити известны своей чрезвычайно высокой температурой плавления (3422 °C), одной из самых высоких температур плавления металлов, встречающихся в природе. Это свойство позволяет ей сохранять свою структурную целостность при рабочих температурах электронной пушки (обычно 2000-2800°C) без плавления или значительной деформации. Высокая температура плавления вольфрама обусловлена его объемно-центрированной кубической кристаллической структурой (BCC), которая имеет чрезвычайно прочные металлические связи между атомами.

Термическая стабильность является еще одним ключевым преимуществом вольфрамовых нитей, что отражается в их чрезвычайно низком давлении пара. При температуре 2800°C давление паров вольфрама составляет всего 10^{-7} Па, что означает, что даже при высоких температурах в течение длительного времени скорость испарения материала крайне низка. Например, при температуре 2500°C скорость потери массы вольфрамовой нити составляет около 0,01 мг/см²·ч, что намного ниже, чем у других катодных материалов, таких как лантан вольфрам (LaW6). Эта низкая характеристика испарения снижает истончение диаметра нити, продлевая срок службы и предотвращая загрязнение внутри вакуумной системы.

Еще одним проявлением термической стабильности является устойчивость вольфрамовой нити к тепловому удару. Во время запуска и выключения электронной пушки нить накаливания подвергается быстрым горячим и холодным циклам (от комнатной температуры до 2500°C, со скоростью нагрева до 100°C/с). Высокая теплоемкость вольфрама (0,13 Дж/г·K) и отличная теплопроводность (173 Вт/м·K) позволяют ему быстро рассеивать тепло, снижая локальный перегрев и термическое напряжение. Легирующие элементы (такие как калий) еще больше повышают термическую стабильность, подавляют рост зерна за счет

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

образования крошечных пузырьков и снижают скорость ползучести при высоких температурах. Реальные испытания показали, что легированные калием вольфрамовые нити могут непрерывно работать более 5000 часов при температуре 2600°C с потерей массы менее 5%.

4.1.2 Удельное сопротивление и температурный коэффициент вольфрамовой нити

Вольфрамовые нити являются основным параметром их электрических характеристик, которые напрямую влияют на эффективность нагрева и стабильность тока. При температуре 20°C удельное сопротивление вольфрама составляет 5,6 $\mu\text{Ом}\cdot\text{см}$, а при повышении температуры удельное сопротивление увеличивается нелинейно. При 2500°C удельное сопротивление может повышаться до 50-60 $\mu\text{Ом}\cdot\text{см}$, увеличиваясь примерно в 10 раз. Это изменение связано с влиянием температуры на рассеяние электронов. При высоких температурах вибрация решетки усиливается, препятствуя движению электронов.

TCR) вольфрама составляет около 0,0045/°C в диапазоне 20-1000°C, что указывает на то, что удельное сопротивление линейно увеличивается с температурой, но при более высоких температурах (например, >2000°C) TCR немного уменьшается (около 0,0038/°C), отражая незначительные изменения в кристаллической структуре. Стабильность удельного сопротивления гарантирует, что нить накала обладает предсказуемыми электрическими свойствами в динамических температурных условиях. Например, в электронных пушках нить накала обычно нагревается от источника питания постоянного тока (ток 0,5-5 А), а стабильное изменение удельного сопротивления позволяет точно контролировать мощность нагрева (50-200 Вт), чтобы избежать перегрева или недонагрева.

Легированные элементы оказывают небольшое влияние на удельное сопротивление. Например, добавление 0,01 мас.% алюминия может снизить удельное сопротивление примерно на 5%, поскольку атомы алюминия частично заменяют атомы вольфрама, оптимизируя путь электронной проводимости. Обработка поверхности (например, оксидные покрытия) оказывает меньшее влияние на удельное сопротивление, но может незначительно увеличить поверхностное сопротивление при высоких температурах из-за разложения покрытия. В практическом применении сопротивление нити измеряется методом четырех зондов с точностью до $\pm 0,1 \mu\text{Ом}\cdot\text{см}$ для обеспечения однородности от партии к партии.

4.1.3 Антиокислительные и антикоррозионные свойства вольфрамовой нити

Вольфрамовые нити демонстрируют превосходную стойкость к окислению в условиях высокого вакуума (10^{-6} Па), поскольку их поверхность с трудом вступает в реакцию с остаточным кислородом с образованием оксидов. В типичных условиях работы электронной пушки (2500°C, вакуум 10^{-7} Па) скорость окисления близка к нулю, а поверхность остается гладкой и свободной от накопления оксидов. Однако в неидеальных вакуумных средах (таких как 10^{-4} Па) или на воздухе вольфрам легко реагирует с кислородом при высоких температурах с образованием триоксида вольфрама, желтого летучего соединения. Например,

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

на воздухе при температуре 1000 °C скорость окисления поверхности вольфрама составляет около 0,1 мг/см²мин, что приводит к быстрой потере материала.

Коррозионная стойкость позволяет вольфрамовым нитям выдерживать остаточные газы в электронных пунциях, такие как водяной пар, азот и следы углеводородов. При высоком вакууме парциальное давление этих газов крайне низкое ($<10^{-8}$ Па) и их влияние на вольфрам незначительно. Однако при более низких уровнях вакуума (например, 10^{-5} Па) водяной пар может вызывать микрокоррозию на поверхности, образуя тонкий слой оксида и снижая эффективность выбросов. Поверхностные покрытия, такие как иттрия или оксид циркония, значительно повышают коррозионную стойкость, образуя защитный слой, блокирующий проникновение молекул газа. Испытания показывают, что покрытие из оксида иттрия способно снизить скорость окисления на 60% и не допустить явной деградации в течение 2000 часов при вакууме 10^{-5} Па.

Устойчивость вольфрамовых нитей к химической коррозии также отражается на их стойкости к продуктам дугового разряда. В электронных пушках дуговой разряд может образовывать плазму, содержащую активные ионы (такие как O^{2+} , N^{2+}). Высокая химическая стабильность вольфрама делает его поверхность менее восприимчивой к повреждениям ионной бомбардировкой, сохраняя долгосрочную работоспособность.

4.1.4 Механическая прочность и пластичность вольфрамовой нити

Вольфрамовые нити являются важным свойством для них в условиях высоких температур и высоких нагрузок. При комнатной температуре вольфрам имеет предел прочности на разрыв 800-1000 МПа и предел текучести около 600 МПа. Даже при 2500°C прочность на разрыв остается на уровне 300-500 МПа, что намного выше, чем у других катодных материалов, таких как никель (<100 МПа). Высокая прочность обусловлена кристаллической структурой ВСС вольфрама и низкой плотностью дефектов, а легирующие элементы еще больше оптимизируют свойства. Например, добавление 0,05 мас.% калия может увеличить прочность на разрыв на 20% за счет укрепления границ зерен и уменьшить деформацию при высоких температурах.

Пластичность является ключевым параметром вольфрамовых нитей во время волочения и намотки. Чистый вольфрам является хрупким при комнатной температуре, с удлинением при разрыве всего 1-2%, но с помощью легирования (например, рения, 0,1-1 мас.%) и процессов отжига удлинение при разрыве может быть увеличено до 5-10%. Легирование рением снижает энергетический барьер для движения дислокаций и повышает способность к пластической деформации. Отжиг (1200-1600°C, водородная атмосфера) устраняет напряжение волочения, формирует однородную волокнистую структуру зерна и еще больше улучшает пластичность. Реальные испытания показывают, что скорость разрыва легированной рением вольфрамовой проволоки во время волочения составляет менее 0,1%, что подходит для сложного спирального формования.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Баланс между механической прочностью и пластичностью имеет решающее значение для вибростойкости нити. В электронных пушках нить накала может подвергаться механической вибрации (10-100 Гц) или тепловому удару. Оптимизированная вольфрамовая нить показала превосходную механическую надежность без трещин в 1000 вибрационных испытаниях (амплитуда 0,5 мм).

4.2 Электрические и тепловые характеристики электронно-лучевой вольфрамовой нити

Электрические и тепловые свойства определяют эффективность нагрева, характеристики электронной эмиссии и возможности управления температурой вольфрамовой нити накала в электронно-лучевой пушке, а также являются ядром ее функциональности.

4.2.1 Эффективность термоэмиссионной эмиссии вольфрамовой нити

Эффективность термоэмиссионной эмиссии является основным показателем вольфрамовой нити в качестве катодного материала, который определяется рабочей функцией, состоянием поверхности и рабочей температурой. Рабочая функция чистого вольфрама составляет 4,5 эВ, что указывает на то, что энергия, необходимая для вылета электронов с поверхности, высока. При температуре 2500°C плотность тока излучения вольфрамовой нити составляет 1-5 А/см², а яркость — около 10⁵-10⁶ А/см²·SR, который подходит для большинства применений электронных пушек. Эффективность выброса соответствует уравнению Ричардсона-Душмана:

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

Где (J) — плотность эмиссионного тока, (A) — постоянная Ричардсона (около 120 А/см²·K²), (T) — абсолютная температура, (phi) — функция работы, а (k) — постоянная Больцмана (8,617×10⁻⁵ эВ/К). Уравнение показывает, что эффективность выбросов увеличивается экспоненциально с температурой, но высокая температура ускоряет испарение, и баланс необходимо оптимизировать.

Легирующие и поверхностные покрытия значительно повышают эффективность выбросов. Добавление 0,01 мас.% алюминия может снизить рабочую функцию до 4,3 эВ и увеличить плотность эмиссионного тока на 15-20%. Покрытие из оксида иттрия (Y₂O₃) (толщина 0,1-1 мкм) дополнительно снижает рабочую функцию до 4,2 эВ и повышает эффективность эмиссии на 30%, достигая 8 А/см² при 2600°C. Чистота поверхности оказывает значительное влияние на показатели выбросов, а микрооксиды или углеродное загрязнение могут увеличить рабочую функцию на 0,1-0,2 эВ и снизить эффективность на 10%. Химическая очистка (фтористоводородная кислота + азотная кислота) и электрохимическая полировка (Ra < 0,05 мкм) обеспечивают чистую поверхность и оптимизируют однородность эмиссии.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

В практических приложениях эффективность излучения измеряется на вакуумном испытательном стенде, оснащенном электронным коллектором и пикоамперметром с точностью до $\pm 0,1$ мкА/см². Легированные и покрытые нити могут обеспечить яркость 10^7 А/см²·sr в SEM с высоким разрешением, отвечающим потребностям субнанометровой визуализации.

4.2.2 Диапазон рабочих температур вольфрамовой нити накала

Температура вольфрамовых нитей составляет 2000-2800°C, в зависимости от сценария применения. Маломощные устройства (например, электронно-лучевые трубки) используют 2000-2200°C и ток излучения 0,1-1 мА; приборы высокой яркости (например, просвечивающие электронные микроскопы) используют температуру 2600-2800 °C и эмиссионный ток 5-10 мА. При выборе температуры необходимо сбалансировать эффективность выбросов и срок службы. На каждые 100°C повышения температуры плотность тока излучения увеличивается примерно в 2 раза, но скорость испарения увеличивается в 3-4 раза, а срок службы сокращается на 30-50%.

Регулирование температуры достигается с помощью источника питания постоянного тока или постоянного напряжения, с типичной мощностью нагрева 50-200 Вт. Инфракрасный термометр (с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$) или термопара отслеживает температуру нити накала в режиме реального времени, чтобы избежать локального перегрева. Конструкция с геометрией нити накала (например, двойная спираль) увеличивает площадь рассеивания тепла, уменьшает градиенты температуры и снижает тепловое напряжение. Например, однородность температуры нити с двойной спиралью на 20% выше, чем у одинарной спирали, а локальные горячие точки уменьшаются на 50%.

В экстремальных условиях (таких как устройства для термоядерного синтеза) нить может кратковременно превысить 3000°C, и в это время требуется специальное легирование (например, рений) или покрытие (например, оксид циркония) для поддержания эксплуатационных характеристик. Испытания показали, что нити, легированные рением, могут работать при температуре 2900°C в течение 100 часов с потерей массы менее 10%.

4.2.3 Тепловое расширение и термоусталостные характеристики вольфрамовой нити

Коэффициент теплового расширения вольфрама составляет $4,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ (20-1000°C), что является относительно низким показателем среди металлов, что указывает на его небольшую деформацию при высоких температурах. При температуре 2500°C коэффициент теплового расширения немного увеличивается до $5,0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, но при этом сохраняет превосходную стабильность размеров. Низкое тепловое расширение снижает механическое напряжение нити накала во время горячих и холодных циклов, что особенно подходит для частого запуска и отключения электронных пушек. Например, длина нити меняется всего на 1,1% при повышении ее температуры с 20°C до 2500°C, и влияние на геометрию спирали незначительно.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Термоусталостные характеристики отражают долговечность нити накала при повторяющихся циклах нагрева-охлаждения. В 1000 испытаниях в горячем-холодном цикле (20-2500°C, скорость нагрева 100°C/с) частота образования трещин в легированных калием вольфрамовых нитях составила менее 1%, что намного лучше, чем у чистого вольфрама (скорость растрескивания 5%). Улучшение термической усталости обусловлено следующими факторами:

Оптимизация структуры зерна: мелкие зерна (1-5 микрон) рассеивают напряжение через границы зерен и уменьшают распространение трещин.

Легирующее упрочнение: Пузырьки калия и легирование рением увеличивают граничную прочность зерен и препятствуют образованию микротрещин.

Обработка поверхности: полировка и нанесение покрытий снижают концентрацию поверхностного напряжения и уменьшают начальные точки усталости.

Для термических усталостных испытаний используется высокотемпературная циклическая печь и сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) для анализа морфологии трещин в сочетании с моделированием методом конечных элементов для прогнозирования распределения напряжений и оптимизации конструкции нити.

4.2.4 Дуговая стабильность вольфрамовой нити

Стабильность дуги относится к способности нити накаливания избегать аномального разряда (например, пробоя дуги) при высоком напряжении (5-20 кВ), что является ключом к качеству пучка электронной пушки. Дуговое образование может быть вызвано поверхностными дефектами, остаточным газом или неоднородностью электрического поля, что приводит к джиттеру электронного пучка или повреждению оборудования. Высокая химическая стабильность и чистота поверхности ($R_a < 0,05$ мкм) вольфрамовой нити значительно снижают риск образования дуги.

Степень вакуума является важным фактором стабильности дуги. При 10^{-7} Па парциальное давление остаточного газа крайне низкое, а вероятность возникновения дуги составляет менее 0,01%. При более низких градусах вакуума (например, 10^{-5} Па) водяной пар или кислород могут вызывать микроразряды. Поверхностные покрытия (например, оксид циркония) снижают риск разряда на 50% за счет увеличения диэлектрической прочности. Конструкция геометрии нити также влияет на стабильность. Двойная спираль накала снижает частоту возникновения дуги на 30% за счет равномерного распределения электрического поля.

Испытание на устойчивость дуги проводилось в высоковакуумной камере с подачей напряжения 10-20 кВ и контролем тока разряда (<1 мкА был признан приемлемым).

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Результаты испытаний показали, что нить накала с оптимизированной обработкой поверхности может работать непрерывно в течение 1000 часов при напряжении 15 кВ без дугового разряда, удовлетворяя требованиям высокоточных электронных пушек.

4.3 Взаимосвязь между микроструктурой и характеристиками электронно-лучевой вольфрамовой нити

Микроструктура вольфрамовых нитей, включая структуру зерен, распределение легирующих элементов и морфологию поверхности, напрямую влияет на их механические, электрические и эмиссионные свойства.

4.3.1 Структура и ориентация зерна

Вольфрамовые нити обычно представляют собой мелкие равноосные кристаллы со средним размером 1-5 мкм. В процессе волочения и отжига образуется волокнистая структура по осевому направлению, при этом ориентация волокон преимущественно в направлении $\langle 110 \rangle$, составляет 70-80%. Волокнистая структура повышает прочность на разрыв за счет укрепления границ зерен (увеличение на 15-20%), при этом оптимизируя электронный проводящий путь и снижая удельное сопротивление на 5%. Анализ дифракции обратного рассеяния электронов (EBSD) показывает, что зерна, ориентированные на $\langle 110 \rangle$, имеют более низкую скорость ползучести при высоких температурах и продлевают срок службы нити накала на 30%.

Размер зерна оказывает существенное влияние на производительность. Слишком крупные зерна (>10 мкм) снижают механическую прочность и увеличивают высокотемпературную деформацию; Слишком мелкие зерна (<1 мкм) увеличивают плотность границ зерен и вызывают ломкость. Идеальный размер (2-4 мкм) контролируется легированием и отжигом, например, легирование калием образует мельчайшие пузырьки, препятствуя миграции зерен на границе и поддерживая однородность зерен. Наблюдения СЭМ и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) показывают, что нить с оптимизированной структурой зерна имеет прочность на разрыв 400 МПа и относительное удлинение при разрыве 8% при 2500°C.

4.3.2 Влияние легирующих элементов на микроструктуру

Легирующие элементы (такие как калий, алюминий, рений) оптимизируют производительность нити за счет изменения роста зерна и электронной структуры поверхности:

Калий (K, 0,01-0,05 мас.%): при спекании образует пузырьки диаметром 0,1-0,5 мкм, которые распределяются по границам зерен, препятствуя росту зерен и поддерживая размер зерен 2-3 мкм. Пузырьки калия также увеличивают граничную прочность зерна, уменьшают высокотемпературные трещины и продлевают срок службы на 20-40%.

Алюминий (Al, 0,005-0,02 мас.%): способствует обнажению {100} кристаллической плоскости, снижает рабочую функцию на 0,2 эВ и увеличивает плотность тока излучения на 15%. Равномерное распределение атомов алюминия в решетке (проверено методом TEM-EDS) оптимизирует электронную проводимость.

Рений (Re, 0,1-1 мас.%): Улучшает пластичность решетки, снижает плотность дислокаций и повышает пластичность на 10%. Рений также ингибирует высокотемпературную рекристаллизацию и поддерживает волокнистую структуру.

Распределение легирующих элементов должно быть равномерным, чтобы избежать локального обогащения, ведущего к неравномерной производительности. Анализ энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) показывает, что легирование вольфрамом уменьшает граничные дефекты зерен на 30%, улучшает постоянство ориентации зерен на 20% и значительно улучшает механические и эмиссионные свойства.

4.3.3 Морфология поверхности и эмиссионные характеристики

Морфология поверхности, включая шероховатость, воздействие кристаллической поверхности и микроскопические дефекты, напрямую влияет на однородность и эффективность тепловой электронной эмиссии. Идеальная шероховатость поверхности $R_a < 0,05$ мкм достигается за счет электрохимической полировки, которая снижает локальную концентрацию электрического поля и улучшает постоянство излучения на 10%. Анализ атомно-силовой микроскопии (АСМ) показывает, что высота полированной поверхности от пика до впадины составляет < 10 нм, что значительно ниже, чем у необработанной поверхности (50-100 нм).

Воздействие на поверхность кристалла имеет решающее значение для производительности выбросов. {100} грани более благоприятны для убегания электронов, чем {110} грани (4,6 эВ) из-за их меньшей рабочей функции (4,3 эВ). Легирование алюминием и поверхностными покрытиями (например, оксидом иттрия) увеличивает долю граней {100} на 20% и улучшает плотность тока излучения на 15%. Покрытия из оксида иттрия (толщина 0,1-1 мкм) оптимизируют поверхностные электронные состояния за счет формирования наноразмерных кристаллических структур, что еще больше снижает рабочую функцию до 4,2 эВ.

Поверхностные дефекты (такие как царапины и остатки оксидов) могут привести к локальному перегреву или дуговому разряду, снижая эффективность выбросов. Химическая очистка и плазменная обработка удаляют дефекты, а чистота поверхности достигает 99,9%, обеспечивая равномерность выбросов. Реальные испытания показывают, что отклонение плотности тока излучения нити накала с оптимизированной морфологией поверхности при 2600°C составляет менее 1%, что соответствует требованиям электронных пушек с высоким разрешением.

CTIA GROUP LTD

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696
Номер версии стандартного документа SPIAQCD -MA-E/P 2024 версия SPIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Electron Beam Tungsten Filaments Introduction

1. Overview of Electron Beam Tungsten Filaments

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

2. Features of Electron Beam Tungsten Filaments

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

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

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

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

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

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

3. Some Types of Electron Beam Tungsten Filaments

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

4. Purchasing Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696
Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

4.4 Ресурс и надежность электронно-пушечных вольфрамовых нитей

Срок службы и надежность электронно-пушечных вольфрамовых нитей являются ключевыми показателями, определяющими эффективность их применения в высокоточном оборудовании (например, сканирующих электронных микроскопах, рентгеновских трубках и оборудовании для электронно-лучевой литографии). Срок службы вольфрамовых нитей обычно составляет от 500 до 2000 часов и зависит от многих факторов, включая условия труда, свойства материалов, производственные процессы и факторы окружающей среды. В этом разделе подробно обсуждаются факторы, влияющие на срок службы нити накала, основные виды отказов и методы их анализа, а также стандартизированный процесс испытаний на надежность для обеспечения технической поддержки для оптимизации конструкции нити накала и продления срока службы.

4.4.1 Факторы, влияющие на срок службы нити накала

На срок службы вольфрамовых нитей влияет сочетание множества внутренних и внешних факторов. Ниже приведены основные факторы и механизмы их действия:

Рабочая температура

Функция: Вольфрамовые нити обычно работают при температуре 2500-2800°C. Высокая температура ускоряет испарение атомов вольфрама, что приводит к истончению диаметра и повышению прочности.

Технические характеристики: При температуре 2700°C скорость испарения составляет около 0,01-0,05 мг/см·ч, а скорость истончения диаметра – 0,1-0,5 мкм/ч. Например, в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) после утончения диаметра нити с 0,2 мм до 0,15 мм плотность тока излучения уменьшается на 20% и срок службы сокращается до 500 часов. На каждые 100°C повышения температуры скорость испарения увеличивается примерно в 4 раза, а срок службы уменьшается на 50%.

Стратегия оптимизации: Подавить рост зерна путем легирования калием (0,01-0,05 мас.%) и снизить скорость испарения на 30%. Поверхностные покрытия (например, оксид циркония, толщина 0,5-1 мкм) снижают скорость испарения на 50% и продлевают срок службы до 1500 часов.

Вакуумная среда

Действие: Остаточные газы (такие как кислород и азот) вызывают поверхностное окисление или дуговой разряд, ускоряя деградацию нити накала.

Технические детали: При вакууме 10^{-5} Па парциальное давление кислорода $> 0,01$ Па приведет к образованию триоксида вольфрама (WO_3 , www.tungsten-oxide.com), увеличит рабочую функцию на 0,1-0,2 эВ и снизит эффективность выбросов на 15%. Дуговой разряд (частота возникновения 0,01%) может привести к обрыву нити накала или повреждению электродов. Например, в рентгеновских трубках, когда степень вакуума недостаточна при 10^{-7} Па, срок службы нити уменьшается с 2000 часов до 1000 часов.

Стратегия оптимизации: Используйте систему высокого вакуума (10^{-8} Па), оснащенную

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

турбомолекулярным насосом (скорость откачки 500-2000 л/с) для снижения скорости окисления на 80%. Высокотемпературная выпечка (400°C, 24 часа) удаляет остаточный газ и продлевает срок службы на 25%.

Тепловой цикл и термическое напряжение

Действие: Горячий и холодный циклы электронной пушки (20-2700°C, скорость нагрева 100°C/с) вызывает термическое напряжение, что приводит к образованию микротрещин на границах зерен.

Технические данные: После 1000 термических циклов скорость растрескивания чистых вольфрамовых нитей достигла 5%, а прочность на разрыв снизилась на 10% (с 800 МПа до 720 МПа). В просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) тепловое напряжение вызывало смещение луча на 0,5 нм, что влияло на разрешение. Легирование рением (0,1-1 мас.%) улучшило пластичность и снизило скорость растрескивания до 1%.

Стратегия оптимизации: Оптимизация геометрии нити (например, двойная спираль, увеличение площади излучения на 30%) рассеивает термическое напряжение и снижает скорость растрескивания на 20%. Медленный нагрев (50°C/с) снижает накопление напряжения и продлевает срок службы на 15%.

Текущая нагрузка

Эффект: Высокий эмиссионный ток (например, 10-100 мА) увеличивает тепловую нагрузку на нить, ускоряя испарение и механическую усталость.

Технические характеристики: При электронно-лучевой сварке (ЭПВ) ток 100 мА вызывает локальное повышение температуры нити накали на 50°C, увеличивает скорость испарения в 2 раза и сокращает срок службы со 1000 до 600 часов. Колебания тока на >1% вызывают тепловую неоднородность, что приводит к увеличению скорости разрушения на 10%.

Стратегия оптимизации: Использование источника питания постоянного тока (точность $\pm 0,1$ мА) для контроля стабильности тока, коэффициент обрыва снижается на 50%. Многосегментные спиральные нити снижают локальный перегрев за счет сегментированной эмиссии и продлевают срок службы на 20%.

Производственный брак

Эффект: Поверхностные дефекты (такие как царапины, включения, $R_a > 0,05$ мкм) или внутренние поры вызывают локальный перегрев и поломку.

Технические детали: Царапины на поверхности вызывают отклонение плотности тока на 5% и отклонение рисунка на >1 нм в EBL. Внутренние поры (диаметр >1 мкм) снижают прочность на разрыв на 15%, а коэффициент разрыва достигает 2%. Например, срок службы нитей SEM сокращается со 1500 часов до 800 часов из-за накопления поверхностных оксидов.

Стратегия оптимизации: Электрохимическая полировка ($R_a < 0,05$ мкм) устраняет дефекты поверхности и улучшает однородность эмиссии на 15%. Рентгеновская томография (разрешение 0,1 мкм) выявляет внутренние дефекты и снижает процент брака до 0,3%.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Легирование и качество покрытий

Функция: Неоднородность легирующих элементов и покрытия влияет на термическую стабильность и эффективность выбросов.

Технические детали: Легирование калием (0,01-0,05 мас.%) с отклонением >5% приводит к неравномерному размеру зерен (2-10 мкм) и снижению термической стабильности на 10%. Покрытие из иттрии (толщина 0,1-1 мкм) со скоростью отслаивания >1% обнажит вольфрамовую подложку и увеличит скорость окисления на 50%. В ПЭМ дефекты покрытия снижают яркость на 20% (с 10^7 до 8×10^6 А/см²·ср).

Стратегия оптимизации: порошковая металлургия обеспечивает равномерность легирования (отклонение <1%), химическое осаждение из газовой фазы (CVD) контролирует отклонение толщины покрытия <5% и продлевает срок службы на 30%.

4.4.2 Анализ видов отказов (таких как испарение, разрушение)

Режимы разрушения вольфрамовых нитей в основном включают испарение, разрушение, деградацию поверхности и дуговой разряд, каждый из которых оказывает значительное влияние на срок службы и производительность. Ниже приведен подробный анализ:

Испарение

Определение: Атомы вольфрама отрываются от поверхности при высоких температурах, что приводит к истончению диаметра нити и ухудшению эксплуатационных характеристик.

Механизм: При 2700°C скорость испарения составляет 0,01-0,05 мг/см²·ч, диаметр утончается на 0,1-0,5 мкм/ч, сопротивление увеличивается на 20%, а плотность тока излучения уменьшается на 30%. Например, в СЭМ после испарения нити накала до диаметра <0,15 мм яркость падает с 10^6 до 5×10^5 А/см²·ср, а качество изображения снижается.

Влияющие факторы: рабочая температура (>2600°C), вакуум (> 10^{-7} Па), шероховатость поверхности (Ra>0,05 мкм).

Метод анализа: Наблюдайте за изменением диаметра с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (точность $\pm 0,1$ мкм) и измеряйте скорость испарения с помощью термогравиметрического анализа (ТГА, точность $\pm 0,01$ мг).

Меры по оптимизации: легирование алюминия (0,005-0,02 мас.%) снижает скорость испарения на 30%, а покрытие из оксида циркония (толщина 0,5 мкм) снижает скорость испарения на 50%. Интеллектуальная система мониторинга (инфракрасное измерение температуры, точность $\pm 2^\circ\text{C}$) регулирует температуру в режиме реального времени и продлевает срок службы на 20%.

Перелом

Определение: Хрупкий или пластичный разрыв нити, вызванный термическим напряжением или механической усталостью.

Механизм: Термоциклирование (20-2700°C, 1000 раз) вызывает микротрещины (длина 1-10 микрон) на границах зерен, и прочность на разрыв снижается на 15%. Высокий ток (>10 мА) вызывает локальный перегрев и увеличивает скорость разрушения на 10%. Например, в EBW

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

разрыв нити приводит к прерыванию сварки и простою >4 часа.

Влияющие факторы: размер зерна (>5 мкм), термическое напряжение (>100 МПа), поверхностные дефекты (глубина царапин >1 мкм).

Методы анализа: Анализ трещин (SEM, увеличение в 1000 раз) для определения причины появления трещин (граница зерен или поверхность), дифракция обратного рассеяния электронов (EBSD) для анализа ориентации зерен (<110> составляет 80%).

Меры по оптимизации: легирование рением (0,1-1 мас.%) улучшает пластичность на 20%, конструкция с двойной спиралью рассеивает напряжение, а скорость разрушения снижается на 30%. Медленный нагрев (50°C/с) снижает тепловой удар и продлевает срок службы на 15%.

Деградация поверхности

Определение: Ухудшение характеристик поверхности, вызванное окислением, накоплением загрязнений или отслаиванием покрытия.

Механизм: При 10^{-5} Па кислород запускает образование WO_3 (толщина 0,1-1 мкм), рабочая функция увеличивается на 0,2 эВ, а эффективность излучения снижается на 15%. Отслаивание покрытия (>1%) обнажает вольфрамовую подложку и увеличивает скорость окисления на 50%. Например, в рентгеновских трубках деградация поверхности снижает разрешение изображения до 0,8 мм.

Влияющие факторы: степень вакуума ($>10^{-7}$ Па), качество покрытия (отклонение однородности >5%), остаточный газ ($O_2 > 0,01$ Па).

Метод анализа: рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS, точность $\pm 0,1$ ат%) анализирует химический состав поверхности, а атомно-силовая микроскопия (АСМ, точность ± 1 нм) измеряет шероховатость ($R_a < 0,05$ мкм).

Меры оптимизации: Высокий вакуум (10^{-8} Па) снижает скорость окисления на 80%, а покрытие атомным слоем (ALD) (толщина 10-50 нм) улучшает адгезию и снижает скорость отслаивания до 0,5%.

Дуговой разряд

Определение: Аномальные разряды, вызванные остаточными газами или поверхностными дефектами, приводящими к повреждению или разрыву нити накала.

Механизм: При 10^{-6} Па скорость возникновения дуги составляет 0,01%, а локальная температура повышается >3000°C, вызывая плавление или разрушение. Например, в ПЭМ дуга приводит к смещению луча на 1 нм, а разрешение падает до 0,3 нм.

Влияющие факторы: степень вакуума ($>10^{-7}$ Па), шероховатость поверхности ($R_a > 0,05$ мкм), расстояние между электродами (отклонение >0,01 мм).

Метод анализа: высокочастотный осциллограф (частота дискретизации 1 ГГц) регистрирует форму дугового сигнала, масс-спектрометр (точность $\pm 0,01$ ppm) анализирует остаточный газ.

Меры по оптимизации: прецизионная конструкция электродов (допуск на расстояние $\pm 0,01$ мм) снижает риск возникновения дуги на 50%, высокотемпературный запекание (400°C, 24 часа) удаляет газ, а частота падения снижается до 0 градусов вверх

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа CTIAQCD -MA-E/P 2024 версия CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Меры по оптимизации: прецизионная конструкция электродов (допуск на расстояние $\pm 0,01$ мм) снижает риск возникновения дуги на 50%, высокотемпературный запекание (400°C , 24 часа) удаляет газ, а коэффициент падения снижается до 0,001%.

4.4.3 Метод испытания на надежность

Испытание на надежность оценивает срок службы, производительность, стабильность и риск отказа вольфрамовых нитей с помощью стандартизированных методов, чтобы обеспечить их надежность в практическом применении. Ниже приведены основные методы тестирования:

Ускоренные испытания на долговечность

Определение: моделирование длительной работы при высоких температурах и высоких токах для прогнозирования срока службы нити накала.

Метод: Запуск в вакуумной камере с температурой 2700°C , 10^{-7} Па в течение 1000 часов, с током излучения 10-100 мА и регистрацией затухания плотности тока (целевой $<5\%$). Измеряйте диаметр (SEM, точность $\pm 0,1$ мкм) и сопротивление (четырёхзондовый метод, $\pm 0,1$ мОм·см) каждые 100 часов.

Сценарий применения: При испытании нити накала SEM ускоренное испытание на долговечность прогнозирует срок службы 1500 часов и скорость испарения $0,02$ мг/см²·ч, что соответствует стандарту GB/T 15065.

Технические характеристики: Используйте пикоамперметр (точность $\pm 0,1$ мкА) для измерения тока и инфракрасный термометр ($\pm 5^{\circ}\text{C}$) для контроля температуры. Подгонка данных под распределение Вейбулла и прогнозирование времени отказа (погрешность $<5\%$). Оптимизация: Автоматизированная тестовая платформа (время отклика <1 с) повышает эффективность на 50% и стабильность партий $>99\%$.

Испытание на тепловой цикл

Определение: Моделирование тепловых и холодных циклов (20 - 2700°C , 1000 раз) для оценки термического напряжения и механической стабильности.

Метод: Скорость нагрева $100^{\circ}\text{C}/\text{с}$, охлаждение до 20°C , время цикла 10 минут. Обнаружение трещин (SEM, увеличение в 1000 раз) и прочности на разрыв (универсальная испытательная машина, $\pm 0,1$ МПа).

Сценарий применения: При испытании нитей ПЭМ термоциклические испытания показывают, что скорость растрескивания нитей, легированных рением, составляет $<1\%$, а прочность на разрыв остается на уровне 400 МПа.

Технические данные: EBSD используется для анализа ориентации зерен ($<110>$ составляет 80%), а анализ трещин определяет причину трещин (граница зерен или поверхность). Тест проводится в соответствии со стандартом ISO 11539.

Оптимизация: Медленный нагрев ($50^{\circ}\text{C}/\text{с}$) снижает скорость растрескивания на 20%, а автоматическая система записи (точность $\pm 0,1\%$) повышает надежность данных.

Испытание на устойчивость к выбросам

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Определение: Измеряет колебания тока и затухание яркости при длительной эксплуатации.
Метод: Работа при 2600°C, 10^{-8} Па в течение 500 часов, ток излучения 1-10 мкА, запись колебаний (цель <0,5%). Используйте пикоамперметр ($\pm 0,01$ мкА) и измеритель яркости (10^{-5} - 10^{-8} А/см²·ср).
Сценарий применения: При тестировании нити накала EBL тестирование стабильности показывает колебания тока на 0,1% и снижение яркости на <3%, что соответствует требованиям производства чипов с 7 нм.
Технические характеристики: Ток регулируется системой управления с обратной связью (время отклика <1 мс), и данные соответствуют нормальному распределению ($\sigma < 1\%$).
Испытание проводится в соответствии со стандартом DIN EN 60695.
Оптимизация: алгоритм искусственного интеллекта (точность >95%) предсказывает тренды колебаний, корректирует параметры электропитания и повышает стабильность на 10%.

Антиокислительный тест

Определение: Оцените поверхностную стабильность нити накала в среде с примесями кислорода.
Метод: Измерьте толщину слоя оксида (XPS, $\pm 0,1$ нм) при 10^{-5} Па, 2600°C в течение 1000 часов с парциальным давлением кислорода 0,01 Па.
Сценарий применения: толщина слоя оксида нити с иттриальным покрытием <0,1 мкм и изменение рабочей функции <0,1 эВ при испытании нити накала рентгеновской трубки.
Технические характеристики: Наблюдение за морфологией оксидов с помощью СЭМ (зерна WO₃ <100 нм), измерение потери массы ТГА ($\pm 0,01$ мг). Испытания проводятся в соответствии со стандартом ISO 6848.
Оптимизация: Высокий вакуум (10^{-8} Па) снижает скорость окисления на 80%, покрытие ALD (толщина 10 нм) повышает стойкость к окислению на 50%.

Анализ видов отказов

Определение: Определение причин неудач и предложение мер по улучшению с помощью нескольких технических средств.
Метод: Объедините SEM (анализ разрушения), XPS (химический состав поверхности), EBSD (структуру зерна) и TGA (скорость испарения) для анализа испарения, разрушения, деградации поверхности и дугового разряда.
Сценарий применения: В испытании нити EBW анализ показывает, что 80% отказов вызваны окислением поверхности, а срок службы продлевается на 40% после улучшения процесса нанесения покрытия.
Технические детали: Данные интегрированы в модель FMECA (анализ видов отказов, последствий и рисков), а приоритет риска (RPN) составляет <100. Отчет об анализе соответствует требованиям ISO 9001.
Оптимизация: машинное обучение (точность >95%) прогнозирует режимы отказа, оптимизирует легирование (рений 0,1 мас.%) и покрытие (диоксид циркония 0,5 мкм), а процент брака снижается до 0,2%.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Испытания на надежность обеспечивают стабильность нитей накала в реальных условиях эксплуатации. Данные испытаний должны быть записаны в течение 5 лет в соответствии со стандартами ISO 9001 и GB/T 9383. В перспективе необходимо разработать многопараметрическую интегрированную тестовую платформу (стоимость снижена до 50% от текущего уровня) и повысить эффективность на 30%.

4.5 MSDS вольфрамовой нити с электронным пистолетом от CTIA GROUP LTD

Паспорт безопасности материалов (MSDS) содержит стандартизированную информацию о безопасном использовании, хранении и утилизации электронно-пушечных вольфрамовых нитей в соответствии с требованиями GB/T 16483 и OSHA. Ниже приведены подробные сведения о соблюдении требований безопасности во время производства, транспортировки и использования.

Часть I: Наименование продукта

Английское название: электронно-лучевая вольфрамовая нить

Номер CAS: 7440-33-7

Часть II: Информация об ингредиентах/составе

Содержание $\geq 99.95\%$

Общее содержание примесей $\leq 0.05\%$

Часть III: Обзор опасностей

Опасность для здоровья: Этот продукт не вызывает раздражения у глаз и кожи.

Взрывоопасность: Этот продукт негорюч и не вызывает раздражения.

Часть IV: Меры первой помощи

Контакт с кожей: Снимите загрязненную одежду и промойте большим количеством проточной воды.

Попадание в глаза: Приподнимите веки и промойте проточной водой или физиологическим раствором. Обратитесь за медицинской помощью.

Ингаляция: Оставьте место происшествия на свежем воздухе. Если дыхание затруднено, дайте кислород. Обратитесь за медицинской помощью.

Прием внутрь: Пейте много теплой воды и вызывайте рвоту. Обратитесь за медицинской помощью.

Часть V: Меры по тушению пожаров

Вредные продукты сгорания: Естественные продукты разложения неизвестны.

Метод тушения пожара: Пожарные должны носить противогазы и пожарные костюмы для всего тела и тушить пожары с наветренной стороны. Огнетушащее вещество: Сухой кожаный порошок, песок и почва.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Часть VI: Неотложная обработка протечек

Неотложная помощь: Изолируйте протекавшую загрязненную зону и ограничьте въезд и выезд. Перекройте источник огня. Персоналу аварийно-спасательных служб рекомендуется носить респираторы (полнолицевые маски) и антитоксическую одежду. Избегайте поднятия пыли, аккуратно подметите ее, положите в пакет и перенесите в безопасное место. Если имеется большое количество протекания, накройте его полиэтиленовой пленкой или полотном. Соберите и утилизируйте его или перевезите на место переработки отходов для утилизации.

Часть VII: Эксплуатация, утилизация и хранение

Меры предосторожности при эксплуатации: Операторы должны пройти специальную подготовку и строго соблюдать рабочие процедуры. Операторам рекомендуется носить самовсасывающие фильтрующие пылезащитные маски, защитные очки от химических веществ, рабочую одежду с антитоксическим проникновением и резиновые перчатки. Держитесь подальше от огня и источников тепла, а курение на рабочем месте категорически запрещено. Используйте взрывозащищенные вентиляционные системы и оборудование. Избегайте образования пыли. Избегайте контакта с окислителями и галогенами. Аккуратно загружайте и выгружайте во время транспортировки, чтобы не повредить упаковку и контейнеры. Оснастить соответствующими типами и количеством противопожарное оборудование и оборудование для устранения аварийных протечек. В пустой таре могут оставаться остаточные вредные вещества.

Меры предосторожности при хранении: Хранить в прохладном и проветриваемом складе. Держите вдали от огня и источников тепла. Его следует хранить отдельно от окислителей и галогенов, и его нельзя смешивать. Оснастить соответствующими типами и количеством противопожарное оборудование. Место хранения должно быть оборудовано соответствующими материалами для локализации утечек.

Часть VIII: Контактный контроль/Личная защита

ПДК в Китае (мг/м³): 6

Бывший Советский Союз ПДК (мг/м³): 6

Краткая стоимость: ACGIH 1 мг/м³

Краткая стоимость: ACGIH 3 мг/м³

Метод мониторинга: спектрофотометрия тиоцианата калия-хлорида титана

Инженерный контроль: Производственный процесс проходит без пыли и полностью проветривается.

Защита органов дыхания: Когда концентрация пыли в воздухе превышает норму, необходимо надеть самовсасывающую фильтрующую пылезащитную маску. При спасении и эвакуации в экстренной ситуации следует надевать респиратор.

Защита глаз: Носите очки химической защиты.

Защита тела: Носите рабочую одежду, предотвращающую проникновение токсических веществ.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Защита рук: Надевайте резиновые перчатки.

Часть IX: Физические и химические свойства

Основные ингредиенты: Чистый

Внешний вид и свойства: Твердый, металллик ярко-белого цвета

Температура плавления (°C): н/д

Температура кипения (°C): н/д

Относительная плотность (вода = 1): 13 ~ 18,5 (20 °C)

Плотность пара (воздух = 1): нет данных

Давление насыщенного пара (кПа): нет данных

Теплота сгорания (кДж/моль): Нет данных

Критическая температура (°C): Нет данных

Критическое давление (МПа): Нет данных

Логарифм коэффициента разбавления воды: нет данных

Температура вспышки (°C): Нет данных

Температура воспламенения (°C): Нет данных

Верхний предел взрываемости % (В/В): Нет данных

Нижний предел взрываемости, % (В/В): Нет данных

Растворимость: Растворим в азотной кислоте и фтористоводородной кислоте

Часть X: Стабильность и реакционная способность

Запрещенная несовместимость: сильные кислоты и основания

Часть XI:

Острая токсичность: нет данных

LC50: Нет данных

Часть XII: Экологическая информация

Нет данных по этой части

Часть XIII: Утилизация отходов

Свойства отходов Методы утилизации отходов: Перед утилизацией ознакомьтесь с соответствующими национальными и местными правилами. По возможности утилизируйте.

Часть XIV: Информация о перевозках

Категория упаковки: Z01

Меры предосторожности при транспортировке: Упаковка должна быть полной, а погрузка должна быть надежно защищена на момент отправки. Во время транспортировки следите за тем, чтобы контейнер не протекал, не сложился, не упал и не повредился. Категорически запрещается смешивать и транспортировать с окислителями, галогенами, пищевыми химикатами и т.д. Во время транспортировки он должен быть защищен от воздействия

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

солнечных лучей, дождя и высокой температуры. После транспортировки транспортное средство должно быть тщательно очищено.

Часть XV: Информация о поставщиках

Поставщик: CTIA GROUP LTD

Тел.: 0592-5129696/5129595



CTIA GROUP LTD Электронно-лучевая вольфрамовая нить

Глава 5 Назначение и применение вольфрамовой нити в электронной пушке

Вольфрамовые нити в электронных пушках широко используются в научных исследованиях, промышленном производстве, медицинском оборудовании и новых технологиях. Их высокая температура плавления, низкое давление пара и высокая эффективность излучения делают их основными компонентами электронных пушек, которые используются в различных областях — от наноразмерной визуализации до высокоточной обработки. В этой главе подробно обсуждаются конкретные области применения вольфрамовых нитей в электронных пушках, вакуумных электронных устройствах, промышленных и научных исследованиях и новых областях, а также анализируются их требования к эксплуатационным характеристикам, технические проблемы и направления оптимизации.

5.1 Применение в электронной пушке

В электронных пушках используются вольфрамовые нити для генерации высокоэнергетических электронных пучков и они широко используются в микроскопах, обрабатывающем оборудовании и производстве полупроводников. В этом разделе

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа CTIAQCD -MA-E/P 2024 версия CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

рассматривается ключевая роль вольфрамовых нитей в сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), электронно-лучевой сварке и резке, а также электронно-лучевой литографии.

5.1.1 Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) использует электронный пучок, генерируемый вольфрамовой нитью, для сканирования поверхности образца и формирует изображение с высоким разрешением, обнаруживая вторичные электроны, обратно рассеянные электроны или характерные рентгеновские лучи. Он широко используется в материаловедении, биологии и анализе полупроводников. Разрешение РЭМ обычно составляет 1-5 нм, а глубина резкости большая, что подходит для наблюдения за сложными трехмерными структурами.

Вольфрамовая нить в РЭМ предназначена для обеспечения высокой яркости и стабильного электронного пучка. К типичным условиям работы относятся:

Эмиссионный ток: 1-10 мкА, флуктуации должны поддерживаться менее 1% для обеспечения стабильности изображения.

Яркость: 10^5 - 10^6 А/см²·SR, влияет на разрешение и мощность сигнала.

Рабочая температура: 2500-2700°C, баланс между эффективностью выбросов и сроком службы.

Степень вакуума: 10^{-7} Па, для предотвращения окисления и дугового разряда.

Вольфрамовые нити напрямую влияют на разрешение и качество изображения СЭМ. Например, в режиме высокого разрешения нить должна обеспечивать электронный пучок с узкой шириной луча (<5 нм), а легирование калием (0,01-0,05 мас.%) может улучшить однородность излучения на 15% за счет оптимизации структуры зерна. Поверхностные покрытия (например, оксид иттрия, толщина 0,1-1 мкм) снижают рабочую функцию (с 4,5 эВ до 4,2 эВ) и увеличивают яркость на 20%, что подходит для наблюдения наноразмерных особенностей, таких как дефекты полупроводниковых пластин или ультраструктуры биологических образцов.

Срок службы нити накала является ключевым фактором эксплуатационных расходов SEM. Стандартный срок службы вольфрамовой нити составляет 500-2000 часов и может быть увеличен до 3000 часов за счет оптимизации легирования и покрытия. Например, нити с двойной спиралью увеличивают площадь излучения, чтобы уменьшить локальный перегрев и увеличить срок службы на 30%. В практическом применении цикл замены нити влияет на время простоя оборудования, а автоматизированная система выравнивания нити накала

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

(точность ± 1 мкм) может сократить время технического обслуживания на 50%.

Технические проблемы включают в себя:

Стабильность излучения: Колебания тока ($>1\%$) вызывают шум изображения, требующий источника питания постоянного тока (точность $\pm 0,1$ мА) и среды с высоким вакуумом.

Срок службы и стоимость: Частая замена нитей накала увеличивает эксплуатационные расходы, и необходимо разрабатывать нити накала с длительным сроком службы (целевой показатель 5 000 часов).

Миниатюризация: Портативный SEM требует уменьшения диаметра нити накала до 0,05-0,1 мм при сохранении высокой яркости.

Стратегии оптимизации включают использование наноразмерной обработки поверхности (например, плазменная полировка, $R_a < 0,02$ мкм) и интеллектуальных систем мониторинга (определение тока и температуры в режиме реального времени) для снижения процента брака до менее чем 0,5% и улучшения качества визуализации на 10%.

5.1.2 Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ)

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) использует пучки электронов высоких энергий для проникновения в тонкие образцы и получения изображений с разрешением атомного уровня (0,1-0,2 нм). Он широко используется для анализа кристаллической структуры, определения характеристик наноматериалов и биомолекулярной визуализации. ТЕМ имеет более высокие требования к характеристикам вольфрамовых нитей, чем SEM, требуя более высокой яркости и меньшей ширины луча.

К вольфрамовым волокнам в ПЭМ относятся:

Ток излучения: 10-50 мкА, с колебаниями менее 0,5%, требуется для обеспечения разрешения на атомном уровне.

Яркость: 10^7 - 10^8 А/см²·SR, для поддержки изображений с высоким разрешением требуется высокая эффективность излучения.

Рабочая температура: 2600-2800°C, для поддержания длительной эксплуатации требуется высокая термическая стабильность.

Степень вакуума: 10^{-8} Па, для предотвращения рассеяния электронного пучка и окисления нитей.

Вольфрамовые нити являются ключом к разрешению ПЭМ. Например, в ПЭМ высокого разрешения (HRTEM) нить накала должна обеспечивать электронный пучок с шириной луча

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

$<0,5$ нм. Легирование покрытием из алюминия (0,005-0,02 мас.%) и оксида иттрия увеличивает яркость на 30% и снижает рабочую функцию до 4,2 эВ, удовлетворяя требованиям субангстремной визуализации. Двойная спираль или конические нити накаливания улучшают фокусировку луча за счет оптимизации распределения электрического поля, а также уменьшают отклонение ширины луча на 20%.

Срок службы нити накала особенно важен для ПЭМ из-за высокой стоимости замены (включая обслуживание вакуумной системы). Оптимизированные нити имеют срок службы 800-1500 часов при температуре 2600°C , а нити, легированные рением (0,1-1 мас.%), могут достигать 2000 часов, уменьшая механический разрыв за счет повышения пластичности. Полировка поверхности ($R_a < 0,05$ мкм) и высокий вакуум (10^{-8} Па) снижают скорость испарения на 50% и продлевают срок службы на 25%.

Технические проблемы включают в себя:

Высокие требования к яркости: для ТЕМ требуется 10^8 А/см². Яркость SR, которую сложно встретить с чистыми вольфрамовыми нитями. Необходимы новые покрытия или композитные материалы.

Тепловой дрейф: Колебания температуры нити накала ($>5^{\circ}\text{C}$) вызывают дрейф луча и требуют точного контроля температуры ($\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Длительный срок службы: высокая рабочая температура ускоряет испарение, поэтому необходимо разрабатывать высокотемпературные покрытия (например, оксид циркония).

Стратегии оптимизации включают использование наноструктурированных вольфрамовых нитей (размер зерна <100 нм) для повышения эффективности выбросов на 20% и интеграцию системы мониторинга искусственного интеллекта для прогнозирования срока службы нити и снижения неожиданных отказов на 50%.

5.1.3 Электронно-лучевая сварка и резка

При электронно-лучевой сварке (EBBW) и резке используется высокоэнергетический электронный луч (10-100 кВт), генерируемый вольфрамовой нитью, для плавления или испарения материалов для высокоточной обработки. Он широко используется в аэрокосмической, автомобильной и атомной промышленности. EBW может образовывать глубокие сварные швы (отношение глубины к ширине $>20:1$) и имеет точность резки $\pm 0,01$ мм.

Вольфрамовые волокна в EBW и резании включают в себя:

Ток излучения: 10-100 мА, высокий ток поддерживает высокую выходную мощность.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Ускоряющее напряжение: 50-150 кВ, генерирующее пучок электронов высокой энергии.

Рабочая температура: 2600-2800°C, должен выдерживать высокие тепловые нагрузки.

Степень вакуума: 10^{-5} Па, допускается небольшой остаточный газ.

Нить накала должна обеспечивать мощный и стабильный электронный пучок. Например, в EBW нить генерирует электронный пучок мощностью 60 кВт, а при сварке титанового сплава (толщина 50 мм) ширина сварного шва составляет <1 мм, а зона термического влияния — <0,5 мм. Нити, легированные калием, улучшают термическую стабильность, подавляя рост зерна, и имеют срок службы 1000 часов. Поверхностные покрытия (такие как оксид циркония) снижают рабочую функцию и увеличивают плотность тока излучения на 20%, поддерживая высокую выходную мощность.

При резке нить должна обеспечивать электронный пучок с узкой шириной луча (<0,1 мм). При резке нержавеющей стали (толщина 10 мм) гладкость реза Ra составляет <0,1 мкм. Двойная спиральная нить увеличивает площадь излучения для улучшения стабильности луча, а колебания тока составляют <1%. Среда высокого вакуума (10^{-5} Па) снижает рассеяние луча и обеспечивает точность обработки.

Технические проблемы включают в себя:

Высокая стабильность мощности: колебания тока (>2%) приводят к неровным сварным швам, требующим постоянного источника питания (точность $\pm 0,5$ мА).

Срок службы нити накала: Высокий ток ускоряет испарение, требуя долговечной нити накала (целевой срок 2000 часов).

Остаточный газ: Кислород при 10^{-5} Па может вызвать окисление и потребовать защитного покрытия поверхности.

Стратегии оптимизации включают использование композитных вольфрамовых нитей (таких как оксид вольфрама-иттрия) для повышения эффективности излучения на 30% и систему мониторинга тока луча в режиме реального времени (точность $\pm 0,1$ мкА) для обеспечения согласованности обработки.

5.1.4 Электронно-лучевая литография

Электронно-лучевая литография (EBL) использует электронный пучок, генерируемый вольфрамовой нитью, для непосредственного написания наноразмерных шаблонов для производства полупроводниковых устройств, масок и наноструктур. Разрешение может достигать <10 нм и широко используется в исследованиях и разработках чипов, а также в

производстве квантовых устройств.

Вольфрамовая нить в EBL включает в себя:

Эмиссионный ток: 1-10 нА, требуется чрезвычайно высокая стабильность (колебания <0,1%).

Яркость: 10^7 - 10^8 А/см²·ср, поддерживает наноразмерную фокусировку.

Рабочая температура: 2500-2700°C, сбалансированный выброс и срок службы.

Степень вакуума: 10^{-8} Па, для предотвращения рассеяния луча.

Постоянство излучения нити накала является ключом к EBL. Например, при изготовлении чипов узла 7 нм нить накала должна обеспечивать электронный пучок с шириной луча <5 нм. Легирование покрытиями из оксида алюминия и иттрия позволит увеличить яркость на 25%, обеспечив точность рисунка ± 1 нм. Нить накала с двойной спиралью улучшает стабильность луча за счет оптимизации распределения электрического поля, а отклонение тока составляет <0,05%. Срок службы нити накала должен составлять более 500 часов. Из-за высокой стоимости обслуживания оборудования EBL, нити, легированные рением, могут достигать 1000 часов, а скорость испарения снижается на 40%.

Технические проблемы включают в себя:

Сверхвысокая стабильность: колебания тока (>0,1%) вызывают искажение диаграммы направленности, требующие сверхточного источника питания (точность $\pm 0,01$ нА).

Долгий срок службы: потребность в высокой яркости ускоряет потерю нитей накала и требует новых материалов (таких как наноструктурированный вольфрам).

Фокусировка луча: Наноразмерные шаблоны требуют субнанометровой ширины луча, что требует оптимизированной геометрии нити накала и конструкции электродов.

Стратегии оптимизации включают использование покрытий с помощью полевого излучения (таких как тория) для увеличения яркости на 30% и встроенную систему обратной связи по лучу (время отклика <1 мс) для обеспечения калибровки в режиме реального времени.

5.2 Вакуумные электронные устройства

Вакуумные электронные устройства используют вольфрамовые нити для генерации электронных токов, управляя микроволновыми, рентгеновскими и дисплейными технологиями. В этом разделе обсуждается их применение в микроволновых трубках, рентгеновских трубках и электронно-лучевых трубках.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

5.2.1 Микроволновые трубки (такие как магнетроны и лампы бегущей волны)

В микроволновых трубках используются вольфрамовые нити для генерации потока электронов, которые генерируют высокочастотные электромагнитные волны под действием магнитных или электрических полей. Они широко используются в радарх, спутниковой связи и микроволновом отоплении. Магнетроны используются в микроволновых печах и военных радарх, а трубки бегущей волны (ЛБВ) — в высокочастотной связи.

К вольфрамовым нитям в микроволновой трубке относятся:

Ток излучения: 1-10 мА, для обеспечения качества сигнала требуется стабильность <1%.

Рабочая температура: 2400-2600°C, сбалансированный выброс и срок службы.

Степень вакуума: 10^{-6} Па, для предотвращения образования дуги и окисления.

Выходная мощность: магнетрон 1-10 кВт, ЛБВ 10-100 Вт.

В магнетроне нить накала обеспечивает ток электронов 5 мА, генерируя микроволны с частотой 2,45 ГГц и мощностью 1 кВт. Нити, легированные калием, продлевают срок их службы до 5000 часов, улучшая термическую стабильность, что делает их пригодными для бытовых микроволновых печей. Лампы бегущей волны требуют более высокой стабильности, с колебаниями тока нити накала <0,5%. Легирование покрытиями из оксида алюминия и иттрия повышает эффективность излучения на 20%, поддерживая высокочастотные сигналы 10 ГГц.

Технические проблемы включают в себя:

Высокая стабильность: Колебания тока (>1%) вызывают искажения сигнала и требуют прецизионного источника питания (точность $\pm 0,1$ мА).

Длительный срок службы: высокая выходная мощность ускоряет испарение и требует термостойкого покрытия.

Миниатюризация: Для спутникового ЛБВ требуется диаметр нити накала < 0,1 мм для поддержания высокого излучения.

Стратегии оптимизации включают использование наноразмерных зерновых нитей (зерна <100 нм) для повышения эффективности выбросов на 15% и технологии вакуумной упаковки (10^{-7} Па) для увеличения срока службы на 30%.

CTIA GROUP LTD

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа CTIAQCD -MA-E/P 2024 версия CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Electron Beam Tungsten Filaments Introduction

1. Overview of Electron Beam Tungsten Filaments

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

2. Features of Electron Beam Tungsten Filaments

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

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

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

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

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

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

3. Some Types of Electron Beam Tungsten Filaments

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

4. Purchasing Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696
Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

5.2.2 Рентгеновская трубка

В рентгеновских трубках используются вольфрамовые нити для генерации электронных пучков, которые бомбардируют металлические мишени (такие как вольфрам или молибден) для производства рентгеновских лучей. Они широко используются в медицинской визуализации (КТ, рентгеновские аппараты) и промышленном неразрушающем контроле.

Вольфрамовая нить в рентгеновской трубке включает в себя:

Ток излучения: 1-10 мА, поддерживает высокоинтенсивное рентгеновское излучение.

Ускоряющее напряжение: 30-150 кВ, определяет энергию рентгеновского излучения.

Рабочая температура: 2500-2700°C, требуется высокая термическая стабильность.

Степень вакуума: 10^{-7} Па, для предотвращения окисления и образования дуги.

Нить накала должна обеспечивать высокую эффективность выбросов и длительный срок службы. Например, при компьютерной томографии нить генерирует электронный ток 5 мА, производит рентгеновское излучение 120 кВ и имеет разрешение изображения <0,5 мм. Нити, легированные калием, имеют срок службы 1000-3000 часов, а поверхностные покрытия (такие как оксид циркония) увеличивают плотность эмиссионного тока на 20%, обеспечивая высокую пропускную способность. Нити накаливания с двойной спиралью снижают локальный перегрев за счет увеличения площади излучения и продлевают срок службы на 25%.

Технические проблемы включают в себя:

Требования к высокой интенсивности: Для высокодозной рентгеновской обработки требуется большой ток (>10 мА), что ускоряет потерю нити накала.

Управление температурным режимом: расстояние между нитью накаливания и мишенью невелико (<10 мм), и требуется эффективный отвод тепла.

Стоимость в течение всего срока службы: частая замена нити накала увеличивает затраты на обслуживание медицинского оборудования.

Стратегии оптимизации включают использование композитной вольфрамовой нити (например, оксида вольфрама-иттрия) для увеличения эффективности излучения на 30% и встроенной системы охлаждения (водяное охлаждение, расход 0,5 л/мин) для снижения температуры нити накала на 50°C.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

5.2.3 Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ)

Электронно-лучевые трубки (ЭЛТ) используют вольфрамовые нити для генерации электронных пучков, которые бомбардируют флуоресцентный экран для получения изображений. Они используются в традиционных дисплеях, промышленном мониторинге и авиационных приборах. Несмотря на то, что ЖК-дисплеи и OLED-дисплеи постепенно вытесняют ЭЛТ, они по-прежнему используются в определенных областях (например, в высоконадежных дисплеях).

К вольфрамовым волокнам в ЭЛТ относятся:

Ток излучения: 0,1-1 мА, малый ток поддерживает функцию отображения.

Рабочая температура: 2000-2200°C, низкая температура продлевает срок службы.

Степень вакуума: 10^{-6} Па, для предотвращения загрязнения флуоресцентного экрана.

Разгоняющее напряжение: 10-30 кВ, выдает яркое изображение.

Нить накала должна обеспечивать стабильный поток электронов с малой мощностью. Например, в авиационных дисплеях нить генерирует поток электронов 0,5 мА, выдает высококонтрастные изображения и имеет срок службы 5000-10000 часов. Нити, легированные калием, повышают эффективность выбросов на 15% за счет снижения рабочей функции. Односпиральные нити имеют простую структуру и низкую стоимость, что делает их пригодными для крупносерийного производства.

Технические проблемы включают в себя:

Длительный срок службы: ЭЛТ должна иметь сверхдлительный срок службы (>10 000 часов), а высокотемпературное испарение является узким местом.

Низкое энергопотребление: дисплей требует низкой мощности нагрева (<50 Вт) и оптимизированной геометрии нити накаливания.

Адаптивность к окружающей среде: авиационные ЭЛТ должны выдерживать вибрацию (10-100 Гц) и перепады температуры (от -40 до 70°C).

Стратегии оптимизации включают использование покрытий с низкой рабочей нагрузкой (таких как оксид тория) для снижения рабочей температуры на 100 °C и антивибрационную конструкцию (точность фиксации нити накала ± 1 микрон) для повышения надежности на 20%.

5.3 Другие промышленные и научные исследования

Вольфрамовые нити имеют важное применение в осаждении тонких пленок, ионных источниках, масс-спектрометрах и экспериментальных устройствах для ядерного синтеза, поддерживая промышленное производство и передовые научные исследования.

5.3.1 Осаждение тонких пленок (например, физическое осаждение из газовой фазы)

При физическом осаждении из газовой фазы (PVD) используется вольфрамовая нить для генерации электронного пучка для испарения или распыления материалов для нанесения тонких пленок (толщиной 0,1–10 микрон) для применения в оптических покрытиях, производстве полупроводников и износостойких покрытиях.

Вольфрамовая нить в PVD включает в себя:

Ток излучения: 1-10 мА, поддерживает испарение материала.

Рабочая температура: 2500-2700°C, требуется высокая термическая стабильность.

Степень вакуума: 10^{-6} Па, для предотвращения загрязнения пленки.

Выходная мощность: 1-10 кВт, привод в действие источника испарения.

Нить накала должна обеспечивать стабильный высокоэнергетический электронный пучок. Например, в оптических покрытиях нить генерирует электронный ток 5 мА, испаряет диоксид кремния (SiO_2), и наносит просветляющую пленку толщиной 0,5 мкм и однородностью $\pm 1\%$. Нити, легированные алюминием, увеличивают эффективность выбросов на 20%, а нити с двойной спиралью снижают колебания тока до $< 1\%$, обеспечивая качество пленки.

Технические проблемы включают в себя:

Однородность тонкой пленки: Неравномерный ток луча приводит к отклонению толщины, и геометрия нити накала нуждается в оптимизации.

Длительный срок службы: высокая мощность ускоряет испарение и требует термостойкого покрытия.

Совместимость материалов: Различные материалы для испарения требуют регулировки параметров луча.

Стратегия оптимизации включает использование многосегментной спиральной нити накала для улучшения однородности луча на 15% и системы управления лучом в режиме реального

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа CTIAQCD -MA-E/P 2024 версия CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

времени (точность $\pm 0,1$ мкА) для обеспечения постоянства осаждения.

5.3.2 Ионный источник и масс-спектрометр

Источник ионов использует вольфрамовую нить для генерации потока электронов, ионизируя молекулы газа для формирования ионного пучка, который используется в масс-спектрометрии, ионной имплантации и анализе поверхности. Масс-спектрометры используются для химического анализа с разрешением 10^{-6} Да.

Вольфрамовые нити в ионном источнике включают:

Эмиссионный ток: 0,1-1 мА, требуется высокая стабильность (колебания $< 0,1\%$).

Рабочая температура: 2400-2600°C, сбалансированный выброс и срок службы.

Степень вакуума: 10^{-7} Па, для предотвращения рассеяния ионного пучка.

Эффективность ионизации: $> 10\%$, поддержка высокочувствительного анализа.

Нить накала должна обеспечивать стабильный поток электронов малой мощности. Например, в масс-спектрометре нить генерирует поток электронов 0,5 мА, ионизируя гелий и производя ионный сигнал со скоростью 10^6 имп/с. Нить, легированная калием, имеет срок службы 2000 часов, а полировка поверхности ($R_a < 0,05$ мкм) снижает колебания тока на 50%, повышая аналитическую точность.

Технические проблемы включают в себя:

Сверхвысокая стабильность: колебания тока ($> 0,1\%$) снижают разрешение и требуют прецизионного источника питания.

Длительный срок службы: частая замена нитей накала влияет на эффективность анализа.

Миниатюризация: для портативных масс-спектрометров требуются небольшие нити накала (диаметр $< 0,1$ мм).

Стратегии оптимизации включают использование полевых покрытий для повышения эффективности выбросов на 20% и интегрированную систему обратной связи по току (время отклика < 1 мс) для обеспечения стабильности.

5.3.3 Экспериментальное устройство для термоядерного синтеза

Экспериментальные устройства для ядерного синтеза (такие как токамаки и термоядерный синтез с инерционным удержанием) используют вольфрамовые нити для создания потока

электронов высокой энергии, привода плазмы или диагностических систем, а также для изучения поведения высокотемпературной плазмы.

Вольфрамовая нить в термоядерном синтезе включает в себя:

Ток излучения: 10-100 мА, поддерживает плазму высокой мощности.

Рабочая температура: 2700-3000°C, требуется чрезвычайно высокая термическая стабильность.

Степень вакуума: 10^{-8} Па, для предотвращения загрязнения.

Радиационная стойкость: Устойчив к нейтронам и гамма-лучам.

Филамент должен выдерживать экстремальные условия. Например, в токамаке нить накала генерирует ток электронов 50 мА, приводит в движение плазму с энергией 1 кэВ и работает в течение 1000 часов. Нити, легированные рением, выдерживают тепловой удар за счет повышения пластичности, а покрытия из оксида циркония снижают скорость испарения на 50%, что позволяет работать при высоких температурах.

Технические проблемы включают в себя:

Экстремальные условия эксплуатации: высокие температуры (>3000 °C) и радиация ускоряют деградацию нитей накала.

Высокая мощность: Высокий ток (>100 мА) требует высокой эффективности передачи.

Длительный срок службы: устройство имеет высокие затраты на техническое обслуживание и требует сверхдолговечных нитей накала (>5000 часов).

Стратегии оптимизации включают использование композитных материалов на основе вольфрама (таких как карбид вольфрама-вольфрама) для повышения радиационной стойкости на 30% и технологии вакуумной герметизации (10^{-9} Па) для продления срока службы на 40%.

5.4 Новые области применения

Вольфрамовые нити продемонстрировали большой потенциал в новых областях, таких как 3D-печать, космические двигатели и нанотехнологии, стимулируя технологические инновации.

5.4.1 Электронно-лучевое плавление в 3D-печати

Электронно-лучевая плавка (EBM) использует вольфрамовую нить для генерации высокоэнергетического электронного пучка (50-100 кВт) для плавления металлических порошков и изготовления сложных деталей с точностью до $\pm 0,1$ мм. Он широко используется в аэрокосмической и медицинской имплантации.

Вольфрамовые волокна в EBM включают в себя:

Ток излучения: 10-50 мА, поддерживает высокую мощность плавления.

Ускоряющее напряжение: 60-100 кВ, генерирующее пучок высокой энергии.

Рабочая температура: 2600-2800°C, требуется высокая термическая стабильность.

Степень вакуума: 10^{-5} Па, допускается небольшое запыление.

Нить накала должна обеспечивать мощный и стабильный электронный пучок. Например, при изготовлении авиационных деталей из титанового сплава нить генерирует поток электронов 30 мА, расплавляет порошок с толщиной слоя 0,05 мм, а шероховатость поверхности составляет $Ra < 5$ мкм. Срок службы нити, легированной калием, составляет до 1000 часов, а двойная спираль улучшает стабильность луча на 20%.

Технические проблемы включают в себя:

Высокая стабильность мощности: колебания тока ($>2\%$) приводят к неравномерной толщине слоя.

Загрязнение пылью: металлический порошок может загрязнить нить накаливания и потребовать защитного покрытия.

Длительный срок службы: высокая мощность ускоряет испарение и требует материалов, устойчивых к высоким температурам.

Стратегия оптимизации включает в себя использование покрытия из оксида тория для повышения эффективности излучения на 30% и системы сканирования луча (точность $\pm 0,1$ мм) для обеспечения равномерности плавления.

5.4.2 Источники электронов в космических двигательных установках

Вольфрамовые нити используются в качестве источников электронов в ионных двигателях и двигателях на эффекте Холла для ионизации топлива (например, ксенона) для создания тяги, которые используются в спутниках и исследовании дальнего космоса.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Вольфрамовые нити в космических двигателях включают:

Ток излучения: 1-10 мА, поддерживает эффективную ионизацию.

Рабочая температура: 2500-2700°C, требуется длительный срок службы.

Степень вакуума: 10^{-8} Па, способен выдерживать пространственный вакуум.

Радиационная стойкость: Устойчив к космическим лучам и солнечному ветру.

Нить накала должна обеспечивать постоянный поток электронов. Например, в ионном двигателе нить генерирует 5 мА электронов, ионизируя газообразный ксенон для создания 0,1 Н тяги, и имеет срок службы несколько лет. Нити, легированные рением, выдерживают вибрации (10-100 Гц) за счет повышения пластичности, а покрытия из оксида иттрия продлевают срок службы на 50%.

Технические проблемы включают в себя:

Сверхдолгий срок службы: Космические миссии требуют продолжительности жизни >10 000 часов.

Адаптивность к окружающей среде: Должен выдерживать температуру от -100 до 100°C и радиацию.

Низкое энергопотребление: Двигатели требуют низкой мощности нагрева (<100 Вт).

Стратегии оптимизации включают использование нитей накаливания с полевой эмиссией для снижения рабочей температуры на 100 °C и радиационно-стойких покрытий, таких как оксид циркония, для повышения надежности на 30%.

5.4.3 Нанотехнологии и микро-нанообработка

Вольфрамовые нити генерируют электронные пучки в электронно-лучевом осаждении (EBID) и нанолитографии для изготовления наноразмерных структур для применения в датчиках, квантовых устройствах и МЭМС с разрешением 1-5 нм.

Вольфрамовые волокна при микро-нанообработке включают в себя:

Ток излучения: 0,1-1 нА, требуется сверхвысокая стабильность (колебания <0,05%).

Яркость: 10^8 А/см²·SR, поддерживает наноразмерную фокусировку.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Рабочая температура: 2500-2700°C, требуется длительный срок службы.

Степень вакуума: 10^{-8} Па, для предотвращения рассеяния луча.

Нить накала должна обеспечивать электронный пучок с чрезвычайно узкой шириной луча. Например, в EBID нить генерирует электронный ток 0,5 нА и наносит углеродные нанопроволоки (диаметр <5 нм) с точностью до $\pm 0,5$ нм. Легирование нити покрытием из оксида алюминия и тория увеличивает яркость на 30% и срок службы на 500 часов.

Технические проблемы включают в себя:

Сверхвысокое разрешение: требуется ширина луча <1 нм и оптимизация геометрии нити накала.

Стабильность: Колебания тока (>0,05%) приводят к структурным дефектам.

Миниатюризация: для оборудования для нанопроизводства требуются небольшие нити (диаметр < 0,05 мм).

Стратегия оптимизации включает в себя использование наноструктурированных вольфрамовых нитей для повышения эффективности излучения на 20% и системы калибровки луча (точность $\pm 0,01$ нА) для обеспечения точности обработки.



CTIA GROUP LTD Электронно-лучевая вольфрамовая нить

CTIA GROUP LTD

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Electron Beam Tungsten Filaments Introduction

1. Overview of Electron Beam Tungsten Filaments

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

2. Features of Electron Beam Tungsten Filaments

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

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

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

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

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

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

3. Some Types of Electron Beam Tungsten Filaments

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

4. Purchasing Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696
Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Глава 6 Технические проблемы и будущее развитие электронно-лучевой нити накала

Электронно-лучевая вольфрамовая нить играет ключевую роль в высокоточной визуализации, обработке и научных исследованиях. Однако с увеличением спроса на применение вольфрамовые нити сталкиваются с техническими проблемами с точки зрения срока службы, эффективности, миниатюризации и адаптируемости к окружающей среде. В то же время новые материалы, интеллектуальные технологии и «зеленое» производство открывают новые возможности для развития вольфрамовых нитей. В этой главе подробно обсуждаются текущие технические проблемы, новые материалы и технологии, интеллектуальное и экологичное производство, а также будущие тенденции развития, а также перспективы использования вольфрамовых нитей в высокопроизводительных электронных пушках и новых областях.

6.1 Современные технические проблемы электронно-лучевой вольфрамовой нити накала

Вольфрамовая нить в электронной пушке напрямую влияет на разрешение, стабильность и стоимость эксплуатации устройства. В этом разделе анализируются основные технические проблемы с точки зрения срока службы нити накала, эффективности эмиссии и миниатюризации, а также требований к высокой точности.

6.1.1 Продление срока службы нити накала

Вольфрамовые нити (500-2000 часов) являются ключевым фактором, ограничивающим эффективность и стоимость работы электронной пушки, особенно в приложениях с высокой яркостью (таких как просвечивающая электронная микроскопия, ПЭМ), где нити должны работать в течение длительных периодов времени при температуре 2600-2800°C, что приводит к испарению и механической деградации. Вот основные проблемы:

Высокотемпературное испарение: при температуре 2700°C скорость испарения вольфрама составляет около 0,01-0,05 мг/см²·ч, что приводит к истончению диаметра нити накала (0,1-0,5 мкм/ч), увеличению сопротивления и снижению эффективности выбросов на 30%. Например, в РЭМ при уменьшении диаметра нити накала с 0,2 мм до 0,15 мм плотность тока излучения уменьшается на 20% и качество изображения значительно снижается.

Термическая усталость: горячие и холодные циклы электронной пушки (20-2700°C, скорость нагрева 100°C/с) вызывают термическое напряжение, и на границах зерен легко образуются микротрещины. Испытания показывают, что после 1000 циклов скорость растрескивания чистых вольфрамовых нитей достигает 5%, в то время как у нитей, легированных калием, снижается до 1%, но этого все еще недостаточно для удовлетворения требований сверхдлительного срока службы (>5000 часов).

Поверхностная деградация: При вакууме 10⁻⁵ Па остаточный кислород вызывает

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

поверхностное окисление с образованием триоксида вольфрама, что снижает рабочую функцию на 0,1-0,2 эВ и эффективность излучения на 15%. Накопление оксида также может привести к дуговому разряду и повреждению электронной пушки.

Стоимость и техническое обслуживание: Частая замена нити накала увеличивает время простоя оборудования и затраты на техническое обслуживание. Например, замена нити накала ПЭМ занимает 4-8 часов и включает в себя обслуживание вакуумной системы, при этом единовременная стоимость составляет до тысяч долларов.

Стратегии реагирования включают использование термостойких покрытий (таких как оксид циркония, толщина 0,5-1 мкм) для снижения скорости испарения на 50%, легирование рением (0,1-1 мас.%) для улучшения пластичности и уменьшения трещин на 30%, а также оптимизацию вакуумной системы (10^{-8} Па) для минимизации окисления. Цель состоит в том, чтобы продлить срок службы нити накала до 5000 часов и снизить частоту технического обслуживания на 50%.

6.1.2 Повышение эффективности передачи данных

Эффективность излучения определяет яркость и качество пучка электронного пучка, что напрямую влияет на разрешение и точность обработки электронной пушки. Рабочая функция чистой вольфрамовой нити накала (4,5 эВ) относительно высока, что ограничивает плотность тока излучения ($1-5 \text{ A/cm}^2$). Ниже перечислены основные проблемы:

Высокая рабочая функция: при 2600°C плотность тока излучения вольфрамовых нитей составляет всего $3-5 \text{ A/cm}^2$, что трудно удовлетворить требованиям ПЭМ (требуется 10^8 A/cm^2 ср) или электронно-лучевой литографии (EBL, требуется стабильный ток 10 нА). Легирование алюминием (0,005-0,02 мас.%) может снизить рабочую функцию до 4,3 эВ и повысить эффективность излучения на 15%, но этого все еще недостаточно для конкуренции с полевыми эмиссионными катодами (рабочая функция $<3 \text{ эВ}$).

Однородность излучения: Поверхностные дефекты (такие как царапины, оксиды, $R_a > 0,05 \text{ мкм}$) приводят к неравномерным локальным электрическим полям и отклонениям плотности тока до 5%, что влияет на качество визуализации SEM или точность EBL. Электрохимическая полировка позволяет снизить шероховатость поверхности до 0,02 мкм, но стоимость высока и процесс сложен.

Стабильность тока: колебания температуры нити накала ($>5^\circ\text{C}$) или джиттер тока ($>1\%$) вызывают отклонения тока луча и снижают разрешение. Например, в EBL колебания тока на 0,1% приводят к отклонениям шаблона $>1 \text{ нм}$, что требует сверхточных источников питания (точность $\pm 0,01 \text{ нА}$).

Требования к высоким температурам: Для повышения эффективности выбросов требуется более высокая рабочая температура ($>2800^\circ\text{C}$), но это ускоряет испарение и сокращает срок

службы на 50%. Например, при повышении температуры с 2600°C до 2800°C плотность эмиссионного тока увеличивается в 2 раза, а скорость испарения увеличивается в 4 раза.

Стратегии включают разработку покрытий с низкой рабочей функцией (таких как оксид тория, рабочая функция 4,1 эВ) для повышения эффективности излучения на 30%, оптимизацию структуры зерен (размер 2-4 микрона) для повышения однородности излучения на 20% и интеграцию системы обратной связи по лучу (время отклика <1 мс) для обеспечения стабильности тока. Цель состоит в том, чтобы увеличить плотность излучения тока до 10 А/см² и яркость до 10⁸ А/см²·ср.

6.1.3 Требования к миниатюризации и высокой точности

С развитием портативных устройств (таких как портативные СЭМ) и нанотехнологий (таких как EBID) нити накаливания должны быть миниатюризированы (диаметр < 0,1 мм) и соответствовать требованиям высокой точности. Ниже перечислены основные проблемы:

Миниатюризация изготовления: диаметр нити уменьшается с 0,2 мм до 0,05 мм, что требует сверхточных процессов волочения и намотки (допуск ±1 мкм). Контроль зернистости крошечных нитей затруднен, а размер зерна >5 микрон подвержен хрупкому разрушению с коэффициентом разрушения 10%. Легирование калием позволяет оптимизировать зерно (2-3 мкм), но стоимость увеличивается на 20%.

Высокоточный луч: для наноизготовления требуется ширина луча <1 нм, а нить накала должна обеспечивать 10⁸ А/см². Яркость SR и стабильность тока 0,05%. Площадь излучения микронити невелика, а отклонение плотности тока может легко достигать 5%, поэтому необходимо оптимизировать геометрию (например, коническую нить) и распределение электрического поля.

Управление температурой: Площадь рассеивания тепла микронити накала мала, риск локального перегрева увеличивается на 50%, а градиент температуры может достигать 100 °C/мм, что приводит к тепловому дрейфу и отклонению луча. Например, в EBID флуктуация температуры на 5°C вызывает отклонение луча на 0,5 нм, что снижает точность обработки.

Механическая стабильность: Микроволокна подвержены смещению (>1 мкм) в вибрационной среде (10-100 Гц), что влияет на фокусировку луча. Авиацонные и портативные устройства требуют точности фиксации нити накала ±0,5 мкм, что требует новой опорной конструкции.

Стратегии включают в себя повышение точности производства за счет использования наноразмерного процесса волочения (допуск ±0,5 микрона), разработку покрытия с высокой теплопроводностью (например, из карбида вольфрама) для улучшения управления

температурой и снижения температурного градиента на 30%, а также интеграцию микроэлектродов (шаг <0,1 мм) для оптимизации однородности электрического поля. Цель состоит в том, чтобы уменьшить диаметр нити накала до 0,05 мм и контролировать ширину луча в пределах 0,5 нм.

6.2 Новые материалы и технологии для электронно-лучевых вольфрамовых нитей

Для решения вышеуказанных проблем новые материалы и технологии (такие как композиты на основе вольфрама, наноструктурированные вольфрамовые нити и альтернативные катодные материалы) открывают новые пути для улучшения характеристик нитей.

6.2.1 Композиционные материалы на основе вольфрама

Композитные материалы на основе вольфрама улучшают термическую стабильность, эффективность эмиссии и механические свойства нитей за счет добавления упрочняющих фаз или функциональных покрытий. Ниже приведены основные направления развития:

Сплав вольфрама и рения: добавление 0,1-5 мас.% рения увеличивает пластичность на 10%, снижает скорость ползучести при высоких температурах на 30% и продлевает срок службы на 40%. Атомы рения оптимизируют пластичность решетки и уменьшают термические усталостные трещины. Например, вольфрамо-рениевые филаменты (www.tungsten-rhenium.com) имеют срок службы 3000 часов при 2800°C и снижение скорости испарения на 20%.

Композит на основе оксида вольфрама: легирование оксидом иттрия (Y_2O_3 , 0,5-2 мас. %) или оксидом циркония (ZrO_2 , 0,1-1 мас. %) образует наноразмерную дисперсную фазу, подавляет рост зерен, поддерживает размер зерен на уровне 2-3 мкм и увеличивает прочность на разрыв на 15%. Оксид также снижает рабочую функцию до 4,2 эВ и увеличивает плотность тока излучения на 25%, что делает его пригодным для ПЭМ высокой яркости.

Композит из карбида вольфрама: добавление карбида вольфрама (WC, 0,1-0,5 мас.%) увеличивает твердость поверхности (HV 2000), улучшает износостойкость на 50% и подходит для высокомошной электронно-лучевой сварки. Слой карбида вольфрама (толщина 0,1 мкм) также повышает стойкость к окислению и снижает скорость окисления на 60%.

Технология изготовления: Порошковая металлургия и плазменное напыление используются для получения композитных нитей для обеспечения равномерного распределения легирующих элементов (отклонение <1%). Лазерное спекание позволяет образовывать наноразмерные упрочняющие фазы и увеличивать граничную прочность зерен на 20%.

К проблемам можно отнести высокую стоимость композитных материалов (на 30-50% выше, чем чистый вольфрам) и сложную обработку (высокотемпературное спекание, >2000°C). В

будущем необходимо оптимизировать недорогие технологии подготовки, такие как химическое осаждение из газовой фазы (CVD), чтобы снизить затраты на 20%.

6.2.2 Наноструктурированная вольфрамовая нить

Наноструктурированные вольфрамовые нити улучшают свои характеристики за счет контроля размера зерна (<100 нм) и морфологии поверхности, что делает их особенно подходящими для миниатюризации и высокоточных применений. К основным технологиям можно отнести следующие:

Нанокристаллический вольфрам: размер зерна уменьшается до 50-100 нм, граничная плотность зерна увеличивается на 50%, прочность на разрыв увеличивается на 20% (до 1200 МПа), а пластичность увеличивается на 10%. Нанокристаллическая структура рассеивает термическое напряжение за счет скольжения по границе зерен, а термические усталостные трещины уменьшаются на 40%. Например, срок службы нанокристаллических нитей при температуре 2700°C составляет 2500 часов.

Наноразмерная инженерия поверхности: плазменное травление и атомно-слоевое осаждение (ALD) используются для формирования наноразмерных текстур ($R_a < 0,01$ микрометра), что увеличивает долю экспонированных {100} кристаллических плоскостей на 30%, снижает рабочую функцию до 4,3 эВ и увеличивает плотность эмиссионного тока на 25%. Нанопокртия (такие как оксид тория, толщиной 10-50 нм) еще больше снижают рабочую функцию до 4,1 эВ, а яркость достигает 10^8 А/см²·ср.

Микропроизводство: Электрохимическое напыление и лазерная микрообработка для производства нитей диаметром 0,05 мм с допуском $\pm 0,5$ микрона. Процесс наноразмерного чернения контролирует ориентацию зерен (<110> составляет 80%) и улучшает однородность излучения на 15%.

Управление температурой : Наноструктура увеличивает удельную площадь поверхности, улучшает теплопроводность на 10% (до 190 Вт/м·К) и снижает температурный градиент на 30%, что делает ее пригодной для микронитей.

К числу проблем относятся высокая стоимость подготовки наноструктур (на 50% выше, чем у традиционных филаментов) и проблемы со стабильностью (зерна могут расти при высоких температурах). В будущем необходимо будет разработать технологию низкотемпературного спекания (<1500°C) и самовосстанавливающиеся покрытия для поддержания стабильности наноструктуры.

6.2.3 Альтернативные катодные материалы (например, углеродные нанотрубки, полевые эмиссионные катоды)

Чтобы преодолеть узкое место в производительности вольфрамовых нитей, альтернативные

катодные материалы (такие как углеродные нанотрубки и катоды полевой эмиссии) стали горячей точкой исследований. Ниже приведены основные направления:

Углеродные нанотрубки (УНТ): УНТ обладают низкой рабочей функцией (2,5-3 эВ) и высокой плотностью тока ($>10^9$ А/см²), не требуют работы при высоких температурах ($<500^\circ\text{C}$) и имеют срок службы до 10 000 часов. Катоды УНТ обеспечивают ширину луча <1 нм в EBL, что подходит для нанообработки. Тем не менее, УНТ обладают плохой механической стабильностью и склонны к поломке в вибрационной среде (10-100 Гц), требуя поддержки со стороны композитной подложки (например, кремния).

Полевой эмиссионный катод (FEC): Основываясь на принципе разряда наконечника, FEC (например, вольфрамовая игла или оксид вольфрама циркония) обеспечивает 10^9 А/см² яркость при комнатной температуре, рабочая функция 2,9 эВ, стабильность тока 0,01%. FEC достигает разрешения 0,1 нм в ПЭМ с высоким разрешением, но требует чрезвычайно высокого вакуума (10^{-10} Па) и стоит в 10 раз дороже, чем вольфрамовые нити.

Двумерные материалы, такие как графен и MoS₂, обладают низкой рабочей функцией (3-3,5 эВ) и высокой химической стабильностью, что подходит для микрокатодов. Графеновые катоды обеспечивают стабильный ток 0,1 мА в ионном источнике и имеют срок службы 5000 часов, но процесс подготовки сложен, а выход составляет $<50\%$.

Проблемы и интеграция: Альтернативные материалы должны преодолевать производственные затраты, адаптироваться к окружающей среде и быть совместимыми с существующими электронными пушками. Вольфрамовые нити могут быть объединены с УНТ или FEC для формирования гибридных катодов, сочетающих высокую температурную стабильность и низкие преимущества рабочей функции.

В перспективе необходимо разработать недорогую технологию выращивания УНТ (снижение стоимости в два раза по сравнению с вольфрамовой нитью) и модульную конструкцию катода для сокращения цикла применения альтернативных материалов.

6.3 Интеллектуальное и экологичное производство электронно-лучевой вольфрамовой нити

Интеллектуальное и «зеленое» производство является ключевым направлением модернизации индустрии вольфрамовых нитей, повышения эффективности производства, снижения энергопотребления и достижения устойчивого развития.

6.3.1 Интеллектуальный мониторинг и адаптивное управление

Интеллектуальный мониторинг и адаптивное управление оптимизируют производительность нити накала, продлевают срок службы и повышают стабильность электронной пушки за счет анализа данных в режиме реального времени. Ниже приведены

основные технологии:

Система мониторинга в режиме реального времени: встроенный инфракрасный термометр (точность $\pm 2^{\circ}\text{C}$), пикоамперметр (точность $\pm 0,1 \mu\text{A}$) и вакуумметр (10^{-9} Па) контролируют температуру, ток и вакуум нити накала. Алгоритмы искусственного интеллекта анализируют данные, чтобы предсказать срок службы (ошибка $< 5\%$) и риск отказа. Например, когда система мониторинга обнаруживает колебание температуры на $> 5^{\circ}\text{C}$, она автоматически регулирует мощность нагрева, чтобы продлить срок службы на 20%.

Адаптивное управление: система управления на основе машинного обучения динамически регулирует ток (точность $\pm 0,01 \text{ mA}$) и напряжение ($\pm 0,1 \text{ V}$), обеспечивая стабильность излучения на уровне 0,05%. В EBL адаптивное управление снижает отклонение диаграммы направленности до 0,5 нм и повышает точность обработки на 15%.

Диагностика неисправностей: модель глубокого обучения анализирует морфологию поверхности нити накала (с помощью изображений СЭМ) и текущую форму сигнала для определения режимов отказа, таких как испарение, трещины и окисление, с точностью до $> 95\%$. Система может обеспечить раннее предупреждение (> 100 часов), сокращая незапланированные простои на 50%.

Примеры применения: Интеллектуальная система мониторинга калибрует луч в режиме реального времени в СЭМ, снижая колебания тока до 0,1% и улучшая качество изображения на 10%. Адаптивное управление оптимизирует выходную мощность при электронно-лучевой сварке, повышая стабильность сварного шва на 20%.

К проблемам относятся дорогостоящие датчики (на которые приходится 10% стоимости устройства) и производительность сложных алгоритмов в режиме реального времени (требуется отклик $< 1 \text{ ms}$). В перспективе необходимо разработать недорогие сенсоры (стоимость снижена до 50% от текущего уровня) и модули периферийных вычислений для улучшения системной интеграции.

6.3.2 Энергосберегающая и экологически чистая технология производства

Производство вольфрамовых нитей связано с высокими затратами энергии при плавке ($> 2000^{\circ}\text{C}$) и химической обработке, что требует энергосберегающих и экологически чистых технологий для снижения углеродного следа. Ниже приведены основные направления:

Энергосберегающая металлургия: плазменно-дуговая плавка используется для замены традиционных дуговых печей, снижая потребление энергии на 30% (до 5 кВтч/кг). Низкотемпературное спекание (1500°C) снижает потребление энергии на 20% за счет добавления флюса (например, кремния, 0,1 мас.%), поддерживая размер зерна 2-3 мкм.

Зеленая химическая обработка: традиционное травление (фтористоводородная кислота +

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

азотная кислота) дает токсичную жидкость для отходов, а новая электрохимическая полировка (электролит представляет собой нейтральный раствор соли) снижает сброс отработанной жидкости на 80%, а шероховатость поверхности достигает 0,02 мкм. Плазменная очистка заменяет химическую очистку, а выбросы отходящих газов сокращаются на 90%.

Эффективное волочение: сервоуправляемая волочильная машина (точность $\pm 0,5$ микрона) оптимизирует тяговое усилие, снижает обрыв проволоки на 50% и снижает энергопотребление на 15%. Лазерное волочение увеличивает скорость обработки на 20%, подходит для микронитей (диаметр 0,05 мм).

Воздействие на окружающую среду: Энергосберегающая технология снижает выбросы углерода при производстве вольфрамовых нитей с 10 кг CO₂/кг до 6 кг CO₂/кг в соответствии со стандартом ISO 14001. Зеленые процессы увеличивают выход продукции на 10% и сокращают отходы на 20%.

К числу проблем относятся высокие первоначальные инвестиции в «зеленые» технологии (на 30% выше, чем у традиционного оборудования) и стабильность процессов. В дальнейшем необходимо продвигать модульное производственное оборудование, чтобы сократить срок окупаемости инвестиций до 2 лет.

6.3.3 Переработка и переработка отходов

Переработка и переработка вольфрамовых нитей может сократить отходы ресурсов и загрязнение окружающей среды. К основным технологиям можно отнести следующие:

Восстановление вольфрама: метод химического восстановления извлекает вольфрам из отходов нитей с чистотой 99,9% и коэффициентом восстановления >95%. Процесс включает в себя кислотное растворение (серная кислота + соляная кислота), осаждение (вольфрамовая кислота) и восстановление водорода (1000°C), с потреблением энергии 2 кВтч/кг. Восстановленный вольфрам может быть непосредственно использован в производстве новых нитей, что снижает затраты на 40%.

Разделение покрытия: Иттрийное или циркониевое покрытие отработанной нити удаляется путем плазменной зачистки с коэффициентом восстановления 90%, чтобы избежать загрязнения покрытия вольфрамовой подложкой. Процесс отпарки не содержит химических отходов жидкости и соответствует стандартам охраны окружающей среды.

Переработка отходов: Вольфрамовая пыль (размер частиц <10 мкм) на производстве собирается путем электростатического удаления пыли, с коэффициентом восстановления 98%, что позволяет избежать повреждения легких (предел воздействия 5 мг/м³). Отработанная жидкость обрабатывается путем нейтрализации и фильтрации со 100%

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

уровнем соответствия.

Экономика замкнутого цикла: Переработанные вольфрамовые нити составляют 20% от общего спроса, и, как ожидается, достигнут 40% к 2030 году. Переработка позволяет сократить добычу вольфрама на 30% и снизить экологический ущерб.

К числу проблем относятся высокое энергопотребление в процессе переработки и стоимость работы с малоценными покрытиями. В перспективе необходимо развивать технологию низкотемпературной переработки (снижение энергопотребления до 1 кВт·ч/кг) и автоматизированное сортировочное оборудование для повышения эффективности переработки на 20%.

6.4 Будущие тенденции развития электронно-лучевых вольфрамовых нитей

Вольфрамовые нити будут вращаться вокруг разработки высокоэффективных электронных пушек, междисциплинарной интеграции и применения в экстремальных условиях, способствуя технологическим инновациям и промышленной модернизации.

6.4.1 Проектирование высокоэффективной электронной пушки

Высокопроизводительные электронные пушки требуют более высокой яркости, более длительного срока службы и меньшего энергопотребления для создания наноразмерных изображений и обработки. Ниже приведены тенденции развития:

Нити накаливания сверхвысокой яркости: Разработка композитных нитей с рабочей функцией <4 эВ (например, оксид вольфрама-тория) с яркостью до 10^9 А/см²·sr, отвечающие требованиям ТЕМ следующего поколения (разрешение $<0,05$ нм) и EBL (ширина луча $<0,5$ нм). Наноразмерная инженерия поверхности (текстура <10 нм) улучшает однородность излучения на 20%.

Конструкция с длительным сроком службы: целевой срок службы $> 10\ 000$ часов, композитный материал из карбида вольфрама и самовосстанавливающееся покрытие (диоксид циркония + графен) снижают скорость испарения на 60%. Модульная конструкция филамента (время замены < 1 час) снижает затраты на техническое обслуживание на 50%.

Низкоэнергетическая электронная пушка: оптимизированная геометрия нити накала (например, многосегментная спираль) снижает мощность нагрева на 30% (до <50 Вт), а встроенные микроэлектроды (шаг 0,05 мм) увеличивают эффективность фокусировки луча на 20%. Высокоэффективный источник питания (КПД $> 95\%$) еще больше снижает энергопотребление.

Драйвер приложения: Высокопроизводительные электронные пушки будут поддерживать производство чипов с 6 нм узлами, субнанометровую биовизуализацию и

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

сверхвысокоточную 3D-печать (толщина слоя $< 0,01$ мм).

К числу проблем относятся высокая стоимость и сложная интеграция высокоэффективных нитей накаливания. В будущем необходимо разработать стандартизированные модули электронной пушки, чтобы снизить производственные затраты на 30%.

6.4.2 Междисциплинарная интеграция (например, интеграция с искусственным интеллектом)

Междисциплинарная интеграция сочетает в себе вольфрамовые нити с искусственным интеллектом (ИИ), большими данными и Интернетом вещей (IoT) для повышения производительности и эффективности приложений. К тенденциям развития можно отнести следующие:

Проектирование, оптимизированное для ИИ: моделирование материалов на основе ИИ (например, теория функционала плотности, DFT) прогнозирует характеристики композитных материалов на основе вольфрама, сокращая цикл исследований и разработок на 50%. Генеративно-состязательные сети (GAN) оптимизируют геометрию нити накала и повышают эффективность излучения на 15%.

Интеллектуальная работа: система управления AI анализирует состояние нити накала (температура, ток, вакуум) в режиме реального времени, адаптивно регулирует параметры и продлевает срок службы на 30%. В SEM искусственный интеллект оптимизирует траекторию луча и повышает разрешение на 10%.

Анализ больших данных: платформа IoT собирает глобальные данные о работе электронной пушки, анализирует режимы отказа нити накала и улучшает конструкцию. Например, анализ данных показал, что 80% отказов нитей вызваны окислением поверхности, что послужило толчком к разработке нового покрытия (оксид тория + графен), увеличивающего срок службы на 40%.

Междоменные приложения: ИИ в сочетании с вольфрамовыми нитями поддерживает автоматизированное производство (например, ЕВМ, точность $\pm 0,05$ мм) и интеллектуальную диагностику (например, компьютерную томографию, разрешение $< 0,1$ мм).

К числу проблем относятся высокая стоимость разработки алгоритмов ИИ и проблемы конфиденциальности данных. В будущем необходимо создать платформу открытых данных, чтобы снизить стоимость обучения алгоритмов на 50%.

6.4.3 Применение в космосе и экстремальных условиях

Вольфрамовые нити обладают большим потенциалом для применения в экстремальных условиях, таких как космические двигатели, исследование планет и ядерный синтез. Ниже

приведены тенденции развития:

Космические двигатели: Вольфрамовые нити используются в качестве источников электронов для ионных двигателей, обеспечивая стабильный ток 5-10 мА, тягу 0,1 Н и срок службы >20 000 часов. Нити, легированные рением, устойчивы к космическому излучению ($>10^6$ рад), а покрытия из оксида циркония увеличивают стойкость к окислению на 50%. В будущем они будут поддерживать исследование дальнего космоса (например, миссии к Юпитеру).

Планетарные исследования: Микроскопические вольфрамовые нити (диаметр 0,05 мм) используются в портативных масс-спектрометрах для анализа марсианского грунта с разрешением 10^{-6} Да. Наноструктурированные нити выдерживают перепады температур от -100 до 100°C и имеют срок службы 5000 часов.

Ядерный синтез: вольфрамовые нити генерируют электронный ток 50-100 мА в токамаках, приводят в движение плазму (1 кэВ) и выдерживают 3000°C и нейтронное излучение. Композиты из вольфрама и карбида вольфрама повышают радиационную стойкость на 30% для поддержки экспериментов ИТЭР.

Адаптация к экстремальным условиям: разработка самовосстанавливающихся нитей (встраиваемых в нанокапсулы, высвобождающих оксиды для ремонта трещин), срок службы увеличен на 50%. Технология вакуумной сварки (10^{-10} Па) обеспечивает стабильность производительности.

К числу проблем относятся затраты на испытания в экстремальных условиях (>1 миллион долларов США за испытание) и стабильность материалов. В перспективе необходимо разработать платформу для имитационных испытаний (стоимость снижена до \$100 000) и многофункциональные композитные нити для удовлетворения разнообразных потребностей.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696
Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com



CTIA GROUP LTD Электронно-лучевая вольфрамовая нить

1

CTIA GROUP LTD

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Electron Beam Tungsten Filaments Introduction

1. Overview of Electron Beam Tungsten Filaments

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

2. Features of Electron Beam Tungsten Filaments

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

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

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

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

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

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

3. Some Types of Electron Beam Tungsten Filaments

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

4. Purchasing Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696
Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Глава 7 Стандарты и спецификации на электронно-лучевые вольфрамовые нити

Электронно-лучевые вольфрамовые нити напрямую влияют на их применение в высокоточном оборудовании, таком как сканирующие электронные микроскопы (СЭМ), рентгеновские трубки и оборудование для электронно-лучевой сварки. Разработка и внедрение стандартов обеспечивают постоянство и высокое качество вольфрамовых нитей с точки зрения свойств материала, производственных процессов, методов испытаний и защиты окружающей среды. В этой главе подробно обсуждаются национальные стандарты (GB), международные стандарты (ISO), американские стандарты (ANSI), другие международные и отраслевые стандарты, а также внедрение и сертификация стандартов, анализируются их конкретные применения в производстве, испытаниях и интернационализации вольфрамовых нитей, а также приводится стандартизированное руководство для отрасли.

7.1 Национальные стандарты (GB)

Национальные стандарты Китая (GB/T) содержат подробные спецификации материалов, испытаний и производства вольфрамовых нитей, чтобы гарантировать их производительность и надежность в электронных пушках и вакуумных электронных устройствах. В данном разделе обсуждаются конкретные требования и применение соответствующих национальных стандартов.

7.1.1 Стандарты, относящиеся к GB/T (например, стандарты на вольфрам и вольфрамовые сплавы)

Национальный стандарт на материалы из вольфрама и вольфрамовых сплавов содержит основные рекомендации по сырью и подготовке вольфрамовых нитей, в основном включающий следующие стандарты:

GB/T 4181-2017 Стержни из вольфрама и вольфрамовых сплавов: Этот стандарт определяет химический состав, механические свойства, допуски на размеры и качество поверхности стержней из вольфрама и вольфрамовых сплавов (www.tungsten-alloy.com). Чистота вольфрама должна составлять $\geq 99,95\%$, содержание примесных элементов (таких как железо и никель) – $< 0,01$ мас.%, а легирующие элементы (такие как калий, алюминий, рений) должны иметь четкую маркировку (0,005-5 мас.%). Прочность стержня на разрыв составляет ≥ 800 МПа, относительное удлинение при разрыве – $\geq 2\%$, а шероховатость поверхности Ra – $\leq 0,8$ мкм. Вольфрамовые нити для электронных пушек обычно получают из стержней, соответствующих этому стандарту, чтобы обеспечить однородную структуру зерна (размер 2-5 мкм) и высокую температурную стабильность (температура плавления 3422°C).

GB/T 4192-2017 Вольфрамовая проволока: специально для производства и производительности вольфрамовой проволоки, диапазон диаметров составляет 0,01-2 мм, допуск составляет ± 1 микрон, а на поверхности нет трещин, оксидов или масляных пятен. Вольфрамовая проволока должна иметь стабильное удельное сопротивление (50-60 $\mu\text{Ом}\cdot\text{см}$) при 2500°C и плотность тока тепловой электронной эмиссии ≥ 1 А/см². Стандарт также

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа CTIAQCD -MA-E/P 2024 версия CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

требует водородного отжига (1200-1600°C) после волочения для устранения внутренних напряжений и коэффициента разрушения $<0,1\%$. Данный стандарт применим к вольфрамовым нитям для СЭМ и рентгеновских трубок для обеспечения однородности излучения (отклонение тока $<1\%$).

GB/T 3459-2017 Методы химического анализа вольфрама и вольфрамовых сплавов: определяет методы обнаружения примесных элементов в вольфраме, такие как оптико-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES, точность $\pm 0,001$ мас.%) и атомно-абсорбционная спектроскопия (AAS). Стандарт требует детектирования легирующих элементов, таких как калий (0,01-0,05 мас.%) и алюминий (0,005-0,02 мас.%) для обеспечения постоянства химического состава и удовлетворения требований к эксплуатационным характеристикам катода электронной пушки.

Эти стандарты обеспечивают стабильность вольфрамовых нитей при высоких температурах (2500-2800°C) и высоком вакууме (10^{-7} Па) за счет регулирования сырья и процессов подготовки. Например, при производстве ПЭМ вольфрамовые нити, соответствующие стандарту GB/T 4192, обеспечивают 10^7 А/см². Яркость SR, срок службы 1000 часов и постоянство партии $>99\%$.

7.1.2 Стандарты испытаний и оценки катодных материалов электронной пушки

Стандарты испытаний катодных материалов электронных пушек гарантируют, что электрические, тепловые и эмиссионные характеристики вольфрамовых нитей соответствуют требованиям применения, в основном включая:

GB/T 15065-2016 Методы испытаний катодных материалов для электронных устройств: Этот стандарт определяет методы испытаний на эффективность, удельное сопротивление и срок службы тепловой электронной эмиссии. Испытание на эффективность излучения проводится в вакуумной камере с давлением 10^{-7} Па, а плотность тока измеряется с помощью пикаперметра (точность $\pm 0,1$ мкА), которая должна составлять ≥ 3 А/см² при 2600°C. Удельное сопротивление измеряется четырехзондовым методом с точностью $\pm 0,1$ мΩ·см, и должно составлять 50-60 мОм·см при 2500°C. В ресурсных испытаниях используется ускоренное старение (2700°C, 1000 часов), требующее ослабления выбросов $<5\%$. Стандарт также требует определения морфологии поверхности (SEM, Ra $<0,05$ мкм) и структуры зерен (EBSD, размер 2-4 мкм).

GB/T 27947-2011 Оценка катодных характеристик вакуумных электронных устройств: Для термической стабильности, стойкости к окислению и механических свойств вольфрамовых нитей определены испытания на высокотемпературный цикл (20-2600°C, 1000 раз, скорость растрескивания $<1\%$) и испытание на стойкость к окислению (10^{-5} Па, 1000 часов, толщина слоя оксида $<0,1$ микрона). Испытания на механические характеристики включают прочность на разрыв (≥ 400 МПа, 2500°C) и удлинение при разрыве ($\geq 5\%$). Стандарт

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

распространяется на катоды для СЭМ, ПЭМ и рентгеновских трубок.

Эти стандарты обеспечивают эксплуатационные характеристики нити накала благодаря количественным методам испытаний. Например, в EBL нити накаливания, соответствующие стандарту GB/T 15065, обеспечивают стабильный ток 10 нА и ширину луча <5 нм, что соответствует требованиям производства чипов узлов с длиной волны 7 нм. Данные испытаний должны быть занесены в отчет о качестве для ознакомления с клиентами и регулирующими органами.

7.1.3 Технические условия на изготовление и приемку вакуумных электронных устройств

Стандарты производства и приемки вакуумных электронных устройств регулируют интеграцию и проверку рабочих характеристик вольфрамовых нитей в электронных пушках, в основном, включая:

GB/T 9383-2008 Общие технические условия для вакуумных электронных устройств: определяет производственный процесс, точность сборки и эксплуатационные характеристики электронных пушек. Для этого требуется точность фиксации нити накала ± 1 мкм, допуск на расстояние между электродами — $\pm 0,01$ мм, а также равномерность электрического поля (отклонение <1%). Эксплуатационные испытания включают стабильность тока излучения (флуктуации <1%), частоту возникновения дуги (<0,01%) и степень вакуума (10^{-7} Па). Стандарт также требует высокотемпературного запекания (400°C, 24 часа) для удаления остаточного газа и продления срока службы нити на 20%.

GB/T 11109-2010 Приемочные технические условия для электронной пушки: определяет процесс приемочных испытаний, включая яркость излучения (10^5 - 10^8 А/см²· ср), фокусировку луча (ширина луча <5 нм) и срок службы (500-2000 часов). Испытательное оборудование должно быть откалибровано (например, инфракрасный термометр с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$), а данные должны соответствовать нормальному распределению ($\sigma < 5\%$). Стандарт распространяется на СЭМ, рентгеновские трубки и микроволновые трубки.

Электронные пушки с вольфрамовой нитью через строгие процессы производства и приемки. Например, в производстве компьютерного оборудования электронные пушки, соответствующие стандарту GB/T 9383, обеспечивают рентгеновское излучение 120 кВ, разрешение изображения <0,5 мм и скорость прохождения >98%.

7.2 Международные стандарты (ISO)

Стандарты Международной организации по стандартизации (ISO) обеспечивают глобальные единые спецификации для материалов, испытаний и производственных условий для вольфрамовых нитей, способствуя международной торговле и техническому сотрудничеству. В этом разделе рассматривается конкретное применение соответствующих стандартов ISO.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

7.2.1 Материалы, относящиеся к ISO, и стандарты испытаний

Стандарты ISO по материалам и испытаниям регулируют характеристики и методы испытаний вольфрамовых нитей для обеспечения их универсальности на мировом рынке, в основном, включая:

ISO 6848:2015 Материалы электродов из вольфрама и вольфрамовых сплавов: Этот стандарт определяет химический состав, механические свойства и качество поверхности вольфрамовой проволоки и вольфрамового сплава. Чистота вольфрама должна быть $\geq 99,95\%$, легирующие элементы (такие как рений, 0,1-5 мас.%) должны быть четко обозначены, а содержание примесей должно составлять $< 0,01$ мас.%. Для механических свойств требуется прочность на разрыв ≥ 800 МПа и относительное удлинение при разрыве $\geq 2\%$. Требования к качеству поверхности – $Ra \leq 0,8$ мкм, без трещин и оксидов. Стандарт распространяется на электронные пушки и сварочные электроды, а методы испытаний включают ICP-OES (химический состав), испытание на растяжение (механические свойства) и SEM (морфологию поверхности).

ISO 11539:1999 Испытание катодных материалов для вакуумной техники: определяет методы испытаний на эффективность тепловой электронной эмиссии, удельное сопротивление и термическую стабильность. Для испытания на эффективность излучения требуется плотность тока ≥ 3 А/см² при 2600°C при 10^{-7} Па с точностью $\pm 0,1$ мА/см². При испытании удельного сопротивления используется метод четырех зондов с точностью $\pm 0,1$ мОм·см. Испытание на термическую стабильность включает в себя 1000 горячих и холодных циклов (20-2600°C) со скоростью растрескивания $< 1\%$. Стандарт распространяется на катоды для СЭМ, ПЭМ и рентгеновских трубок.

Производительность вольфрамовой нити благодаря глобально унифицированным методам испытаний. Например, при международном совместном производстве ПЭМ вольфрамовые нити, соответствующие стандарту ISO 6848, обеспечивают 10^7 А/см². Яркость SR с постоянством партии $> 99\%$, что соответствует требованиям к субангстремной визуализации.

7.2.2 Применение стандарта ISO 4618-2006 (Термины и определения материалов покрытий) к обработке поверхности вольфрамовых нитей

Стандарт ISO 4618-2006 определяет терминологию и классификацию материалов покрытий, а также содержит рекомендации по обработке поверхности вольфрамовых нитей (таких как покрытия из иттрия и оксида циркония). К основным областям применения относятся:

Терминология и классификация: Стандарт определяет тип покрытия (например, химическое осаждение из газовой фазы, CVD; физическое осаждение из газовой фазы, PVD), толщину (0,1-1 микрон) и функциональность (низкая рабочая функция, стойкость к окислению). Покрытия Yttria классифицируются как «функциональные керамические покрытия» со снижением рабочей функции с 4,5 эВ до 4,2 эВ и повышением эффективности излучения на

20%.

Технологические характеристики: требуется однородность покрытия (отклонение толщины <5%), адгезия (скорость отслаивания <1%) и химическая стабильность (отсутствие разложения ниже 10^{-5} Па). Процесс CVD должен контролировать температуру осаждения (800-1200°C) и расход газа (0,1-1 л/мин), чтобы гарантировать, что размер зерна покрытия составляет <100 нм.

Методы испытаний: в том числе сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) для наблюдения за морфологией покрытия, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (ХПС) для анализа химического состава и испытание на четырехточечный изгиб для проверки адгезии. Стандарт требует, чтобы изменение рабочей функции покрытия составляло <0,1 эВ после 1000 часов работы при 2600°C.

При электронно-лучевой сварке нити с покрытием из оксида циркония в соответствии со стандартом ISO 4618 увеличивают плотность тока излучения на 20% и продлевают срок службы на 25%, что соответствует высоким требованиям к мощности (60 кВт). Стандарт способствует международному обмену технологиями нанесения покрытий за счет унификации терминологии и методов испытаний.

7.2.3 Внедрение ISO 14001 (Система экологического менеджмента) в производство

Стандарт ISO 14001:2015 обеспечивает основу системы экологического менеджмента для производства вольфрамовых нитей для снижения воздействия на окружающую среду и соблюдения международных норм. Основное содержание реализации включает в себя:

Экологические цели: Требовать, чтобы выбросы углерода при производстве вольфрамовых нитей составляли менее 6 кг CO₂/кг, выбросы отходов жидкости были менее 1 л/кг, а утилизация отходов превышала 95%. Например, плазменно-дуговое плавление снижает потребление энергии на 30% (до 5 кВтч/кг), а химическое восстановление восстанавливает вольфрам с чистотой 99,9%.

Оптимизация процесса: вместо травления используется электрохимическая полировка, что снижает выбросы отработанных жидкостей на 80%. Электрофильтры собирают вольфрамовую пыль (размер частиц <10 мкм) с коэффициентом восстановления 98%, что соответствует предельно допустимой концентрации (5 мг/м³). Вакуумное спекание (1500°C) снижает потребление энергии на 20% и снижает выбросы парниковых газов.

Оценка соответствия: Ежегодные экологические аудиты необходимы для проверки выхлопных газов (SO₂ <50 мг/м³), сточных вод (pH 6-9) и шума (<85 дБ). Компании обязаны разрабатывать планы действий в чрезвычайных ситуациях на случай утечек химических веществ или загрязнения пылью, время реагирования которых составляет <30 минут.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Процесс сертификации: Чтобы получить сертификат ISO 14001, вам необходимо представить план экологического менеджмента, данные мониторинга и отчеты об улучшении. Органы по сертификации (такие как SGS) проводят аудиты на местах для обеспечения соответствия стандартам.

При производстве вольфрамовых нитей внедрение стандарта ISO 14001 позволило снизить углеродный след на 20%, снизить затраты на утилизацию отходов на 30% и соответствовать нормам ЕС RoHS и REACH. Компания повысила свою конкурентоспособность на рынке за счет «зеленого» производства, а ее экспортные заказы увеличились на 15%.

7.3 Американский стандарт (American Standard)

Американские стандарты (ASTM, ASME, SAE) обеспечивают высокоточные спецификации материалов, производства и применения вольфрамовых нитей, которые широко используются на рынке Северной Америки и в высокотехнологичном оборудовании по всему миру. В этом разделе обсуждаются конкретные требования соответствующих американских стандартов.

7.3.1 Стандарты ASTM (например, ASTM B387 Стержни из вольфрама и вольфрамовых сплавов)

ASTM B387-18 является международным авторитетным стандартом для стержней из вольфрама и вольфрамовых сплавов, которые широко используются при изготовлении нитей электронной пушки. К основным требованиям можно отнести:

Химический состав: чистота вольфрама $\geq 99,95\%$, примесные элементы (такие как железо, никель) $< 0,01$ мас.%, легирующие элементы (такие как рений, калий) должны быть четко обозначены (0,005-5 мас.%). Требуется испытание ИСП-OES с точностью до $\pm 0,001$ мас.%.

Механические свойства: прочность на разрыв ≥ 800 МПа (комнатная температура), ≥ 400 МПа (2500°C), относительное удлинение при разрыве $\geq 2\%$. Скорость ползучести при высоких температурах $< 0,01\%/ч$ (2600°C). Испытание проводилось с использованием универсальной испытательной машины с точностью до $\pm 0,1$ МПа.

Размеры и поверхность: диаметр стержня 0,5-50 мм, допуск $\pm 0,01$ мм, шероховатость поверхности $Ra \leq 0,8$ мкм, без трещин, включений и оксидов. Поверхность верифицирована с помощью оптической микроскопии (1000x) и ультразвукового контроля (С-скан).

Сценарии применения: Стандарт распространяется на сырье для вольфрамовой проволоки для СЭМ, ПЭМ и рентгеновских трубок. Например, стержень, соответствующий стандарту ASTM B387, вытягивается в вольфрамовую проволоку толщиной 0,2 мм с плотностью тока излучения 3 А/см² и сроком службы 1000 часов.

При производстве SEM в Северной Америке стандарт ASTM B387 гарантирует, что консистенция партии вольфрамовой нити составляет $>99\%$, а яркость - $10^6 \text{ A/cm}^2 \cdot \text{SR}$, отвечающий потребностям визуализации с высоким разрешением. Стандарт также требует от поставщиков предоставления сертификатов на материалы, в которых фиксируется химический состав и данные испытаний.

7.3.2 Применение стандартов ASME при изготовлении электронных пушек

Стандарт Американского общества инженеров-механиков (ASME) содержит спецификации для производства и контроля качества электронных пушек, которые подходят для оборудования высокой надежности. В основном включают в себя:

ASME Y14.5 -2018 Геометрические размеры и допуски (GD&T): определяет допуск на размеры, а также допуск по форме и положению компонентов электронной пушки. Точность фиксации нити составляет $\pm 1 \text{ мкм}$, допуск на расстояние между электродами — $\pm 0,01 \text{ мм}$, отклонение округлости — $<0,005 \text{ мм}$. Для проверки и обеспечения равномерности электрического поля (отклонение $<1\%$) требуется использовать координатно-измерительную машину (КИМ, точность $\pm 0,5 \text{ мкм}$).

ASME B46.1 -2019 Качество поверхности: Требуется шероховатость поверхности нити $Ra \leq 0,05 \text{ мкм}$, поверхность электрода $Ra \leq 0,02 \text{ мкм}$, а также снижает дуговой разряд (падение $<0,01\%$). Испытания проводятся с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ, точность $\pm 1 \text{ нм}$) и лазерного интерферометра.

Пример применения: При производстве рентгеновских трубок ASME Y14.5 обеспечивает точность расстояния между нитью накала и мишенью ($<10 \text{ мм}$) составляет $\pm 0,01 \text{ мм}$, ток излучения составляет 5 мА , а разрешение изображения составляет $<0,5 \text{ мм}$. ASME B46.1 снижает риск образования дуги на 50% за счет оптимизации качества поверхности.

Эти стандарты обеспечивают производительность и надежность электронной пушки благодаря высокоточным производственным спецификациям. Поставщики должны предоставлять отчеты об испытаниях, которые соответствуют ASME и требованиям сертификации FDA и CE.

7.3.3 Стандарты SAE (если применимо к электронно-лучевой сварке)

Стандарт Американского института аэронавтики и астронавтики (SAE) содержит спецификации на вольфрамовые нити, используемые в электронно-лучевой сварке (EBW), что обеспечивает высокое качество аэрокосмических компонентов. В основном включает в себя:

SAE AMS 2680C -2020 Спецификация электронно-лучевой сварки: определяет характеристики нити, качество луча и процесс сварки. Ток излучения нити накала должен составлять $10\text{-}100 \text{ мА}$ с колебаниями $<2\%$ и яркостью $10^6 \text{ A/cm}^2 \cdot \text{sr}$. Для фокусировки луча

требуется ширина луча $<0,1$ мм. При сварке титанового сплава (толщина 50 мм) ширина сварного шва составляет <1 мм, а зона термического влияния – $<0,5$ мм. Степень вакуума должна достигать 10^{-5} Па, чтобы предотвратить окисление.

Методы испытаний: в том числе испытание на стабильность луча (1000 часов, отклонение тока $<1\%$), испытание на долговечность (1000 часов, затухание излучения $<5\%$) и контроль качества сварных швов (рентгеновская дефектоскопия с коэффициентом дефектов $<0,1\%$). Стандарт требует использования инфракрасного термометра (точность $\pm 5^{\circ}\text{C}$) и пикоамперметра (точность $\pm 0,1$ μA).

Сценарий применения: В производстве авиационных двигателей нити, соответствующие стандарту SAE AMS 2680C, генерируют электронные пучки мощностью 60 кВт для сварки лопаток турбины с прочностью сварного шва >1000 МПа и скоростью прохождения $>99\%$.

Вольфрамовые нити с высокоточной ВПВ благодаря строгим требованиям к производительности и технологическим процессам. Компаниям необходимо пройти сертификацию SAE, чтобы соответствовать стандартам качества аэрокосмических клиентов.

7.4 Другие международные и отраслевые стандарты

Японские (JIS), немецкие (DIN) и российские (ГОСТ) стандарты содержат региональные и отраслевые спецификации на вольфрамовые нити, дополняя глобальную систему стандартов. В этом разделе рассматриваются их конкретные требования и области применения.

7.4.1 Японский стандарт (JIS)

Японские промышленные стандарты (JIS) содержат высокоточные спецификации для материалов и производства вольфрамовых нитей, которые широко используются в электронной и полупроводниковой промышленности Японии. В основном они включают в себя:

JIS H 4461:2002 Проволока вольфрамовая и проволока из вольфрамового сплава: определяет химический состав (чистота $\geq 99,95\%$, примеси $< 0,01$ массы), размер (диаметр 0,01-2 мм, допуск ± 1 мкм) и эксплуатационные характеристики (прочность на разрыв ≥ 800 МПа, плотность тока излучения ≥ 1 А/см²) вольфрамовой проволоки. Для этого требуется водородный отжиг (1200-1600 $^{\circ}\text{C}$) для устранения напряжения и шероховатости поверхности $Ra \leq 0,8$ мкм. Стандарт распространяется на вольфрамовую проволоку для SEM и EBL.

JIS C 7709:1999 Катодные материалы для вакуумных электронных устройств: определяет методы испытаний на эффективность эмиссии (2600 $^{\circ}\text{C}$, ≥ 3 А/см²), термическую стабильность (1000 циклов, скорость растрескивания $<1\%$) и стойкость к окислению (10^{-5} Па, оксидный слой $<0,1$ микрона). Испытательное оборудование включает в себя вакуумную камеру (10^{-7} Па) и пикоамперметр (точность $\pm 0,1$ мкА).

Сценарий применения: В японском производстве полупроводникового оборудования вольфрамовые нити, соответствующие стандарту JIS H 4461, обеспечивают стабильный ток 10 нА и ширину луча <5 нм, что соответствует требованиям литографии чипов узлов 7 нм. Стандарт JIS обеспечивает производительность нитей накаливания в высокотехнологичном оборудовании благодаря высоким требованиям к точности.

7.4.2 Немецкий стандарт (DIN)

Немецкий промышленный стандарт (DIN) содержит строгие требования к материалам и испытаниям вольфрамовых нитей, которые подходят для высоконадежного оборудования на европейском рынке. В основном это включает в себя:

DIN 17672:1985 Материалы из вольфрама и вольфрамовых сплавов: определяет химический состав (чистота $\geq 99,95\%$), механические свойства (прочность на разрыв ≥ 800 МПа, удлинение при разрыве $\geq 2\%$) и качество поверхности ($Ra \leq 0,8$ микрона) вольфрамовой проволоки. Требуется обнаруживать примеси методом рентгенофлуоресценции (РФА) с точностью до $\pm 0,001$ мас.%. Стандарт распространяется на вольфрамовую проволоку для рентгеновских трубок и микроволновых трубок.

DIN EN 60695-2-10:2021 Катодные испытания электронных устройств: определяет методы испытаний на эффективность излучения (2600°C , ≥ 3 А/см²), удельное сопротивление (50-60 $\mu\text{Ом}\cdot\text{см}$) и срок службы (1000 часов, затухание излучения <5%). Требуются испытания на цикл высоких температур (20-2600 $^\circ\text{C}$, 1000 раз) и испытания на стойкость к окислению (10^{-5} Па, 1000 часов).

Сценарий применения: В немецком производстве медицинского оборудования вольфрамовые нити, соответствующие DIN 17672, генерируют поток электронов 5 мА, производят рентгеновское излучение 120 кВ и имеют срок службы 2000 часов, удовлетворяя потребности компьютерной томографии. Стандарт DIN обеспечивает конкурентоспособность нитей накаливания на европейском рынке благодаря высоким требованиям к надежности.

7.4.3 Русский стандарт (ГОСТ)

Российский государственный стандарт (ГОСТ) предоставляет технические условия на вольфрамовые нити, пригодные для экстремальных сред и широко применяемые в российской аэрокосмической и атомной промышленности. В основном они включают в себя:

ГОСТ 19671-91 Проволока вольфрамовая и проволока из вольфрамового сплава: указывает химический состав (чистота $\geq 99,95\%$, легирующие элементы 0,005-5 мас.%), размер (диаметр 0,01-2 мм, допуск ± 1 мкм) и эксплуатационные характеристики (прочность на разрыв ≥ 800 МПа, плотность тока излучения ≥ 1 А/см²) вольфрамовой проволоки. Поверхность должна быть без трещин и $Ra \leq 0,8$ мкм. Стандарт распространяется на вольфрамовую проволоку для термоядерных установок.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

ГОСТ 25852-83 Технические условия на катоды вакуумных электронных устройств: определяет методы испытаний на эффективность излучения (2600°C , $\geq 3 \text{ А/см}^2$), термическую стабильность (1000 циклов, коэффициент растрескивания $<1\%$) и радиационную стойкость (поток нейтронов 10^6 н/см^2 , ухудшение эксплуатационных характеристик $<5\%$). Испытание должно проводиться в вакуумной камере с давлением 10^{-8} Па .

Сценарий применения: В российском устройстве «Токамак» вольфрамовые нити, соответствующие ГОСТ 19671, генерируют электронный ток 50 мА, приводят в движение плазму с энергией 1 кэВ, имеют срок службы 1000 часов, выдерживают высокие температуры (3000°C) и радиацию. Стандарты ГОСТ обеспечивают надежность нитей накаливания в атомной отрасли за счет экстремальных экологических требований.

7.5 Внедрение и сертификация стандартов

Внедрение и сертификация стандартов гарантируют, что производство, испытания и экспорт вольфрамовых нитей соответствуют национальным и международным требованиям, повышая качество продукции и конкурентоспособность на рынке. В этом разделе рассматриваются вопросы применения стандартов, сертификации систем менеджмента качества и международного соответствия.

7.5.1 Применение стандартов в производстве и испытаниях

Применение стандарта при производстве и испытаниях вольфрамовых нитей охватывает сырье, процессы, эксплуатационные испытания и контроль качества, в основном включая:

Контроль сырья: В соответствии со стандартами GB/T 4181, ISO 6848 и ASTM B387 отбирают вольфрамовые стержни с чистотой $\geq 99,95\%$ и обнаруживают примеси (ICP-OES, точность $\pm 0,001 \text{ мас.}\%$) и легирующие элементы (калий 0,01-0,05 мас.%). Норма квалифицированного сырья должна достигать 99,5%.

Производственный процесс: Процесс волочения соответствует GB/T 4192 и JIS H 4461, допуск $\pm 1 \text{ микрон}$, коэффициент обрыва проволоки $<0,1\%$. Напряжение устраняется водородным отжигом ($1200\text{-}1600^{\circ}\text{C}$), а размер зерна контролируется с точностью до 2-4 мкм. Процесс нанесения покрытия (CVD, толщина оксида иттрия 0,1-1 мкм) соответствует ISO 4618, а отклонение однородности составляет $<5\%$.

Эксплуатационные испытания: В соответствии со стандартами GB/T 15065, ISO 11539 и DIN EN 60695 проверяются эффективность излучения (2600°C , $\geq 3 \text{ А/см}^2$), удельное сопротивление ($50\text{-}60 \text{ мОм}\cdot\text{см}$) и срок службы (1000 часов, затухание излучения $<5\%$). Испытательное оборудование должно быть откалибровано, а записи данных должны соответствовать требованиям ISO 9001.

Контроль качества: Статистический контроль процесса (SPC) используется для мониторинга ключевых параметров (таких как диаметр, удельное сопротивление и эмиссионный ток), а

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

также индекса возможностей процесса $Cp \geq 1.33$. Квалифицированный коэффициент отбора проб партий составляет $>98\%$, и неквалифицированные продукты должны быть изолированы и проанализированы по причинам (например, наблюдение за трещинами с помощью СЭМ).

При производстве филамента SEM внедрение стандарта улучшило стабильность продукта на 10%, снизило процент брака до 0,5% и повысило удовлетворенность клиентов на 15%. Компаниям необходимо установить стандартные операционные процедуры (СОП), чтобы обеспечить их соответствие на протяжении всего процесса.

7.5.2 Сертификация системы менеджмента качества (например, ISO 9001)

Сертификация системы менеджмента качества ISO 9001:2015 обеспечивает систематическую основу управления производством вольфрамовых нитей, повышая качество продукции и доверие клиентов. Основное содержание реализации включает в себя:

Цели в области качества: коэффициент квалификации продукции $\geq 98\%$, уровень жалоб клиентов $< 1\%$, а показатель своевременной доставки $\geq 95\%$. Например, отклонение тока излучения нити накаливания составляет $< 1\%$, а срок службы – 1000 часов.

Управление процессами: Создание полного управления процессами от закупки сырья до поставки готовой продукции, включая оценку поставщиков (коэффициент квалификации $>95\%$), мониторинг производства (SPC, $Cp \geq 1.33$) и записи об инспекциях (отслеживаемые в течение 5 лет). Ключевые процессы (такие как нанесение рисунка и нанесение покрытий) требуют 100% контроля.

Непрерывное совершенствование: Выявляйте возможности для улучшения с помощью отзывов клиентов и внутренних аудитов (два раза в год). Например, после анализа причины обрыва нити был оптимизирован процесс отжига (температура снижена на 50°C), а скорость разрыва снижена на 50%.

Процесс сертификации: Чтобы получить сертификат ISO 9001, вам необходимо предоставить руководство по качеству, документы по процедурам и отчеты об улучшении. Органы сертификации (такие как TÜV) проводят аудиты на местах для проверки согласованности процессов и целостности данных.

При производстве нитей для рентгеновских трубок сертификация ISO 9001 снижает процент брака на 20% и сокращает циклы поставок на 15%, а также признана международными клиентами (такими как GE и Philips). Компании обязаны проводить регулярные проверки (один раз в год) для обеспечения постоянного соответствия.

7.5.3 Экспорт продукции и соответствие международным стандартам

Вольфрамовые нити должны соответствовать стандартам и правилам целевого рынка для обеспечения международной конкурентоспособности. К основным требованиям можно

отнести:

Соответствие стандартам: Экспорт в Северную Америку должен соответствовать стандартам ASTM B387 и ASME Y14.5, ЕС должен соответствовать нормам ISO 6848 и REACH, а Япония должна соответствовать JIS H 4461. Продукция должна сопровождаться отчетами об испытаниях, соответствующими стандартам (таким как химический состав, эффективность выбросов) и переведенными на целевой язык рынка.

Требования к сертификации: Экспортируемые медицинские изделия требуют сертификации FDA или CE, включая биосовместимость (ISO 10993) и соответствие экологическим нормам (RoHS) нити. Аэрокосмическая промышленность требует сертификации AS9100 для обеспечения надежности нити в EBW (прочность сварного шва > 1000 МПа).

Соответствие торговым требованиям: соблюдение правил ВТО и требований к происхождению, предоставление экспортной лицензии и паспорта безопасности материала (MSDS, в соответствии с GB/T 16483). MSDS необходимо перечислить химический состав вольфрамовой нити (99,95% вольфрама), потенциальную опасность (вдыхание пыли) и безопасную эксплуатацию (ношение маски N95).

Анализ конкретного случая: CTIA GROUP LTD (<http://cn.ctia.group>) экспортирует нити SEM в ЕС в соответствии с ISO 6848 и REACH с яркостью 10^6 А/см²· ср, сроком службы 1000 часов и сертификацией CE, увеличивая долю рынка на 20%. Процесс экспорта занимает 6 месяцев, включая стандартное тестирование, подачу заявки на сертификацию и таможенное оформление.

К числу проблем относятся различия в стандартах на разных рынках (например, требования к допускам между ASTM и JIS) и высокие затраты на сертификацию (>100 000 долларов США). В будущем необходимо будет создать глобальную базу данных по стандартам, чтобы сократить циклы соблюдения требований на 30% и снизить затраты на 20% за счет многосторонних соглашений о сертификации.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и



CTIA GROUP LTD Электронно-лучевая вольфрамовая нить

Приложение

А. Глоссарий

Электронная пушка: устройство, которое использует катод для излучения электронов, ускоряет и фокусирует их с помощью электрического поля для формирования электронного пучка.

Катод: Электрод в электронной пушке, который излучает электроны, обычно изготовлен из термоэлектронного эмиссионного материала, такого как вольфрамовая нить.

Wehnelt Cylinder : Управляющий электрод в электронной пушке, который регулирует интенсивность и фокус электронов, испускаемых катодом .

Электронный пучок: Ускоренный и сфокусированный поток электронов, генерируемый электронной пушкой для визуализации, обработки или передачи энергии.

Яркость луча: плотность тока на единицу площади и телесный угол электронного пучка, выраженная в $A/cm^2 \cdot sr$.

Волочение проволоки: процесс, при котором вольфрамовые стержни растягиваются в тонкие проволоки через штамп.

Водородный отжиг: процесс термической обработки, при котором вольфрамовая проволока нагревается в водородной атмосфере для устранения внутренних напряжений и оптимизации структуры зерна.

Электрохимическая полировка: процесс, в котором используется электролит для удаления поверхностных дефектов на вольфрамовой проволоке и улучшения гладкости поверхности.

Химическое осаждение из газовой фазы (CVD): процесс нанесения функциональных покрытий (таких как оксид иттрия) на поверхность вольфрамовых нитей с помощью реакции в газовой фазе.

Легирование: процесс добавления микроэлементов (таких как калий, алюминий и рений) в вольфрамовые нити для улучшения их характеристик.

Термоэлектронная эмиссия: Явление, при котором катод нагревается таким образом, что электроны преодолевают рабочую функцию и улетучиваются в вакуум.

Рабочая функция: минимальная энергия, необходимая для того, чтобы электрон ушел с поверхности материала, измеряемая в эВ.

Вакуумное электронное устройство: устройство, которое использует поток электронов в вакуумной среде для усиления сигнала, визуализации или преобразования энергии.

Плотность эмиссионного тока: Электронный ток, излучаемый на единицу площади катода, в A/cm^2 .

Дуговой разряд: аномальное явление разряда, вызванное остаточным газом или поверхностными дефектами в вакуумной среде.

Размер зерна: Средний размер зерен в металлическом материале, измеряемый в микронах.

Прочность на разрыв: максимальное напряжение, которое материал может выдержать до разрушения при растяжении, измеряемое в МПа.

Шероховатость поверхности: Микроскопические геометрические характеристики поверхности материала, обычно выражаемые Ra (средняя шероховатость) в микронах.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и

Copyright© 2024 CTIA Все права защищены Тел: 0086 592 512 9696

Номер версии стандартного документа СПАQCD -МА-Е/Р 2024 версия СПАQCD -МА-Е/Р 2018- 2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Порошковая металлургия: Технология подготовки металлических материалов методом порошкового прессования, спекания и формования.

Высокотемпературная ползучесть: явление медленной деформации материалов при высокой температуре и непрерывном напряжении.

В. Ссылки

- [1] Китайский вольфрам, онлайн. Применение вольфрамовой нити в электронной пушке. 2023.
- [2] Plansee. Вольфрамовые нити для электронных пушек. 2022.
- [3] Материалы Toshiba. Усовершенствованные вольфрамовые сплавы. 2021.
- [4] CTIA GROUP LTD. Технология вольфрамовых нитей в электронно-лучевой сварке. 2024.
- [5] Международная ассоциация вольфрамовой промышленности. Технологии переработки вольфрама. 2023.
- [6] Китайский вольфрамовый онлайн. Оптимизация конструкции и производительности электронной пушки. 2022.
- [7] Журнал материаловедения. Вольфрам в качестве катодного материала. 2020.
- [8] Китайский вольфрамовый онлайн. Технология обработки поверхности вольфрамовой нитью. 2023.
- [9] Природа Нанотехнологии. Углеродные нанотрубки в качестве полевых излучателей. 2021.
- [10] Chinatungsten Online. Технология очистки вольфрамового порошка. 2022.
- [11] ASTM E1479 -16. Стандартная методика анализа размеров частиц. 2016.
- [12] Chinatungsten Online. Оптимизация эксплуатационных характеристик легированной вольфрамовой нити. 2023.
- [13] ИСО 9001:2015. Системы менеджмента качества. 2015.
- [14] Порошковая металлургия. Прессование вольфрамового порошка. 2019.
- [15] Китайский вольфрам, онлайн. Параметры процесса спекания вольфрама. 2022.
- [16] Журнал технологий обработки материалов. Вольфрамовая ковка. 2020.
- [17] Чинавольфрам Онлайн. Технология волочения вольфрамовой проволоки. 2023.
- [18] Материаловедение и инженерия. Отжиг вольфрама. 2021.
- [19] Чайनावольфрам, Онлайн. Технология контроля зерна. 2022.
- [20] Chinatungsten Online. Процесс намотки вольфрамовых нитей. 2023.
- [21] CTIA GROUP LTD. Автоматизированное намоточное оборудование. 2024.
- [22] Технология поверхностей и покрытий. Полировка вольфрамовой поверхности. 2020.

З а я в л е н и е о б а в т о р с к и х п р а в а х и ю р и д и ч е с к о й
о т в е т с т в е н н о с т и