Какой микроскоп вам больше подойдет? ПЭМ или СЭМ

Просвечивающие Электронные микроскопы (ПЭМ) и **сканирующие электронные микроскопы (СЭМ)** являются незаменимыми инструментами в современных научных исследованиях.

По сравнению с оптическими микроскопами электронные микроскопы обеспечивают более высокое разрешение, что позволяет наблюдать и изучать микроструктуру образцов в меньшем масштабе.

Разрешение оптических микроскопов находится только на уровне микрометра из-за ограничения длины волны света. Однако быстро движущиеся электроны обладают корпускулярно-волновым дуализмом, и важной характеристикой электронов как волн является их длина волны.

С увеличением ускоряющего напряжения длина волны электронов уменьшается. Используя более высокие ускоряющие напряжения, например 30 кВ, можно получить электроны с длиной волны примерно 7пм. Электронные микроскопы создаются путем использования электронов в качестве «света» и замены обычных оптических линз магнитными линзами.

Когда электроны взаимодействуют с твердым образцом, они производят ряд эффектов, включая наведенную электродвижущую силу, катодолюминесценцию, характеристическое рентгеновское излучение, обратно рассеянные электроны, оже-электроны, вторичные электроны, поглощенные электроны, прошедшие электроны и т. д. используя эту информацию, можно получить структурную информацию в микроскопическом масштабе.

Электронные микроскопы могут обеспечивать изображения с высоким разрешением и большим увеличением, используя взаимодействие между электронным лучом и образцом. Это позволяет исследователям получать важную информацию, которую может быть трудно получить другими методами.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) — это метод микроскопии, в котором используется сфокусированный электронный луч для создания детальных изображений поверхности образца. Электронный луч сканирует образец по растровой схеме, а результирующие сигналы, генерируемые взаимодействием электронного луча с поверхностью образца, обнаруживаются и используются для формирования изображения. СЭМ обеспечивает трехмерные изображения поверхности высокого разрешения и широко используется в различных областях, включая определение характеристик материалов, нанотехнологии и биологические исследования.

Сканирующий электронный микроскоп (SEM) сканирует поверхность образца сфокусированным электронным пучком и собирает сигналы, генерируемые в каждой точке, для построения увеличенного изображения пиксель за пикселем. Сканирующая катушка, расположенная под объективом, точно направляет пучок через поверхность образца в плоскости XY. В зависимости от увеличения (до 2 миллионов раз) пучок сканирует поле зрения в диапазоне от нескольких микрометров до миллиметров.

Типичные значения ускоряющего напряжения для СЭМ варьируются от 1 кВ до 30 кВ.

Более низкие значения ускоряющего напряжения обеспечивают более мягкий пучок электронов, что полезно для визуализации чувствительных к пучку и изолирующих образцов.

Вторичные электроны менее чувствительны к атомным номерам и лучше подходят для наблюдения топографии поверхности. В отличие от них, обратнорассеянные электроны (BSED) дают более сильные сигналы для образцов с большими атомными номерами, что делает их пригодными для визуализации состава.

Проникающая электронная микроскопия (TEM) позволяет проводить более глубокие наблюдения. Например, на ПЭМ-изображениях прокатанных сплавов TiAl отчетливо видны бездефектные равноосные зерна, представляющие собой рекристаллизованные зерна. Этот метод выявляет структуры материалов субмикронного масштаба, включая расположение дислокаций и характеристики границ зерен, которые необходимы для понимания механизмов рекристаллизации и оптимизации свойств материала

В **трансмиссионных электронных микроскопах (ТЭМ TX F-120 CIQTEK)** обычно используется ускоряющее напряжение от 30 до 300 кВ, что значительно выше напряжений, используемых в сканирующих электронных микроскопах (СЭМ), и позволяет получать изображения с более высоким разрешением.

ТЭМ с коррекцией аберраций могут достигать пространственного разрешения ниже 1 Å, что позволяет наблюдать очень мелкие детали, такие как расположение отдельных атомов внутри наночастиц.

TEM позволяет получать увеличенные изображения образца путем освещения его широким электронным пучком и регистрации прошедших электронов в одном кадре. В отличие от SEM, TEM не требует использования сканирующих катушек для наведения электронного пучка на образец . Вместо этого система освещения формирует широкий пучок.

Увеличение изображений, полученных с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ТЭМ), может превышать 50 миллионов раз и позволяет непосредственно визуализировать атомную структуру кристаллов. Однако для проведения исследований с помощью ТЭМ образцы должны быть очень тонкими, обычно менее 100 нанометров, чтобы электронный пучок мог пройти сквозь них.

Прошедшие через образец электроны, анализируемые в просвечивающем электронном микроскопе (ТЭМ), можно классифицировать по различным категориям, включая прямые и дифрагированные пучки, таким образом, имея режимы визуализации и дифракции. Промежуточная линза и объективная диафрагма, расположенные под образцом в режиме дифракции, могут быть отрегулированы для формирования изображений определенных дифракционных картин, что помогает понять кристаллическую структуру и дефекты образца.

Сканирующий просвечивающий электронный микроскоп (STEM) похож на электронный микроскоп (TEM), но оснащен дополнительными сканирующими катушками, детекторами и необходимыми схемами. В STEM электронный пучок фокусируется в небольшую точку (типичный размер пятна составляет от 0,05 до 0,2 нм), а затем сканируется по образцу с помощью сетчатого осветителя, при этом пучок, параллельный оптической оси, освещает каждую точку образца. **(опция для FIB SEM DB550 CIQTEK).**

При выборе подходящего метода электронной микроскопии для ваших нужд необходимо учитывать различные факторы, чтобы определить наиболее подходящий. Вот некоторые соображения, которые могут помочь вам принять решение:

Цель анализа:

Для разных типов анализа подходят разные методы электронной микроскопии.

а. Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) может быть более подходящим если интересуют характеристики поверхности образца, такие как шероховатость или обнаружение загрязнений .

б. Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ) может быть более подходящим, если вы хотите понять кристаллическую структуру образца или обнаружить структурные дефекты или примеси.

Требования к разрешению:

В зависимости от ваших требований к анализу у вас могут быть особые требования к разрешению. В этом отношении ТЕМ обычно имеет **более высокое разрешение возможности** по сравнению с SEM. Если вам необходимо получить изображения с высоким разрешением, особенно для наблюдения тонких структур, ПЭМ может оказаться более подходящим вариантом.

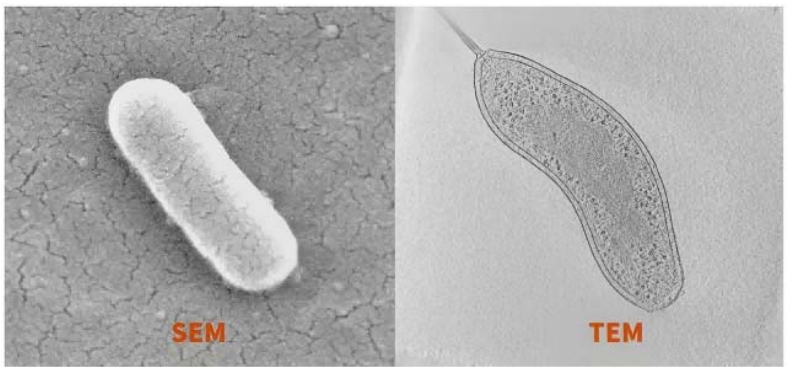
Подготовка образца:

Важным фактором электронной микроскопии является сложность подготовки образцов.

а. СЭМ образцы обычно требуют минимальной подготовки или не требуют никакой подготовки, а СЭМ обеспечивает большую гибкость в выборе размера образца, поскольку их можно устанавливать непосредственно на образец этап для визуализации.

б. Процесс подготовки образцов для ПЭМ гораздо более сложен и требует для работы опытных инженеров. образцы ПЭМ должны быть чрезвычайно тонкими, обычно менее 150 нм или даже менее 30 нм, и как можно более плоскими. Это означает, что подготовка образцов ТЭМ может потребовать больше времени и опыта.

Тип изображений:



а) Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) соответствующего задаче разрешения обеспечивает подробные трехмерные изображения морфологии поверхности образца, а Проникающий электронный микроскоп (ПЭМ) обеспечивает двухмерные проекционные изображения внутренней структуры образца.

б. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) подобно оптическому микроскопу обеспечивает получение двумерных изображений. ПЭМ позволяет наблюдать как поверхностный, так и внутренний слои образца, но не имеет трехмерного аспекта. Если вам нужно понять внутреннюю кристаллическую или атомную структуру материала, требуется ПЭМ.

Как правило, ПЭМ обеспечивает большее увеличение и требует более высокого вакуума. СЭМ может вместить образцы большего размера, с максимальным диаметром более 200 мм и высотой около 80 мм, тогда как образцы ПЭМ для наблюдения обычно размещаются на сетке диаметром около 3 мм.

Детекторы сканирующего электронного микроскопа

Сканирующий **электронный микроскоп (СЭМ)** — мощный инструмент для различных применений в материаловедении, биологических науках и других областях. Выбор подходящего детектора зависит от целей исследования и информации, которую необходимо получить.

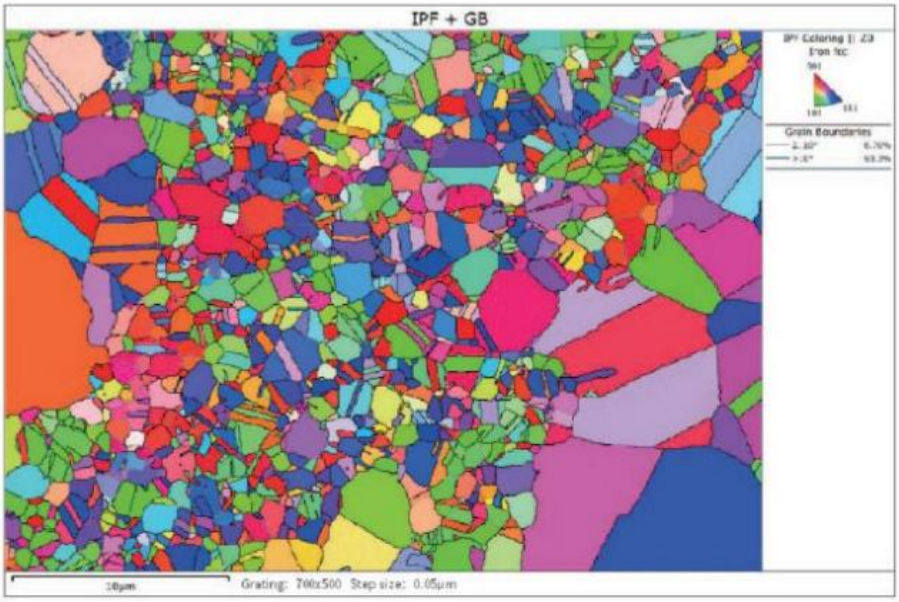
Для получения большего объема информации и повышения производительности СЭМ были разработаны различные типы детекторов:

- **Внутрилинзовый детектор электронов (In-lens Electron Detector):** в микроскопах CIQTEK - высокочувствительный детектор вторичных электронов, встроенный непосредственно в колонну линзы объектива сканирующих электронных микроскопов (СЭМ). Он предназначен для получения сверхчетких изображений морфологии поверхности на наномасштабе, особенно при низких ускоряющих напряжениях.
- **Детектор Эверхарта-Торнли (ETD)** в сканирующих электронных микроскопах (СЭМ) **CIQTEK** — это базовый внутрикамерный детектор вторичных электронов (SE), предназначенный для получения изображений топографии поверхности образцов.
- **Детектор обратнорассеянных электронов (BSED):** Детекторы BSE используются для обнаружения электронов, рассеянных ядрами атомов и элементов с высоким атомным номером в веществе. Детекторы BSE обеспечивают высококонтрастные изображения, которые могут быть использованы для анализа состава материалов и характеристики микроструктур.
- **Детектор вторичных электронов (SED):** Детектор SE используется для обнаружения вторичных электронов на поверхности материала, возбуждаемого сканирующим электронным пучком. Поскольку морфология поверхности и состав материала влияют на вторичные электроны, детектор ДВЭ обеспечивает изображение топографии поверхности с высоким разрешением.
- **Детектор просвечивающих электронов (TED):** Детекторы TED используются для обнаружения просвечивающих электронов, проходящих через тонкий слой материала и фокусирующихся на детекторе. Детекторы TED подходят для высокоточного анализа состава и структуры материалов, например, для характеризации наночастиц на атомном уровне.
- **Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (EDS):** Детекторы EDS используются для анализа элементного состава материалов. При взаимодействии сканирующего электронного пучка с образцом генерируются характеристические рентгеновские лучи, которые детектор ЭДС собирает и измеряет энергетический спектр, чтобы определить химический состав и распределение элементов в материале.
- **Детектор замедленного поля (RFD):** Детектор RFD используется для измерения заряда, переносимого электронами, генерируемыми на поверхности образца. Этот тип детектора очень полезен для изучения электропроводности и свойств поверхностного заряда материалов. (CIQTEK SEM 4000X).

Преимущества автоэмиссионного сканирующего электронного микроскопа (FE SEM):

- По сравнению с традиционным сканирующим электронным микроскопом (SEM), Электронный сканирующий микроскоп с полевой эмиссией (FE SEM) имеет более широкий спектр применения в области микромасштабных наблюдений и обеспечивает мощную поддержку научных исследований в области материаловедения, биологии, экологии и других областях
- FESEM предлагает такие преимущества, как более высокое разрешение, большая глубина резкости и более высокая стабильность сигнала.
- **Источник электронов:** FE SEM использует источник электронов с автоэлектронной эмиссией вместо параллельного источника электронов, используемого в SEM. Источник автоэмиссионных электронов имеет более высокую плотность электронного пучка и лучшую фокусировку, что приводит к более высокому разрешению, позволяя наблюдать более мелкие структуры образца.
- **Система электронной оптики:** FE SEM использует передовые системы электронной оптики, включая электромагнитные и электростатические линзы, для достижения более высокого качества изображения и большей стабильности сигнала.
- **Обнаружение сигнала:** FE SEM использует несколько методов обнаружения сигналов, таких как вторичные и обратно-рассеянные электроны, для получения обширной информации об образце.
- **Большая глубина резкости:** FE SEM имеет большую глубину резкости, что обеспечивает хорошее качество изображения во время наблюдений и облегчает наблюдение трехмерных структур образцов.
- **Высокая стабильность сигнала:** FE SEM демонстрирует высокую стабильность сигнала, обеспечивая стабильное изображение в течение длительных периодов наблюдения.
- **Обнаружение множественных сигналов:** FE SEM может использовать различные методы обнаружения сигналов, предоставляя обширную информацию об образцах и предлагая больше доказательств для анализа и исследований.
- **Подготовка проб:** Подготовка проб для FE SEM относительно проста и требует лишь мягкой обработки поверхности для обеспечения проводимости, что снижает сложность и стоимость подготовки проб.

Применение режима EBSD в сканирующей электронной микроскопии



Дифракция обратного рассеяния электронов (EBSD) — широко используемый метод электронной микроскопии в материаловедении. Он анализирует углы и разности фаз обратно рассеянных электронов, возникающих при взаимодействии образца с пучком электронов высокой энергии, для определения ключевых характеристик, таких как кристаллическая структура и ориентация зерен. По сравнению с традиционной сканирующей электронной микроскопией (SEM), режим EBSD обеспечивает более высокое пространственное разрешение и позволяет получать кристаллографические данные на субмикронном уровне, предлагая беспрецедентную детализацию для анализа микроструктур материалов.

Дифракция обратного рассеяния электронов (EBSD) объединяет возможности микроанализа **просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ / ПЭМ)** и возможности статистического анализа большой площади рентгеновской дифракции. Метод EBSD известен своим высокоточным анализом кристаллической структуры, быстрой обработкой данных, простым процессом подготовки образцов и способностью объединять кристаллографическую информацию с микроструктурной морфологией в исследованиях по материаловедению. Сканирующий электронный микроскоп, оснащенный системой EBSD, не только предоставляет информацию о микроморфологии и составе, но и позволяет проводить микроскопический анализ ориентации, что значительно облегчает работу исследователей.

В сканирующей электронной микроскопии при взаимодействии электронного пучка с образцом возникают различные эффекты, включая дифракцию электронов на регулярно расположенных плоскостях кристаллической решетки. Эти дифракции формируют «картину Кикучи», которая не только содержит информацию о симметрии кристаллической системы, но и напрямую соответствует углу между кристаллическими плоскостями и кристаллографическими осями, с прямой связью с типом кристаллической системы и параметрами решетки. Эти данные могут быть использованы для идентификации кристаллических фаз с помощью техники EBSD, и для известных кристаллических фаз ориентация картины Кикучи напрямую соответствует ориентации кристалла.

Компоненты системы EBSD:

Для проведения EBSD-анализа необходим комплект оборудования, включающий Сканирующий Электронный микроскоп (SEM), оснащенный опциональной системой EBSD. Ядром системы является SEM, который производит пучок электронов высокой энергии и фокусирует его на поверхности образца. Аппаратная часть системы EBSD обычно включает чувствительную камеру CCD и систему обработки изображений. Камера CCD используется для захвата изображений обратно рассеянных электронов, а система обработки изображений используется для выполнения усреднения шаблонов и вычитания фона для извлечения четких шаблонов Кикучи.

Получение EBSD-паттернов Кикучи в SEM относительно просто. Образец наклоняется под большим углом относительно падающего электронного пучка для усиления сигнала обратного рассеяния, который затем принимается флуоресцентным экраном, подключенным к ПЗС-камере. EBSD можно наблюдать напрямую или после усиления и сохранения изображений. Программное обеспечение может калибровать паттерны для получения кристаллографической информации. Современные системы EBSD могут достигать высокоскоростных измерений и могут использоваться в сочетании с зондами энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS) для выполнения композиционного анализа при быстром получении информации об ориентации образца.

Принципы подготовки образцов для EBSD

Для эффективного анализа EBSD подготовка образца должна соответствовать определенным принципам, включая отсутствие остаточного напряжения, плоскую поверхность (механическая полировка), чистоту, подходящую форму и размер, а также хорошую проводимость. Процесс подготовки образца может включать ионное травление, полировку и другие этапы, чтобы гарантировать, что поверхность образца подходит для анализа EBSD.

Калибровка EBSD и сканирование поверхности

Калибровка является критически важным этапом в процессе анализа EBSD, гарантируя точное соответствие между узорами Кикучи и кристаллографическими параметрами. Сканирование поверхности является еще одним важным применением технологии EBSD, позволяя исследователям проводить обширный кристаллографический анализ на поверхности образца, тем самым получая полное представление о микроструктуре материала.

Применение SEM и EBSD при изучении ориентаций и свойств кристаллов

Определение и характеристики кристаллов:

Кристаллы - это материалы, образованные регулярным и периодическим расположением частиц (молекулы, атомы, ионы) в трехмерном пространстве. Кристаллы могут быть классифицированы на монокристаллы и поликристаллы. Образование кристаллов включает в себя процесс частиц, расположенных в обычном рисунке. Регулярное расположение частиц приводит к структурированной структуре внутри кристалла, что делает кристаллы твердыми веществами с определенной структурой решетки. Кристаллы демонстрируют регулярные геометрические формы, имеют фиксированные точки плавления и демонстрируют анизотропные свойства, такие как механическая прочность, теплопроводность и тепловое расширение. Кристаллы имеют распространенные по своей природе, и большинство твердых материалов, найденных в природе, представляют собой кристаллы. Газы, жидкости и аморфные материалы также могут трансформироваться в кристаллы в подходящих условиях.

Рентгеновская дифракция обычно используется для определения того, является ли материал кристаллом или нет.

Методы представления кристаллической ориентации:

Методы численного представления, такие как индексы Миллера и углы Эйлера, обеспечивают точные способы описания конкретных кристаллических плоскостей и направлений.

Методы графического представления, включая фигуры полюсов, обратные фигуры полюсов и функции распределения ориентации (ODF), обеспечивают интуитивные способы описания распределения ориентаций кристаллов в двумерном или трехмерном пространстве. Эти графические инструменты широко используются в материаловедении для анализа и интерпретации экспериментальных данных.

Применение TEM и EBSD в исследованиях рекристаллизации

Рекристаллизация — важное явление в материаловедении, которое включает восстановление микроструктуры материала после пластической деформации. Этот процесс имеет решающее значение для понимания свойств материала и оптимизации методов обработки.

Процессы рекристаллизации обычно инициируются термической обработкой или термической деформацией и включают естественное восстановление материалов после образования дефектов во время деформации. Дефекты, такие как дислокации и границы зерен, способствуют уменьшению свободной энергии системы при высоких температурах за счет перегруппировки и аннигиляции дислокаций, что приводит к образованию новых зеренных структур.

Дифракция обратного рассеяния электронов (**EBSD)** и Проникающая электронная микроскопия (**TEM**) — два классических метода визуализации, используемые в исследованиях рекристаллизации. EBSD анализирует распределение и процентное содержание рекристаллизованных зерен с использованием карты DefRex, хотя ограничения разрешения могут создавать проблемы с точностью. С другой стороны, ПЭМ обеспечивает прямое наблюдение субструктур материала, таких как дислокации, предлагая более интуитивную перспективу для исследований рекристаллизации.

Применение EBSD в исследованиях рекристаллизации

EBSD используется для определения того, подверглись ли зерна рекристаллизации, путем наблюдения за границами зерен. Например, на картах DefRex кованых сплавов TNM зерна, окруженные границами под большим углом, обычно считаются рекристаллизованными зернами. Этот метод предоставляет подробную информацию об ориентации зерен и типах границ зерен, помогая понять микроструктурные изменения во время рекристаллизации.

Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (ЭДС):

ЭДС — это аналитический метод, часто используемый вместе с СЭМ. Он обнаруживает характеристические рентгеновские лучи, испускаемые образцом при бомбардировке его электронным лучом. Энергия и интенсивность этих рентгеновских лучей предоставляют информацию об элементном составе образца. SEM EDS позволяет идентифицировать и количественно определять элементы, присутствующие в образце, предоставляя ценную информацию о его элементном составе и химических характеристиках.

Энергодисперсионный рентгеновский анализ (EDX): EDX — это еще один термин для EDS , который относится к анализу и исследованию образцов с использованием энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Он включает в себя обнаружение и анализ рентгеновских лучей, испускаемых образцом, которые несут информацию о присутствующих элементах и их концентрациях. SEM EDX — мощный инструмент для качественного и количественного элементного анализа, идентификации микроэлементов и картирования распределения элементов в образце.

Комбинация SEM и EDS/EDX предлагает несколько преимуществ и приложений:

1. Элементный анализ: SEM EDS/EDX позволяет проводить качественный и количественный элементный анализ образцов. Он может определить химический состав и распределение элементов внутри материала, включая микроэлементы.

2. Характеристика материала: Этот метод широко используется для характеристики различных материалов, таких как металлы, минералы, полимеры, керамика и биологические образцы. Он помогает определить элементный состав, наличие примесей и идентифицировать фазы или соединения в образце.

3. Анализ отказов: SEM EDS/EDX полезен при расследовании отказов и дефектов, связанных с материалами полупроводниками. Он может выявить причины неисправностей путем анализа элементного состава и выявления посторонних частиц или загрязнений.

4. Геологический анализ: SEM EDS/EDX широко используется в геологии для изучения состава и структуры горных пород, минералов и почвы. Он помогает идентифицировать минералы, изучать текстуру горных пород и анализировать геологические процессы.

5. Судебная медицина: SEM EDS/EDX играет решающую роль в судебно-медицинских расследованиях, помогая в анализе следов, таких как волокна, остатки огнестрельного оружия, сколы краски и осколки стекла. Это может помочь идентифицировать и сравнить материалы, найденные на месте преступления.

В целом, EDS/EDX в SEM — это мощный аналитический инструмент, сочетающий в себе визуализацию и элементный анализ. Он находит применение в различных областях, включая материаловедение, геологию, судебную медицину, анализ окружающей среды, биологию и археологию.

Режим низкого вакуума (CIQTEK SEM 3200 / SEM 4000Pro / SEM 5000SLV)

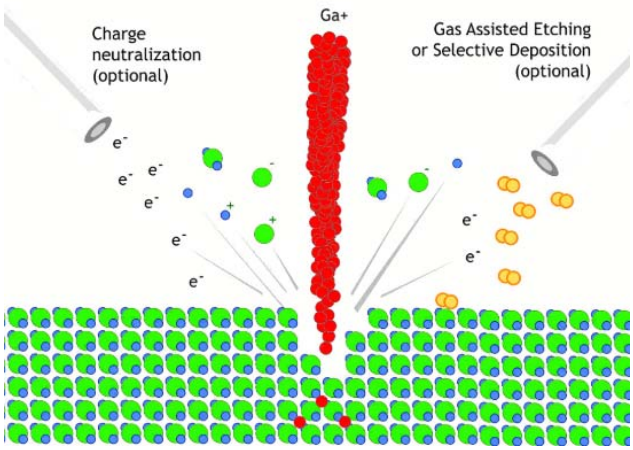
Микроскоп CIQTEK SEM3200 SEM: поддерживает двухступенчатый режим низкого вакуума: В диапазоне 5–180 Па сканирующий электронный микроскоп SEM3200 работает без ограничивающей апертуры, а при 180–1000 Па используется апертура PLA. Низкий вакуум помогает уменьшить накопление электрического заряда на поверхности непроводящих образцов при исследовании некоторых полимеров, керамических и композиционных материалов. При подходящих условиях такие образцы можно изучать без предварительного нанесения проводящего покрытия. Возможность зависит от свойств материала и требований к изображению. Специально разработанная вакуумная камера объектива минимизирует длину свободного пробега электронов в условиях низкого вакуума и поддерживает разрешение на уровне 3 нм при 30 кВ. Падающий электронный луч ионизирует молекулы воздуха на поверхности образца, генерируя электроны и ионы. Эти ионы нейтрализуют заряд поверхности, тем самым уменьшая эффект зарядки. Вторичная электронная эмиссия с поверхности образца ионизирует молекулы воздуха и одновременно генерирует электроны, ионы и фотоны.

Микроскоп CIQTEK SEM 4000Pro: В режиме низкого вакуума может быть достигнут диапазон 10-180 Па без апертуры, ограничивающей давление. Специально разработанная вакуумная камера объектива минимизирует длину свободного пробега электронов в условиях низкого вакуума и обеспечивает разрешение 1,5 нм при 30 кВ в режиме низкого вакуума. Падающий электронный луч ионизирует молекулы воздуха на поверхности образца, генерируя электроны и ионы. Эти ионы нейтрализуют заряд поверхности, тем самым уменьшая эффект зарядки. Вторичная электронная эмиссия с поверхности образца ионизирует молекулы воздуха и одновременно генерирует электроны, ионы и фотоны.

Генерируемые электроны дополнительно ионизируют другие молекулы воздуха. Низковакуумный детектор вторичных электронов (LVD) улавливает большое количество фотонных сигналов, образующихся при таком процессе.

Сканирующий электронный микроскоп с ионным пучком (FIB SEM DB550 CIQTEK)

Что такое сфокусированный ионный пучок (FIB)?



Технология Focused Ion Beam (FIB) стала неотъемлемой частью современных технологических достижений, особенно в производстве полупроводников и нанотехнологиях.

FIB представляет собой микрорежущий инструмент, который использует электромагнитные линзы для фокусировки ионного пучка на очень маленькой площади.

Технология FIB предполагает ускорение ионов из источника ионов (в большинстве FIB используется ионы Ga^+, но некоторые устройства имеют источники ионов He и Ne), а затем фокусировку пучка на поверхности образца.

Технология FIB разработана на основе обычных систем ионного пучка и сфокусированного электронного пучка и по сути является такой же.

По сравнению с обычными электронными микроскопами, пучками, FIB SEM микроскоп воздействует на поверхность образца с помощью ионного пучка, генерируемого источником ионов после ускорения и фокусировки. Поскольку ионы имеют гораздо большую массу, чем электроны, даже самые легкие ионы, такие как ионы H+, более чем в 1800 раз тяжелее электронов. Это позволяет ионному пучку не только достигать возможностей визуализации и экспозиции, аналогичных электронным пучкам, но и использовать тяжелую массу иона для распыления атомов с твердых поверхностей, что превращает FIB в инструмент для прямой обработки поверхностей.

Фокусированный ионный пучок (FIB) также может побуждать атомы осаждаться на поверхности материала образца, соединяясь с химическими газами. Поэтому FIB-микроскоп широко применяется в микро и нанопроизводстве.

Технология FIB находит широкий спектр применения, включая ионную имплантацию, фрезерование, поверхностную химию, литографию, микроанализ материалов и сканирующую ионную микроскопию.

Технология двухлучевого микроскопа является одним из инструментов, используемых в подготовке образцов для просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и может применяться для подготовки образцов для EBSD-анализа с нагревом in situ, подготовки образцов для испытаний на растяжение in situ, подготовки образцов для испытаний на растяжение в режиме пропускания in situ и подготовки образцов для испытаний под давлением in situ.

В области новых источников энергии эта технология может применяться в таких сценариях, как обработка поперечных сечений материалов батарей и характеризация микроморфологии, обеспечивая техническую поддержку исследований и разработок твердотельных батарей и оптимизации электродных материалов.

В сканирующем электронном микроскопе-наноманипуляторе FIB SEM DB550 CIQTEK наблюдение с помощью электронного пучка и обработка ионным пучком интегрированы на одной платформе, что позволяет последовательно выполнять на одном и том же устройстве цикл «наблюдение — позиционирование — обработка — повторное наблюдение».

Сканирующий электронный микроскоп с фокусированным ионным пучком (FIB-SEM) сочетает в себе точность фокусированного ионного пучка с высоким разрешением изображения сканирующего электронного микроскопа в единой интегрированной системе. В результате получается прибор, способный одновременно получать изображения, фрезеровать, резать поперечные сечения и изготавливать наноматериалы в наномасштабе.

Интегрированный вращающийся 4-осевой наноманипулятор для точности на уровне пикометра (опция)

FIB SEM DB550 оснащен встроенным наноманипулятором, использующим пьезоэлектрический керамический привод и интегрированное управление. Этот наноманипулятор обеспечивает совместную работу ионного и электронного пучков для извлечения образцов и манипуляций in situ.

FIB SEM DB550 также оснащен независимой системой подачи газа (GIS), которая поддерживает несколько источников газа и используется для таких процессов, как осаждение с помощью вспомогательных средств или травление