Сканирующий азотно-вакансионный микроскоп (SNVM)



Наномагнитный визуализирующий микроскоп

Сканирующий азотно-вакансионный микроскоп CIQTEK (SNVM) представляет собой передовой научно-аналитический инструмент, который сочетает в себе технологию оптического обнаружения магнитного резонанса (ODMR) алмазного азота-вакансии и технологию сканирования атомно-силового микроскопа (AFM), которая может реализовать количественная и неразрушающая магнитная визуализация магнитных образцов с высоким пространственным разрешением и высокой чувствительностью.

Эта комбинация может быть применена для исследования спинтроники, мультиферроиков, двумерных магнитных материалов, сверхпроводников и т. д.

Существует две версии: версия для окружающей среды и криогенная версия.

Технические характеристики SNVM:

Ключевые параметры	**SNVM (стандартная версия)**	**SNVM (криогенная версия)**
Магнитная чувствительность	≤ 2 мкТл/Гц 1/2	≤ 5 мкТл/Гц 1/2
Пространственное разрешение	от 10 до 30 нм	от 10 до 30 нм
Рабочая температура	300 K	от 2K до 300 K
Основные функции	Режим ISO-B, режим Dual-B, режим Full-B, режим гашения, режим AFM, режим MFM, режим CFM.	Режим ISO-B, режим Dual-B, режим Full-B, режим гашения, режим AFM, режим MFM, режим CFM.
Варианты магнитов	от 0 до 50 мТл	9/1/1 T

- Сверхвысокое пространственное разрешение 10–30 нм;
- Сверхвысокая чувствительность < 2мкТл/√Гц;
- Количественная неинвазивная магнитная томография;
- Высококачественный алмазный наконечник NV;
- Поддержка условий окружающей среды и низких температур и высокого вакуума.
- **Сканирующий NV-зонд**
  - Сканирующий NV-зонд с использованием массивов наностолбиков или одного наностолбика
  - Частота счета: ≥300 кГц
  - Контрастность: ≥20%
- **Конструкция зонда**
  - Маленький и компактный
  - Высокая прочность
  - Грузоподъемность
  - Высокая сейсмостойкость
- **Оптическое проектирование**
  - Прост в использовании
  - Легко расширяется
  - Высокая эффективность сбора флуоресценции
  - Широкое поле зрения

Аксессуары для SNVM:

- **Криогенная магнитно-резонансная томография высокого давления с оптическим детектированием (ODMR)**

Диапазон сканирования	300 мкм * 300 мкм
Давление	≥ 30 ГПа
Магнитная чувствительность	≤ 35 мкТ/√Гц
Пространственное разрешение	500 нм
Магнитное поле	9/1/1 Т
Метод охлаждения	Криогенный режим 1,5 Вт при 4 К
Диапазон температур	от 2 К до 300 К
Температурное разрешение	± 50 мК

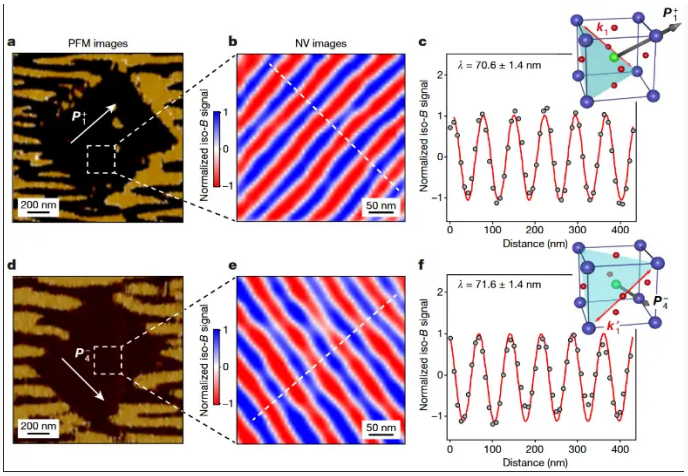
Область применения SNVM:

Сканирующий азотно-вакансионный микроскоп CIQTEK (SNVM) находит широкое применение во многих областях исследований, таких как химия, материаловедение, биология, медицина и т. д.

Мультиферроики:

Мультиферроики — это класс материалов с разнообразными сегнетоэлектрическими и ферромагнитными свойствами, которые имеют широкий спектр потенциальных применений в области хранения данных, сенсорных технологий, спинтроники и новых электронных устройств. Феррит висмута (BiFeO3), являющийся объектом исследований в области материаловедения, обладает антиферромагнетизмом, что затрудняет наблюдение его магнитных доменов.

CIQTEK SNVM, благодаря своей высокой чувствительности магнитных измерений, является новым инструментом, который может реализовать измерение антиферромагнитного порядка в реальном пространстве BFO, и подобные исследования могут быть распространены на другие идентичные системы, чтобы показать путь для развитие спинтроники.

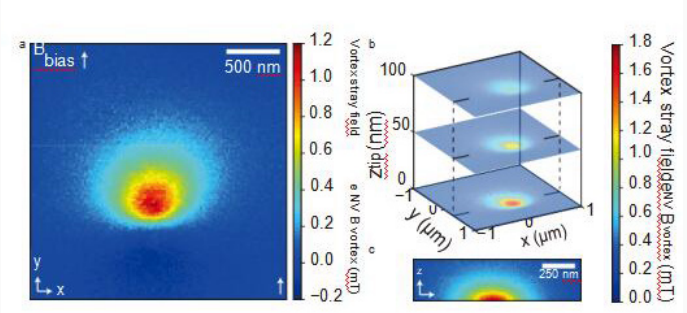


SNVM магнитная визуализация пленок BFO

Сверхпроводящие материалы:

Исследование микроскопических механизмов сверхпроводящих материалов является одной из основных тем современной физики конденсированного состояния и имеет решающее значение для изучения новых сверхпроводящих материалов. Вихри сверхпроводящего потока могут отражать основные параметры сверхпроводимости, такие как длина когерентности, глубина проникновения и симметрия сверхпроводящей энергетической щели.

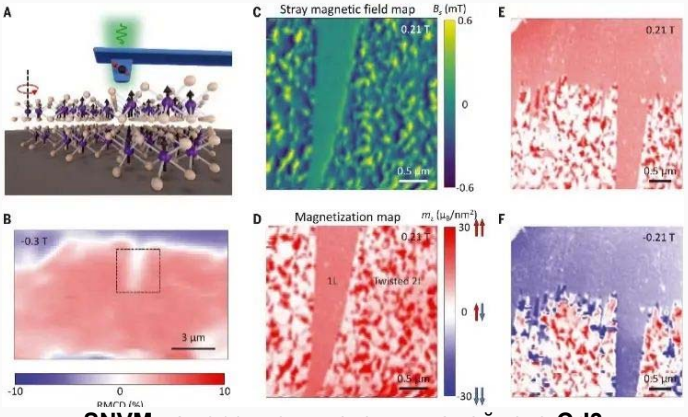
CIQTEK SNVM может реализовать высокое пространственное разрешение, высокую чувствительность, а также количественную и неразрушающую визуализацию вихревых потоков при очень низких температурах.



SNVM визуализация одиночного вихревого рассеянного магнитного поля

2D Магнитные материалы:

Благодаря слабой напряженности магнитного поля и низкой температуре перехода двумерных магнитных материалов, таких как CrI_3 и Fe_3GeTe_2 , - высокая чувствительность, высокое пространственное разрешение и экологическая совместимость, которыми обладает CIQTEK SNVM, хорошо подходят для измерений в этой области.



SNVM измерение витого двухслойного CrI3

Сканирующая зондовая микроскопия NV-центра в антиферромагнетизме – Применение квантового алмаза NV-AFM

Обычными свойствами железа являются ферромагнетизм, сегнетоэлектричество и сегнетоупругость. Материалы, обладающие двумя и более свойствами железа одновременно, называются мультиферроиками. Мультиферроики обычно обладают сильными свойствами связи с железом, т.е. одно свойство железа в материале может модулировать другое свойство железа, например, использование приложенного электрического поля для модуляции сегнетоэлектрических свойств материала и, таким образом, влиять на ферромагнитные свойства материала. Ожидается, что такие мультиферроики станут следующим поколением электронных спиновых устройств. Среди них широко изучаются антиферромагнитные материалы, поскольку они обладают хорошей устойчивостью к приложенному магнитному полю.

Антиферромагнетизм — это магнитное свойство материала, в котором магнитные моменты расположены в антипараллельном шахматном порядке и не обладают макроскопическим чистым магнитным моментом. Это магнитоупорядоченное состояние называется антиферромагнетизмом. Внутри антиферромагнетика спины соседних валентных электронов имеют тенденцию быть в противоположных направлениях, и магнитное поле не генерируется. Антиферромагнитные материалы относительно редки, и большинство из них существуют только при низких температурах, например, оксид железа, ферромарганцевые сплавы, никелевые сплавы, редкоземельные сплавы, редкоземельные бориды и т. д. Однако существуют также антиферромагнитные материалы при комнатной температуре, например BiFeO3, который в настоящее время находится на стадии горячих исследований.

Перспективы применения антиферромагнитных материалов.

Знания об антиферромагнетизме возникли главным образом благодаря развитию технологии рассеяния нейтронов, благодаря которой мы можем «видеть» расположение спинов в материалах и тем самым подтверждать существование антиферромагнетизма. Возможно, Нобелевская премия по физике вдохновила исследователей сосредоточиться на антиферромагнитных материалах, и ценность антиферромагнетизма постепенно стала изучаться.

Антиферромагнитные материалы менее подвержены ионизации и интерференции магнитных полей и имеют собственные частоты и частоты переходов состояний на несколько порядков выше, чем у типичных ферромагнетиков. Антиферромагнитное упорядочение в полупроводниках наблюдается легче, чем ферромагнитное упорядочение. Эти преимущества делают антиферромагнитные материалы привлекательным материалом для спинтроники.

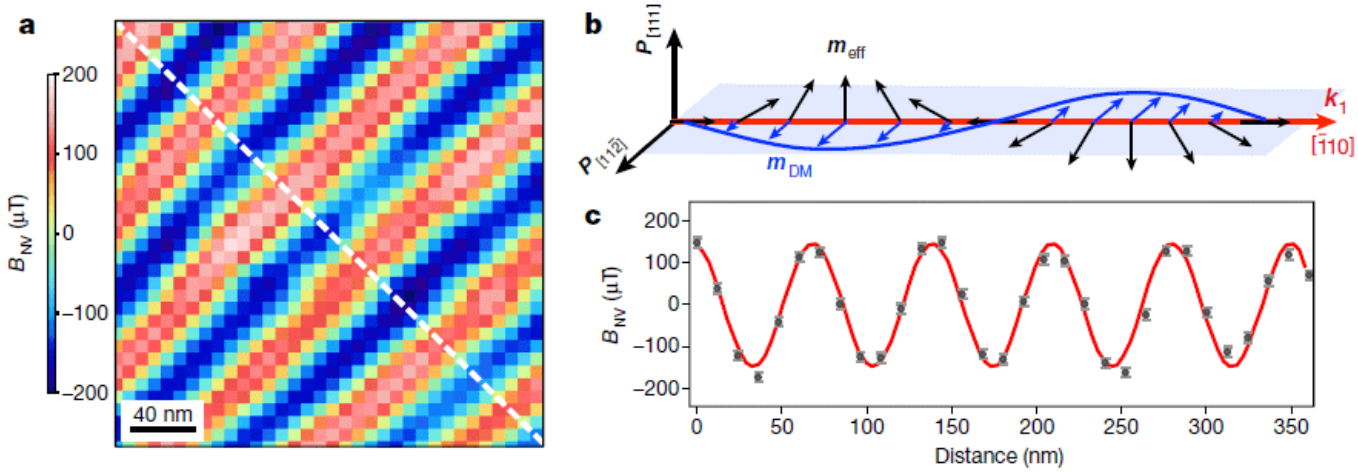
Новое поколение магнитной оперативной памяти использует электрические методы для записи и чтения информации на ферромагнетиках, что может снизить устойчивость ферромагнетиков и не способствует стабильному хранению данных, а поля рассеяния ферромагнитных материалов могут стать существенным препятствием для высокоинтегрированных воспоминания. Напротив, антиферромагнетики имеют нулевую суммарную намагниченность, не генерируют поля рассеяния и нечувствительны к внешним полям. Таким образом, память на основе антиферромагнетика прекрасно решает проблему ферромагнитной памяти и становится очень привлекательным потенциальным материалом памяти.

Наблюдение антиферромагнитных доменов

Исследование антиферромагнитных доменов неотделимо от техники наблюдения. Обычными средствами наблюдения магнитных доменов являются магнитно-силовая микроскопия (МСМ), в которой используется кончик магнитной иглы для регистрации силы магнитного поля на поверхности образца с использованием методов атомно-силовой микроскопии; Рентгеновская микроскопия, основанная на том принципе, что скорость поглощения рентгеновских лучей может отражать магнитное поле образца; и магнитооптическая микроскопия Керра (Moke), которая использует магнитооптический эффект Керра для измерения распределения намагниченности. Хотя методы каждого метода визуализации развиты до совершенства, эти средства недостаточны с точки зрения чувствительности для достижения односпинового обнаружения из-за слабого антиферромагнитного магнетизма, и трудно наблюдать магнитную доменную структуру антиферромагнетиков.

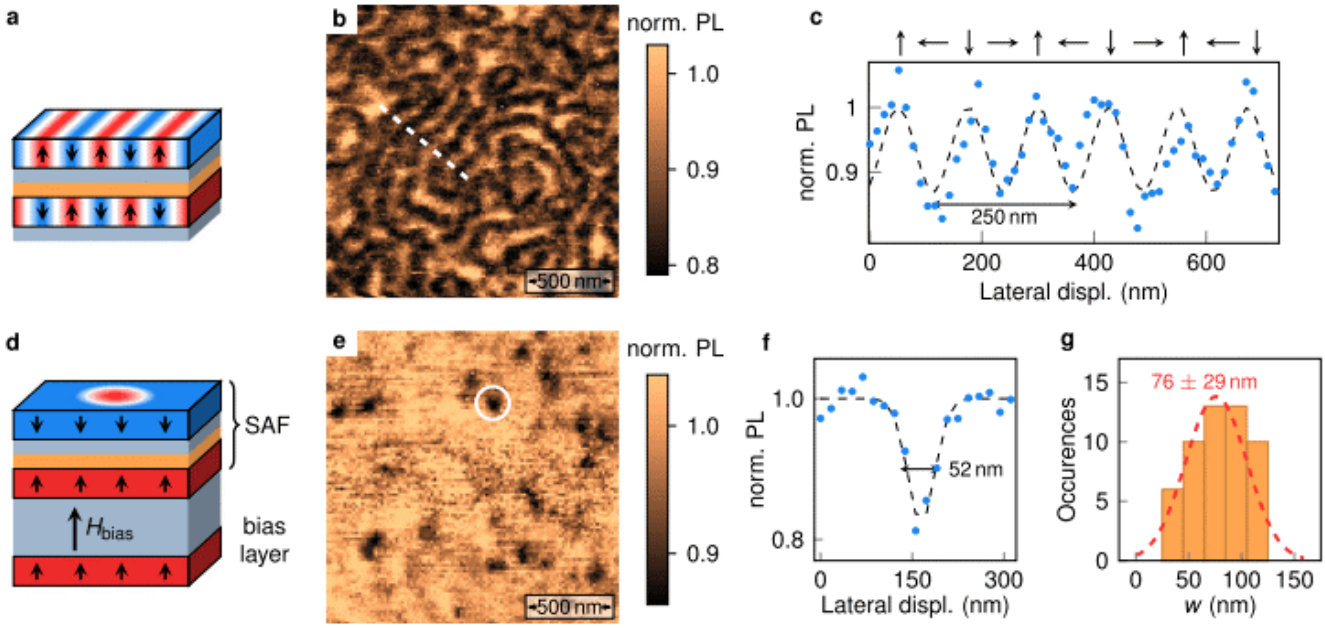
В последние годы внимание многих исследователей привлекла особая дефектная структура в алмазах — азотно-вакансионный (NV) центр. Сканирующий зондовый микроскоп с NV-центром интегрирует NV-центр в алмазе в кончик зонда АСМ и сочетает в себе технику сканирования АСМ для получения результатов магнитных доменов на поверхности образца, что имеет преимущества высокой чувствительности (1 Тл/ Гц1/2), пространственное разрешение (10 нм) и неинвазивность. разрешение (10 нм) и неинвазивность.

Феррит висмута $BiFeO_3$ (BFO) относится к классу мультиферроиков с сегнетоэлектричеством и антиферромагнетизмом, сопровождающимся слабым ферромагнетизмом, и является одной из актуальных горячих точек в исследовании мультиферроиков. Нейтронографические исследования высокого разрешения показали, что BFO имеет пространственную магнитную структуру с периодом 64 нм. В 2017 г. И. Гросс и др. наблюдал антиферромагнитную последовательность в пленках BFO при комнатной температуре с помощью сканирующей зондовой микроскопии с NV-центром, а в результате экспериментальных результатов наблюдалась магнитная структура спинового маятника с периодом около 70 нм, как показано на рисунке ниже.



Периодическая магнитная структура BFO, наблюдаемая И. Гроссом и др. с помощью сканирующей зондовой микроскопии NV-центра

(Источник изображения: И.Гросс и др. Изображение неколлинеарного антиферромагнитного порядка в реальном пространстве с помощью односпинового магнитометра, Nature, 2017, 549:252)

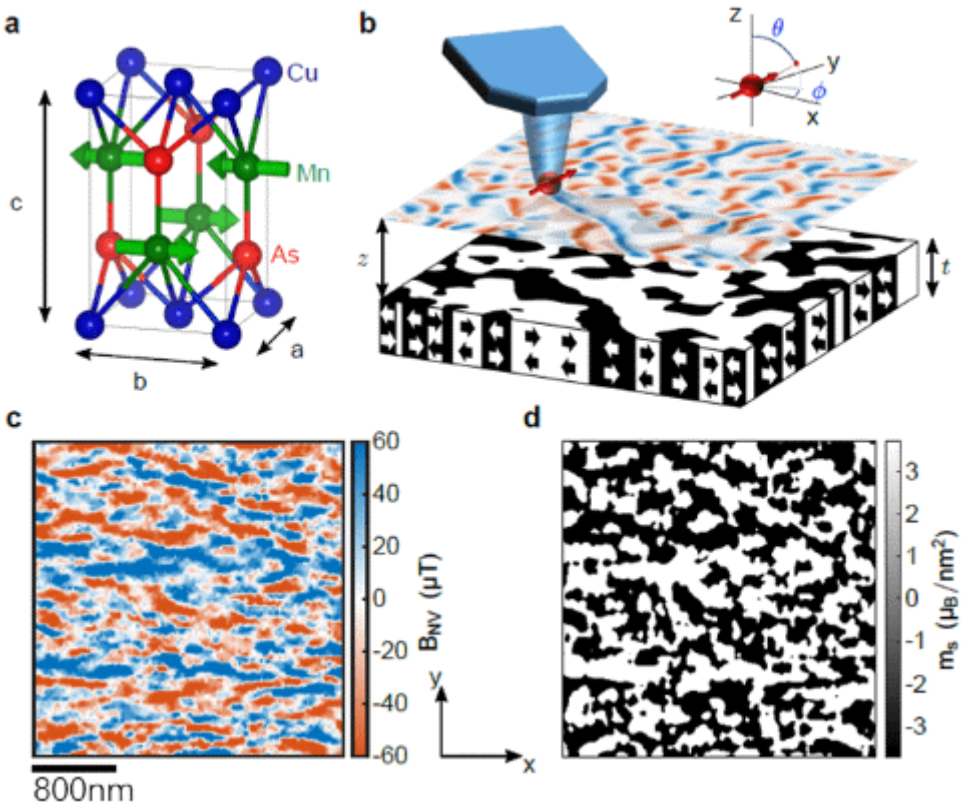


Наблюдение антиферромагнитных структур и скирмионов с помощью сканирующей зондовой микроскопии NV-центра F. Aurore и др.

(Источник изображения: F. Aurore и др. Отображение неколлинеарных антиферромагнитных текстур с помощью односпиновой релаксометрии, Nature communication, 2012, 12:767)

Кроме того, в 2021 г. F. Aurore et al. аналогично использовалась сканирующая зондовая микроскопия NV-центра для наблюдения магнитных структур, таких как границы магнитных доменов и скирмионы в синтетических антиферромагнетиках.

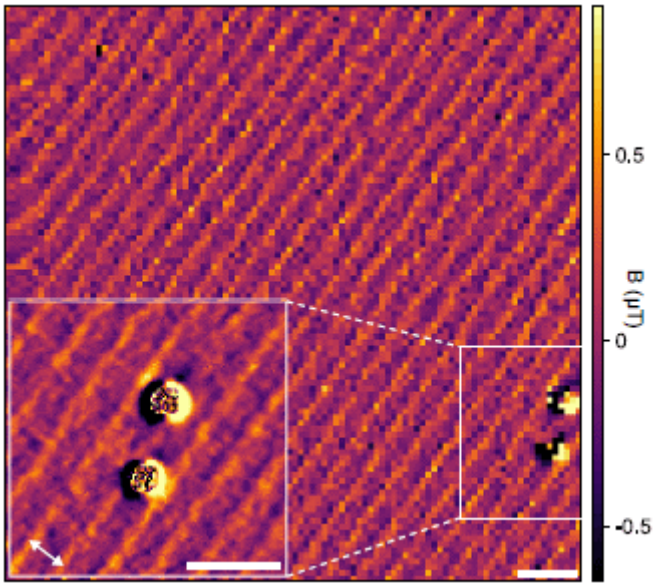
Результаты этого эксперимента показывают, что метод сканирующей зондовой микроскопии NV-центра можно распространить на другие антиферромагнетики, предоставляя новые возможности для изучения магнитных локальных спиновых волн.



Исследование антиферромагнитных доменов CuMnAs с помощью сканирующей зондовой микроскопии NV-центра.

(Источник изображения : MS Wörnle et al. Вызванная током фрагментация антиферромагнитных доменов arXiv:2019, 1912.05287)

MS Wörnle использовал сканирующую зондовую микроскопию NV-центра для изучения влияния импульсов тока на структурную конфигурацию антиферромагнитных доменов CuMnAs, показав, что большие изменения сопротивления связаны с наномасштабной фрагментацией магнитных доменов, вызванной записывающими импульсами тока. Кроме того, путем визуализации распределения плотности тока в микроустройствах CuMnAs со скрещенной геометрией показано, что изменения в магнитной доменной структуре, вызванные током, являются неоднородными.



Сканирующая зондовая микроскопия NV-центра для антиферромагнитного Cr2O3.

(Источник изображения: WS Huxter et al. Сканирующая градиентометрия с помощью односпинового квантового магнитометра, arXiv:2202.09130v1)

Кроме того, Cr_2O_3 является одним из первых мультиферроиков, который является антиферромагнитным при комнатной температуре.

В 2022 году WS Huxter et al. измерены изображения распределений статического магнитного поля порядка микротеслы на атомных ступеньках на поверхности Cr_2O_3 с использованием метода градиентного сканирования сканирующей зондовой микроскопии NV-центра.

Преимуществами сканирующей зондовой микроскопии NV-центров являются высокая чувствительность одиночного спина (1uT/Гц1/2) и наномасштабное пространственное разрешение (10 нм).

Кроме того, алмазные NV-центры очень легкие, термически стабильные и биобезопасные, что позволяет проводить количественную и неразрушающую магнитную визуализацию. Они также работают в широком диапазоне условий, особенно при комнатной температуре, и хорошо подходит в качестве инструмента магнитной визуализации для наук о жизни.

CIQTEK выпустила коммерческий сканирующий зондовый микроскоп с NV-центром,

квантово-алмазный атомно-силовой микроскоп (NV-AFM или QDAFM) , который обладает преимуществами неинвазивности, охватывает широкий диапазон температур и большой диапазон измерения магнитного поля. Его можно применять для двумерной магнитной визуализации материалов, визуализации нанотоков, сверхпроводниковой вихревой магнитной визуализации и клеточной магнитной визуализации, а также он имеет широкий спектр применений в квантовой науке, химии и материаловедении, а также в исследовательских целях в биологии и медицине.



Квантово-алмазный атомно-силовой микроскоп CIQTEK (NV-AFM или QDAFM).
(Версия для окружающей среды и криогенная версия)