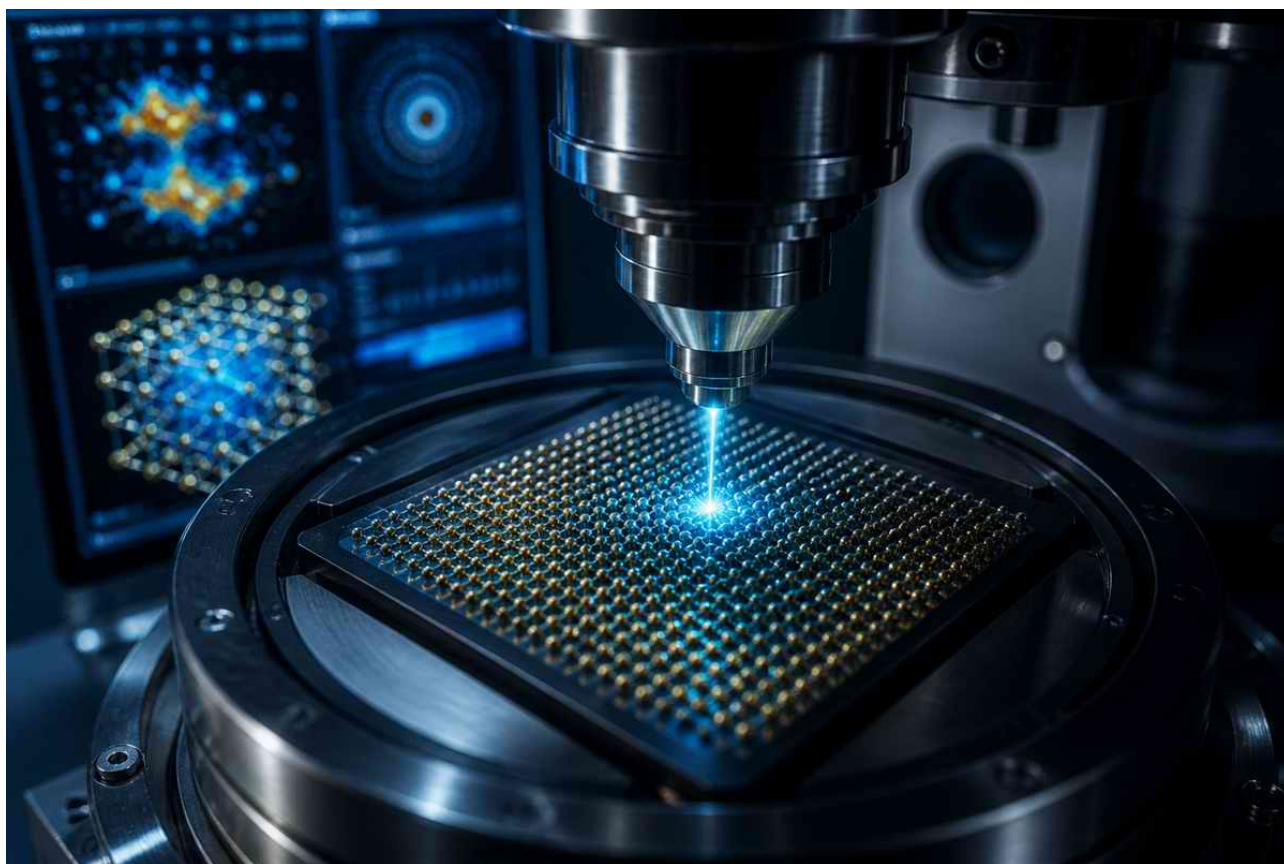


Ученые впервые увидели трехмерную структуру загадочного материала на уровне атомов



Дата публикации: 06.05.2026

Исследователи из Massachusetts Institute of Technology впервые смогли напрямую визуализировать трехмерную атомную структуру одного из самых загадочных классов материалов современной физики — релаксорных сегнетоэлектриков. Это достижение стало важным шагом в понимании того, как на атомном уровне формируются необычные электрические свойства материалов, используемых в сенсорах, ультразвуковой технике, гидролокации, микрофонах и перспективных вычислительных системах.

Результаты исследования были опубликованы в журнале Science и уже рассматриваются как прорыв в области материаловедения и электронной микроскопии.

Релаксорные сегнетоэлектрики долгое время оставались одной из самых сложных загадок физики конденсированного состояния. Эти материалы обладают необычной способностью реагировать на электрические поля, механические воздействия и изменения температуры. Благодаря своим

уникальным свойствам они широко применяются в высокочувствительных датчиках, исполнительных механизмах, акустических системах и медицинском оборудовании.

Однако ученые десятилетиями не могли точно понять, что именно происходит внутри таких материалов на атомном уровне.

Главная проблема заключалась в том, что релаксорные сегнетоэлектрики обладают чрезвычайно сложной и неупорядоченной внутренней структурой. Внутри них существуют микроскопические области с различной электрической поляризацией, распределенные хаотичным образом. Именно эти области определяют необычные свойства материала, но до сих пор их невозможно было увидеть напрямую в трехмерном виде.

Для решения этой задачи команда исследователей использовала новый метод под названием многослойная электронная птихография.

Технология основана на сканировании материала сверхтонким электронным пучком наноразмерного масштаба. При прохождении через образец электроны формируют сложные дифракционные картины, которые затем анализируются при помощи специальных вычислительных алгоритмов.

Главной особенностью метода стала возможность получать не плоские двумерные изображения, а полноценную трехмерную реконструкцию атомной структуры.

Ученые исследовали один из наиболее известных релаксорных сегнетоэлектриков — сплав ниобата магния-титаната свинца. Этот материал широко применяется в современных сенсорных системах и высокоточной электронике благодаря своим выдающимся пьезоэлектрическим свойствам.

Исследование показало, что распределение электрических доменов внутри материала значительно сложнее, чем предполагали существующие модели.

Оказалось, что полярные области, отвечающие за электрическое поведение материала, имеют гораздо меньшие размеры и более сложную организацию, чем считалось ранее. Кроме того, ученые обнаружили выраженное химическое разупорядочение, которое напрямую влияет на распределение зарядов и локальную поляризацию.

Именно эти атомные смещения и микроскопические неоднородности создают уникальные свойства релаксорных сегнетоэлектриков.

Фактически исследователи впервые увидели, как отдельные атомы внутри материала смещаются относительно друг друга, формируя локальные

электрические поля.

Особенно важным стало то, что экспериментальные данные удалось напрямую связать с компьютерными моделями молекулярной динамики. Это позволяет существенно повысить точность симуляций и приблизиться к созданию материалов с заранее заданными свойствами.

Современное материаловедение все активнее использует искусственный интеллект и вычислительные методы для проектирования новых материалов. Однако эффективность таких моделей напрямую зависит от качества экспериментальных данных.

Новая технология позволяет не просто строить теоретические предположения, а проверять их с атомной точностью.

Ключевые особенности исследования: трехмерная визуализация атомов, электронная птихография, изучение полярных доменов, реконструкция электрических смещений, моделирование атомной структуры, анализ химического разупорядочения.

Исследователи подчеркивают, что значение работы выходит далеко за пределы изучения одного конкретного материала.

Многие современные функциональные материалы обладают сложной внутренней структурой, которую крайне трудно исследовать традиционными методами микроскопии. Новый подход открывает возможность изучать широкий спектр неупорядоченных систем — от перспективных полупроводников до материалов для квантовых вычислений.

Особое значение технология может иметь для разработки следующего поколения электронных устройств.

Релаксорные сегнетоэлектрики играют важную роль в создании: ультразвуковых систем, медицинской диагностики, гидролокаторов, микрофонов, сенсоров давления, пьезоэлектрических приводов, энергоэффективной электроники, систем хранения данных.

Понимание их атомной структуры поможет точнее контролировать свойства материалов и создавать более эффективные устройства.

Кроме того, работа демонстрирует стремительное развитие современных методов электронной микроскопии. Еще несколько лет назад получение подобных трехмерных изображений атомного уровня считалось практически невозможным.

Сейчас сочетание высокоэнергетических электронных пучков, вычислительной реконструкции и алгоритмов обработки данных позволяет ученым буквально «заглядывать» внутрь сложнейших материалов с беспрецедентной точностью.

По мнению исследователей, электронная птихография постепенно становится одним из самых мощных инструментов современной науки о материалах.

Технология особенно важна для изучения систем, в которых свойства определяются не идеальным кристаллическим порядком, а наоборот — сложным взаимодействием дефектов, локальных смещений и хаотичных областей.

Это принципиально меняет подход к материаловедению. Если раньше неупорядоченность считалась проблемой, то сегодня ученые все чаще рассматривают ее как источник уникальных физических эффектов.

В будущем подобные методы могут помочь создавать материалы с точно настраиваемыми характеристиками — от сверхчувствительных сенсоров до новых типов памяти и вычислительных систем.

Исследование также подчеркивает, насколько важным становится объединение физики, химии, вычислительных технологий и искусственного интеллекта в современной науке.

Ученые считают, что дальнейшее развитие трехмерной электронной визуализации позволит изучать все более сложные материалы и приблизит создание полностью управляемого «дизайна материи» на атомном уровне.

Ссылка: «Эксперимент по созданию мостиков и теория релаксационных сегнетоэлектриков с помощью многослойной электронной птихографии» DOI: [10.1126/science.ads6023](https://doi.org/10.1126/science.ads6023).