

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

МЕТОДОМ КОНФОКАЛЬНОЙ РАМАНОВСКОЙ МИКРОСКОПИИ

К. Понкратов, ООО "Ренишоу"
kirill.ponkratov@renishaw.com

Компания Renishaw (Великобритания) – мировой лидер в области промышленной метрологии, контроля перемещений, спектроскопии и прецизионной обработки. Конфокальный рамановский микроскоп inVia, выпускаемый компанией, объединяет в себе все новейшие технологии в полном соответствии с девизом компании – Apply Innovation. В статье приводятся примеры использования микроскопа для исследований качества пластин полупроводников.

Оптическая схема конфокального рамановского микроскопа Renishaw inVia, в противовес традиционным спектрометрам такого класса, базируется на использовании линзовой оптики, эффективность которой на один-два порядка выше, чем у зеркальной, при этом позиции линз для борьбы с хроматизмом автоматически подстраиваются под выбранные длины волн возбуждения. Получаемые спектры имеют хорошее спектральное разрешение (от $0,5 \text{ см}^{-1}$) и широкий спектральный диапазон – от 5 до $10\,000 \text{ см}^{-1}$ в зависимости от конфигурации. Конфокальный режим дает возможность неразрушающего анализа объектов, находящихся в толще материала. Скоростное картирование Streamline позволяет строить плоские и объемные изображения исследуемых объектов, выявляя интересующие нас домены и получая данные об их молекулярном составе, при этом на весь процесс затрачивается минимальное время.

Рассмотрим примеры использования спектрометра inVia для поиска и изучения дефектов и включений в образцах карбида кремния.

Карбид кремния SiC – это полупроводник с широкой запрещенной зоной и высокой температурной стабильностью, что делает его идеально подходящим для высоковольтной и высокотемпературной

электроники. Эффективность устройств на карбиде кремния определяется качеством исходных пластин SiC, поэтому проводятся серьезные исследования по изучению природы дефектов и включений в таких пластинах с целью уменьшения их количества.

Рамановская спектроскопия – наиболее информативный метод для изучения свойств карбида кремния. Благодаря ему можно выявлять различия между полиморфами карбида кремния, включая 4Н, 6Н и 3С, а также детектировать изменения в локальных деформациях напряжения.

ДЕФЕКТ 1. "КОМЕТОВИДНОЕ" ТРЕУГОЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ 3С-SiC

Условия проведения эксперимента
Модель микроскопа..... Renishaw inVia Reflex
Длина волны возбуждения 488 нм
Объектив.....100x N Plan
Тип измеренияОбъемное картирование
StreamLineHR
Анализируемая область..... 70×25×7 мкм
Число спектров..... 56 055

В ходе исследования выявлены, идентифицированы и описаны включения 3С-SiC в эпитакси-

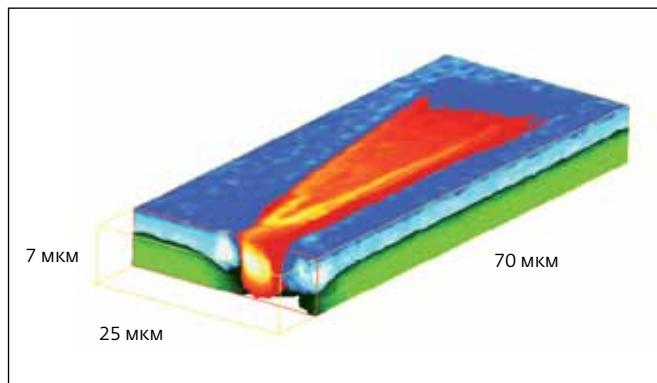


Рис.1. Рамановское 3D-изображение треугольного дефекта. Рамановское изображение подложки 4H-SiC (зеленый), эпитаксиального слоя 4H-SiC (синий) и треугольного включения 3C-SiC (красный/оранжевый)

альном слое 4H-SiC (рис.1). Такие включения оказывают весьма нежелательное воздействие на р-п-структуры и барьеры Шоттки, уменьшая блокирующие напряжения на 50%.

Для локализации дефектов выполняли картирование пластины карбида кремния с шагом 10 мкм. Конструкция Renishaw inVia позволяет проводить картирование объектов площадью в десятки квадратных сантиметров с высоким пространственным разрешением и шагом от 100 нм.

При использовании inVia определяются размеры включения на субмикронном уровне. Это значительно упрощает определение типа и формы дефекта и позволяет оценить возможный ущерб для устройства, производимого из такой пластины. Кроме того, на изображении ясно видно, что дефект происходит от подложки карбида кремния.

ДЕФЕКТ 2. СТЕРЖЕНЬ ИЗ 3C-SiC, ВЫХОДЯЩИЙ ИЗ ПОДЛОЖКИ

Условия проведения эксперимента

Модель микроскопа.....Renishaw inVia Reflex
 Длина волн возбуждения 532 нм
 Объектив.....100x N Plan
 Тип измеренияОбъемное картирование StreamLineHR
 Анализируемая область.....20×20×20 мкм
 Число спектров..... 7840

Объемное рамановское картирование позволило определить форму и размер стержня, как это показано на рис.2а. Маленький боковой трубковидный отросток в эпитаксиальном слое представляет особый интерес. Трубка выра-

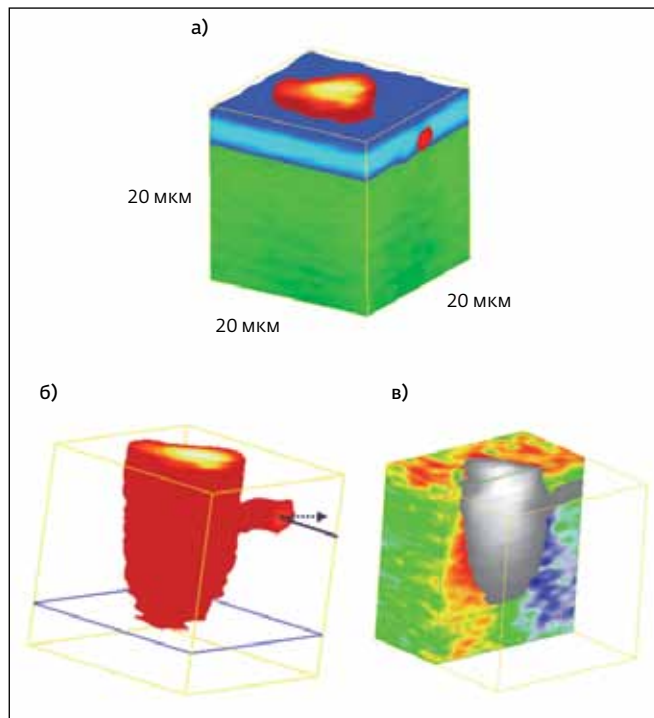


Рис.2. Рамановское 3D изображение включения 3C-SiC: а) рамановское изображение подложки 4H-SiC (зеленый), эпитаксиального слоя 4H-SiC (синий) и включения 3C-SiC (красный); б) рамановское изображение, демонстрирующее форму и размер включения 3C-SiC; в) рамановское изображение, показывающее включение 3C (серый) и деформацию напряжения в окружающем эпитаксиальном слое 4H-SiC. Деформации сжатия и растяжения указаны красным и синим цветом соответственно

стает из основного включения под небольшим углом к подложке (рис.2б). Учитывая, что она скрыта в толще слоя, ее обнаружение другими методами проблематично. Материал подложки, окружающий включение, вызывает локальные деформации напряжения, как это видно на рис.2в. Эпитаксиальный слой преимущественно находится в состоянии сжатия, но также имеются участки, свободные от напряжений. Очень важно, чтобы распределение напряжений в эпитаксиальном слое было равномерным, так как локальные деформации могут снижать электрические характеристики устройств, изготовленных из такого материала. Изменение деформаций напряжений, обнаруженное в образце, в зависимости от его расположения на исходной пластине полупроводника может вызвать значительное колебание характеристик устройства.

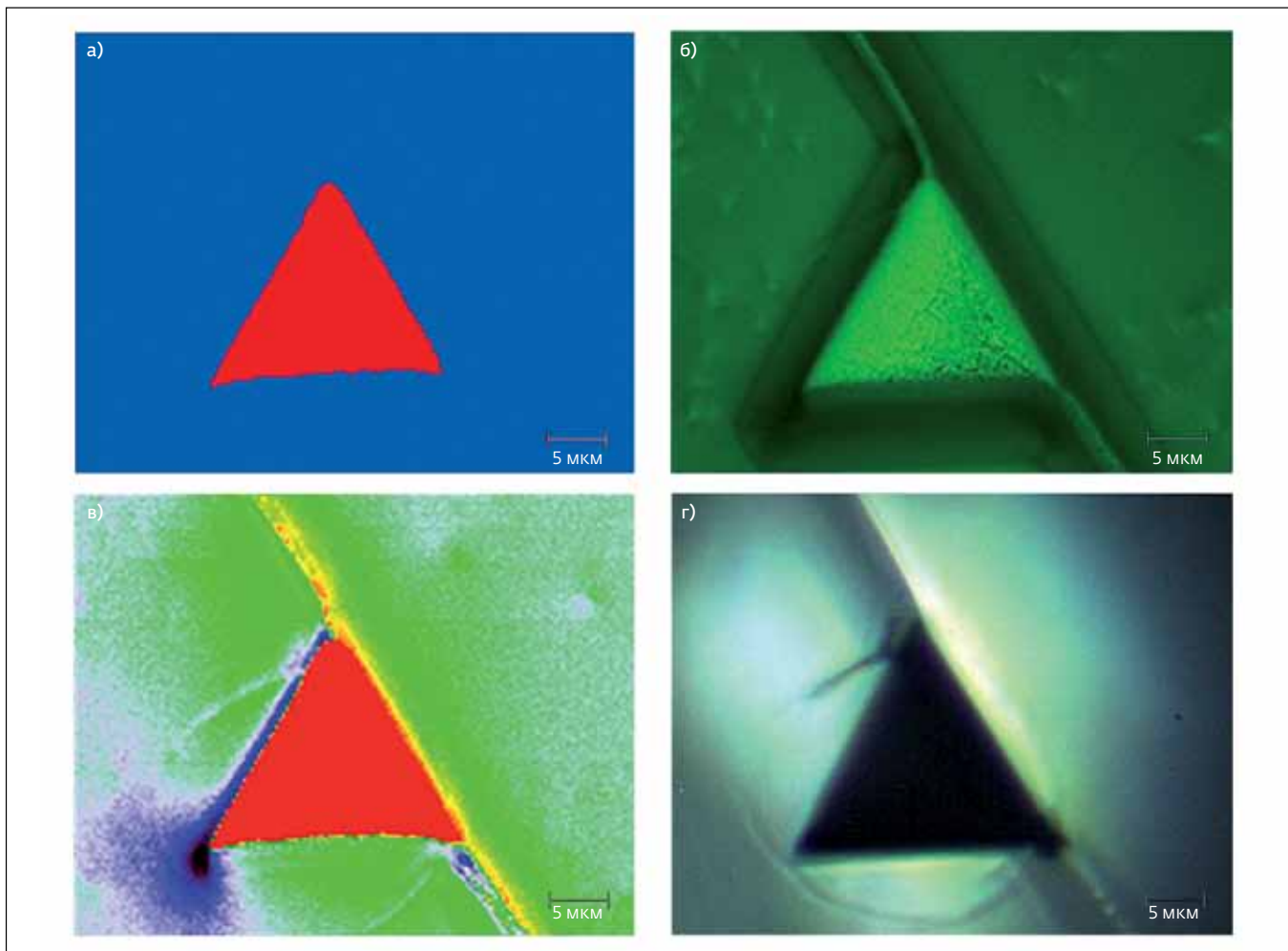


Рис.3. Изображение треугольной полости, полученное с помощью скоростного картирования StreamLineHR: рамановские изображения, демонстрирующие а) распределение 4H-SiC (синий) и смешанного 4H-, 6H- SiC (красный); б) распределение концентрации азота в полости (чем светлее цвет, тем выше концентрация); в) распределение деформационных напряжений (деформация сжатия – оранжевый/желтый, деформация растяжения – синий/черный, полость – красный). Изображение полости в оптическом микроскопе (г)

В обоих случаях объемное картирование выявляет, что включения 3C-SiC присутствуют в подложке и вызывают появление включений в эпитаксиальном слое. Другие исследования показали, что проведение соответствующей обработки подложки перед выращиванием эпитаксиальных слоев позволяет удалить нежелательные центры кристаллизации*. Это, в свою очередь, помогает уменьшить число включений в эпитаксиальном слое и исправить качество, равномерность состава материалов и, как результат, характеристики получаемых устройств.

* Muthu B.J., Wijesundara, Robert G. Azevedo. SiC Materials and Processing Technology. Silicon Carbide Microsystems for Harsh Environments. – MEMS Reference Shelf, Springer, New York, 2011, v.22, p.33–95.

ДЕФЕКТ 3. ТРЕУГОЛЬНАЯ ПОЛОСТЬ В ЭПИТАКСИАЛЬНОМ СЛОЕ 4H-SiC, ВЫРАЩЕННОМ НА ПОДЛОЖКЕ 4H-SiC

Условия проведения эксперимента

Модель микроскопа Renishaw inVia Reflex
 Длина волны возбуждения 532 нм
 Объектив 100x N Plan
 Тип измерения Объемное картирование StreamLineHR


Анализируемая область 50 мкм × 40 мкм
 Число спектров 20334

Рамановское изображение демонстрирует, что дно этой полости содержит поликристаллическую смесь 4H- и 6H-SiC (рис.3а). Это может помочь в объяснении, почему эпитаксиальный слой стал расти неправильно.

Изменения в концентрации легирующего азота изучали по положению рамановской полосы моды A1 (LO), номинальное положение которой составляет 967 см^{-1} (рис.3б). Видно, что в материале на границе с полостью концентрация азота ниже, чем в самой полости. В полости, в свою очередь, имеются две маленьких треугольных области. Такие включения могут снижать характеристики устройств. Смешанный участок в нижней части полости имеет дефектную поликристаллическую структуру, что вызывает заметное повышение концентрации легирующего азота.

Распределение пластических деформаций на этом участке весьма необычно (рис.3в). Материал на дне полости не представляет интереса, поэтому замаскирован красным. Края треугольной полости находятся в различных напряженных состояниях. Участок с деформацией сжатия (оранжевый/красный цвет) расположен с правой стороны полости. Он соответствует шву, который виден на изображении под микроскопом (рис. 3г). Значительная деформация растяжения (цвета от синего к черному) расположена с левой стороны, с максимумом у левого нижнего угла. Нижний

край находится в том же состоянии напряжения, что и весь образец. Кроме того, деформация растяжения наблюдается по периметру кольцевидного образования, заметного на изображении объекта (светло-голубой цвет на рис.3в).

В результате проведенных исследований продемонстрирована применимость рамановского спектрометра Renishaw inVia для изучения карбида кремния – его политипа, концентрации легирующего азота, локальных деформаций напряжения в материалах, различных включений и дефектов. Таким образом, при использовании оборудования исследовательского класса, обладающего высоким пространственным разрешением, конфокальностью и стабильностью, подобные исследования становятся надежным инструментом для контроля качества полупроводниковых изделий на базе современных материалов и позволяют значительно повысить их надежность и эффективность. 

Компания Renishaw выражает благодарность проф. Noboru Ohtani, Kwansei Gakuin University (Япония) за предоставленные образцы.

НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



ФУРЬЕ-КР И ФУРЬЕ-ИК СПЕКТРЫ ПОЛИМЕРОВ.

Купцов А.Х., Жижин Г.Н.

Москва: Техносфера, 2013. — 696 с. ISBN 978-5-94836-360-8

Цена: 2200 р.

Книга содержит расширенную уникальную коллекцию комплементарных колебательных спектров 611 полимеров (органические, биоорганические, элемент-органические и неорганические), ряда мономеров и сопутствующих веществ. Впервые в мировой литературе данная коллекция из 500 спектров комбинационного рассеяния света (КРС), усиленных комплементарными ИК-спектрами, увидела свет в 1998 году. Справочник по существу является базой данных. Графическим и табличным данным предшествует вводный раздел, объясняющий физическую природу комбинационного рассеяния и инфракрасного поглощения, корреляцию "спектр-структура". Приведены условия приготовления образцов, данные экспериментов и многочисленные (77) ссылки на оригинальные работы по фурье-спектроскопии КРС полимерами и на справочные издания.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319 Москва, а/я 594; ☎ (495) 956-3346, 234-0110; knigi@technosphaera.ru, sales@technosphaera.ru