

УДК 539.25

Метод просвечивающей электронной микроскопии в исследовании периодической гетероструктуры с туннельно-связанными квантовыми ямами InGaAs/GaAs

© 2012 г. Н.В. Малехонова¹, Д.А. Павлов¹, А.И. Бобров¹, Н.В. Байдусь²

¹ Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского,

² Научно-исследовательский физико-технический институт ННГУ, Нижний Новгород
Malekhonova@phys.unn.ru

В данной работе на примере исследования периодической гетероструктуры с туннельносвязанными квантовыми ямами InGaAs/GaAs методом просвечивающей электронной микроскопии демонстрируются основные режимы работы и возможности данного метода, а также способы обработки получаемых снимков, и их возможные результаты.

Ключевые слова: просвечивающая электронная микроскопия, энергодисперсионная спектроскопия, эпитаксиальные гетероструктуры, элементный состав, метод геометрической фазы.

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) – это один из наиболее информативных методов анализа кристаллической структуры и элементного состава различных материалов. ПЭМ позволяет визуализировать поперечный срез структуры на снимках с атомным разрешением. На просвечивающем электронном микроскопе возможна работа в нескольких режимах: непосредственно в режиме микроскопа, в сканирующем режиме (СПЭМ), в режимах дифракции и микродифракции, а так же, при наличии рентгеновского ЭДС - анализатора, возможна энергодисперсионная спектроскопия (ЭДС анализ). ЭДС анализ позволяет построить карты распределения элементного состава структуры.

В данной работе описывается комплексный анализ сверхрешетки InGaAs/GaAs методом ПЭМ. Актуальность исследований гетероструктур InGaAs/GaAs обусловлена их широким применением в современной оптоэлектронике в качестве источников излучения в различных областях ИК диапазона. Принцип действия подобных излучающих структур с квантовыми ямами (КЯ) основан на межзонных и межподзонных переходах электронов. В таких случаях, как известно, излучающие свойства и энергетические характеристики структуры во многом зависят от распределения состава, упругих деформаций кристаллической решетки и наличия дефектов, обусловленных особенностями процесса роста.

Исследуемая структура представляет собой периодическую гетероструктуру, с двойными туннельносвязанными квантовыми ямами, выращенную методом МОС-гидриной эпитаксии при атмосферном давлении. Эта структура насчитывала 20 периодов, каждый из которых включает узкую КЯ толщиной 11 нм InGaAs, барьер GaAs 6 нм, широкую КЯ

InGaAs 18 нм и слой GaAsP 5 нм, предназначенный для снятия упругих напряжений в кристаллической решетке.

Исследования методами ПЭМ и ЭДС анализа проводились в лаборатории физического факультета ННГУ на микроскопе высокого разрешения JEM 2100F фирмы JEOL с ускоряющим напряжением 200 КэВ. В результате исследований были получены снимки поперечного среза в атомном разрешении как в режиме микроскопа (Рис.1), так и в сканирующем режиме (Рис.2).

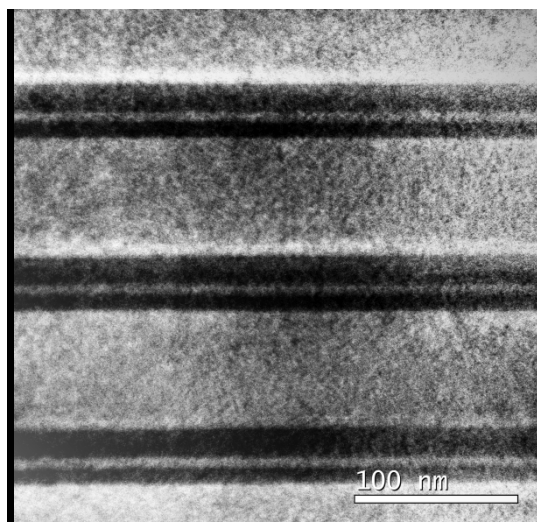


Рис.1. ПЭМ снимок трех периодов

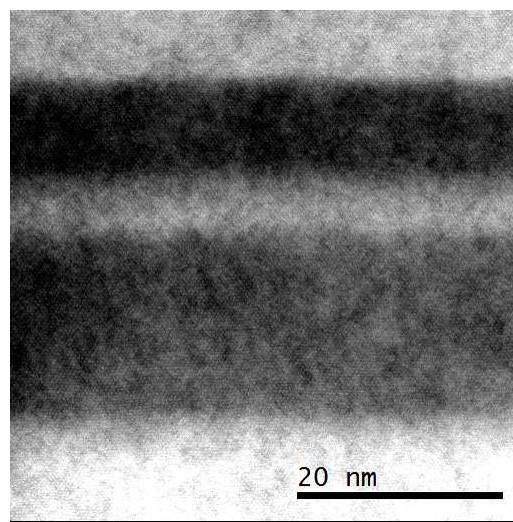


Рис. 2. СПЭМ снимок одного периода

Квантовые ямы на снимках проявляются как более темные области, так как In является элементом с большим атомным номером, нежели Ga и As. При формировании изображения в сканирующем режиме основную роль играет z-контраст, т.е. атомы с большей атомной массой дают более темный контраст [1]. Следовательно, если при цифровой обработке снимков построить распределение контраста, то получается качественная оценка распределения In в структуре. Однако при масштабировании профиля распределения In по данным ЭДС анализа строится реальный профиль структуры (Рис.3).

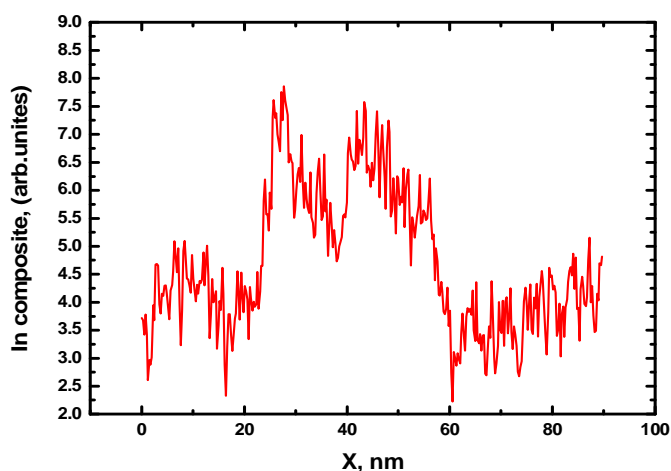


Рис.3. Распределение In в одном периоде структуры

По этим данным возможно построение модели роста структуры и прогнозирование ее качества в зависимости от режимов и условий роста [2].

Еще одним мощным методом оценки качества эпитаксиальных структур является метод геометрической фазы. Этот метод позволяет по ПЭМ снимкам в хорошем атомном разрешении рассчитать и оценить деформации кристаллической решетки. В результате анализа исследуемой сверхрешетки этим методом сильные упругие деформации решетки обнаружены не были. Однако, были обнаружены участки скопления дислокаций (Рис.4), возникших в процессе роста в направлении (110).

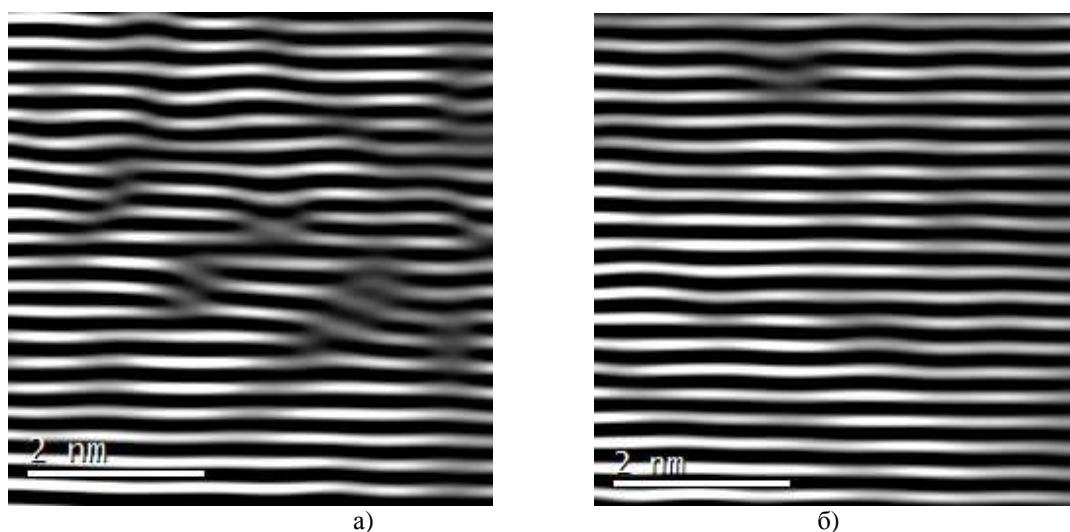


Рис.4. а) участок скопления дислокаций, б) совершенный участок структуры

Таким образом, метод ПЭМ позволяет проводить подобный комплексный анализ структурных особенностей не только гетероструктур типа A_3B_5 , но и множества других типов сложных структур интересных с точки зрения современной нанопизики. Получаемые данные позволяют выявить причины несовпадений теоретических расчетов и характеристик получаемых образцов, что в дальнейшем позволит улучшить технологические процессы для получения более совершенных структур.

Список литературы

1. Чеченин Н.Г. Просвечивающая электронная микроскопия. Курс лекций, 141с.
2. Туннельно-связанные квантовые ямы InGaAs/GaAs: структура, состав и энергетический спектр/ С.В. Хазанова, Н.В. Байдусь, Б.Н.Звонков, Н.В.Малехонова, Д.А.Павлов, А.И.Бобров, В.Е. Дегтярев, Д.С. Смотрин//ФТП.–2012.–Т46, №12.–С.1510-1514.