

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ТРУДЫ
XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНЧЕСКИХ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
ИНКУБАТОРОВ

Томск, 17–18 мая 2016 г.

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

Солнечные элементы на основе квантовых структур кремний–германий

Н.С. Кравцова

Научный консультант – д-р физ.-мат. наук **А.П. Коханенко**,
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия

_natashka_96@mail.ru, kokh@mail.tsu.ru

Непрерывное обострение экологических проблем во всем мире и постепенное истощение запасов традиционных энергоносителей (прежде всего нефти и газа) заставляют обратить пристальное внимание на возобновляемую энергетику. Наиболее перспективным возобновляемым источником электроэнергии является солнечная энергия. Солнечный элемент (СЭ) представляет собой полупроводниковое устройство по преобразованию солнечной энергии непосредственно в электричество. В последнее время наиболее перспективными считаются разработки СЭ на основе квантовых структур (КС). Особый интерес представляют структуры на основе кремния с квантовыми точками германия [1, 2].

Основная часть

Широкое использование квантовых структур в оптоэлектронике связано с возможностью получения новых свойств при использовании КС. На рис. 1 представлено схематическое изображение объемного полупроводника (*a*) и низкоразмерных структур: квантовой ямы (*b*), квантовой проволоки (*в*) и квантовой точки (*г*). Приведены также характерные диаграммы зависимости плотности состояний ρ от энергии E электрона для указанных структур. У объемного полупроводника все размеры велики по сравнению с дебройлевской длиной волны λ электронов и дырок (рис. 1, *a*). Если уменьшить толщину полупроводникового слоя до величины, сравнимой с λ (рис. 1, *b*), то в спектре состояний электронов и дырок возникнут особенности, связанные с квантованием энергии. За такими полупроводниковыми структурами закрепилось название «квантовых ям», так как они представляют собой потенциальные ямы для электронов и / или дырок. Уменьшение одного из оставшихся двух размеров приводит к структурам с одномерным движением носителей заряда (рис. 1, *в*) – «квантовым проволокам (нитям)». И, наконец, уменьшив

все размеры полупроводникового объекта до величин порядка λ , получим так называемые *квантовые точки* (рис. 1, з).

В квантовых точках носители заряда заключены в ограниченном (малом) объеме (рис. 2). Учитывая, что каждое квантовое состояние занимает «клетку» фиксированного объема в фазовом пространстве, легко видеть, что число независимых состояний носителей в квантовой точке ограничено. Поэтому квантовые точки, состоящие, как правило, из 10^4 – 10^6 атомов, обладают дискретным «атомоподобным» спектром электронов и дырок, в связи с чем они рассматриваются как «искусственные атомы».

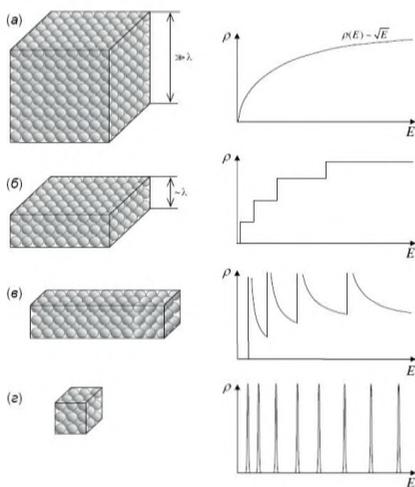


Рис. 1. Схематическое изображение объемного полупроводника (а) и низкоразмерных структур: квантовой ямы (б), квантовой проволоки (с) и квантовой точки (з) [3]

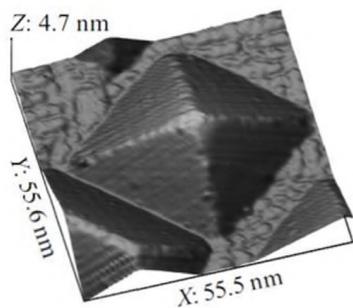


Рис. 2. Островок Ge на поверхности Si [4]

Для изготовления подобных структур разработано несколько совершенных технологических процессов, однако наилучшие результаты в приготовлении КС достигнуты с помощью метода молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Весь процесс управляется компьютером, химический состав и кристаллическая структура выращиваемого слоя контролируются в процессе роста. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии позволяет выращивать совершенные монокристаллические слои толщиной всего несколько периодов решетки (рис. 3).



Рис. 3. Молекулярно-лучевая эпитаксия [5]

Методом МЛЭ выращиваются квантовые точки германия на кремнии на установке «Катунь 100». Теоретически показано, что использование наногетероструктур с квантовыми точками германия на кремнии позволяет значительно увеличить КПД СЭ за счет расширения спектра поглощения солнечного излучения в ИК область.

Таким образом, в работе описаны основные типы полупроводниковых квантовых структур, активно используемых в оптоэлектронике, рассмотрен метод МЛЭ, позволяющий получать квантовые точки германия на кремнии, обсуждаются основные факторы повышения КПД в СЭ на основе квантовых точек германия на кремнии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демиховский В.Я. Квантовые ямы, нити, точки. Что это такое? // Соросовский образовательный журнал – 1997. – № 5. – С. 81–86.
2. Алфёров Ж.И. История и будущее полупроводниковых гетероструктур // ФТП. – 1998. – Т. 32, № 1. – С. 3–18.
3. Ненашев А. В. Моделирование электронной структуры квантовых точек Ge в Si дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.10. – Новосибирск, 2004. – 242 с.
4. Арапкина Л.В., Юрьев В. Классификация hut-кластеров Ge в массивах, формируемых на поверхности Si(001) методом молекулярно-лучевой эпитаксии при низких температурах // Успехи физических наук. – 2010. – Т. 180, № 3. – С. 289–302.
5. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М. : Физматлит, 2007. – 416 с.