

The main directions of use of nanoengineering in electronics

Belousova E.

Основные направления использования наноматериалов в электронике

Белоусова Е. В.

*Белоусова Екатерина Викторовна / Belousova Ekaterina – студент-бакалавр,
специальность: наноинженерия,
кафедра материаловедения, факультет электроники информатики и управления,
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
Калужский филиал, г. Калуга*

Аннотация: дан краткий обзор современного состояния и описаны некоторые перспективы в области наноматериалов и нанотехнологий. Изложены основные представления о полупроводниковых наноматериалах. Проведено исследование полупроводниковых сверхрешеток. Рассмотрены двумерные многослойные структуры из пленок нанометровой толщины.

Abstract: a brief review of the current state and prospects are described in some field of nanomaterials and nanotechnology. The basic representation of semiconductor nanomaterials. The study of semiconductor superlattices. We consider two-dimensional layered structure of the films of nanometer thickness.

Ключевые слова: электроника, полупроводники, квантовая яма, квантовые нити, сверхрешетки.

Keywords: electronics, semiconductors, quantum well, quantum wires, superlattices.

Физика наноструктурных материалов является актуальной темой в области современной физики твердого тела. Развитие новых типов наноструктурных материалов, таких как квантовые ямы, квантовые точки, квантовые проволоки, позволяет производить средствами зонной инженерии, а также изготавливать наноструктуры (сверхрешетки, квантовые контакты, атомные кластеры и т. д.) с определенным электронным спектром и свойствами с помощью новых высоких технологий. Они необходимы для выявления и исследования новых физических явлений или для соответствующих приложений. Таким образом, именно развитие новой отрасли микроэлектроники – нанотехнологии, определит облик XXI века, равносильно тому, как открытие атомной энергии, изобретение лазера и транзистора определили облик XX столетия.

Целью работы является исследование и определение направления развития основных наноинженерных подходов в переходный период от микро – к нанозлектронике.

Полупроводниковые наноструктуры

С помощью методов «зонной инженерии» и «инженерии волновых функций» можно создавать квантоворазмерные структуры, обладающие заданным электронным спектром и требуемыми электронными, оптическими, волновыми и другими различными свойствами. Поэтому эти методы очень удобны для приборных применений.

Квантовые ямы. Применение квантовых наноструктур в электронике

Квантовая яма — это потенциальная яма, ограничивающая подвижность частиц с трех до двух измерений и заставляющая их двигаться в плоском слое. Первоначальные исследования квантовых ям производились на инверсионных каналах кремниевых МОП транзисторов. В настоящее время проходит широкое исследование свойства квантовых ям в гетероструктурах. Существуют два основных прибора современной квантовой электроники: резонансный туннельный диод и лазеры на квантовых ямах.

Резонансный туннельный диод состоит из двух барьеров, которые разделены областью с небольшой потенциальной энергией. Расстояние между барьерами, а также их ширина составляют несколько нанометров. В приборе используется следующая особенность двойного барьера: его туннельная прозрачность имеет ярко выраженный резонансный характер. То есть, когда энергия электронов, налетающих на барьеры, становится равной энергии дискретного уровня, то туннельная прозрачность резко возрастает. Из-за интерференции при резонансе волн во внутренней области гасится волна, которая отражается от двойного барьера. Таким образом, волна, упавшая слева, полностью проходит направо. На рисунке 1 представлен принцип работы резонансного туннельного диода.

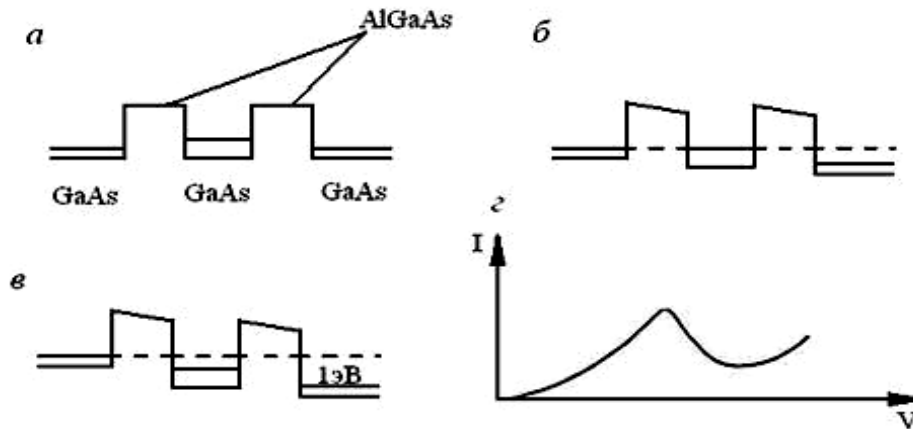


Рис. 1. Схема работы резонансного туннельного диода: а – разность потенциалов равна нулю; б – на прибор подано резонансное напряжение, при котором ток максимальный; в – напряжение больше резонансного; г – вольт-амперная характеристика. Пунктиром показан энергетический уровень в области между двумя барьерами, сплошной линией – уровни электронов в области контактов

Ток, протекающий через двойной барьер, зависит от величины приложенного напряжения. Имеющийся в приборе потенциал падает главным образом в область двойного барьера. Когда энергия электронов становится равной энергии дискретного уровня, возникает напряжение определенной величины, при которой ток достигает максимального значения. Если величина напряжения становится больше, то энергия налетающих электронов станет больше энергии дискретного уровня и туннельная прозрачность барьера уменьшится. Благодаря этому резонансный диод, находящийся в электронных схемах, может выполнять различные функции, а не использоваться только как выпрямитель. Если подвести контакт к центральной области резонансного диода, через который можно управлять положением дискретного уровня, то получится транзистор. Резонансный туннельный диод - это первое реальное устройство с квантовой ямой и барьерами. Он был создан Лео Эсаки и Чангом в 1974 году. Идею прибора предложил Л. Иогансен еще в 1963 году [1].

Лазеры на квантовых ямах

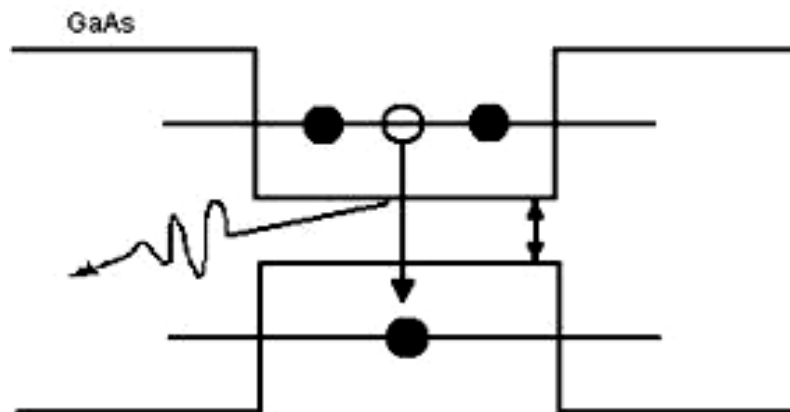


Рис. 2. Принципиальная схема лазера на квантовых ямах

Инверсная заселенность энергетических уровней – является главным условием для работы любого лазера. Для того чтобы квантовую яму преобразовать в лазер, ее нужно подсоединить к двум контактам, через которые электроны могут непрерывно поступать в рабочую область. Таким образом электроны, совершая скачки из зоны проводимости в валентную зону, будут излучать кванты, а носители тока будут уходить на другой контакт через валентную зону. Лазеры на квантовых ямах обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными полупроводниковыми лазерами. Эти приборы можно перестраивать, управляя параметрами энергетического спектра [2].

Квантовые проволоки, нити. Изготовление квантовых нитей

Квантовые проволоки - это системы, в которых движение носителей заряда квантовано в двух направлениях [4]. Самые первые квантовые проволоки выполнялись на основе квантовых ям. Создавался потенциальный рельеф с помощью двух затворов, который располагался над квантовой ямой. Основные

физические явления в квантовых проволоках: сильно коррелированный электронный транспорт, квантование проводимости.

Квантовые точки - нанобъекты, в которых движение носителей заряда квантовано во всех трех направлениях [4]. Основные физические явления в квантовых точках: одноэлектронные и однофотонные явления. Размер квантовой точки составляет приблизительно несколько нанометров. Для создания квантовых точек можно использовать нанесение рисунка на поверхность полупроводника и травления, образовывать маленькие островки в процессе роста, что является естественным свойством материала. Такие островки могут самопроизвольно образовываться на поверхности растущего кристаллического слоя. Формирование таких структур подтверждает справедливость одного из основных принципов нанотехнологического подхода – управляемого процесса самоорганизации.

Исследование полупроводниковых сверхрешеток и их применение

Сверхрешеткой называется периодическая структура, состоящая из тонких чередующихся в одном направлении слоев полупроводников. Кроме периодического потенциала кристаллической решетки, эта структура обладает и дополнительным потенциалом. Этот потенциал определен чередующимися слоями полупроводников. В ходе исследования полупроводниковых сверхрешеток часто возникают вопросы, связанные с изучением профиля структуры сверхрешеток и совершенства границ гетеропереходов. Идея создания полупроводниковой сверхрешетки появилась при поиске новых приборов с отрицательным дифференциальным электросопротивлением. Впервые отрицательное дифференциальное электросопротивление было обнаружено в сверхрешетке GaAs – GaAlAs.

Инжекционные лазеры на гетеропереходах обладают рядом преимуществ перед обычными полупроводниковыми лазерами, так как инжектированные носители в лазерах на гетеропереходах сосредотачиваются в достаточно узкой области. Достаточно много различных транзисторов производят на основе полупроводниковых сверхрешеток. Большая частота квантовых осцилляций электронов в сверхрешетках позволяет значительно расширить возможности изготовления на их основе приборов СВЧ [5].

Двумерные многослойные структуры из пленок нанометровой толщины

Рассмотрим такое сочетание материалов, которые могут обеспечить наиболее сильное отражение электромагнитных волн.

Двумерные многослойные структуры представляют собой искусственные одномерные кристаллы, состоящие из пленок, которые имеют толщину около нескольких нанометров. Эти структуры можно использовать для управления излучением, разработки новых электронных устройств, а также они могут быть интересны и для других различных физических приложений.

0,01-0,02 нм - является наиболее коротковолновой частью диапазона, в котором рентгеновские зеркала способны фокусировать излучение рентгеновских трубок и синхротронов на определенные объекты, а также образовывать параллельные пучки. Излучение высокотемпературной плазмы лежит примерно в этом же диапазоне.

0,6-6 нм – является диапазоном, в котором лежит характеристическое излучение легких элементов (бор, углерод, кремний, фосфор).

10-60 нм – является диапазоном, в котором лежат линии излучения солнечной плазмы. Одно из главных мест занимает применение многослойных зеркал в технологиях микроэлектроники, то есть переход на длину волны в 10 раз короче (Например: от 150 нм к 15 нм) в литографии — способе печати, который обеспечивает получение соответствующего рисунка интегральных схем и полупроводника. За размеры минимальных элементов рисунка отвечает длина волны излучения. До настоящего времени изменение длины волны излучения литографических установок не превышало 25 %. Поэтому требования к точности производства большинства элементов оптики достаточно высокие. Фактически это означает, что вскоре произойдет полный переход всех обрабатываемых технологий на атомарную точность [3].

Заключение

Развитие нанотехнологий, создает возможность для получения наноматериалов с уникальными новыми свойствами (миниатюрность, отсутствие точечных дефектов и др.). Развитие нанoeлектроники позволяет усовершенствовать некоторые виды электронных приборов, а также создать новейшие информационные технологии, которые позволят значительно улучшить жизнь человечества. На сегодняшний день стоит вопрос о решении двух основных проблем: создание наноматериалов и нанобъектов с наилучшими свойствами, включая использование методов поэтапной сборки и эффектов самоорганизации; создание новых и дальнейшее развитие существующих способов нанодиагностики с атомным разрешением. В настоящее время прогресс в области нанотехнологий позволяет надеяться, что в ближайшем будущем эти проблемы будут решены.

Литература

1. Ландау Л. Д. Квантовая механика. М.: Физматгиз, 1963. 556 с.

2. *Херман М.* Полупроводниковые сверхрешетки. М.: Мир, 1989. 240 с.
3. *Алферов Ж. И.* Наноматериалы и нанотехнологии [Электронный ресурс]: Нано- и микросистемная техника. URL: <http://www.microsystems.ru/files/publ/601.htm> (дата обращения: 08.02.2016).
4. *Thomas Engel, Philip Reid* Quantum Chemistry and Spectroscopy. Pearson Education, 2006. 500 с.
5. *Бастар Г.* Расчет зонной структуры сверхрешеток методом огибающей функции. - В кн: Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры / Под ред. Л. Ченга, К. Плога. М.: Мир, 1989. С. 312–347.