

УДК 621.315.592.9

Алиширов Р.Р., студент

Естественнонаучный факультет

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета

Россия, г. Стерлитамак

Орлов А.В.,

кандидат технических наук, доцент

доцент кафедры общей и теоретической физики

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета

Россия, г. Стерлитамак

НИЗКОРАЗМЕРНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

***Аннотация:** Статья посвящена изучению концепции физики полупроводниковых материалов, в частности, анализу современных направлений исследования. В данной работе представлена актуальность исследования низкоразмерных объектов как полупроводников, а также рассмотрена специфика их исследования, которая непосредственно связана с их структурой. Также были приведены наиболее известные низкоразмерные полупроводники, а также рассмотрены условия для их оптимального получения.*

***Ключевые слова:** полупроводниковые материалы, низкоразмерные структуры, гетеропереходы, физика полупроводников.*

***Annotation:** The article is devoted to the study of the concept of physics of semiconductor materials, in particular, to the analysis of modern research directions. This paper presents the relevance of studying low-dimensional objects as semiconductors, and also considers the specificity of their study, which is directly related to their structure. Also, the most famous low-dimensional semiconductors were presented, and the conditions for their optimal production were considered.*

Key words: semiconductor materials, low-dimensional structures, heterojunctions, semiconductor physics.

В современном мире развитие физики полупроводников основывается на создании объектов, способных заменить массивные полупроводниковые кристаллы. Примерами таких объектов являются тонкие пленки, многослойные тонкопленочные структуры, а также проводящие нити и кристаллиты.

Полупроводниками называют класс веществ, находящихся в твердом и жидком агрегатных состояниях, электрическая проводимость которых на постоянном токе увеличивается при воздействии высоких температур или света [1].

Одним из актуальных направлений исследования является создание низкоразмерных структур. Это структуры, у которых, по крайней мере, один размер равен или близок нулю. Отсюда, структуры условно подразделяют на три типа: двумерные, одномерные и нульмерные.

Существует возможность отличия свойств низкоразмерных и наноматериалов от свойств материалов большого размера. При уменьшении размеров объекта, вначале его свойства остаются неизменными, однако, при значительном уменьшении наблюдается возникновение небольших изменений, а при достижении размеров менее 100 нм, свойства материала могут разительно отличаться от начальных [2].

На основе вышесказанного, возникла классификация по количеству направлений, в которых эффект квантового ограничения отсутствует. Согласно данной характеристике низкоразмерные полупроводники делятся на три группы: квантовые пленки (ямы), квантовые шнуры (нити, проволоки) и квантовые точки (рис. 1) [3].

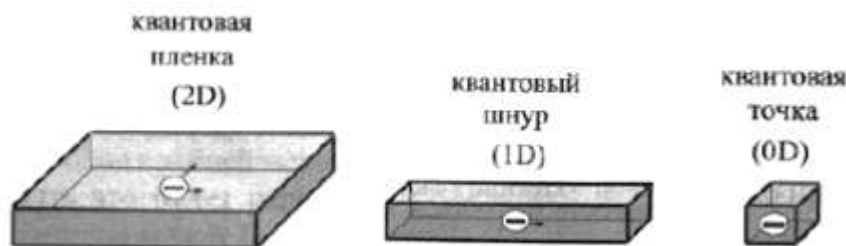


Рисунок 1. Элементарные низкоразмерные структуры

Полупроводниковые соединения типа $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$ а также Ge и Si характеризуются алмазоподобной кристаллической решеткой, которая состоит из двух кубических гранецентрированных решеток, сдвинутых относительно друг друга вдоль объемной диагонали куба на одну четвертую ее длины.

Согласно выводам автора [4] в большинстве случаев для изготовления таких структур требуется создание полупроводниковых гетеропереходов с требуемыми свойствами. В связи с этим, в первую очередь, необходима реализация подбора подходящей пары полупроводниковых материалов. Выбор материала зависит от типа структуры, которую необходимо получить. Так, с целью создания гетеропереходов с двумерным электронным газом существует необходимость выполнения следующих условий:

- 1) химическая аналогичность веществ, составляющих гетерогенную пару;
- 2) близкое родство постоянных решеток используемых веществ;
- 3) четкость границы.

Таким образом, если с одной стороны гетероперехода находится полупроводник типа $A^{III}B^V$, то и с другой стороны должен быть аналогичный полупроводник. Иначе наблюдается процесс взаимного легирования в районе перехода, так как отдельные элементы, входящие в состав соединения являются легирующими примесями для другого соединения. Например, в случае гетеропары Ge и GaAs, первый элемент является акцептором и дает в решетку германия дырки, а As – донор и поставляет электроны. Возможен и

обратный случай, в зависимости от позиции в решетке атомов Ge они могут являться как донорами (подрешетка Ga). Вышеуказанное приводит к формированию сильно компенсированной заряженной области в области гетероперехода, которая значительно ухудшает свойства низкоразмерных состояний.

Основным условием в создании структур с двумерным электронным газом на основе гетеропереходов является равенство постоянных решетки у обоих полупроводников. В ином случае, наблюдается возникновение высокой плотности дислокаций несоответствия вблизи гетерогенной границы, что приводит к резкому ухудшению свойств переходов.

Одно из главных требований к технологии изготовления низкоразмерных гетероструктур связано с необходимостью получения очень резких гетеропереходов с переходным слоем промежуточного состава, имеющим толщину всего в несколько постоянных решетки.

Отмечено, что для исследования, создания и применения низкоразмерных систем (при диапазоне их размеров от 0,1 мкм до 1 нм в одном, двух или трех направлениях) в первую очередь необходимо развивать их теорию. Это связано, с тем фактом, что зонная теория является базисом описания электрических, магнитных, оптических, акустических и тепловых явлений, возникающих в трехмерных кристаллических диэлектриках, полупроводниках и металлах с размерами, большими или примерно равными 0,1 мкм. Однако, данная теория неприменима в описании низкоразмерных систем в связи с нарушением не только точечной и трансляционной симметрий, но и условий применимости адиабатического и одноэлектронного приближений. Также стоит отметить неприменимость квантовой теорий уединенных (одионых) атомов, которая является базой для описания небольших молекул (0,1–1 нм) для адекватного описания состояний и процессов в системах размером порядка 0,1 мкм [5].

В связи с вышесказанным, можно утверждать о необходимости развития теории, которая рассматривает состояния и процессы в отдельных молекулах и атомах с учетом их агломерации в низкоразмерную систему.

Таким образом, можно резюмировать, что создание низкоразмерных полупроводниковых материалов является актуальной задачей, что, в первую очередь, обусловлено недостаточными исследованиями теоретических аспектов данной области.

Использованные источники:

1. Вавилов В.С. Полупроводники в современном мире // УФН. – 1995. – Т.165. – №5. – С. 591-594.
 2. Федоров А.В., Баранов А.В., Маслов В.Г., Орлова А.О., Ушакова Е.В., Леонов М.Ю., Голубев В.Г. Физика наноструктур. / учеб. пос. – СПб: Университет ИТМО, 2014 – 130 с.
 3. Ткалич В.Л., Макеева А.В., Оборина Е.Е. Физические основы наноэлектроники / учеб. пос. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011 – 83с.
 4. Неверов В.Н., Титов А.Н. Физика низкоразмерных систем / учеб. пос. – Екатеринбург: ИОНЦ «Нанотехнологии и перспективные материалы», 2008. – 233 с.
- Поклонский Н.А. Полупроводники в мире материалов // Наука и инновации. – 2016. – №162. – С. 64-69.