

*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*

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ

Аннотация: *Статья посвящена изучению концепции физики полупроводниковых материалов. В частности, проведен анализ полупроводниковых гетероструктур. В данной работе представлена актуальность исследования гетерогенных структур как полупроводников, а также рассмотрена специфика равномерного квантования.*

Ключевые слова: *полупроводниковые материалы, гетероструктуры, гетеропереходы, физика полупроводников.*

Annotation: *The article is devoted to the study of the concept of physics of semiconductor materials. In particular, the analysis of semiconductor heterostructures is carried out. This paper presents the relevance of studying heterogeneous structures as semiconductors, and also considers the specificity of uniform quantization.*

Key words: *semiconductor materials, heterostructures, heterojunctions, semiconductor physics.*

На сегодняшний день основой развития физики полупроводников является создание объектов, которые способны заменить объемные

полупроводниковые кристаллы. В связи с этим одним из наиболее актуальных направлений исследования является создание квантоворазмерных структур, в частности, гетероструктур. Полупроводниковые гетероструктуры являются базисом конструкций современных транзисторов, приборов квантовой электроники, сверхвысокочастотной техники, электронной техники, используемой для систем связи и телекоммуникаций и т.д.

Идея применения гетероструктур как полупроводников была выдвинута на заре развития электроники. В первых патентах, где были представлены транзисторы на p–n-переходах, исследователями было предложено использование широкозонного эмиттера с целью получения односторонней инжекции. одностороннюю инжекцию [1].

В гетероструктурах, а именно, в контактах между полупроводниками с различной шириной запрещенной зоны, наблюдается наиболее яркое проявление эффектов равномерного квантования. На таком контакте края энергетических зон испытывают скачки, которые играют роль потенциальных барьеров или стенок квантовой ямы для носителей заряда.

Р. Динглом, В. Вигманом и др. было продемонстрировано четкое проявление эффектов размерного квантования в оптических спектрах полупроводниковой гетероструктуры GaAs–AlGaAs со сверхтонким слоем GaAs (квантовой ямой) [2].

Авторами отмечена характерная ступенчатая структура в спектрах поглощения и систематический сдвиг характеристических энергий при уменьшении толщины квантовой ямы.

Стоит отметить, что для проявления размерного квантования в квантоворазмерных структурах, существует необходимость выполнения определенных условий.

Первое условие: тепловая энергия носителей E_n заряда должна превышать расстояние между дискретными уровнями энергии.

$$E_{n-1} - E_n \gg kT, \xi \quad (1)$$

где kT – величина для невырожденного электронного газа; ξ – энергия Ферми, величина характерная для вырожденного электронного газа.

Вторым условием размерного квантования является преобладание расстояния между уровнями над уширением уровней энергии за счет рассеяния. Из-за соотношения неопределенности энергии данное условие можно представить в следующем виде:

$$E_{n-1} - E_n \gg \frac{\hbar}{\tau} = \frac{\hbar e}{m^* \cdot \mu} \quad (2)$$

где τ – время релаксации импульса, близкое по величине к времени свободного пробега носителей заряда, m^* – эффективная масса, μ – подвижность [3].

Одним из главных достоинств гетероперехода является высокое качество образующейся гетерограницы. Такого показателя можно добиться путем правильного выбора компонента гетеропары, а именно при подборе веществ с хорошим согласием постоянных решетки. При этом, стоит отметить, что в случае определения свойств тройных и четверных соединений возможно применение обобщенного правила Вегарда. Согласно данному правилу, возможно рассмотрение тройного состава $A_xB_{1-x}C$ как сочетания двух, а четверного $A_xB_{1-x}C_yD_{1-y}$, как сочетания трех или четырех двойных соединений.

В качестве примера, рассмотрим узкозонный GaAs и широкозонный твердый раствор $Al_xGa_{1-x}As$. Гетероструктуры с данными полупроводниками показали рекордное значение подвижности электронов, которое составило $107 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Отсюда, наблюдается выполнение условия (2) с высокой точностью, благодаря которому возможно наблюдение различных тонких эффектов.

Стоит отметить, что современные методы эпитаксии способствуют созданию многослойных гетероструктур. При этом толщина слоев варьируется в диапазон 1 – 10 нм, что сравнимо с длиной волны де-Бройля. В связи с этим, возникает принципиальная возможность наблюдения и применения явлений, которые обусловлены волновой природой электрона.

К таким явлениям относятся интерференция электронных волн и вызываемые ею размерные квантовые эффекты, среди которых следует выделить квантование энергии и квазиимпульс электронов в тонких слоях, а также резонансный характер прохождения электронов через такие слои [4].

Согласно анализу новейших источников, важно отметить, что были получены впечатляющие результаты для коротковолновых источников излучения на основе селенидов $A^{II}B^{VI}$ и нитридов $A^{III}N$. Успех данных исследований в первую очередь определен использованием гетероструктурных концепций и методов роста, которые были разработаны для квантовых ям и сверхрешеток на $A^{III}B^V$. Одной из естественных и наиболее предсказуемых тенденций является применение гетероструктурных концепций и технологических методов к новым материалам. Разработанные недавно различные гетероструктуры $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$ и $A^{IV}B^{VI}$ являются хорошими примерами данного утверждения.

На сегодняшний день, можно утверждать, что классические гетерогенные структуры, квантовые ямы и сверхрешетки весьма совершенны, и их использование, в первую очередь, обуславливается уникальностью свойств. Однако, структуры с квантовыми проволоками и точками исследованы не в достаточной мере, однако, важно отметить тот факт, что упорядоченные равновесные массивы квантовых точек могут использоваться в многих устройствах таких, как лазеры, оптические модуляторы, детекторы и эмиттеры в дальней инфракрасной области и т.д.

Таким образом, можно резюмировать, что несмотря на множество существующих на сегодняшний день научных работ в области изучения гетерогенных структур, данные полупроводниковые материалы все еще остаются актуальным направлением исследования в физике полупроводников.

Использованные источники:

1. 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.
2. Алферов Ж.И. История и будущее полупроводниковых гетероструктур / Физика и техника полупроводников. – 1998. – Т.32. – №1. – С. 3-18
3. Борисенко С.И. Физика полупроводниковых наноструктур: учебное пособие / С.И. Борисенко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 115 с.
4. Кирчанов В.С. Наноматериалы и нанотехнологии: учебное пособие / В.С. Кирчанов; Пермский нац. исслед. политех. ун-т. – Пермь. Изд-во Перм. нац. иссл. политех. ун-та 2016 – 193 с.