



«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора Института радиотехники и  
электроники им. В.А. Котельникова РАН  
чл.-корр. РАН

С.А. Никитов

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертационной работе **Дурнева Михаила Васильевича**

**«Спиновые расщепления валентной зоны в полупроводниковых  
квантовых ямах и квантовых точках»,**

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

Диссертационная работа М.В. Дурнева посвящена теоретическому изучению спиновых расщеплений дырочных состояний в низкоразмерных полупроводниковых системах. Спиновые явления в низкоразмерных полупроводниковых структурах являются на протяжении нескольких десятков лет одной из ключевых областей исследований в физике полупроводников. Широкий класс изучаемых в этой области физических эффектов определяется спиновыми расщеплениями энергетического спектра носителей заряда: электрона и дырки. В то время как спиновые расщепления электрона в зоне проводимости на данный момент хорошо изучены, расщепления дырок в валентной зоне исследованы недостаточно детально. Интерес к исследованию таких систем обусловлен, с одной стороны, перспективами их практического применения, с другой — разнообразием физических эффектов, наблюдаемых в них. В этой связи изучение спинового расщепления валентной зоны в квантовых ямах и квантовых точках, проведенное в диссертационной работе, представляет собой актуальную научную проблему, имеющую также и практическую значимость.

Диссертация состоит из Введения, 3-х глав, заключения и списка литературы из 152 ссылок. Во Введении формулируется основная цель диссертационной работы: теоретическое изучение спиновых расщеплений дырочных состояний в низкоразмерных полупроводниковых системах. Обосновывается научная новизна и практическая ценность работы, сформулированы основные защищаемые положения, кратко описана структура диссертации.

Первая глава посвящена теоретическому исследованию влияния спин-орбитального взаимодействия на дисперсию валентных подзон в симметричных квантовых ямах. Показано, что прямолинейное использование метода огибающих в 4-зонной модели с конечной высотой стенок в квантовой яме наталкивается на трудности, связанные с появлением интерфейсных сингулярностей в эффективном гамильтониане дырки. Это давно известная проблема метода огибающих, возникающая при рассмотрении размерного квантования не только для дырок, но и для электронов в рамках не очень наивных моделей гетероинтерфейсов. Общего практически реализуемого рецепта ее решения в данное время не существует. Диссертант нашел остроумный обходной маневр, позволивший решить задачу без детализации сингулярностей. Им сформулирована 14-зонная модель, учитывающая далекие зоны проводимости симметрии  $\Gamma_8$  и  $\Gamma_7$ . Предложены граничные условия для огибающих 14-зонной модели, учитывающие пониженную симметрию одиночного интерфейса и приводящие к смешиванию состояний тяжелой и легкой дырок. В рамках такого подхода численно рассчитаны законы дисперсии валентных подзон в квантовых ямах GaAs/AlGaAs, а также константы спиновых расщеплений в зависимости от параметров квантовой ямы и силы интерфейсного смешивания дырок. Показано, что интерфейсный вклад в спиновое расщепление валентных подзон является доминирующим.

Вторая глава диссертации посвящена теории продольного эффекта Зеемана для основного состояния легкой дырки в квантовых ямах. В главе построена теория продольной компоненты тензора  $g$ -фактора легкой дырки, которая позволяет объяснить большие значения этого параметра, наблюдаемые в экспериментах различных экспериментальных групп. Построенная теория учитывает структуру квантовых ям – конечные барьеры, интерфейсное смешивание дырок, а также экситонные эффекты. Демонстрируется неплохое согласие расчета с имеющимся экспериментальными данными.

В третьей главе построена микроскопическая теория дырочного эффекта Зеемана и тонкой структуры энергетического спектра экситонов и трионов в квантовых точках, выращенных вдоль кристаллографической оси [111] и обладающих точечной симметрией  $C_{3v}$ . Теоретические исследования были стимулированы необычными экспериментальными данными, полученными в университете г. Тулузы (Франция). Приложение магнитного поля вдоль оси роста квантовых точек приводило к высвечиванию номинально темных экситонных состояний. В главе дается объяснение этого эффекта, основанное на



магнитоиндуцированном смешивании состояний тяжелой дырки с противоположными проекциями углового момента на ось роста структуры. Построена микроскопическая теория недиагональной компоненты тензора  $g$ -фактора тяжелой дырки, ответственной за смешивание. Демонстрируется неплохое согласие расчета с экспериментальными данными.

Разумеется, диссертационная работа М.В. Дурнева не свободна от недостатков.

Замечаний немного:

1. Автор утверждает, что в рамках используемой им 14-зонной модели полностью устраняется проблема сингулярного на интерфейсах оператора  $k_z^3$ . Однако при учете по теории возмущений более высоких зон кубические по  $k_z$  операторы появляются и в 14-зонном гамильтониане. В диссертации не обсуждается проблема сингулярностей этого рода.

2. В главе 1 автор делает утверждение о том, что интерфейсный вклад в спиновое расщепление валентных подзон является доминирующим по сравнению с объемным. Однако, интерфейсный вклад зависит (пропорционален) от произвольно выбираемого безразмерного параметра, величина которого не вполне ясна. Поэтому желательно прояснить этот вопрос.

Указанные недостатки не имеют принципиального характера и не снижают хорошего общего впечатления о работе.

В целом, диссертационная работа М.В. Дурнева выполнена на очень высоком научном уровне и представляет весомый вклад в теорию спиновых расщеплений энергетического спектра носителей в полупроводниковых наноструктурах. Основные результаты работы опубликованы в ведущих научных журналах (Phys. Rev. B, Physica E, ФТТ), доложены на ряде международных и российских конференций и хорошо известны специалистам.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертации. Представленная диссертация соответствует всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Ее автор, Дурнев Михаил Васильевич, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников.

Результаты диссертации М.В. Дурнева могут быть рекомендованы к использованию в организациях, проводящих исследования в области физики полупроводников и ведущих разработку приборов и устройств полупроводниковой электроники: ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, ИФП СО РАН, ФИАН, ИФМ РАН, ИФТТ РАН и др.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на семинаре 16.05.2014 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН.

Главный научный сотрудник ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН

д.ф.-м.н.,

раб. тел. 495-6293394

e-mail: VoVA@cplire.ru

Владимир Александрович Волков