

Отзыв

д.ф.-м.н. главного научного сотрудника лаборатории спектроскопии твердого тела Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-Технический институт им. А.Ф. Иоффе КОЧЕРЕШКО Владимира Петровича (Vladimir.Kochereshko@mail.ioffe.ru, тел. +7 812 2927174, 194021 С.Петербург, ул.Политехническая 26 ФТИ РАН) на автореферат диссертации РОДИНОЙ Анны Валерьевны «Оптические и спиновые явления в полупроводниковых коллоидных нанокристаллах», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

Диссертационная работа РОДИНОЙ Анны Валерьевны посвящена теоретическому исследованию оптических и спиновых явлений, обусловленных размерным квантованием носителей и их взаимодействием с поверхностью в нанокристаллах кубических и гексагональных полупроводников.

В диссертационной работе были получены следующие важные результаты:

1. Построена теория размерного квантования носителей и экситонов в однослойных и композитных сферических нанокристаллах с резкими и плавными границами. Изучено влияние резкого и плавного потенциала границ на энергию основного состояния дырок и их анизотропное расщепление, вызванное малой несферичностью формы нанокристалла и внутренним кристаллическим полем. Показано, что сглаживание потенциала приводит к уменьшению роли эффектов анизотропии, связанных с несферичностью формы.
2. Предложено обобщение восьмизонного $k \cdot p$ метода плавных огибающих для наноструктур с резкими границами. Из требования самосопряженности $k \cdot p$ гамильтониана получены обобщенные граничные условия для огибающей волновой функции, которая не содержит нефизических коротковолновых компонент, быстро осциллирующих или затухающих вблизи гетерограницы наноструктуры.
3. Установлено влияние подмешивания состояний валентной зоны к состояниям зоны проводимости вызванного поверхностью нанокристаллов на энергетический спектр, спин-орбитальное взаимодействие и магнитный момент электрона. Значение поверхностного параметра для нанокристаллов CdSe в модели непроницаемого барьера определено из анализа экспериментальных данных. Установлена связь поверхностного параметра с интерфейсными параметрами для модели высокого, но конечного потенциально барьера.
4. Предложен и изучен новый механизм активации излучательной рекомбинации темного экситона, связанный с обменным взаимодействием спина электрона в экситоне со спином оборванной связи на поверхности нанокристалла. Излучательная рекомбинация темного экситона происходит при одновременном перевороте спина электрона в экситоне и спина оборванной связи на поверхности нанокристалла. Рассчитаны размерные зависимости энергии обменного взаимодействия и скорости излучательной рекомбинации темного экситона. Показано, что данный механизм, единственный из известных в нулевом магнитном поле, приводит к излучению темного экситона ± 2 , поляризованному строго перпендикулярно оси анизотропии нанокристалла.
5. Теоретически изучено новое явление, состоящее в том, что вследствие динамической поляризации спинов оборванных связей на поверхности в немагнитных нанокристаллах может возникать макроскопический магнитный момент. Динамическая поляризация происходит при температурах ниже критической в процессе оптического возбуждения и излучательной рекомбинации темных экситонов, сопровождающейся переворотом спина оборванной связи, и приводит к образованию поверхностного магнитного полярона. При этом излучательная рекомбинация, сопровождающаяся переворотом спина оборванной связи, в поляронном состоянии подавляется. Определена полная энергия обменного взаимодействия порядка 7 мэВ в нанокристаллах CdSe с радиусом 1.4 нм.
6. Теоретически изучены температурные и поляризационные характеристики излучательной рекомбинации темного экситона с участием акустических или оптических фононов.

Показано, что излучение темного экситона ± 2 с участием акустических фононов поляризовано параллельно оси анизотропии нанокристалла. Излучение темного экситона ± 2 с участием оптических фононов имеет смешанную поляризацию.

7. Построена теория линейной (при линейно поляризованном возбуждении) и магнитоиндуцированной циркулярной поляризации от ансамбля произвольно ориентированных нанокристаллов с учетом различных механизмов активации излучательной рекомбинации темного экситона, а также с учетом анизотропии локального электрического поля. Предложена методика экспериментального определения доминирующего механизма активации темного экситона в нулевом магнитном поле.

8. Построена теория тонкой структуры энергетических уровней биэкситона, и триона в нанокристаллах CdSe и композитных нанокристаллах CdSe/CdS ядро-оболочка с резким и плавным потенциальными барьерами. Показано, что в случае полной компенсации анизотропного расщепления дырок в квазисферических нанокристаллах, основное состояние двух дырок в трионе и биэкситоне пятикратно вырождено и характеризуется полным моментом 2. Нескомпенсированное анизотропное поле, связанное с эллипсоидальностью формы нанокристалла и внутренним кристаллическим полем, смешивает состояния с проекцией 0 на ось анизотропии, одно из которых становится нижним по энергии.

9. Найдены и проанализированы вероятности излучательной рекомбинации многочастичных экситонных комплексов (трионов и биэкситонов), а также вероятности резонансного возбуждения биэкситонов в нанокристаллах CdSe и композитных нанокристаллах CdSe/CdS ядро/оболочка. Показано, что исследования резонансного возбуждения биэкситонов позволяют определить время релаксации между светлым и темным состояниями экситона.

10. Рассчитана плотность распределения заряда в трионах в композитных нанокристаллах CdSe/CdS с большой толщиной оболочки. Показано, что при низких температурах электроны локализованы вблизи ядра CdSe и не взаимодействуют с поверхностью. Термическая ионизация трионов приводит к делокализации одного из электронов во внешнюю оболочку, что уменьшает скорость его излучательной рекомбинации.

11. Построена модель спиновой релаксации между зеемановскими подуровнями основного состояния триона в нанокристаллах CdSe/CdS. Показано, что скорость спиновой релаксации между зеемановскими подуровнями с проекциями момента дырок $\pm 3/2$ на ось анизотропии увеличивается в магнитном поле за счет подмешивания состояний дырок с проекциями $\pm 1/2$ в поперечном поле. Максимальная скорость достигается в нанокристаллах, ось анизотропии которых ориентирована перпендикулярно магнитному полю; в нанокристаллах, ориентированных параллельно полю, релаксация остается медленной. Показано, что существует подгруппа "оптимально" ориентированных нанокристаллов в ансамбле, дающих основной вклад в неравновесную циркулярную поляризацию.

Полученные результаты являются принципиально новыми для понимания физических процессов в квантовых точках. Результаты диссертационной работы РОДИНОЙ А. В. обсуждались не только на многих международных и российских конференциях, но и неоднократно докладывались на Низкоразмерном семинаре в ФТИ им. А.Ф. Иоффе с участием признанных экспертов в области спектроскопии экситонов в полупроводниках и наноструктурах. Автореферат достаточно полно отражает содержание выполненной работы.

Считаю, что диссертационная работа РОДИНОЙ А. В. отвечает всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения степени доктора физ.-мат. наук.

Д.ф.-м.н., Главный научный сотрудник ФТИ им. А.Ф. Иоффе,
Сопредседатель Низкоразмерного семинара

Кочерешко В. П.

Ученый секретарь ФТИ им. А.Ф.Иоффе
Доктор физ.-мат. наук

Шергин А.П.