

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу Акопяна Эдуарда Сергеевича *“Линейные и нелинейные оптические свойства различных квантовых структур во внешних полях”* представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности А 04.10 – “Физика полупроводников”

Полупроводниковые наноструктуры, синтезированные на основе квантовых точек, квантовых проволок и квантовых слоев, широко используются в электронике и оптоэлектронике, солнечной энергетике, квантовой информатике, медицине и других областях современной науки и техники. В отличие от обычных материалов, свойства наноструктур из искусственных атомов легко контролировать, что сильно облегчает синтез материалов с заранее заданными характеристиками. На сегодняшний день полупроводниковые наноструктуры интенсивно исследуются как с чисто научной, так и с прикладной целью.

Диссертационная работа Эдуарда Акопяна посвящена теоретическому исследованию оптических свойств квантовых точек (КТ) различных геометрий: цилиндрических, связанных и молекулообразных при воздействии внешних полей, а также исследованию свойств различных низкоразмерных перовскитных материалов. В свете вышесказанного, рассмотренные в диссертации вопросы, несомненно, являются актуальными. В то же время, научная новизна полученных результатов очевидна и не вызывает сомнения.

Диссертационная работа состоит из **списка обозначений** и аббревиатур, **введения**, **трех глав**, **заключения** и **списка** использованной литературы. Текст изложен на 116 страницах, содержит 51 рисунок, 1 таблицу, 171 наименование литературы.

Во **Введении** приведен обзор литературы по обсуждаемым в диссертационной работе вопросам, показаны актуальность и новизна темы диссертационной работы и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В **Главе 1** исследован энергетический спектр и определены волновые функции одночастичных состояний носителей заряда в цилиндрических, вертикально связанных и молекулообразных КТ как в отсутствие внешних полей, так и при наличии внешнего электрического поля.

В первом параграфе диссертационной работы автор подробно рассматривает теоретическую основу для описания одноэлектронных состояний в цилиндрических

квантовых точках (КТ) в отсутствие внешних полей. Для этой цели используется ограничивающий потенциал Кратцера, который представляет собой значимый инструмент в физике полупроводников и демонстрирует высокую степень адекватности при теоретическом анализе одноэлектронных состояний в КТ цилиндрической симметрии при выращивании КТ на подложке.

Уравнения Шредингера решаются аналитически через класс специальных функций. Далее, на основе численных расчетов выявляется зависимость энергии размерного квантования от геометрических параметров квантовой системы: в частности, она уменьшается с увеличением геометрических размеров системы, что является ключевым фактором в понимании динамики электронных состояний в КТ. Отмечается также тенденция к эквидистантности энергетических уровней при уменьшении размеров системы. Данное свойство актуально, поскольку является фундаментальным условием для генерации второй гармоники в оптических и электронных системах.

В последующих двух разделах **Главы 1** диссертации проведен анализ одночастичных состояний носителей заряда в условиях воздействия внешнего электрического поля, а также при комбинированном воздействии электрического и магнитного полей. В случае внешнего электрического поля, используя численные методы, выявляется возрастание абсолютных значений энергетических уровней с ростом напряженности. Отдельное внимание уделяется тому факту, что при определенных значениях напряженности поля возникает равенство между первым и вторым, и вторым и третьим энергетическими уровнями. Данное вырождение создает предпосылки для генерации второй гармоники при строго определенных значениях напряженности внешнего электрического поля. В случае одновременного наложения электрического и магнитного полей, автором выполнены численные расчеты, показывающие изменение энергий одночастичных состояний. Показана возможность туннелирования носителей заряда из КТ в ответ на воздействие внешнего поля, обусловленное модуляцией ограничивающего потенциала. Важным результатом является наблюдение, что магнитное поле, вызывая дополнительное сужение области локализации носителя, приводит к увеличению энергетических уровней частицы.

Рассмотрены также состояния носителей заряда в вертикально связанных квантовых точках. Выявляются смещение максимума вероятности локализации частицы в связанной цепочке КТ под влиянием внешнего поля. Исследовано также влияние электрического поля на состояние носителей в паре квантовых точек, связанных в “молекулу КТ”. Расчеты проведены в рамках адиабатического приближения и метода конечных элементов.

В **Главе 2** диссертации тщательно анализируются линейные и нелинейные оптические свойства цилиндрических и молекулообразных КТ. Для определения нелинейных оптических свойств цилиндрических КТ используется ограничивающий потенциал Кратцера. Рассчитана зависимость генерации второй гармоники от полуширины и глубины ограничивающего потенциала. Далее, при наложении внешнего электрического поля, выполнены расчеты коэффициента генерации второй гармоники и коэффициента оптического выпрямления, изучена их зависимость от энергии падающего фотона при разных резонансных значениях напряженности поля.

Линейные оптические свойства КТ рассмотрены под воздействием электрического и магнитного полей. Результаты численных расчетов демонстрируют зависимость линейного коэффициента поглощения от частоты падающего света с учетом различных параметров квантовой ямы. Выявлено, что электрическое поле способствует смещению граничной энергии поглощения в длинноволновую область, тогда как магнитное поле оказывает обратное воздействие.

В заключительной части главы изучено влияние внешнего электрического поля на нелинейные оптические свойства молекулообразных КТ. Рассмотрены вопросы оптического выпрямления, а также генерации второй и третьей гармоник. Представлены зависимости коэффициентов оптического выпрямления, генерации второй и третьей гармоники от частоты падающего света и напряженности внешнего поля. В частности, обнаружено увеличение эффективности оптического выпрямления с ростом напряженности поля.

В **Главе 3** рассмотрены экситонные состояния и экситон-экситонное взаимодействие в перовскитных пленках с различным числом слоев.

Первые два параграфа посвящены экситонным состояниям, которые можно описать в рамках модели квантовой ямы конечного размера. Показано, что влияние внешнего электрического поля приводит к появлению встроенного дипольного момента экситона из-за смещения положительных и отрицательных носителей заряда. Энергия связи экситона для первых пяти слоев перовскита дает хорошее согласие с экспериментом. В третьем параграфе рассчитывается энергия экситон-экситонного взаимодействия с передачей волнового вектора с учетом всех четырех видов взаимодействий.

В целом, проблемы, рассмотренные в диссертационной работе Акопяна Эдуарда Сергеевича "*Линейные и нелинейные оптические свойства различных квантовых структур во внешних полях*" **актуальны**, продиктованы требованиями фундаментальных исследований и практических применений.

Диссертационной работе есть ряд несущественных недостатков, о основном носящих технический характер. Например, некоторые рисунки имеют недостаточную четкость и несоразмерный фонт. Хотелось бы, чтобы автор обсудил возможность применения примененного в работе расчета энергетических уровней и волновых функций для других типов перовскитных материалов.

Указанные недостатки не влияют на достоверность и практическую ценность полученных результатов, а также на общее заключение о должном научном уровне выполненной работы и ее важности для нанофизики нульмерных структур. Безусловно, работа Акопяна Эдуарда Сергеевича представляет законченное научное исследование, содержащее решения конкретно важных теоретических задач физики полупроводниковых наноструктур. Материалы диссертации опубликованы в международных и национальных журналах, апробированы на конференциях, школах и семинарах.

Автореферат и публикации полно отражают содержание диссертации.

Исходя из вышесказанного считаю, что диссертационная работа Акопяна Эдуарда Сергеевича “*Линейные и нелинейные оптические свойства различных квантовых структур во внешних полях*” удовлетворяет требованиям ВАК Армении, предъявляемым к кандидатским диссертациям по шифру Ц.04.10 “Физика полупроводников”, а ее автор, Эдуард Сергеевич Акопян, безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специализации.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
доцент

Т.С. Акопян

Подпись Т.С. Акопяна подтверждаю,
ученый-секретарь Ереванского государственного
университета



М.В. Оганнисян