

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Коротченкова Алексея Владимировича

«Плазмоны и плазмон-экситоны в наноструктурах металл-полупроводник»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 1.3.11 – физика полупроводников.

Диссертация А. В. Коротченкова представляет собой теоретическое исследование, посвященное плазмонам в слоях металлических наночастиц и смешанным возбуждениям, возникающим при взаимодействии плазмонов с экситонами в полупроводниковых квантовых ямах. Интерес к данной теме обусловлен активным изучением новых материалов, сочетающих оптические свойства металлических и полупроводниковых наноструктур. Необходимость разработки моделей, описывающих композитные и структурированные материалы, связана с их применением в различных областях оптики для увеличения эффективности светоизлучающих приборов, генерации оптических гармоник, управления поляризацией и распространением оптических сигналов. В целом изучение свойств наноструктур металл-полупроводник является актуальной задачей физики низкоразмерных систем, затрагивающей фундаментальные вопросы взаимодействия света с веществом.

Целью диссертационной работы является теоретическое исследование плазмонных и плазмон-экситонных возбуждений в наноструктурах, включающих массивы металлических нанокластеров и полупроводниковые квантовые ямы. Представленные в работе результаты несомненно обладают научной новизной. Автором впервые получены оценки константы взаимодействия квазидвумерных полупроводниковых экситонов с плазмонами в металлических наночастицах и нанопроводах, и дано объяснение резонансной особенности в спектре металл-полупроводниковых наноструктур. Также впервые предложено наблюдение оптической ориентации горячих экситонов, возбуждаемых в гетероструктуре с квантовой ямой при помощи решётки металлических наночастиц.

Диссертация состоит из введения, в котором обоснована актуальность выбранной темы и сформулированы задачи исследования, трех глав, заключения и приложения. Следует отметить логичную структурированность изложения и связанность результатов, приведенных в трех главах диссертации. В первой главе представлена теория спектроскопии анизотропного отражения света от слоев металлических частиц на поверхности полупроводника. Разработанная модель коллективных слоевых плазмонов применяется для объяснения экспериментально измеренных спектров анизотропного отражения, что придает работе определенную практическую значимость. Самосогласованная теория, использующая понятие эффективной дипольной поляризуемости металлических наночастиц, применяется в дальнейших разделах диссертационной работы.

Во второй главе решена задача о взаимодействии плазмонов в решетках из наночастиц с экситонами в полупроводниковой квантовой яме. Рассчитаны спектры плазмон-экситонной поляризуемости, а также спектры отражения и поглощения света, в которых присутствует резонансная особенность в виде двух пиков, разделенных узким провалом. При этом полученные оценки показывают, что характерные значения константы плазмон-экситонной связи оказываются меньше ширины плазмонного резонанса. Аналогичные результаты были получены для плазмонов в одномерной решетке из нанопроволок. Отсюда можно заключить, что для экситонов Ванье-Мотта характерным оказывается случай слабой связи с поверхностными плазмонами.

В третьей главе представлена теория оптической ориентации горячих экситонов, возбуждаемых в квантовой яме в ближнем поле решетки наночастиц. Насколько я знаю, ранее оптическая ориентация экситонов в ближнем поле не изучалась, хотя сложные наноструктуры с металлическими решетками и квантовыми ямами создавались и исследовались. Показано, что решетка позволяет генерировать и собирать излучение экситонов с волновыми векторами обратной решетки, в несколько раз превосходящими волновой вектор падающего света. При этом ориентация спина экситонов в момент рождения и поляризация их излучения определяется поляризацией поверхностных волн, распространяющихся вдоль решетки. Для описания динамики рождаемых экситонов применяется уравнение для матрицы плотности, в котором учитывалась релаксация импульса и спина экситонов, а также энергетическая релаксация, обусловленная испусканием акустических фононов. В результате предложен метод определения времени жизни и спиновой релаксации горячих экситонов с помощью измерения степеней циркулярной и линейной поляризации излучения в магнитном поле.

Краткая сводка основных результатов выполненного исследования приводится в заключении диссертации.

После прочтения диссертационной работы возникли следующие замечания и вопросы.

1. Насколько обосновано использование квазистатического приближения при вычислении решеточных сумм в Главе 1? При взаимодействии соседних частиц запаздыванием можно пренебречь, но в сумме имеются вклады далёких частиц, в которых необходимо учитывать дальнее поле.

2. Судя по приведенным в Главе 1 результатам, наночастицы в слое располагаются достаточно близко друг к другу, и кроме того, лежат на поверхности полупроводника. Корректно ли в таком случае использовать дипольное приближение, и не нужно ли учитывать высшие мультиполи?

3. В главах 2 и 3 рассматривается взаимодействие плазмонов с экситонами, которые, по сути, представлены в виде двухуровневой системы с дипольным моментом, отвечающим за оптические переходы. В действительности экситоны обладают более сложной пространственной структурой. Нужно ли учитывать влияние металлических наночастиц на внутреннюю структуру экситона, если его радиус сопоставим с размерами и расстояниями, использованными в расчетах?

Указанные замечания не понижают общей положительной оценки работы. Диссертация Коротченкова А.В. «Плазмоны и плазмон-экситоны в наноструктурах металл-полупроводник» выполнена на высоком научном уровне и обладает несомненной новизной. Достоверность выводов подтверждается внутренней согласованностью результатов, полученных численно и аналитически, и согласием с данными экспериментов. Научные положения, выносимые на защиту, сформулированы четко и соответствуют полученным в работе результатам. Считаю, что работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым диссертационными советами ФТИ к кандидатским диссертациям, а её автор Коротченков А.В. безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – физика полупроводников.

Официальный оппонент: доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник лаборатории спектроскопии твердого тела  
ФТИ им. А.Ф. Иоффе

  
Рыбин Михаил Валерьевич

Адрес: 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26.  
Телефон: +7-905-2336650, e-mail: [m.rybin@mail.ioffe.ru](mailto:m.rybin@mail.ioffe.ru)

**ПОДПИСЬ  
УДОСТОВЕРЯЮ**

Ученый секретарь ФТИ им. А.Ф. Иоффе, к.ф.-м.н.

  
Патров М.И.