

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.02 ПРИ ФЕДЕРАЛЬНОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ БЮДЖЕТНОМ УЧРЕЖДЕНИИ
НАУКИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ ИМ. А.Ф. ИОФФЕ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

Аттестационное дело № _____
Решение диссертационного совета от 20.02.2025 № 2

О присуждении Коротченкову Алексею Владимировичу, гражданину РФ, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Плазмоны и плазмон-экситоны в наноструктурах металл-полупроводник» по специальности 1.3.11. Физика полупроводников принята к защите «21» ноября 2024 г., протокол №9, диссертационным советом 34.01.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26, утверждённым 12 июля 2019 г. приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе №75.

Соискатель Коротченков Алексей Владимирович, 1 ноября 1993 года рождения, в 2010 году поступил в Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» и окончил в 2014 году бакалавриат по направлению «Физика». В 2016 году окончил магистратуру в Федеральном государственном бюджетном учреждении высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет Российской академии наук» по направлению «Физика». В октябре 2013 года принят на работу в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, в лабораторию полупроводниковой люминесценции и инжекционных излучателей. С 2015 года по настоящее время работает младшим научным сотрудником в секторе теории оптических и электрических явлений в полупроводниках.

Диссертационная работа выполнена в ФГБУН Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26.

Научный руководитель – Кособукин Владимир Артемович

доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник сектора теории твёрдого тела Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. **Рыбин Михаил Валерьевич**, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории спектроскопии твёрдого тела Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе, дал положительный отзыв на диссертацию.

В отзыве содержится 3 замечания:

1. Насколько обосновано использование квазистатического приближения при вычислении решёточных сумм в Главе 1? При взаимодействии соседних частиц

запаздыванием можно пренебречь, но в сумме имеются вклады далёких частиц, в которых необходимо учитывать дальнейшее 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?

В отзыве отмечено, что данные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы, выполненной на высоком научном уровне и обладающей несомненной новизной.

2. **Дьяков Сергей Александрович**, доктор физико-математических наук, доцент Центра инженерной физики в Сколковском институте науки и технологий, дал положительный отзыв на диссертацию.

В отзыве содержится 3 замечания:

1. Почему поляризация экситонов не теряется быстро за счет упругого рассеяния на примесях? Кажется бы, в некотором смысле экситон аналогичен электромагнитной волне, а ее поляризация при рассеянии на малых неоднородностях вовсе не сохраняется.
2. Как происходит учет влияния локальной поляризации возбуждающего поля в двумерных решетках на поляризацию экситонов?
3. Можно ли при помощи описанного теоретического подхода учесть «взаимодействие» дифракционной аномалии Вуда-Рэля с экситонным полюсом?

В отзыве сказано, что возникшие вопросы не умаляют положительного впечатления от работы, выполненной с использованием современных методов теоретического анализа и обладающей несомненной практической значимостью.

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», предоставила положительный отзыв на диссертацию. Отзыв подготовлен профессором кафедры физики твердого тела СПбГУ, доктором физико-математических наук Козловым Глебом Геннадиевичем и утвержден профессором физики твердого тела СПбГУ с возложением обязанностей заведующего кафедрой, доктором физико-математических наук Вербиным Сергеем Юрьевичем. В заключении указано, что по актуальности темы исследования, значимости и научному уровню полученных результатов представленная работа полностью удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

В отзыве ведущей организации содержится 5 замечаний:

1. В уравнении (1.13) не совсем понятен смысл «шляпок» над G . Буквы, обозначающие преобразование Фурье и оригинал, одинаковы – преобразование от оригинала отличается только буквами, обозначающими аргументы соответствующих функций. Символ G со шляпкой далее в работе не встречается.
2. Рассмотрение эффекта появления поляризационной анизотропии отражения ведется на решетке (уравнение (1.12) и ниже). Нельзя ли вместо решетки наночастиц рассмотреть сплошной (неструктурированный) слой с анизотропией (причиной этой анизотропии может являться анизотропия составляющих слой наночастиц), но не учитывать дискретный характер слоя?
3. Вопрос по рис. 2.7 в тексте диссертации. Как известно, мнимая и вещественная части поляризуемости связаны соотношением Крамерса-Кронига, и вблизи резонанса должны иметь существенно различающиеся дисперсионные зависимости. При этом спектры оптического поглощения определяются мнимой частью поляризуемости, а спектры отражения – вещественной частью. Почему на рис. 2.7 указанные зависимости сходны?
4. Вопрос по первому защищаемому положению: дает ли возможность предложенная автором теория анизотропного отражения различить анизотропию формы наночастиц и анизотропию расположения наночастиц в слое? Можно ли как-нибудь отличить эти два «источника» анизотропии в эксперименте?
5. Вопрос по второму защищаемому положению: не совсем понятно, что было сделано диссертантом, а что было известно ранее.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обуславливался их высоким научным авторитетом, а также сходством тематик работ, проводимых ведущей организацией и оппонентами, с тематикой диссертационной работы. В ходе защиты на все замечания соискателем даны исчерпывающие ответы.

На автореферат поступило 5 отзывов:

1) **Отзыв член-корр. РАН, д.ф.-м.н. Арсеева Петра Иваровича**, главного научного сотрудника отделения теоретической физики им. И.Е. Тамма Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53).

Отзыв положительный, содержит 1 замечание:

1. Из текста автореферата не очень понятна разница между структурой с плазмонами и просто периодической структурой (например, диэлектрической) на поверхности. Прибавляют ли что-то плазмонные резонансы в процессы оптической ориентации?

Отмечено, что, судя по автореферату и статьям, работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям диссертационными советами ФТИ.

2) **Отзыв д.ф.-м.н. Кочерешко Владимира Петровича**, главного научного сотрудника лаборатории спектроскопии твердого тела Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН (194021, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26).

Отзыв положительный, без замечаний.

3) **Отзыв д.ф.-м.н. Липовского Андрея Александровича**, профессора, заведующего кафедрой функциональных микро- и наноматериалов Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет имени Ж.И. Алфёрова Российской академии наук» (194021, г. Санкт-Петербург, ул. Хлопина, д. 8, корп. 3, лит. А).

Отзыв положительный, содержит 2 замечания:

1. При обращении к модели Друде в автореферате следовало отметить, что последующий анализ ограничен случаем относительно больших наночастиц, размер которых позволяет не учитывать рассеяние электронов на поверхности.
2. В автореферате отсутствуют какие-либо комментарии, поясняющие наличие преимущественной ориентации сфероидов («вытягивания» наночастиц) в плоскости подложки.

В отзыве указано, что диссертационная работа представляет собой полноценное теоретическое исследование, выполненное на высоком научном уровне, и отвечает всем требованиям, предъявляемым диссертационным советом ФТИ.

4) **Отзыв д.ф.-м.н. Попова Вячеслава Валентиновича**, профессора, главного научного сотрудника Саратовского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (410019, г. Саратов, ул. Зеленая, д. 38).

Отзыв положительный, содержит 4 замечания:

1. Автор использует различные термины (порой даже несколько разных терминов одновременно) для одних и тех же плазмонов в решетках металлических наночастиц: «локализованные поверхностные плазмоны» (стр. 3); просто «поверхностные плазмоны» (та же стр. 3 и стр. 4); просто «локализованные плазмоны» (стр. 4); «коллективные плазмоны» (стр. 10). Автору следовало бы более четко определиться с этими терминами. Отмечу также несколько технических огрехов в изложении материала в автореферате и его оформлении. Так, в автореферате не указано, что означают кружочки на выделенных участках кривых на Рис. 4. Не определен параметр U_α , входящий в формулы (12), (13) и Таблицу 1.
2. Непонятно, почему экситоны с ненулевым волновым вектором называются «горячими экситонами»? Имеет ли этот термин какое-либо отношение, и если да, то какое, к температуре экситона?
3. Непонятно, учитывается ли (и каким образом) радиационное затухание в параметре затухания Γ_α плазмона в выражении (7)? Или параметр Γ_α учитывает только диссипативное (нерадиационное) затухание, обозначенное малой греческой буквой γ в выражении (2)? Учитывается ли радиационное затухание плазмонов в величине параметра G_α , входящего в формулу (12) и Таблицу 1? Кажется, что радиационное затухание не учитывается, поскольку далее на стр. 13 автореферата, после формулы (14), поясняется что $G_\alpha = \gamma/2$, где γ – параметр диссипации в металле, указанный в формуле (2). Если радиационное затухание плазмонов в параметре G_α действительно не учитывается, то почему? В то же время, на стр. 14 в предпоследнем предложении в части автореферата, посвященной второй главе диссертации, записано выражение для затухания плазмона в виде $G_x = \gamma/2 + G_{0x}$, где G_{0x} – радиационное затухание плазмона. Желательно, чтобы противоречивые высказывания, указанные в данном замечании, были пояснены и приведены во взаимное соответствие.
4. На стр. 16 автореферата, сразу после формулы (22), вводится параметр $\eta = 1 - b^2/q^2$, где b – модуль волнового вектора обратной решетки металлических наночастиц, а $q = \sqrt{\epsilon_b}\omega/c$ – волновое число света в окружающем пространстве. Представляется, что величина η , определенная таким образом, не может быть равна единице ни при каких условиях, вопреки тому, что утверждается в автореферате сразу ниже уравнения (23)? Попутно замечу, что ранее (на стр. 10 автореферата) этой же греческой буквой η обозначается совсем другая величина (отношение длин полюсей сферической металлической наночастицы).

В отзыве утверждается, что указанные недостатки касаются главным образом изложения материала в автореферате и не снижают общей высокой оценки самой диссертационной работы.

5) **Отзыв д.ф.-м.н. Чалдышева Владимира Викторовича**, главного научного сотрудника лаборатории физики аморфных полупроводников Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН (194021, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26). Отзыв положительный, без замечаний.

Публикации. Личный вклад автора.

Все приведенные в тексте диссертации результаты были получены автором самостоятельно или при его непосредственном участии. Выбор темы и общего направления исследования, обсуждение и постановка задач осуществлялись совместно с научным руководителем. Результаты диссертационного исследования докладывались на следующих российских и международных конференциях:

1. Международная молодёжная конференция Физика.СПб, 1-3 ноября 2016 г. Коротченков А. В., Кособукин В. А. Плазмонное анизотропное отражение света от массивов металлических нанокластеров. Тезисы докладов, с. 182.
2. Международная конференция Физика.СПб, 23-25 октября 2018 г. Korotchenkov A. V., Kosobukin V. A. Optics of low-dimensional plasmon-excitons in metal-semiconductor nanostructures. Тезисы докладов, с. 159.
3. Совещание по теории твёрдого тела, Санкт-Петербург, 28-30 мая 2019 г. А. В. Коротченков, В. А. Кособукин, Н. С. Аверкиев. Плазмон-экситонный спектр наноструктур с квантовыми ямами. Сборник тезисов, с. 38.
4. 28th International Symposium Nanostructures: Physics and Technology, Minsk, September 2020. A. V. Korotchenkov. Coupling of quantum well excitons to plasmons in one-dimensional metal nanocylinder gratings. Proceedings, p. 162.
5. XXVII Международный симпозиум НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, Нижний Новгород, 13–16 марта 2023 г. Н. С. Аверкиев, А. В. Коротченков. Выстраивание горячих экситонов в гибридных наноструктурах металл-полупроводник. Устный доклад. Том 2 с. 511.
6. International conference Days on Diffraction 2023, St. Petersburg, June 5-9, 2023. Korotchenkov A. V., Averkiev N. S. Optical alignment of hot excitons in metal-semiconductor nanostructures. Book of abstracts, p. 98.

Основные результаты по теме диссертации были опубликованы в 5 статьях в рецензируемых научных журналах, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus. Их список с описанием личного вклада соискателя приводится ниже:

1. В. А. Кособукин, А. В. Коротченков. Плазмонная спектроскопия анизотропного отражения света от наночастиц металла, находящихся на поверхности полупроводника. Физика твёрдого тела 58 (12), 2446-2453 (2016).
(Теоретический анализ, обработка данных эксперимента, анализ результатов).
2. A. Korotchenkov, V. Kosobukin. Plasmonic reflectance anisotropy spectroscopy of metal nanoclusters in a dielectric multilayer. Theory. Journal of Physics: Conference Series 929, 012071 (2017).
(Разработка модели, численные расчеты, подготовка статьи).
3. Н. С. Аверкиев, А. В. Коротченков, В. А. Кособукин. К теории плазмон-экситонов: оценка константы взаимодействия и оптический спектр. Физика и Техника Полупроводников, 53 (8), 1063-1067 (2019).

(Расчет и анализ спектров плазмон-экситонной поляризуемости).

4. A. V. Korotchenkov. Coupling of quantum-well excitons to plasmons in one-dimensional metal nanocylinder gratings. Semiconductors 54 (11), 1506-1508 (2020). (Построение теории, расчет и анализ наблюдаемых оптических спектров, подготовка статьи).
5. A. V. Korotchenkov, N. S. Averkiev. Optical orientation of excitons in hybrid metal-semiconductor nanostructures. Physical Review B 109 (12), 125418 (2024). (Разработка теории, анализ результатов, подготовка статьи).

Диссертационный совет отмечает, что рассмотренная диссертация является законченной работой, полученные соискателем результаты имеют как фундаментальное, так и прикладное значение, и на своем заседании 20 февраля 2025 г. принял решение присудить Коротченкову Алексею Владимировичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. Физика полупроводников.

При проведении голосования диссертационного совета в количестве 21 человек из 23 членов совета, из них в заседании участвовали 16 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, очно проголосовали:

За присуждение Коротченкову Алексею Владимировичу ученой степени кандидата физико-математических наук подано голосов – 21,
против – нет,
недействительных бюллетеней – нет,
не проголосовали – нет.

Из 4 членов совета, участвовавших дистанционно, за присуждение Коротченкову Алексею Владимировичу ученой степени кандидата физико-математических наук проголосовали:
«за» – 4,
«против» – нет,
«воздержались» – нет,
«не голосовали» – нет.

Итого: из 21 членов совета, участвовавших в очно-заочном голосовании,
«за»: 21
«против»: нет
«испорченных бюллетеней»: нет
«воздержались»: нет
«не проголосовали»: нет

Председатель диссертационного совета
д.ф.-м.н., академик РАН

Ивченко Еугениус Левович

Ученый секретарь диссертационного совета
д. ф.-м. н.

Сорокин Лев Михайлович

20 февраля 2025 г.