ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕСТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИТЕЧЕСОКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СТЕНОГРАММА

Заседание объединенного совета ДМ 002.262.01
от 2 декабря 2015 года
(протокол №8)

Защита диссертации Нечепуренко Игоря Александровича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Исследование свойств плазмонных структур и их возможных приложений»

Специальность 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки

Москва – 2015

СТЕНОГРАММА

заседания объединенного диссертационного совета ДМ 002.262.01
при Институте теоретической и прикладной электродинамики РАН
при участии
Объединенного института высоких температур РАН
Протокол №8 от 02 декабря 2015 г.

Председатель – Председатель диссертационного совета ДМ 002.262.01 академик РАН, д.ф.-м.н., профессор Лагарьков А.Н.

Секретарь – Ученый секретарь диссертационного совета ДМ 002.262.01 к.ф.-м.н., Кугель К.И.

Председатель:

Уважаемые члены Совета, кворум имеется. Совет утверждён в составе **20** человека. На заседании присутствуют **18** члена совета, из них докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации – **17**.

1.	Лагарьков А.Н.,	д.ф.-м.н., академик РАН, профессор	01.04.13
2.	Якубов И.Т.,	д.ф.-м.н., профессор	01.04.13
3.	Амиров Р.Х.,	д.ф.-м.н.	01.04.13
4.	Кугель К.И.,	к.ф.-м.н.	01.04.13
5.	Антонов А.С.,	д.ф.-м.н.	01.04.13
6.	Батенин В.М.	д.ф.-м.н., член.-корр. РАН, профессор	01.04.13
7.	Виноградов А.П.,	д.ф.-м.н.	01.04.13
8.	Денщиков К.К.	д.т.н.	01.04.13
9.	Жук А.З.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.13
10.	Зейгарник В.А.	д.т.н.	01.04.13
11.	Карпухин В.Т.,	д.т.н.	01.04.13
12.	Кисель В.Н.,	д.ф.-м.н., доцент	01.04.13
13.	Лебедев Е.Ф.,	д.т.н., профессор	01.04.13
14.	Парфенов Ю.В.,	д.т.н.	01.04.13
15.	Пухов А.А.,	д.ф.-м.н.	01.04.13
16.	Рахманов А.Л.	д.ф.-м.н.	01.04.13
17.	Сон Э.Е.	д.ф.-м.н., член.-корр. РАН, профессор	01.04.13
18.	Сарычев А.К.,	д.ф.-м.н.	01.04.13

На повестке дня защита диссертации **Нечепуренко Игоря Александровича,** представленная на искание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки. Тема диссертации: «**Исследование свойств плазмонных структур и их возможные приложения**» Диссертация выполнялась в ФГАОУ Московском физико-техническом институте (государственном университете).

Научный руководитель:

Ерёмин Александр Викторович, д.ф.-м.н., зав. лаб. №15 неравновесных процессов отдела №2 физической газовой динамики отделения №1 теплофизики интенсивных воздействий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, г.Москва.

Официальные оппоненты:

1. **Капуткина Наталия Ефимовна** – гражданка РФ, доктор физико-математических наук, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ МИСиС, г. Москва), кафедра физической химии, профессор;

2. **Щербаков Максим Радикович** – гражданка РФ, кандидат физико-математических наук Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ им. Ломоносова, г. Москва), физический факультет, кафедра квантовой электроники, научный сотрудник.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН, 142190 г. Москва, г. ул. Физическая, 5).

На заседании присутствуют: два официальных оппонента. Слово предоставляется ученому секретарю Кугелю К.И.

Ученый секретарь:

Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Минобрнауки РФ.

В деле имеет заключение организации, которой выполнялась диссертация.

Зачитывает заключение организации, на базе которой выполнялась работа (не стенографируется, заключение прилагается)

Председатель:

Теперь можем заслушать докладчика. Слово предоставляется Нечепуренко Игорю Александровичу для изложения основных положений диссертационной работы.

Нечепуренко И.А.:

Докладывает диссертационную работу (выступление не стенографируется, доклад Нечепуренко И.А. прилагается).

Председатель:

Спасибо, вопросы, пожалуйста.

Сон Э.Е.:

У меня вопрос на понимание. Когда вы говорите про материалы с отрицательной диэлектрической проницаемостью, Вы имеет ввиду статическую или динамическую?

Нечепуренко И.А.:

Динамическую

Сон Э.Е.:

Тогда вопрос такой: если медленно ее менять, тогда не будет; существует ли критическая частота, и какая это частота?

Нечепуренко И.А.:

Это плазменная частота. Для серебра эта частота находится в районе 300 нанометров.

Сон Э.Е.:

Вы рассматриваете поверхностные волны. Специфика поверхностных волн при этом существует или нет? Плазма находится в объеме, а Вы рассматриваете поверхностные воны. Например, условие Вульфа-Брэгга и пленки, могут менять плазменную частоту.

Нечепуренко И.А.:

Действительно эти эффекты необходимо учитывать при размерах меньше, чем 20 нанометров. На размерах 5-10 нанометров сильно меняется эффективная диэлектрическая проницаемость, и там это необходимо учитывать. А мы работаем на структурах в районе 30-50 нм.

Сон Э.Е.:

Последний вопрос такой: У вас в диссертации есть несколько предложений по внутрирезонаторной спектроскопии и т.д.. Это только предложения, работа чисто теоретическая или что-то было реализовано практически, экспериментально?

Нечепуренко И.А.:

Практически был реализован метод измерения показателя преломления с помощью световода с наклонной брэгговской решеткой. Также в настоящее время реализуется метод усиления комбинационного рассеяния с использованием подложки из фотонного кристалла и золотых наночастиц. В целом есть ряд по экспериментальной реализации спазеров.

Сон Э.Е.:

Я имею ввиду экспериментальные реализации. Есть ли у вас патенты?

Нечепуренко И.А.:

По генератору тактовой частоты мы в процессе получения патента и вчера поступила информация, что он прошел.

Председатель:

Андрей Карлович, у Вас был вопрос.

Сарычев А.К.

Я хотел бы заметить…

Председатель:

Сейчас вопросы

Сарычев А.К.:

Вопрос такой: Вы когда рассматриваете вот этот и остальные плазменные лазеры Вы учитываете тепловые эффекты, которые возникают. У Вас вся теория строится на квазиклассике, то есть у вас большое число плазмонов там должно быть. Вы учитывали тепловое выделение при возбуждении большого числа плазмонов в Ваших структурах?

Нечепуренко И.А.:

Действительно тепловыделение важно учитывать в таких системах и это важно делать в случае СиВи режима, то есть при постоянной накачке. Практически все экспериментальные работы по спазерам делаются в импульсном режиме. То есть при длительности импульса до 100 наносекунд можно наблюдать устойчивую генерацию, сужение линии, но при этом перегрев системы не происходит.

Председатель:

Вы ответили? Тогда у меня следующий вопрос: При 100 нс вы говорите, что не происходит перегрев в многомодовом режиме? Как это может быть? 100 нс – это огромное время! Характерное время одного колебания у Вас десять в минус девятой, десять в минус десятой.

Сарычев А.К.:

Десять в минус четырнадцатой!

Председатель:

Для одного лазерного колебания – конечно! За это время у Вас просто все разрушится! Андрей Карлович вопрос деликатно задал я более жестко задам. То есть сомнения в том, что в импульсном режиме все нормально, а когда Вы говорите, рисуете графики – за это время все разрушится. То есть не реализуется.

Нечепуренко И.А.:

Да, наиболее сильно проблема нагрева осложняет создание локализованного спазера, т.е. спазера на основе плазмонной наночастицы, т.е. спазер, который изначально предлагался. В настоящее время экспериментально локализованы спазеры на основе распространяющихся

плазмонов. В том числе популярно сейчас становится экспериментальная реализация таких систем: это металлическая пленка, в которой находится периодическая система дырок. На границе запрещенной зоны для плазмонов образуется стоячая плазмонная волна и на этой моде осуществляют генерацию. Дело в том, что в таких системах теплоотвод осуществляется гораздо проще и оценки показывают, что в пленке основная часть энергии уходит за счет того, что пленка имеет конечный раземер. То есть при размере в несколько десятков микрометров основной выход энергии уходит через бока пленки в ту область, где нет накачки. Таким образом, для распространяющихся плазмонов эта проблема сказывается гораздо слабее.

Председатель:

Еще вопросы.

Батенин В.М.:

Давайте отвлечемся от нагрева. Скажите, пожалуйста, у Вас один из выводов – исследована генерация в параболической канавке. И говорится о том, что потери существенны. А Вы не рассматривали канавку в сверхпроводнике?

Нечепуренко И.А.:

Канавку в сверхпроводнике мы не рассматривали. Я, честно говоря, плазмоны в сверхпроводниках не рассматривал.

Батенин В.М.:

Еще один вопрос. Вот пленка графеновая и опять таки пленка из сверхпроводника – тоже не рассматривались?

Нечепуренко И.А.:

Сверхпроводящая пленка – там наверное тоже есть поверхностные волны, но мы их не рассматривали.

Батенин В.М.:

Спасибо!

Председатель:

Добротность графена в ИК области по сравнению с золотом насколько выше?

Нечепуренко И.А.:

У золота добротность 10-20, а у графена добротность больше 100.

Председатель:

Это в эксперименте или теоретически?

Нечепуренко И.А.:

В эксперименте измеряется проводимость. Дело в том, что там есть сложность с сильной локализацией плазмонов. С одной стороны – это плюс. С другой стороны их сложно возбудить. И стараются работать ближе к оптике, где плазмоны слаболокализованные.

Председатель:

Почему там, где добротность высокая, как Вы говорите, трудно возбудить плазмоны?

Нечепуренко И.А.:

Это связано с тем, что у них очень большое волновое число. Есть работы по экспериментальному наблюдению плазмонов на графене. Они есть как в оптике, так и в ИК области. Но про непосредственное измерение добротности не могу сказать, такие работы не встречал.

Председатель:

А почему число сотня возникло? Откуда оно?

Нечепуренко И.А.:

Из проводимости графена. Проводимость активно измеряют и это связано с тем, что их хотят использовать для создания транзистора.

Председатель:

А почему число сотня возникло? Откуда оно? Проводимость – это мнимая часть, надо мерить действительную часть.

Нечепуренко И.А.:

Измеряются и действительная, и мнимая части диэлектрической проницаемости.

Председатель:

Сотня получается?

Нечепуренко И.А.:

Да.

Сарычев А.К.:

В статике! В статике сотня, а потом они тау пересчитывают.

Председатель:

Еще вопросы, пожалуйста!

Амиров Р.Х.:

Какой характерный размер чешуек графена, и какие методы получения графена подходят? Если мы рассматриваем хемико-вакуум депозицию, там как правило получают графен на подложке. Графен на подложке подходит?

Нечепуренко И.А.:

Да. Характерный размер чешуйки – это несколько десятков, скорей даже сотни нанометров. Таких размеров монослойные графен можно получать.

Амиров Р.Х.:

А если будет использоваться двухслойный графен?

Нечепуренко И.А.:

В двухслойном графене отличается проводимость. Там тоже есть плазмоны, но насколько мне известно, они уступают по поглощению.

Председатель:

Там, наверное, добротность ниже?

Нечепуренко И.А.:

Да там ниже добротность!

Кунавин К.И.:

У меня есть вопрос – чисто образовательный: Вы говорите, что имеется 6 типов зонной структуры. Они отличаются качественно? Вы так быстро прошлись… Где-то щель есть где-то щели нет, вот хотя бы два из них.

Нечепуренко И.А.:

Да они отличаются качественно. Самое первое качественное различие, которое есть – это выход при стремлении частоты к условной бесконечности. В одном случае у нас имеется выход на асимптотику. Асимптотика определяется дисперсионной кривой плазмона на одной границе. То есть при большой частоте можно рассматривать фотонный кристалл, как цепочку плазмонов на одной границе металл-диэлектрик. В случае же, когда сумма диэлектрических проницаемостей положительна, то такой асимптотики не может быть, потому что нет плазмона на одной границе. И плазмонные зоны, которые образуются в системе, они оказываются ограничены по частоте. Ну кроме того, действительно качественно отличаются. У некоторых есть щель, у некоторых нет. То есть действительно очень большое разнообразие. И важно отметить, что по горизонтальной оси у нас изображено отношение толщин. Если какая-то толщина велика по сравнению с другой, то есть, например, велика толщина диэлектрика, то мы можем рассматривать систему, как слой металла в бесконечном диэлектрике. Зоны образуются вокруг дисперсионных кривых плазмонов на слое металла в диэлектрике. В случае если велика толщина металла, плазмонные зоны образуются в результате туннелирования плазмонов на диэлектрических слоях. То есть четыре вида плазмонов и каждый приводит к образованию своих зон того или иного вида.

Председатель:

Спасибо большое, садитесь, пожалуйста! Слово предоставляется научному руководителю Дорофеенко А.В.

Дорофеенко А.В.:

Зачитывает отзыв (выступление не стенографируется, письменный отзыв имеется в деле)

Председатель:

Спасибо!

Ученый секретарь:

Имеется положительный отзыв от ведущей организации – **Института спектроскопии Российской академии наук, г. Москва,** составленный старшим научным сотрудником, к.ф.-м.н. Мелентьевым П.Н., и утвержденный

ВРИО директора инситута д.ф.-м.н. Задковым В.Н. *(зачитывает отзыв, отзыв имеется в деле)*

В отзыве имеются следующие замечания:

1. Разделы четвертой главы диссертации, посвященные новому методу внутрирезонаторной спазерной спектроскопии, следовало выделить в отдельную главу как самостоятельный результат.

2. Раздел четвертой главы, посвященный методу измерения показателя преломления на основе оптического световода, покрытого слоем металла, можно было исключить из диссертации для достижения большего единства работы.

3. Из диссертации остается неясным вопрос о том, нашли ли практическое применение метаматериалы, содержащие плазмонные включения.

4. Также остается неясным, как зависят характеристики исследуемых плазмонных устройств от параметров активной среды.

На автореферат диссертации поступило четыре отзыва из следующих организаций:

1. **Институт теоретической и экспериментальной физики (Ведущий научный сотрудник, д.ф.-м.н. Э.Т. Ахмедов) – отзыв положительный)** – отзыв положительный с замечаниями: «К недостаткам данной главы следует отнести отсутствие термодинамических оценок работы такого компьютера. При использовании существующих на сегодняшний день плазмонных материалов создание плазмонного компьютера кажется крайне сложным в силу высоких потерь плазмонов, что приведет к значительному тепловыделению. Даже для полупроводниковых вычислительных устройств задача охлаждения является принципиальной. Поэтому отсутствие оценок нагрева плазмонного компьютера можно отнести к недостаткам диссертации.»
2. **Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН** (Директор, член-корр. РАН, д.ф.-м.н. С.А. Никитов) – отзыв положительный, с замечаниями: «К недостаткам работы можно отнести отсутствие обсуждение метода измерения плазмонных полей. Особенно это важно в случае, когда предлагается спектроскопия на основе спазера. Измерение ближних полей является затруднительным, поэтому при экспериментальной реализации важно продумать способ трансформации ближних полей в дальние. Также стоит отметить не самую удачную структуру диссертации. Достаточно большой объем решенных задач делает трудным полное, комплексное понимание диссертации»
3. **Университет информационных технологий, механики и оптики** (зав. лабораторией терагерцовой биомедицины, к.ф.-м.н. М.К. Ходзицкий) – отзыв положительный с замечаниями: «В разделе «Научные положения»

указано, что все фотонные кристаллы с двухслойной элементарной ячейкой подразделяются на шесть типов, имеющих качественно различные виды зонной структуры, а на самом деле подразумевается частный случай металлодиэлектрических фотонных кристаллов. В разделе «Достоверность результатов» не указаны теоретические и экспериментальные методы, которые использовались в диссертационной работе. В разделе «Краткое содержание работы» неясно, какие именно экспериментальные исследования были проведены для подтверждения теоретических расчетов. Из текста автореферата неясен механизм влияния плазмонного резонанса на спектр прохождения оптического световода, содержащего наклонную брэгговскую решетку.»

4. **Московский физико-технический институт** (государственный университет) (зав. кафедрой теоретической физики МФТИ, д.ф.-м.н. Ю.М. Белоусов) – отзыв положительный, с замечаниями: «Ппри рассмотрении плазмонных линий недостаточно внимание было уделено форме поперечного сечения. При описании плазмонных сенсоров достаточно было дать общий обзор и ограничиться подробным описанием одного из методов.

Все поступившие отзывы положительные.

Председатель:

Пожалуйста, Игорь Александрович, ответьте.

Нечепуренко И.А.:

Что касается поперечной формы сечения канавки: в данном случае уже ранее проводились обширные исследования, в том числе Бордманом, которые проанализировали влияние поперечного сечения одномерных и двумерных структур на добротность. Эти исследования были как теоретические, так и экспериментальные. В работе идет ссылка на исследования, показывающие, что параболическая канавка обладает малыми потерями. Что касается проблемы нагрева, оптического плазмонного компьютера существует, я согласен, при нынешних существующих плазмонных материалах. Я надеюсь, что будут найдены материалы с малыми потерями, в том числе в оптическом диапазоне. Что касается влияние активной среды, в данном случае рассматривались активная среда и параметры, входящие в уравнения Максвелла-Блоха – это времена продольной и поперечной релаксации квантовых точек. Они брались из статей. Насчет структуры диссертации я согласен. С остальными замечаниями также согласен.

Председатель:

Спасибо. Слово предоставляется официальному оппоненту доктору физико-математических наук, профессору Капуткиной Наталии Ефимовной.

Капуткина Н.Е.:

(Зачитывает отзыв, письменный отзыв имеется в деле).

Председатель:

Спасибо!

Якубов И.Т.:

Можно к вам вопрос?

Председатель:

Да, пожалуйста, вопросы!

Якубов И.Т.:

Я посмотрел автореферат, и я был просто поражен. Впервые я вижу реферат теоретической диссертации – ни одной формулы и ни одного графика. Это что, о чем это говорит? По-моему это говорит о гениальности!

Капуткина Н.Е.:

Правильно некоторые вопросы лучше посмотреть на графиках. В диссертации графиков больше, чем автореферате. Формулы тоже встречаются в диссертации. Это говорит в принципе об объединении большого материала, и когда человек писал автореферат, он больше писал о приложениях и видел наиболее актуальную перспективу приложения работы.

Председатель:

Игорь Теффикович, Вы удовлетворены ответом?

Якубов И.Т.:

В общем, я как-то тоже думал, что это так. Хотя вообще странно.

Председатель:

В диссертации их много.

Капуткина Н.Е.:

Да в диссертации их много.

Сон Э.Е.:

А Вам не показалось, что название диссертации выглядит слишком общим?

Капуткина Н.Е.:

Да оно действительно выглядит общим.

Сон Э.Е.:

Вы такого замечания не сделали.

Капуткина Н.Е.:

Замечание не сделала, потому что тут действительно, наверное, автору было сложно выбрать название.

Председатель:

Спасибо большое, садитесь, пожалуйста. Игорь Александрович, ответьте на замечания.

Нечепуренко И.А.:

Я согласен со всеми замечаниями.

Председатель:

Спасибо большое. Слово предоставляется официальному оппоненту кандидату физико-математических наук, Щербакову Максиму Радиковичу

Щербаков М.Р.:

(Зачитывает отзыв, письменный отзыв имеется в деле).

Председатель:

Спасибо! Игорь Александрович, ответьте на замечания!

Нечепуренко И.А.:

Для начала я бы хотел ответить на вопрос об учете дисперсии и потерь в металле. Это действительно важно. Учет потерь приведет к тому, что произойдет размытие. При учете потерь в фотонном кристалле уже нет четкой границы между запрещенной и разрешенной зоной, поскольку в разрешенной зоне возникает затухание, а в запрещенной зоне происходит некое прохождение. К этому приводит учет потерь, а что касается учета дисперсии, рассматривается линейная задача, поэтому можно пользоваться диэлектрической проницаемостью на заданной частоте. Учет дисперсии приведет к тому, что на диаграмме параметров структура будет переходить в разные области. Изменение частоты не будет приводить к изменению толщин, а будет приводить к изменению диэлектрической проницаемости. Поэтому учет дисперсии приводит к тому, что структура может пересекать границы областей и в той или иной частотной области структура будет обладать заданной зонной структурой. В таком плазмоном кристалле будут распространяться соответствующие плазмонные волны. Что касается контринтуитивного метода: Для меня самого было неожиданно то, что я добавлял в систему потери и началась генерация. Когда я разобрался с тем, что это связано с изменением действительной части диэлектрической проницаемости, это стало понятно. В остальном я согласен с замечаниями оппонента.

Председатель:

Спасибо! Теперь перейдем к дискуссии по диссертации. Пожалуйста, кто хочет выступить? Пожалуйста, Андрей Карлович!

Сарычев А.К.:

Мне очень понравилась диссертация и здесь ясно виден тренд в современной плазмонике, когда мы переходим от каких-то на сегодняшний день фантастических приложений, таких как плазмонного компьютера к совершенно реальной теме, на которой сосредоточен интерес – в плазмонной сенсорике, в исследовании веществ. И здесь открывается колоссальный интерес. Здесь мы не ограничены потерями, здесь потери могут даже играть позитивную роль. Я в своем замечании говорил, что при рассмотрении

генерации обязательно необходимо учитывать вопросы теплоотвода и в своих ответах диссертант правильно говорил, что для этого необходимо делать систему большой. Нанолазер должен быть размером микрон, тогда он будет нано. И последнее, на что я хотел обратить внимание, переходя к выводам. Здесь спазерная внутрирезонаторная спектроскопия, которая является важным результатом диссертации, она на самом деле была экспериментально реализована в работах группы Жанга в центре нанофотоники в Беркли. Опубликована в Нэйче. И я предлагаю может быть мы пункт четвертый заменим: «предложен новый метод внутрирезонаторной спазерной спектроскопии поглощения». Может быть не предложена, а исследована. Мне кажется, что было бы глаже, это никак не умаляет достоинств диссертации, вместо «новый метод внутрирезонаторной спектроскопии – спазерной спектроскопии», исследован метод внутрирезонаторной спектроскопии. Никак это не может умалить достоинств диссертации, а с другой стороны может снять дискуссию на эту тему.

Виноградов А.П.:

У меня одно маленькой замечание, работу Жанга мы хорошо знаем. Но там другой механизм. Там механизм связан с тем, что исследованное вещество, на самом деле, выступает в роли леганда и там большая квантовая многоэлектронная точка.

Председатель:

Хорошо сказано про квантовую точку!

Виноградов А.П.:

Она действительно большая, сотни нанометров. По сравнению с двадцаткой – это большая.

Сарычев А.К.:

Это единственный работающий нанолазер.

Виноградов А.П.:

Там эффект совсем другой. Там добавление вот этого исследованного вещества приводит к увеличению добротности и увеличению генерации. То есть там механизмы совсем другие. Хотя, в общем-то, датчик такой есть.

Дорофеенко А.В.:

Если говорить о приоритете, как видите, работу Жанга мы знаем, даже слайд есть, она 14-го года. У нас обе работы также 14-го года.

Председатель:

Тогда вопрос снят. Хорошо, еще кто-нибудь хочет выступить, уважаемые коллеги? Я эту работу давно знаю, знаю очень хорошо. Она докладывалась на конференции в Институте теоретической и прикладной электродинамики много раз, она производила и сейчас производит очень

хорошее впечатление, и как член диссертационного совета, я получил удовольствие заслушать ее еще раз. Еще желающие есть выступить?

Виноградов А.П.:

Игорь является в некотором смысле моим научным внуком, то есть он аспирант моего аспиранта Дорофеенко Александра. Поэтому эти работы шли в нашей группе, и я хорошо с ними знаком. И хотел сделать некоторое замечание, что наши недостатки являются продолжением наших достоинств. Многотемность связана с тем, что Игорь может очень быстро войти в новую тематику. Когда появляется новая задача, кто может сделать – Игорь. И действительно он очень быстро врубается в задачу и получает интересные результаты.

Председатель:

Спасибо, Алексей Петрович!

Батенин В.М.:

Мне кажется, что замечание многотемности не обоснованно, потому что мы рассматриваем научно-квалификационную работу и эта многотемность отражает высокую квалификацию человека. Поэтому это не недостаток, являющийся отражением достоинств, а достоинство.

Председатель:

Спасибо! Есть еще вопросы? Нет, тогда заключительное слово соискателю.

Нечепуренко И.А.:

Своим заключительным словом, я в первую очередь хотел бы поблагодарить Дорофеенко Александра Викторовича, который много лет был моим научным руководителем, и под его руководством была проделана огромная работа. Также хотел поблагодарить бы Алексея Петровича Виноградова, который хотя и не был моим научным руководителем, но также оказал очень большое влияние и очень много помогал при подготовке и решении задач. И в заключение я хотел бы поблагодарить диссертационный совет за то, что рассмотрели мою диссертацию. Спасибо!

Председатель:

Спасибо! Садитесь, пожалуйста. Предлагаю выбрать счетную комиссию, пожалуйста, предложения!

Ученый секретарь:

У меня есть предложение – выбор наиболее ответственных, администраторов, а именно Зейгарника, Киселя и Якубова.

Председатель:

Спасибо, кто за? против? воздержался? Принято единогласно!

(*Проводится процедура тайного голосования*).

Председатель:

Слово для оглашения результатов тайного голосования предоставляется Якубову И.Т.

Якубов И.Т.:

Состав диссертационного совета утвержден в количестве **20** человек, введенных членов нет, на заседании присутствуют **18** членов совета, в том числе докторов наук по профилю диссертации **17**. Роздано **18** бюллетеней, остались не розданными **2**. В урне оказалось **18** бюллетеней.

Результаты голосования:

За присуждение ученой степени кандидата физико-математических наук **Нечепуренко Игорю Александровичу** проголосовало **18** членов диссертационного совета, **против** – **нет**, **недействительных** бюллетеней – **нет**.

Председатель:

Предлагается утвердить протокол счетной комиссии. Прошу голосовать. *(Протокол счетной комиссии утверждается единогласно)*. Диссертационный совет должен принять заключение по диссертации Нечепуренко И.А. и утвердить его. Проект заключения роздан. А теперь переходим к проекту заключение.

(*Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения*).

Предлагается принять заключение с обсужденными нами изменениями. Прошу голосовать. (*Утверждается единогласно открытым голосованием*). Заседание диссертационного совета объявляется закрытым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ДМ 002.262.01 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ ПРИ УЧАСТИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 02.12.2015 протокол № 8

О присуждении Нечепуренко Игорю Александровичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование свойств плазмонных структур и их возможные приложения» в виде рукописи по специальности 01.04.13 - Электрофизика и электрофизические установки, принята к защите 24.09.2015г., протокол № 5, объединенным диссертационным советом ДМ 002.262.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики при участии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, http://www.itae.ru/, (495) 484-23-83), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 15.02.2013г. № 75/нк.

Соискатель Нечепуренко Игорь Александрович 1989 года рождения, в 2012 году окончил Московский физико-технический институт (государственный университет).

В настоящее время является аспирантом Московского физико-технического института (государственного университета) (с 01.09.2012 по 31.08.2016).

Диссертация выполнена в Московском физико-техническом институте (государственном университете)

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Дорофеенко Александр Викторович, ведущий научный сотрудник лаборатории теоретической электродинамики конденсированного состояния (№1) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики РАН (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, http://www.itae.ru/, (495) 484-23-83).

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, Капуткина Наталия Ефимовна, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ МИСиС), кафедра физической химии, профессор;

кандидат физико-математических наук, Щербаков Максим Радикович, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра квантовой электроники, научный сотрудник дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН, г. Москва), в своем положительном заключении, составленном старшим научным сотрудником Института спектроскопии Российской академии наук, кандидатом физико-математических наук Мелентьевым П.Н. (утвержденном ВРИО директора Задковым В.Н.), указала следующее.

1. Впервые получена полная картина возможных типов зонной структуры одномерных плазмонных фотонных кристаллов при всевозможных параметрах системы. Получен критерий возникновения эффекта отрицательного преломления.

2. Впервые предложен генератор плазмонов, распространяющихся в канавке на поверхности металла. Показано, что добавление насыщаемого поглотителя в резонатор генератора плазмонов на основе параболической канавки приводит к возникновению режима пассивной модуляции добротности. Впервые предложено создать генератор терагерцовой тактовой частоты, использующий это явление.

3. Предложен новый метод внутрирезонаторной спектроскопии поглощения на основе плазмонного генератора (спазерная спектроскопия).

4. Предложена реализация метода внутрирезонаторной спазерной спектроскопии на основе плазмонов графена. Найдена чувствительность метода.

5. Предложено использовать поверхностную волну в фотонном кристалле для дополнительного усиления сигнала в схеме SERS. Установлена связь между оптимальным количеством слоев фотонного кристалла и потерями, свойственными самой схеме SERS.

Соискатель имеет 12 статей в реферируемых журналах (12 из них в журналах из списка ВАК), более 20 тезисов в сборниках трудов конференций.

Основные работы:

1. Vinogradov A.P., Dorofeenko A.V., Nechepurenko I.A., Analysis of plasmonic Bloch waves and band structures of 1D plasmonic photonic crystals. //Metamaterials – 2010. –V. 4. – №. 4. – P. 181-200.

2. Lisyansky A. A., Nechepurenko I. A., Dorofeenko A. V., Vinogradov A. P., Pukhov A. A., Channel spaser: Coherent excitation of one-dimensional plasmons

from quantum dots located along a linear channel //Physical Review B – 2011. V. 84 – № 15. – P. 153409.

3. Нечепуренко И. А., Дорофеенко А. В. Отрицательное преломление в одномерных плазмонных фотонных кристаллах // Радиотехника и электроника – 2011. Т. 56. – №. 9. – С. 1132-1141.

4. Dorofeenko A.V., Nechepurenko I. A., Dorofeenko A. V., Andrianov E. S., Pukhov A. A. Spaser for sensing applications // AIP Conference Proceedings – 2012. – V. 1475. – №. 1. – P. 53-55.

5. Dorofeenko A.V., Nechepurenko I. A., Dorofeenko A. V., Andrianov E. S., Pukhov A. A. Surface spaser spectroscopy //2014 8th International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics – 2014.

6. Dorofeenko A.V., Nechepurenko A. V., Pukhov, A. A. Passive mode-locked spaser for clock generation in plasmonic devices //2014 8th International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics. – 2014 – P. 103 – 105.

7. Lozovik Y.E., Nechepurenko I. A., Dorofeenko A. V., Andrianov E. S., Pukhov A. A. Spaser spectroscopy with subwavelength spatial resolution //Physics Letters Section A – 2014. – V. 378 – №. 9.– P. 723-727.

8. Lozovik Y.E., Nechepurenko I. A., Dorofeenko A. V., Andrianov E. S., Pukhov A. A. Highly sensitive spectroscopy based on a surface plasmon polariton quantum generator //Laser Physics Letters, – 2014. – 11(12).

9. Нечепуренко И.А., Дорофеенко А.В., Виноградов А.П., Евтушенко Е.Г., Курочкин И.Н. Усиление сигнала флуоресцентно меченных экзосом: теоретическое исследование флуоресценции в присутствии плазмонных наночастиц //Вестн. Моск. Ун-Та. Сер. 2. Химия. – 2015. – Т. 56. – № 3.

10. Нечепуренко И.А., Дорофеенко А.В., Виноградов А.П., Курочкин И.Н. Усиление комбинационного рассеяния поверхностной волной в фотонном кристалле //Вестн. Моск. Ун-Та. Сер. 2. Химия. – 2015. – Т. 56. – № 3.

11. Нечепуренко И.А., Дорофеенко А. В., Томышев К. А., Бутов О. В. Исследование плазмонного резонанса на медной пленке, напыленной на световод с наклонной брэгговской решеткой. //Журнал Радиоэлектроники – 2015. – №4.

12. Nechepurenko I. A., Baranov D. G., Dorofeenko A. V. Lasing induced by resonant absorption //Optics Express. – 2015. – V. 23. – №. 16. – P. 20394-20401.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Институт теоретической и экспериментальной физики (Ведущий научный сотрудник, д.ф.-м.н. Э.Т. Ахмедов) – отзыв положительный, со следующими замечаниями:

– отсутствие оценок нагрева плазмонного компьютера.

2. Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (Директор, член-корр. РАН, д.ф.-м.н. С.А. Никитов) – отзыв положительный, со следующими замечаниями:

– отсутствие обсуждения измерения плазмонных полей;

– сложная структура диссертации, затрудняющая ее понимание.

3. Университет ИТМО (зав. лабораторией терагерцовой биомедицины, к.ф.-м.н. М.К. Ходзицкий) – отзыв положительный, с замечаниями:

– в разделе «Научные положения» указано, что все фотонные кристаллы с двухслойной элементарной ячейкой подразделяются на шесть типов, имеющих качественно различные виды зонной структуры, а на самом деле подразумевается частный случай металлодиэлектрических фотонных кристаллов;

– в разделе «Достоверность результатов» не указаны теоретические и экспериментальные методы, которые использовались в диссертационной работе;

– в разделе «Краткое содержание работы» неясно, какие именно экспериментальные исследования были проведены для подтверждения теоретических расчетов;

– из текста автореферата неясен механизм влияния плазмонного резонанса на спектр пропускания оптического световода, содержащего наклонную брэгговскую решетку.

4. Московский физико-технический институт (государственный университет) (зав. кафедрой теоретической физики МФТИ, д.ф.-м.н. Ю.М. Белоусов) – отзыв положительный, с замечаниями:

– при рассмотрении плазмонных линий недостаточно внимание было уделено форме поперечного сечения;

– при описании плазмонных сенсоров достаточно было дать общий обзор и ограничиться подробным описанием одного из методов;

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что:

– д.ф.-м.н., Капуткина Н.Е. является ведущим ученым в области квантовой оптики, физики твердого тела; автор множества работ, посвященным различным эффектам, в том числе, лазированию в гетероструктурах, таких как квантовые точки, квантовые ямы, и др.;

1. Altaisky M. V., Kaputkina N. E., Krylov V. A. Quantum neural networks: Current status and prospects for development //Physics of Particles and Nuclei. – 2014. – V. 45. – №. 6. – P. 1013-1032.

2. Korotaev P. Y., Vekilov Y. K., Kaputkina N. E. Electronic spectrum and localization of electronic states in aperiodic quantum dot chains //Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2014. – V. 118. – №. 2. – P. 304-310.

3. Altaisky M. V., Kaputkina N. E. On quantization of nondispersive wave packets //Journal of Mathematical Physics. – 2013. – V. 54. – №. 10. – P. 102101.

4. Altaisky M. V., Kaputkina N. E. Continuous wavelet transform in quantum field theory //Physical Review D. – 2013. – V. 88. – №. 2. – P. 025015.

5. Altaiskii M. V., Kaputkina N. E. On the wavelet decomposition in light cone variables //Russian Physics Journal. – 2013. – V. 55. – P. 1177-1182.

6. Korotaev P. Y., Vekilov Y. K., Kaputkina N. E. Electronic properties of aperiodic quantum dot chains //Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. – 2012. – V. 44. – №. 7. – P. 1580-1584.

7. Altaisky M. V., Kaputkina N. E. On the corrections to the Casimir effect depending on the resolution of measurement //JETP letters. – 2011. – V. 94. – №. 5. – P. 341-343.

- к.ф.-м.н. Щербаков М.Р. является признанным специалистом в области плазмоники, плазмонных фотонных кристаллов, а также нелинейной оптики. Автор многих работ по данной тематике:

1. Shcherbakov M. R. et al. Ultrafast all-optical switching with magnetic resonances in nonlinear dielectric nanostructures //Nano letters. – 2015. – V. 15. – №. 10. – P. 6985-6990.

2. Shcherbakov M. R. et al. Plasmon ruler with gold nanorod dimers: utilizing the second-order resonance //Optics letters. – 2015. – V. 40. – №. 7. – P. 1571-1574.

3. Shcherbakov M. R. et al. Enhanced third-harmonic generation in silicon nanoparticles driven by magnetic response //Nano letters. – 2014. – V. 14. – №. 11. – P. 6488-6492.

4. Vabishchevich P. P. et al. Magnetic field-controlled femtosecond pulse shaping by magnetoplasmonic crystals //Journal of Applied Physics. – 2013. – V. 113. – №. 17. – P. 17A947.

5. Tsema B. B. et al. Handedness-sensitive emission of surface plasmon polaritons by elliptical nanohole ensembles //Optics express. – 2012. – V. 20. – №. 10. – P. 10538-10544.

6. Chernykh I. A. et al. Optical properties of 1D metal nanogratings //Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2011. – V. 5. – №. 5. – P. 941-944.

7. Shcherbakov M. R. et al. Near-field optical polarimetry of plasmonic nanowires //JETP letters. – 2011. – V. 93. – №. 12. – P. 720-724.

Выбор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института спектроскопии Российской академии наук обусловлен тем, что данный институт является многопрофильной организацией, проводящей обширные исследования, в том числе по тематике диссертации. В частности, эти исследования направлены на экспериментальное создание активных плазмонных устройств, разработку новых методов спектроскопии, развитие таких методов, как спектроскопия комбинационного рассеяния света. Основные публикации сотрудников ИСАН по тематике, близкой к тематике диссертации:

1. Melentiev P. N. et al. Giant enhancement of two photon induced luminescence in metal nanostructure //Optics express. – 2015. – V. 23. – №. 9. – P. 11444-11452.

2. Melentiev P. N. et al. Nanoscale and femtosecond optical autocorrelator based on a single plasmonic nanostructure //Laser Physics Letters. – 2014. – V. 11. – №. 10. – P. 105301.

3. Melentiev P. N., Afanasev A. E., Balykin V. I. Giant optical nonlinearity of plasmonic nanostructures //Quantum Electronics. – 2014. – V. 44. – №. 6. – P. 547-551.

4. Melentiev P., Afanasiev A., Balykin V. Optical Tamm state on a femtosecond time scale //Physical Review A. – 2013. – V. 88. – №. 5. – P. 053841.

5. Konstantinova T. V. et al. A nanohole in a thin metal film as an efficient nonlinear optical element //Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2013. – V. 117. – №. 1. – P. 21-31.

6. Melentiev P. N. et al. Single nanohole and photoluminescence: nanolocalized and wavelength tunable light source //Optics express. – 2012. – V. 20. – №. 17. – P. 19474-19483.

7. Alieva E. V. et al. Blue surface plasmon propagation along thin gold film–gas interface and its use for sensitive nitrogen dioxide detection //Optics Communications. – 2013. – V. 309. – P. 148-152.

8. Konopsky V. N. et al. Photonic crystal biosensor based on optical surface waves //Sensors. – 2013. – V. 13. – №. 2. – P. 2566-2578.

9. Konopsky V. N. et al. Size-dependent hydrogen uptake behavior of Pd nanoparticles revealed by photonic crystal surface waves //Applied Physics Letters. – 2012. – V. 100. – №. 8. – P. 083108.

10. Konopsky V. N., Alieva E. V. Observation of fine interference structures at total internal reflection of focused light beams //Physical Review A. – 2012. – V. 86. – №. 6. – P. 063807.

Диссертационный совет отмечает, что **на основании выполненных соискателем исследований:**

1. проведена классификация одномерных плазмонных фотонных кристаллов, элементарная ячейка которых состоит из пары слоев – металлического и диэлектрического; исследованы различные типы зонной структуры плазмонных фотонных кристаллов;
2. исследована генерация плазмонов в параболической металлической канавке, на дне которой находятся квантовые точки; определен порог генерации;
3. предложен метод генерации плазмонных импульсов с терагерцовой частотой за счет добавления насыщаемого поглотителя в параболическую канавку;
4. исследован эффект Кречманна на поверхности металла, нанесенного на оптический световод, содержащий наклонную брэгговскую решетку;
5. предложен метод внутрирезонаторной спазерной спектроскопии на основе одномерного спазера;
6. вычислена чувствительность внутрирезонаторной спазерной спектроскопии;
7. предсказано контринтуитивное явление уменьшения порога генерации спазера при увеличении резонансных потерь, обусловленное дисперсией диэлектрической проницаемости поглотителя.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1. Впервые получена полная картина возможных типов зонной структуры одномерных плазмонных фотонных кристаллов при всевозможных параметрах системы. Получен критерий возникновения эффекта отрицательного преломления.
2. Впервые предложен генератор плазмонов, распространяющихся в канавке на поверхности металла. Определен порог генерации, при условии, использования квантовых точек в качестве усиливающей среды.
3. Показано, что добавление насыщаемого поглотителя в резонатор генератора плазмонов на основе параболической канавки приводит к возникновению режима пассивной модуляции добротности. Впервые предложено создать генератор терагерцовой тактовой частоты, используя это явление.
4. Предложен новый метод внутрирезонаторной спектроскопии поглощения на основе плазмонного генератора (спазерная спектроскопия).
5. Предложена схема для реализации метода внутрирезонаторной спазерной спектроскопии поглощения, позволяющая одновременно достичь высокой чувствительности и субволнового пространственного разрешения.
6. Предложена реализация метода внутрирезонаторной спазерной спектроскопии на основе плазмонов графена. Найдена чувствительность метода.
7. Предсказан эффект возникновения генерации спазера при добавлении в систему резонансного узкополосного поглотителя.
8. Предложено использовать поверхностную волну в фотонном кристалле для дополнительного усиления сигнала в схеме SERS. Установлена связь между оптимальным количеством слоев фотонного кристалла и потерями, свойственными самой схеме SERS.

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики подтверждается** тем, что:

– на основе теоретического описания метода определения показателя преломления с помощью оптического световода, содержащего наклонную брэгговскую решетку, проведен эксперимент. Продемонстрирована высокая чувствительность метода;

– описан способ повышения чувствительности спектроскопии комбинационного рассеяния света с помощью поверхностной волны фотонного кристалла. Разработаны рекомендации по созданию фотонного кристалла на основе реалистичных параметров;

– предложен метод спазерной спектроскопии поглощения. Представлены различные схемы спазерной спектроскопии, а также рекомендации по повышению их чувствительности.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в Институте теоретической и прикладной электродинамики РАН, МГУ им. М.В, Ломоносова, Физическом институте академии наук, в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

– расчетно-теоретические исследования построены на известных, проверяемых данных, фактах, общепризнанных законах электродинамики и оптики. Они согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

– диссертационная работа базируется на анализе научно-технической литературы по предметной области исследования, обобщении передового опыта работы других научных групп и лабораторий;

– результаты работы опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях, некоторые расчеты легли в основу экспериментальных работ.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в выборе темы исследования, постановке задачи. Автор лично проводил все вычисления, результаты которых представлены в диссертации. Апробация результатов исследования проводилась на более чем 20 российских и

международных конференциях и симпозиумах, в некоторых из которых соискатель принимал личное участие. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены лично автором.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г.

На заседании от 02.12.2015г. диссертационный совет принял решение присудить Нечепуренко И.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 17 докторов наук по специальности 01.04.13 – электрофизика и электрофизические установки, из 20 человек, входящих в состав совета, (дополнительно введены на разовую защиту 0 человек), проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета ДМ 002.262.01
д.ф.-м.н., профессор, академик РАН Лагарьков А.Н.

Ученый секретарь диссертационного совета ДМ 002.262.01
к.ф.-м.н. Кугель К.И.

М.П.

02.12.2015г.