

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

4. Dorofeenko A.V., Nechipurenko 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., Nechipurenko 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., Nechipurenko 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., Nechipurenko 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., Nechipurenko 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., Дорофеев 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., Дорофеев 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., Дорофеев 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, посвященных 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 Кречмана 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

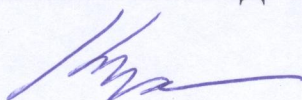
д.ф.-м.н., профессор, академик РАН



Лагарьков А.Н.

Ученый секретарь диссертационного совета ДМ 002.262.01

к.ф.-м.н.



Кугель К.И.

02.12.2015г.

