

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки

Институт вычислительного  
моделирования СО РАН  
(ИВМ СО РАН)

и-корреспондент РАН

д. ф.-м. н., профессор

В. А. Шайдуров



2015 г.

### ОТЗЫВ

на диссертацию Рассказова Ильи Леонидовича

**«Моделирование условий синтеза оптических волноводов из  
плазмонных наночастиц и исследование их трансмиссионных и  
дисперсионных свойств»,**

представленную к защите на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.05 – оптика.

В настоящее время весьма актуальной является задача увеличения быстродействия вычислительных устройств, решение которой основано на минимизации размеров элементов интегральных микросхем. Электроника и фотоника, предлагающие наиболее распространенные из существующих технологий передачи и обработки информации, ограничены в своей применимости фундаментальными физическими законами. Максимальная скорость обработки информации в полупроводниковых электрических микросхемах определяется RC-задержкой, а минимальный размер диэлектрических элементов фотоники ограничен дифракционным пределом. Преодолеть эти ограничения и объединить преимущества существующих технологий позволяет плазмоника. Несколько лет назад в работе N. Engheta, 2005 была высказана идея создания оптических интегральных микросхем, в которых роль электрического тока будут выполнять световые потоки. Незаменимыми компонентами таких микросхем являются оптические нановолноводы. В простейшем случае оптический нановолновод представляет собой линейную цепочку из эквидистантно расположенных наночастиц сферической или сфероидальной формы. Оптический импульс возбуждает наночастицу на одном конце волновода от внешнего источника (например, зонда ближнепольного оптического микроскопа), при этом на

противоположном конце волновода для регистрации импульса используется аналогичное считывающее устройство. Сигнал в таких цепочках распространяется за счет возбуждения поверхностного плазмонного поляритона, который представляет собой групповое возбуждение в цепочке.

Диссертация И. Л. Рассказова посвящена разработке способов получения оптических плазмонных волноводов в виде одномерных цепочек ограниченной длины из периодически расположенных плазмонных наночастиц методом численного моделирования, а также исследованию их волноводных свойств в задачах применения этих объектов в качестве перспективных функциональных элементов оптических интегральных микросхем. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во Введении обосновывается актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, аргументированы научная новизна, практическая значимость результатов, представлены защищаемые положения, приведены данные об апробации результатов работы.

В главе 1 представлен обзор литературы по теме диссертационной работы. Освещены публикации, содержащие основные методы синтеза упорядоченных структур из наночастиц. Представлен обзор работ, посвященных трансмиссионным и дисперсионным свойствам оптических плазмонных волноводов.

В главе 2 в качестве перспективного для постановки реального эксперимента по получению квазиупорядоченных цепочек из серебряных наночастиц предложен электростатический способ функционализации диэлектрической подложки. Метод, предложенный в настоящей главе, сочетает высокую степень контролируемости геометрии оптических плазмонных волноводов и малые размеры частиц. В рамках этой главы разработана модель осаждения частиц дисперсной фазы из объема нанокolloида на электростатически функционализированную подложку. Модель учитывает ван-дер-ваальсово и упругое взаимодействие частиц, диссипативные и стохастические силы, а также межчастичное трение. С помощью разработанной модели исследованы зависимость степени дефектности синтезируемых в таких условиях цепочечных структур от параметров системы «нанокolloид-подложка». Выявлены возможные типы дефектов, возникающие в цепочках при их синтезе предложенным методом, а также исследованы способы минимизации степени дефектности. Полученные данные позволяют спрогнозировать результат при постановке реального эксперимента.



В главе 3 в рамках дипольного приближения исследуются спектральные и дисперсионные свойства коротких (длина которых не превышает длину волны возбуждающего излучения) оптических плазмонных волноводов. Установлено, что наименьшее затухание оптического сигнала может быть достигнуто в волноводах в виде прямолинейных односторонних и двухсторонних цепочек. Более сильное затухание наблюдается в цепочках в виде полуокружности и уголка. Исследована динамика распространения фемтосекундных импульсов в линейных цепочках из наночастиц различной формы. Установлено, что при минимальном затухании волновых пакетов происходит их отражение от границ цепочек, что при ограниченной длине рабочей части оптических волноводов может приводить к эффекту наложения паразитного сигнала на последующие рабочие импульсы. Показано, что использование оптической ловушки простейшего (диссипативного) типа, установленной на конце цепочки, позволяет уменьшить амплитуду отраженных сигналов на порядок и более до значений ниже порога чувствительности фоторегистрирующего устройства без существенного изменения дисперсионных свойств рабочей части цепочки.

Глава 4 посвящена волноводным свойствам длинных оптических плазмонных волноводов. Показано, что поверхностный плазмон-поляритон может распространяться вдоль цепочек из наносфероидов не только с высокими значениями групповых скоростей, но и с незначительным пространственным затуханием. Помимо этого, продемонстрирована возможность использования изогнутых цепочек из наночастиц для эффективного и перестраиваемого преобразования поляризации поверхностного плазмон-поляритона. Кроме того, исследовано влияние плоской диэлектрической подложки на трансмиссионные и спектральные свойства линейных оптических плазмонных волноводов, располагающихся на ней. Установлен диапазон значений параметров системы «оптический плазмонный волновод-подложка», в котором эффективность распространения поверхностного плазмон-поляритона не снижается по сравнению с волноводом в свободном пространстве.

В Заключение автором сформулированы основные результаты и выводы работы. Научная новизна выполненных исследований, а также оригинальность полученных результатов заключаются в следующем.

Продemonстрирована возможность получения упорядоченных односторонних структур из близкорасположенных плазмонно-резонансных наночастиц на технологической подложке при помощи оригинального электростатического метода её функционализации, обеспечивающего

избирательное осаждение наночастиц в заданной области подложки из объема коллоидной системы.

Показано, что в оптических плазмонных волноводах из несферических наночастиц распространение поверхностных плазмонных поляритонов происходит с незначительным пространственным затуханием.

Продемонстрирована возможность использования искривленных 2D цепочек из наночастиц в качестве наноразмерных функциональных элементов, позволяющих управлять поляризацией пропускаемого излучения.

Установлено влияние факторов геометрической конфигурации цепочек и формы наночастиц на изменение поляризации оптического излучения.

Показано, что влияние технологической диэлектрической подложки на распространение поверхностных плазмон-поляритонов в линейных цепочках из наночастиц несферической формы, располагающихся на такой подложке, может быть несущественным. Определен диапазон значений параметров системы «оптический плазмонный волновод–подложка», в котором эффективность распространения поверхностного плазмонного поляритона не снижается по сравнению с оптическим плазмонным волноводом в свободном пространстве.

Достоверность представленного автором материала подтверждается корректным использованием физических моделей, позволяющих получать результаты, которые коррелируют не только с экспериментальными данными, но и с аналогичными исследованиями других авторов при тех же условиях и приближениях.

Стоит также отметить, что новизна и актуальность научных результатов диссертационной работы подтверждается публикациями в зарубежных журналах с высоким импакт-фактором.

Замечания по диссертации:

1. При взаимодействии наночастиц с внешним возбуждающим излучением (главы 3 и 4) неизбежно будет происходить их нагрев, что может привести к изменению волноводных свойств цепочечных структур. В работе эта особенность не учтена.
2. Расчеты дисперсионных и трансмиссионных свойств выполнены для оптических плазмонных волноводов, располагающихся в вакууме. Остается неясным, как повлияет изменение показателя преломления окружающей среды на полученные результаты?
3. Из представленных результатов непонятно, как повлияет учёт мультиполей высших порядков при возбуждении поверхностного плазмонного резонанса отдельной частицы на полученные волноводные свойства цепочки.



4. На странице 23 текста диссертации допущена ошибка. Компенсирующий заряд, наводимый в центре частицы, будет отрицательным (что и следует из рис. 2.1), а не положительным, как указано в тексте.
5. Использование терминов «минимизация» и «оптимизация» в контексте приводимого исследования является неуместным. Более корректным было бы использование слов: «уменьшение» и «улучшение», соответственно.
6. Термин «оптическая энергия» (стр. 78) является некорректным. Авторам следовало использовать термин «энергия электромагнитного излучения».

Высказанные замечания, тем не менее, не уменьшают ценность полученных результатов, их несомненную новизну и не умаляют достоинств работы. Результаты диссертационной работы И.Л. Рассказова хорошо известны специалистам, прошли апробацию на многочисленных конференциях, опубликованы в рецензируемых отечественных и зарубежных изданиях и их достоверность не вызывает сомнений.

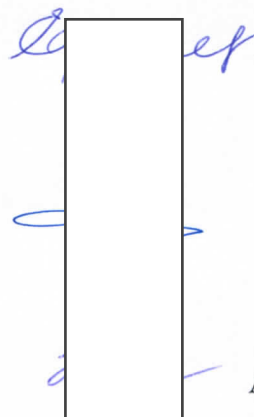
Считаем, что объем диссертационной работы, достоверность и значимость полученных результатов удовлетворяют требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор – Рассказов Илья Леонидович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Выступление Рассказова И. Л. заслушано на расширенном заседании Отдела вычислительной физики ИВМ СО РАН, протокол № 3 от 20 мая 2015 года. Отзыв рассмотрен и одобрен на этом же семинаре в присутствии 5 докторов и 1 кандидата наук по специальности диссертационной работы.

Руководитель семинара и заведующий  
отделом Вычислительной физики ИВМ  
СО РАН доктор физ.-мат. наук, профессор

Отзыв составил главный научный  
сотрудник ИВМ СО РАН, доктор физ.-  
мат. наук, профессор

Секретарь семинара, научный сотрудник,  
к. т. н.



Н. В. Еркаев

Н. Я. Шапарев

А. А. Кадочников

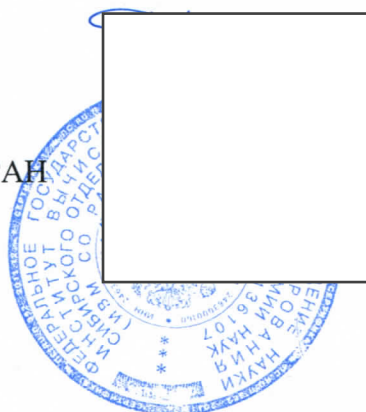
**Публикации д.ф.-м.н., профессора, гнс ИВМ СО РАН Шапарева Н. Я за 2009-2015 гг.**

1. Н. Я. Шапарев «Поглощение континуального излучения в резонансных разлетающихся газовых средах», Известия вузов. Физика. 2015, т.58, №2, с.52 – 57.
2. N. Ya. Shaparev “Absorption of continuum radiation in a resonant expanding gaseous sphere”, J. Phys. B: At. Mol. and Opt. Phys., 2014, v.47, p.22540.
3. A. P. Gavriluk, N.Ya Shaparev “The combined effect of optical laser and microwave radiations on the metal surface”, Chin. Phys. B, 2014, v. 23, No. 2, p. 025205.
4. N. Ya. Shaparev “ The spectrum of resonant laser radiation to decelerate ions in an expanding ultracold plasma” Laser Phys. Lett. 2013, v.10, p.085501.
5. Н. Я. Шапарев «Уменьшение поглощения резонансного излучения в расширяющемся газе», ДАН, 2013, т.448, №4, с. 403.
6. Гаврилюк А.П., Шапарев Н.Я. «Образование плазмы на поверхности металла при совместном действии лазерного и СВЧ излучений». Квантовая электроника. 2013, т.43, №10, с.943-949.
7. N.I Kosarev, N.Y.Shaparev, Scattering and absorption of resonant radiation in expanding sphere// J. Phys. B: At Mol. Opt. Phys., 2012, v. 45 ,Iss.16 , pp. 165003 (5p) .
8. N.I Kosarev, N.Y.Shaparev, Imprisonment dynamics of resonance radiation in gases.// J. Phys. B: At Mol. Opt. Phys., 2011, v. 44, Iss.44 , pp. 105402 (5p).
9. A.P. Gavriluk, I.L. Isaev, S.V. Karpov, I.V.Krasnov, N.Ya. Shaparev. “Brownian Dynamic of Laser Cooling and Crystallization of Electron-ion Plasma”, Phys.Rev.E, 2009, v.80, issue 5, p. 056404 (6p.).
10. А.П.Гаврилюк, И.В.Краснов, Н.Я.Шапарев. “Моделирование и диагностика ультрахолодной лазерной плазмы”, Вычислительные технологии, 2009, №6, с. 29-33.

Верно:

Ученый секретарь ИВМ СО РАН

к.ф.-м.н



Шапарев Н. Я.

Вяткин А. В.