

**ОТЗЫВ официального оппонента Шорохова Александра Сергеевича
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Сапегина Александра Андреевича
на тему: «Оптические свойства волноводов на дискретных
наноразмерных элементах»
по специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база
микро- и наноэлектроники, квантовых устройств»**

Диссертация А.А. Сапегина посвящена теоретическому и численному исследованию процессов передачи электромагнитного излучения оптического диапазона в цепочке субволновых электродинамически связанных резонаторов из металлических и полупроводниковых материалов. Подобные структуры могут функционировать как волноводы на оптическом чипе. Наряду со стандартными полосковыми волноводами подобные объекты обладают рядом преимуществ, таких как возможность реализации изгибов под большими углами, компактных линий задержки, а также значительного усиления нелинейно-оптических эффектов за счет локализации электромагнитных полей. В представленной работе автор делает акцент на использовании достаточно простых аналитических моделей для определения оптического отклика таких структур в противовес широко распространенным, но ресурсоемким методам численного моделирования. Это дает возможность исследовать довольно протяженные объекты, состоящие из большого числа субволновых частиц. Все вышеуказанное определяет актуальность темы представленного исследования.

Диссертационная работа А.А. Сапегина состоит из введения, трех глав, основных результатов и списка цитированной литературы. Кроме того, в приложении также представлена дополнительная информация по расчету коэффициентов Ми и собственных мод димеров частиц. Работа оформлена на

128 страницах, включая 53 рисунка, 2 таблицы и 140 библиографических ссылок.

Во **введении** автор описывает актуальность проводимого исследования, отмечает нерешенные в данной области науки задачи, формулирует цели, указывает, в чем состоит новизна и практическая значимость. Также приведены данные по апробации результатов работы.

В **первой главе** автор приводит обзор литературы по тематике современных интегральных волноводных структур, описывает основной аналитический метод, используемый в работе – метод квази-сепарабельного Т-оператора, а также обсуждает другие подходы для расчета дискретных волноводов.

Во **второй главе** диссертации исследуется распространение электромагнитного излучения вдоль конечной линейной цепочки частиц, рассматриваются случаи возбуждения одной крайней частицы, а также двух противоположных частиц на краях цепочки, приводятся основные уравнения для решения поставленной задачи.

В **третьей главе** диссертации приведены результаты расчетов по построенной модели для случая цепочки из золотых и кремниевых наночастиц, обсуждается приближенный способ расчета параметра волнового взаимодействия соседних частиц цепочки в резонансном режиме, исследуется возможность использования конечных цепочек кремниевых наночастиц в качестве полностью оптического компаратора электромагнитного сигнала.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Среди достоинств диссертации А.А. Сапегина следует указать доступный авторский стиль изложения, который позволяет читателю, который не является экспертом в представленной области, понять содержание проведенного исследования. Следует отметить, что был проделан основательный теоретический анализ, построена модель для описания

эффектов взаимодействия оптического излучения с цепочками металлических и диэлектрических частиц, изучены различные режимы распространения света в подобных структурах. С этой точки зрения представленная диссертация является полноценным законченным исследованием. Выполненная работа проведена на высоком уровне, о чем свидетельствуют публикации автора в отечественных и международных научных журналах.

Несмотря на общее положительное впечатление от диссертационной работы А.А. Сапегина, считаю необходимым сделать ряд замечаний и отразить некоторые возникшие при прочтении вопросы:

1. В главе 2 при описании задачи о распространении электромагнитного возбуждения вдоль цепочки субволновых частиц автором вводится предположение, что только крайняя частица цепочки возбуждается коллимированным линейно поляризованным лучом. Насколько это достижимо в реальном эксперименте? При условии субволнового размера частиц цепочки в сечение коллимированного луча будет попадать множество частиц, расположенных на краю. Как это может повлиять на предсказания построенной модели?
2. В главе 3 рассматривается цепочка сферических частиц одинакового радиуса (76 нм), состоящая более чем из 10^5 элементов. В реальных условиях форма частиц, а также их размер будут отличаться. Насколько чувствительны результаты модели к подобным вариациям?
3. Там же в главе 3 проводится сравнение результатов для цепочек частиц из золота и кремния, при этом делается вывод, что из-за концентрации электромагнитного поля в объеме кремниевых частиц и высокого поглощения данного материала в видимом спектральном диапазоне, излучение в такой цепочке быстро затухает. Кажется, в связи с этим более разумным было бы провести замену кремния на прозрачный диэлектрик, например, нитрид кремния, или выбрать другую длину волны излучения,

например, из стандартного телекоммуникационного диапазона, где кремний прозрачен. Как будут соотноситься длины пробега в плазмонных и диэлектрических цепочках в этом случае?

4. Интересным также представляется сравнение результатов построенной аналитической модели с прямым расчетом, проведенным, например, с помощью метода конечных разностей во временной области, для конечных цепочек субволновых частиц.
5. В первой главе диссертации описание ко многим рисункам не содержит ссылок на оригинальные источники, из которых они были взяты. Кроме того, в тексте работы встречаются опечатки и грамматические ошибки.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Не вызывает сомнений актуальность работы, ее новизна, а также достоверность и обоснованность представленных положений и выводов. Диссертация отвечает всем требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», а ее содержание соответствует паспорту специальности 2.2.2 – «электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств» по физико-математическим наукам.

Таким образом, соискатель Сапегин Александр Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2 – «электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств».

кандидат физико-математических наук, доцент физического факультета
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова»

Шорохов Александр Сергеевич

Контактные данные:

тел.: + 7 (926) 380-34-49, e-mail: shorokhov@nanolab.phys.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.21 – Лазерная физика

Адрес места работы:

199991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, стр. 2

Физический факультет Московского Государственного университета
им. М.В. Ломоносова

Тел.: + 7 (926) 380-34-49, e-mail: shorokhov@nanolab.phys.msu.ru

Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой
диссертации

 (Шорохов А.С.)

14.06.24

Подпись работника физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
А.С. Шорохова удостоверяю

И. о. декана физического факультета МГУ,
профессор



В.В. Белокуров

