

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Чубчева Евгения Дмитриевича «Распространение оптических сигналов в плазмонных линиях передач», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — «Радиофизика»

В диссертации Е.Д. Чубчева исследуются различные виды плазмонных волноводов и влияние потерь в металле на их характеристики, и рассматривается возможность компенсации этих потерь с помощью усиливающих сред.

Интерес к свойствам плазмонных наноструктур связан с возможностью локализации электромагнитных полей на масштабах, существенно меньших дифракционного предела. Это свойство поверхностных плазмонов представляет значительный интерес для развития нанофотоники, в частности, для передачи сигналов. Однако распространение поверхностных плазмонов сопровождается значительными омическими потерями, что приводит к малой длине пробега плазмонов при поперечном размере ниже дифракционного предела. Создание волноводов, по которым поверхностные плазмон-поляритоны распространяются на большие расстояния, важно для разработки более совершенных вычислительных устройств. В работе исследуются эффекты, позволяющие получить достаточно большую длину пробега или эффективную компенсацию потерь. Актуальность диссертационной работы обусловлена возможными приложениями в оптических устройствах, позволяющих значительно увеличить быстродействие и обеспечить миниатюризацию существующих приборов.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы, который включает в себя 253 работы. Объем диссертации составляет 138 страниц и включает в себя 57 рисунков и 1 таблицу.

Во **введении** сформулированы: актуальность темы, цели и задачи работы, научная новизна и практическая значимость результатов диссертации. Представлены положения, выносимые на защиту, и сведения об апробации диссертационной работы.

В **первой главе** проведён обзор работ по диэлектрическим и плазмонным волноводам, по компенсации потерь в плазмонных волноводах, рассмотрены свойства таких плазмонных материалов как допированные полупроводники, нитриды, проводящие оксиды, и полярные диэлектрики, по которым могут распространяться поверхностные фонон-поляритоны.

Во **второй главе** представлены результаты исследования распространения поверхностных плазмонов по периодическим цепочкам наночастиц и наноструктурированным металлическим поверхностям. Исследуется применимость приближения точечных диполей к описанию цепочек сфероидальных наночастиц. Показано, что приближение точечных диполей дает неверные оценки характеристик моды, в частности, длины пробега. Показано, что по наноструктурированной поверхности может распространяться поверхностный плазмон в области частот, в которой сумма действительных частей диэлектрических проницаемостей металла и прилегающего диэлектрика больше нуля. Волновое число исследуемого поверхностного плазмона соответствует второй зоне Бриллюэна.

В **третьей главе** исследуется корректность описания спазера с многоуровневой активной средой в рамках приближения эффективной двухуровневой системы. Показано, что динамика спазера с четырехуровневой активной средой может быть описана с помощью двух различных систем уравнений Максвелла-Блоха в зависимости от амплитуды поля моды резонантора. Получены условия существования осцилляций Раби в спазере с четырехуровневой активной средой.

В **четвертой главе** исследуется взаимодействие распространяющихся поверхностных плазмонов с усиливающими средами. Показано, что существует оптимальная толщина усиливающего слоя, при которой компенсация потерь плазмона достигается при менее интенсивной накачке. Получено аналитическое выражение для оптимальной толщины. Показано, что по диэлектрическому волноводу с металлическим покрытием может распространяться плазмонная мода с субволновым поперечным размером при константе распространения, близкой к световому конусу окружающей среды. Малый размер моды связан с компенсацией поперечных дипольных моментов оболочки и ядра.

В **заключении** содержится описание основных результатов работы, список публикаций по материалам диссертации и список цитируемой литературы.

Диссертационная работа выполнена на компетентном научном уровне, апробирована публикациями в авторитетных журналах и докладами на известных международных конференциях. В качестве основных достоинств работы можно выделить следующие.

1. Показано, что приближение точечных диполей может приводить к неверным оценкам передаточных характеристик мод цепочки, в частности, длины пробега. Исследована применимость приближения точечных диполей к цепочкам наночастиц несферической формы.

2. Исследована применимость приближения двухуровневой системы к описанию четырёхуровневой активной среды в составе спазера.

3. Исследована компенсация потерь и усиление поверхностного плазмона на металлической поверхности, покрытой слоем усиливающей среды. Предсказано существование оптимальной толщины усиливающего слоя, при которой достигается максимальное усиление и компенсация потерь при более низких значениях внешней накачки.

4. Показано, что локализация поля моды такого волновода сохраняется при значениях константы распространения, близких к волновому числу света в вакууме, обусловленного частичной компенсацией дипольных моментов диэлектрического ядра волновода и металлического покрытия.

Полученные в работе результаты, безусловно, содержат новизну.

Основные результаты, представленные в диссертации, опубликованы в авторитетных журналах: Optics Express, Journal of Optical Society of America B, Journal of Physics B, и докладывались на международных и всероссийских конференциях. В связи с этим **достоверность** результатов не вызывает сомнений. Изложенные в диссертации результаты отличаются **новизной** и оригинальностью.

Тем не менее, необходимо отметить ряд недостатков данной диссертации.

1. Как показано в §2.3, рельеф поверхности сильно влияет на длину пробега. Однако не исследовано, насколько устойчивой является дисперсионная кривая сильно-локализованного плазмона к изменениям рельефа.

2. В параграфе 2.2.3 длина распространения ППП исследована слишком кратко. Более подробное исследование зависимости длины распространения ППП от параметров решетки a и h отдельно не проведено.

3. Не объяснено существование оптимальной толщины усиливающего слоя, при котором коэффициент усиления поверхностного плазмона принимает максимальное значение.

4. Название 4-й главы представляется не вполне подходящим. Оно подходит для монографии, а для главы в диссертации следовало бы сформулировать более узкое и конкретное название.

5. Формулировка третьего положения, выносимого на защиту, представляется достаточно тривиальным. Следовало бы его конкретизировать.

6. В работе встречаются опечатки. На стр. 65 одна и та же величина обозначена двумя разными буквами (ξ_0 и h). На стр. 90 (и некоторых других) ошибка отображения знаков в формулах. На стр. 8 “В §2.1 исследуется

распространения поверхностных плазмонов”, на стр. 64-65 «поверхностного», «возбуждения» и т.п.

Важно отметить, что указанные замечания не снижают ценности результатов диссертации.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и полностью отражает её структуру.

Диссертация «Распространение оптических сигналов в плазмонных линиях передач» соответствует паспорту специальности 01.04.03 — «Радиофизика» и всем требованиям к кандидатским диссертациям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09. 2013 г., редакция от 29.05.2017 № 650, а также критериям, определенными пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а её автор — Чубчев Евгений Дмитриевич — заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — «Радиофизика».

Официальный оппонент:

кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник кафедры фотоники и физики микроволн физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Калиш Андрей Николаевич

1.10.2021

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

e-mail: kalish@physics.msu.ru

Подпись Калиша А.Н. заверяю:

Учёный секретарь Учёного совета

физического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова

д.ф.-м.н., профессор

_____ Караваев В.А.