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 данной диссертационной работе представлены результаты теоретического исследования распространения плазмонных мод по волноводам различной топологии и взаимодействие поверхностных плазмонов с активными средами для компенсации омических потерь. Изучаются свойства распространяющихся плазмонов в периодических системах и в системах с активными средами, исследуются критерии применимости приближений, используемых для описания свойств поверхностных плазмонов и их взаимодействия с активными средами. Тематика данной работы является актуальной, её результаты важны для увеличения производительности вычислительных устройств.

Диссертант представил свои результаты в традиционной последовательности: введение с описанием основных характеристик работы, обзора литературы (глава 1) и изложением результатов диссертации (главы 2-4). В заключении перечислены основные результаты работы. Далее следуют благодарности, список публикаций по теме диссертации и список литературы. Работа изложена на 138 страницах, включает в себя 57 рисунков и 1 таблицу. Список цитированной литературы составляет 253 работы.

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цели работы, представлены выносимые на защиту положения, данные по апробации полученных результатов и структура диссертации.

В **первой главе** приводится обзор результатов исследований различных виов диэлектрических и плазмонных волноводов, свойств плазмонных материалов и методов компенсации потерь поверхностных плазмонов.

Во **второй главе** исследуется распространение поверхностных плазмонов по периодическим цепочкам наночастиц и наноструктурированным

металлическим поверхностям. Глава состоит из трёх параграфов. В §2.1 исследуется применимость приближения точечных диполей к расчёту дисперсии поверхностных плазмонов, распространяющихся по периодическим цепочкам наносфероидов. Показано, что приближение точечных диполей при расстояниях, сравнимых с размером наночастиц, дает сильно завышенную оценку передаточных характеристик цепочки. В §2.2 показано, что наличие шероховатости на металлической поверхности приводит к уменьшению длины пробега из-за усиления поглощения из-за «эффекта светящегося острия» на неровности поверхности. В §2.3 показано, что на наноструктурированной поверхности может существовать поверхностный плазмон с волновым числом, соответствующим второй зоне Бриллюэна. При субволновом периоде рельефа поверхности данный поверхностный плазмон имеет субволновой поперечный размер и длину пробега, равную нескольким десяткам его длин волн.

В **третьей главе** исследуется обоснованность описания динамики спазера с четырёхуровневой активной средой с помощью приближения эффективной двухуровневой системы. Показано, что описание спазера с четырехуровневой активной средой можно корректно свести к двум системам уравнений для эффективных двухуровневых систем в зависимости от значения частоты Раби. Предсказано существование осцилляций Раби в спазере с четырехуровневой активной средой.

В **четвертой главе** исследовано взаимодействие поверхностных плазмонов с усиливающими средами. Глава состоит из двух параграфов. В §4.1 исследуется компенсация потерь и усиление поверхностных плазмонов по металлической поверхности, покрытой слоем усиливающей среды конечной толщины. Показано, что мнимая часть волнового числа плазмона, знак которой определяет затухание или усиление плазмона, немонотонно зависит от толщины усиливающего слоя. Найдена толщина усиливающего слоя, при которой компенсация потерь достигается при интенсивности накачки, меньшей чем в случае бесконечной толщины. В §4.2 исследуется распространение и компенсация потерь поверхностных плазмонов, распространяющихся по диэлектрическому волноводу с металлическим покрытием. Показано, что мода данного волновода имеет

субволновой размер, что связано с компенсацией поперечных дипольных моментов оболочки и ядра.

В **заключении** приведены результаты диссертации.

Все результаты, перечисленные в диссертации, являются новыми. Диссертационная работа выполнена на хорошем научном уровне. Результаты опубликованы в таких известных журналах, как Optics Express, Journal of Optical Society of America B, Радиотехника и электроника, сделаны доклады на известных международных и российских конференциях, что подтверждает достоверность полученных результатов.

Вместе с тем, при общей высокой оценке диссертации необходимо отметить, что она не лишена некоторых недостатков. К **недостаткам** можно отнести:

1. В параграфе §2.1 отсутствует сравнение полученных результатов с работой Lebedev V.V., Vergeles S.S., Vorobev P.E., Surface modes in metal-insulator composites with strong interaction of metal particles, Applied Physics B, Vol. 111 (2013), в которой исследовалось взаимодействие наносфер, расположенных на расстояниях, существенно меньших их размера.

2. Значения периода и высоты рельефа, для которых рассчитывалась дисперсия сильно-локализованного плазмона, труднодостижимы экспериментально. Не показано, как будет выглядеть дисперсия при более реалистичных параметрах рельефа, таких как 50 нм.

3. Дисперсия сильно-локализованного плазмона рассчитывалась для алюминия. Однако на воздухе алюминий может окисляться, что приводит к образованию оксидной плёнки. Наличие оксидной плёнки не было учтено при расчётах дисперсии.

4. В четвёртой главе исследуется компенсация потерь с помощью усиливающих сред. Однако в диссертации отсутствует описание условий, при которых достижимы приводимые значения коэффициента усиления.

Указанные замечания не отражаются на общем положительном впечатлении о диссертации.

Содержание автореферата отражает содержание диссертационной работы.

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:

доктор физ.-мат. наук, профессор Центра фотоники и квантовых материалов Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий»

Гиппиус Николай Алексеевич 6.10.2021

143026, г. Москва, территория инновационного центра Сколково, ул. Нобеля, д. 3
e-mail: n.gippius@skoltech.ru

«Подпись Н.А. Гиппиуса заверяю»: