

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию Павлова Андрея Александровича “**Оптические свойства наноструктурированных плазмонных пленок и их использование для управления излучением атомов и молекул и биодетектирования**” представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 — лазерная физика.

Диссертационная работа А.А. Павлова посвящена оптическим свойствам анизотропных метаматериалов и оптических наноструктур на их основе — активно развивающемуся в последнее десятилетие направлению современной лазерной физики. Исследования охватывают широкий спектр задач, связанных с генерацией и распространением излучения в оптических наноструктурах, носящих как фундаментальный, так и прикладной характер (т.е. направленных на создание устройств на базе рассматриваемых структур). Особенно перспективно использование оптических наноструктур в качестве компонентов ярких однофотонных источников для абсолютно защищенных линий связи, высокочувствительных химических и биологических сенсоров для нужд медицины, а также плазмонных и фотонных нанолазеров для высокопроизводительных оптических интегральных схем. Диссертация Андрея Александровича Павлова вносит вклад в развитие каждого из перечисленных направлений, что обуславливает несомненную **актуальность** темы диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 127 страниц, диссертация содержит 48 рисунков. Во введении обоснована актуальность выбранной темы, определены цель и задачи диссертационной работы, сформулированы научная новизна и защищаемые положения, обозначена ценность работы, а также приведены публикации по теме работы. В первой главе диссертации приведен обзор литературы. Вторая глава посвящена исследованию фактора Парселла и каналов радиационного затухания дипольного эмиттера вблизи планарного материала. Найдены фундаментальные ограничения на фактор Парселла для излучения в верхнее и нижнее полупространства. Показано, как можно преодолеть ограничение путем размещения в нижнем полупространстве подложки с высоким показателем преломления. В третьей главе подробно изучен биосенсор на основе структурированной золотой пленки, нанесенной на слоистую структуру. Среди достоинств этого исследования хотелось бы отдельно отметить определение чувствительности биосенсора по отношению к изменению показателя преломления в тонком слое 30-50 нм, а не в полупространстве. Это определение лучше учитывает реальные условия работы биосенсора и более информативно для

практических приложений. Четвертая глава диссертации содержит детальное исследование плазмонного лазера на основе перфорированной металлической плёнки.

Научная новизна представленных в диссертации результатов не вызывает сомнений. Можно отметить некоторые, наиболее значимые, на мой взгляд, новые научные результаты:

1. Получены фундаментальные ограничения на фактор Парселла, отнесённый к наблюдаемому в дальнем поле излучению дипольного эмиттера, расположенного около одноосного материала. В то же время, показано, что при использовании подложек с высоким показателем преломления возможно обойти ограничение на мощность излучения в подложку, за счёт связывания (посредством вытекающих плазмонов) эманесцентных волн, испущенных диполем, с бегущими волнами в подложке.
2. Теоретически продемонстрирована перспективность биосенсоров на основе системы из металлической плёнки со щелями, нанесенной на одномерный фотонный кристалл. Найдена оптимальная структура биосенсора, при которой достигается максимальный показатель качества сенсора.
3. Предсказано уменьшение порогового усиления в плазмонном лазере на основе перфорированного слоя металла по сравнению с толстой плёнкой без отверстий. Найдена оптимальная конфигурация отверстий, позволяющая добиться минимального порогового усиления. Указана возможность получить необходимое усиление при помощи молекул красителя.

Достоверность и обоснованность положений диссертации обеспечивается надёжностью использованных современных апробированных инструментов численного решения задач электродинамики, а также согласием результатов численного моделирования с экспериментальными данными и аналитическими решениями. Результаты могут найти непосредственное **применение** в исследованиях, выполняемых в МФТИ, МГУ, ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб НИУ ИТМО.

По диссертации имеются следующие **замечания**:

1. На стр. 8 и стр. 36 отмечено, что «влияние геометрии на порог плазмонного лазера изучено только для металлической наночастицы, покрытой усиливающей оболочкой». Это утверждение неверно. К примеру, в работе [Fedyanin, D. Y. *Toward an electrically pumped spaser*.

Optics Letters, **37**, 404 (2012).] найдено значение порогового модального усиления и тока для плазмонного лазера в конфигурации Фабри-Перо при различных длинах резонатора. А в работе [Gu, Q., et al., *Amorphous Al₂O₃ Shield for Thermal Management in Electrically Pumped Metallo-Dielectric Nanolasers*, *IEEE Journal of Quantum Electronics* **50**(7), 499-509 (2014)] подробно исследуется сильное негативное влияние малых погрешностей изготовления на добротность и пороговое усиление.

2. Утверждение, что относительная мощность излучения диполя в верхнее полупространство не превышает 2, может быть усилено, поскольку, скорее всего, верно не только в формулировке, приведенной в диссертации, но и вообще для любой планарной оптической структуры (т.е. с любым числом оптических осей и любыми их направлениями в слоях) и может быть доказано из общих соображений унитарности рассеяния.
3. В главе 3 моды оптической структуры биосенсора поделены на волноводные и плазмонные. Такое деление необычно, поскольку плазмонные моды тоже волноводные. Обычно оптические моды, поле которых локализовано внутри диэлектриков, принято называть фотонными, а те, у которых поле расположено в основном у границы раздела металл-диэлектрик – плазмонными.
4. Текст работы и оформление находятся на высоком уровне, однако имеются отдельные опечатки. «Интерконнекторы» (стр. 5) уместно заменить на «межэлементные соединения», «дольпированного» (стр. 51) на «легированного».

Эти замечания не имеют принципиального характера, и не влияют на общее положительное впечатление о диссертационной работе и ее высокую оценку.

Автореферат и опубликованные работы правильно отражают содержание диссертации.

Основные результаты опубликованы в 3 статьях в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базе данных Web of Science, и представлены автором на ведущих профильных российских и международных конференциях.

Диссертационная работа “Оптические свойства наноструктурированных плазмонных пленок и их использование для управления излучением атомов и молекул и биодетектирования” **полностью удовлетворяет всем требованиям** к кандидатским диссертациям в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением

Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а её автор Павлов Андрей Александрович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 — лазерная физика.

Официальный оппонент:

Старший научный сотрудник Лаборатории нанооптики и плазомоники Центра фотоники и двумерных материалов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», кандидат физико-математических наук

Вишневый Андрей Александрович



25 февраля 2019 г.

Почтовый адрес: 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9

Рабочий телефон: +7 (495) 408-45-44

E-mail: vyshnevyi.aa@mpt.ru

Подпись кандидата физико-математических наук
А.А. Вишневого удостоверяю

Ученый секретарь МФТИ

Кандидат физико-математических наук



Ю.И. Скалько



Список основных публикаций А.А. Вишневого
в рецензируемых научных изданиях по теме диссертации за последние 5 лет.

1. Vyshnevyy, A.A. Spontaneous emission and fundamental limitations on the signal-to-noise ratio in deep-subwavelength plasmonic waveguide structures with gain / A.A. Vyshnevyy, D.Yu. Fedyanin // Phys. Rev. Applied. — 2016. — Т. 6, № 6. — С. 064024.
2. Vyshnevyy, A.A. Self-heating and cooling of active plasmonic waveguides / A.A. Vyshnevyy, D.Yu. Fedyanin // ACS Photonics. — 2016. — Т. 3, № 1. — С. 51 – 57.
3. Vyshnevyy, A.A. Enhancing the brightness of electrically driven single-photon sources using color centers in silicon carbide / I.A. Khramtsov, A.A. Vyshnevyy, D.Yu. Fedyanin // npj Quantum Inf. — 2018. — Т. 4. — С. 15.
4. Vyshnevyy, A.A. Lasing threshold of thresholdless and non-thresholdless metal-semiconductor nanolasers / A.A. Vyshnevyy, D.Yu. Fedyanin // Opt. Express. — 2018. — Т. 26, № 25. — С. 15.
5. Vyshnevyy, A.A. Noise reduction in plasmonic amplifiers / A.A. Vyshnevyy, D.Yu. Fedyanin // Appl. Phys. Express. — 2018. — Т. 11, № 6. — С. 062002.