



Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА  
(МГУ)**

119991, Москва, Ленинские горы, д. 1  
Тел.: +7 495 939-10-00  
Факс: +7 495 939-01-26  
info@rector.msu.ru

1.03.2019 № 395-19/013-03

На № \_\_\_\_\_

«Утверждаю»

проректор — начальник Управления  
научной политики и организации  
научных исследований

д. ф. м. н., профессор



А. А. Федянин

« 28 » февраля 2019 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Павлова Андрея Александровича  
«Оптические свойства наноструктурированных плазмонных плёнок 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 теоретическому описанию и численному исследованию планарных плазмонных наноструктур, а также изучению возможности применения подобных наноструктур для целей биологического детектирования и создания плазмонных лазеров с распределённой обратной связью. Также рассмотрен вопрос о влиянии гиперболических метаматериалов на скорость спонтанного излучения диполя, находящегося вблизи их поверхности. Важной особенностью работы является то, что все модели, выбранные для исследования, строятся на основе известных экспериментальных результатов, а результаты расчётов проверяются на возможность экспериментальной реализации и верификации.

**Актуальность работы** определяется интересом к созданию новых типов высокочувствительных датчиков показателя преломления, в том числе для нужд биологического и медицинского детектирования. Важными характеристиками для подобных датчиков также являются простота изготовления, компактность и многоразовость. Кроме того, разработка новой компонентной базы для полностью оптических и гибридных оптоэлектронных компьютеров является важной областью исследований в современной лазерной физике. В частности, новые типы компактных лазеров, изготовительски совместимые с существующими полупроводниковыми

технологиями, позволят существенно уменьшить энергопотребление и увеличить скорость передачи и обработки сигналов в вычислительных устройствах.

Диссертационная работа А. А. Павлова изложена на 127 страницах, содержит 48 рисунков. Список литературы содержит 130 наименований. Структурно, диссертация состоит из введения, обзора литературы по тематике исследования, трёх глав, содержащих представление и обсуждение результатов, полученных автором, заключения и списка литературы.

Во введении обосновывается актуальность выбранной тематики диссертационного исследования, ставятся цели и задачи исследования, приводятся положения, выносимые на защиту, а также приводятся сведения об апробации полученных результатов.

В первой главе приведен обзор литературы по текущему состоянию исследований в области создания плазмонных сенсоров и лазеров, а также по методам управления скоростью спонтанного излучения электрических диполей. Обзор литературы сделан достаточно подробно, приведены ссылки как на классические исследования, так и на недавние работы.

Вторая глава посвящена изучению механизмов управления скоростью и диаграммой направленности спонтанного излучения одиночного электрического диполя, находящегося вблизи изотропного или одноосного анизотропного материала конечной толщины. Теоретически и численно исследовано влияние знака и величины компонент тензора диэлектрической проницаемости материала на скорости распада диполя в верхнее и нижнее полупространства.

Третья глава посвящена исследованию оптических свойств одномерного фотонного кристалла, покрытого металлической плёнкой с периодическим массивом нанотверстий, при возбуждении в такой системе гибридного состояния таммовского плазмона и волноводной моды. Особое внимание уделено изучению сенсорных свойств указанной структуры, в частности исследован вопрос о чувствительности спектрального положения резонанса гибридной моды к показателю преломления окружающей среды.

Четвертая глава посвящена изучению периодических массивов нанотверстий в металлической плёнке в качестве распределённой обратной связи плазмонных лазеров. Исследованы три типа решетки плазмонного кристалла и определено влияние типа решетки и геометрических параметров элементарной ячейки на порог генерации плазмонного лазера. Особое внимание уделено определению модового состава плазмонных кристаллов и выбору оптимальной моды для снижения порога генерации лазера.

#### **Основные новые научные результаты, полученные автором:**

1. Получены ограничения на соотношения скоростей спонтанного излучения электрического диполя, находящегося вблизи материала конечной толщины, в полупространства за материалом и перед ним.
2. Продемонстрирована возможность возбуждения гибридной моды таммовского плазмона и волноводной моды в системе, состоящей из одномерного фотонного кристалла и нанометровой металлической плёнки, содержащей массивы нанотверстий.

3. Показана возможность применения структуры одномерный фотонный кристалл – металлическая пленка с массивом нанодоверстий в качестве высокочувствительного сенсора показателя преломления.
4. Продемонстрировано влияние геометрических параметров решетки плазмонного кристалла, используемого в качестве распределенной обратной связи плазмонного лазера на порог генерации лазерного излучения.

Указанные результаты являются несомненно значимыми для современной лазерной физики. В частности, они представляются полезными для дальнейших исследований в области принципов работы лазеров и биомедицинской лазерной физики.

**Практическое значение** результатов работы заключается в разработке методов управления скоростью излучения квантовых объектов, а также разработке новых конфигураций биосенсоров и плазмонных лазеров с распределённой обратной связью.

Результаты диссертации могут быть использованы в Университете ИТМО, ФТИ им. А. Ф. Иоффе, МГУ имени М. В. Ломоносова, МФТИ, ИСАН, ФИЦ КНЦ СО РАН.

**Достоверность и обоснованность результатов** определяется использованием современных методик численных расчётов, таких как метод конечных элементов, метод матрицы переноса, совпадением результатов численных расчётов с предсказаниями аналитических моделей. Выводы из полученных данных не противоречат результатам других научных групп.

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 3 работах в международных журналах, входящих в первый квартиль Web of Science и список ВАК, а также в тезисах 2 международных конференций.

**Положения, выносимые на защиту**, достаточно четко сформулированы и обоснованы на основе результатов, полученных в работе. Автореферат и публикации достаточно полно отражают содержание диссертации.

По диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. В защищаемом положении 4 автор пишет о собственных модах плазмонных решеток нанодоверстий: «При нулевом радиусе отверстий пороги всех мод совпадают.» Однако при нулевом радиусе отверстий, решетки вырождаются в сплошную плёнку, имеющую единственную собственную моду. Более корректной формулировкой было бы: «При радиусе отверстий, стремящемся к нулю...»
2. На Рисунке 2.4 отсутствует часть (а).
3. Из текста работы не ясно почему исследовалась гибридизация волноводной моды фотонного кристалла именно с таммовским плазмоном и в чём преимущество сенсора, работающего на подобной гибридной моде над сенсором, работающим только на волноводной моде фотонного кристалла.
4. В тексте работы не сказано о процедуре оптимизации геометрии системы фотонный кристалл – перфорированная металлическая плёнка, а также не приведены диапазоны варьирования геометрических параметров данной системы.

Представление данных результатов позволило бы существенно усилить указанную часть диссертации.

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки работы. Диссертация представляет собой законченное исследование в актуальной области современной лазерной физики и физики твердого тела. Полученные результаты достоверны и обоснованы.

Диссертационная работа Андрея Александровича Павлова «Оптические свойства наноструктурированных плазмонных плёнок и их использование для управления излучением атомов и молекул и биодетектирования» соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «лазерная физика».

Доклад соискателя заслушан на заседании кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ. Отзыв составлен научным сотрудником кафедры Е. В. Любиным и утвержден на заседании кафедры 25 февраля 2019 г., протокол № 2

Научный сотрудник кафедры квантовой электроники  
физического факультета МГУ  
к. ф.-м. н.

Е. В. Любин

Евгений Валерьевич Любин  
+7 495 939 39 10 lyubin@nanolab.phys.msu.ru

Заведующий кафедрой квантовой электроники  
физического факультета МГУ  
д. ф.-м. н., профессор

В. И. Панов

Владимир Иванович Панов  
+7 495 939 25 02 panov@spmlab.phys.msu.ru

Список основных публикаций ведущей организации в рецензируемых научных изданиях по теме диссертации за последние 5 лет:

1. B. I. Afinogenov, A. A. Popkova, V. O. Bessonov, B. Lukyanchuk, and A. A. Fedyanin, "Phase matching with Tamm plasmons for enhanced second- and third-harmonic generation," *Physical Review B* 97, 115438 (2018).
2. B. I. Afinogenov, D. S. Kopylova, K. A. Abrashitova, V. O. Bessonov, A. S. Anisimov, S. A. Dyakov, N. A. Gippius, Y. G. Gladush, A. A. Fedyanin, and A. G. Nasibulin, "Midinfrared Surface Plasmons in Carbon Nanotube Plasmonic Metasurface," *Physical Review Applied* 9, 024027 (2018).
3. B. I. Afinogenov, A. A. Popkova, V. O. Bessonov, and A. A. Fedyanin, "Measurements of the femtosecond relaxation dynamics of Tamm plasmon-polaritons," *Applied Physics Letters* 109, 171107 (2016).
4. B. I. Afinogenov, V. O. Bessonov, and A. A. Fedyanin, "Second-harmonic generation enhancement in the presence of Tamm plasmon-polaritons," *Optics Letters* 39, 6895-6898 (2014).
5. B. I. Afinogenov, V. O. Bessonov, A. A. Nikulin, and A. A. Fedyanin, "Observation of hybrid state of Tamm and surface plasmon-polaritons in one-dimensional photonic crystals," *Applied Physics Letters* 103, 6061112 (2013).
6. M. N. Romodina, I. V. Soboleva, A. I. Musorin, Y. Nakamura, M. Inoue, A. A. Fedyanin, "Bloch-surface-wave-induced Fano resonance in magnetophotonic crystals," *Physical Review B* 96(8), 081401 (2017).
7. A. A. Grunin, I. R. Mukha, A. V. Chetvertukhin, A. A. Fedyanin, "Refractive index sensor based on magnetoplasmonic crystals," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 415, 72–76 (2016).
8. A. Lagarkov, I. Budashov, V. Chistyayev, A. Ezhov, A. Fedyanin, A. Ivanov, I. Kurochkin, S. Kosolobov, A. Latyshev, D. Nasimov, I. Ryzhikov, M. Shcherbakov, A. Vaskin, A. K. Sarychev, "SERS-active dielectric metamaterials based on periodic nanostructures," *Optics express* 24(7), 7133–7150 (2016).
9. M. R. Shcherbakov, P. P. V., A. S. Shorokhov, K. E. Chong, D.-Y. Choi, I. Staude, A. E. Miroshnichenko, D. N. Neshev, A. A. Fedyanin, Y. S. Kivshar, "Ultrafast all-optical switching with magnetic resonances in nonlinear dielectric nanostructures," *Nano Letters* 15(10), 6985–6990 (2015).
10. M. R. Shcherbakov, S. Liu, V. V. Zubyuk, A. Vaskin, P. P. Vabishchevich, G. Keeler, T. Pertsch, T. V. Dolgova, I. Staude, I. Brener, A. A. Fedyanin, "Ultrafast all-optical tuning of direct-gap semiconductor metasurfaces," *Nature communications* 8(1), 17 (2017).
11. A. S. Shorokhov, E. V. Melik-Gaykazyan, D. A. Smirnova, B. Hopkins, K. E. Chong, D.-Y. Choi, M. R. Shcherbakov, A. E. Miroshnichenko, D. N. Neshev, A. A. Fedyanin, Y. S. Kivshar, "Multifold enhancement of third-harmonic generation in dielectric nanoparticles driven by magnetic Fano resonances," *Nano letters* 16(8), 4857–4861 (2016).
12. S. A. Dyakov, D. M. Zhigunov, A. Marinins, O. A. Shalygina, P. P. Vabishchevich, M. R. Shcherbakov, D. E. Presnov, A. A. Fedyanin, P. K. Kashkarov, S. Popov, N. A. Gippius, S. G. Tikhodeev, "Plasmon induced modification of silicon nanocrystals photoluminescence in presence of gold nanostripes," *Scientific reports* 8(1), 4911 (2018).
13. A. Yu. Frolov, N. Verellen, J. Li, X. Zheng, H. Paddubrouskaya, D. Denkova, M. R. Shcherbakov, G. A. Vandenbosch, V. I. Panov, P. V. Dorpe, A. A. Fedyanin, V. V. Moshchalkov, "Near-Field Mapping of Optical Fabry–Perot Modes in All-Dielectric Nanoantennas," *Nano letters* 17(12), 7629–7637 (2017).