

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИАиЭ СО РАН,
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.



 С.А. Бабин

« 09 » февраля 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации «Института автоматике и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук» на диссертационную работу Павлова Дмитрия Владимировича на тему «Безабляционная фемтосекундная лазерная печать многофункциональных плазмонных наноструктур и метаповерхностей», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика

Неугасающий на протяжении многих лет интерес к плазмонным наноструктурам, способным локализовать и многократно усиливать электромагнитное излучение, свидетельствует о высокой практической значимости и существенном потенциале таких наноструктур. Однако, фабрикация при помощи хорошо известных и отработанных методов литографии или химического синтеза упорядоченных массивов из миллионов плазмонных структур, требуемых при практической реализации устройств в таких областях науки, как нанофотоника, нелинейная оптика, биосенсорика и др., связана с рядом технических или экономических трудностей, что делает разработку новых методов нанофабрикации, позволяющих с высокой точностью при сравнительно невысокой стоимости изготавливать массивы плазмонных наноструктур на больших площадях.

Диссертационная работа Павлова Д.В. посвящена разработке прецизионных методов изготовления многофункциональных плазмонных наноструктур и их упорядоченных массивов (метаповерхностей) с использованием безабляционной фемтосекундной лазерной модификации тонких пленок благородных металлов и их сплавов.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, содержащего 95 библиографических ссылок. Объем работы составляет 111 страниц, включая список цитируемой литературы из 95 наименований. Работа содержит 32 рисунка.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, выделены научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Приводится обзор существующих методов создания функциональных плазмонных наноструктур, обсуждаются достоинства и недостатки существующих подходов. Представлены положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации работы и структуре диссертации.

В первой главе описываются основные экспериментальные методы, использованные в работе для создания плазмонных метаповерхностей, а также характеристики морфологических, структурных, оптических и нелинейно-оптических свойств единичных плазмонных наноструктур и их упорядоченных массивов.

Во второй главе приводятся результаты систематических исследований процесса одноимпульсной фемтосекундной (фс) лазерной абляции тонких пленок благородных металлов (а также их двухкомпонентных сплавов), обсуждаются основные механизмы и физические процессы, лежащие в основе формирования различных типов поверхностных наноструктур, а также способы увеличения скорости их лазерной печати за счет использования методов мультиплексирования лазерных пучков.

В третьей главе приводятся результаты исследований оптических и нелинейно-оптических свойств массивов плазмонных наноструктур, изготовленных методом прецизионной лазерной печати на поверхности термически тонких пленок золота.

В четвертой главе обсуждается возможность использования изготовленных методом фс лазерной печати массивов наноструктур с резонансным оптическим откликом, связанным с возбуждением в наноструктурах коллективных плазмонных резонансов, в задачах управления

эмиссией квантовых излучателей и детектирования сверхмалых изменений показателя преломления внешней среды.

В заключении подводятся итоги проделанной работы и приводятся важнейшие результаты, полученные в ходе диссертационного исследования.

Основное содержание диссертации отражено в 9 публикациях в журналах, входящих в список ВАК и индексируемых базами Scopus и Web of Science. Представленный автореферат достаточно полно и точно отражает содержание диссертации.

Научная новизна заключается в получении ряда новых научных результатов, четко обосновывающих возможность использования методов фемтосекундного лазерного нанотекстурирования для изготовления оптически резонансных наноструктур и их упорядоченных массивов высокого качества, а также новых плазмонных платформ для реализации сенсорных устройств и управления эмиссией ИК квантовых излучателей.

1. Впервые проведены систематические экспериментальные исследования процессов абляции пленок благородных металлов различной толщины сфокусированными фемтосекундными лазерными импульсами, а также продемонстрирована возможность формирования различных типов трехмерных плазмонных наноструктур (нано-выпуклостей и нано-острий), геометрией которых можно управлять в широких пределах варьируя ключевые параметры лазерного облучения.
2. Впервые продемонстрировано и объяснено наличие у массивов наноструктур, изготовленных методом безабляционной лазерной печати, перестраиваемых «геометрических» резонансов в ближней ИК области спектра, связанных с коллективным возбуждением и деструктивной интерференцией поверхностных плазмон-поляритонных волн.
3. Впервые продемонстрирована возможность усиления спонтанной эмиссии нанослоя квантовых точек теллурида ртути, излучающих в ближнем ИК диапазоне длин волн, за счет использования плазмонных платформ, поддерживающих коллективные плазмонные резонансы, спектрально согласованные со спектром излучения квантовых точек.

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием апробированных методик измерений; высокой степенью повторяемости результатов; согласием экспериментальных результатов и численных расчетов.

Научная и практическая ценность результатов заключается в развитии простых в использовании, масштабируемых и высокоточных лазерных технологий, позволяющих создавать плазмонные метаповерхности высокого качества для оптической хемо- и био-сенсорики, оптоэлектроники и нелинейной оптики. В частности, в работе была реализована сенсорная платформа, позволяющая определять сверхмалые изменения показателя преломления диэлектрической среды и регистрировать наличие осажденных слоев толщиной до 1 нм. Также, в работе впервые продемонстрирована возможность усиления спонтанной эмиссии нанослоя квантовых точек теллурида ртути за счет использования плазмонных платформ, поддерживающих коллективные плазмонные резонансы, спектрально согласованные со спектром излучения квантовых точек.

Рекомендация по использованию результатов и выводов

Полученные в диссертации результаты представляют интерес в таких областях науки как нанопотоника, биосенсорика, нелинейная оптика и т.д. Благодаря недорогому и эффективному методу лазерной нанофабрикации, разработанные плазмонные платформы могут найти свое применение и в промышленности.

Основные замечания:

1. В тексте диссертации приводятся результаты по применению разработанных трехмерных плазмонных наноструктур для детектирования изменения показателя преломления внешней среды с чувствительностью 1590 нм на единицу показателя преломления. Однако в тексте диссертации отсутствует сравнение полученных характеристик с другими существующими методами измерений. На рис. 4.1 отсутствует фурье ИК-спектр отражения сенсора, соответствующий толуолу, хотя на рис. 4.2, на котором представлены относительные спектральные сдвиги резонансов в зависимости от

показателя преломления окружающей среды, соответствующая толуолу точка присутствует.

2. В главе 4.2 представлены результаты по измерению чувствительности массивов плазмонных нано-выпуклостей при детектировании изменения локального показателя преломления в тонком приповерхностном слое при изменении толщины пленки Al_2O_3 в диапазоне 0-200 нм. При этом нано-выпуклости имели высоту около 500 нм с наклонными стенками, на которых наблюдается локализованное ЭМ поле с многократно усиленной амплитудой. Влияет ли геометрия нано-выпуклостей на толщину напыляемого слоя и чувствительность метода, особенно в случае наклонных стенок?
3. В диссертации впервые продемонстрировано и объяснено наличие у массивов наноструктур, изготовленных методом безабляционной лазерной печати, перестраиваемых «геометрических» резонансов в ближней ИК области спектра, связанных с коллективным возбуждением и деструктивной интерференцией поверхностных плазмон-поляритонных волн. Однако отсутствует информация по необходимой точности соблюдения геометрических размеров структур и периодов для эффективного коллективного возбуждения и деструктивной интерференции поверхностных плазмон-поляритонных волн.

Заключение по диссертационной работе

Указанные выше недостатки не являются принципиальными и не снижают значимость полученных результатов диссертационной работы. Диссертация Павлова Д.В. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научно-техническом уровне. Все задачи, поставленные в диссертационной работе, успешно решены. Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ВАК Минобрнауки РФ. Работа прошла апробацию на нескольких международных и российских конференциях.

В целом, рассматриваемая диссертация по своему содержанию, объему выполненных исследований, новизне, научной и практической ценности результатов соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки

РФ к кандидатским диссертациям по «Положению (п.9)» о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Павлов Дмитрий Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

Доклад по диссертационной работе был заслушан на семинаре учебно-научного центра «Квантовая оптика» Института автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук. Отзыв на диссертацию обсужден и утвержден на этом же семинаре в качестве официального отзыва ведущей организации (протокол № 1 от 9.02.2023 г.).

Отзыв составил старший научный сотрудник лаборатории волоконной оптики

Института автоматики и электрометрии СО РАН,

кандидат физико-математических наук

Достовалов Александр Владимирович

630090 г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, д.1, ИАиЭ СО РАН

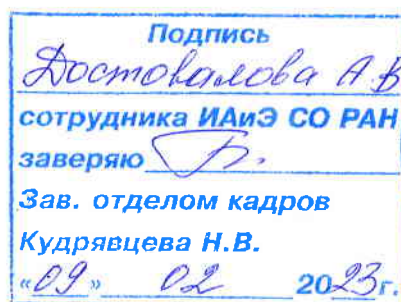
Тел.: 8 (383) 330-79-69

E-mail: dostovalov@iae.nsk.su

С.н.с. к.ф.-м.н.


ПОДПИСЬ

Достовалов А.В.



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН).

630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д. 1

Тел.: +7 (383) 330-79-69, +7 (383) 339-93-58

Адрес эл. почты: iae@iae.nsk.ru, office@iae.nsk.ru

Официальный сайт: <https://www.iae.nsk.su/ru/>