

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Нгуен Тхи Хуен Чанг

### «Создание массивов нано- и микроотверстий в тонких металлических пленках и исследование их оптических свойств»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.5 – «Оптика»

Диссертационная работа Нгуен Тхи Хуен Чанг посвящена прямой лазерной записи на воздухе больших массивов нано- и микроотверстий в тонких плазмонных металлических пленках под действием сильно фокусированных фемтосекундных лазерных импульсов, с выбором энергетических и скоростных режимов формирования регулярных последовательностей отверстий и родственных структур, а также и исследованию их спектральных и сенсорных свойств в ИК-диапазоне. Данная область исследований является **актуальной** в плане создания передовых нано- и микро-оптических устройств, сенсоров и т.п.

Диссертационная работа состоит из **введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы.**

Во **введении** формулируется цель и задачи работы, показана научная новизна и значимость полученных результатов, перечислены защищаемые положения и кратко рассматривается содержание диссертационной работы по главам.

**Первая глава** является обзором литературы по формированию нано- и микроотверстий методом литографии и лазерным импульсом, а также применению массивов нано- и микроотверстий в ИК-сенсорике и других областях науки и техники. Кроме этих, рассмотрены общие оптические свойства массивов нано- и микроотверстий – такие, как экстраординарное пропускание света, локализованные поверхностные плазмоны и усиление ИК-поглощения света.

Во **второй главе** приведены схемы экспериментальных установок и их описание, описаны методики проведения экспериментов и измерений, указано использовавшееся в экспериментах оборудование и материалы, а также приведены основные программы для обработки экспериментальных данных.

В **третьей главе** описаны основные экспериментальные результаты исследований по выбору энергетических и скоростных режимов при воздействии фемтосекундного лазерного импульса на тонкие металлические пленки (сплав Au/Pd, Ag, Al, Cu) в режиме формирования микроотверстий с различными параметрами. Исследованы зависимости основных параметров нано- и микроотверстий (диаметра, периода) от условий фокусировки, плотности энергии лазерного излучения и частоты следования импульсов, а также скорости моторизованной подвижки, при воздействии фемтосекундных

лазерных импульсов в тонких металлических пленках (сплав Au/Pd, Ag, Al, Cu) с варьируемой толщиной. Представлены результаты по формированию регулярных массивов нано- и микроотверстий в выбранных режимах.

В **четвертой главе** исследованы спектральные свойства массивов микроотверстий, сформированных с помощью фемтосекундных лазерных импульсов в главе 3. В частности, подробно исследованы спектры пропускания и отражения света через массивы микроотверстий в зависимости от толщины и типа пленки, размеров (диаметра, периода) микроотверстий в ИК диапазоне, обнаружены волноводный и плазмонно-усиленный режимы прохождения света.

Показано усиление ИК-поглощения света красителем родамин 6Ж с фактором усиления порядка 10 крат в диапазоне  $1400 - 1600 \text{ см}^{-1}$  на решетке микроотверстий с периодом 6 мкм и диаметром 3 мкм из пленки сплава золота с палладием, и порядка 455 крат на пике  $1261 \text{ см}^{-1}$  на решетке с периодом 6 мкм и диаметром 4 мкм из серебряной пленки.

Продемонстрирована возможность применения полученных массивов микроотверстий в виде биосенсорной подложки для ИК-детектирования бактерий золотистого стафилококка.

В **заключении** сформулированы основные выводы, полученные в диссертационной работе.

В результате работы впервые получены большие массивы отверстий (порядка  $10^6$ ) с широким допуском к позиционированию фотометрических детекторов, нанесению молекул анализируемого вещества и поэтому являющимися **новыми**. **Достоверность** результатов основывается на использовании аттестованного оборудования, разумной воспроизводимостью, подтверждается качественным согласием с данными литературы, их представлением на международных конференциях и в публикациях в ведущих российских и международных научных журналах. Выводы диссертационной работы в полной мере **обоснованы** полученными экспериментальными результатами.

По содержанию работы имеется ряд замечаний:

- Представляется существенной более детальная начальная характеристика использованных тонких металлических пленок – зернистости, степени окисления и т.д.
- В работе отсутствуют данные о наноструктуре краев отверстий. Отличия в коэффициенте усиления на пленках различного состава могут быть обусловлены, помимо прочего, как раз отличием наноструктуры края отверстий, полученных лазерной абляцией пленок с различной адгезией к подложке.

Приведенные замечания не снижают общей значимости работы. Представленная диссертация является законченным научным трудом, обосновывающим возможность фемтосекундного лазерного формирования больших массивов нано- и микроотверстий в тонких металлических пленках и

демонстрирующим их оптические, а также хемо- и биосенсорные характеристики.

Основные результаты проведенных исследований опубликованы в 5 научных статьях в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, 8 публикациях в материалах конференций.

Автореферат диссертации полно и точно отражает содержание представленной в диссертации работы.

Диссертационная работа «Создание массивов нано- и микроотверстий в тонких металлических пленках и исследование их оптических свойств» полностью **удовлетворяет всем требованиям** «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор – Нгуен Тхи Хуен Чанг – несомненно заслуживает присуждения ей искомой ученой степени кандидата физики-математических наук по специальности 01.04.5 – оптика.

Официальный оппонент:

Директор Научного центра волновых исследований  
Института общей физики им. А.М. Прохорова,  
доктор физико-математических наук

Шафеев Георгий Айратович  
«07» декабря 2017 г.

Почтовый адрес: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, 119991, г. Москва, ул.  
Вавилова, 38.

Телефон: +7(499)503-8342.

E-mail: shafeev@kapella.gpi.ru.

Подпись Г.А. Шафеева заверяю,  
Ученый секретарь ФГБУН Института  
Общей физики им. А.М. Прохорова РАН,  
доктор физико-математических наук.



Андреев Степан Николаевич

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

1. Barmina E. V., Sukhov I. A., Viau G., Shafeev G. A. Laser Alloying of Co Nanorods and Al Nanoparticles in a Liquid //Chem. Phys. Chem. – 2017. – Т. 18. – №. 9. – С. 1069-1073.

2. Barmina E. V., Simakin A. V., Shafeev G. A. Balance of O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> content under laser-induced breakdown of aqueous colloidal solutions //Chemical Physics Letters. – 2017.

3. Sukhov I. A., Shafeev G. A., Barmina E. V., Simakin A. V., Voronov V. V. and Uvarov O. V. Hydrogen generation by laser irradiation of colloids of iron and beryllium in water //Quantum Electronics. – 2017. – Т. 47. – №. 6. – С. 533-538.

4. Aksenova N. A., Savko M. A., Uryupina O. Ya., Roldugin V. I., Timashev P. S., Kuz'min P. G., Shafeev G. A., Solov'eva A. B. Effect of the preparation method of silver and gold nanoparticles on the photosensitizing properties of tetraphenylporphyrin-amphiphilic polymer – nanoparticle systems //Russian Journal of Physical Chemistry A. – 2017. – Т. 1. – №. 91. – С. 124-129.

5. Serkov A.A., Kuzmin P.G., Shafeev G.A. Laser-induced agglomeration of gold and silver nanoparticles dispersed in liquid //Chem. Phys. Lett. 2016. V. 647. P. 68-72.

6. Barmina E. V., Shafeev G.A., Kuzmin P.G., Serkov A.A., Simakin A.V., Melnik N.N. Laser-assisted generation of gold nanoparticles and nanostructures in liquid and their plasmonic luminescence //Appl. Phys. A. – 2014. – V. 115. – N. 3. – P. 747752.

7. Serkov A.A., Barmina E. V., Kuzmin P.G., Shafeev G.A. Self-assembly of nanoparticles into nanowires under laser exposure in liquids //Chem. Phys. Lett. – 2015. – V. 623. – P. 93-97.