

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 преимущественно экспериментальным исследованиям по выбору режимов формирования больших упорядоченных массивов микроотверстий с различными параметрами в тонких пленках различных металлов под действием фемтосекундного лазерного импульса (длительность около 200 фс) и влияния параметров получаемых массивов микроотверстий на их оптические свойства. В частности, 1) показано, что пороговые плотности энергии зависят от толщины и материала пленки, а диаметр микроотверстий зависит от плотности энергии падающего излучения; 2) обнаружено, что коэффициент пропускания массивов микроотверстий зависит от толщины и материала пленки, диаметра и периода расположения микроотверстий; 3) на базе больших упорядоченных массивов микроотверстий в тонких серебряных пленках продемонстрирована платформа (биосенсорная подложка) для хемо- и биосенсорики с использованием метода поверхностно-усиленного инфракрасного (ИК) поглощения света.

Актуальность и новизна диссертационной работы

Нано- и микроотверстия являются одними из простейших элементов нано-оптики, являясь комплементарной структурой по отношению к нано- и микродискам (цилиндрам, стержням). Однако, создание нано- и микро-отверстий оказывается значительно более простым процессом – особенно, лазерными методами – по сравнению с процессом создания нано- и микродисков (цилиндров, стержней). Поэтому предлагаемый в диссертационной работе подход к формированию больших массивов нано-оптических элементов лазерным способом в виде нано- и микроотверстий является **актуальным** для перевода нанофотоники от демонстрации принципов на отдельных нано- или микроэлементах в практическую плоскость хемо- и биосенсорики, плазмонных цепей и др. Данный подход в плане его физической реализации и исследования спектральных, а также сенсорных свойств полученных

массивов микро-отверстий – в частности, усиленного ИК-поглощения родамин 6Ж и бактерий золотистого стафилококка в области резонанса пропускания массивов микроотверстий на серебряной пленке – являются **новыми**.

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

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

В **первой главе** проведен общий анализ предшествующих работ по формированию нано- и микроотверстий методом литографии и лазерной абляции, а также применению их массивов в ИК-сенсорике и др. Рассмотрены оптические свойства отдельных нано- и микроотверстий, а также их массивов – экстраординарное пропускание света и усиление поглощения/отражения света в ИК-диапазоне.

Во **второй главе** приведены схема экспериментальной установки и ее 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** представлены основные экспериментальные результаты исследований по выбору режимов при воздействии фемтосекундного лазерного импульса на тонкие металлические пленки (сплав Au/Pd, Ag, Al, Cu) в режиме формирования микроотверстий с различными параметрами (диаметра, периода) в зависимости от условий фокусировки, плотности энергии лазерного излучения и частоты следования импульсов, а также скорости сканирования пленки, при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов. Описано формирование больших массивов микроотверстий в тонких металлических пленках с варьируемой толщиной для сплава Au/Pd, чистых металлов Ag, Al, Cu).

В **четвертой главе** исследованы спектральные свойства массивов микроотверстий. Исследованы коэффициенты ИК-пропускания и отражения света через решетки из микроотверстий в зависимости от толщины и материала пленки, диаметра и периода расположения микроотверстий. Установлено усиление поглощения ИК излучения красителем родамин 6Ж с фактором усиления порядка 10 в диапазоне $1400 - 1600 \text{ см}^{-1}$ на массиве микроотверстий с периодом 6 мкм и диаметром 3 мкм из пленки сплава золота с палладием, и порядка 455 на пике 1261 см^{-1} на массиве с периодом 6 мкм и диаметром 4 мкм из серебряной пленки. Показана

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

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

Работа Нгуен Тхи Хуен Чанг написана ясным доходчивым языком, легко читается.

По диссертационной работе можно высказать следующие замечания:

1. Невзирая на ясность и четкость изложения, в работе содержатся опечатки: на стр.5 (конец 1-го абзаца), на стр.32 (3-й абзац снизу), на стр.53 (2-й абзац снизу).
2. Вызывает сожаление, что такой важный параметр, как толщины пленок металлов, при получении магнетронным способом, определяются косвенным, а не прямым методом.
3. Не приведены условия проведения экспериментов по исследованиям спектров пропускания пленок с массивами микроотверстий в области среднего ИК диапазона.
4. В экспериментальных главах повторяются участки развернутого литературного обзора.
5. Очень важным аспектом современных исследований является поиск и создание новых SEIRA-усиливающих поверхностей (SEIRA – surface enhanced infrared absorption), чему автор уделила, на мой взгляд, недостаточно много внимания.

Отмеченные недостатки, однако, носят частный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации.

Научные положения, выдвинутые на защиту, представляются вполне **обоснованными**. Основные результаты проведенных исследований, полученные с помощью сертифицированного коммерческого лазерного и аналитического оборудования, представляются **достоверными** и успешно представлены на ряде международных конференций и опубликованы в 8 публикациях по их материалам, а также в 5 научных статьях в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание 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:

Заведующий лабораторией наноструктур и тонких пленок,
Института проблем лазерных и информационных технологий РАН (ИПЛИТ РАН)-
филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук,
доктор физико-математических наук

Новодворский Олег Алексеевич

«20» декабря 2017 г.

Почтовый адрес: 140700, Московская обл., г. Шатура, ул. Святоозерская, д.1

Телефон: 8 (496) 452 5995

E-mail: onov@mail.ru

Подпись Новодворского Олега Алексеевича заверяю,
Исполняющий обязанности руководителя ИПЛИТ РАН - филиала ФНИЦ
«Кристаллография и фотоника» Российской академии наук,
кандидат физико-математических наук



Дубров Владимир Дмитриевич

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

1. Petukhov I. A., Parshina L. S., Novodvorsky O. A., et al. Controlling the phase composition of cadmium sulfide films during pulsed laser deposition // *Inorganic materials* – 2017. – Т.53 (11). – p.1120-1125.
2. Kuz'mina A. S., Lotin A. A., Novodvorsky O. A., et al. Magnetism and magneto-optics features of $Zn_{1-x}Co_xO_y$ thin films grown by pulsed laser deposition // *Materials chemistry and physics*. – 2017. – Т. 198. – p.291-296.
3. Parshina L. S., Khramova O. D., Novodvorsky O. A., et al. Effect of Energy Density on the Target on SnO₂:Sb Film Properties when Using a High-Speed Particle Separator // *Semiconductors*. – Т. 51 (3) – p.407-411.
4. Aronzon B. A., Davydov A. B., Vasiliev A. L., Perov N. S., Novodvorsky O. A., Parshina L. S., et al. High temperature magnetism and microstructure of ferromagnetic alloy Si_{1-x}Mn_x // *Journal of physics-condensed matter*. – 2017. – Т. 29 (5) – p. 055802.
5. Khramova O. D., Mikhalevsky V. A., Parshina L. S., Novodvorsky O. A., Lotin A. A., Cherebilo E. A., Panchenko V. Y., Marenkin S. F., Aronov A. N., Aronzon B. A. Magnetoresistance of the p-(InSb plus MnSb)/n-InSb diode structure // *Optical and Quantum electronics*. – Т.48 (7). – p.361.
6. Lotin A. A., Novodvorsky O. A., Parshina L. S., et al. Optical properties of ZnO-based step quantum wells // *Optical and Quantum electronics*. – Т. 48 (6). – p.318.
7. Parshina L. S., Novodvorsky O. A., Khramova O. D., et al. Properties of SnO₂:Sb films produced on flexible organic substrates by droplet-free pulsed laser deposition method // *Optical and Quantum electronics*. – Т.48 (6) – p. 316.
8. Marenkin S., Kochura A., Fedorchenko I., Izotov A., Vasil'ev M., Trukhan V., Shelkovaya T., Novodvorsky O. A., Zheludkevich A. Growth of eutectic composites in the InSb-MnSb system // *Inorganic materials*. – Т.52 (3). – p.268-273.
9. Lotin A. A., Novodvorsky O. A. Dimensional effects in exciton and defect-related luminescence of ZnO-based step quantum wells // *Laser Physics Letters*. – Т. 12(9). – p.095901.
10. Mikhail Esaulkov, Petr Solyankin, Artem Sidorov, Lyubov Parshina, Artem Makarevich, Qi Jin, Qin Luo, Oleg A. Novodvorsky, Andrey Kaul, Elena Cherepetskaya, Alexander Shkurinov, Vladimir Makarov, and Xi-Cheng Zhang, Emission of terahertz pulses from vanadium dioxide films undergoing metal-insulator phase transition // *Optica*. – Т. 2(9). – p.790-796.

11. Novodvorsky O. A., Parshina L. S., Khramova O. D., et al. Influence of the conditions of pulsed laser deposition on the structural, electrical, and optical properties of VO₂ thin films // Semiconductors. – T. 49(5). – p.563-569.
12. Marenkin S. F., Novodvorsky O. A., Shorokhova A. V., et al. Growth of magnetic eutectic GaSb-MnSb films by pulsed laser deposition // Inorganic materials. – T.50 (9). – p. 897-902.
13. Lotin A. A., Novodvorsky O. A., Rylkov V. V., et al. Properties of Zn_{1-x}Co_xO films produced by pulsed laser deposition with fast particle separation // Semiconductors. – T.48(4). – p. 538-544.
14. Petukhov I. A., Parshina L. S., Zuev D. A., Lotin A. A., Novodvorsky O. A., Khramova O. D., Shatokhin A. N., Putilin F. N., Rummyantseva M. N., Kozlovskii V. F., Maslakov K. I., Ivanov V. K., Gaskov A. M. Transport properties of thin SnO₂/aOE (c) Sb > films grown by pulsed laser deposition // Inorganic materials. – T. 49 (11). – p.1123-1126.
15. Lotin A. A., Novodvorsky O. A., Zuev D. A., et al. Influence of growth temperature on physical properties of ZnO films produced by pulsed laser deposition method // Optical materials. – T. 35(8). – p.1564-1570.