

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата физико-математических наук
Заботнова Станислава Васильевича
на диссертацию Сараевой Ирины Николаевны
«Абляционное формирование коллоидных растворов наночастиц металлов и
полупроводников в жидкостях ультракороткими лазерными импульсами ближнего
ИК-диапазона варьируемой длительности»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Диссертационная работа И. Н. Сараевой посвящена изучению формирования металлических и полупроводниковых наночастиц методом абляции в жидкостях плоских мишеней из соответствующих материалов с помощью лазерных импульсов пико- и фемтосекундной длительности. В последнее десятилетие исследования по данной теме активно развиваются во всем мире. Метод импульсной лазерной абляции позволяет изготавливать наночастицы из различных материалов и использовать их в приложениях фотоники, плазмоники, сенсорики и биомедицины. В ряде случаев данный подход имеет несомненные преимущества по сравнению с традиционными технологиями химического синтеза, обеспечивая высокую степень чистоты формируемых наночастиц вследствие отсутствия нежелательных примесей, часто возникающих в процессе химических реакций, и универсальности, обеспеченной отсутствием необходимости подбора соответствующих реактивов для каждого материала по отдельности. При этом размеры формируемых в процессе лазерной абляции наночастиц могут изменяться в широких пределах подбором соответствующей буферной жидкости и параметров лазерных импульсов.

Тем не менее, несмотря на достигнутые успехи изготовления наночастиц методом импульсной абляции в жидкостях, в целом данные об их размерах и особенностях абляции можно охарактеризовать на настоящий момент как разрозненные и зачастую направленные на решение узких прикладных задач. С этой точки зрения ставящиеся в рассматриваемой диссертации задачи определения влияния длительности лазерного импульса в достаточно широком диапазоне 300 фс – 10 пс и влияния окружающей среды (вода, изопропиловый спирт) на изменение концентрации формируемых наночастиц, их структурных и оптических свойств, а также изучение особенностей кратеров облученных мишеней золота, серебра, кремния и селена обеспечивают актуальность проведенного исследования.

Работа изложена на 117 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитированной литературы.

Во введении представлены: актуальность темы диссертации, цели работы и решаемые задачи, научная новизна и практическая значимость, выносимые на защиту положения, достоверность полученных результатов, информация о личном вкладе автора, структуре и объеме диссертации; апробация результатов работы и публикации диссертанта.

В первой главе, представляющей собой обзор литературы, анализируются ключевые работы по распространению ультракоротких лазерных импульсов в жидкостях, классификации и особенностям лазерной абляции металлов и полупроводников, формированию наночастиц данным методом и последующему их использованию в приложениях.

Во второй главе описываются использованное в экспериментах оборудование для изготовления и анализа металлических и полупроводниковых наночастиц, методики измерений их структурных и оптических свойств.

Третья глава посвящена изучению зависимостей порогов абляции золота, серебра, кремния и селена в воздухе, воде и изопропиловом спирте от длительности лазерного импульса при одноимпульсном облучении. Детально анализируется морфология, возникающих в результате лазерного воздействия кратеров на поверхностях мишеней. Аналогичные исследования описываются для режима многоимпульсного лазерного воздействия на кремний и серебро. На основании анализа эмиссии факелов в воздухе и изопропанолу доказывається преимущественный вклад откольного механизма в абляцию в условиях проводимых экспериментов.

В четвертой главе проводится сравнительный анализ спектров экстинкции наночастиц золота, серебра, кремния и селена, изготовленных методом лазерной абляции импульсами различной длительности в воде и изопропиловом спирте. Определяется влияние размеров и плазмонных резонансов исследуемых наночастиц на вид спектров экстинкции.

Пятая глава посвящена исследованию структурных свойств и возможностей использования в фотонике и сенсорики наночастиц селена, формируемых методом лазерной абляции в воде и изопропиловом спирте. Показывается возможность печати с помощью стандартного струйного принтера и чернил на основе наночастиц селена тонких покрытий, которые способствуют эффективному решению задач поверхностно-усиленной спектроскопии.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Полученные в представленной диссертационной работе результаты характеризуются высокой степенью новизны, поскольку в ходе проведенных исследований впервые было проведено комплексное изучение целого ряда эффектов, определяющих специфику формирования поверхностных кратеров и ансамблей наночастиц в результате одно- и многоимпульсной лазерной абляции мишеней золота, серебра, кремния и селена в жидкостях при варьировании длительности ультракоротких лазерных импульсов в широких пределах.

К наиболее ярким и важным из полученных результатов я бы отнес следующие:

1. Показано, что пороговые значения плотности энергии для одноимпульсной абляции массивных мишеней золота, серебра, кремния и селена в воздухе и жидких средах (вода, изопропиловый спирт) ультракороткими (0.3 – 10 пс) импульсами с увеличением длительности лазерных импульсов демонстрируют монотонный рост от 3 до 7 раз в диапазоне от 0.15 до 3 Дж/см².
2. При длительности лазерного импульса ближней инфракрасной области (~1030 нм) в фемто/пикосекундном диапазоне с фиксированными энергией и фокусировкой, соответствующими критической мощности самофокусировки для конкретной жидкости (вода, изопропиловый спирт), в процессе откольной абляции массивных мишеней (золото, серебро, кремний, селен) в данной жидкости независимо от типа материала имеет место минимум количества аблированного вещества и глубины абляционного рельефа.
3. Выход разных фракций коллоидных частиц нано- и субмикронных размеров в процессе лазерной абляции импульсами фемто-/пикосекундного диапазона при фиксированных энергии и фокусировке изменяется немонотонно в зависимости от длительности лазерных импульсов.
4. Отработана методика формирования наночастиц селена методом лазерной абляции в жидкостях с высоким выходом по массе до 1 мг/с, что достаточно для их эффективного использования при решении задач поверхностно-усиленной спектроскопии.

Следует отметить, что поставленные в диссертации задачи изучения особенностей одно и многоимпульсной откольной абляции мишеней золота, серебра, кремния и селена при варьировании длительности лазерных импульсов и состава буферных сред решались с использованием взаимодополняющих друг друга методов воздействия на вещество ультракороткими импульсами, электронной микроскопии, инфракрасной фурье-спектрометрии, динамического и комбинационного рассеяния света, оптической эмиссионной спектроскопии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, расчетов в рамках двухтемпературной модели взаимодействия излучения с веществом и порогов абляции по размерам кратеров. Комплексное применение перечисленного

набора экспериментальных и расчетных подходов наряду с глубоким анализом полученных данных не оставляет сомнений в достоверности и обоснованности полученных результатов и положений, выносимых на защиту.

По результатам диссертационной работы опубликовано 5 статей в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Web of Science, и 8 тезисов докладов на российских и международных конференциях.

Тем не менее, по диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. Имеются небрежности в оформлении. Формула 1.1 пронумерована дважды на страницах 12 и 13. Подписи к рисункам 3.5, 3.8, 3.9, 3.18, 3.25, 4.32 и 5.2, расположены неудачно – рисунок находится на одной странице, а подпись полностью или частично на другой.
2. Имеются замечания к структуре результатов и выводов. В конце экспериментальных глав 3 и 4 написаны заключения, а в конце главы 5 – нет. В финальном заключении на странице 102 после вывода 2 следует сразу вывод 4.
3. На странице 62 написано: “После определения одноимпульсных порогов абляции (см. Гл. 3) была произведена генерация коллоидных растворов наночастиц в среде деионизированной воды и изопропилового спирта. Измеренные спектры поглощения, пересчитанные в спектры коэффициента экстинкции...” Неясность заключается в том, как измерялись спектры поглощения и как из них пересчитывались спектры коэффициента экстинкции. В тексте диссертации кроме типа используемого спектрометра информации на эту тему нет. По сути, поглощение и экстинкция – связанные, но разные вещи. Экстинкция в традиционной терминологии включает в себя ослабление проходящего через среду светового пучка за счет поглощения и рассеяния. Для коллоидных растворов наночастиц исследуемых материалов значения коэффициентов поглощения и светорассеяния часто сравнимы по величине. При подстановке в закон Бугера-Ламберта-Бера данные коэффициенты суммируются. Поэтому просто делать тождественными понятия поглощения и экстинкции нельзя и необходимо было конкретизировать детали эксперимента, чтобы было понятно, был ли учтен вклад светорассеяния в экстинкцию.

Сделанные замечания не являются принципиальными и не снижают общей положительной оценки диссертации.

Аннотация достоверно отражает структуру и содержание диссертационной работы.

В итоге можно сделать вывод, что на защиту вынесено оригинальное и завершённое научное исследование. Диссертационная работа «Абляционное

формирование коллоидных растворов наночастиц металлов и полупроводников в жидкостях ультракороткими лазерными импульсами ближнего ИК-диапазона варьируемой длительности» полностью удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а её автор – Сараева Ирина Николаевна – заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Официальный оппонент:

Доцент физического факультета

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,

кандидат физико-математических наук

Заболтнов Станислав Васильевич

«23» декабря 2019 г.

Почтовый адрес: 119991, Москва, Ленинские горы, д.1, стр. 2,

Физический факультет МГУ

Телефон: +7(495) 939-46-57

E-mail: zaboltnov@physics.msu.ru

Подпись С.В. Заболтнова удостоверяю:

Декан физического факультета

МГУ имени М.В.Ломоносова,

профессор



Сысоев Николай Николаевич

Список основных работ оппонента С.В. Заботнова по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. M.Yu. Kirillin, E.A. Sergeeva, P.D. Agrba, A.D. Krainov, A.A. Ezhov, D.V. Shuleiko, P.K. Kashkarov, S.V. Zobotnov. Laser-ablated silicon nanoparticles: optical properties and perspectives in optical coherence tomography // Laser Physics, 2015, Vol. 25, No 7, PP. 075604-1 – 075604-7.

2. F.V. Kashaev, T.P. Kaminskaya, S.V. Zobotnov, L.A. Golovan. Structural properties of silicon nanoparticles obtained via femtosecond laser ablation in gases at different pressures // Optical and Quantum Electronics, 2016, Vol. 48, PP. 348-1 – 348-10.

3. D.V. Shuleiko, F.V. Potemkin, I.A. Romanov, I.N. Parhomenko, A.V. Pavlikov, D.E. Presnov, S.V. Zobotnov, A.G. Kazanskii, P.K. Kashkarov. Femtosecond laser pulse modification of amorphous silicon films: control of surface anisotropy // Laser Physics Letters, 2018, Vol. 15, No 5, PP. 056001-1 – 056001-8.

4. Д.В. Шулейко, Ф.В. Кашаев, Ф.В. Потемкин, С.В. Заботнов, А.В. Зотеев, Д.Е. Преснов, И.Н. Пархоменко, И.А. Романов. Структурная анизотропия пленок аморфного кремния, модифицированных фемтосекундными лазерными импульсами // Оптика и спектроскопия, 2018, Т. 124, Вып. 6, С. 770–776.

5. S.V. Zobotnov, F.V. Kashaev, D.V. Shuleiko, A.V. Skobelkina, A.A. Vasyakov, A.K. Petrov, A.V. Chetvertukhin, P.V. Evdokimov, A.V. Garshev, V.I. Putlayev. Formation of AlSi10Mg surfaces via selective laser melting: scanning electron microscopy and Raman spectroscopy study // Journal of Physics: Conference Series, 2018, Vol. 1092, PP. 012170-1 – 012170-4.