

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук

Шафеева Георгия Айратовича

на диссертацию Сараевой Ирины Николаевны «**Абляционное формирование коллоидных растворов наночастиц металлов и полупроводников в жидкостях ультракороткими лазерными импульсами ближнего ИК-диапазона варьiruемой длительности**»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - Лазерная физика

Задача выбора оптимальной методики генерации наночастиц методом лазерной абляции в жидких средах связана с изучением влияния ряда параметров лазерного излучения на процесс формирования нанообъектов. Так, длительность лазерного импульса предопределяет временные масштабы, на которых будет протекать та или иная стадия образования наночастиц и наноструктур. В связи с этим, несмотря на ряд работ по лазерной абляции различных материалов, в которых производится рассмотрение ее отдельных стадий, на сегодняшний день целостное описание процесса образования наночастиц отсутствует. В связи с этим, остается **актуальной** задача исследования абляционного формирования наночастиц в коллоидной форме при различных длительностях лазерного импульса, а также с использованием различных жидких сред, в которых производится обработка мишеней.

Диссертация Сараевой Ирины Николаевны посвящена экспериментальному исследованию формирования коллоидов наночастиц металлов и полупроводников методом лазерной абляции массивных мишеней в жидких средах (деионизированная вода, изопропиловый спирт) с использованием лазерных импульсов ближнего ИК-диапазона различной длительности (0.3 – 10 пс). На основе анализа спектров экстинкции полученных коллоидных растворов исследовано влияние длительности лазерного импульса и жидкой среды, в которой производилась обработка мишеней, на изменение количества удаленного вещества и выхода наночастиц золота, серебра, кремния и селена коллоидных растворах, а также была проведена их корреляция с морфологией поверхностного абляционного рельефа и наночастиц.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Работа содержит 117 страниц печатного текста, 72 рисунка и 2 таблицы. Библиография включает 170 наименований.

Во введении обосновывается актуальность диссертации, приводятся ее основные цели, методы исследований, а также представлены научная новизна, защищаемые положения и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлен литературный обзор имеющихся статей по тематике лазерно-абляционной генерации наночастиц и наноструктур. Рассмотрены стадии

процесса лазерной абляции в жидкостях, приведены применения продуктов абляции в широком спектре приложений.

Во второй главе приводится описание используемых экспериментальных установок, методов исследований и интерпретации результатов.

В третьей главе приведены результаты расчета пороговых значений плотности энергии абляции металлов (золото, серебро) и полупроводников (кремний, селен) в воздухе, деионизированной воде и в изопропиловом спирте в зависимости от длительности лазерных импульсов. Измерены времена затухания оптической эмиссии факелов в процессе одноимпульсной абляции кремния и серебра в воздухе и изопропиловом спирте фемтосекундными импульсами. Корреляция полученных результатов с рельефом кратеров, наблюдаемых на поверхности материалов, позволила сделать вывод о протекании абляции по откольному механизму.

В четвертой главе произведен анализ спектров экстинкции коллоидных растворов металлов и полупроводников, полученных в воде и изопропанолу при различных длительностях лазерных импульсов. Значения коэффициента экстинкции были измерены в различных спектральных диапазонах, позволяющих сделать вывод как о непосредственном выносе массы, так и об изменении эффективности генерации наночастиц различных размерных фракций. В результате наблюдалось уменьшение выхода наночастиц при значениях пиковых мощностей лазерного излучения, превышающих критическое, тогда как при значениях меньше критического имел место рост концентрации наночастиц.

В пятой главе подробно рассмотрен механизм образования наночастиц селена методом фемтосекундной лазерной абляции. Селен является материалом, обладающим высоким показателем преломления, и в связи этим важным элементом для создания устройств нанофотоники. Отработана методика генерации наночастиц селена с эффективностью до мг/с.

В заключении приведены основные результаты работы и выводы.

Защищаемые положения являются **обоснованными**. Основные результаты исследований имеют высокую степень новизны, так как было впервые проведено систематическое исследование единственного варьируемого параметра – длительности лазерного импульса – на процесс формирования коллоидных растворов наночастиц и изменение морфологии аблируемой поверхности. Результаты работы являются **достоверными**, были представлены на ряде международных и всероссийских конференций и на семинарах ОКРФ ФИАН. По результатам диссертации опубликовано 5 статей в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

- 1) К сожалению, в работе нет данных по морфологии получаемых наночастиц, обычно получаемых с помощью просвечивающей электронной микроскопии.
- 2) Отсутствует анализ влияния парогазового пузырька на процесс абляции мишени, который может следовать за сканирующим лазерным пучком при большой частоте повторения импульсов, используемой в работе.

3) В тексте диссертации использован ряд неточно определенных терминов, например, «откольная абляция».

Отмеченные недостатки не снижают научной значимости результатов, представленных в диссертации, и не снижают ее общей положительной оценки.

Диссертационная работа подтверждает научную квалификацию Сараевой И. Н. Автореферат достоверно отражает содержание диссертации. Считаю, что диссертация Сараевой И. Н. «Абляционное формирование коллоидных растворов наночастиц металлов и полупроводников в жидкостях ультракороткими лазерными импульсами ближнего ИК-диапазона варьированной длительности» удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Сараева Ирина Николаевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник Научного центра волновых исследований Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук (ИОФ РАН)

Доктор физико-математических наук Шафеев Шафеев Георгий Айратович

«30» декабря 2019 г.

Почтовый адрес: 119991, г. Москва, ул. Вавилова, 38

Телефон: +7 (499) 503-8342

e-mail: shafeev@kapella.gpi.ru

Подпись сотрудника ИОФ РАН Шафеева Г. А. заверяю.

ВРИО Ученого секретаря ИОФ РАН,

доктор физико-математических наук



Глушков Владимир Витальевич

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

1. Serkov, A.A., Shafeev, G.A., Barmina, E.V., Loufardaki, A. and Stratakis, E., 2016. Stainless steel surface wettability control via laser ablation in external electric field. *Applied Physics A*, 122(12), p.1067.
2. Serkov, A.A., Kuzmin, P.G. and Shafeev, G.A., 2016. Laser-induced agglomeration of gold and silver nanoparticles dispersed in liquid. *Chemical Physics Letters*, 647, pp.68-72.
3. Serkov, A.A., Barmina, E.V., Simakin, A.V., Kuzmin, P.G., Voronov, V.V. and Shafeev, G.A., 2015. Generation of core-shell nanoparticles Al@Ti by laser ablation in liquid for hydrogen storage. *Applied Surface Science*, 348, pp.71-74.
4. Ayyzhy, K.O., Voronov, V.V., Gudkov, S.V., Rakov, I.I., Simakin, A.V. and Shafeev, G.A., 2019. Laser Fabrication and Fragmentation of Selenium Nanoparticles in Aqueous Media. *Physics of Wave Phenomena*, 27(2), pp.113-118.
5. Barmina, E.V., Skoulas, E., Stratakis, E. and Shafeev, G.A., 2018. Laser Nano-Structuring of Pre-Structured Substrates. *Journal of Laser Micro Nanoengineering*, 13(1), pp.6-9.
6. Serkov, A.A., Rakov, I.I., Simakin, A.V., Kuzmin, P.G., Shafeev, G.A., Mikhailova, G.N., Antonova, L.K., Troitskii, A.V. and Kuzmin, G.P., 2016. Influence of external magnetic field on laser-induced gold nanoparticles fragmentation. *Applied Physics Letters*, 109(5), p.053107.
7. Barmina, E.V. and Shafeev, G.A., 2018. Formation of core-shell Fe@Al nanoparticles by laser irradiation of a mixture of colloids in ethanol. *Quantum Electronics*, 48(7), p.637.
8. Serkov, A.A., Kuzmin, P.G.E., Rakov, I.I. and Shafeev, G.A., 2016. Influence of laser-induced breakdown on the fragmentation of gold nanoparticles in water. *Quantum Electronics*, 46(8), p.713.