

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.129.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕПЛОФИЗИКИ  
ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 31.05.2023 № 13/2023

О присуждении Старинскому Сергею Викторовичу, гражданину Российской  
Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация «Тепломассообмен при синтезе функциональных материалов наносекундными лазерными импульсами» по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 01.02.2023 (протокол № 3-1/2023) диссертационным советом 24.1.129.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказы Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк, от 03.06.2021 № 561/нк.

Соискатель Старинский Сергей Викторович 30 января 1990 года рождения защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Импульсная лазерная абляция серебра, золота и их сплавов в различных средах в режимах синтеза наноструктур» в 2017 году в диссертационном совете, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), работает старшим научным сотрудником лаборатории физико-химических процессов в энергетике ИТ СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории физико-химических процессов в энергетике Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Жуков Владимир Петрович – доктор физико-математических наук, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий», старший научный сотрудник лаборатории вычислительных технологий;

Кузма-Кичта Юрий Альфредович – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», профессор кафедры инженерной теплофизики;

Кузнецов Гений Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Томский политехнический университет", профессор Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики;

– дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики Уральского отделения Российской академии наук (ИТ УрО РАН), г. Екатеринбург – в своем положительном отзыве, подписанном д.ф.-м.н. Гасановым Байрамали Мехрали оглы - заведующим лабораторией криогеники и энергетики ИТ УрО РАН, указала, что: «Диссертация Старинского Сергея Викторовича является законченной научно-квалификационной работой, в которой последовательно исследованы сложные процессы тепломассообмена при наносекундном лазерном синтезе функциональных материалов в вакууме, фоновом газе и жидкости. Основные результаты работы опубликованы в 30 печатных изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий. Проведена хорошая апробация работы на международных и всероссийских конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Исходя из актуальности, новизны, научной и практической значимости представленной работы, можно сделать заключение, что диссертация «Тепломассообмен при синтезе функциональных материалов наносекундными лазерными импульсами», представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, выполнена на высоком научном уровне. Она отвечает требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Старинский Сергей Викторович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Соискатель является автором 98 работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 70 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, опубликовано 30 статей. В работах опубликованы полученные соискателем данные о тепломассообменных процессах при воздействии лазерного излучения на широкий круг материалов в различных средах, а также данные о применении функциональных материалов, полученных методом лазерной абляции. В диссертации недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах не содержится. Вклад



автора состоит в постановке задач исследования, участии в проектировании, изготовлении и запуске экспериментальных установок, проведении экспериментальных исследований в части лазерного воздействия на вещество, анализе экспериментальных данных, подготовке публикаций по результатам исследований, проведение численного моделирования.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. С.В. Старинский, Ю.Г. Шухов, А.В. Булгаков, Динамика Импульсной Лазерной Абляции Золота В Вакууме В Режиме Синтеза Наноструктурных Пленок, Письма в ЖТФ. – 2016. – Т. 42 – С. 45–52.
2. Starinskiy S.V., Shukhov Y.G., Bulgakov A.V. Laser-induced damage thresholds of gold, silver and their alloys in air and water // Appl. Surf. Sci. – 2017. – Vol. 396 – P.1765–1774.
3. Starinskiy S.V., Bulgakov A.V., Gatapova E.Y., Shukhov Y.G., Sulyaeva V.S., Timoshenko N.I., Safonov A.I. Transition from superhydrophilic to superhydrophobic of silicon wafer by a combination of laser treatment and fluoropolymer deposition // J. Phys. D – 2018. – Vol. 51 – № 25 – P. 255307.
4. Starinskiy S.V., Rodionov A.A., Shukhov Y.G., Maximovskiy E.A., Bulgakov A.V. Dynamics of nanosecond-laser-induced melting of tin in vacuum, air and water // Appl. Phys. A – 2019. – Vol. 125 – № 734 – P.1–8.
5. Starinskiy S.V., Rodionov A.A., Shukhov Y.G., Safonov A.I., Maximovskiy E.A., Sulyaeva V.S., Bulgakov A.V. Formation of periodic superhydrophilic microstructures by infrared nanosecond laser processing of single-crystal silicon // Appl. Surf. Sci. – 2020. – Vol. 512 – P.145753.
6. Morozov A.A., Starinskiy S.V., Bulgakov A.V. Pulsed laser ablation of binary compounds: Effect of time delay in component evaporation on ablation plume expansion // J. Phys. D – 2021. – Vol. 54 – № 175203 – P.1-17.
7. Starinskiy S.V., Safonov A.I., Sulyaeva V.S., Rodionov A.A., Shukhov Y.G., Bulgakov A.V. An optical method for determination of the mass thickness of thin gold films with arbitrary morphology // Thin Solid Films – 2020. – Vol. 714 – P.138392.

На автореферат поступило 6 отзывов. Все отзывы положительные, некоторые содержат замечания. В отзывах отмечается новизна, научная и практическая значимость, достоверность полученных результатов, актуальность направления исследований.

Отзыв д.ф.-м.н., доцента, Блейхер Галины Алексеевны, профессора научно-образовательного центра Б.П. Вейнберга инженерной школы ядерных технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» не содержит замечаний.

Отзыв д.ф.-м.н. Витрика Олега Борисовича, главного научного сотрудника ФГБУН «Института автоматики и процессов управления ДВО РАН», содержит следующие

замечания: «1. На рис. 4.8. (а,б) на вставках с изображением капель отсутствует шкала размеров. 2. На рис. 4.10. (д) на графике приведена экспериментальная зависимость краевого угла смачивания от толщины фторполимерного покрытия, при этом не указана погрешность проводимых измерений. 3. Для рис. 4.11. формат указаний отличается от остальных упомянутых в работе, что приводит к отсутствию единообразия. 4. На стр. 17 не корректно указан единицы измерения теплоемкости вещества».

Отзыв д.ф.-м.н. Гусарова Андрей Владимировича, профессора кафедры Высокотехнологичных технологий обработки ФГАОУ ВУ «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» не содержит замечаний.

Отзыв д.ф.-м.н. Квашнина А.Г. старшего преподавателя Проектного центра по энергетическому переходу АНООВО «Сколковский институт науки и технологий» не содержит замечаний.

Отзыв д.т.н. Королькова Виктора Павловича, заместителя директора по научной работе ФГБУН Института автоматики и электрометрии СО РАН содержит следующие замечаний: «1. Недостаточную связанность пунктов новизны и защищаемых положений. Например, положение 3 полностью отсутствует в пунктах новизны. 2. Защищаемое положение 7 сформулировано недостаточно конкретно: «Результаты численного моделирования тепломассообменных процессов, протекающих при наносекундном лазерном нагреве исследуемых металлов в различных окружающих средах», поскольку словосочетание «исследуемые металлы» включает в себя вообще все металлы из таблицы Менделеева, воздействие лазерного излучения на которые, кто-либо потом возьмется моделировать численно. Было бы более корректно перечислить те металлы, которые автор рассматривал в своем численном моделировании. 3. Понятие массовая толщина пленки не является общепринятым в российской научной литературе по технологиям тонких пленок. Это буквальный перевод термина из англоязычной литературы. Следовало бы дать его краткое определение при первом употреблении в автореферате и в диссертации. 4. Во втором разделе 5 главы приводятся данные порогов модификации различных металлов в воздухе и воде. Показано, что для золота, серебра и их сплавов пороговая плотность энергии модификации в воде в 1,5 раза выше по сравнению с воздействием в воздухе. Однако для олова наблюдается обратная зависимость -уменьшение пороговой плотности энергии при воздействии в воде. Из текста автореферата не ясна физическая причина данного эффекта».

Отзыв д.ф.-м.н., доцента Маркидонова Артема Владимировича, заведующего кафедрой информатики и вычислительной техники им. В.К. Буторина Кузбасского



гуманитарно-педагогического института ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» не содержит замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации являются признанными специалистами в областях науки, непосредственно связанных с темой диссертации. Ведущая организация – ИТ УрО РАН, несомненно, является одним из лидеров в области связанной с изучением теплофизических свойств метастабильных жидкостей, кинетики фазовых превращений, процессов с участием метастабильных фаз, которые могут дать полноценную экспертную оценку научной и практической значимости результатов работы (д.ф.-м.н. Скрипов П.В., д.ф.-м.н. Виноградов А.В. и др.). Официальные оппоненты д.ф.-м.н. В.П. Жуков, д.ф.-м.н. Г.В. Кузнецов и д.т.н. А.Р. Кузма-Кичта являются признанными специалистами в области экспериментального и теоретического исследования процессов тепло- и массообмена в том числе в микро- и наносистемах и синтезе новых материалов на их основе, что подтверждается наличием у них публикаций ряда научных работ в данной области исследований, в том числе соответствующих тематике диссертационного исследования соискателя, и опубликованных в ведущих российских и международных журналах и изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что в работе развиты экспериментальные и теоретические основы взаимодействия лазерного излучения с веществом в различных средах. Получены новые данные о кластерном составе лазерного факела при абляции серебра, золота и их сплавов в вакууме и атмосфере фоновых газов, которые показывают, что кластеры являются центрами конденсации для поступающих на поверхность атомов при формировании осаждаемого покрытия. Впервые сопоставлена кинетика разлета продуктов абляции серебра, золота и их сплавов, которая показала идентичность временно-пролетных распределений атомов благородных металлов при абляции простого вещества и сплавов в вакууме. Обнаружено формирование периодической микроструктуры при облучении монокристаллического кремния лазерными импульсами, и был предложен механизм ее формирования. Впервые экспериментально доказано, что гидрофилизация поверхности материалов при наносекундной лазерной абляции обусловлена возвращением продуктов абляции на мишень после взаимодействия с внешней средой. Установлено, что увеличение необходимой интенсивности излучения для лазерного плавления тугоплавких металлов пучками наносекундной длительности в воду обусловлено ранним гомогенным вскипанием жидкости до достижения температуры плавления металла. Также было показано, что вскипание воды не влияет на модификацию поверхности металлов с температурой плавления ниже температуры предельного

перегрева воды, так как паровой слой образуется после плавления мишени. Впервые зарегистрировано образование коллоидных наночастиц металла в воде при облучении олова пучками с плотностью энергии, недостаточной для испарения мишени.

Теоретическая значимость исследований связана с расширением представлений о процессах тепло- и массообмена при воздействии на материалы высококонцентрированными потоками энергии. Собранный объем данных позволяет реконструировать последовательность происходящих процессов при наносекундном лазерном облучении вещества в различных средах, что фактически невозможно при прямом экспериментальном наблюдении. Полученные результаты значительно дополнили представления о механизмах наносекундной лазерной абляции.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке новых подходов к созданию материалов, применимых в отечественной индустрии. В частности, был предложен метод определения толщин серебряных и золотых пленок на основе их оптических свойств. Продемонстрировано, что полученные методом лазерного осаждения наноструктурированных покрытий на основе серебра и золота с плазмонными свойствами перспективны для создания сенсоров на основе гигантского комбинационного рассеяния света. Была выявлена перспективность использования лазерно-обработанных стойких супергидрофильных поверхностей для интенсификации процессов теплообмена, что перспективно для создания высокоэффективных систем охлаждения для микроэлектроники. Были созданы бифильные материалы, которые могут использоваться для управления обтеканием в докавитационных режимах.

Результаты и выводы диссертации могут быть использованы в организациях, разрабатывающих новые подходы синтеза наноматериалов и исследующих их теплофизические свойства, например: ФГБУН Институте теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, ФГБУН Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», а также коммерческими организациями, занимающимися разработкой новых материалов.



Результаты исследований, полученные в диссертации, могут быть также использованы в учебном процессе в ВУЗах по дисциплинам «Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с веществом», «Теплофизика микро- и наносистем».

Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов обеспечена использованием современных аналитических методов, стандартных экспериментальных методик, оценкой величин погрешностей, воспроизводимостью результатов, проведением калибровочных измерений, сравнением с известными в литературе экспериментальными, аналитическими и численными результатами.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация С.В. Старинского является законченным научным исследованием, выполненным на современном уровне, и может характеризоваться как научно-квалификационная работа, в которой на основании выполненных автором исследований процессов теплопереноса при взаимодействии лазерного излучения с веществом, разработаны теоретические положения и получены теоретико-экспериментальные результаты, совокупность которых можно квалифицировать, как крупное научное достижение в области тепломассообмена при взаимодействия высококонцентрированных потоков энергии с веществом и синтезе новых материалов.

На заседании 31.05.2023 диссертационный совет принял решение присудить Старинскому Сергею Викторовичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них - 6 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали за - 19 человек, против - 0, не действительных бюллетеней - 0.

Зам. председателя  
диссертационного совета  
академик РАН

Фомин Василий Михайлович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
профессор РАН

Терехов Владимир Викторович



31.05.2023