

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
**Хасая Радмира Рюриковича**  
«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО  
МИКРО- И НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ  
ТВЕРДЫХ ТЕЛ»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики

**Актуальность темы.** В последнее десятилетие активно развиваются научно-исследовательские работы по изучению физико-химических и функциональных свойств микро-и наноструктурированных материалов, перспективных с точки зрения практического применения в различных областях науки, техники и медицины. В первую очередь, такой интерес связан с появлением уникальных мезоскопических свойств материалов при переходе от объемных к структурированным формам различной размерности. В связи с этим, разработка и развитие современных методов и установок структурирования материалов, пригодных не только для лабораторных исследований, но и для производства в промышленном масштабе, является весьма актуальной задачей на сегодняшний день.

**Научная новизна** заключается в реализации экспериментальной установки для наноструктурирования поверхности твердых тел двумя лазерными импульсами от разных источников с регулируемой временной задержкой между импульсами, а так же формирование субмикро- и наноструктур различной формы на поверхности твердых тел при помощи этой установки. Отдельно следует отметить разработанный в работе метод увеличения длительности импульсов излучения электроразрядного эксимерного лазера с накачкой активной среды в режиме периодически затухающего напряжения.

**Практическая значимость** определяется одним из основных достижений диссертационной работы: разработана экспериментальная установка на основе импульсно периодических лазеров с импульсами наносекундной длительности, предназначенной для реализации метода прямого лазерного наноструктурирования поверхностей различных материалов, которая уже нашла свое практическое применение в ФГБУН Российской академии наук.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, в котором дается краткая характеристика области исследования автора,

формируются задачи и приводятся основные достижения; обзора основных методов и экспериментальных установок по теме диссертации; обсуждения полученных автором результатов, разделенного на 3 главы; заключения; списка цитированной литературы (213 наименований). Работа изложена на 177 страницах машинописного текста, включает 94 рисунка и 6 таблиц.

**В первой главе** диссертации автор рассматривает и систематизирует современные данные о методах и экспериментальных установках в области структурирования различных материалов лазерным излучением; описывает основные закономерности метода прямого лазерного структурирования; рассматривает методы исследования структур субмикронного и наноразмерного диапазона.

**Глава 2** посвящена описанию фундаментальных основ метода прямого лазерного наноструктурирования и разработанной в рамках диссертационной работы экспериментальной установки для прямого лазерного наноструктурирования поверхности твердых материалов. Приведены основные параметры источников лазерного излучения, на базе которых разработана экспериментальная установка, а так же характеристики отдельных блоков. Приведена общая блок-схема экспериментальной установки и принципиальная схема работы. Описана схема синхронизации лазерных импульсов.

**Глава 3** представляет собой обзор результатов по исследованию параметров экспериментальной установки на основе импульсно периодических лазеров с наносекундными импульсами излучения: длительность импульсов эксимерного лазера, плотность энергии излучения и скорости сканирования лазерного пучка, зависимости энергии и длительности лазерного излучения от напряжения накачки, состава и давления газовых смесей. Представлено описание метода увеличения длительности генерации излучения электро-разрядных лазеров за счет использования режима накачки с периодически затухающим напряжением. Определены оптимальные параметры лазерного излучения для создания субмикро- и наноструктурированных рельефов на поверхности образцов различного состава.

**Глава 4** описаны результаты экспериментальных исследований субмикронных и наноструктур, полученных методом прямого лазерного структурирования с использованием разработанной экспериментальной установки на основе импульсно периодических лазеров с наносекундными импульсами. Обнаружено влияние интенсивности лазерного излучения при прямом лазерном наноструктурировании поверхности германия, никеля, силицида платины, нитрида кремния, нержавеющей стали и титана

на морфологию поверхности. В результате воздействия наносекундными лазерными импульсами на поверхности германия обнаружены наноструктуры в виде гексагональных ячеек, а на поверхности нержавеющей стали - наноразмерные кратеры эллиптической формы.

**К тексту диссертации имеются следующие замечания и вопросы.**

1. В тексте диссертации при сравнении результатов структурирования поверхности лазерными импульсами различной длительности не рассматриваются вопросы эффективности нагрева и, как следствие, эффективности процесса лазерной абляции при использовании фемтосекундных и пикосекундных импульсов. Такие данные позволили бы подчеркнуть важность использования наносекундных лазеров для метода лазерного структурирования поверхности в промышленных масштабах.
2. Экспериментальные графики представлены в основном без погрешностей, что затрудняет оценку достоверности получаемых на их основе выводов. Например, на рисунках 3.16 и 3.17 по оси абсцисс значения представлены с точностью до 9 знака. Какова погрешность определения логарифма энергии, каков физический смысл представленных значений?
3. На изображениях, полученных при помощи атомно-силового микроскопа, размерность на шкалах указана как «нМ». Вероятно, данное обозначение следует принимать как «нм»?

Тем не менее, перечисленные замечания не снижают общего положительного впечатления от работы.

Автореферат диссертации адекватно отражает ее содержание. Основные материалы диссертации опубликованы в 5 научных статьях, рекомендованных ВАК РФ; они достаточно полно отражают содержание работы. Полученные результаты работы докладывались на международных и всероссийских конференциях. Публикация принципиальных результатов в научных журналах подтверждает приоритет автора и новизну полученных им результатов. Полученные технические, экспериментальные и теоретические результаты определяют научную и практическую ценность работы, доказывают достоверность сформулированных выводов.

Результаты диссертации являются оригинальными и соответствуют поставленным целям, а ее выводы являются убедительными и носят принципиальный характер. Тема исследования соответствует заявленной научной специальности. Считаю, что представленная диссертационная работа «Экспериментальная установка для прямого лазерного микро- и

наноструктурирования рельефа поверхности твердых тел» по актуальности, ценности полученных результатов, научной новизне, практической значимости, объему в полной мере удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (пункты 9-14), а ее автор, **Хасая Радмир Рюрикович**, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент:

доцент кафедры лазерной химии и  
лазерного материаловедения  
Института химии СПбГУ,  
доктор физико-математических наук



А.В. Поволоцкий

05» ноября 2019 г.

Адрес: 197101, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7-9  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования "Санкт-Петербургский государственный  
университет"

<http://www.spbu.ru>

E-mail: [alexey.povolotskiy@spbu.ru](mailto:alexey.povolotskiy@spbu.ru)

Тел.: (812) 428-43-35

ЛИЧНУЮ ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА КАДРОВ №3

Н. И. МАШТЕПА



*05.11.2019*

