

**МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМаш РАН)**

В.О., Большой проспект, д.61, Санкт-Петербург, 199178
Тел.: (812)-321-4778; факс: (812)-321-4771; www.ipme.ru

ОГРН 1037800003560, ИНН/КПП 7801037069/780101001



ОТЗЫВ

ведущей организации - ФГБУН Институт проблем машиноведения РАН (ИПМаш РАН) на диссертационную работу Хасая Радмира Рюриковича на тему «Экспериментальная установка для прямого лазерного микро- и наноструктурирования рельефа поверхности твердых тел», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Диссертационная работа Хасая Р.Р. посвящена созданию экспериментальной установки для реализации метода прямого лазерного микро- и наноструктурирования рельефа поверхности твердых материалов, а также исследованию влияния параметров облучения наносекундными лазерными импульсами на размеры и форму формируемого рельефа при неподвижном пятне и сканировании луча по поверхности и возможности облучения синхронизированными импульсами от разных лазеров с регулируемой задержкой между импульсами. В диссертационной работе впервые был предложен, реализован и исследован метод увеличения длительности импульсов излучения электроразрядного эксимерного лазера с накачкой активной среды в режиме периодически затухающего напряжения на разрядном промежутке.

Наноструктурирование поверхности приводит к улучшению электрических, тепловых, электронно-эмиссионных и излучательных свойств материалов, повышению

биосовместимости с живыми тканями имплантатов и протезов, также находит применение в селективном нанокатализе, микроэлектронике и записи информации со сверхвысокой плотностью, в нанофотонике для разработки светоизлучающих устройств и спектроскопии и других областях науки и техники, в связи с чем, тема диссертационной работы Хасая Р.Р. и решаемые в работе задачи являются несомненно актуальными.

Диссертация изложена на 177 страницах машинописного текста, включает в себя введение, четыре главы, заключение и список литературы из 213 наименований, 94 рисунка и 6 таблиц.

Во введении обоснована актуальность представленной работы, произведена постановка исследуемых задач, дана оценка новизны, практической значимости и оригинальности методов и подходов к решению поставленных задач. Сформулированы цель и защищаемые положения диссертационной работы, описаны основные методы экспериментального исследования.

Первая глава диссертации посвящена обзору литературы существующих методов и установок для получения субмикро- и наноструктур на поверхности твердых тел, а также исследованиям параметров этих структур. Проведенный анализ литературы показал, что наиболее перспективным с точки зрения простоты осуществления является метод прямого лазерного наноструктурирования. Показано, что большинство работ по прямому лазерному наноструктурированию было выполнено ранее с применением пико- и фемтосекундных лазеров, но для практического применения целесообразно использование более доступных и простых в эксплуатации наносекундных лазеров. В конце главы сформулированы задачи исследований.

Вторая глава диссертационной работы посвящена теоретической оценке возможности реализации метода прямого лазерного наноструктурирования и созданию экспериментальной установки. В качестве источников лазерного излучения обоснованно выбраны наносекундные лазеры с длинами волн $\lambda = 193$ нм (эксимерный ArF-лазер имеет самое коротковолновое излучение для использования при атмосферном воздухе и поглощается большинством материалов); $\lambda = 355$ нм (твердотельный Nd:YAG-лазер, его применение для получения структур мало изучено); $\lambda = 510$ нм, 578 нм (лазер на парах меди, имеет высокое качество пучка и частоту следования импульсов до 15 кГц). Для

создания экспериментальной установки были разработаны блок схема и принципиальная схема установки. Было предложено реализовать на данной экспериментальной установке возможность проведения работ по облучению поверхности задержанными относительно друг друга наносекундными импульсами лазерного излучения с различными длинами волн. В конце главы представлена фотография созданной экспериментальной установки.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований параметров экспериментальной установки таких как: длительность импульса эксимерного лазера, определение характеристик плотности энергии излучения и скорости сканирования лазерного пучка. Большое внимание уделяется улучшению характеристик выходного пучка и продлению срока службы оптических элементов лазерной установки. В работе исследован новый более простой и эффективный метод увеличения длительности генерации эксимерного лазера, основанный на использовании режима накачки активной среды с периодически затухающим напряжением на разрядном промежутке.

В четвёртой главе представлены результаты экспериментальных исследований сформированных субмикронных и наноструктур на созданной установке. Методом прямого лазерного наноструктурирования были получены субмиро- и наноструктуры на поверхности германия, никеля, силицида платины, нитрида кремния, нержавеющей стали и титана. Выбор данных материалов автор обосновывает их широким применением в науке, технике и промышленности. Исследование и получение характеристик топографии облученной поверхности производилось посредством оптического профилометра NewView 7300 и атомно-силового микроскопа Alpha 300 и P47. Продемонстрированы изображения различных по форме и размерам формируемых на поверхности материалов структур рельефа.

В заключении представлены основные результаты и выводы диссертационной работы. Основные результаты диссертационной работы представлены в 14 публикациях автора, из которых 5 в рецензируемых журналах из списка ВАК.

Достоверность и обоснованность научных положений обеспечивается корректным применением методик экспериментальных исследований, большим объемом накопленных экспериментальных данных, стабильностью параметров и воспроизводимостью результатов измерений. Все экспериментальные данные получены

с использованием современных измерительных средств. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации и полученные в ней результаты.

Изучение диссертационной работы позволяет выделить следующие основные результаты, обеспечивающие научную новизну:

1. Теоретически и экспериментально обоснована эффективность использования наносекундных лазерных источников, генерирующих ВУФ и УФ излучения для получения субмикро- и микроструктур с контролируемыми параметрами при облучении поверхности твердых тел.
2. Впервые создана экспериментальная установка, предназначенная для практической реализации и исследования метода прямого лазерного наноструктурирования поверхности твердых материалов. Её отличительной особенностью является возможность облучать одним или несколькими последовательно синхронизированными пучками излучения импульсно-периодических лазеров, а также возможность регулировать время задержки между импульсами в заданных пределах, благодаря использованию в системах накачки ArF-лазера и лазера на парах меди полностью твердотельных высоковольтных генераторов импульсов на основе IGBT транзисторов.
3. Предложен и экспериментально реализован метод увеличения длительности импульсов излучения электроразрядного эксимерного лазера с использованием накачки активной среды в режиме периодически затухающего напряжения на разрядном промежутке.
4. Экспериментально исследованы зависимости энергии и длительности лазерного излучения электроразрядного KrF-лазера с максимальной выходной энергией до 30 мДж от параметров напряжения накачки, состава и давления газовых смесей в разрядном промежутке. Показано, что за счет изменения этих параметров указанный выше метод позволяет увеличивать длительность лазерных импульсов с 15 нс до 45 нс не приводя к существенным потерям выходной энергии лазера.
5. Экспериментально продемонстрирована возможность прямого наноструктурирования поверхности германия, никеля, силицида платины, нитрида кремния, нержавеющей стали и титана при наносекундном многократном облучении ArF-лазером с длиной волны 193 нм.

6. Экспериментально обнаружен эффект увеличения характерного периода, амплитуды и изменения формы образующихся нанорельефов с возрастанием лазерной интенсивности, что открывает возможность управления размерами нанорельефа.

7. Обнаружено образование микро- и субмикронных структур волнообразной и выпуклой форм, в том числе периодических структур с периодом порядка одного микрона и наноструктур пирамидальной формы, а также впервые обнаружены наноструктуры в виде гексагональных ячеек на германии и в виде эллиптических нанократеров на нержавеющей стали.

Замечания по диссертации

1. Для формирования субмикро- и наноструктур автор диссертации использовал различные материалы, такие как: германий, никель, силицид платины, нитрид кремния, нержавеющая сталь, титан и оксид алюминия. Выбор данных материалов, по мнению автора (стр. 16), был продиктован тем, что они наиболее часто используются в науке, технике и промышленности. Такое заявление является необоснованным.

2. На стр. 10 диссертации автор констатирует, что «Множество работ по прямому лазерному наноструктурированию было выполнено ранее главным образом с применением пико- и фемтосекундных лазеров. Однако для практического применения целесообразно рассмотреть возможность использования более доступных и простых в эксплуатации лазерных источников, каковыми являются наносекундные лазеры». Такая целесообразность была показана до автора данной диссертации. Хотелось бы, чтобы в диссертации были отражены отличия и научная сторона процесса микро- и наноструктурирования рельефа поверхности при переходе от пико- и фемтосекундных лазеров к наносекундным.

3. К нанотехнологиям не относятся работы с материалами, размеры которых составляют сотни нанометров (стр. 21).

4. В диссертационной работе не обсуждаются контролируемость и воспроизводимость процессов лазерного наноструктурирования. Ни на одном из графиков в диссертации не отображены статистические данные полученных результатов (погрешности, разброс результатов измерений, доверительные интервалы и т.д.)

5. Диссертация не лишена грамматических, стилистических ошибок и неточностей (стр. 12, 15, 31, 45, 72, 137, 140 и др.)

Считаем, что отмеченные выше недостатки не снижают общего положительного впечатления о диссертационной работе.

Материал диссертации соответствует шифру специальности 01.04.01 по областям исследования:

- Изучение физических явлений и процессов, которые могут быть использованы для создания принципиально новых приборов и методов экспериментальной физики.
- Разработка и создание экспериментальных установок для проведения экспериментальных исследований в различных областях физики.

Считаем, что диссертационная работа «Экспериментальная установка для прямого лазерного микро- и наноструктурирования рельефа поверхности твердых тел» Хасая Радмира Рюриковича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую требованиям «Положения о порядке присвоения ученых степеней», предъявляемых ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Заведующий лабораторией модифицирования поверхностей материалов ИПМаш РАН, д.т.н., лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники



В.Г. Кузнецов

