

Отзыв

официального оппонента Дунаевского М.С.
на диссертационную работу Хасая Р.Р.

«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»

На сегодняшний день лазерное излучение активнейшим образом используется для приготовления различных наноструктурированных материалов. Лазерные источники достаточно широко применяются для микро- и нанолитографии, записи брэгговских решеток, формирования поверхностных наноструктур и т.п. Применение наноструктурированных материалов в различных областях, например, в машиностроении приводит к улучшению конструкционных свойств материалов, изменению тепловых и электрофизических свойств поверхности, в энергетике - к увеличению КПД твердооксидных топливных элементов, энергоэффективности накопителей и преобразователей энергии. Все это свидетельствует о необходимости разработки простых и эффективных методов получения структур микро- и наноразмерного масштаба, а также исследования процессов и механизмов, объясняющих образование таких структур.

В связи с этим, **актуальность** диссертационной работы Хасая Р.Р., посвященной исследованию формирования микро- и наноструктур на поверхности твердых тел при облучении импульсами наносекундных лазеров, не вызывает сомнения.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что автором впервые разработана и создана экспериментальная установка для реализации метода прямого лазерного наноструктурирования поверхности твердых тел, которая позволяет облучать образцы неподвижным или сканирующим пучком наносекундных лазеров.

Достоверность полученных научных результатов обеспечивается использованием общеизвестных аналитических методов, высокоточного современного измерительного оборудования, методов профилометрии, атомно-силовой микроскопии (АСМ), а также достаточно большим количеством проведенных измерений.

Практическая ценность работы заключается в предложенном простом и эффективном методе прямого лазерного наноструктурирования, который имеет одну стадию обработки и не использует дополнительных устройств наподобие иглы сканирующего зондового микроскопа и т.п., как ряд

предлагавшихся ранее методов наноструктурирования. Использование наносекундного ArF-лазера с достаточно короткой длиной волны в 193 нм в качестве источника излучения позволяет обрабатывать большой набор материалов с различными физическими свойствами.

Все защищаемые положения и выводы работы **обоснованы** и изложены в тексте диссертационной работы, которая состоит из введения, четырех глав, заключения и списка используемой литературы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, приводятся основные защищаемые положения, дана оценка новизны работы и кратко изложено ее содержание по главам.

В первой главе приводится обзор литературы по существующим методам получения поверхностных наноструктур с применением когерентного излучения. При описании уделяется внимание достоинствам и недостаткам различных методов наноструктурирования, обосновывается целесообразность применения наносекундных лазеров вместо лазеров с ультракороткой длительностью импульсов (пико- и фемтосекундных).

Во второй главе рассмотрены основные физические процессы, возникающие при облучении поверхности лазерными импульсами, а также рассмотрены основные элементы и узлы установки для прямого лазерного наноструктурирования.

В третьей главе приведены результаты определения параметров экспериментальной установки таких как: длительность импульса эксимерного лазера, определение оптимальных параметров плотности энергии излучения и скорости сканирования лазерного пучка.

Четвертая глава диссертации посвящена экспериментальному исследованию формирования микро- и наноструктур на поверхности германия, никеля, силицида платины, нитрида кремния, нержавеющей стали и титана при облучении лазерными импульсами наносекундной длительности. Вначале описан принцип прямого лазерного наноструктурирования и методика проведения эксперимента, далее представлены полученные с помощью АСМ и профилометра изображения исходных и облученных поверхностей исследуемых материалов с микро- и нанорельефами. На основе экспериментальных данных предложена классификация поверхностных рельефов, получаемых при облучении лазерными импульсами наносекундной длительности, которая включает в себя пять основных типов рельефов, характеризующихся формой и размерами образующихся структур, а также их периодичностью.

В заключении приведены основные выводы, полученные в рамках диссертационной работы.

В качестве замечаний и комментариев к диссертационной работе можно отметить следующее:

1) В рамках данной работы исследовалось воздействие лазерного облучения на следующие материалы: "германий, никель, силицид платины, нитрид кремния, нержавеющая сталь и титан". Не вполне понятно, чем был обусловлен выбор именно такого набора материалов?

2) В диссертации облучались объёмные образцы. Рассматривалась ли автором возможность применения этого метода для облучения тонких плёнок на подложках? Возможно в этом случае удалось бы получить "меньшие по размерам" наноструктуры на поверхности.

3) В главе 2 автор выполнил существенную работу по реализации облучения поверхности задержанными относительно друг друга наносекундными лазерными импульсами с различными длинами волн. Автор особо подчеркивает, что такое облучение должно существенно влиять на характер и морфологию образующихся поверхностных структур. Однако, в диссертации не приведено ни одного экспериментального результата с таким облучением. Почему?

4) В ходе экспериментов по лазерному облучению поверхностей твёрдых тел автором были обнаружены наноструктуры - в виде гексагональных ячеек на германии и в виде эллиптических нанократеров на нержавеющей стали. Есть ли у автора какое-то объяснение причин возникновения таких наноструктур?

5) При исследовании наноструктур, полученных лазерным облучением германия (рис.4.10) автор предполагает, что эти наноструктуры - окисленный германий. Привлекались ли методы химанализа для определения состава наноструктур в этих областях?

6) Автору возможно стоило бы рядом с АСМ изображениями приводить профили сечений. Это бы упростило восприятие характерных масштабов рельефа исследуемых поверхностей до и после воздействия.

Однако, приведенные замечания и комментарии не снижают научной ценности диссертационной работы Р.Р. Хасая. Содержание автореферата достаточно полно отражает суть работы и основные защищаемые положения.

Основные научные результаты работы излагаются в 14 публикациях (из которых 5 в рецензируемых журналах из списка ВАК). Диссертационная

работа была апробирована на различных международных конференциях. Результаты работы используются в ряде научных и учебных организаций.

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему на достаточно высоком научном уровне. Работа соответствует профилю диссертационного совета, паспорту заявленной специальности (п. 2, 5, 7, 8) и требованиям, предъявляемым ВАК Министерства образования и науки РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук (пп. 9-11, 13, 14 “Положения о присуждении ученых степеней” в редакции, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями от 21.04.2016 г. № 335), а её автор Хасая Радмир Рюрикович – достоин присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – “Приборы и методы экспериментальной физики”

С.н.с. лаборатории оптики поверхности,
к.ф.-м.н.

 Дунаевский М.С.

Подпись старшего научного сотрудника лаборатории оптики поверхности Физико-Технического Института им. А.Ф.Иоффе, Дунаевского Михаила Сергеевича заверяю

Контактные данные:

Дунаевский Михаил Сергеевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН


194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

+7 (812) 292-73-17

Mike.Dunaeffsky@mail.ioffe.ru



 М.С. Дунаевский, достоверяю
зам. зав. отделом кадров ФТИ им.А.Ф.Иоффе

 С.Ю. Залесов
05.11.2019