

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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

Диссертационная работа Хасая Р.Р. посвящена созданию экспериментальной установки для реализации метода прямого лазерного субмикро- и наноструктурирования поверхности твердых материалов, исследованию с помощью атомно-силовой микроскопии характерных особенностей и условий получения субмикро- и наноструктур на поверхности твердых тел при облучении наносекундными лазерными импульсами. Возможность модификации свойств поверхности таких как адгезия, шероховатость, тепло и электропроводность, твердость востребованы электроэнергетикой, машиностроением, медициной, микроэлектроникой и т.д. Поэтому проблема, решаемая в диссертационной работе, представляется актуальной.

Научная новизна представленной работы состоит в создании уникальной установки, которая позволяет осуществлять эффективное воздействие на поверхность твердых тел наносекундными лазерными импульсами с возможностью широкого изменения параметров лазерного пучка. Экспериментально реализован метод прямого лазерного наноструктурирования поверхности и продемонстрирована возможность формирования субмикро- и наноструктур на поверхности германия, никеля, силицида платины, нитрида кремния, нержавеющей стали и титана. Представляет несомненный интерес, предложенный и исследованный автором метод увеличения длительности импульса излучения эксимерных лазеров с накачкой активной среды в режиме периодически затухающего напряжения на разрядном промежутке. Это повышает число проходов излучения по резонатору, улучшает пространственную когерентность пучка

и сужает ширину спектра излучения. Также, в результате снижения пиковой интенсивности пучка и ослабляет негативное воздействие на оптические элементы установки и продлевает срок их службы. Действительно, использование наносекундных лазерных установок является крайне важным для возможности внедрения в технологический процесс ряда приложений, так как источники более коротких лазерных импульсов всё еще остаются более дорогими. В связи с этим, экспериментальное получение наноструктур на поверхностях конструкционных материалов под действием наносекундных лазерных импульсов, а также оптимизация режима их получения, являются актуальными технологическими задачами на сегодняшний день.

Результаты исследования автором опубликованы в ряде научных журналов входящих в список ВАК РФ и апробированы на международных конференциях.

По автореферату необходимо отметить следующие замечания:

- не проведено недостаточное сравнение с другими аналогичными результатами по формированию поверхностных нано- и микроструктур. В частности, механизмы формирования различных типов поверхностного рельефа достаточно подробно обсуждались в классических работах [С.А. Ахманов и др. УФН 147(12), 675-745 (1985); J.F. Young, et al. Physical Review B 27 (2), 1155 (1983); S.I. Dolgaev et al. "Formation of conical microstructures upon laser evaporation of solids." Applied Physics A 73(2), 177-181 (2001); Н.И. Коротеев, и И.Л. Шумай, «Физика мощного лазерного излучения» Наука (1991); D. Bäuerle «Laser processing and chemistry» Springer (2013)]. Раскрытие природы формирования появления тех или иных типов структур облегчило бы процесс оптимизации процесса их создания.

- Также недостает обобщающей таблицы или схемы, суммирующей все то многообразие полученных нано- и микроструктур при различных условия лазерного воздействия. Это бы помогло лучше оценить новизну некоторых результатов работы.

- В работе с явно техническим уклоном продемонстрирован ряд новых наноструктур, полученных методом лазерной абляции, но не приведены конкретные примеры их использования, что, несомненно, украсило бы работу.

Однако сделанные замечания не являются критическими для уровня проведённых исследований. Автореферат написан грамотным понятным языком, дает достаточное представление о диссертации, которая является законченным научно-исследовательским исследованием.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК, а её автор Хасая Радмир Рюрикович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

д.ф-м.н.

МАКАРОВ Сергей Владимирович

Подпись Макарова Сергея Владимировича удостоверяю

Ученый секретарь \*\*\*

доктор физико-математических наук,  
главный научный сотрудник,  
заведующий лабораторией  
гибридной нанофотоники и оптоэлектроники,  
физико-технический факультет  
Университет ИТМО,

191002, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, д. 9,  
Тел.: +7 (931) 961-92-07,  
e-mail: [s.makarov@metallab.ifmo.ru](mailto:s.makarov@metallab.ifmo.ru)



Макаров С.В.

О.С. Сергеев О.А.

20.11.2019