

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Барминой Екатерины Владимировны

«Взаимодействие лазерного излучения с многофазными конденсированными средами нанометрового масштаба», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика

Диссертация Барминой Е.В. посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию процессов импульсной лазерной абляции твердых тел в жидкостях, приводящих к формированию наноразмерных объектов на поверхности облучаемых материалов и твердых наночастиц в форме коллоидных растворов. Ряд важных результатов получен также в условиях абляции металлов и кремния на воздухе. В последние десятилетия метод лазерной абляции в жидкостях зарекомендовал себя как один из наиболее эффективных и гибких способов синтеза наночастиц с необычными характеристиками и уникальной морфологией, недоступными для других методов синтеза. Однако до настоящего времени физика и химия процессов при лазерном облучении твердых материалов в жидкостях остаются недостаточно изученными, что обусловлено большой сложностью явления, включающего не только поглощение лазерной энергии твердым объектом с последующими фазовыми превращениями, но и многообразием процессов в окружающей жидкости и их значительным влиянием на динамику поведения облучаемого материала. Детальное изучение этого явления необходимо для достижения полного контроля над лазерным синтезом желаемых структур, требующего нанометровой точности и исключительно высокой воспроизводимости. В процессе таких исследований ученые часто обнаруживают необычные свойства получаемых нанообъектов, открывающие новые возможности для их применений, что также продемонстрировано в рамках данной работы. Поэтому диссертационная работа Барминой Е.В. несомненно является **актуальной**.

Научная новизна исследования и полученных результатов.

В диссертационной работе Барминой Е.В. проведено систематическое исследование формирования нанообъектов (поверхностных структур и наночастиц) при воздействии импульсного лазерного излучения фемто- и пикосекундной длительности на ряд металлов и кремний. Показано, что формируемые наноструктуры при облучении материалов в жидкостях можно разделить на две категории, самоорганизующиеся (не зависящие от поляризации лазерного излучения) и мелкомасштабные, период которых определяется модуляцией расплава термокапиллярными возмущениями. С помощью теоретической модели выявлены механизмы формирования таких структур.

Исключительно важной частью работы является изучение плазмы пробоя при абляции в жидкости твердых образцов и воздействии лазерным излучением на коллоидные растворы. Вопросы о роли плазмы при абляции в жидкостях изучены далеко недостаточно. С одной стороны, возникновение плазмы при воздействии ультракоротких импульсов лазерного излучения на твердые и жидкие среды является неизбежным процессом в режимах абляции. С другой стороны, возникающая плазма меняет характер взаимодействия излучения с веществом. В диссертационной работе впервые исследован вопрос формирования плазмы при воздействии излучения на коллоидные растворы с учетом сопутствующей диссоциации жидкостей. Показано, что наночастицы, взвешенные в растворе, являются центрами, инициирующими формирование плазмы, и что выход продуктов диссоциации зависит от материала наночастиц, их концентрации в растворе и параметров воздействующего излучения.

В работе получен целый ряд новых наноструктурных объектов, которые могут найти применение в различных приложениях: упорядоченные ряды наноструктур в углублениях пре-структурированной поверхности, удлинённые наночастицы золота, необычные по морфологии композитные частицы Fe-Al и Co-Al. Сделаны убедительные выводы о механизме их формирования.

Научная и практическая значимость.

Полученные в диссертационной работе результаты расширяют знания о процессах, происходящих при воздействии лазерного излучения на материалы в жидких средах. Особенно это относится к данным по зависимостям диссоциации жидкости при облучении коллоидов от материала наночастиц, их концентрации в растворе и параметров воздействующего излучения. Практическая значимость работы не вызывает сомнений, поскольку ее результаты уже легли в основу международного патента. Кроме того, результаты работы могут найти применение в солнечной энергетике (структурированный кремний), микроэлектронике (уменьшение работы выхода при структурировании катода из вольфрама), трибологии (улучшение антифрикционных свойств поверхностей при их наноструктурировании).

Полученные результаты достаточно полно опубликованы в престижных российских и международных научных журналах.

В качестве замечаний по автореферату можно отметить следующее:

1. В первой главе описаны экспериментальные исследования наноструктурирования металлов и кремния наносекундным лазерным излучением на воздухе. Показано, что формирование конусообразных и неупорядоченных структур приводит к значительному снижению коэффициента отражения ряда металлов и кремния, что является известным эффектом. С другой стороны, как следует из автореферата, в работе получены рекордно низкие значения коэффициента зеркального отражения вследствие комбинации лазерного микроструктурирования и анодирования, однако механизмы такого усиления эффекта не прокомментированы.
2. При описании первой главы также отмечено, что нанесение конусообразных структур на кремний приводит к увеличению эффективности преобразования световой энергии в электрическую на 20%. Чем обусловлено такое увеличение и как эти результаты отличаются от известных данных, например, по исследованию «черного кремния» группой Мазура (США)? Насколько поверхность оксидирована? Используется ли допирование для достижения такой эффективности?
3. В целом из автореферата неясно, как влияет окружающая среда на состав получаемых наноструктур.

Возможно, что в диссертационной работе имеются ответы на перечисленные вопросы, однако в автореферате важный результат об изменении поглотительной способности облучаемых материалов описан слишком сжато.

Отмеченные замечания не снижают ценности диссертации. Содержание автореферата свидетельствует о том, что диссертационная работа Барминой Е.В. выполнена на высоком научном уровне и носит завершённый характер. Представленная диссертационная работа по своей актуальности, научной новизне и значимости полученных результатов отвечает всем требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Бармина Екатерина Владимировна заслуживает

присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Главный научный сотрудник лаборатории разреженных газов,
д.ф.-м.н. (01.04.14)

Булгакова Надежда
Михайловна

Главный научный сотрудник лаборатории физических процессов энергетики
д.ф.-м.н. (01.04.14)

Булгаков Александр
Владимирович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук»
630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 1, Тел. (383) 330-75-42,
Факс (383) 330-84-80, E-mail: nbul@itp.nsc.ru, bulgakov@itp.nsc.ru

Подписи Н.М. Булгаковой и
А.В. Булгакова заверяю:
Ученый секретарь ИТ СО РАН
к.ф.-м.н.



М.С. Макаров

15.04.2019 г.