Экспериментальные исследования структурирования поверхности материалов движущимся пучком фемтосекундного лазерного излучения

Абрамов Д.В., Гордеева И.Н., Ильина М.О., Кочуев Д.А., Сиверцева И.В., Хорьков К.С.
Владимирский государственный университет

Целью экспериментальных исследований, результаты которых приведены в настоящей работе, являлось изучение особенностей взаимодействия движущегося пучка фемтосекундного лазерного излучения с углеродными материалами в условиях быстрого охлаждения. Ранее были получены интересные результаты по структурированию поверхности материалов при низких температурах под воздействием неподвижного лазерного пучка [1]. Представляемые результаты получены в ходе развития указанных работ.

Объектом для экспериментального исследования выбран стеклоуглерод СУ-2000. Как показали более ранние работы авторов, стеклоуглерод поддается эффективному поверхностному структурированию лазерным излучением [2]. Обработка поверхности стеклоуглерода осуществлялась излучением фемтосекундного лазера с Ti:Sapphire активной средой. Параметры воздействия: длина волны излучения 800 нм, длительность импульса излучения 50 фс, частота повторения импульсов 1 кГц, энергия в импульсе 1 мДж. Лазерное излучение фокусировалось на поверхность образцов в пятно с диаметром 100 мкм. Обработка поверхности образцов производилась в среде жидкого азота, который покрывал их поверхность слоем с толщиной до 5 мм. Лазерный пучок, перемещался по поверхности мишени со скоростью 0,025 м/с. Исследование формируемых структур производилось при помощи растрового электронного микроскопа Quanta 200 3D.

На модифицированной лазерным излучением поверхности зарегистрированы области, как со случайным, так и регулярным расположением нанопиков. В последнем случае нанопики образуют ряды.

Нанопики в области с регулярным расположением имеют диаметр около 100 нм. Период рядов около 100 нм. Расстояние между пиками в ряде около 50 нм. Период рядов в 8 раз меньше длины волны лазерного излучения. Такое соотношение соответствует положению о скачкообразных изменениях периода регулярных структур рельефа, формирующегося при взаимодействии лазерного излучения с конденсированными средами, которое существует в рамках универсальной поляритонной модели. Причем эти изменения должны быть кратны основному периоду, определяемому длиной волны воздействующего излучения.

Диаметр нанопиков в областях с их нерегулярным расположением около 30 нм, расстояние между отдельными пиками имеет сравнимую величину. Эти размеры соответствуют четвертому удвоению пространственной частоты формируемых под действием лазерного излучения структур. Нарушение регулярности нанопиков объясняется всегда присутствующим в лазерно-индуцированных периодических структурах некоторым отклонением от строгой линейности. Для крупномасштабных структур эти отклонения не являются критическими, а с уменьшением периода их влияние становится заметным.

Следует отметить существенное отличие в рассматриваемых результатах от представляемых в научной литературе данных по обработке материалов ультракороткими лазерными импульсами в жидкости. Это отличие можно объяснить только изменением условий лазерной обработки за счет использования в качестве буферной среды криогенной жидкости. Как правило, формирование периодических структур с характерными размерами кратными длине волны воздействующего излучения и стремящимися к величине 100 нм регистрируется под действием большого числа импульсов (порядка 1000 [3]). В нашем случае на поверхность образца воздействовало не более 4 импульсов лазерного излучения, что значительно меньше чем обычно. Тем не менее, формирование регулярных структур с периодом около 100 нм происходило.

Таким образом, выявлены и проанализированы особенности формирования нанопиков на поверхности стеклоуглерода, модифицированной движущимся пучком фемтосекундного лазерного излучения.

Исследования проведены при поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 г.г. (Соглашение № 14.B37.21.1281).

1. Абрамов Д.В., Аракелян С.М., Маков С.А. и др. Формирование системы микрократеров при воздействии фемтосекундным лазерным излучением в условиях быстрого охлаждения. Письма в ЖТФ. – 2013. – Т. 39. – № 16. – С. 14-22.
2. Абрамов Д.В., Галкин А.Ф., Жарёнова С.В. и др. Визуализация с помощью лазерного монитора взаимодействия лазерного излучения с поверхностью стекло- и пироуглерода. Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 2. – С. 97-101.
3. Макин В.С., Макин Р.С. Нелинейное взаимодействие линейно поляризованного лазерного излучения с конденсированными средами и преодоление дифракционного предела. Оптика и спектроскопия. – 2012. – Т. 112. – № 2. – С. 187-192.