Структурирование поверхности титана фемтосекундным лазерным излучением.

Абрамов Д.В., Гордеева И.Н., Ильина М.О., Маков С.А., Хорьков К.С.

Владимирский государственный университет

Воздействие лазерного излучения на вещество приводит к изменению всех его характеристик. При интенсивности достаточной для преодоления порога плавления эти изменения проявляются и в морфологии поверхности материалов. В данной работе представляются результаты регистрации структурирования поверхности мишени, определяемого присутствием множественных локальных максимумов интенсивности в поперечном сечении воздействующего фемтосекундного лазерного пучка.

Обработке подвергались образцы из титана. Поверхность титановых образцов полировалась для уменьшения влияния естественной шероховатости на перераспределении энергии воздействующего излучения. Воздействие осуществлялось 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. Обработка поверхности образцов производилась в среде жидкого азота, который покрывал их поверхность слоем с толщиной до 5 мм. При таком подходе обеспечивалась ускоренная фиксация результатов воздействия лазерного импульса, сопровождающегося плавлением материала, и устранение влияния приповерхностной плазмы. Исследование сформировавшихся под действием лазерного излучения структур производилось при помощи растрового электронного микроскопа Quanta 200 3D.

Область непосредственного воздействия лазерного излучения имеет диаметр около 180 мкм. В пределах данной области регистрируется плавление материала мишени, что, в принципе, характерно для многоимпульсного фемтосекундного воздействия. В условиях рассматриваемого эксперимента за счет охлаждения жидким азотом был обеспечен более интенсивный отвод тепла от области лазерного воздействия. Кроме того, после окончания действия лазерного импульса жидкий азот снова покрывает поверхность мишени, прекращая воздействие на нее плазменного облака и обеспечивая дополнительный теплоотвод. Оба этих фактора препятствуют формированию глубокой интегральной ванны расплава, занимающую всю площадь пятна фокусировки лазерного излучения, и обеспечивают быструю фиксацию сформировавшихся структур. В результате вместо одиночной большой каверны была зарегистрирована система кратеров с диаметром около 2 мкм.

Кратеры равномерно заполняют область лазерного воздействия, образуя двумерную периодическую структуру с шагом около 3 мкм. Образование такой системы возможно, только если мощность лазерного излучения имеет аналогично расположенные локальные максимумы в своем пространственном распределении. Расславленный материал выносится из кратера на прилегающую к нему поверхность мишени, где впоследствии застывает, образуя валик. Характерные размеры валиков и кратеров имеют сравнимую величину. Вследствие гауссова распределения мощности лазерного излучения плавление в центре пятна фокусировки происходит более интенсивно, чем на его периферии. Потоки расплава перекрываются, смешиваются и придают лазерной каверне традиционный вид. На периферии интенсивность воздействия меньше, что позволяет зарегистрировать образовавшиеся кратеры.

Для выявления локальных кратеров в центре лазерного пятна эксперимент был повторен в условиях значительного ослабления энергии воздействующего излучения (до энергии в импульсе 40 мкДж). При таком режиме воздействия модификация поверхности образца была зарегистрирована в виде системы неглубоких кратеров, которые не пересекаются и не закрываются выбросами расплавленного материала. Тем не менее, расплавленный материал выносится за пределы кратера на расстояние 200 – 300 нм. Потоки расплава из соседних кратеров не перекрываются. Но в поставленных экспериментах не преследовалась острая фокусировка лазерного излучения. При ее реализации существует принципиальная возможность уменьшения размеров, как области воздействия, так и периода формируемой системы кратеров. При этом энергия лазерного импульса, а значит и количество расплавленного материала, не изменится. В результате встречные потоки расплава должны столкнуться, что приведет к образованию вертикальных наноструктур. Так как кратеры, являющиеся источниками потоков расплава, расположены периодически, то и система наноструктур будет упорядоченной.

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).