

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Долматов В.Ю., Озерин А.Н., Кулакова И.И., Бочечка А.А., Лапчук Н.М., Мюллюмаки В., Веханен А. Новые аспекты теории и практики синтеза, свойств и применения детонационных наноалмазов // Успехи химии. 2020. Том 89. С. 1428–1462.
2. Долматов В.Ю. Оценка применимости зарядов взрывчатых веществ для синтеза детонационных наноалмазов // Сверхтвердые материалы. 2016. № 5. С. 109–113.
3. Dolmatov V.Yu., Eidelman E.D., Kiselev M.N., Marchukov V.M., Blinova M.A., Bazanov O.V., Osawa E., Myllymäkie. V. Specific Power of Explosive and its Effect on Nanodiamonds // Universal Journal of Carbon Research. 2023. V. 1. Is. 2. P. 6.
4. Долматов В.Ю., Мюллюмаки В., Веханен А., Дорозов А.О., Киселев М.Н. Зависимость выхода детонационных наноалмазов от параметров детонационного процесса // Сверхтвердые материалы. 2019. № 5. С. 84–89.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОЧАСТИЦ НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОЙ МИШЕНИ И ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ ТИТАНА СДВОЕННЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

К. Ф. Ермалицкая, Е. С. Воропай, Н. Н. Красноперов, А. П. Зажогин

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, Минск, Беларусь
e-mail: zajogin_an@mail.ru*

Изучено влияние энергии, величины расфокусировки лазерного пучка и количества сдвоенных лазерных импульсов на целенаправленное формирование компонентного и зарядового состава лазерной плазмы методом лазерной искровой спектрометрии (спектрометр LSS-1). Изучены возможности формирования развитой поверхности и показана возможность формирования на поверхности мишени из титана в воздушной атмосфере наночастиц из оксидов титана методом абляции поверхности сериями сдвоенных лазерных импульсов. Проведенные исследования показали, что отрицательная расфокусировка более благоприятна для формирования развитой поверхности.

Ключевые слова: оксиды титана; импульсное лазерное распыление; лазерная плазма; лазерная искровая спектрометрия.

STUDY OF THE PROCESSES OF FORMATION OF MICROPARTICLES ON THE SURFACE OF A TITANIUM TARGET AND THE FORMATION OF TITANIUM OXIDES BY DOUBLE LASER PULSES

K. F. Ermalitskaia, E. S. Voropay, N. N. Krasnoperov, A. P. Zazhogin

*Belarusian state University, 4 Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Belarus
Corresponding author: A. P. Zazhogin (e-mail: zajogin_an@mail.ru)*

The effect of energy, laser beam defocusing value and the number of double laser pulses on the targeted formation of the component and charge composition of laser plasma was studied using the laser spark spectrometry method (LSS-1 spectrometer). The possibilities of forming a developed surface were studied and the possibility of forming titanium

oxide nanoparticles on the surface of a titanium target in an air atmosphere by ablation of the surface with a series of double laser pulses was demonstrated. The studies showed that negative defocusing is more favorable for forming a developed surface.

Key words: titanium oxides; pulsed laser sputtering; laser plasma; laser spark spectrometry.

ВВЕДЕНИЕ

Исследованию фотокаталитически активных материалов посвящено большое количество научных работ, что связано с общей актуальностью проблемы очистки воздуха и воды от нежелательных веществ органического происхождения, создания самоочищающихся поверхностей, а также для экологически безопасной утилизации токсичных органических веществ. В силу химической стойкости и стабильности свойств большую практическую значимость для этой области применения имеют материалы на основе диоксида титана. На сегодняшний день диоксид титана является одним из востребованных сорбентов и фотокатализаторов благодаря высокой фотокоррозионной устойчивости, малой стоимости и каталитической активности. Последняя связана с относительно большим временем жизни фотогенерированных носителей заряда (-250 нс), однако при этом TiO_2 обладает низкой квантовой эффективностью из-за слабого разделения фотогенерированных носителей заряда. В последнее десятилетие увеличился интерес к получению и изучению наноразмерных мезопористых порошков диоксида титана. Связано это с тем, что при уменьшении размеров частиц сокращается расстояние до зоны поверхностной реакции, что приводит к более эффективному переносу носителей заряда и лучшему разделению электронно-дырочной пары. Также за счет уменьшения размеров частиц возрастает удельная поверхность диоксида титана, что позволяет количественно повысить число реакций, происходящих на поверхности.

Одним из перспективных способов является получение катализаторов в виде пленок оксидов титана на развитой поверхности пластинки из титана путем воздействия лазерного излучения на поверхность мишени. В этой связи становится актуальным систематическое изучение физических механизмов взаимодействия оптического излучения с поверхностью металла, а также определение и получение оптимальных лазерных режимов (интенсивности и длительности лазерных импульсов, частоты следования, параметров сканирования лазерного пучка) для контролируемого микро- и наноструктурирования поверхностей объемных материалов и нанесенных на поверхность подложек пленок с использованием лазерных импульсов с различными параметрами с учетом термодинамических характеристик, исходных механических свойств и качества поверхности облучаемого материала [2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Цель работы состояла в том, чтобы показать возможность и определить условия для формирования на поверхности мишени из титана в воздушной атмосфере наночастиц из оксидов титана методом абляции поверхности сериями сдвоенных лазерных импульсов.

Для проведения исследований использовали лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1 (изготовитель СП «ЛОТИС ТИИ»). Лазер может работать с частотой повторения импульсов до 10 Гц на длине волны 1064 нм. Длительность импульсов ≈ 15 нс. Временной сдвиг между сдвоенными импульсами мо-

жет меняться от 0 до 100 мкс с шагом 1 мкс. Размер сфокусированного пятна примерно 50 мкм, при фокусном расстоянии объектива 104 мм.

В большинстве исследований двухимпульсной лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии (ЛАЭС) используется коллинеарная, или коаксиальная, конфигурация совмещения, когда первый и второй лазерные импульсы фокусируются в одном и том же положении на поверхности образца. Такая конфигурация наиболее удобна для получения нанопленок и модификации поверхности, поскольку она наиболее пригодна для ориентации лазерных факелов, направляемых на подложку под нужными углами.

Для получения структур на поверхности материала с минимальными размерами (десятки нанометров), следует выбирать режим воздействия ультракороткими лазерными импульсами, желательнее, с плотностью энергии импульса ниже порога абляции, но выше порога плавления, обеспечивающий процессы сверхбыстрого нагрева, плавления и рекристаллизации поверхности металла. Другими словами, технологии создания на поверхности металла структур минимального размера в наномасштабной области основываются на физических процессах, приводящих к затвердеванию поверхности вещества при сверхвысоких скоростях охлаждения после окончания воздействия лазерными импульсами [1].

При использовании режима сдвоенных импульсов на первичные процессы плазмообразования будут накладываться процессы нагрева и испарения аэрозолей, обусловленные действием второго импульса. Температура плазмы, доходящая до нескольких десятков тысяч градусов, определяет наличие в ней ионов, электронов, радикалов и нейтральных частиц, находящихся в возбужденном состоянии. Наличие таких частиц приводит к высоким скоростям взаимодействия частиц и быстрому протеканию реакций (10^{-5} – 10^{-8} с) в плазме и на поверхности твердого тела.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследована динамика процессов формирования развитой поверхности при воздействии серий последовательных сдвоенных лазерных импульсов на пластинки из титана. Для уменьшения плотности мощности, воздействующей на поверхность, использовался вариант расфокусировки лазерного пучка на ± 5 мм и при использовании низкоэнергетичных импульсов 5 и 10 мДж. Интервал между сдвоенными импульсами 10 мкс. Использовались серии из 20 сдвоенных импульсов на отдельную точку. Размер области формирующей поверхности 2 на 2 мм. Шаг сканирования 150 мкм. Результаты исследований по зависимости интенсивности линии атомов Cu от энергии и интервала между импульсами представлены на рис. 1.

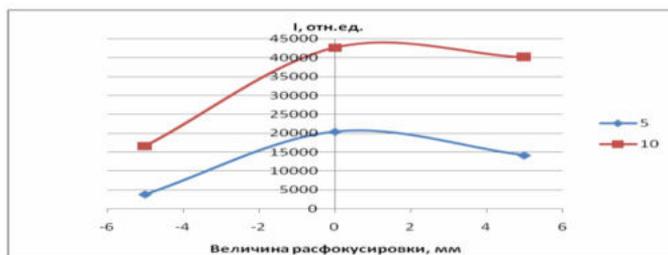


Рис. 1. Зависимость интенсивность линии Ti (430,554 нм) от величины расфокусировки лазерного пучка для энергии импульсов 5 и 10 мДж

Как видно из полученных данных, при увеличении энергии импульсов интенсивность линии Ti (430,554 нм) возрастает. Из результатов, приведенных на рис. 1 также наглядно видно преимущество использования расфокусированных сдвоенных лазерных импульсов, особенно отрицательной расфокусировки на -5 мм.

Изображения сформированной поверхности оксидированного титана с нанесенными пленками, полученные с помощью оптического микроскопа Webbers, совмещенного с цифровой камерой (отраженный свет, увеличение в 3 раза) и микроскопа Микромед, приведены на рис. 2.

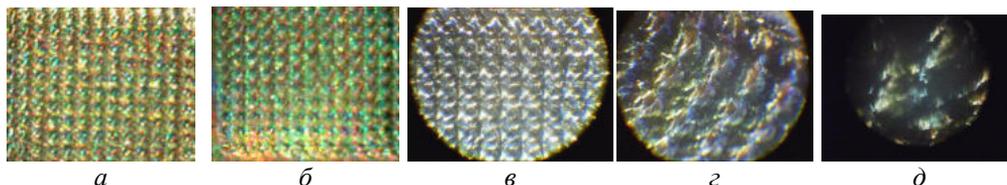


Рис. 2. Изображение поверхности оксидированного титана после обработки лазером по площади: а, б – энергия импульсов 5 мДж, расфокусировка -5 мм и $+5$ мм, соответственно, увеличение в 3 раза; в, г, д – увеличение в 80, 120 и 250 раз, соответственно

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выполненные спектроскопические исследования характеристик приповерхностной лазерной плазмы, образуемой при воздействии сдвоенных лазерных импульсов на мишень из титана, позволили определить оптимальное количество и параметры лазерных импульсов (энергию, количество импульсов, величину расфокусировки) позволяющими формировать развитую поверхность мишени, покрытую нано- и микрочастицами оксида титана в атмосфере воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Завестовская И.Н., Игошин В.И., Канавин А.П., Катулин В.А., Шишковский И.В. // Труды Физического института им. П.Н. Лебедева. 1993. Т.217. С. 3–12.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАПЫЛЕНИЯ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ НАНОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ ИЗ ОКСИДОВ ТИТАНА ПРИ ЛАЗЕРНОМ РАСПЫЛЕНИИ ТИТАНА В АТМОСФЕРЕ ВОЗДУХА

К. Ф. Ермалицкая, Е. С. Воропай, Н. Н. Красноперов, А. П. Зажогин

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь
e-mail: zajogin_an@mail.ru*

Изучены возможности получения газочувствительных нанопленочных резисторов из оксидов титана, с достаточно хорошими механическими и чувствительными характеристиками, методом абляции сдвоенными лазерными импульсами титановой мишени на подложку из фольгированного стеклотекстолита в атмосфере воздуха. Проведены исследования влияния количества импульсов и угла воздействия излучения на мишень, на процессы при целенаправленном формировании компонентного и