

ОСОБЕННОСТИ НАПЫЛЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ НАНОСТРУКТУР НА МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ СДВОЕННЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЕНСОРОВ

М.П. Патапович¹⁾, М.А. Малец¹⁾, Н.Х. Чинь²⁾, Н.А. Лапцевич¹⁾

¹⁾Белорусская государственная академия связи,
ул. Ф. Скорины 8/2, Минск 220076, Беларусь, mpetpat@mail.ru

²⁾Университет Винь, Винь, Вьетнам

Изучена возможность получения нанопленок на металлической поверхности при воздействии сдвоенных лазерных импульсов на оловосодержащие мишени в атмосфере воздуха. Эксперименты проводились с помощью лазерного двухимпульсного лазерного атомно-эмиссионного многоканального спектрометра LSS-1. При проведении экспериментов энергия импульсов составляла 53 мДж, а межимпульсный интервал - 10 мкс. Исследованы процессы формирования определенного компонентного состава приповерхностной лазерной плазмы и изучено влияние параметра расфокусировки между сдвоенными лазерными импульсами при их воздействии на поверхность облучаемого образца. Проиллюстрировано развитие методов получения нанокластеров химических элементов при проведении спектроскопических исследований лазерной плазмы, образованной при воздействии двух последовательных импульсов на мишень. Данный способ позволяет получать наноструктуры как чистых металлов, так и композиционных сплавов. Показана возможность напыления нанопленок для создания газочувствительных сенсоров.

Ключевые слова: сдвоенные лазерные импульсы; лазерная плазма; послойный анализ; нанопорошковые технологии; атомно-эмиссионная многоканальная спектрометрия.

FEATURES OF DEPOSITION OF MULTICOMPONENT NANOSTRUCTURES ON A METAL SURFACE BY DUAL LASER PULSES TO CREATE GAS-SENSITIVE SENSORS

M.P. Patapovich¹⁾, M.A. Malets¹⁾, N.H. Trinh²⁾, N.A. Laptsevich¹⁾

¹⁾Belarusian State Academy of Communications,
8/2 F. Skorina Str., 220076 Minsk, Belarus, mpetpat@mail.ru

²⁾Vinh University, Vinh, Vietnam

Interest in studying various options for the formation of stable nanostructures and the creation of semiconductor devices is of both fundamental and applied importance, since materials consisting of metal oxides are widely used in various fields of modern technology. These materials, in addition to unique optoelectronic properties, are characterized by high surface reactivity. For example, zinc oxide is a wide-gap semiconductor, and tin oxide (SnO₂) can be used to create chemical sensors, as it is transparent to visible light. Copper, both in its pure form and as an integral part of an alloy with other components, is used for the production of various products.

The possibility of obtaining nanofilms on a metal surface under the action of double laser pulses on tin-containing targets in an air atmosphere has been studied. The experiments were carried out using a laser two-pulse laser atomic emission multichannel spectrometer LSS-1. The processes of formation of a certain component composition of near-surface laser plasma have been studied, and the effect of the defocusing parameter between doubled laser pulses upon their action on the surface of an irradiated sample has been studied.

The development of methods for obtaining nanoclusters of chemical elements during spectroscopic studies of laser plasma formed by the action of two successive pulses on a target is illustrated, when the processes of heating and evaporation of the microdroplet fraction from the first pulse, as well as the pressure of the shock wave due to the action of the second pulse, are superimposed on the primary processes of plasma formation. This method makes it possible to obtain nanostructures of both pure metals and composite alloys, which in the future will determine the possibility of deposition of nanofilms to create gas-sensitive sensors.

Keywords: double laser pulses; laser plasma; layer-by-layer analysis; nanopowder technologies; multichannel atomic emission spectrometry.

Введение

В качестве активных элементов устройств газового контроля могут быть использованы оксиды полупроводниковых материалов, которые характеризуются рядом определенных свойств: высокой чувствительностью к составу газовой фазы, каталитической активностью, а также высокой реакционной способностью поверхности [1]. Следовательно, развитие методов синтеза наночастиц с требуемыми свойствами является очень важной практической задачей. В частности, в состав качественных нанопленок могут входить олово, медь и цинк, что диктуется потребностями быстро прогрессирующих современных нанотехнологий. Для создания подобных объектов используется техника импульсного лазерного напыления.

Методика эксперимента

Для изучения процессов напыления наноструктур на металлическую поверхность и проведения послойного анализа применялся метод лазерной атомно-эмиссионной многоканальной спектроскопии на приборе LSS-1, изготовленном СП «ЛОТИС ТИИ», с использованием сдвоенных лазерных импульсов. Он включает в себя в качестве источника возбуждения плазмы двухимпульсный неодимовый лазер, где имеется возможность регулирования временного интервала между импульсами. Лазер может работать с частотой повторения импульсов до 10 Гц и максимальной энергией излучения каждого из сдвоенных импульсов до 80 мДж на длине волны 1064 нм. При проведении данного исследования данный интервал составлял 10 мкс, а энергия импульсов находилась в диапазоне от 20 до 60 мДж. Размер точки фокусировки составлял порядка 50 мкм [2, 3]. Все эксперименты проводились в атмосфере воздуха при нормальном атмосферном давлении. В ходе проведенных предварительных исследований были выбраны оптимальные режимы работы и длины волн аналитических линий химических элемен-

тов: для меди – 510,953 нм; для олова – 452,720 нм, для железа – 438,587 нм.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 в качестве примера приведены зависимости интенсивности линий олова и цинка от номера последовательных лазерных импульсов, воздействующих на поверхность исследуемых объектов.

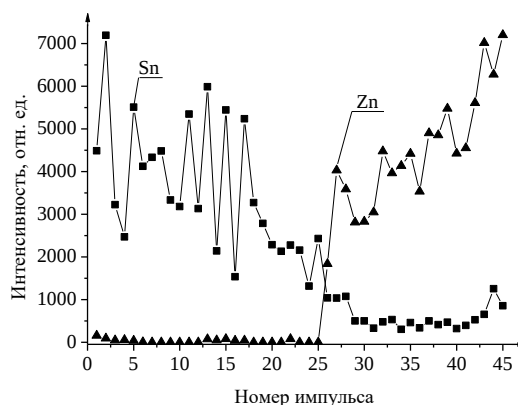


Рис. 1. Зависимости интенсивности линий олова и цинка от номера лазерного импульса

Полученные результаты отражают тот факт, что линия цинка начинает проявляться после 26-го импульса. Олово продолжает поступать в лазерный факел.

С целью более глубокого понимания скрытых механизмов воздействия сдвоенных лазерных импульсов на мишень, необходимо рассмотреть процессы и на поверхности, и в приповерхностной плазме. На образование нанопленок многокомпонентных сплавов могут влиять не только временной интервал и число сдвоенных импульсов, но и параметр расфокусировки, что обеспечивалось смещением мишени по отношению к фокусу. Увеличение параметра расфокусировки приводит к росту площади лазерного пятна на поверхности образца и к снижению плотности потока излучения. В частности, при изменении данного параметра от нуля до 5 мм интенсивность линии химического элемента может уменьшиться более чем на два порядка.

Поэтому для оценки результата воздействия лазерных импульсов на металличе-

скую поверхность необходимо изучить влияние расфокусировки на интенсивности спектральных линий химических элементов, входящих в состав наноструктур. С этой целью в качестве примера на рис. 2 приведена зависимость интенсивности линий олова и меди от параметра расфокусировки.

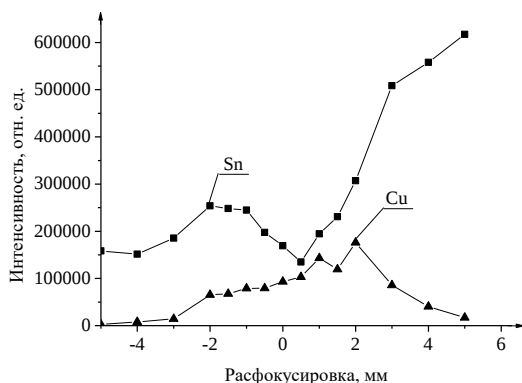


Рис. 2. Зависимость интенсивности линий олова и меди от параметра расфокусировки

Следует отметить, что наиболее важную роль в образовании нанокластеров в лазерной плазме играют процессы ионизации и рекомбинации ионов. Это определяется плотностью потока лазерного излучения, потенциалом ионизации атомов, составляющих лазерную мишень, и диаметром пятна фокусировки.

Заключение

Проведенные спектроскопические исследования лазерной плазмы, образуемой вблизи многокомпонентной мишени, при воздействии на нее серии мощных сдво-

енных лазерных импульсов, позволяют сделать вывод о наличии возможности управления и контроля компонентным составом плазмы. Соответственно, подбор оптимальных условий проведения эксперимента может обеспечить управление количеством частиц необходимых элементов в полученном составе наноструктур. В частности, менять состав и свойства полученных нанопленок многокомпонентных сплавов можно путем снижения лазерного излучения, что достигается изменением площади лазерного пятна на облучаемой поверхности. Полученные таким способом структуры могут использоваться для создания газочувствительных сенсоров.

Библиографические ссылки

1. Ильин А.П., Мостовщиков А.В., Коршунов А.В., Роот Л.О. Особенности физико-химических свойств нанопорошков и наноматериалов: учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. Томск: Изд-во ТПУ; 2017. 212 с.
2. Баззал Х., Воропай Е.С., Зажогин А.П., Патапович М.П. Исследование влияния формы канала на процессы образования нанокластеров AlN и AlO в плазме при воздействии серий сдвоенных лазерных импульсов на алюминиевую мишень в воздушной атмосфере. *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов* 2019; (11): 57-64.
3. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение; 1989: 304 с.