ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАТНОГО ОСАЖДЕНИЯ ОКСИДОВ Cu и Al НА СКОРОСТЬ ПРОБИВКИ Al МИШЕНИ СДВОЕННЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Е.С. Воропай[1)], М.Н. Коваленко[1)], Н.А. Алексеенко[2)], Л.В. Маркова[2)]
[1)]*Белорусский государственный университет,*
пр. Независимости 4, Минск 220030, Беларусь
[2)]*Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии им. академика О.В. Романа», ул. Платонова 41, Минск 220005, Беларусь,*
voropay@bsu.by, kovalenkom@bsu.by, alekseenkon@rambler.ru

Проведено исследование процессов образования смешанных нанопорошков Al, оксидов меди и алюминия, прекурсоров для получения нанокерамик типа $CuAlO_2$ и $CuAl_2O_4$ при воздействии сдвоенных лазерных импульсов энергией 53 мДж и междуимпульсным интервалом 10 мкс на мишень, состоящую из пластинок алюминия марки АД1 и меди марки М2, склеенных между собой, и помещенную в закрытую стеклянную прямоугольную кювету. Установлено, что последовательное воздействие серий сдвоенных лазерных импульсов на мишень из алюминия, а затем на мишень из меди приводит к многократному увеличению выхода субоксидов AlO, ионов и атомов алюминия и меди в лазерном факеле. Установлено, что при использовании большого количества точек, для увеличения выхода продуктов, наблюдается уменьшение количества импульсов, необходимых для пробивки мишени из алюминия. Показано, что это обусловлено влиянием оксида меди, напыленного на алюминий, при пробивке предыдущих точек за счет обратного осаждения. Показана возможность получения прекурсоров для получения нанокерамик типа $CuAl_2O_4$ и $CuAlO_2$.

Ключевые слова: нанопорошки; Al_2O; оксиды меди; $CuAlO_2$; $CuAl_2O_4$; импульсное лазерное распыление; лазерная искровая спектрометрия.

NVESTIGATIONS OF THE INFLUENCE OF THE PROCESS OF REDEPOSITION OF OXIDES OF Cu AND Al ON THE RATE OF PUNCHING OF AN TARGET BY TWIN LASER PULSES

E.S. Voropay[1)], M.N. Kovalenko[1)], N.A. Alekseenko[2)], L.V. Markova[2)]
[1)]*Belarusian State University, 4 Nezavisimosti Ave., 220030 Minsk, Belarus*
[2)]*State scientific institution "Institute of powder metallurgy named after academician O.V. Roman", 41 Platonov Str., 220005 Minsk, Belarus*

The processes of formation of mixed Al nanopowders, copper and aluminum oxides, precursors for obtaining nanoceramics of the $CuAlO_2$ and $CuAl_2O_4$ types under the action of dual laser pulses with an energy of 53 mJ and between a pulse interval of 10 μs on a target consisting of plates of AD1 aluminum and M2 copper were studied. glued together and placed in a closed glass rectangular cuvette. It has been established that the successive action of a series of dual lasers on an aluminum target and then on a copper target leads to a multiple increase in the yield of AlO suboxides, ions and atoms of aluminum and copper in a laser jet, compared with the single-pulse method of obtaining materials. It has been established that when using a large number of points to increase the yield of products, there is a decrease in the number of pulses required to punch through an aluminum target. It is shown that this is due to the effect of copper oxide sprayed on aluminum, when punching the previous points, due to reverse deposition. The temperature of the near-surface copper plasma was studied during the punching of a copper sample and under the influence of a high-temperature expanding copper plasma on the exit of aluminum atoms from the side walls of the formed microchannel. The possibility of obtaining precursors for obtaining nanoceramics of the $CuAlO_2$ and $CuAl_2O_4$ types is shown.

Keywords: nanopowders; Al_2O_3; copper oxides; $CuAlO_2$; $CuAl_2O_4$; pulsed laser sputtering; laser spark spectrometry.

Введение

В настоящее время нанопорошковые технологии являются одним из самых распространенных направлений в нано-

технологиях. Получаемые с их помощью нанопорошки (НП) находят применение в электронике, медицине, биологии, химическом катализе и других областях науки и техники. НП технологии также используются для конструирования объемных изделий, получения новых видов нанокерамик. Поэтому развитие методов синтеза наночастиц (НЧ) с требуемыми свойствами, главными из которых являются размер, форма, химический состав, структура и степень агломерации НЧ, является важной практической задачей [1].

Особый интерес в последнее время вызвало обнаружение эффективных термоэлектрических свойств у полупроводникового соединения алюмината меди ($CuAlO_2$), относящегося к группе прозрачных проводящих оксидов с электрической проводимостью дырочного типа (p-ППО) [2]. Полупроводниковое соединение $CuAlO_2$ относится к семейству оксидов с кристаллической структурой типа делафоссита, которые имеют химическую формулу $AIBIIIO_2$, где AI – одновалентные катионы, такие как Cu^+, Ag^+, Pd^+, Pt^+, и BIII – трехвалентные катионы, такие как Al^{+3}, Ga^{+3}, Cr^{+3}, Fe^{+3}.

Большинство методов и, в частности, магнетронное распыление и испарение пучком электронов требуют строгой высоковакуумной среды и сложного рабочего процесса [1].

Достоинством лазерного излучения при испарении большинства материалов является малая глубина проникновения луча вглубь материала, что позволяет испарять мишени при относительно малых затратах энергии. Лазерно-химический способ одновременно решает и задачу по созданию и использованию химически активной плазмы, полученной в результате воздействия лазерного излучения на газовую среду.

Существенным недостатком, ограничивающим применение моноимпульсного лазерного воздействия для получения качественных НП при умеренных плотностях мощности является механизм объемного испарения, который может быть источником конденсированного вещества и капель в продуктах испарения. Недостатком является также его низкая эффективность. В отличие от этого при использовании схем и методов двухимпульсного лазерного воздействия при различных углах падения на мишень и плазму в атмосфере воздуха возможно одновременное проведение высокочувствительного спектрального анализа, контроля концентрации возбужденных и заряженных частиц в плазме и управления составом прекурсоров-нанопорошков для изготовления специальных нанокерамик.

Цель работы состояла в том, чтобы показать возможность и определить условия для получения методом абляции сериями сдвоенных лазерных импульсов алюминиевой и медной мишеней в воздушной атмосфере нанопорошков Al оксидов Cu и Al_2O_3 для использования в технологиях получения нанокерамик $CuAlO_2$.

Методика эксперимента

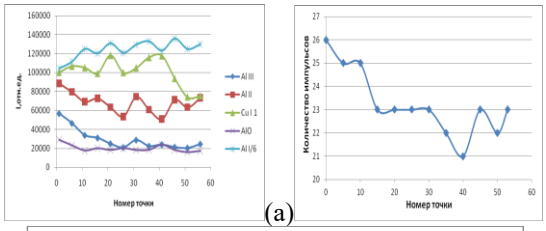
Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1. Лазерное излучение фокусировали на образец с помощью ахроматического конденсора с фокусным расстоянием 104 мм. Размер сфокусированного пятна примерно 50 мкм.

Для получения нанопорошков использовалась гибридная мишень, состоящая из склеенных между собой пластинок из сплавов АД1 и М2, которая размещалась в закрытой крышкой прямоугольной стеклянной кювете размером 40x20x30 мм.

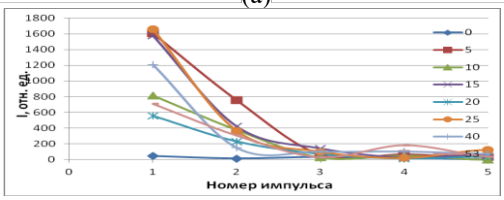
Для оценки возможности практического получения нанопорошков были использованы энергия импульсов 53 мДж, интервал между импульсами 10 мкс. Облучение проводили сериями из 110 сдвоенных импульсов на точку мишени. Всего было 56 точек, с шагом 0.5 мм. 7 строчек по 8 точек в строчке. Размер области облучения на мишени 4x4 мм.

Результаты и их обсуждение

Развитие процессов в воздушной среде и в лазерном факеле от номера точки приведено на рис. 1а.



(а) (б)



(в)

Рис. 1. Зависимости: а - интенсивности линий от номера точки; б – количества импульсов от номера точки; в - интесивности линии меди от номера импульса

Анализ графиков на рис.1а показывает, что наблюдается сильная зависимость интенсивности всех линий от точки. Уже при небольшом числе пробитых точек интенсивность ионных линий алюминия падает в несколько раз, аналогичное наблюдается и для полосы AlO. В то же время интенсивность атомной линии Al и линии меди увеличивается примерно на 20 %. В последующем периоде интенсивность атомных и ионных линий Al остается более-менее постоянной. Интенсивность же линии меди после 40 точки уменьшается практически в 2 раза.

Для изучения возможных причин таких закономерностей для Al были определены количества импульсов, необходимых для пробоя мишени из сплава алюминия АД1 толщиной 0.22 мм. Результаты анализа, представленные на рис. 1б, показывают существенное увеличение скорости пробивки по сравнению с первой точкой.

Для выяснения причин, приводящих к указанным фактам, были изучены изменения в спектрах от номера импульса для небольшого количества импульсов. Результаты для линии меди Cu I (510.525 нм) приведены на рис. 1в. Видно, что главной причиной увеличения скорости пробивки является напыление на поверхность мишени оксидов меди, имеющих коэффициент поглощения для линии 1.064 нм порядка 0.8-0.85, что существенно выше, чем для окисленной поверхности алюминия, примерно равной 0.08.

Картина плазмообразования в воздушной среде при формировании глубоких отверстий сдвоенными импульсами (интервал 10 мкс) приводит к появлению одновременно двух разнесенных в пространстве плазменных образований. В этом случае появление плазменно-пылевой области, отстоящей на определенное расстояние от поверхности, приводит, с одной стороны, к дополнительной экранировке, а с другой, по-видимому, более важной, к созданию высокотемпературного плазменного облака высокого давления, разлетающегося преимущественно по направлению отверстия. Образующиеся при этом окисленные продукты будут турбулентно перемешиваться и оседать частично обратно на мишень.

Заключение

Таким образом, выполненные спектроскопические исследования характеристик приповерхностной лазерной плазмы, образуемой при воздействии сдвоенных лазерных импульсов на гибридную мишень, состоящую из последовательно склеенных пластинок из алюминия и меди, позволили установить, что при использовании большого количества точек, используемых для увеличения выхода продуктов, наблюдается уменьшение количества импульсов, необходимых для пробивки мишени из Al. Показано, что это обусловлено влиянием оксида меди, напыленного на алюминий, при пробивке предыдущих точек за счет обратного осаждения.

Библиографические ссылки

1. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит, 2007. 416 с.
2. Kawazoe H., Yasukawa M., Hyodo H., Kurita M., H. Yanagi, and Hosono H. P-type electrical conduction in transparent thin films of $CuAlO_2$. *Nature* 1997; 389; 939-942.