

последствия, которое вызывает накопление аблированных наночастиц и кластеров в атмосфере образующейся полости. Воздействие следующего через небольшой интервал времени импульса приводит к низкороговому оптическому пробою воздуха, насыщенного наночастицами металла, и появлению одновременно двух разнесенных в пространстве плазменных образований. Одно из них – обычный факел лазерной плазмы на аблируемой поверхности и на дне формируемого отверстия; другое – плазменно-пылевое облако, также возникающее на оси лазерного пучка. Однако оно отстоит от поверхности на значительно большем расстоянии, чем после воздействия второго импульса на продукты конденсации паров металла, образовавшихся в результате воздействия первого импульса. Это приводит, с одной стороны, к дополнительной экранировке, а с другой – к созданию высокотемпературного плазменного облака высокого давления, находящегося ближе к поверхности и разлетающегося преимущественно по направлению отверстия. При постепенном увеличении длины канала эффект этого действия уменьшается за счет постепенного сдвига области образования пылевого облака вглубь канала (область 30–40 импульсов). Это подтверждается также и значительно меньшим изменением количества ионов алюминия.

Таким образом, наличие конденсированной фазы в плазменном факеле оказывает значительное влияние на кинетические процессы, протекающие в плазме, и, следовательно, на характеристики самой плазмы.

Список литературы

1. Сухов, Л. Т. Лазерный спектральный анализ: физические принципы / Л. Т. Сухов ; отв. ред. В. Ф. Шабанов. – Новосибирск : Наука, 1990. – 139 с.
2. Материалы в приборостроении и автоматике : справ. / Ю. М. Пятин [и др.] ; под ред. Ю. М. Пятина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1982. – 528 с.
3. Чинь, Н. Х. Спектральный контроль и управление процессами образования кластеров нитридов алюминия в плазме при воздействии на алюминий сериями двояных лазерных импульсов / Н. Х. Чинь, А. Р. Фадаиян, А. П. Зажогин // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов : межвуз. сб. науч. тр. / под общ. ред. В. М. Самсонова, Н. Ю. Сдобнякова ; Твер. гос. ун-т. – Тверь, 2011. – Вып. 3. – С. 259–263.

The experiments were performed using laser double-pulse atomic emission spectrometer LSS-1 (production of a joint Belarusian-Japanese company «LOTIS-ТII»). It has been found, that an increase in the number of pulses in a series results in growth of concentration of AlO forming due to supersonic expansion and turbulent mixing of the gas containing aluminum.

Акулич Валентин Александрович, студент 2 курса уровня высшего образования факультета электросвязи Белорусской государственной академии связи, VAAKU2019@mail.ru.

Захожий Артур Олегович, студент 2 курса уровня высшего образования факультета инжиниринга и технологий связи Белорусской государственной академии связи.

Научные руководители – *Патапович Мария Петровна*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математики и физики факультета инжиниринга и технологий связи Белорусской государственной академии связи, Минск, Беларусь, mpetrat@mail.ru.

Зажогин Анатолий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии Белорусского государственного университета, Беларусь, Минск, zajogin_an@mail.ru.

УДК 621.762.4

М. Ф. С. Х. АЛЬ-КАМАЛИ, А. А. АЛЕКСЕЕНКО

МИШЕНИ ДЛЯ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ И ПАРАМЕТРЫ ТОНКИХ ПЛЁНОК, ПОЛУЧАЕМЫХ НА ИХ ОСНОВЕ

В настоящей работе показана возможность формирования с применением золь-гель метода мишеней состава $\text{SiO}_2:\text{CuO}$. Изучены особенности получения мишеней на основе аэросила марки А-300 и их последующего функционального применения. Приводятся данные по морфологии структуры высококремнезёмных плёнок, сформированных магнетронным распылением таких мишеней на поверхности полированных кремниевых подложек.

Одним из основных требований получения методами напыления в вакууме покрытий с оптимальной однородностью является высокая степень гомогенности гранулометрического и химического состава исходной мишени. Используя для ее создания компоненты химической чистоты не ниже марки «осч», а также аэросил (в

качестве матрицы-носителя веществ-допантов), становится возможным распределять легирующие добавки с однородностью на молекулярном уровне, сорбируя их на поверхность глобулы аэросила (пирогенного кремнезема) в виде тонкого слоя нанометровой толщины. В общем случае открываются возможности по нанесению гомогенных покрытий в виде тонких пленок на основе SiO_2 матрицы, содержащих оксиды переходных или благородных металлов заданной концентрации и фазового состава. Дальнейшая обработка таких пленок в контролируемой газовой среде (аргон или водород), позволит не только управлять адгезионными параметрами переходного слоя между подложкой и нанесенной пленкой (возможно – многослойной), но и «выращивать» в сформированном покрытии на основе оксидов металлов наночастицы этих металлов, создавая локальные плазмонные структуры заданной геометрической формы и дисперсии размеров.

Золь-гель методом на основе водной дисперсии аэросила марки А-300, содержащей нитрат меди заданной концентрации, были получены объемные ксерогели, последовательно отожженные на воздухе при $T = 800\text{ }^\circ\text{C}$ и переведенные далее в состояние размолотых микропорошков. Методом одноосного прессования с использованием органического связующего в виде поливинилового спирта на основе этих микропорошков были сформированы мишени для магнетронного распыления диаметром порядка 80 мм и толщиной до 5 мм. Исследования морфологии структуры покрытий, полученных на основе синтезированных мишеней проводилось совместно с сотрудниками НТЦ «Белмикрoанализ» филиала «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл» – управляющая компания холдинга «Интеграл».

На рисунке 1 приводится РЭМ-изображение поверхности покрытия состава $\text{SiO}_2\text{:CuO}$, нанесенного на полированную кремниевую подложку. Наблюдается некоторая «зернистость» поверхности покрытия, что характерно для распыления пористых мишеней, состоящих из агломератов или доменных структур.

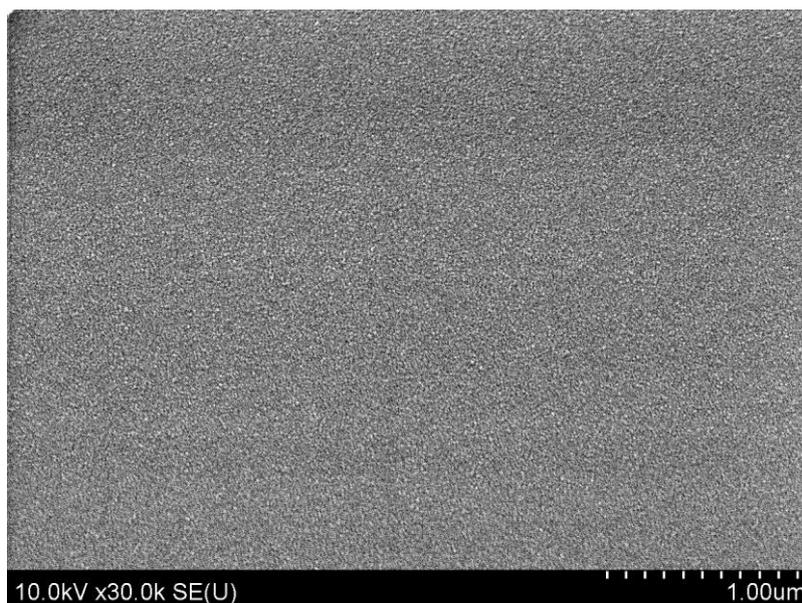


Рисунок 1 – РЭМ-изображение поверхности тонкой плёнки, сформированной на основе мишени состава $\text{SiO}_2\text{:CuO}$ на подложке из полированного кремния методом магнетронного распыления

Элементный анализ нанесенного покрытия, проведенный методом EDX (EDS) показал, что пленка состоит из: O (36,99 ат. %); Si (34,49 ат. %); Cu (3,03 ат. %) и C (25,49 ат. %). Высокое присутствие углерода связано, вероятно, с тем фактом, что при термообработке мишени на воздухе при $T = 800\text{ }^\circ\text{C}$ (1 ч) не происходит полного выгорания органического связующего. С другой стороны, отжиг мишеней при температурах, выше $800\text{ }^\circ\text{C}$, может привести к термодеструкции оксида меди CuO до одновалентного оксида Cu_2O (например, при температурах порядка $1100\text{ }^\circ\text{C}$). Также при высоких температурах возможно протекание термически стимулированных реакций взаимодействия мишени с подложкой, на которой происходит ее отжиг.

На рисунке 2 приводится РЭМ-изображение скола сформированного покрытия. Видно образование промежуточного слоя, который образовался, вероятно, при травлении (очистке) поверхности подложки атомарным кислородом и может обуславливать достаточно высокое адгезионное взаимодействие наносимого покрытия с подложкой из кремния.

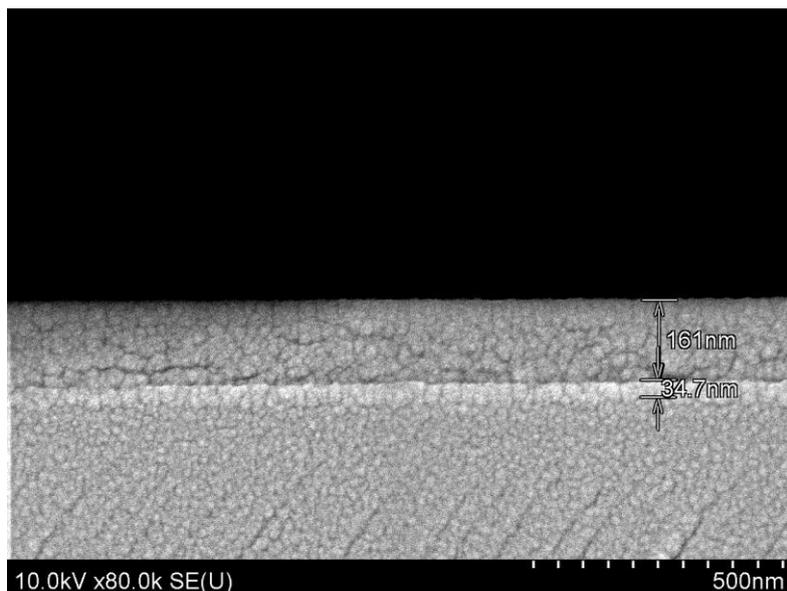


Рисунок 2 – РЭМ-изображение поверхности скола тонкой пленки, сформированной на основе мишени состава $\text{SiO}_2:\text{CuO}$ на подложке из полированного кремния методом магнетронного распыления

В общем случае получение и изучение функциональных характеристик композиционных мишеней состава диэлектрик-полупроводник, сформированных с применением методов коллоидной химии на основе оксидов кремния (или алюминия), допированных оксокомплексами переходных или благородных металлов, может представлять интерес при получении контактных площадок и пассивирующих покрытий при получении элементов интегральных микросхем. Можно наблюдать (рисунки 1, 2), что покрытия получают в этом случае с достаточно хорошей однородностью и плотной упаковкой внутренней структуры.

Таким образом, в результате проведенных исследований, были отработаны физико-технические принципы синтеза исходных материалов, предназначенных для формирования мишеней, получаемых, в итоге, на основе однородных SiO_2 -глобул узкой дисперсии размеров (предположительно покрытых оболочкой оксида металла нанометровой толщины – как результат высокой сорбционной способности частиц аэросила), а также изучены режимы формовки мишеней методом одноосного прессования на основе шихты разработанного состава.

This paper shows the possibility of forming $\text{SiO}_2:\text{CuO}$ targets using the sol-gel method. The features of obtaining targets based on A-300 aerosil and their subsequent functional application are studied. Data on the morphology of the structure of high-silica films formed by magnetron sputtering of such targets on the surface of polished silicon substrates are presented.

Аль-Камали Марван Фархан Саиф Хассан, аспирант кафедры «Материаловедение в машиностроении» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого, Гомель, Беларусь, marwan.ye2@gmail.com.

Научный руководитель – *Алексеев Александр Анатольевич*, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник НИЧ, заведующий (научный руководитель) НИЛ «Техническая керамика и наноматериалы» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого, Гомель, Беларусь, alexeevko@gstu.by.

УДК 537.621.5:537.9

А. И. АЛЬХИМЕНОК, И. И. АЗАРКО, О. В. ИГНАТЕНКО, С. Ф. ПАРШУТИЧ

СИНТЕЗ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА В СИСТЕМЕ $\text{BN}-\text{Al}$ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ И ТЕМПЕРАТУР

Кубический нитрид бора используется в металлообрабатывающей промышленности, обладает свойствами, схожими с алмазом. В работе кубический нитрид бора синтезировался каталитическим способом с использованием Al. С помощью электронного парамагнитного резонанса удалось подтвердить формирование BN_k с использованием в качестве исходной смеси системы BN_r-Al .