

**ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОННО–ЛУЧЕВОГО НАПЫЛЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В
ФОРВАКУУМНОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ**

С.А. Останин, А.С. Климов, А.А. Зенин

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Е.М. Окс

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: super_gaara@mail.ru

**FEATURES OF ELECTRON BEAM DEPOSITION OF CERAMIC COATINGS IN THE
FORVACUUM PRESSURE RANGE**

S.A. Ostanin, A.S. Klimov, A.A. Zenin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. E.M. Oks

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,

Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: super_gaara@mail.ru

***Abstract.** The paper presents research results on electron beam evaporation of dielectric materials in the forevacuum pressure range. The research results demonstrate the efficiency of using an electron beam for evaporation of alumina ceramic at forevacuum pressures.*

Введение. Электронно-лучевое испарение материалов в вакууме с последующим нанесением покрытий из паровой фазы (EBVD-процесс) позволяет получать покрытия из тугоплавких материалов для формирования износостойких, коррозионно-стойких покрытий и т.д. Среди известных источников нагрева – электронный пучок является наиболее эффективным [1]. К тому же в отличие от других типов нагрева электронный пучок способен прогревать лишь тонкий приповерхностный слой, откуда собственно и происходит испарение материала, и это еще одно преимущество электронного пучка. Испарение металлических материалов, как правило не вызывает значительных трудностей, в тоже время электронно-лучевая обработка диэлектриков имеет свои особенности, связанные в первую очередь с необходимостью нейтрализации заряда приносимого электронами пучка на облучаемую непроводящую поверхность [2]. Использование форвакуумных плазменных электронных источников позволяет обрабатывать диэлектрики, в частности - керамические материалы [3]. Компенсация отрицательного поверхностного заряда при этом происходит как за счет потока ионов из пучковой плазмы, а также за счет потока из плазмы несамостоятельного разряда, возникающего между облучаемой мишенью и заземленными стенками вакуумной камеры [4]. Возможность непосредственной электронно-лучевой обработки диэлектрических материалов является ключевой особенностью форвакуумных плазменных электронных источников, а применительно к испарению диэлектриков возможна реализация и бестигельного испарения.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния параметров процесса нанесения покрытий (температуры подложки и состава газовой атмосферы) на состав и параметры напыляемого покрытия.

Техника и методика эксперимента. Для исследования влияния газовой атмосферы и температуры подложки на параметры формируемого покрытия использовалась электронно-лучевая установка, оснащенная двумя идентичными форвакуумными плазменными электронными источниками на основе разряда с полым катодом цилиндрической формы (рис. 1). Электронный источник 1 формировал узкофокусированный электронный пучок 2 и служил для испарения керамической мишени 3, в качестве которой использовался диск из алюмооксидной керамики ВК94-1. Электронный источник 4 формировал расфокусированный электронный пучок 5 и служил для нагрева подложки 6 до заданной температуры. Рабочее давление в вакуумной камере составляло 10 Па и поддерживалось напуском газа непосредственно в камеру. Измерение температуры подложки осуществлялось со стороны не подверженной электронно-лучевому облучению терморпарным преобразователем из хромель-копели. Тепловой контакт обеспечивался за счет плотного прилегания спая к тыльной стороне подложки. Сигнал с термопары измерялся цифровым вольтметром. Температура испаряемого материала контролировалась инфракрасным пирометром. В эксперименте подложка (пластинка титана $2 \times 15 \times 15$ мм³) располагалась на расстоянии 8 см от испаряемой мишени, что позволяло значительно снизить влияние высокой температуры мишени на нагрев подложки. Температура прогрева подложки изменялась от 300 до 700 °С с шагом 100 градусов.

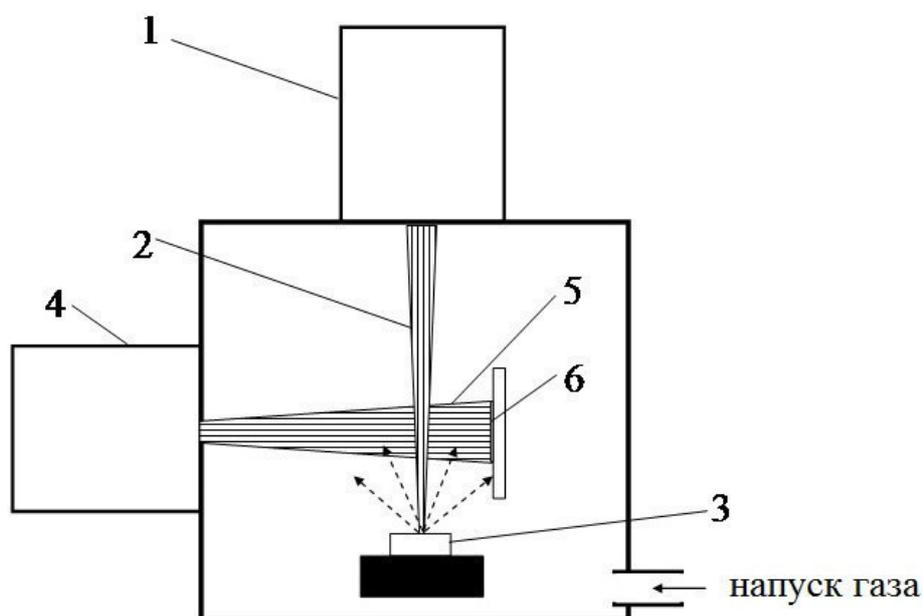


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – плазменный электронный источник-1; 2 – острфокусированный электронный пучок; 3 – испаряемая мишень; 4 – плазменный электронный источник-2, 5 – расфокусированный электронный пучок; 6 – подложка

В качестве рабочих газов использовалась остаточная атмосфера и гелий. При работе на гелии проводилась предварительная промывка вакуумной камеры в течение 5–10 минут.

Результаты эксперимента. В результате испарения мишени в течение 10 минут на подложке формировалось покрытие, содержащее Al, O, Ti и Si (рис. 2,а). Состав покрытия оставался неизменным при изменении температуры подложки. Изменения наблюдались в соотношении между элементами, а

также в толщине формируемого покрытия. Начиная с температуры порядка 500 °С, наблюдается рост содержания алюминия, в то время как содержание кислорода остается практически одинаковым во всем диапазоне температур (рис. 2,б).

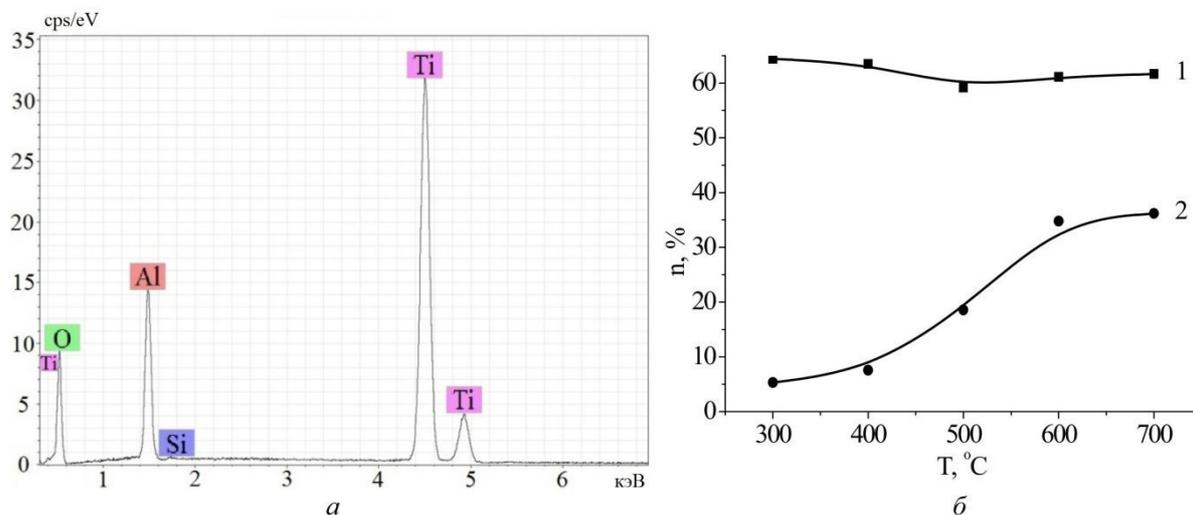


Рис. 2. Элементный состав керамического покрытия (а) и процентное содержание кислорода 1 и алюминия 2 в покрытии в зависимости от температуры подложки (б)

Такая ситуация может быть связана с улучшением условий образования зародышей на начальном этапе пленки и, как следствие, формированием более толстого покрытия состав которого более близок к составу испаряемого материала.

Закключение. Нагрев подложки при электронно-лучевом нанесении покрытий в форвакуумной области давлений способствует росту толщины формируемого покрытия, а также формированию покрытия составом близким к составу испаряемого керамического материала.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, грант 11.1550.2017/ПЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыкалин Н.Н. Основы электронно-лучевой обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1978. – 239 с.
2. Филачев А.М. Проблемы электронно-лучевой обработки диэлектриков / А.М. Филачев, Б.И. Фукс // Прикладная физика. – 1996. – № 3. – С. 39–46.
3. Burdovitsin V.A. Electron beam treatment of non-conducting materials by a fore-pump-pressure plasma-cathode electron beam source / V.A. Burdovitsin, A.S. Klimov, A.V. Medovnik, E.M. Oks // Plasma Sources Sci. Technol. – 2010. – № 19. – P. 055003.
4. Бурдовицин В.А. Модификация поверхности керамики импульсным электронным пучком, генерируемым форвакуумным плазменным источником / В.А. Бурдовицин, Е.М. Окс, Е.В. Скробов, Ю.Г. Юшков // Перспективные материалы. – 2011. – № 6. – С. 1–6.