

ЛИТЕРАТУРА

1. Moyano D. F., Goldsmith M., Solfiell D. J., Landesman-Milo D., Miranda O. R., Peer D., Rotello V. M. // *J. Am. Chem. Soc.* – 2012. – V. 134. – P. 3965–3967.
2. Nicolini, C. In *Nanotechnology and Nanobiosciences. Pan Stanford Series on Nanobiotechnology / C. Nicolini*. – 2010. – V. 1.
3. Zenkevich E.I., Blaudeck T., Kowerko D., Stupak A.P., Cichos F., von Borczyskowski C. // *Macroheterocycles*. – 2012. – V. 5. – № 2. – P. 98-114.
4. Zenkevich E.I., Stupak A.P., Kowerko D., von Borczyskowski C. // *Chem. Phys.* – 2012. – DOI:10.1016/j.chemphys.2012.

УДК 621.793

Комаровская В.М., Иващенко С.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАГРУЗКИ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ

БНТУ, г. Минск

Вакуумно-плазменные покрытия находят все более широкое применение для улучшения эксплуатационных и декоративных свойств изделий из диэлектрических материалов (стекло, некоторые виды керамики и др.). Поскольку указанные материалы являются диэлектриками, то при формировании покрытий методом конденсации вещества из плазменной фазы в условиях ионной бомбардировки (КИБ) возникают определенные технологические сложности, связанные с необходимостью нейтрализации равномерно заряженного слоя, сформировавшегося на поверхности изделия под воздействием положительных ионов материала катода. Данный эффект влечет за собой снижение производительности процесса, а в ряде случаев и к получению покрытий не удовлетворяющих условиям эксплуатации. В работе [1] было выявлено, что нейтрализация положительных ионов материала катода на поверхности диэлектрической основы осуществляется за счет потенциальной ионно-электронной эмиссии.

При этом размеры изделий и их количество должны быть увязаны со скоростью вращения карусельного механизма установки и размерами рабочей зоны вакуумной камеры. Поэтому для получения качественных покрытий при обеспечении высокой производительности процесса необходимо определить оптимальную суммарную площадь изделий, загружаемых в вакуумную камеру.

Нанесение вакуумно-плазменных покрытий осуществлялось на установке модели УРМ 3.279.079 предназначенной для нанесения износостойких, упрочняющих и декоративных покрытий методом электродугового напыления. В качестве образцов использовались пластины из стекла марки М1 ГОСТ 111-2001 размером 20×80×3 мм. Внекамерная подготовка образцов заключалась в предварительной полировке войлочным кругом, промывке в мыльной воде, двойной мойке в дистиллированной воде и протирке сухой бязью. Внутрикамерная подготовка образцов заключалась в обработке ионами аргона Ar^+ .

Первый монослой ионов титана с учетом скорости роста толщины покрытия сформируется за время:

$$\tau = \frac{d_{Ti}}{v_{пок}} = \frac{2,9 \cdot 10^{-10}}{0,9 \cdot 10^{-9}} \approx 0,3 \text{ с}, \quad (1)$$

где d_{Ti} – размер иона титана; $v_{пок}$ – скорость роста толщины покрытия.

Следующий монослой покрытия сформируется лишь после нейтрализации образовавшегося положительно заряженного слоя ионов материала покрытия на поверхности основы. Нейтрализация происходит за счет потенциальной ионно-электронной эмиссии, которая возникает вследствие бомбардировки металлической поверхности карусельного механизма потоком ионов титана (рисунок 1).

Потенциальная ионно-электронная эмиссия характеризуется коэффициентом γ [2]:

$$\gamma = \frac{i_e}{i_p} = \frac{en_e v_e S_{кл}}{en_p v_p S_{кл}} = \frac{n_e v_e}{n_p v_p} = \frac{n_e}{n_p}, \quad (2)$$

где i_e – сила электрического тока электронов; i_p – сила электрического тока ионов; e – заряд электрона; n_e , n_p – концентрация электронов и ионов соответственно; v_e , v_p – скорости движения электронов и ионов соответственно; $S_{кл}$ – площадь кластера материала основы.

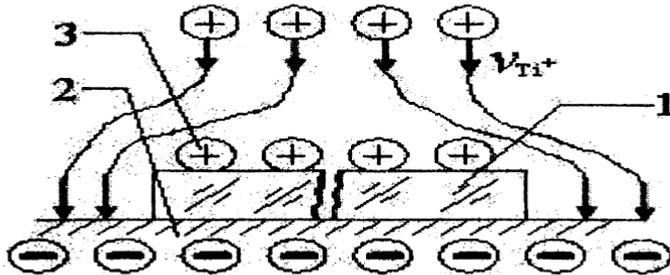


Рисунок 1 – Общая схема формирования вакуумно-плазменного покрытия на диэлектрическую поверхность: 1 – образец; 2 – металлическая основа; 3 – ионы титана

В общем случае коэффициент потенциальной ионно-электронной эмиссии γ будет равен произведению вероятности захвата валентным электроном кластера основы выделившейся энергии вследствие рекомбинации положительного иона на поверхности основы и вероятности преодоления работы выхода туннельным образом. Туннельный эффект уменьшает коэффициент потенциальной ионно-электронной эмиссии. Поэтому потенциальная ионно-электронная эмиссия имеет место лишь для ионов таких элементов и таких мишеней, для которых выполняется неравенство $\theta_i \geq 2 A_e$ (θ_i – потенциал ионизации атома; A_e – работа выхода электрона из материала основы). Для ионов титана на железе при их рекомбинации возникает излучение с энергией [1]:

$$h\nu = \Theta_i - E_F = 6,82 - 1,46 = 5,36 \text{ эВ} \quad (3)$$

где $E_F = \theta_{\text{жж}}$ – уровень Ферми, который по существу является энергией ионизации кластера железа в конденсированном состоянии.

Туннельный эффект следует учитывать в том случае если при поглощении валентным электроном основы энергии в соответствии с (3) он способен преодолеть работу выхода железа, равную 4,85 эВ. В нашем случае энергия равна 5,36 эВ, а это значит, что туннельный эффект учитывать не следует. Достаточно определить вероятность поглощения валентным электроном кластера железа величину энергии фотона равную $h\nu = 5,36 \text{ эВ}$. Сечение поглощения в этом случае составит [3]:

$$\sigma_\nu = 7,91 \cdot 10^{-22} \frac{n^*}{Z^{*2}} \left(\frac{A_e}{h\nu} \right)^3 g_T = 1,26 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2, \quad (4)$$

где n^* и Z^* – соответственно эффективное главное квантовое число и эффективный заряд кластера (для кластера железа соответственно 3,152 и 0,377), g_T – постоянная Гаунта, которая для большинства веществ примерно равна единице.

Определим константу прямой реакции фотоионизации кластера [3]:

$$q_e = \sigma_\nu c = 3,77 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3/\text{с}, \quad (5)$$

где c – скорость света.

Вероятность выхода электрона на один падающий фотон без учета прозрачности железа для длины волны 2300 Å, равна 0,158 [1]. Таким образом, коэффициент потенциальной ионно-электронной эмиссии равен $\gamma = 0,158$.

Монослой ионов титана на площади $S = a \cdot b$ содержит общее количество ионов титана $N_{Ti^+} = S/d_n^2 = 2,08 \cdot 10^{15}$. Зная поток положительных ионов титана и коэффициент потенциальной ионно-электронной эмиссии, можно получить общее количество электронов, которое образуется вследствие ионно-потенциальной эмиссии:

$$N_e = n_{Ti^+} \cdot v_{Ti^+} \cdot \gamma \cdot S_n \cdot \tau_n, \quad (6)$$

где S_n – площадь, на которой образуются электроны вследствие потенциальной ионно-электронной эмиссии; τ_n – время, которое необходимо для нейтрализации ионов титана, v_{Ti} – скорость ионов титана в плазменном потоке, n_{Ti} – концентрация частиц в плазменном потоке, который взаимодействует с поверхностью основы при температуре окружающей среды в камере $373^0 K$ и давлении $p=0,1$ Па составляет:

$$n_{Ti} = \frac{P}{k_B \cdot T} = \frac{0,1}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 373} = 1,94 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}, \quad (7)$$

где k_B – постоянная Больцмана, T – температура окружающей среды в камере.

Скорость ионов титана в плазменном потоке составит:

$$v_{Ti^+} = \frac{v_{нок}}{d_{кл}^3 n} = \frac{0,9 \cdot 10^{-9}}{(2 \cdot 4,38 \cdot 10^{-10})^3 \cdot 1,94 \cdot 10^{17}} = 6,9 \text{ м/с}, \quad (8)$$

где $d_{кл}$ – диаметр кластера кремнезема.

Так как $N_e = N_{Ti^+}$, то для определения времени τ_n получаем:

$$\tau_n = \frac{N_{Ti^+}}{n_{Ti^+} \cdot v_{Ti^+} \cdot \gamma \cdot S_n} = \frac{2,08 \cdot 10^{15}}{1,94 \cdot 10^{17} \cdot 6,9 \cdot 0,158 \cdot 0,396 \cdot 10^{-2}} = 2,48 \text{ с} \quad (9)$$

Тогда для изделий расположенных в камере на вращающейся карусели с радиусом $0,2$ м расстояние между напыляемыми образцами должно быть $l = r\omega\tau_n \sim 0,0248$ м (ω – скорость вращения карусельного механизма), а общее количество образцов составит:

$$n = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{l + a} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,2}{0,0248 + 0,02} = 28 \text{ штук} \quad (10)$$

После образования необходимой толщины демпферного слоя в камеру напускают реактивный газ (в нашем случае азот). В работе [1] было показано, что для эффективного протекания реакции образования нитрида титана поверхность стеклянного образца должна иметь температуру не более $100^0 C$.

Рассмотренная кинетика формирования вакуумно-плазменных покрытий на диэлектрических материалах позволила установить

следующие требования к технологии формирования вакуумно-плазменных покрытий. Оптимальное количество образцов подлежащих напылению определяется с учетом радиуса на котором они размещаются и расстояния между образцами необходимого для нейтрализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гречихин, Л.И. Кинетика формирования вакуумно-плазменных покрытий на диэлектрических материалах / Л.И. Гречихин, С.А. Иващенко, В.М. Голушко // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – №8 – С.15 – 20.
2. Добрецов, Л.И. Эмиссионная электроника / Л.И. Добрецов, М.В. Гомоюнова. – М.: Наука, 1966, – 564 с.
3. Митчнер, М. Частично ионизованные газы / М. Митчнер, Ч. Кругер. – М.: Мир, 1976. – 496 с.

УДК 681.7.026.6

Касинский Н.К., Демидович Т.И., Томаль В.С.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕВРАЩАЮЩИХСЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ МАСОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАВНОМЕРНЫХ ПО ТОЛЩИНЕ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ

*РУП «Оптическое станкостроение и вакуумная техника»,
г. Минск*

Практическая реализация любого из методов вакуумной тонкопленочной технологии связана с построением установок, характеризующихся своей геометрией напыления, содержащих внутри- и внекамерные механические, электромеханические, оптико-механические и другие устройства и приспособления, электронные блоки и системы контроля параметров технологического процесса. В совокупности это определяет уровень предлагаемой технологии напыления однослойных или многослойных структур. При этом вполне оправданным должно быть стремление в наибольшей степени учесть потенциальные возможности