

01;03;04;11;12

©1995

О СКОРОСТИ НАПЫЛЕНИЯ ПЛЕНОК НИТРИДА ТИТАНА В МАГНЕТРОННЫХ УСТАНОВКАХ РЕАКТИВНОГО РАСПЫЛЕНИЯ

В.В.Владимиров, О.А.Панченко

1. Технология реактивного распыления (РР) получила обширное промышленное применение для получения различных покрытий [1], в том числе пленок нитрида титана (TiN). Требуемая стехиометрия достигается балансом потоков материала распыляемого катода (Ti) и частиц реактивного газа (N_2) на подложку. Распыление катода осуществляется ионами плазмообразующего газа (Ar). В магнетронных распылительных системах (МРС) устойчивый режим РР возможен [2] только при достаточно больших скоростях откачки χ ($\text{см}^3/\text{с}$). При $\chi < \chi_{cr}$ процесс напыления неустойчив, что связано с неоднозначной зависимостью парциального давления реактивного газа (РГ) в камере МРС от натекающего потока РГ. В результате неустойчивости система переключается в состояние с низкой скоростью напыления [3]. Если $\chi \geq \chi_{cr}$, указанная неоднозначность отсутствует и режим напыления устойчив. В работе [3] предложен метод расчета χ_{cr} для получения пленок бинарных соединений. В настоящей статье впервые рассчитана скорость напыления (V) и производительность МРС (K) в случае пленок нитрида титана в зависимости от геометрических характеристик системы и параметров разряда при $\chi = \chi_{cr}$.

2. Исходные уравнения, описывающие стационарные характеристики процесса РР, определяются из условий баланса образования TiN на катоде, геттере и расхода натекающего газа (N_2). Под геттером подразумевается вся поверхность (подложка, боковые стенки камеры), на которую поступает поток распыляемого металла. Эти уравнения имеют вид [2]:

$$2F(1 - \gamma_1) = (j/e)s_B\gamma_1, \quad (1)$$

$$2F(1 - \gamma_2) + (j/e)s_B\alpha^{-1}\gamma_1(1 - \gamma_2) = (j/e)s_M\alpha^{-1}(1 - \gamma_1)\gamma_2, \quad (2)$$

$$q = A_1F[1 - \gamma_1 + \alpha(1 - \gamma_2) + \kappa], \quad (3)$$

где γ_1, γ_2 — степени покрытия нитридом титана катода и геттера ($\gamma_{1,2} < 1$); $F = Pv_T/kT$ — поток РГ в камере, P — парциальное давление РГ, $v_T = \sqrt{kT/2\pi M} = 1.3 \cdot 10^4$ см/с, M и T — масса молекулы и температура РГ; s_B и s_M — коэффициенты распыления TiN и Ti на катоде ионами Ag; $\alpha = A_2/A_1$ — отношение площадей геттера и эрозионной зоны катода; $q(\text{с}^{-1})$ — темп натекания РГ; $\kappa = \chi/v_T A_1$; j — плотность ионного тока; e — заряд электрона.

При выводе (1) и (2) предполагалось, что при взаимодействии двухатомной молекулы РГ (N_2) с атомами металла (Ti) образуются две молекулы TiN.

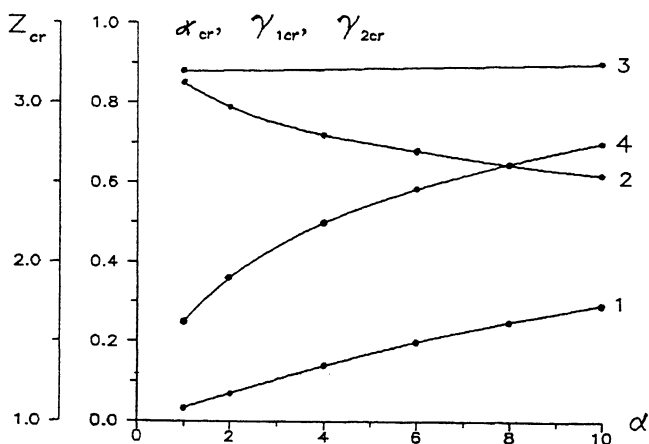
Согласно (1), (2) величины F и γ_2 определяются через γ_1 :

$$F = (s_B j / 2e) \left(\gamma_1 / (1 - \gamma_1) \right),$$

$$\gamma_2 = 1 - \frac{(1 - \gamma_1)}{(1 - \gamma_1)^2 + s\alpha\gamma_1 + s\gamma_1(1 - \gamma_1)}, \quad (4)$$

где $s = s_B/s_M$.

Подставляя выражения (4) в соотношение (3), можно получить алгебраическое уравнение четвертой степени для γ_1 . Характер решений этого уравнения от величины q зависит [3] от следующих параметров: κ, α, s . Устойчивые решения (однозначно зависящие от q) существуют только при $\kappa > \kappa_{cr}$. Эти решения подобны по величине параметра $Z = 2qe/Is_B$, где I — ток разряда.



Зависимость скорости критической откачки κ_{cr} 1, величин γ_{1cr} 2, γ_{2cr} 3 и скорости натекания азота Z_{cr} 4 от соотношения площадей геттера и катода (α).

На рисунке представлены численные расчеты κ_{cr} и величин γ_1 , γ_2 , Z (при $\kappa = \kappa_{cr}$) для случая TiN ($S = 0.2$ [2]) в зависимости от параметра α . Как видно из рисунка, при $\kappa = \kappa_{cr}$ степень покрытия геттера нитридом титана велика ($\gamma_2 \approx 0.9$) и слабо зависит от величины α . Данные рисунка используются ниже при расчете основных характеристик промышленных МРС.

3. Учитывая уравнение (2), можно получить выражение для скорости напыления и производительности МРС:

$$V = (j/e)(s_m/N)\gamma_2(1 - \gamma_1), \quad (5)$$

$$K = (\tilde{A}_2/d)V, \quad (6)$$

где $N = 5 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ — плотность молекул TiN, \tilde{A}_2 — площадь напыляемой подложки, d — толщина напыляемого слоя TiN.

При расчете величины V и K используется эмпирическое выражение для коэффициента распыления титана (s_m) ионами аргона [4]:

$$s_m = 1.6\sqrt{U/10kV},$$

где U — напряжение на разряде.

В таблице, с учетом данных рисунка, представлены расчетные значения критической скорости откачки χ_{cr} , темпа натекания азота q_{cr} и скорости напыления V для случая крупной промышленной МРС ($A_1 = 10^3 \text{ см}^2$, $j = 60 \text{ мА/см}^2$, $U = 0.4 \text{ кВ}$).

α	1	2	3	4	5
χ_{cr} , л/с	520	910	1430	1820	2210
q_{cr} , 10^{19} с^{-1}	1.94	2.28	2.54	2.64	2.79
V , Å/с	34	22	18	15	13

Как видно из таблицы, при увеличении α значение V уменьшается ($\sim 1/\sqrt{\alpha}$). Такой характер зависимости V (α) можно обосновать аналитически с помощью уравнений (4) и (5) в предположении $\gamma_2 = \text{const}$. Используя рассчитанные значения V , нетрудно определить производительность МРС. Например, если $d = 200 \text{ Å}$, $\tilde{A}_2 = 5 \cdot 10^2 \text{ см}^2$, $\alpha = 1$, то $K = 30.6 \text{ м}^2/\text{ч}$; при $\tilde{A}_2 = 2 \cdot 10^3 \text{ см}^2$, $\alpha = 2.5$ $K = 70 \text{ м}^2/\text{ч}$.

Нетрудно показать, используя (5), (6), что при фиксированных площадях A_1 и “холостой” части геттера (боковые стенки камеры) величина K изменяется $\sim \sqrt{\tilde{A}_2}$. При фиксированных значениях A_1 , \tilde{A}_2 величина $K \sim 1/\sqrt{\alpha}$.

Полученные результаты представляют интерес при выборе геометрических параметров и рабочих режимов промышленных МРС.

Список литературы

- [1] *Westwood W.D.* // *Physics of Thin Films* / Ed. by M.H. Francombe, J.L. Vossen. Academic, Boston, 1989. P. 1-79.
- [2] *Larsson T., Blom H.O., Nender C., Berg S.* // *J. Vac. Sci. Technol.* 1988. V. A6(3). P. 1832-1836.
- [3] *Владимиров В.В., Горшков В.Н., Мотрич В.А. и др.* // *ЖТФ.* 1994. Т. 64. В. 5. С. 91-102.
- [4] *Плешивцев Н.В.* Катодное распыление. М.: Атомиздат, 1968. 343 с.
- [5] *Черепин В.Т., Васильев Н.А.* Справочник. Методы и приборы для анализа поверхности материалов: Киев: Наук. думка, 1982. 399 с.

Институт физики
НАН Украины
Киев

Поступило в Редакцию
14 января 1995 г.