

УДК 620.181.4:539.23

О ТЕМПЕРАТУРЕ И СКОРОСТИ ЧАСТИЦ МЕТАЛЛА, ВЫБРАСЫВАЕМЫХ ИЗ ИСПАРИТЕЛЯ В ВАКУУМ

А.А. Хорошенко

При нанесении электродов на диэлектрический слой пленочных конденсаторов вылетающие из испарителя частицы металла могут создавать проводящие мостики в диэлектрических пленках [1]. На процесс образования таких мостиков влияют температура T_n и скорость v_n частиц в момент удара о подложку. Ниже оценены эти параметры частиц алюминия, выбрасываемых из тигля при испарении металла [2].

Время понижения средней температуры частицы диаметром ρ в вакууме от начального значения T_n до конечного T_0 можно вычислить из следующих выражений (предполагая, что уменьшение массы m капель за счет их испарения мало):

$$1. \quad T(t) = T_n - (1/m C_p) \int_0^t f(t) dt \quad \text{при} \quad 0 \leq t \leq t_1,$$

где t_1 находится из уравнения:

$$m C_p (T_n - T_{n1}) = \int_0^{t_1} f(t) dt.$$

Здесь

$$f(t) = \pi \rho^2 (\sigma \cdot T^4 \epsilon_r + v_n \cdot \lambda_n),$$

где σ - постоянная Стефана-Больцмана,

C_p и λ_n - удельные теплоемкость и теплота испарения металла соответственно,

v_u — скорость испарения металла при температуре T [3]. При решении использовалась зависимость коэффициента излучения ϵ_π неокисленного алюминия от температуры в интервале 500–1900°К, аппроксимированная автором в виде ряда

$$\epsilon_\pi = 4,2 \cdot 10^{-2} - 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 1,7 \cdot 10^{-11} \cdot T^3 + 4,6 \cdot 10^{-14} \cdot T^4.$$

$$2. \quad T(t) = T_{пл} \quad \text{при} \quad t \leq t_2,$$

$$\text{где} \quad t_2 = t_1 + m \cdot \lambda_{пл} / f(t).$$

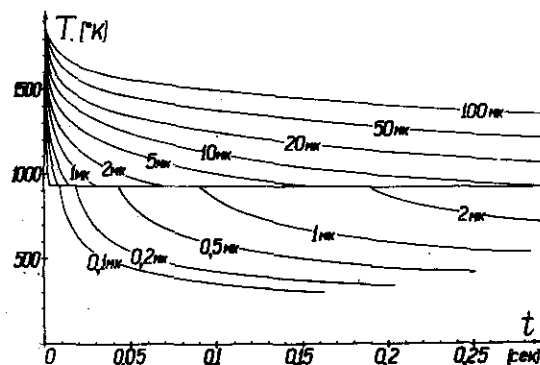
Здесь $T_{пл}$ и $\lambda_{пл}$ — температура и удельная теплота плавления металла соответственно.

$$3. \quad T(t) = T_{пл} - (1/m \cdot C_p) \int_{t_2}^t f(t) dt \quad \text{при} \quad t_2 \leq t \leq t_3,$$

где t_3 находится из уравнения:

$$m \cdot C_p (T_{пл} - T_0) = \int_{t_2}^{t_3} f(t) dt.$$

На рисунке приведены результаты решений этих уравнений для частиц диаметром 0,1 – 100 микрон при $T_{пл} = 1850^\circ\text{К}$. Расчеты



показали следующее: зависимость v_u от ρ можно не учитывать [4]; значение $T_{пл}$ слабо влияет на длительность остывания частиц; уменьшение массы капель за счет их испарения не превышает $10^{-3}\%$; наибольшее время пролета частиц, достигших подложки на фиксированной высоте $h \leq 25$ см

(при $v_n = 0$), составляет величину $t \leq 0,225$ сек. Из рисунка видно, что температура $T_{пл}$ капель при $\rho > 2 \cdot 10^{-4}$ см может существенно превышать величину $T_{пл}$ независимо от распределения частиц по скорости их выброса v_o из тигля. Согласно работе

[2], скорость выброса для относительного числа частиц можно представить в виде $v_o \approx [10^5 \ln(N_o/N_p)]^{1/2}$. Величина скорости v_n зависит от ρ , а её значение, найденное с использованием выражения для v_o , может превышать 10^3 см/сек. При этом величины механических напряжений, возникающих в пленке диэлектрика при ударе частиц, на несколько порядков меньше разрушающих напряжений.

Отметим, что величина $T_{пл}$ для частиц с $\rho > 2 \cdot 10^{-3}$ см превышает значение 1000°К . При такой температуре возможным механизмом образования проводящих мостиков может быть диффузия материала капель в диэлектрический слой пленочных конденсаторов [5].

Л и т е р а т у р а

1. ХОРОМЕНКО А.А., ПЧЕЛКИН В.Ю. Влияние температуры испарения материала электродов на характеристики тонкопленочных конденсаторов. — "Вычислительные системы". Материалы ко II Всесоюзной конференции, Секция IV, Новосибирск, "Наука", 1969, стр. 94–97.
2. ХОРОМЕНКО А.А. Особенности выброса частиц металла из тигля в процессе испарения. Данный сборник, стр. 173–176.
3. ЛЕШИМАН С. Научные основы вакуумной техники, М., Мир, 1964, стр. 609–621.
4. ОНО С., КОНДО С. Молекулярная теория поверхностного натяжения в жидкостях, М., ИЛ, 1963, стр. 42–47.
5. ГЕРШИНСКИЙ А.Е., КОНЫШКИН В.В., ХОРОМЕНКО А.А., ЧЕРЕПОВ Е.И. Исследование диффузионных процессов в тонкопленочной системе монокристалл кремния — алюминий электрохимическим методом. Данный сборник, стр. 44–53.

Поступила в ред.-изд.отд.
28 июня 1972 г.