

Р. М. БЕЛОДЕД

**О ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА
ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК**

(Представлено академиком Б. Е. Патоном 24 VI 1974)

В последнее время все большее внимание уделяется исследованию свойств так называемых островковых пленок — тонких конденсатов, состоящих из большого количества изолированных друг от друга кристаллитов (1). Отличительной особенностью этих пленок является неравновесность, определяющая необратимую эволюцию их структуры и структурно-чувствительных свойств.

В настоящей работе была исследована температурная зависимость коэффициента линейного расширения островковых вакуумных конденсатов Cu, Ag, и Al. Пленки получали термическим испарением в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. на угольные подложки. Средняя расчетная толщина пленок составляла 10–15 Å. Коэффициент линейного расширения определяли по изменению периода кристаллической решетки в зависимости от температуры пленок, нагреваемых в дифракционной камере высокого разрешения электронного микроскопа JEM-6A. Точность определения периодов решетки по электронограммам составляла 0,05% (2).

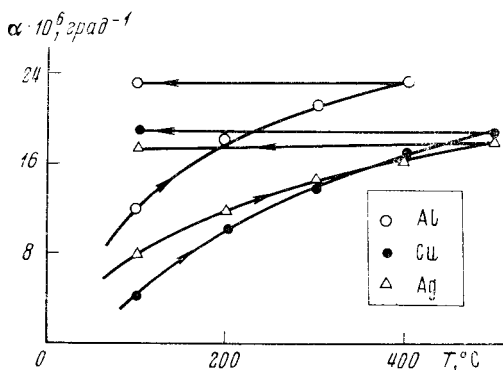


Рис. 1

Полученные результаты приведены на рис. 1. Для всех исследованных островковых пленок наблюдается необратимое увеличение коэффициента линейного расширения с ростом температуры. После достижения значений, близких к значениям для массивных металлов, коэффициент линейного расширения при охлаждении образцов либо остается практически постоянным, либо обнаруживается слабая тенденция к его уменьшению.

Качественное объяснение наблюдаемого гистерезиса температурной зависимости коэффициента линейного расширения можно дать с учетом морфологических эволюций пленки в процессе ее нагрева.

При малом размере островка период решетки уменьшается за счет действия лапласова сжатия (3). При нагреве пленки за счет процессов коалесценции средний размер островков увеличивается, сжимающее давление уменьшается и период решетки увеличивается, причем быстрее, чем только за счет линейного расширения. Это эквивалентно температурному росту коэффициента линейного расширения, определяемого по изменению периода решетки при нагреве пленки.

Величина лапласова давления определяется как $p = 4\sigma/D$, где σ — поверхностное натяжение, E — модуль упругости островка диаметром D . Это

давление вызывает за счет всестороннего сжатия решетки изменение периода (4)

$$-\frac{\Delta a}{a_0} = \frac{p}{3E} = \beta D^{-1}, \quad (1)$$

так что период решетки в островке a будет связан с периодом решетки этого же металла в массивном состоянии a_0 соотношением

$$a = a_0(1 - \beta D^{-1}), \quad (2)$$

где

$$\beta = \frac{4\sigma}{3E}. \quad (3)$$

Нетрудно показать, что коэффициент линейного расширения для островковой пленки α будет связан с коэффициентом линейного расширения массивного металла (или сплошной пленки) α_0 аналогичным соотношением

$$\alpha = \alpha_0(1 - \beta D^{-1}). \quad (4)$$

С ростом температуры среднее значение диаметра островка увеличивается. Например, в рамках представлений о двумерной миграции островков это увеличение может быть описано уравнением (5)

$$\langle D \rangle^{7/2} = \langle D_0 \rangle^{7/2} + A\tau T^{7/2} \exp\left(-\frac{E_m}{kT}\right), \quad (5)$$

где A — постоянная, T — температура, τ — время отжига пленки, E_m — энергия активации миграции островков.

Из совместного рассмотрения уравнений (4) и (5) видно, что по мере увеличения температуры величина α будет приближаться к α_0 . При охлаждении размер зерен в пленке остается постоянным, в связи с чем коэффициент термического расширения не возвращается к прежнему значению, обуславливая появление гистерезиса на его температурной зависимости.

Для исследованных материалов величина коэффициента β в (3) при использовании значений σ и E , соответствующих массивному состоянию, примерно составляет $2 \cdot 10^{-8}$ мм, тогда как экспериментальное значение величины β , определенное по температурной зависимости коэффициента линейного расширения, $\beta \approx (80-100) \cdot 10^{-8}$ мм.

Это расхождение может быть связано с существенным отличием поверхностного натяжения и модуля упругости островковых пленок от соответствующих величин в массивном металле (6, 7), с появлением окисных пленок на поверхности островковых при их нагреве (8), особенно в случае меди и алюминия, а также с отличием формы островков от сферической, для которой справедлива формула (1).

Институт проблем материаловедения
Академии наук УССР
Киев

Поступило
24 VI 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. И. Трусов, В. А. Холмянский, Островковые металлические пленки, М., 1973.
² А. Н. Пилянкевич, Г. К. Абрамян, Электронная техника, сер. XII, № 4, 17 (1970).
³ Ю. Ф. Комник, ФТТ, т. 6, 614 (1964). ⁴ К. Л. Чопра, Электрические явления в тонких пленках, М., 1972. ⁵ J. G. Schofronick, W. B. Phillips, J. Appl. Phys., v. 38, 4791 (1967). ⁶ Л. С. Палагник, М. Я. Фукс, В. М. Косевич, Механизм образования и субструктура конденсированных пленок, «Наука», 1972. ⁷ Р. У. Гоффманн, Физика тонких пленок, т. 3, М., 1968. ⁸ J. S. Halliday, T. B. Rymer, K. H. P. Wright, Proc. Roy. Soc., v. A225, 548 (1954).