

УДК 539.216

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

А. Т. ПУГАЧЕВ, Б. Т. БОЙКО, В. М. БРАЦЫХИН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКИХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ПЛЕНОК АЛЮМИНИЯ

(Представлено академиком Н. В. Беловым 30 VII 1971)

Благодаря геометрическим и структурным особенностям тонкие конденсированные пленки могут существенно отличаться по физическим свойствам от массивных тел ⁽¹⁾. Аномальные свойства конденсатов наиболее отчетливо проявляются при толщине менее 10^3 — 10^4 Å. Однако в указанной области толщин неизбежно возрастают экспериментальные трудности при количественном определении физических характеристик. Это относится прежде всего к тепловым свойствам тонких пленок.

В настоящей работе предложен и опробован метод комплексного определения теплофизических характеристик тонких пленок. Метод основан на том, что из уравнения теплового баланса при известных электрических

Т а б л и ц а 1

Физические характеристики отожженных пленок Al при 293° K

$t, \text{Å}$	$\lambda, \text{вт} \cdot \text{мм}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$	$\rho, \text{ом} \cdot \text{см}$	$\beta \cdot 10^3, \text{град}^{-1}$	$L \cdot 10^8, \text{вт} \cdot \text{ом} \cdot \text{град}^{-2}$	$\epsilon, \%$
980	0,14	4,21	3,00	2,0	2,3
1050	0,17	3,69	3,12	2,1	3,0
Al _{масс} ⁽³⁻⁵⁾	0,222—0,224	2,64—2,66	4,05—4,26	2,05—2,18	2,2

характеристиках и температурном поле нагреваемой пленки можно одновременно определить коэффициент теплопроводности λ , интегральную излучательную способность в полусфере ϵ , удельное электросопротивление ρ , термический коэффициент сопротивления β . Экспериментальная реализация метода состоит в следующем: свободная от подложки тонкая пленка прямоугольной формы крепится двумя концами в специальной сконструированной приставке и может нагреваться в камере электронографа путем подвода тепла через концы пленки, укрепленные на держателях с регулируемой температурой, пропусканием тока через пленку или совместным действием указанных способов.

В стационарном тепловом режиме температура в каждой точке образца устанавливается в соответствии с его геометрией, физическими характеристиками, граничными условиями и способом нагрева. Температурное поле нагреваемой пленки $T(x)$ описывается нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка, которое после интегрирования приводится к уравнению теплового баланса для всей пленки

$$-2\lambda m t \frac{dT(x)}{dx} \Big|_{x=\pm l/2} + 2\sigma m \int_{-l/2}^{l/2} \epsilon(T) [T_{(x)}^4 - T_0^4] dx = I^2 R, \quad (1)$$

где l, m, t — соответственно длина, ширина и толщина пленки, σ — постоянная Стефана — Больцмана, $T_0 = 293^\circ \text{K}$ — температура окружающей среды, I — ток через пленку и R — общее сопротивление нагретой пленки.

Распределение температуры вдоль пленки определяется электронографически по данным прецизионных измерений параметра решетки через коэффициент термического расширения⁽²⁾.

При решении уравнения (1) интегральная излучательная способность для исследованных интервалов температур (293—800° К) искалась в виде $\varepsilon = \varepsilon_0 T$. Зная температурные поля $T(x)$ для различных I при постоянной $T(\pm l/2)$, из системы уравнений вида (1) можно определить λ , и ε_0 . Уравнение (1) позволяет найти ε и независимо. Для этого при заданном токе держателя, на которых крепилась пленка, нагревались до такой температуры, при которой градиент в точках $x = \pm l/2$ был равен нулю.

Попутно по значениям R и $\bar{T} = 1/l \int_{-l/2}^{l/2} T(x) dx$, мож-

но определить температурный коэффициент β .

Объектами исследования служили тонкие поликристаллические пленки Al, сконденсированные на стекло с предварительно осажденным подслоем NaCl. Толщина пленок составляла $\sim 10^3$ Å, вакуум 10^{-5} тор, скорость конденсации ~ 200 Å/сек. Исследованные образцы отжигались в вакууме при $\sim 700^\circ$ К в течение 2 час. По данным электронномикроскопических исследований, отожженные пленки были сплошными, крупноблочными. Средний размер блоков составлял ~ 800 Å.

На рис. 1 представлены экспериментальные значения температуры и аппроксимирующие их кривые для различных значений. Как видно из рис. 1, перепад температур $T(0) - T(\pm l/2)$ составляет сотни градусов.

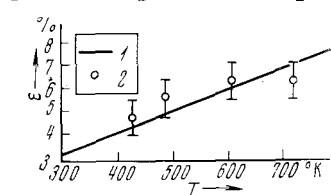


Рис. 2. Зависимость от температуры интегральной излучательной способности в полусферу пленки Al толщиной 1050 Å. 1 — $\varepsilon = \varepsilon_0 T$, полученная из системы уравнений вида (1); 2 — результат независимого определения ε , когда градиент температуры в точках $x = \pm l/2$ равен нулю

Видемана — Франца. Наблюдается хорошее согласие между значениями L для исследованных пленок алюминия и массивных образцов.

Авторы выражают глубокую благодарность проф. Л. С. Палатнику за постоянную помощь при проведении работы и обсуждении ее результатов.

Харьковский политехнический институт
им. Б. И. Ленина

Поступило
13 VI 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Mayer, Physik dünner Schichten, 1, 2, Stuttgart, 1950. ² Л. С. Палатник, А. Т. Пугачев и др., Изв. АН СССР, сер. физ., 31, 478 (1967). ³ А. Е. Вол, Строение и свойства двойных металлических систем, 1, М., 1959. ⁴ В. Е. Микрюков, Теплопроводность и электропроводность металлов и сплавов, М., 1959. ⁵ Физико-химические свойства элементов, под ред. Г. В. Самсонова, Киев, 1965.

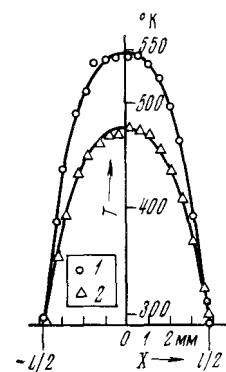


Рис. 1. Температурные поля пленки Al при различных значениях тока: 1 — $I = 259$ ма, 2 — $I = 223$ ма, $t = 1050$ Å, $l = 7,65$ мм, $m = 6,4$ мм

При погрешности измерения температуры $\pm 5^\circ$ это позволило достаточно точно построить температурное поле. Как и следовало ожидать, кривые $T(x)$ для различных I симметричны и значения $T(\pm l/2)$ для неподогреваемых держателей соответствуют комнатной температуре.

В табл. 1 и на рис. 2 представлены результаты определения ряда физических характеристик отожженных пленок алюминия толщиной 10^3 Å по сравнению с массивными образцами.

Рис. 2 свидетельствует о хорошем согласии значений интегральной излучательной способности в полусферу, найденных при различных способах нагрева пленки.

Данные по тепло- и электропроводности, измеренные на одних и тех же образцах, позволили определить число Лоренца L в законе