

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВУХСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ МЕДИ И ХРОМА

Проценко С.И., Черноус А.Н.

Сумской государственной университет

244007, Украина, Сумы, ул. Р.Корсакова, 2

Введение

Двухслойные пленки на основе металлов нашли широкое применение в микроэлектронике [1]. В частности в качестве токопроводящих дорожек используются двухслойные пленки с резко отличающимися удельными сопротивлениями (например в качестве нижнего слоя пленки Cu , U , а верхнего Cu , Al и т.п.). Практическое применение пленок, стимулировало соответствующие экспериментальные исследования их структуры и электрических свойств (см., например, [2-4]).

В настоящей работе приведены результаты исследования особенностей электропроводности в двухслойных пленках $\text{Cu}/\text{Cr}/\text{Ti}$ (Ti -подложка), полученных в технологическом вакууме (-10^3 Па) и отожженных в интервале температур 300–700К (до трех циклов "нагрев - охлаждение").

Для выяснения влияния диффузионных процессов в пленках на отклонения от модели двух параллельных слоев (бипластина) исследуемых тонкопленочных образцов были проведены сравнения экспериментальных результатов с расчетными в рамках макроскопической модели. Рабочие соотношения этой модели получаются после дифференцирования по температуре логарифмического выражения для удельного сопротивления (ρ) двухслойной пленки:

$$\ln \rho = \ln \rho_1 + \ln \rho_2 + \ln(d_1 + d_2) - \ln(\rho_1 d_2 + \rho_2 d_1), \quad (1)$$

где d_1 и d_2 - толщина нижней и верхней пленки, соответственно

В первом приближении соотношение для термического коэффициента сопротивления двухслойной пленки β записывается так [5]

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 - \frac{d_1 \beta_2 \rho_2 + d_2 \beta_1 \rho_1}{d_1 \rho_2 + d_2 \rho_1} \quad (2)$$

В двух предельных случаях $\frac{\rho_2}{\rho_1} < 1$ и $\frac{\rho_2}{\rho_1} > 1$ при $\frac{d_2}{d_1} \rightarrow 1$ соотношение (2) упрощается до вида:

$$\beta \approx \beta_2 - \frac{d_1 \rho_2}{d_2 \rho_1} \beta_1 \quad \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} < 1 \right), \quad (3)$$

$$\beta \approx \beta_1 - \frac{d_2 \rho_1}{d_1 \rho_2} \beta_2 \quad \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} > 1 \right).$$

И, наконец, когда $\frac{\rho_2}{\rho_1} \ll 1$ и $\frac{\rho_2}{\rho_1} \gg 1$, что имеет место при рассмотрении пленочных структур на основе Cu и Cr , последнее выражение можно записать таким образом:

$$\beta \approx \beta_2 \quad \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \ll 1 \right), \quad (3')$$

$$\beta \approx \beta_1 \quad \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \gg 1 \right).$$

Результаты экспериментов, их обработка

Укажем характерные особенности температурной зависимости сопротивления однослойных пленок Cu и Cr и двухслойных на основе этих металлов при термостабилизирующем отжиге в вакууме.

Во всех исследуемых образцах при первом отжиге наблюдается уменьшение сопротивления.

Причем, если в случае пленок Cr зависимость $R(T)$ плавная, то в пленках Cu , Cu/Cr и Cr/Cu , начиная с температуры рекристаллизации ($T_{\text{рек}} \approx 410\text{K}$) пленки Cu , наблюдается более резкое изменение сопротивления (Рис.1). В двухслойных образцах $T_{\text{рек}}$ увеличивается до 480К в результате диффузии элементов из одного слоя в другой. После первого отжигового цикла сопротивление за счет залечивания дефектов кристаллического строения и рекристаллизационных процессов изменяется

Раздел 4

максимально и последующие второй и третий циклы существенных изменений не вносят (таблица 1).

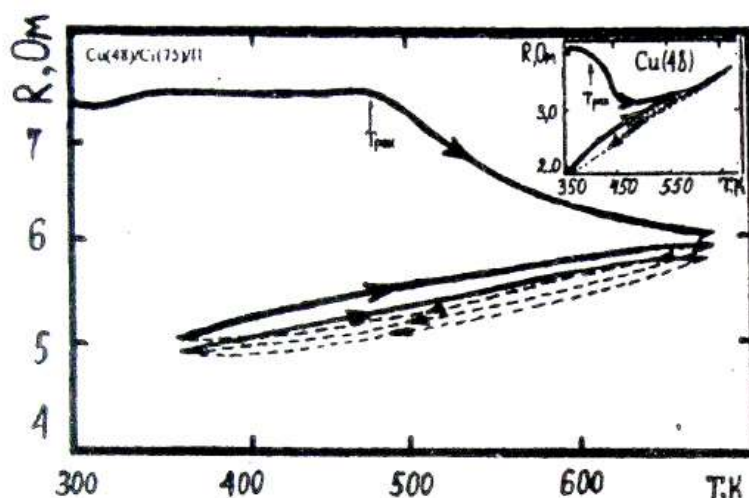


Рис. 1. Зависимость сопротивления однослойных ($\text{Cu}(48)$) и ($\text{Cu}(48)/\text{Cr}(75)$) пленок от температуры.

Таблица 1. Изменение сопротивления пленок после термического отжига

Пленка (толщина, нм)	$\frac{\rho_{\text{н}}}{\rho_0}$	$\frac{\rho_{\text{I}}}{\rho_0}$	$\frac{\rho_{\text{III}}}{\rho_0}$	$\frac{\Delta R_{\text{т}}}{R_{\text{н}}}, \%$	T_{pec}, K	$\Delta S_{\text{pec}} \cdot 10^{-8} \text{Па}$
$\text{Cu}(48)$	2,00	1,04	1,02	53,6	410	8,41
$\text{Cu}(83)$	1,55	1,02	1,01	40,0	410	
$\text{Cr}(20)$	30,15	23,69	24,31	21,9	-	2,61
$\text{Cr}(30)$	18,09	13,57	13,85	18,7	-	
$\text{Cr}(55)$	22,46	19,63	19,97	20,5	-	
$\text{Cr}(180)$	36,50	25,40	23,00	31,6	-	
$\text{Cu}(48)/\text{Cr}(15)/\text{П}$	-	-	-	43,1	470	9,60
$\text{Cu}(48)/\text{Cr}(20)/\text{П}$	-	-	-	50,8	~450	
$\text{Cu}(48)/\text{Cr}(55)/\text{П}$	-	-	-	45,8	450	
$\text{Cu}(48)/\text{Cr}(75)/\text{П}$	-	-	-	33,8	470	

H - начальное значение; I, III - после первого и третьего термостабилизационного циклов, ΔS_{pec} - результирующее макронапряжения при нагревании на 400K.

Здесь же приведены значения T_{pec} и величина результирующих макронапряжений ΔS_{pec} термического происхождения, которые возникают на границах раздела между отдельными слоями и подложкой. Эти данные позволяют, в какой-то мере, объяснить значительное отличие $\Delta R/R_{\text{н}}$ для пленок Cu , Cr и Cu/Cr (отметим в пленках Cr/Cu $\Delta R/R_{\text{н}}$ имеет величину около 70%).

Сравнение экспериментальных и расчетных (по соотношению (3)) значений термического коэффициента сопротивления дает величину

$\frac{\Delta \beta}{\beta_{\text{зс}}} = \frac{\beta_{\text{pec}} - \beta_{\text{зс}}}{\beta_{\text{зс}}} \approx 0,33 + 0,54 (\Delta T = 300 + 400 \text{K})$ или $0,18 + 0,24 (\Delta T = 500 + 600 \text{K})$. Такое отличие можно объяснить частично действием макронапряжений термического

Раздел 4

происхождения, а частично диффузионными процессами атомов из одного слоя в другой.

Литература

1. Технология тонких пленок, т.2. Справочник /Под ред. Л.Майссела и Р.Глемга -Москва: Сов. радио, 1977.-765 с.
2. Munitz A., Komem Y. Structural and resistivity changes in heat-treated Cr-Au films //Thin Solid Films -1976 -V.37, №2. -P.171-179.
3. Kaneko T., Sasaki Ti, Sakuda M. et al. Structures and electrical properties of Cu/Mo metallic multilayered films //I. Phys. F:Met. Phys. -1988. -V. 18, №9. -P. 2053-2060.
4. Bordin G., Gallerani F., Magnaterra A. Electronic transport properties of double layer metallic films //Appl. Phys. A. -1990. -V.50, №2. -p.221-225.
5. Chornous A., Odnodvoretz L., Protsenko I. Size effect in temperature coefficient of resistance in multilayer film's structure of general type/Book of Abstracts 2 International Conference MPSTL'96, June 3-7, 1996, Sumy, 1996. -P.74-75.