

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗОЛОТЫХ ПЛЕНОК

М.М.ПАНАХОВ, А.А.АГАСИЕВ, Д.Г.ДЖАББАРОВ, М.З.МАМЕДОВ

*Бакинский Государственный Университет
AZ 1145, Баку ул.З.Халилова, 23*

Рассмотрен температурный коэффициент электрического сопротивления (ТКС) пленок золота, осажденных на пирекс и окись висмута в интервале от 100К до 300К. Показано, что ТКС в зависимости от материала подложки может иметь положительные и отрицательные значения.
precipitate

Введение

Одним из наиболее важных процессов, мешающих движению электронов в металлах и полупроводниках - это рассеяние носителей заряда колебаниями решетки. Именно взаимодействие между электронами и решеткой ответственно за температурную зависимость электро- и теплопроводности металлов и определяет температурную зависимость подвижности электронов и дырок в полупроводниках. Более того, электрон-решеточное взаимодействие играет решающую роль в других явлениях, имеющих место в твердом теле, таких, как сверхпроводимость, спин-решеточная релаксация в ядерном парамагнитном резонансе, термоэлектрический эффект в металлах и полупроводниках.

Исследование физических процессов, протекающих в тонких пленках металлов, полупроводников и диэлектриков, представляет большой научный и практический интерес. Физические процессы в тонких пленках протекают иначе, чем в массивных материалах или толстых пленках. Такой несущественный для массивных материалов фактор, как шероховатость поверхности, становится для тонких пленок важным, поскольку от шероховатости зависит, например, коэффициент зеркальности отражения электронов поверхностью, что влияет на электросопротивление и другие кинетические характеристики.

В работе рассмотрен температурный коэффициент сопротивления пленок золота, осажденных на пирекс и окись висмута, а так же пленок золота с нанесенным поверхностным слоем SiO₂.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В зависимости от стадии роста пленка может быть гранулированной или островковой (т.е. состоящий из дискретных частиц), пористой (сетчатой) или сплошной [1]. Всякая стадия характеризуется своими собственными электрическими свойствами, причем их следует рассматривать отдельно. Электропроводность гранулированных пленок на много порядков величины меньше, чем у массивного материала, и обычно характеризуется отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Оказалось, что электропроводность экспоненциально зависит от величины $1/T$, свидетельствуя тем самым о том, что механизм проводимости можно термически активировать. Электропроводность носит омический характер в области слабых электрических полей, но становится нелинейной в сильных полях.

Электропроводность металлов прямо пропорциональна длине l , величина которой определяется временем релаксации τ электрон фононного взаимодействия

$\left(\tau = \frac{l}{v}\right)$. После перегруппировки членов следует, что

$$\frac{\sigma}{l} = \frac{e^2}{\sigma\pi^2} \cdot \frac{A}{h}, \quad (1)$$

где A -площадь поверхности Ферми равная $4\pi(3\pi^2n)^{2/3}$ [2]. Поэтому отношение σ/l прямо определяет число электронов проводимости, приходящихся на единичный объем и единичную площадь поверхности Ферми.

В несплошных пленках металлов ТКС могут иметь любой знак и различаться по величине.

Поведение ТКС, подобно проводимости, зависит от микроструктурных особенностей пленки. Но независимо от деталей механизма проводимости, зависящих от температуры, в выражении функции электропроводности (при условии, что промежутки между частицами меняются незначительно) будет $\exp\left(-\frac{E}{kT}\right)$. Учитывая, что изменение длины свободного пробега и проводимости с температурой одинаковы, то получим общее выражение для ТКС пленки:

$$\alpha = -\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{dT} = -\frac{d \ln \sigma}{dT} = -\frac{d \ln \sigma}{dT} = -\frac{E}{kT^2} = -\frac{e^2/\varepsilon r}{kT^2}, \quad (2)$$

где учтено равенство $E = \frac{e^2}{\varepsilon r}$.

Известно, что при изменении температуры расстояние между островками меняется [3].

Если частицы жестко связаны с подложкой, то расширение подложки увеличивает промежуток на $\Delta d = \alpha_s d\Delta T$, где α_s -коэффициент теплового расширения подложки. С другой стороны, если частицы не испытывают стеснения со стороны подложки, то промежуток уменьшается на $\Delta d = (\alpha_m - \alpha_s)r\Delta T$. Здесь ΔT -изменение температуры, r -линейной размер островка, а $(\alpha_m - \alpha_s)$ -разность коэффициентов теплового расширения материалов пленки и подложки. Изменение d влияет прежде всего на коэффициент туннельной прозрачности D . Отношение вероятностей туннелирования при двух различных температурах выражается соотношением

$$\frac{D(T)}{D(0)} = 1 - \frac{4\pi\sqrt{2m\varphi}}{h} \Delta d. \quad (3)$$

Для типичной пленки с $r = 100\text{\AA}$, $d = 10\text{\AA}$, $\varphi = 5\text{эВ}$, $\alpha_m - \alpha_s = 5 \cdot 10^{-6} \text{град}^{-1}$ и $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ находим, что в случае стеснения со стороны подложки изменение составляет $\sim 12\%$, а в случае слабой связи - $1,2\%$.

Пренебрегая в выражении для электропроводности

$$\sigma = n \frac{\alpha^2}{r} e^2 D \exp\left(-\frac{e/\varepsilon r}{kT}\right) \quad (4)$$

малым изменением предэкспоненциального множителя с температурой, можно написать общее выражение для ТКС в виде

$$\alpha = -\frac{d \ln \sigma}{dT} = \frac{4\pi}{n} \sqrt{2m\varphi} \frac{\Delta d}{\Delta T} - \frac{c^2}{kr\varepsilon T} \quad (5)$$

при условии $\alpha_s \gg \alpha_m$ и $d = \alpha_s d\Delta T$.

Таким образом, в зависимости от преобладания того или иного слагаемого можно получить либо положительный, либо отрицательный ТКС различной величины [4]. На Рис.1. представлены данные для золотых пленок, осажденных на подложки из пирекса и Vi_2O_3 . Как видно, ТКС может иметь как положительную,

так отрицательную величину. Более того, с ростом пористости сопротивление отрицательной ТКС быстро возрастает.

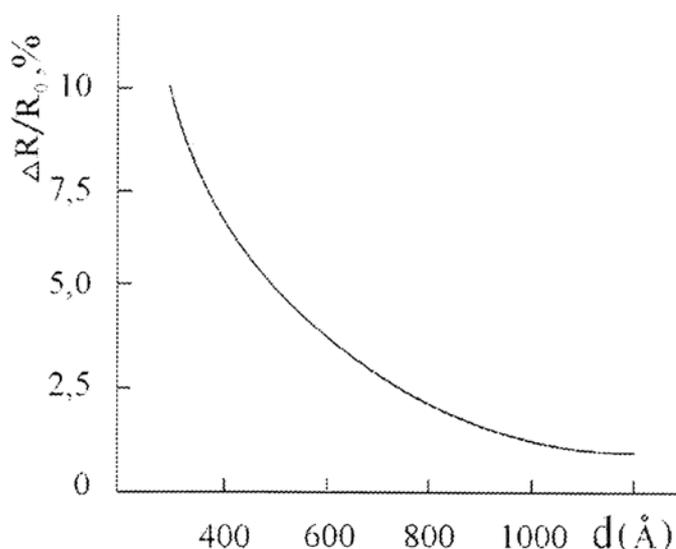


Рис.1.

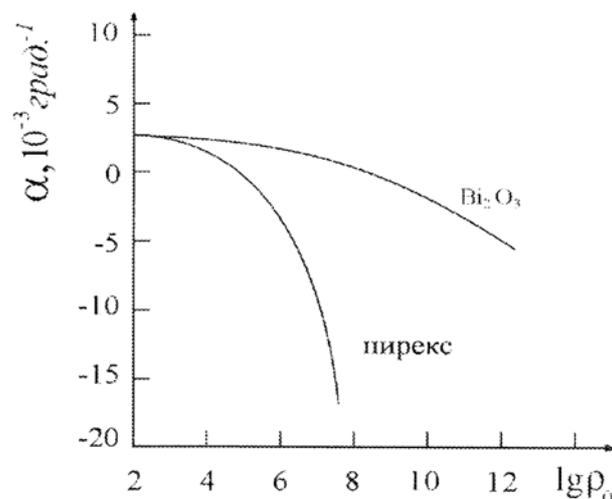


Рис.2.

Изменение температурного коэффициента сопротивления золотых пленок при осаждении на пирекс и окись висмута (измерение проводилось в интервале температур 100÷300К).

Изменение сопротивления поликристаллических пленок золота от толщины, когда есть покрытие из SiO.

Наблюдали повышение сопротивления поликристаллических пленок золота, когда на них сверху наносили тонкий слой SiO. Изменение сопротивления базовых пленок золота есть вклад как зеркального, так и диффузного рассеяния в сопротивление базовой пленки. Величина и знак этого изменения зависят от сочетания пары слоев (база-покрытие), но заметным образом не зависит от механизма рассеяния. Максимальное изменение достигается в большинстве случаев при осаждении сверху очень тонкого слоя. На Рис.2. показано изменение удельного сопротивления базовой пленки в зависимости от толщины. Сопротивление пленки золота возрастает с увеличением толщины верхнего слоя из SiO.

Изменяя размеры частицы и величину зазора, регулируя параметры процесса осаждения, можно получить ТКС нужной величины. Например, пленки, осажденные при очень низких температурах подложки, имеют частицы малых размеров. Последующий отжиг таких пленок приводит к укрупнению частиц вследствие рекристаллизации и срастания, благодаря поверхностной диффузии при контакте частиц.

1. Физика тонких пленок, , Изд-во "Мир", М, Т.2 (1967).
2. М.Займан, Электроны и фононы, ИЛ, 1964.
3. P.G.Borzjak, B.G.Sarbei, R.D.Fedorowitch, Phys.Stat Solidi, 8 (1965) 55.
4. А.А.Агасиев, Формирование и электрофизические свойства пленок сложных металлооксидов (Докт.дисс.), Баку,1995.

QIZIL NAZİK TƏBƏQƏNİN ELEKTRİK MÜQAVİMƏTİNİN TEMPERATUR ƏMSALI

M.M.PƏNAHOV, A.A. AĞASIYEV, S.H.SABBAROV, M.Z.MƏMMƏDOV

Pireks və vismut oksidi üzərinə çəkilmiş nazik təbəqənin müqavimətinin temperatur əmsalına geniş temperatur oblastında (100÷300K) baxılmışdır.

Göstərilmişdir ki, təbəqənin MTƏ-si altlıqdan asılı olaraq müsbət və yaxud mənfi ola bilər.

THE TEMPERATURE COEFFICIENT OF RESISTIVITY OF THE GOLD FILMS

M.M.PANAHOV, A.A.AGASIEV, J.H.JABBAROV, M.Z.MAMMADOV

The temperature coefficient of resistivity (TCR) of films precipitated on the pyrex and the bismuth oxide in the temperature range of 100÷300K has been considered. It was shown that versus the substrate material the TCR values can be positive and negative. The TCR of films precipitated on the pyrex and the bismuth oxide have been determined.

Редактор: М.Алиев