

- назначение, основы устройства и практического использования медицинской аппаратуры, технику безопасности при работе с ней;
- основы математических методов обработки медицинских данных;
- пользоваться основными измерительными приборами;
- работать на физической (электронной) медицинской аппаратуре, представленной в лабораторном практикуме;
- обрабатывать результаты измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медицинская и биологическая физика: типовая учебная программа. — Минск: БГМУ, 2008. — 18 с.
2. Кардиология: междисциплинарная программа для специальности лечебное дело. — Минск: БГМУ, 2010. — 46 с.
3. Пропедевтика внутренних болезней: типовая учебная программа для высших учебных заведений по специальности 1-79 01 01 «Лечебное дело». — Минск: БГМУ, 2010. — 20 с.

УДК615. 4786/7: 615.849.19

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Кузнецов Б. К., Федосенко Т. Н., Сергиенко М. И., Федосенко Н. Н.

Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет»

Учреждение образования

«Гомельский университет имени Франциска Скорины»

г. Гомель, Республика Беларусь

Введение

В соответствии с современной квантовой теорией электрическая проводимость в металлах обусловлена электронами. Электрическое сопротивление металлов возникает в результате рассеяния электронов решеткой металла. Обладающие волновыми свойствами электроны проходят через совершенную решетку без рассеяния (без затухания), поэтому удельное сопротивление ρ является мерой совершенства структуры кристаллической решетки. В действительности, совершенных решеток не существует. Имеющие место нарушения химического состава (наличие атомов примеси), а также структурные дефекты (вакансии, атомы внедрения, дислокации и т. д.) служат источниками рассеяния электронов. Следовательно, удельное сопротивление повышается с ростом концентрации дефектов. Типичными величинами за счет вакансий и внедрений являются $\sim 10^{-6}$ Ом \times см на 1 атомный процент дефектов, а за счет дислокаций — 2×10^{-19} Ом-см на одну дислокацию на см². Установлено, что удельное сопротивление пленок особенно чувствительно к наличию дефектов, к примеру, в пленках имеет место 10/100 краткое увеличение удельного сопротивления на один атомный процент примеси по сравнению с массивным материалом.

Решетка, которая не имеет структурных дефектов, также не может считаться абсолютно совершенной при любой температуре, так как ее атомы совершают колебательное движение около своих положений равновесия; иначе говоря, в кристалле при любой $T \neq 0$ К существуют фононы, являющиеся источником рассеяния электронов. Минимальная длина волны фонона имеет порядок межатомного расстояния. Соответствующая ей частота ν_{\max} определяет дебаевскую температуру кристалла (формула 1):

$$\theta = \frac{h\nu_{\max}}{k} \quad (1)$$

где k — постоянная Больцмана.

Установлено, что $\rho \approx T$ при $T \gg \theta$ и $\rho \approx T^n$ ($n \approx 5$) при $T \ll \theta$.

Так как дебаевская температура θ для многих металлов не превышает комнатную температуру, то можно считать, что в обычных условиях (без охлаждения) удельное сопротивление металлов пропорционально температуре.

Анализ природы электрического сопротивления в металлах привел к открытию правила (правило Маттисена), в соответствии с которым удельное сопротивление образца представляет собой сумму удельных сопротивлений, обусловленных фононами ρ_T и дефектами ρ_g , т. е. (формула 2):

$$\rho = \rho_T + \rho_g \quad (2)$$

После ввода температурного коэффициента сопротивления (формула 3):

$$\alpha = \frac{d\rho}{\rho dT} \quad \text{с учетом (1) получим} \quad \alpha = \frac{d\rho_T}{\rho dT} \quad \text{или} \quad \alpha_\rho = \frac{d\rho_T}{dT} = const, \quad (3)$$

Так как в обычных условиях $\rho \sim T$. Запись правила Маттисена показывает, что с увеличением ρ данного материала его α падает. Его удобно использовать для определения удельного сопротивления пленок, когда удобнее и легче измерить α .

Для характеристики электрических свойств пленок введено специфическое понятие — сопротивление слоя R_s . Пусть толщина пленки — d , а ширина и длина измеряемого участка — b и l , соответственно. Тогда электрическое сопротивление этого участка выразится (формула 4):

$$R = \frac{\rho \cdot l}{d \cdot b} \quad (3)$$

Если выбрать $l = b$, то $R = \frac{\rho}{d} = R_s$ — сопротивление слоя, измеряемое в Ом (Ом на квадрат). Для измерения R_s разработаны специальные методы, о которых будет сказано ниже. Измерив R_s и d , легко определить удельное сопротивление пленки (формула 4)

На удельное сопротивление пленки влияет ее толщина. Дело в том, что незеркальные отражения электронов от поверхностей пленки также являются источником их рассеяния. По мере уменьшения толщины пленки число соударений электронов с поверхностью начинает составлять все более значительную часть из общего количества соударений. Таким образом, удельное сопротивление пленки заметно возрастает с уменьшением ее толщины, когда толщина становится сравнимой со средним свободным пробегом электронов. Эксперименты показали, что поверхностное рассеяние электронов при комнатной температуре оказывается существенным, если $d < 30$ нм, тогда как при $T \sim 200$ °С влияние поверхностного рассеяния обнаруживается при $d \sim 300$ нм.

Теория электропроводности тонких металлических пленок в условиях, когда средняя длина свободного пробега λ электронов соизмерима с толщиной пленки d , построена Фуксом. В этой теории введен параметр зеркальности P , характеризующий долю электронов, зеркально отраженных от поверхности. В рамках этой теории в предположении, что P одинаков для обеих поверхностей пленки и не зависит от траекторий электронов, а λ является изотропной величиной, получены следующие выражения для удельного сопротивления ρ_d и температурного коэффициента сопротивления α_d , как функций толщины пленки d (формула 5):

$$\text{При } K = \frac{d}{\lambda} \ll 1 \quad \frac{\rho_d}{\rho_0} \approx \frac{4}{3} \frac{1}{1+2P} \frac{1}{K \ln \frac{1}{K}}; \quad \frac{\alpha_d}{\alpha_0} \approx \frac{1}{\ln \frac{1}{K}} + 0.423; \quad (4)$$

при $K \geq 1$ (формула 6):

$$\frac{\rho_d}{\rho_0} \approx 1 + \frac{3}{8} \left(-P \frac{1}{K} \right); \quad \frac{\alpha_d}{\alpha_0} \approx 1 - \frac{3}{8} \left(-P \frac{1}{K} \right) \quad (6)$$

Здесь ρ_0 и α_0 — удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления в массивном образце (т. е. при $\alpha \rightarrow \infty$). Зависимости (формула 5) графически выражаются кривыми, представленными на рисунке 1.

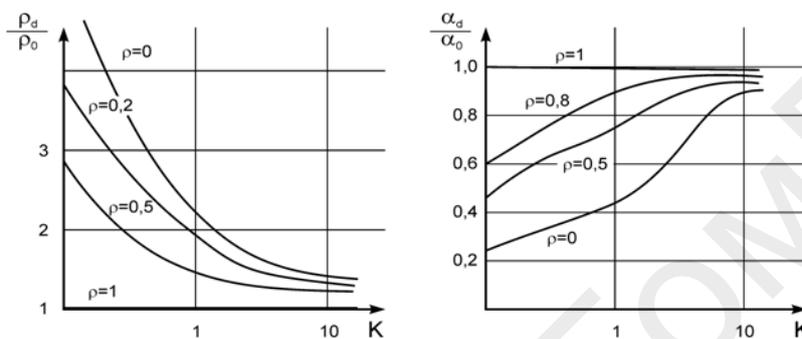


Рисунок 1 — Влияние толщины пленки на удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления

Экспериментальная проверка теории Фукса для большой совокупности металлических пленок дала удовлетворительные результаты.

До сих пор полагалось (и этот факт отражен в правиле Маттисена), что температурный коэффициент сопротивления имеет лишь положительные значения. Это означает, что с ростом температуры удельное сопротивление пленок увеличивается. Однако эксперименты, проведенные для очень тонких пленок, показали, что α может принимать и отрицательные значения. Так, для тонких золотых пленок получено $\alpha \approx -0,017/^\circ\text{C}$. В этих случаях зависимость электрического сопротивления пленок от температуры может быть описана следующим выражением (формула 7):

$$R = AT^{-\Phi} e^{\frac{\theta}{kT}} \quad (7)$$

где A , Φ , θ — постоянные для данной пленки.

Анализ наблюдаемого явления привел к следующему объяснению. Очень тонкие пленки ($\sim 1/10$ нм толщиной) находятся еще на стадии формирования и имеют островковую структуру, т. е. не являются сплошными для электронов. При повышении температуры создается энергия активации, необходимая для преодоления электронами промежутков между островками, и сопротивление падает. Этот факт и характеризуется отрицательным значением α .

Отрицательные значения температурного коэффициента сопротивления проявляются и в случае сплошных металлических пленок, прошедших в своем формировании стадию островков и имеющих толщину 100 нм. Это имеет место при значительной концентрации примесей в пленке. В данном случае существенную роль играют границы зерен. Примеси, захваченные в пленку во время ее осаждения, впоследствии мигрируют к границам зерен, где их скопление обуславливает прерывистый характер в структуре пленки. Так же как и в случае островковых пленок, преодоление границ зерен требует дополнительной энергии активации, которая может быть обеспечена повышением температуры, т. е. электрическое сопротивление пленки падает с ростом температуры.

Электрические свойства металлических пленок существенно изменяются в результате термообработки пленок (отжига). Во время отжига происходит движение структурных дефектов, активированное повышением температуры. В результате близко расположенные вакансии и дефекты внедрения взаимно компенсируются, примеси и дислокации перемещаются к поверхностям пленки и структура пленки становится более совершенной. В результате отжига удельное сопротивление пленок падает.

С другой стороны, нагревание (даже незначительное) металлической пленки на воздухе часто приводит к увеличению ее удельного сопротивления. Это происходит вследствие окисления металла пленки, причем, как показали исследования, не только на ее поверхности, но и на границах зерен за счет диффузии кислорода внутрь пленки. Для практических приложений применяют четырехзондовый метод измерения удельного сопротивления.

На плоской поверхности образца вдоль прямой линии располагают четыре металлических зонда с малой площадью соприкосновения. Расстояние между зондами равно S_1, S_2, S_3 . Через два внешних зонда 1 и 4 пропускают электрический ток I_{14} , на двух внутренних зондах 2 и 3 измеряют разность потенциалов U_{23} (формула 8). По измеренным значениям разности потенциалов между зондами 2 и 3 и тока, протекающего через зонды 1 и 4, можно определить удельное сопротивление образца.

Сформулируем предположения, на которых основан четырехзондовый метод измерения удельного сопротивления: 1) зонды расположены на плоской поверхности однородного изотропного образца полубесконечного объема; 2) зонды имеют контакты с поверхностью образца в точках, которые расположены вдоль прямой линии; 3) инжекция носителей заряда в объем образца отсутствует.

По принципу суперпозиции электрический потенциал в любой точке образца равен сумме потенциалов, создаваемых в этой точке током каждого зонда. При этом потенциал имеет положительный знак для тока, втекающего в образец (зонд 1) и отрицательный знак для тока, вытекающего из образца (зонд 4). Для зондов, расстояние между которыми S_1, S_2, S_3 потенциалы измерительных зондов 2 и 3.

$$U_2 = \frac{I_{14}\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_2 + S_3} \right), \quad U_3 = \frac{I_{14}\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{S_1 + S_2} - \frac{1}{S_3} \right).$$

Разность потенциалов:

$$U_{23} = U_2 - U_3 = \frac{I_{14}\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_2 + S_3} - \frac{1}{S_1 + S_2} + \frac{1}{S_3} \right) \quad (8)$$

Согласно последнему уравнению, удельное сопротивление образца

$$\rho = \frac{2\pi}{\frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_2 + S_3} - \frac{1}{S_1 + S_2} + \frac{1}{S_3}} \frac{U_{23}}{I_{14}}$$

Если расстояние между зондами одинаковы, т. е. $S_1 = S_2 = S_3 = S$, (формула 9):

$$\rho = 2\pi S \frac{U_{23}}{I_{14}} \quad (9)$$

Используя другие комбинации включения токовых и потенциальных зондов, можно получить аналогичные выражения для удельного сопротивления, которые отличаются от последнего значениями числовых коэффициентов. Эти значения приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Выражения для удельного сопротивления с использованием включений токовых и потенциальных зондов

№ п/п	Зонды	Ток	Зонды	Напряжение	Числовой коэффициент
1	1–4	I14	2–3	U23	2π
2	1–2	I12	3–4	U34	6π
3	1–3	I13	2–4	U24	3π
4	2–3	I23	1–4	U14	2π
5	2–4	I24	1–3	U24	3π
6	3–4	I34	1–2	U12	6π

Как следует из таблицы 1, предпочтительны комбинации включения зондов 1 и 4, так как они обеспечивают максимальное регистрируемое напряжение. Линейное расположение зондов на поверхности не является единственно возможным. Можно, например, использовать систему четырех зондов, расположенных по вершинам квадрата. В этом случае ток протекает через зонды, образующие одну из сторон квадрата, например, через зонды 1 и 2, а напряжение измеряют на другой паре зондов 3 и 4. При этом удельное сопротивление определяется формулой (формула 10):

$$\rho = \frac{2\pi S}{2 - \sqrt{2}} \frac{U_{34}}{I_{12}} \quad (10)$$

Расположение зондов по вершинам квадрата обеспечивает снижение случайных ошибок примерно в 2 раза. Полученные результаты позволяют оценить качество пленок, особенно для применений в медицинской технике (напыление хирургического инструментария, зубопротезирования и т. д.), по значению удельного сопротивления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология тонких пленок / под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. — М.: «Сов. радио», 1977. — Т. 2. — 768 с.
2. Ефимов, И. Е. Микроэлектроника / И. Е. Ефимов М. Я. Козырь, Ю.И. Горбунов. — М.: «Высшая школа», 1986. — 464 с.

УДК 618.19-006.6-076

ИММУНОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У ЖЕНЩИН ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Кузнецов О. Е., Курстак И. А., Ляликов С. А., Басинский В. А., Савицкий С. Э.

Учреждение здравоохранения
«Гродненская областная клиническая больница»
Учреждение образования
«Гродненский государственный медицинский университет»
г. Гродно, Республика Беларусь

Введение

Актуальность борьбы со злокачественными новообразованиями определяется трудностями своевременной диагностики, дороговизной и сложностью лечения, высоким уровнем летальности пациентов [1]. Широкая распространенность онкопатологии делает проблему изучения механизмов онкогенеза, профилактики, ранней диагностики злокачественных опухолей одной из основных в современном здравоохранении [2]. В мире ежегодно регистрируется около 8 млн новых случаев злокачественных новообразований и более 5,2 млн смертей от них, в Беларуси в 2006 г. выявлено 36 442 пациента с впервые в жизни установленным диагнозом [3, 4]. Среди женского населения наиболее часто регистрируется рак молочной железы (РМЖ), далее, по частоте встречаемости — злокачественные новообразования кожи, желудка, ободочной кишки, тела и шейки матки.