

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 21.08.2023 11:28:10

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d59e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)**

Кафедра космического приборостроения и систем связи

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

О. Г. Локтионова



2023 г.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ РЕЗИСТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Методические указания по выполнению лабораторной работы № 1  
по дисциплине «Конструкционные и биоматериалы»

Курск 2023

УДК 621.382

Составитель О.Е. Ключникова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры КПиСС *Е.О. Брежнева*

**Исследование температурной зависимости электропроводности резистивных материалов: методические указания по выполнению лабораторной работы № 1 по дисциплине «Конструкционные и биоматериалы» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.Е. Ключникова. – Курск, 2023. – 10 с.**

В методических указаниях излагаются основные понятия и определения и рекомендации по подготовке к выполнению лабораторной работы, её проведению и оформлению результатов опытов.

Методические указания соответствуют требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению «Биотехнические системы и технологии» и рабочей программы дисциплины «Конструкционные и биоматериалы».

Предназначены для студентов направления подготовки бакалавров 12.03.04 Биотехнические системы и технологии очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции.

Подписано печать \_\_\_\_\_ . Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 0,58. Уч.-изд. л. 0,52 . Тираж 100 экз. Заказ *300* Бесплатно  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение влияния температуры на электропроводность резистивных материалов, в том числе тонко- и толстоплёночных, неметаллических материалов.

2. Изучение зависимости электропроводности тонких плёнок от их толщины.

3. Освоение методики экспериментального определения электропроводности низкоомных и высокоомных материалов.

4. Освоение методики обработки экспериментальных данных и построения эмпирических зависимостей.

## 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В качестве резистивных материалов используют металлы и их сплавы, а также неметаллические проводящие материалы. Для объяснения электропроводности металлов используется зонная и квантовая теория.

К важнейшим параметрам, характеризующим свойства резистивных материалов относятся:

– удельная проводимость или обратная ей величина удельное сопротивление;

– температурный коэффициент удельного сопротивления ТК  $\rho$  или  $\alpha$ .

Величина удельного сопротивления определяется по соотношению:

$$\rho = \frac{RS}{l}, \text{ (мкОм} \cdot \text{м)}$$

где  $R$  (Ом) – сопротивление проводника длиной  $l$  с постоянным поперечным сечением  $S$  ( $\text{м}^2$ ).

При изменении температуры электрическое сопротивление материалов также изменяется.

Сопротивление резистивных материалов в диапазоне температур выражается соотношением

$$R_T = R_0(1 + \alpha\theta + \beta\theta^2),$$

где  $R_0$  – сопротивление при  $0^\circ\text{C}$ ;

$\theta$  – температура в градусах Цельсия;

$\alpha$ ,  $\beta$  – температурные коэффициенты электрического сопротивления.

Для большинства металлов  $\alpha \approx 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$ .

Электрические свойства тонких плёнок металлов и сплавов могут значительно отличаться от свойств объёмных образцов исходных проводниковых материалов. Это связано, во-первых, с особенностями структуры тонкопленочного материала, во-вторых, с проявлением размерных эффектов.

У большинства плёнок в зависимости удельного сопротивления от толщины плёнки можно выделить три характерные области. При толщине плёнки около 0,1 мкм и выше удельное сопротивление близко к сопротивлению массивного образца, при толщине плёнки  $10^{-1} - 10^{-2}$  мкм – сопротивление плёнки существенно больше сопротивления массивного образца, а температурный коэффициент сопротивления приближается к нулю, при толщине плёнки менее  $10^{-2}$  мкм – сопротивление плёнки очень высокое; коэффициент удельного сопротивления – отрицателен.

Из-за влияния множества случайных факторов на практике трудно получить точное совпадение значений удельного сопротивления для плёнок одинаковой толщины. Поэтому для сравнительной оценки проводящих свойств тонких плёнок пользуются параметром сопротивление квадрата  $R_r$  (или сопротивление на безразмерный квадрат, или удельное поверхностное сопротивление) численно равным сопротивлению участка плёнки, длина которого равна его ширине при прохождении тока через две его противоположные грани параллельно поверхности подложки:

$$R_r = \frac{\rho}{\delta}, \text{ (Ом/квadrat)}$$

где  $\delta$  – толщина плёнки.

Подбором толщины плёнки можно изменять  $R_r$  независимо от удельного сопротивления. Вместе с тем, для определения  $R_r$  не

требуется измерение толщины плёнки. Ввиду того, что  $R_r$  не зависит от величины квадрата, сопротивление тонкоплёночного резистора рассчитывается по формуле:

$$R = R_r l_0 / d_0,$$

где  $l_0$  – длина резистора в направлении прохождения тока;

$d_0$  – ширина плёнки.

### 3. ПОДГОТОВКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

При подготовке к лабораторной работе необходимо проработать следующие вопросы:

1. В чём заключается физическая природа электропроводности материалов.

2. Как и почему изменяется удельное сопротивление материалов с повышением температуры.

3. В чём отличие электрических свойств тонких плёнок по сравнению со свойствами объёмных образцов исходных проводниковых материалов.

4. Какие виды электропроводности характерны для проводниковых материалов в различных агрегатных состояниях.

5. Изучить лабораторную установку и методику проведения измерений на ней.

### 4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка включает в себя прибор универсальный измерительный Р4833, сушильный шкаф, специальные соединительные провода. Прибор Р4833 представляет собой мост постоянного тока с пределами измерений  $10^{-4} - 10^6$  Ом. Погрешность измерения:  $10^{-4} - 10^{-3}$  Ом  $\pm 50\%$ ;  $10^{-3} - 10^{-2}$  Ом  $\pm 20\%$ ;  $10^{-2} - 10^{-1}$  Ом  $\pm 0,5\%$ ;  $10^{-1} - 1$  Ом  $\pm 0,2\%$ ;  $1 - 10^4$  Ом  $\pm 0,1\%$ ;  $10^4 - 10^5$  Ом  $\pm 0,5\%$ ;  $10^5 - 10^6$  Ом  $\pm 5\%$ . Рабочее положение прибора – горизонтальное. Время установления рабочего режима прибора – 15 мин после включения питания.

Шкаф сушильный позволяет автоматически поддерживать температуру в рабочей камере от +40 до +200<sup>o</sup>C. Регулирование температуры автоматическое с точностью не менее ±1<sup>o</sup>C. Отклонения температуры в разных местах рабочей камеры от температуры в центральной зоне шкафа – не более ±7<sup>o</sup>C.

Время разогрева шкафа до 200<sup>o</sup>C не более 95 минут.

## **5. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В лабораторной работе исследуются резисторы с проводящим слоем из различных материалов и тонкоплёночные резисторы с различной толщиной плёнки.

## **6. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ**

1. Получить у преподавателя конкретные образцы резистивных материалов.

2. Поместить образцы в сушильный шкаф и, изменяя температуру в рабочей камере, зафиксировать измерения сопротивления образцов. Результаты измерений занести в таблицу.

3. Построить графики зависимости сопротивления резисторов от температуры. На графиках нанести теоретическую зависимость. Определить из графиков значения температурного коэффициента.

4. Обработать результаты эксперимента методом наименьших квадратов. Определить коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$ .

5. Построить на графиках линию регрессии.

## **7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ**

### **ВНИМАНИЕ!**

Перед началом работы проверить надёжность заземления моста и сушильного шкафа. Категорически запрещается работать с незаземлёнными приборами.

### 7.1. Подготовка моста к работе РУ053

Перед началом работы должны быть отжаты кнопки “МО - 4”, “П”, “П mV”, “Л”, “ $\Delta R_x$ ”, “ $\Xi R_x$ ”, “ $\square$ ”, “ $\square$ ”, остальные кнопки и другие органы управления – в любом положении.

Установить корректором стрелку гальванометра на нуль.

### 7.2. Измерение сопротивлений от $10^2$ до $10^6$ Ом

- Нажать кнопки “Г”, “БМ”. Включите шнур питания в сеть и нажмите кнопку “СЕТЬ”;
- Нажать кнопку “МО-2” и “±”;
- Установить выбранный множитель N на переключателе плеч отношения “xN”;
- Подключить измеряемое сопротивление к зажимам “П1” и “П2”;
- Установить стрелку гальванометра на нуль вращением ручек декадных переключателей вначале при нажатой кнопке “ $\square$ ”, а затем при нажатой кнопке “ $\square$ ”;
- Определить результат измерения по формуле

$$R_x = N \cdot R_M,$$

где  $R_x$  – величина измеряемого сопротивления, Ом;

$N$  – отношение сопротивлений плеч отношения;

$R_M = R_{CP} + R_0$  – величина сопротивления плеч сравнения, Ом;

- Установить кнопки на приборе в соответствии с п.п. 1.1.

### 7.3. Измерение сопротивлений от $10^{-4}$ до $10^2$ Ом

- Выполнить операции по п.2.1.
- Нажать кнопки “МО-4” и “±”.
- Подключить измеряемое сопротивление к зажимам “Т1”, “Т2”, “П1”, “П2” в соответствии со схемой рис.1/1.
- Выполнить операции по п.п. 2.2, 2.5, 2.6, 2.7

### 7.4. Порядок работы с сушильным шкафом

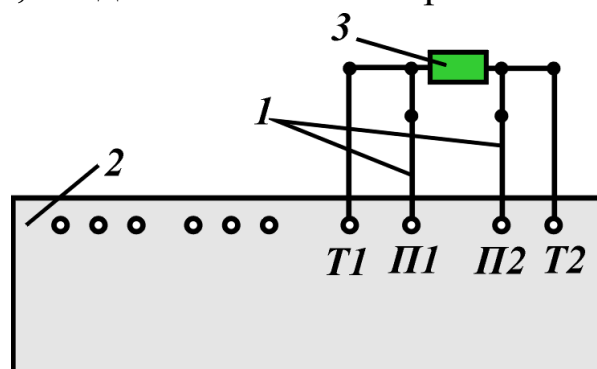
- Для нагрева шкафа до требуемой температуры необходимо

(за 10 – 12<sup>0</sup>С до требуемой температуры по показаниям контрольного термометра) ручку терморегулятора медленно поворачивать против часовой стрелки до тех пор, пока не отключится сигнальная лампа.

– После поворота терморегулятора до положения, при котором сигнальная лампа отключится, установку ручки не изменять.

– Если по истечению времени температуры по контрольному термометру шкафа превышает заданную, ручку терморегулятора следует немного повернуть против часовой стрелки, а если температура установилась ниже требуемой – по часовой стрелке.

– Работа шкафа контролируется сигнальной лампой. Если сигнальная лампа включена, то включены и нагреватели и, наоборот; лампа отключается, когда отключены нагреватели.



- 1- калиброванный провод сопротивлением 0,0012 – 0,0015 Ом;  
 2- мост Р4833;  
 3- измеряемое сопротивление.

Рис. 1.1. Схема измерения сопротивлений от 10<sup>-4</sup> до 10<sup>2</sup> Ом

### 7.5. Методика получения эмпирических формул методом наименьших квадратов

При обработке экспериментальных данных для установления зависимости между входными и выходными величинами очень часто прибегают к построению эмпирических зависимостей, представленных в виде многочленов, расположенных по восходящим степеням независимого переменного и одновременно линейных по отношению ко всем постоянным коэффициентам, т.е. в следующем виде:

$$y = f(x) = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_m x^m,$$

где  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$  - постоянные коэффициенты, подлежащие



определению.

Для определения коэффициентов  $\beta$  очень часто применяют метод наименьших квадратов, который может быть применён и также для построения зависимостей типа  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_i)$ .

Так как результаты, полученные экспериментальным путем, имеют вид линейной зависимости, для определения коэффициентов  $\beta$  составляем матрицу наблюдений в следующем виде:

$$F = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^m \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^m \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^m \end{pmatrix},$$

где  $x_i$  – результат  $i$ -ого эксперимента;

$n$  – число экспериментов;

$m$  – порядок члена, для которого определяется соответствующий постоянный коэффициент.

1. Записывают транспонированную матрицу

$$F^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_1^m & x_2^m & \dots & x_n^m \end{pmatrix}.$$

2. Находят произведение  $F^T \cdot F$ .

3. Находят матрицу, обратную матрице  $F^T \cdot F$ , т.е.  $(F^T \cdot F)^{-1}$

4. Находят матрицу коэффициентов  $\beta$  по формуле

$$\beta = (F^T \cdot F)^{-1} \cdot F^T \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix},$$

где  $y$  – экспериментальные значения выходной величины.

5. Подставляют полученные значения  $\beta$  в эмпирическую формулу.

Эти расчёты, достаточно трудоёмкие при ручной обработке, легко реализуются при обработке на ЭВМ, поэтому все вычисления рекомендуется проводить с помощью Microsoft Office Excel или MatLab.

## 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды проводников электрического тока вам известны?
2. В чём состоит физическая природа электропроводности металлов?
3. Почему удельное сопротивление металлов растёт с повышением температуры?
4. Что называется температурным коэффициентом удельного сопротивления? Является ли он константой для данного металла?
5. Как зависит удельное сопротивление тонких металлических плёнок от их толщины и почему?
6. Как можно классифицировать проводниковые материалы?
7. Какие металлические сплавы высокого сопротивления нашли применение в электронной технике и для каких целей?
8. Назовите неметаллические проводниковые материалы и приведите примеры их применения в электронной технике.

## 9. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы материаловедения : [ Электронный ресурс ] : учебное пособие / Е.А. Астафьева, Ф.М. Носков, В.И. Аникина, В.С. Казаков, О.Ю. Фоменко ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Сибирский Федеральный университет. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2013. – 152 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364047>.
2. Биомедицинское материаловедение [Текст]: учебное пособие / С. П. Вихров [и др.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 383 с.
3. Корневский, Николай Алексеевич. Биотехнические системы медицинского назначения [Текст]: учебник / Н. А. Корневский, Е. П. Попечителей. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 688 с. – Текст : непосредственный.