

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 ρ или α .

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 (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°C ;

θ – температура в градусах Цельсия;

α , β – 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 δ – 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^oC. Регулирование температуры автоматическое с точностью не менее ±1^oC. Отклонения температуры в разных местах рабочей камеры от температуры в центральной зоне шкафа – не более ±7^oC.

Время разогрева шкафа до 200^oC 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 α и β .

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”, “ ΔR_x ”, “ ΞR_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 декадовых 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

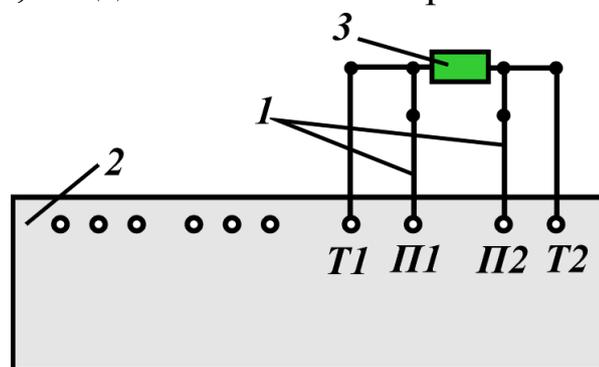
- Для нагрева шкафа до требуемой температуры необходимо

(за 10 – 12⁰С 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 10⁻⁴ до 10² 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 β 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 β 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 β 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 β 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.