



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Брянский государственный технический университет

Кафедра «Общей физики»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № _____

(название лабораторной работы)

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О)

Отметка о допуске: _____

Отметка о защите: _____

Брянск 20 ____

Лабораторная работа № 27.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ

Цель работы: научиться определять зависимость сопротивления металлов и полупроводников от температуры, рассчитывать коэффициент температурного сопротивления проводника.

Теоретическое введение

Все твердые тела по своим электрическим свойствам делятся на проводники, полупроводники и диэлектрики. Проводимость проводников обусловлена наличием в них свободных электронов.

Важной характеристикой проводимости материалов является электрическое сопротивление R – скалярная физическая величина, характеризующая свойство проводника противодействовать пропусканию электрического тока и равная в соответствии с законом Ома отношению напряжения U на концах проводника к силе тока I , протекающего по нему:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

Сопротивление проводников, наличие электрического тока в которых приводит к выделению тепла, называется омическим или активным.

Сопротивление однородного проводника зависит от материала проводника и его геометрических размеров и может быть рассчитано по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2)$$

где l – длина проводника,

S – площадь поперечного сечения проводника,

ρ – удельное электрическое сопротивление, характеризующее материал проводника и зависящее от материала проводника и его температуры (Ом·м).

Электрическое сопротивление измеряют омметрами и измерительными мостами. Единица электрического сопротивления в СИ – Ом.

Электрическое сопротивление металлов связано с рассеянием электронов проводимости на тепловых колебаниях кристаллической решетки и структурных неоднородностях. Поэтому сопротивление металлов зависит от температуры. С большой степенью точности можно считать, что зависимость сопротивления металлов от температуры является линейной:

$$R = R_0(1 + \alpha t), \quad (3)$$

где R – сопротивление при определенной температуре t , выраженной в °С,

R_0 – сопротивление при 0°С,

α – температурный коэффициент сопротивления (1/°С или 1/К).

В классической теории проводимости вводится так называемая удельная электропроводность σ , равная обратному удельному электрическому сопротивлению ρ , т.е. $\sigma = \frac{1}{\rho}$. Единицу, обратную ому, называют сименсом (См), поэтому единицей удельной электропроводности σ является сименс на метр (См/м).

В соответствии с классической электронной теорией, удельная электропроводность σ определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{e^2 \cdot n_o \cdot \lambda}{m_e \cdot u}, \quad (4)$$

где e и m_e – заряд и масса электрона;

n_o – число свободных электронов в единице объема;

λ – средняя длина свободного пробега электронов;

u – средняя скорость теплового движения электронов.

Средняя скорость теплового движения электронов (u) в металлах от температуры практически не зависит. Средняя длина свободного пробега с ростом температуры уменьшается, так как увеличивается колебательное движение положительных ионов, составляющих кристаллическую решетку и соответственно увеличивается число столкновений электронов с ионами, т.е. средняя длина свободного пробега электронов $\lambda \sim 1/T$.

Следовательно, с ростом температуры проводимость проводника уменьшается $\sigma \sim 1/T$.

Проводимость чистого полупроводника (собственная), согласно зонной теории твердых тел, меняется с изменением температуры по следующему закону:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{\Delta W}{2kT}}, \quad (5)$$

где σ_0 – постоянный коэффициент, соответствующий электропроводности полупроводника при $T \rightarrow 0$;

ΔW – ширина запрещенной зоны для данного полупроводника;

k – постоянная Больцмана.

Используя зависимость $\sigma = \frac{1}{\rho}$, формулу (5) можно выразить в следующем виде:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_0} \cdot e^{-\frac{\Delta W}{2kT}}. \quad (6)$$

Отсюда зависимость сопротивления R полупроводников от температуры имеет следующий вид:

$$R = R_0 e^{\frac{\Delta W}{2kT}}, \quad (7)$$

т.е. с ростом температуры сопротивление полупроводника экспоненциально убывает.

С повышением температуры растет число электронов, энергия которых больше энергии активации ΔW (ширины запрещенной зоны), т.е. достаточна для их перехода из заполненной (валентной) зоны в зону проводимости. Поэтому с ростом температуры проводимость чистых полупроводников σ растет, что эквивалентно уменьшению их сопротивления R .

Если в полупроводнике есть примеси, то в случае донорной примеси с повышением температуры первыми будут переходить в зону проводимости электроны атомов примеси. Для них энергия активации $\Delta W'$, равная по шкале энергий расстоянию от донорного уровня до дна зоны проводимости, гораздо меньше ширины запрещенной зоны ΔW . А с повышением температуры, когда истощаются примеси, в зону проводимости переходят электроны атомов полупроводника. При добавке акцепторной примеси с повышением температуры электроны полупроводника, перешедшие на акцепторный уровень из валентной зоны, будут первыми переходить в зону проводимости. Следовательно, примесная проводимость определяется по формуле

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_0} \cdot e^{-\frac{\Delta W'}{2kT}}, \quad (8)$$

где $\Delta W'$ – энергия активации.

Фигурирующий в уравнении (3) температурный коэффициент сопротивления α – это скалярная величина, численно равная относительному изменению сопротивления проводника при изменении его температуры на 1 К:

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R_0} \cdot \frac{1}{\Delta t}.$$

Для чистых металлов температурный коэффициент представляет величину порядка $\alpha \approx 0,004 \text{ K}^{-1}$. Для некоторых электротехнических сплавов (манганин, константан) α настолько мало, что им можно пренебречь и в достаточно широком интервале температур считать сопротивление независимым от температуры.

Из формулы (3) можно выразить температурный коэффициент сопротивления α :

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0} \cdot \frac{1}{t},$$

т.е. для определения α необходимо знать сопротивление R_0 при 0°C , которое, как правило, неизвестно. Поэтому для определения α можно воспользоваться различными методами.

Первый метод состоит в том, чтобы использовать два значения сопротивления, измеренного при двух различных температурах. В соответствии с формулой (3), можно записать:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha t_1) \quad (9)$$

$$R_2 = R_0(1 + \alpha t_2) \quad (10)$$

где R_1 – сопротивление проводника при температуре t_1 (°C), R_2 – сопротивление этого же проводника при температуре t_2 (°C).

Решая систему уравнений (9)–(10), получим формулу для расчета температурного коэффициента сопротивления проводника α :

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1}. \quad (11)$$

Несмотря на кажущуюся простоту, этот метод не очень хорош, т.к. возможные случайные ошибки при измерениях сопротивления и температуры могут дать значительную ошибку в определении α .

Второй метод заключается в нахождении температурного коэффициента сопротивления с помощью графика зависимости сопротивления проводника от температуры. Для построения графика необходимо экспериментально определить несколько значений сопротивления (10–15 значений) при различных температурах.

Температуру следует изменять с постоянным шагом. Экспериментальные данные изображают на координатной плоскости определенными маркерами ($\times$, $\bullet$, $\diamond$, ∇ – крестиками, точками, ромбиками и т.д.). Масштабы по осям выбирают так, чтобы получить примерно равные размеры по длине и высоте. Теоретическая зависимость должна иметь на нашем графике вид прямой линии как показано на Рис. 1.

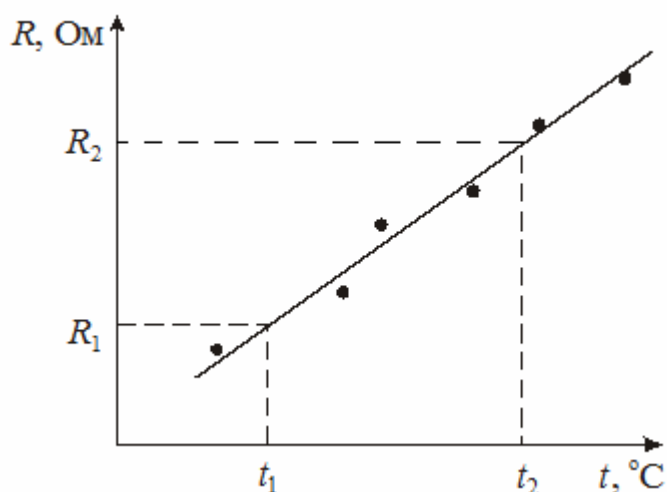


Рис. 1. График зависимости сопротивления проводника от температуры.

При этом аппроксимирующую прямую желательно проводить так, чтобы она лежала возможно ближе к точкам и чтобы по обе ее стороны оказывалось приблизительно равное их количество.

Температурный коэффициент сопротивления α также рассчитывается по формуле (11), но сопротивления R_1 и R_2 и соответствующие им температуры t_1 и t_2 в этом случае определяются из графика $R = f(t)$ (см. рис.1).

Этот метод имеет существенные преимущества перед расчетным. При построении графика можно легко обнаружить грубые ошибки и исключить их влияние на результат.

Изучению зависимости сопротивления проводника и полупроводника от температуры, а также определению температурного коэффициента сопротивления α проводника посвящена настоящая работа.

Экспериментальная часть

1. Описание экспериментальной установки

1. В данной установке (Рис. 2) основным элементом является нагревательный блок 1, который состоит:

- из электронагревателя 2;
- термопары 3;
- исследуемых образцов металла R_{np} и полупроводника $R_{n/np}$ – 4, 5.

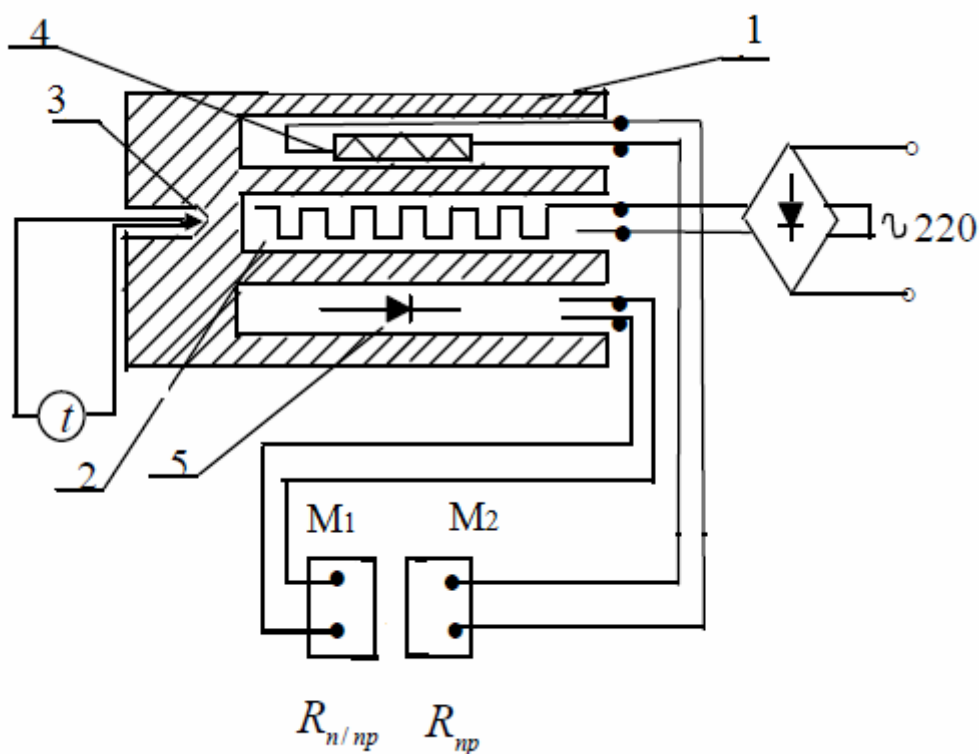


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема установки.

2. Для контроля сопротивления исследуемых образцов R_{np} и $R_{n/np}$ применяются два мультиметра (см. Рис. 2):

- цифровой мультиметр M_1 в режиме измерения сопротивления (режим 600 Ом).
- цифровой мультиметр M_2 в режиме измерения сопротивления (режим 600 Ом).
- 3. Для контроля температуры блока нагрева 2 используется цифровой термометр (t) подключенный к термопаре 3 как видно из Рис. 2.
- 4. Для сохранения температуры нагревательный блок закрывается кожухом 1 (см. Рис. 3).
- 5. Установка имеет встроенный вентилятор, который используется для охлаждения нагревательного блока до окружающей температуры, при этом кожух 1 сдвигается вправо, открывая нагревательный блок для охлаждения. С помощью тумблера 2 выбирается соответствующий режим «Нагрев», «Охлаждение». Тумблер 3 отвечает за включение питания установки (см. Рис. 3). Нажатием кнопки 4 включается и выключается питание цифрового термометра измеряющего температуру проводника и полупроводника.



Рис. 3. Экспериментальная установка для измерения сопротивлений проводника и полупроводника.

Техника безопасности

1. Строго соблюдать общие правила техники безопасности при работе на электроустановках.
2. Запрещается прикасаться к корпусу нагревательного блока во время его охлаждения.

Порядок выполнения работы

Выполнение измерений и расчетов

1. Перевести кожух 1 нагревательного блока влево до упора закрыв тем самым нагревательный блок (см. Рис. 3).
2. На лицевой панели установки поставить тумблер питания 3 в положение «Выкл», а тумблер 2 в положение «Охлаждение».
2. Включить вилку шнура питания установки в розетку на столе.
3. С помощью белой кнопки на электрическом щите на стене лаборатории подать напряжение на установку (с разрешения преподавателя).
4. Далее включить питание установки переводом тумблера 3 в положение «Вкл.» (на панели установки должна загореться сигнальная лампочка в левом углу).
5. Нажатием кнопки 4 включить питание цифрового термометра измеряющего температуру проводника и полупроводника.
6. Записать показание температуры с цифрового термометра и мультиметров, показывающих сопротивления проводника и полупроводника при данной комнатной температуре.
7. Перевести тумблер 2 в положение «Нагрев» и далее записывать в таблицу значения сопротивлений R_{np} и $R_{n/np}$ через каждые 10°C .
8. После достижения температуры 100°C снимать значения сопротивлений R_{np} и $R_{n/np}$ через каждые 5°C до температуры 115°C .
9. После достижения температуры 115°C необходимо тумблер 2 перевести в режим «Охлаждение», отодвинув затем кожух 1 нагревательного блока вправо до упора (см. рис. 3).
10. После охлаждения нагревательного блока до температуры $25\div 30^{\circ}\text{C}$ выключить питание установки поставив тумблер питания 3 в положение «Выкл».
11. Выключить питание цифрового термометра нажатием кнопки 4.
12. Далее выключить питание измерительной установки вытащив вилку шнура питания из розетки на столе и затем нажав красную кнопку на электрическом щите на стене лаборатории.
13. По полученным данным построить графики зависимости сопротивления проводника и полупроводника от температуры.
14. Рассчитать температурный коэффициент сопротивления α по формуле (11). Значения сопротивлений R_1 и R_2 и соответствующие им температуры t_1 и t_2 определить из графика $R = f(t)$.
15. Сделать ВЫВОД по работе и записать полученное значение температурного коэффициент сопротивления α , указав возможный материал исследуемого проводника, воспользовавшись данными из Таблицы 1.

Таблица 1. Удельное электрическое сопротивление ρ_0 и температурный коэффициент сопротивления α некоторых проводников при 0°C.

Проводник		ρ_0 , 10^{-8} Ом·м	α , 10^{-3} К ⁻¹
Алюминий	Al	2,5	4,60
Ванадий	V	18,2	3,90
Вольфрам	W	4,89	5,10
Железо	Fe	8,6	6,51
Золото	Au	2,06	4,02
Кобальт	Co	5,57	6,04
Магний	Mg	4,31	4,12
Медь	Cu	1,55	4,33
Молибден	Mo	5,05	4,73
Неодим	Nd	71,0	2,00
Никель	Ni	6,14	6,92
Олово	Sn	11,15	4,65
Палладий	Pd	9,77	3,77
Платина	Pt	9,81	3,96
Ртуть	Hg	94,07	0,99
Свинец	Pb	19,2	4,28
Серебро	Ag	1,49	4,30
Титан	Ti	42,0	5,46
Хром	Cr	14,1	3,01
Цинк	Zn	5,65	4,17

Проводник		ρ_0 , 10^{-8} Ом·м	α , 10^{-3} К ⁻¹
Сталь		12,0	6,10
Константан		50,0	0,05
Манганин		43,0	0,01
Нейзильбер		30,0	0,25
Никелин		40,0	0,11
Нихром		110,0	0,12
Фехраль		130,0	0,15
Латунь		7,1	1,70
Платиносеребряный		27,0	0,24

Контрольные вопросы

1. Что называется электрическим сопротивлением? Какое сопротивление называется омическим или активным?

2. Как классическая теория электропроводности объясняет проводимость проводников?
3. Как зависит электрическое сопротивление металлов от температуры? Запишите формулу.
4. Чему приблизительно равен температурный коэффициент сопротивления чистых металлов? Изменяется ли он с повышением температуры?
5. Объясните с точки зрения зонной теории электрические свойства кристаллов.
6. Как зависит электрическое сопротивление полупроводников от температуры, что такое собственная и примесная проводимость полупроводников?
7. Объясните полученную зависимость сопротивления проводника от температуры.
8. Приведите примеры практического учета и использования в физических приборах и устройствах зависимости сопротивления проводников и полупроводников от температуры.

Список рекомендуемой литературы

1. Воробьев, А.А. Общая физика / А.А. Воробьев, В.И. Хромов, Е.Ф. Макаров, Р.П. Озеров. – М.: Кнорус, 2016. – § 5.2, 10.2.
2. Савельев, И.В. Основы теоретической физики / И.В. Савельев. – М.: Наука, 2008. – Т.1, § 55-59.
3. Фриш, С.Э. Курс физики / С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. – М.: Наука, 2009. – Т.2, § 160-161, 163-171.
4. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела / Г.И. Епифанов. – М.: Лань, 2010. – С. 156-157, 177-183.
5. Калашников, С.Г. Электричество / С.Г. Калашников. – М.: Физматлит, 2003. – § 159,160, 166-168.