



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Методические указания
к проведению лабораторной работы № 36
по дисциплине «Физика»

**«Изучение температурной
зависимости
электросопротивления
медно-марганцевого
терморезистора»**

Авторы
Гольцов Ю.И.,
Ларина Т.Н.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Методические указания к лабораторной работе № 36 (раздел «Постоянный ток») предназначены для обучающихся по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», изучающих дисциплину «Специальные разделы физики» для выполнения лабораторной работы по программе курса «Специальные разделы физики».

Указания содержат краткую теорию по теме «Изучение температурной зависимости электросопротивления медно–марганцевого терморезистора», описание рабочей установки и методику эксперимента, контрольные вопросы для самоподготовки и тестовые задания.

Авторы

к.ф.-м.н., доц. кафедры «Физика»
Гольцов Ю.И.

к.ф.-м.н., доц. кафедры «Физика»
Ларина Т.Н.





Оглавление

Лабораторная работа № 36 Изучение температурной зависимости электросопротивления медно-марганцевого терморезистора	4
Краткая теория.....	4
Методика измерений	7
Порядок выполнения работы.....	8
Контрольные вопросы	9
Указания по технике безопасности	12
Литература.....	13

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 36

ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ МЕДНО- МАРГАНЦЕВОГО ТЕРМОРЕЗИСТОРА

Цель работы: Экспериментальная проверка зависимости электросопротивления полупроводникового терморезистора от температуры и определение ширины запрещенной зоны медно-марганцевого оксидного полупроводника.

Приборы и принадлежности: мост постоянного тока для измерения электросопротивления МО-62, сосуд с трансформаторным маслом, электроплитка, термометр с пределами измерения 0 – 100 °С, исследуемый терморезистор ММТ- 4, соединительные провода.

Краткая теория

Полупроводники по величине удельного электрического сопротивления ρ занимают промежуточное положение между металлами и диэлектриками. При комнатной температуре для различных классов твердых тел ρ имеет такие значения:

Металлы	$10^{-8} \div 10^{-5}$ Ом·м
Полупроводники	$10^{-5} \div 10^{12}$ Ом·м
Диэлектрики	$10^{12} \div 10^{18}$ Ом·м

К полупроводникам относятся элементы IV группы таблицы Менделеева и многие химические соединения.

Свойства полупроводников сильно изменяются под влиянием внешних воздействий. Так, например, их электросопротивление их можно значительно изменить при помощи воздействия тепла, света, электрического поля или радиоактивного излучения.

Рассматривая механизм электропроводности полупроводников, возьмём в качестве примера германий (Ge), но излагаемая теория применима к любому полупроводнику. Каждый атом германия образует ковалентную парно-электронную связь с четырьмя равноотстоящими от него соседними атомами. Условно такое взаимное расположение атомов можно представить в виде плоской структурной сетки, изображённое на рисунке 1.

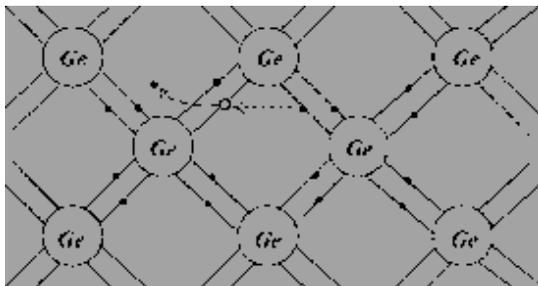


Рис. 1

С повышением температуры тепловое движение атомов Ge усиливается, вследствие чего ковалентные связи постепенно ослабевают, и в некоторых местах начинают разрываться. Освободившиеся электроны будут хаотично двигаться внутри кристаллической решётки (на рисунке 1 такой электрон изображён чёрным кружком). Энергия ΔE , необходимая для перевода электрона в свободное состояние, называется энергией активации. Покинутое электронном месте («дырка») перестает быть нейтральным, в его окрестности возникает избыточный положительный заряд $+e$.

Проводимость, осуществляемая свободными электронами, находящимися внутри кристаллической решетки, называется электронной. В то же время в результате теплового движения возможен перескок валентных электронов из соседних связей в образовавшуюся вакансию – дырку, а дырка появится в том месте, откуда ушел электрон и т.д. Такой процесс заполнения дырок электронами обычно рассматривают как перемещение дырки в направлении, противоположном движению электрона, как если бы дырка обладала положительным зарядом, равным по величине заряду электрона. Проводимость полупроводника, обусловленная дырками, называется дырочной проводимостью.

Таким образом, в полупроводнике наблюдаются два механизма проводимости: электронный и дырочный. Если концентрации электронов n и дырок p в кристалле будут одинаковы, то такой полупроводник называется собственным, а его проводимость – собственной проводимостью.

Если кристалл полупроводника включить в электрическую цепь, то наряду с хаотическим движением свободных электронов и дырок начнется их упорядоченное движение, т.е. образуется протекающий по кристаллу электрический ток.

Опыты показали, что уже при нормальной комнатной

температуре число свободных электронов оказывается вполне достаточным, чтобы в полупроводнике обнаружилась электропроводимость.

По формуле Больцмана число электронов n , способных при данной температуре T приобрести энергию ΔE и оторваться от атомов

$$n = n_0 \exp(-\Delta E / 2kT), \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана,
 T – температура по шкале Кельвина.

Учитывая, что концентрации электронов и дырок в собственном полупроводнике одинаковы, то удельное электросопротивление полупроводника

$$\rho = [en(\mu_+ + \mu_-)]^{-1},$$

где μ_+ и μ_- – подвижность дырок и электронов соответственно.

Тогда с учётом (1)

$$\rho = \rho_0 \exp(-\Delta E / 2kT) \quad (2)$$

Так как электросопротивление полупроводникового элемента (резистора) $R = K\rho$, где K – коэффициент, зависящий от его формы и размеров, то

$$R = R_0 \exp(\Delta E / 2kT) \quad (3)$$

Соотношение (3) используется в данной работе для определения энергии активации ΔE полупроводника. Прологарифмировав выражение (1), получим:

$$\ln R = \ln R_0 + \frac{\Delta E}{2kT} \quad (4)$$

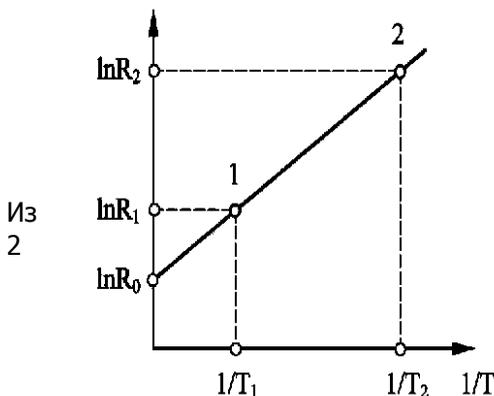


Рис. 2

Выражение (4) в координатах $\ln R$ и $1/T$ является уравнением прямой, график которой приведен на рис. 2. выражения (2) и рис. видно, что энергия активации будет определяться следующим выражением:

$$\Delta E = 2k \frac{\ln R_2 - \ln R_1}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} \quad (5)$$

В данной лабораторной работе производится изучение температурной зависимости электросопротивления полупроводникового терморезистора типа ММТ-4, созданного на основе медно-марганцевого оксидного полупроводника.

Методика измерений

Принципиальная схема установки для измерения температурной зависимости электросопротивления R_T терморезистора ММТ-4 представлена на рисунке 3. Для этого терморезистор R помещают в сосуд 1 с маслом, который поставлен на электроплитку 3, и подсоединяют к клеммам R_x моста постоянного тока МО-62, принципиальная схема которого приведена на этом же рисунке. Если в одну из диагоналей «мостовой» схемы, образованной резисторами r_1 , r_2 , R_d и $R_x = R_T$, включить источник э.д.с. а в другую – гальванометр G , то, изменяя величину R_d , можно добиться уравнивания моста – такого состояния схемы, при котором сила тока протекающего через гальванометр будет равна нулю. Условия равновесия имеет вид: $r_1 R_T = r_2 R_d$. Таким

образом $R_T = R_D \frac{r_2}{r_1}$. Отношение $\frac{r_2}{r_1}$ устанавливается специаль-

ным переключателем на лицевой панели моста, а сопротивление $R_{дr}$ набирают на декадных переключателях при уравнивании моста. Подробнее с методикой измерения сопротивлений мостом МО-62 можно ознакомиться по инструкции, размещённой на крышке прибора.

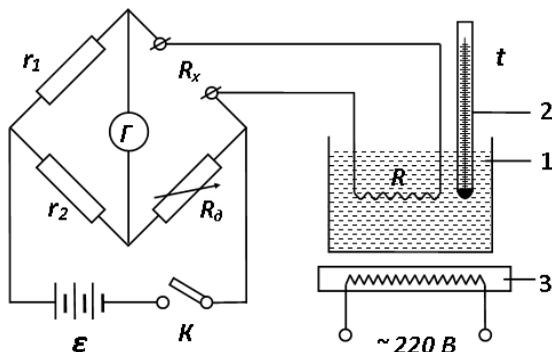


Рис. 3

Порядок выполнения работы

1. Опустите в сосуд с маслом исследуемый терморезистор ММТ-4 и термометр. Подключите терморезистор к клеммам R_x моста и измерьте сопротивление терморезистора при комнатной температуре.

2. Поставьте сосуд с маслом на электроплитку и включите её в сеть 220 В.

3. Измеряйте сопротивление R_T терморезистора при различных температурах через каждые 4–5 °С до 70 °С. **При достижении этой температуры электроплитка должна быть отключена от сети.** Измеряемые значения R_T заносите в табл. 1.



Таблица 1

$t, ^\circ\text{C}$										
T, K										
$R, \text{Ом}$										
$\ln R$										

4. Отключите мост МО-62 от сети.

5. Постройте график зависимости $\ln R = f(1/T)$ на масштаб-но-координатной бумаге. Выберите на этом графике значения $\ln R_2$ и $\ln R_1$, соответствующие температурам T_2 и T_1 и вычислите энергию активации изучаемого полупроводника. (Для нахождения энергии активации, которую обычно выражают в электрон – вольтах (эВ), график удобнее строить в координатах $\ln R = f(10^3/T)$. В этом случае, учитывая, что $k = 0,862 \cdot 10^{-4}$ эВ/К, окончательная формула для расчета энергии активации будет иметь вид:

$$\Delta E = 0,172 \frac{\ln R_2 - \ln R_1}{\frac{10^3}{T_2} - \frac{10^3}{T_1}} \text{ (эВ)} \quad (6)$$

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются полупроводники от металлов и диэлектриков?
2. Как образуются электроны и дырки в собственном полупроводнике?
3. Чем объясняется различие температурных зависимостей сопротивления для металлов и полупроводников?
4. Каков физический смысл энергии активации полупроводника?
5. Как определяется энергия активации в данной работе?
6. В тестовых заданиях, приведенных ниже, выберите правильный вариант ответа.

ЗАДАНИЕ 1. Какими частицами создаётся электрический ток в полупроводниках?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- а) только ионами;



- б) только электронами;
- в) любыми заряженными частицами;
- г) дырками;
- д) электронами и дырками.

ЗАДАНИЕ 2. Собственная проводимость полупроводников – это...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- а) проводимость, обусловленная разрывом ковалентных связей в чистом полупроводнике при повышении его температуры;
- б) взаимодействие соседних атомов, обусловленное обращением электронов вокруг пары атомов;
- в) преобладающая проводимость р-типа или n-типа, получаемая в полупроводниках добавлением определенных примесей;
- г) примеси, благодаря добавлению которых возникает недостаток электронов для образования ковалентных связей между атомами полупроводника и атомами примеси.

ЗАДАНИЕ 3. Каким типом проводимости обладают полупроводники с акцепторной примесью?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- а) в основном дырочной;
- б) в основном электронной;
- в) электронной и дырочной.

ЗАДАНИЕ 4. Какие из перечисленных ниже элементов при легировании германиевого полупроводника создают преимущественную электронную проводимость:

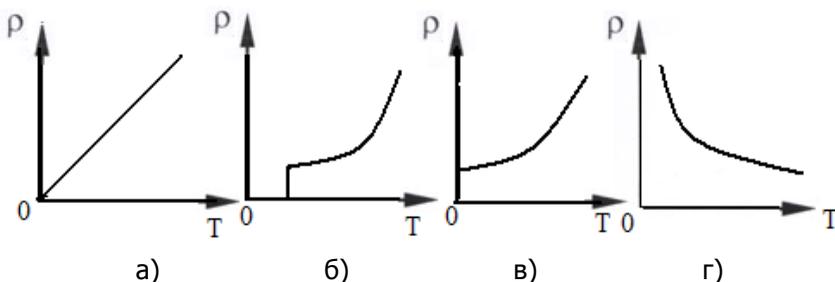
ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- а) В, Ga, As;
- б) In, P, Sb;
- в) P, Sb, As;
- г) В, In, Ga;

ЗАДАНИЕ 5. Выберите правильное графическое представление зависимости удельного сопротивления ρ полупроводника от температуры T

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

Изучение температурной зависимости электросопротивления медно-марганцевого терморезистора

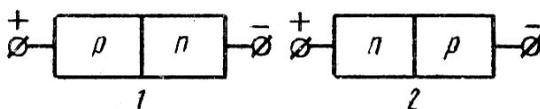


ЗАДАНИЕ 6. В полупроводнике сила тока, создаваемого электронами – $I_э$, и сила тока, создаваемого дырками – $I_д$. Если полупроводник обладает собственной проводимостью, то какое соотношение токов будет верным?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- а) $I_э = I_д$; б) $I_э > I_д$; в) $I_э < I_д$.

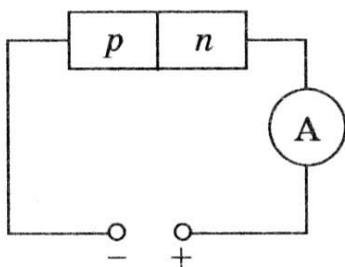
ЗАДАНИЕ 7. На рисунке показаны оба возможных включения р-п перехода. Укажите, в каком случае р-п-переход включен в прямом направлении:



ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- а) прямое включение – 1, обратное – 2;
б) обратное включение – 2, прямое – 1.

ЗАДАНИЕ 8. К полупроводнику р-п-типа подключен источник тока, как показано на рисунке. Будет ли амперметр регистрировать наличие тока в цепи?



ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Академия, 2010.
2. Общая физика: руководство по лабораторному практикуму: учебное пособие / Под ред. И.Б.Крынецкого и Б.А. Струкова. М.: ИНФРА-М, 2008.