БГУИР

Кафедра физики

Лабораторная работа 3.11

Влияние температуры на
проводимость металлов и
полупроводников

Выполнил   Проверила
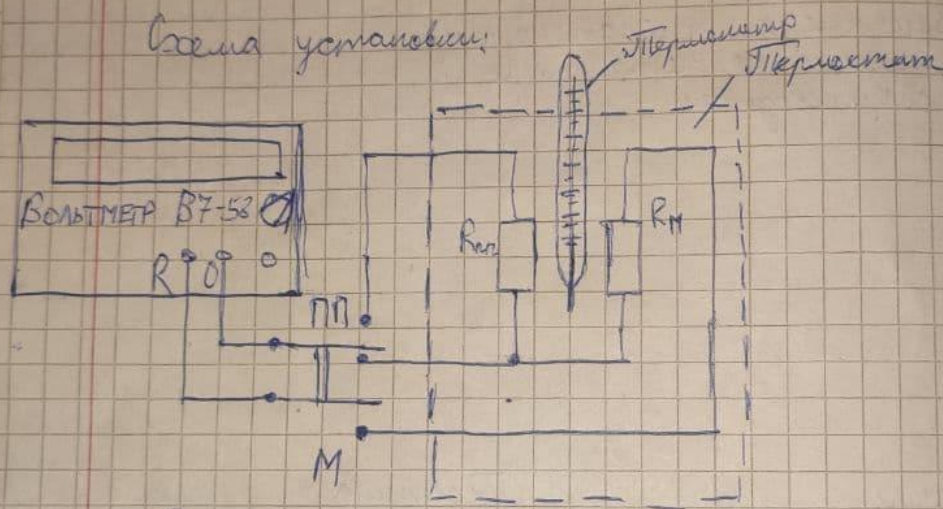студент гр. 920503   ассистент кафедра физики
Польховский А. Ф.   Андрос Е В

Минск 2020

Цели работы:

1. Изучить основы зонной теории твёрдых тел

2. Исследовать температурную зависимость электропроводности металла и полупроводника

3. Определить температурный коэффициент сопротивления металла и энергию активации полупроводника

Схема установки:

Расчётные формулы:
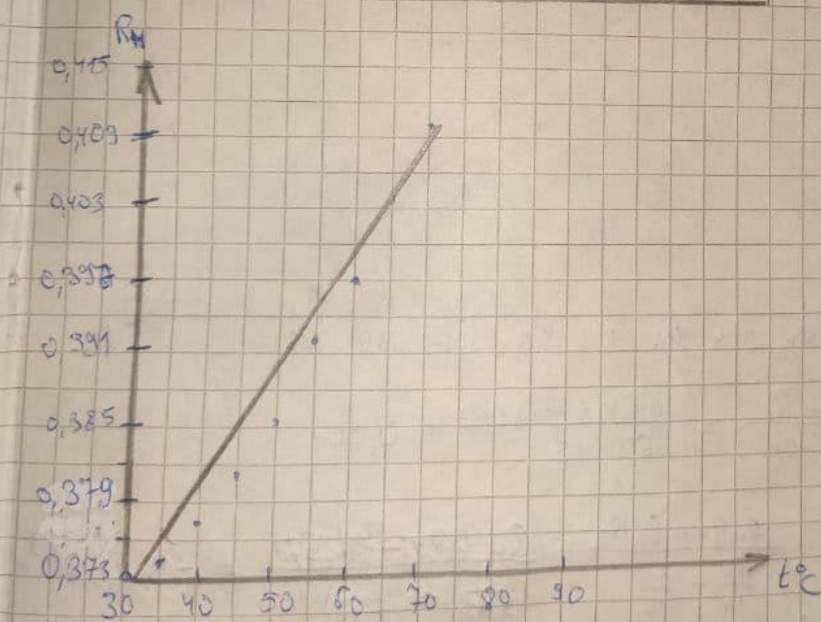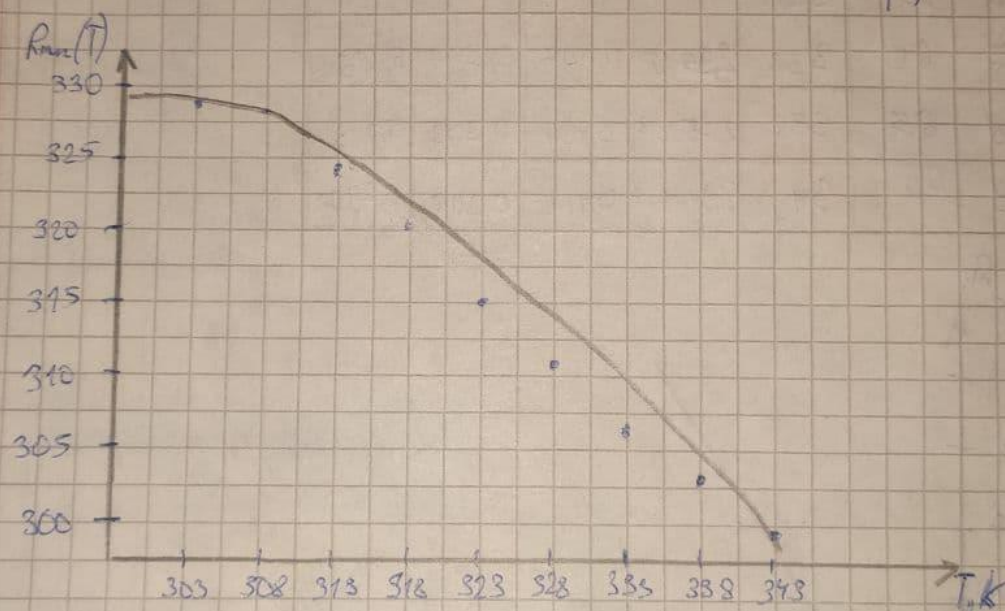
$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{t_2 - t_1}$$ — темп. коэффициент сопр-ия металла

$$\Delta E = 2K \cdot \frac{\ln R_1 - \ln R_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$ — энергия активации ПП

Результаты измерений и вычислений:

№	t, °C	T, K	$\frac{1}{T}$, K⁻¹	R_H, кОм	$R_{H+\Delta}$	$\ln R_H$
1	30	303	$3.3 \cdot 10^{-3}$	0,373	0,329	5,796
2	35	308	$3.2 \cdot 10^{-3}$	0,374	0,328	5,793
3	40	313	$3.19 \cdot 10^{-3}$	0,376	0,324	5,788
4	45	318	$3.14 \cdot 10^{-3}$	0,381	0,320	5,768
5	50	323	$3.09 \cdot 10^{-3}$	0,386	0,315	5,752
6	55	328	$3.04 \cdot 10^{-3}$	0,392	0,311	5,739
7	60	333	$3.0 \cdot 10^{-3}$	0,397	0,307	5,726
8	65	338	$2.95 \cdot 10^{-3}$	0,404	0,303	5,713
9	70	343	$2.91 \cdot 10^{-3}$	0,411	0,298	5,697

Top graph axes: $\ln(R_{nn})$ vertical axis with values 5,80 / 5,79 / 5,78 / 5,77 / 5,76 / 5,75 / 5,74 / 5,73 / 5,72 / 5,71 / 5,7 / 5,69; horizontal axis $\frac{1}{T}, K^{-1} \cdot 10^{-3}$ with values 2,85 2,9 2,95 3 3,05 3,1 3,15 3,2 3,25 3,3

Bottom graph axes: $R_{nn}(T)$ vertical axis with values 330 / 325 / 320 / 315 / 310 / 305 / 300; horizontal axis T, K with values 303 308 313 318 323 328 333 338 343

$$\mathcal{L} = \frac{R_2 - R_1}{t_2 - t_1} = \frac{0.897 - 0.881}{60 - 45} = 0.001$$

$$\Delta E = 2k \cdot \frac{\ln R_1 - \ln R_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = \frac{5.768 - 5.726}{(3.14 - 3.0) \cdot 10^{-3}} = 2 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} =$$

$$= 8.28 \cdot 10^{-24} \ (Дж)$$

Вывод: По полученным данным построили зависимости $R_н(t)$, $\ln R_{пп}(\frac{1}{T})$, $R_{пп}(T)$. По $R_н(t)$ определили температурный коэффициент сопротивления металла α; По $\ln R_{пп}(\frac{1}{T})$ — энергию активации ПП.

Зависимость $R_н(t)$ экспериментально подтвердила линейную зависимость — уд. сопр-и от t! $\boxed{\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta T)}$

Данную зависимость можно объяснить след образом:
для металлов валентная зона явл-ся одновременно зоной проводимости, так что с ростом температуры концентрация электронов в кристалле будет оставаться const, только при $T = \infty$. Поэтому зависимость уд.пр-сти от t опр-ся только зависимостью от неё подвижностью электронов.

По (теор.) графику $R_{пп}(T)$ видно, что уд. сопр-ие экспоненциально убывает с ростом температуры, что описывается законом выр-ем: $\boxed{\sigma = \sigma_0(T) \cdot e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}}$. Зависимость уд. пров-сти ПП от T можно объяснить тем, что в отличие от металлов у ПП подвижность электронов убывает из-за их столкновений с колеблющимися узлами крист. решётки.

$$\boxed{\rho = \rho_0 e^{\frac{\Delta E}{2kT}}}$$

Стационарное ур-ие Шредингера:

$$\Delta \Psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\Psi = 0.$$

$\underline{\Psi}$ — комплекснозначная функция, описывающая чистое состояние объекта (квантовое частицы) — $\underline{\text{волновая ф-ие}}$

$\Delta \Psi$ — оператор лапласа Ψ $\quad \Delta = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} + \ldots + \frac{\partial^2}{\partial x_n^2}$ —
в n-мерном изм-нии

$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ — в 3-ёх мерном

$\hbar$ — постоянная $\quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$

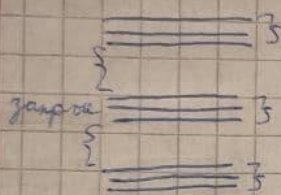$\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad m$ — масса частицы

U — потенциальная энергия

E — полная (квант.) энергия частицы

0. Записать стационарное уравнение Шредингера, пояснить в нем каждый символ.

6. Что называется энергетическим уровнем? Энергетической зоной? Что называется разрешенной и запрещенной энергетической зоной?

6. Энергетический уровень — такое стационарное состояние атома, находясь в котором атом не излучает энергию. Каждый уровень хар-ся опр-ым значением энергии. Из одного состояния в другое атом может переходить путём квантового перехода.

Энергетическая зона — ограниченная область значений энергии электронов в твёрдом теле (ПП, металл, диэлектрик), вкл-ая допускаемые (разрешённая зона) или запрещённые значение эн-ии.

Запрещённые, разрешённые зон-ия чередуются в эн-ой зоне.

Каждая из разрешённых зон состоит из близко расположенных разреш-ые эл. подуровней, число кот-ых равно числу атомов в кристалле

Т.е. запрещ-ая зона — область значений энергий, которыми не может обладать электрон в идеал. кристалле; наоборот — разр-ые ур-ни.

2. Как уже было написано в выводе, с увеличением температуры сопротивление ПП-ов уменьшается, проводимость увеличивается. Нагревание приводит к увеличению кол-ва свободных зарядов в полупроводнике. У металлов — наоборот сопр-ие увеличивается. Всё из-за разных видов связи. ПП — кристаллич. решётка, металлы — ковалентная связь.

$$\rho = \rho_0 \cdot e^{\frac{\Delta E}{2kT}}$$

2. Опишите характер и физические причины зависимости сопротивления полупроводников от температуры. Приведите формулу, описывающую данную зависимость.