

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИКИ

ОТЧЕТ

ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 8

«ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА В СОБСТВЕННОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ »

ВЫПОЛНИЛ: МАЦЯС С.И.  
ГРУППА: 0113  
ФАКУЛЬТЕТ: ФРТ

Санкт-Петербург  
2001

**Цель работы:** изучение действия магнитного поля на движущиеся заряды при исследовании эффекта Холла; определение постоянной Холла, концентрации, подвижностей и средних скоростей упорядоченного движения носителей заряда в собственном полупроводнике.

**Приборы и принадлежности:** измерительная установка с электромагнитом и датчиком Холла.

*Исследуемые закономерности.* Эффект Холла заключается в том, что в металлической или полупроводниковой пластинке с током  $I$ , помещенной в магнитное поле, перпендикулярное вектору плотности тока  $j$ , между гранями пластины, параллельными направлениям тока и магнитного поля, возникает разность потенциалов  $U_x$

$$U_x = \varphi_1 - \varphi_2 = R_x B j d = \frac{R_x B I}{h} \quad (1)$$

где  $R_x$  — коэффициент (постоянная) Холла;  $B$  — индукция магнитного поля;  $d$  и  $h$  — ширина и толщина пластины соответственно.

Эффект Холла объясняется отклонением под действием силы Лоренца  $F_L$  носителей заряда  $Q$ , движущихся в магнитном поле со средней скоростью упорядоченного движения  $\langle v \rangle$

$$F_L = Q \langle v \rangle \times B$$

В результате на одной из граней оказывается избыток зарядов, а на другой (противоположной) — их недостаток, и возникает поперечное электрическое поле  $E_{\perp}$ . Квазистационарное распределение зарядов в поперечном направлении будет достигнуто, когда действие на заряды электрической силы  $F_e = Q E_{\perp}$  уравнивает действие силы Лоренца, при этом

$$E_{\perp} = \langle v \rangle B$$

В электронных (или дырочных) полупроводниках или металлах  $j = e n_0 \langle v \rangle$ , где  $e$  — элементарный заряд;  $n_0$  — концентрация основных носителей заряда ( $n_0 = p$  для полупроводников р-типа и  $n_0 = n$  для полупроводников n-типа;  $n$  и  $p$  — концентрации электронов и дырок соответственно), тогда

$$U_x = E_{\perp} d = \langle v \rangle B d = \frac{j}{e n_0} B d$$

В результате, с учетом выражения (1), получаем

$$R_x = \frac{1}{e n_0}$$

В собственных полупроводниках концентрации электронов и дырок равны:  $n = p = n_i$ , здесь  $n_i$  — собственная концентрация носителей заряда; ток складывается из электронной и дырочной составляющих:

$$j = e n_i \langle v_- \rangle - e p_i \langle v_+ \rangle$$

где  $\langle v_- \rangle, \langle v_+ \rangle, \mu_-, \mu_+$  — средние скорости упорядоченного движения и подвижности электронов и дырок соответственно;  $\gamma$  — удельная электропроводность полупроводника, равная

$$\gamma = e n_i (\mu_- + \mu_+) = e n_i \mu_+ (1 + b), \quad (2)$$

здесь  $b = \frac{\mu_-}{\mu_+}$  — отношение подвижностей электронов и дырок.

Тогда постоянная Холла для собственного полупроводника

$$R_x = \frac{1}{en_i} \cdot \frac{\mu_+ - \mu_-}{\mu_+ + \mu_-} = \frac{1}{en_i} \cdot \frac{1-b}{1+b} \quad (3)$$

Таким образом, определив постоянную Холла, можно найти концентрацию носителей заряда, а по знаку постоянной Холла — судить о принадлежности полупроводника к n-типу или к p-типу. Обычно в металлах и полупроводниках n-типа  $R_x < 0$ , а в полупроводниках p-типа  $R_x > 0$ . В собственном полупроводнике знак холловской разности потенциалов определяется знаком заряда носителей, имеющих большую подвижность. Обычно  $\mu_- > \mu_+$ , и в собственном полупроводнике  $R_x < 0$ .

Измерив, кроме постоянной Холла  $R_x$ , удельную электропроводность  $\gamma$ , можно найти (при известном значении  $b$ ) подвижности  $\mu_-$ ,  $\mu_+$  - носителей заряда. Выражения для  $\mu_-$ ,  $\mu_+$  получаются из соотношении (2) и (3).

*Методика эксперимента.*

В данной работе исследуется эффект Холла в собственном полупроводнике. Измерения проводят в постоянном магнитном поле при постоянном токе в образце. Схема измерительной установки представлена на рис. 3.2, а, а расположение электродов на пластинке полупроводника (в датчике Холла) дано на рис. 3.2, б. Заданное значение силы тока  $I$  и в датчике Холла устанавливают потенциометром  $R2$ . Электроды 2 и 3, расположенные на боковой поверхности датчика на расстоянии  $l$  друг от друга, служат для измерения напряжения  $U_y = \varphi_3 - \varphi_2$ , по величине которого определяют удельную электропроводность полупроводника

$$\gamma = \frac{1}{|U_y|} \cdot \frac{1}{dh}$$

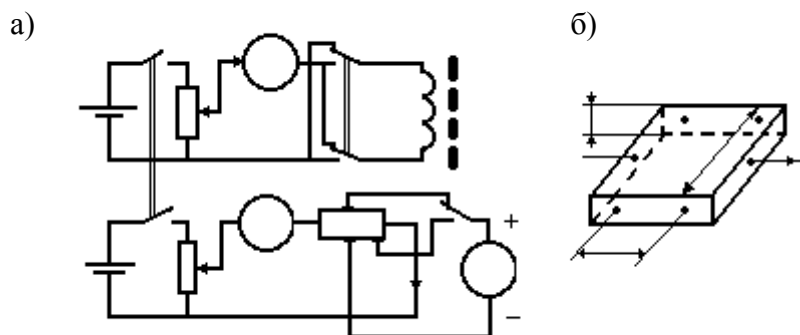


Рис. 3.2.

Холловскую разность потенциалов  $U_x$  измеряют между электродами 1 и 2 датчика (положение « $U_x$ » переключателя SA3). Поскольку измеряемое напряжение  $U_x$  может содержать добавочное паразитное напряжение, появляющееся при несимметричном расположении электродов 1 и 2, определение постоянной Холла в данной работе производят по наклону зависимости  $U_x(B)$ , снимаемой при противоположных направлениях вектора индукции  $B$  магнитного поля. Изменение направления вектора  $B$  осуществляют изменением направления тока  $I_{эм}$  в электромагните YA1 переключателем SA2. Силу тока  $I_{эм}$  регулируют потенциометром R1. Индукцию магнитного поля в зазоре электромагнита рассчитывают по формуле  $B = k \cdot I_{эм}$ , где  $k$  — коэффициент пропорциональности, указанный на панели установки.

*Указания по выполнению наблюдений и обработке результатов*

1. Потенциометры R1 и R2 вывести в крайнее левое положение. Включить установку.
  2. Установить силу тока  $I_1$  в датчике Холла (значения  $I_1, I_2, |I_{эм}|_{\max}$  указаны на панели установки). Снять зависимость  $U_x(I_{эм})$  (8...10 точек), меняя ток  $I_{эм}$  от нуля до значения  $|I_{эм}|_{\max}$ . В процессе измерений значение  $I_1$  поддерживать постоянным.
  3. Повторить наблюдения по п. 2 для противоположного направления  $B$ .
  4. Результаты измерений по пп. 2 и 3 занести в таблицу произвольной формы с учетом знаков  $U_x$  и  $I_{эм}$ . Значения  $I_{эм}$  в положении « $I_{эм}^+$ » переключателя SA2 считать положительными, а в положении « $I_{эм}^-$ » — отрицательными.
  5. Измерить напряжение  $U_y$  при силе тока  $I_2$  в датчике Холла и  $I_{эм} = 0$ .
  6. Занести в протокол наблюдений значения  $I_1, I_2, U_y$  и другие необходимые сведения, в том числе сведения о приборных погрешностях, указанные на панели установки и шкалах измерительных приборов.
  7. Вычислить и записать в таблицу значения  $B$ .
  8. Провести обработку по методу наименьших квадратов зависимости  $U_x(B)$  и определить параметры  $\bar{a} \pm \Delta a$  и  $\bar{c} \pm \Delta c$  аппроксимирующей зависимости  $U_x = \bar{a}B + \bar{c}$ , общей для положительных и отрицательных значений  $B$ . По величине углового коэффициента  $\bar{a} \pm \Delta a$  рассчитать среднее значение и доверительную погрешность постоянной Холла  $R_x$  (см. выражение (1)).
  9. Рассчитать средние значения и доверительные погрешности: удельной электропроводности полупроводника  $\mathcal{Y}$ , концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике  $n_i$ , подвижностей дырок  $\mu_+$  и электронов  $\mu_-$ .
  10. Вычислить средние скорости упорядоченного движения дырок  $\langle v_+ \rangle$  и электронов  $\langle v_- \rangle$  при токе в датчике Холла  $I_2$  и сравнить полученные значения со средней скоростью теплового движения электронов в металле  $\langle v_T \rangle = \sqrt{8kT/\pi m_e}$ .
- Отчет также должен содержать график аппроксимирующей зависимости  $U_x = \bar{a}B + \bar{c}$ , с нанесенными экспериментальными значениями  $U_x(B)$ .

### Протокол наблюдений

i	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_{xi}$	0	1	1,2	1,8	2,4	3,6	4	4,4
$I_{эмi}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8

Для противоположного направления  $B$

i	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_{xi}$	0	0,4	1	1,6	2	3,2	3,6	4
$I_{эи}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8

$$I_1 =$$

$$U_y =$$

$$y =$$

$$n_i =$$

$$I_2 =$$

$$B =$$

$$\mu_+ =$$

$$\langle v_+ \rangle =$$

$$|I_{эи}|_{\max} =$$

$$R_x =$$

$$\mu_- =$$

$$\langle v_- \rangle =$$

$$\langle v_T \rangle =$$

Выполнил: Мацяс, 0113

19.02.01

Проверил: Осипов

### Обработка результатов

$$1. B = 1,28Tl$$

$$2. R_{xi} = \frac{U_x}{BI_{xi}} \cdot h$$

$$R_{x2} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1,28 \cdot 0,1} \cdot 45 \cdot 10^{-6} = 3,5 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}; R_{x3} = 2,1 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}; R_{x4} = 2,1 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}; R_{x5} = 2,1 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл};$$

$$R_{x6} = 2,1 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}; R_{x7} = 2,0 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}; R_{x8} = 1,9 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}; R_{x9} = 1,4 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}; R_{x10} = 1,7 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл};$$

$$R_{x11} = 2,1 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}; R_{x12} = 1,7 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}; R_{x13} = 1,8 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}; R_{x14} = 1,8 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}.$$

$$\bar{R}_x = \frac{\sum R_{xi}}{N(=14)} = 1,8 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}$$

$$S_{\Delta \bar{R}_x} = \sqrt{\frac{\sum (R_{xi} - \bar{R}_x)^2}{N(N-1)}} = 0,05 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}$$

$$\Delta R_{px} = S_{\Delta \bar{R}_x} \cdot t_{p,N} = 0,17$$

Окончательно результат запишется в виде:

$$R_x = (1,80 \pm 0,17) \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{Kл}$$

3.

$$\bar{y} = \frac{U_1}{dh|U_y|} = 1,9 \cdot 10^5 \frac{Oм}{м}$$

Расчет погрешности косвенным методом:

$$\bar{y}_p = \sqrt{\left(\frac{-\Delta l}{\Delta d \Delta h \cdot (\Delta U_y)}\right)^2 + \left(\frac{1}{\Delta d \Delta h \cdot (\Delta U_y)}\right)^2 + \left(\frac{-\Delta l}{\Delta d^2 \Delta h \cdot (\Delta U_y)}\right)^2 + \left(\frac{-\Delta l}{\Delta d \Delta h^2 \cdot (\Delta U_y)}\right)^2} = 0,23 \cdot 10^7 \frac{Oм}{м}$$

Результат вычислений запишется в виде:

$$y = (1,92 \pm 0,23) \cdot 10^5 \frac{Oм}{м}$$

$$4. n_0 = \frac{1}{R_x l} = 3,5 \cdot 10^{25}$$

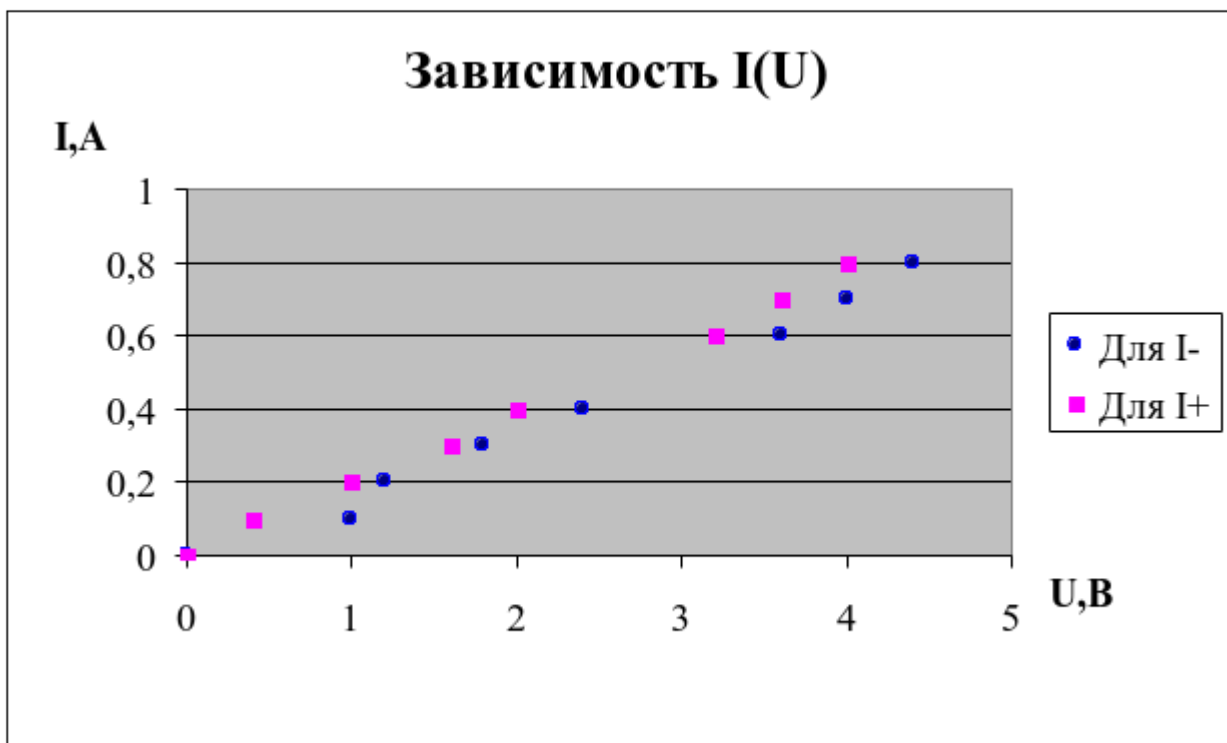
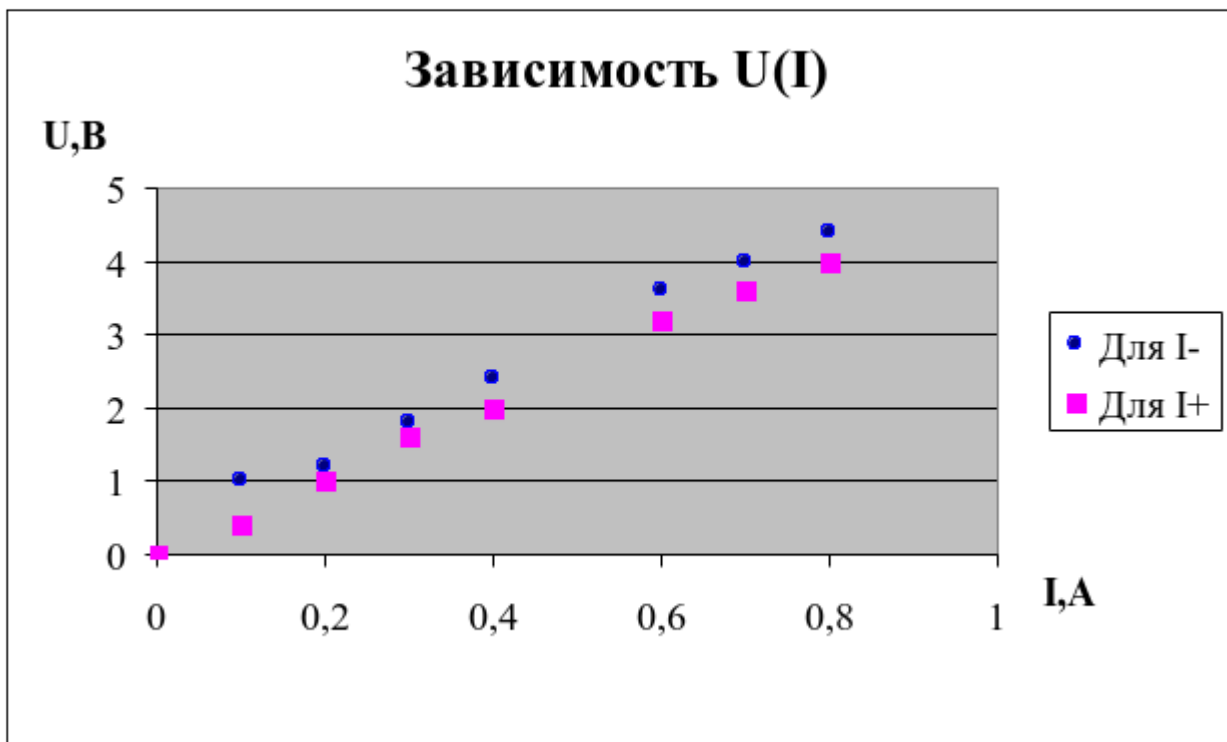
$$5. \mu_+ = \frac{y}{en_0(1+b)} = 3,4 \cdot 10^3 \frac{M^2}{B \cdot c}$$

$$\mu_- = b\mu_+ = 3,4 \cdot 10^5 \frac{M^2}{B \cdot c}$$

$$6. \langle v_- \rangle = \langle v_+ \rangle = \frac{I \cdot l}{Nq} = \frac{I}{nhdq} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{3,5 \cdot 10^{25} * 45 \cdot 10^{-6} * 1,2 \cdot 10^{-3} * 1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,07 \frac{см}{с}$$

$$v_T = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_e}} = 10^5 \frac{м}{с}$$

### Графики функций



**Вывод:** в ходе этой лабораторной работы мы изучили действие магнитного поля на движущиеся заряды при исследовании эффекта Холла, определение постоянной Холла с учетом погрешностей

$$R_x = (1,80 \pm 0,17) \cdot 10^{-7} \frac{\text{М}^3}{\text{Кл}}, \quad \text{концентрации} \quad n_0 = \frac{1}{R_x l} = 3,5 \cdot 10^{25}, \quad \text{подвижностей}$$

$$\mu_+ = \frac{\gamma}{en_0(1+b)} = 3,4 \cdot 10^3 \frac{\text{М}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}, \quad \mu_- = b\mu_+ = 3,4 \cdot 10^5 \frac{\text{М}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} \quad \text{удельную} \quad \text{электропроводность}$$

$\gamma = (1,92 \pm 0,23) \cdot 10^5 \frac{O_M}{M}$ . Рассчитали среднюю скорость упорядоченного движения электронов и сравнили ее с тепловой скоростью электронов

$$\langle v_- \rangle = \langle v_+ \rangle = \frac{I \cdot l}{Nq} = \frac{I}{nhdq} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{3,5 \cdot 10^{25} * 45 \cdot 10^{-6} * 1,2 \cdot 10^{-3} * 1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,07 \frac{CM}{C},$$

$$v_T = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_e}} = 10^5 \frac{M}{C},$$

т.е.  $v_T \gg \langle v \rangle$ .