

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ)
ФИЗТЕХ-ШКОЛА ЭЛЕКТРОНИКИ, ФОТОНИКИ
И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

Лабораторная работа № 3.3.4

Эффект Холла в полупроводниках

выполнил студент 2 курса
группы Б04-006
Белостоцкий Артемий

Долгопрудный, 2021 г.

1 Цель работы

Исследовать зависимость ЭДС Холла от величины магнитного поля при различных токах через образец для определения константы Холла; определить знак носителей заряда и проводимость материала образца.

2 В работе используются

- электромагнит с источником питания GPR;
- цифровой вольтметр В7-65/5;
- батарейка 1,5 В;
- реостат;
- миллиамперметр;
- образцы легированного германия;
- измеритель магнитной индукции АТЕ-8702;

3 Экспериментальная установка

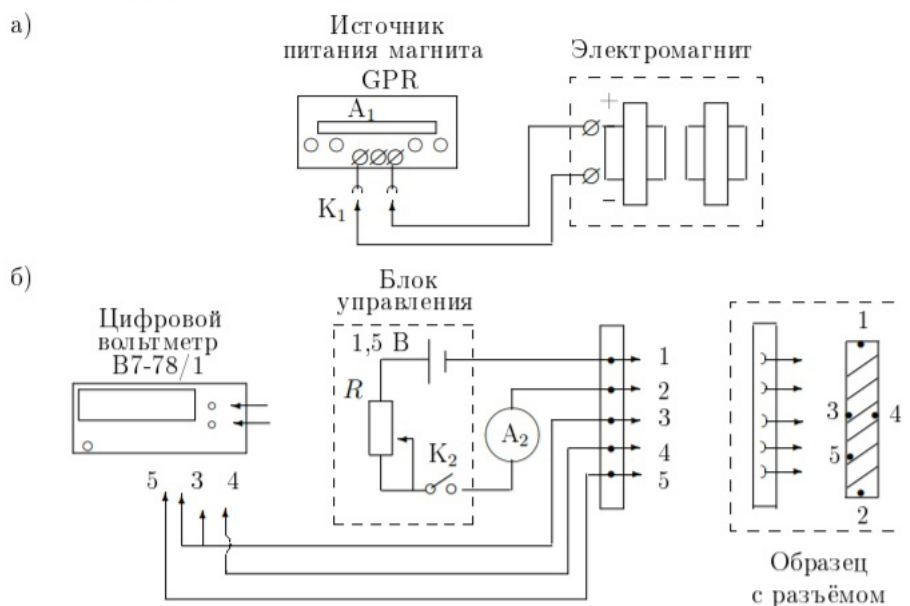


Рис. 1: Схема установки для исследования эффекта Холла в полупроводниках

Схема для измерения ЭДС Холла представлена на рисунке. В зазоре электромагнита создаётся постоянное магнитное поле, величину которого можно менять регуляторами источника питания электромагнита. Градуировка магнита проводится при помощи миллиамперметра.

Образец из легированного германия, смонтированный в специальном держателе, подключается к источнику питания. При замыкании K_2 вдоль длинной стороны образца течёт ток, величина которого регулируется реостатом R и измеряется миллиамперметром. В образце, помещённом в зазор, возникает разность потенциалов U_{34} , которая измеряется с помощью цифрового вольтметра.

Влияние омического падения напряжения исключается измерением напряжения U_0 между 3 и 4 в отсутствие магнитного поля. По знаку $\mathcal{E} = U_{34} \pm U_0$ можно определить характер проводимости – электронный или дырочный, зная направление тока в образце и направление магнитного поля.

Померив ток I_{35} в образце и напряжение U_{35} между контактами 3 и 5 в отсутствие магнитного поля можно рассчитать проводимость материала по формуле

$$\lambda = \frac{IL_{35}}{U_{35}al}, \quad (1)$$

где L_{35} – расстояние между контактами 3 и 5, а a и l – толщина и ширина образца.

4 Ход работы

Градуировка электромагнита

Изменяя ток в обмотке электромагнита I_M , с помощью измерителя магнитной индукции исследуем зависимость $B(I_M)$ данные занесем в Таблицу 1:

Таблица 1

I, мА	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4
B, мТл	0	206,7	433,6	642	814,3	913	1018,8	1076

По данным Таблицы 1 построим график зависимости $B(I_M)$

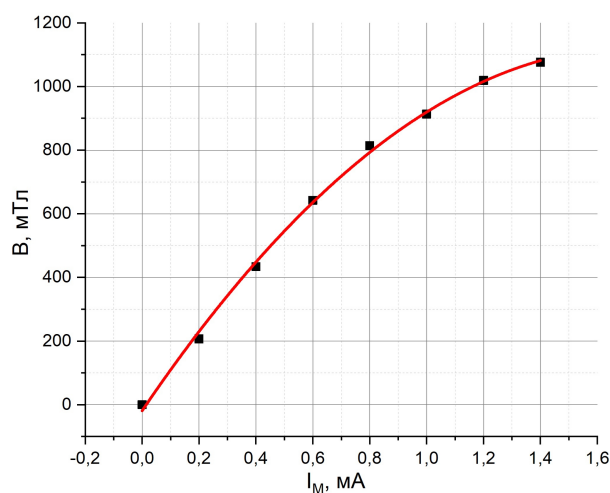


Рис. 2: Зависимость $B(I_M)$

Измерение ЭДС Холла

Вставим держатель с образцом в зазор электромагнита и установим минимальное значение тока через образец $I \approx 0,3 \text{ мА}$. В отсутствие магнитного поля вольтметр показывает небольшое напряжение U_0 , вызванное несовершенством контактов 3,4 и проводками.

Снимем зависимость напряжения U от тока I_M при разных токах через образец – I. ЭДС Холла будет определяться формулой $\varepsilon = U - U_0$. Данные занесем в таблицы

Таблица 2: $I = 0,3 \text{ мА}$

$\varepsilon, \text{ мкВ}$	10	22	33	43	50	55	58
$I_M, \text{ мА}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4

Таблица 3: $I = 0,4 \text{ мА}$

$\varepsilon, \text{ мкВ}$	15	30	45	58	68	74	79
$I_M, \text{ мА}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4

Таблица 4: $I = 0,5 \text{ мА}$

$\varepsilon, \text{ мкВ}$	19	38	57	74	85	95
$I_M, \text{ мА}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2

Таблица 5: $I = 0,6 \text{ мА}$

$\varepsilon, \text{ мкВ}$	22	45	69	87	100	110
$I_M, \text{ мА}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2

Таблица 6: $I = 0,7 \text{ мА}$

$\varepsilon, \text{ мкВ}$	26	54	79	102	119	129
$I_M, \text{ мА}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2

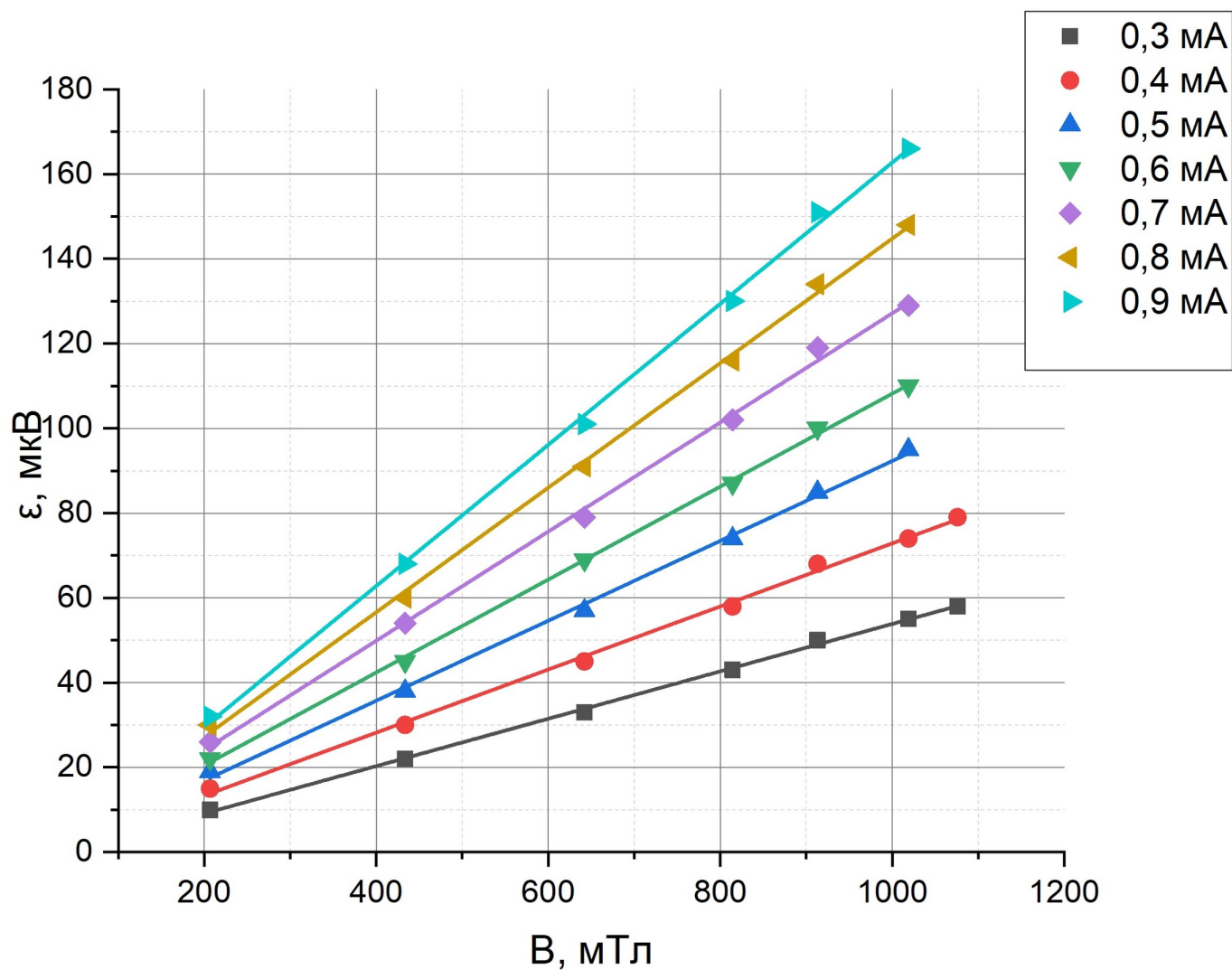
Таблица 7: $I = 0,8 \text{ мА}$

$\varepsilon, \text{ мкВ}$	30	60	91	116	134	148
$I_M, \text{ мА}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2

Таблица 8: $I = 0,9 \text{ мА}$

$\varepsilon, \text{ мкВ}$	32	68	101	130	151	166
$I_M, \text{ мА}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2

Построим семейство характеристик $\varepsilon = f(B)$ при разных значениях тока через образец I по данным Таблиц 2 - 8.

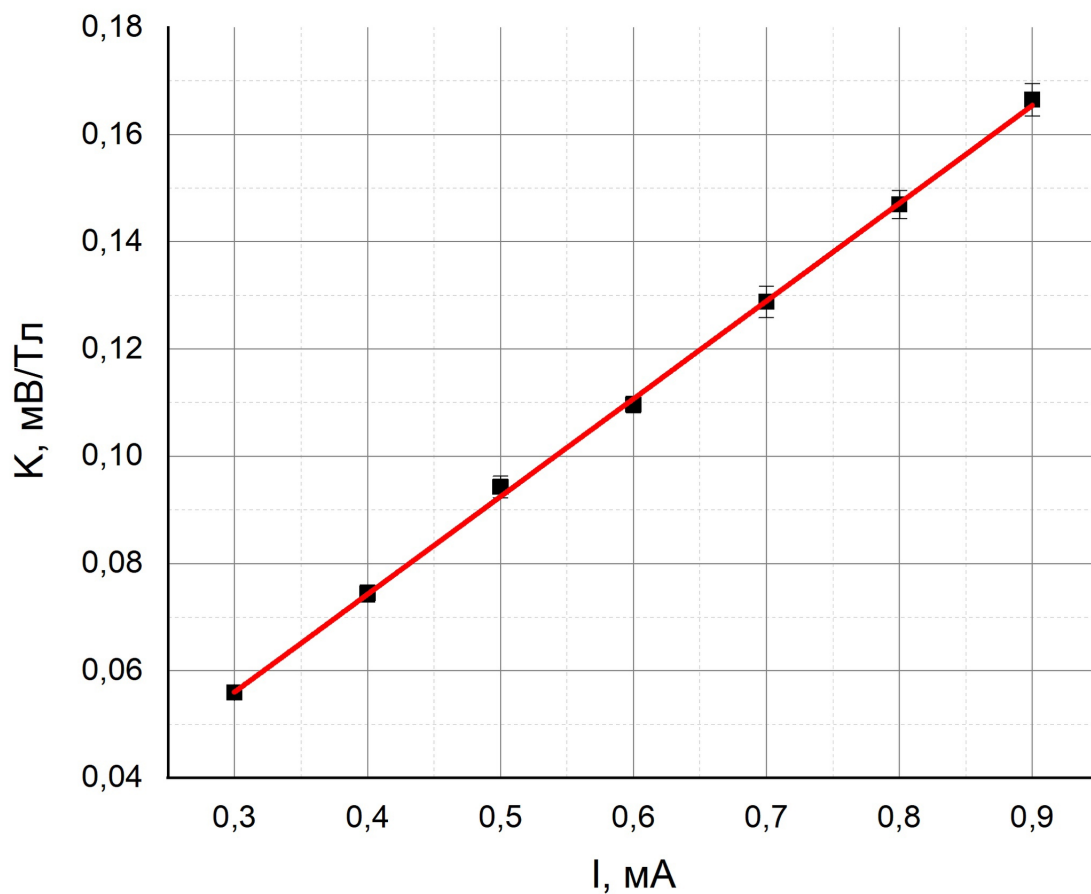
Рис. 3: Зависимости $\varepsilon(B)$

Из МНК определим угловые коэффициенты наклона прямых – К – для каждого тока I. Данные занесем в таблицу.

Таблица 9

I, мА	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
K, мВ/Тл	0,056	0,074	0,094	0,109	0,129	0,147	0,166
σ_K, мВ/Тл	0,001	0,002	0,002	0,001	0,003	0,003	0,003

Построим график $K = f(I)$.

Рис. 4: Зависимость $K(I)$

Из МНК получим наклон прямой:

$$\alpha = 0,182 \pm 0,002 \text{ A} * \text{Tл}$$

Рассчитаем константу Холла по формуле:

$$R_H = \alpha * a ,$$

где $a = 2,2$ мм – толщина образца.

Погрешность константы Холла определим по формуле:

$$\sigma_{R_H} = R_H \frac{\sigma_\alpha}{\alpha}$$

Получим:

$$R_H \approx (4,00 \pm 0,04) * 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$$

Рассчитаем концентрацию носителей в образце и оценим погрешность по формулам:

$$n = \frac{1}{e R_H}$$

$$\sigma_n = n \frac{\sigma_{R_H}}{R_H}$$

Получим:

$$n \approx (156 \pm 2) * 10^{20} \text{ м}^{-3}$$

Определение удельной проводимости

При токе через образец $I = 1$ мА падение напряжения между контактами 3 и 5 $U_{35} = 1,729$ мВ. По формуле (1) рассчитаем проводимость материала, учитывая что $L_{35} = 3$ мм, $l = 2,5$ мм.

$$\lambda \approx 315 (\text{Ом} * \text{м})^{-1}$$

Оценим погрешность удельной проводимости, учитывая что погрешность вольтметра мала:

$$\sigma_\lambda = \lambda \frac{\sigma_I}{I} \approx 16 (\text{Ом} * \text{м})^{-1}$$

Окончательно получим:

$$\lambda = 315 \pm 16 (\text{Ом} * \text{м})^{-1}$$

Рассчитаем подвижность b носителей тока и оценим погрешность по формулам

$$b = \frac{\sigma}{en}$$

$$\sigma_b = b * \sqrt{\frac{\sigma_\lambda^2}{\lambda^2} + \frac{\sigma_n^2}{n^2}}$$

Получим:

$$b \approx 0,13 \pm 0,01 \text{ м}^2/(\text{В} * \text{с})$$

Определение характера проводимости

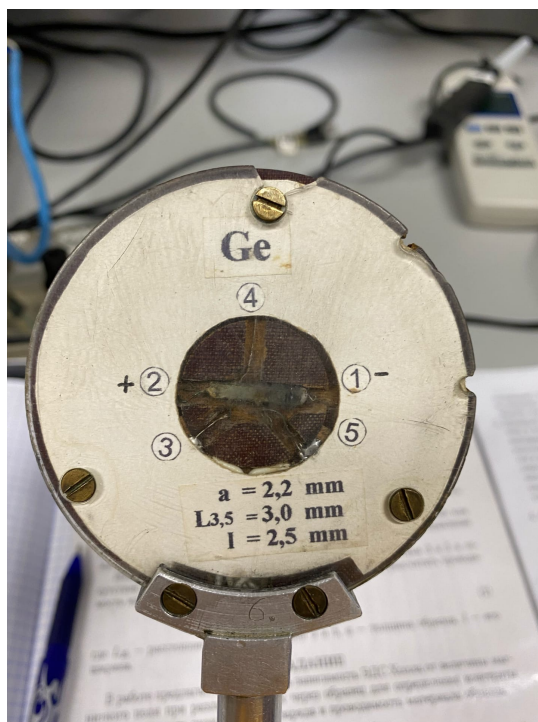


Рис. 5: Образец легированного Германия

Ток течет от 2 к 1, поле B направлено в плоскость рисунка, из показаний вольтметра – потенциал 3 – положителен. По правилу векторного произведения носители заряда "двигаются" к контакту 4, а так как при этом создается положительный потенциал на контакте 3, то можно сделать вывод, что носители заряда - электроны.

5 Выводы

1. В результате работы было получено удельное сопротивление германия, которое по порядку величины совпадает с табличным, но не совпадает численно. Это может быть вызвано тем, что германий содержит примеси (легирован)

2. Также была получена константа Холла для данного образца, которая по порядку величины совпадает с константами Холла для различных легирований Германия.

3. Также был сделан вывод о характере проводимости легированного германия.