

3.3.4. Эффект Холла в полупроводниках.

Абакшин В.С. Б05-207

24 июня 2024 г.

Цель работы: измерение подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках.

В работе используются: электромагнит с источником питания, амперметр, милливексметр, реостат, источник питания, цифровой вольтметр, образцы легированного германия.

Описание работы

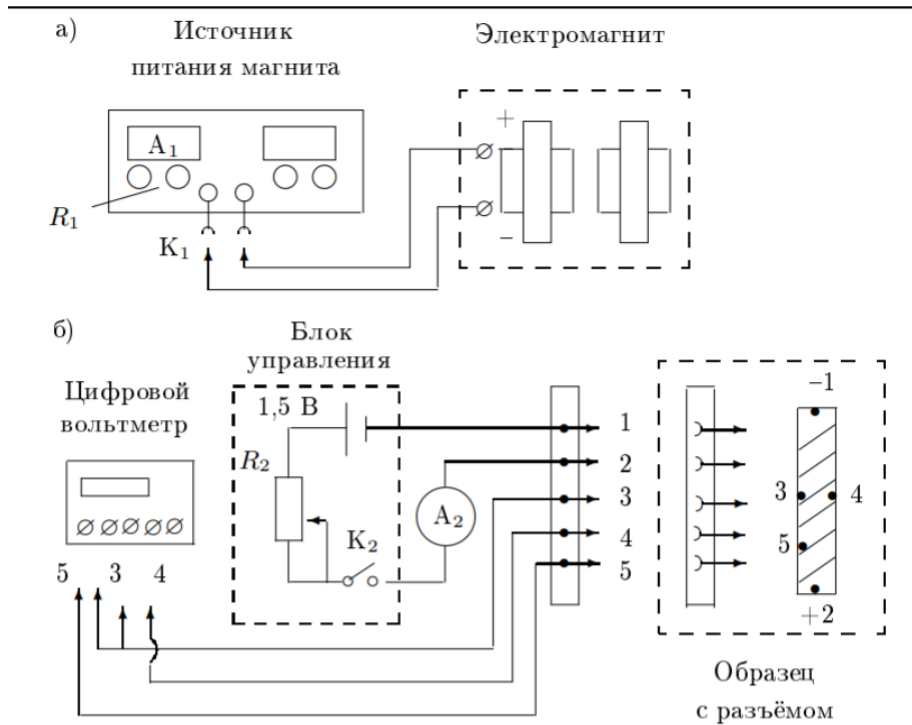


Рис. 1: Схема установки

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

Образец из легированного германия, смонтированный в специальном держателе, подключается к источнику питания. При замыкании K_2 вдоль длинной стороны образца течет ток, величина которого регулируется реостатом R и измеряется миллиамперметром. В образце, помещенном 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

$$\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}al},$$

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

Ход работы и обработка результатов

1) Проградуируем электромагнит. Определим связь между индукцией B магнитного поля в зазоре электромагнита и током I_M через обмотку сняв зависимость потока $\Phi = BSN$, пронизывающего пробную катушку, находящуюся в зазоре, от тока I_M . Значение $SN = 72 \text{ см}^2 \cdot \text{вит}$. Построим график зависимости

$I, \text{ A}$	0	0.27	0.54	0.81	1.08	1.35	1.58	$\sigma_I = 0.01$
$\Phi, \text{ мВб}$	0.12	1.8	3.7	5.2	6.5	7.3	7.9	$\sigma_\Phi = 0.05$
$B, \text{ Тл}$	0.02	0.25	0.51	0.72	0.90	1.01	1.10	$\sigma_B = 0.007$

Таблица 1: Измерение магнитной индукции при различных значениях $I_{\text{магн}}$ (градуировка)

$B = f(I)$:

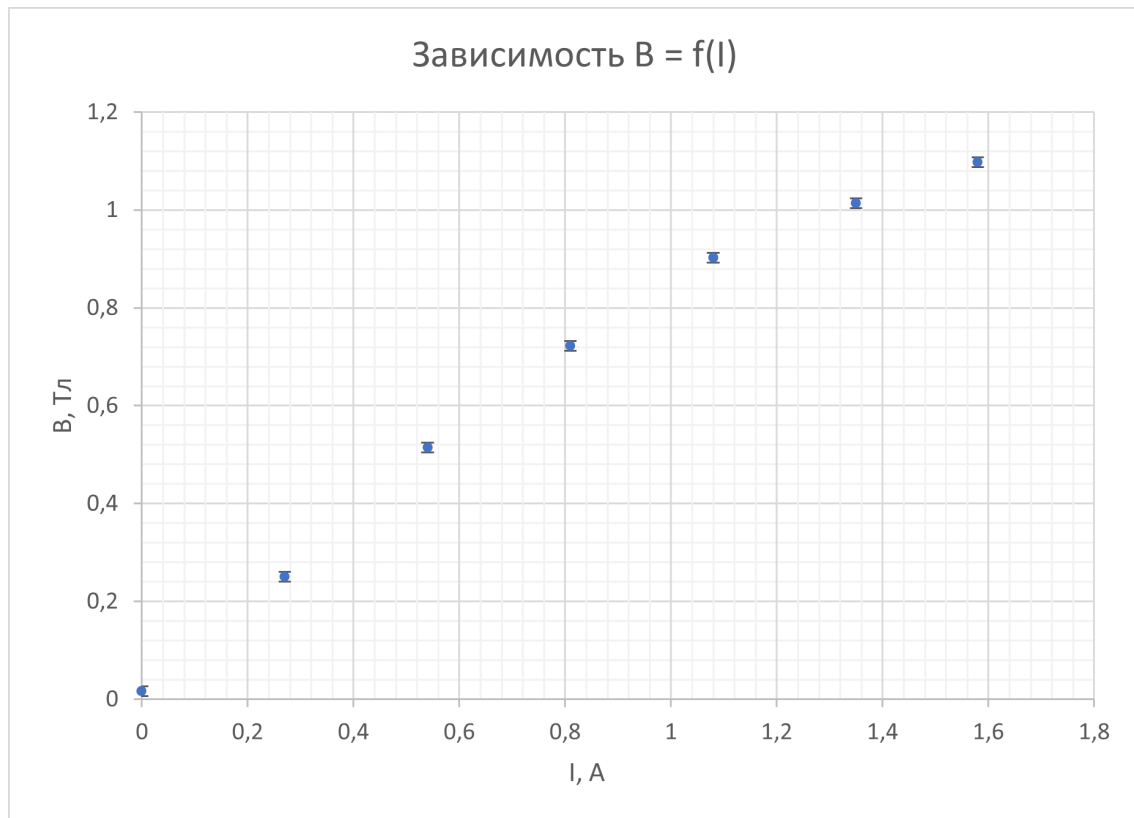


Рис. 2: Зависимость $B = f(I)$

2) Проведём измерение ЭДС Холла. Для этого вставим образец в зазор выключенного электромагнита и определим U_0 между контактами 3 и 4 при минимальном токе через образец. Включим электромагнит и снимем зависимость $U_{34} = f(I_M)$ от тока I_M при постоянном токе через образец. При максимальном токе также проведём измерения при другом направлении магнитного поля.

	$U_{34}, \text{ мкВ}$ при $I_{\text{магн}} = I_i, \text{ A}$						
$I_{\text{обр}}, \text{ mA}$	$I_0 = 0$	$I_1 = 0.27$	$I_2 = 0.54$	$I_3 = 0.81$	$I_4 = 1.08$	$I_5 = 1.35$	$I_6 \approx 1.55$
0.14	5	-1	-7	-13	-17.5	-20.5	-22
0.34	10	-2.5	-18	-31.5	-43	-50	-54
0.5	16	-3	-25	-45.5	-62	-72.5	-78
0.6	20	-4	-30	-55	-75.5	-87.5	-94
0.7	23	-4	-35	-64	-87.5	-102	-110
0.85	28	-6	-42	-77.5	-106	-124	-133
0.85	38	72	109	143.5	171.5	189	197

Таблица 2: Измерение ЭДС Холла

Построим графики $U_{\text{Холл}} = f(B)$ для всех значений токов через образец:
Запишем полученные коэффициенты $\frac{dU}{dB}$ в таблицу.

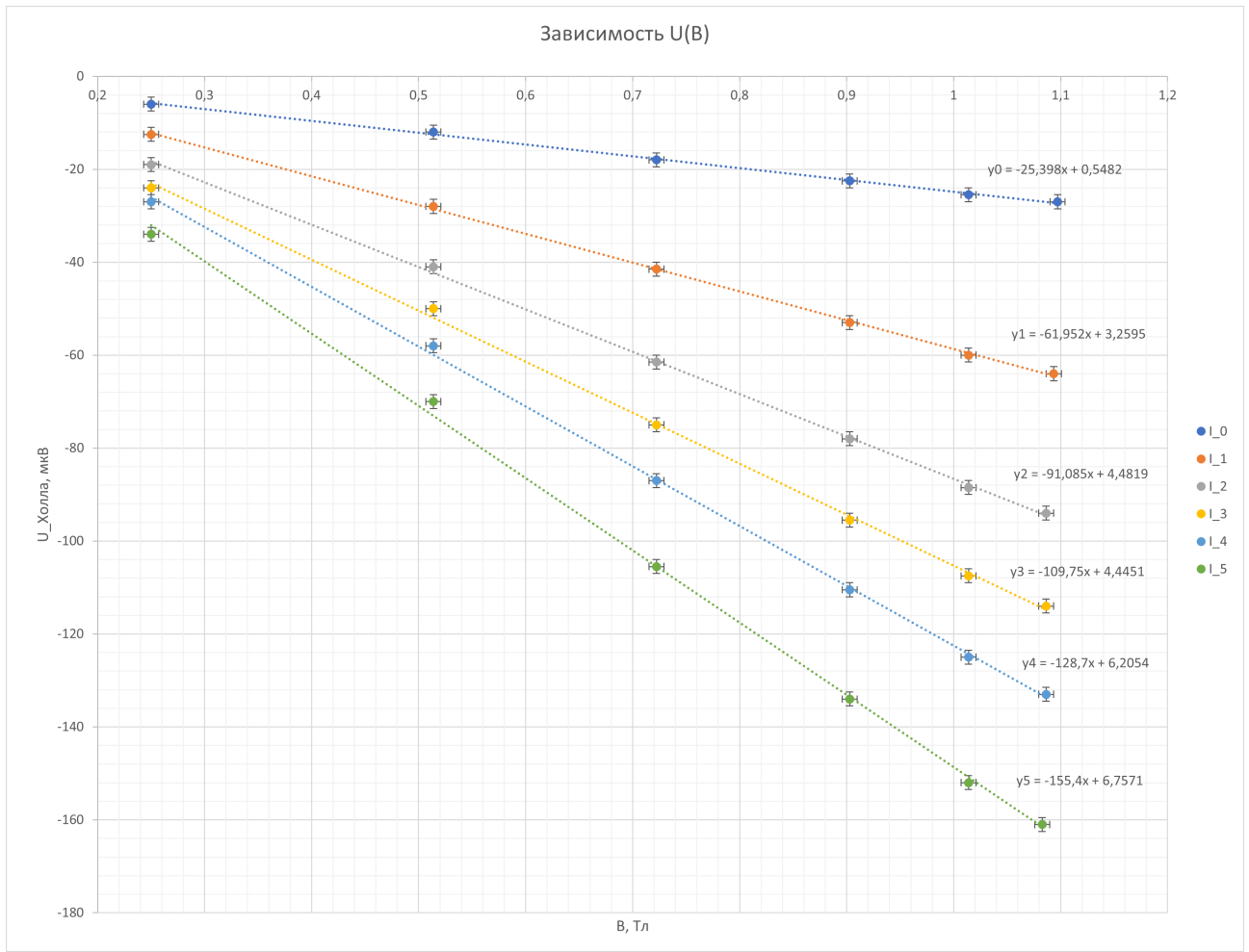


Рис. 3: Зависимость $U_{\text{Холл}} = f(B)$

$I_{\text{обр}}, \text{mA}$	0.14	0.34	0.5	0.6	0.7	0.85
$k, \frac{\text{мкВ}}{\text{Тл}}$	-25.40	-61.95	-91.08	-109.75	-128.70	-155.40
σ_k	0.51	0.68	1.21	1.80	1.71	1.73

Таблица 3: Значения коэффициента $\frac{dU}{dB}$ при различных значениях $I_{\text{обр}}$

3) Также определим знак носителей в образце. Узнаем направление тока в образце и в электромагните, с помощью последнего определим направление магнитного поля. Из картинка видно, что носители заряда в экспериментальном проводнике — электроны.

4) Рассчитаем значение параметра R_H . Для этого построим график $k = f(I)$ и найдем его наклон.

$$R_H = h \cdot \frac{dU/dB}{I} = h \cdot \frac{k}{I} = (-403,9 \pm 13,7) \frac{\text{см}^3}{\text{Кл}} (\varepsilon = 3.4\%)$$

где $h = 2,2 \text{ мм}$ — толщина образца.

Значение отрицательное, так как носители заряда в нашем случае — электроны. Теперь рассчитаем концентрацию носителей заряда:

$$R_H = \frac{1}{nq} \rightarrow n = \frac{1}{qR_H} = (1.55 \pm 0.05) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$$

5) При токе $I = 1,00 \pm 0,01 \text{ мА}$ измеряем падение напряжения между концами 3 и 5: $U_{35} = 1,73 \pm 0,01 \text{ мВ}$. Характеристики образца: $L_{35} = 3 \text{ мм}$, $a = 2.2 \text{ мм}$, $l = 2.5 \text{ мм}$.

Считаем удельную проводимость и удельное сопротивление:

$$\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}al} = 315.3 \pm 3.5 (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1} \approx 3.15 (\text{Ом} \cdot \text{см})^{-1}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = (3.17 \pm 0.03) \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м} \approx 0.32 \text{ Ом} \cdot \text{см}$$

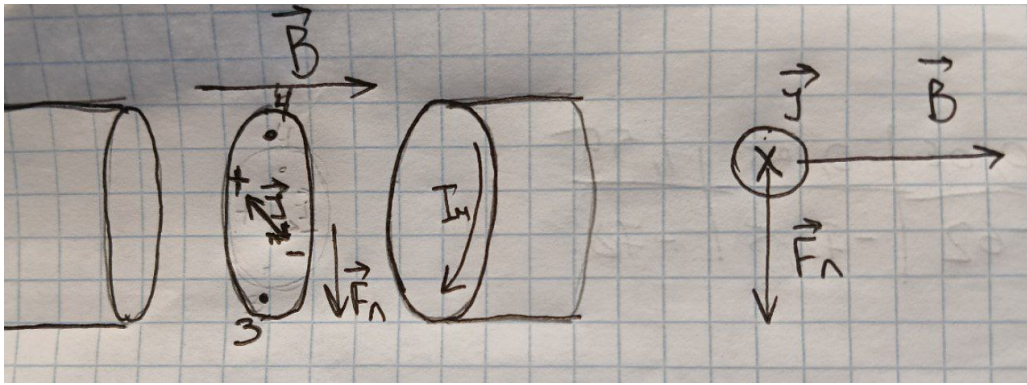


Рис. 4: Определение носителей заряда

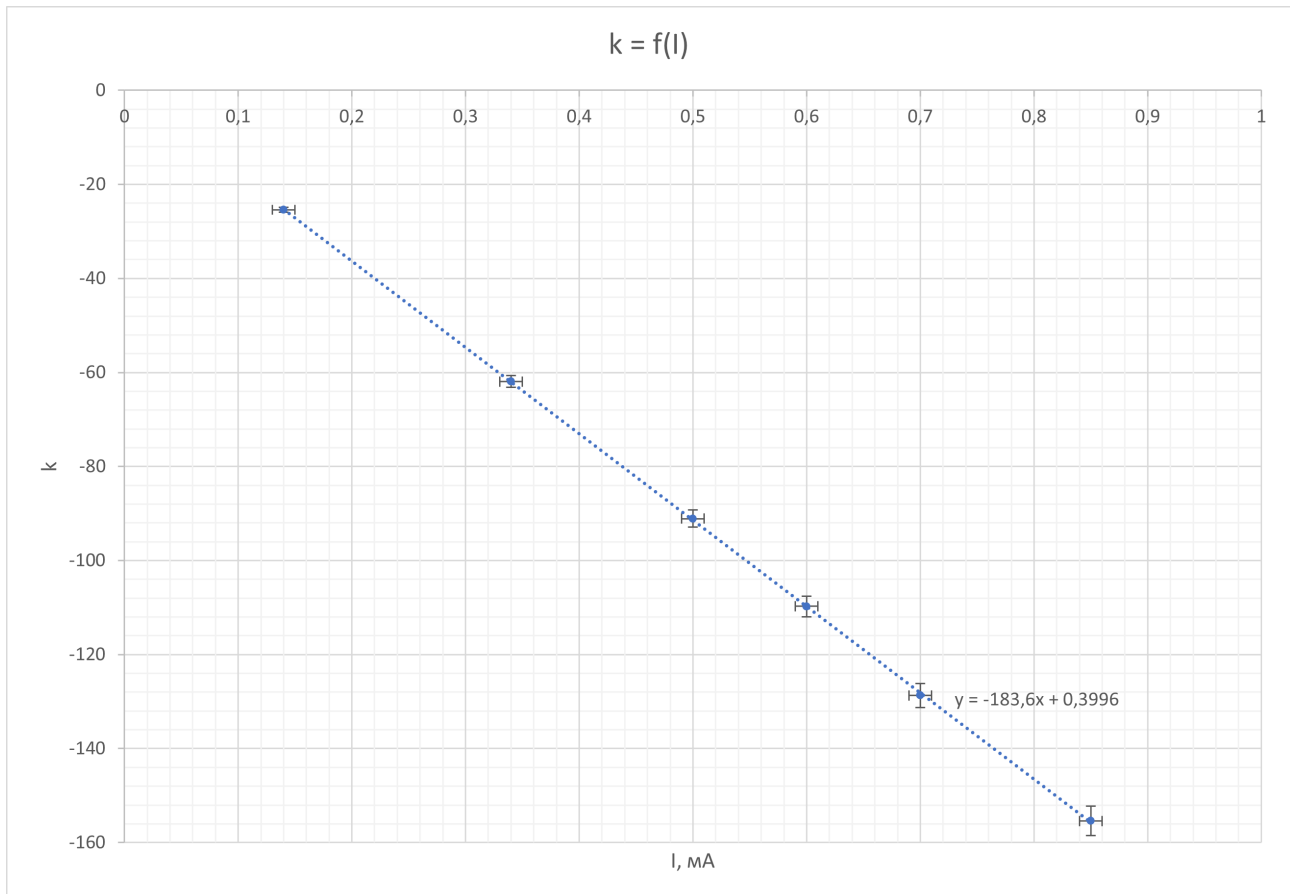


Рис. 5: Зависимость $k = f(I)$

Вычислим подвижность носителей заряда:

$$b = \frac{\sigma}{en} = (1.27 \pm 0.05) \cdot 10^3 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} \quad (\varepsilon = 3.6\%)$$

Результаты и выводы

В данной лабораторной работе были исследованы эффект Холла на полупроводнике из легированного германия и свойства самого полупроводника. Вот все основные результаты:

- $R_H = (-403,9 \pm 13,7) \frac{\text{см}^3}{\text{Кл}} \quad (\varepsilon = 3.4\%)$
- Носителями заряда в экспериментальном проводнике являются электроны
- Концентрация носителей заряда $n = (1.55 \pm 0.05) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3} \quad (\varepsilon = 3.4\%)$

- Проводимость полупроводника: $\sigma = 315.3 \pm 3.5 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$ ($\varepsilon = 1.1\%$)
- Подвижность носителей заряда $b = (1.27 \pm 0.05) \cdot 10^3 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$ ($\varepsilon = 3.6\%$)

С табличными значениями результаты практически не сходятся, вероятно из-за неизвестного количества примесей в образце полупроводника.