

Лабораторная работа 3.3.4

Эффект Холла в полупроводниках

Татаурова Юлия Романовна

4 декабря 2024 г.

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

Оборудование: электромагнит с источником питания, батарейка, амперметр, реостат, цифровой вольтметр, милливеберметр, образец легированного германия.

Теоретические сведения

Во внешнем магнитном поле B на заряды действует сила Лоренца, которая вызывает движение носителей заряда. При этом траектория частиц будет искривляться, поэтому будет возникать разность потенциалов в направлении поперечном току в образце. В этом и заключается эффект Холла.

Экспериментальная установка

В зазоре электромагнита создается постоянное магнитное поле, которое можно менять с помощью регуляторов источника питания. Ток измеряется амперметром источника питания A_1 .

При замыкании ключа K_2 вдоль длинной стороны образца течет ток, величина которого изменяется реостатом R и измеряется миллиамперметром A_2 .

В образце с током между контактами 3 и 4 возникает разность потенциалов U_{34} , которая измеряется цифровым вольтметром.

Параметры катушки: $S \cdot N = 75 \text{ см}^2 \cdot \text{вит}$; $r_{\text{внш}} \leq 5 \text{ Ом}$.

Параметры образца: $L_{35} = 15 \text{ мм}$; $l = 8 \text{ мм}$; $a = 2 \text{ мм}$.

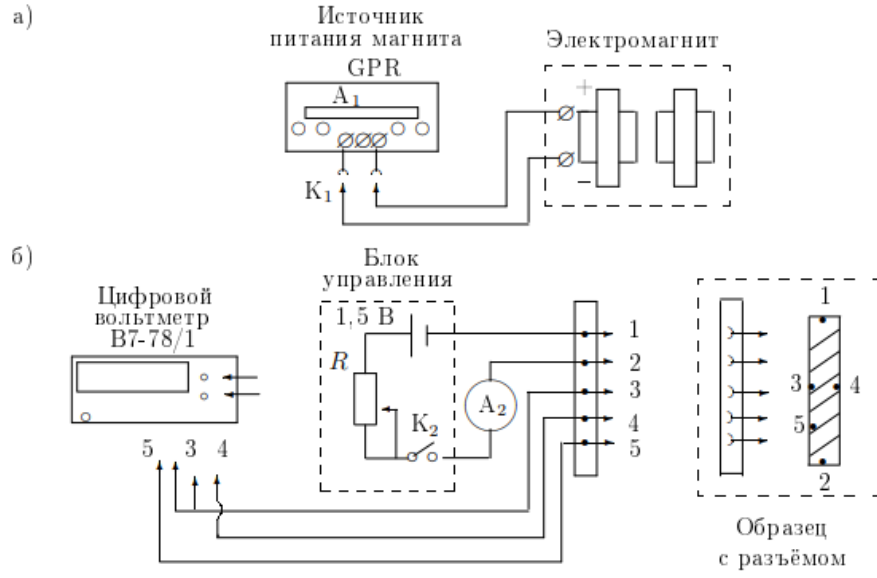


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

Обработка результатов

Построим калибровочную кривую $B(I_1)$, чтобы пересчитывать по ней силу тока на величину магнитного поля.²

$I_1, \text{ A}$	0.3 ± 0.01	0.6 ± 0.01	0.9 ± 0.01	1.2 ± 0.01	1.5 ± 0.01	1.8 ± 0.01	2.1 ± 0.01
$B, \text{ мТл}$	253 ± 1	493 ± 1	720 ± 1	933 ± 1	1093 ± 1	1173 ± 1	1240 ± 1

Таблица 1: Зависимость поля внутри электромагнита от силы тока в нем

Теперь, измерив ЭДС Холла, построим семейство характеристик $\varepsilon_X = f(B)$ при разных значениях тока I_2 через образец. По ним определим коэффициенты наклона $K(I_2) = \Delta\varepsilon/\Delta B$.

$U, \text{ мкВ} / I_1, \text{ A}$	0.3 ± 0.01	0.6 ± 0.01	0.9 ± 0.01	1.2 ± 0.01	1.5 ± 0.01	1.8 ± 0.01	2.1 ± 0.01
$I_2 = 0.3 \text{ мА}$	-1.24	-0.17	0.55	1.22	1.63	1.90	2.08
$I_2 = 0.4 \text{ мА}$	-1.75	-0.35	0.63	1.44	2.01	2.4	2.66
$I_2 = 0.5 \text{ мА}$	-2.21	-0.41	0.76	1.74	2.46	2.93	3.24
$I_2 = 0.6 \text{ мА}$	-2.76	-1.1	0.86	2.04	2.9	3.48	3.83
$I_2 = 0.7 \text{ мА}$	-3.05	-0.7	1.00	2.29	3.27	3.92	4.3
$I_2 = 0.8 \text{ мА}$	-3.62	-0.93	1.04	2.55	3.68	4.41	4.85
$I_2(\text{rev}) = 0.84 \text{ мА}$	-12.39	-15.58	-18.11	-20.22	-21.5	-22.5	-23.04

Таблица 2: Зависимость разности потенциалов U от силы тока через источник питания магнита (A_1) при различных значениях силы тока через цепь (A_2)
($\sigma_{U_{34}} = 0.002 \text{ мВ}$; $\sigma_{U_2} = 0.005 \text{ мА}$)

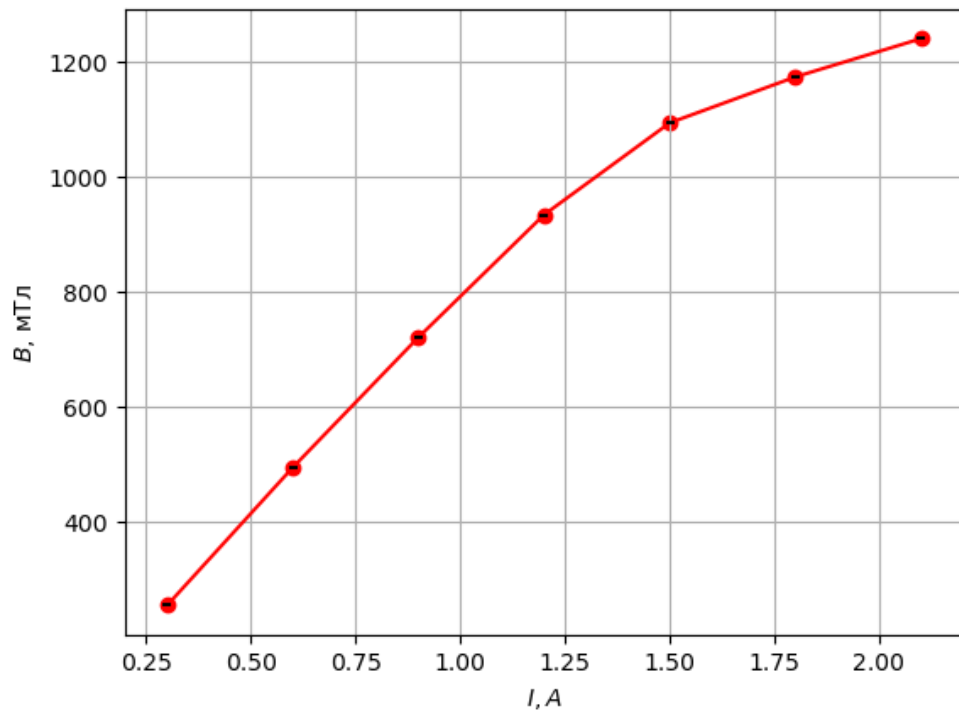


Рис. 2: Зависимость индукции магнитного поля через электромагнит B от силы тока I_1

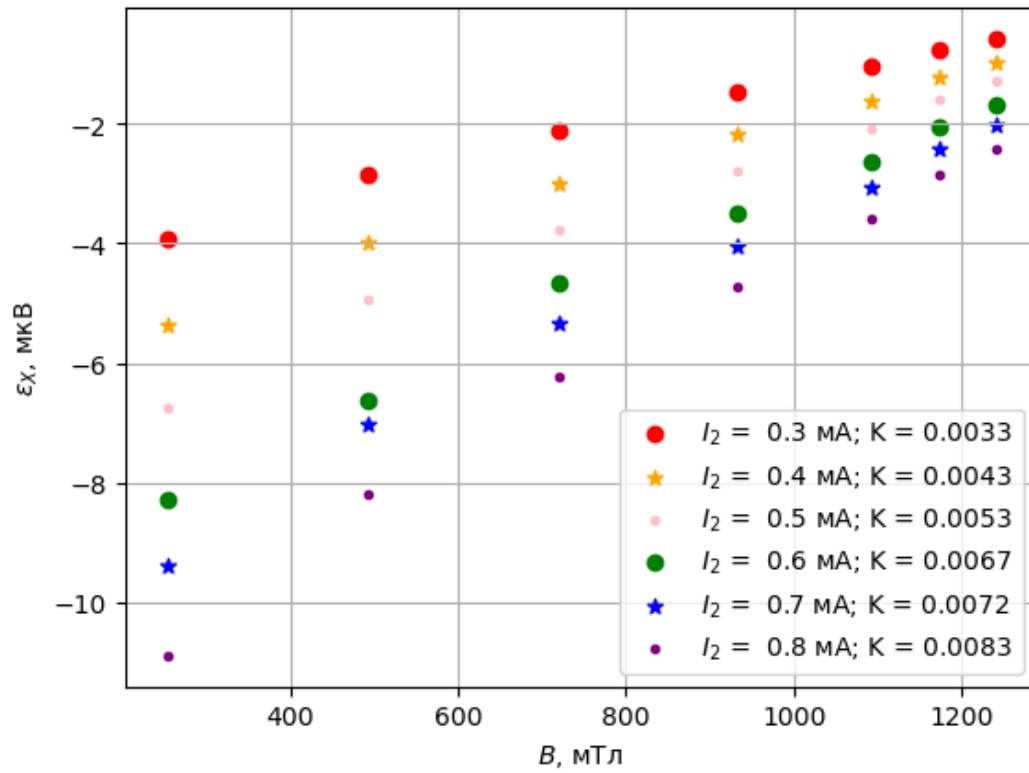


Рис. 3: Зависимость ЭДС Холла ε_H от магнитного поля B при различных значениях силы тока через образец I_2

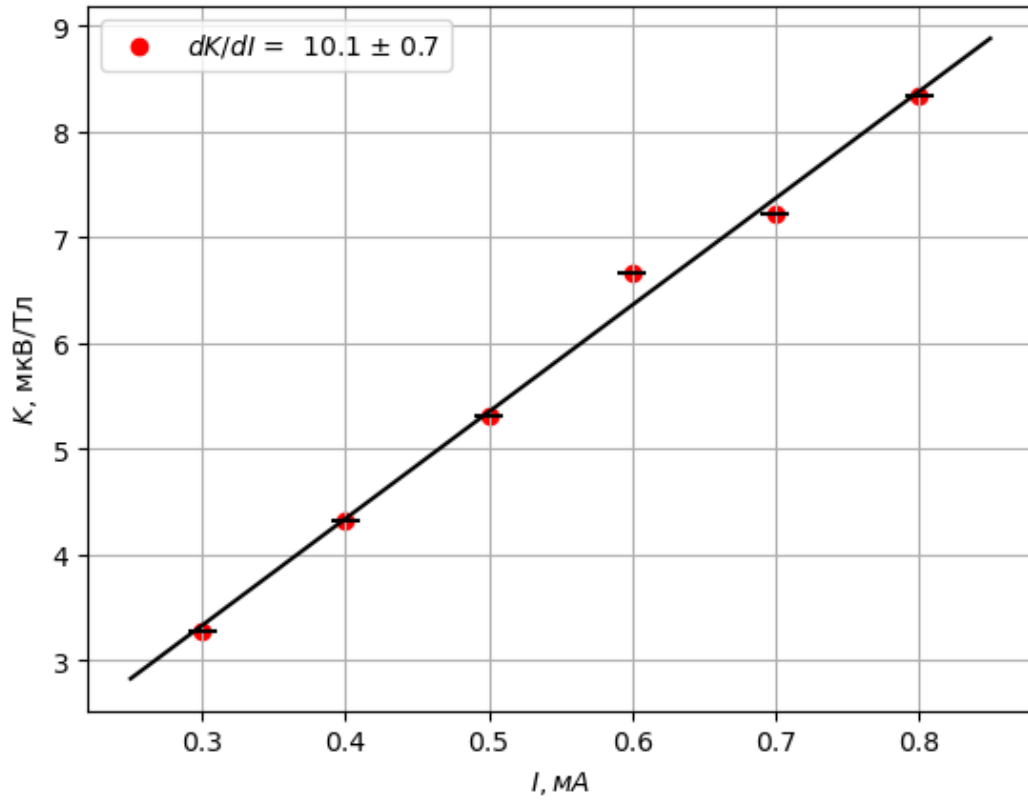


Рис. 4: Зависимость углового коэффициента K , графика зависимости ЭДС Холла от магнитного поля, от тока протекающего по образцу I_2

I_2, mA	0.3 ± 0.01	0.4 ± 0.01	0.5 ± 0.01	0.6 ± 0.01	0.7 ± 0.01	0.8 ± 0.01
$K, \text{mV/Tl}$	3.3 ± 0.2	4.3 ± 0.2	5.3 ± 0.3	6.7 ± 0.4	7.2 ± 0.4	8.3 ± 0.5

Таблица 3: Зависимость углового коэффициента K , графика зависимости ЭДС Холла от магнитного поля, от тока протекающего по образцу I_2

Для Холловского напряжения справедлива формула:

$$\varepsilon_X = \frac{B}{nqh} \cdot I = R_H \cdot \frac{B}{a} \cdot I \quad (1)$$

где I - ток, протекающий через образец; R_H - постоянная Холла, знак которой определяется знаком заряда носителя.

Тогда учитывая 1 можем найти постоянную Холла и концентрацию носителей заряда в образце:

$$R_H = \frac{dK}{dI} \cdot a = (2.0 \pm 0.1) \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{Кл} \quad (2)$$

$$n = \frac{1}{R_H q} = (3.1 \pm 0.2) \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3} \quad (3)$$

Теперь рассчитаем удельную проводимость материала образца при напряжении $U_{35} = 0.13 \pm 0.005 \text{ мВ}$ и токе через образец $I = 0.84 \pm 0.005 \text{ мА}$:

$$\sigma = \frac{I \cdot L_{35}}{U_{35} \cdot a \cdot l} = (6.057 \pm 0.009) \cdot 10^3 \text{ См/м} \quad (4)$$

Теперь вычислим подвижность b носителей тока:

$$b = \frac{\sigma}{qn} = (1.2 \pm 0.08) \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с} \quad (5)$$

$R_H, \text{ м}^3/\text{Кл} \cdot 10^{-5}$	Носители заряда	$n, \text{ м}^{-3}$	$\sigma, \text{ См/м}$	$b, \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с} \cdot 10^3$
2.0 ± 0.1	Дырки	$(3.1 \pm 0.2) \cdot 10^{23}$	$(6.057 \pm 0.009) \cdot 10^3$	1.2 ± 0.08
-	-	-	10^4	1.8

Таблица 4: Результаты измерений и сравнение их с табличными данными

Выводы

Определили носителей заряда в образце легированного германия - дырки, а так же вычислили их подвижность и концентрацию. Вычислили удельную проводимость образца. Результаты приведены в таблице 4.