

# Задача 3.3.4

## Эффект Холла в полупроводниках

Лось Денис (группа 611)

19 октября 2017

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

**В работе используются:** электромагнит с источником питания, цифровой вольтметр, батарейка 1.5 В, реостат, миллиамперметр, образцы легированного германия, измеритель магнитной индукции.

### Экспериментальная установка

Электрическая схема установки для измерения ЭДС Холла представлена на рис.1

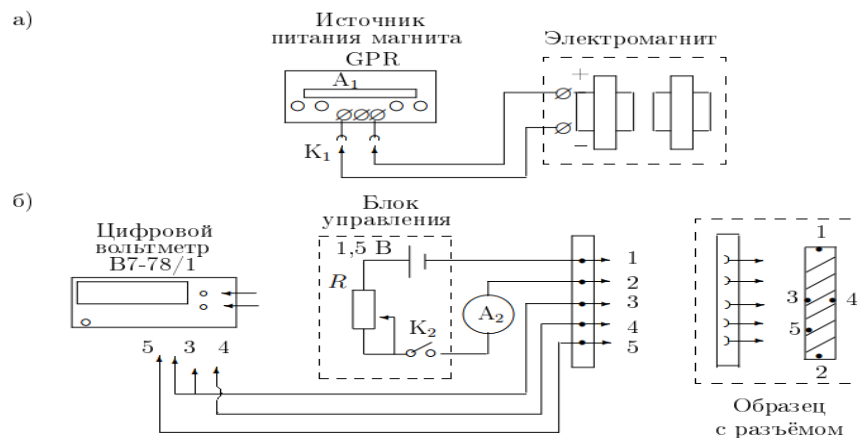


Рис. 1: Схема установки для исследования эффекта Холла в полупроводниках

В зазоре электромагнита создается постоянное магнитное поле, величину которого можно менять с помощью регуляторов источника питания электромагнита. Ток питания электромагнита измеряется амперметром источника питания  $A_1$ . Разъем  $K_1$  позволяет менять направление тока в обмотках электромагнита.

Образец из легированного германия, смонтированный в специальном держателе, подключается к батарее. При замыкании ключа  $K_2$  вдоль длинной стороны образца

течёт ток, величина которого регулируется реостатом  $R$  и измеряется миллиамперметром  $A_2$ . В образце с током, помещённом в зазор электромагнита, между контактами 3 и 4 возникает разность потенциалов  $U_{34}$ , которая измеряется с помощью цифрового вольтметра.

Контакты 3 и 4 вследствие неточности подпайки не всегда лежат на одной эквипотенциали, и тогда напряжение между ними связано не только с эффектом Холла, но и с омическим падением напряжения, вызванным протеканием основного тока через образец. Измеряемая разность потенциалов при одном направлении магнитного поля равна сумме ЭДС Холла и омического падения напряжения, а при другом их разности. В этом случае ЭДС Холла  $\mathcal{E}_x$  может быть определено как половина алгебраической разности показаний вольтметра, полученных для двух противоположных направлений магнитного поля в зазоре.

Однако можно исключить влияние омического падения напряжения иначе, если при каждом токе через образец измерять напряжение между точками 3 и 4 в отсутствие магнитного поля. Тогда величина ЭДС Холла  $\mathcal{E}_x = U_{34} + U_0$ . При таком способе измерения нет необходимости проводить повторные измерения с противоположным направлением магнитного поля.

Измерив ток  $I$  и напряжение  $U_{35}$  между контактами 3 и 5 в отсутствие магнитного поля, можно, зная параметры образца, рассчитать проводимость материала образца:

$$\sigma = \frac{L_{35}}{a \cdot l} \frac{I}{U_{35}},$$

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

## Ход работы

### Параметры установки

В данной экспериментальной установке:

$$a = 2.2 \text{ мм}$$

$$L_{35} = 3.0 \text{ мм}$$

$$l = 2.5 \text{ мм}$$

### Градуировка электромагнита

Проведём измерения магнитной индукции  $B$  в зависимости от значения тока через электромагнит  $I_m$  и построим график зависимости  $B = f(I_m)$ .

$B$ , мТл	887	840	784	712	629	537	441	340	253	143
$I$ , А	1.05	0.95	0.85	0.75	0.65	0.54	0.44	0.34	0.25	0.15

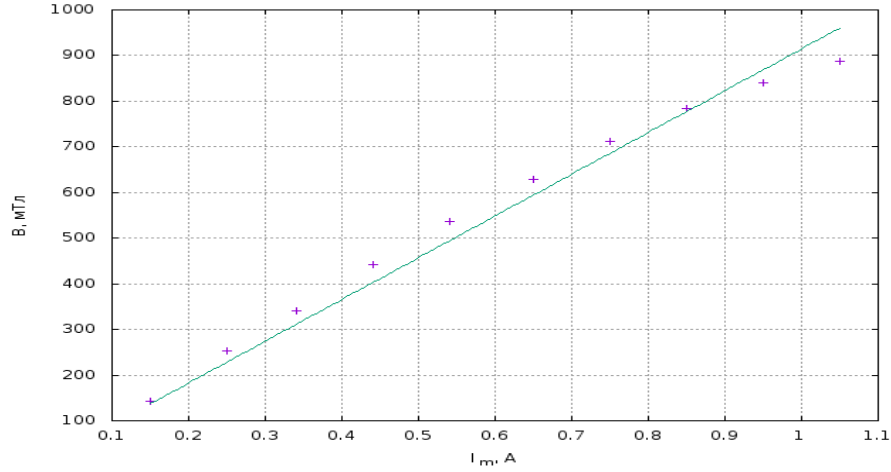


Рис. 2: График зависимости  $B = f(I_m)$

Определив коэффициент наклона графика, получим, что:

$$B = 915 \cdot I \quad (\sigma_B = 2\%),$$

где  $I$  измеряется в амперах, а значение  $B$  получается в миллитеслах.

## Измерение ЭДС Холла

1. Проведём измерения ЭДС Холла при различных значениях тока через образец. Для этого вставим образец в зазор выключенного электромагнита и будем определять напряжение  $U_0$  между холловскими контактами 3 и 4 для каждого значения тока через образец. Включив электромагнит, снимем зависимость напряжения  $U_{34}$  от тока  $I_m$  через обмотки магнита для каждого фиксированного тока через образец.

$\mathcal{E}_x$ , мкВ	−44	−41	−38	−35	−31	−28	−22	−16
$I$ , А	1.19	1.00	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.35

Таблица 1: Таблица измерения  $U_{34} = f(I_m)$  при  $I = 0.25$  мА и  $U_0 = -10$  мкВ

$\mathcal{E}_x$ , мкВ	−71	−65	−59	−50	−41	−35	−23
$I$ , А	1.25	1.05	0.9	0.75	0.6	0.5	0.35

Таблица 2: Таблица измерения  $U_{34} = f(I_m)$  при  $I = 0.4$  мА и  $U_0 = -15$  мкВ

$\mathcal{E}_x$ , мкВ	−89	−82	−74	−63	−52	−43	−29
$I$ , А	1.25	1.05	0.9	0.75	0.6	0.5	0.35

Таблица 3: Таблица измерения  $U_{34} = f(I_m)$  при  $I = 0.5$  мА и  $U_0 = -19$  мкВ

$\mathcal{E}_x$ , мкВ	−106	−97	−87	−75	−61	−51	−35
$I$ , А	1.25	1.05	0.9	0.75	0.6	0.5	0.35

Таблица 4: Таблица измерения  $U_{34} = f(I_m)$  при  $I = 0.6$  мА и  $U_0 = -22$  мкВ

$\mathcal{E}_x$ , мкВ	−124	−113	−103	−88	−71	−59	−42
$I$ , А	1.25	1.05	0.9	0.75	0.6	0.5	0.35

Таблица 5: Таблица измерения  $U_{34} = f(I_m)$  при  $I = 0.7$  мА и  $U_0 = -26$  мкВ

$\mathcal{E}_x$ , мкВ	−142	−129	−117	−101	−82	−69	−48
$I$ , А	1.25	1.05	0.9	0.75	0.6	0.5	0.35

Таблица 6: Таблица измерения  $U_{34} = f(I_m)$  при  $I = 0.8$  мА и  $U_0 = -30$  мкВ

$\mathcal{E}_x$ , мкВ	−163	−146	−132	−114	−92	−77	−53
$I$ , А	1.25	1.05	0.9	0.75	0.6	0.5	0.35

Таблица 7: Таблица измерения  $U_{34} = f(I_m)$  при  $I = 0.9$  мА и  $U_0 = -33$  мкВ

$\mathcal{E}_x$ , мкВ	−178	−163	−147	−127	−103	−87	−59
$I$ , А	1.25	1.05	0.9	0.75	0.6	0.5	0.35

Таблица 8: Таблица измерения  $U_{34} = f(I_m)$  при  $I = 1.0$  мА и  $U_0 = -37$  мкВ

Проведём измерения  $U_{34} = f(I_m)$  при другом направлении магнитного поля (повернув образец на  $180^\circ$  вокруг горизонтальной оси, проходящей вдоль ручки держателя).

$\mathcal{E}_x$ , мкВ	−178	−163	−147	−126	−104	−86	−61
$I$ , А	1.25	1.05	0.9	0.75	0.6	0.5	0.35

Таблица 9: Таблица измерения  $U_{34} = f(I_m)$  при  $I = 1.0$  мА и  $U_0 = -44$  мкВ

2. Построим семейство характеристик  $\mathcal{E}_x = f(B)$  при разных значениях тока  $I$  через образец. Определим угловые коэффициенты  $k(I) = \Delta\mathcal{E}_x/\Delta B$  полученных прямых.

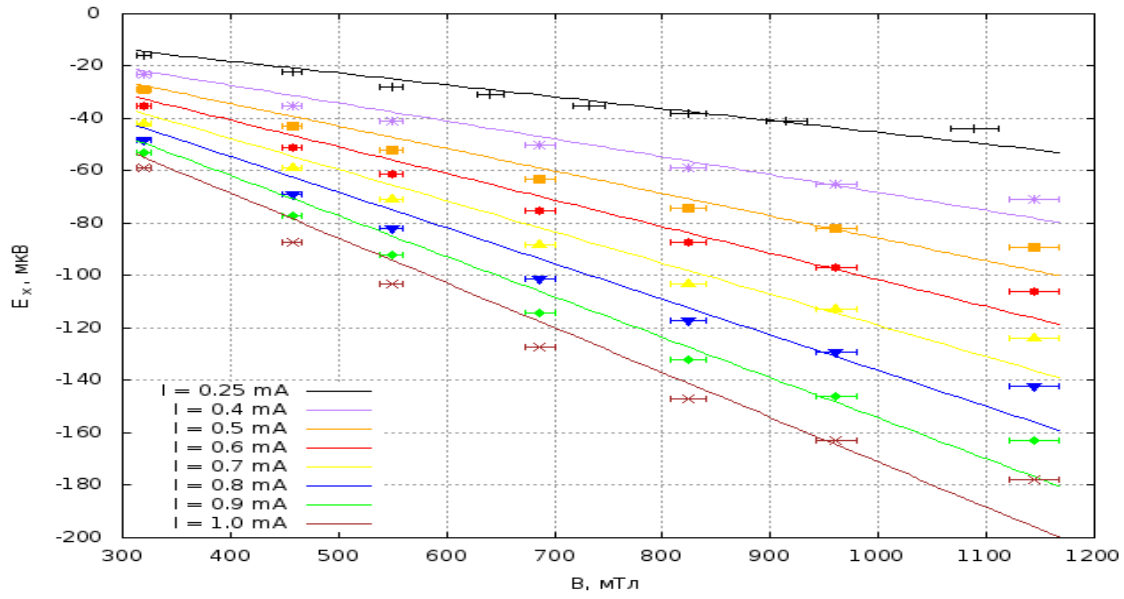


Рис. 3: График зависимости  $\mathcal{E}_x = f(B)$  при разных значениях тока  $I$

$k(I)$ , мВ / Тл	$I$ , мА	$\Delta_k$
-0.0452	0.25	0.0013
-0.068	0.4	0.002
-0.086	0.5	0.003
-0.102	0.6	0.003
-0.119	0.7	0.003
-0.136	0.8	0.004
-0.154	0.9	0.004
-0.171	1.0	0.005

3. Построим график  $k = f(I)$  и найдём коэффициент его наклона. Определим величину постоянной Холла  $R_x$  как

$$R_x = -\frac{\Delta k(I)}{\Delta I} \cdot a$$

Далее рассчитаем концентрацию  $n$  носителей тока в образце по формуле:

$$n = \frac{1}{e \cdot R_x}$$

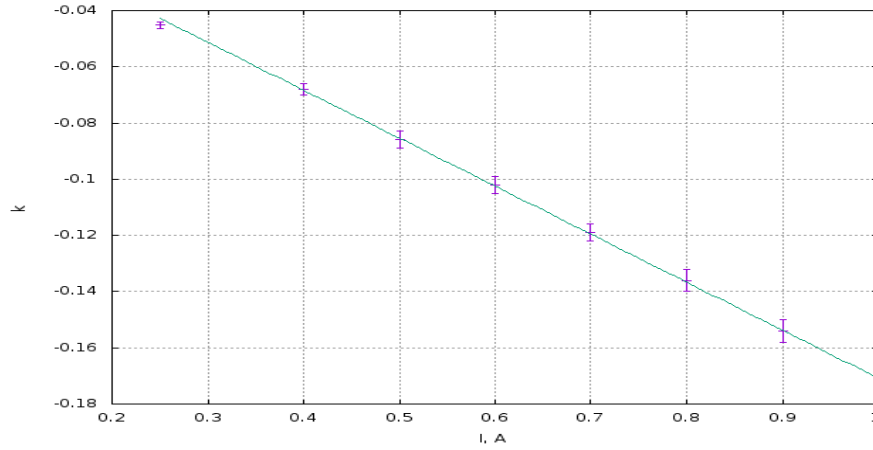


Рис. 4: График зависимости  $k = f(I)$

С помощью метода наименьших квадратов получим, что

$$\frac{\Delta k(I)}{\Delta I} = - (170.8 \pm 0.5) \cdot 10^{-3} \frac{\text{В}}{\text{Тл} \cdot \text{А}}$$

Следовательно,

$$R_x = (357.6 \pm 1.2) \cdot 10^{-6} \frac{\text{М}^3}{\text{Кл}}$$

Тогда концентрация носителей тока в образце

$$n = (1.748 \pm 0.006) \cdot 10^{22} \frac{1}{\text{М}^3}$$

## Определение характера проводимости

В данном случае проводимость дырочная. Иллюстрации приведены в приложении к отчёту.

## Определение удельной проводимости

При токе через образец  $I = 1 \text{ мА}$  измерим падение напряжения  $U_{35}$ . Получим, что  $U_{35} = 1.765 \text{ мВ}$ . Проводимость материала

$$\sigma = (309.0 \pm 0.2) \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}.$$

Следовательно, подвижность носителей тока

$$b = \frac{\sigma}{en} = (1104 \pm 3) \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$$