

1.1 Мостик Холла

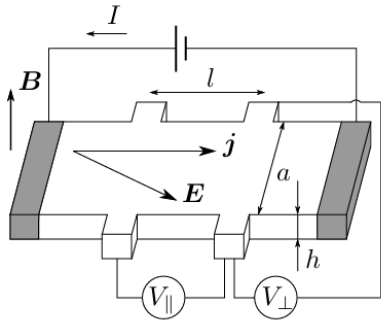


Рисунок 2: Схема для исследования влияния магнитного поля на проводящие свойства: мостик Холла

где константу

$$R_H = \frac{1}{nq} \quad (9)$$

называют **постоянной Холла**. Знак постоянной Холла определяется знаком заряда носителей. Продольная напряжённость электрического поля равна

$$E_x = \rho_{xx} \cdot j_x = j_x / \sigma_0, \quad (10)$$

и падение напряжения $U_{||} = E_x l$ вдоль пластинки определяется омическим сопротивлением образца $R_0 = l / (\sigma_0 a h)$:

$$U_{||} = I R_0. \quad (11)$$

Интересно отметить, что несмотря на то, что тензор проводимости явно зависит от B , продольное сопротивление образца в данной геометрии от магнитного поля **не зависит**.

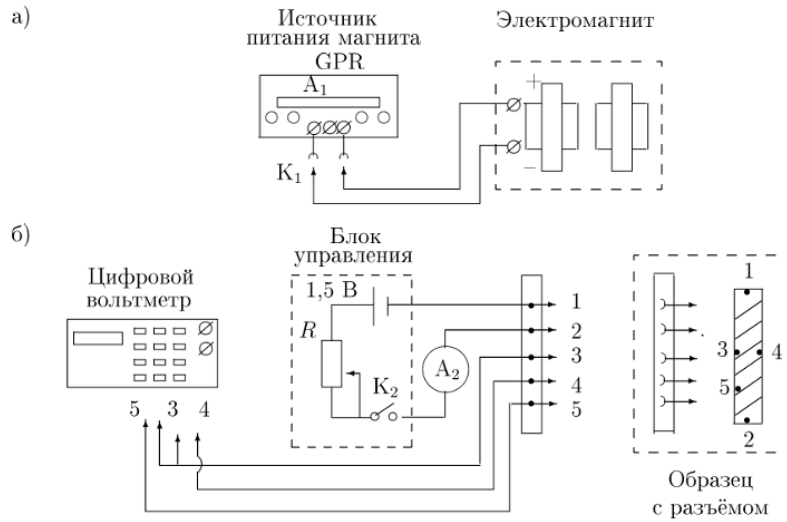


Рисунок 3: Схема установки

В зазоре электромагнита (рис. 1а) создаётся постоянное магнитное поле, величину которого можно менять с помощью регуляторов источника питания электромагнита. Ток питания электромагнита измеряется амперметром источника питания A_1 . Разъём K_1 позволяет менять направление тока в обмотках электромагнита.

В образце с током, помещённом в зазор электромагнита, между контактами 3 и 4 возникает разность потенциалов U_{34} , которая измеряется с помощью цифрового вольтметра.

Можно исключить влияние омического падения напряжения иначе, если при каждом токе через образец измерять напряжение между точками 3 и 4 в отсутствие магнитного поля. При фиксированном токе через образец это дополнительное к ЭДС Холла напряжение U_0 остаётся неизменным. От него следует (с учётом знака) отсчитывать величину ЭДС Холла: $\mathcal{E}_x = U_{34} \pm U_0$. При таком способе измерения нет необходимости проводить повторные измерения с противоположным направлением магнитного поля.

2 Ход работы

2.1 Градуировка электромагнита

| | | | | | | | |
|------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Сила тока I , А | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| Магнитная индукция B , мТл | 21,1 | 110,7 | 189,6 | 294,4 | 402,1 | 503,9 | 598,3 |

Таблица 1: Градуировка

2.2 Измерение ЭДС Холла

Проведем измерения $U_{34} = f(I_M)$ при постоянном токе через образец (всего 6–8 серий для токов в интервале 0,2–1 мА). При каждом новом значении тока через образец величина U_0 будет иметь своё значение.

| | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Сила тока I_M , А | 0 | 0,15 | 0,3 | 0,45 | 0,6 | 0,75 | 0,9 |
| Напряжение, U_{34} , мВ | -1,98 | -1,33 | -0,71 | -0,27 | -0,091 | -0,71 | -0,69 |

Таблица 2: $I = 200$ мкА, $U = -2,09$ мВ

| | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Сила тока I_M , А | 0 | 0,15 | 0,3 | 0,45 | 0,6 | 0,75 | 0,9 |
| Напряжение, U_{34} , мВ | -2,09 | -1,99 | -1,12 | -0,42 | 0,13 | 0,67 | 1,02 |

Таблица 3: $I = 300$ мкА, $U = -3,15$ мВ

| | | | | | | | |
|---------------------------|----|-------|-------|-------|------|------|------|
| Сила тока I_M , А | 0 | 0,15 | 0,3 | 0,45 | 0,6 | 0,75 | 0,9 |
| Напряжение, U_{34} , мВ | -4 | -2,67 | -1,46 | -0,56 | 0,18 | 0,9 | 1,35 |

Таблица 4: $I = 400$ мкА, $U = -4,12$ мВ

| | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Сила тока I_M , А | 0 | 0,15 | 0,3 | 0,45 | 0,6 | 0,75 | 0,9 |
| Напряжение, U_{34} , мВ | -5,01 | -3,35 | -1,85 | -0,69 | 0,23 | 1,05 | 1,77 |

Таблица 5: $I = 500$ мкА, $U = -5,29$ мВ

| | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Сила тока I_M , А | 0 | 0,15 | 0,3 | 0,45 | 0,6 | 0,75 | 0,9 |
| Напряжение, U_{34} , мВ | -6,02 | -3,96 | -2,19 | -0,82 | 0,27 | 1,25 | 2,07 |

Таблица 6: $I = 600$ мкА, $U = -6,95$ мВ

| | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Сила тока I_M , А | 0 | 0,15 | 0,3 | 0,45 | 0,6 | 0,75 | 0,9 |
| Напряжение, U_{34} , мВ | -7,09 | -4,67 | -2,59 | -1,02 | 0,29 | 1,43 | 2,51 |

Таблица 7: $I = 700$ мкА, $U = -7,4$ мВ

| | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Сила тока I_M , А | 0 | 0,15 | 0,3 | 0,45 | 0,6 | 0,75 | 0,9 |
| Напряжение, U_{34} , мВ | -8,02 | -5,34 | -2,96 | -1,04 | 0,35 | 1,64 | 2,77 |

Таблица 8: $I = 800$ мкА, $U = -8,44$ мВ

При максимальном токе через образец (≈ 1 мА) проведем измерения $U_{34} = f(I_M)$ при другом направлении магнитного поля через образец (используем значения из последнего измерения).

| | | | | | | | |
|---------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Сила тока I_M , А | 0 | 0,15 | 0,3 | 0,45 | 0,6 | 0,75 | 0,9 |
| Напряжение, U_{34} , мВ | -8,85 | -11,68 | -14,36 | -16,46 | -18,32 | -19,96 | 21,34 |

2.3 Определение характера проводимости

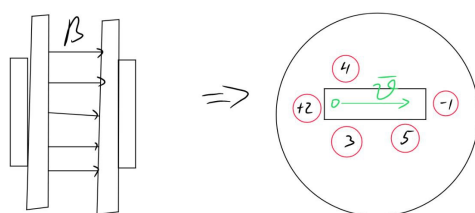


Рисунок 4: Схема установки

По правилу векторного произведения определили направление, в котором летят частицы. Из направления выяснили, что они положительные.

2.4 Определение удельной проводимости

При токе 1мА измерили падение напряжения на клеммах 3,4 установки: $U_{3,4} = 0,153$ В.
Характеристики образца: $L_{3,5} = 15\text{mm}$, $l = 8\text{ mm}$, $a = 2\text{ mm}$.

3 Обработка результатов

Построим график зависимости B от I .

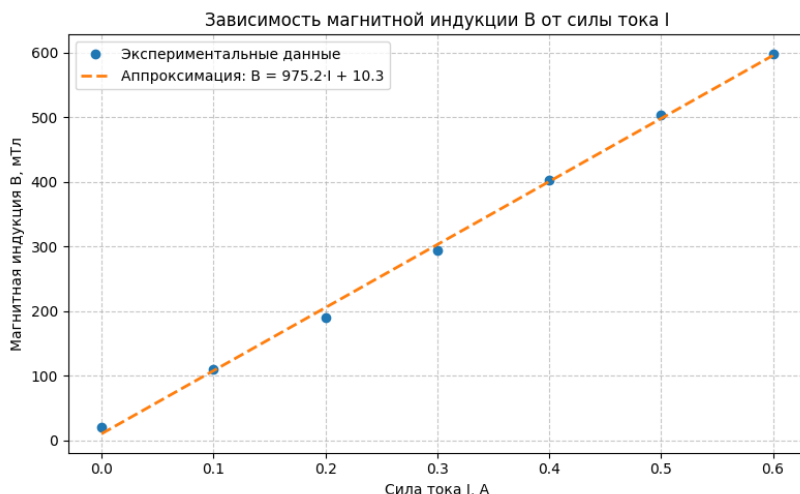


Рисунок 5: Зависимость магнитной индукции B от силы тока I

Рассчитаем ЭДС Холла и построим на одном листе семейство прямых $\varepsilon_x = f(B)$

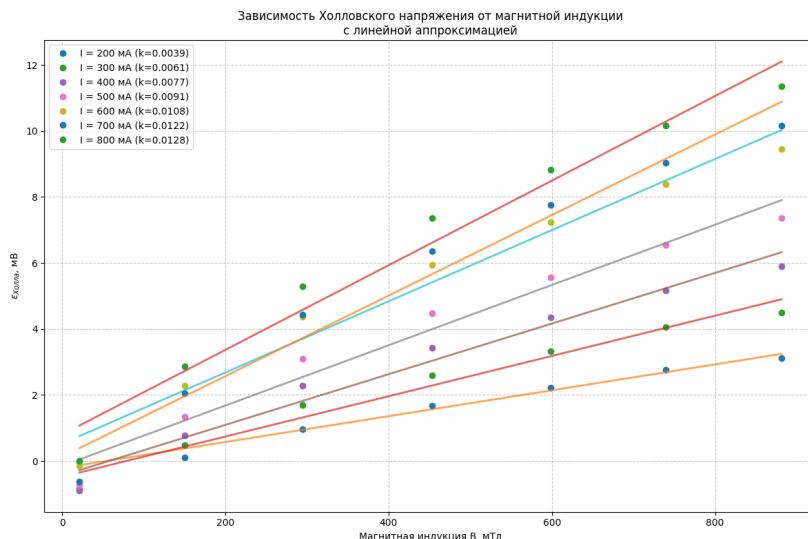


Рисунок 6: Зависимость Холловского напряжения от магнитной индукции

| Ток, мА | Угловой коэффициент, мВ/мТл | R^2 |
|---------|-----------------------------|--------|
| 200 | 0.003919 | 0.9853 |
| 300 | 0.006181 | 0.9785 |
| 400 | 0.007671 | 0.9729 |
| 500 | 0.009127 | 0.9761 |
| 600 | 0.01078 | 0.9726 |
| 700 | 0.012197 | 0.9766 |
| 800 | 0.012817 | 0.9766 |

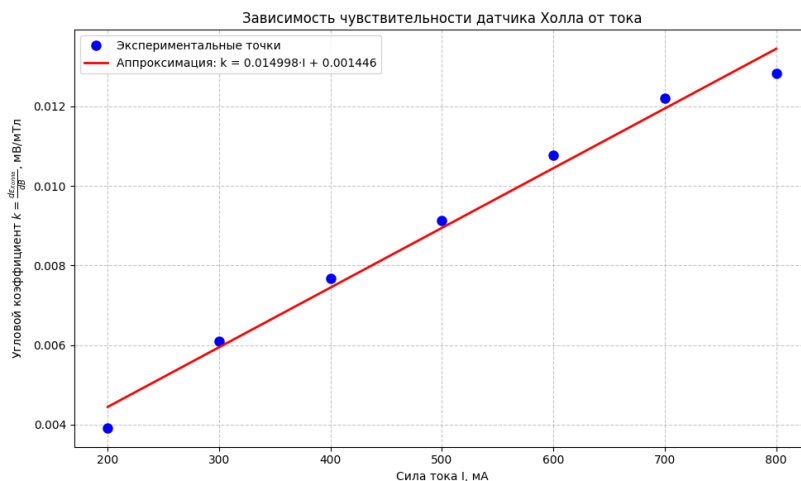


Рисунок 7: Угловой коэффициент $k = \frac{d\varepsilon}{dB}$, мВ/мТл

Рассчитаем постоянную Холла:

$$R_x = a \cdot k = 0,015 \cdot 0,002 = (30 \pm 2) \cdot 10^{-6} \frac{\text{М}^3}{\text{Кл}}$$

Определим концентрацию зарядов:

$$n = \frac{1}{R_x \cdot q} = (2,01 \pm 0,3) \cdot 10^{23}$$

Определим удельную проводимость.

Формула:

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

Подставим значения:

$$\sigma = \frac{10^{-3} \cdot 0.015}{0.153 \cdot 0.002 \cdot 0.008} = 6.127 \pm 0,048$$

По формуле

$$b = \frac{\sigma}{en} = \sigma R_x \quad (12)$$

вычислим подвижность носителей тока в образце:

$$b = 0.021 \pm 0.001 \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} \quad (13)$$

| $R_x \pm \Delta R_x$ $10^{-6} \text{ М}^3/\text{Кл}$ | v Знак носит. | $n \pm \Delta n$ $(\text{М}^3)^{-1}$ | $\sigma \pm \Delta \sigma$ $(\Omega \cdot \text{м})^{-1}$ | $b \pm \Delta b$ $\text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ |
|---|--------------------|---|--|---|
| 30 ± 2 | положительный | $(2,01 \pm 0,3) \cdot 10^{23}$ | $6.127 \pm 0,048$ | 0.021 ± 0.001 |

Вывод: измерил подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках. Результаты работы хорошо совпали с табличными значениями, особенно концентрация. Постоянная Холла получилась меньше, чем табличные данные. Это связано с тем, что мы не очень качественно провели градуировку, что видно также на графике.