

Эффект Холла в полупроводниках

Шмаков Владимир Б04-105

Октябрь, МФТИ

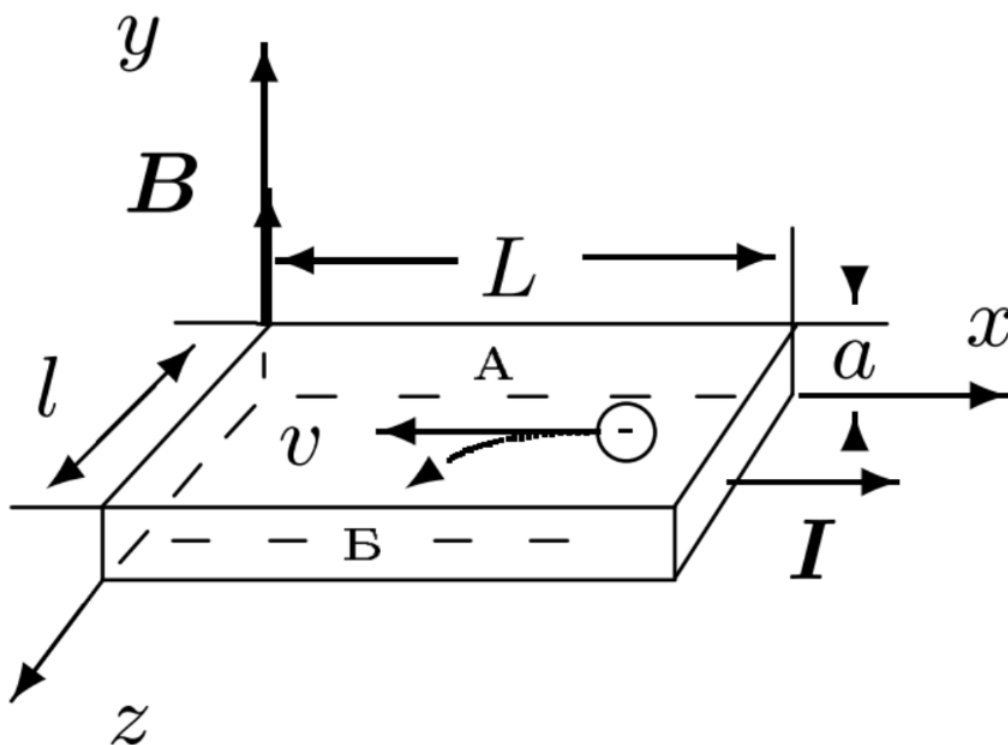
Введение

Полупроводники используются для производства множества электронных компонентов. Поэтому требуется умение определять их параметры.

Целью работы является вычисление подвижности и концентрации носителей заряда в легированном образце германия.

Теоретические сведения

Эффект Холла заключается в появлении разности потенциалов между гранями проводника с током, помещённого в магнитное поле. Разность потенциалов появляется вследствие отклонения потока носителей заряда:



В магнитном поле на электрон действует сила Лоренца:

$$\vec{F}_L = \vec{F}_E + \vec{F}_B = e\mathbf{E} - e[\langle \mathbf{v} \rangle, \mathbf{B}].$$

Здесь v - дрейфовая скорость электрона в электрическом поле. Под действием \vec{F}_B на торцах возникает ЭДС Холла. Бесконечному накоплению заряда на торцах препятствует

$$F_{Ez} = eE_z.$$

При этом:

$$E_z = |\langle v_x \rangle| B.$$

Тогда

$$U_{AB} = -E_z l = -|\langle v_x \rangle| B l,$$

и окончательно для ЭДС Холла:

$$\mathcal{E} = U_{AB} = -R_x \frac{IB}{a} \quad (1)$$

$$R_x = \frac{1}{ne} \quad (2)$$

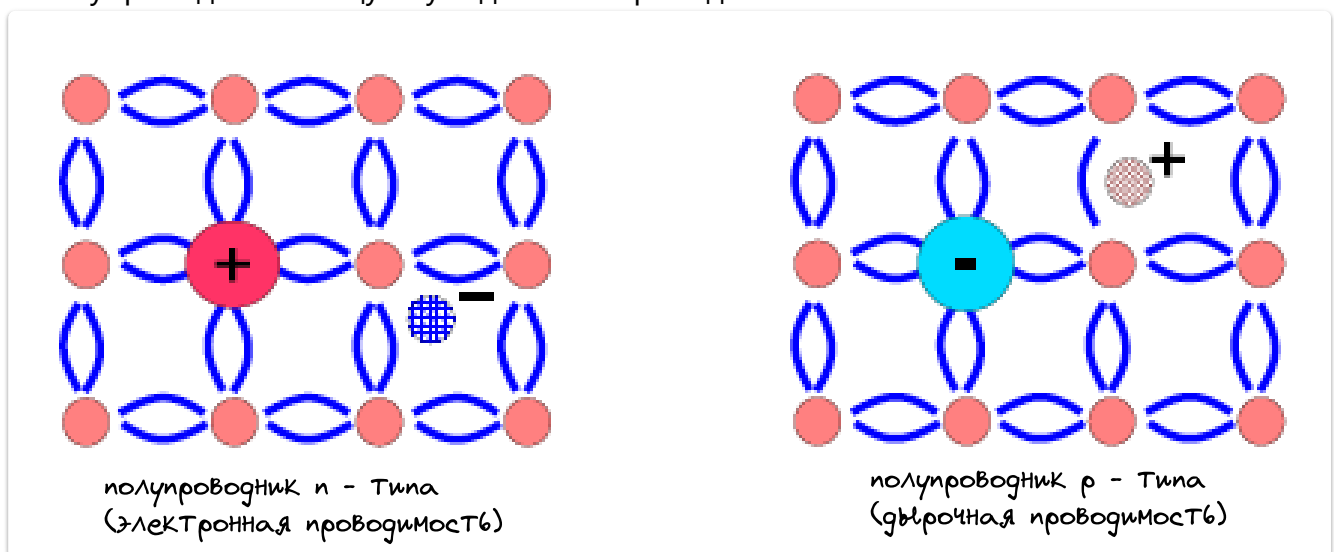
R_x - **постоянная Холла в металлах**. В полупроводниках считаем, что превалирует один тип проводимости. Тогда вышеописанные равенства верны.

В работе будет полезен следующий опытный факт, связывающий проводимость вещества с подвижностью и концентрацией носителей заряда:

$$\sigma = enb \quad (3)$$

Типы проводимости

В полупроводниках существует два типа проводимости:



Электронная проводимость осуществляется вследствие передвижения свободных электронов в электрическом поле. Для получения свободных электронов в кристаллической решетке, материал полупроводника легируют. Для легирования используют вещество, на валентной оболочке которого на один электрон больше, чем у материала проводника.

Дырочная проводимость осуществляется вследствие передвижения дырок. Дырка - энергетически выгодное положение для электрона. Таким образом электроны, под

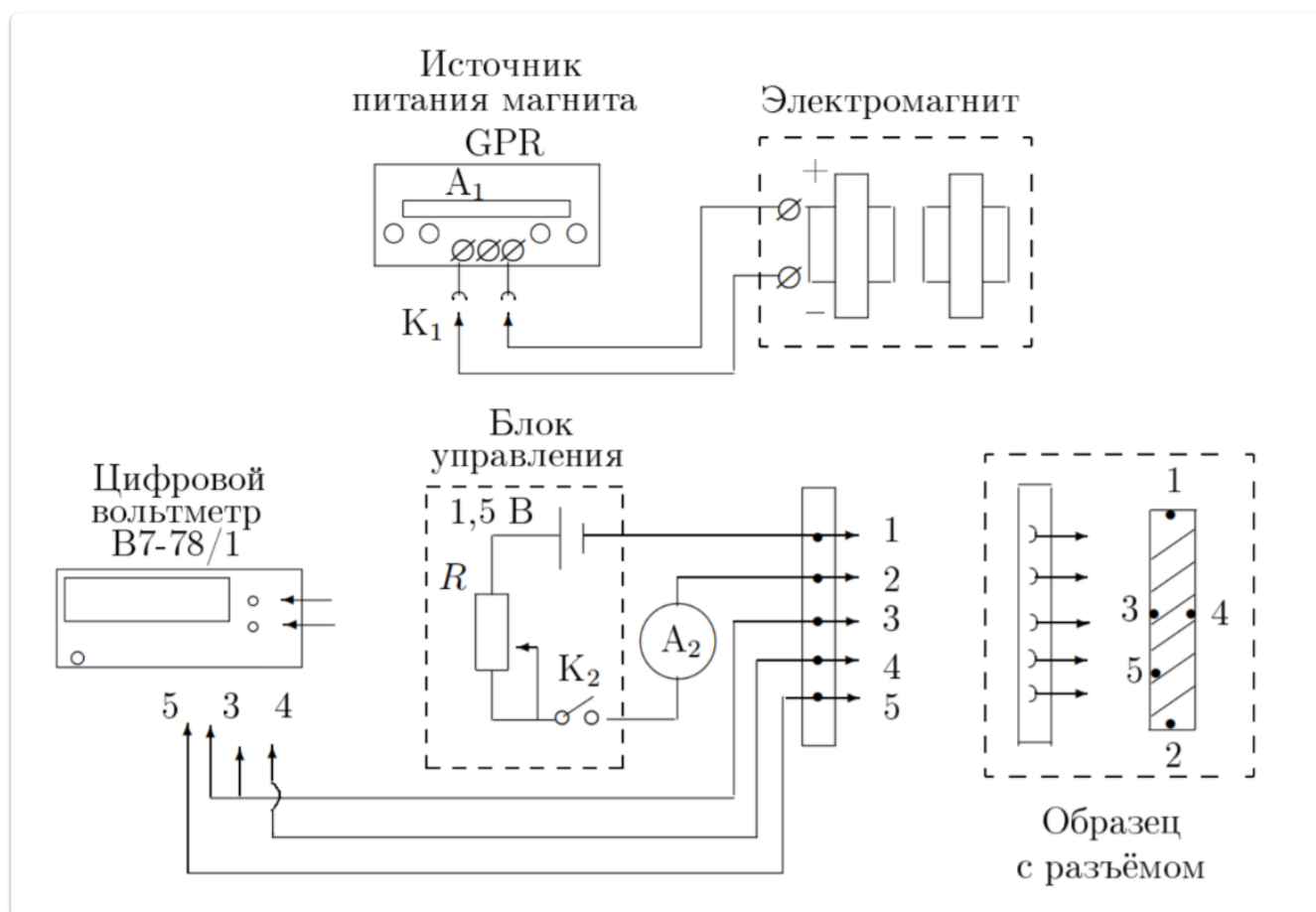
действием внешнего электрического поля начнут перемещаться от одной дырки, к другой. Ранее занятые дырки освобождаются («передвигаются»).

Методика

Оборудование

- Электромагнит
- Регулируемый источник питания
- Вольтметр
- Амперметр
- Миллиамперметр
- Миллитесламетр
- Источник питания
- Образец легированного германия

Экспериментальная установка



В зазоре электромагнита создаётся магнитное поле, величина которого может регулироваться потенциометром источника питания.

Образец легированного германия помещается в зазор. Через образец протекает постоянный электрический ток, величина которого регулируется реостатом R .

Разность потенциалов, возникающая на гранях образца может быть измерена при помощи вольтметра. ЭДС, возникающее вследствие наводок можно исключить. Для этого стоит проводить измерения при нулевом токе, протекающим через электромагнит. Тогда «чистое» ЭДС может быть рассчитано по формуле:

$$\mathcal{E} = U - U_0$$

Проводимость образца может быть определена по закону Ома:

$$\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}al} \quad (4)$$

Где:

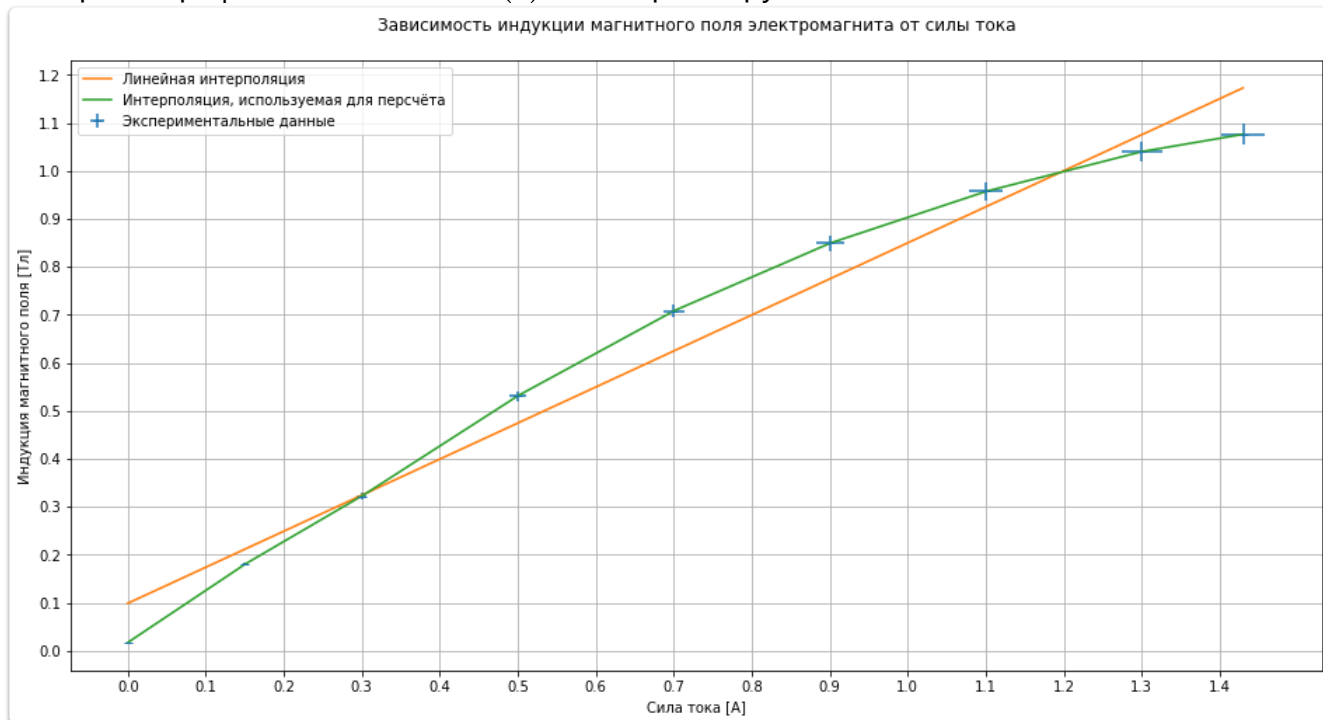
- L_{35} - расстояние между контактами
- a - толщина образца
- l - ширина образца

Обработка результатов эксперимента

Зависимость индукции магнитного поля от силы тока

Для дальнейшего пересчёта полезно знать зависимость индукции магнитного поля от силы тока, пропускаемого через магнит.

Построим график зависимости $B(I)$, и интерполируем его:



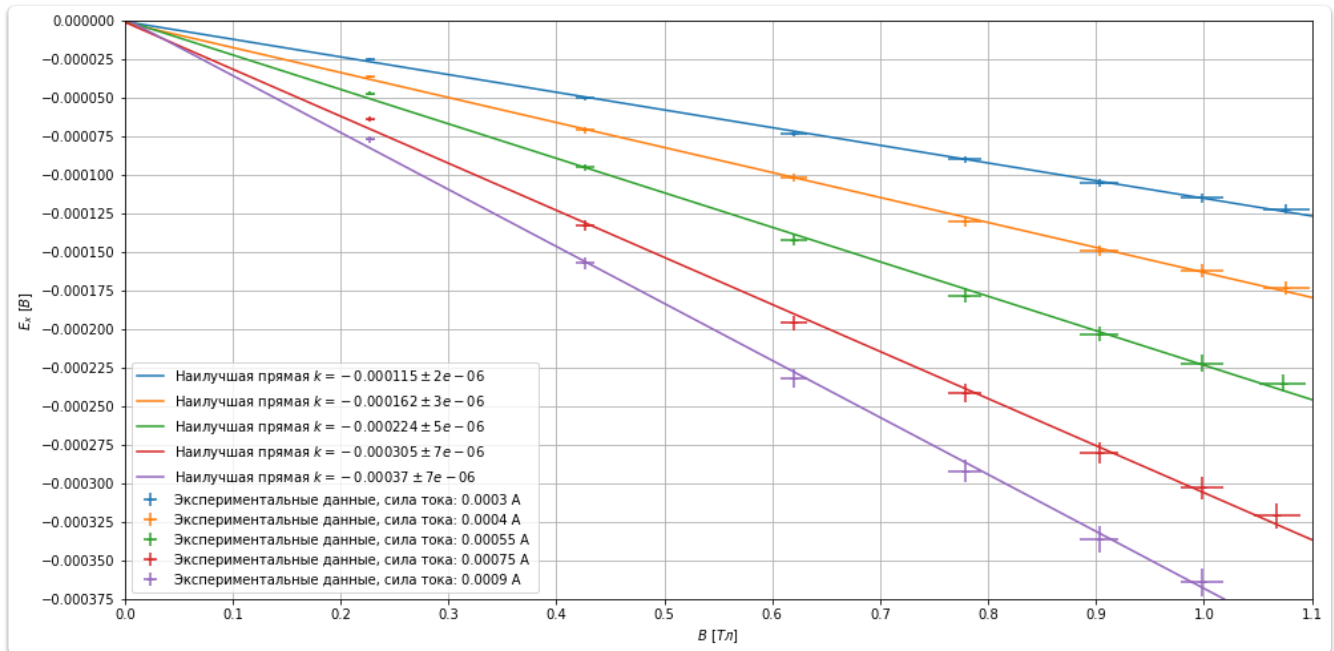
Коэффициенты наилучшей прямой равны:

$$\alpha = 0.75 \pm 0.05 \frac{\text{Тл}}{\text{А}}$$

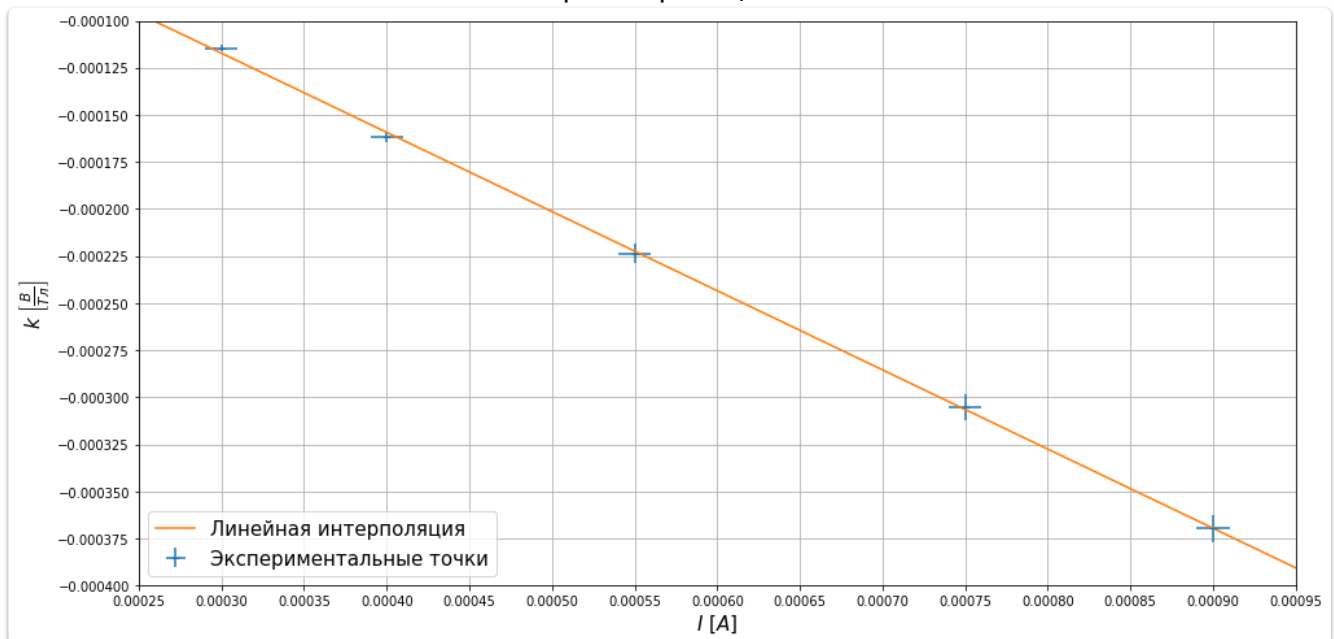
$$\beta = 0.1 \pm 0.05$$

Рассчитаем постоянную R_x

Построим графики зависимостей \mathcal{E}_x от индукции магнитного поля при различных значениях силы тока:



Для каждого эксперимента рассчитаем наклон наилучшей прямой, и изобразим зависимость наклона от силы тока через образец:



Коэффициент наклона наилучшей прямой оказался равным:

$$\alpha = -0.420 \pm 0.005 \frac{B}{Tл A}$$

Теперь можем вычислить постоянную Холла образца $R_x = -a \cdot \alpha$ Получаем:

$$R_x = 930 \pm 11 \cdot 10^{-6} \frac{м^3}{Кл}$$

Вычисление концентрации носителей

По формуле (2) вычислим концентрацию носителей, получаем:

$$n = \frac{1}{R_{xe}} = 670 \pm 10 \cdot 10^{19} \frac{\text{носителей}}{\text{м}^3}$$

Вычисление удельной проводимости

Теперь можем вычислить удельную проводимость материала. Согласно формуле (4):

$$\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}al} = 171 \pm 7 \text{ Ом}^{-1}$$

Вычисление подвижности электронов

Наконец, можем вычислить подвижность. Согласно формуле (3):

$$b = \frac{\sigma}{ne} = 1580 \pm 20 \frac{\text{см}^2}{\text{В с}}$$

Вывод

В результате работы удалось оценить подвижность носителей зарядов образца. Удалось найти значение подвижности для образца «чистого» германия. Оно составляет $3700 \frac{\text{см}^2}{\text{В с}}$. Сравнивать полученное экспериментальное значение с «табличным» неуместно, так как проводилась работа с легированным образцом германия.

Зная направление магнитного поля и направление тока, текущего через образец удалось определить тип проводимости. Частицы двигались к клемме 3, при этом значение напряжения между клеммами было отрицательным → носителями заряда являются электроны.