

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа 3.3.4  
«Эффект Холла в полупроводниках»

Студент группы Б02-109

Назарчук Анна

Долгопрудный, 2022

# 1. Аннотация

В работе экспериментально исследован эффект Холла для полупроводников, рассчитана подвижность носителей заряда. Измерения проведены с помощью мостика Холла на образце легированного германия. Вычислены зависимости холловского напряжения от индукции магнитного поля, рассчитано значение подвижности частицы, сходящееся с табличным.

# 2. Введение

Электрический ток окружает человека повсюду и представляет собой направленный перенос зарядов с помощью микрочастиц - носителей заряда. Проводимость большинства твердых тел связана с движением электронов. Несмотря на то, что электроны входят в состав всех тел, некоторые не проводят электрический ток, а другие являются хорошими проводниками. Более того, существуют материалы, которые ведут себя так, будто вместо электронов ток в них переносят положительные частицы (называемые дырками); бывают даже вещества (обозначаемые полупроводниками), которые имеют два типа носителей: электроны и дырки. Но как хорошо они проводят электрический ток, насколько подвижны носители заряда, как много их в таких материалах? На эти вопросы и хотелось ответить в данной работе.

# 3. Методика измерений

Наиболее современным и удобным методом изучения полупроводников являются способы на основе эффекта Холла:

Во внешнем магнитном поле  $B$  на заряды  $q$  действует сила Лоренца  $F$ :

$$F = qE + qu \times B, \quad (1)$$

$u$  - средняя скорость движения,  $E$  - напряженность электрического поля.

Эта сила вызывает движение носителей. Действительно, траектории частиц будут либо искривляться, либо, если геометрия проводника этого не позволяет, возникнет дополнительное электрическое поле, компенсирующее магнитную составляющую силы Лоренца. В этом и заключается суть эффекта Холла.

Рассмотрим связь между электрическим полем  $E$  и плотностью тока  $j$  (параметры, которые можно получить экспериментально). Пусть  $B$  направлено по оси  $z$ , сила Лоренца при движении носителей с постоянной средней скоростью будет уравновешена трением ([1]):

$$q(E + u \times B) - \frac{qu}{\mu} = 0 \quad (2)$$

$\mu$  - подвижность носителей тока. Откуда:

$$E = \begin{pmatrix} 1 & -\mu B & 0 \\ \mu B & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \frac{j}{\sigma_0}, \quad \sigma_0 = qn\mu \quad (3)$$

$n$  - концентрация носителей.

Для исследования полупроводников использована схема, называемая мостиком Холла (рис. 1), ее параметры: ширина пластинки  $a$ , толщина  $h$ , длина  $l$ . Холловское напряжение

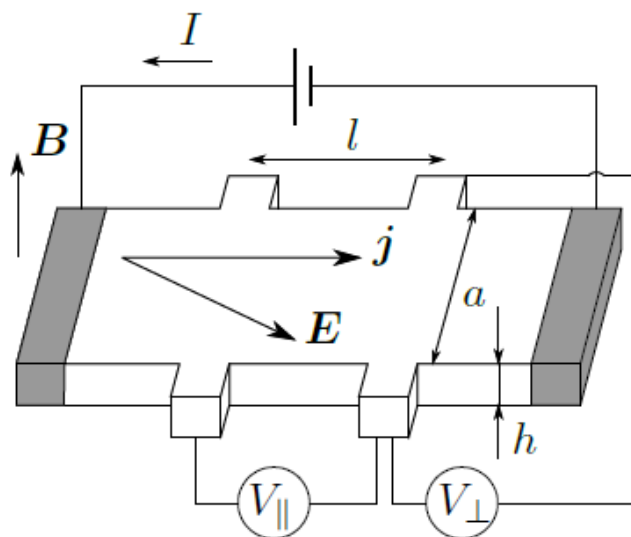


Рис. 1: Мостик Холла - схема для исследования влияния магнитного поля на проводящие свойства

равно:

$$U_{\perp} = E_y a = R_H \cdot \frac{B}{h} \cdot I, \quad R_H = \frac{1}{nq} \quad (4)$$

$I$  - полный ток,  $R_H$  - постоянная Холла. Чтобы ответить на поставленные вопросы, необходимо было определить постоянную Холла, из нее концентрацию носителей тока. Для вычисления подвижности  $\mu$  нужно измерить ток в образце  $I$  и напряжение между контактами  $U$  в отсутствие магнитного поля, рассчитать проводимость материала образца по формуле ([1]):

$$\sigma_0 = \frac{Il}{Uah} \quad (5)$$

## Экспериментальная установка

Для определения постоянной Холла использовалась установка, показанная на рисунке 2. В зазоре электромагнита создается постоянное магнитное поле, связь индукции поля с током, который измеряется амперметром, произведена с помощью милливольтметра. Образец из германия подключается к источнику питания, величина тока измеряется амперметром  $A_2$ .

## 4. Результаты и их обсуждение

### Градуировка электромагнита

В формуле для постоянной Холла (4) присутствует индукция магнитного поля  $B$ , в установке есть амперметр, поэтому необходимо было связать ток с индукцией. Результаты измерений приведены на рисунке. Экспериментальные значения имеют монотонный характер, график не очень похож на прямую, однако его можно приблизить квадратичной функцией:  $B = -0.412I_M^2 + 1.312I_M - 0.247$ . Данное приближение и будет использоваться для определения параметров полупроводника.

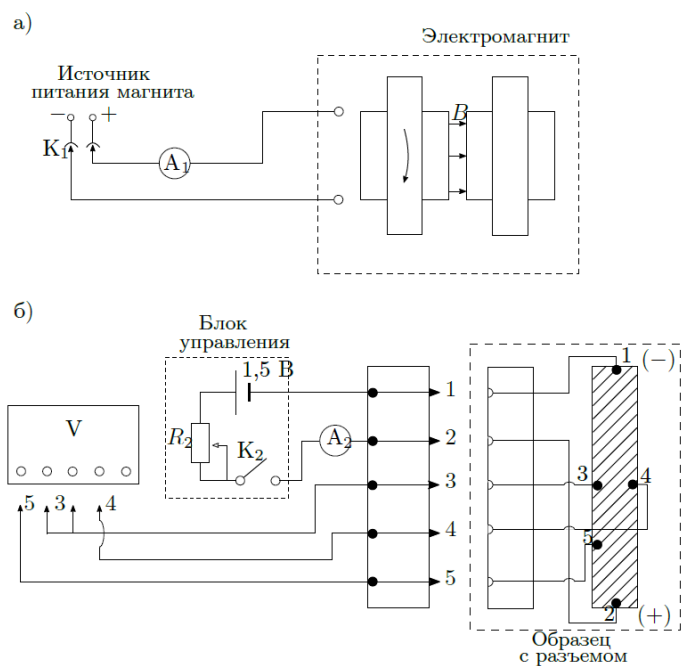


Рис. 2: Схема экспериментальной установки для исследования эффекта Холла в полупроводниках при комнатной температуре:  $A_1$ ,  $A_2$  - амперметры для измерения тока питания электромагнита и образца соответственно;  $V$  - вольтметр В7-78/1 для измерения напряжения в образце.

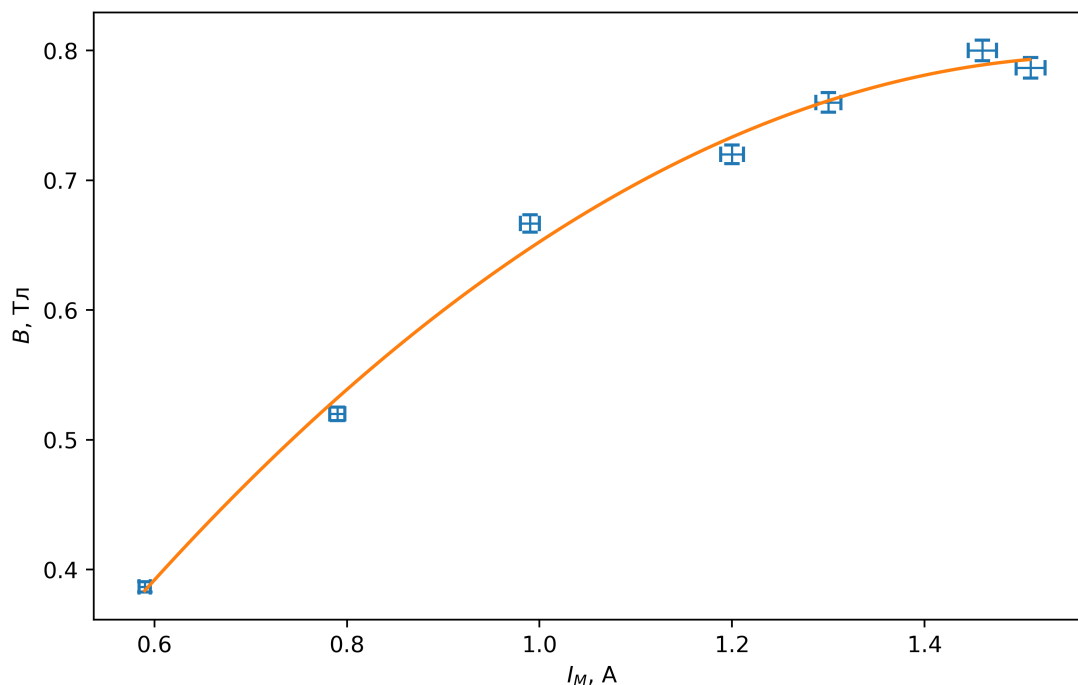


Рис. 3: Зависимость индукции магнитного поля  $B$  от силы тока питания электромагнита  $I_M$

## Измерение холловского напряжения

При разных значениях тока через образец  $I$  определено напряжение Холла в зависимости от тока через электромагнит  $I_M$  (рис. 4). Видно, что зависимость линейная, даже наблюда-

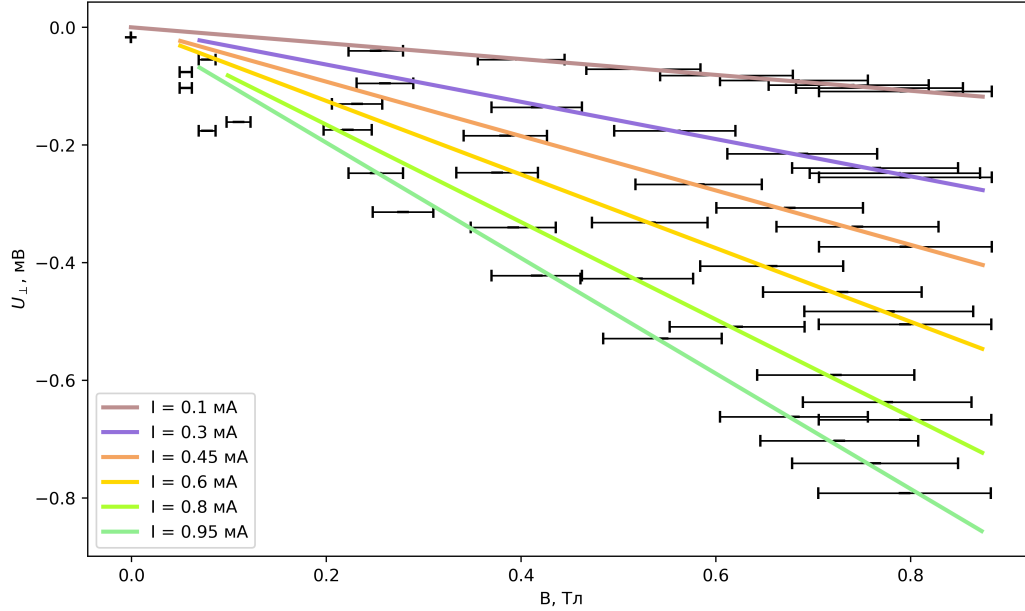


Рис. 4: Зависимость холловского напряжения  $U_{\perp}$  от индукции магнитного поля в электромагните  $B$

ется прямая пропорциональность, это согласовано с теоретическими выводами (формула 4 при фиксированном  $I$ ). Немалые погрешности объяснимы градуировкой электромагнита на небольшом количестве точек и использовании промежуточных (между точками на графике градуировки) значений при измерении холловского напряжения.

Для каждого тока вычислен коэффициент наклона графика  $K$  и построена его зависимость от силы тока через образец  $I$

Видно, что точки образуют прямую. Данный результат совпадает с теоретическими выкладками (формула 4). Из наклона данной кривой определены постоянная Холла, концентрация носителей заряда (ф-ла 4):

$$R_H = -1033 \pm 116, 10^{-6} \frac{\text{М}^3}{\text{Кл}}, \quad n = 6.05 \pm 0.69, 10^{21} \text{ м}^{-3} \quad (6)$$

В отсутствие магнитного поля измерена проводимость материала образца:

$$\sigma_0 = 305 \pm 3 (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1} \quad (7)$$

Наконец, по формуле 3 рассчитана подвижность носителей заряда  $\mu$ . Однако принято использовать в общем случае подвижность частицы  $b = \mu/q$  - коэффициент пропорциональности между установившейся скоростью частицы и приложенной к ней силой:

$$b = 3153 \pm 355 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} \quad (8)$$

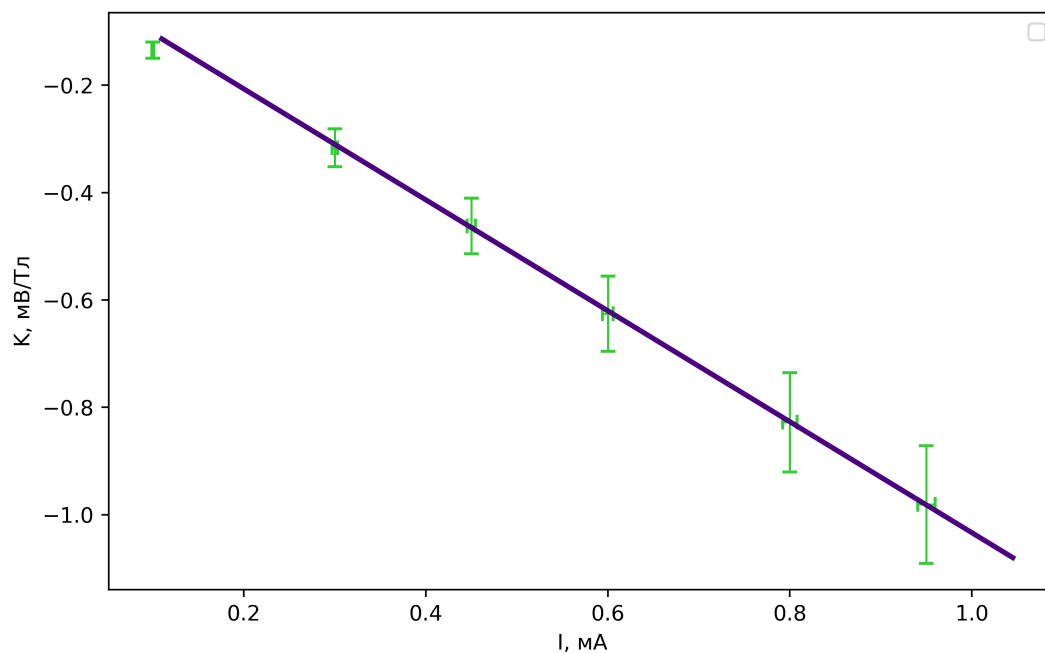


Рис. 5: Зависимость коэффициента наклона прямой  $K = \frac{\partial U_{\perp}}{\partial B}$  от силы тока через образец  $I$

## 5. Выводы

1. Полученная зависимость холловского напряжения от индукции магнитного поля линейна, что согласовано с теоретической зависимостью.

2. Рассчитанная зависимость коэффициента наклона графика зависимости холловского напряжения от индукции магнитного поля от силы тока через образец линейна, теоретический расчет в данном эксперименте справедлив.

3. Вычисленное из результатов эксперимента значение подвижности частицы  $b = 3153 \pm 355 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$  сходится с табличным значением [1]  $b_{\text{теор}} = 3.8 \cdot 10^3 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$ .

4. Знак значения постоянной Холла  $R_H = -1033 \pm 116, 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$  показывает, что носителями заряда в образце были электроны.

## Список используемой литературы

[1] Никулин М.Г., Попов П.В., Нозик А.А. и др. Лабораторный практикум по общей физике : учеб. пособие. В трех томах. Т. 2. Электричество и магнетизм