

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Степанова Екатерина Викторовна

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Определение концентрации и подвижности носителей заряда в
полупроводнике методом эффекта Холла**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19312

Научный руководитель:

к.ф.-.м.н. Иванов Иван Анатольевич
Оценка научного руководителя

« _____ » _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

аспирант Матвеев Антон Сергеевич
Оценка преподавателя практикума

« _____ » _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. Виталий Тимофеевич Астрелин
Итоговая оценка

« _____ » _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Аннотация

Целью работы являлось изучение движения носителей заряда в полупроводнике, а также определение концентрации и подвижности носителей заряда с помощью эффекта Холла. Для этой цели использовался полупроводник, изготовленный в виде прямоугольной пластинки. Исследуемый образец был помещен в магнитное поле, создаваемое электромагнитом. Величина поля пропорциональна току в катушках. Были зарегистрированы осциллограммы сигналов на экранах виртуального осциллографа, благодаря которым были получены значения концентрации и подвижности зарядов при разных значениях тока.

Ключевые слова: подвижность и концентрация носителей заряда, эффект Холла.

Оглавление

1. Введение	4
2. Установка.....	6
3. Оборудование и образец	7
4. Основные результаты.....	8
5. Список литературы	10

1. Введение

Данная работа посвящена изучению движения носителей заряда в полупроводнике, который помещен в магнитное поле. Если в полупроводнике создать область неравновесных носителей, то в нем возникнет диффузионный поток, который описывается уравнением:

$$I_n = -D_n \frac{dn}{dx}$$

где D_n – коэффициент диффузии электронов (аналогичное выражение для дырок). Тогда диффузионные токи носителей заряда описываются уравнением вида:

$$j_n = eD_n \frac{dn}{dx}$$

Из-за диффузионного тока происходит пространственное разделение зарядов, порождающее статическое электрическое поле E_{st} , создающее дрейфовые токи носителей зарядов. Дрейфовая составляющая плотности тока записывается по закону Ома в виде:

$$j_n = enu_n E_{st}$$

Полный ток состоит из диффузионного и дрейфового токов:

$$j_n = enu_n E_{st} + eD_n \frac{dn}{dx}$$

В равновесном состоянии $j_{n,p} = 0$, поэтому:

$$enu_n E_{st} = -eD_n \frac{dn}{dx}$$

Откуда, учитывая $E_{st} = -\frac{d\varphi}{dx}$, получаем:

$$-u_n n_0 e^{-\frac{e\varphi}{kT}} \frac{d\varphi}{dx} = -\frac{e}{kT} D_n n_0 e^{-\frac{e\varphi}{kT}} \frac{d\varphi}{dx}$$

Тогда для электронов получим $\frac{u_n}{D_n} = \frac{e}{kT}$, аналогично для дырок.

Соотношение, связывающее коэффициент диффузии носителей заряда и их подвижность в условиях термодинамического равновесия, называется соотношением Эйнштейна:

$$D = \frac{kT}{e} u$$

Плотность электрического тока может быть выражена через концентрацию носителей заряда n и подвижность по формуле:

$$j = enbE$$

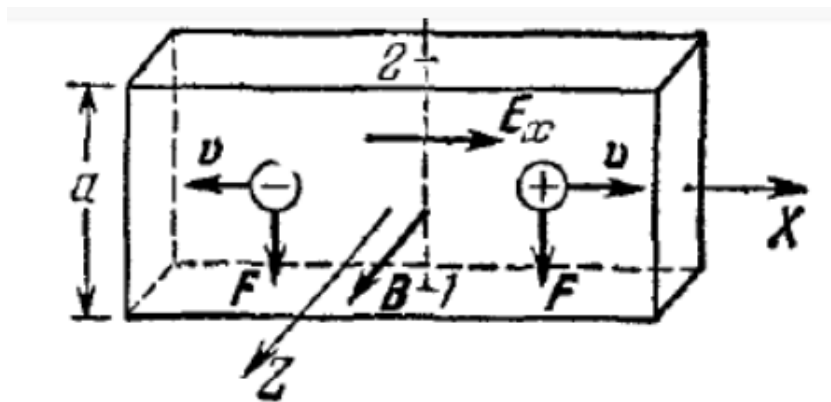


Рис. 1. Однородный полупроводник в форме параллелепипеда

Рассмотрим длинную и тонкую металлическую ленту, по которой протекает постоянный ток с плотностью j (пусть его направление совпадает с осью x) (Рис.1). Приложим постоянное однородное магнитное поле B , перпендикулярно к плоскости ленты, вдоль оси Z . Если носителями заряда являются положительно заряженные частицы, то они двигались бы с током вправо и отклонялись бы вниз благодаря силе Лоренца $\frac{e}{c}[vB]$. У нижнего края ленты происходит скопление положительных зарядов, а у верхнего- отрицательных, в результате чего возникает электрическое поле E_y , препятствующее отклонению, которое вызывает магнитное поле. Накопление зарядов на краях ленты продолжается до тех пор, пока не прекратится течение зарядов поперек ленты. После этого поперек ленты устанавливается положительная разность потенциалов V_1-V_2 (между противоположными точками 1 и 2). Соответственно, если бы носителями

тока являлись отрицательно заряженные частицы, то они будут перемещаться влево вместе с током, а сила Лоренца $\frac{e}{c}[vB]$ будет отклонять эти частицы к нижнему краю ленты, значит, возле него будет скопление отрицательного заряда. При этом верхний край становится положительно заряженным. Следовательно, разность потенциалов между точками 1 и 2 (V_1-V_2) будет отрицательной. Явление возникновения поперечной разности потенциалов при воздействии магнитного поля называется эффектом Холла [1]. Поле Холла:

$$E_H = -\frac{j_x B}{en}$$

На практике удобнее измерять не напряженность электрического поля, а соответствующую разность, которая называется ЭДС Холла:

$$U_H = E_H d = -\frac{j_x B d}{en}$$

Если выразить полный ток через плотность тока, $I = j_x dh$, то

$$U_H = -\frac{IB}{enh} = \frac{R_H IB}{h}$$

Где $R_H = -(en)^{-1}$ – постоянная Холла [2].

2. Установка

Образец представлен на рисунке 2. Сопротивление образца между контактами 1 и 2 равно сопротивлению прямоугольного параллелепипеда с размерами, показанными на рисунке:

$$R_{1-2} = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{hd} = \frac{U_{1-2}}{I}$$

Отсюда можно найти удельную проводимость образца:

$$\sigma = \frac{I}{U_{1-2}} \frac{l}{hd} = \frac{1}{R_{1-2}} \frac{l}{hd}$$

Из рассмотренных ранее формул, ЭДС Холла равна:

$$U_H = uB \frac{U_{1-2}}{l} d.$$

Тогда можно выразить подвижность носителей заряда:

$$u = \frac{U_H}{U_{1-2}} \frac{l}{Bd}.$$

Используя зависимость удельной проводимости и подвижности $\sigma = qni$, можно найти зависимость между концентрацией носителей заряда и ЭДС Холла:

$$U_H = \frac{IB}{eh} \frac{1}{n} = R \frac{IB}{h} [2].$$

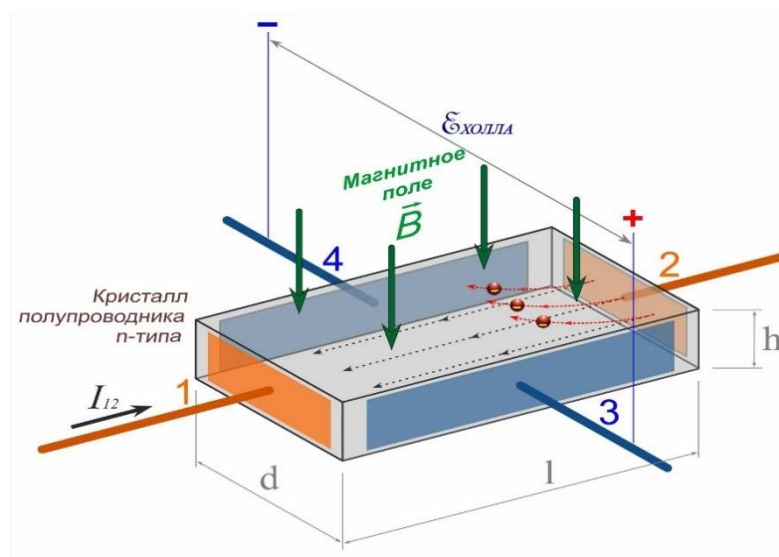


Рис.2. Образец полупроводника

3. Оборудование и образец

Концентрацию и подвижность носителей можно определить на установке (рис.3). Исследуемый образец полупроводника, изготовленный в виде прямоугольной пластинки с размерами $l \times d \times h$, помещается в постоянное магнитное поле, создаваемое электромагнитом. Направленное движение носителей происходит под действием ЭДС источника, изменяющегося по синусоидальному закону. Падение напряжения на сопротивлении R

пропорционально току через образец. Его мы подаем на вход X осциллографа. А напряжение, возникающее между точек 3 и 4 подаем на вход Y.

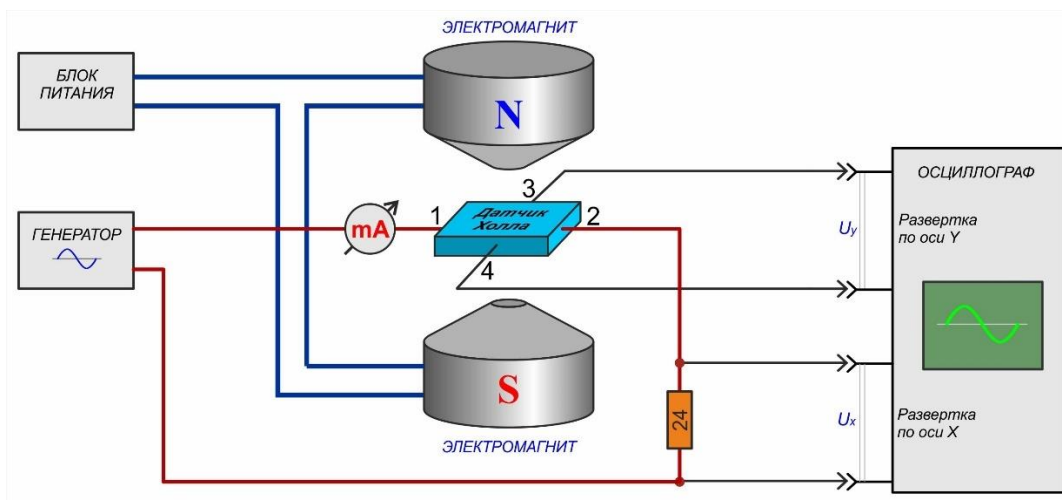


Рис.3. Схема установки

4. Основные результаты

В ходе выполнения работы были получены графики при различных значениях магнитного поля, изображенный на рис. 4.

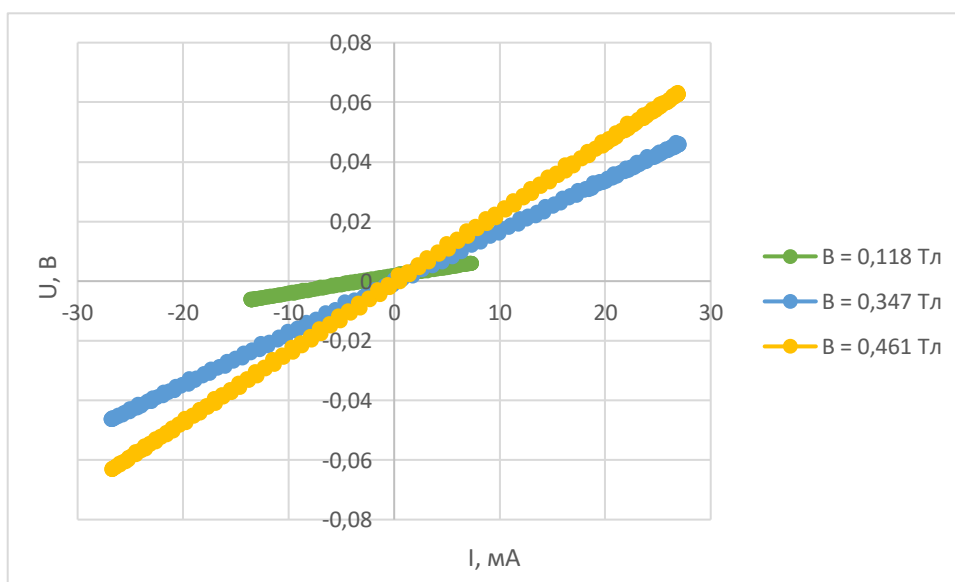


Рис.4. Графики зависимости $U(I)$

Значение поля вычислялось по таблице 1 соотношения тока и магнитного поля в катушке (калибровка электромагнита).

Таблица 1. Калибровка электромагнита

I, A	B, Тл
0,5	0,118
1,0	0,235
1,5	0,347
2,0	0,461
2,5	0,580
3,0	0,690
3,5	0,880

Проводимость мы находим, используя характеристики датчика и формулу :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RS} = \frac{0,002}{0,0015 * 0,006 * 8,12} = 259,3 \text{ (Ом * м)}^{-1}$$

Концентрацию выражаем из формулы:

$$U_H = \frac{IB}{ehn}$$

$$n = \frac{IB}{ehU_H}$$

Значение подвижности находим из формулы:

$$u = \frac{U_H}{U_{1-2}} \frac{l}{Bd}$$

Полученные результаты отображены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты измерений

I, A	B, Тл	k, Ом	$n * 10^{19}, \frac{1}{\text{м}^3}$	$\sigma, \text{(Ом * м)}^{-1}$	$u, \frac{\text{м}^2}{\text{В*с}}$
0,5	0,118	0,06	2,05E+03	259,3	0,084745763
1,5	0,235	0,17	1,44E+03	259,3	0,120567376
2	0,347	0,23	1,57E+03	259,3	0,110470701

Табличные значения подвижности некоторых кристаллов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Табличные значения подвижности кристаллов

Кристалл	Подвижность, $\frac{\text{м}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$
Кремний (Si)	0,05
Германий (Ge)	0,19
Антимонид индия (InSb)	0,075

На основе этих значений, мы можем определить, что используемый в экспериментах образец состоит из антимонида индия, а погрешность измерений составляет 0,04.

5. Список литературы

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики, том №3 // Электричество
2. Князев Б.А. Лабораторный практикум "Электричество и магнетизм " // Выпуск Электрические и магнитные свойства твердых тел. / Новосибирск: КОФ НГУ, 2008.