

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа 3.3.4
Эффект Холла в полупроводниках

Выполнил:
Гисич Арсений
Б03-102

1 Аннотация

В данной работе исследовалась зависимость ЭДС Холла от величины магнитного поля при различных значениях тока через образец для определения константы Холла. Также был определён знак носителей заряда и проводимость материала образца.

2 Теоретические сведения

Суть эффекта Холла состоит в следующем. Пусть через однородную пластину металла вдоль оси x течет ток I (рис. 2).

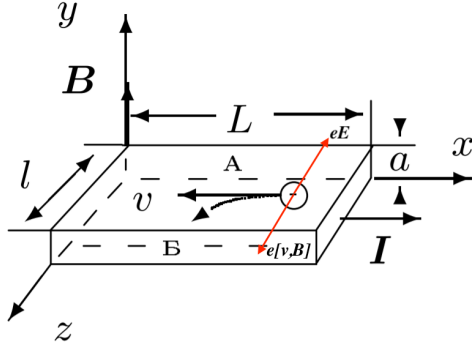


Рис. 1: Образец с током в магнитном поле

Если эту пластину поместить в магнитное поле, направленное по оси y , то между гранями А и Б появляется разность потенциалов.

В самом деле, на электрон (для простоты рассматриваем один тип носителей), движущийся со средней скоростью $\langle \vec{v} \rangle$ в электромагнитном поле, действует сила Лоренца:

$$\vec{F}_a = -e\vec{E} - e\langle \vec{v} \rangle \times \vec{B},$$

где e — абсолютный заряд электрона, \vec{E} — напряженность электрического поля, \vec{B} — индукция магнитного поля.

В проекции на ось z получаем

$$F_B = e|\langle v_x \rangle|B.$$

Под действием этой силы электроны отклоняются к грани Б, заряжая ее отрицательно. На грани А накапливаются нескомпенсированные положительные заряды. Это приводит к возникновению электрического поля E_z , направленного от А к Б, которое действует на электроны с силой $F_E = eE_z$. В установившемся режиме $F_E = F_B$, поэтому накопление электрических зарядов на боковых гранях пластины прекращается. Отсюда

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

С этим полем связана разность потенциалов

$$U_{AB} = E_z l = |\langle v_x \rangle|Bl.$$

В этом и состоит эффект Холла.

Замечая, что сила тока

$$I = ne|\langle v_x \rangle|la,$$

найдем ЭДС Холла:

$$\mathcal{E}_X = U_{AB} = \frac{IB}{nea} = R_X \frac{IB}{a}.$$

Константа $R_X = \frac{1}{ne}$ называется постоянной Холла.

В полупроводниках, когда вклад в проводимость обусловлен и электронами и дырками, выражение для постоянной Холла имеет более сложный вид:

$$R_X = \frac{nb_e^2 - pb_p^2}{e(nb_e + pb_p)^2},$$

где n и p — концентрации электронов и дырок; b_e , b_p — их подвижности.

3 Методика измерений

Схема экспериментальной установки показана на рис. 2.

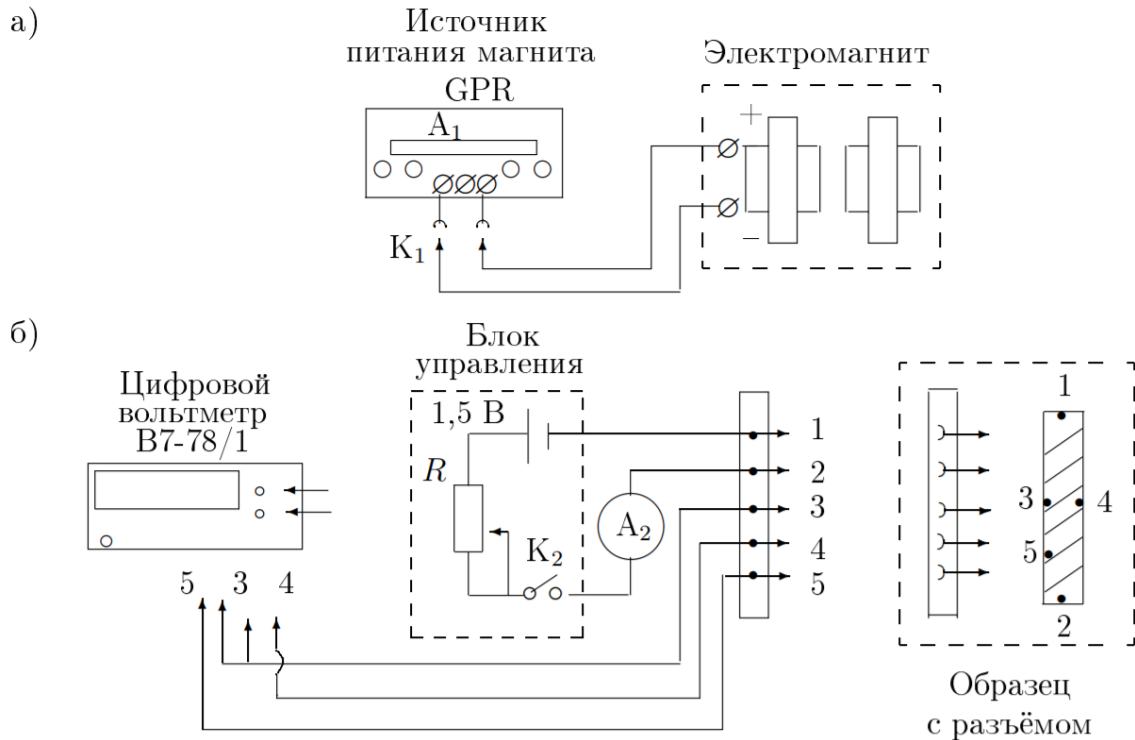


Рис. 2: Схема установки для исследования эффекта Холла в полупроводниках

В зазоре электромагнита (рис. 2а) создаётся постоянное магнитное поле, величину которого можно менять с помощью регуляторов источника питания. Ток измеряется амперметром источника питания A_1 . Разъем K_1 позволяет менять направление тока в обмотках электромагнита.

Образец из легированного германия, смонтированный в специальном держателе (рис. 2б), подключается к батарее. При замыкании ключа K_2 вдоль длинной стороны образца течет 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}_H может быть определена как половина алгебраической разности показаний вольтметра, полученных для двух противоположных направлений магнитного поля в зазоре.

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 остается неизменным. От него следует (с учетом знака) отсчитывать величину ЭДС Холла:

$$\mathcal{E}_H = U_{34} - U_0.$$

При таком способе измерения нет необходимости проводить повторные измерения с противоположным направлением магнитного поля.

По знаку \mathcal{E}_H можно определить характер проводимости — электронный или дырочный. Для этого необходимо знать направление тока в образце и направление магнитного поля.

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

$$\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}ah},$$

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

4 Используемое оборудование

1. электромагнит с регулируемым источником питания;
2. вольтметр;
3. амперметр;
4. миллиамперметр;
5. милливеберметр или миллитесламетр;
6. источник питания;
7. образцы легированного германия;

5 Результаты измерений и обработка данных

6 Обсуждение результатов и выводы

В данной работе была исследована температурная зависимость магнитной восприимчивости гадолиния выше точки Кюри. Также была рассчитана парамагнитная точка Кюри для данного металла.

Полученное значение парамагнитной точки Кюри:

$$\Theta_p = 17,96 \pm 0,03 \text{ }^\circ\text{C}$$

$\tau, мкс$	$\delta_\tau, мкс$	$T, ^\circ C$	$\delta_T, ^\circ C$	$\Delta U, мВ$	$\delta_{\Delta U}, мВ$
10,068	0,001	14,04	0,01	-0,012	0,001
9,955	0,001	16,03	0,01	-0,017	0,001
9,753	0,001	18,03	0,01	-0,014	0,001
9,433	0,001	20,03	0,01	-0,015	0,001
9,042	0,001	22,01	0,01	-0,016	0,001
8,747	0,001	24,02	0,01	-0,017	0,001
8,609	0,001	26,01	0,01	-0,017	0,001
8,534	0,001	28,01	0,01	-0,015	0,001
8,488	0,001	30,00	0,01	-0,017	0,001
8,453	0,001	32,00	0,01	-0,017	0,001
8,429	0,001	34,00	0,01	-0,018	0,001
8,409	0,001	36,01	0,01	-0,016	0,001
8,395	0,001	38,00	0,01	-0,016	0,001
8,383	0,001	40,00	0,01	-0,017	0,001

Таблица 1: Результаты измерения зависимости периода колебаний LC -генератора от температуры образца

Данное значение существенно отличается от табличного ($20,2\text{ }^\circ\text{C}$). Основной вклад в погрешность вносит погрешность определения температуры образца. Расхождение может быть вызвано неравномерным нагревом установки и сосуда с образцом. Как и предполагалось законом Кюри-Вейсса, данная температура выше ферромагнитной точки Кюри, которая равна $16\text{ }^\circ\text{C}$. Также, данное значение согласуется с оценочным, полученным из графика.