

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)»

**Кафедра физики**

## **ОТЧЁТ**

по лабораторной работе № 19

**«Исследование эффекта Холла в полупроводнике»**

Выполнил: Студент группы 4395  
Николаев Всеволод Юрьевич

Преподаватель: Малышев Михаил Николаевич

Санкт-Петербург, 2025

# Содержание

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Теоретические сведения</b>	<b>2</b>
2.1	Эффект Холла . . . . .	2
2.2	Подвижность носителей заряда . . . . .	3
2.3	Магнитное поле электромагнита . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Описание экспериментальной установки</b>	<b>3</b>
3.1	Основные элементы стенда . . . . .	3
3.2	Схема подключения . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Методика выполнения работы</b>	<b>4</b>
4.1	Подготовка к измерениям . . . . .	4
4.2	Съём экспериментальных данных . . . . .	5

# 1 Введение

Цель данной лабораторной работы — исследовать влияние магнитного поля на движущиеся носители заряда в полупроводнике (с электронным типом проводимости) и определить ключевые параметры материала:

- постоянную Холла  $R$ ,
- концентрацию носителей заряда  $n$ ,
- подвижность носителей  $\mu$ .

Явление Холла позволяет не только выявлять природу носителей заряда (электронная или дырочная проводимость), но и оценивать численные значения упомянутых характеристик, что имеет важное практическое значение в полупроводниковой электронике.

## 2 Теоретические сведения

### 2.1 Эффект Холла

**Эффект Холла** заключается в появлении поперечного электрического поля в проводящем образце, по которому протекает ток, при помещении образца в магнитное поле, перпендикулярное направлению тока.

Пусть в тонкой пластинке полупроводника, имеющей толщину  $d$ , протекает ток  $I$ . Если магнитное поле  $\vec{B}$  направлено перпендикулярно току, то на движущиеся заряженные частицы (заряд  $e$ , скорость  $\vec{v}$ ) действует сила Лоренца:

$$\vec{F} = e [\vec{v} \times \vec{B}].$$

Она отбрасывает носители заряда к одному из краёв пластинки, в результате чего между этим краем и противоположным возникает разность потенциалов, называемая **напряжением Холла**  $U_x$ . Сформировавшееся поперечное электрическое поле  $E_x$  уравнивает силу Лоренца, и в установившемся режиме имеем:

$$e v B = e E_x.$$

Если ширина пластинки равна  $b$ , то:

$$U_x = E_x \cdot b.$$

С другой стороны, плотность тока через образец:

$$j = \frac{I}{bd} = n e v,$$

где  $n$  — концентрация носителей заряда,  $e$  — заряд электрона,  $v$  — средняя скорость направленного движения. Из этих соотношений следует, что:

$$U_x = R \frac{I B}{d},$$

где

$$R = \frac{1}{n e}$$

называется **постоянной Холла**. Определив  $R$  экспериментально, можно найти концентрацию  $n = 1/(R e)$ . Знак  $U_x$  даёт информацию о типе проводимости: при электронном типе  $U_x$  положительно (для выбранного направления тока), при дырочном — отрицательно (или наоборот, в зависимости от стандарта подключения).

## 2.2 Подвижность носителей заряда

**Подвижность**  $\mu$  описывает, с какой скоростью перемещаются носители заряда под действием электрического поля. Для полупроводника с концентрацией  $n$  электронов формула для удельной проводимости  $\sigma$ :

$$\sigma = n e \mu.$$

Поскольку

$$R = \frac{1}{n e},$$

то:

$$\mu = \sigma R.$$

Значение  $\sigma$  может быть определено из независимых измерений сопротивления образца с учётом его геометрии или известно по данным о материале.

## 2.3 Магнитное поле электромагнита

В работе используется электромагнит, состоящий из двух соосных катушек на магнитоприводе. При заданных токах  $I_2$  в катушках (в амперах) магнитная индукция  $B$  в рабочей области (где размещён датчик Холла) аппроксимируется формулой:

$$B = B_n + a I_2,$$

где:

- $B_n$  — начальная (остаточная) индукция сердечника,
- $a$  — коэффициент пропорциональности,
- $I_2$  — сила тока через обмотки.

## 3 Описание экспериментальной установки

### 3.1 Основные элементы стенда

- **Датчик Холла (ДХ):** полупроводниковая плёнка (или пластинка), напылённая на диэлектрическую подложку, с четырьмя выводами. Два из них — для пропускания тока  $I_1$ , ещё два — для съёма напряжения Холла  $U_x$ .
- **Электромагнит (ЭМ):** создаёт магнитное поле, перпендикулярное плоскости ДХ. Ток в катушках задаётся источником питания  $E_2$  и потенциометром  $R_2$ .
- **Источники питания:**
  - $E_1$  — для подачи тока  $I_1$  через ДХ,
  - $E_2$  — для питания катушек электромагнита (обеспечивает  $I_2$ ).
- **Регулируемые резисторы (потенциометры):**
  - $R_1$  («Ток ДХ») — регулирует  $I_1$ ,
  - $R_2$  («Ток ЭМ») — регулирует  $I_2$ .
- **Измерительные приборы:**

- Миллиамперметр (mA) — показывает  $I_1$  (в мА),
- Вольтметр  $V2$  — измеряет падение напряжения на резисторе  $R = 1 \Omega$ , так что его показания равны току  $I_2$  (в А),
- **Операционный усилитель** (ОУ) с коэффициентом усиления  $k$  — усиливает сигнал Холла  $U_x$ ,
- Вольтметр  $V1$  — измеряет выход ОУ ( $U_1$ ), откуда  $U_x = U_1/k$ .

### 3.2 Схема подключения

На рисунке условно показан общий вид схемы:

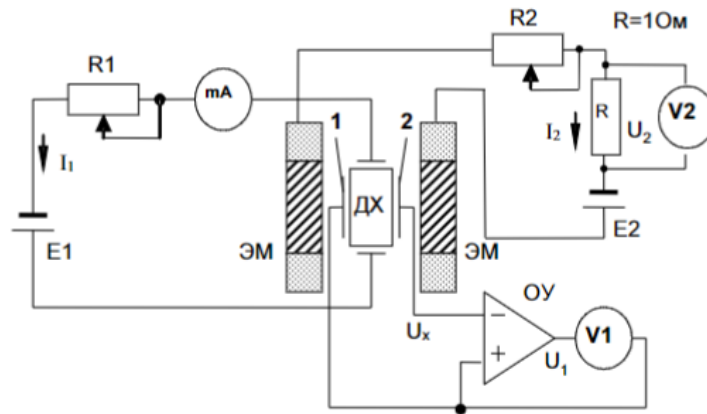


Рис. 1: Принципиальная схема установки для исследования эффекта Холла.

Ключевые элементы схемы (ДХ, ЭМ,  $R=1 \Omega$ , ОУ, вольтметры, миллиамперметр, потенциометры) связаны так, чтобы:

- задавать ток  $I_1$  в датчике Холла,
- контролировать магнитное поле (ток  $I_2$  в электромагните),
- усиливать малое напряжение Холла,
- регистрировать его удобным для измерения вольтметром.

## 4 Методика выполнения работы

### 4.1 Подготовка к измерениям

1. Установить пределы измерений на приборах:
  - миллиамперметр (mA): «200 mA» или соответствующий близкий диапазон,
  - вольтметр  $V2$ : «20 VDC» (при  $R = 1 \Omega$  даёт измерения тока до 20 А, но в практике обычно  $\leq 1$  А),
  - вольтметр  $V1$ : «20 VDC» для контроля выходного напряжения ОУ.
2. Вывести потенциометры  $R_1$  («Ток ДХ») и  $R_2$  («Ток ЭМ») в крайние левые положения (минимум тока).
3. Включить источники питания  $E_1$  и  $E_2$ .

## 4.2 Съём экспериментальных данных

1. **Задание тока  $I_1$ .** Потенциометром  $R_1$  установить нужную величину тока в датчике Холла (например, 2 мА). Зафиксировать по миллиамперметру (мА).
2. **Изменение тока в электромагните  $I_2$ .** Потенциометром  $R_2$  плавно увеличить  $I_2$  от минимума (0–0.1 А) до максимума (около 1 А). На каждом шаге зафиксировать значение  $I_2$  (по  $V_2$ ) и выходное напряжение  $U_1$  (по  $V_1$ ).
3. **Повтор** для нескольких (5 и более) значений  $I_1$  (2 мА, 4 мА, 6 мА и т. д.), повторяя набор точек по  $I_2$ .
4. После съёма всех точек уменьшить токи  $I_2$  и  $I_1$ , выключить питание.