

### 3.3.4А ЭФФЕКТ ХОЛЛА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

**Цель работы:** измерение подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках.

**В работе используются:** электромагнит с регулируемым источником питания; вольтметр; амперметр; миллиамперметр; миллитесламетр; источник питания, образцы легированного германия, программное обеспечение.

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с основами элементарной теории движения носителей заряда в металлах и полупроводниках (п. 4 введения к разделу).

Работа выполняется при помощи программного обеспечения, связь с приборами осуществляется через цифровой интерфейс RS-232 при помощи USB-портов.

В работе изучаются особенности проводимости полупроводников в геометрии мостика Холла. Ток пропускается по плоской полупроводниковой пластинке, помещённой в перпендикулярное пластинке магнитное поле. Измеряется разность потенциалов между краями пластинки в поперечном к току направлении. По измерениям определяется константа Холла, тип проводимости (электронный или дырочный) и вычисляется концентрация основных носителей заряда на основе соотношения:

$$R_H = \frac{1}{nq}, \quad (1)$$

где  $n$  - концентрация основных носителей заряда,  $R_H$  - постоянная Холла,  $q$  - заряд носителя.

#### Экспериментальная установка

Электрическая схема установки для измерения ЭДС Холла представлена на рис. 1. В зазоре электромагнита (рис. 1а) создаётся постоянное магнитное поле, величину которого можно менять с помощью регулятора источника питания электромагнита. Ток питания электромагнита измеряется внешним амперметром А1. Направление тока в обмотках электромагнита меняется переключением разъёма К1.

Градуировка электромагнита (связь тока с индукцией поля) проводится при помощи миллитесламетра на основе датчика Холла.

Прямоугольный образец из легированного германия, смонтированный в специальном держателе (рис. 1б), подключается к источнику питания образца. При замыкании ключа К2 вдоль длинной стороны образца течёт ток, величина которого регулируется на источнике питания образца и измеряется миллиамперметром А2.

В образце, помещённом в зазор электромагнита, между контактами 3 и 4 возникает разность потенциалов  $U_{34}$ , которая измеряется с помощью вольтметра V.

Контакты 3 и 4 вследствие неточности подпайки могут лежать не на одной эквипотенциали. Тогда напряжение между ними связано не только с эффектом Холла, но и с омическим падением напряжения вдоль пластинки. Исключить этот эффект можно, если при каждом значении тока через образец измерять напряжение между точками 3 и 4 в отсутствие магнитного поля. При фиксированном токе через образец это дополнительное к ЭДС Холла напряжение  $U_0$  остаётся неизменным. От него следует (с учётом знака) отсчитывать величину ЭДС Холла:

$$U_{\perp} = U_{34} - U_0 \quad (2)$$

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

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

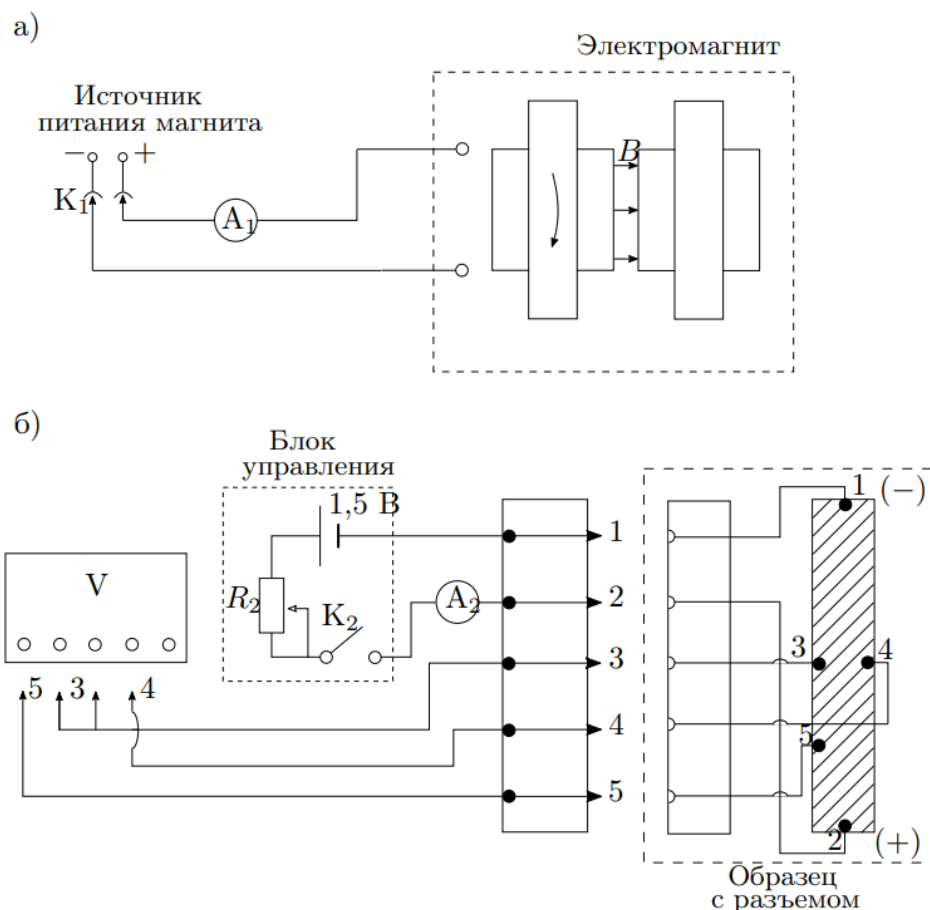


Рис. 1: Схема установки для исследования эффекта Холла в полупроводниках

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

$$\rho_0 = \frac{U_{35} a h}{I l} \quad (3)$$

где  $l$  — расстояние между контактами 3 и 5,  $a$  — ширина образца,  $h$  — его толщина.

### ЗАДАНИЕ

В работе предлагается исследовать зависимость ЭДС Холла от величины магнитного поля при различных значениях тока через образец для определения константы Холла; определить знак носителей заряда и проводимость материала образца.

1. Работа будет состоять из 4 частей: градуировка электромагнита, основной эксперимент (эффект холла), определение знака носителей, измерение удельной проводимости.
2. Соберите установку согласно схеме на рис. 1, подключите к вольтметру контакты 3 и 4. Убедитесь, что источник питания электромагнита выключен, включите амперметры и вольтметры.
3. Запустите программу «Эффект Холла».
4. Введите фамилии в поле «Введите фамилию», нажмите клавишу ENTER.

### *I. Градуировка электромагнита.*

5. Для проведения градуировки электромагнита ознакомьтесь с устройством и принципом работы измерителя магнитной индукции АТЕ-8702. Техническое описание (ТО) расположено на установке. Включите измеритель индукции кнопкой «POWER»; через 2-3 секунды последовательным нажатием кнопки «MODE» установите режим измерения в постоянном поле « $a_1$ » (см. рис. 2 ТО).

Снимите защитный колпачок с сенсорной головки датчика и коснитесь головкой поверхности магнита в зазоре.

Для удержания показаний дисплея нажмите кнопку «HOLD»; повторное нажатие этой кнопки возвращает прибор в режим измерений.

6. Установите ручки регулировки источника питания электромагнита в минимальное положение и нажмите на кнопку «Градуировка электромагнита». Для начала эксперимента нажмите кнопку «Старт».

Получите калибровочную кривую электромагнита: измерьте магнитную индукцию миллитесламетром, полученное значение введите в поле «Индукция», нажмите клавишу ENTER, измените ток питания электромагнита (на 5 – 7 В). Повторите для 15-20 значений тока питания электромагнита.

7. После окончания калибровки уберите миллитесламетр в коробку, выйдите в меню программы с помощью клавиши «Меню».

### *II. Определение ЭДС Холла.*

8. Вставьте образец в зазор электромагнита. Перейдите к определению ЭДС Холла кнопкой «Определение ЭДС Холла».
9. Введите  $a$  в поле «Введите  $a$ », нажмите клавишу ENTER. Установите ручки регулировки источника питания электромагнита в минимальное положение, нажмите кнопку «Старт». Подождите, пока с приборов будет получено 15 значений.
10. Необходимо следить за ходом программы: получение данных может остановлено при слишком больших значениях тока или после получения 15 точек.
11. Остановите процесс кнопкой «Стоп», измените ток на источнике питания электромагнита (на 8 – 12 В). Запустите получение данных кнопкой «Новое напряжение». Повторите для 10-12 значений тока на источнике питания электромагнита.

### *III. Определение знака носителей.*

12. После окончания основного эксперимента выйдете в основное меню программы кнопкой «Меню». Перейдите к определению знаку носителей заряда кнопкой «Знак носителей».
13. Определите знак носителей заряда в образце. Для этого необходимо знать направление тока через образец, направление магнитного поля и знак ЭДС Холла.

Направление тока в образце показано знаками «+» и «-» на рис. 1. Направление тока в обмотках электромагнита при установке разъёма  $K_1$  в положение 1 показано стрелкой на торце магнита.

Измерьте разность потенциалов без магнитного поля (установите ручки регулировки источника питания электромагнита в минимальное положение, нажмите кнопку «Без поля»). Подайте небольшое напряжение на электромагнит (10 В), нажмите кнопку «С полем». Зафиксируйте результаты.

#### *IV. Измерение удельной проводимости.*

14. Выключите источник питания электромагнита, перейдите в основное меню программы кнопкой «Меню». Перейдите к измерению удельной проводимости соответствующей кнопкой.
15. Удалите держатель с образцом из зазора электромагнита; подключите к клеммам «U» и «0» вольтметра провода 3 и 5; введите параметры образца в соответствующие поля (после ввода обязательно нажать клавишу «ENTER»). Введите  $L$  в поле «Введите  $L$ » и  $l$  в поле «Введите  $l$ », нажмите кнопку «Старт».

#### *V. Обработка результатов.*

16. Перейдите в основное меню программы. Для получения графиков и постоянных из эксперимента нажмите на кнопку «Обработка данных».
17. Разберите установку, все полученные данные и графики хранятся в папке с вашей фамилией, сохраните их себе, например, на флешку.

#### *VI. Выводы.*

18. Определите характер проводимости образца (дырочный или электронный) по направлению тока и по знаку постоянной Холла.
19. Сделайте вывод об адекватности полученных констант. При необходимости обработайте данные самостоятельно.

#### **Контрольные вопросы.**

1. Какие вещества называют диэлектриками, проводниками, полупроводниками? Чем объясняется различие их электрических свойств? Как зависит от температуры проводимость металлов и полупроводников?
2. Дайте определение константы Холла. Как зависит константа Холла от температуры у металлов и полупроводников?
3. Зависит ли результат измерения константы Холла от геометрии образца?
4. Зависит ли сопротивление образца от магнитного поля в условиях опыта?
5. Как устроен милливеберметр? Зависят ли его показания от сопротивления измерительной катушки? Каким должно быть это сопротивление по сравнению с сопротивлением катушки прибора?
6. По результатам измерений оцените частоту столкновений, длину пробега и коэффициент диффузии носителей тока в образце.
7. Получите выражение константы Холла для материалов с двумя типами носителей. Указание: воспользуйтесь условием равенства нулю поперечного тока.