

### 3.3.4 (4.11Б-2) ЭФФЕКТ ХОЛЛА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ

VIII-2014

**В работе используются:** электромагнит с источником питания GPR; цифровой вольтметр В7-65/5; батарейка 1,5 В; реостат; миллиамперметр; образцы легированного германия; измеритель магнитной индукции АТЕ-8702.

**Экспериментальная установка.** Электрическая схема установки для измерения ЭДС Холла представлена на рис. 1.

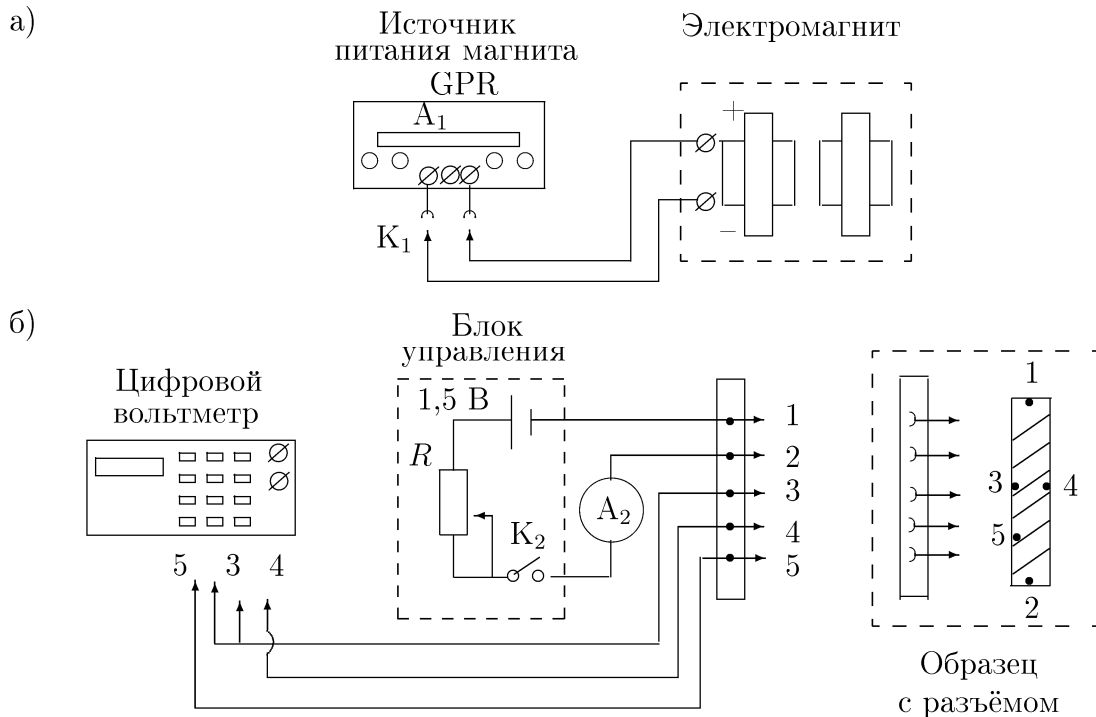


Рис. 1. Схема установки для исследования эффекта Холла в полупроводниках

В зазоре электромагнита (рис. 1а) создается постоянное магнитное поле, величину которого можно менять с помощью регуляторов источника питания электромагнита. Ток питания электромагнита измеряется амперметром источника питания  $A_1$ . Разъем  $K_1$  позволяет менять направление тока в обмотках электромагнита.

Градуировка магнита проводится при помощи измерителя магнитной индукции АТЕ-8702 (техническое описание АТЕ-8702 приведено на установке).

Образец из легированного германия, смонтированный в специальном держателе (рис. 1б), подключается к батарее ( $\approx 1,5$  В). При замыкании ключа  $K_2$  вдоль длинной стороны образца течёт 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.

Иногда контакты 3 и 4 вследствие неточности подпайки не 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  $\mathcal{E}_x$  может быть определена как половина алгебраической разности показаний вольтметра, полученных для двух противоположных направлений магнитного поля в зазоре. Знак измеряемого напряжения высвечивается на цифровом табло вольтметра.

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  $U_0$  остаётся неизменным. От него следует (с учётом знака) отсчитывать величину ЭДС Холла:  $\mathcal{E}_x = U_{34} \pm U_0$ . При таком способе измерения нет необходимости проводить повторные измерения с противоположным направлением магнитного поля.

По знаку  $\mathcal{E}_x$  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 очевидной формуле:

$$\sigma = I \cdot L_{35} / (U_{35} \cdot a \cdot l), \quad (2)$$

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

## ЗАДАНИЕ

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

### 1. Подготовка приборов к работе

1. Два холловских конца с маркировкой 3 и 4 подсоедините к клеммам вольтметра «U» и «0».

Подключите вольтметр к сети (тумблер на задней стенке) и подождите — вольтметр проходит АВТОТЕСТ;

при появлении цифр на табло нажмите на кнопку «←» в верхнем ряду несколько раз, пока не перестанет изменяться диапазон измерений (запятая между цифрами остаётся на месте)

если автотест не идёт — отключите тумблер и включите снова;

если чувствительность соответствует 10-и мкВ, нажмите кнопку «τ» (разрешение) и подождите, пока чувствительность станет равной 1мкВ (3 знака после запятой);

кнопка «→» в верхнем ряду уменьшает разрешение, кнопка «↑» включает вольтметр;

на экране высвечивается знак «-», если напряжение отрицательное (+ не высвечивается).

2. Проверьте работу цепи питания образца. Для этого присоедините образец через разъём к цепи питания. Установите на миллиамперметре предел измерений тока 1,5 мА и, убедившись, что реостат  $R$  выведен на минимум тока (крайнее левое

положение), тумблером  $K_2$  подключите батарею. Проверьте, что ток можно плавно изменять до 1 мА (ток через образец НЕ ДОЛЖЕН превышать 1 мА). Снова уберите ток до нуля и временно отключите батарею.

3. Проверьте работу цепи магнита: поставьте разъём  $K_1$  на источнике питания магнита в положении I; убедитесь, что все регуляторы источника питания магнита выведены на минимум (крайнее левое положение) и включите источник в сеть; используя сначала ручки «FINE» — плавно, затем «COARSE» — грубо, установите ток и напряжение на максимум и определите предельное значение силы тока через электромагнит; уберите ток «CURRENT», пользуясь сначала ручкой «COARSE», затем «FINE», при этом регуляторы напряжения остаются на максимуме (можно менять ток ручками регулировки напряжения «VOLTAGE», оставляя регуляторы тока на максимуме).

## II. Градуировка электромагнита

4. 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 сек последовательным нажатием кнопки «MODE» установите режим измерения в постоянном поле « $a_1$ » (см. рис. 2 ТО).

Для смены единиц измерения см. п. III.4 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.

5. С помощью измерителя исследуйте зависимость индукции  $B$  магнитного поля в зазоре электромагнита от тока через обмотки магнита.

Проведите измерения магнитной индукции для 6–8 значений тока через электромагнит  $I_M$ .

Закончив градуировку, уберите ток  $I_M$  до минимума.

## III. Измерение ЭДС Холла

6. Вставьте держатель с образцом в зазор электромагнита. Установите по миллиамперметру  $A_2$  минимальное значение тока через образец ( $\simeq 0,2$  мА). В отсутствие магнитного поля вольтметр покажет небольшое напряжение  $U_0$ , вызванное несовершенством контактов 3, 4 и наводками. Это значение  $U_0$  с учётом знака следует принять за нулевое. Знак «+» или «-» на световом табло вольтметра соответствует знаку напряжения на клемме «U».
7. Снимите зависимость напряжения  $U_{34}$  от тока  $I_M$  через обмотки магнита при фиксированном токе через образец (включая  $U_0$ ). Измерения следует проводить при увеличении магнитного поля.

Закончив измерения при выбранном токе через образец, плавно уменьшайте ток через электромагнит до минимума.

8. Проведите измерения  $U_{34} = f(I_M)$  при постоянном токе через образец (всего 6–8 серий для токов в интервале 0,2–1 мА). При каждом новом значении тока через образец величина  $U_0$  будет иметь своё значение.
9. При максимальном токе через образец ( $\simeq 1$  мА) проведите измерения  $U_{34} = f(I_M)$  при другом направлении магнитного поля через образец (поверните образец на  $180^\circ$  вокруг горизонтальной оси, проходящей вдоль ручки держателя).

#### IV. Определение характера проводимости

10. Для определения знака носителей необходимо знать направление тока через образец, направление магнитного поля и знак ЭДС Холла. Направление тока в образце показано знаками «+» и «-» на держателе образца. Направление тока в обмотках электромагнита (при установке разъёма  $K_1$  в положение I) показано стрелкой на торце магнита.

Зная направление тока и магнитного поля в образце, определите (по правилу векторного произведения) номер клеммы, к которой движутся холловские частицы.

Зарисуйте в тетради образец. Укажите на рисунке направление тока, магнитного поля и номер выбранной клеммы.

Подайте на образец небольшой ток и сравните показания вольтметра без магнитного поля и с полем (с учётом знака).

Напомним, что знак потенциала, который высвечивается на световом табло, соответствует тому контакту на образце, который подключён к клемме «U».

Определите знак носителей.

#### V. Определение удельной проводимости

11. Выключите источник питания электромагнита и удалите держатель с образцом из зазора. Вместо «холловских» концов 3 и 4 подключите к клеммам «U» и «0» вольтметра потенциальные концы 3 и 5.

12. При токе через образец 1 мА измерьте падение напряжения между контактами 3 и 5.

13. Отключите питание образца и магнита; запишите характеристики приборов и параметры образца  $L_{35}$ ,  $a$ ,  $l$ , указанные на держателе.

#### Обработка результатов

1. Постройте график зависимости  $B = f(I_M)$ .

2. Рассчитайте ЭДС Холла и постройте на одном листе семейство характеристик  $\mathcal{E}_x = f(B)$  при разных значениях тока  $I$  через образец. Определите угловые коэффициенты  $K(I) = \Delta\mathcal{E}/\Delta B$  полученных прямых.

Постройте график  $K = f(I)$ . Рассчитайте угловой коэффициент прямой и определите величину постоянной Холла  $R_x$  по формуле (3.26) Введения.

Рассчитайте концентрацию  $n$  носителей тока в образце по формуле (3.27).

Оцените погрешность результата и сравните результат с табличным.

3. Рассчитайте удельную проводимость  $\sigma$  материала образца по формуле (2).

4. Используя найденные значения концентрации  $n$  и проводимости  $\sigma$ , с помощью формулы (3.20) вычислите подвижность  $b$  носителей тока в общепринятых для этой величины внесистемных единицах: размерность напряжённости электрического поля  $[E] = [U/L] = \text{В/см}$ , размерность скорости  $[v] = \text{см/с}$ , поэтому размерность подвижности  $[b] = \text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ .

5. Оцените погрешности и сведите результаты расчётов в таблицу:

$R_x \pm \Delta R_x$ $10^{-10} \text{ м}^3/\text{Кл}$	Знак носит.	$n \pm \Delta n$ $(\text{м}^3)^{-1}$	$\sigma \pm \Delta\sigma$ $(\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$	$b \pm \Delta b$ $\text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$