

Московский физико-технический институт

Лабораторная работа № 3.3.4.
Эффект Холла в полупроводниках.



Осипов Егор. Б03-005
16.11.2021
г. Долгопрудный

Содержание

1	Теория и вводные	2
1.1	Цель работы и используемые приборы.	2
1.2	Экспериментальная установка.	2
2	Ход работы.	3
3	Обработка результатов.	5
3.1	Градуировка электромагнита.	5
3.2	Измерение ЭДС Холла.	6
4	Вывод.	8

1 Теория и вводные

1.1 Цель работы и используемые приборы.

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

В работе используются: электромагнит с источником питания, амперметр, миллиамперметр, милливеберметр, реостат, цифровой вольтметр, источник питания (1.5В), образцы легированного германия.

1.2 Экспериментальная установка.

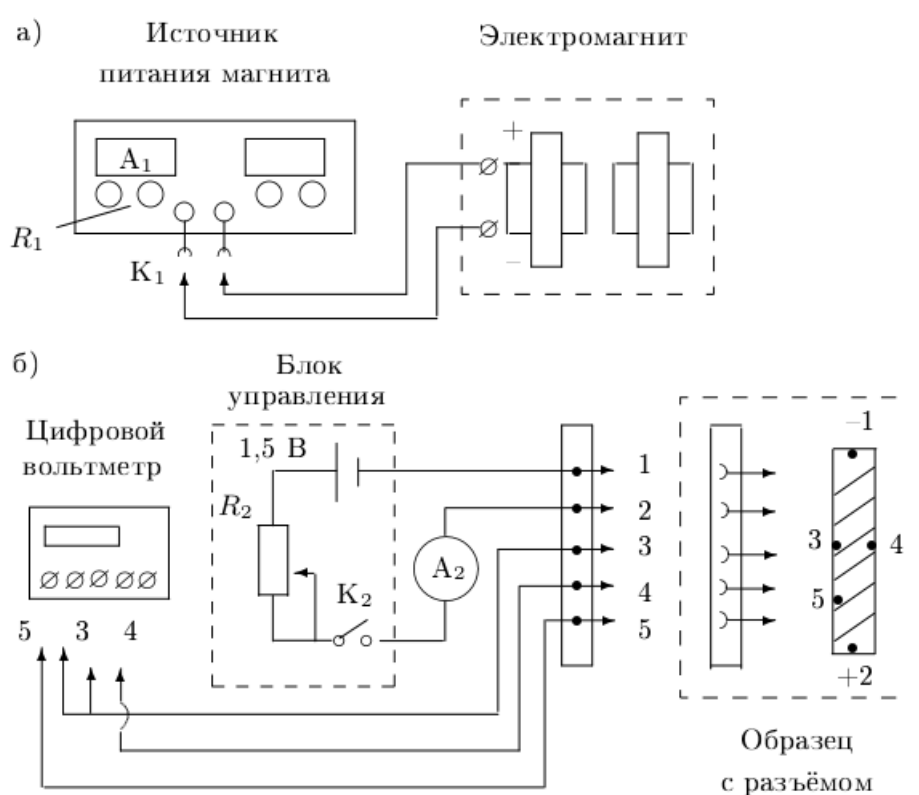


Рис. 1: Схема установки для исследования эффекта Холла в полупроводниках.

Схема установки для измерения ЭДС Холла представлена на рисунке (1.2).

В зазоре электромагнита создается постоянное магнитное поле, величину которого можно менять с помощью регулятора R_1 источника питания электромагнита. Ток питания электромагнита измеряется амперметром A_1 . Разъем K_1 позволяет менять направление тока в обмотках электромагнита.

Градуировка магнита проводится при помощи милливеберметра.

Образец из легированного германия, смонтированный в специальном держателе, подключается к источнику питания ($\approx 1,5$ В). При замыкании ключа

K_2 вдоль длинной стороны образца течёт ток, величина которого регулируется реостатом R_2 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 поднайки 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 ЭДО Холла ε_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:

$$\varepsilon_x = U_{34} \pm U_0 \quad (1)$$

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

По знаку ε_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 формуле

$$\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}a l} \quad (2)$$

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

2 Ход работы.

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. Подготовим приборы к работе.
2. Проверим работу цепи питания образца. Ток через образец не должен превышать 1 мА.
3. Проверим работу цепи магнита. Определите диапазон изменения тока через магнит.
4. Прокалибруем электромагнит – определите связь между индукцией B магнитного поля в зазоре электромагнита и током I_m через обмотки магнита. Для этого с помощью милливеберметра снимем зависимость магнитного потока, Φ пронизывающего пробную катушку, находящуюся в зазоре, от тока I_m ($\Phi = BSN$). Значение SN (произведение площади сечения контура катушки на число токов в ней) указано на держателе катушки.
5. Проведем измерение ЭДС Холла. Для этого вставим образец в зазор выключенного электромагнита и определим напряжение U_0 между холловскими контактами 3 и 4 при минимальном токе через образец ($\simeq 0.2$ мА). Это напряжение U_0 вызвано несовершенством контактов 3, 4 и при фиксированном токе через образец остается неизменным. Значение U_0 с учетом знака следует принять за нулевое.
Включим электромагнит и снимем зависимость напряжения U_{34} от тока I_m через обмотки магнита при фиксированном токе через образец.
Проведем измерения $U_{34} = f(I_m)$ при постоянном токе через образец для 6-8 его значений в интервале 0.2-1 мА. При каждом новом значении тока через образец величина U_0 будет иметь свое значение.
При максимальном токе через образец ($\simeq 1$ мА) $U = f(I_m)$ при другом направлении магнитного поля.
6. Определим знак носителей 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 рисунке (1.2). Направление тока в обмотках электромагнита при установке разъема K_1 в положение I показано стрелкой на торце магнита.
Сфотографируем образец. Укажем на рисунке направления тока, магнитного поля и отклонение носителей. По знаку (\pm) на клеммах цифрового вольтметра определите характер проводимости.
7. Для определения удельной проводимости удалим держатель с образцом из зазора. Подключим к клеммам « H_x » и « L_x » вольтметра потенциальные концы 3 и 5. Измерим падение напряжения между ними при токе через образец 1 мА.
8. Запишем характеристики приборов и параметры образца L_{35} , a , l , указанные на держателе.

3 Обработка результатов.

3.1 Градуировка электромагнита.

Таблица 1: Зависимость индукции магнитного поля в зазоре электромагнита B от силы тока I_m .

ϕ , мВб	6.5	6.3	5.8	4.8	3.7	1.9
I_m , А	1.58	1.41	1.15	0.88	0.66	0.32
B , мТл	866.67	840.00	773.33	640.00	493.33	253.33

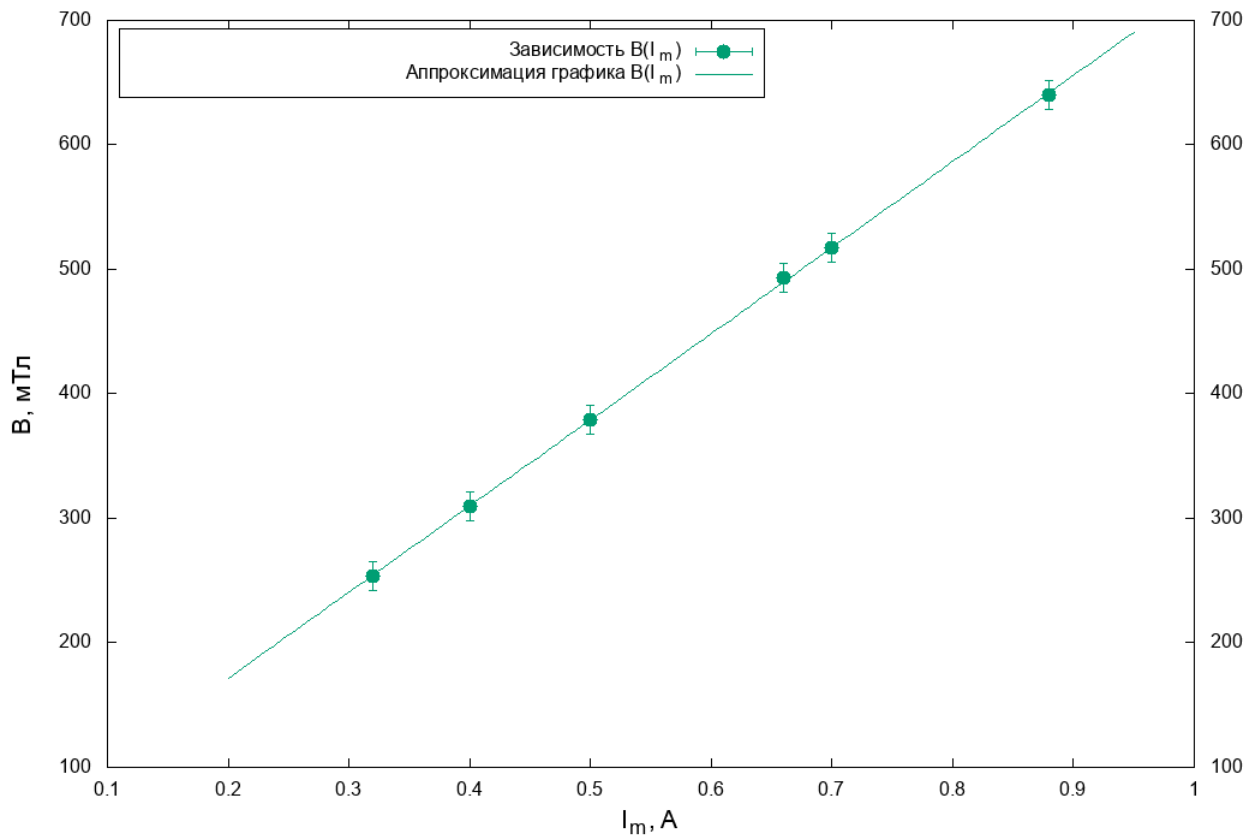


Рис. 2: Зависимость индукции магнитного поля в зазоре электромагнита B от силы тока I_m

3.2 Измерение ЭДС Холла.

Таблица 2: Расчет величины ЭДС Холла.

I = 0.3 мА						
I_m , А	0.31	0.60	0.88	1.03	1.22	1.57
B, мТл	247.77	448.39	642.09	745.86	877.30	1119.42
ε_x , мВ	-0.04	-0.07	-0.10	-0.12	-0.13	-0.14
I = 0.4 мА						
I_m , А	0.30	0.60	0.81	1.06	1.27	1.57
B, мТл	240.85	448.39	593.66	766.61	911.89	1119.42
ε_x , мВ	-0.05	-0.09	-0.12	-0.15	-0.17	-0.18
I = 0.5 мА						
I_m , А	0.33	0.60	0.74	0.93	1.31	1.57
B, мТл	261.60	448.39	545.24	676.68	939.56	1119.42
ε_x , мВ	-0.06	-0.12	-0.14	-0.17	-0.21	-0.23
I = 0.6 мА						
I_m , А	0.22	0.40	0.61	0.95	1.36	1.56
B, мТл	185.51	310.03	455.30	690.51	974.15	1112.51
ε_x , мВ	-0.05	-0.09	-0.14	-0.21	-0.26	-0.28
I = 0.7 мА						
I_m , А	0.27	0.61	0.90	1.20	1.37	1.57
B, мТл	220.09	455.30	655.92	863.46	981.07	1119.42
ε_x , мВ	-0.07	-0.16	-0.23	-0.28	-0.30	-0.32
I = 0.8 мА						
I_m , А	0.30	0.60	0.72	1.05	1.25	1.57
B, мТл	240.85	448.39	531.40	759.69	898.05	1119.42
ε_x , мВ	-0.09	-0.19	-0.22	-0.30	-0.33	-0.37
I = 0.9 мА						
I_m , А	0.33	0.60	0.81	1.07	1.37	1.56
B, мТл	261.60	448.39	593.66	773.53	981.07	1112.51
ε_x , мВ	-0.18	-0.27	-0.34	-0.41	-0.46	-0.48
I = 1 мА						
I_m , А	0.33	0.60	0.76	1.06	1.32	1.57
B, мТл	261.60	448.39	559.07	766.61	946.48	1119.42
ε_x , мВ	-0.19	-0.30	-0.36	-0.45	-0.50	-0.53

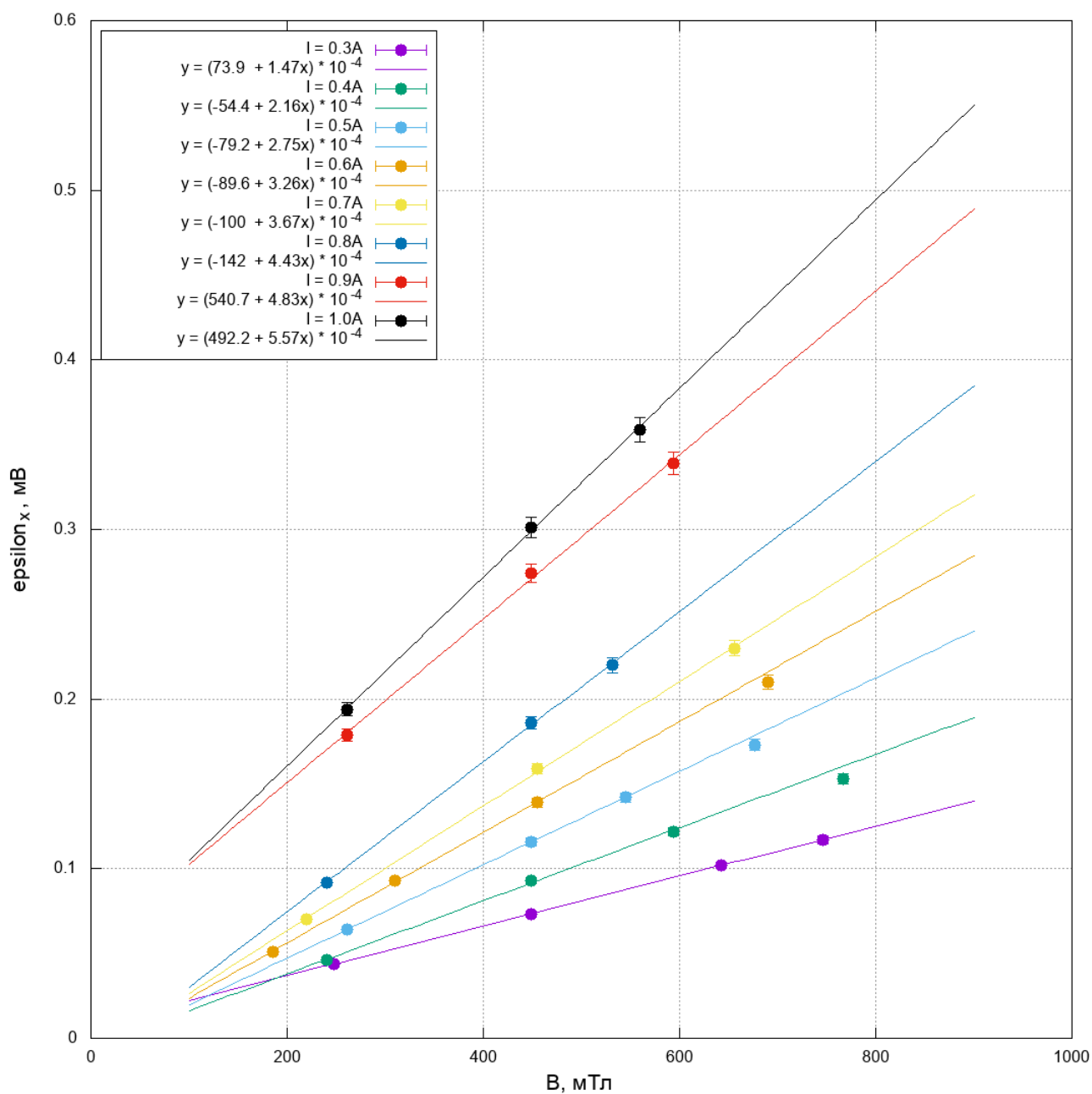


Рис. 3: Зависимость величины ЭДС Холла ϵ_x от индукции поля в зазоре электромагнита.

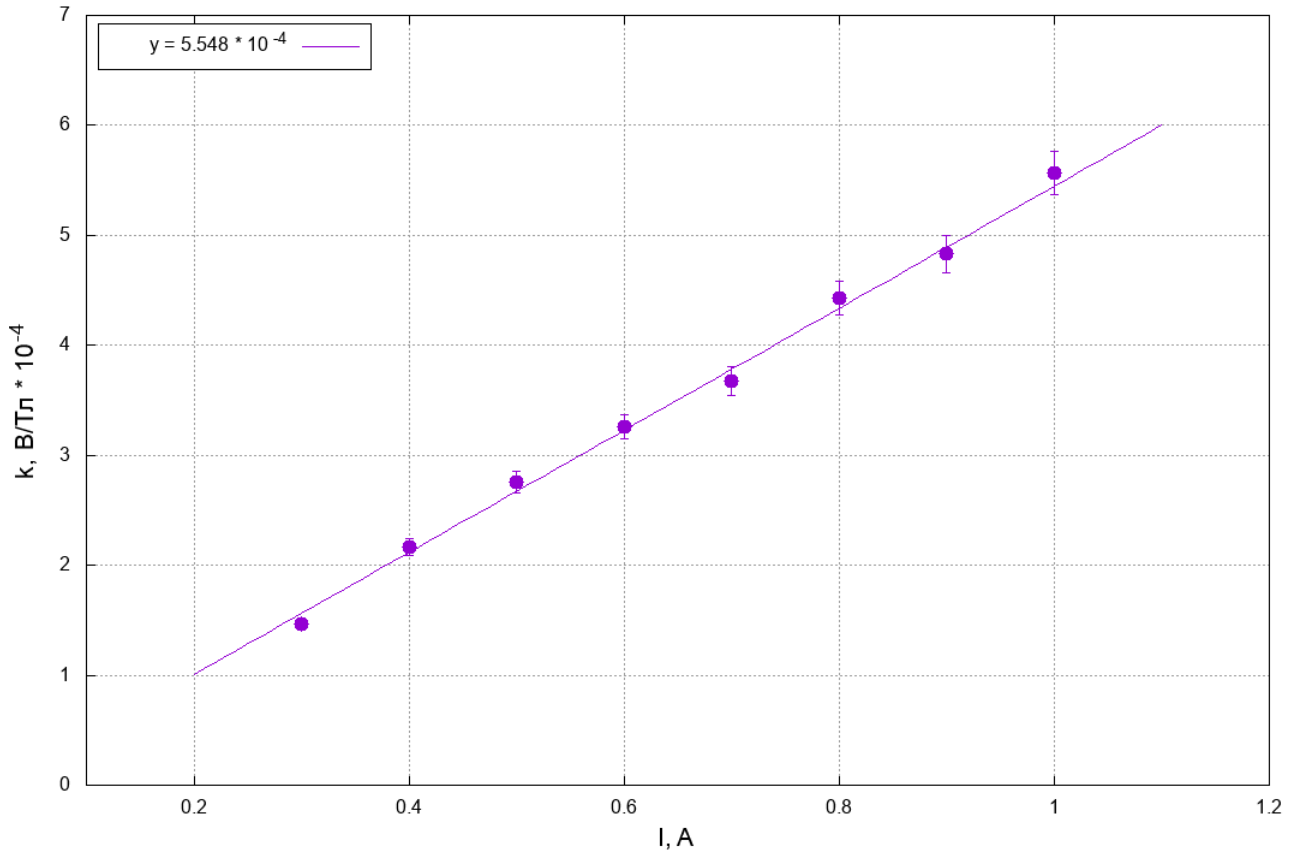


Рис. 4: Зависимость коэффициента $k = \Delta \varepsilon_x / \Delta B$ от силы тока I .

$$\varepsilon_x = -R_x \frac{IB}{a} \Rightarrow k = -R_x \frac{I}{a} \Rightarrow R_x = -a \frac{k}{I}$$

Отсюда очевидно, что $R_x = 0.83 \text{ см}^3/\text{Кл}$.

$$\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}al}$$

И в конечном итоге $\sigma = 701.11 \text{ Ом/м}$

4 Вывод.

В результате эксперимента мы измерили постоянную Холла, которая оказалась $R_x = 0.83 \text{ см}^3/\text{Кл}$, из которой мы получили удельную проводимость легированного германия: $\sigma = 701.11 \text{ Ом/м}$