

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**

---

Физический факультет  
Кафедра физики полупроводников и оптоэлектроники

## **Аномальный эффект Холла**

Лабораторный практикум по курсу  
«Спинтроника»  
(Описание к лабораторной работе)

Рекомендовано методической комиссией физического факультета  
для студентов ННГУ,  
обучающихся по направлению подготовки  
11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

Нижний Новгород  
2017

УДК 537.633.2  
ББК 22.379  
К-88

К-88 Кудрин А.В., Данилов Ю.А. АНОМАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ХОЛЛА: Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. – 16 с.

Рецензент: к.ф.-м.н., доцент кафедры Физического материаловедения физического факультета ННГУ М.В. Дорохин

В работе прорабатывается и закрепляется материал соответствующего раздела курса лекций «Спинтроника»: описаны основы экспериментального метода исследования аномального эффекта Холла и основы методики анализа экспериментальных зависимостей. Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника».

Ответственный за выпуск:  
председатель методической комиссии  
физического факультета ННГУ, к.ф.-м.н., доцент В.В. Сдобняков

УДК 537.633.2  
ББК 22.379

© Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, 2017

**Цель работы:** изучение транспорта носителей в магнитных проводниках в скрещенных электрическом и магнитном полях; экспериментальное исследование электрических (концентрация и подвижность носителей тока) и магнитных (коэрцитивное поле) параметров магнитных слоев.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Используя явление аномального эффекта Холла, студенту предлагается изучить некоторые особенности транспорта носителей в магнитных материалах; экспериментально исследовать электрические и магнитные параметры структуры, содержащей ферромагнитный слой.

Для выполнения работы студенту предлагается:

1. Установка для измерения эффекта Холла с разверткой по магнитному полю;
2. Образцы, содержащие слой проводящего ферромагнитного материала на подложке полуизолирующего GaAs.

## Теоретическое введение

При движении внутри кристалла носители тока взаимодействуют с кристаллической решеткой, что приводит к их рассеянию и возникновению электросопротивления. Основными механизмами рассеяния носителей в полупроводниках являются: рассеяние на ионах примеси и рассеяние на фононах, т.е. на тепловых колебаниях решетки. В магнитоупорядоченных материалах большое значение также имеет рассеяние носителей заряда на магнитных рассеивающих центрах. Такой тип рассеяния имеет квантовомеханическую природу и связан с взаимодействием спинового момента электрона проводимости с орбитальным моментом другого электрона, т.е. связан со спин-орбитальным взаимодействием.

В ферромагнитных материалах возникает так называемый *аномальный эффект Холла*, который в отличие от нормального эффекта Холла, не связан с действием силы Лоренца на движущиеся в магнитном поле носители заряда, а связан с особенностями взаимодействия носителей тока с кристаллической решеткой ферромагнетика и магнитными рассеивающими центрами [1].

Выражение для сопротивления Холла для ферромагнитного материала имеет вид:

$$R_H = \frac{R_0 B_z}{d} + \frac{R_S M}{d}, \quad (1a)$$

или для удельного сопротивления Холла:

$$r_H = R_0 B_z + R_S M. \quad (1б)$$

В зависимости сопротивления Холла от магнитного поля в ферромагнитных материалах наряду со слагаемым, соответствующим обычному (нормальному) эффекту Холла, имеется слагаемое, пропорциональное намагниченности материала ( $M$ ) и соответствующее аномальному эффекту Холла. В этом случае  $R_S$  – коэффициент аномального эффекта Холла. Коэффициенты нормального  $R_0$  и аномального  $R_S$  эффекта Холла могут иметь разные знаки. Выражение вида (1) применяется для описания эффекта Холла как в ферромагнитных металлах, так и в ферромагнитных полупроводниках.

В неферромагнитных материалах электропроводность осуществляется ансамблем носителей тока, где количество носителей с ориентацией спина в одном направлении  $N^+$  равно числу носителей с противоположной ориентацией спина  $N^-$ . Для ферромагнитных материалов результирующая самопроизвольная намагниченность связана со снятием вырождения по спину в системе электронов проводимости в результате наличия обменного взаимодействия. Следовательно, в ферромагнитных материалах преобладают носители тока с определенной ориентацией спина, например  $N^+ > N^-$ , т.е. электропроводность в ферромагнетиках осуществляется поляризованными по спину носителями тока.

В ферромагнетиках возможны механизмы отклонения и рассеяния спин-поляризованных носителей тока, которые приводят к их движению в направлении, перпендикулярном протеканию тока, причем движение носителей тока с различной спиновой поляризацией происходит в противоположные направления. Существует несколько механизмов отклонения носителей тока. Поскольку в ферромагнетике имеется различие в количестве носителей заряда с разными ориентациями спинов (например, носителями тока являются электроны и  $N_e^+ > N_e^-$ ), то в результате таких отклонений носителей тока в материале происходит разделение зарядов в направлении, перпендикулярном протеканию тока, и, следовательно, возникает поле Холла.

В общем случае коэффициент аномального эффекта Холла связан с удельным сопротивлением структуры ( $\rho$ ) следующим соотношением:

$$R_S = c \cdot \rho^n, \quad (2)$$

где  $c$  – константа. Показатель степени  $n$  зависит от механизма рассеяния носителей заряда. Обычно при анализе экспериментальных данных значение  $n$  принимается равным 1 или 2. Для исследуемых материалов значение  $n$  может быть определено только косвенным образом, например из сравнения хода температурных зависимостей магнитных

параметров, полученных из рассмотрения зависимости сопротивления от магнитного поля (как будет показано ниже), с ходом температурных зависимостей магнитных параметров, измеренных непосредственно.

На рис. 1 представлено схематичное изображение зависимости сопротивления Холла от магнитного поля  $R_H(B)$  для ферромагнитного материала. Зависимость имеет нелинейный характер и возможно появление гистерезиса, что является следствием характера зависимости намагниченности структуры от магнитного поля ( $M(B)$ ).

При достижении намагниченности насыщения  $M_S$  в магнитном поле  $B_S$  (рис. 1) слагаемое, соответствующее аномальному эффекту Холла в выражении (1), становится константой, не зависящей от магнитного поля  $R_S M_S$ . Дальнейший ход зависимости сопротивления Холла от магнитного поля будет определяться слагаемым, соответствующим нормальному эффекту Холла, а зависимость  $R_H(B)$  станет линейной.

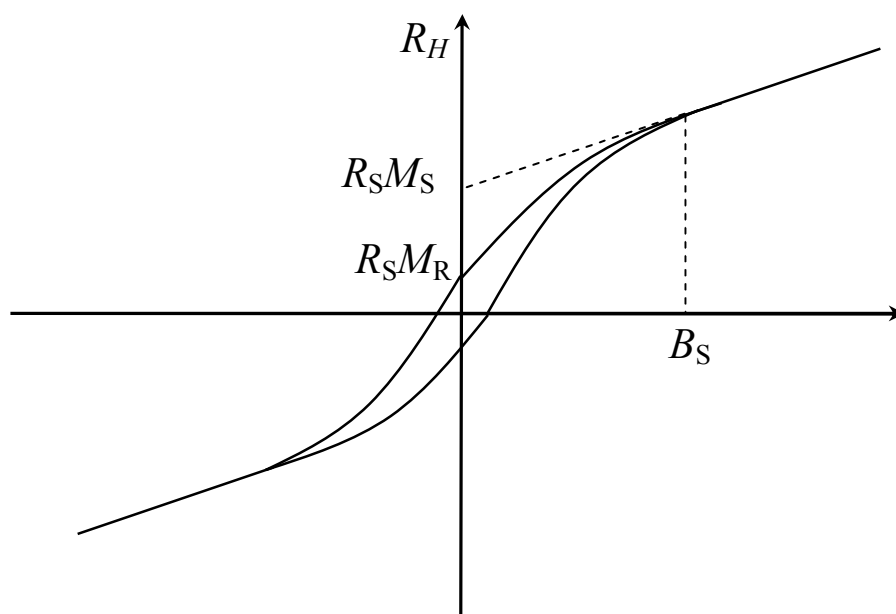


Рис. 1 Схематичное изображение зависимости  $R_H(B)$  для ферромагнитного материала.

По наклону линейного участка зависимости  $R_H(B)$  может быть определен нормальный коэффициент Холла. Вычитанием линейной части, соответствующей нормальному эффекту Холла, из зависимости  $R_H(B)$  можно получить магнитополевою зависимость слагаемого  $R_S M$  в выражении (1), соответствующего аномальному эффекту Холла. С учетом того, что  $R_S = c \rho^n$ , можно определить вид магнитополевою зависимости намагниченности материала для случая магнитного поля, приложенного перпендикулярно плоскости образца. Значение сопротивления Холла в нулевом магнитном поле  $R_H(0)$  равно  $R_S M_R$ , т.е., пропорционально величине остаточной намагниченности  $M_R$  (рис. 1). Следовательно, исследования эффекта Холла в ферромагнетиках позволяют определить

как электрические характеристики материала (тип носителей тока, их концентрацию и подвижность), так и магнитные свойства.

## Выполнение лабораторной работы

Для определения электрических и магнитных параметров ферромагнитных структур необходимо проведение анализа зависимостей сопротивления Холла  $R_H$  от величины магнитной индукции  $B$ , следовательно, необходимо получение экспериментальных зависимостей  $R_H(B)$ . Для получения зависимостей  $R_H(B)$  проводится регистрация величины сопротивления Холла в изменяющемся магнитном поле  $B$  с одновременной регистрацией величины магнитного поля. В качестве источника магнитного поля регулируемой напряженности используется электромагнит. Путем изменения величины подаваемого на электромагнит напряжения производится изменение величины напряженности магнитного поля. Величина магнитного поля, создаваемого электромагнитом, может непосредственно измеряться датчиком магнитного поля. В качестве датчика величины магнитного поля обычно используется датчик на основе эффекта Холла, т.е. используется полупроводниковый кристалл, для которого величина э.д.с. Холла линейно зависит от внешнего магнитного поля (данная зависимость калибруется). Таким образом, в ходе эксперимента одновременно с измеряемой величиной  $R_H$  регистрируется величина пропускаемого через электромагнит тока и в дальнейшем производится его пересчет в величину создаваемого магнитного поля  $B$ , что позволяет получить зависимость  $R_H(B)$ .

Для измерения величины удельного сопротивления и сопротивления Холла в ходе проведения эксперимента через исследуемую структуру пропускается ток постоянной величины, и производятся измерения падения напряжения вдоль направления пропускания тока (для определения удельного сопротивления) и вдоль направления, перпендикулярного направлению протекания тока (для определения сопротивления Холла). Следовательно, для проведения измерений необходим источник пропускаемого через структуру тока (тестового тока) и вольтметр для измерения падения напряжения.

Величина э.д.с. Холла пропорциональна величине пропускаемого через структуру тока, следовательно, увеличение тока приводит к увеличению э.д.с. Холла. Однако при определенных значениях тока может происходить разогрев исследуемой структуры, что приводит к изменению со временем исследуемых параметров (временной дрейф). Скорость разогрева зависит от удельного сопротивления структуры: для более высокоомных структур при равной величине тестового тока разогрев будет происходить

быстрее. Для структур с высоким сопротивлением необходимо использовать меньший по величине ток. Величина тестового тока может варьироваться в широких пределах – от единиц нА до сотен мА в зависимости от удельного сопротивления исследуемой структуры.

Таким образом, основными элементами установки для экспериментального получения магнитолевых зависимостей удельного сопротивления и сопротивления Холла являются:

- электромагнит с возможностью изменения величины создаваемого магнитного поля;
- система регистрации величины магнитного поля;
- источник тестового тока, пропускаемого через исследуемую структуру;
- вольтметр для измерения падения напряжения на исследуемой структуре и э.д.с. Холла;
- криостат для поддержания заданной температуры образца.

На рис. 2 схематично представлена установка для исследования гальваномагнитных свойств в широком диапазоне температур.

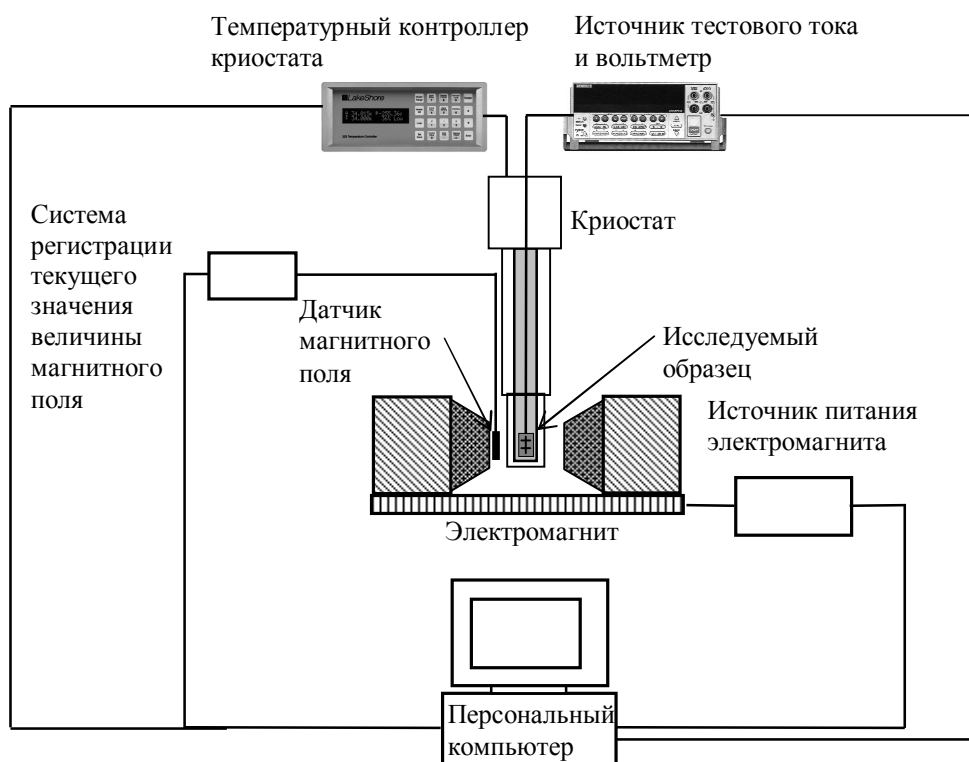


Рис. 2 Схематическое изображение экспериментальной установки для исследования гальваномагнитных свойств.

В установке, используемой в лабораторной работе, в качестве источника тестового тока и вольтметра используется объединенный прибор: источник-измеритель Keithley 2400 (рис. 3).



Рис.3 Лицевая панель источника – измерителя Keithley 2400.

После монтажа образца в держатель необходимо включить источник - измеритель кнопкой POWER (рис. 3). Подсоединить клеммы токовых контактов держателя образца к терминалам INPUT/OUTPUT на лицевой панели Keithley 2400, клеммы потенциальных контактов держателя образца к терминалам 4-WIRE SENSE на лицевой панели. Выбрать 4-х контактный режим измерения сопротивления, для этого:

1. Нажать CONFIG, затем  $\Omega$ , чтобы вывести на дисплей меню конфигурирования сопротивления;

2. Выбрать SENSE MODE, затем нажать ENTER;

3. Выбрать 4-WIRE, затем нажать ENTER;

4. Нажать EXIT, чтобы вернуться к нормальному состоянию дисплея.

Выбрать режим измерения сопротивления с фиксированным значением пропускаемого тока, для этого:

1. Выбрать режим источника тока, нажав кнопку I;

2. Выбрать режим измерения сопротивления, нажав кнопку  $\Omega$ .

Выставить величину тока, пропускаемого через образец, для этого нажать кнопку EDIT и выставить с помощью цифровых клавиш (0-9) нужную величину тока.

Для эффективного проведения эксперимента необходима автоматизация процесса получения зависимостей  $R_H(B)$ , что успешно реализуется при использовании современных аппаратно-программных средств. В целом процесс получения магнитопольевой зависимости измеряемой величины выглядит следующим образом:

1. Задание максимального значения магнитного поля. Задание величины шага изменения магнитного поля;

2. Измерение исследуемой величины в нулевом магнитном поле  $\rightarrow$  увеличение магнитного поля на величину шага изменения магнитного поля, измерение величины магнитного поля  $\rightarrow$  измерение исследуемой величины  $\rightarrow$  увеличение магнитного поля на величину шага изменения магнитного поля, измерение величины магнитного поля и т.д.;



3. При достижении максимальной заданной величины магнитного поля повторение пункта 2 в обратной последовательности, т.е. с уменьшением величины магнитного поля от максимального значения до нуля;
4. Смена полярности внешнего магнитного поля;
5. Повторение пунктов 2 и 3;
6. Сохранение полученного массива данных, содержащего значения величины магнитного поля и измеряемой величины.

Задание максимального значения магнитного поля осуществляется заданием максимального значения подаваемого напряжения, генерируемого источником питания электромагнита. Задание величины шага изменения магнитного поля осуществляется заданием шага изменения величины пропускаемого через электромагнит тока (или подаваемого напряжения). Для измерения величины магнитного поля необходимо получения данных о величине сигнала с датчика магнитного поля, для чего используется аналого-цифровой преобразователь L-Card. Для измерения исследуемой величины используется источник-измеритель.

Следовательно, управляющая программа должна выдавать поток данных для управления источником питания электромагнита и фиксировать два входящих потока данных (от системы регистрации величины магнитного поля и измерителя исследуемой величины) Keithley 2400.

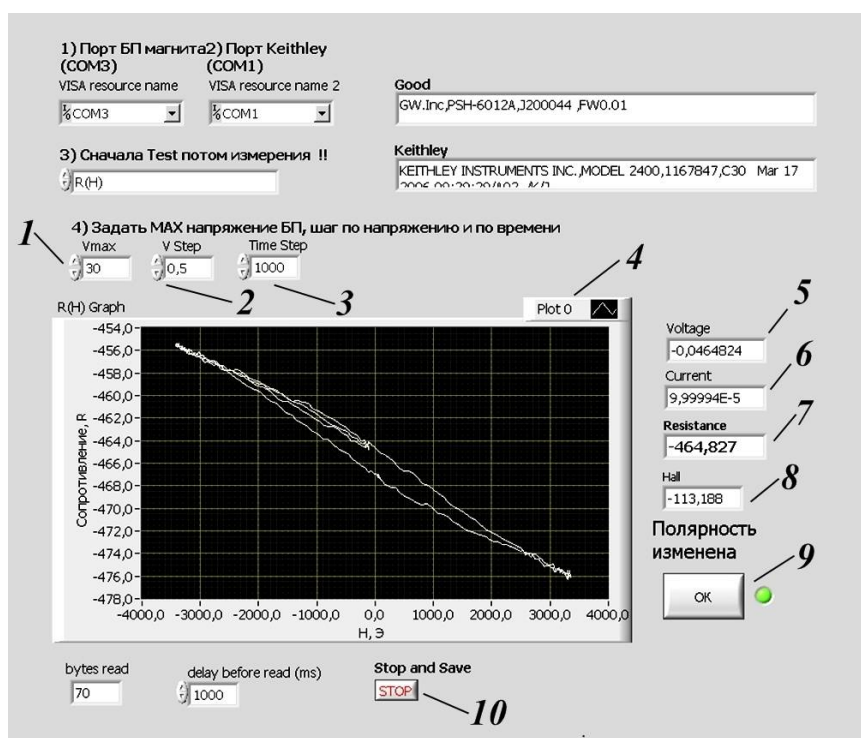


Рис. 4 Интерфейс программы управления установкой для исследования гальваномагнитных свойств.

На рис. 4 представлен пример интерфейса программы управления установкой для исследования гальваномагнитных свойств. Программа управления создана с использованием среды графического программирования LabView. Основными элементами интерфейса являются: 1 – элемент управления для задания максимального напряжения, подаваемого на электромагнит, 2 – элемент управления для задания шага изменения подаваемого на электромагнит напряжения, 3 – элемент управления для задания временной задержки между шагами по напряжению (задержка необходима ввиду того, что электромагнит обладает значительной индукцией и время установления создаваемого магнитного поля после изменения величины подаваемого на магнит напряжения может составлять несколько секунд), 4 – индикатор, отображающий зависимость величины измеряемого сопротивления от величины магнитного поля, 5 – индикатор, отображающий текущее значение измеряемого напряжения на исследуемой структуре, 6 – индикатор, отображающий текущее значение тестового тока, 7 – индикатор, отображающий текущее значение измеряемого сопротивления, 8 – индикатор, отображающий текущее значение величины магнитного поля, 9 – кнопка запуска измерений после изменения полярности магнитного поля, 10 – кнопка остановки измерения и сохранения полученного массива данных.

Таким образом, возможно автоматизированное получение зависимостей  $R_H(B)$  с одновременной их визуализацией для контроля хода проведения эксперимента. Обычно для исследования гальваномагнитных свойств на исследуемых структурах фотолитографическим методом формируется меза-структуры типа «холловский мостик». На рисунке 5 представлено схематическое изображение мостика Холла.

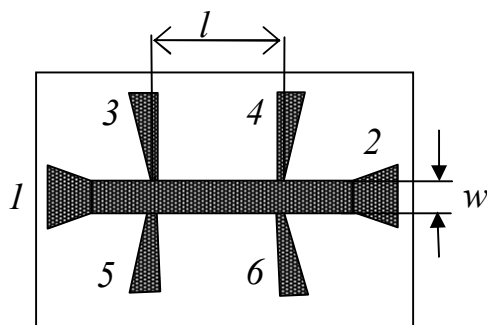


Рис. 5 Схематическое изображение мостика Холла: 1 и 2 – токовые контакты, 3-6 – потенциальные контакты.  $w$  – ширина токовой дорожки,  $l$  – расстояние между потенциальными контактами.

Мостик Холла имеет токовые контакты, через которые пропускается тестовый ток (контакты 1 и 2 на рисунке 5) и потенциальные контакты для изменения напряжения (контакты 3-6). В этом случае удельное сопротивление структуры равно:

$$\rho = \frac{V_p}{I} \frac{w}{l} d, \quad (3)$$

где  $V_p$  – величина падения напряжения на паре потенциальных контактов, расположенных по одну сторону токовой дорожки (например, на контактах 3 и 4),  $I$  – величина пропускаемого тока,  $l$  – расстояние между потенциальными контактами, на которых измерялось падение напряжения,  $w$  – ширина токовой дорожки. Величина э.д.с. Холла  $V_H$  регистрируется на противоположных потенциальных контактах, например, на контактах 3 и 5. В этом случае сопротивление Холла  $R_H$  равно  $\frac{V_H}{I}$ .

Для исследования эффекта Холла и измерения удельного сопротивления может также использоваться геометрия Ван-дер-Пау. В этом случае к образцу (в общем случае произвольной формы) изготавливаются четыре контакта, расположенные в вершинах квадрата (рис. 6). Для измерения удельного сопротивления образца необходимо получить значения сопротивлений  $R_{12,34}$  и  $R_{23,14}$ , где индексы 12 и 23 означают контакты, через которые пропускается ток, а индексы 34 и 14 – контакты на которых измеряется падение напряжения.

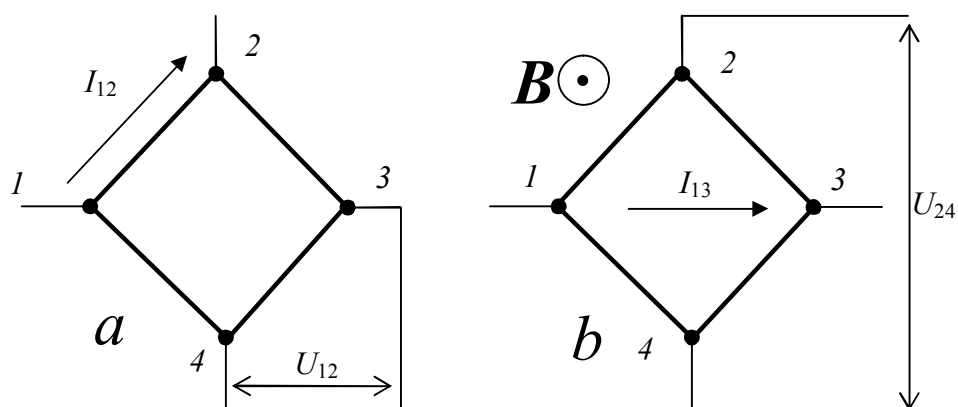


Рис. 6 Схемы расположения контактов в геометрии Ван-дер-Пау на образце произвольной формы: *a* – измерение удельного сопротивления, *б* – измерение эффекта Холла.

Величина удельного сопротивления вычисляется по формуле [2]:

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \cdot \frac{R_{12,34} + R_{23,14}}{2} \cdot f\left(\frac{R_{12,34}}{R_{23,14}}\right), \quad (4)$$

где  $d$  – толщина исследуемой структуры. График функции отношений  $f(R_{12,34}/R_{23,14})$  представлен на рис. 7.

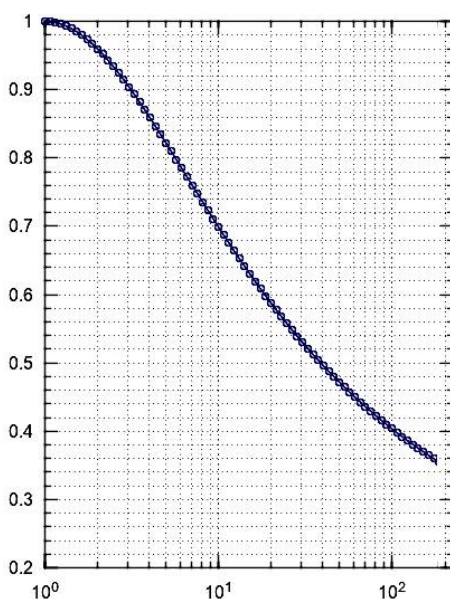


Рис. 7 График функции  $f(R_{12,34}/R_{23,14})$  для вычисления удельного сопротивления методом Ван-дер-Пау.

Для получения зависимостей сопротивления Холла от магнитного поля  $R_H(B)$  в геометрии Ван-дер-Пау необходимо проводить регистрацию возникающего напряжения Холла  $U_{24}$  при пропускании тока через контакты 13 (рис. 6). В этом случае  $R_H(B) = U(B)_{24}/I_{13}$ . Линейная часть экспериментальной зависимости  $R_H(B)$  (рис. 1) позволяет определить нормальный коэффициент Холла  $R_0$  (выражение 1). Поскольку  $R_0 = 1/e \cdot n$ , где  $e$  – элементарный заряд,  $n$  – концентрация носителей заряда, анализ нормальной части экспериментальной зависимости  $R_H(B)$  позволяет определить концентрацию носителей заряда в образце. Известное значение концентрации носителей заряда позволяет вычислить их подвижность  $\mu$ , с учетом того, что  $\sigma = e \cdot n \cdot \mu$ .

### Задания

1. Для образца, представляющего собой слой ферромагнитного полупроводника или металла на подложке полуизолирующего GaAs, получить экспериментальные зависимости сопротивления Холла от магнитного поля при температурах 77 и 300 К.
2. Из общего вида зависимостей определить характер магнитных свойств исследуемого слоя.

3. На основе анализа полученных экспериментальных данных вычислить концентрацию основных носителей заряда. При проявлении аномального эффекта Холла определить величину коэрцитивного поля и величину внешнего магнитного поля, при котором достигается намагниченность насыщения. Построить зависимости  $R_S M(B)$ .
4. Измерить слоевое сопротивление структур и рассчитать подвижность основных носителей тока.

#### Методические рекомендации:

1. Студентам рекомендуется, прежде чем начать вычисления электрических и магнитных характеристик представленных образцов перевести все измеряемые в эксперименте величины в систему единиц СИ: ток в [А], напряжение в [В], магнитную индукцию в [Тл], геометрические характеристики образцов в [м]. После вычислений и получения результатов (слоевого или удельного сопротивления, слоевой или объемной концентрации основных носителей, эффективной холловской подвижности, коэрцитивного поля) в системе СИ можно перевести вычисленные величины в более привычные единицы измерений: концентрацию (слоевую или объемную) носителей в [ $\text{см}^{-2}$  или  $\text{см}^{-3}$ ], подвижность – в [ $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ ].
2. Во внешнем магнитном поле все тела в той или иной степени намагничиваются. Поэтому магнитная индукция  $\mathbf{B} = \mathbf{H} + 4\pi\mathbf{M}$  в них отличается от внешнего магнитного поля  $\mathbf{H}_e$ . Однако и само магнитное поле  $\mathbf{H}$  внутри вещества зависит от его намагниченности.

Известно, что вокруг магнетика создается так называемое размагничивающее поле. Можно считать [3], что это поле создается фиктивными поверхностными магнитными «зарядами» (условно магнитный момент полагается состоящим из двух магнитных зарядов «+» и «-»). Если внутри вещества магнитные диполи (моменты) направлены в одну сторону, то количество положительных и отрицательных зарядов **внутри** одинаково, и суммарный магнитный заряд в объеме магнетика равен 0. Нескомпенсированные магнитные «заряды» имеются только на торцах магнита. В этом рассуждении поверхностные заряды (их плотность полагается равной  $\sigma_m$ ) создают внутри вещества магнитное поле  $H_m$ , противоположное по направлению намагниченности, так что суммарное внутреннее поле уменьшается и становится равным  $H = H_e - H_m$ . Естественно считать размагничивающее поле пропорциональным намагниченности:  $H_m = N \cdot M$ . Коэффициент пропорциональности называют коэффициентом размагничивания; он зависит от формы магнитного тела и направления намагниченности.

В эллипсоидальных образцах существует соотношение между коэффициентами размагничивания  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$  в полях, направленных вдоль различных осей эллипсоида  $(x, y, z)$ :  $N_x + N_y + N_z = 4\pi$  (в системе СИ  $N_x + N_y + N_z = 1$ ). Тогда для тонкого диска, когда внешнее поле направлено вдоль плоскости, коэффициент размагничивания равен  $N = 0$ .

Оценим величину этого коэффициента в случае тонкого диска. В этом случае поверхностные «заряды» на обеих сторонах диска образуют «магнитный конденсатор» и создают размагничивающее поле. Можно показать, что по аналогии с электрическим конденсатором размагничивающее поле равно  $H_m \approx 4\pi\sigma_m = 4\pi M$ . Таким образом, для диска  $N \approx 4\pi$ . Тогда  $H = H_e - 4\pi M$ , а значит  $B = H_e$ . Это означает, что при направлении внешнего поля по нормали к тонкой пластине магнитная индукция внутри вещества совпадает с величиной внешнего магнитного поля. Следовательно, при вычислении результатов измерений эффекта Холла рекомендуется перевести значения напряженности внешнего магнитного поля [Э] в магнитную индукцию [Тл] из соотношения:  $10^4$  Э соответствует 1 Тл.

### Содержание отчета

- Описание цели исследований.
- Краткое изложение метода исследований.
- Результаты измерений (графики, таблица).
- Выводы.
- Литература.

### Контрольные вопросы

1. Объяснить причину появления второго слагаемого в формуле (1).
2. Что такое намагниченность? Единицы измерения намагниченности в системе СИ?
3. Основные особенности петли гистерезиса ферромагнетиков. Что такое коэрцитивное поле и остаточная намагниченность?
4. Какова роль атомов магнитной примеси в магнитных полупроводниках?
5. Основные механизмы ферромагнитного обмена в магнитных полупроводниках.
6. Некоторые специфические виды рассеяния носителей тока в магнитных полупроводниках.

## **Литература**

1. Anomalous Hall effect / N. Nagaosa, J. Sinova, S. Onoda, A.H. MacDonald, N.P. Ong // *Rev. Mod. Phys.* – 2010. - V. 82, n.2. – P.1539-1592.
2. van der Pauw, L.J. A method of measuring the resistivity and Hall coefficient on lamellae of arbitrary shape / L.J. van der Pauw // *Philips Tech. Rev.* – 1958. - V.20, n.8. - P.220-224.
3. Мейлихов, Е.З. Магнетизм: основы теории. Долгопрудный: Интеллект, 2014. – 184 с.

Алексей Владимирович Кудрин  
Юрий Александрович Данилов

## **Аномальный эффект Холла**

*Практикум*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»  
603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.

Подписано в печать                              Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л.   . Уч.-изд. л.   .  
Заказ №       . Тираж       экз.

Отпечатано в типографии Нижегородского государственного университета  
им. Н.И. Лобачевского  
603600, г. Нижний Новгород, ул. Большая Покровская, 37  
Лицензия ПД №18-0099 от 14.05.01