

## Лабораторная работа 17

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

Целью настоящей работы являются изучение поведения намагниченности ферромагнетика в зависимости от температуры и определение его температуры Кюри.

Оборудование экспериментальной установки состоит из печи ( $t_{\text{макс}} = 150^\circ\text{C}$ ), генератора ( $f \approx 300$  Гц,  $U = 15$  В), осциллографа (чувствительность по каналу  $Y - 2$  мВ/мм, по каналу  $X - 10$  мВ/мм), термопары медь—константан, милливольтметра (чувствительность  $0,01$  мВ) и образца (индукция насыщения при комнатной температуре  $B = 1,5$  Т, коэрцитивная сила  $100$  А/м, точка Кюри ниже  $150^\circ\text{C}$ ; намагничивающая и измерительная обмотки имеют по  $500$  витков).

#### Методика исследования температурной зависимости намагниченности и описание экспериментальной установки

Метод измерений, применяемый в данной работе, основан на наблюдении петли магнитного гистерезиса, характерного для ферромагнетиков. У парамагнитных веществ магнитный гистерезис отсутствует. Поэтому температура перехода  $T_c$  из ферромагнитного состояния в парамагнитное определяется по исчезновению петли гистерезиса при нагревании образца.

Для наблюдения петли гистерезиса используется электронный осциллограф. Ферромагнитный образец располагается в нагревательной печи, температура его измеряется термопарой.

Исследуемый образец представляет собой ферромагнитный сплав с относительно невысокой температурой Кюри ( $T_c < 150^\circ\text{C}$ ). Основная компонента сплава — Ni (72—73%), добавки Cu (14%), Mo, W, V (по 3%), Cr (2%) и остальное Fe. Это так называемый магнитомягкий материал, характеризующийся малым значением коэрцитивной силы. Образец изготовлен в виде тороида прямоугольного сечения. Размеры тороида приведены на установке.

Принципиальная электрическая схема установки показана на рис. 1.

На ферромагнитный образец тороидальной формы намотаны (по всей длине тороида, вплотную к образцу) две обмотки: первичная  $L_1$  (намагничивающая) с числом витков  $N_1$  и вторичная  $L_2$  (измерительная) с числом витков  $N_2$ . На обмотку  $L_1$  через резистор с известным сопротивлением  $R_1$  подается переменное напряжение звуковой частоты  $U_{\text{ген}}$  от генератора. Концы вторичной обмотки  $L_2$  подсоединены к интегрирующей цепочке (ячейке)

$R_2C$ . На вход  $X$  осциллографа подается напряжение с резистора  $R_1$ , на вход  $Y$  — с емкости  $C$  интегрирующей ячейки. Образец расположен внутри нагревательной печи (изображена пунктиром). В центре образца помещена термопара ( $T$ ), концы которой подсоединены к милливольтметру (мВ).

Принцип осциллографического метода наблюдения петли гистерезиса, а также измерения величин магнитной напряженности

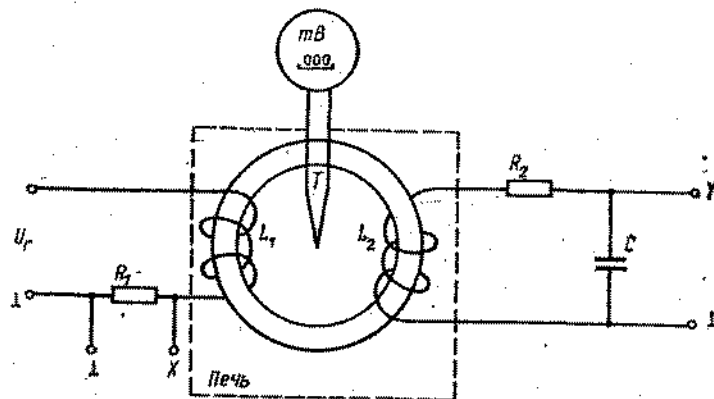


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

поля  $H$  и магнитной индукции  $B$  образца изложены в описании лабораторной работы 16.

Печь для нагрева образца позволяет получать внутри температуру до  $150 - 160^\circ\text{C}$ . Скорость нагрева можно регулировать реостатом, ручка которого выведена на боковую поверхность печи. Образец расположен внутри печи; медь—константановая термопара помещена в центре образца. Концы обмоток катушек  $L_1$  и  $L_2$ , а также концы термопары выведены наружу через верхнюю часть печи.

Поскольку нагревание печи происходит медленно, можно считать, что термопара и образец с достаточной для данной задачи точностью имеют в один и тот же момент времени одинаковую температуру. Температура образца определяется по показаниям милливольтметра, к которому подключены концы термопары. Градуировка термопары проведена с милливольтметром. Градуировочная кривая приложена к установке.

#### Упражнение 1. ПОЛУЧЕНИЕ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАЗЦА ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Собрать схему, изображенную на рис. 1. К соответствующим гнездам панели подключить генератор, обмотки  $L_1$  и  $L_2$  образца, осциллограф. Проверить, подключена ли термопара к вольтметру. (Отсоединять концы термопары от прибора не рекомендуется).

Осциллограф установить в режим работы с разверткой от внешнего источника, т. е. подать на вход «X» напряжение с резистора  $R_1$ . Напряжение, подаваемое на схему от генератора, должно иметь частоту 200–300 Гц.

Включить приборы в сеть. После прогрева установить режим их работы таким, чтобы на экране осциллографа наблюдалась предельная петля гистерезиса, соответствующая техническому насыщению.

Измерить отрезки (в делениях)  $OA$ ,  $OB$ ,  $OC$  и  $OD$  (рис. 2 в описании лабораторной работы 16), соответствующие коэрцитивной силе  $H_c$ , насыщающему полю  $H_s$ , остаточной индукции  $B_r$  и индукции насыщения образца  $B_s$ . Рассчитать значения этих магнитных характеристик, используя формулы (14)–(17) из описания лабораторной работы 16.

#### Упражнение 2. ИЗМЕРЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИНДУКЦИИ НАСЫЩЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНОГО ОБРАЗЦА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧКИ КЮРИ

В настоящем упражнении ведется наблюдение за петлей гистерезиса образца в процессе нагревания. Прежде чем приступить к температурным измерениям, необходимо убедиться, что термопара расположена в центре образца (если нет, обратиться к лаборанту). Установить реостат печи в среднее положение.

Включить печь и измерить зависимость величины  $OD$  ( $OD \sim B_s$ ) от температуры. Результаты измерений занести в таблицу.

Измерения следует начать с комнатной температуры и вести их с интервалами 8–10° до 100°C, а выше — с интервалами 3–5°; измерения проводятся до тех пор, пока петля не пропадет. По окончании измерений ввести полностью реостат печи и выключить печь тумблером. Открыть дверцу (для более быстрого охлаждения образца) и пронаблюдать восстановление петли гистерезиса. Восстановившуюся петлю зарисовать.

Построить график зависимости полученных значений  $B_s$  от температуры  $T$  и, экстраполируя кривую  $B_s = f(T)$  к значениям  $T$ , при которых  $B = 0$ , определить точку Кюри  $T_c$ .

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие вещества называют ферромагнитными?
2. Почему с повышением температуры ферромагнетика его спонтанная намагниченность падает?
3. Что такое температура Кюри?
4. Каким образом на экране осциллографа можно получить изображение петли гистерезиса?
5. Каким образом осуществляются нагрев образца и измерение его температуры?
6. Каким образом рассчитываются величины магнитного поля,

действующего на образец, и соответствующие величины магнитной индукции образца?

#### Литература

- Матвеев А. Н. Электричество и магнетизм. М.: Высшая школа, 1983.  
Жалашников С. Г. Электричество. М.: Наука, 1985, Гл. XI.

#### Лабораторная работа 18

#### ЭФФЕКТ ХОЛЛА

Изучается зависимость ЭДС Холла в полупроводниковом образце от величины магнитного поля, определяются электропроводность образца, концентрация носителей тока и некоторые другие параметры.

Постановка задачи. Экспериментальное исследование эффекта Холла является эффективным методом изучения движения электрических зарядов, обуславливающих электрический ток в проводниках как с металлической, так и полупроводниковой проводимостью. Эффект Холла несет информацию о таких важнейших характеристиках проводников, как концентрация носителей тока и знак носителей тока. В полупроводниках он позволяет установить принадлежность полупроводников к  $n$ -типу (с электронной проводимостью) или к  $p$ -типу (с дырочной проводимостью), благодаря чему является одним из важнейших методов исследования полупроводников.

Эффект Холла заключается в следующем. Пусть образец имеет форму прямоугольной пластинки длиной  $l$ , шириной  $d$ , толщиной  $b$  (рис. 1). Если вдоль длины образца (направление оси  $y$ ) пропустить электрический ток  $I$ , перпендикулярно плоскости пластинки (направление оси  $x$ ) приложить магнитное поле  $B$ , то в направлении, перпендикулярном  $I$  и  $B$  (направление оси  $z$ ), возникнет электрическое поле, называемое полем Холла, с напряженностью  $E_{\text{Холл}}$ . На практике, как правило, поле Холла характеризуют разностью потенциалов, которую измеряют между симметричными точками  $C$  и  $D$  на боковых поверхностях образца. Эта разность потенциалов называется холловской разностью потенциалов  $U_{\text{Холл}}$  или ЭДС Холла  $\mathcal{E}_{\text{Холл}}$ .

В классической теории проводимости эффект Холла объясняется тем, что в магнитном поле на движущиеся электрические за-

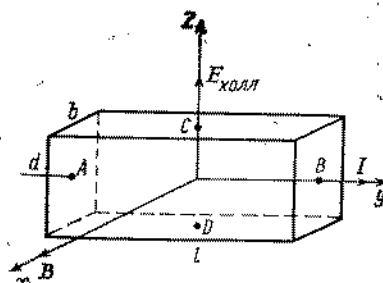


Рис. 1. Ориентация тока, индукции магнитного поля и напряженности холловского поля в полупроводниковой пластине