

Лабораторная работа №12

Определение петли гистерезиса магнитооптическим методом

Салтыкова Дарья
Б04-105

Цели работы:

1. Ознакомление с принципами применения магнитооптических методов для исследования прозрачных магнетиков.
2. Определение магнитных параметров исследуемого образца (коэрцитивной силы и поля насыщения).
3. Изучение основ и принципов применения вычислительной техники для организации автоматизированного сбора и анализа экспериментальных данных физического эксперимента.

1 Теоретические сведения

Принято различать следующие типы веществ в зависимости от их магнитных свойств:

- Парамагнетики - вещества со слабыми магнитными свойствами, в отсутствие внешнего магнитного поля магнитный момент равен нулю. В парамагнетиках отдельные атомы имеют собственный магнитный момент, внешнее магнитное поле частично упорядочивает направления этих магнитных моментов. Магнитная восприимчивость парамагнетиков положительна.
- Диамагнетики - также вещества со слабыми магнитными свойствами. Собственный магнитный момент атомов равен нулю, индуцированный магнитный момент в соответствии с правилом Ленца направлен против магнитного поля. Магнитная восприимчивость диамагнетиков отрицательна.
- Ферромагнетики - существует спонтанная намагниченность вещества, обусловленная внутренними взаимодействиями, приводящими к параллельной ориентации магнитных моментов отдельных атомов.

Для описания магнитной структуры ферромагнетиков и антиферромагнетиков (а также некоторых других веществ) используют понятие домена. Вейсс предположил, что магнитные образцы состоят из множества малых областей, называемых доменами, в каждой из которых намагниченность равна намагниченности насыщения, но направления векторов намагниченности не обязательно должны быть параллельными друг другу. Доменная структура образуется в магнетике за счёт более слабых энергетических взаимодействий по сравнению с обменными (энергии размагничивания, анизотропии, зеемановской энергии). Доменная граница представляет собой область, в которой происходит плавный разворот вектора намагниченности от направления в одном домене к направлению в соседнем домене.

Характер действия внешнего магнитного поля на ферромагнетик различен в зависимости от напряженности магнитного поля H . Процесс намагничивания в слабых магнитных полях трактуется как процесс роста магнитного момента одних областей спонтанного намагничивания за счет уменьшения других в результате смещения границ между областями. В сильных магнитных полях намагничивание ферромагнетика обуславливается поворотом магнитного момента к направлению поля, вызывающим увеличение продольной составляющей намагниченности.

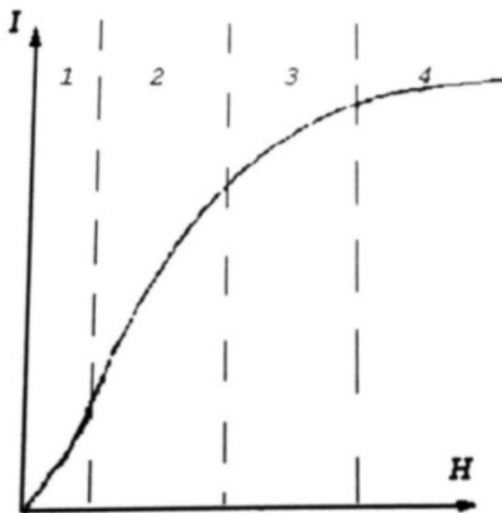


Рис. 1: Кривая намагниченности вещества

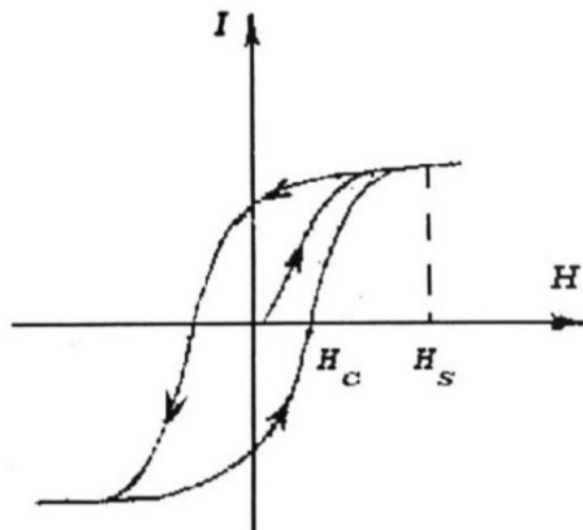


Рис. 2: Петля гистерезиса

Если после получения основной кривой намагничивания уменьшать постепенно значение магнитного поля, то значения намагниченности не будут совпадать с основной кривой. Поэтому для одних и тех же значения напряженности внешнего магнитного поля получаются различные значения намагниченности. Это явление называется гистерезисом. Гистерезис обусловлен стремлением ферромагнитного материала препятствовать изменению своего состояния при внешнем воздействии. Значение намагниченности (магнитной индукции), получаемое при равной нулю напряженности магнитного поля, называется остаточной намагниченностью (остаточной индукцией B). Значение магнитного поля, при котором намагниченность станет равной нулю, называется коэрцитивной силой. Значение магнитного поля, при котором достигается максимальная намагниченность образца называется полем насыщения.

2 Экспериментальная установка

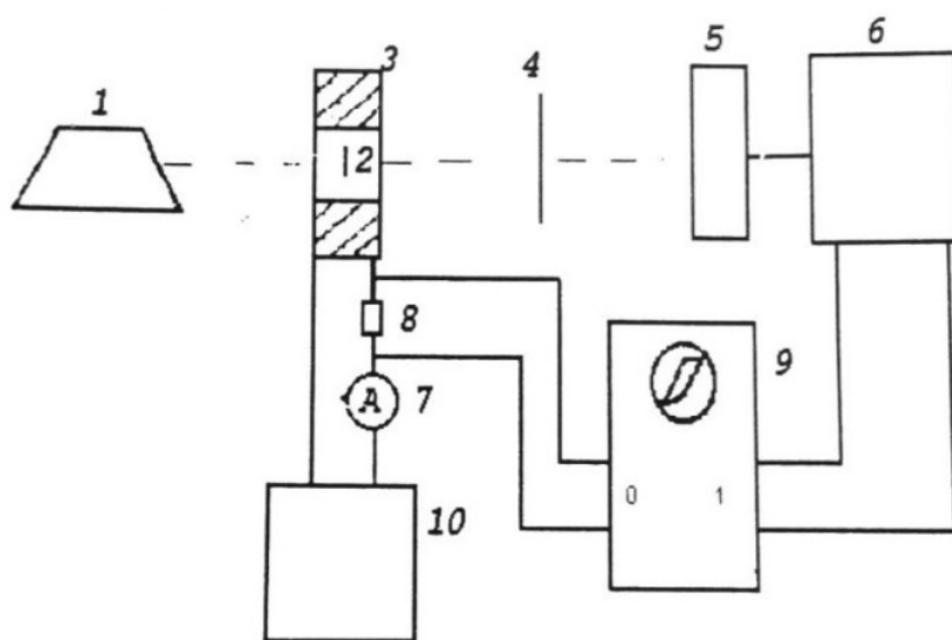


Рис. 3: Блок-схема установки

Схема установки представлена на рисунке 3, указаны: 1 - лазер, 2 - образец, 3 - катушка, 4 - анализатор, 5 - фотоприемник, 6 - усилитель, 7 - амперметр, 8 - резистор, 9 - "виртуальный осциллограф".

Измерение петли гистерезиса проводится магнитооптическим методом с использованием эффекта Фарадея, который заключается во вращении плоскости поляризации линейно поляризованного света при прохождении намагниченного вещества.

Лазер излучает линейно поляризованный свет, который проходит через образец с намагниченностью I , плоскость поляризации поворачивается на некоторый угол ψ , пропорциональный проекции намагниченности на вектор распространения света. Затем луч идет через анализатор, который представляет собой поляроид. Интенсивность выходного сигнала изменяется в соответствии с законом Малюса:

$$I_{out} = I_{in} \cos^2 \theta,$$

где θ – угол между плоскостью поляризации входного излучения и разрешенным направлением поляроида. Далее луч света обрабатывается фотоприёмником, выходной сигнал подается на канал 1. Если γ – начальный угол между плоскостью поляризации света, выходящего непосредственно из лазера, и разрешенным направлением поляроида, то угол θ по прохождении исследуемого образца будет равен сумме начального угла γ и приращения θ , вносимого намагниченным веществом. Осуществляя регулировку тока через катушку, мы можем менять внешнее магнитное поле, а, следовательно, и намагниченность в соответствии с зависимостью вида гистерезисной кривой:

$$U = U_0 \cos^2(\gamma + \Psi_0 \sin(\omega t))$$

Учитывая малость Фарадеевского вращения образца Ψ_0 :

$$U = \frac{U_0}{2} (\cos(2\gamma + 2\Psi_0 \cdot \sin(\omega t)) + 1)$$

Тогда переменная составляющая сигнала имеет вид:

$$U \approx 2 \sin(2\gamma) \cdot \Psi_0 \cdot \sin(2\gamma)$$

То есть, выходное напряжение фотоприемника пропорционально углу вращения, а значит и намагниченности вещества. Напряжение же на резисторе пропорционально величине внешнего магнитного поля H .

3 Результаты измерений

Определим оптимальное значение резистора (8) блок-схемы установки. Показания амперметра: $I_{действ} = 2$ А. Тогда $I_{max} = 2,83$ А.

$$R = \frac{U_{Rmax}}{I_{max}} = \frac{5B}{2,83A} = 1,77 \text{ Ом.}$$

Снимем зависимость величины выходного напряжения с усилителя U_1 от величины магнитного поля H . Измерения проведем для частоты дискретизации 10 кГц и количества точек 1000.

Построим петлю гистерезиса исследуемого образца (Рис. 4). Величина напряжения на канале 0 (U_0) связана с напряженностью магнитного поля H в катушке как $H = 150 \text{ Э/А} \cdot \frac{U_0}{R}$, где 150 Э/А - коэффициент калибровки.

По графику определим магнитные параметры исследуемого образца:

- Коэрцитивная сила: $H_C = 121 \text{ Э}$
- Поле насыщения: $H_S = 228 \text{ Э}$

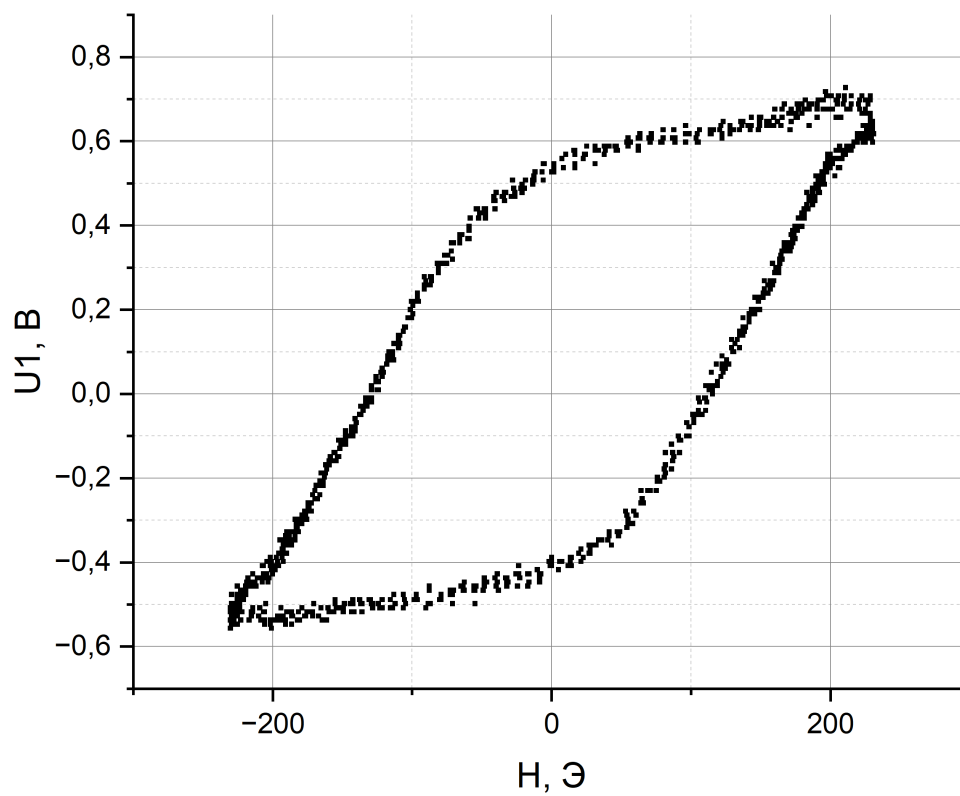


Рис. 4: Полученная экспериментально петля гистерезиса

4 Вывод

В ходе работы был изучен принцип магнитооптического метода исследования прозрачных магнетиков. Была получена петля гистерезиса исследуемого образца, а также определены его магнитные параметры: коэрцитивная сила $H_C = 121$ Э, поле насыщения: $H_S = 228$ Э.