

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

№ 12. Определение петли гистерезиса ферромагнетика магнитооптическим методом

Яромир Водзяновский Б04-855а

Цель работы:

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

1 Теория

Магнетизм - универсальное явление. Вещества со слабыми магнитными св-ми - пара- и диамагнетики, и с сильными - ферро- и ферримагнетики.

У парамагнетиков отдельные атомы имеют свой магн. момент, тепловое взаимодействие дезориентирует их, а внешнее магнитное поле частично упорядочивает их. $\chi > 0$

У диамагнетиков собственный магн. момент равен нулю, однако направлен в противоположном направлении внешнему магнитному полю. $\chi < 0$.

У сильных магнетиков внутренние взаимодействия приводят к параллельной ориентации магнитных моментов отдельных атомов. Внешнее поле может ориентировать в одном направлении векторы отдельных областей - доменов.

$$B = H + 4\pi I$$

Формула связывает магнитную проницаемость с магнитной восприимчивостью.

$$\mu = I + 4\pi\chi$$

I_R - остаточная намагнитченность. Поле H_c - коэрцитивная сила, которой достаточно приложить в обратном направлении, чтобы убрать остаточную намагнитченность.

В ферромагнетике имеется только одна магнитная подрешетка, которая совпадает с кристаллической. В антиферромагнетике - две и более. Доменная структура образуется в магнетике за счет более слабых энергетических взаимодействий по сравнению с обменными. Основной причиной является стремление уменьшения вклада магнитостатической энергии, возникающей благодаря выходу нормальной составляющей намагнитченности на поверхности образца.

Процесс намагничивания ферромагнетика различен в зависимости от величины поля H . В слабых полях кривая имеет крутой подъем, соответствующим большим значениям восприимчивости, в сильных полях кривая пологая.

В слабых полях процесс есть рост магнитного момента одних областей за счет уменьшения других. В сильных полях поворачивается магнитный момент к направлению поля.

При небольшом смещении доменной стенки параллельно самой себе на ΔX увеличение свободной энергии:

$$2H_c M_s L \Delta X = \Delta(e_w L D)$$

e_w - энергия доменной границы на единичную площадь ее поверхности.

2 Эксперимент

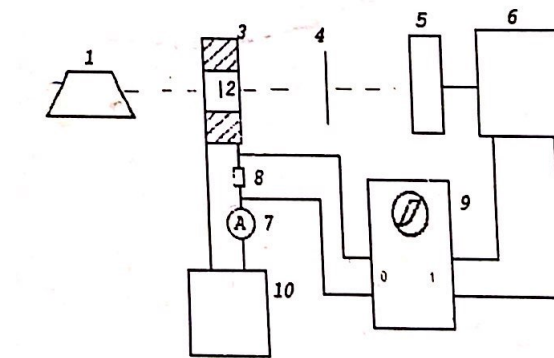


Рис. 1: Схема установки. 1 - лазер, 2 - образец, 3 - катушка, 4 - анализатор, 5 - фотоприемник, 6 - усилитель, 7 - амперметр, 8 - резистор, 9 - виртуальный осциллограф.

Блок-схема установки изображена на рис. 1. Линейно поляризованное излучение лазера проходит через прозрачный исследуемый образец, анализатор и попадает на фотоприемник, где преобразуется в электрический сигнал. Этот сигнал усиливается усилителем и подается на вход 1 осциллографа. Образец помещается в катушку. Переменный ток от источника питания подается через сопротивление на катушку. Напряжение, снимаемое с сопротивления подается на вход 0 осциллографа - сигнал пропорциональный величине магнитного поля в катушке.

Сигнал попадающий на вход 1 осциллографа?

$$I = I_0 \cos^2 (\gamma + \Psi_0 \sin \omega t)$$

Ψ_0 - величина Фарадеевского вращения, ω - частота переменного напряжения.

$$U \sim 2 \sin (2\gamma) \Psi_0 \sin (\omega t)$$

Амплитуда сигнала 1 пропорциональна величине фарадеевского вращения, которая пропорциональна проекции намагниченности образца на направление распространения света.

3 Ход работы

1. Соберем установку по рис. 1 и включим ее
2. Определим оптимальное сопротивление резистора для подключения виртуального осциллографа.

$$R = \frac{I}{\sqrt{2}V} = \frac{1.75}{\sqrt{25}} = 0.24\Omega$$

3. Получим изображение петли на экране. Величина по горизонтальной оси - пропорциональна напряженности $H = \beta \frac{U}{R}$, где $\beta = 150 \text{ Э/А}$.

По вертикали отнормируем значение по максимальному значению.

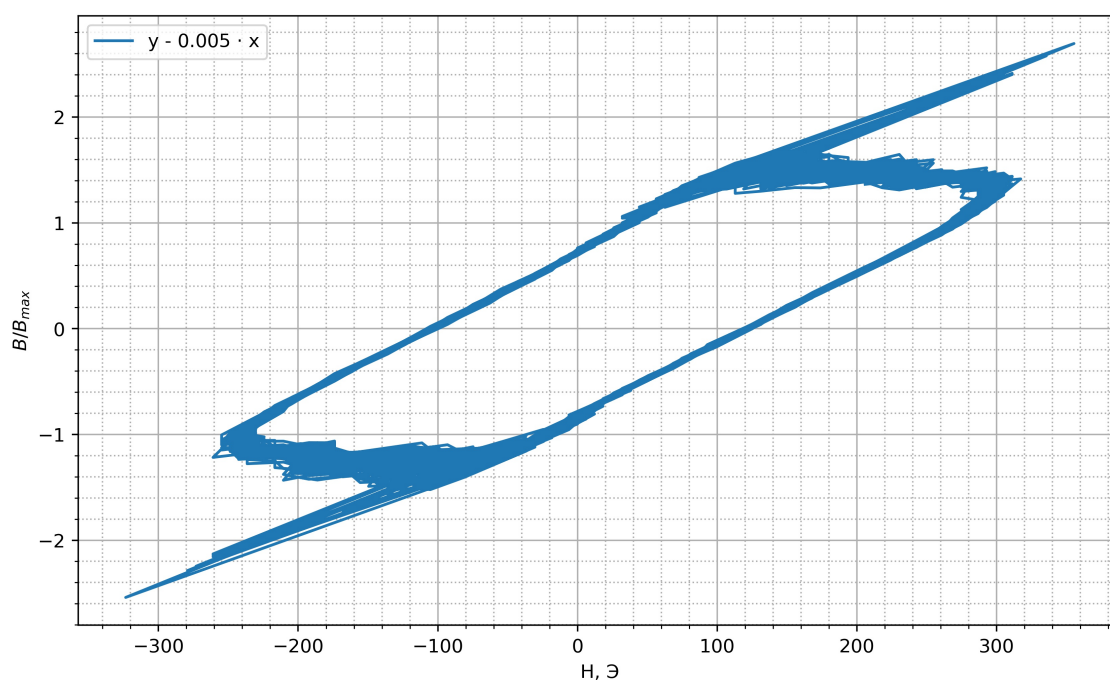


Рис. 2

Откуда получим $H_c \approx 110$ Э, $H_s \approx 290$ Э.

4 Вывод

В ходе работы был изучен принцип магнитооптического метода исследования прозрачных магнетиков. С его помощью построена петля гистерезиса исследуемого образца, а также определены его некоторые магнитные параметры, в частности коэрцитивная сила ($H_c \approx 110$ Э) и поле насыщения ($H_s \approx 290$ Э). Также в работе были изучены основы применения электронной вычислительной техники для автоматизированного сбора и анализа экспериментальных данных.

5 Ответы на вопросы

1. Какие факторы обуславливают наличие петли гистерезиса у ферромагнитных материалов?

Гистерезис (запаздывание) происходит потому, что перестройка структуры доменов сопровождается потерей энергии и требуется обратная сила (H_c), чтобы вернуть домены в исходное состояние.

2. Какие физические принципы лежат в основе работы экспериментальной установки?

Закон Маллюса, эффект Фарадея, гистерезис ферромагнетика.

3. Что такое "коэрцитивность" и от чего она зависит?

Коэрцитивная сила - необходимая сила чтобы вернуть домены в исходное состояние. Коэрцитивная сила сильно зависит от текстурованности материала, режима его термообработки, направления намагничивающего поля для текстурованных и анизотропных материалов, поэтому в таблице для некоторых материалов приведены диапазоны изменения коэрцитивной силы.

4. Какова природа магнитных св-в ферромагнетиков?

В ферромагнетиках ответственными за их магнитные свойства являются собственные (спиновые) магнитные моменты электронов. Атомы ферромагнетика объединяются в группы размером около 1мкм, называемые доменами. В пределах домена магнитные моменты атомов параллельны друг другу, а намагниченности разных доменов отличаются по направлению. Так как в смежных доменах эти направления различны,

то в целом намагниченность образца магнетика нулевая. Образование доменов обусловлено тем, что в таком состоянии суммарная энергия атомов образца минимальна, и это состояние, следовательно, является наиболее энергетически выгодным. Под влиянием внешнего поля происходит смещение доменных стенок, растут те домены, намагниченность которых направлена вдоль H . Происходит также поворот направления намагниченности доменов в сторону внешнего поля.

5. Чем отличаются процессы намагничивания ферромагнетиков, парамагнетиков, диамагнетиков?

У парамагнетиков отдельные атомы имеют свой магн. момент, тепловое взаимодействие дезориентирует их, а внешнее магнитное поле частично упорядочивает их. $\chi > 0$

У диамагнетиков собственный магн. момент равен нулю, однако направлен в противоположном направлении внешнему магнитному полю. $\chi < 0$.

У ферромагнетиков внешнее поле может ориентировать в одном направлении векторы отдельных областей - доменов. Намагничивание имеет необратимый характер, тк смещаются доменные границы, а также вращается \vec{I} .

6. Что такое "доменная структура" и каковы причины ее образования?

Доменная структура - комплекс областей со спонтанной однородной намагниченностью.

Ландау и Лифшиц показали, что образование доменной структуры является следствием конкуренции нескольких вкладов в полную энергию ферромагнетика. А именно, 1) - обменной энергии - $U_{обм}$, 2) - энергии кристаллографической анизотропии - U_K , 3) - энергии магнитострикционной деформации - U_λ , 4) - магнитоупругой энергии U_σ , 5) - магнитостатической энергии - U_0 , 6) - магнитной энергии - U_M .

7. Что такое "доменная границы" и от чего зависит ее удельная энергия и толщина?

Граница - область с плавным разворотом вектора намагниченности от направления в одном домене к направлению вектора намагниченности в соседнем домене.

Энергия зависит от обменной константы и константы одноосной анизотропии.

Ширина доменной стенки изменяется из-за двух противоположных энергий, которые ее создают: энергия магнитокристаллической анизотропии и энергия обмена, оба из которых имеют тенденцию быть как можно более низкими, чтобы находиться в более благоприятном энергетическом состоянии. Энергия анизотропии является самой низкой, когда отдельные магнитные моменты выровнены по осям кристаллической решетки, что уменьшает ширину доменной стенки. И наоборот, обменная энергия уменьшается, когда магнитные моменты выровнены параллельно друг другу, и, таким образом, толщина стенки увеличивается из-за отталкивания между ними (когда антипараллельное выравнивание сближает их, работая для уменьшения толщины стенки).