

УДК 537.622.5

МАГНИТООПТИЧЕСКАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ГЕМАТИТА

В. Л. Преображенский, А. А. Шишков, Н. А. Экономов

С помощью эффекта Коттона—Мутона впервые наблюдалась доменная структура гематита. В пластинах, вырезанных в базисной плоскости, обнаружены 180° , 120° и наклонные 60° доменные границы. Определены поле старта $H_{ст}=0.03$ Э и подвижность $\mu \approx 10^4$ см/с·Э для 120° доменной границы. Измерена величина эффективного поля магнитной анизотропии в базисной плоскости $H_A=0.05$ Э.

В настоящей работе показано, что с помощью эффекта Коттона—Мутона в тонких пластинах гематита, вырезанных в базисной плоскости, можно визуализировать доменную структуру [1], определять направление намагниченности в толще образца, исследовать процессы вращения намагниченности в доменах и смещения доменных границ как в квазистатическом, так и в динамическом режимах.

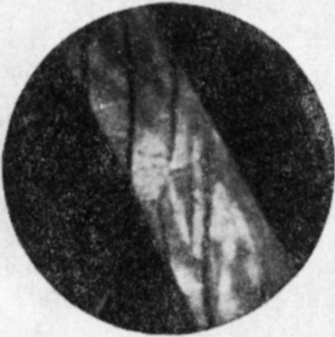
Наиболее яркий магнитооптический эффект в гематите — магнитное линейное двулучепреломление был обнаружен в работе [2] и детально исследован в [3, 4]. Показано, что находящийся в слабоферромагнитном состоянии гематит является оптически двуосным кристаллом, причем две главные оси тензора диэлектрической проницаемости лежат в базисной плоскости с точностью до 10^{-3} радиан. В работе [3] показано, что основной вклад в двулучепреломление является чисто магнитным, поэтому одна из главных осей коллинеарна вектору антиферромагнетизма l , а другая — перпендикулярна ему, т. е. коллинеарна вектору намагниченности m . Известно, что плоскополяризованный свет, проходящий через двуосный кристалл, не изменяет своей поляризации (и гасится скрещенным без образца анализатором) только в том случае, если направление вектора поляризации совпадает с одной из главных осей. Экспериментально направления главных осей можно определить, вращая образец между скрещенных поляризаторов и регистрируя положения, при которых интенсивность проходящего света равна нулю. Различить главную ось, коллинеарную l , и главную ось, коллинеарную m , можно с помощью четвертьволновой пластинки. Знак вектора m можно определить по реакции доменной структуры на внешнее магнитное поле.

При наблюдении доменной структуры гематита источником света служил гелий-неоновый лазер, работающий на длине волны $\lambda=1.15$ мкм. Образец, представляющий собой тонкую пластину гематита, вырезанную в базисной плоскости, располагался между скрещенными поляризаторами. Прошедший через поляризаторы и образец свет поступал на электронно-оптический преобразователь (ЭОП) и фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Свет распространялся вдоль оси третьего порядка C_3 . Необходимое направление поляризации света, падающего на образец, устанавливалось путем поворота образца вокруг оси C_3 с точностью 0.1° . Система катушек Гельмгольца, служащая для создания управляющих магнитных полей, поворачивалась вместе с образцом. Магнитное поле Земли компенсировалось неподвижными катушками. Типичные размеры образцов $20 \times 10 \times$



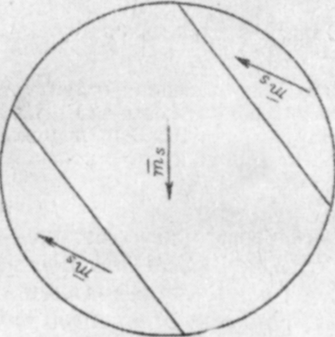
\vec{E}

1



\vec{E}

2

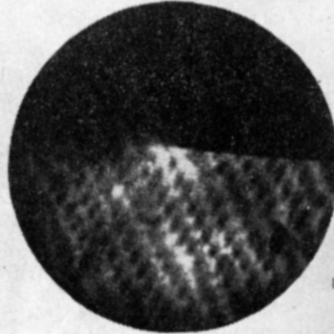


3



\vec{H}
 \vec{E}

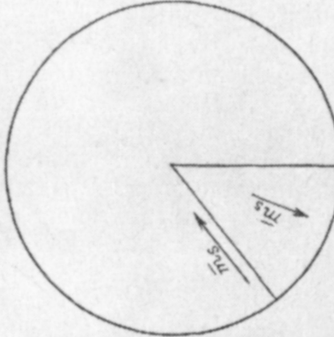
4



\vec{E}

$180^\circ \Delta \Gamma$

5



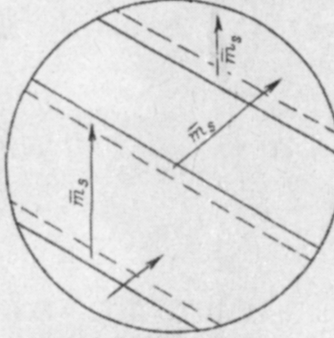
$180^\circ \Delta \Gamma$

6



\vec{E}

7



\vec{m}_s
 \vec{m}_s

8

U_3

U_2

U_1

$\times 0.3$ мм. Остаточные механические напряжения были сняты 24-часовым отжигом при температуре 1000°C на воздухе.

На рис. 1, 1, 2 и 4 представлены фотографии доменов в $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, разделенных 120° доменными границами (ДГ), перпендикулярными базисной плоскости. Соответствующая диаграмма распределения намагниченности m_x в плоскости образца, приведена на рис. 1, 3. Фотография, приведенная на рис. 1, 1, получена при направлении поляризации падающего света, совпадающем с направлением m_x в центральном домене, а фотография на рис. 1, 2 — при поляризации света вдоль m_x в крайних доменах. Интенсивность света, проходящего через поляризаторы и любой из доменов, периодична по углу между векторами E и m_x с периодом $\pi/2$, что обусловлено четностью эффекта Коттона—Мутона. Доменная структура

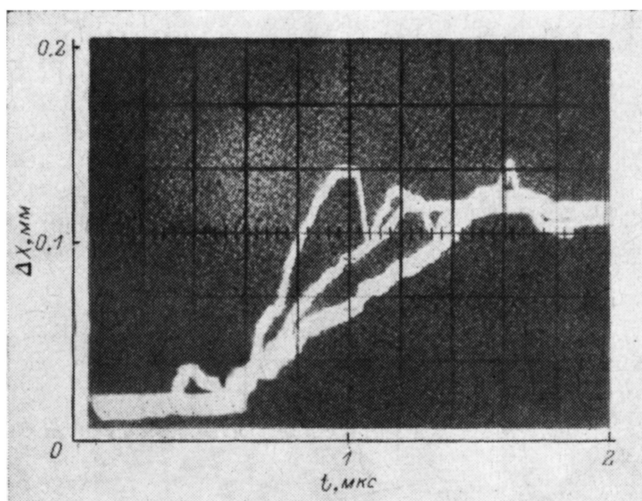


Рис. 2. Смещение 120° ДГ под действием импульса магнитного поля.

с 120° ДГ получалась при размагничивании образца в убывающем по амплитуде переменном магнитном поле, перпендикулярном оси второго порядка U_2 . Характерно разбиение образца на $2\div 3$ таких домена.

При приложении поля H_{11} вдоль направления намагниченности в одном из доменов, изменения интенсивности света, проходящего через поляризаторы и домен, не обнаружено, что позволяет предположить, что структура однородна по толщине образца. На рис. 1, 4 представлена фотография доменной структуры с 120° ДГ в магнитном поле H , приложенном вдоль ДГ, при величине поля, равной 0.5 Э. Смещение 120° ДГ началось в поле старта $H_{ст} = 0.03$ Э и заканчивалось в поле $H_s = 1$ Э, при котором образец переходил в однодоменное состояние. Величина коэрцитивной силы H_c не превышала 0.4 Э и определялась одиночными дефектами.

Несмотря на четность эффекта Коттона—Мутона, с его помощью возможно уверенно регистрировать 180° ДГ, перпендикулярные базисной плоскости. Фотография такой ДГ приведена на рис. 1, 5, а соответствующая диаграмма распределения магнитных моментов — на рис. 1, 6. На фотографии 180° ДГ отмечена стрелкой.

Наиболее типичной для тонких пластин $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, вырезанных в базисной плоскости, является структура, в которой домены разделены 60° наклонными ДГ. Фотография такой структуры и соответствующая диаграмма распределения намагниченности представлены на рис. 1, 7, 8.

Рис. 1. Доменная структура в тонких пластинах монокристаллов гематита, вырезанных в базисной плоскости.

Характерная ширина доменов составляет $0.1 \div 0.5$ мм. Доменная структура с 60° наклонными ДГ получилась при размагничивании образца в поле, не перпендикулярном оси U_2 . При повороте плоскости образца вокруг оси параллельной ДГ на небольшой угол, наблюдаемая ширина проекции 60° ДГ на предметную плоскость микроскопа увеличивалась у одних и одновременно уменьшалась у других ДГ, что позволяет предположить, что ДГ не коллинеарны.

Для образцов гематита, находящегося в однодоменном состоянии, с помощью эффекта Коттона—Мутона исследована магнитная анизотропия в базисной плоскости. Обнаружены три оси легкого намагничивания, параллельные осям U_2 . Для определения эффективного поля магнитной анизотропии H_A внешнее магнитное поле H_K прикладывалось в базисной плоскости под углом $\varphi \leq 10^\circ$ к оси U_2 . Величина H_K , при которой вектор \mathbf{m}_s поворачивался на угол $\varphi/2$, составляла $H_K = 50$ Э. Величина эффективного поля магнитной анизотропии в базисной плоскости принималась равной $H_A = H_K |\mathbf{m}|/|\mathbf{l}| = 0.05 \pm 0.01$ Э.

Изучалось движение 120° ДГ в импульсных магнитных полях, приложенных вдоль ДГ. Осциллограммы сигнала с ФЭУ, полученные при смещении 120° ДГ под действием однократных импульсов магнитного поля длительностью $T = 10$ мкс и амплитудой H_0 , приведены на рис. 2. Верхней, более крутой кривой соответствует $H_0 = 2$ Э, средней — $H_0 = 1.5$ Э, нижней — $H_0 = 1$ Э. Оценка величины подвижности дает значение $\mu \approx 10^4$ см/с·Э.

Л и т е р а т у р а

- [1] Преображенский В. Л., Шишков А. А., Экономов Н. А. Тез. докл. IX Всесоюзной школы-семинара, Саранск, Госуниверситет, 1984. 77 с.
- [2] Писарев Р. В., Синий И. Г., Смоленский Г. А. Письма в ЖЭТФ, 1969, т. 9, с. 112—116.
- [3] Меркулов В. С., Рудашевский Е. Г., Ле Галль А., Лейкюрас К. ЖЭТФ, 1978, т. 75, № 2 (8), с. 628—640.
- [4] Меркулов В. С., Рудашевский Е. Г., Ле Галль А., Лейкюрас К. ЖЭТФ, 1981, т. 80, № 1, с. 161—170.

Московский институт радиотехники, электроники
и автоматики
Москва

Поступило в Редакцию
10 июня 1987 г.