

НЕОДНОРОДНАЯ МАГНИТНАЯ СТРУКТУРА В FeVO_3

© А.В.Чжан, Т.Н.Исаева

Институт физики им. Л.В.Киренского
Сибирского отделения Российской академии наук,
660036 Красноярск, Россия
(Поступила в Редакцию 25 октября 1995 г.
В окончательной редакции 10 марта 1996 г.)

Представлены результаты экспериментального исследования неоднородной магнитной структуры (НМС) в слабом ферромагнетике FeVO_3 . Показано, что период НМС зависит от толщины образца. Установлено, что аномальное изменение кривой намагничивания FeVO_3 обусловлено образованием НМС. Обнаружены особенности в температурном изменении магнитной восприимчивости, которые связываются с образованием НМС. Представлена модель, в которой появление данной структуры в FeVO_3 объясняется выходом вектора намагниченности подрешеток из базовой плоскости.

Доменная структура (ДС) в слабом ферромагнетике FeVO_3 при комнатной температуре исследовалась в [1,2]. Показано, что в базовой плоскости (111), которая для FeVO_3 является легкой, имеются три оси легкого намагничивания и соответственно три оси трудного намагничивания. Последние совпадают с кристаллографическими осями симметрии второго порядка. В соответствии с этим намагниченность в доменах может быть ориентирована в одном из трех направлений. Между собой домены в базовой плоскости разделены стенками неелевского типа. Кроме этого, в FeVO_3 с базовой плоскостью (111) существует разбиение на домены по толщине образца, которые разделены границей блоховского типа.

При низких температурах ДС FeVO_3 исследована недостаточно. Установлено [3], что при температурах ниже 190 К на высокотемпературной ДС наблюдается тонкая структура, которая представляет собой периодически повторяющиеся полосы. В отличие от обычной ДС оптический контраст между соседними полосами меняется плавно. По мнению авторов [3], образование полос связано с тем, что при низких температурах блоховская граница наклонена к базовой плоскости. В эксперименте плоскополяризованный свет падает под углом к оптической оси [111] и проходит через домены, разделенные такой границей. В этом случае в поляризационном микроскопе будет наблюдаться интерференционная картина, с которой авторы [3] связывают обнаруженные структуры.

В данной работе показано, что полосы могут рассматриваться как неоднородные магнитные структуры (НМС) и причиной их образования является выход вектора намагниченности из базовой плоскости.

Исследования проводились на монокристаллах FeVO_3 , выращенных методом газового транспорта. Образцы имели форму пластин с базовой плоскостью (111) и толщиной от 50 до 250 μm . Наблюдения проводились на магнитооптической установке, основанной на эффекте Фарадея. Поскольку борат железа проявляет фотоманнитные свойства, для устранения фотоиндуцированного возбуждения из спектра зондирующего источника белого света выделялась область от 0.42 до 0.52 μm в которой свет слабо влияет на магнитные свойства FeVO_3 [2]. Магнитная восприимчивость измерялась индукционным методом на частоте 400 Hz.

При снижении температуры от комнатной до 190 K ДС бората железа практически не меняется, но ниже этой температуры наблюдается появление периодической структуры (рис. 1), которая отличается плавным изменением контраста между соседними полосами. В размагниченном образце имеется характерная система, состоящая из полос, ориентированных в трех направлениях, перпендикулярных ближайшей оси легкого намагничивания.

В магнитном поле H , прикладываемом в базовой плоскости, ДС исчезает, и вместо системы полос образуется структура, в которой все полосы ориентированы ортогонально ближайшей к H оси легкого намагничивания. Изменение направления H ведет к переориентации полос. Их направление всегда ортогонально ближайшей к H оси легкого намагничивания. В дальнейшем с ростом H происходит исчезновение полос.

В [3] предполагалось, что наблюдаемые полосы на ДС FeVO_3 — проявление оптического эффекта. Однако можно показать, что в этом случае величина периода интерференционной картины должна зависеть от угла падения света α на плоскость образца. В эксперименте, как видно из рис. 2, период полосовой структуры d не зависит от α . Наблюдается лишь изменение проекции d на плоскость изображения микроскопа $d = d \sin \alpha$. Предлагаемая в [3] модель не объясняет зависимости d от толщины образца h (рис. 3). Как видно из рис. 3, при изменении h от 50 до 260 μm d меняется от 32 до 240 μm .

Появление при низких температурах полосовых структур приводит к некоторым особенностям в намагничивании FeVO_3 . На рис. 4, а представлены петли гистерезиса FeVO_3 . Магнитное поле приложено в плоскости образца вдоль оси легкого намагничивания. При увеличении H до определенной величины H_0 происходит образование НМС. Величина H_0 отражена на кривой намагничивания появлением излома. В образце прямоугольной формы H_0 принимает три различных значения. Величина H_0 тем больше, чем меньше размер, вдоль которого направлено поле. Такая зависимость объясняется влиянием размагничивающего поля, зависящего от размагничивающего фактора пластины.

Наличие полосовой структуры приводит к особенностям в температурном изменении начальной магнитной восприимчивости χ . Известно, что в магнетиках в отсутствие магнитных или структурных превращений магнитная восприимчивость уменьшается с понижением температуры [4]. В FeVO_3 в температурном изменении χ наблюдается особенность (рис. 5). При понижении температуры χ уменьшается,

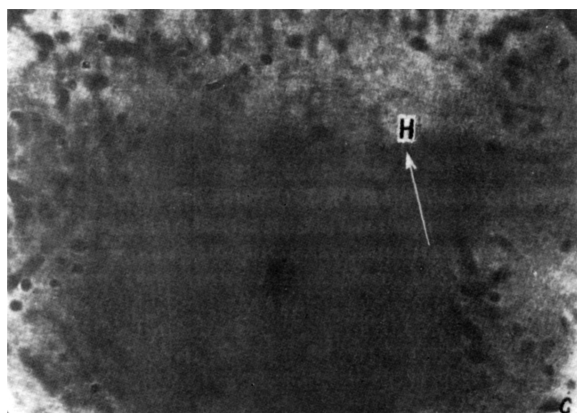
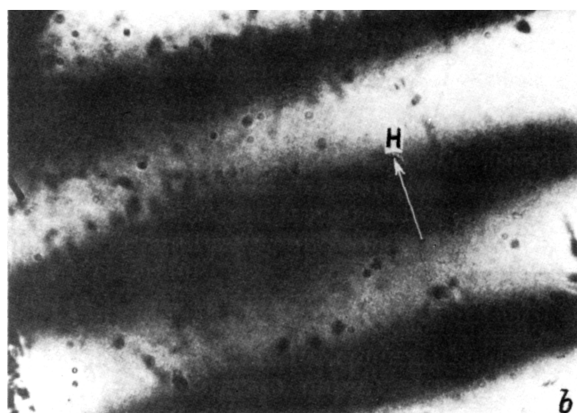
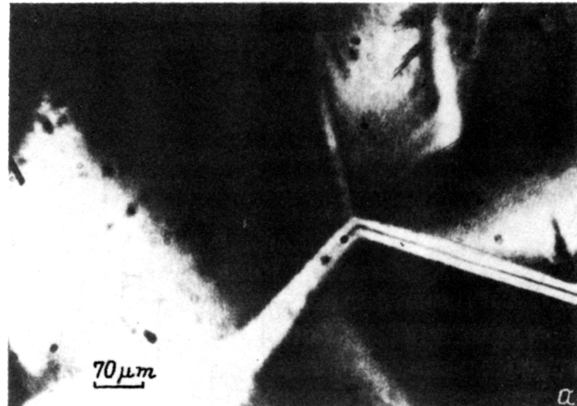


Рис. 1. Неоднородная магнитная структура в борате железа при $T = 77$ К в различных магнитных полях.
 H (Oe): $a - 0$, $b - 9$, $c - 25$.

но при температуре, большей некоторой T_0 , восприимчивость начинает расти и при $T = 77$ К достигает значения, близкого к значению при 300 К. Значение T_0 остается одинаковым при изменении частоты магнитного поля, которая варьировалась в диапазоне от 1 Нз до 30 кНз. Наблюдаемая особенность не может быть связана со струк-

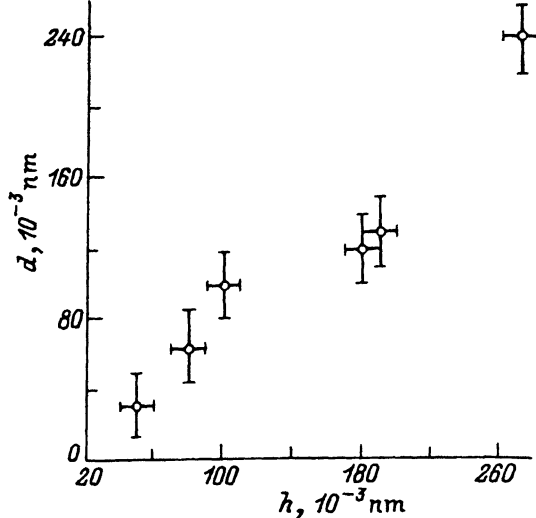
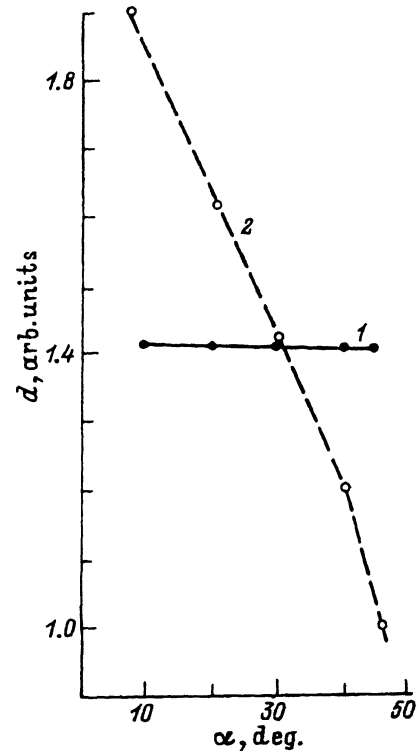


Рис. 3. Изменение периода структуры от толщины образца.

Рис. 2. Зависимость периода полосовой структуры от угла падения света на плоскость образца.

1 — экспериментальная зависимость, 2 — ожидаемое изменение d в модели 1.

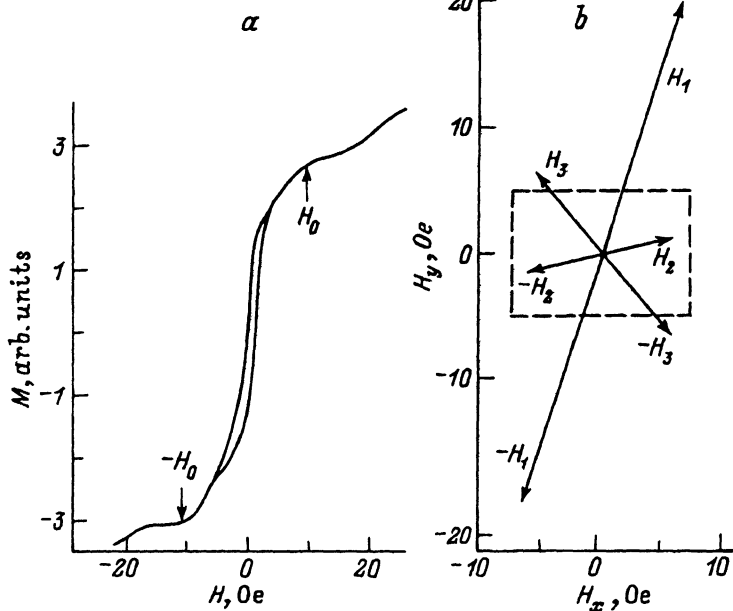


Рис. 4. а) Петля гистерезиса FeVO_3 при $T = 77$ К (H_0 соответствует образованию НМС). б) Изменение H_0 при вращении магнитного поля в плоскости образца.

Указаны величины и направления магнитных полей, при которых происходит образование НМС. Штриховая линия определяет форму образца.

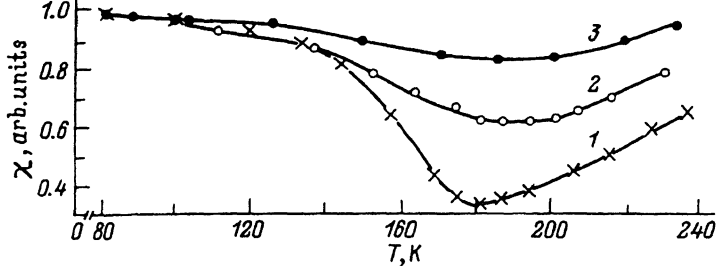


Рис. 5. Зависимость начальной магнитной восприимчивости FeVO_3 от температуры при различных значениях постоянного магнитного поля. H (Oe): 1 — 0, 2 — 9, 3 — 20. Амплитуда переменного поля 60 мОе.

турными или магнитными переходами, так как в указанной области такие переходы не наблюдались [5]. Такое поведение магнитной восприимчивости связано с исследуемыми структурами, что доказывается, во-первых, существованием его как в размагниченном образце, так и при наложении постоянного магнитного поля $H_c < H < H_0$ (H_c — поле, при котором исчезают доменные границы); и, во-вторых, тем, что аномальное изменение χ проявляется в том же температурном интервале, в котором наблюдаются полосовые структуры.

2. Обсуждение результатов

Полученные экспериментальные данные указывают на то, что наблюдаемые полосовые картины связаны с обобенностями распределения намагниченности в борате железа при низких температурах. Картины подобного вида ранее наблюдались в ферромагнетиках, например в тонких пленках с перпендикулярной анизотропией [6], в монокристаллических пластинах Ni, вырезанных под углом к оси легкого намагничивания [7]. В отличие от ДС, в которой участки с однородной намагниченностью разделены доменными стенками, в подобных структурах поворот вектора намагниченности происходит плавным образом, без образования участков с однородной намагниченностью. В силу этого такие структуры и названы НМС.

Распределение магнитных моментов в НМС FeVO_3 можно представить в двух ситуациях.

1) Намагниченность не выходит из базовой плоскости. При наложении магнитного поля в базовой плоскости вдоль оси трудного намагничивания намагниченность периодически устанавливается вдоль ближайших осей легкого намагничивания. В этом случае период НМС, во-первых, будет зависеть от ширины пластины b (размер вдоль H), и, во-вторых, с увеличением толщины образца h он должен уменьшаться [6]. В эксперименте d не зависит от b .

2) НМС обусловлена выходом намагниченности из базовой плоскости. В этом случае d увеличивается с ростом h , и при $h \ll b$ период не будет зависеть от b [6]. В нашем случае экспериментальные результаты описываются ситуацией 2.

Одной из причин отклонения вектора ферромагнетизма от базовой плоскости в FeVO_3 является выход моментов подрешеток, обусловленный анизотропией четвертого порядка [8]. При этом угол выхода θ

будет зависеть от азимутального угла φ ориентации H относительно оси симметрии второго порядка как

$$\theta = \theta_0 \cos 3\varphi,$$

где θ_0 зависит от магнитных характеристик материала. При вращении H вокруг оси (111) намагниченность будет периодически выходить из базовой плоскости с периодом $\pi/3$. Максимум будет наблюдаться при ориентации H вдоль оси симметрии второго порядка. В эксперименте действительно полосы в НМС ориентируются вдоль оси второго порядка (ось трудного намагничивания).

В стехиометрических кристаллах угол θ мал и составляет 1° [8]. Однако при наличии примесей или нестехиометрии значение θ будет расти вследствие локальных анизотропных центров Fe [5]. Наличие в исследуемых образцах анизотропных центров Fe подтверждается проявлением ферромагнитных эффектов при низких температурах, а также поведением мнимой части магнитной восприимчивости при высоких температурах [9].

Подтверждением модели может служить тот факт, что на отдельных образцах наблюдается периодическая ДС с периодом $3 \mu\text{m}$ и резкими доменными границами. Поведение этой ДС аналогично НМС: она образуется при ориентации H вдоль осей трудного намагничивания перпендикулярно внешнему полю. Появление такого типа ДС в FeVO_3 можно объяснить значительно большим, чем в НМС, отклонением намагниченности от базовой плоскости.

Приводимая модель качественно объясняет образование НМС в FeVO_3 вдоль трех выделенных направлений. Однако для полного описания необходимо определить температурную зависимость отклонения намагниченности от базовой плоскости.

Список литературы

- [1] G.B. Scott. J. Phys. D: Appl. Phys. **7**, 1574 (1974).
- [2] D.E. Lacklison, J. Chadwick, J.L. Page. J. Phys. D: Appl. Phys. **5**, 810 (1972).
- [3] J.H. Naisma, W.T. Stasy. J. Appl. Phys. **44**, 3367 (1973).
- [4] С.В. Вонсовский. Магнетизм. М. (1971). 1032 с.
- [5] R. Diehl, W. Jantz, B.I. Nolang, W. Wettling. Current Topics in Material Sciences / Ed. E. Kaldis. (1984). V. 11. Ch. 3.
- [6] С. Тиказуми. Физика ферромагнетизма. Магнитные характеристики и практическое применение. Мир. М. (1987). 419 с.
- [7] R.W. de Blois. J. Appl. Phys. **36**, 1647 (1965).
- [8] Х.Г. Богданова, В.А. Голенищев-Кутузов, Л.И. Медведев, М.И. Куркин, Е.А. Туров. ЖЭТФ **95**, 613 (1989).
- [9] A.V. Chzan, Yu.M. Fedorov, T.N. Isaeva. Phys. Stat. Sol. (a) **115**, 101 (1989).