

05.2

© 1992

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В РЕШЕТКЕ ЦМД,  
ИНДУЦИРОВАННЫЕ ОХЛАЖДЕНИЕМЮ.И. Г о р о б е ц, И.А. М е л ь н и ч у к,  
Ю.Н. П и м е н о в

Одним из устойчивых состояний доменной структуры в тонкой пленке с осью легкого намагничивания, перпендикулярной поверхности образца, является решетка цилиндрических магнитных доменов (РЦМД). Вследствие существования в системе доменов магнито-статических сил отталкивания, обычно реализуется решетка доменов одинакового диаметра с плотной гексагональной упаковкой [1]. Изменение температуры образца и, следовательно, изменение величин его магнитных параметров (анизотропия, намагниченность насыщения) влияет на условия устойчивости РЦМД и приводит к изменению доменной структуры. Влияние температуры на структуру РЦМД исследовалось в работах [2, 3]. Было показано, что при изменении температуры происходит скачкообразное изменение периода решетки и диаметров ЦМД. При увеличении температуры период и диаметр доменов уменьшаются и решетка распадается на блоки, разделенные участками полосовых доменов, а охлаждение вызывает увеличение как периода, так и диаметра, причем количество доменов в образце уменьшается вследствие коллапса части доменов. В обоих случаях решетка сохраняет плотноупакованную гексагональную структуру. В работе [4] было предсказано, что если внешнее поле смещения превышает критическое поле коллапса, то в идеальном образце должно происходить коллапсирование не всей РЦМД сразу, а каждого третьего домена.

Целью настоящей работы было исследование структурных превращений в РЦМД, вызываемых охлаждением. Поскольку коллапс каждого третьего домена обусловлен связью между пульсационными (колебания диаметра) и трансляционными (колебания периода) модами, при формировании которых существенную роль играет диполь-дипольное взаимодействие между ЦМД [5], полагалось, что при тепловом коллапсе эти эффекты будут ярко выражены, т. к. в данном случае диаметры большинства доменов не уменьшаются сильно, как это имеет место при коллапсе в магнитном поле.

В интервале температур 293–173 К было исследовано поведение решеток ЦМД в одноосной эпитаксиальной пленке Ga-замещенного ЖИГ с толщиной 8.7 мкм, намагниченностью насыщения  $4\pi M = 104$  Гс, характеристической длиной 1.0 мкм, периодом равновесной полосовой доменной структуры 18 мкм. Наблюдение доменных структур и их изменений проводилось на магнитооптической

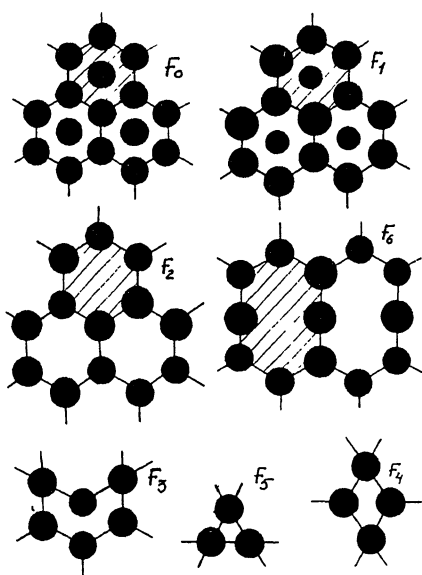


Рис. 1. Элементарные ячейки решеток ЦМД (заштрихованы).

установке с использованием эффекта Фарадея. Перед началом охлаждения при помощи внешних магнитных полей в пленке создавалась совершенная плотноупакованная РЦМД с гексагональной элементарной ячейкой, которая приводилась в равновесное состояние. Охлаждение осуществляли со скоростью не более чем 0.05 К/мин, при этом магнитные поля к образцу не прикладывались. Охлаждение данного образца в указанном интервале температур приводило к линейному росту плотности энергии доменной стенки от 1.1 до 2.9 эрг/см<sup>2</sup>.

Наблюдения показали, что при охлаждении в исходной решетке ЦМД происходит ряд структурных изменений. На рис. 1 приведены рисунки элементарных ячеек исходной  $F(0)$  и последующих  $F(1, 2, 6)$  РЦМД. Все рисунки, показанные на рис. 1, получены непосредственно с фотографией доменных структур, при этом сохранен масштаб.

Первым структурным преобразованием было изменение базиса  $F(0) \rightarrow F(1)$ . Данный переход проявляется в виде возникающей неэквивалентности ЦМД по отношению знака  $dR/dT$  (где  $R$  - радиус домена,  $T$  - температура пленки). По-видимому, именно на стадии перехода  $F(0) \rightarrow F(1)$ , вследствие связи между пульсационными и трансляционными модами колебаний, начинают проявляться условия, приводящие к коллапсу каждого третьего домена в элементарной ячейке исходной решетки. Дальнейшее охлаждение приводит к структурному преобразованию  $F(1) \rightarrow F(2)$ , возникает решетка

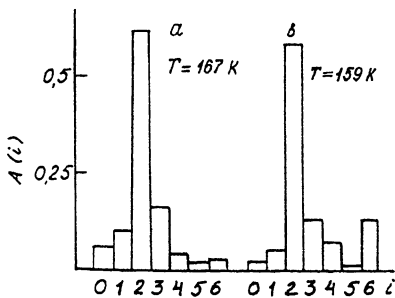


Рис. 2. Относительное содержание фаз  $A(i)$  при различных температурах.

со структурой графита вследствие коллапса третьей части доменов в элементарной ячейке. Необходимо отметить, что переход  $F(0) \rightarrow F(2)$  не происходит одновременно на всей площади образца. На момент зарождения фазы  $F(2)$  в решетке сохраняются кластеры  $F(0)$  и  $F(1)$ , при этом кластеры разделены дефектами  $F(3)$ ,  $F(4)$ ,  $F(5)$  (см. рис. 1). Количественно распределение фаз по поверхности характеризуем относительным содержанием фазы  $A(i) = S(i)/S$ , где  $i$  - номер фазы,  $S$  - наблюдаемая площадь образца,  $S(i)$  - площадь, занимаемая  $i$ -той фазой. На рис. 2 показаны распределения  $A(i)$  при различных температурах. Распределение  $S(i)$  (см. рис. 2, а) показывает, что переход  $F(0) \rightarrow F(2)$  с коллапсом каждого третьего домена в элементарной ячейке является преобладающим процессом. Наличие фаз  $F(0)$ ,  $F(1)$ ,  $F(3-5)$ , по-видимому, связано с неоднородностью образца вдоль поверхности и пространственными флуктуациями диаметров ЦМД на стадии формирования фазы  $F(1)$ . Дальнейшее охлаждение пленки приводит к зарождению фазы  $F(6)$  (рис. 1). Формирование элементарной ячейки  $F(6)$  происходит путем присоединения дефекта  $F(3)$  к ячейке  $F(2)$  и сопровождается уменьшением величин  $A(0)$ ,  $A(1)$  и  $A(2)$ . Не удалось наблюдать образование больших блоков фазы  $F(6)$ , поскольку для их формирования необходимы либо смещения доменов в исходной решетке, либо удачное взаимное расположение ячеек решетки  $F(2)$  и  $F(3)$ . Охлаждение образца до более низких температур приводит к коллапсу других доменов, при этом структурное упорядочение в решетке исчезает. Упорядочение в этом случае может быть восстановлено только путем приложения к образцу внешнего переменного поля смещения, благодаря чему в пленке формируется гексагональная, плотноупакованная РЦМД с большим периодом.

Приложение малого внешнего переменного магнитного поля к решеткам  $F(1, 2, 6)$  приводит к формированию гексагональных

плотнупакованных РЦМД, а измерения магнитной восприимчивости до и после приложения переменного поля указывают на тот факт, что у образца, в целом, при охлаждении возникает не равный нулю магнитный момент, следовательно, состояния  $F(1, 2, 6)$  являются метастабильными.

Таким образом, выяснено, что медленное охлаждение образца с достаточно сильной температурной зависимостью плотности энергии доменной стенки сопровождается рядом ранее не известных структурных преобразований РЦМД, в которых существенную роль играет коллапс каждого третьего домена в элементарной ячейке. Обнаружено, что коллапсу доменов при охлаждении РЦМД предшествует состояние решетки, особенностью которого является отличие в знаке  $dR/dT$  для различных доменов. По нашему мнению, возникновение неэквивалентности доменов по знаку  $dR/dT$  может быть интерпретировано как неустойчивость доменной структуры РЦМД по отношению к изменениям базиса решетки. Таким образом, данная неустойчивость дополняет перечень структурных преобразований РЦМД, связанных с коллапсом и эллиптической неустойчивостью ЦМД [5], структурными преобразованиями, обусловленными изменением температуры [2, 3]. Возможные причины появления фазы  $F(1)$  могут быть связаны с температурной зависимостью плотности энергии наблюдаемых доменных структур, с изменением термодинамических параметров РЦМД в целом.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] С а р е J.A., L e h m a n G.W. // J. Appl. Phys. 1971. N 13. С. 5732-5736.
- [2] Х о д о с о в Е.Ф., Х р е б т о в А.О., С и р ю к Ю.А. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. В. 6. С. 363-367.
- [3] М а м а л у й Ю.А., С и р ю к Ю.А., Х о д о с о в Е.Ф. // УФЖ. 1985. Т. 30. № 1. С. 103-104.
- [4] Б а р ь я х г а р В.Г., Г а н н В.В., Г о р о б е ц Ю.И. // ФТТ. 1976. Т. 18. В. 7. С. 1990-1995.
- [5] Б а р ь я х г а р В.Г., Г о р о б е ц Ю.И. Цилиндрические магнитные домены и их решетки. Киев: Наукова думка, 1988. 166 с.

Донецкий государственный  
университет

Поступило в Редакцию  
27 января 1992 г.  
В окончательной редак-  
ции 27 апреля  
1992 г.