

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВ С РАЗОРИЕНТИРОВАННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Прокопов А. Р., Дубинко С. В., кандидат физико-математических наук, доцент,
Бутрим В. И., кандидат физико-математических наук

Магнитоиндуцированные спин-переориентационные переходы (СПП) в эпитаксиальных феррит-гранатовых пленках (ЭФГП) исследовались ранее теоретически и экспериментально для однослойных ЭФГП с анизотропией "легкая ось" и фактором качества $Q > 3$. В работах [1, 2] представлены экспериментальные результаты исследования процессов перемагничивания ЭФГП с анизотропией типа "угловая фаза" и "легкая плоскость", выращенных на подложках гадолиний-галлиевого граната (ГГГ) с ориентацией (111) индуктивно-частотным методом. Показано, что в процессе намагничивания ЭФГП, в тех случаях, когда вектор магнитного поля H составлял с нормалью к плоскости образца угол $\theta = 0,3 - 1,5^\circ$, наблюдалась гигантская аномалия магнитной восприимчивости χ , угловой интервал существования которой не превосходил $20'-40'$. Была построена фазовая диаграмма магнитостатических состояний ЭПФГ в магнитном поле, согласно которой возможно существование нескольких монодоменных состояний.

Целью настоящей работы было исследование магнитооптическим методом поведения доменной структуры (ДС) пленок в зависимости от величины и направления постоянного магнитного поля и сопоставление этих данных с поведением χ в аналогичных условиях.

Для исследования были выбраны ЭПФГ состава $(Bi, Lu, Ca)_3(Fe, Ge)_5O_{12}$, выращенные на подложках ГГГ с различными кристаллографическими ориентациями. Образец № 1 имел ориентацию (111), образец № 2 – (112), образец № 3 – ориентацию, составляющую угол $4^\circ \pm 0,5^\circ$ с плоскостью (112) в направлении к плоскости (111).

Геометрия эксперимента была такова, что в процессе измерений внешнее магнитное поле прикладывалось под углом θ к нормали к поверхности образца, которому, в свою очередь, соответствовал определенный азимутальный угол. При этом азимутальный угол изменялся от 0 до 360° .

Рассмотрим поведение ДС и χ во внешнем магнитном поле в образце № 1. На рис. 1 представлены экспериментальные кривые изменения относительной магнитной восприимчивости χ/χ_0 под действием внешнего магнитного поля, направленного под углом $\theta = 0,2^\circ$ (χ_0 - магнитная восприимчивость ЭПФГ при $H_0 = 2,5$ кЭ; χ - магнитная восприимчивость в полях $0 - 2,5$ кЭ). Кривая 1 - исходное положение образца; кривая 2 соответствует такой ориентации H , когда азимутальный угол и угол θ изменены на 180° . Хорошо видно, что характер поведения χ/χ_0 различается при намагничивании образца внешними магнитными полями противоположного направления.

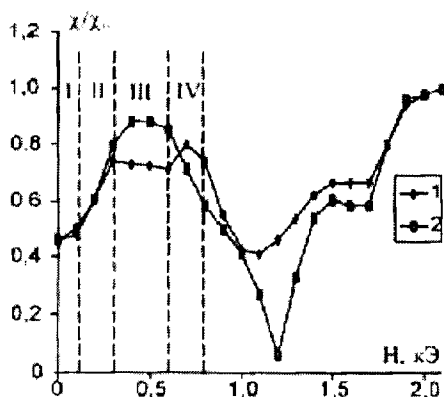


Рис. 1. Зависимость χ/χ_0 от H для образца № 1, $\theta = 0,2^\circ$



Рис. 2. Доменная структура образца № 1, $H = 0$

На рис. 2 представлена фотография исходной ДС размагниченной ЭПФГ в нулевом магнитном поле. ДС представляет собой слабоконтрастную полосовую структуру. В полях от 3 до 20 Э возникают доменные границы, разделяющие области с различными периодами и ориентацией ДС (рис. 3а, б). На кривой 1 рис. 1 это соответствует началу подъема зависимости χ/χ_0 . При дальнейшем увеличении магнитного поля доменные границы исчезают и ДС фактически превращается в исходную. В полях от 20 до 400 Э происходит слабое изменение контраста и незначительная переориентация ДС. На кривой 1 рис. 1 это соответствует области II. Дальнейшее увеличение магнитного поля приводит к уменьшению магнитооптического контраста и превращению ДС в "пунктирную". В полях выше 400 Э появляется ДС обратной намагниченности. В дальнейшем, при увеличении поля ДС обратной намагниченности становится преобладающей (рис. 3в, г) – область IV на рис. 1.

При намагничивании ЭПФГ магнитным полем другой полярности ДС перестраивается существенно иначе. В магнитных полях от нуля до ~ 300 Э исходная ДС не меняет своей конфигурации, изменяется только магнитооптический контраст (области I и II кривой 2 рис. 1). В полях от 300 до 600 Э образец переходит в монодоменное состояние (область III, кривая 2, рис. 1), а далее при увеличении поля зарождается ДС, показанная на рис. 4, что соответствует участку IV на кривой 2 рис. 1.

Из зависимостей рис. 1 видно, что сложный характер перестройки ДС продолжается в магнитных полях до 2,5 кЭ, однако технические сложности создания магнитных полей таких величин при одновременном наблюдении магнитооптическим методом поведения ДС, не позволили на данном этапе провести эти эксперименты. Показано, что могут наблюдаться следующие ситуации зависимости χ от H . При определенном азимутальном угле ориентации H и угле θ изменение полярности поля на противоположную приводит в обоих случаях к возникновению аномалии χ , при этом процесс перемагничивания при одной

полярности H идет с образованием промежуточного монокломенного состояния, а при противоположной полярности перемагничивание происходит без образования монокломенного состояния.

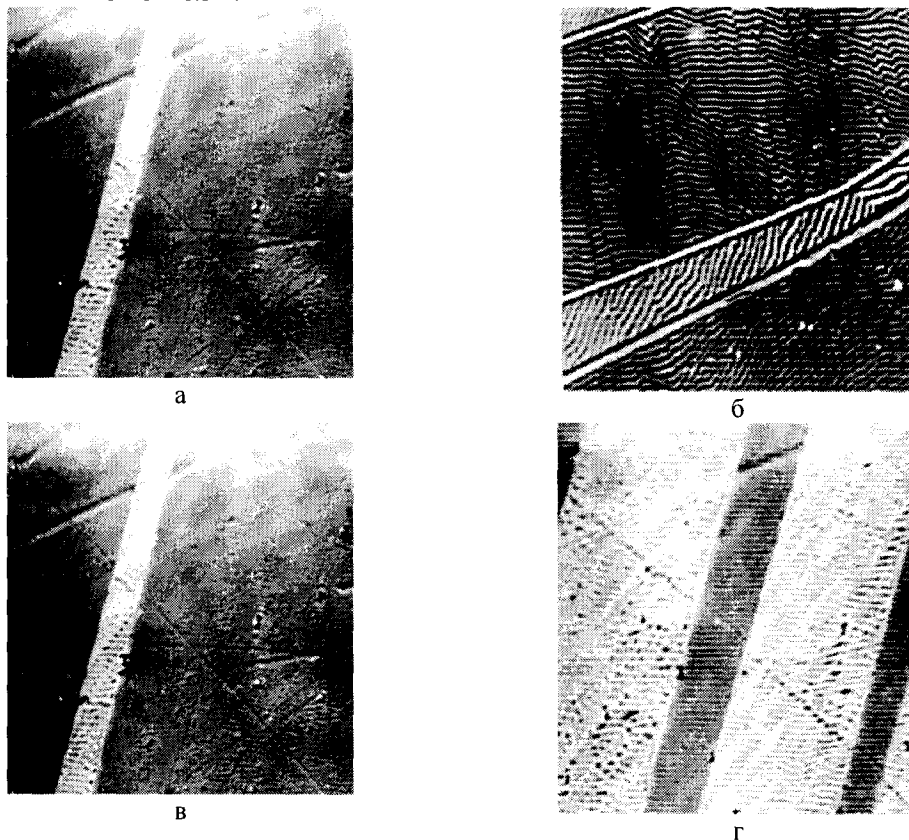


Рис. 3. Доменная структура образца № 1: а - $H = 10$ Э; б - $H = 20$ Э; в - $H = 500$ Э; г - $H = 600$ Э

Пусть при определенных значениях азимутального угла и угла θ ориентации H наблюдается аномалия χ . При изменении θ на угол $(360 - \theta)^\circ$ и азимутального угла – на 180° также может наблюдаться аномалия χ . Если рассматривать другие первоначальные значения азимутального угла и угла θ , при которых наблюдается аномалия χ , то их изменение по схеме, как указано выше, может не приводить к возникновению аномалии χ .

Первый случай зависимости χ от H можно характеризовать как симметричную зависимость, второй – как асимметричную.

Исследования поведения ДС и χ от H в образце № 2 и образце № 3 дали следующие результаты. Во всех образцах наблюдалась аномалия χ . Характерные кривые показаны на рис. 5 для образца № 3. Зависимости χ от H носят асимметричный характер для обоих образцов. Наблюдения ДС показали, что во всем доступном для магнитооптического наблюдения интервале полей

монокристаллическое состояние не возникало. Конфигурация ДС была аналогичной показанной на рис. 4.

Таким образом, исследования показали:

- аномалия магнитной восприимчивости наблюдалась для ЭПФГ, выращенных на подложках с кристаллографическими ориентациями от (111) до (112);
- Общим для всех ЭПФГ в которых наблюдалась аномальная магнитная восприимчивость было то, что вектор намагниченности имел равновесную ориентацию близкую к поверхности пленки.
- для ЭПФГ с ориентацией (111) аномалия χ может носить как симметричный, так и асимметричный характер;
- для ЭПФГ с ориентациями, отличными от (111) и лежащими в интервале от (111) до (112) аномалия χ носит асимметричный характер.



Рис. 4. Доменная структура образца № 1, $H = -610$ Э

Литература

1. Прокопов А.Р., Дубинко С.В., Хребтов А.О., Еремина М.И. Особенности магнитоиндуцированного спин-переориентационного перехода в феррит-гранатовых пленках с анизотропией "угловая фаза" // ФТТ. – 1997. – Т. 39, № 8. – С.1415-1420.
2. Prokopov A.R., Dubinko S.V., Khrebtov A.O., Yeryomina M.I. Anomalous magnetic susceptibility of multilayer epitaxial garnet ferrite films // *Frontiers in magnetism of reduced dimension systems. NATO ASI series. 3. High technology. Vol. 49 / V.G. Bar'yakhtar et al. (eds.). – Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publishers, 1998. – P. 463-468.*

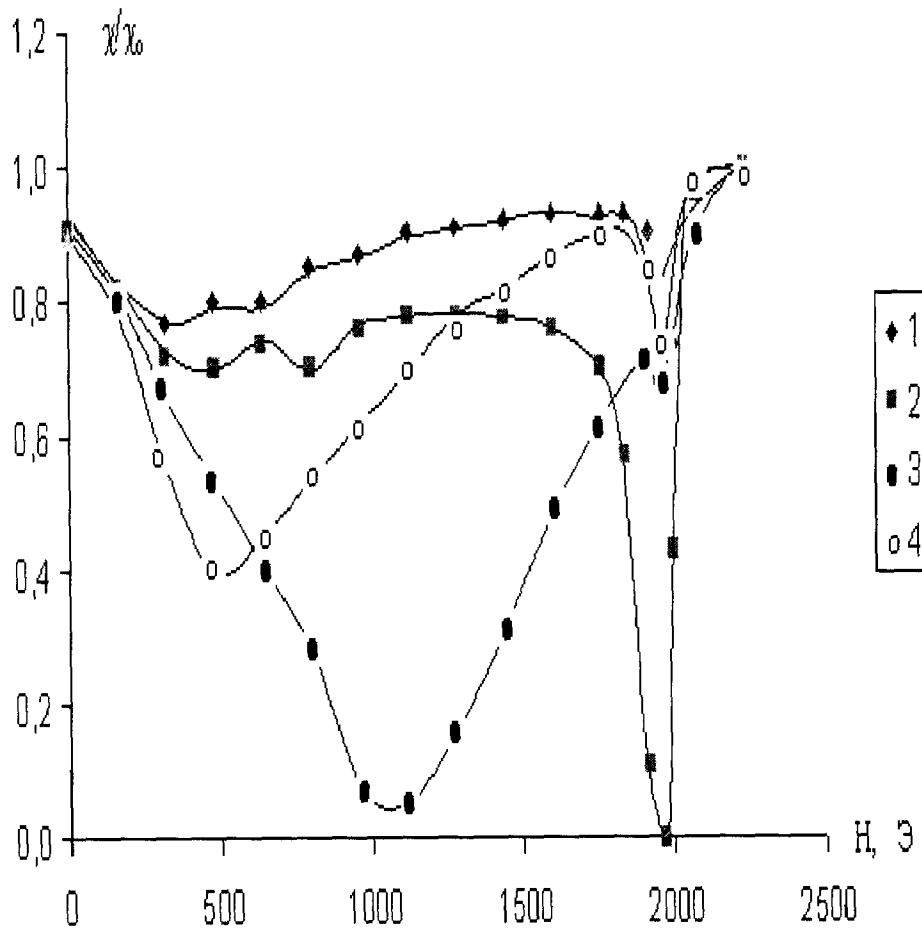


Рис. 5. Зависимость χ/χ_0 от N для образца № 3
1 - $\theta = 0,35^\circ$; 2 - $\theta = 0,3^\circ$; 3 - $\theta = 0,2^\circ$; 4 - $\theta = 0,15^\circ$