

05;11;12

## Отображение неоднородных магнитных полей пленками феррит-гранатов

© В.Г. Вишнеvский, Р.М. Михерский, С.В. Дубинко

Конструкторское бюро "Домен" при Таврическом национальном университете им. В.И. Вернадского, 95001 Симферополь, Украина  
e-mail: domain@home.cris.net

(Поступило в Редакцию 5 марта 2001 г. В окончательной редакции 20 июля 2001 г.)

Экспериментально исследуется распределение намагниченности в эпитаксиальных пленках феррит-гранатов под действием гармонического поля сигнала магнитной ленты. Средствами обработки изображений и анализа спектра дифракции показано, что увеличение амплитуды и периода поля обуславливает рост искажений формы отображаемого сигнала.

Эпитаксиальные пленки феррит-гранатов (ЭПФГ) находят весьма эффективное применение в качестве магнитооптических преобразователей, позволяющих, в частности, решать задачи фотоскопической экспертизы в криминалистике [1]. С их помощью осуществляется визуализация магнитной записи информации.

В ряде случаев для решения подобных задач перспективны ЭПФГ с анизотропией типа "легкая плоскость", поскольку в отличие от пленок с перпендикулярной анизотропией их локальное намагничивание происходит путем вращения момента, а не смещения доменных границ. В этом смысле актуален вопрос о степени адекватности индуцированного распределения намагниченности в ЭПФГ форме внешнего поля.

В работе [2] теоретически исследована зависимость искажений в распределении намагниченности, возникающих под действием гармонического поля, от амплитуды и периода этого поля. Рассматривался случай ЭПФГ, имеющий ось легкого намагничивания (ОЛН) в ее плоскости; при этом ОЛН была параллельна тангенциальной компоненте внешнего поля. Целью настоящего исследования явилась экспериментальная проверка теоретических результатов, полученных в работе [2].

В основу эксперимента положено явление дифракции света на фазовой решетке, индуцированной в ЭПФГ синусоидальным полем магнитной ленты. Предполагается, что в спектре идеальной синусоидальной решетки должны присутствовать практически только первые порядки дифракции. Кроме того, исследовалось распределение интенсивности изображения решетки, наблюдаемого в поляризационный микроскоп. При этом использовались средства цифровой обработки изображений.

ЭПФГ с анизотропией "легкая плоскость" составов  $(\text{Bi}, \text{Lu}, \text{Ca})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$  и  $(\text{Bi}, \text{Tm})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ , выращенные на подложках  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  ориентации [111] с напыленным на поверхности отражающим покрытием TiN, приводились в контакт с магнитной лентой. На ленту записывались сигналы синусоидальной формы с дискретным набором частот и градацией по амплитуде в пределах 20 dB, уровень нелинейных искажений записи не превышал 1.5%. Толщина слоя ЭПФГ 3.5  $\mu\text{m}$ ,

покрытия TiN — 0.2  $\mu\text{m}$ . Намагниченность насыщения пленок  $4\pi M_s \leq 23900 \text{ A/m}$ . Удельное вращение Фарадея  $\theta = 0.9 - 1.1^\circ \mu\text{m}$ . ЭПФГ характеризовались спонтанной монокристаллической структурой либо приводились в состояние насыщения однородным полем, действующим вдоль оси легкого намагничивания. Структура намагниченно-

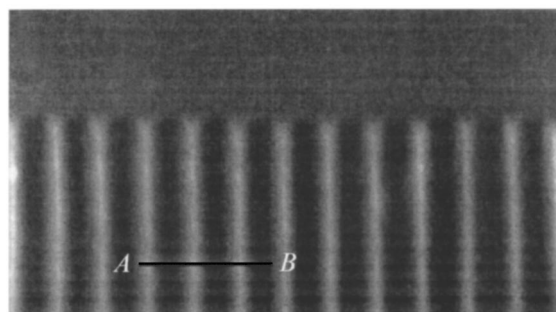


Рис. 1. Структура намагниченности в ЭПФГ с анизотропией типа "легкая плоскость" под действием синусоидального поля магнитной ленты. Период поля  $d = 105 \mu\text{m}$ .

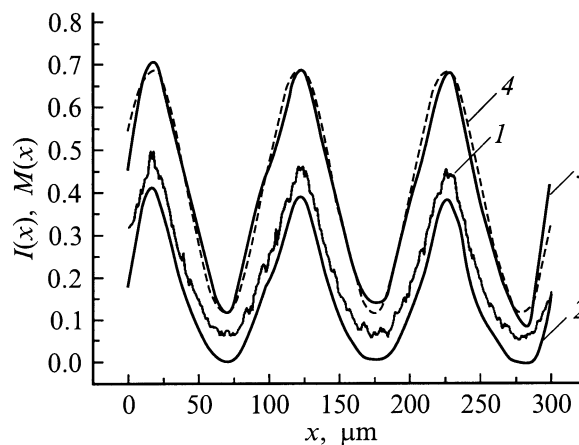


Рис. 2. Результаты цифровой обработки изображения 1 на участке АВ. 1 — профиль интенсивности; 2 — результат фильтрации высоких частот; 3 — функция распределения намагниченности, восстановленная из 2.

№ образца	$d, \mu\text{m}$	$H, \text{A/m}$	$I_1$ а.и.	$\frac{I_3}{I_1}$	$\frac{I_5}{I_1}$	$\frac{I_7}{I_1}$	$\sqrt{\frac{I_3 + I_5 + I_7}{I_1}}$	Ориентация ОЛН
1	100	11937	4.0	0.081	0.015	0.0025	0.3142	
1	50	11937	2.25	0.044	0.009	0.0022	0.2357	
2	100	11937	2.50	0.080	0.012	0.0028	0.3079	
2	100	3979	1.50	0.047	0.011	0.0040	0.2620	
2	100	11937	3.50	0.066	0.014	0.0035	0.2891	⊥
2	100	3979	1.00	0.030	0.005	0.0010	0.1897	⊥

сти, наведенная в ЭПФГ полем ленты, представлена на рис. 1 такой, как она видна в поляризационный микроскоп.

На рис. 2 приведены результаты цифровой обработки этого изображения: кривая 1 представляет собой профиль интенсивности вдоль участка АВ; кривая 2 — результат фильтрации высоких частот кривой 1; зависимость 3 — функция распределения намагниченности, восстановленная из кривой 2 в соответствии с выражением

$$M(x) \sim \frac{\varphi + \arcsin(\sqrt{I(x)/I_0})}{k\theta_0}. \quad (1)$$

Здесь  $I(x)$  — распределение интенсивности вдоль координаты  $x$ ;  $I_0$  — интенсивность света, падающего на систему поляризатор–ЭПФГ-анализатор,  $\varphi$  — угол отклонения осей поляризаторов от скрещенного состояния;  $\theta_0 = \theta h$  — величина суммарного вращения Фарадея;  $k = H_0(H_A + 4\pi M_s)^{-1} < 1$ ;  $H_0$  — амплитуда внешнего поля;  $H_A$  — поле анизотропии;  $M(x)$  — функция распределения нормальной компоненты намагниченности вдоль оси  $x$ .

Из сравнения кривой 3 и косинусоиды 4 следует вывод о наличии искажений, возникающих при отображении формы сигнала пленкой граната. Более точные количественные оценки уровня этих искажений могут быть получены из анализа спектра дифракции.

Луч гелий-неонового лазера попадал на ЭПФГ через боковую грань поляризационной призмы-куба, а дифрагировавшие на вынужденном распределении намагниченности в слое ЭПФГ лучи, кроме лучей нулевого порядка, выходили через ее верхнюю грань. Интенсивность порядков дифракции фиксировалась с помощью ФЭУ.

Схема эксперимента показана на рис. 3, где указано также состояние поляризации соответствующих лучей. Такая геометрия позволяет избежать как влияния тангенциальной компоненты намагниченности на вращение Фарадея, так и поляризационных эффектов, связанных с наклонным падением света [3]. Поля рассеяния рабочего слоя магнитной ленты 1 через зеркальный слой 2 воздействует на слой ЭПФГ 3, формируя магнитную дифракционную решетку. Куб-призма 5 размещена на подложке 4 посредством иммерсионного контакта с тем, чтобы обеспечить вращение пленки в плоскости: в ходе эксперимента ОЛН пленки, расположенная в ее

плоскости, ориентировалась либо параллельно (||), либо перпендикулярно (⊥) тангенциальной компоненте поля магнитной ленты. Предварительный контроль положения ОЛН осуществлялся индуктивным методом. Вид реального спектра дифракции для ориентации (⊥) приведен на рис. 4.

Спектр характеризуется четкой центральной симметрией (относительно 0-го порядка), максимум энергии сосредоточен в порядках  $\pm 1$ , а интенсивность четких (вторых) порядков пренебрежимо мала.

Степень отклонения формы реальной решетки от синусоидальной оценивалась аналогично уровню нелинейных искажений по критерию

$$L = \sqrt{\frac{I_3 + I_5 + I_7}{I_1}}, \quad (2)$$

где  $I_1$  и  $I_3, I_5, I_7$  — интенсивности первого и высших порядков соответственно.

Результаты эксперимента приведены в таблице.

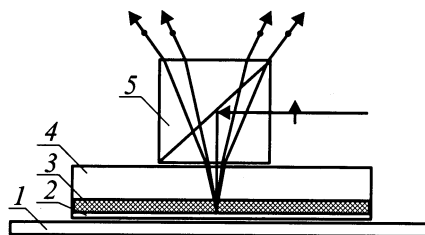


Рис. 3. Схема эксперимента по магнитооптической дифракции.

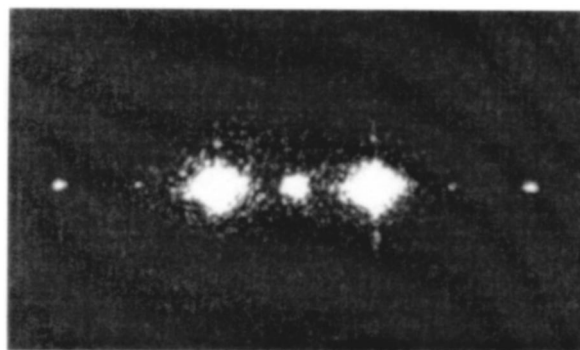


Рис. 4. Дифракция света на фазовой решетке, индуцируемой в ЭПФГ синусоидальным полем магнитной ленты.

Нетрудно видеть, что экспериментальные результаты хорошо согласуются с теоретическими, а именно максимальный угол выхода намагниченности из плоскости пленки, а также степень искажений индуцированной решетки тем выше, чем больше период  $d$  вынуждающего поля и выше его амплитуда. Причем степень искажений в большей степени зависит от периода внешнего поля, чем от его амплитуды.

Как видно из таблицы, искажения при визуализации пленками "легкая плоскость" могут быть искажены, если ОЛН ориентировать перпендикулярно тангенциальной компоненте внешнего поля. Такая ситуация в теоретическом плане более сложна, поскольку при этом реализуются два вращения момента с фазовым смещением: в плоскости ЭПФГ и в нормаль к ней.

## Список литературы

- [1] Левый С.В., Агалиди Ю.С., Вишнеvский В.Г. // Известия вузов. Радиоэлектроника. 1998. Т. 41. Вып. 7–8. С. 74–80.
- [2] Михерский Р.М., Дубинко С.В., Бутрим В.И., Вишнеvский В.Г. // Ученые записки Таврического национального университета. 1999. Т. 12 (51). № 2. С. 156–159.
- [3] Вилесов Ю.Ф., Вишнеvский В.Г., Грошенко Н.А. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. Вып. 13. С. 14–17.