

входе в полость с формированием двойного слоя. В последнем случае плазма внутри полости приобретает потенциал, отличный от потенциала плазмы вне полости.

Проведенный анализ позволяет предполагать, что при зажигании разряда с полым катодом путем инжекции в полость при выполнении условия  $l < R$  плазмы вспомогательного разряда вне полости эта плазма проникает в полость и расширяется до тех пор, пока радиус плазменного образования не примет некоторое значение из области устойчивости.

### Литература

- [1] Белюк С. И., Каримов Р. Г., Крейнделъ Ю. Е., Морозкин В. В. ПТЭ, 1986, № 2, с. 155—158.  
 [2] Дубинина Е. М., Ибадов С. Изв. АН СССР. Сер. физ., 1968, т. 32, с. 1262—1268.  
 [3] Глазунов В. Н., Гречаный В. Г., Метель А. С. ПТЭ, 1984, № 2, с. 146—148.  
 [4] Коваль Н. Н., Крейнделъ Ю. Е., Щанин П. М. ЖТФ, 1983, т. 53, № 3, с. 1846—1848.

Уральский научный центр  
 Институт электрофизики АН СССР  
 Свердловск

Поступило в Редакцию  
 27 марта 1987 г.  
 В окончательной редакции  
 22 июня 1987 г.

УДК 538.221

Журнал технической физики, т. 58, в. 6, 1988

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ФЕРРИТ-ГРАНАТОВ ДЛЯ МАГНИТООПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА

А. Ф. Алейников, В. В. Рандошкин, Е. Г. Рудашевский,  
 В. Б. Сизачев, В. И. Чани

Магнитный материал для фарадеевского модулятора (ФМ) должен иметь как можно более высокие магнитооптическую добротность  $\psi$ , подвижность доменных стенок (ДС)  $\mu$ , предельную скорость  $v_p$  и скорость насыщения  $v_s$  и как можно меньшие поле насыщения  $H_0$  и равновесную ширину доменов  $w$  [1]. Достаточно высокую магнитооптическую добротность в видимом и ближнем ИК диапазонах можно получить в висмутсодержащих монокристаллических пленках феррит-гранатов (Bi—МПФГ) [1, 2].

В настоящей работе исследуется ряд Bi—МПФГ различного состава, предназначенных для магнитооптического модулятора, с целью выяснения влияния параметров МПФГ на предельную частоту и глубину модуляции света. Колебания ДС в пленках возбуждались переменным магнитным полем, направленным перпендикулярно плоскости пленки в диапазоне

Параметры пленок  $(\text{Bi}, \text{R})_2(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$

Номер образца	R	$h, \cdot 10^6 \text{ м}$	$w, \cdot 10^6 \text{ м}$	$\varphi, \cdot 10^6 \text{ град/м}$	$H_0, \text{ А/м}$	$4\pi M_0, \text{ Т}$
1	Tm	4.7	8.3	0.9	5600	0.0078
2	Tm, Gd	3.3	4.7	0.91	4640	0.0117
3	Lu	7.5	6.7	0.93	8320	0.0176
4	Y, Lu	11	5.5	1.5	14900	0.0262

Продолжение

Номер образца	$dx/dH \times 10^3 \text{ А}^{-1}$	$t_r, \text{ МГц}$	Q	$f_0 Q, \text{ МГц}$	$\mu^2/c \cdot \text{ А}$	$v_s, \text{ м/с}$
1	0.51	7	1.62	1.3	0.045	4.0
2	0.35	100	1.3	150	0.33	210
3	0.17	60	2.2	147	0.16	16
4	0.14	190	3.3	640	0.55	52

частот 1—300 МГц. Амплитуда магнитного поля составляла сотни А/м. Для регистрации колебаний ДС использовался метод оптического детектирования [3].

Параметры МПФГ, исследованных в настоящей работе, приведены в таблице, где  $h$  — толщина пленки,  $4\pi M$  — намагниченность насыщения,  $\varphi$  — удельное фарадеевское вращение на длине волны 0.63 мкм,  $dx/dH$  — структурная восприимчивость при малых смещениях

доменных границ. Статические магнитные параметры были измерены стандартными методами [4].

Для исключения образования быстрорелаксирующих ионов  $Fe^{2+}$  МПФГ выращивали методом жидкофазной эпитаксии на подложках  $Gd_3Ga_5O_{12}$  (ГГГ) и  $Nd_3Ga_5O_{12}$  (НГГ) из переохлажденного раствора—расплава на основе  $PbO-Vi_2O_3-V_2O_3$  [5]. Для сравнения были выбраны МПФГ с разными значениями  $\mu$  и  $\nu_s$  и близкими значениями периода доменной структуры. Образцы № 1 и 2 содержали быстрорелаксирующие ионы  $Tm^{3+}$  в отличие от образцов № 3 и 4.

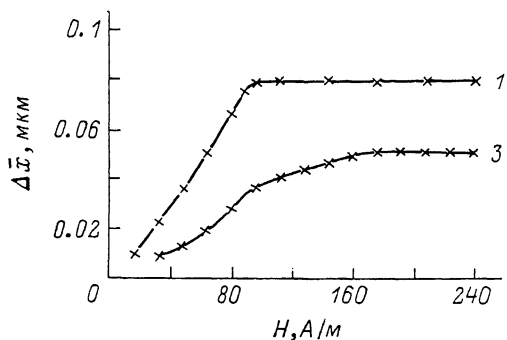


Рис. 1.

На рис. 1 приведены зависимости усредненного смещения ДС  $\overline{\Delta x}$  от амплитуды переменного магнитного поля  $H$  для образцов № 1 и 3 на частотах максимального отклика 7 и 60 МГц соответственно. Значение  $v_p$ , найденное по зависимостям  $\overline{\Delta x}(H)$ , составляет 3.5 (1) и 14 м/с (3). Появление нелинейности на зависимости  $\overline{\Delta x}(H)$  связано с низким значением (особенно для образца № 3) порогового поля срыва стационарного движения ДС, который принято связывать с процессами динамического преобразования ее структуры [6]. Образцы № 2 и 4 в рас-

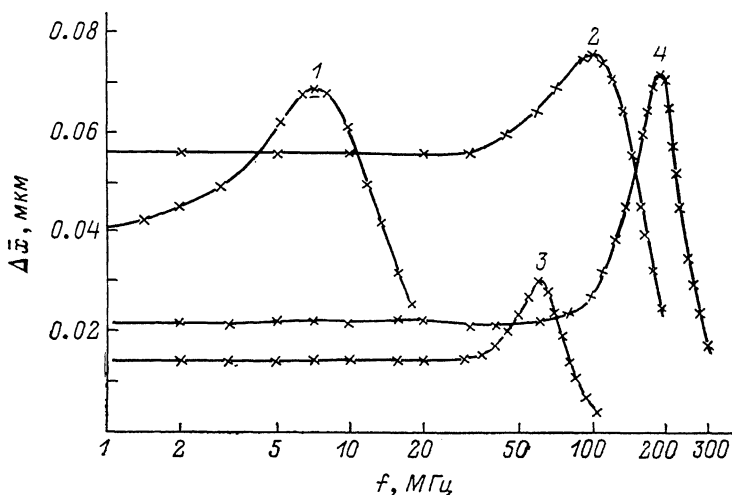


Рис. 2.

считываемом диапазоне полей 50—350 А/м имеют линейные амплитудные характеристики с наклоном  $\approx 5.5 \cdot 10^{-10} \text{ A}^{-1}$ . Предельная скорость в этом случае не достигается вследствие повышенного эффективного значения гидромагнитного отношения  $\gamma = 3.3 \cdot 10^{11} \text{ K/kg}$  и небольшой величины константы одноосной анизотропии  $K = 1.8 \cdot 10^2 \text{ Дж/м}^3$  для образца № 2 и наличия орторомбической анизотропии в образце № 4. Значения скорости насыщения  $v_s$  при движении ДС доменов с обратной намагниченностью, возникающих при импульсном перемагничивании из насыщенного состояния, измеренные методом [высокоскоростной фотографии [7], приведены в таблице.

Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) колебаний доменных стенок приведены на рис. 2: 1, 3 —  $H=80$ ; 2, 4 — 160 А/м. Амплитуда возбуждающего магнитного поля выбиралась с таким расчетом, чтобы скорость насыщения не достигалась. Все зависимости  $\Delta x(f)$  имеют резонансный характер. По измеренным АЧХ можно рассчитать подвижность ДС. Если аппроксимировать АЧХ кривыми второго порядка [8]

$$\Delta x = \frac{\Delta x_0}{\sqrt{(1-f^2/f_0^2)^2 + (f/Qf_0)^2}}, \quad (1)$$

где

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad Q = \frac{\sqrt{mk}}{b},$$

$m$  — эффективная масса стенки на единицу площади,  $b$  — коэффициент вязкого трения на единицу площади,  $k$  — постоянная возвращающей силы, то добротность этих кривых  $Q > 1$  и определяется отношением смещения стенок на частоте  $f_0$  к смещению на низких частотах ( $f > 0$ ). При этом частота  $f_0$  на зависимости  $\Delta x(f)$  связана с резонансной частотой  $f_r$  выражением

$$f_0 = f_r (1 - 1/2Q^2)^{-1/2}. \quad (2)$$

Подвижность  $\mu$  доменных стенок определяется следующим соотношением:

$$\mu = 2\pi f_0 Q \frac{dx}{dH}. \quad (3)$$

На основе соотношений (2), (3) и экспериментально измеренных величин  $f_r$  и  $Q$  были найдены значения  $\mu$  (см. таблицу).

1. Как и следовало ожидать, увеличение  $\mu$  приводит к расширению частотного диапазона магнитооптической модуляции света. При этом граничная частота модуляции может достигать 300 МГц (образец № 4) и более.

2. Наибольшие значения добротности  $Q$ , определяющие увеличение глубины модуляции на резонансной частоте, получены для образцов, не содержащих быстрорелаксирующих ионов.

3. Следует отметить, что МПФГ с орторомбической анизотропией (образец № 4) и с повышенным значением гидромагнитного отношения (образец № 2) вследствие сравнительно высоких значений предельной скорости  $v_p$  позволяют значительно увеличить максимальную глубину модуляции в рабочем диапазоне частот при возрастании амплитуды магнитного поля.

Проведенные исследования показывают, что наиболее перспективными для создания магнитооптического модулятора являются МПФГ состава  $(\text{BiYLu})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$  с орторомбической анизотропией, так как они одновременно имеют высокое фарадеевское вращение, скорость насыщения и подвижность доменных границ.

### Литература

- [1] Балбашов А. М., Червоненкис А. Я. Магнитные материалы для микроэлектроники. М.: Энергия, 1979. 217 с.
- [2] Paroli P. Thin Solid films, 1984, v. 114, N 112, p. 187—219.
- [3] Алейников А. Ф., Рудашевский Е. Г. Тез. докл. X Всес. школы-семинара «Новые магнитные материалы микроэлектроники». Рига, 1986, ч. 1, с. 128.
- [4] Рандошкин В. В., Старостин Ю. В. Радиоволновая электроника за рубежом, 1982, в. 18, с. 1—57.
- [5] Рандошкин В. В., Червоненкис А. Я. ЖТФ, 1985, т. 55, № 7, с. 1382—1386.
- [6] Малоземов А., Слоизуски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982.
- [7] Бахтеузов В. Е., Ким Т. А., Рандошкин В. В. и др. ЖТФ, 1985, т. 55, № 6, с. 1227—1230.

Институт общей физики АН СССР  
Москва

Поступило в Редакцию  
13 апреля 1987 г.