

показывает сравнение численных и аналитических результатов, вплоть до значения  $\varepsilon_{max} \sim 1$  формула (3) качественно правильно и количественно удовлетворительно описывает эволюцию амплитуды поля колебаний в процессе развития плазменно-пучковой неустойчивости. Аналогичная аналитическая теория может быть построена и для случая стационарного усиления плазменных волн в пространстве электронным пучком малой плотности.

## Л и т е р а т у р а

- [1] Онищенко И.Н., Линецкий А.Р., Мациборко Н.Г., Шапиро В.Д., Шевченко В.И. - Письма в ЖЭТФ, 1970, т. 12, № 8, с. 407-411.
- [2] Ковтун Р.И., Рухадзе А.А. - ЖЭТФ, 1970, т. 58, № 5, с. 1709-1714.
- [3] Гришин В.К., Шапошникова Е.Н. - ЖТФ, 1982, т. 52, № 6, с. 1106-1113.
- [4] Кузелев М.В., Рухадзе А.А. - Физика плазмы, 1980, т. 6, № 4, с. 792-799.

Тбилисский государственный  
университет

Поступило в Редакцию  
29 апреля 1987 г.  
В окончательной редакции  
9 августа 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 4

26 февраля 1988 г.

### ОРТОРОМБИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ В ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНКАХ, НАВЕДЕННАЯ КВАЗИОДНООСНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Ф.Г. Барьяхтар, И.П. Величко,  
В.Т. Довгий, А.А. Калкин

В эпитаксиальных феррит-гранатовых пленках, используемых для создания ЗУ на ЦМД, существуют различного типа напряжения, влияние которых на статические и динамические параметры мало изучено. Напряжения различного происхождения и конфигураций возникают при создании различных управляющих структур, рассогласования кристаллических решеток пленки и подложки. Недостаточно полно изучены механизмы возникновения одноосной анизотропии, наклона оси легкого намагничивания (ОЛН) и ромбической анизотропии.

В настоящей работе изучено влияние внешнего квазиодноосного давления, приложенного в плоскости пленки, на компоненты анизотропии, присущие феррит-гранатовым пленкам. Исследования прове-

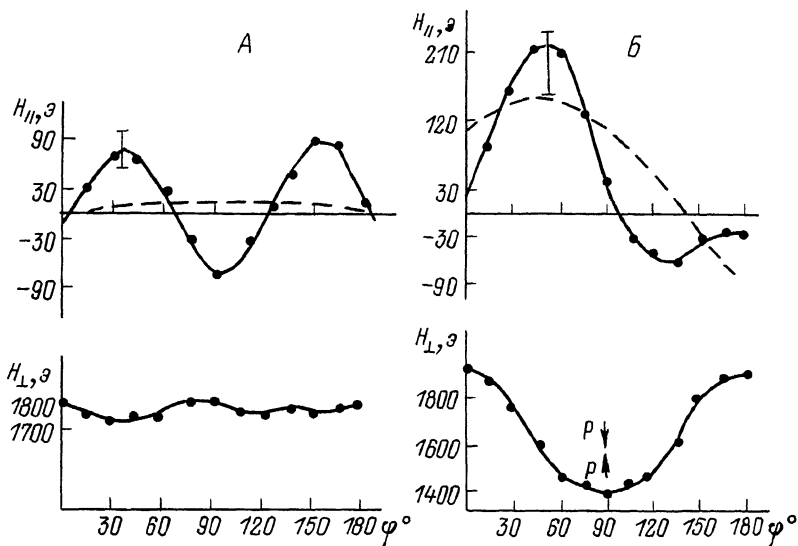


Рис. 1. Азимутальные зависимости поля смещения  $H_{||}$  и планарного поля  $H_{\perp}$  однородного зарождения доменной структуры при внешнем давлении  $P = 0$  (а) и квазиодноосном давлении  $P = 1.5$  кбар (б).

дены на пленках состава  $(YSmLuCa)_3(FeGe)_5O_{12}$ ,  $(YGdBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ , выращенных на подложках  $Gd_3Ga_5O_{12}$ . Используя метод однородного зарождения доменной структуры при ориентационном фазовом переходе, индуцируемом магнитным полем, и теорию работ [1, 2], определены параметры, характеризующие анизотропию: одноосная  $K_u$ , кубическая или кристаллографическая  $K_c$ , ромбическая  $K_r$ , наклон ОЛН  $\theta_u$  и их азимутальные углы в плоскости пленки  $\varphi_c, \varphi_r, \varphi_u$ . Толщина пленок  $h$  измерялась интерференционным методом. Магнитичность насыщения  $4\pi M_s$  и характеристическая длина  $l$  определялись по методу, предложенному в [3, 4]. Квазиодноосные давления создавались с помощью специальных устройств или обойм. Наклон кристаллографической оси  $[111]$  и измерение параметра кристаллической решетки пленок и подложек производились на дифрактометре ДРОН-2 (излучение  $CuK\alpha$ ), параметры решетки определялись по положению линии (888). По данным рентгеноструктурных измерений рассчитывалась величина напряжения в пленках:  $\sigma^{\parallel} = \frac{E\varepsilon^{\parallel}}{2\nu}$ ,

где  $\varepsilon^{\perp} = \frac{\Delta a^{\perp}}{a_0}$ ,  $a_0$  – параметр кристаллической решетки

пленки без внешнего давления,  $\Delta a^{\perp}$  – изменение параметра кристаллической решетки пленки после приложения внешнего давления,  $E$  – модуль Юнга граната,  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

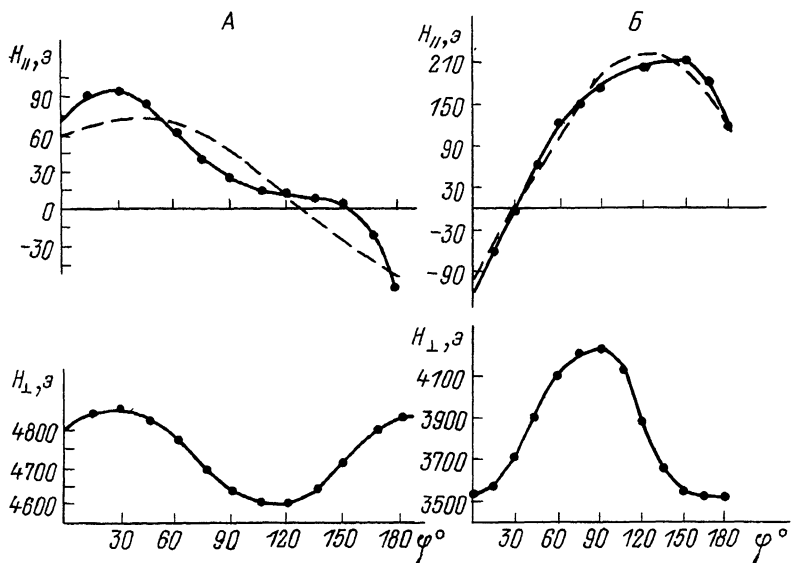


Рис. 2. Азимутальные зависимости поля смещения  $H_{||}$  и планарного поля  $H_{\perp}$  однородного зарождения доменной структуры при внешнем давлении  $P = 0$  (а) и квазигидростатическом давлении  $P = 2.0$  кбар (б).

Т а б л и ц а 1

$P$ , кбар	$K_H, \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3}$	$K_C, \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3}$	$K_P, \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3}$	$\theta_u^\circ$	$\varphi_c^\circ$	$\varphi_u^\circ$	$\varphi_p^\circ$
0	13.030	-1.630	320	0.5	-25	-54	27
1.5	11.680	-1.760	3.930	5	7	-140	82

На рис. 1, а, б для состава  $(YSmLuCa)_3(FeGe)_5O_{12}$  приведены азимутальные зависимости поля смещения  $H_{||}$  и планарного поля  $H_{\perp}$  для однородного зарождения доменной структуры при внешнем давлении  $P = 0$  (а) и квазигидростатическом давлении  $P = 1.5$  кбар (б).

Полученные кривые разлагаются в ряд Фурье:

$$H = H_0 + \sum_n H_n \cos \cdot n(\varphi_H - \varphi).$$

Учитывая первые две не исчезающие гармоники, см. [1, 2], получим:

$$H_{||}(\varphi_H) = H_1 \cos(\varphi_H - \varphi_1) + H_3 \cos 3(\varphi_H - \varphi_3),$$

$$H_{\perp}(\varphi_H) = H_0 + H_2 \cos 2(\varphi_H - \varphi_2) + H_6 \cos 6(\varphi_H - \varphi_6),$$

Т а б л и ц а 2

Р, кбар	$K_u, \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2}$	$K_c, \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3}$	$K_p, \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3}$	$\theta_u^\circ$	$\varphi_c^\circ$	$\varphi_u^\circ$	$\varphi_p^\circ$
0	47.660	-710	3.760	0.80	-30	-112	-39
2	38.120	-490	7.430	3.31	-17	42	8

где  $H_1, H_2, H_3, H_6$  - амплитуды, а  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_6$  - фазы гармоник аппроксимирующих рядов Фурье. По формулам работ [1, 2] рассчитываются значения  $K_u, K_c, K_p, \theta_u, \varphi_c, \varphi_u, \varphi_p$  (табл. 1).

В исходном случае (а) превалирует трехкратная (кубическая) компонента, при квазиодноосном давлении (б) появилась большая однократная компонента (штриховые линии на рис. 1) на зависимости  $H_u = f(\varphi)$ . Наклон ОЛН при квазиодноосном давлении  $P = 1.5$  кбар увеличился на порядок. Азимутальная зависимость планарной компоненты критического поля однородного зарождения при квазиодноосном давлении  $H_{\perp} = f(\varphi)$  показывает наличие большой двухкратной компоненты, то есть ромбическую анизотропию (рис. 1, б и табл. 1). Из табл. 1 видно, что  $K_p$  изменилась в 12 раз. Изменение наклона ОЛН при  $P = 1.5$  кбар проявляется в асимметрии зон формирования решеток ЦМД различной полярности относительно линии однородного зарождения (рис. 1 а, б, тонкая линия).

Рентгеноструктурные измерения показали, что наклон кристаллической оси  $[111]$  при  $P = 0$  и  $P = 1.5$  кбар не превышает  $1^\circ$ . Данные табл. 1 и рис. 1а, б показывают, что при квазиодноосных давлениях существенно изменяется только наклон ОЛН и ромбическая анизотропия.

Отметим, что легкой оси ромбической анизотропии (азимутальному углу в плоскости пленки  $\varphi_p$ ) соответствует ось давления в плоскости пленки. Азимутальный угол наклона ОЛН ( $\theta_u$ ) не соответствует оси давления в плоскости пленки (см. табл. 1).

На рис. 2 и в табл. 2 приведены аналогичные кривые и данные расчета для образца состава  $(YdBi)_3(FeGa)_5O_{12}$  при  $P = 0$  и  $P = 2$  кбар. Анализ экспериментальных и расчетных данных для пленки состава  $(YdBi)_3(FeGa)_5O_{12}$  дает качественно похожую картину изменения статических магнитных параметров при квазиодноосном давлении, но в отличие от пленки первого состава исходная ( $P = 0$ ) пленка уже имеет существенную ромбическую компоненту. Для состава  $(YdBi)_3(FeGa)_5O_{12}$  при квазиодноосном давлении наклон ОЛН увеличился в 4 раза, а ромбическая компонента  $K_p$  только в 2 раза. Азимутальный угол ромбической компоненты  $\varphi_p$ , как и для первого состава, соответствует выделенной оси давлений в плоскости пленки. Азимутальный угол наклона ОЛН  $\varphi_u$  не совпадает с осью давления.

Таким образом, при относительно небольшом квазиодноосном давлении значительно изменяется: 1) наклон ОЛН при малом на-

клоне кристаллографической оси  $[111]$ ; 2) ромбическая анизотропия при малом изменении одноосной анизотропии. Легкой оси ромбической анизотропии соответствует ось давления в плоскости пленки (но не соответствует азимутальный угол наклона ОЛН).

При нанесении управляющих структур, имплантации пленки, различного типа дефектов могут наблюдаться аналогичные эффекты, т.к. квазиодноосные давления являются одной из моделей реальных напряжений. Отметим, что при планарных радиальных давлениях (в отличие от квазиодноосных) в несколько раз изменяется одноосная анизотропия.

Наблюдаемые эффекты связываются с искажением симметрии кристаллического поля на магнитных ионах, анизотропным обменным взаимодействием, магнитострикционным механизмом.

### Л и т е р а т у р а

- [1] H u b e r t A., M a l o z e m o f f A.P.,  
D e L u c a J.C. - J. Appl. Phys., 1974, v. 45,  
N 8, p. 3562-3571.
- [2] Д и к ш т е й н И.Е., Л и с о в с к и й Ф.В., М а н с -  
в е т о в а Е.Г., Т а р а с е н к о В.В. - Микроэлектро-  
ника, 1984, т. 13, в. 4, с. 337-347.
- [3] S h a w R.W., H i l l D.E., S a n d f o r t R.M.,  
M o d y J.W. - J. Appl. Phys., 1973, v. 44,  
N 5, p. 2346-2349.
- [4] J o s e p h s R.M. - AIP Conf. Proc., 1973, v.10,  
p. 286-303.

Донецкий физико-технический  
институт АН УССР

Поступило в Редакцию  
23 июля 1987 г.