

НАПРЯЖЕННЫЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ ПЛЕНКИ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ

Дубинко С.В., Недвига А.С., Вишневский В.Г., Шапошников А.Н., Ягупов В.С.,
Нестерук А.Г., Прокопов А.Р.

Таврический национальный университет
Украина, 95007, г. Симферополь; E-mail: domain@home.cris.net

Эпитаксиальные пленки ферритов-гранатов (ЭПФГ) находят применение в устройствах термомагнитной записи информации [1], топографирования и визуализации неоднородных магнитных полей. Особое место занимают ЭПФГ с повышенной коэрцитивной силой, которые позволяют визуализировать слабые неоднородные магнитные поля с напряженностью порядка 0.1 Ое и пространственными периодами менее 1 μm методом репликации [2]. В [3,4,5] было установлено влияние относительного рассогласования периодов решеток пленки и подложки f на изменение коэрцитивной силы H_c ЭПФГ. Авторами этих работ было показано, что H_c значительно увеличивается в диапазоне f от 0.2 до 0.5% и сделано предположение о дальнейшем увеличении H_c при f , превышающем 0.5%. Результаты экспериментальных исследований влияния f , превышающего 0.5%, на изменение коэрцитивной силы ЭПФГ в литературе не описаны. Так в [6] увеличение коэрцитивной силы ЭПФГ авторы объясняют наличием включений иридия, залегающих на разных глубинах от поверхности подложки гадолиний-галлиевого граната и локально изменяющих одноосную анизотропию пленок за счет напряжений, а влияние рассогласования периодов решеток пленки и подложки не учитывают.

Нами исследовалось влияние относительного рассогласования периодов решеток пленки и подложки, превышающего 0.5%, на поведение коэрцитивной силы ЭПФГ.

Для исследования были синтезированы ЭПФГ состава $(\text{Bi,Sm,Lu,Ca})_3(\text{Fe,Sc,Ga,Al})_5\text{O}_{12}$ на подложках гадолиний-галлиевого граната ориентации (111). Синтез проводился методом изотермической жидкофазной эпитаксии из растворов $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbO-B}_2\text{O}_3$. Величины f варьировались изменением температуры синтеза и молярных соотношений компонентов шихты.

Коэрцитивная сила пленок определялась по магнитооптическим петлям гистерезиса, полученным на магнитооптическом поляриметре, а f – по стандартной методике с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3. Эффективные поля одноосной анизотропии, поля насыщения и равновесные периоды доменной структуры пленок измерялись магнитооптическим методом. Эффективные поля одноосной анизотропии для всех ЭПФГ равнялись 10^3 Ое, поля насыщения находились в пределах от 149 до 290 Ое, значения H_c – от 25 до 70 Ое, равновесные периоды доменной структуры, измеренные после воздействия на ЭПФГ переменным магнитным полем, – от 4.6 до 8.0 μm , температура Нееля T_N пленок – от 55 до 97 °С. Толщина пленок после полировки поверхности равнялись 3-4 μm . Исследуемые ЭПФГ имели f от 0.55 до 0.85%. При указанных значениях f ЭПФГ имели не нарушенную сплошность поверхности и удельное фарадеевское вращение, достаточное для визуализации неоднородных магнитных полей. Дальнейшее увеличение f приводило к нарушению сплошности поверхности ЭПФГ, резкому ухудшению их оптических свойств и отслоению эпитаксиального слоя от поверхности подложки.

Экспериментальные исследования зависимости коэрцитивной силы ЭПФГ от f показали, что при величине f , приблизительно равной 0.7%, H_c достигает максимума (рис.1).

Можно предположить, что увеличение, переход через максимум и дальнейшее уменьшение H_c при увеличении f может быть вызвано формированием сетки дислокаций

несоответствия в пленке. Сетка дислокаций несоответствия создает периодические локализованные напряжения и, как следствие, потенциальный рельеф с периодом l , препятствующий движению доменных границ, что ведет к изменению H_c [7].

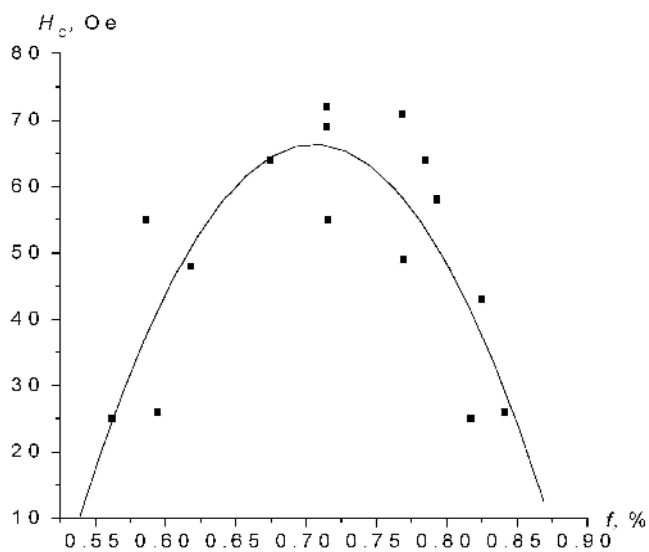


Рис. 1

Авторы работ [8,9,10], объясняя поведение коэрцитивной силы по теории напряжений, приходят к выводу, что H_c будет иметь максимальную величину для данного магнетика, если период локализованных напряжений в нем приблизительно равен ширине доменной границы. Поэтому логично принять l равным междислокационному расстоянию L_d .

Для исследуемых ЭПФГ были построены зависимости ширины доменной границы δ (блоховского и неелевского типов) и L_d от f .

Значения δ вычислялись по формулам [11]: для блоховской границы $\delta_B = \pi (A/K_u)^{1/2}$, для неелевской $\delta_N = \pi [A/(K_u + 2\pi M_s^2)]^{1/2}$, где A – константа обмена, K_u – константа одноосной анизотропии, M_s – намагниченность насыщения. Значения A рассчитывались по формуле [12]: $A = A_0(T_N - T)/(T_{N0} - T)$, где $A_0 = 3.7$ pJ/m – константа обмена железо-иттриевого граната, $T_{N0} = 560$ К – температура Нееля железо-иттриевого граната, $T = 300$ К.

Значения K_u вычислялись из измеренных эффективных полей одноосной анизотропии пленок, M_s вычислялись с использованием полей насыщения, равновесных периодов доменной структуры и толщины пленок [12]. Значения L_d , вычислялись по формуле [13,14]: $L_d = kb/f$, где $b = 2a_f a_s / (a_f + a_s)$ – численное значение вектора Бюргера дислокаций, a_f – период решетки пленки, $a_s = 12.383 \text{ \AA}$ – период решетки подложки [15], $f = [(a_f - a_s)/a_f] \cdot 100\%$. Для пленок с ориентацией (111) коэффициент $k = 1$ для краевых дислокаций и $k = 0.3$ для 60-градусных дислокаций [13].

Известно, что сетка дислокаций несоответствия может быть образована краевыми дислокациями или наклонными 60-градусными дислокациями. На рис.2 представлены зависимости $\delta_B(f)$, $\delta_N(f)$ и $L_d(f)$, где L_d – расстояние между 60-градусными дислокациями. Видно, что зависимости $\delta_N(f)$ и $L_d(f)$

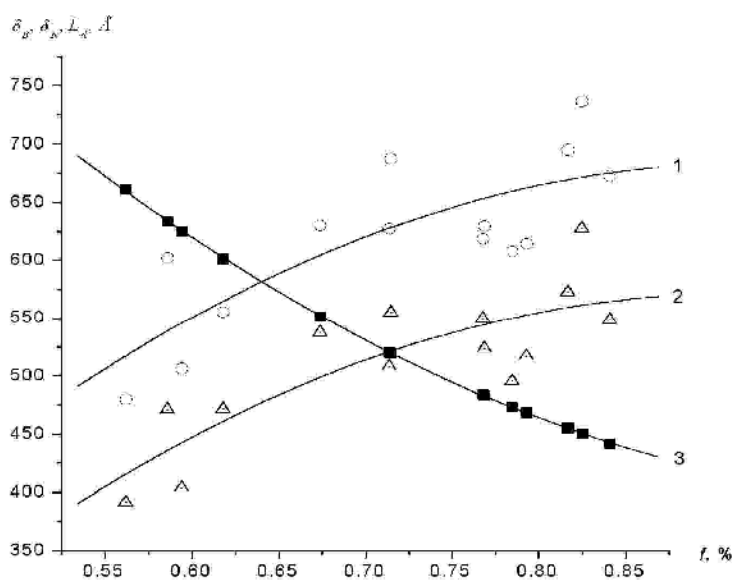


Рис. 2

пересекаются при значении f , соответствующему максимальной величине H_c на зависимости $H_c(f)$ (рис.1). Для случая краевых дислокаций зависимости $\delta_B(f)$ и $\delta_N(f)$ не имеют точек пересечения с $L_d(f)$ в исследуемом диапазоне f .

Полученные результаты о равенстве δ_N и L_d для 60-градусных дислокаций в ЭПФГ с максимальным значением H_c согласуются с выводами теории напряжений. Можно предположить, что в ЭПФГ с максимальным значением H_c реализуются доменные границы неелевского или смешанного типа, а сетка дислокаций несоответствия образована преимущественно 60-градусными дислокациями.

В результате исследований установлено, что увеличение рассогласования периодов решеток пленки и подложки приводят сначала к возрастанию, а затем к убыванию коэрцитивной силы ЭПФГ. Показано, что максимальные значения коэрцитивной силы реализуются в ЭПФГ, у которых ширина доменных границ равна периоду локализованных напряжений, вызванных сеткой дислокаций несоответствия. Период локализованных напряжений определяется величиной рассогласования периодов решеток пленки и подложки.

Полученные результаты позволяют прогнозировать поведение коэрцитивной силы в ЭПФГ в широком диапазоне рассогласований периодов решеток пленки и подложки, а, следовательно, синтезировать пленки с требуемыми величинами коэрцитивной силы.

Работа финансировалась Министерством образования и науки Украины по разделу бюджета Украины "Прикладные разработки по направлениям научно-технической деятельности высших учебных заведений".

Литература

- [1] F. Inoue, A. Itoh, K. Kawanishi. Jap. J. Appl. Phys. 19, 11, 2105 (1980).
- [2] R.M. Mikherskii, S.V. Dubinko, V.G. Vishnevskii, A.S. Nedviga, A.R. Prokopov. Functional Materials 9, 1, 115 (2002).
- [3] А.М. Балбашов, А.Я. Червоненкис, М.Л. Шупегин, А.П. Черкасов. Микроэлектроника 11, 2, 126 (1982).
- [4] D.M. Gualtieri, P.F. Tumelti. J. Appl. Phys. 57, 8, 3879 (1985).
- [5] Л.А. Довбня, Д.Е. Наумов, Б.В. Храмов. Письма в ЖЭТФ. 73, 7, 410 (2001).
- [6] J.A. Jatau, M. Pardavi-Horvath, E. Della Torre. J. Appl. Phys. 75, 10, 6106 (1994).
- [7] В.В. Рандошкин, А.Я. Червоненкис. Прикладная магнитооптика. Энергоатомиздат, М. (1990). 320 с.
- [8] Р. Бозорт. Ферромагнетизм. Изд-во иностр. литер., М. (1956). 784 с.
- [9] С.В. Вонсовский. Магнетизм. Наука, М. (1971). 1032 с.
- [10] В.И. Ивановский, Л.А. Черникова. Физика магнитных явлений. Семинары. Изд-во Моск. ун-та, М. (1981). 288 с.
- [11] Ф.В. Лисовский. Физика цилиндрических магнитных доменов. Сов. радио, М. (1979). 192 с.
- [12] А.М. Балбашов, Ф.В. Лисовский, В.К. Раев и др. Элементы и устройства на цилиндрических магнитных доменах: Справочник. Радио и связь, М. (1987). 488 с.
- [13] Дж.Х. Ван-дер-Мерве. В кн.: Монокристаллические пленки. Мир, М. (1966). С. 172.
- [14] М.Г. Мильвидский. Полупроводниковые материалы в современной электронике. Наука, М. (1986). 144 с.
- [15] Л.С. Палатник, В.К. Сорокин. Материаловедение в микроэлектронике. Энергия, М. (1978). 280 с.