

5) Разрушение мишени начинается в момент достижения одной из компонент тензора напряжений предела прочности ПММА на растяжение. В данном случае из расчетов следует, что материал начинает разрушаться в области концентрации растягивающих напряжений σ_x в момент времени, соответствующий 4 мкс. При $t = 6$ мкс проявляется действие растягивающих радиальных напряжений σ_r и контур центрального осколка замыкается, процесс разрушения мишени завершается полным отделением центрального осколка.

В целом теоретический расчет совпадает с экспериментально полученной картиной разрушения и дает дополнительную информацию о точном времени начала разрушения (4 мкс) и компонентах тензора деформации, ответственных за нее.

Список литературы

- [1] *Беляков Л.В. и др.* // ЖТФ. 1963. Т. 33. Вып. 8. С. 990.
- [2] *Титов В.И. и др.* // ДАН СССР. 1970. Т. 191. № 2. С. 298.
- [3] *Никифоровский В.С., Шемякин Е.И.* Динамическое разрушение твердых тел. Новосибирск: Наука, 1979.
- [4] *Veddez J.E., Mandeville J.C.* // J. Geophys. Res. 1974. Vol. 79. N 23. P. 3247.
- [5] *Бушман А.В., Канель Г.И., Ни А.Л. и др.* // Препринт ИОФХ. Черноголовка, 1983.
- [6] *Абаэтов М.М., Вовченко В.И., Кильпио А.В. и др.* // Препринт ИВТАН. М., 1990.

05;06
© 1995 г.

Журнал технической физики, т. 65, в. 7, 1995

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ В КОРОННОМ РАЗРЯДЕ НА ФОРМУ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК Vi-СОДЕРЖАЩИХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ

В.Г.Костишин, Л.М.Летюк

Московский институт стали и сплавов,
117936, Москва, Россия
(Поступило в Редакцию 1 ноября 1994 г.)

Эпитаксиальные монокристаллические пленки Vi-содержащих ферритов-гранатов находят широкое применение в качестве активных сред магнитооптических устройств записи и обработки информации [1] и, сочетая в себе целый комплекс важных магнитных и диэлектрических свойств, являются уникальным объектом для физических исследований.

Обработка в униполярном коронном разряде может изменять как свойства феррит-гранатовых пленок [2] (в частности, энергетическое состояние дефектов [3]), так и параметры приборов на их основе [4]. Целью данной работы было исследование влияния обработки в отрицательном коронном разряде на форму петли гистерезиса эпитаксиальных Vi-содержащих феррит-гранатовых пленок.

Образцами служили пластинки, вырезанные из феррит-гранатовой структуры $(VPrLuBi)_3(FeGa)_5O_{12}$, выращенной методом жидкофазной эпитаксии из раствора в расплаве на подложке $(GdCa)_3(GaMgZr)_5O_{12}$ кристаллографической ориентации (210). Толщина пленки составляла $h = 7$ мкм, намагниченность насыщения $4\pi M_s = 120$ Гс, удельное фарадеевское вращение $\theta_F = 1.8$ град/мкм. Использовались образцы разной формы (треугольник, прямоугольник, неправильный четырехугольник, окружность) и площади 40–220 мм². Обработка проводилась на установке коронного разряда типа пластина-игольчатый электрод, а также на специально разработанной нами установке коронного разряда на основе магнетронного эффекта [5]. Время обработки в разряде варьировалось в пределах 1.1–76 ч. Регистрация петель гистерезиса пленок в исходном состоянии и после каждого акта обработки проводилась на вибромагнетометре М-155 фирмы EG&G.PARC (США).

Коэффициент прямоугольности α петли определялся по формуле

$$\alpha = \frac{B_r}{B_m}, \quad (1)$$

где B_r — остаточная магнитная индукция, B_m — индукция при магнитном поле $H_m = 5H_c$, H_c — коэрцитивная сила.

Коэффициент квадратности η петли определялся

$$\eta = \frac{B'}{B''}, \quad (2)$$

где B' — индукция при магнитном поле $H' = -H'_m/2$, B'' — магнитная индукция при $H'' = H'_m$, $H'_m = 1.5H_c$.

Коэффициент асимметрии петли K_{as} рассчитывался как отношение ее площади в верхних квадрантах к площади в нижних квадрантах. В исходном состоянии K_{as} петель гистерезиса всех исследуемых образцов был равен 1.11–1.13 и не зависел от формы и величины площади образца. Обнаруженная асимметрия петли (рис. 1, а) говорит о наличии в исследуемой пленке некоторой однонаправленной магнитной анизотропии. Поскольку феррит-гранатовые структуры кристаллографической ориентации (210) обладают орторомбической анизотропией [1], то проявление асимметрии петли как раз и является, по всей видимости, следствием ее существования.

В результате исследований установлено, что обработка образцов в коронном разряде приводит к сильному изменению формы их петель гистерезиса (рис. 1, а–г). Начиная с 3–3.5 ч обработки петля приобретает форму прямоугольной, при этом коэффициент прямоугольности $\alpha = 0.56–0.58$, коэффициент квадратности $\eta = 0.56–0.60$. При 7–8 ч обработки α достигает значения 0.70–0.72 (увеличивается на 24–25%) и дальнейшая обработка не приводит к его изменению. Угол наклона β кривой намагничивания исследуемых образцов монотонно увеличивается и, начиная с $t_{tr} = 32$ ч выходит на насыщение (рис. 2, а). Максимальное увеличение β равнялось 15–18%. Длина l_{AB} ограниченного петлей гистерезиса отрезка АВ прямой наклона кривой намагничивания с течением времени обработки уменьшается по линейному закону (рис. 2, а); максимальное уменьшение длины 14–15%. Более сложный

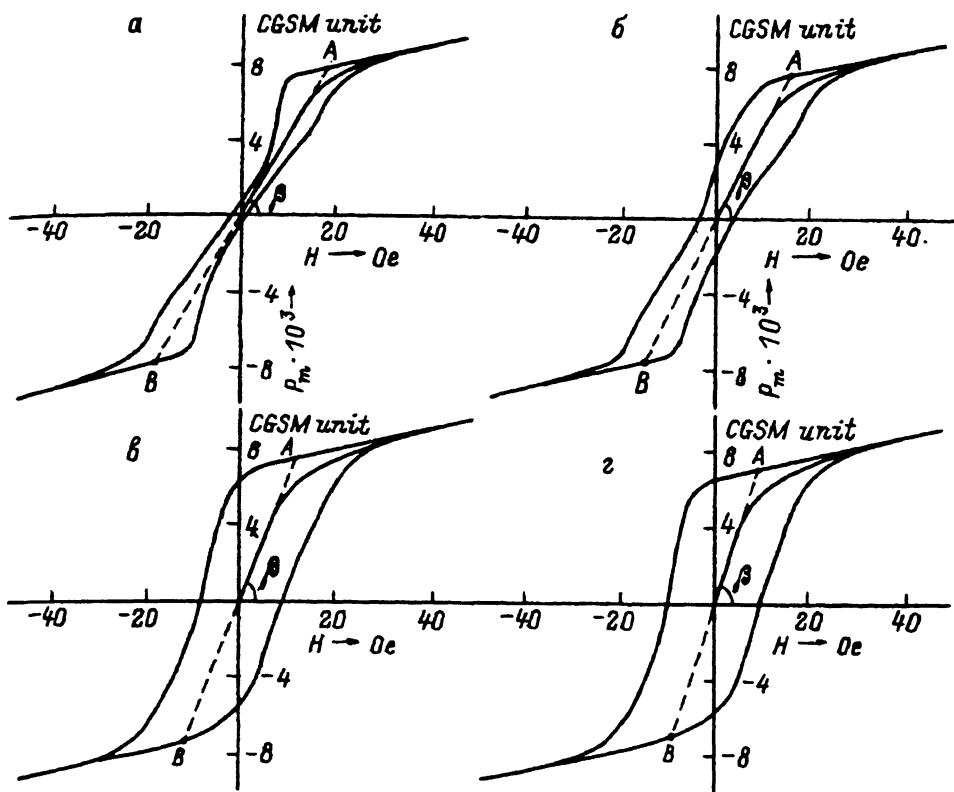


Рис. 1. Петли гистерезиса эпитаксиальной феррит-гранатовой пленки $(VPrLuBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ кристаллографической ориентации (210) после обработки в отрицательном коронном разряде (прямоугольный образец площадью 200 мм^2). а — исходное состояние, б — $t_{tr} = 2.0$, в — 7.5, г — 76 ч.

вид имеют зависимости от времени обработки в “короне” коэффициентов квадратности η и асимметрии K_{as} петли (рис. 2, б). Так, для графика $K_{as} = f(t_{tr})$ характерно наличие двух максимумов, что говорит о сложном изменении орторомбической анизотропии при обработке. График зависимости $\eta = f(t_{tr})$ имеет вид латинской N (рис. 2, б). Максимальный относительный рост K_{as} (точки C и D на рис. 2, б) равен 10–12%, максимальное увеличение η (точки E и F на рис. 2, б) 58–60 и 61–63% соответственно. Из всех контролируемых параметров петли гистерезиса наибольшее изменение претерпевает коэрцитивная сила H_c . Интенсивно возрастая уже с начальных значений времени обработки, она увеличивается на отрезке насыщения графика зависимости $H_c = f(t_{tr})$ в 6–8 раз. График зависимости $H_c = f(t_{tr})$ имеет такой же вид, как и кривая $\beta = f(t_{tr})$.

Магнитный момент P_m исследуемых образцов при обработке в разряде не изменялся. Зависимости наблюдаемых эффектов от величины площади исследуемых образцов и их формы обнаружено не было.

Известно [2,6], что обработка феррит-гранатовых пленок в коронном разряде ведет к их электретированию и индуцированию в объеме пленки

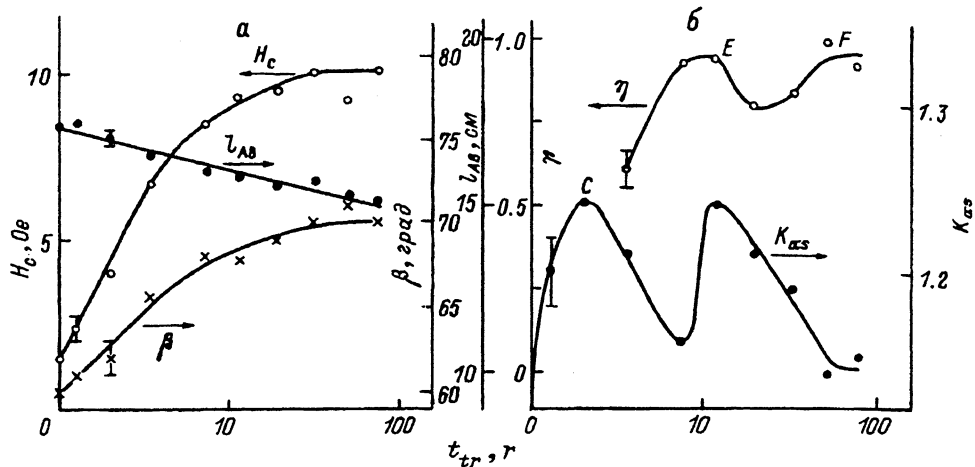


Рис. 2. Изменение параметров петли гистерезиса эпитаксиальной феррит-гранатовой пленки $(VPrLuBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ кристаллографической ориентации (210) при обработке в отрицательном коронном разряде (прямоугольный образец площадью 200 мм²).

a — коэрцитивная сила H_c , угол наклона β кривой намагничивания образца и длина l_{AB} ограниченного петлей отрезка AB прямой наклона кривой намагничивания; *б* — коэффициенты квадратности η и асимметрии K_{as} петли.

нок электрического поля большой величины. Это должно приводить к изменению параметров образцов прежде всего за счет магнитоэлектрического эффекта. Обнаруженный в [7] в пленках ферритов-гранатов линейный по электрическому полю гигантский магнитоэлектрический эффект, запрещенный для структуры граната, дает основание предполагать, что при короноэлектретировании исследуемых эпитаксиальных структур должна эффективно изменяться кристаллографическая магнитная анизотропия. Следует отметить, что такой результат был получен нами экспериментально для используемых в производстве элементов памяти на цилиндрических магнитных доменах гранатовых пленок $(VSmLuCa)_3(FeGa)_5O_{12}$ и $(VGdBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ кристаллографической ориентации (111) при их обработке в отрицательном коронном разряде [2]. Из таких контролируемых магнитных параметров как период доменной структуры P_0 , поля коллапса H_0 , эллиптической неустойчивости H_2 и эффективной магнитной анизотропии H_k максимально (на 20–25%) изменялась H_k . Причем график зависимости $H_k = f(t_{tr})$ имел такой же вид, как и кривая $\eta = f(t_{tr})$ для исследуемых в данной работе пленок $(VPrLuBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ (рис. 2, б). Роста H_c для пленок $(VSmLuCa)_3(FeGa)_5O_{12}$, $(VGdBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ мы не наблюдали.

Особенностью технологии получения Bi -содержащих феррит-гранатовых структур для магнитооптики является их выращивание при больших переохлаждениях раствора-расплава, что делает пленки многослойными [1]. При обработке в отрицательном коронном разряде происходит инжекция отрицательного заряда в поверхностные слои пленки и последняя становится электретом. В электрическом поле гомозаряда заряженной пленки электрически активные дефекты, диполи ориентируются в направлении поля; отрицательно заряженные дефекты и свободные электроны движутся к границе пленка-подложка, а

положительно заряженные дефекты и дырки — к поверхности пленки. При этом на границах слоев пленки, на границе пленка-подложка формируются поляризационные заряды, накапливаются заряженные дефекты (границы слоев всегда служат хорошим стоком для дефектов). Поэтому увеличение H_c пленки с ростом времени обработки в разряде обусловлено взаимодействием доменной структуры с поляризационными зарядами, заряженными дефектами на границах слоев пленки. Со временем обработки величины заряда концентрация дефектов на границах слоев пленки достигает максимального значения и зависимость $H_c = f(t)$ выходит на насыщение.

Сложный вид зависимости $\eta = f(t)$ мы объясняем изменением при обработке в коронном разряде поверхностного заряда пленки — переходом гомозаряда в гетерозаряд.

В заключение сформулируем основные выводы.

1. Обнаружена асимметрия петли гистерезиса гранатовой магнитной пленки $(VPrLuBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ кристаллографической ориентации (210). Предполагается, что причиной асимметрии является наличие в магнитной пленке орторомбической анизотропии.

2. Впервые для эпитаксиальных феррогранатов обнаружен гигантский рост коэрцитивной силы при их обработке в отрицательном коронном разряде.

3. Предполагается, что изменение параметров петли гистерезиса феррит-гранатовой пленки $(VPrLuBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ кристаллографической ориентации (210) при короноэлектретировании обусловлено двумя основными эффектами: а) характерным для гранатовых магнитных пленок гигантским линейным магнитоэлектрическим эффектом; б) накоплением на границах слоев пленки поляризационных зарядов и заряженных дефектов. По всей видимости, первый эффект является ответственным за изменение таких параметров, как K_{as} и η , второй — за H_c , α , β , l_{AB} .

4. Полученные результаты могут найти широкое применение при разработке новых принципов записи оптической информации и магнитооптических элементов памяти.

Авторы выражают искреннюю благодарность В.П. Клину за любезно предоставленную для исследований феррит-гранатовую структуру.

Список литературы

- [1] Рандошкин В.В., Червоменкис А.Я. Прикладная магнитооптика. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.
- [2] Kostishyn V.G., Letyuk L.M., Shipko M.N. // Digest of European Magnetic Materials & Applications Conf. (EMMA'93). 1993. P. 180.
- [3] Костишин В.Г., Костюк В.Х., Летюк Л.М., Шипко М.Н. // Электронная техника. Сер. 6. Материалы. 1987. Вып. 4 (225). С. 32-34.
- [4] Ануфриев А.Н., Костишин В.Г. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. Вып. 13. С. 1-5.
- [5] Костишин В.Г., Летюк Л.М., Ануфриев А.Н. и др. Устройство для получения униполярного коронного разряда. А.С. СССР. № 1612917.
- [6] Шипко М.Н., Костюк В.Х., Подтяжкин Е.Я., Костишин В.Г. // ЖТФ. 1986. Т. 56. Вып. 1. С. 201-203.
- [7] Кричевцов Б.Б., Павлов В.В., Писарев Р.В. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. Вып. 8. С. 466-469.