

05.2

НЕОДНОРОДНАЯ ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА
В ТОНКИХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

В.Т. Д о в г и й, А.А. К а л к и н

При квазистатическом размагничивании ЦМД-содержащих пленок кроме решетки полосовых доменов (РПД) наблюдается структура с цилиндрическими магнитными доменами ЦМД, причина образования которой окончательно не выяснена [1-6]. Замечено, что образование ЦМД стимулируют локализованные дефекты пленок [2, 3]. Однако это нуждается в более детальном обосновании.

В настоящей работе изучено образование доменной структуры в дефектном образце эпитаксиальной феррит-гранатовой пленки (111)-ориентации и состава $(LuBi)_3(FeGa)_{50}O_{12}$, имеющем несколько хорошо различимых царапин. Пленка имела толщину $L \approx 11$ мкм, намагниченность насыщения $M_0 \approx 48$ гс и период равновесной РПД $\rho_0 \approx 6$ мкм. Образец, находившийся при комнатной температуре, намагничивался до насыщения внешним однородным магнитным полем, почти параллельным плоскости пленки. Затем напряженность поля медленно снижалась и одновременно визуально, с помощью поляризационного микроскопа, контролировалось магнитное состояние пленки.

Как и ожидалось, в зависимости от ориентации поля наблюдалось преимущественно по пленке образование либо РПД, либо аморфной решетки ЦМД (РЦМД), которую можно считать неоднородной по конфигурации доменов структурой. В окрестности же царапин были обнаружены полосовые участки РПД и РЦМД и примыкавшие к царапинам домены неправильной формы (рис. 1). Эта крупномасштабная неоднородность структуры отражает очевидно неоднородность магнитных свойств пленки, вызванную ее неоднородными напряжениями.

На начальном этапе размагничивания пленки, при снижении напряженности поля от поля зарождения доменов $H^n = 1650 \pm 50$ э до $H \sim 1$ Кэ, наблюдалось преобразование ПД в ЦМД, приводившее к сужению участков РПД. Некоторые участки РПД сужались до одиночной доменной стенки (рис. 1, б), символизирующей собой, как и РПД, однородную область в неоднородной доменной структуре.

Как наблюдалось при многократных повторных размагничиваниях образца, неоднородные рост доменов в размерах и попарное слияние отдельных ЦМД приводили к хаотическим их смещениям, что в результате вызывало некоторую невоспроизводимость конфигурации структуры. В связи с этим потребовалось статистическое усреднение структуры, позволившее выделить условные прямолинейные границы ее участков. Отдельные искривления этих границ, а также бесформенные участки структуры, обусловленные неконтролируемыми дефектами пленки, игнорировались.

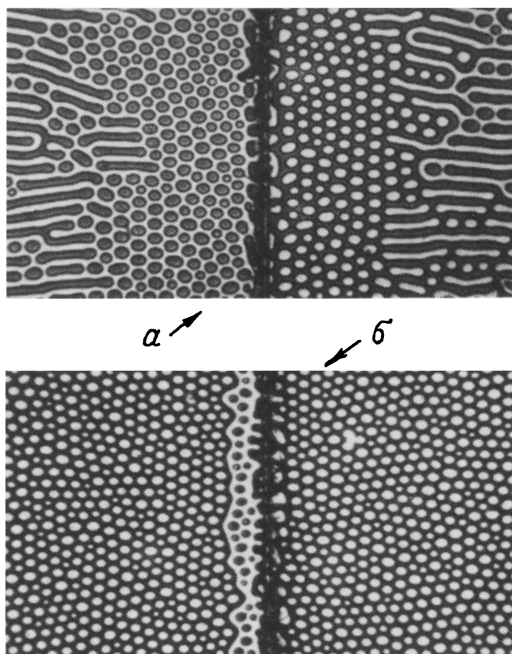


Рис. 1. Доменная структура в окрестности царапины, образовавшаяся при различных ориентациях внешнего поля относительно пленки и царапины: а - $\theta = 0$, $\varphi = \frac{\pi}{2}$; б - $\theta = 0.018$ рад, $\varphi = \frac{\pi}{2}$. Снимки сделаны при $H = 150$ Э и $H = 300$ Э соответственно.

Измеренная зависимость положения y таких границ относительно царапины от ориентации поля относительно плоскости пленки (угол θ) представлена сплошными и пунктирными линиями на рис. 2. Выбранная царапина была перпендикулярна плоскостной компоненте поля ($\varphi = \frac{\pi}{2}$) и параллельна кристаллографической оси пленки $[11\bar{2}]$ ($\varphi_c = 0$). Области, обозначенные „+“ и „-“ на рисунке, отображают условия образования РЦМД указанной полярности, определявшейся по наибольшим доменам, а затрихованные области - РПД ($|y| > 35$ мкм), и доменов неправильной формы ($|y| < 5$ мкм).

Аналогичные измерения при других ориентациях поля и на других царапинах позволили определить условия образования неполярной структуры в данной пленке:

$$\theta^n(y) = \theta_1^n(y) \cos(\varphi - \frac{\pi}{2}) + \theta_3^n \cos(\varphi - \varphi_c) + \Delta, \quad (1)$$

где $\theta_1^n(y)$ - зависимость, отраженная на рис. 2 кривой n , и ее продолжением в затрихованные области; $\theta_3^n \approx 0.025$; а $\Delta \sim +0.003$ - ошибка измерений. Здесь согласно методу фазовых переходов [5], кроме кубической анизотропии пленки (трехкратная гармоника),

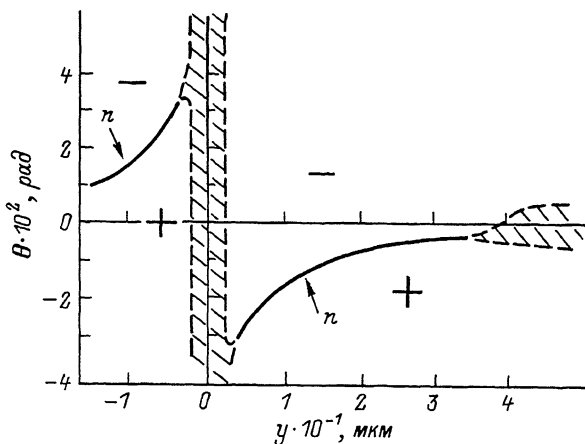


Рис. 2. Диаграмма полярности доменной структуры в пленке.

проявляется как однократная гармоника отклонение от нормали к пленке оси легкого намагничивания (ОЛН) одноосной анизотропии:

$$\theta_u = (1 - q - 0.5k_c) |\theta_1^n|, \quad \varphi_u = -\frac{\pi}{2} \operatorname{sgn}(\theta_1^n), \quad (2)$$

где $k_c = \frac{K_c}{K_u} \approx 0.23$ — отношение констант кубической и одноосной анизотропии, а $q \leq \frac{2\pi M_0^2}{K_u}$ — фактор, зависящий от характера распределения намагниченности в насыщенной пленке и достигающий предельного значения $q \approx 0.3$ при однородном ее распределении.

Как показал приближенный микромагнитный расчет, неоднородность ОЛН вызывает ориентационную неоднородность намагниченности

$$\theta_m^* = \frac{1+k}{q+0.5k_c+k} \theta^*, \quad \varphi_m = \varphi, \quad (3)$$

где $k = \frac{HM_0}{2K_u} - 1$, а θ_m^* и θ^* ориентации соответственно намагниченности и внешнего поля относительно критического направления

$$\theta^n = \frac{\theta_u \cos(\varphi - \varphi_u) + 0.23k_c \cos(\varphi - \varphi_c)}{q + 0.5k_c - 1}. \quad (4)$$

Эта зависимость (3) позволяет объяснить образование неоднородной доменной структуры неоднородностью намагниченности по полярности (т.е. неоднородностью $\operatorname{sgn}(\theta_m^*)$). Соответствие полярности участков структуры с полярностью намагниченности при

зарождении доменов отчасти наблюдалось в данной работе визуально. При этом возникновение неполярных участков вполне объяснимо тепловой флуктуацией намагниченности, там где она превышает или сравнима с θ_M^* .

Как видно из (3), обсуждаемая неоднородность возникает в ограниченном диапазоне по θ , когда $|\theta| < \max(\theta^a)$. Обратная пропорциональность θ_M^* фактору q и k объясняет наблюдавшееся сужение участков с РПД, а также предпочтительное образование неоднородной структуры в пленках с малым q [4, 5].

Таким образом показано, что причиной крупномасштабной неоднородности доменной структуры в исследуемой пленке является неоднородность ОЛН. Кроме того, как видно из соотношения (4), причиной этому могла быть также неоднородность q и k_c . Необходимо лишь наличие в пленке наклонных осей анизотропии, т.е. ненулевых θ_u и k_c .

Образование РЦМД, благодаря которой проявляется крупномасштабная неоднородность структуры, можно считать следствием квазипериодической мелкомасштабной неоднородности свойств пленки. На это указывает аморфность РЦМД и аналогия в образовании отдельного ЦМД и полосового участка с РЦМД, ограниченного одиночными доменными стенками (рис. 1б). Как и ЦМД, такой участок образуется в ограниченном диапазоне ориентаций внешнего поля и в более низких полях чем другие участки. Однако форма и положение ЦМД определяются в основном магнитостатическим и обменным взаимодействиями в магнетике, и лишь видимо в момент зарождения доменов на них существенно сказывается распределение свойств пленки.

Результатом сильной среднемасштабной неоднородности свойств пленки являются домены неправильной формы возле царапины (рис. 1). Кроме многочисленных дефектов здесь также существенно поле рассеивания от царапины.

Итак, образование неоднородной доменной структуры в тонкой пленке вполне объяснимо неоднородностью ее свойств. Это согласуется с выводами работы [7], где в идеальных пленках предсказывается образование только РПД.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] K a s z e r J., G e m p e r l e R. // Czech. J. Phys. 1961. В11. N 7. P. 510-522.
- [2] A k s e l r a d A. // AIP Conf. Proc. 1972, N 10, P. 408-503.
- [3] 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.
- [4] 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. // ЖЭТФ. 1984. Т. 86, В. 4, С. 1473-1494.

- [5] Дикштейн И.Е., Лисовский Ф.В., Мансветова Е.Г., Тарасенко В.В. // Микроэлектроника. 1984. Т. 13. Вып. 4. С. 337-347.
- [6] Довгий В.Т., Калкин А.А., Шаповалов В.А. В кн.: Тезисы докладов. Саранск. 1984. С. 37.
- [7] Goldstein R.M., Muller M.W. - Phys. Rev. 1970. B2. P. 4585-4594.

Донецкий
физико-технический
институт

Поступило в Редакцию
1 марта 1989 г.