

ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАНАЛОВ В ПЛЕНКАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОЛЕЙ, ПРИЛОЖЕННЫХ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНО К ПЛОСКОСТИ ОБРАЗЦА

Я. М. ПОГОСЯН, А. К. ОВСЕПЯН

В работе обсуждаются возможные причины формирования низкоэергитивных каналов в тонких ферромагнитных пленках под действием внешних полей, приложенных перпендикулярно к поверхности образца. Показано, что главная роль в формировании каналов принадлежит структурному фактору — трехмерности дисперсии направлений анизотропии. Геометрический фактор (деформацию пленки) следует причислить к числу факторов, задающих структурные неоднородности.

При перемангничивании тонких ферромагнитных пленок в направлении нормали к поверхности образца z при полях, значительно меньших $4\pi I_s$ (I_s — намагниченность насыщения), электронномикроскопически наблюдается формирование узких каналов, протяженность которых совпадает с осью легкого намагничивания (ОЛН) [1]. Согласно работам [2, 3], векторы намагниченности вне каналов (I_p) устанавливаются практически в направлении z с небольшой компонентой вдоль оси трудного намагничивания (ОТН), тогда как в самих каналах вектор намагниченности I_k совершает сложную блох-неелевскую прецессию по ширине каналов.

Оставляя в стороне вопрос о перспективности такой структуры с точки зрения практического использования [4, 5] (каналы легко перемангничиваются под действием небольших полей, приложенных в плоскости пленки, в результате возникновения и смещения «линий» Блоха, являющихся носителями информации [6]), в настоящей работе мы рассматриваем возможные причины формирования магнитных каналов.

Формирование каналов в тонких пленках обусловлено, очевидно, неоднородным вращением намагниченности под действием поля H_z . В этой связи неоднородное вращение возможно при наличии либо геометрической неоднородности в пленке, либо структурных особенностей в самой пленке. Рассмотрим влияние каждого из этих факторов в отдельности.

1. Геометрический фактор.

Свободная от подложки пленка может претерпевать деформацию в виде гофра, и, как указано в работах [7—9], этот фактор может привести к возникновению каналов. В самом деле, пусть деформированная пленка имеет синусоидальный профиль вдоль оси трудного намагничивания (рис. 1А). В поле H_z в каждой из локальных областей a и c пленки возникает тангенциальная составляющая поля H_z в направлении ОТН x , равная

$$H_z = H_z \frac{2\pi A}{\lambda} \cos \frac{2\pi}{\lambda} x,$$

где A — амплитуда колебания, λ — длина волны колебания.

Необходимыми условиями формирования каналов являются следующие:

- а) синусоидальный профиль должен совпадать с ОН;
- б) в областях a и c пленки (рис. 1) величина возникшего поля H_z по ОН должна превышать поле анизотропии пленки H_k .

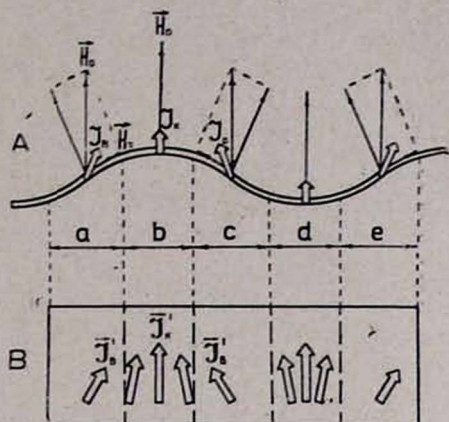


Рис. 1. Схематическое изображение формирования каналов в пленке под действием поля H_z из-за неоднородности рельефа поверхности образца: A — профиль пленки, B — вид сверху.

Тогда в областях a , c и e компоненты векторов намагниченности, лежащие в плоскости пленки, повернутся по ОН, и магнитная структура пленки, схематически изображенная на рис. 1В, перейдет в структуру, аналогичную приведенной на рис. 5 работы [2].

2. Структурный фактор

При изучении роли геометрического фактора в формировании каналов исходят из предположения, что рассматриваемая пленка является «идеальной». Однако реальным ферромагнитным пленкам присущи специфические свойства, которые приводят к отклонению от идеальной модели Стонера—Вольфарта. Одна из характерных особенностей реальных пленок — наличие в них дисперсии анизотропии как по амплитуде, так и по направлению. С учетом этого обстоятельства и того, что дисперсия анизотропии может быть трехмерной [10], согласно модели Кроутера [11] и интерпретации Гоффмана [12, 13], можно предвидеть процесс формирования каналов, представляющий собой аналог процесса разбиения пленки на домены после ее насыщения в направлении ОН, если рассматривать поведение пленки после ее насыщения в направлении z . Фактически микромагнитную структуру пленки при каналировании [1—3] можно представить как состояние распада пленки на домены, но здесь процесс этого распада более сложен из-за пространственного распределения векторов намагниченности.

Для установления решающей роли того или иного фактора следует принять во внимание следующие экспериментальные факты.

1. Координаты каналов строго фиксированы: каналы всегда возникают на одних и тех же микроучастках пленки как при циклическом намагничивании, так и при перемагничивании образца.

2. Протяженность каналов всегда совпадает с ОЛН образца, если даже поле H_z не направлено по ОН.

3. Два соседних канала по размерам одинаковы.

4. Пространственное распределение вектора намагниченности I_k в канале симметрично относительно оси канала, хотя и в двух соседних каналах b и d характер распределения отличается (конвергентный b и дивергентный d типы [2, 3]).

5. Тип каналов не меняется с изменением полярности внешнего приложенного поля H_z .

Нетрудно видеть, что только геометрическим фактором нельзя объяснить все эти экспериментальные факты. Отметим некоторые из них.

а) При возникновении поля H_z непараллельно ОН можно ожидать формирования каналов из-за возникновения магнитных зарядов; но тогда направленность каналов не совпадала бы с направлением ОЛН, а структура в них не была бы симметричной относительно канала, и, кроме того, с изменением полярности поля H_z должно было наблюдаться смещение каналов.

б) Из рис. 1 следует, что с изменением полярности поля структура соседних каналов меняется: канал d становится дивергентным, канал b — конвергентным, но, как показали наши исследования, структура каналов с изменением полярности поля H_z не меняется.

в) При исследовании формирования каналов в монокристаллических пленках Fe и $Ni-Fe$, обладающих двухосной анизотропией в плоскости образца (в исходном состоянии они имеют магнитную структуру типа шахматной доски), обнаружены каналы любой конфигурации.

Более того, приложение поля в плоскости образца под любым углом φ к оси анизотропии, что равносильно изменению направления действия поля H_z , не вызывает изменения ни направленности, ни ширины каналов. Оно лишь может «перемагнитить» каналы в результате возникновения «линий Блоха» и последующего их перемещения по каналу. На рис. 2а приведена микрофотография монокристаллической пленки железа в состоянии каналирования, а на рис. 2б, в — микрофотографии того же участка пленки под действием дополнительного поля H_x в плоскости образца, из которых видно, что поле H_x приводит лишь к смещению «блоховских линий» по каналам, в которых компонента вектора намагниченности в плоскости пленки антипараллельна полю H_x . Протяженность каналов схематически показана заштрихованными областями на рис. 2г.

Тот факт, что в одноосно-анизотропных ферромагнитных пленках возникающие каналы устанавливаются строго по ОЛН, а в двухосных пленках приобретают различную конфигурацию, обусловленную, по-видимому, размерами соседних доменов (в исходном состоянии они имеют структуру типа шахматной доски), непосредственно указывает на преобладающую роль структурного фактора в формировании каналов. Естественно, для

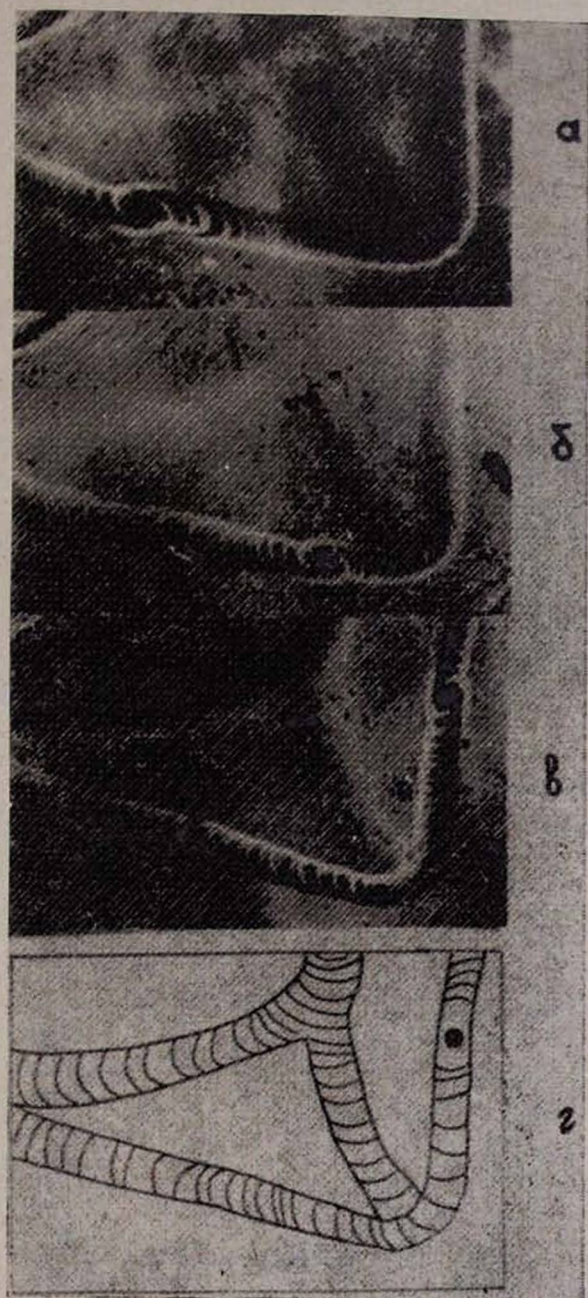


Рис. 2. Микрофотография каналов в монокристаллических пленках *Fe*: *a* — исходное состояние; *б, в* — смещение «линии Блоха» под действием поля H_x ; *z* — схематическое изображение каналов на рисунке *в*.

однозначного установления роли отдельных факторов необходимо также выявить структуру каналов в случае, когда пленка закреплена на подложке. Наши предварительные наблюдения методом Акулова—Биттера не выявили каналов, однако это неудивительно, так как границы каналов не есть границы доменов, и контраст электронномикроскопических изображений фактически обусловлен наличием ряби намагниченности в каналах.

Тем не менее следует утверждать, что главная роль в формировании каналов принадлежит структурному фактору. Геометрический фактор следует причислить к числу факторов, задающих структурные неоднородности в пленках. Основанием для такого утверждения служит следующее. На рис. 3а приведено сфокусированное электронномикроскопическое изображение пленки, находящейся под действием поля H_z . Видно, что плен-

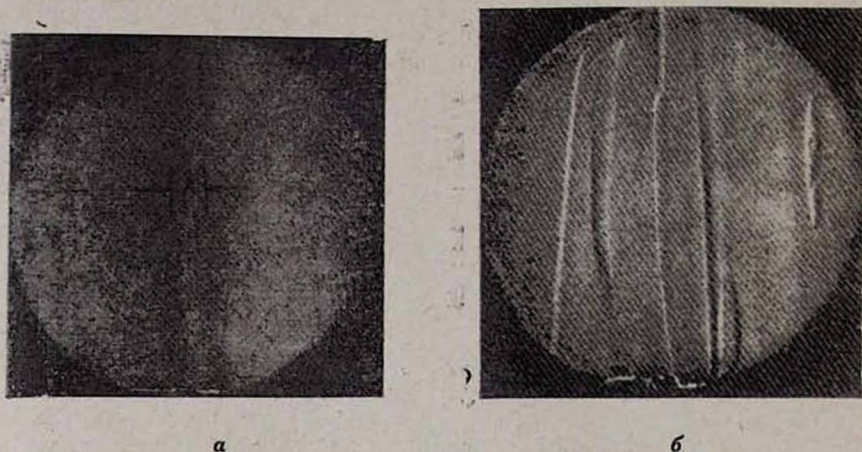


Рис. 3. Сфокусированное изображение участка деформированной пленки (можно видеть наличие гофра) (а); выявление каналов на том же участке при расфокусировании изображения (б).

ка имеет волнообразный рельеф, обусловленный, по-видимому, разрывом пленки у края стенки, и согласно схеме рис. 1 расстояние между центрами соседних каналов должно составлять $\lambda/2$. Но как видно из рис. 3б, где приведенное на рис. 3а изображение расфокусировано промежуточной линзой для наблюдения магнитной структуры, это расстояние составляет $\sim \lambda$, т. е. образующиеся каналы по ширине не соответствуют тому, что следовало бы из рельефа пленки, вызванного разрывом.

Ереванский государственный
университет

Поступила 28.VI.1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. М. Погосян, С. Д. Геворкян, Р. Штраубель. Phys. Stat. Sol., 49, К3 (1978).
2. Я. М. Погосян, С. Д. Геворкян, Т. А. Погосян. ФММ, 47, 875 (1979).
3. Я. М. Погосян, С. Д. Геворкян. Изв. АН АрмССР, Физика, 14, 199 (1979).
4. В. И. Малютин, Г. И. Марышева. Автоматика и телемеханика, 10, 146 (1970).

5. Н. П. Васильева, В. И. Мажулин. Приборы и системы управления, 6, 15 (1976).
6. L. J. Schwes. *Electroinc Design*, 5, 1 (1974).
7. P. Vigier, P. Haymann. *Phys. Stat. Sol.*, 34, 649 (1969).
8. D. C. Hothervall. *Phys. Stat. Sol.*, 34, 677 (1969).
9. P. Vigier, P. Haymann. *C. R. Acad. Sci (France)*, 267B, 22 (1968).
10. А. Г. Лесник. Наведенная магнитная анизотропия, Изд. Наукова думка, Киев, 1976.
11. T. S. Chrowther. *J. Appl. Phys.*, 34, 580 (1963).
12. H. Heffmann. *J. Appl. Phys.*, 35, 1970 (1964).
13. H. Hoffmann. *Phys. Kond. Materie*, 2, 32 (1954).

**ՆՄՈՒՇԻ ՀԱՐԹՈՒԹՅԱՆԸ ՈՒՂՂԱՀԱՅԱՑ ԿԻՐԱՌՎԱԾ ԴԱՇՏԵՐԻ
ԱԶԳԵՑՈՒԹՅԱՆ ՏԱԿ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐՈՒՄ ԿԱՆԱԼՆԵՐԻ
ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐ ՊԱՏՃԱՌՆԵՐԸ**

Յա. Մ. ՊՈԳՈՍՅԱՆ, Ա. Կ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

Աշխատանքում քննարկվում են նմուշի մակերեսին ուղղահայաց ուղղված դաշտերի ազդեցության տակ բարակ ֆերոմագնիսական թաղանթներում փոքր կոերցիտիվությամբ կանալների առաջացման հնարավոր պատճառները: Ցույց է տրված, որ կանալների առաջացման մեջ զլխավոր դերը պատկանում է կառուցվածքային զործոնին՝ անիզոտրոպիայի ուղղությունների դիսպերսիայի եռաչափությանը: Երկրաչափական զործոնը (թաղանթի դեֆորմացիան) անհրաժեշտ է դասել կառուցվածքային անհամասեռություն ստեղծող զործոնների թվին:

**POSSIBLE REASONS FOR THE CHANNEL FORMATION
IN FILMS UNDER THE INFLUENCE OF FIELDS PERPENDICULAR
TO THE PLANE OF THE SAMPLE**

Ya. M. POGOSYAN, A. K. OVSEPYAN

Possible reasons for the formation of low-coercive channels in thin ferromagnetic films under the influence of external fields perpendicular to the sample surface are discussed. It is shown, that the main factor in the formation of channels is the structural one—the three-dimensionality of the dispersion of anisotropy directions. The geometrical factor (the film deformation) should be attributed to the factors producing structural heterogeneity.