

ОДНООСНЫЕ РАСТЯЖЕНИЯ ТОНКИХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК

Я. М. ПОГОСЯН, В. А. МАМЯН, П. А. БЕЗИРГАНЯН

В работе проводились электронномикроскопические исследования поведения состояния остаточной намагниченности в одноосноанизотропных пленках при растяжении.

Показано, что увеличение константы одноосной анизотропии приводит к уменьшению плотности доменов, осуществляемое как вращательным процессом, так и смещением границ.

Исследование тонких ферромагнитных пленок (ТФП) под действием одноосного напряжения является одним из методов детального изучения их поведения во внешних магнитных полях. Это обусловлено тем, что если коэффициент магнитострикции исследуемого образца $\lambda_s \neq 0$, то напряжение приводит к возникновению новой анизотропии, аддитивной со старой. Энергия новой анизотропии в виде $\frac{3}{2} \lambda_s \sigma$ (σ — напряжение) складывается или вычитается в зависимости от знака λ_s и направления приложенного напряжения.

Увеличение или уменьшение одноосной анизотропии приведет к изменению остальных параметров пленки, так как они (коэрцитивная сила смещения границ (H_c), длина волны ряби намагниченности (λ), дисперсия осей легкого намагничивания (α_{90}), плотность распавшихся доменов (N) и т. д.) являются производными от поля анизотропии.

Исследования вышеуказанных параметров обычно проводились не на уровне электронной микроскопии [1—3], что не позволяло получать данные по микромагнитной структуре.

Электронная микроскопия вошла в арсенал методов исследования тонких пленок. Преимущество ее перед другими методами бесспорно, ибо здесь имеется возможность установления локального направления намагниченности и, в силу высокой разрешающей способности, определить длину волны магнитной ряби.

По исследованию поведения ферромагнитных пленок в электронном микроскопе авторам известна одна работа [4], где наблюдались отдельные элементы влияния напряжений на свойства пленок. В частности, здесь показан процесс поворота вектора намагниченности по обеим сторонам границы, переход границы Нееля в границу типа колючей проволоки, механизм поворота вектора намагниченности и установление перпендикулярной анизотропии.

Следует отметить, что, несмотря на большие преимущества электронной микроскопии в аналогичных исследованиях, осуществление таких экспериментов связано со многими трудностями. В частности,

очень трудно осуществить однородное одноосное растяжение пленок толщиной несколько сот ангстрем в зоне объективной линзы микроскопа, где отсутствует свободное пространство. Разработанное нами специальное устройство позволяет преодолеть вышеуказанные трудности и производить исследования пленок, находящихся под однородным одноосным растяжением во внешнем магнитном поле*.

Настоящей работой мы начинаем исследования поведения ТФП, подвергнутых одноосному растяжению.

Результаты и их обсуждение

Пленки получались методом вакуумного испарения сплава 80,20— Fe/Ni из алунодового тигля с помощью электронной бомбардировки на стеклянных подложках, предварительно напыленных каменной солью.

Толщина исследуемых пленок составляла 500—700 Å, коэффициент магнитострикции слабоположителен, отношение $H_c/H_k = 0,5$, угловая дисперсия анизотропии $\alpha_{90} = 3^\circ$.

Пленки такого типа обычно имеют небольшую остаточную намагниченность в направлении трудной оси и при последующем растяжении по направлению оси легкого намагничивания (ОЛН), приводящей к увеличению одноосной анизотропии, остаточная намагниченность исчезает. Факт исчезновения остаточной намагниченности может быть объяснен уменьшением длины волны ряби намагниченности [5], приводящем к уменьшению энергии „гистерезиса ряби“ [6] и плотности обрзовавшихся границ по направлению ОН [7].

На рис. 1а приводится электронномикроскопический снимок состояния остаточной намагниченности пленки после исходного насыщения ее полями большими $2H_k$. Угловая дисперсия анизотропии измерялась методом Кроутера [8] непосредственно в электронном микроскопе и для этих пленок составляла $2,5^\circ \pm 0,5^\circ$ (за угол дисперсии ОЛН принимается угол вблизи направления ОН, после насыщения под которым полями большими $2H_k$, разность областей, имеющих противоположные направления намагниченности относительно ОН, составляет 0,9). Этот способ оценки угловой дисперсии анизотропии удобен тем, что здесь исключается возможность ошибки, связанной с наличием макронеоднородностей в пленке [9] и изменением магнитных характеристик пленки при отделении ее от подложки [10].

С этой целью непосредственно в электронном микроскопе оценивается величина поля анизотропии исследуемого участка пленки, используя выражение для длины волны ряби намагниченности, выведенное Гофманом [11],

$$\lambda = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{A}{K_u}} \left(\frac{1}{1 \pm h} \right)^{1/2}, \quad (1)$$

A — константа обменного взаимодействия, для пермаллоя состава

* О переделке электронного микроскопа будет доложено отдельно.

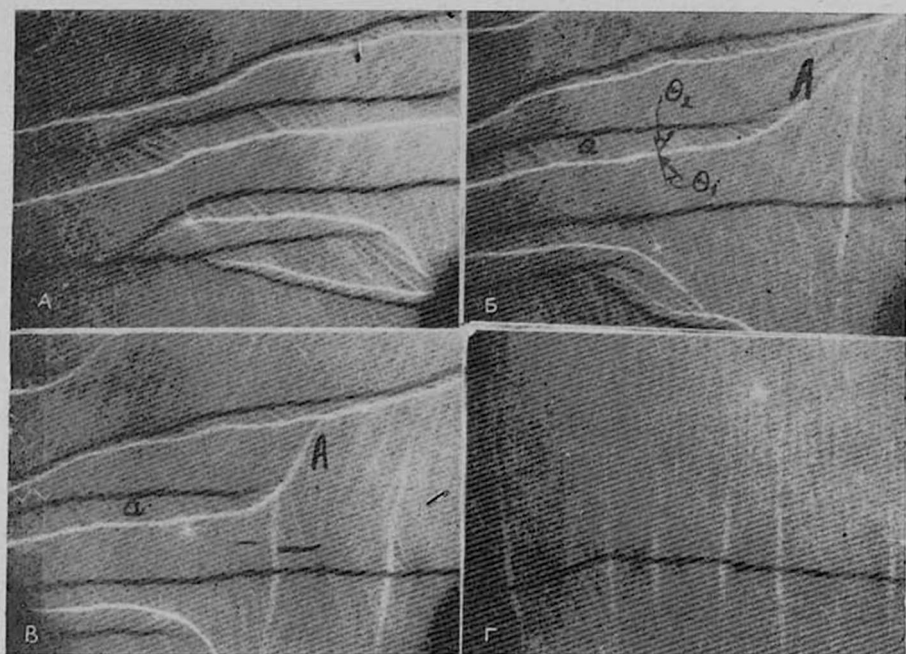


Рис. 1. Микрофотография изменения доменной структуры пленки при последовательном увеличении одноосного растяжения.

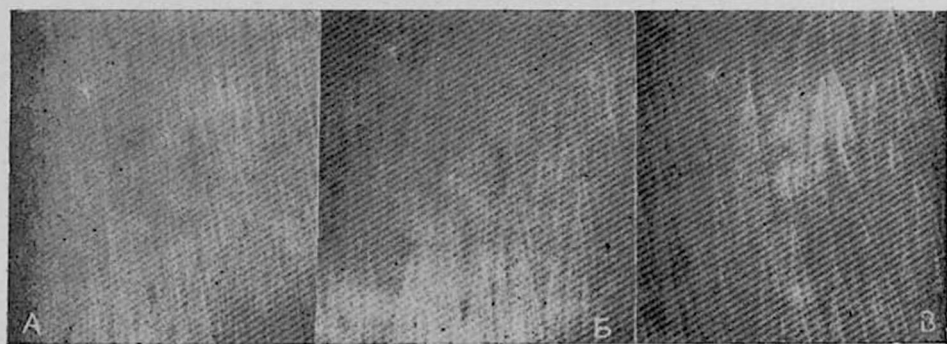


Рис. 2. Изменение длины волны ряби намагниченности под действием внешнего поля: а) $H=0$, б) $H=0,6$ э, в) $H=1,2$ э.



80/20 — $NiFe$, равная $10^{-6} \frac{\partial p_i}{\partial \sigma}$, K_a — константа одноосной анизотропии. Знак $\pm$ показывает полярность анизотропии.

По микрофотографиям нескольких состояний ряби намагниченности пленок при различных величинах полей, (рис. 2а, б, в), мы можем определить величину H_k . Коэрцитивная сила H_c определяется также в электронном микроскопе и соответствует полю появления границ в пленке при перемагничивании ее в направлении ОЛН.

Приложение одноосных напряжений по ОЛН (установление направления оценивается с точностью $\pm 10^\circ$) должно привести к увеличению константы одноосной анизотропии, так как исследуемый образец обладает положительным коэффициентом магнитострикции. Величина прикладываемых одноосных напряжений не измерялась.

В данной работе нами рассматривается влияние величины константы одноосной анизотропии на состояние остаточной намагниченности в направлении ОТН. Из рис. 1 видно, что доменные границы являются границами типа Нееля, так как угол между направлением вектора намагниченности и перпендикуляром к границе θ меньше 90° . Рост анизотропии должен привести к увеличению угла θ , т. е. к увеличению общей свободной энергии системы из-за увеличения плотности энергии границ Нееля. С другой стороны, известно, что если насыщать пленку в направлении ОТН после растяжения, то при этом плотность границ в остаточном состоянии естественно будет меньше. Но в нашем случае при имеющейся плотности границ мы увеличиваем величину исходной анизотропии.

На рис. 1 б, в, г приводится серия микрофотографий исследуемой пленки при постепенном растяжении. Из рисунков видно, что на определенном участке границы, где направленность границы совпадает с направлением растяжения, намагниченность по обеим сторонам границы действительно поворачивается в близлежащее направление ОЛН, что и приводит к переходу границы Нееля в границу типа колючей проволоки, а затем происходит процесс исчезновения соседних границ путем вращения вектора намагниченности. Этот процесс обусловлен появлением магнитостатических зарядов на границе из-за $\theta_1 \neq \theta_2$ по обеим сторонам границ (см. область А на рис. 1б, в) и последнее приводит к деформации границ Нееля, при которой θ по обеим сторонам границ становится одинаковым и меньше исходного значения.

Далее наступает момент, когда углы стремятся к нулю из-за поворота границ и тем самым постепенно исчезает домен „а“. На рис. 1г приводится этот участок пленки, когда завершился процесс исчезновения доменов „а“ и участок пленки при данной величине анизотропии имеет всего лишь одну границу, что можно было бы получить также, если бы исследуемая пленка имела бы высокую исходную анизотропию.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Буравихин, В. Г. Казаков, В. С. Христосенко, П. П. Круковер, *Phys. stat. Sol.* 16, 651 (1966).
2. А. Г. Лесник, Л. М. Сандлер, *Phys. stat. Sol.* 17, 653 (1966).
3. В. А. Джидарян, *ФММ*, 35, 420 (1968).
4. В. А. Буравихин, В. М. Попов, *ДАН СССР*, 164, 5, 1028 (1964).
5. H. Hoffman, *J. Appl. Phys.*, 35, 1790 (1964).
6. E. Feldtkeller, *J. Appl. Phys.*, 34, 2646 (1963).
7. Я. М. Погосян, *ФММ*, 17, 678 (1964).
8. D. O. Smith, K. J. Harte, *J. Appl. Phys.* 33, 1399 (1962).
9. Я. М. Погосян, Диссертация, Ереван, 1965.
10. F. T. Wooten, Y. L. Artley, T. C. Pilkington, *J. Vacuum. Sci. and Technol.* 4, 29 (1967).
11. H. Hoffman, *Phys. stat. Sol.*, 5, K 65 (1964).

ԲԱՐԱԿ ՖԵՐՈՄԱԳՆԵՏԱԿԱՆ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՄԻԱՌԱՆՑՔԱՅԻՆ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՆ

Յա. Մ. ՊՈԳՈՍՅԱՆ, Վ. Հ. ՄԱՄՅԱՆ, Պ. Հ. ԲԵԶԻՐԳԱՆՅԱՆ

Աշխատանքում էլեկտրոմիկրոսկոպիկ եղանակով հետազոտված է միառանցքային անիզոտրոպիայով բարակ ֆերոմագնիսական թաղանթների մնացորդային մագնիսացման վարքը թաղանթների ձգման ժամանակ:

Ցույց է տրված, որ միառանցքային անիզոտրոպիայի հաստատունի մեծացումը ինչպես պտտման, այնպես էլ դժմենների սահմանների տեղաշարժման մեխանիզմով բերում է դժմենների խտության փոքրացմանը:

UNIAXIAL EXTENSION OF THIN FERROMAGNETIC FILMS

Y. M. POGOSSIAN, V. A. MAMIAN, P. A. BEZIRGANIAN

Electron microscopic investigation of residual magnetization in uniaxial anisotropic films on extension has been carried out.

It is shown that the increase in the uniaxial anisotropy constant causes the decrease in domains density r due both to rotation process and to the shift of boundaries.