

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ «ЭФФЕКТИВНОЙ» ЛОКАЛЬНОЙ АНИЗОТРОПИИ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЕРМАЛЛОЕВЫХ ПЛЕНКАХ

Л. В. Киренский, Л. А. Саланская и Н. М. Саланский

Тонкая структура намагниченности поликристаллических пленок, параметры которой (длина волны, амплитуда «ряби» и т. д.) однозначно связаны соотношениями Гоффмана [1] с основными параметрами пленок (константой обменного взаимодействия, локальной анизотропией, наведенной анизотропией и т. д.), дает возможность определять некоторые статические магнитные и структурные их параметры. Согласно Гоффману [1], дисперсия намагниченности

$$\alpha_{90} = \frac{3\sigma_1^2}{8\pi A} \frac{1}{h_a} \frac{D^2}{k_u n} k^2, \quad (1)$$

где σ_1 — параметр, связанный с кристаллографической анизотропией; при хаотичном распределении осей кристаллитов для трехосной анизотропии $\sigma_1 = 1/\sqrt{2}$ [1]; A — константа обменного взаимодействия; $h_a \sim 1$ — поле блокировки; D — средний линейный размер кристаллитов; k_u — константа одноосной наведенной анизотропии; n — число кристаллитов по толщине пленки; k — константа локальной анизотропии.

Определяя независимыми способами все входящие в уравнение (1) параметры, можно найти [1] величину локальной анизотропии для поликристалла.¹

Учитывая, что в реальных пленках имеют место внутренние изотропные напряжения, константа локальной анизотропии

$$k = k_1 + k_s, \quad (2)$$

где k_1 — кристаллографическая анизотропия; k_s — магнитоупругая анизотропия, равная $3/2 \lambda \sigma$ (λ — константа магнитоэлектрики насыщения; σ — изотропные напряжения)

В общем случае локальная анизотропия может определяться и другими компонентами и иметь более сложный вид [3]. Таким образом, для поликристаллических пленок можно оценить константу локальной анизотропии, а также внутренние изотропные напряжения в случае, если известны величины кристаллографической анизотропии и магнитоэлектрики насыщения.

Однако в ряде работ (см. обзор [3]) результаты проверки теории [1] противоречивы и не дают возможность получать количественные оценки. Как будет показано ниже, последнее могло быть связано с некорректным определением параметров, входящих в уравнение (1), в частности, величины α_{90} .

В данной работе ставится задача численного определения параметров соотношения (1) на одних и тех же образцах и вычисление на основе этого уравнения константы локальной анизотропии и внутренних изотропных напряжений. Исследовали

¹ В [2] на основе этого метода установлена зависимость эффективной анизотропии отдельных зерен от величины зерна, получаемой после отжига.

пленки (81,5% Ni; 18,5% Fe) с размерами кристаллитов 80—350 Å, осажденные в вакууме 10^{-5} тор на стеклянные подложки при 130—340°С.

Рассмотрим отдельные константы, входящие в выражения (1) и (2). Константа обмена $A \approx 10^{-6}$ эрг/см устанавливалась по спин-волновому резонансу [4]; поле блокировки $h_a \approx 1$ [5]; константа наведенной анизотропии $k_u = \frac{H_k M_s}{2}$; H_k находилось по

методу [6, 7] и, независимо, по ферромагнитному резонансу; M_s — по ФМР и соответствовала данным, приведенным в [8]; $n = l/D$ (l — толщина пленки; D — средний диаметр кристаллитов — определялся электронномикроскопическим методом «реплик» [5]). Для изученного состава $\lambda = -2 \cdot 10^{-6}$ [9]; $k_1 = -1 \cdot 10^4$ эрг/см³ [10].

Особый интерес представляет вычисление параметра α_{90} . Согласно выражению (1), α_{90} определяется основными параметрами пленки и при соблюдении статистических условий (при которых еще правомочны усреднения Гоффмана [1]) не должна зависеть от диаметра исследуемого локального пятна. Однако эксперимент показывает, что дисперсия намагниченности для данной пленки зависит от диаметра участка d , с которого вычисляется α_{90} [11, 12].

На рис. 1 приведены зависимости $\alpha_{90}(d)$ для некоторых исследованных пленок. Дисперсия намагниченности находилась согласно [6, 7]. Из рис. 1 видно, что численные значения α_{90} и зависимость $\alpha_{90}(d)$ различны для разных пленок. Однако всегда наблюдается общая закономерность: α_{90} убывает с уменьшением d до некоторого значения и в дальнейшем (вплоть до 20 мк) остается постоянной.

Наблюдаемые аномалии зависимости дисперсии намагниченности от диаметра могут быть объяснены тем, что, во-первых, уравнение (1) получено Гоффманом без учета размагничивающих полей на краю пленки и в центральных ее областях (благодаря инородным включениям или дыркам).

Другая возможная причина зависимости $\alpha_{90}(d)$ может быть связана с особенностями образования и кинетикой роста пленки. Во время формирования при малых толщинах пленка имеет островной характер, причем локальное направление намагниченности в этих островках может отклоняться от средней намагниченности благодаря флуктуирующим температуры по поверхности пленки или размагничивающим полям формирующихся островков. Последнее приводит к своеобразной «блочной» структуре пленки; направление средней намагниченности каждого блока несколько отличается от соседнего. При измерении дисперсии на участках, содержащих несколько блоков, ее значение может оказаться большим, чем это следует из теории Гоффмана. Внутри же каждого блока, видимо, строго выполняются соотношения Гоффмана, о чем, в частности, говорит независимость α_{90} от d при достаточно малых значениях d .

Колебания химического состава и неоднородности поверхности пленки могут также давать некоторый вклад в интегрально измеряемую дисперсию α_{90} .

Таким образом, при измерении α_{90} на горизонтальном участке кривой $\alpha_{90}(d)$ в значительной мере уменьшается влияние других компонент локальной анизотропии, связанных с перечисленными здесь факторами. Добавим к этому, что измерения (см., напр., [13]) показали очень малые вариации химического состава, что еще в большей степени оправдывает пренебрежение этим фактором.

С учетом вышесказанного с помощью выражения (1), определены соответствующие параметры и вычислены k и σ для двух серий пленок. Результаты представлены в таблице и на рис. 2. При низкой температуре подложки константа локальной анизотропии почти на порядок выше константы кристаллографической анизотропии (рис. 2а), то есть при таких температурах конденсации пленок k в основном определяется магнитоупругой анизотропией. С ростом температуры подложки k монотонно убывает, достигая значения константы кристаллографической анизотропии вблизи 300°.

Определив константу магнитоупругой анизотропии, согласно (2), и полагая $\lambda = -2 \cdot 10^{-6}$ [9], вычислили средние значения внутренних изотропных напряжений для исследованных пленок (рис. 2б). Приведенные на рис. 2 данные вполне согласуются с результатами Вейсса и Смита [14] и Праттона [15], полученными другими методами.

Таким образом, с помощью выражения (1) при корректном определении входящих в него величин, в частности α_{90} , магнитооптическим способом с учетом наличия

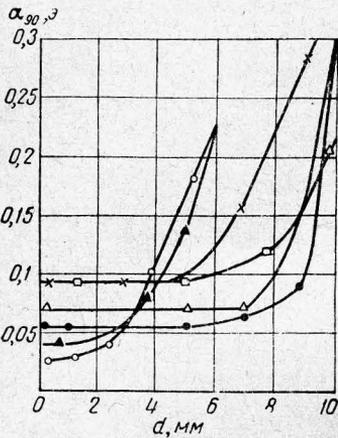


Рис. 1. Зависимость дисперсии намагниченности α_{90} от диаметра участка:

□ — пленка 237; ● — 244; △ — 240; × — 232; ○ — 183; ▲ — 185.

Номер пленки	$Hk, \text{ э}$	$\alpha_{90}, \text{ э}$	$\alpha_{90}, \text{ град}$	$T_{\text{изг}}^*, \text{ }^\circ\text{C}$	$D, \text{ \AA}$	$d, \text{ \AA}$	$K \cdot 10^4$ эрг/см^3	$\sigma \cdot 10^{10}$ дн/см^2
237	5,3	0,095	1,00	130	80	950	-8,1	2,36
239	5	0,05	0,36	180	100	1150	-6,2	1,7
240	4,8	0,07	0,33	180	100	1150	-6,2	1,7
232	3,4	0,095	1,31	240	130	1060	-4,72	1,57
223	4,4	0,06	0,48	240	130	710	-2,65	0,88
244	4,85	0,055	0,36	260	170	935	-2,5	0,5
245	2,5	0,105	2,18	300	280	465	-1,2	0,07
185	6,4	0,045	0,24	140	90	1200	-7	2
182	7,5	0,05	0,25	180	100	1000	-5,5	1,5
183	5,3	0,035	0,24	240	150	1000	-2,52	0,5
181	4,9	0,045	0,33	300	280	1100	-1,28	0,09
186	3,5	0,055	0,55	340	350	1000	-1,045	0,015

* $T_{\text{изг}}$ — температура подложки при осаждении пленки.

лочной структуры получены значения константы локальной анизотропии и внутренних напряжений в тонкопленочных поликристаллах, соответствующие данным работы [5]. Последнее подтверждает справедливость соотношения (1).

В заключение отметим, что во всех экспериментальных работах, ставящих своей задачей проверку теории Гоффмана по гистерезису во вращающихся полях, по опре-

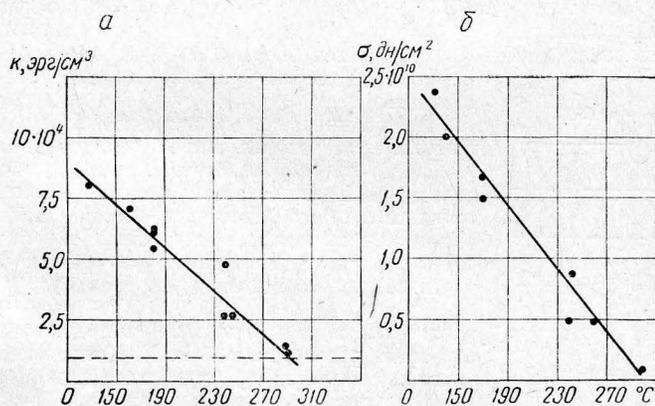


Рис. 2. Зависимость константы локальной анизотропии (а) и внутренних напряжений (б) пленки от температуры подложки во время осаждения.

делению поля блокировки, влияния параметров «ряби» на ФМР и т. д., необходимо учитывать наличие в пленках двух типов дисперсии: тонкой структуры намагниченности и блочной структуры.

Институт физики
СО АН СССР

Поступило в редакцию
в окончательном варианте —
9 июля 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Hoffmann H. J. Appl. Phys., 1964, 35, 1790; Phys. stat. sol., 1964, 5, 187; Zs. angew. Phys., 1965, 18, 499.
- Шур Я. С., Тагиров Р. И., Глазер А. А., Потапов А. П. Изв. АН СССР, сер. физ., 1967, 31, 729.
- Leaver K. D. Thin Solid Films., 1968, 2, 149.
- Русов Г. И. Диссертация, Красноярский пединститут, 1966.
- Абакумов Б. М. Диссертация, М., МГУ, 1968.
- Clowther T. S. J. Appl. Phys., 1963, 34, 581.
- Логутко А. Л., Саланский Н. М. ПТЭ, 1967, 4, 252; Логутко А. Л., Саланский Н. М. ВИНТИ № 136—67 деп.