

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛЯ АНИЗОТРОПИИ ТОНКИХ ПЕРМАЛЛОВЫХ ПЛЕНОК ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИЗГИБАЮЩИХ ДЕФОРМАЦИЙ

В. А. ДЖИДАРЯН, А. А. ТРЧУНЯН

Рассматривается изменение поля анизотропии H_k тонких пермалловых пленок толщиной 500—2000 Å, полученных термическим испарением, от величины внешних растягивающих или сжимающих напряжений, прикладываемых к пленке в результате деформации изгиба под произвольным углом α к оси легкого намагничивания (ОЛН).

Показано, что для пленок с малой угловой дисперсией кривые H_k^2 имеют такой же вид, что и теоретические кривые.

Приведены значения H_k^2 для образцов пленок, полученных при последовательном испарении из одного тигля сплава состава 82% Ni, 18% Fe.

В зависимости от знака постоянной магнитострикции и внешнего упругого напряжения σ , также от угла α , под которым оно приложено относительно оси легкого намагничивания (ОЛН), механические напряжения по-разному влияют на поле анизотропии H_k тонких магнитных пленок с одноосной анизотропией.

Как известно, в случае однонаправленного напряжения изменения H_k определяется выражением

$$H_k^2 = H_k^2 \sqrt{1 + A^2 + 2A \cos 2\alpha}, \quad (1)$$

где H_k^2 — эффективная величина поля анизотропии под действием внешних деформаций, $A = \eta \cdot \epsilon / H_k$,

η — магнитоупругий параметр [1], ϵ — относительное удлинение.

Авторы работ [1—3] рассматривали случай, когда анизотропия, обусловленная напряжениями, совпадала по направлению с индуцированной в процессе напыления пленки магнитной анизотропией. Установлена линейная зависимость поля анизотропии от величины ϵ . Однако, если напряжение приложено под некоторым углом α относительно ОЛН, то вместе с изменением H_k происходит также поворот ОЛН на некоторый угол β , что затрудняет определение эффективного поля анизотропии.

В этом случае, как следует из теории [1], минимум H_k имеет место при $\alpha - \beta = \pi/4$. В работах [1, 4] H_k измеряли методом экстраполяции [5] линейного участка петли гистерезиса при перемагничивании пленки в направлении новой оси трудного намагничивания (ОТН).

Как показали измерения с многочисленными образцами пленок, определение H_k методом [5] дает одинаковые результаты с методом „спрямления“ [8] только для пленок с малой угловой дисперсией, когда отношение $H'_k/H_k \approx 0,7-0,8$, где H'_k — поле обратимого враще-

ния, под которым подразумевается максимальная величина перематывающего поля, приложенного в направлении ОН, при котором петля гистерезиса еще линейна.

Если прикладываемые к магнитной пленке внешние напряжения создаются в результате изгиба, то одновременно с основными напряжениями σ_x возникают перпендикулярные им напряжения $\sigma_y = \mu_1 \sigma_x$ (где μ_1 — коэффициент Пуассона, равный для пермаллоя 0,3) того же знака, которые производят на H_k обратный эффект (если σ_x увеличивает поле анизотропии, то σ_y уменьшает его, и наоборот).

В работе [6], показано, что в этом случае зависимость поля анизотропии от величины двух взаимно перпендикулярных напряжений имеет вид

$$H_k^a = H_k \sqrt{1 + (1 - \mu_1)^2 A^2 + 2(1 - \mu_1) A \cos 2\alpha}. \quad (2)$$

Как показал анализ, кривые зависимости H_k^a имеют тот же вид, что и кривые H_k^{η} , однако значения их, соответствующие одинаковым A и α , несколько меньше (при $\alpha = 0$, $\Delta H_k = H_k^a - H_k = (1 - \mu_1) \cdot \eta \cdot \varepsilon$). Такая поправка нами была внесена в величину относительного удлинения [7].

В данной работе исследовалось влияние упругих напряжений на характер изменения поля анизотропии пермаллоевых пленок толщиной 500—2000 Å, полученных из расплава пермаллового сплава 75% Ni и 25% Fe до 85% Ni и 15% Fe вакуумным напылением на стеклянные подложки. Внешние напряжения создавались в результате изгиба подложки деформирующим устройством и были приложены вдоль грани подложки [7]. Поле анизотропии определялось на феррографической установке методом „спрямления“ [8].

Увеличение поля анизотропии ($\Delta H_k > 0$) зависит от знака η и σ , также от угла α . При этом возможны следующие комбинации, каждая из которых приводит к росту анизотропии:

- 1) а) $\eta > 0$, $\sigma > 0$, $\alpha = 0$,
- 1) б) $\eta < 0$, $\sigma < 0$, $\alpha = 0$,
- 1) в) $\eta > 0$, $\sigma < 0$, $\alpha = \pi/2$,
- 1) г) $\eta < 0$, $\sigma > 0$, $\alpha = \pi/2$.

Изменение H_k под действием внешних напряжений для пленок с $\eta > 0$ обычно определялось способом (1а), для пленок с $\eta < 0$ — (1г).

На рис. 1а представлена зависимость поля анизотропии от величины относительного удлинения для некоторых образцов пленок, полученных из пермаллоевых сплавов вышеприведенного состава.

Кривые 1—7 рис. 1а соответствуют пленкам, осажденным из сплава с содержанием 75, 78, 80, 82, 82, 83 и 85% никеля (Ni), остальное железо (Fe). У всех пленок угол скоса составлял меньше 6° . Как видно из рис. 1а, полученные кривые имеют линейную зависимость, что соответствует теории и согласуется с данными авторов [1—3].

Кривые, приведенные пунктирной линией, соответствуют пермалоевым пленкам с отрицательной магнитострикцией. Сжимающие напряжения, приложенные вдоль трудной оси (комбинация 1в) и представленные на рис. 1а для образца пленки № 3 (зачерненные квадраты), не обнаружили разницы в H_k , которую наблюдали И. Вульф и Т. Кроутер [9], хотя у некоторых образцов небольшая разница в этом случае все же имела место.

Зависимость поля анизотропии от величины относительного удлинения, как показали наблюдения над различными образцами пленок, не всегда имеет строго линейный характер. У некоторых пленок с уве-

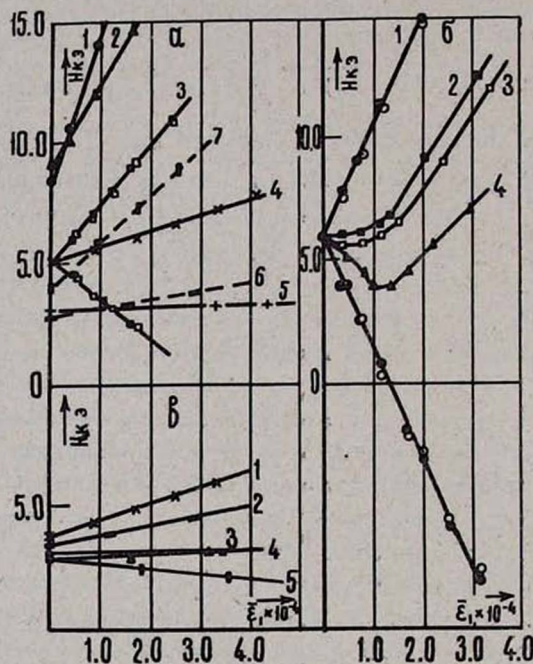


Рис. 1. Зависимость поля анизотропии H_k от величины относительного удлинения: а—для пермалоевых пленок различного состава; б—для различных углов α ; в—для пленок, полученных при последовательном испарении сплава 82% Ni, 18% Fe.

личением внешнего напряжения наклон постепенно увеличивается, переходя в дальнейшем в прямую линию. Такое отклонение от теории связано с неоднородностью пленок—большой угловой дисперсией анизотропии. С ростом относительного удлинения для случая $\Delta H_k > 0$ угловая дисперсия, как известно [2], уменьшается, следовательно, уменьшается и угол α для локальных микрообластей, в результате чего увеличивается наблюдаемый наклон зависимости H_k . Многочисленные измерения, проведенные над пленками с различной угловой дисперсией, показали, что при $\psi_{80} \geq 8-10^\circ$ наблюдается отклонение H_k от линейного закона. Дополнительно проведенный магнитный отжиг пле-

нок вдоль оси трудного намагничивания (ОТН) подтвердил данное предположение. Пленки с малой угловой дисперсией и с линейной зависимостью H_k^2 после магнитного отжига увеличивали χ_{90} и в зависимости H_k^2 наблюдалась нелинейность.

Уменьшение поля анизотропии ($\Delta H_k < 0$) также зависит от знака η , σ и угла α и соответствует нижеследующим комбинациям:

$$2a) \eta > 0, \sigma > 0, \alpha = \pi/2,$$

$$2б) \eta < 0, \sigma < 0, \alpha = \pi/2,$$

$$2в) \eta > 0, \sigma < 0, \alpha = 0,$$

$$2г) \eta < 0, \sigma > 0, \alpha = 0.$$

Зависимость H_k^2 в этом случае также, как правило, имеет линейный характер (кривая 3а, рис. 1а, где зачерненные квадраты соответствуют комбинации (2а), незачерненные—2в). Величина магнитоупругого параметра η , измеренная для некоторых образцов пленок, несколько отличалась от значения, определяемого в случае увеличения H_k (комбинация 1а), которая заметно проявлялась у некоторых образцов после низкотемпературного отжига. Такое отличие, по-видимому, связано с увеличением угловой дисперсии под действием приложенного напряжения, а также структурой пленок.

Когда внешнее напряжение направлено под некоторым углом α ($0 < \alpha < \pi/2$) к ОЛН, теория [1], дает различное изменение поля анизотропии. Для углов $0 < \alpha < \pi/4$ H_k нелинейно увеличивается, для углов $\pi/4 < \alpha < \pi/2$ уменьшается при малых σ и увеличивается при больших σ .

Определить поле анизотропии методом экстраполяции в этом случае достаточно трудно: во-первых, происходит поворот ОЛН и требуется сориентировать как считывающую катушку, так и перемещающее поле вдоль новой трудной оси; во-вторых, что более существенно, метод экстраполяции может привести к большой ошибке в определении H_k . Более точно поле анизотропии в этом случае можно измерить методом „спрямления“ [8], устанавливая пленку относительно перемещающего поля на угол $\gamma = 45 \pm \beta_1$, где β_1 —угол поворота ОЛН, соответствующий относительному удлинению ϵ_1 , определялся методом [10]. Знак при β_1 подбирается таким образом, чтобы угол между новой ОЛН и перемещающим полем каждый раз составлял 45° .

На рис. 16 приведены кривые зависимости поля анизотропии от величины относительного удлинения для некоторых пленок, полученных одновременно. Грани некоторых подложек были повернуты относительно внешнего магнитного поля в процессе напыления на различные углы. Для данных образцов пленок (кривые 1, 2, 3, 4 и 1а, рис. 2б) угол скоса соответственно равнялся $\varphi = 0, 42, 48, 60, 90^\circ$. Как видно из рис. 16, для комбинации (1а) и (1в) (зачерненные кру-

жочки), поле анизотропии линейно возрастает, причем величина магнитоупругого параметра η в обоих случаях примерно одинакова. Линейный ход H_k происходит и при комбинациях (2а) и (2б). При неко-

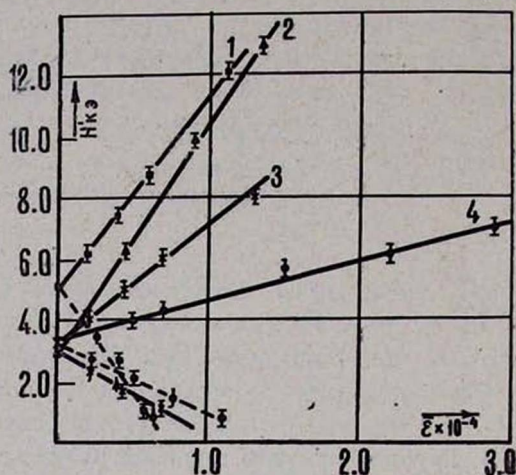


Рис. 2. Зависимость поля обратимого вращения H'_k от величины относительного удлинения для некоторых образцов пленок толщиной 800—1200 Å (сплошные прямые соответствуют случаю увеличения H_k : $\Delta H_k > 0$; пунктирные — уменьшению: $\Delta H_k < 0$).

тором значении σ происходит взаимозамена осей, а при последующем увеличении напряжения имеет место дальнейший рост H_k в новом направлении.

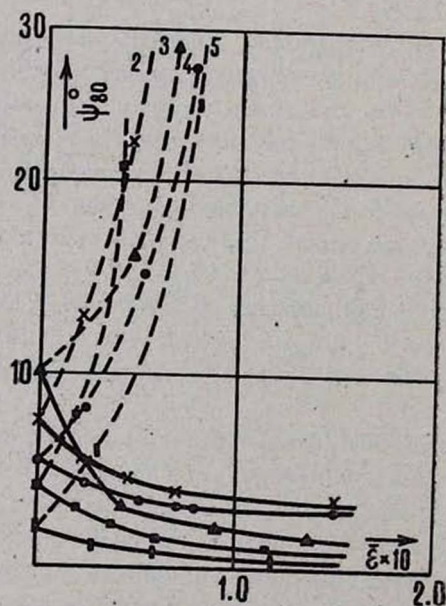


Рис. 3. Зависимость угловой дисперсии анизотропии ψ_{80} от величины относительного удлинения (сплошные кривые соответствуют случаю увеличения H_k , пунктирные — уменьшению).

В случае, когда угол $\alpha = 42, 48, 60^\circ$, кривые зависимости H_k^z имеют вид теоретических кривых.

Одновременно с H_k измерялась также зависимость поля обратного вращения H'_k и величина угловой дисперсии ψ_{80} , определяемая по методу П Кроутера, от величины внешнего напряжения.

Изменения H'_k и ψ_{80} от величины относительного удлинения для некоторых пленок представлены на рис. 2 и 3, где сплошные кривые соответствуют случаю увеличения H_k , а пунктирные — уменьшению. Как видно из рисунков, H'_k линейно зависит от внешнего напряжения и изменяется аналогично полю анизотропии. ψ_{80} уменьшается, когда $\Delta H_k > 0$, и резко увеличивается, когда $\Delta H_k < 0$.

На рис. 1в приведены кривые зависимости H_k^z магнитных пленок, полученных из одного тигля с исходным содержанием 82% Ni, 18% Fe при последовательных напылениях. Как видно, наклон кривых от напыления к напылению уменьшается (цифра на кривой указывает порядковый номер напыления), проходит через нуль и становится отрицательным. Определяя величину η после очередного испарения и добавляя необходимое количество сплава соответствующего состава в тигель, можно получить образцы пленок, магнитострикция которых очень мала ($\eta \approx 10^{-2}$). Из одного тигля можно произвести до 10—15 напылений и воспроизвести магнитные пленки со значением магнитоупругого параметра $\eta \approx 10^{-2}$ э, оптимальной величиной H_k и малой дисперсией.

ЕрНИИММ

Поступила 14.VIII.1968.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. E. N. Mitchell, G. J. Lykken, G. D. Babcock. J. Appl. Phys., 34, 715 (1963).
2. А. Г. Лесник, Л. М. Сандлер, Физика металлических пленок, Киев, „Наукова Думка“, 1965.
3. В. А. Буравихин, В. Г. Казаков, В. И. Попов, Изв. АН СССР, сер. физ., 29, 695 (1965).
4. H. L. Pinch, A. A. Pinto, J. Appl. Phys., 34, 828 (1964).
5. M. P. Prutton, E. M. Bradley, Proc. Phys. Soc., 75, 484 (1960).
6. В. А. Джидарян, Изв. АН АрмССР, Физика, 3, 98 (1968).
7. В. А. Джидарян, А. А. Трчунян, Изв. АН АрмССР, Физика, 2, 364 (1967).
8. В. В. Кобелев, Магнитные элементы устройств вычислительной техники. Из-во. АН СССР, ИТМ и ВТ, стр. 56, 1961.
9. J. W. Wolf, T. S. Crowther. J. Appl. Phys., 34, 1205 (1963).
10. В. А. Джидарян, ФММ, 3, 420 (1968).

ԱՆԻՋՈՏՐՈՊԻԱՅԻ ԴԱՇՏԻ ՓՈՓՈԽՈՒՄԸ ԲԱՐԱԿ ՊԵՐՄԱԼԼՈՅԵ
ԹԱՂԱՆԹՈՒՄ ՄՈՄԱՆ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՏԱԿ

Վ. Ա. ԶԻԴԱՐՅԱՆ, Ա. Ա. ԹՈՂՈՒՆՅԱՆ

Դիտված է անիզոտրոպիայի դաշտի փոփոխությունը շերտային գոլորշիացմամբ ըս-
տացված պերմալոյի 500—2000 Å հաստությամբ թաղանթներում, կախված թեթև մագ-

նիսացման առանցքի նկատմամբ կամավոր անկյան տակ ազդող արտաքին սեղմող կամ ձգող լարումների մեծությունից, որոնք դրանում են ծռման դեֆորմացիայի ազդեցության տակ:

Ցույց է տրված, որ երբ ցրման անկյունը փոքր է, կորերի տեսքը համապատասխանում է տեսականին:

Քերված են H_k^2 -ի արժեքները այնպիսի թաղանթների համար, որոնք ստացված են մի տիպի 82% Ni 18% Fe համաձուլվածքի հաջորդական գոլորշիացումով:

CHANGE OF ANISOTROPY FIELDS OF THIN PERMALLOY FILMS UNDER INFLUENCE OF BENDING STRAINS

V. A. JIDARIAN and A. A. TRCHUNIAN

There is discussed a change of anisotropy field H_k of thin (500—2000 Å) permalloy films, which are thermally vacuum evaporated, with external tension or compression strains applied at the random angle L to the magnetization easy axis.