

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НАМАГНИЧЕННОСТИ ТМП НА ИХ ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Л. В. Киренский, А. Л. Логутко и Л. А. Саланская

В реальной пленке помимо «ряби» намагниченности [1] имеются сравнительно крупные неоднородности, характерный размер которых больше эффективного радиуса обменного взаимодействия [2]

$$\delta \sim \sqrt{\frac{2A}{M_0^2 \beta_k}},$$

где $M_0 \beta_k$ — эффективное поле локальной анизотропии. Наличие этих неоднородностей приводит к тому, что в пленке имеются не взаимодействующие между собой участки (блоки), в которых ориентация осей легкого намагничивания (о. л. н.) и величина поля анизотропии H_k несколько отличаются от средней ориентации о. л. н. и средней величины H_k . Таким образом, структура намагниченности в реальной пленке определяется направлениями намагниченности указанных блоков и флуктуациями магнитного момента около среднего положения о. л. н. данного блока, так называемой рябью намагниченности. Поведение магнитного момента такого блока описывается микромагнитной теорией ряби с учетом обменного взаимодействия между кристаллитами [1, 2]; поведение пленки в целом — учетом дополнительной дисперсии о. л. н. и H_k невзаимодействующих блоков [3].

Имеется коренное отличие описанной структуры намагниченности от модели [4], согласно которой внутри каждого участка — блока — магнитный момент постоянен по величине и направлению, то есть такой участок подчиняется теории однородного вращения Стонера—Вольфарта [5].

Таким образом, поликристаллическая анизотропная пленка в макрооднодоменном состоянии обладает сложной структурой (микро- и макродисперсией) намагниченности. Естественно ожидать значительного влияния указанной дисперсии намагниченности и характера ее распределения по поверхности пленки на динамику движения магнитного момента ТМП. В большинстве случаев, при использовании ТМП в практических устройствах, рассмотренное состояние является исходным, меняясь под действием заданной программы полей, которая определяется конкретным применением ТМП. Широкому использованию ТМП как элементов вычислительной и СВЧ техники препятствуют имеющиеся в пленках и широко известные эффекты сползания [6] и отсутствие однозначной связи динамических свойств ТМП со статическими характеристиками, на

меренными для всей пленки, а также недостаточная ясность природы ширины резонансной кривой ТМП. В настоящей работе на основе рассмотренных выше представлений о структуре намагниченности пленки в макрооднородном состоянии анализируются причины уширения резонансной линии на низких частотах, импульсные свойства и эффект сползания границ в ТМП.

На рис. 1а приведены кривые зависимости величины дисперсии намагниченности от диаметра d исследуемого участка для двух пленок. Интегральная дисперсия, измеренная для всей пленки, в 3—5 раз больше измеренной для участков в ее центре. Кроме того, крутой ход кривых $\alpha(d)$ в области больших d указывает на значительный вклад краевых областей пленки в ее дисперсию намагниченности. Этот вклад определяется технологией получения пленок (ср. ход кривых для образцов А и В). Он

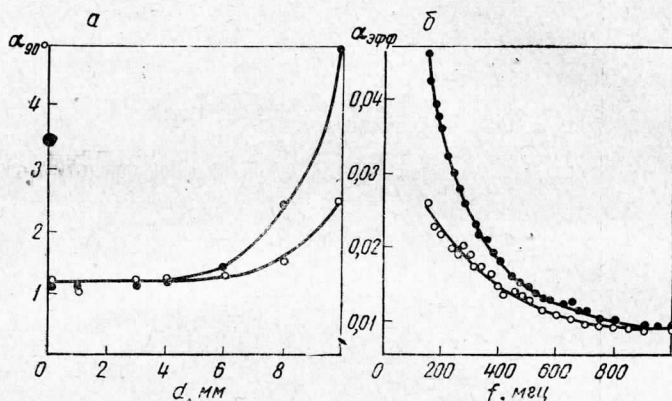


Рис. 1. Кривые дисперсии намагниченности в зависимости от диаметра исследуемого участка пленки (а) и частотная зависимость эффективного параметра затухания (б).

обусловлен как аномально большой величиной дисперсии намагниченности некоторых краевых участков пленки, так и значительным отклонением о. л. н. локальных участков, расположенных на краю пленки, по отношению к ее средней о. л. н. В дальнейшем указанное отклонение будем называть скосом.

Влияние структуры намагниченности поликристаллических пленок на ширину линии ферромагнитного резонанса показано на рис. 1б, где приведена частотная зависимость эффективного параметра затухания для двух пленок. Из сравнения кривых рис. 1а и рис. 1б видно, что величина $\alpha_{\text{эфф}}$ на низких частотах коррелирует со значением интегральной дисперсии намагниченности, поэтому можно считать, что именно блочная структура определяет ход зависимости $\alpha_{\text{эфф}}(f)$ на низких частотах [7]. Эксперименты, проведенные на пленках с различной микродисперсией, показывают незначительное влияние последней на ширину линии ФМР¹.

Влияние блочной структуры, в частности характера распределения скосов локальных о. л. н. по поверхности пленки на ее импульсные свойства, показано на рис. 2, где приведены скосы локальных о. л. н. и импульсные коэрцитивные силы $H_{\text{снмп}}$ для длительностей импульсов 50 и 500 нсек (кривые 2 и 3 соответственно), как функция местоположения участка. Диаметр каждого участка 0,4 мм. Каждый n -й участок сдвинут по отношению к $(n-1)$ -му также на 0,4 мм. Видно, что большой участок пленки, практически не имеющий скоса (точки 2—8 кривой 1), расположен в непосредственной близости с участком пленки, в котором имеет место знакопеременный скос (точки 9—17 кривой 1). Сравнение кривых 1 и 2 показывает, что наличие знакопеременного скоса у участков резко увеличивает $H_{\text{снмп}}$ по сравнению с участками, не имеющими скоса. Указанная разница $H_{\text{снмп}}$ в значительной степени определяется длительностью перемагничивающего импульса. С уменьшением времени перемагничивания $H_{\text{снмп}}$ резко увеличивается в участках со знакопеременным скосом (см. точки 9—18 на кривых 2 и 3). При больших значениях времени перемагничивания ($t_n = 500$ нсек) процесс происходит в основном движением границ, на что знакопеременный скос влияет слабо. При малых временах ($t_n = 50$ нсек) перемагничивание происходит двусторонним вращением локальных магнитных моментов, и наличие знакопеременного скоса затрудняет указанный процесс, что и приводит к увеличению $H_{\text{снмп}}$.

¹ Ширина линии ФМР измерена Б. П. Хрусталевым.

Рис. 3 поясняет влияние характеристик участка ТМП на его способность перемагничиваться в однонаправленных малых импульсных полях, то есть в условиях, при которых проявляется эффект сползания. На рисунке представлены кривые, полученные для двух участков 1 и 2, расположенных на противоположных краях пленки, касательная к которым параллельна о. л. н. пленки. Дисперсия намагниченности участка 1 аномально велика и на порядок превышает измеренную для участка 2. Измеря-

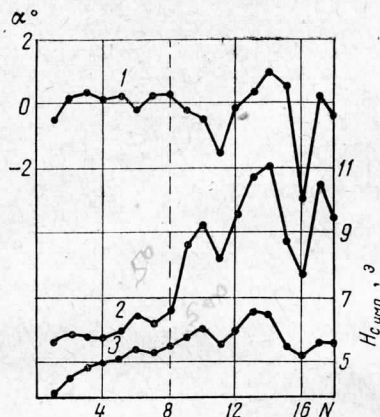


Рис. 2. Скосы локальных о. л. н. и импульсные коэрцитивные силы для импульсов длительностью 50 и 500 нсек в зависимости от расположения участка, задаваемого номером N .

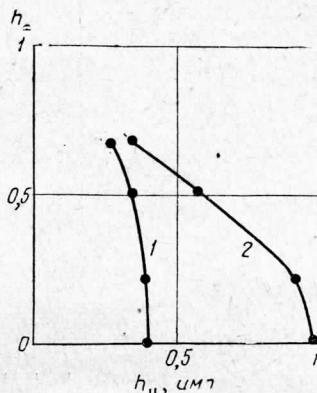


Рис. 3. Эффект сползания в двух участках ТМП.

$h_{\parallel \text{имп}}$ — нормированная к H_c амплитуда импульсного поля вдоль о. л. н. пленки; $h_{\perp}$ — нормированная к H_k величина постоянного смещающего поля вдоль оси трудной намагничивания.

лась амплитуда импульсного поля $h_{\parallel}$ длительностью 1 мксек, под действием $\sim 10^3$ импульсов которого перемагничивалось 50% магнитного момента участка пленки. Измерения проводились при разных полях $h_{\perp}$. Из рисунка видно, что в участке, имеющем большую дисперсию намагниченности, сползание начинается в значительно более слабом поле $h_{\parallel}$ и его величина, перемагничивающая 50% магнитного момента участка, почти не зависит от $h_{\perp}$. Ход второй кривой специфичен для большинства участков и самой пленки. Визуальные наблюдения доменной структуры показывают, что сползание во всех $h_{\perp}$ начинается именно с той области пленки, в которой имеются участки, подобные первому.

Таким образом, во всех рассмотренных случаях структура намагниченности реальных пленок существенным образом определяет их динамические свойства. Значение одних лишь интегральных статистических характеристик ТМП с блочной структурой намагниченности не позволяет однозначно предсказать их поведение в динамических режимах. Ведущиеся в настоящее время поиски пленочных магнитных материалов с хорошими динамическими характеристиками для использования их в различного рода радиотехнических узлах, видимо, должны быть направлены на отработку технологических режимов, позволяющих получить поликристаллические пленки без блочной структуры.

Институт физики
СОАН СССР

Поступило в редакцию
20 января 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hoffmann H. J. Appl. Phys., 1964, 35, 1790; Phys stat sol., 1964, 5, 187; Zs. angew. Phys., 1965, 18, 499.
2. Игнатченко В. А. ЖЭТФ, 1968, 54, 303.
3. Лесник А. Г. ФММ, 1969, 27, 1000; 1969, 28, 84.
4. Crowther T. S. J. Appl. Phys., 1963, 34, 3, 580.
5. Stoner E. C., Wohlfarth E. P. Phil. Trans. Roy. Soc., 1948, A240, 74.
6. Middelhoek. Zs. angew. Phys., 1962, 14, 191.
7. Salansky N. M., Khrustalev B. P., Melnik A. S., Salanskaja L. A., Sinegubova Z. I. Thin Solid Films, 1969, 4, 105.

Киренский Л. В., Логутко А. Л., Саланская Л. А. Влияние структуры намагниченности ТМП на их динамические свойства // Физ. металлов и металловед. - 1970. - Т. 30 вып. 1. - С. 217-219