

- [6] Гушенец В.И., Коваль Н.Н., Щанин П.М. Тез. докл. УП Всес. симп. по сильноточной электронике, Новосибирск, 1988. Ч. 2. С. 201-203.
- [7] Галанский В.Л., Гушенец В.И., Окс Е.М. Тез. докл. УП Всес. симп. по сильноточной электронике, Новосибирск, 1988. Ч. 1. С. 92-94.

Поступило в Редакцию  
16 ноября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 8 26 апреля 1990 г.

06.3; 07; 12

© 1990

## МАГНИТООПТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПЕРМАЛЛОВЫХ МАГНИТНЫХ ГОЛОВОК

А. Блюшке, В.Е. Зубов,  
Г.С. Криничик, С.Н. Кузьменко,  
Б. Шнайдер

Рабочие характеристики интегральных магнитных головок (ИМГ) существенно зависят от их доменной структуры и от субструктуры ДГ [1, 2]. Приповерхностная структура ДГ в пермалловых пленках изучалась в [3, 4]. В этих работах было зафиксировано наличие в ДГ неелевской компоненты намагниченности (т.е. компоненты параллельной поверхности пленки и перпендикулярной плоскости ДГ).

В данной работе с помощью высокочастотного магнитооптического микромагнетометра с предельным оптическим разрешением  $\sim 0.3$  мкм [5] восстановлена доменная структура магнитопровода ИМГ, детально исследована приповерхностная структура  $180^\circ$  ДГ и изучена динамика перемагничивания ИМГ в диапазоне частот 20 Гц - 7 МГц. Магнитопровод представляет собой пермалловую пленку  $Ni_{81}Fe_{19}$  толщиной  $\sim 2$  мкм. Нормальная составляющая намагниченности  $I_z$  измерялась с помощью полярного эффекта Керра (ПЭК), составляющие  $I_x, I_y$ , параллельные поверхности пленки, - с помощью экваториального эффекта Керра (ЭКК). Используемая система координат показана на вставке к рис. 1. Магнитооптический сигнал регистрировался с участка поверхности магнитопровода с минимальной площадью  $\sim 0.3$  мкм<sup>2</sup>.

Исследование доменной структуры производилось путем фиксации положения ДГ при их колебаниях около положения равновесия. Колебания ДГ возбуждались переменным током, подаваемым в намагничивающую обмотку ИМГ. Восстановленная доменная структура, харак-

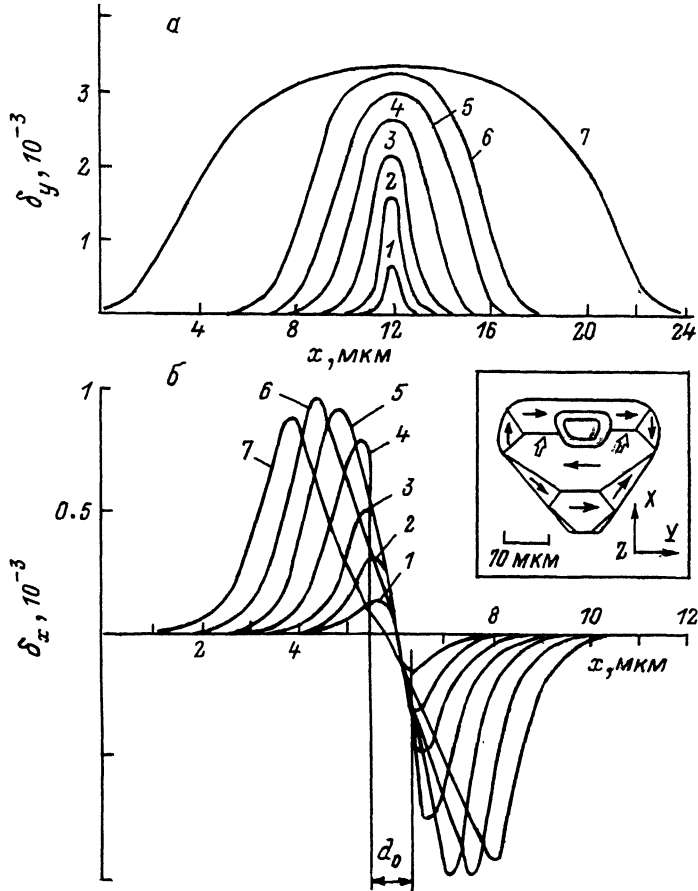


Рис. 1. На вставке изображена восстановленная доменная структура магнитопровода интегральной магнитной головки. а)  $\delta_y(x)$  — экваториальный эффект Керра, обусловленный составляющей намагниченности  $I_y$ , в области колебаний доменной границы (1 —  $i = 0.3$  мА, 2 — 0.7 мА, 3 — 1 мА, 4 — 2 мА, 5 — 3 мА, 6 — 4 мА, 7 — 8 мА). б)  $\delta_x(x)$  — экваториальный эффект Керра, обусловленный неелевской составляющей намагниченности в доменной границе, при ее колебаниях (1 —  $i = 0.3$  мА, 2 — 0.5 мА, 3 — 0.7 мА, 4 — 1 мА, 5 — 1.5 мА, 6 — 2 мА, 7 — 3 мА).

терная для исследованных головок, изображена на вставке к рис. 1. Подробно изучены  $180^\circ$  ДГ, которые отмечены на вставке стрелками. На рис. 1,а изображены кривые ЭЭК, обусловленного компонентой  $I_y$ , при различных величинах намагничивающего тока ( $i$ ). При амплитудах раскачки ДГ ( $\Delta$ ) значительно больших, чем шири-

на ДГ, область отличного от нуля ЭЭК составляет  $2 \Delta$ . Это позволило определить зависимость  $\Delta(i)$ . Она линейна для больших  $i: \Delta = ki$  с коэффициентом  $k = 1$  мкм/мА, определенным по кривым 5-7 (рис. 1,а). Видно также, что при больших  $\Delta$  ЭЭК достигает насыщения.

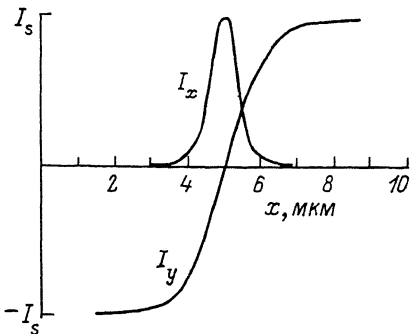
На рис. 1,б представлены кривые ЭЭК, обусловленного неелевской компонентой намагниченности  $I_x$ , при различных значениях  $i$ . Для малых  $\Delta$  расстояние между положительным и отрицательным максимумами ЭЭК ( $d$ ) не зависит от величины намагничивающего тока. Это можно интерпретировать как дифференциальный эффект, возникающий за счет областей максимального изменения намагниченности в ДГ, а минимальное расстояние  $d = d_0$  — как эффективную ширину ДГ. Как видно из рис. 1,б,  $d_0 \cong 0.8$  мкм, что несколько больше, чем для ДГ в железе [6]. В первом приближении экстремальное значение ЭЭК, обусловленного неелевской компонентой, пропорционально максимальному значению  $I_x(x)$ , т.е.  $\delta_{xmax} = \delta_0 I_{xmax} / I_S$ . Здесь  $I_S$  — намагниченность насыщения,  $\delta_0$  — ЭЭК, определяемый как относительное изменение интенсивности света, отраженного от магнетика при его намагничивании от 0 до  $I_S$ .  $\delta_0$  можно определить из рис. 1,а. Для этого нужно уменьшить величину ЭЭК в насыщении примерно в 2.6 раза. Коэффициент 2 возникает в связи с коммутацией намагниченности на исследуемом локальном участке поверхности от  $-I_S$  до  $+I_S$  при колебаниях ДГ. Коэффициент 1,3 учитывает увеличение первой гармоники измеряемого сигнала при изменении его формы от синусоидальной к прямоугольной с ростом  $\Delta$ . Таким образом  $\delta_0 = 1.4 \cdot 10^{-3}$ . Используя значение  $\delta_{xmax}$  на рис. 1,б и  $\delta_0$ , получаем  $I_{xmax} = 0.7 I_S$ . Эта оценка занижена из-за нелинейной зависимости  $I_x(x)$  и влияния дифракционных эффектов. Измерения ПЭК показали, что нормальная составляющая  $I_z < 0.1 I_S$ . Отсюда можно сделать вывод, что  $I_{xmax} = I_S$ .

Для малых  $\Delta$  справедливо соотношение [6]

$$\delta_i(x) \cong \delta_0 \Delta \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{I_j}{I_S} \right),$$

где  $j = x, y$ ; т.е. при интегрировании  $\delta_j(x)$  можно получить соответствующее распределение намагниченности  $I_j(x)$ . Интегрирование кривых 1, показанных на рис. 1,а,б, дает для максимального значения  $I_x, I_y$  величину  $\sim 0.3 I_S$ . Расхождение с оценкой для  $I_{xmax}$ , полученной выше, по-видимому, обусловлено нелинейной зависимостью  $\Delta(i)$  при малых амплитудах колебаний ДГ из-за влияния коэрцитивности. На рис. 1,б в пользу этого предположения свидетельствует нелинейный спад максимумов кривых 1-3. В результате вычисление  $\Delta$  из зависимости  $\Delta = ki$  приводит к завышению ее величины по сравнению с истинным значением. В частности, при  $i = 0.3$  мА  $\Delta$  оказалась увеличенной в 3 раза. Результаты интегрирования кривых  $\delta_x(x), \delta_y(x)$  при  $i = 0.3$  мА, скорректированные с учетом сделанного замечания, показаны на рис. 2.

рис. 2. Распределение составляющих намагниченности  $I_x(x)$ ,  $I_y(x)$  в приповерхностной области  $180^\circ$  доменной границы, восстановленное по кривым рис. 1.



При смещении вдоль ДГ обнаружено ее разбиение на участки с различными знаками неелевской компоненты, т.е. зафиксирована субдоменная структура ДГ, которая может быть связана с наличием в ней блоховских линий и особенностей типа блоховская точка [6].

В заключение отметим некоторые результаты исследования технических характеристик головок. Измерение компоненты  $I_x$  вблизи рабочего зазора головки позволяет оценить величину поля записи ИМГ. Измерение  $\delta_x$  и  $\delta_o$  по описанной выше методике позволяет определять  $I_x$  (в единицах  $I_s$ ) во всем диапазоне рабочих токов ИМГ с помощью соотношения  $I_x = \delta_x I_s / \delta_o$ . Для исследованных головок  $I_x(i)$  линейно возрастает до  $i = 30$  мА, далее наклон  $I_x(i)$  падает и для  $i = 50$  мА  $I_x = 0.7 I_s$ . При увеличении частоты перемагничивания до 7 МГц величина  $I_x$  практически не изменялась.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] N a r i s h i g e S., H a n o z o n o M., T a k a g i M., K u w a t s u k a S. // IEEE Trans. Mag. 1988. MAG-20. P. 848-850.
- [2] A g r i l e B.E., P e t e k B., R e M.E., H e r m a n D.A. // J. Appl. Phys. 1988. V. 64. N 11. P. 6595-6597.
- [3] K o i k e K., M a t s u y a m a H. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 49. P. 980-981.
- [4] R a y n P.J., M i t c h e l l T.B. // J. Appl. Phys. 1988. V. 63. P. 3162-3164.
- [5] З у б о в В.Е., К р и н ч и к Г.С., К у д а к о в А.Д. // ПТЭ. 1988. № 3. С. 206-207.
- [6] З у б о в В.Е., К р и н ч и к Г.С., К у д а к о в А.Д. // ЖЭТФ. 1988. Т. 94. С. 243-249.

Поступило в Редакцию  
24 января 1990 г.