

12

© 1990

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МИКРОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО МАГНИТООПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

В.Е. Зубов, Г.С. Кричик,
С.Н. Кузьменко, С.И. Мацкевич

Анализ физических процессов работы элементов магнитной микроэлектроники, таких как элементы управления в ЦМД-схемах, интегральные магнитные головки и др., требует изучения распределения создаваемых ими магнитных полей. Развиваются методы измерения поля, использующие эффект Фарадея в прозрачных магнитных пленках, пространственное разрешение которых определяется толщиной пленок и составляет порядка нескольких микрон [1]. Другое направление основано на использовании магнитооптических эффектов Керра. Например, в работе [2] применен тонкопленочный ферромагнитный датчик диаметром 3 мкм, который позволял измерять составляющие магнитного поля, лежащие в плоскости пленки. Пространственное разрешение, полученное с помощью датчика, определялось его диаметром.

Добиться улучшения пространственного разрешения и увеличения динамического диапазона при измерении магнитных полей позволяет использование тонкопленочных металлизированных носителей магнитной записи. Так как металлизированный носитель предназначен для высокоплотной видеозаписи [3] и имеет зеркальную поверхность, то он является идеальным магнитооптическим датчиком для исследования элементов магнитной микроэлектроники. Такой датчик обеспечивает динамический диапазон измеряемых полей 2-3 порядка и имеет максимальную рабочую частоту не менее, чем 100 МГц. Высокое пространственное разрешение, которое определяется размерами области саморазмагничивания, достигается благодаря малой толщине и высокой коэрцитивности рабочего слоя носителя. Размеры области саморазмагничивания в этих носителях составляют $4-5d$ [4], где d - толщина рабочего слоя, т.е. при $d \sim 0.05$ мкм можно добиться предельного оптического разрешения 0.2-0.3 мкм. Однородность характеристик носителя позволяет использовать всю его поверхность и проводить измерения зависимости поля от координат в плоскости пленки, не смещая ее в исследуемом поле, что повышает точность измерений.

Достоинства предлагаемого датчика в полной мере могут быть реализованы при его использовании в высокочастотном магнитооптическом микромагнетометре (МММ) [5]. МММ позволяет изме-

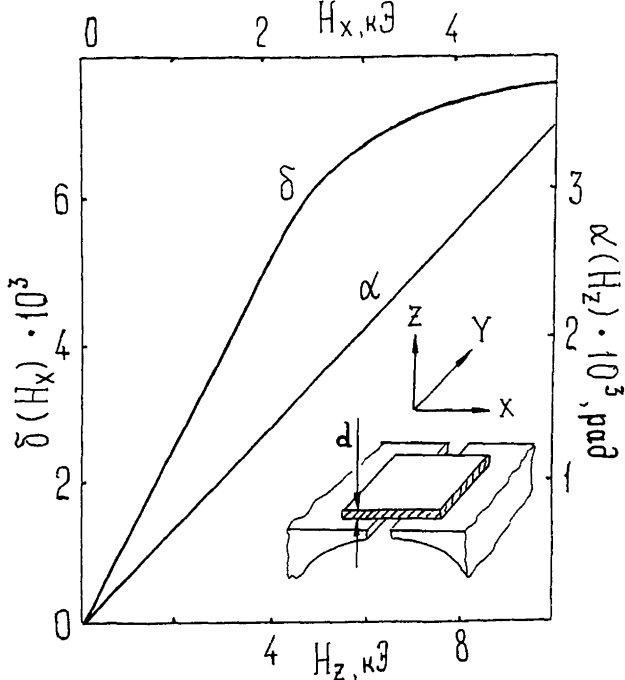


Рис. 1.

рять любую из трех составляющих намагниченности пленки, которые определяются соответствующими компонентами поля. Например, составляющие поля, параллельные плоскости пленки, могут быть измерены с помощью экваториального эффекта Керра (ЭЭК), нормальная составляющая — с помощью полярного эффекта Керра (ПЭК).

В настоящей работе использовалась лента с металлизированным носителем со следующими параметрами: толщина носителя $d \sim 0.1$ мкм, индукция насыщения $B_S = 4\pi M_S = 10-20$ кГс [4], ширина ленты 6 мм. Градуировка ленты проводилась в известном однородном магнитном поле. Градуировочные кривые для ЭЭК ($\delta(H_x)$) и ПЭК ($\alpha(H_z)$) представлены на рис. 1, там же показана используемая система координат.

На рис. 2 представлены результаты измерения полей над магнитной головкой с рабочим зазором $D = 5$ мкм, используемой в звукозаписи. Схематически взаимное расположение головки и ленты показано на вставке к рис. 1. Зависимости полей $H_x(x)$ и $H_z(x)$ измерялись на высоте $h = 6$ мкм (кривые 1 на рис. 2а, б) и $h = 12$ мкм (кривые 2) от рабочей поверхности головки. Были получены зависимости амплитуды и фазы (φ) полей H_x и H_z от частоты (f) тока, подаваемого в обмотку головки, в диапазоне от 20 Гц до 100 кГц, которые представлены на вставке к рис. 2, б.

Для определения H_{ex} и H_{ey} компонент поля \vec{H}_e , создаваемого головкой в отсутствии ленты, необходимо учесть поле самораз-

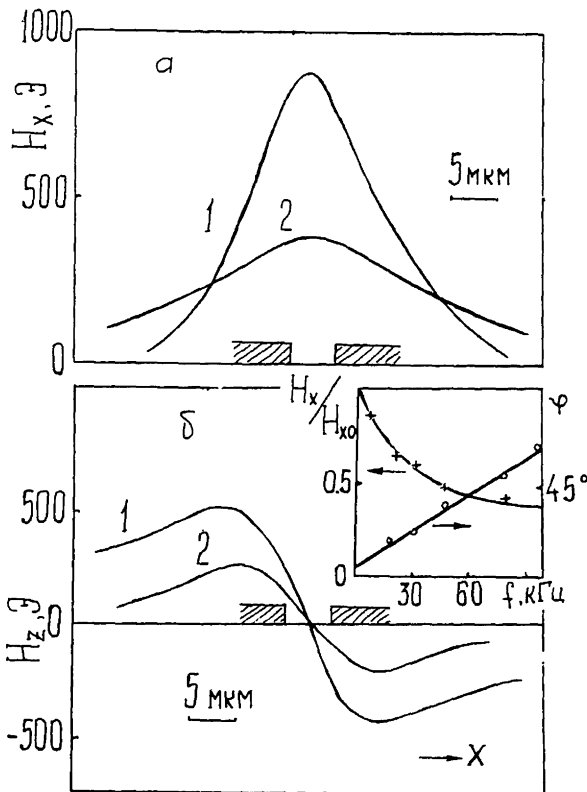


Рис. 2.

магничивания ленты \vec{H}_0 , так как измеряемые с помощью МОММ компоненты поля H_x и H_y являются результатом алгебраического сложения \vec{H}_e и \vec{H}_0 , т.е. $H_j = H_{ej} - H_{0j}$, где $j = x, y$. В нашем случае малая ширина рабочего зазора по отношению к его длине позволяет пренебречь изменением H_x и M_x в направлении y , а малая толщина рабочего слоя ленты дает возможность считать их практически не зависящими от z . Поэтому задача по вычислению H_{0x} сводится к одномерной и приближенно может быть решена следующим образом. Разбиваем ленту в направлении x на полосы, параллельные зазору с шагом Δx . Ставим на них номер k и для простоты полагаем, что заряд каждой из полос стянут в ее центр с координатой x_k . Так как объемная плотность "магнитного заряда" $\rho = -\text{div}\vec{H} = -\partial M_x(x)/\partial x$, то линейная плотность "магнитного заряда" k -й полосы равна $(M_k - M_{k+1}) \cdot d$, где $M_k = M_x(x)|_{x=x_k - \Delta x/2}$ определяется из измеренной кривой (см. рис. 2, а) и известного значения B_S . Суммирование полей, создаваемых отдельными полосками, приводит к выражению для величины поля размагничивания в точке x_m :

$$H_{0x}(x_m) = \frac{2d}{\Delta x} \sum_{k \neq m} \frac{M_k - M_{k+1}}{m-k}. \quad (1)$$

Отметим, что, так как отношение H_{0x}/H_x определяется производной $\partial M_x(x)/\partial x$, то, очевидно, что оно будет уменьшаться с ростом h при неизменном зазоре. При фиксированном параметре h/D величина H_{0x}/H_x меняется как $1/D$.

Уменьшить вклад саморазмагничивания можно, применяя пленки с меньшей толщиной (1) и с меньшей величиной B_s . Для использованного нами носителя были сделаны следующие оценки относительного вклада H_{0x} в H_x при D и h , характерных для современных устройств магнитной записи:

	$h/D=1, D=5 \text{ мкм}$	$h/D=1, D=0.5 \text{ мкм}$	$h/D=0.1, D=5 \text{ мкм}$
$B_s=10 \text{ кГс}$	1,5 %	15 %	5 %
$B_s=20 \text{ кГс}$	3 %	30 %	10 %

Для тонкой ферромагнитной пластины (что соответствует используемому датчику), намагниченной нормально к поверхности, справедливо следующее соотношение:

$$H_{ez} = -H_{0z} = 4\pi M_z,$$

т.е. H_{ez} определяется непосредственно из измеренных кривых (см. рис. 2, б).

Предлагаемая методика дает возможность восстанавливать трехмерное распределение магнитного поля в микрообъемах. Пространственное разрешение обеспечивается, с одной стороны, свойствами металлизированной пленки (ее разрешение равно $4-5d$, т.е. $\approx 0.5 \text{ мкм}$ в нашем случае), с другой стороны, оптическим разрешением МОММ ($\sim 0.3 \text{ мкм}$). То есть для улучшения разрешения имеет смысл уменьшать толщину пленки до $0.01-0.05 \text{ мкм}$. Методика позволяет измерять все три компоненты магнитного поля в диапазоне от нескольких Э до 3 кЭ . Использование высокочастотного МОММ дает возможность проводить фазочувствительные измерения поля от 20 Гц до 30 МГц .

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Кубраков Н.Ф., Червоненкис А.Я., Кашеев М.В. // ЖТФ. 1986. Т. 56. В. 6. С. 1215-1218.
- [2] Кринчик Г.С. и др. // ПТЭ. 1968. № 6. С. 182-184.
- [3] Arnoldussen T.C. // Proc. of IEEE. 1986. V. 74. N 11. P. 1526-1539.
- [4] Сиаккоу М. Физические основы записи информации. М.: Связь, 1980.
- [5] Зубов В.Е., Кринчик Г.С., Кудakov А.Д. // ПТЭ. 1988. № 3. С. 206-207.