

06; 12

© 1992

ТОПОГРАФИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
В МИКРОАЗОРАХ МАГНИТОПРОВОДОВ
В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 1-30 МГцВ.Е. Зубов, А.Д. Кудаков,
А.И. Маслов, С.И. Мацкевич

Современные устройства магнитной микроэлектроники характеризуются субмикронными размерами и высоким быстродействием. Это требует совершенствования методов контроля их характеристик. Например, эффективность магнитных головок обычно определяют путем измерения их амплитудно-частотных характеристик записи-воспроизведения [1]. Однако наличие так называемых волновых потерь при записи-воспроизведении, зависящих от ряда трудноконтролируемых параметров (неконтакт между головкой и магнитной лентой, толщина намагниченного слоя в ленте, эффективная ширина рабочего зазора головки) затрудняет оценку эффективности магнитной головки непосредственно по результатам измерения амплитудно-частотных характеристик. При увеличении плотности магнитной записи возрастает роль неоднородностей в распределении магнитного поля. Кроме того, увеличение поперечной плотности записи приводит к росту влияния краевых полей головок. Все это делает актуальным прямое измерение поля в микрообъемах.

Для решения этой задачи привлекаются различные физические методы. В настоящее время для измерения полей магнитных головок используются датчики Холла [2], магниторезистивные [3, 4], индукционные [5] и магнитооптические датчики, использующие эффект Фарадея [6]. Последние допускают также визуализацию исследуемого поля. Однако все указанные датчики позволяют измерять только одну составляющую поля и обладают недостаточным пространственным разрешением.

Измерение полей в микрообъемах может эффективно проводиться с помощью электронномикроскопической томографии, обеспечивающей измерение трех компонент поля с пространственным разрешением ~ 0.1 мкм [7, 8]. Однако минимальная высота над головкой, на которой проводятся измерения, составляет 0.4–0.5 мкм, что, по-видимому, связано с принципиальными ограничениями метода. Кроме того, сложность практической реализации метода и трудоемкость математической обработки результатов ограничивают возможность его широкого применения.

Перспективным для восстановления топографии магнитных полей в микрообъемах является метод, использующий магнитооптические эффекты в отраженном свете [9]. Он обладает высоким пространственным разрешением и широким частотным диапазоном. Использование различных магнитооптических эффектов позволяет измерять все три компоненты поля. Суть метода состоит в измерении линейных по намагниченности магнитооптических эффектов на поверхности тонкопленочного высококоэрцитивного датчика, помещенного в исследуемое поле. Поскольку каждая точка такого датчика сама является датчиком [9], то процедура топографирования поля существенно упрощается. В частности, имеется возможность исследовать распределение поля в плоскости пленки без ее смещения. Широкий частотный диапазон и измерение фазы поля обеспечиваются использованием высокочастотного магнитооптического микромагнетометра (МОММ) с рабочим диапазоном 20 Гц–30 МГц [10].

В качестве датчика в настоящей работе использована металлизированная пленка Co-Ni толщиной $d = 0.03$ мкм с коэрцитивностью $H_c \approx 300$ Э и индукцией насыщения $4\pi M_s \approx 10$ кГс. Пространственное разрешение датчика (b), определяемое размерами области саморазмагничивания [9], составляет $b \approx 2\pi d M_s / H_c \approx 0.3$ мкм и совпадает с предельным оптическим разрешением МОММ (0.2–0.3 мкм). Градуировочная кривая датчика $\delta(H_x)$, измеренная в однородном магнитном поле вдоль оси трудного намагничивания, практически линейна до 350 Э, насыщение наблюдается при $H_x \sim 600$ Э (где δ – экваториальный эффект Керра, H_x – компонента поля, параллельная плоскости пленки). Поправка к измеренным величинам магнитного поля, связанная с саморазмагничиванием датчика, в данном случае не превышает 15% [9]. Высота расположения пленки над поверхностью головки (h) определялась по интерференционным линиям равной толщины.

В работе исследованы магнитные поля рассеяния видеоголовок двух типов: низ горячепрессованного Mn-Zn феррита (ФВГ) с шириной зазора $D = 0.6$ мкм и из сендаста (СВГ) с $D = 2$ мкм.

На рис. 1 представлены типичные зависимости $H_x(x)$ для ФВГ, измеренные при различных значениях h (плоскость xy совпадает с рабочей поверхностью головки, а ось x перпендикулярна зазору). Координата y , отсчитываемая от края головки, отличается для разных линий сканирования и указана на рисунке. Аналогичные зависимости были получены и для СВГ. Анализ этих зависимостей

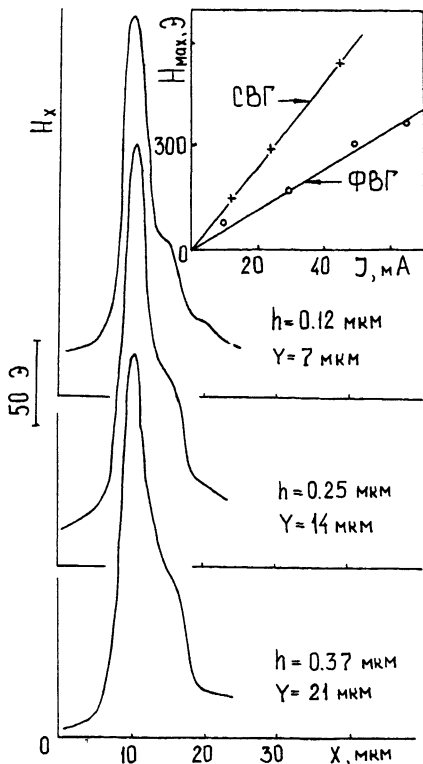


Рис. 1. Зависимости $H_x(x)$, измеренные над ФВГ при $f = 1$ МГц и $J = 50$ мА.

показывает, что при приближении к краю головки наблюдается заметное падение поля на расстояниях 10–15 μ от края, связанное с рассеянием через боковую поверхность магнитопровода. На вставке к рис. 1 показаны зависимости поля от тока в обмотке головок.

Впервые исследовано распределение магнитного поля в микрообъемах при изменении частоты (f) от 1 до 30 МГц. На рис. 2 представлены зависимости $H_x(x)$ ФВГ при разных частотах. Из рисунка видно, что поле H_x удается наблюдать вплоть до 30 МГц. Аналогичные исследования в СВГ показали, что при увеличении частоты поле уменьшается существенно быстрее, чем в ФВГ, и при $f = 21$ МГц H_x спадает более чем в 30 раз по сравнению с 1 МГц. Кроме того, различаются распределения полей над ФВГ и СВГ, особенно при высоких частотах. А именно, по мере удаления от зазора (вдоль оси x) магнитное поле над СВГ спадает медленно и на расстоянии 15 мкм от зазора составляет 25–50 % от максимального значения поля над головкой (H_{\max}); сдвиг фазы между

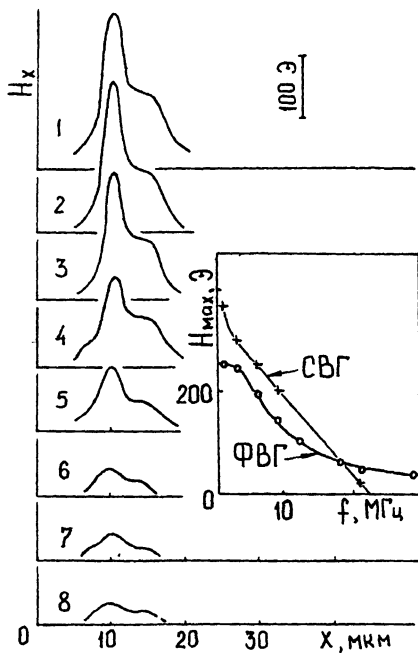


Рис. 2. Зависимости $H_x(x)$, измеренные над ФВГ при $h = 0.25$ мкм и $J = 50$ мА. Кривая 1 измерена при $f = 1$ МГц, 2 - 3 МГц, 3 - 6 МГц, 4 - 9 МГц, 5 - 12 МГц, 6 - 17 МГц, 7 - 21 МГц, 8 - 29 МГц.

полем и током в обмотке СВГ в отличие от ФВГ зависит от x ; неоднородность распределения фазы усиливается с ростом частоты. Особенности распределения поля над СВГ и его зависимость от частоты можно связать с влиянием скин-эффекта. Наличие скин-эффекта приводит к изменению распределения магнитных зарядов вблизи зазора и неоднородному распределению фазы намагниченности магнитопровода при повышении частоты. Глубина скин-слоя в сендасте при $f = 1$ МГц составляет ~ 12 мкм. (Расчет глубины скин-слоя производился с учетом частотной зависимости магнитной проницаемости [11]. Характеристики сендаста марки 10СЮ-ВИ взяты из работы [12]). Глубина скин-слоя примерно равна половине глубины рабочего зазора исследованных головок уже при $f = 100$ кГц.

Новым интересным результатом является изменение эффективного зазора СВГ при возрастании f . Ширина кривых $H_x(x)$ при увеличении частоты от 1 до 10 МГц уменьшается почти в 5 раз и при дальнейшем росте f остается практически постоянной. Это согласуется с результатами исследования нормальной составляющей намагниченности на поверхности этих головок [13].

Результаты [13] также свидетельствуют о сильном влиянии скин-эффекта в СВГ при $f > 1$ МГц.

Таким образом, впервые исследовано трехмерное распределение полей рассеяния в микрозазорах магнитопроводов в частотном диапазоне 1-30 МГц с пространственным разрешением 0.3 мкм. Вблизи зазора сендастового магнитопровода наблюдалось неоднородное распределение фазы поля вдоль сечения перпендикулярного к зазору, а также уменьшение эффективной ширины зазора с ростом частоты. Обнаружено ослабление поля при приближении к краю головок на 10-15 D .

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] J e f f e r s F. // Proc. IEEE. V. 74. N 11. P. 78-97.
- [2] L u s t i g C.D., B a i r d A.W., C h a u r e t t e W.F. et al. // Rev. Sci. Instrum. 1979. V. 50. N 3. P. 321-325.
- [3] G r o e n l a n d J.P.J., F l u i t m a n J.H.J.// J. Phys. E. 1981. V. 14. P. 503-506.
- [4] T s a n g C., C h e n M.M., J o g i T., J u K. Digest of the INTERMAG'90. 1990. P. CA-10
- [5] H o y t R.F., H e i m D.E., B e s t J.S. et al.// J. Appl. Phys. 1984. V. 55. P. 2241-2244.
- [6] К у б р а к о в Н.Ф., Ч е р в о н е н к и с А.Я., К а щ е е в М.В. // ЖТФ. 1986. Т. 56. В. 6. С. 1215-1218.
- [7] S t e c k M., S c h e w e H., K u b a l e k E. Digest of the INTERMAG'90. 1990. P. AA-10.
- [8] S h i n a d a H., F u k u h a r a S., S e n t o u S. et al. Digest of the UINTERMAG'90. 1990. P. FP-05.
- [9] З у б о в В.Е., К р и н ч и к Г.С., К у з ь м е н - к о С.Н., М а ц к е в и ч С.И. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 21. С. 53-56.
- [10] 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. В. 3. С. 206-208.
- [11] Y a s u d a I., Y o s h i s a t o Y., K a w a i Y. et al. // IEEE. Trans. on Magn. 1980. V. MAG-16. N 5. P. 870-872.
- [12] Я с и н а в и ч у с Р. // Радио. 1985. В. 1. С. 28-31.
- [13] 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., Л ы с к о в В.А. Деп. в ВИНТИ. № 44-В-88. М., 1987. 25 с.