

МАГНИТНЫЕ НАКОПИТЕЛИ

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЗАПИСИ

Около 30 лет назад был создан первый магнитный тонкопленочный преобразователь записи-воспроизведения – многовитковая тонкопленочная магнитная головка. Примерно через год был предложен оригинальный тонкопленочный преобразователь с экранированным магниторезистивным элементом. Два года спустя появился первый комбинированный преобразователь на базе тонкопленочного магнитного элемента для записи и магниторезистивного элемента для воспроизведения информации. Тонкопленочные преобразователи и по сей день совершенствуются и модернизируются. Эти работы открывают новую эру в магнитной записи.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛОТНОСТИ

Поверхностная плотность записи первого магнитного носителя информации на жестком диске "Ramask-305", разработанного в 1957 году на фирме IBM, составляла около 2000 бит/дюйм². В серийно выпускаемых современных накопителях с тонкопленочными магнитными преобразователями плотность записи информации достигает 11 Гбит/дюйм². Продемонстрированный относительно недавно однодюймовый (24,5 мм) диск с информационной плотностью 340 Мбит/дюйм² открывает широкие возможности для создания новых модификаций накопителей на миниатюрных носителях для различных сфер применения: цифровой фотографии, цифровой видеозаписи, беспроводной цифровой телефонии и др. [1]. В 1999 году на фирме IBM был создан лабораторный образец тонкопленочного магнитного накопителя с плотностью 35 Гбит/дюйм², что позволяет хранить на одном диске до 10 Гбит информации. Исследования перпендикулярной магнитной записи привели к реализации в 1997 году информационной плотности около 100 Гбит/дюйм². По оценке специалистов, такие накопители благодаря сравнительно высокой термостабильности и высокому уровню сигнала воспроизведения позволяют постепенно приблизиться к поверхностной плотности до 1000 Гбит/дюйм².

СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Для надежной записи в накопитель информации с высокой плотностью напряженность магнитного поля тонкопленочных полюсных на-

конечников должна в три-четыре раза превышать коэрцитивную силу рабочего слоя носителя, т.е. если коэрцитивная сила рабочего слоя равна 5–7 кЭ, то магнитное поле записи должно быть не менее 2,0 Тл. Такое магнитное поле можно реализовать на пленках CoFeCu и CoNiFe, магнитная индукция насыщения которых равна примерно 2,0 и 2,1 Тл, соответственно. Однослойные пленки CoNiFe толщиной около 1 мкм, наносимые методом гальваноосаждения [2], имеют гомогенную кристаллическую текстуру. Условия гальваноосаждения позволяют формировать объемноцентрированную и границентрированную кристаллографические структуры или их комбинации. Размер кристаллических зерен равен 10–20 нм. Содержание кобальта, никеля и железа в тонкопленочных образцах CoNiFe не остается постоянным в разных точках кристаллических зерен – в центре зерен 57,6% Co, 12,9% Ni и 29,5% Fe, а на их границах – 56,7%, 13,3% и 30,0%, соответственно, т.е. в центре зерен преобладает обогащенная кобальтом фаза. Измерения показали, что гальваноосажденные пленки CoNiFe, кроме высокой магнитной индукции насыщения, обладают сравнительно небольшой коэрцитивной силой – до 2,0 Э, а их магнитострикция насыщения не превышает 10⁻⁶.

Высокие требования предъявляются и к материалам тонкопленочных магнитопроводов и экранирующих элементов преобразователей для накопителей информации большой емкости [2–10]. Поэтому токоведущие элементы тонкопленочной магнитной головки изготавливают из магнитного сплава с высокой магнитной индукцией насыщения, явно выраженной магнитной анизотропией, высокой магнитной проницаемостью, низкой коэрцитивной силой, небольшими значениями магнитострикции и внутренних напряжений, а также с высокой коррозионной стойкостью. Сравнительно неплохими магнитомягкими свойствами обладают железонитридные пленки с относительно небольшой магнитострикцией. Сочетание слоев железонитридного материала с пермаллоевыми заметно улучшает магнитомягкие свойства многослойной структуры. Например, коэрцитивная сила многослойных пленок, содержащих железонитридные – (97% Fe, 3% Al)_{1-x}N_x и пермаллоевые – 81% Ni, 19% Fe слои, равна 0,4 Э, а поле анизотропии – 3 Э [3]. Их магнитострикция не превышает 10⁻⁶. Магнитная индукция насыщения структуры приближается к 2,0 Тл.

Многослойная тонкопленочная структура состава FeAlN/NiFe формируется высокочастотным и магнетронным напылением FeAl в





атмосфере смеси аргона и азота (40%) при давлении 0,3 Па и NiFe в атмосфере чистого аргона. Магнитные свойства структуры зависят от кристаллографической текстуры напыленных пленок как FeAlN, так и FeAlN/NiFe. С увеличением содержания азота с 0 до 20% размеры кристаллических зерен однослойных пленок FeAlN монотонно уменьшаются примерно с 20,0 до 5,0 нм. Средний размер кристаллических зерен с увеличением периода слоистой структуры FeAlN/NiFe с 15 до 160 нм возрастает приблизительно с 9,0 до 15,0 нм. При этом поле анизотропии уменьшается с 5 до 2 Э, а коэрцитивная сила немного возрастает – с 0,8 до 1,2 Э. Правда, с увеличением периода слоистой структуры магнитострикция заметно уменьшается.

Магнитные свойства тонкопленочных структур FeAlN/NiFe в сильной степени зависят от соотношения толщин железонитридных и пермаллоевых слоев. С увеличением этого отношения с 1 до 23 при неизменной общей толщине структуры 0,48 мкм магнитная индукция насыщения монотонно увеличивается с 1,5 до 2,0 Тл, а коэрцитивная сила вдоль оси легкого намагничивания – с 0,3 до 2 Э. Примерно такой же характер носит и изменение коэрцитивной силы вдоль оси трудного намагничивания, которая почти для всех рассматриваемых соотношений толщин приблизительно на 0,5 Э меньше, чем в направлении легкого намагничивания. На кривой зависимости поля анизотропии от отношения толщин железонитридных и пермаллоевых слоев при соотношении 1:5 наблюдается минимум, равный примерно 2,6 Э.

Таким образом, рассмотренные тонкопленочные многослойные структуры FeAlN/NiFe и однослойные пленки CoNiFe имеют достаточно большое значение магнитной индукции насыщения при небольших значениях коэрцитивной силы и магнитострикции насыщения, что несомненно представляет практический интерес для разработчиков преобразователей с элементами из магнитомягкого материала.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДОЛЬНОЙ И ПОПЕРЕЧНОЙ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

При разработке накопителей информации большой емкости основное внимание уделяется исследованию продольной и перпендикулярной магнитной записи. О поперечной магнитной записи сведений значительно меньше. При продольной магнитной записи векторы намагниченности в рабочем слое носителя ориентированы вдоль дорожки записи. Изменение направления вектора намагниченности на обратное приводит к образованию области перемагничивания, называемой переходом намагниченности. Чем меньше величина перехода, определяемая длиной области перемагничивания, тем выше плотность записи информации.

При поперечной магнитной записи векторы намагниченности ориентируются поперек дорожки записи. Преимущества такой записи перед продольной: получение чрезвычайно узкой, субмикронной ширины дорожки и, следовательно, высокой поперечной плотности записи информации. Кроме того, при такой записи распределение намагниченности в рабочем слое чрезвычайно стабильно, что обусловлено довольно слабым размагничивающим полем. Правда, поскольку возникающий при записи в области перемагничивания магнитный поток замыкается преимущественно в рабочем слое носителя, в пространстве, окружающем переход намагниченности, возникает чрезвычайно слабый магнитный поток рассеяния. А это, естественно, затрудняет регистрацию перехода при воспроизведении информации.

Более 15 лет назад была продемонстрирована возможность поперечной магнитной записи на магнитный диск с кобальт-самарие-

вым рабочим слоем с радиальной анизотропией и относительно высокими поперечной и продольной плотностями записи – 500 дорожек/мм и 8000 пер./мм, соответственно. Для воспроизведения применялся высокочувствительный магниторезистивный преобразователь. Однако несмотря на его высокую чувствительность, воспроизвести информацию со столь высокой плотностью не удалось – приемлемый сигнал воспроизведения получали только при продольной плотности не более 300 пер./мм.

Результаты микромагнитного моделирования продольной и поперечной записи с учетом магнитных параметров высококоэрцитивного носителя информации показывают, что при продольной записи уровень выходного сигнала с увеличением линейной плотности записи с 2 до 4 пер./мкм резко падает [11-14]. Дальнейшее увеличение плотности записи с 4 до 12 пер./мкм не влияет на уровень выходного сигнала. Не изменяется при этом и относительная намагниченность областей рабочего слоя носителя с записанной информацией, причем в этом интервале он близок к уровню шума. А это значит, что при плотности записи, превышающей 4 пер./мкм, воспроизведение записанного сигнала затруднено. Не меняется и относительная намагниченность областей рабочего слоя носителя с записанной информацией. Напомним, что значение линейной плотности 4 пер./мкм примерно равно 10^5 пер./дюйм², что соответствует высокому показателю плотности современных накопителей информации. Уровень приведенного выходного сигнала поперечной записи относительно плавно уменьшается с ростом линейной плотности записи, постепенно приближаясь при 12 пер./мкм к уровню сигнала продольной записи.

Разница уровней сигнала при продольной и поперечной записи с увеличением плотности записи с 2,5 до 12,0 пер./мкм монотонно уменьшается. При линейной плотности поперечной записи 4 пер./мкм изображение расположения дорожек, полученное с помощью магнитного микроскопа, размывается (рис. 1а), т.е. сигнал сравним с шумом, что следует из приведенных выше результатов микромагнитного моделирования. При этой же плотности на дорожке продольной записи (рис. 1б) сравнительно неплохо различа-

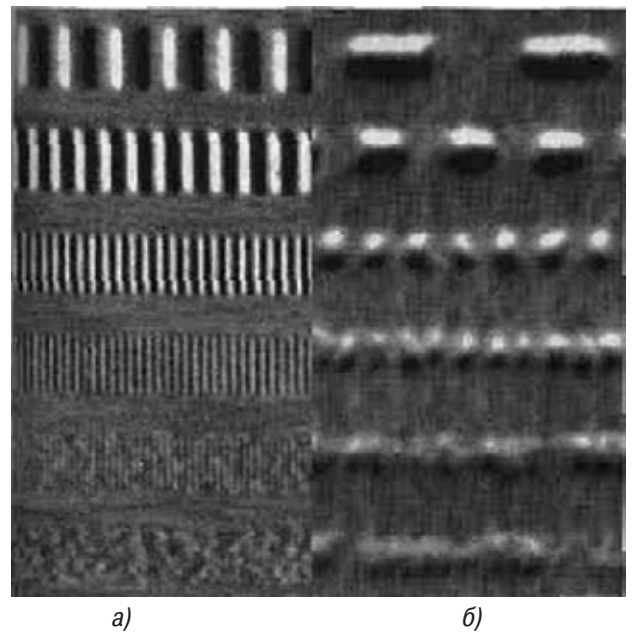


Рис. 1. Расположение дорожек при различной плотности поперечной (а) и продольной (б) записи. Изображение получено с помощью магнитного микроскопа. Линейная плотность записи соответственно равна (сверху вниз): 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 5,0 пер./мкм

ются светлые и темные полосы, соответствующие периодам намагниченности. Шаг дорожек при продольной записи составляет 8 мкм, при поперечной – 2,5 мкм. Это означает, что при неизменной линейной плотности поперечная запись позволяет увеличить более чем в три раза поверхностную информационную плотность. Однако такое увеличение поверхностной плотности записи удастся реализовать лишь тогда, когда поперечная запись по отношению сигнал/шум станет сопоставимой с продольной и для воспроизведения более слабого сигнала поперечной магнитной записи можно будет использовать существующие современные средства считывания информации.

Таким образом, исследования показали, что современные тонкопленочные средства записи-воспроизведения информации позволяют получить сравнительно неплохие результаты при плотности продольной записи не менее 4 пер./мкм [12]. При этих исследованиях магнитным носителем служил высококоэрцитивный слой $\text{Co}(17\%)\text{Cr}(17\%)\text{Pt}(5\%)\text{Ta}(4\%)$ толщиной 17 нм с поверхностной плотностью продольной записи около 5 Гбит/дюйм². Его магнитные характеристики: коэрцитивная сила рабочего слоя 2,5 кЭ, остаточная намагниченность – 241 кА/м, намагниченность насыщения – 282 кА/м. Высота плавления магнитной головки при продольной записи была равна примерно 33 нм, линейная плотность записи составляла 400–16000 пер./мм.

Положение дорожек записи регистрировалось с помощью магнитного микроскопа. На одной из картин дорожек записи при линейной плотности 4000 пер./мм хорошо видна периодическая структура темных и светлых областей рабочего слоя, соответствующих намагниченному и ненамагниченному фазам (рис.2). Периодичность такой структуры λ (своеобразная длина волны) определяет линейную плотность записи. Величина λ монотонно уменьшается примерно с 0,7 до 0,2 мкм при увеличении плотности записи с 400 до 16000 пер./мм. При этом снижается и уровень выходного сигнала. Наиболее существенное уменьшение уровня выходного сигнала и величины λ наблюдается при увеличении линейной плотности с 400 до 6000 пер./мм. Предполагается, что при плотности записи выше 6000 пер./мм шумы рабочего слоя могут привести к искажению формы переходов намагниченности.

Приведенные результаты показывают, что современные средства записи-воспроизведения пригодны для реализации накопителей с довольно высокой информационной плотностью, и дальнейшее

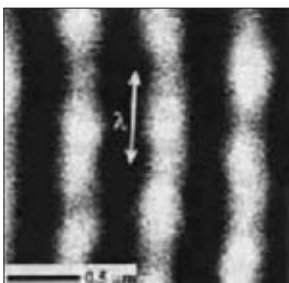


Рис. 2. Расположение дорожек высокоплотной записи

увеличение ее по мере модернизации элементов накопителей информации вполне реально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Romankiw L.T. Thirty Years of Thin Film Magnetic Heads for the Hard Disk Drivers. – J. Magn. Soc. Japan, 2000, v.24, №1, p.1-4.
2. Osaka T., Takai M. et al. New Soft Magnetic CoNiFe Plated Films with High $B_s=2,0-2,1$ T. – IEEE Trans. Magn., 1998, v.34, p.1432-1434 (№4, p.1).
3. Judy J.H. Memories of Perpendicular Magnetic Recording. – J. Magn. Soc. Japan, 1999, v. 23, № 2, p. 749-750.
4. Maass W., Ocker B., Rohrmann H. et al. Soft Magnetic Properties of Laminated (FeAl)N/NiFe Films for Advanced Thin Film Heads. – J. Magn. Soc. Japan, 1999, p.249-251.
5. Lu P.L., Charap S.H. Thermal Instability at 10 Gbit/in² Magnetic Recording. – IEEE Trans. Magn., 1994, v.31, p.4230-4232.
6. Takai M., Hayashi K., Aoyagi M. et al. Electrochemical Preparation of Soft Magnetic CoNiFe Film with High Saturation Magnetic Flux Density and High Resistivity. – J. Electrochem. Soc., 1997, v.144, p. L203-L204.
7. Карпенков С.Х. Магниторезистивные материалы – исследования продолжаются. – ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, 2000, №1, с. 50-53.
8. Карпенков С.Х. Тонкопленочные материалы с гигантским магнетосопротивлением. – Зарубежная электронная техника, 1999, №3, с. 68-87.
9. Карпенков С.Х. Гетерогенные тонкопленочные материалы. – Техника машиностроения, 2000, №1, с. 44-46.
10. Карпенков С.Х. Перспективные накопители информации. – Информатика – машиностроение, 1999, №2, с. 50-51.
11. Miles J., Sivasamy P., Wdowin M. et al. A Comparison of Longitudinal and Transverse Recording. – IEEE Trans. Magn., 1998, v.34, №4, p.1979-1981.
12. Phillips G.N., Suzuki T. MFM Imaging of Bit Transition in 5 Gbit/in² CoCrPtTa Media. – IEEE Trans. Magn., 1998, v.34, №2, p.390-392.
13. Gomez R.D., Burke E.R., Mayergoz T.D. Magnetic Imaging in the Presence of External Fields: Technique and Applications. – J. Appl. Phys., 1996, v.79, p.6441-6443.
14. Glijer., Abarra E.N., Kisker H. et al. MFM Studies of Recording Phenomena in High Density Longitudinal Recordings. – IEEE Trans. Magn., 1996, v.32, p.3557-3559.

Новости от бывшего КВАДРУСа

Комплексный поставщик электронных, электротехнических и механических комплектующих, контрольно-измерительного оборудования, приборов и инструмента, официальный дистрибьютор RS Components в России **ЗАО ИНКОЛЛ** (бывшая компания КВАДРУС, г. Екатеринбург) переехал в новый офис.

Наших постоянных и будущих клиентов просим обращаться по новому адресу:

620062, РФ, г.Екатеринбург
ул. Генеральская, 3, оф. 332
тел/факс (3432) 75 87 18, 65 20 20
E-mail: incoll@mail.ur.ru
www.incoll.ur.ru