

в эпитаксиальной пленке и диффузией кислорода из подложки в эпитаксиальную пленку.

В заключение авторы выражают свою признательность А.Ю.Трошину за предоставленные образцы эпитаксиальных структур.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] A n t o n i B., B l a n k S.L. et al. // J. of Magnetism and Mag. Mater. 1980. V. 20. P. 216-219.
- [2] A n t o n i B., B l a n k S.L. et al. // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. N 3. P. 2495-2497.
- [3] С т а р о с т и н Ю.В., Ш а б у р н и к о в А.В., Ш у п е г и н М.Л. Мат. 1X Всес. конф. „Новые магнитные материалы для микроэлектроники“, 1984 г., с. 42-43.
- [4] M o r i s e a u H., F e r r a n d B. et al. // IEEE Trans. on Mag., MAG-20. 1984. N 5. P.1004-1006.
- [5] П а в л о в Л.П. Методы измерения параметров полупроводников. М.: Высшая школа, 1987 г., 240 с.
- [6] L e S c r a w R.C., G y o r g y E.M. et al.// Appl. Phys. Lett. 1977. V. 31. P. 243-244.

Поступило в Редакцию
22 ноября 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 4
05.2
09

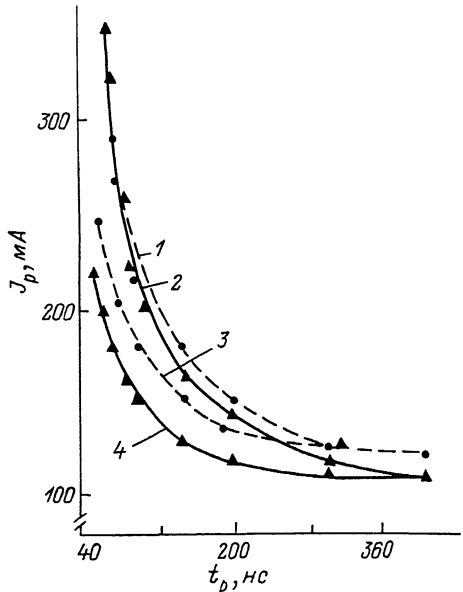
26 февраля 1989 г.

ОПТИМИЗАЦИЯ ИМПУЛЬСА СЧИТЫВАНИЯ ВБЛ-ИНФОРМАЦИИ

А.Г. Ш и ш к о в, Е.Н. И л ь и ч е в а,
Ю.Н. Ф е д ю н и н, Э.В. К о ч е т к о в а

В гипотетическом запоминающем устройстве (ЗУ) со сверхвысокой плотностью записи ($\sim 10^9$ бит/см²) на вертикальных блоховских линиях (ВБЛ) Кониши был предложен принцип считывания ВБЛ-информации, состоящий в отрезании головки от полосового домена (ПД) [1]. Такое считывание основано на том, что процесс отрезания чувствителен к состоянию (полярности) стенок ПД. Необходимо, чтобы разрезание ПД не нарушало структуру стенок. Следовательно, важной задачей является изучение оптимальных условий считывания. Эти условия включают амплитуду и длительность считываемого импульса, а также длительность его переднего фронта. Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию влияния длительности t_p и времени нарастания t_φ (фронта) разрезающего импульса магнитного поля на амплитуду поля разрезания

Рис. 1. Зависимость тока разрезания ПД от длительности импульса разрезания.



H_p в присутствии постоянно-го поля смещения H_{CM} . Исследовались два вида доменов: с параллельной и антипараллельной ориентацией намагниченности в стенках ПД. Наблюдения проводились с помощью эффекта Фарадея [2]. В качестве объекта исследования служили Bi -содержащие феррит-гранатовые пленки толщиной $h=8.6-10.4$ мкм, имеющие намагниченность насыщения $4\pi M_S=180-220$ Гс, фактор качества $Q=5-15$, константу затухания $\alpha=0.05-0.09$. Для формирования уединенного полосового домена

применялась система параллельных токоведущих шин, образующих петлю удержания ПД. Локальное разрезающее поле создавалось с помощью пары токоведущих шин шириной 5-7 мкм с расстоянием между ними 6-8.4 мкм, нанесенных непосредственно на поверхность пленки.

На рис. 1 показаны кривые зависимости амплитуды порогового импульса тока разрезания J_p от длительности импульса t_p для ПД с антипараллельной (кривые 1, 3) и параллельной (кривые 2, 4) ориентацией намагниченности в стенках для двух значений времени нарастания импульса $t_\varphi=10$ нс - кривые 1, 2; $t_\varphi=40$ нс - кривые 3, 4. Видно, что с ростом длительности импульса t_p амплитуда тока разрезания уменьшается и, начиная со значения $t_p \geq 400$ нс, остается почти постоянной и составляет ~ 108 мА, что примерно соответствует полю $H_p=76$ Э. Поле смещения H_{CM} равнялось 91 Э. Таким образом, суммарное наименьшее поле разрезания ПД ($H_{CM} + H_p$) приближается к значению $4\pi M_S=180$ Гс, характеризующему максимальное размагничивающее поле в пленке и описывается формулой

$$H_{CM} + H_p(t) \cong 4\pi M_S (1 - 2W_{KP}/h), \tag{1}$$

где W_{KP} - минимальная ширина ПД, при которой происходит разрыв, h - толщина пленки. Для разрезания ПД с одинаково поляризованными стенками требуется немного меньшее поле, поскольку критическая ширина такого ПД чуть больше, чем в случае ПД с антипараллельными поляризованными стенками (т.к. $W_{KP}^{\uparrow\downarrow} - W_{KP}^{\uparrow\uparrow} \approx 2\delta_W$, где δ_W - толщина доменной стенки).

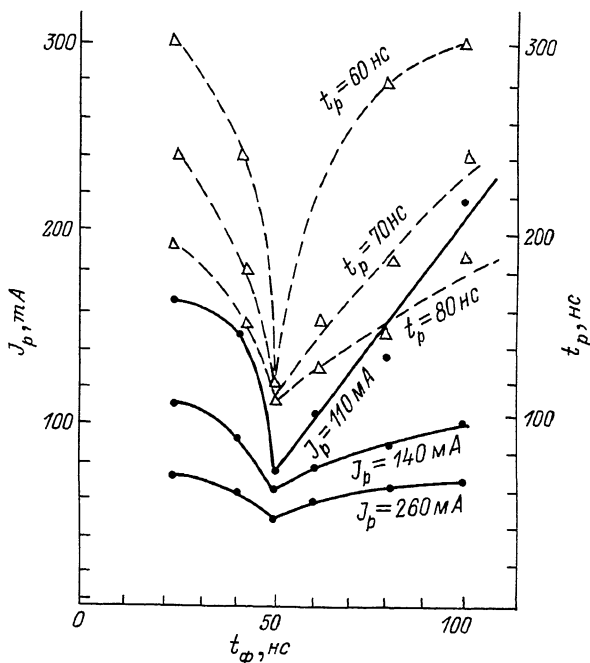


Рис. 2. Зависимость тока разрезания ПД (пунктир) от длительности фронта при разных длительностях импульса. Зависимость длительности разрезающего импульса от длительности фронта (сплошные линии) при разных токах разрезания.

При сравнительно малых длительностях разрезающего импульса ($t_p < 400$ нс) необходимо повысить амплитуду импульса поля, чтобы увеличить среднюю скорость сближения стенок (см. далее уравнение (6)). Из рис. 1 также видно, что с уменьшением времени нарастания тока в импульсе t_ϕ происходит уменьшение области различия в полях разрезания ПД, имеющих параллельную и антипараллельную ориентацию намагниченности в стенках [3].

На рис. 2 показано влияние времени нарастания t_ϕ на амплитуду J_p и длительность t_p импульса тока, при котором наступает разрезание ПД. Видно, что в интервале значений t_ϕ от 20 до 100 нс существует такой критический фронт $t_\phi^{кр}$, при котором разрезание ПД наступает в минимальном поле $H_p^{мин}$ при минимальной длительности $t_p^{мин}$. В данном случае $t_\phi^{кр} = 50$ нс.

Для объяснения наблюдаемого явления проведем приближенный анализ движения стенок ПД. Это движение происходит под действием эффективного поля $H_{эф}(t)$, которое складывается из постоянного поля смещения $H_{см}$, импульсного поля $H_{имп}(t)$

и размагничивающего поля $H_d(t) \cong 4\pi M_S - 8\pi M_S W(t)/h$, где $W(t)$ – переменная ширина ПД. Уравнение движения стенки в приближении вязкого трения имеет вид:

$$-\frac{dx}{dt} = \mu_W [H_{\text{имп}}(t) - 16\pi M_S |\Delta x(t)|/h], \quad (2)$$

где μ_W – подвижность стенки ПД, Δx – смещение стенки. Эффективное поле $H_{\text{эф}}(t)$ не должно превышать критического значения $H_{\text{кр}}$ при котором, как известно [4], достигается предельная скорость, и наступает динамическое преобразование структуры стенки. Эффективное поле достигает максимума к концу фронта. Для случая линейного нарастания внешнего поля $H_{\text{имп}}(t) = \Delta H_0 t / t_\varphi$, где ΔH_0 – амплитуда импульса поля разрезания, и при условии $\mu_W = \text{const}$ уравнение (2) имеет следующее решение (при $t < t_\varphi$):

$$x(t) = x_0 - \frac{\Delta H_0}{t_\varphi k^2 \mu_W} \cdot (k \mu_W t - 1) - \frac{\Delta H_0}{t_\varphi k^2 \mu_W} \cdot e^{-k \mu_W t}, \quad (3)$$

где $k \equiv 16\pi M_S / h$. Пользуясь уравнениями (2, 3), можно найти зависимость эффективного поля от времени при $t \leq t_\varphi$:

$$H_{\text{эф}}(t) = \frac{\Delta H_0}{t_\varphi} \cdot t_0 (1 - e^{-t/t_0}), \quad (4)$$

где

$$t_0 \equiv 1/k \mu_W. \quad (5)$$

Анализ зависимости $H_{\text{эф}}(t)$ показывает, что при $t_\varphi \geq 50$ нс эффективное поле никогда не превышает критического значения $H_{\text{кр}} = 2.3$ Э, соответствующего началу преобразования структуры движущейся стенки. Экспериментально $H_{\text{кр}}$ определялось по раскатке ЦМД в градиентном поле. В поле $H_{\text{эф}} < H_{\text{кр}}$ движение стенки происходит с высокой начальной подвижностью $\mu_1 = 6.3$ м/с · Э (μ_1 также определялось по раскатке ЦМД). При $t_\varphi < 50$ нс уже в самом начале действия фронта наступает превышение эффективным полем критического значения. Так, при $t_\varphi = 20$ нс это превышение происходит в момент времени $t = 0.05 t_\varphi$. Рассматривая модель ступенчатого нарастания импульса магнитного поля ($t_\varphi \ll \ll t_0$), при котором $H_{\text{эф}}$ сразу превышает $H_{\text{кр}}$, находим зависимость от длительности амплитуды импульса, необходимого для разрезания в виде:

$$\Delta H_p(t_p) = \frac{W_0 - W_{\text{кр}}}{\mu_W t_0 [1 - \exp(-t_p/t_0)]}. \quad (6)$$

Сравнивая эту зависимость с экспериментальной (рис. 1) для случая короткого фронта $t_{\varphi} = 20 \text{ нс} < t_{\varphi}^{KP}$, находим $t_0 = 115 \text{ нс}$. По формуле (5) определяем подвижность $\mu_W = \mu_2 = 0.06 \text{ м/с. Э}$. Следовательно, движение стенки в эффективном поле, превышающем критическое, происходит с подвижностью μ_2 , много меньшей μ_1 ($\mu_2 \approx \alpha^2 \mu_1$). Очевидно, это связано с динамическим преобразованием структуры стенки.

Таким образом, показано, что для считывания ВВЛ-информации нельзя использовать импульсы с $t_{\varphi} < t_{\varphi}^{KP}$. При $t_{\varphi} \approx t_{\varphi}^{KP}$ разрезание ПД происходит в оптимальном режиме с минимальной амплитудой при минимальной длительности импульса магнитного поля. Важно, что динамического нарушения структуры стенок при этом считывании не происходит.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] K o n i s h i S. // IEEE Trans. on Magn. Vol. MAG-19. 1983. N 5. P. 1938-1940.
- [2] Кочеткова Э.В., Гришачев В.В., Ильичева Е.Н., Шишков А.Г., Федюнин Ю.Н., Погожев В.А., Абакумов Б.М., Ходжаев В.Д., Иерусалимов И.П. Тезисы докл. XI Всес. школы-семинара „Новые магнитные материалы микроэлектроники“ (Ташкент, 1988), часть 2, с. 362-363.
- [3] Шишков А.Г., Абакумов Б.М., Гришачев В.В., Ильичева Е.Н., Кочеткова Э.В., Федюнин Ю.Н. Тезисы докл. XVШ Всес. конф. по физике магнитных явлений (Калинин, 1988), с. 239-240.
- [4] Малоземов А., Слонзуски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982.

Московский
государственный
университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
12 декабря 1988 г.