

## МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ЯЧЕЕК МАГНИТООПТИЧЕСКОГО УПРАВЛЯЕМОГО ТРАНСПАРАНТА С ПОВЫШЕННОЙ КОЭРЦИТИВНОСТЬЮ

*М. В. Логунов, В. В. Раидошкин, Ю. Н. Сажин, В. П. Клиш, Б. П. Нам,  
А. Г. Соловьев*

Одним из важных параметров МОУТ является время переключения информационных ячеек [1]. В последнее время опубликован ряд работ, посвященных изучению механизмов переключения МОУТ с различной геометрией ячеек [2-5]. Динамика переключения ячеек исследовалась для пленок феррит-гранатов с ориентацией (111). Характерные времена переключения составляли  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  с, что в ряде случаев оказывается недостаточным. Повышения быстродействия можно достичь путем использования в МОУТ пленок с орторомбической анизотропией, обладающих высокой скоростью движения доменных стенок (ДС) [6]. Однако динамика переключения таких МОУТ практически не исследована.

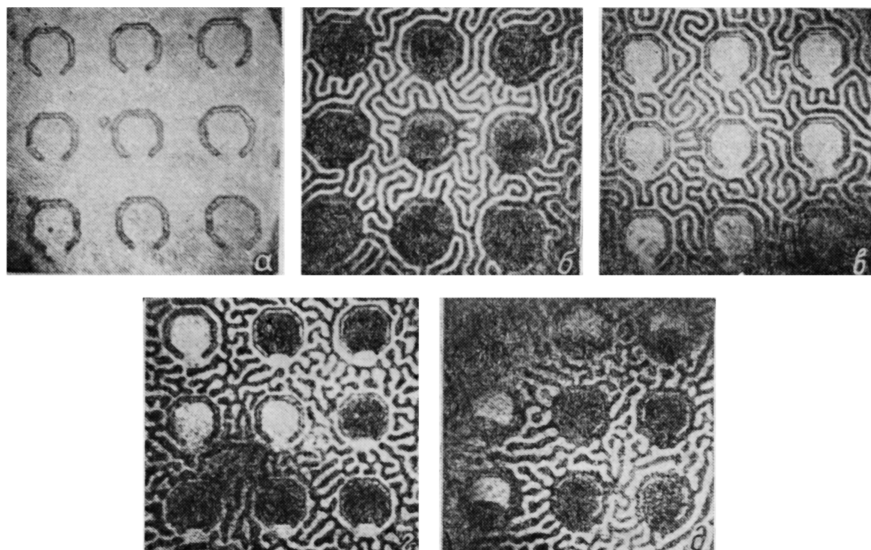


Рис. 1. Микрофотографии ячеек МОУТ в однородно намагниченном состоянии (а) и в отсутствие внешнего магнитного поля (б—д).

В настоящей работе изучены механизмы переключения восьмигранных ячеек МОУТ размером 120 мкм, сформированных в МПФГ состава  $(Y, Lu, Pr, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$  путем одновременного использования локального диффузионного отжига и размерного травления пленок. Пленки выращены методом жидкофазной эпитаксии на подложках  $(Gd, Ga)_3(Mg, Zr, Ga)_5O_{12}$  с ориентацией (210). Повышенную коэрцитивность в ячейках получали в состоянии, близком к точке компенсации магнитного момента (КММ).

На рис. 1 показаны микрофотографии ячеистой структуры МОУТ в статике. Размерное травление пленки обеспечивало создание барьера со всех сторон ячейки, кроме одной (рис. 1, а). Этот барьер служил препятствием для движущейся ДС. Локальный диффузионный отжиг обеспечивал монодоменное состояние ячеек в отсутствие внешнего поля (рис. 1, б—г), а благодаря высокой коэрцитивности стабильным оказывалось и состояние ячеек, разделенных на две части доменной стенкой (ДС) (рис. 1, д).

Динамику переключения ячеек исследовали методом высокоскоростной фотографии [2]. Переключение ячеек происходило под действием импульса магнитного поля  $H_{\perp}$ , приложенного перпендикулярно плоскости пленки. Приложение этого поля вызвало переключение ячейки лишь при условии превышения его амплитудой некоторого порогового поля  $H_1 = 60$ — $80$  Э. Если длительность импульса  $\tau_{\perp}$  была недостаточной для переключения ячейки,

то ДС останавливалась внутри ячейки в положении, зависящем от  $\tau_n$  (рис. 1, б). В дальнейшем остановившуюся ДС можно было сдвинуть одним или несколькими импульсами амплитудой  $H_1 > H_n > H_2 = 30-50$  Э и таким образом полностью переключить ячейку. Величина  $H_2$  близка к статическому полю переключения ячейки. Типичная зависимость минимальной амплитуды магнитного поля  $H_n^*$ , обеспечивающего полное переключение ячейки, в зависимости от длительности импульса  $\tau_n$  приведена на рис. 2.

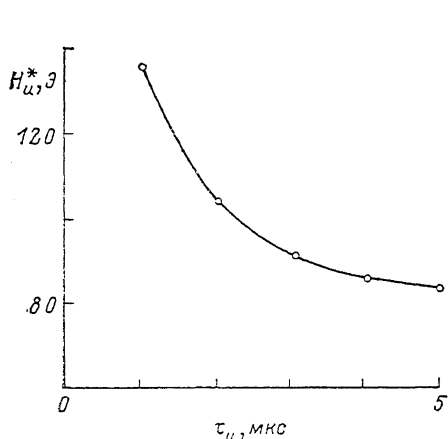


Рис. 2. Типичная зависимость минимальной амплитуды  $H_n^*$  магнитного поля, обеспечивающей полное переключение ячейки, от длительности импульса  $\tau_n$  магнитного поля.

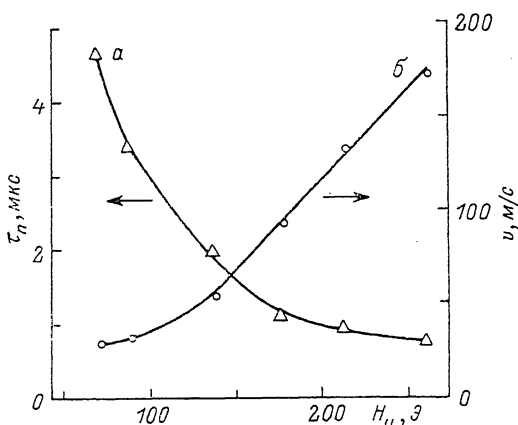


Рис. 3. Зависимости времени переключения ячеек  $\tau_n$  (а) и скорости ДС  $v$  (б) от амплитуды импульса магнитного поля  $H_n$ .

На рис. 3 показаны зависимости времени переключения ячейки  $\tau_n$  и скорости ДС  $v$  внутри ячеек от  $H_n$ . Пленки (Y, Lu, Pr, Bi)<sub>3</sub>(Fe, Ga)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> с ориентацией (210) обладают высокой орторомбической анизотропией, однако значения  $v$  оказались не слишком большими:  $v = 25-40$  м/с при  $H_n = 100$  Э и  $v \leq 250$  м/с при  $H_n = 300$  Э. Это объясняется низкой намагниченностью в ячейках, так как подвижность и предельная скорость ДС пропорциональны намагниченности пленки [1]. Тем не менее указанные значения скоростей на порядок превышают значения, характерные для пленок с ориентацией (111) [2-5]. С увеличением  $v$  значение  $\tau_n$  уменьшается (рис. 3).

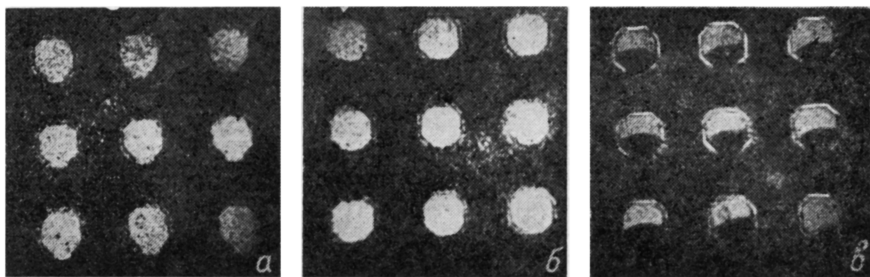


Рис. 4. Микрофотографии ячеек МОУТ в различные моменты времени  $t$  после приложения импульса магнитного поля  $H_n = 120$  Э и  $\tau_n = 3$  мкс.

$t$ , мкс: а — 0.09, б — 0.16, в — 1.49.

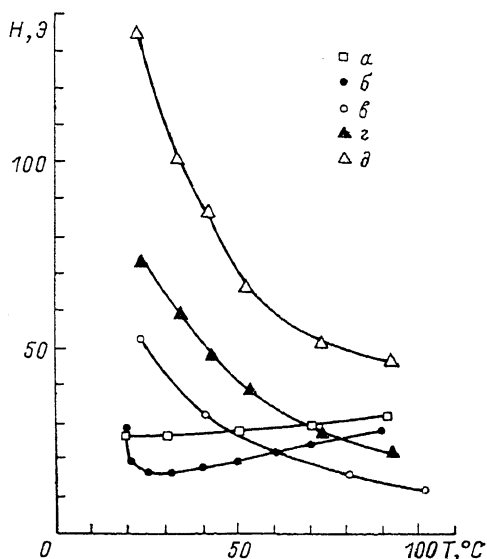
Динамику переключения ячеек МОУТ иллюстрирует рис. 4. В исходном состоянии монодоменные ячейки окружены лабиринтной доменной структурой (рис. 1, б). Через время  $t \leq 0.05$  мкс после приложения импульса магнитного поля области МОУТ между ячейками намагничиваются до насыщения путем сжатия и коллапса невыгодно намагниченных доменов. В результате неперемагниченными остаются только ячейки (рис. 4, а), причем у входа в ячейки (там, где нет барьера) формируется выпуклость (прогиб ДС направлен от центра ячейки). В дальнейшем процесс переключения ячеек протекает путем изменения направления прогиба участка ДС у входа в ячейку на противоположное и переключением ДС внутрь ячейки. Через

время  $t \sim 0.2$  мкс домен в ячейке становится восьмигранным (рис. 4, б). Другими словами, именно этот момент следует рассматривать как начало переключения ячейки МОУТ. Основным механизмом переключения ячеек является движение ДС. Перемещение ДС в ячейке происходит примерно с постоянной скоростью (рис. 4, в). Заканчивается процесс переключения коллапсом остатка домена у стороны ячейки, противоположной входу в нее.

Влияние температуры на параметры ячеек МОУТ представлено на рис. 5. Поле коллапса ЦМД (рис. 5, а) в области МОУТ между ячейками возрастает с температурой  $T$  в интервале от 20 до 100 °С, что связано с наличием точки КММ ниже комнатной температуры, а период полосовых доменов при этом уменьшается с 33 до 16 мкм. Статическое поле переключения намагниченности  $H_3$  в областях пленки, полностью отожженных при тех же условиях, что и ячейки МОУТ (период доменов в этой области составляет доли миллиметра), возрастает при приближении к комнатной температуре (рис. 5, б). Это обусловлено резким повышением

коэрцитивности в окрестности точки КММ. С повышением температуры уменьшаются статическое поле переключения ячейки  $H_4$  (рис. 5, в) и минимальная амплитуда  $H_{\text{н}}$  магнитного поля, обеспечивающего полное переключение ячейки (рис. 5, г, д, длительность импульса 5 и 1 мкс соответственно). При  $T > 80-100$  °С монодоменное состояние ячеек становится неустойчивым, поскольку статическое поле переключения ячейки  $H_4 < H_3$  и в ячейку «вползает» полосовой домен из области между ячейками.

Рис. 5. Температурные зависимости поля коллапса ЦМД (а), статических полей переключения отожженной области пленки (б) и ячейки (в), минимальной амплитуды переключающего магнитного поля при длительности импульса 5 (г) и 1 мкс (д).



Итак, основным механизмом переключения исследованного МОУТ является движение ДС, что обеспечивает время переключения  $\leq 10^{-8}$  с. Другие механизмы перемагничивания — вращение намагниченности, зародышеобразование не играют существенной роли в полях  $H_{\text{н}} < 300$  Э, используемых в реальных МОУТ в основном из-за высокого поля одноосной анизотропии в ячейках, превышающего 9 кЭ. Недостатком МОУТ с повышенной коэрцитивностью кроме невысокой термостабильности (рис. 5) является сложность обеспечения однородности порога и времени переключения, особенно вблизи точки КМИ. Заметим, что время переключения ячейки МОУТ можно уменьшить в 2-3 раза, создавая внутри нее центр с пониженным полем зародышеобразования или снижая поле анизотропии по всей поверхности пленки. В обоих случаях повышение быстродействия связано с уменьшением пути, проходимогo ДС.

#### Список литературы

- [1] Рандошкин В. В., Червоненкис А. Я. Прикладная магнитооптика. М.: Энергоатомиздат, 1989.
- [2] Губарев А. П., Рандошкин В. В., Сигаев В. Б., Червоненкис А. Я. // ЖТФ. 1985. Т. 59. Вып. 7. С. 1393—1399.
- [3] Нам Б. П., Клиш В. П., Соловьев А. Г. и др. // Электронная техника. Сер. Материалы. 1988. № 3. С. 18—21.
- [4] Hill В. // IEEE Trans. Magn. 1984. Vol. MAG-20. N 5. P. 978—982.
- [5] Ануфриев А. Н., Летюк Л. М. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 9. С. 1839—1841.
- [6] Васильева Н. В., Клиш В. П., Кузнецов И. А. и др. // Тез. докл. XI Всесоюз. школы-семинара «Новые магнитные материалы микроэлектроники». Ташкент, 1988. С. 300—301.