

УДК 537.624.9,537.862

## ВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ 180° ИМПУЛЬСНОГО ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ ПЛЕНОК ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ СО СЛОЖНОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

© 2020 г. А. В. Матюнин<sup>1, \*</sup>, Г. М. Николадзе<sup>1</sup>, П. А. Поляков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”, физический факультет, Москва, Россия

\*E-mail: physphak@mail.ru

Поступила в редакцию 30.08.2019 г.

После доработки 16.09.2019 г.

Принята к публикации 28.10.2019 г.

На основе опыта исследования временных аспектов режима 180°-го импульсного перемагничивания пленок ферритов-гранатов с плоскостной анизотропией в области внешних полей, в которой действует механизм однородного вращения намагниченности, показано, что наличие у материала таких особенностей, как четыре устойчивых положения ориентации вектора намагниченности, дает возможность повысить плотность магнитной записи (например, в устройствах MRAM) в два раза без существенного изменения технологии изготовления.

DOI: 10.31857/S0367676520020246

### ВВЕДЕНИЕ

В данной работе изучена возможность увеличения плотности записи MRAM-памяти (Magnetic Random Access Memory) с помощью кодирующего магнитного помощью слоя с двухосной и плоскостной анизотропией. Стандартная архитектура MRAM-памяти [1] представлена на рис. 1. Запись двоичных разрядов “0” или “1” происходит посредством ориентирования вектора намагниченности свободного слоя (верхний слой) вдоль или противоположного вектора намагниченности фиксирующего слоя (нижний слой). Изменение ориентации вектора намагниченности осуществляется импульсом магнитного поля, порожденного импульсами токов по числовой и разрядной шинам. Если записывающий магнитный слой будет обладать двухосной анизотропией с осями легкого намагничивания (ОЛН), лежащими в его плоскости и ориентированными относительно вектора намагниченности  $\vec{M}_1$  под некоторыми углами, — например, так, как показано на рис. 2, — то вектор намагниченности  $\vec{M}_2$  свободного слоя будет иметь четыре устойчивые ориентации вдоль ОЛН двухосной анизотропии. Значение изменения туннельного магнетосопротивления (ТМ) ячейки памяти  $\Delta R$  будет определяться следующей формулой [4]:

$$\Delta R = 0.5(\Delta\rho/\rho)R(1 - \cos\theta), \quad (1)$$

где  $\Delta\rho/\rho$  — коэффициент магнетосопротивления,  $R$  — максимальное сопротивление ячейки,  $\theta$  — угол

между направлениями намагниченности фиксированного  $\vec{M}_1$  и свободного  $\vec{M}_2$  магнитных слоев. Из формулы (1) и рис. 2 следует, что ТМ может принимать четыре различных значения, соответствующих четырем устойчивым ориентациям вектора намагниченности  $\vec{M}_2$  для  $\theta = 30^\circ, 30^\circ + 90^\circ, 30^\circ + 180^\circ, 30^\circ + 270^\circ$ . Эти значения ТМ и соответствующие им значения туннельных токов могут кодировать два бита двоичной информации (00, 01, 10, 11). Таким образом, одна ячейка подобного рода (см. рис. 2) способна заменить две ячейки стандартной MRAM-памяти (см. рис. 1).

Исследования особенностей нелинейной динамики вектора намагниченности (в частности, при 180° импульсном перемагничивании) в пленках ферритов-гранатов с плоскостной и двухосной

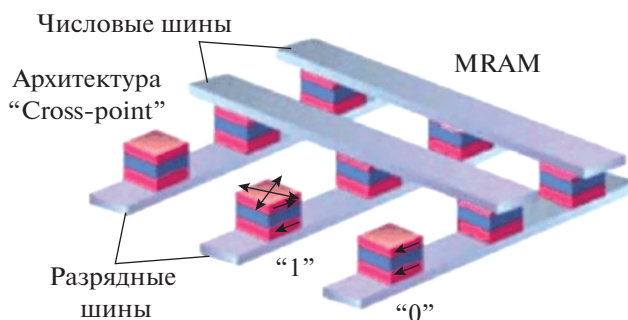


Рис. 1. Стандартная архитектура MRAM памяти.

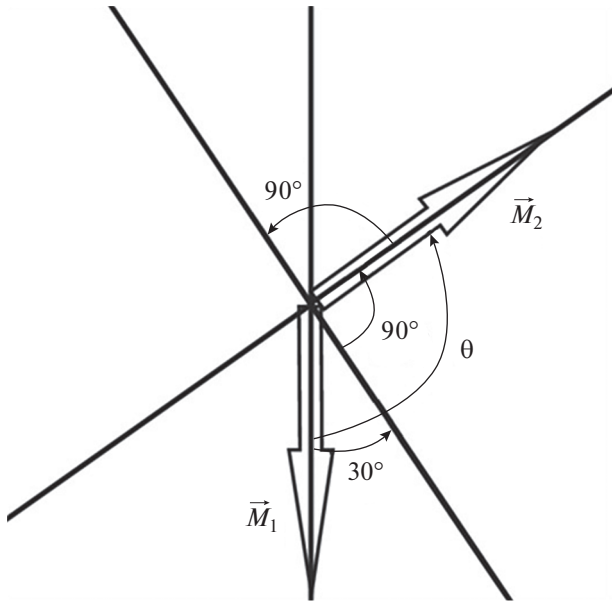


Рис. 2. Ориентация осей анизотропии.

анизотропией проводились в серии наших работ [5–8].

### ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМА 180° ИМПУЛЬСНОГО ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ ПЛЕНОК ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ

Кратко остановимся на основных принципах анализа нелинейной динамики вектора намагниченности. Мы использовали численные решения одномерного уравнения Ландау–Лифшица, учитывающего специфику исследуемых пленок ферритов-гранатов с достаточно большим значением эффективного поля плоскостной анизотропии  $H_{kp}$  ( $\geq 1$  кЭ):

$$\ddot{\phi} + a\lambda\dot{\phi} + a\gamma^2 \frac{\partial W}{\partial \phi} = 0, \quad (2)$$

где параметр  $a = \frac{4\pi M_S + H_{kp}}{M_S}$  учитывает силы, удерживающие вектор намагниченности в плоскости пленки,  $\lambda$  – постоянная затухания Ландау–Лифшица,  $\gamma$  – гиромагнитное отношение,  $W$  – плотность свободной энергии. При расчете последней учитывали вклад энергии одноосной и двухосной анизотропии и энергии намагниченности во внешних полях  $\overline{H}_0$  и  $\overline{H}_p$  ( $\overline{H}_0$  – установочное поле, обеспечивающее исходное состояние технического насыщения;  $\overline{H}_p$  – перемагничивающее поле, инициирующее обсуждаемый здесь процесс). Плот-

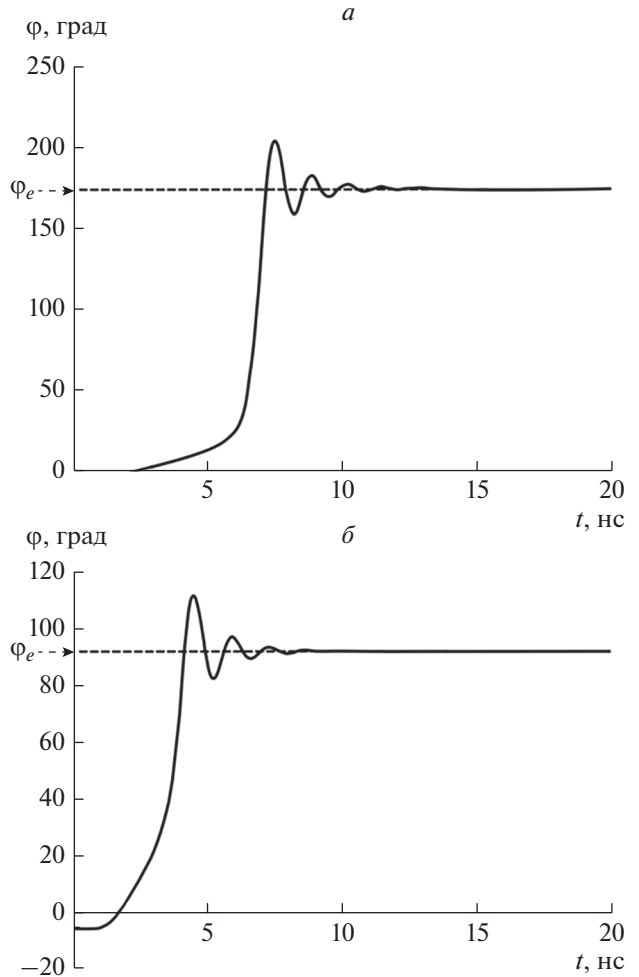


Рис. 3. Численные решения  $\phi(t)$ , полученные для значений угла  $\psi_0$ : а – 10°; б – 85°. Перемагничивающее поле  $H_p = 29$  Э, длительность фронта перемагничивающего импульса  $\tau_f = 3.5$  нс.

ность энергии двухосной анизотропии полагали равной [9]:

$$W_{A2} = -K_2 \cos 4\phi, \quad (3)$$

где  $K_2$  – константа двухосной анизотропии.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При расчетах использовались следующие параметры конкретной пленки, на которой проводились экспериментальные исследования обсуждаемого переходного процесса: намагниченность насыщения  $M_S = 14$  Гс, поле технического насыщения (вдоль каждой из ОЛН)  $H_{sat} = 2.5$  Э, эффективные поля одноосной, двухосной и плоскостной анизотропии соответственно:  $H_{K1} = 4$  Э,  $H_{K2} = 16K_2/M_S = 36$  Э и  $H_{kp} = 1100$  Э. Состав пленки –  $(YLuBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ , толщина  $d = 4$  мкм. Пленка имела форму неправильного четырехуголь-

ника со средними поперечными размерами  $\approx 1$  см. Значение постоянной затухания Ландау–Лифшица  $\lambda$  выбиралось равным  $\lambda = 2 \cdot 10^7$  Гц.

Пример численных решений, полученных для поля  $H_p = 29$  Э и длительности фронта перемагничивающего импульса  $\tau_f = 3.5$  нс, отражен на рис. 3. Видно, что при углах  $\psi_0 = 10^\circ$  и  $\psi_0 = 85^\circ$  ( $\psi_0$  – угол между ОЛН и перемагничивающим полем  $H_p$ ) возможно обеспечение конечной ориентации вектора намагниченности (соответствующей углу  $\phi_e$ ), близкой к  $180^\circ$  и  $90^\circ$  соответственно. Данное обстоятельство наглядно подтверждает возможность использования пленок с двухосной анизотропией в качестве записывающего магнитного слоя (например, можно использовать пленки ферритов-гранатов [2], если в них обязательно интегрировать проводящую структуру [3]).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что магнитные пленки с двухосной анизотропией весьма перспективны при использовании их в качестве основы для записывающего

магнитного слоя современных устройств хранения и записи информации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ферт А. // УФН. 2008. Т. 178. № 12. С. 1336.
2. Pyashenko E.I., P'yicheva E.N., Kolotov O.S. et al. // J. Optoelect. Adv. Mater. 2004. V. 6. № 3. P. 931.
3. Пятаков А. // Персп. технол. 2008. Т. 15. № 9. С. 4.
4. Касаткин С.И., Васильева Н.П., Муравьев А.М. Спинтронные магниторезистивные элементы. М.: Электронинформ, 2005. 168 с.
5. Колотов О.С., Матюнин А.В., Николадзе Г.М., Поляков П.А. // Изв. РАН. Сер. физ. 2013. Т. 77. № 10. С. 1429.
6. Kolotov O.S., Matyunin A.V., Nikoladze G.M., Polyakov P.A. // Sol. St. Phenom. 2012. V. 190. P. 589.
7. Kolotov O.S., Matyunin A.V., Nikoladze G.M., Polyakov P.A. // Sol. St. Phenom. 2015. V. 233–234. P. 490.
8. Колотов О.С., Матюнин А.В., Николадзе Г.М., Поляков П.А. // ФТТ. 2017. Т. 59. № 10. С. 1892; Kolotov O.S., Matyunin A.V., Nikoladze G.M., Polyakov P.A. // Phys. Sol. St. 2017. V. 59. № 10. P. 1913.
9. Эдельман И.С. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1966. Т. 30. С. 88.