

Релаксация при импульсном перемагничивании монокристаллических пленок $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (210)

© В.В. Рандошкин, А.М. Салецкий, Н.Н. Усманов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119899 Москва, Россия

(Поступила в Редакцию 5 июня 2001 г.)

Методом фотоотклика исследованы процессы релаксации при импульсном перемагничивании монокристаллических пленок состава $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (210) в зависимости от амплитуды и длительности перемагничивающего импульса. Перемагничивание происходит путем формирования, движения и разрушения торцевой доменной стенки.

Среди висмутсодержащих монокристаллических пленок ферритов-гранатов (Вс-МПФГ) выращиваемые методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава на подложках $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ пленки состава $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ являются материалами, обладающими наибольшим фарадеевским вращением [1]. К сожалению, при использовании подложек с кристаллографической ориентацией (111) скорость движения доменных стенок (ДС) в этих материалах невелика [2]. Более высокую скорость ДС имеют пленки указанного состава, выращенные на подложках с ориентацией (210) [3]. Заметим, что еще более высоким быстродействием обладают пленки состава $(\text{Bi,Y,Lu,Pr})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (210) [4]. Однако ионы Pr^{3+} вносят значительное затухание, а ионы Y^{3+} совместно с ионами Bi^{3+} создают высокую ромбическую и одноосную магнитную анизотропию. Пленки состава $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ занимают промежуточное положение, позволяющее проследить изменение динамических свойств Вс-МПФГ при переходе от пленок с наименьшим затуханием [2,5–7], свойства которых практически изотропны в их плоскости, к наиболее анизотропным пленкам, параметр затухания которых зависит от направления движения ДС в плоскости пленки [8,9].

Целью настоящей работы являлось исследование методом фотоотклика процесса релаксации при импульсном перемагничивании Вс-МПФГ состава $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (210).

Исследования проводились на универсальной магнитооптической установке [3], позволяющей наблюдать процесс перемагничивания с помощью высокоскоростной лазерной фотографии. Для визуализации доменной структуры использовался эффект Фарадея. Источником подсветки служил лазер, $\lambda \cong 638 \text{ nm}$. Образец помещался между поляризатором и анализатором, угол между осями пропускания которых позволял наблюдать доменную структуру в амплитудном контрасте. Фотоприемником служил фотоумножитель ФЭУ. Сигнал с ФЭУ поступал на входы аналого-цифрового преобразователя и двухканального осциллографа. Постоянное магнитное поле (поле смещения) H_b создавалось с помощью катушки. Для наблюдения динамических доменов использовался импульсный лазер с длительностью светового импульса 10 ns. Источник импульсов тока синхронизировали с лазером с помощью генератора импульсов Г5-67.

В работе приводятся данные для образца со следующими параметрами: толщина пленки $h \cong 11 \mu\text{m}$, угол наклона оси легкого намагничивания (ОЛН) $\theta \cong 46^\circ$, намагниченность насыщения $4\pi M_s \cong 43 \text{ G}$, безразмерный параметр затухания Гильберта $\alpha \cong 0.0135$, константа одноосной магнитной анизотропии $K_u \cong 1050 \text{ erg/cm}^3$.

Безразмерный параметр затухания определялся из ширины линии ферромагнитного резонанса (ФМР). Сигнал ФМР содержал две линии, что свидетельствует о неоднородности Вс-МПФГ. Заметим, что из-за неоднородности МПФГ указанное значение α может быть завышенным. Значение $H_K - 4\pi M_s$, где $H_K = 2K_u/M_s$ — поле одноосной магнитной анизотропии, также определяли по данным ФМР, исходя из величин резонансных полей при ориентации внешнего магнитного поля перпендикулярно и параллельно плоскости пленки. Значение $4\pi M_s$ рассчитывалось исходя из поля коллапса цилиндрических магнитных доменов, при этом влиянием наклона ОЛН пренебрегалось.

На рис. 1 схематически изображены импульс магнитного поля и сигнал фотоотклика. В исходном состоянии образец намагничивался полем смещения, превышающим его поле насыщения H_s . Импульсное магнитное поле прикладывалось в противоположном направлении. Длительности фронта и спада импульса магнитного поля составляли 7 и 40 ns.

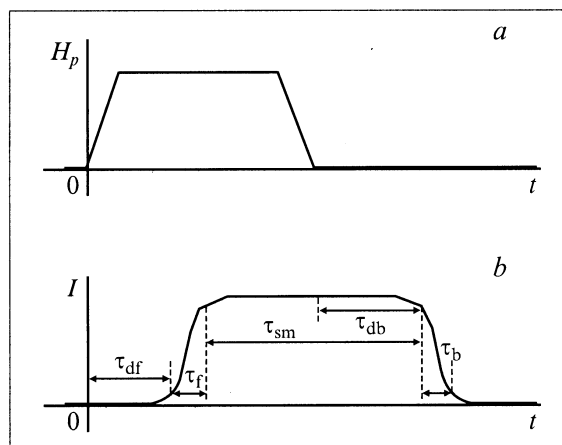


Рис. 1. Схематическое изображение перемагничивающего импульса (а) и сигнала фотоотклика (б).

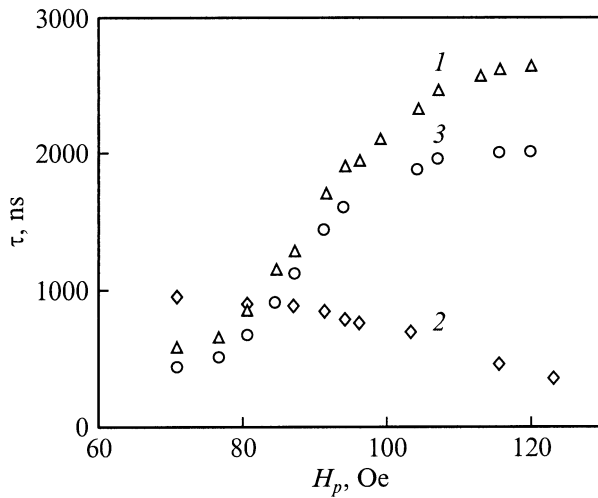


Рис. 2. Зависимости времени нахождения образца в намагниченном состоянии τ_{sm} (1), времени намагничивания образца τ_m (2) и времени задержки спада сигнала фотоотклика после окончания импульса магнитного поля τ_{db} (3) от амплитуды импульса магнитного поля H_p при фиксированной длительности импульса магнитного поля $\tau_p \cong 1050$ ns.

Сигнал фотоотклика (рис. 1), как и в работе [10], характеризовался следующими параметрами: задержкой перемагничивания τ_{df} , длительностью фронта сигнала фотоотклика (скорость перемагничивания) τ_f , задержкой спада сигнала фотоотклика τ_{db} , длительностью спада сигнала фотоотклика τ_b . Кроме того, измерялось время нахождения образца в намагниченном (монокристаллическом) состоянии τ_{sm} . Время намагничивания τ_m определялось как $\tau_m = \tau_{df} + \tau_f$, а время релаксации в исходное состояние τ_r — как $\tau_r = \tau_{db} + \tau_b$. Длительность сигнала фотоотклика τ определялась на уровне 0.05, время нахождения образца в намагниченном состоянии τ_{sm} — на уровне 0.95, а длительности фронта и спада импульса — между уровнями 0.1 и 0.9.

На рис. 2 (кривая 1) показана зависимость времени нахождения образца в намагниченном состоянии τ_{sm} от амплитуды импульса магнитного поля H_p , полученная при фиксированной длительности импульса магнитного поля $\tau_p = 1050$ ns. Величина τ_{sm} возрастает с ростом H_p , поскольку уменьшается время намагничивания образца (кривая 2 на рис. 2) и увеличивается время задержки спада сигнала фотоотклика после окончания импульса магнитного поля (кривая 3 на рис. 2). Увеличение τ_{sm} с ростом H_p в большей степени связано с увеличением τ_{db} , в меньшей степени — уменьшением τ_m .

Величина τ_m убывает как за счет уменьшения задержки перемагничивания τ_{df} , так и за счет повышения скорости перемагничивания.

На рис. 3 показаны зависимости времени нахождения образца в намагниченном состоянии τ_{sm} от длительности импульса магнитного поля τ_p , полученные при фиксированных значениях H_p . При малой амплитуде импульса магнитного поля, незначительно превышающей величину, которая необходима для перевода пленки

в монокристаллическое состояние, зависимость $\tau_{sm}(\tau_p)$ линейная (кривая 1 на рис. 3), причем прямая расположена под углом 45° к оси абсцисс. Это соответствует трикратному увеличению τ_{sm} вследствие роста длительности импульса магнитного поля. При более высокой амплитуде импульса магнитного поля вид кривой $\tau_{sm}(\tau_p)$ (кривая 2–4 на рис. 3) изменяется: на ней появляется начальный участок более резкого возрастания τ_{sm} . Это отражает факт увеличения τ_{db} с ростом H_p (кривая 3 на рис. 2). Заметим, что начальный участок кривой $\tau_{sm}(\tau_p)$ в некотором диапазоне амплитуд смещается в сторону оси ординат. В этом диапазоне амплитуд τ_{db} пропорционально и времени воздействия импульса от момента τ_m . При достаточно больших H_p не только наклон, но и положение начального участка кривой $\tau_{sm}(\tau_p)$ не зависит от H_p . Это является отражением того факта, что τ_{db} достигает насыщения с ростом H_p (кривая 3 на рис. 2).

Наблюдение процесса перемагничивания исследуемых Вс-МПФГ с помощью метода высокоскоростной фотографии показало, что он начинается формированием торцевой доменной стенки (ТДС), которая затем движется по толщине пленки, причем скорость ТДС в некотором диапазоне амплитуд линейно зависит от H_p . Тот факт, что на рис. 3 конечный участок кривых 2–4 смещен вверх относительно кривой 1 на одинаковую величину τ_d , свидетельствует о качественном изменении механизма перемагничивания Вс-МПФГ. По-видимому, при малых H_p и достаточно больших τ_p ТДС достигает противоположной поверхности пленки, но не разрушается. После окончания импульса магнитного поля ее структура перестраивается (что и обуславливает задержку релаксации), а затем ТДС движется в противоположном направлении и разрушается в слое с пониженной одноосной анизотропией.

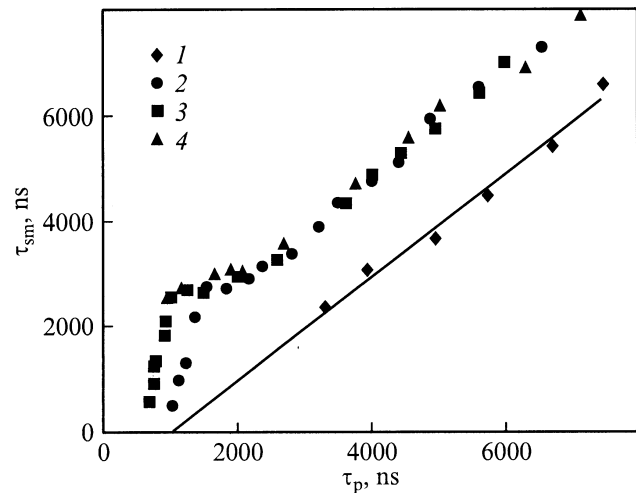


Рис. 3. Зависимости времени нахождения образца в намагниченном состоянии τ_{sm} от длительности импульса магнитного поля τ_p при фиксированных значениях амплитуды перемагничивающего импульса. H_p , Oe: 1 — 45, 2 — 79, 3 — 107, 4 — 129.

При больших H_p и достаточно больших τ_p ТДС достигает противоположной поверхности пленки и разрушается, поэтому требуется дополнительное время τ_d на ее зарождение. Поскольку конечные участки кривых 2–4 на рис. 3 совпадают, это время не зависит от H_p , так как процесс релаксации определяется полем смещения.

Таким образом, в настоящей работе показано, что при импульсном перемагничивании Вс-МПФГ состава $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (210) путем формирования и перемещения ТДС время задержки пленки в намагниченном состоянии при увеличении амплитуды перемагничивающего импульса изменяется скачком, причем указанный скачок не зависит от H_p .

Список литературы

- [1] В.В. Рандошкин, А.Я. Червоненкис. Прикладная магнитооптика. Энергоатомиздат, М. (1990). 320 с.
- [2] В.Е. Бахтеузов, Т.А. Ким, В.В. Рандошкин, В.Б. Сигачев, В.И. Чани, А.Я. Червоненкис. ЖТФ **55**, 6, 1227 (1985).
- [3] Н.Н. Усманов, Е.Н. Ильичева, А.Г. Шишков. Вестн. МГУ. Сер. 3. Физика, астрономия **36**, 5, 74 (1995).
- [4] В.В. Рандошкин, В.И. Чани, М.В. Лагунов, В.П. Клиш, Б.П. Нам, А.Г. Соловьев, А.Я. Червоненкис. Письма в ЖТФ **15**, 14, 42 (1989).
- [5] V.V. Randoshkin. Proc. SPIE **1307**, 10 (1990).
- [6] V.V. Randoshkin. Proc. SPIE **1469**, 796 (1991).
- [7] В.В. Рандошкин. Тр. ИОФАН **35**, 49 (1992).
- [8] В.В. Рандошкин, Ю.Н. Сажин. ЖТФ **66**, 8, 83 (1996).
- [9] В.В. Рандошкин. ФТТ **39**, 8, 1421 (1997).
- [10] М.В. Лагунов, В.В. Рандошкин. ЖТФ **55**, 6, 1199 (1985).