

Влияние магнитного поля в плоскости пленки феррита-граната с ромбической магнитной анизотропией на динамику доменных стенок

© В.В. Рандошкин, В.А. Полежаев, Н.Н. Сысоев, Ю.Н. Сажин*, В.Н. Дудоров*

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

* Совместная хозрасчетная лаборатория „Магнитооптоэлектроника“
Института общей физики Российской академии наук
при Мордовском государственном университете им. Н.П. Огарева,
430000 Саранск, Россия

(Поступила в Редакцию 7 февраля 2002 г.
В окончательной редакции 19 июня 2002 г.)

Определено влияние планарного магнитного поля на зависимость скорости доменных стенок (ДС) от действующего магнитного поля в висмутсодержащих монокристаллических пленках ферритов-гранатов состава $(\text{Bi,Y,Pr})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией $\langle 210 \rangle$. Планарное магнитное поле прикладывалось вдоль кристаллографических осей $\langle 120 \rangle$ и $\langle 001 \rangle$. Измерялась скорость ДС, движущихся перпендикулярно и параллельно направлению планарного магнитного поля.

В висмутсодержащих монокристаллических пленках ферритов-гранатов (Вс-МПФГ) состава $(\text{Bi,Y,Pr})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией $\langle 210 \rangle$, обладающих ромбической магнитной анизотропией (РМА), скорость доменных стенок (ДС) V превышает 1 km/s [1–6]. При этом зависимости V от действующего магнитного поля H в пленках близкого химического состава существенно различаются [2–4]. В Вс-МПФГ с однонаправленной анизотропией скорости ДС как форма динамических доменов, так и значение V сильно зависят от планарного магнитного поля H_{in} .

В некоторых Вс-МПФГ состава $(\text{Bi,Y,Pr})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией $\langle 210 \rangle$ зависимость скорости ДС от действующего магнитного поля на первый взгляд имеет классический вид: на кривой $V(H)$ после начального линейного участка наблюдается небольшой пик, за которым следует участок насыщения, характеризующийся дифференциальной подвижностью ДС, много меньшей начальной [1–5]. Однако наблюдение с помощью метода высокоскоростной фотографии (ВСФ) динамических доменов в полях, примерно соответствующих середине этого „линейного“ участка, показало, что их ДС испытывает нерегулярные искажения, не повторяющиеся от импульса к импульсу [5,6]. Следовательно, линейному участку кривой $V(H)$ соответствует нестационарное движение ДС, что противоречит теории [7]. Более детальные исследования показали [8], что появление пространственных искажений ДС в Вс-МПФГ с РМА соответствует переходу ко второму линейному участку с несколько повышенной дифференциальной подвижностью, появление которого связано с излучением спиновых волн, инициирующих локальное вращение намагниченности вблизи движущейся ДС [9].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния планарного магнитного поля на Вс-МПФГ состава $(\text{Bi,Y,Pr})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией $\langle 210 \rangle$ и классическим видом кривой $V(H)$.

Исследования проводились на установке ВСФ [10] с помощью метода перемагничивания [11]. О величине РМА судили по максимальному H_{max} и минимальному H_{min} значениям планарного магнитного поля, при которых исчезает доменная структура [9].

При исследовании динамики ДС в исходном состоянии Вс-МПФГ намагничивалась до насыщения полем смещения $H_b = 43 \text{ Oe}$, приложенным вдоль нормали к ее плоскости. Импульсное магнитное поле H_p прикладывалось в противоположном направлении с помощью пары плоских катушек, в центре между которыми располагалась исследуемая пленка. Регистрировалось изображение домена с обратной намагниченностью (ДОН), зарождающегося на точечном дефекте. Заметим, что при некоторых комбинациях магнитных полей ДОН не удавалось получить.

В настоящей работе приводятся данные для образца с толщиной $h = 7.3 \mu\text{m}$, равновесной шириной полосовых доменов $w = 16.3 \mu\text{m}$, поле коллапса цилиндрических магнитных доменов $H_0 = 20.0 \text{ Oe}$, $H_{\text{min}} = 2000 \text{ Oe}$, $H_{\text{max}} = 4800 \text{ Oe}$.

Действующее магнитное поле определяли так же, как в работе [11],

$$H = H_p - H_b,$$

т.е. без учета наклона оси легкого намагничивания. Из-за этого первый участок кривой $V(H)$ в ряде случаев пересекает ось абсцисс при отрицательных значениях H . Планарное магнитное поле прикладывалось вдоль направлений $\langle 120 \rangle$ и $\langle 001 \rangle$ в плоскости пленки. Заметим, что первому из указанных направлений соответствует минимальное значение планарного магнитного поля, при котором исчезает доменная структура, второму — максимальное. Измерялась скорость ДС, движущихся перпендикулярно и параллельно направлению планарного магнитного поля.

Динамические параметры Вс-МПФГ

№ п/п	Номер рисунка	$H_{in} = 134 \text{ Oe}$			$H_{in} = 268 \text{ Oe}$			$H_{in} = 402 \text{ Oe}$		
		μ , m/(s·Oe)	V_p , m/s	V_{max} , m/s	μ , m/(s·Oe)	V_p , m/s	V_{max} , m/s	μ , m/(s·Oe)	V_p , m/s	V_{max} , m/s
1	2, a	12.1	2120	2200	13.5	1250	1440	8.7	1080	1620
2	2, b	7.4	...	1870	7.6	...	1600	5.2	...	1310
3	2, c	6.4	1400	1400	7.0	1710	1710	...	...	1140
4	3, a	7.1	1100	2050	5.8	1440	2820	8.5	1330	1330
5	3, b	10.9	830	1620	6.5	1010	1600	6.5	700	1330
6	4, a	14.3	980	1700	...	...	1340	...	...	1370
7	4, b	4.5	1150	1570	...	...	1270	...	...	1350
8	5, a	8.6	1010	1270	8.0	1170	1550	7.1	1130	1360
9	5, b	12.5	1080	1650	11.1	930	1510	9.0	970	1850
10	6, a	...	...	1700	...	...	1450	...	...	1760
11	6, b	6.6	1150	1350	6.6	1260	1310	6.1	860	1310

Результаты измерений приведены на рис. 1–6 и в таблице. Измерения проводились при трех фиксированных значениях H_{in} . В верхней части рис. 2–6 показана геометрия эксперимента (взаимная ориентация кристаллографического направления $\langle 120 \rangle$, вектора планарного магнитного поля и вектора скорости ДС). Значение V при каждом H определялось как результат усреднения по пяти измерениям. Вертикальными отрезками показан разброс результатов измерений. Эти отрезки для наглядности соединены линиями. Заметим, что разброс связан не с низкой точностью измерений, достигающей 3% [11], а с искажениями формы динамических доменов [5], которые не повторяются от импульса к импульсу. При наличии на кривой $V(H)$ достаточно протяженного начального линейного участка определялись его наклон (подвижность ДС μ) и значение скорости ДС V_p , при котором этот участок заканчивается. Эти величины, а также значение максимальной скорости ДС V_{max} , измеренной в эксперименте, приведены в таблице.

На рис. 1 приведена зависимость $V(H)$ для случая, когда планарное магнитное поле не прикладывалось. Видно, что наклон начального участка этой кривой составляет 8.6 m/(s·Oe) и он заканчивается, когда скорость ДС достигает значения $V_p = 1730 \text{ m/s}$. Максимальная скорость ДС, измеренная в этом эксперименте, составляет $V_{max} = 2170 \text{ m/s}$.

На рис. 2, a приведены зависимости $V(H)$ для случая, когда планарное магнитное поле приложено вдоль оси $\langle 120 \rangle$, а измеряется скорость ДС, движущейся в том же направлении. Сравнение рис. 1 и 2, a показывает, что приложение поля $H_{in} = 134 \text{ Oe}$ вдоль направления, соответствующего минимуму поля исчезновения доменной структуры H_{min} , приводит к росту наклона начального участка кривой $V(H)$ до 12.1 m/(s·Oe) , значение V_p увеличивается до 2120 m/s , а V_{max} практически не меняется (см. таблицу). Дальнейшее повышение H_{in} приводит к снижению значений V_p и V_{max} , при этом диапазон изменения действующего магнитного поля, в котором существует ДС, сужается по мере роста H_{in} .

Заметим, что при $H_{in} = 268 \text{ Oe}$ подвижность ДС имеет максимальное значение во всей серии экспериментов (см. таблицу). Кроме того, из рис. 2, a (кривая 2) видно, что для зависимости $V(H)$ наблюдается не один, как на рис. 1 и 2, a (кривая 1), а два локальных минимума.

На рис. 2, b, c приведены зависимости $V(H)$ для случаев, когда направление планарного магнитного поля изменено на противоположное, а измеряется скоростью ДС, движущихся вдоль направления планарного поля в разные стороны. Узкий пик на кривой 1 (рис. 2, b), по-видимому, обусловлен наличием однонаправленной анизотропии скорости ДС. Из сравнения рис. 1 и 2, b, c

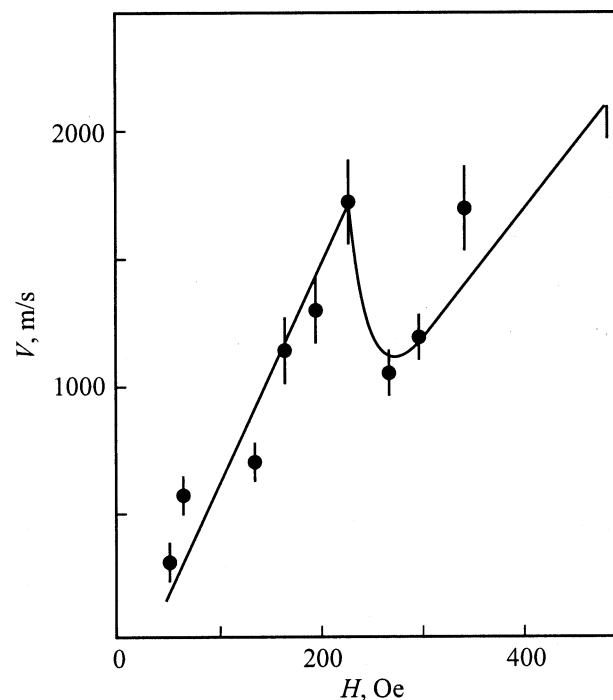


Рис. 1. Зависимость скорости V ДС от действующего магнитного поля H при отсутствии планарного магнитного поля.

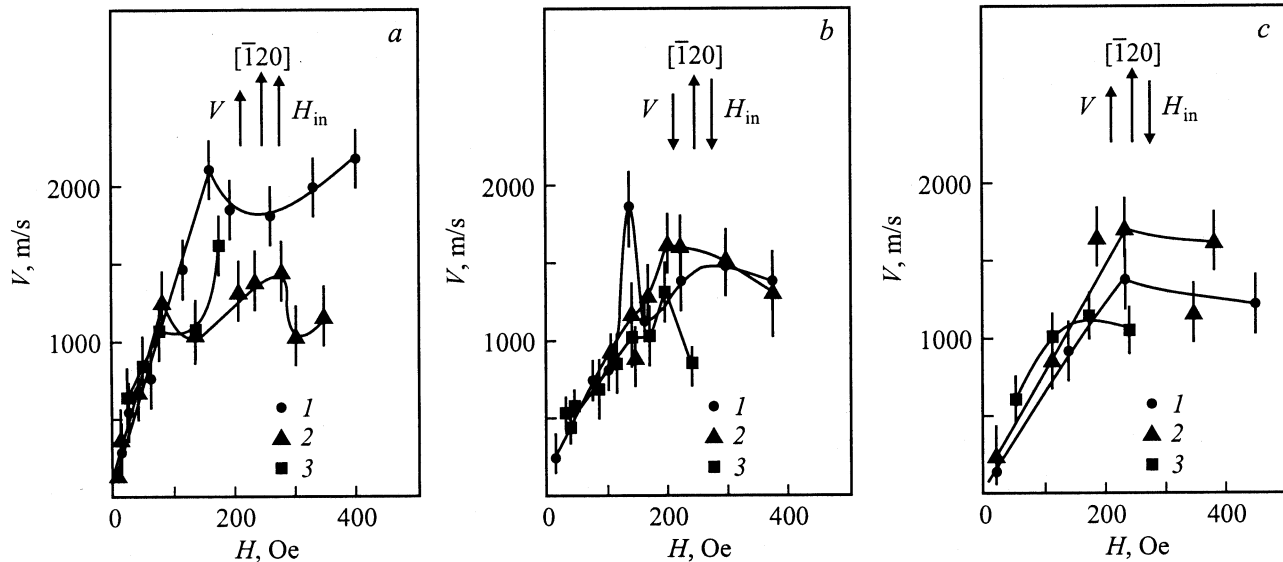


Рис. 2. Зависимость скорости V ДС, движущихся вдоль направления планарного магнитного поля H_{in} , которое приложено вдоль кристаллографической оси $\langle 120 \rangle$, от действующего магнитного поля H при разных значениях H_{in} . H_{in} , Oe: 1 — 134, 2 — 268, 3 — 402. Здесь и далее в верхней части рисунков показана геометрия эксперимента.

видно, что приложение планарного поля $H_{in} = 402$ Oe практически вдвое сужает диапазон изменения поля H , в котором зарождается ДОН.

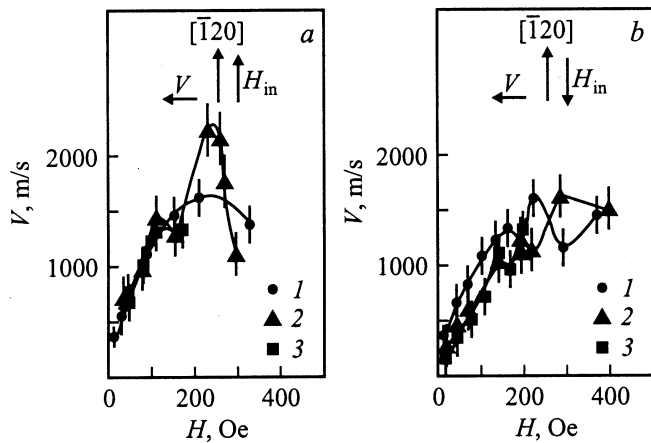


Рис. 3. Зависимость скорости V ДС, движущихся перпендикулярно направлению планарного магнитного поля H_{in} , которое приложено вдоль кристаллографической оси $\langle 120 \rangle$, от действующего магнитного поля H при разных значениях H_{in} . H_{in} , Oe: 1 — 134, 2 — 268, 3 — 402.

На рис. 3, *a, b* приведены зависимости $V(H)$ для случаев, когда измеряется скорость ДС, движущихся перпендикулярно направлению планарного поля, а поле H_{in} по-прежнему приложено вдоль направления $\langle 120 \rangle$. Видно, что для обоих направлений планарного магнитного поля на кривых $V(H)$ наблюдаются два локальных минимума (кривая 2 на рис. 3, *a*; кривая 1 на рис. 3, *b*). Для геометрии эксперимента, показанной на рис. 3, *a*, дости-

гается максимальная скорость ДС (см. таблицу), составляющая $V_{max} = 2820$ m/s. При $H_{in} = 402$ Oe (кривые 3 на рис. 3, *a, b*) диапазон изменения поля H , в котором зарождаются ДОН, существенно уже, чем при меньших значениях H_{in} (кривые 1 и 2 на рис. 3, *a, b*).

На рис. 4 приведены зависимости $V(H)$ для случая, когда поле H_{in} приложено перпендикулярно кристаллографическому направлению $\langle 120 \rangle$ (по оси $\langle 001 \rangle$). Измерялась скорость ДС, движущихся в обе стороны вдоль этой оси. При такой геометрии эксперимента значение планарного магнитного поля, при котором исчезает доменная структура, максимально. Для обоих направлений движения ДС на кривой $V(H)$ наблюдаются два локальных минимума (кривые 1 на рис. 4, *a, b*). Прило-

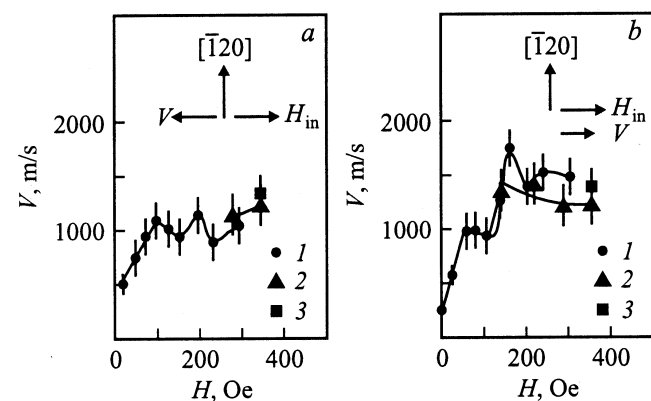


Рис. 4. Зависимость скорости V ДС, движущихся вдоль направления планарного магнитного поля H_{in} , которое приложено перпендикулярно кристаллографической оси $\langle 120 \rangle$ (по направлению $\langle 001 \rangle$), от действующего магнитного поля H при разных значениях H_{in} . H_{in} , Oe: 1 — 134, 2 — 268, 3 — 402.

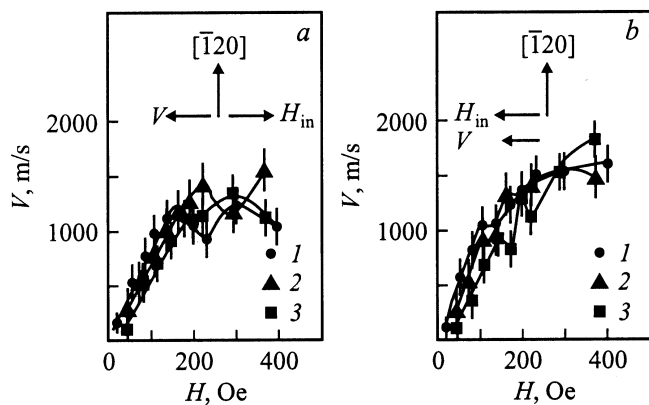


Рис. 5. Зависимость скорости V ДС, движущихся вдоль направления планарного магнитного поля H_{in} , которое приложено перпендикулярно кристаллографической оси $\langle 120 \rangle$ (противоположно $\langle 001 \rangle$), от действующего магнитного поля H при разных значениях H_{in} . H_{in} , Oe: 1 — 134, 2 — 268, 3 — 402.

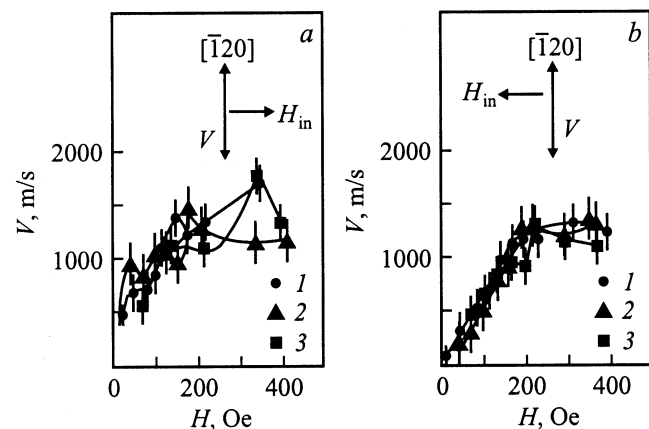


Рис. 6. Зависимость скорости V ДС, движущихся перпендикулярно направлению планарного магнитного поля H_{in} , которое приложено перпендикулярно кристаллографической оси $\langle 120 \rangle$ (вдоль $\langle 001 \rangle$), от действующего магнитного поля H при разных значениях H_{in} . H_{in} , Oe: 1 — 134, 2 — 268, 3 — 402.

жение достаточно сильного планарного магнитного поля приводит к тому, что в некотором диапазоне изменения действующего магнитного поля, примыкающем к оси ординат, ДОН перестают зарождаться (кривые 2 и 3 на рис. 4, *a, b*). Этот диапазон тем шире, чем выше H_{in} .

Если направление планарного магнитного поля изменить на противоположное (по сравнению со случаем, приведенным на рис. 4), то оно перестает сколько-нибудь существенно влиять на зарождение ДОН (рис. 5, *a, b*). При этом ширина диапазона изменения H_p , в котором происходит зарождение ДОН, почти такая же, как и при $H_{in} = 0$ (рис. 1). На зависимости $V(H)$ (кривая 1 на рис. 5, *b*) также наблюдаются два локальных минимума.

На рис. 6 приведены зависимости $V(H)$ для случая, когда поле H_{in} приложено перпендикулярно кристаллографическому направлению $\langle 120 \rangle$ (по оси $\langle 001 \rangle$). Изменя-

лась скорость ДС, движущихся вдоль оси $\langle 120 \rangle$. Видно, что и при этой геометрии эксперимента кривые $V(H)$ имеют локальные минимумы (например, кривая 1 на рис. 6, *a*), хотя они менее ярко выражены.

Таким образом, в настоящей работе показано, что для Вс-МПФГ состава $(\text{Bi,Y,Pr})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (210) характерно следующее.

- 1) Приложение планарного магнитного поля вдоль кристаллографической оси $\langle 001 \rangle$ препятствует зарождению ДОН при импульсном перемагничивании пленки.
- 2) Максимальная скорость ДС достигается, если планарное магнитное поле приложено вдоль кристаллографической оси $\langle 120 \rangle$, а ДС движется вдоль кристаллографической оси $\langle 001 \rangle$.
- 3) Максимальная подвижность ДС достигается, если планарное магнитное поле приложено вдоль кристаллографической оси $\langle 001 \rangle$, а ДС движется вдоль кристаллографической оси $\langle 120 \rangle$.
- 4) При определенных направлениях и значениях планарного магнитного поля на зависимости скорости ДС от действующего магнитного поля наблюдаются два локальных минимума.

Список литературы

- [1] В.В. Рандошкин, В.И. Чани, М.В. Логунов, Ю.Н. Сажин, В.П. Клиш, Б.П. Нам, А.Г. Соловьев, А.Я. Червоненкис. Письма в ЖТФ **15**, 14, 42 (1989).
- [2] V.V. Randoshkin. In: Thin Films and Beam-Solid Interaction / Ed. L. Huang. Elsevier Science Publishers B.V. (1990). Vol. 4. P. 267.
- [3] В.В. Рандошкин. Тр. ИОФАН **35**, 49 (1992).
- [4] В.В. Рандошкин, М.В. Логунов, Ю.Н. Сажин. ФТТ **32**, 5, 1456 (1990).
- [5] В.В. Рандошкин, М.В. Логунов, Ю.Н. Сажин. ЖТФ **66**, 2, 201 (1996).
- [6] В.В. Рандошкин, М.В. Логунов, Ю.Н. Сажин. Новые магнитные материалы микроэлектроники. Тез. докл. XIV Всерос. школы-семинара. М. (1994). Ч. 2. С. 32.
- [7] А. Малоземов, Дж. Слонзуски. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. Пер. с англ. Мир, М. (1982). 382 с.
- [8] В.В. Рандошкин, Ю.Н. Сажин. ФТТ, в печати.
- [9] В.В. Рандошкин, Ю.Н. Сажин. ЖТФ **66**, 8, 83 (1996).
- [10] В.В. Рандошкин, М.В. Логунов, В.Б. Сигачев. ПТЭ **5**, 247 (1985).
- [11] В.В. Рандошкин. ПТЭ **2**, 155 (1995).