Физика низких температур, 1995, т. 21, № 5, с. 538–545 УДК 537.622

Дрейф магнитных доменов в слабом ферромагнетике $DyFeO_3$ в переменном и импульсном магнитных полях

А. Б. Чижик, С. Л. Гнатченко

Физико-технический институт низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины, Украина, 310164, г. Харьков, пр. Ленина, 47

Статья поступила в редакцию 30 июня 1994 г, после переработки 8 декабря 1994 г.

В слабом ферромагнетике ортоферрите диспрозия обнаружено возникновение направленного движения полосовой доменной структуры в переменном или периодически повторяющемся импульсном магнитном поле. Появление дрейфа доменной структуры носит пороговый по амплитуде магнитного поля характер. Получены зависимости порогового поля от частоты переменного и длительности импульсного полоя, определена полевая зависимость скорости дрейфа. Выявлено, что причиной возникновения направленного движения доменной структуры является периодическое образование новых доменов, индуцируемое переменным или повторяющимся импульсным магнитным полем.

У слабкому антиферомагнетику ортоферіті диспрозія виявлено появу спрямованого руху полосової доменної структури у змінному магнітному полі та імпульсному полі, що періодично повторювалося. Поява дрейфу доменної структури має пороговий за амплітудою магнітного поля характер. Знайдено залежності порогового поля від частоти змінного поля та тривалості імпульсного поля, визначено польову залежність швидкості дрейфу. Виявлено, що причиною виникнення спрямованого руху доменної структури є періодичне зародження нових доменів, яке індуковане змінним магнітним полем чи імпульсним полем, що повторювалося.

Известно, что действие переменного магнитного поля на доменную структуру может вызвать направленное движение магнитных доменов. Впервые экспериментально дрейф магнитных доменов наблюдался в пленках ферритов–гранатов при воздействии на них сверхвысокочастотного переменного поля [1,2]. Возможность возникновения дрейфа доменной структуры в переменных полях с частотами намного меньшими частоты ферромагнитного резонанса экспериментально показана для ферромагнитного сплава Fe–Si [3] и ферримагнитного иттриевого феррита–граната [4].

Теоретически явление направленного движения доменов в ферримагнетике, помещенном в переменное магнитное поле с частотой близкой к частоте ферромагнитного резонанса, рассмотрено в работах [5,6]. В дальнейшем была построена теория дрейфа доменных границ (ДГ) в ферромагнетике, в которой были сняты ограничения на частоту переменного поля и показана возможность возникновения дрейфа в полях с частотами намного меньшими частоты ферромагнитного резонанса [7]. Согласно теоретическим представлениям, появление дрейфа ДГ в переменном магнитном поле связано с возникновением эффективного давления, обусловленного разной плотностью магнитной энергии по обе стороны ДГ, или же с различными значениями линейной подвижности стенки при ее движении в противоположных направлениях в процессе колебаний в переменном поле.

В то же время авторы экспериментальных работ [3,4] отмечают важную роль в возникновении направленного движения доменной структуры, индуцированного переменным полем, образования новых доменов, последующее расширение которых может вызывать дрейф доменных границ. В работе [4] сделано предположение, что причиной направленного движения доменов может являться периодическая их генерация, связанная с возбуждением автоколебательного процесса в нелинейной магнитной подсистеме при наличии интенсивной накачки внешним переменным полем.

Таким образом, несмотря на то что явление направленного движения доменов в ферро- и ферримагнетиках, вызываемое переменным магнитным полем, известно уже длительное время, вопрос о физических причинах и механизме его возникновения остается открытым и требует дальнейшего изучения.

Недавно теоретические исследования дрейфа ДГ в переменном магнитном поле выполнены для других классов магнитоупорядоченных кристаллов — антиферромагнетиков [8] и слабых ферромагнетиков [9], в которых ранее экспериментально это явление не наблюдалось. Согласно теории [9], в слабых ферромагнетиках (СФМ) можно было бы

© А. Б. Чижик, С. Л. Гнатченко, 1995

ожидать существенное увеличение скорости дрейфа ДГ по сравнению с ферромагнетиками.

В настоящей работе сообщается об экспериментальном обнаружении и результатах исследований направленного движения полосовой доменной структуры, вызванного переменным или периодически повторяющимся импульсным магнитным полем в слабом ферромагнетике $DyFeO_3$.

Экспериментальная методика

Явление дрейфа полосовой доменной структуры (ПДС) в слабом ферромагнетике $DyFeO_3$ обнаружено и изучалось в образце, представлявшем собой монокристаллическую пластинку толщиной около 40 мкм, вырезанную перпендикулярно оптической оси кристалла, которая расположена в *bc*-плоскости под углом около 60° к оси c. В таком образце полосовая СФМ доменная структура существует в температурном интервале $T_M < T < T_N$, где $T_M \approx 49$ K — температура Морина, а $T_N \approx 650$ K — температура Нееля. Слабоферромагнитная доменная структура в $DyFeO_3$ близка к термодинамически равновесной, ее статические и динамические свойства хорошо изучены, что предопределило выбор объекта исследований и упростило анализ и интерпретацию полученных результатов.

Образец помещался внутри гелиевого криостата. Температура образца изменялась в интервале 10 K < T < 300 K. Постоянное однородное магнитное поле создавалось с помощью сверхпроводящего соленоида. Переменное и периодически повторяющееся импульсное магнитные поля создавались парой однослойных катушек с параметрами: внутренний диаметр — 1 мм, внешний диаметр — 7 мм, число витков — 30. Образец помещался между этими катушками таким образом, что их плоскости соприкасались с развитыми поверхностями исследовавшейся пластинки. Отметим, что в этом случае при выбранной ориентации образца переменное поле имеет две отличные от нуля компоненты h_y и h_z (y ∥ b, z ∥ c), необходимые, согласно теории [9], для возникновения дрейфа доменных границ. С помощью двух плоских катушек с приведенными параметрами можно было получать синусоидальное переменное поле напряженностью h до 250 Э и частотой f до 100 кГц и периодически повторяющееся импульсное поле формы близкой к прямоугольной напряженностью h до 3,5 кЭ, длительностью τ = 10–200 мкс, с фронтами импульса ~1 мкс и частотой повторения f = 20–1 000 Гц.

В процессе исследований обнаружено, что введение градиента внешнего поля, специально созданного системой постоянных магнитов, приводит к расширению диапазона магнитных полей, в котором существует дрейф СФМ доменной структуры и понижению порогового поля, в котором он возникает. Эксперименты, описанные ниже, проводились в основном при наличии градиента постоянного магнитного поля, который имел величину $dH/dx \approx 120$ Э/мм и был направлен перпендикулярно доменным границам. Поле, создававшееся постоянными магнитами, было перпендикулярно поверхности пластинки и имело противоположные направления на краях образца. Для сопоставления в некоторых случаях приводятся результаты экспериментов, проведенных в отсутствие градиента постоянного магнитного поля.

При малых скоростях дрейфа доменов его можно было наблюдать визуально с помощью магнитооптической методики, основанной на эффекте Фарадея. При визуальных наблюдениях использовался поляризационный оптический микроскоп, дополненный телевизионной системой. В случае больших скоростей дрейфа доменной структуры при его изучении проводились фотометрические измерения. Пучок линейно поляризованного света He–Ne лазера (λ = 6 328 Å) фокусировался на образце в пятно размером около 200 мкм. На площади светового пятна могло находиться один–два СФМ домена с одинаковой ориентацией магнитного момента, так как период полосовой доменной структуры был близок к диаметру светового пятна. Пройдя через образец и расположенный за ним анализатор, свет попадал на ФЭУ. Если в результате колебаний или дрейфа доменных границ соотношение площадей СФМ доменов с разной ориентацией магнитных моментов ($СФМ^+$ и $СФМ^-$) в области светового пятна изменялось, то изменялась интенсивность света, прошедшего через анализатор. Эти изменения регистрировались ФЭУ, а сигнал с ФЭУ подавался на осциллограф.

В периодически повторяющемся импульсном магнитном поле при изучении дрейфа доменной структуры использовалась та же оптическая методика. В дополнение к визуальным наблюдениям и фотометрическим измерениям в случае импульсных полей мы смогли использовать метод высокоскоростной фотографии, позволивший изучить процесс возникновения дрейфа доменной структуры на начальном его этапе. При этом применялся лазер на красителе (Родамин Б), который накачивался импульсным азотным лазером и давал импульсы света длительностью около 10 нс и длиной волны $\lambda \approx 6\,300$ Å.

Результаты эксперимента

При включении переменного магнитного поля в образце возникали синхронные с полем колебания доменных границ, визуально наблюдаемые в виде их уширения. С ростом амплитуды переменного поля наряду с увеличением амплитуды колебаний

ДГ наблюдалось увеличение периода полосовой доменной структуры. При достижении определенного значения амплитуды переменного поля h_{t1} (первое пороговое поле) возникало направленное движение ПДС, которое сопровождалось образованием новых доменов. В некоторой области образца, положение которой определялось градиентом постоянного магнитного поля, периодически происходило образование и расширение клиновидных доменов, которые затем участвовали в движении ПДС. Расположение области зарождения доменов можно было перемещать по образцу, вводя дополнительно однородное постоянное магнитное поле и тем самым изменяя в образце положение линии, на которой постоянное (во времени) поле изменяет направление. Дрейф ПДС наблюдался, как правило, по обе стороны от области зарождения новых доменов. В этом случае направления движения доменов по обе стороны от этой области были противоположными, а возникавшие новые домены поочередно смещались то в одну, то в другую сторону от места зарождения. Но иногда дрейф ПДС наблюдался только с одной стороны от области образования новых доменов. При этом все вновь образовавшиеся домены смещались в одном направлении.

При быстром выключении переменного поля динамическая доменная структура «замораживалась». На рис. 1 приведены фотографии таких доменных структур, иллюстрирующие процесс дрейфа ПДС, а также процесс образования новых клиновидных доменов, их последующее расширение и участие в направленном движении. На фото 1,*а* показана исходная ПДС, наблюдавшаяся в отсутствие переменного поля. На фото 2,*б* зафиксировано появление в переменном поле на краю исследуемого участка образца нового домена, вызывающего смещение соседних доменов. При больших амплитудах переменного поля увеличивалась частота образования доменов и скорость дрейфа ПДС. На фото 1,*в* и 1,*г* видны уже два и три вновь образовавшихся домена, которые не успели увеличиться до размера исследуемого участка образца. Фото 1,*г* иллюстрирует также поочередное смещение новых доменов в разные стороны от области их образования. При возникновении дрейфа происходит изменение ориентации ДГ (фото 1,*в* и 1,*г*). Отклонение ДГ от первоначальной ориентации увеличивается с ростом амплитуды переменного поля.

При дальнейшем увеличении переменного поля и достижении определенной его амплитуды h_{t2} (второе пороговое поле) новые домены начинали возникать в различных участках образца. В этом случае образование доменов происходило нерегулярно то в одном, то в другом участке кристалла, что приводило к хаотическому движению ДГ и исчезновению их направленного движения.

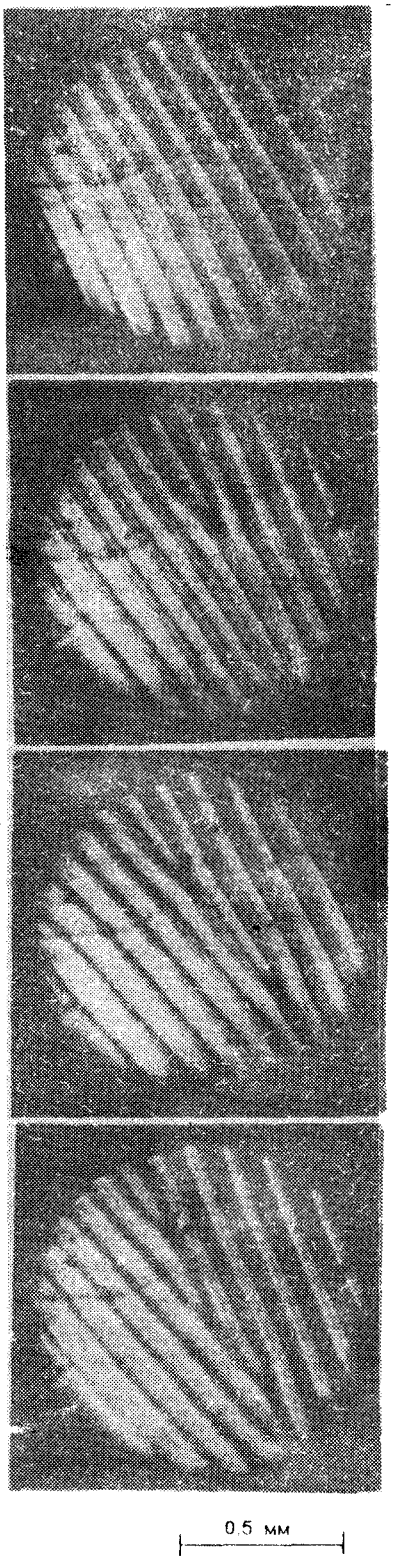

Рис. 1. Фотографии СФМ доменной структуры в пластинке $DyFeO_3$, иллюстрирующие процесс генерации доменов и возникновения дрейфа ПДС в переменном магнитном поле h, Э: 0 (*а*), 60 (*б*), 70 (*в*), 80 (*г*); $T = 57$ K; $f = 1$ кГц.

Таким образом, можно выделить три режима поведения ПДС в переменном поле, которые реализуются по мере увеличения его амплитуды:

1) синхронные с внешним полем колебания доменных границ;

2) направленное движение полосовой доменной структуры, сопровождающееся периодическим образованием новых доменов;

3) нерегулярное образование доменов в различных участках образца и хаотическое движение доменных границ.

Для регистрации дрейфа ПДС при больших его скоростях, а также для измерения скорости направленного движения доменов был использован фотометрический метод. Синхронные с полем колебания ДГ проявлялись в этом случае в возникновении на осциллограммах переменного сигнала, имеющего частоту, совпадающую с частотой переменного поля (рис. 2,*а*). В переменных полях, превышающих пороговое поле h_{t1}, на фоне этих колебаний возникали периодические колебания меньшей частоты (рис. 2,*б*). Появление на осциллограммах этих колебаний свидетельствовало о возникновении направленного движения доменов. С ростом амплитуды переменного поля уменьшался период $\widetilde{T}$ низкочастотной гармоники на осциллограммах (рис. 2,*в*), что означало увеличение

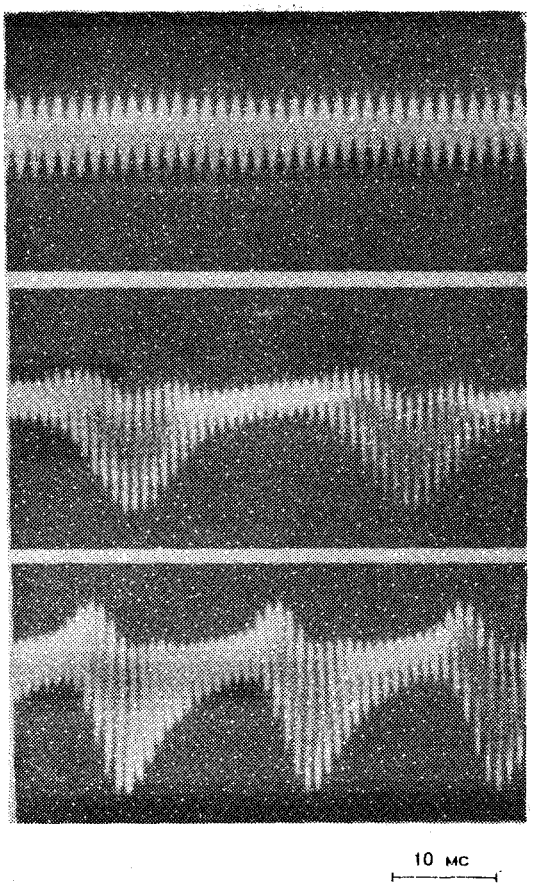

Рис. 2. Осциллограммы магнитооптического сигнала, иллюстрирующие возникновение дрейфа СФМ доменов в переменном магнитном поле h, Э: 40 (*а*), 60 (*б*), 70 (*в*); $T = 57$ K; $f = 1$ кГц.

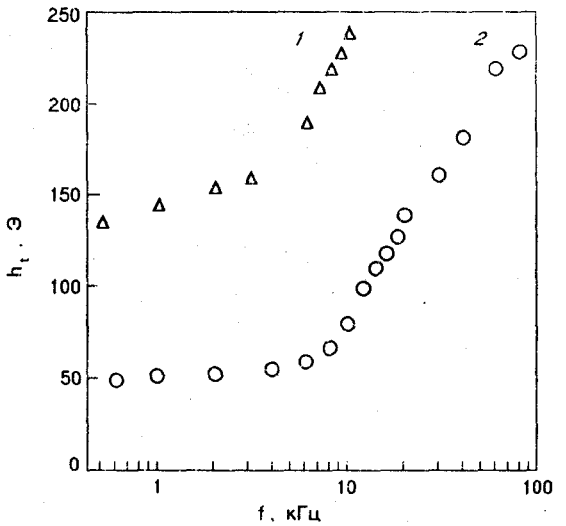

Рис. 3. Зависимости порогового поля возникновения дрейфа СФМ доменов от частоты переменного поля: в отсутствие градиента внешнего магнитного поля (*1*); при градиенте $dH/dx \approx 120$ Э/мм (*2*), $T = 57$ K.

скорости дрейфа, которую можно определить из соотношения $V = D/\widetilde{T}$, где D — период доменной структуры. При достижении второго порогового поля h_{t2} периодичность низкочастотной гармоники нарушалась.

В пластинке $DyFeO_3$ дрейф полосовой СФМ доменной структуры, вызываемый переменным магнитным полем, экспериментально наблюдался в области температур $T_M < T < 100$ K. По результатам фотометрических измерений были построены зависимости порогового поля возникновения дрейфа ПДС от частоты переменного поля f (рис. 3) и скорости дрейфа V от амплитуды поля h (рис. 4). Как видно из этих рисунков, пороговое поле h_{t1} увеличивается с ростом частоты, а скорость дрей-

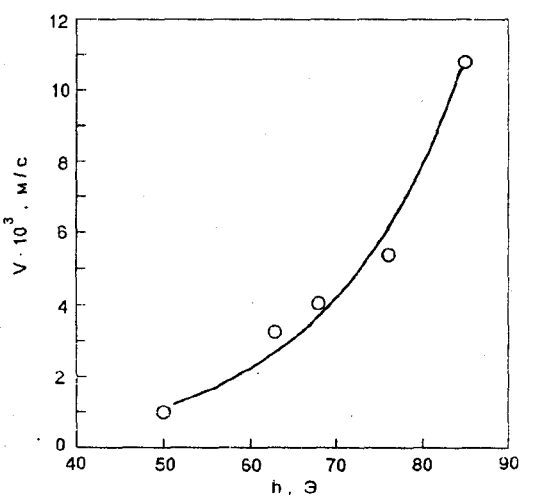

Рис. 4. Зависимость скорости дрейфа СФМ доменов от амплитуды переменного магнитного поля. $T = 57$ K.

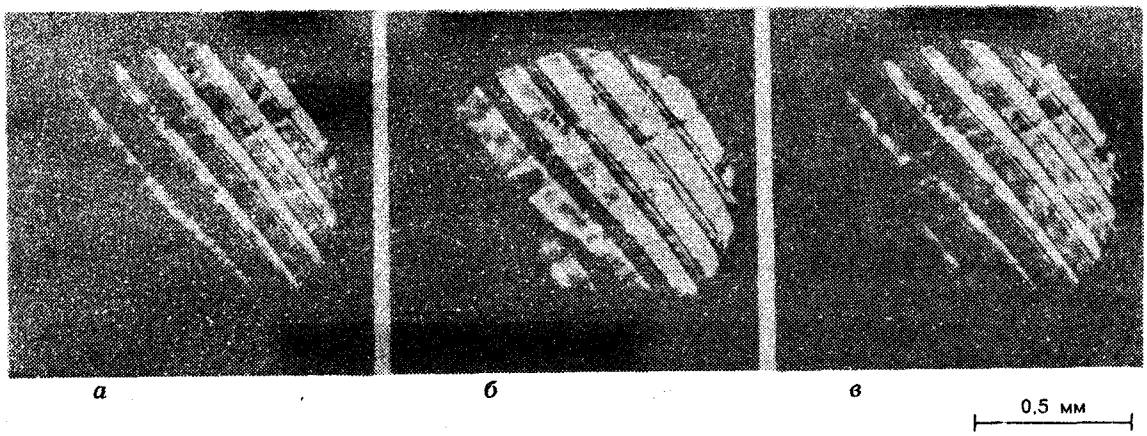

Рис. 5. Фотографии, иллюстрирующие образование домена в пластинке $DyFeO_3$ перед возникновением дрейфа ПДС в периодически повторяющемся импульсном магнитном поле. На фото показаны динамические доменные структуры, зафиксированные методом высокоскоростной фотографии. $T = 57$ К; $h = 260$ Э; $\tau = 20$ мкс; $f = 500$ Гц; t, мкс: 0 (*а*), 20 (*б*), 100 (*в*) (t — время задержки светового импульса).

фа V растет нелинейно с увеличением амплитуды переменого поля. На рис. 3 приведена также зависимость $h_{t1}(f)$ для случая, когда градиент постоянного поля отсутствовал (кривая *1*). В этом случае величина порогового поля h_{t1} заметно больше, чем при наличии градиента $dH/dx \approx 120$ Э/мм, (кривая *2*), хотя качественно обе зависимости не различаются. Образование новых доменов в процессе дрейфа ПДС в отсутствие градиента происходило, как правило, на краю образца. Введение градиента постоянного поля приводило также к увеличению полевого интервала $h_{t1} - h_{t2}$, в котором наблюдалось направленное движение доменов. Для частоты переменного поля $f = 1$ кГц при температуре образца $T = 57$ К при наличии градиента $dH/dx \approx 120$ Э/мм интервал между первым h_{t1} и вторым h_{t2} пороговым полем составлял около 40 Э, в то время как в отсутствие градиента он был около 20 Э.

Явление дрейфа ПДС наблюдалось также в периодически повторяющемся импульсном магнитном поле. Поведение ПДС в импульсном поле повторяло в основных чертах ее поведение в переменном поле, однако наблюдались и некоторые особенности. Возникновение и исчезновение направленного движения доменов происходило пороговым образом. Скорости дрейфа в переменном и импульсном полях были одного порядка величины. Но в отличие от случая переменного поля в импульсном поле образование новых доменов происходило в той области кристалла, где в результате существования градиента постоянного поля ПДС переходит в однородную фазу. Причем, если при заданном направлении импульсного поля образование новых доменов происходило в состоянии $СФМ^+$, то при изменении его направления на противоположное их образование происходило в состоянии $СФМ^-$. При этом направление дрейфа ПДС также изменялось на противоположное.

В периодически повторяющемся импульсном поле для изучения процесса дрейфа доменов мы могли применить метод высокоскоростной фотографии, синхронизируя импульсы лазерной подсветки с импульсами магнитного поля. На рис. 5 приведены фотографии динамических доменных структур, иллюстрирующие процесс образования нового домена и его влияние на существующую в образце ПДС. Параметры импульсного поля h, f и τ подобраны таким образом, что динамическая доменная структура находится в преддрейфовом состоянии. В однородной области образца уже зародился новый домен (фото 5,*а*), ширина которого растет при включении импульсного поля (фото 5,*б*) и уменьшается при его выключении (фото 5,*в*). Как видно из рис. 5, образование и рост этого домена приводит к смещению границ соседних доменов. Но при выбранных параметрах импульсного поля размеры образовавшегося домена еще недостаточно велики для смещения ПДС на период, и дрейф не возникает. Амплитуда поля близка, но меньше пороговой ($h \leq h_{t1}$ при заданном τ). Небольшое увеличение h или τ вызывало возникновение дрейфа ПДС.

Рис. 6. Осциллограмма магнитооптического сигнала, иллюстрирующая возникновение дрейфа СФМ доменов в периодически повторяющемся импульсном магнитном поле. $T = 57$ К; $h = 120$ Э; $\tau = 200$ мкс; $f = 50$ Гц.

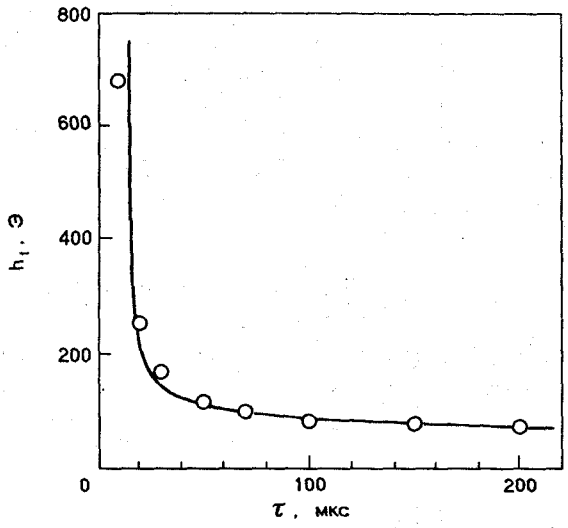

Рис. 7. Зависимость порогового поля возникновения дрейфа СФМ доменов от длительности импульсного магнитного поля: эксперимент (○), расчет (линия).

Как и в переменном поле, зарождение и увеличение домена, достаточное для смещения ПДС на один период, происходит не за один, а за несколько периодически повторяющихся импульсов поля. На рис. 6 приведена осциллограмма, иллюстрирующая процесс направленного движения доменов в импульсном поле. Острые выбросы на осциллограмме соответствуют колебаниям ДГ под действием импульсного поля, период низкочастотной гармоники — смещению доменной структуры на один ее период. Как видно из рис. 6, смещение ПДС на один период происходит за 12–14 импульсов магнитного поля (параметры указаны в подписи под рисунком).

Пороговое поле возникновения дрейфа ПДС в случае периодически повторяющегося импульсного поля уменьшается при увеличении длительности импульса (рис. 7). Приведенная на рис. 7 зависимость получена по результатам фотометрических измерений. Величина порогового поля в пределах ошибки ее определения не зависела от частоты повторения импульсов в диапазоне частот 20–1 000 Гц, в котором проводились исследования.

Обсуждение результатов

Известно несколько механизмов, которые могут объяснить возникновение направленного движения доменов в переменном поле. Согласно [5,6], циркулярно поляризованное или в определенном направлении линейно поляризованное переменное поле могут вызвать энергетическую неэквивалентность ферромагнитных доменов с противоположной ориентацией магнитных моментов и привести тем самым к возникновению эффективного давления на доменные границы и к появлению дрейфа доменов. Дрейф может возникнуть также вследствие различия линейных подвижностей доменной стенки при ее движении в прямом и обратном направлениях в процессе колебаний в переменном магнитном поле [9]. Еще один возможный механизм возникновения дрейфа обсуждался в работе [4], в которой приведены результаты исследования индуцированного переменным полем направленного движения доменов в ферримагнитном иттриевом феррите–гранате. Интенсивная накачка внешним переменным полем может привести к периодической генерации доменов в образце и вызвать дрейф ПДС.

Прежде чем обсуждать возможный механизм возникновения дрейфа, необходимо определить, какой из процессов является первичным: смещение ДГ, в результате которого происходит образование новых доменов, или же зарождение новых доменов, которое вызывает смещение существующей ПДС. Анализ полученных экспериментальных результатов позволяет прийти к заключению, что причиной дрейфа ПДС в переменном и периодически повторяющемся импульсном магнитных полях в слабо ферромагнитном $DyFeO_3$ является образование новых доменов. Такой вывод следует из визуальных наблюдений динамических доменных структур в переменном и, особенно, в импульсном полях, где метод высокоскоростной фотографии позволил зафиксировать образование нового домена до возникновения дрейфа ПДС. Этот вывод подтверждается существованием порогового поля возникновения дрейфа. Отметим, что существование порога не связано с коэрцитивностью ДГ, так как и в полях меньших порогового они находятся в движении, совершая колебания возле положения равновесия. Хаотическим зарождением доменов в различных участках образца объясняется также поведение доменной структуры выше второго порогового поля.

Причиной зарождения доменов в переменном поле может быть неравновесность динамической доменной структуры. В переменном поле, особенно на высоких частотах, ДГ не успевают отслеживать изменения поля вследствие недостаточно большой их подвижности. При этом с ростом амплитуды поля возникает и увеличивается неравновесность динамической доменной структуры. Понижение энергии неравновесной доменной структуры происходит обычно путем смещения ДГ или же путем зарождения (исчезновения) доменов. Если вследствие малой подвижности ДГ неравновесная доменная структура не успевает понизить свою энергию путем их смещения, то может произойти образование нового домена. Устойчивый зародыш нового состояния может возникнуть в течение некоторого промежутка времени только при определенной степени неравновесности доменной структуры (превышении ее

энергии над энергией равновесной структуры), что объясняет пороговый характер возникновения дрейфа ПДС и рост порогового поля h_{t1} с увеличением частоты. При достижении второго порогового поля h_{t2} неравновесность динамической доменной структуры возрастает настолько, что зарождение доменов может происходить одновременно в различных участках образца. Это приводит к срыву направленного движения ПДС.

Роль градиента постоянного магнитного поля проявляется в первую очередь в том, что он выделяет и стабилизирует в образце область, в которой происходит генерация доменов. Этот вывод подтверждается наблюдением перемещения по образцу области зарождения новых доменов при введении однородного постоянного поля. В отсутствие градиента постоянного магнитного поля генерация доменов может происходить вблизи дефекта или на краю образца. Градиент постоянного магнитного поля подавляет генерацию доменов по всей площади образца кроме выделенного им участка. Этим объясняется уширение полевого интервала существования дрейфа ПДС $h_{t1}-h_{t2}$ при его наличии. Наблюдавшееся в эксперименте понижение значения первого порогового поля h_{t1} (рис. 3), вызванное введением градиента, обусловлено, по-видимому, тем, что градиент постоянного поля способствовал усилению неравновесности ПДС в переменном поле.

С возникновением неравновесности ПДС в переменном поле связано и увеличение ее периода. Известно, что в стационарном поле по мере роста его напряженности происходит увеличение периода ПДС [10]. В связи с этим наблюдавшийся рост периода доменной структуры в переменном поле можно объяснить стремлением термодинамически неравновесной системы понизить среднее за период колебаний магнитного поля значение энергии.

Это объяснение остается справедливыми и для случая периодически повторяющегося импульсного магнитного поля. И в переменном, и в импульсном поле возникновение дрейфа ПДС при достижении порогового значения амплитуды, а также скорость дрейфа определяются двумя процессами — зарождением нового домена и ростом его размеров. Если предположить, что величина порогового поля h_{t1} определяется в основном возможностью зарождения нового домена, то для случая импульсного поля можно получить зависимость величины порогового поля от длительности импульса $h_{t1}(\tau)$. Для этого рассмотрим термофлуктуационный механизм образования зародышей. Вероятность термофлуктуационного образования зародыша определяется соотношением $W \sim \exp(-E/kT)$ [11,12], где $E = 16\pi\sigma^3/3(\Delta\Phi)^2$ — минимальная энергия образования сферического зародыша критического радиуса; σ — энергия стенки; $\Delta\Phi = 2mh$ — разность термодинамических потенциалов состояний $СФМ^+$ и $СФМ^-$; m — СФМ момент; h — амплитуда импульсного поля. Время ожидания образования зародыша t_W обратно пропорционально вероятности W

$$t_W \sim \exp(c/kTh^2), \qquad (1)$$

где $c = 4\pi\sigma^3/3m^2$. Если зародыш нового домена возникает в течение одного импульса поля, то пороговому значению h_{t1} должна соответствовать длительность импульса τ, равная времени ожидания t_W. В случае $\tau < t_W$ при заданной амплитуде импульсного поля зародыш не образуется. Полагая $t_W = \tau$ и $h = h_{t1}$ и используя (1), можно рассчитать зависимость порогового поля от длительности импульса. На рис. 7 линией показана рассчитанная таким образом зависимость $h_{t1}(\tau)$. Как видно из сопоставления расчетной линии с экспериментальными точками, зависимость $h_{t1}(\tau)$ для случая периодически повторяющегося импульсного поля можно описать выражением (1), которое получается в рамках рассмотренной простой модели.

Более сложным является описание процесса зародышеобразования в переменном поле, так как в этом случае величина h непрерывно изменяется. Если все же предположить, что в переменном поле значение пороговой амплитуды определяется возможностью возникновения зародыша в течение полупериода, а максимально возможное время ожидания $t_W \sim \tilde{T}/2 = f/2$, то можно качественно объяснить наблюдаемое в эксперименте (рис. 3) возрастание порогового поля h_{t1} с ростом частоты. При увеличении частоты переменного поля уменьшается максимально возможное время ожидания, и образование зародыша должно произойти при бо́льших значениях амплитуды поля.

Отметим, что, хотя описанная выше простая модель, рассматривающая термоактивационный механизм образования зародышей, объясняет наблюдаемые в эксперименте зависимости порогового поля h_{t1} от частоты переменного поля и длительности импульсного поля, в действительности физическая картина образования устойчивых зародышей может быть более сложной. На начальном этапе возможно термофлуктуационное образование зародыша с радиусом меньшим критического, а затем его эволюция в устойчивый зародыш путем непрерывного процесса развития спин–волновой неустойчивости в периодически повторяющемся импульсном или переменном магнитном поле [13,14].

Несмотря на то что физический механизм зарождения и роста новых доменов не до конца ясен, по результатам проведенных исследований можно

сделать вывод о том, что именно их образование в переменном или периодически повторяющемся импульсном поле вызывает дрейф полосовой доменной структуры в слабом ферромагнетике $DyFeO_3$.

Авторы выражают благодарность Н. Ф. Харченко за интерес к работе и полезные обсуждения.

1. H. Dotch, H. J. Schmitt, and J. Muller, *Appl. Phys. Lett.* **23**, 639 (1973).
2. H. Dotch and H. J. Schmitt, *Appl. Phys. Lett.* **24**, 442, (1974).
3. Ю. Н. Драгошанский, Е. Б. Хан, В. А. Зайкова, *ФММ* **39**, 289 (1975).
4. В. К. Власко-Власов, Л. С. Успенская, *ЖЭТФ* **91**, 1483 (1986).
5. E. Schlomann and J. D. Milne, *IEEE Trans. Magn.* **Mag-10**, 791 (1974).
6. E. Schlomann, *IEEE Trans. Magn.* **Mag-11**, 1051 (1975).
7. В. Г. Барьяхтар, Ю. И. Горобец, С. И. Денисов, *ЖЭТФ* **98**, 1345 (1990).
8. В. С. Герасимчук, *ЖЭТФ* **101**, 1360 (1992).
9. В. С. Герасимчук, А. Л. Сукстанский, *ЖЭТФ* **103**, 151 (1993).
10. C. Kooy and V. Enz, *Philips Res. Rep.* **15**, 7 (1960).
11. А. Е. Боровик, И. Н. Нечипоренко, *ФНТ* **4**, 218 (1978).
12. В. Г. Барьяхтар, И. М. Витебский, Д. А. Яблонский, *ФТ* **23**, 1448 (1981).
13. В. Г. Клепарский, *ФММ* **29**, 1295 (1970).
14. В. Г. Клепарский, В. В. Рандошкин, *ФТТ* **23**, 1735 (1981).

Magnetic domain drift in weak ferromagnetic $DyFeO_3$ in ac and pulse magnetic field

A. B. Chizhik and S. L. Gnatchenko

A directed motion of the strip domain structure in an ac or periodical magnetic pulse field is found to appear in a weak ferromagnetic crystal of dysprosium orthoferrite. The drift of the domain structure is of the threshold character in the magnetic field amplitude. The dependences of the threshold field upon the ac field frequency and the pulse field duration are obtained, and the field dependence of the drift velocity is found. It is revealed that the directed motion of the domain structure is induced by new domains periodically formed due to the ac or to the recurring magnetic pulse field.