

УДК 548 : 537.611.44

© 1991

КОЛЕБАНИЯ МОНОПОЛЯРНЫХ ДОМЕННЫХ СТЕНОК В ПОЛЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ

В. К. Власко-Власов, О. А. Тихомиров

Обнаружены вынужденные колебания монополярных доменных границ (ДГ) в иттриевом феррогранате под действием сдвиговой упругой волны, падающей вдоль ДГ. Обсуждаются возможные механизмы влияния звука на ДГ в условиях, когда отсутствует косвенное гиротропное воздействие через блоховские линии. На зависимости амплитуды колебаний от амплитуды звука выявлен участок с отрицательной производной, связываемый с интенсивной генерацией блоховских линий.

Взаимодействие упругих колебаний с доменной структурой определяет возникновение целого ряда явлений в ферромагнетиках — ΔE -эффект, внутреннее трение, эффективную анизотропию упругих свойств, доменно-акустический резонанс, магнитоупругие аномалии в движении доменных границ, генерацию ультразвука в переменном поле. Попытка последовательного количественного объяснения этих явлений сталкивается с отсутствием ясного представления о механизме взаимодействия доменных стенок с полем деформаций. Недавно в монокристаллах иттриевого феррограната были экспериментально обнаружены и исследованы линейные по амплитуде звука вынужденные колебания 180° доменных границ, содержавших блоховские линии [1]. При этом было установлено, что измеренная амплитуда колебаний стенок на несколько порядков превышает величины, полученные из расчетов в рамках известных моделей [2, 3].

Для объяснения этого расхождения в работе [1] был предложен механизм косвенного (связанного с тонкой структурой ДГ) воздействия звука на доменные стенки, которое в данной ситуации оказалось гораздо сильнее прямого воздействия. Колебания доменных границ определяются динамическим размагничивающим полем, возникающим вследствие вызванной звуком прецессии намагниченности в доменах. Это переменное поле параллельно намагниченности в центре стенки и создает давление на блоховские линии (БЛ), движение которых за счет гиротропных сил передается на доменные стенки. Если описанный механизм влияния звука на ДГ является определяющим, удаление БЛ из стенки должно существенно изменить наблюдаемую картину. Поэтому для проверки предложенной модели воздействия ультразвука на доменную структуру было выполнено исследование взаимодействия монополярных ДГ с упругой волной, результаты которого излагаются в настоящей работе.

Методика эксперимента подробно описана в [1]. Образцы, представлявшие собой вытянутые тонкие [112] пластины иттриевого феррограната, приклеивались за края к пьезокерамическим преобразователям. Доменная структура состояла из трех-четырех доменов 180° соседства с намагниченностью вдоль легкой оси (111), лежавшей в плоскости пластины. Кроме того, вблизи краев кристалла имелись небольшие треугольные замыкающие комплексы доменов, закреплявшие основные 180° стенки. Регистрация колебаний ДГ производилась по эффекту Фарадея посред-

ством фотометрирования магнитооптического сигнала от узкой щели, помещаемой на краю изображения ДГ в поляризованном микроскопе. Так как при данной геометрии эксперимента яркость изображения стенки намного превышает яркость домена, то смещение ДГ в сторону щели увеличивает интенсивность прошедшего света, а смещение в обратную сторону уменьшает ее. В эксперименте измерялась величина магнитооптического сигнала на частоте ультразвука J (пропорциональная амплитуде смещения ДГ) в зависимости от амплитуды звуковой деформации u_{ij} , пропорциональной напряжению на преобразователе U . Измерения магнитооптического сигнала в доменах показывают, что основной компонентой деформации в звуковой волне является сдвиговая деформация в плоскости пластины, а также позволяют определить коэффициент пропор-

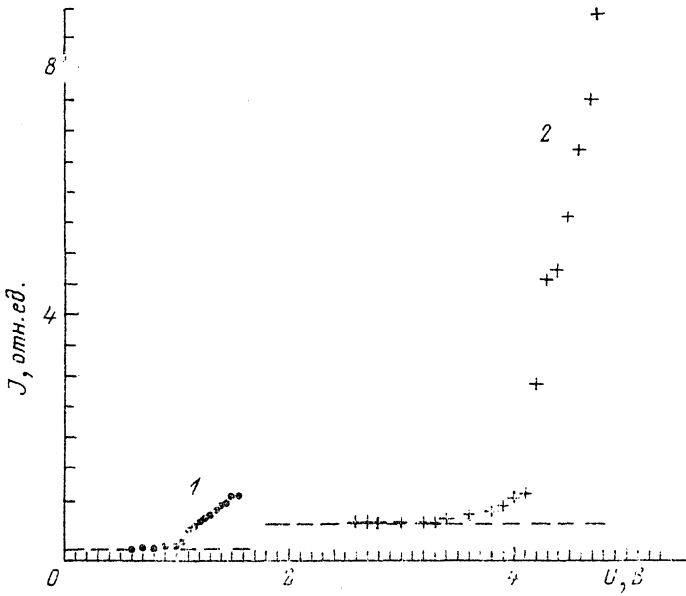


Рис. 1. Зависимость величины магнитооптического сигнала (пропорционального амплитуде колебаний ДГ) от амплитуды ультразвука (в единицах напряжения на преобразователе).

1 — ДГ с блоховскими линиями ($H=0$), 2 — монополярная стенка ($H=30$ Э). $f=144.4$ кГц.

циональности между u_{ij} и U [1]. Для создания монополярной ДГ применялась интенсивная волна ультразвука, возбуждавшая дрейф БЛ [1], с последующим включением подмагничивающего ДГ поля величиной 30 Э, направленного по нормали к пластине. Аналогичный эффект достигается при наложении переменного магнитного поля и поля подмагничивания [4].

На рис. 1 представлены зависимости амплитуды колебаний стенки от амплитуды ультразвука в единицах $J(U)$. Кривая 1 соответствует ДГ, содержащей блоховские линии (подмагничивающее поле выключено). При низкой интенсивности ультразвука колебания границы отсутствуют, а величина измеряемого сигнала определяется уровнем фона аппаратуры (штриховая линия). Начиная с некоторого критического значения напряжения U_c на фоне шума выявляются вынужденные колебания стенки, амплитуда которых растет по мере увеличения амплитуды звука. Зависимость $J(U)$ имеет линейный характер, за исключением небольшого участка (соответствующего коэрцитивности стенки), на котором происходит переход от фоновому сигналу к линейной зависимости. Кроме того, отклонение от линейности наблюдается при высоких значениях напряжения, когда инициируются нелинейные процессы генерации и направ-

ленного дрейфа БЛ [1]. В этих условиях изображение стенки в микроскопе размыто и магнитооптический сигнал определяется в основном не смещениями ДГ, а сменой проходящих через щель субдоменов противоположной полярности. Он имеет вид последовательности ступенек разного знака, интервал между которыми зависит от скорости БЛ. Поэтому величина J , измеренная на частоте звука, не дает более информации о движении стенки.

Кривая 2 (рис. 1) — аналогичная зависимость $J(U)$ для монополярной стенки. Прежде всего наблюдается существенное возрастание фонового сигнала, связанное с появлением дополнительной фарадеевской компоненты намагниченности доменов во внешнем поле, удерживающем ДГ в монополярном состоянии. При напряжениях порядка U_0 , соответствующих началу колебаний ДГ с блоховскими линиями, колебания намагниченной стенки отсутствуют. Это согласуется с предложенной моделью взаимодействия ультразвука с доменной структурой. Однако в об-

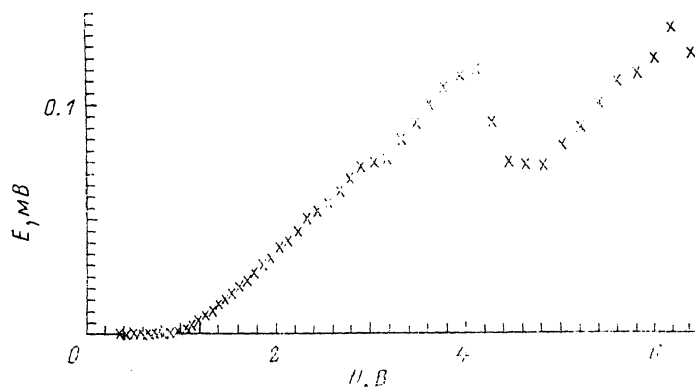


Рис. 2. Зависимость величины индукционного сигнала от амплитуды ультразвука.
 $f=196.3$ кГц.

ласти более высоких напряжений U появляется магнитооптический сигнал, соответствующий колебаниям монополярной ДГ. Величина этого сигнала изменяется примерно линейно с ростом амплитуды звука, причем наклон зависимости $J(U)$ оказывается более сильным, чем для размагниченной стенки. Дальнейшее повышение напряжения приводит к нарушению линейности и размытию изображения стенки в связи с генерацией БЛ, как и при выключенном подмагничивающем поле.

Для объяснения обнаруженных колебаний монополярной ДГ под действием ультразвука высокой интенсивности необходимо найти не связанный с БЛ механизм воздействия эффективного поля на стенку. Параллельное намагниченности в центре стенки переменное размагничивающее поле может в принципе вызывать синхронные со звуковыми колебаниями пульсации ширины ДГ. В этом случае магнитооптический сигнал будет таким же, как и от трансляционных колебаний, но фазы сигнала на противоположных сторонах стенки должны совпадать. Для проверки этой возможности при помощи стробоскопического осциллографа, управляемого от ЭВМ [1], был записан магнитооптический сигнал $J(t)$ от обеих сторон стенки. Оказалось, что фазы сигнала сдвинуты на π ; таким образом, наблюдаемые колебания ДГ являются трансляционными.

В отсутствие БЛ трансляционные колебания ДГ могут инициироваться за счет смещения под действием ультразвука замыкающих доменных комплексов. Так как края кристалла были приклеены к звуковым преобразователям, магнитооптических наблюдений движения замыкающих доменов в звуковом поле провести не удалось. Поэтому для проверки такой возможности использовались измерения амплитудных зависимостей $J(h)$ в переменном магнитном поле h , поляризованном вдоль нормали к плоскости пластины (такую поляризацию должно иметь размагничи-

яющую поле от наведенной ультразвуком прецессии спинов в доменах). Было установлено, что замыкающие домены начинают смещаться синхронно с полем при том же значении амплитуды поля h_c , что и основная монополярная стенка. В случае же размагниченной ДГ величина h_c для стенки совпадает со значением поля, при котором начинают колебаться блоховские линии; замыкающие домены обычно приходят в движение в более сильных полях. Таким образом, обнаруженные колебания монополярных ДГ под действием ультразвука связаны, по-видимому, с возбуждением колебаний замыкающих доменов под действием динамических размагничивающих полей. Если же стенка содержит блоховские линии, являющиеся дополнительным каналом воздействия размагничивающих полей на ДГ, то колебания стенки инициируются при значительно более низких амплитудах ультразвука. Различие механизмов возбуждения колебаний монополярных и размагниченных стенок объясняет и различный наклон зависимостей $J(U)$ на рис. 1.

Помимо области линейных колебаний ДГ значительный интерес представляет движение стенки при больших значениях интенсивности ультразвука, соответствующих развитию турбулентности в спиновой системе. Поскольку изображение стенки при этом размыто, а измеряемый сигнал быстро меняется из-за дрейфа БЛ, применение магнитооптической методики в этой области ограничено. Однако информацию о движении ДГ можно получать с помощью индукционной методики.

На рис. 2 представлена зависимость эдс, наведенной в небольшой (10 витков) плоской катушке, от амплитуды звука (в единицах напряжения на преобразователе U). Катушка надета на образец таким образом, что ее ось совпадает с направлением намагниченности в основных 180° доменах и регистрирует изменение параллельной легкой оси компоненты намагниченности, связанное со смещением ДГ. Видно, что на некотором участке амплитуда колебаний ДГ уменьшается с возрастанием амплитуды звука. Это связано с развивающейся в данной области U интенсивной генерацией блоховских линий, сопровождающейся из-за увеличения их плотности уменьшением амплитуды колебаний БЛ и ДГ. Немонотонная амплитудная зависимость колебаний ДГ может являться одной из причин изменения плотности ДГ в кристалле в условиях сильной накачки ультразвуком [1].

Таким образом, в работе обнаружены и исследованы вынужденные колебания монополярной стенки под действием распространяющейся вдоль нее сдвиговой ультразвуковой волны. Показано, что наблюдаемые явления можно объяснить на основе модели, предложенной ранее для стенки с блоховскими линиями и учитывающей динамические размагничивающие поля, возникающие из-за прецессии спинов в доменах. Установлено, что в отсутствие блоховских линий эффективное поле воздействует на стенку через замыкающие доменные комплексы, причем этот механизм проявляется лишь в достаточно сильных упругих полях. Выявлен немонотонный характер зависимости амплитуды колебаний ДГ от амплитуды звука; участок с отрицательной производной связывается с интенсивной генерацией блоховских линий под действием ультразвука.

Список литературы

- [1] Власко-Власов В. К., Тихомиров О. А. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 6. С. 1678—1689.
- [2] Туров Е. А., Луговой А. А. // ФММ. 1980. Т. 50. № 5. С. 903—913.
- [3] Барьяхтар В. Г., Иваков Б. А. // ФММ. 1975. Т. 39. № 3. С. 478—485.
- [4] Горнаков В. С., Дедух Л. М., Никитенко В. И. // Письма в ЖЭТФ. 1984. Т. 39. № 5. С. 199—202.

Институт физики твердого тела
РАН
Черноголовка
Московская обл.

Поступило в Редакцию
12 июля 1991 г.