

УДК 538.24

© 1990

АСИММЕТРИЧНОЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ КОЛЕБАНИЕ ДОМЕННЫХ СТЕНОК

Хван До Чен, П. Д. Ким

Методом магнитооптического детектирования обнаружено явление асимметричного колебания доменной стенки в образцах монокристаллических пленок ферритов-гранатов и пластинах FeVO_3 , YFeO_3 . Выявлены характерные особенности этого явления. Показано, что для указанных материалов существуют соответствующие критические частоты, выше которых стенки совершают вынужденное асимметричное колебание.

В настоящее время для исследования динамических свойств доменных стенок (ДС) и их внутренних спиновых структур (в частности, блоховских линий) используются различные радиочастотные и магнитооптические методы, которые позволяют получить спектры их колебаний. При этом предполагают, что под действием переменного магнитного поля все ДС колеблются симметрично относительно положения равновесия.

Такое априорное предположение, как показали наши исследования с помощью метода вынужденного колебания ДС, является ошибочным. Нами впервые экспериментально обнаружены явление асимметричного колебания ДС и некоторые закономерности этого явления.

В данной работе представлены результаты исследований характера смещения и колебания ДС, способа обнаружения этого явления, его связь с некоторыми другими нелинейными эффектами в динамике доменных структур и стенок. В качестве образцов использовались пластины различной толщины (50—200 мкм) монокристаллов бората железа и иттриевого ортоферрита, а также эпитаксиальные пленки ферритов-гранатов.

1. М е т о д и к а

Наблюдение доменной структуры проводилось с помощью эффекта Фарадея при комнатной температуре, а явление асимметричного колебания ДС было обнаружено методом магнитооптического детектирования [1]. Суть обнаруженного эффекта и вводимого понятия — «асимметричное колебание (АК) ДС» — легко объясняется с помощью рис. 1. На рис. 1, а представлен обычный случай симметричного колебания ДС (когда $x^+ = x^-$, где x — амплитуда колебания) относительно положения равновесия OO' под действием переменного поля, а на рис. 1, б — АК ДС ($x^+ > x^-$).

Обнаруженный эффект АК ДС в вышеуказанных материалах при определенных условиях легко экспериментально устанавливается методом магнитооптического детектирования. Поэтому рассмотрим принцип формирования и регистрации магнитооптического сигнала с помощью указанного метода (рис. 1). Пусть под действием амплитудно-модулированного переменного магнитного поля (частота модуляции $\nu = 1$ кГц) ДС совершает вынужденное колебание, которое вызывает изменение светового потока Φ ($\Phi \sim x$), проходящего через исследуемый образец. В случае прямолинейной ДС оптическое детектирование производится с помощью ножевой диафрагмы или оптической щели (ОЩ), расположенной в плоскости изображения ДС. Для полного детектирования, т. е. для определения ампли-

туды колебания, необходимо расположить один край диафрагмы точно в центре изображения стенки (рис. 1); при этом в соответствии с рис. 1, а полезный сигнал $\Phi \sim x^2$. По мере продвижения края прямоугольной диафрагмы к положению равновесия OO' сигнал Φ будет расти и в момент точного расположения в центре изображения ДС (обратите внимание, что край ОЩ располагается не на самой ДС образца, а на ее изображении, увеличенном ~ 1000 раз) сигнал Φ достигнет своего максимального значе-

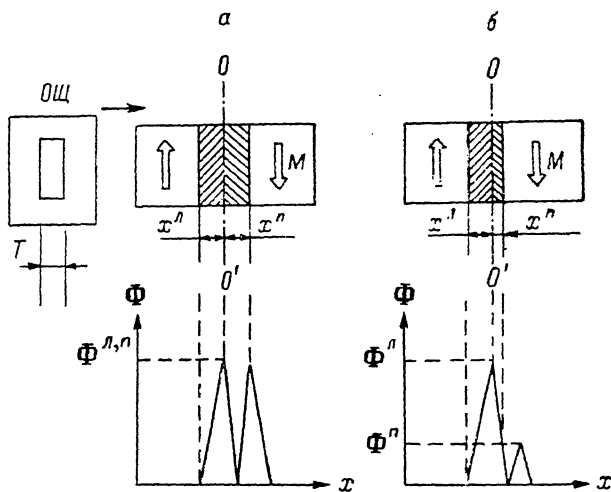


Рис. 1. Принципы магнитооптического детектирования.

ния, а затем будет уменьшаться до нуля. При дальнейшем перемещении ОЩ в случае симметричного колебания ДС (рис. 1, а) и при условии, когда ширина ОЩ T больше общей амплитуды колебания ДС ($x^I + x^II$), наблюдается второй максимальный сигнал $\Phi \sim x^2 = x^I$. В случае же АК стенки (рис. 1, б) будут зарегистрированы два максимальных сигнала Φ^I и Φ^II (соответствующих $x^I > x^II$). В случае фотонегатива оптическое детектирование произойдет автоматически соответственно для сигналов $\Phi^I \sim x^I$ и $\Phi^II \sim x^II$.

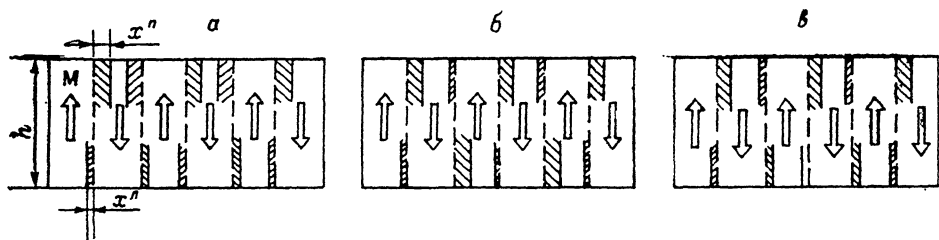


Рис. 2. Схематическое изображение асимметричных колебаний ДС: $x_{2i}^I > x_{2i}^{II}$, $x_{2i+1}^I < x_{2i+1}^{II}$, $\Delta\Phi \sim X_0 \rightarrow X_{\max}$ (а), $x_{2i}^I > x_{2i}^{II}$, $\Delta\Phi \sim X_0 \rightarrow 0$ (б), $x_{2i}^I = x_{2i}^{II}$, $x_{2i+1}^I < x_{2i+1}^{II}$, $\Delta\Phi \sim X_0 \rightarrow X_{\max}/2$ (в).

Сразу отметим, что при исследовании были проверены и исключены возможности влияния лабораторного поля, искажения формы и пространственной неоднородности рабочего амплитудно-модулированного поля, дефектов и геометрической формы образцов. Существование явления АК ДС подтверждается и другими эффектами, которые будут рассмотрены ниже.

Прежде чем перейти к рассмотрению полученных результатов, проанализируем возможные ситуации АК ДС в одном и том же образце.

Под действием переменного поля ДС смещаются в противоположную сторону (по направлению) по отношению к соседним ДС, т. е. колеблются антифазно. На рис. 2 схематически изображены смещения за первый

(вверху) и второй (внизу) полупериоды. Из всех возможных случаев АК ДС следует выделить следующие.

1) Чередование асимметрии (АК-1), т. е. когда выполняется условие $x_{2i}^i > x_{2i}^n$, $x_{2i+1}^i < x_{2i+1}^n$ (где i — номер ДС; рис. 2, а). В этом случае полное изменение светового потока (со всего образца) $\Delta\Phi$ будет пропорционально общему смещению стенок X_0 с учетом антифазности, т. е.

$$X_0 = \sum_i [(x_{2i}^i - x_{2i}^n) - (x_{2i+1}^i - x_{2i+1}^n)] \rightarrow X_{\max}.$$

2) Асимметрия для всех ДС в одну сторону (АК-2), т. е. когда $x^i < x^n$. В этом случае $\Delta\Phi \sim X_0 \rightarrow 0$ (рис. 2, б).

3) Асимметрия через одну ДС (АК-3), причем в одну сторону, т. е. когда $x_{2i+1}^i < x_{2i+1}^n$, $x_{2i}^i = x_{2i}^n$. В этом случае $\Delta\Phi \sim X_0 \rightarrow X_{\max}/2$ (рис. 2, в).

Все остальные возможные варианты АК ДС сводятся к вышеперечисленным.

2. Результаты эксперимента

Наши исследования показали, что экспериментально наблюдаются только два случая (АК-2 и АК-3), а именно в монокристаллических пластинках ортоферрита (YFeO_3) — случай АК-2, т. е. все ДС колеблются асимметрично в одну сторону; в пластинках бората железа (FeBO_3) — случаи АК-2, АК-3 (причем случай АК-2 наблюдается только при максимальном числе доменов N_m для данного образца, а случай АК-3 во всех остальных состояниях, $N < N_m$); в пленках различного состава феррит-гранатов — случай АК-3.

Случай АК-1 экспериментально не наблюдается в рассмотренных материалах.

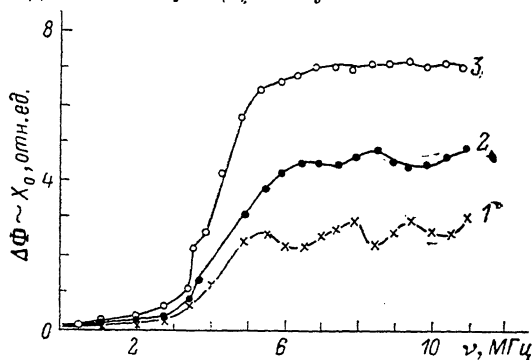


Рис. 3. Зависимость амплитуды колебания ДС от частоты при различных состояниях ПДС. $N=4$ (1), 8 (2), 14 (3).

Наиболее важным и интересным свойством асимметричного высокочастотного колебания ДС является то, что в отличие от ранее описанного Кандауровой эффекта асимметрии движения ДС в кристаллах ортоферритов [2] обнаруженное явление не связано с каким-либо дефектным слоем (так называемой теневой доменной структурой) или локальной коэрцитивностью. В данном случае явление АК ДС связано только лишь с частотой вынуждающего магнитного поля ν . Экспериментально выявлено, что для указанных материалов существуют критические частоты ν^* , выше которых ДС совершают вынужденное АК YFeO_3 — 0.9—1 МГц, FeBO_3 — 3.5—4 МГц, пленок феррогранатов — 10—12 МГц.

На рис. 3 представлены зависимости амплитуды колебания одной произвольно выбранной ДС (x^i ; x^n) бората железа от частоты ν при различных состояниях ДС (от числа доменов N в одном и том же образце). Видно, что независимо от состояния ДС (N) эффект АК в FeBO_3 (при постоянной величине возбуждающего поля h_0) проявляется с частоты $\nu^* \approx 3.5$ МГц.

В определенных случаях само АК стенок периодической доменной структуры (ПДС) может производить детектирование под действием амплитудно-модулированного поля. Так, например, в исследованных пленках феррит-гранатов чередование одностороннего АК дает суммарный

магнитооптический сигнал, пропорциональный общей амплитуде колебания ДС (случай АК-3, $\Delta\Phi \sim X_0$).

На рис. 4 представлены зависимости общего сигнала $\Delta\Phi \sim X_0$ от величины магнитного поля h_0 при различных частотах. Из этих данных

легко найти зависимость максимальной скорости ДС $v_m = 2\pi\nu x_0$ от величины h_0 и величину скорости насыщения $v_m \approx 2.8 \cdot 10^4$ см/с, которая при указанных частотах остается постоянной.

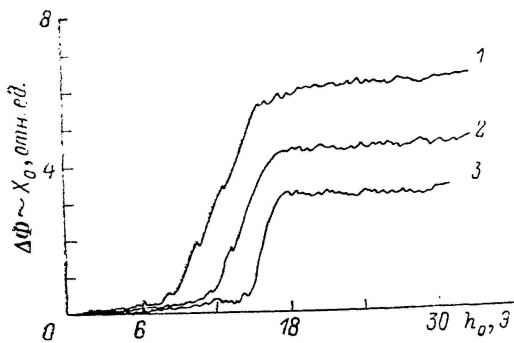


Рис. 4. Зависимость общего сигнала $\Delta\Phi \sim X_0$ от величины поля h_0 при различных частотах в $(\text{SmBiY})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$.

ν , МГц: 1 — 23, 2 — 35, 3 — 45.

На рис. 5 представлена зависимость $\Delta\Phi$ от величины h_0 при фиксированной частоте $\nu = 60$ МГц (YFeO_3). Общий сигнал $\Delta\Phi \rightarrow 0$, несмотря на то что все стенки колеблются с определенной амплитудой x^1, x^2 . Это согласуется с условием АК-2, когда асимметрия для всех ДС в одну сторону

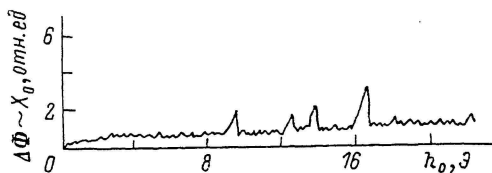


Рис. 5. Зависимость общего сигнала $\Delta\Phi$ от величины поля h_0 при $\nu = 60$ МГц (YFeO_3).

(для YFeO_3 на частотах выше 0.9 МГц или в отсутствие АК на частотах ниже 0.9 МГц).

Детальное исследование характера АК в зависимости от величины вынуждающего поля показало, что при любых значениях h_0 и на частотах выше критических ν^* отношение между соответствующими x^1 и x^2 приблизительно остается постоянным.

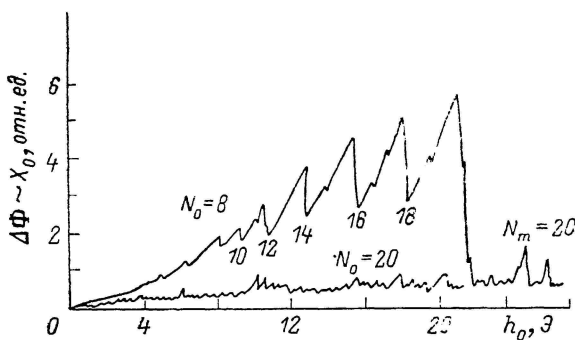


Рис. 6. Зависимость общего сигнала $\Delta\Phi$ от величины поля h_0 при $\nu = 32$ МГц в условиях перестройки ПДС (FeVO_3).

3. Обсуждение и заключение

Эксперименты показали, что в режиме перестройки ПДС в пластинах FeVO_3 ($N \rightarrow N+1$) наблюдается максимальный эффект АК (рис. 6). Если учесть, что переход между метастабильными состояниями под действием ВЧ магнитного поля происходит при условии, когда максимальная скорость ДС v_m достигает по величине скорости продольной звуковой

волны в FeVO_3 $v_m = 6.2 \cdot 10^5$ см/с, то можно предположить, что эффект АК в этом образце усиливается за счет влияния возбужденных волн. Слабая осцилляция на кривых $X_0(\nu)$ при $N=4$ и 8 (рис. 3) также может быть связана с резонансным эффектом АК на соответствующих критических частотах перестройки ПДС в образцах бората железа [3].

Незначительное влияние нелинейного режима движения ДС в пластинках YFeO_3 на эффект АК наблюдается в момент возбуждения различных волн самими стенками (рис. 5, острые пики).

Визуальное наблюдение доменных структур пленки феррит-граната показало, что в момент резкого возрастания магнитооптического сигнала $\Delta\Phi \sim X_0$ (рис. 4, $h_0 = 8 \div 12$ Э) происходит перестройка доменной структуры с одновременным резким возрастанием подвижности ДС. Такое изменение динамического свойства ДС под действием ВЧ магнитного поля, видимо, связано не только с перестройкой доменной структуры (переход из лабиринтной в ПДС-страйп), но и коренным преобразованием внутренней спиновой структуры стенки.

Результаты исследования действия постоянного поля, приложенного вдоль оси легкого намагничивания, на эффект АК показали, что оно влияет незначительно на характер асимметрии в момент приближения стенок к близкое расстояние ($\sim 10\Delta_0$, где Δ_0 — параметр ширины ДС). Такое поведение АК, видимо, связано с возрастающим влиянием дипольного взаимодействия между соответствующими ДС.

Из приведенных данных и с учетом некоторых ранее опубликованных результатов [1, 3, 4] можно сделать следующие выводы.

1. Метод магнитооптического детектирования позволяет контролировать положение равновесия ДС в колебательном режиме движения.
2. Показано, что для каждого материала существует критическая частота ν^* , выше которой ДС совершает вынужденное АК.
3. В отличие от ранее описанного эффекта асимметрии движения ДС в кристаллах ортоферритов [2] обнаруженное явление АК не связано с какими-либо дефектными слоями или локальной коэрцитивностью. Однако можно предположить, что природа обнаруженного явления связана с внутренней магнитной структурой стенки, например с асимметричным распределением магнитных моментов в ДС относительно центра самой стенки и другими образованиями.
4. Выявлено, что максимальный эффект АК проявляется в момент перестройки доменной структуры и в нелинейном режиме движения ДС, связанного с возбуждениями различных волн.
5. Экспериментально выявлена закономерность одностороннего асимметричного колебания (случаи АК-2, АК-3) всех ДС по мере приближения к равновесному состоянию доменной структуры (для FeVO_3 при $N = N_{\text{max}}$; $\Delta\Phi \sim X_0 \rightarrow 0$).

Список литературы

- [1] Ким П. Д., Хван Д. Ч. // ФТТ. 1982. Т. 24. № 8. С. 2300—2304.
- [2] Кандаурова Г. С., Васильковский В. О., Дерягин А. В., Раев В. К. // Письма в ЖЭТФ. 1974. Т. 19. № 2. С. 132—135.
- [3] Игнатченко В. А., Ким П. Д., Хван Д. Ч. // Тез. докл. XVI ВК по ФМЯ. Тула, 1983. С. 306—307.
- [4] Ким П. Д., Хван Д. Ч. // ЖТФ. 1983. Т. 53. № 5. С. 947—949.

Институт физики им. Л. В. Киренского
СО АН СССР
Красноярск

Поступило в Редакцию
8 января 1990 г.