

СПИРАЛЬНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ДОМЕНЫ В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ ПОЛЕМ СМЕЩЕНИЯ

Г.С.Кандаурова, А.А.Русинов

Уральский государственный университет

620083 Екатеринбург, Россия

Поступила в редакцию 26 ноября 1996 г.

Обнаружено явление индуцированного постоянным магнитным полем смещения ангерного состояния (АС) многодоменной магнитной среды. Свойства спиральных динамических доменов в индуцированных АС существенно отличаются от свойств ранее изученных спиральных доменов.

PACS: 75.60.Ch

Известно [1,2], что в пленках ферритов-гранатов (ФГ), помещенных в пространственно однородное, непрерывно действующее переменное магнитное поле H_{\sim} , может реализовываться особое возбужденное состояние, названное в [3] ангерным состоянием (АС). Это состояние наблюдается в определенной области амплитуд H_0 и частот f переменного поля. В [1,2] оно отнесено к состояниям автоволнового типа [4]. Ангерному состоянию присущи по крайней мере две отличительные особенности: 1) *самоорганизация* в хаотически движущейся системе доменов и формирование устойчивых, упорядоченных динамических доменных структур (ДДС), чаще всего в виде спиралей, и 2) *самогенерация* периодических (квазипериодических) процессов, основным из которых является процесс возникновения/исчезновения спиральных динамических доменов (СДД). Время жизни T_g СДД и время ожидания T_w формирования нового (-вых) СДД являются динамическими параметрами АС.

Как показали исследования большого количества пленок ФГ [5], далеко не во всех образцах наблюдается АС. Однозначного критерия реализации АС на сегодняшний день нет. Нет и теории АС. Что касается экспериментальных исследований, то здесь уже накоплен большой и интересный материал. Определены факторы, существенно влияющие на амплитудно-частотные области $(H_0 - f)$ ангерного состояния, обнаружены зависимости T_g , T_w от частоты и амплитуды переменного поля, установлен характер эволюции отдельного СДД за время его жизни [6], найдена связь между АС и динамическими гистерезисными свойствами пленки ФГ [7] и др.

В [3] исследовано влияние постоянного подмагничивающего поля (поля смещения H_b) на СДД в ангерном состоянии пленки ФГ. Показано, что увеличение поля H_b приводит к измельчению и исчезновению спиралей, то есть к разрушению АС. Максимальное значение H_b при этом составляет относительно небольшую часть от амплитуды H_0 - переменного поля (не более 20%).

В данной работе было обнаружено, что большие поля смещения H_b , сравнимые или в несколько раз превышающие H_0 , могут вызывать формирование из хаоса СДД, поведение которых свидетельствует о возникновении АС. Мы назвали его индуцированным ангерным состоянием - АС(и). Этот эффект

наблюдался на нескольких пленках ФГ. Продемонстрируем его на примере пленки (111) феррита-граната $(\text{YLuBi})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ толщиной $L = 16.6$ мкм.

Пленка имела следующие параметры: статическое поле насыщения $H_s = 91$ Э, поле одноосной перпендикулярной анизотропии $H_A = 11$ кЭ, период исходной лабиринтарной доменной структуры $P_0 = 28.5$ мкм. Домены наблюдались с помощью магнитооптического эффекта Фарадея. Фотографирование производилось с экспозицией 1 мс. Образец помещался в центр катушки переменного поля диаметром 6 мм. Переменное поле $H_{\sim} = H_0 \sin 2\pi ft$ ориентировалось по нормали к образцу. Частота f и амплитуда H_0 варьировались соответственно в пределах $f = 10^2 - 10^5$ Гц, $H_0 = 0 - 100$ Э. Постоянное поле H_b , напряженностью до 100 Э прикладывалось также по нормали к пленке.

Надо особо подчеркнуть, что во всем исследованном интервале значений f и H_0 поля H_{\sim} и в отсутствие поля смещения H_b в данном образце ни СДД, ни АС не наблюдались. Формировались только хаотические ДДС различного вида. Ситуация коренным образом изменяется, если включается достаточно большое поле смещения H_b . При некоторых сочетаниях f , H_0 и H_b возникают красивые, устойчивые, упорядоченные структуры в виде СДД, окруженных динамическим доменным хаосом. СДД "живут" некоторое время T_g , исчезают и через какой-то промежуток времени T_w опять формируются новые (или новый) СДД и так далее. А это и есть характерный признак ангерного состояния, в данном случае АС(и). Процессы перехода хаос/порядок продолжают сколь угодно долго, пока остаются неизменными условия опыта.

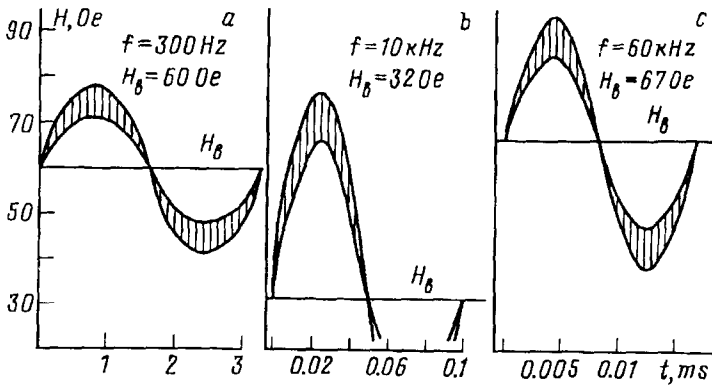


Рис.1

Мы нашли три сочетания значений H_0 , f и H_b , при которых АС(и) наблюдаются наиболее ярко (рис.1). В действительности АС(и) реализуется не только при данном фиксированном значении каждого из этих параметров, а в определенных интервалах ΔH_0 , Δf и ΔH_b . Так что надо говорить о трех областях $(H_0 - f - H_b)$, где реализуются АС(и). Максимальные интервалы изменения напряженности переменного поля при некоторых фиксированных значениях частоты f и поля смещения H_b из этих трех областей $(H_0 - f - H_b)$ можно видеть на рис.1 (заштрихованные части синусоиды). Оказалось, что эти области АС(и) значительно разнесены по шкале частот и приходятся, соответственно, на интервалы (0.1–1.2), (5–16) и (40–100) кГц. Если на опыте варьировать все три параметра H_0 , f и H_b , то, естественно, следует изучать трехмерные области существования АС(и). Однако в данной работе

мы приводим результаты анализа ДДС в трех областях АС(и) при некоторых выбранных значениях H_b .

На рис.2 приведены характерные картины ДДС со спиральными доменами из указанных областей ($H_0 - f - H_b$). Фотографии выполнены при экспериментальных условиях, соответствующих рис.1. Бросается в глаза различие в конфигурации СДД и окружающих их доменном хаосе. Но еще более примечательно то, что очень различно динамическое поведение спиральных доменов во всех трех областях АС(и).

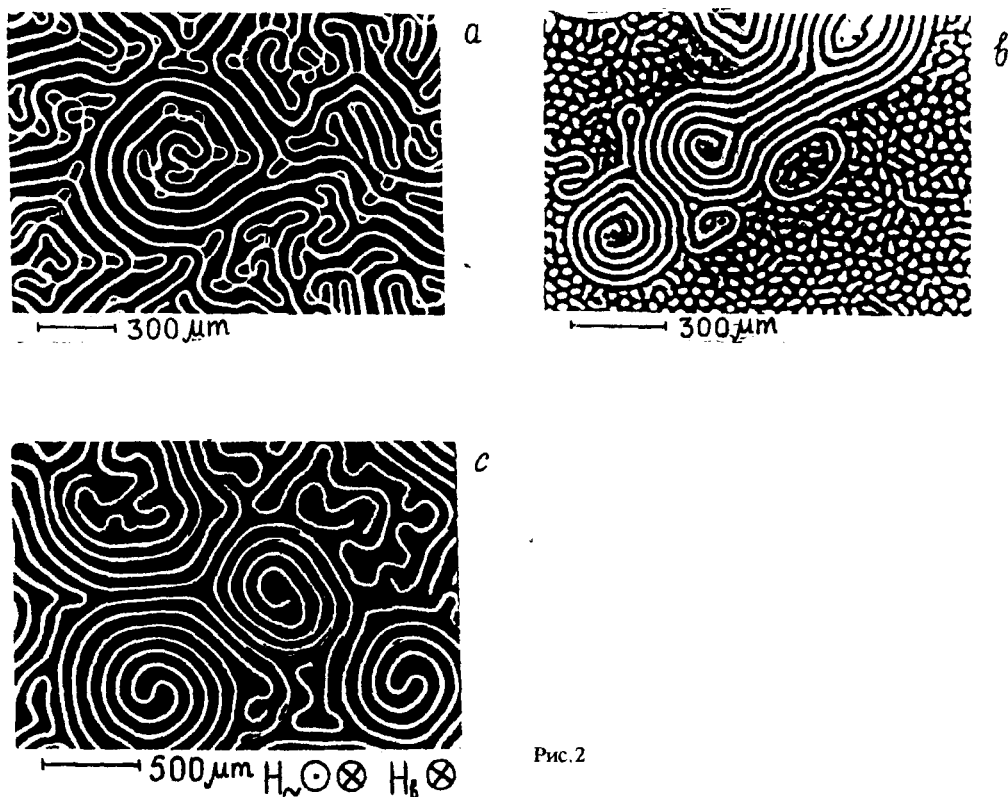


Рис.2

В области АС(и)-1 формируются в основном двухрукавные, долгоживущие СДД с небольшим числом витков (рис.2а), внешний из которых связан с окружающим доменным хаосом. Расстояние между витками примерно в 2 раза больше, чем период P_0 . В поле $H_b = 60 \text{ Э}$ СДД могут иметь различное направление закрутки, как по часовой стрелке, так и против. Такие СДД или стоят на месте в течение своей жизни T_g , или очень медленно дрейфуют со скоростью не более 0.1 мм/с . Полосовые домены в витках на периферии СДД малоподвижны, в то время как во внутренних частях СДД происходит их интенсивное движение. На фотографиях рис.2а это движение проявляется в том, что белые домены в некоторых местах имеют контрастное изображение петельки. Это означает, что за время экспозиции захватывается положение доменов при противоположных амплитудных значениях переменного поля. В верхней части синусоиды (рис.1а) белые полосовые домены укорачиваются, а в

нижней – удлиняются. Таким образом, по смещению домена (петли) за время экспозиции можно оценить его скорость. Она составляет порядка 0.1 м/с , при данных значениях $f = 300 \text{ Гц}$ и $H_0 = 14 \text{ Э}$.

Самой примечательной особенностью АС(и)-1 является то, что можно визуальнo наблюдать, как постепенно в течение 3–4 с СДД формируются. Время жизни таких спиралей в среднем составляет 7 с, однако изредка образуются крупные, долгоживущие СДД, T_g которых достигает 3 мин. Потом в течение 1–2 с можно заметить последовательные этапы процесса разрушения СДД. Основываясь на этих наблюдениях, мы ввели новые динамические параметры АС(и) и СДД – время формирования (T_b) и время разрушения (T_d). До сих пор в предыдущих работах сообщалось лишь, что СДД появляются и исчезают практически мгновенно, скачком.

В области АС(и)-2 формируются однорукавные СДД с относительно небольшим ядром (рис.2б). Витки спиралей упакованы довольно плотно, так что их период лишь немного превышает период P_0 (в 1.2–1.3 раза). В поле смещения $H_b = 32 \text{ Э}$ не заметно преимущества одного из направлений закрутки витков в спиралах. Такие СДД более динамичные, чем СДД в области АС(и)-1. Они формируются значительно быстрее (десятые доли секунды), меньше "живут" (3–4 с) и быстрее разрушаются (менее 1 с). За время T_g СДД не стоят на месте. Они хаотично перемещаются, "плавают" со скоростью 1–1.5 мм/с. Часто возникают системы из 2–3 СДД, объединенных S-образной связью или связью типа "барьерных рогов" [3]. СДД окружены хаосом, состоящим в основном из искаженных цилиндрических и полосовых доменов.

В области АС(и)-3 образуются крупные и гладкие, одно- и двухрукавные СДД (рис.2с). Период витков таких спиралей по крайней мере вдвое превышает период исходной структуры. В поле $H_b = 67 \text{ Э}$ двухрукавные СДД преимущественно закручиваются по часовой стрелке, а в однорукавных СДД не видно явного преимущественного направления закрутки. Что касается динамического поведения, то СДД в области АС(и)-3 – еще более подвижные структуры, чем вышеописанные. Они быстрее формируются и разрушаются, так что визуальнo трудно оценить тот промежуток времени за который полосовой домен скручивается в спираль или "растаскивается" окружающим хаосом. Среднее время жизни рассматриваемых СДД составляет 2 с. Они интенсивно перемещаются, вращаются, взаимодействуют друг с другом и т.д. Вне этой ($H_0 - f - H_b$) области наблюдаются лишь неупорядоченные СДД из протяженных полосовых доменов.

Таким образом, напряженность постоянного поля смещения наряду с частотой и амплитудой переменного поля является третьим управляющим параметром ангерного состояния многодоменных магнитных пленок. Естественно закручивание полосовых доменов связать с действием гиротропной силы, отклоняющей конец (верхушку) движущегося домена в ту или другую сторону. Согласно [8], эта сила пропорциональна скорости движения домена. Отсюда качественно можно понять, что с увеличением поля ($H_0 + H_b$) повышается скорость и возрастает эффективность действия гиротропных сил, а значит, появляется возможность формирования СДД в тех условиях, в которых в отсутствие H_b СДД не формировались. Однако для объяснения существования нескольких областей АС(и) с различными спиральными доменами необходимы серьезные теоретические разработки, подобные той, что представлена в [9] для статических спиральных доменов.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант 96-02-16119а).

-
1. Г.С.Кандаурова, А.Э.Свидерский, Письма в ЖЭТФ **47**, 410 (1988).
 2. Г.С.Кандаурова, А.Э.Свидерский, Письма в ЖТФ **14**, 777 (1988).
 3. Г.С.Кандаурова, А.Э.Свидерский, ЖЭТФ **97**, 1218 (1990).
 4. В.А.Васильев, Ю.М.Романовский, В.Г.Яхно, *Автоволновые процессы*, М.: Наука, 1987.
 5. Г.С.Кандаурова, А.Э.Свидерский, В.П.Клин, В.И.Чани, Письма в ЖТФ **20**, 40 (1994).
 6. Г.С.Кандаурова, В.Х.Осадченко, А.А.Русинов, Е.А.Русинова, Письма в ЖЭТФ **63**, 453 (1996).
 7. Г.С.Кандаурова, В.Х.Осадченко, Письма в ЖТФ **20**, 24 (1994).
 8. А.Малоземов, Дж.Слонзуски, *Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами*, М.: Мир, 1982.
 9. А.Б.Борисов, Ю.И.Яльшев, ФММ **79**, 18 (1995).