

ЭВОЛЮЦИЯ СПИРАЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ДОМЕНОВ В АНГЕРНОМ СОСТОЯНИИ ПЛЕНОК ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ

Г.С.Кандаурова, В.Х.Осадченко, А.А.Русинов, Е.А.Русинова

*Уральский государственный университет
620083 Екатеринбург, Россия*

Поступила в редакцию 1 декабря 1995 г.

После переработки 20 февраля 1996 г.

Применена микровидеосъемка для анализа динамических доменных структур в ангерном состоянии пленок ферритов-гранатов. Получены данные об эволюции индивидуальных спиральных доменов за время жизни каждого из них. Обнаружен новый механизм разрушения этого состояния.

PACS 75.60.-d, 75.50.-y

В работах [1,2] впервые было показано, что в переменном, пространственно однородном и непрерывно действующем магнитном поле частотой $f = 10^2 - 10^4$ Гц пленки ферритов-гранатов с обычной исходной лабиринтной доменной структурой (рис.1а) могут переходить в особое возбужденное состояние. В этом состоянии в хаотически движущейся системе магнитных доменов происходят процессы самоорганизации. В результате формируются упорядоченные устойчивые спиральные динамические домены (СДД) (рис.1б). Каждый СДД живет некоторое время T_g , а затем исчезает. Время "жизни" T_g намного больше, чем период переменного магнитного поля. Новый СДД или несколько новых возникают на контролируемом участке образца через некоторое время T_w - время ожидания [3]. Процессы перехода хаос/порядок продолжаются до тех пор, пока действует поле накачки. Описанное состояние подобно автоволновому состоянию неравновесных термодинамических систем [4,5]. Однако СДД не тождественны спиральным автоволнам, наблюдаемым в активных средах. Свойства СДД и автоволн существенно различны: так, автоволны при столкновении аннигилируют, а СДД взаимодействуют как упругие системы. Очень наглядно эффект сжатия витков двух СДД при их столкновении или при столкновении одного СДД с протяженным дефектом показан в [1,3]. В [3] описано такое поведение СДД, какое совершенно не характерно для известных диссипативных структур [5,6]. Так, наблюдались одиночные СДД с длинным свободным прямолинейным концом, по которому, как по направляющей, периодически закручиваясь и раскручиваясь, спираль качается в продолжении всей своей жизни T_g . В системе из двух связанных СДД наблюдался периодический процесс закручивания одной и раскручивания другой спиралей в течение времени T_g . Наконец, отметим, что автоволновые структуры [5,6] исчезают, если выключается энергетическая накачка системы, исчезают причины, вызывающие формирование диссипативных структур, - градиенты температур в жидкостях, градиенты концентраций элементов в растворах и так далее. В нашем случае СДД можно сохранить и после выключения переменного поля [7,8]. В теоретической работе [9] СДД рассматривается как магнитный солитон со слабой разориентацией магнитных моментов. Однако, судя по магнитооптическому

контрасту картины на рис.1б, СДД являются доменами с противоположной ориентацией намагниченности ("к нам" и "от нас") в соседних "черных" и "белых" витках спирали. Так же качественно отличаются структуры на рис.1б от магнитных вихрей, обнаруженных в [10] и интерпретируемых авторами как солитоны Россби.

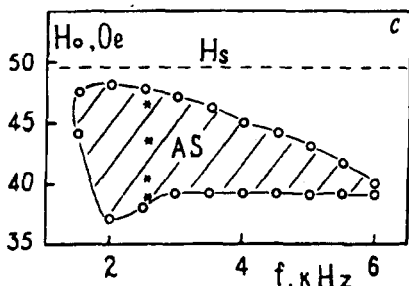
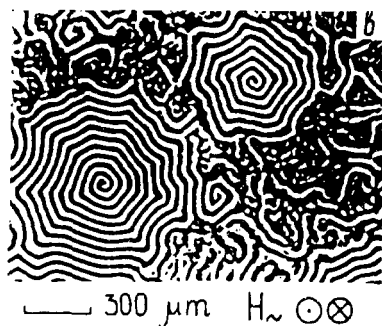
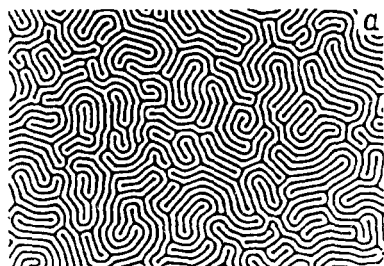


Рис.1

Учитывая все вышесказанное, мы в работе [3] назвали возбужденное состояние многодоменной магнитной среды, которое возникает в переменном магнитном поле, сопровождается процессами самоорганизации в системе движущихся доменных границ и формированием упорядоченных, устойчивых динамических доменных структур различного вида, — ангерным состоянием (АС). Наблюдаемые в этом состоянии структуры логично назвать ангерными структурами. Стоит задача разработки теории АС и всестороннего экспериментального изучения свойств ангерных структур, в частности, СДД — на примере пленок ферритов-гранатов.

В данной работе для анализа поведения индивидуальных СДД за время жизни каждого из них использован метод видеокиносъемки. Это дало возможность за время T_g получать до 150 фотографий (кадров), отображающих "жизнь" СДД, что позволяет увидеть эволюцию индивидуальных СДД. Возникает возможность проследить, как меняются со временем координаты центра ядра СДД, величина внешнего (максимального) диаметра и числа витков в СДД, определить мгновенные скорости V_i , а также изучить взаимодействие близко расположенных СДД между собой. В краткой заметке представлены некоторые результаты обработки материала микровидеофильма.

Образцом служила пленка (111) $(YLuVi)_3(FeGa)_5O_{12}$ толщиной 9.5 мкм с перпендикулярной анизотропией, статическим полем насыщения $H_s = 49.3 \text{ Э}$.

Ширина доменов в отсутствие поля $d = 33 \text{ мкм}$ (рис.1а). Переменное поле $H = H_0 \sin 2\pi ft$ ориентировалось по нормали к пленке. Динамические доменные структуры наблюдались при помощи магнитооптического эффекта Фарадея. Температура пленки поддерживалась равной 25°C . Видеосъемка производилась стробоскопическим методом со временем стробирования 10^{-4} с . Время между последовательными кадрами составляет 40 мс .

Амплитудно-частотная область АС для данной пленки показана на рис.1с. Вне этой области динамическая доменная структура хаотическая, внутри области образовавшиеся СДД также окружены хаосом из движущихся доменов (рис.1б). На рис.2 показаны последовательные положения (соответственно нумерации) центра одного из СДД за время его жизни T_g при $f = 2.56 \text{ кГц}$ и $H_0 = 45.7 \text{ Э}$. Видно, что траектория – ломаная линия. Мгновенные скорости V_i меняются по направлению и по величине от нуля до $V_i = 6.3 \text{ мм/с}$. Другими словами, движение СДД похоже на движение броуновской частицы. Суммарное перемещение S (это расстояние между 1-м и 21-м положением центра СДД) составляет 300 мкм за время $T_g = 1 \text{ с}$. Замечена общая закономерность: чем больше T_g , тем больше и величина S . Это также указывает на хаотический характер движения СДД. Главной причиной такого движения является магнитное взаимодействие данного СДД с окружающей хаотической доменной структурой и другими соседними СДД.

На основании анализа нескольких сот кадров микровидеофильма построена общая картина изменения динамической доменной структуры при переходе от нижней границы ($H_0 - f$) области АС на рис.1с к верхней. Выявлены определенные тенденции. Например, на рис.3 представлена зависимость среднего времени жизни СДД \bar{T}_g (усреднено по 15 спиральям, наблюдаемым на участке образца площадью 10 мм^2) от амплитуды поля (кривая 1). Абсциссам точек на кривой 1 рис.3 соответствуют точки в области АС на рис.1с при $f = 2.56 \text{ кГц}$. Видно, что \bar{T}_g при повышении H_0 растет, увеличиваясь в несколько раз. Ранее в нашей работе [3] также при $f = \text{const}$ наблюдалась немонотонная зависимость $\bar{T}_g(H_0)$ – сначала значительный рост \bar{T}_g с увеличением амплитуды поля H_0 , а затем быстрый спад у верхней границы области АС. Для исследуемого в данной работе образца, видимо, этот спад происходит настолько резко, что мы не смогли получить экспериментальных точек. (Вертикальные пунктирные линии на рис.3 обозначают амплитудный интервал АС). Можно утверждать лишь, что при $H_0 = 45.7 \text{ Э}$ возникают редкие, крупные СДД (с размером внешнего диаметра до 2.5 мм) со сравнительно большим временем жизни (T_g достигает $5-6 \text{ с}$), а при $H_0 = 46 \text{ Э}$ СДД не наблюдаются, то есть либо их T_g намного меньше временного расстояния между кадрами (0.04 с), либо в этом поле СДД не образуются вовсе.

На рис.3 показана усредненная по 15-ти СДД зависимость времени ожидания \bar{T}_w от H_0 при $f = 2.56 \text{ кГц}$ (кривая 2). Время ожидания \bar{T}_w – это время между исчезновением последнего СДД и появлением нового первого СДД на контролируемом участке образца. Видно, что в интервале $H_0 = 38 - 43 \text{ Э}$ время \bar{T}_w очень мало, а при дальнейшем увеличении H_0 оно резко растет. Этот результат заслуживает особого внимания, так как указывает на новый механизм разрушения АС. Действительно, в [3] было найдено, что при приближении по амплитуде H_0 к верхней границе области АС СДД становятся все мельче, "живут" все меньше, содержат все меньшее число витков и исчезают совсем. В данном образце, наоборот, мелкие СДД с малым числом витков, малыми T_g

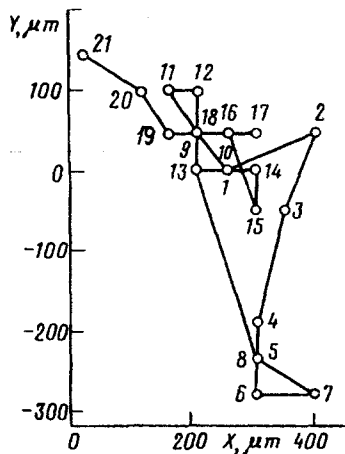


Рис.2

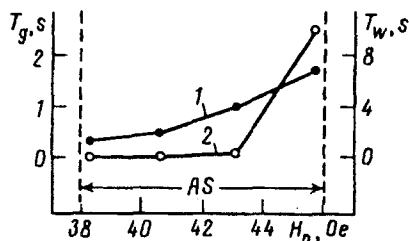


Рис.3

образуются у нижней границы области АС (рис.1с, $H_0 = 38.3\text{Э}$). Количество СДД здесь так велико, что в поле зрения всегда находится хотя бы один СДД, то есть $T_w = 0$. При $H_0 = 43.1\text{Э}$ время T_w , в течение которого наблюдаемый участок образца свободен от СДД, составляет менее 0.04с. Но далее с увеличением H_0 и приближением к верхней границе области АС ($H_0 = 45.7\text{Э}$, рис.1с) усредненная величина T_w очень резко растет, достигая значения 10с. В некоторых случаях измеренное время ожидания T_w составляет более 15с. Можно, по-видимому, полагать, что при приближении к верхней границе области АС время T_w стремится к бесконечности. Причем, как указывалось выше, вблизи $H_0 = 45\text{Э}$ возникают крупные, долгоживущие СДД. Почему такое различие в механизмах разрушения АС в разных пленках ферритов-гранатов, мы пока не знаем. По-видимому, хаотические доменные структуры, окружающие СДД, в том и другом случае существенно различаются по своим динамическим и конфигурационным параметрам. Это предстоит выяснить в дальнейших исследованиях.

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. Г.Николис, И.Пригожин *Самоорганизация в неравновесных системах*, М.: Мир, 1979.
5. В.А.Васильев, Ю.М.Романовский, В.Г.Яхно, *Автоволновые процессы*, М.: Наука, 1987.
6. А.Ю.Лоскутов, А.С.Михайлов, *Введение в синергетику*, М.: Наука, 1990.
7. И.Е.Дикштейн, Ф.В.Лисовский, Е.Г.Мансветова, Е.С.Чижак, ЖЭТФ **100**, 1606 (1991).
8. Г.С.Кандаурова, Ю.В.Иванов, ФММ **76**, 49 (1993).
9. А.Б.Борисов, В.А.Фейгин, Б.Н.Филиппов, ФГТ **33**, 2316 (1991).
10. Н.Н.Куделькин, В.В.Рандошкин, Письма в ЖЭТФ **38**, 481 (1983).