

## ВОЗБУЖДЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И СПИРАЛЬНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА В МАГНИТНОМ КРИСТАЛЛЕ

Г.С.Кандаурова, А.Э.Свидерский

Впервые визуально в многодоменном магнитоодноосном пленочном кристалле, при подходящих условиях внешней накачки, наблюдалось особое возбужденное состояние и формирование макроскопических динамических структур в виде спиральных магнитных доменов.

Поведение лабиринтной доменной структуры (ДС) в магнитоодноосных кристаллах в переменных полях в диапазоне частот  $10^2 - 10^3$  Гц практически не исследовано. По крайней мере нет экспериментальных данных, которые указывали бы на возможность реализации при низкочастотной накачке возбужденного состояния с устойчивой динамической ДС, качественно отличной от статической ДС.

В данной работе исследовалась эпитаксиально выращенная монокристаллическая пленка феррита-граната  $(Y, Sm)_3(FeGa)_5O_{12}$ . Образец имел форму диска диаметром 5 мм. Ось легкого намагничивания перпендикулярна плоскости образца. Доменная структура (ДС) выявлялась с помощью магнитооптического эффекта Фарадея. Магнитное поле ориентировалось по нормали к образцу.

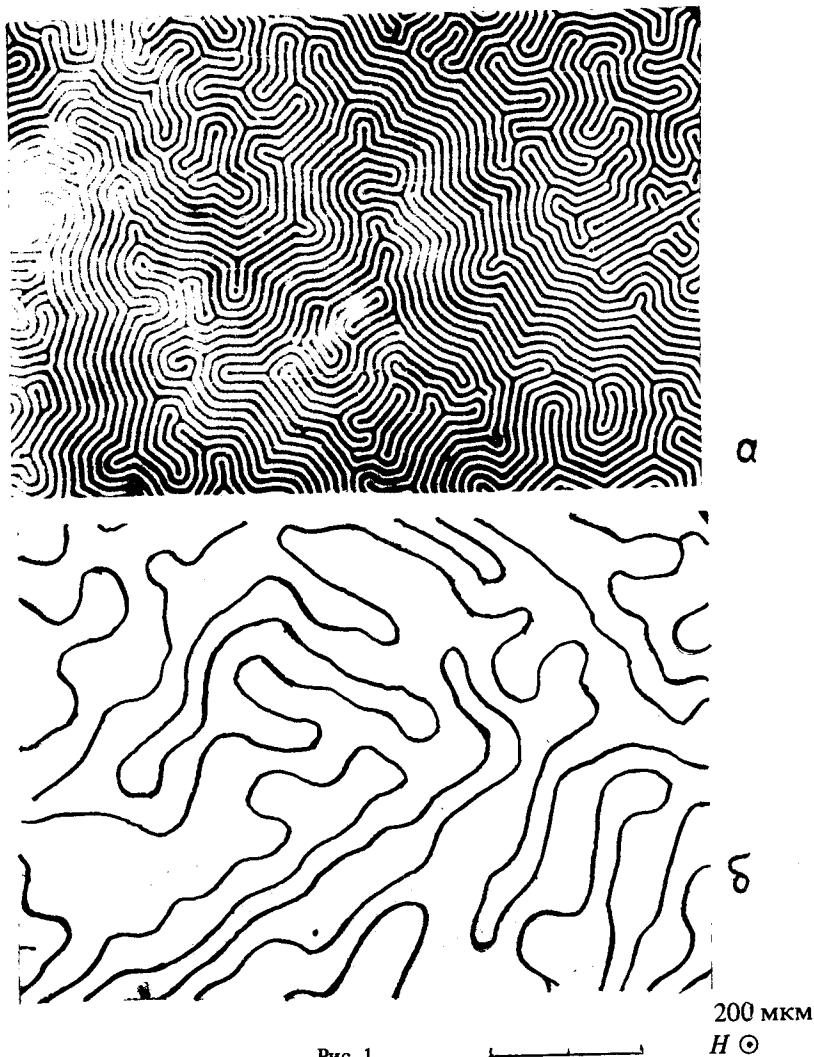
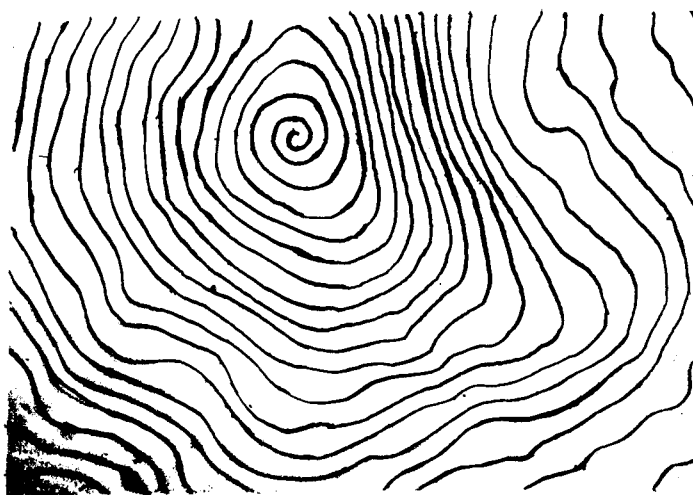
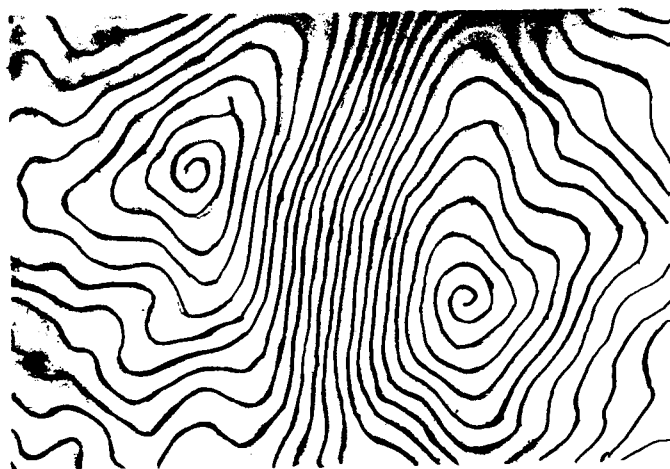


Рис. 1

В исходном состоянии в пленке наблюдается обычная лабиринтная ДС (рис. 1а). Намагниченность в темных и светлых доменах направлена "к нам" и "от нас". Период ДС ( $2d$ ) равен 10,8 мкм. При намагничивании в постоянном поле  $H$  ДС меняется так же обычным путем. На рис. 1б показана статическая ДС в поле  $H = 81,5$  Э. Ширина доменов  $d$  здесь составляет 3,5 мкм. В поле  $H_s = 91,5$  Э достигается намагниченность насыщения. Если к образцу прикладывать знакопеременное магнитное поле  $H_{\sim}$  прямоугольной формы, частотой 300 Гц постепенно увеличивать его амплитуду, то можно видеть как начинается сначала слабое дрожание доменных границ, затем все более интенсивное и беспорядочное их перемещение. Далее картина ДС размывается настолько, что виден лишь серый фон. Однако при дальнейшем увеличении поля  $H_{\sim}$  до 80 – 87 Э в системе хаотически движущихся доменных границ происходит процесс самоорганизации и в результате возникают четкие, контрастные домены в виде спиралей (рис. 2). В поле  $H_{\sim} > 87$  Э картина доменов снова исчезает. Из сравнения рис. 1б и рис. 2 видно, что статическая и динамическая ДС отличаются по конфигурации доменов качественно.



а



б

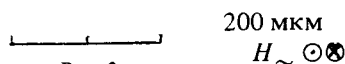


Рис. 2

Как показал опыт в образце в динамических условиях могут одновременно существовать до 5 – 6 спиралей. Диаметр ядра спирали составляет 20 – 30 мкм. Шаг спирали в окрестности ядра того же порядка. Размер области, занятой спиралью может значительно изменяться. Так на рис. 2а в поле зрения микроскопа одна спираль, диаметром  $\sim 1$  мм, на рис. 2б – две спирали меньшего размера. Видно, что в месте столкновения спиралей шаг уменьшается до 10 – 15 мкм. Ширина отдельного "темного" домена в поле  $H_{\sim} = 81,5$  Э (рис. 2) в среднем такая же как и в статическом поле  $H$  такой же величины (рис. 1б), т. е.  $d_{\sim} = d = 3,5$  мкм. Возникают спирали, закручивающиеся по и против часовой стрелки. На рис. 2б видны две спирали с разным топологическим зарядом. При сближении спиралей с одинаковым или разным зарядом они испытывают упругие искажения, так же как при столкновении спирали с протяженными дефектами.

Все вышеописанные особенности касались геометрии спиральных доменных структур. Но главное своеобразие их заключается в том, что это – динамические волнообразные структуры. Спирали возникают, перемещаются (плавают), сталкиваются между собой или с дефектами, исчезают, рождаются вновь. Так картины ДС на рис. 2а и 2б наблюдались на одном и том же месте образца, но с интервалом в несколько минут. Ядро спирали время от времени "пульсирует", вызывая раскручивание спирали и волнообразное движение ее витков. Время жизни наиболее крупных спиралей достигает  $\sim 10$  с, т. е. такие динамические доменные структуры являются довольно устойчивыми образованиями. Время между двумя последовательными появлениями спиралей (время ожидания системы) на площади  $\sim 1$  мм<sup>2</sup> в среднем составляет несколько секунд.

Фотографии на рис. 2 получены при времени экспозиции  $\Delta t = 1,2$  мс. Это несколько меньше полупериода переменного поля. Поэтому, если интервал засветки попадает на положительный или отрицательный полупериод  $H_{\sim}(t)$ , то на фотографии виден "черный", как на рис. 2 или "белый" спиральный домен с намагниченностью "к нам" или "от нас" соответственно. В том случае, когда интервал  $\Delta t$  захватывает часть положительного и часть отрицательного полупериода поля, то видны одновременно обе спирали с общим ядром. Если внешние кольца спирали не закреплены на дефектах, то спираль может плавно перемещаться по образцу со скоростью в несколько десятков микрон в секунду. Наконец, отметим, что при непрерывном действии переменного поля описанный процесс формирования динамической ДС продолжится сколь угодно долго.

Таким образом вся совокупность экспериментальных данных показывает, что в довольно узком интервале амплитуд переменного поля, которое является полем накачки, в образце реализуется особого типа возбужденное состояние. Ранее о таком состоянии не было известно. По крайней мере визуально оно похоже на автоволновое состояние. Формирование динамических (диссипативных) спиральных структур есть проявление самоорганизации много-доменного магнитного кристалла, находящегося в сильно неравновесном термодинамическом состоянии. Детали поведения спиральных (вихревых) доменов еще предстоит подробно исследовать, но те особенности, которые видны уже сейчас делают похожими их на образования типа солитонов.

Поступила в редакцию  
28 января 1988 г.  
После переработки  
15 марта 1988 г.