

СПИРАЛЬНЫЕ ДОМЕНЫ В МАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

Ф. В. Лисовский, Е. Г. Мансветова

Недавно в [1] сообщалось о наблюдении в одноосных магнитных пленках спиральных доменов (СД), возникающих при воздействии биполярного импульсного магнитного поля в форме меандра с частотой повторения 10^2 – 10^3 Гц. Авторы работы [1] связывали существование СД с реализацией в магнетике, находящемся в сильно неравновесных термодинамических условиях, особого возбужденного состояния, внешне сходного с автоволновым. Нами были выполнены эксперименты с использованием монополярного импульсного магнитного поля, результаты которых позволяют дать иную интерпретацию механизма формирования СД.

Исследовались пленки ферритов-гранатов различного состава на подложках из $Gd_3Ga_5O_{12}$ с (111)-, (110)- и (100)-ориентацией. Монополярные импульсы магнитного поля с длительностью τ и периодом повторения T , варьируемыми в пределах 0.1 – 10^6 мкс, создавались плоской 10-витковой катушкой с внутренним диаметром ≈ 1 мм.

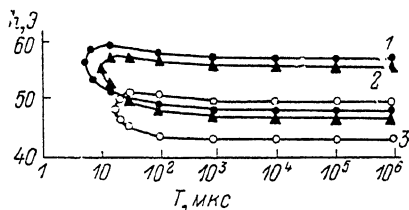


Рис. 1. Границы области формирования СД на плоскости h – T для $\tau=2$ (1), 5 (2) и 8 мкс (3).

Основные результаты выполненных исследований сводятся к следующему.

1. Формирование СД происходило только в пленках со слабой анизотропией в базисной плоскости (т. е. с (111)- и (100)-ориентацией) и небольшим отклонением оси легкого намагничивания (ОЛН) от нормали к поверхности, в которых отсутствует предпочтительное направление ориентации доменных границ. Возникновение СД подавляется также небольшим ($\leq 4\pi M$) статическим магнитным полем, приложенным параллельно развитой плоскости пленки.

2. Эффект существовал в узком (≈ 10 мкс) интервале изменения длительности импульсов $\tau_{кр}^{(1)} < \tau < \tau_{кр}^{(2)}$ при периодах повторения $T > T_{кр}$ (τ). При плавном увеличении амплитуды импульсов h в исходной лабиринтной доменной структуре при $h > h_{кр}^{(1)}$ начиналось образование СД, продолжавшееся до некоторого критического значения амплитуды $h_{кр}^{(2)}$, выше которого наблюдалось лишь хаотическое движение доменов. Если в исходном состоянии в пленке существовала гексагональная (или аморфная) решетка ЦМД, то СД при увеличении амплитуды h вообще не возникали. При уменьшении h (из области $h > h_{кр}^{(2)}$) зарождение СД начиналось при амплитуде, практически совпадающей с $h_{кр}^{(1)}$ (с гистерезисом ≈ 1 Э); при $h \leq h_{кр}^{(1)}$ процесс зарождения новых СД прекращался, но образовавшиеся ранее спирали «замораживались» и сохранялись до $h=0$.

На рис. 1 представлены типичные зависимости $h_{кр}^{(1)}$ от периода повторения T при различных длительностях импульса τ для одной из исследованных пленок состава $(YGdYbBi)_3(FeAl)_5O_{12}$ с (111)-ориентацией ($\tau_{кр}^{(1)} \approx 1$, $\tau_{кр}^{(2)} \approx 10$ мкс, поле коллапса $H_{гол} \approx 60$ Э). При $\tau \rightarrow \tau_{кр}^{(1)}$ разница между полями $h_{кр}^{(1)}$ и $h_{кр}^{(2)}$ быстро убывает, стремясь к нулю. Наложение слабого статического поля подмагничивания H_0 вдоль нормали к поверхности, приводящего к асимметрии разнополярных доменов в спиралях, сопровождалось изменением значений $h_{кр}^{(1)}$ и $h_{кр}^{(2)}$ на $+H_0$.

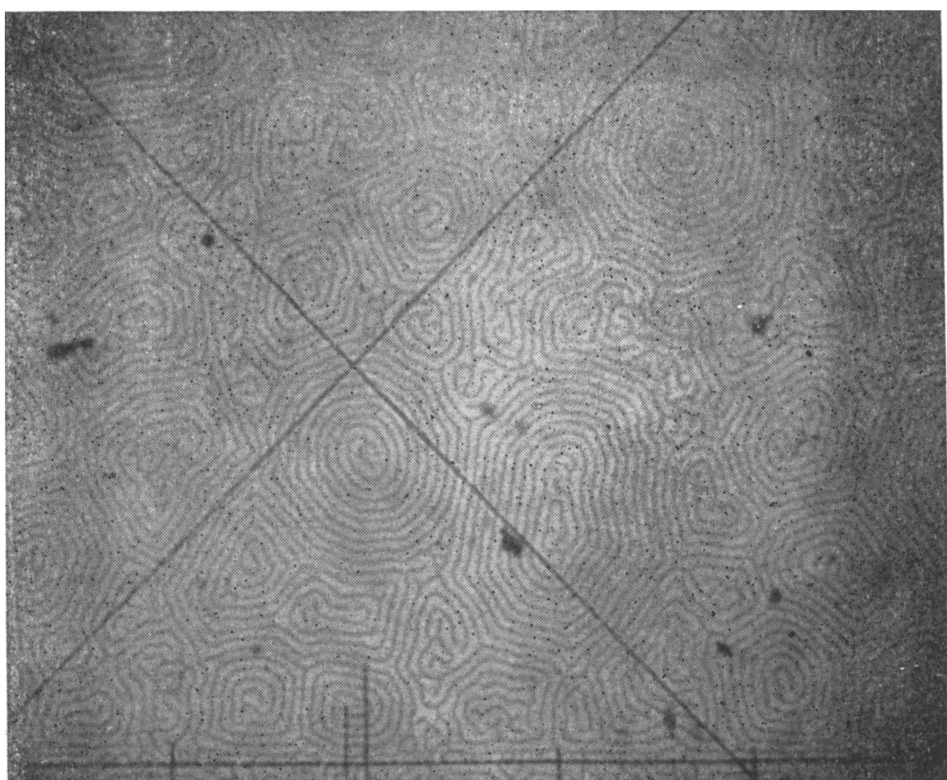
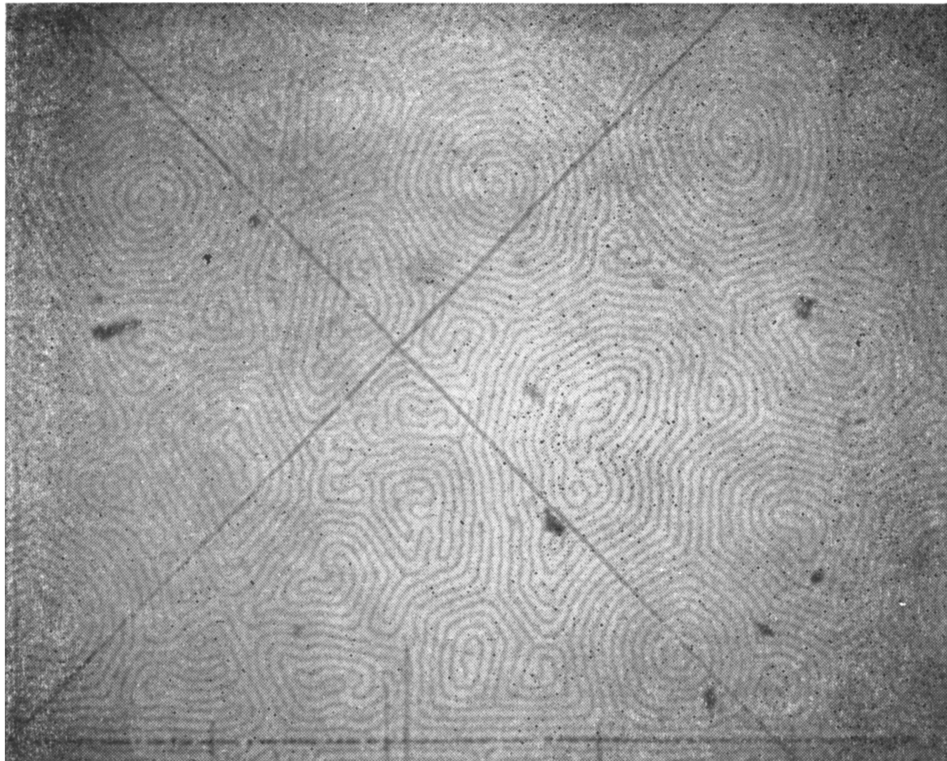


Рис. 2. Влияние направления магнитного поля h на киральность СД.
Цена деления шкалы окулярного микрометра ≈ 100 мкм.

или $-H_0$ (в зависимости от взаимного направления полей \mathbf{h} и \mathbf{H}_0). При $|H_0| \geq 30$ Э образование СД прекращалось.

3. В области $h_{кр}^{(1)} < h < h_{кр}^{(2)}$ спиральные домены являются динамическими образованиями, характеризующимися определенным временем жизни $\tau_i = \tau_i(T)$. Значение τ_i меняется от долей секунды (при малых T) до десятков минут (при $T=1$ с).

4. Киральность СД определяется направлением \mathbf{h} : при одной полярности тока в модулирующей катушке подавляющее большинство формирующихся спиралей является «правыми», при другой — «левыми». Это подтверждается рис. 2 (для той же пленки, к которой относится и рис. 1), на котором приведены фотографии «замороженных» СД, сформированных в поле $\pm h$, в статическом поле подмагничивания ≈ 40 Э.

Из вышеизложенного следует, что СД формируются путем закручивания полосовых доменов со свободными концами (головками) под действием последовательности коротких (1—10 мкс) монополярных импульсов магнитного поля со сколь угодно большим периодом повторения. Закручивание спиралей происходит вследствие отклонения движущихся головок полосовых доменов гиротропными силами [2]. Этот процесс облегчается тем, что в исходной лабиринтной доменной структуре всегда существуют зародыши спиральных доменов любой киральности.

При наличии соответствующих зародышей могут образовываться двухзаходные СД (биспирали); по мере уменьшения длительности импульсов τ эффект преобладания СД с однотипной киральностью становится менее ярко выраженным.

Мы наблюдали СД с разной киральностью также и в режиме, близком к описанному в [1] (вместо биполярных прямоугольных импульсов использовалось синусоидальное воздействие с частотой 10^2 — 10^3 Гц). При переходе в монополярный режим («выпрямленная» синусоида) образование СД прекращалось.

Заметим, что на возможность образования СД при периодическом движении головок полосовых доменов указывалось в монографии [2] со ссылкой на работу [3] (в тексте последней, однако, какие-либо сведения об СД отсутствуют). О закручивании системы радиальных полосовых доменов в пленках MnVi при перемагничивании методом «иглоукалывания» сообщалось в работе [4].

Список литературы

- [1] Кандаурова Г. С., Сви́дерский А. Э. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. № 8. С. 410—412.
- [2] Малоземов А., Слопзуски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982. 382 с.
- [3] Papworth K. P. // IEEE Trans. Magn. 1974. V. MAG-10. N 3. P. 638—640.
- [4] Kusuda T., Honda S., Ideshita T. // AIP Conf. Proc. 1974. V. 18. P. 84—89.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
18 октября 1988 г.