

## НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА МОНОПОЛЯРНОЙ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ

*В.С.Горнаков, В.И.Никитенко, И.А.Прудников*

*Институт физики твердого тела АН СССР  
142432, Черноголовка, Московская обл.*

Поступила в редакцию 18 ноября 1991 г.

Экспериментально изучены вынужденные колебания 180-градусной блоховской стенки в монокристалле иттриевого феррограната. Обнаружено, что однородное синусоидально меняющееся во времени магнитное поле возбуждает не только осцилляции доменной границы на частоте этого поля, но и локализованные на ней двумерные магныны в широком диапазоне частот. Установлено, что в больших полях характер движения намагниченности в доменной стенке становится хаотическим и в ней формируются нелинейные волны солитонного типа.

При анализе динамических свойств доменных границ (ДГ) в магнитоупорядоченных кристаллах уже начинают использоваться микроскопические методы описания диссипации энергии движущихся блоховских стенок, рассматривающие процессы ее нелинейного взаимодействия с различными ветвями элементарных возбуждений: объемными и поверхностными магнынами, фононами и т.д.<sup>1,2</sup> Однако прямое экспериментальное изучение таких явлений с участием двумерных магнынов и нелинейных волн, локализованных в ДГ, осуществить еще не удалось. В настоящей работе представлены первые результаты их исследования в монокристалле иттриевого феррограната, содержащем всего лишь одну 180-градусную ДГ, с использованием индукционного и магнитооптического методов.

Высокую чувствительность индукционной методики во всем изученном диапазоне частот оказалось возможным обеспечить, применяя миниатюрные намотанные "восьмеркой" одинаковые регистрационную и компенсационную катушки, позволяющие автоматически компенсировать вклад в сигнал магнитных шумов и внешнего поля. Наличие только одной ДГ исключало взаимное влияние соседних границ и вклад в индукционный сигнал составляющих от смещения нескольких ДГ. Образец представлял собой вырезанную в плоскости (110) и механически полированную прямоугольную пластинку с размерами  $10 \times 0,5 \times 0,04$  мм. Намагниченность  $M$  в доменах, разделенных блоховской стенкой, совпадала с направлением [111] и лежала в плоскости образца. ДГ была параллельна его длинному ребру. Образец помещался в однородные магнитные поля: переменное  $h(t) = h_0 \sin(2\pi\nu_B t)$ , направленное вдоль  $M$  в доменах, и постоянное  $H$ , нормальное плоскости образца и параллельное  $M$  в центре стенки, поляризирующее ее. С помощью анализатора спектра СК4-59 регистрировалась амплитуда индукционного сигнала  $E_0$ , пропорциональная амплитуде  $v_0$  колебаний скорости осциллирующей ДГ. Величина  $v_0$  нормировалась по данным визуальных измерений амплитуды колебаний ДГ  $q_0 (v_0 = 2\pi\nu_B q_0)$  с помощью поляризационного микроскопа.

Измерение зависимости  $v_0(h_0)$  показало, что она имеет сложный нелинейный вид и обладает рядом особенностей (рис. 1). На ней можно уверенно выделить три области. В первой, где  $h_0$  меньше некоторого критического поля  $h_{01}$ , индукционный сигнал медленно и линейно нарастал с увеличением поля. Более подробно этот участок кривой представлен на выделенной рамкой вставке. Из рис. 2, где представлены спектры колебаний ДГ при различных значениях

амплитуды переменного поля  $h_0$ , видно, что в сигнале от движущейся ДГ при  $h_0 < h_{01}$  присутствует лишь один пик. Это свидетельствует о том, что ДГ совершает лишь гармонические вынужденные колебания на частоте внешнего поля  $\nu_B$ .

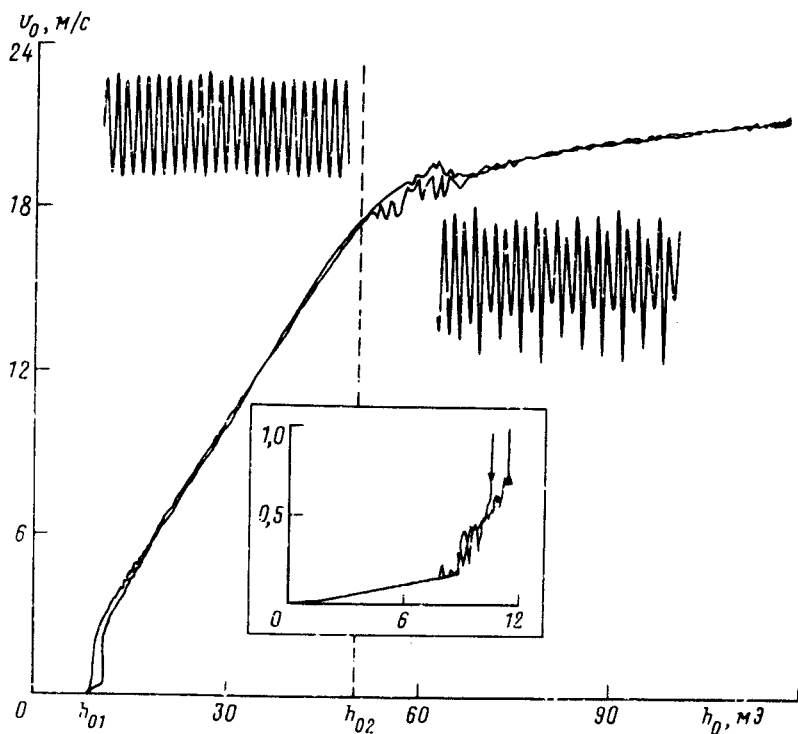


Рис. 1. Зависимость амплитуды колебаний ДГ от амплитуды внешнего поля,  $\nu_B = 0,94$  МГц,  $N = 28$  Э. (На вставках приведены временные зависимости смещения ДГ. Слева - при  $h_0 = 34$  мЭ, справа - при  $h_0 = 152$  мЭ. На выделенной рамкой вставке более подробно представлен начальный участок кривой)

При  $h_0 \approx h_{01}$  происходит резкий скачок скорости. Причем, при последующем уменьшении поля четко наблюдается гистерезис на зависимости  $v_0(h_0)$ . При  $h_0 > h_{01}$ , после резкого возрастания амплитуды колебаний ДГ, зависимость  $v_0(h_0)$  имеет второй линейный участок кривой с наклоном, значительно большим, нежели при  $h_0 < h_{01}$ , что отвечает более высокой подвижности стенки. Как показал анализ фурье-разложения индукционного сигнала в этих полях, в нем, помимо основного пика, наблюдались новые пики на частотах, кратных частоте внешнего поля, а также небольшие области сплошного спектра. При дальнейшем увеличении  $h_0$  последние расширялись и сливались (заштрихованные участки на рис 2). Максимумы такого распределения амплитуд колебаний ДГ оказались несоизмеримы с частотой возбуждающего поля и его гармониками вплоть до следующего критического поля  $h_{02}$ .

Выше этого поля зависимость  $v_0(h_0)$  вначале становилась немонотонной. Затем она опять начинала монотонно расти, но уже не столь резко, как в предыдущей области. Запись временной зависимости смещения  $q(t)$  ДГ в этом поле (правая вставка на рис.1) показала, что ее движение носит явно выраженный хаотический характер. Хаотическому движению ДГ соответствовал качественно иной вид фурье-разложения  $E_0(\nu)$ . В непрерывном спек-

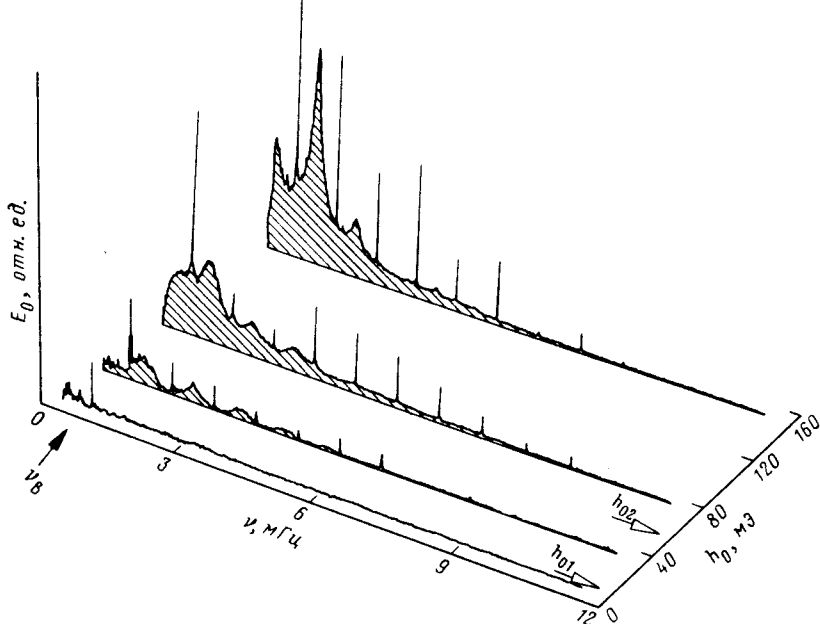


Рис. 2. Эволюция фурье-разложения колебаний ДГ в зависимости от амплитуды переменного поля:  $\nu_B = 0,94$  МГц,  $H = 28Э$  ( $E_0$  - амплитуда индукционного сигнала)

тре появились низкочастотные составляющие (ниже  $\nu_B$ ), которые росли с полем. При этом в спектральном составе все более заметными, а затем и преобладающими, становились колебания на половинных по отношению к гармоникам поля частотах  $\nu_n = (n + 1/2)\nu_B$ , где  $n = 0, 1, 2, \dots$  - номер гармоники (рис.2).

Нелинейный характер поведения доменной границы обусловлен механизмами различной природы. По слабой зависимости  $\nu_0$  от  $h_0$  при  $h_0 < h_{01}$  и гистерезисному и нестационарному переходу (рис.1) к колебаниям ДГ на значительные расстояния можно заключить, что она в слабых полях осциллирует в потенциальном рельефе случайно распределенных объемных и поверхностных дефектов структуры кристалла. В поле  $h_{01}$  происходит отрыв стенки от закрепляющих центров и ее движение определяется в основном магнитоэлектростатической потенциальной ямой, хотя и модулированной полем дефектов, что, по-видимому, приводит к возбуждению кратных гармоник в спектре колебаний ДГ.

При  $h_0 > h_{01}$  колебания блоховской стенки сопровождаются возбуждением в ней двумерных магнонов. Об этом свидетельствует сопоставление фурье-разложения сигнала от осциллирующей доменной границы с ее амплитудно-частотной характеристикой, рис.3. Как видно из сравнения, сплошной спектр фурье-разложения (рис.3, верхняя кривая) практически повторяет амплитуды осцилляций стенки от частоты (рис. 3, нижняя кривая). Как было показано <sup>3</sup>, такая амплитудно-частотная характеристика обусловлена изгибными колебаниями границы, а ее максимумы соответствуют стоячим волнам. Изменение какого-либо внешнего параметра, например поля  $H$ , приводившего к изменению характерных частот амплитудно-частотной характеристики, вызвало аналогичное изменение и непрерывного спектра в фурье-разложении. Это является прямым доказательством возбуждения в стенке при ее вынужденных колебаниях изгибных волн с волновым вектором  $k$ , перпендикулярным  $M$  в доменах.

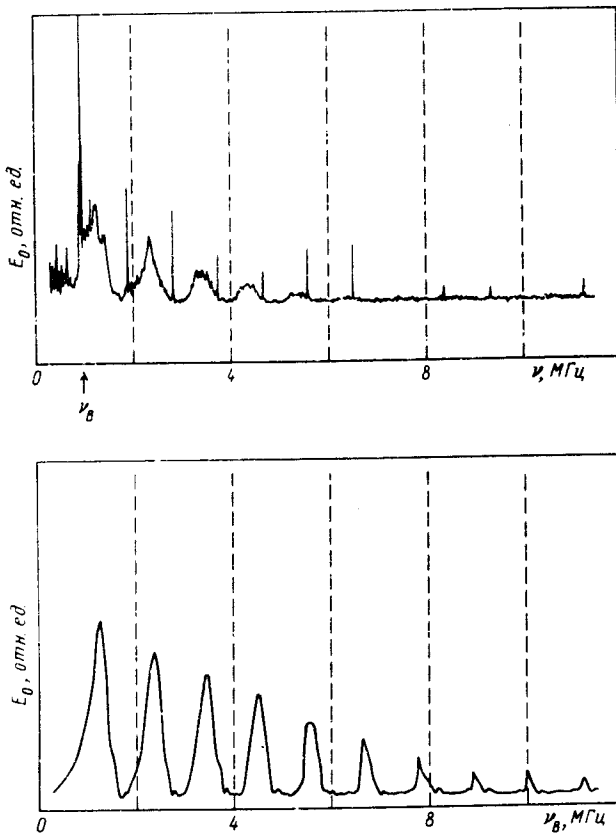


Рис. 3. Фурье-разложение сигнала от вынужденных колебаний ДГ (верхняя кривая -  $h_0 = 34$  мЭ,  $\nu_B = 0,94$  МГц) и ее амплитудно-частотная характеристика (нижняя кривая -  $h_0 = 23$  мЭ),  $H = 28$  Э

При  $h_0 > h_{02}$  нелинейность движения ДГ проявлялась в возникновении хаотических колебаний, характеризующихся непериодичностью зависимости  $q(t)$  и изменением характеристик сплошного спектра в фурье-разложении сигнала. При однократном фотометрировании хаотически движущейся ДГ регистрировались слабые по сравнению с шумом ФЭУ всплески магнитооптического сигнала, отвечающие зарождению и движению вдоль стенки нелинейных волн солитонного типа <sup>4</sup>, которые после резкого выключения поля преобразовывались в приповерхностные зародыши субдоменов с размерами от 5 до 10 мкм. Причем их плотность росла с амплитудой поля. При  $h_0 < h_{02}$  зарегистрировать зародыши субдоменов не удавалось.

Таким образом, в работе впервые удалось получить прямые экспериментальные доказательства существования различных режимов движения доменной границы, контролируемых формированием в ней элементарных или нелинейных возбуждений намагниченности. При смене режимов в процессе увеличения амплитуды внешнего поля происходит резкое (более чем на порядок) изменение подвижности стенки.

1. Абызов А.С., Иванов Б.А., ЖЭТФ, 1979, 76, 1700.
2. Барьяхтар В.Г., Иванов Б.А., Четкин М.В., УФН, 1985, 146, 417.
3. Дедух Л.М., Никитенко В.И., Сыногач В.Т., ЖЭТФ, 1988, 94, 312.
4. Горнаков В.С., Дедух Л.М., Никитенко В.И., ЖЭТФ, 1984, 86, 1505.