

## СПЕКТР ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ С ДРЕЙФУЮЩИМИ БЛОХОВСКИМИ ЛИНИЯМИ

А.Б.Шумм, Л.М.Дедух<sup>1)</sup>, Ю.П.Кабанов

Институт физики твердого тела РАН

142432 Московская обл., Черноголовка, Россия

Поступила в редакцию 5 декабря 1997 г.

Обнаружен эффект резкого увеличения амплитуды собственных изгибных колебаний  $180^\circ$  доменной стенки, содержащей блоховские линии, в монокристаллическом иттриевом феррогранате, происходящего при возбуждении дрейфа блоховских линий. Резонансные частоты этих колебаний практически совпадают с резонансными частотами изгибных колебаний монополярной стенки. Экспериментально показано, что этот эффект наиболее вероятно связан с явлением магнитного последования.

PACS: 75.70.Cn, 76.50.+d

В настоящее время хорошо известно, что динамические свойства доменных границ (ДГ) в ферромагнитных кристаллах существенно зависят от состояния структуры ДГ. Так, выражение для подвижности ДГ в ферромагнетике получено на основе рассмотрения конкретного характера распределения в ней спинов [1]. Долгое время существовавший впоследствии парадокс "низкой подвижности" ДГ в монокристаллах иттриевого феррограната (ИФГ) [2,3] удалось объяснить на основе учета в структуре ДГ блоховских линий [4]. Причем, как оказалось, блоховские линии существенно уменьшают не только подвижность ДГ, но и амплитуду их собственных изгибных колебаний [5]. Хорошо исследовано также влияние динамического преобразования структуры ДГ на скорость ее движения в одноосных гранатовых пленках [6]. Было установлено, что резкое уменьшение скорости движения ДГ в этих материалах, помещенных во внешнее магнитное поле, превышающее некоторое критическое значение, происходит в результате иницирования процессов динамического преобразования структуры ДГ, связанного с рождением, движением и исчезновением блоховских линий. В настоящей работе представлены результаты исследований, в которых обнаружен обратный этому эффект динамического преобразования структуры ДГ: экспериментально показывается, что при возбуждении в ДГ ИФГ процессов дрейфа блоховских линий [7] их влияние на амплитуду и частоту изгибных колебаний ДГ резко ослабевает.

Исследования выполнены на монокристаллической пластинке ИФГ, вырезанной в форме вытянутой вдоль оси [111] прямоугольной призмы с размерами  $3.2 \times 0.7 \times 0.03$  мм. Образец содержал единственную  $180^\circ$ -градусную ДГ, разделяющую домены, намагниченные в плоскости пластины (112). ДГ в исходном состоянии содержала вертикальные блоховские линии. Монополярное состояние ДГ, в случае необходимости, создавалось и поддерживалось в процессе измерения спектров с помощью постоянного магнитного поля  $H_z$ , перпендикулярного к плоскости пластины. Магнитные поля создавались катушками Гельмгольца радиусом 6 мм. При записи спектральных кривых амплитуда тока в катушке, создающей поле возбуждения, не была

<sup>1)</sup> e-mail: dedukh@issp.ac.ru

стабилизирована и поэтому незначительно уменьшалась с частотой. Движение ДГ регистрировалось на анализаторе спектра СК4-59 с помощью приемной скомпенсированной катушки, намотанной непосредственно на образец.

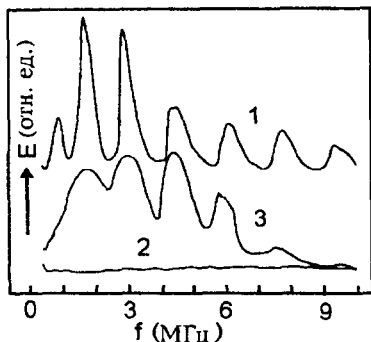


Рис.1. Зависимости амплитуды индукционного сигнала ( $E$ ) от частоты ( $f$ ) возбуждающего поля  $H_x$ , записанные для монополярной (1) и размагниченной (2,3) ДГ. Амплитуда  $H_x = 0.48$  А/м (1,2) и  $2.38$  (3),  $H_z = 2.07$  кА/м (1)

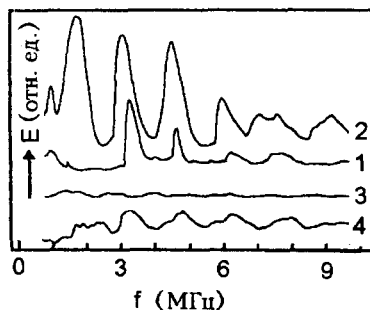


Рис.2. Зависимости  $E(f)$ , записанные при амплитуде поля  $H_x = 1.2$  А/м. Кривые 2,3 и 4 записаны в присутствии дополнительного поля  $H_y = 0.48$  кА/м (2),  $-0.64$  (3) и  $-1.12$  (4)

Кривая 1 на рис.1 характеризует спектр возбуждений ДГ в монополярном состоянии, записанный в относительно слабом возбуждающем поле  $H_x$ , действующем вдоль намагниченности в доменах. На ней выявились резонансные пики, соответствующие возникновению в ДГ изгибных стоячих волн с волновым вектором  $k$ , перпендикулярным намагниченности в доменах [4]. На кривой 2 рис.1, записанной в таком же поле возбуждения для ДГ, содержащей блоховские линии, резонансные изгибные колебания ДГ не обнаруживаются. В этих условиях, как показали прямые наблюдения ДГ, блоховские линии колебались вблизи положений равновесия. Однако при повышении амплитуды возбуждающего поля до значения, вызывающего дрейф блоховских линий [7], на спектре приемного сигнала появлялись резонансные пики, связанные с изгибными колебаниями ДГ (кривая 3 на рис.1). Видно, что резонансные частоты изгибных колебаний ДГ в обоих состояниях практически совпадают. Ширина же пиков на спектре размагниченной ДГ значительно больше, чем в случае монополярной ДГ, что может определяться дополнительными потерями энергии при более сильном возбуждении спиновой системы.

На рис.2 (кривая 1) показан пример записи спектра колебаний размагниченной ДГ, записанный в возбуждающем поле с амплитудой, близкой к критическому значению. На нем отчетливо выявились только два резонансных пика, вызванных изгибными колебаниями ДГ. Прямое наблюдение показало, что дрейф блоховских линий в этих условиях носит нерегулярный характер и идет стабильно только на частотах, на которых выявляются высокоамплитудные резонансные пики. При повторных измерениях спектры имели разный вид: резонансные пики могли возникать и исчезать, но возникали они именно на тех резонансных частотах, на которых реализовался дрейф блоховских линий. При приложении дополнительного постоянного поля  $H_y$ , перпендикулярного к плоскости ДГ, которое влияло на дрейф линий [8], поведение

блховских линий и вид спектра изменялись в зависимости от величины и полярности  $H_y$ . При одной полярности этого поля его увеличение приводило к стабилизации дрейфа блховских линий и одновременно к усилению изгибных колебаний ДГ (кривая 2, рис.2). При этом дрейф линий происходил на всех резонансных частотах. При изменении полярности поля  $H_y$  и его последующем увеличении вначале дрейф блховских линий полностью прекращался и одновременно с этим исчезали изгибные колебания стенки (кривая 3, рис.2), а затем вновь появлялись как дрейф блховских линий, так и изгибные колебания ДГ (кривая 4, рис.2). Эти данные показывают, что при иницировании дрейфа блховских линий вдоль ДГ усиливаются ее изгибные резонансные колебания. Кроме того, из этих измерений следует, что в исследованном образце присутствует некоторое эффективное поле  $H_{y0}$  порядка 0.65 кА/м, которое обнаруживалось в монокристаллах ИФГ и в более ранних экспериментах [8].

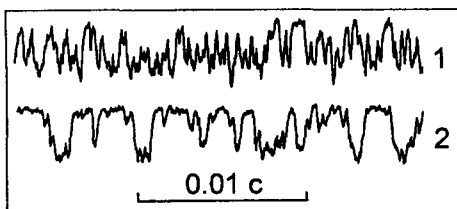


Рис.3. Магнито-оптические однократные осциллограммы, отражающие последовательное прохождение вдоль ДГ через участок фотометрирования блховских линий при  $H_x = 5.0$  А/м,  $f = 1.8$  МГц (1) и 1.1 (2)

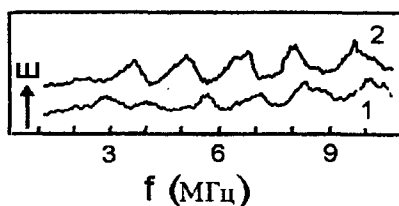


Рис.4. Зависимости  $E(f)$ , записанные с большей чувствительностью СК4-59, чем в предыдущих случаях, для размагниченной ДГ в поле  $H_x$ . Амплитуда  $H_x = 0.04$  А/м. Кривая 2 записана в присутствии дополнительного поля  $H_z$  с амплитудой 120 А/м и частотой 100 кГц

На рис.3. показаны однократные осциллограммы магнито-оптического сигнала, записанные с помощью фотоумножителя и запоминающего осциллографа в локальном участке ДГ на резонансной (1) и промежуточной (2) частотах поля  $H_x$ . Широкие и узкие пики на этих осциллограммах отражают прохождение через участок фотометрирования субдоменов, разделенных блховскими линиями [7,8]. Из сравнения этих осциллограмм видно, что в случае резонансного колебания ДГ дрейф блховских линий идет более интенсивно, чем на промежуточных частотах.

Таким образом, представленные результаты исследований показывают, что возбуждение дрейфа блховских линий приводит к эффективному усилению резонансных колебаний ДГ по сравнению с ее колебаниями в условиях, когда блховские линии колеблются вблизи положений равновесия. Такое поведение ДГ можно объяснить с учетом явления магнитного последствия, определяемого взаимодействием блховских линий с точечными дефектами кристаллической решетки, состояние которых зависит от направления намагниченности [9]. Согласно теории этого явления, как ДГ [9], так и блховская линия [10], взаимодействуя с точечными дефектами, создают себе потенциальный рельеф, высота которого тем меньше, чем больше амплитуда их колебания и скорость движения. При дрейфе блховские линии не успевают создавать потенциальный рельеф для своего движения, поэтому их влияние на движение ДГ должно значительно ослабевать. Для того чтобы проверить это предположение, был проделан эксперимент, в котором во время записи спектра ко-

лебания стенки к кристаллу прикладывалось дополнительное низкочастотное поле  $H_z$ , которое вызывало вынужденные колебания линий вдоль стенки. Пример таких измерений показан на рис.4. Кривая 1 на рис.4 представляет спектр колебаний ДГ с блоховскими линиями, записанный при большей чувствительности СК4-59, чем в случае записи представленных выше кривых. На ней, в отличие от кривой 2 на рис.1, выявились пики сложной формы, связанные с изгибными колебаниями размагниченной ДГ [5]. Кривая 2 на рис.4 записана в присутствии дополнительного поля  $H_z$ . Видно, что при возбуждении полем  $H_z$  низкочастотных колебаний блоховских линий вдоль ДГ усиливаются ее собственные колебания, а резонансные частоты уменьшаются. Такие измерения показали, что усиление собственных колебаний ДГ происходит тем больше, чем больше амплитуда и частота поля  $H_z$  и чем меньше амплитуда возбуждающего поля  $H_x$ . Другими словами, влияние поля  $H_z$  на колебания ДГ оказывается максимальным, когда она колеблется в наиболее глубоком потенциальном рельефе, определяемом ее взаимодействием с точечными дефектами. Однако при инициировании дрейфа линий эффект усиления изгибных колебаний ДГ оказывается на порядок большим.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант 97-02-16879.

- 
1. L.D.Landau and E.M.Lifshiz, *Sov. Phys.* **8**, 153 (1935).
  2. F.Hagedorn and E.Gyorgy, *J. Appl. Phys.* **32**, 282S (1961).
  3. R.W.Teale, *J. Phys. C: Sol. Stat. Phys.* **13**, 2061 (1980).
  4. Л.М.Дедух, В.И.Никитенко, В.Т.Сыногач, *ЖЭТФ* **94**, 312 (1988).
  5. Л.М.Дедух, Ю.П.Кабанов, *J. Magn. Magn. Mater.* **147**, 355 (1995).
  6. А.Малоземов, Дж.Слонзуски, *Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами*, М.: Мир, 1982.
  7. В.С.Горнаков, Л.М.Дедух, В.И.Никитенко, *ЖЭТФ* **86**, 1505 (1984).
  8. В.С.Горнаков, Л.М.Дедух, В.И.Никитенко, *ЖЭТФ* **94**, 245 (1988).
  9. А.Хуберт, *Теория доменных стенок в упорядоченных средах*, М.: Мир, 1977.
  10. А.Ф.Хапиков, *ФТТ* **36**, 2062 (1994).