

## МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС ВЕРТИКАЛЬНЫХ БЛОХОВСКИХ ЛИНИЙ В ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНКАХ

*В.Г.Показаньев, Ю.И.Ялышев, К.И.Лукаш, Г.Р.Мурашев*

Получен сигнал резонанса вертикальных блоховских линий в тонкой феррит-гранатовой пленке, открывающий возможность изучения внутренней структуры доменной границы и ее контролируемого преобразования.

Динамические свойства доменных границ (ДГ) в тонкой феррит-гранатовой пленке с анизотропией, перпендикулярной ее плоскости, связывают с особенностями структуры ДГ, перестройкой и динамикой элементов структуры, т.е., в конечном счете, состоянием ДГ. Изменение состояния прямой ДГ (ниже будут рассматриваться только такие границы) можно осуществить разными способами, в частности, постоянным магнитным полем  $H_p$ , приложенным в плоскости пленки параллельно границе домена. В зависимости от величины этого поля как показано в работе <sup>1</sup>, ДГ может находиться в одном из состояний, являющихся промежуточными между двумя крайними, соответствующими случаям, когда стенка полностью поляризована (спины в центре ДГ ориентированы в одну сторону) и размагничена. Наиболее вероятное представление о ДГ в последнем случае – это граница, разбитая на субдомены (рис. 1, а), с областями перехода от одного направления намагниченности к другому, называемыми вертикальными блоховскими линиями (ВБЛ). Равновесное распределение ВБЛ вдоль размагниченной ДГ определяется балансом магнитостатического и обменного взаимодействий. Они же определяют и частоту  $\Omega_0$  собственных колебаний ВБЛ вдоль ДГ при отклонении последних от положения равновесия.

Магнитостатические и динамические свойства поляризованной ДГ и ДГ с ВБЛ различны. Полное представление о ДГ может быть получено из решения уравнения Ландау – Лифшица (см., например, <sup>2</sup>). Здесь мы приведем лишь те результаты, которые необходимы для объяснения приведенных ниже экспериментальных исследований. Если к пленке в направлении, перпендикулярном ее плоскости, приложено однородное переменное магнитное поле

$H_1 \cos \omega t$ , то никаких особенностей в движении поляризованных стенок не ожидается: они совершают вынужденные трансляционные колебания, которые при совпадении частоты  $\omega$  с частотой  $\omega_0'$  собственных колебаний переходят в резонансные<sup>3</sup>. Движение стенок с ВБЛ в этом случае гораздо сложнее. Наряду с трансляционными, могут возбуждаться и изгибные моды колебаний. При этом резонансная частота наименьшей моды колебаний выше, чем у поляризованной ДГ и зависит от того, находятся ли ВБЛ в состоянии покоя или перемещаются вдоль стенки. Если ВБЛ совершают резонансные колебания около положения равновесия с частотой  $\Omega_0$  под действием переменного магнитного поля  $H_2 \cos \Omega t$ , осциллирующего вдоль ДГ, то колебательное движение ДГ будет выглядеть таким, как если бы ее эффективная масса увеличилась<sup>2</sup>. Следствием этого обстоятельства является сдвиг резонансной частоты колебаний ДГ в область низких частот, что, как будет показано ниже, может служить физической основой экспериментального обнаружения резонанса ВБЛ, а также их динамического состояния.

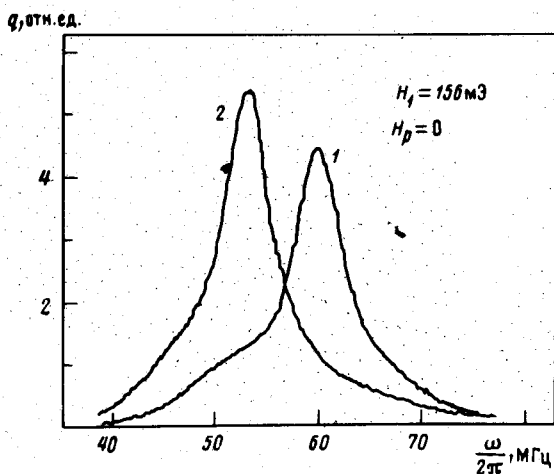


Рис. 1

Рис. 1. Сдвиг частоты резонанса размагниченной ДГ, вызванный полем  $H_2$ : кривая 1 —  $H_2 = 0$ , кривая 2 —  $H_2 = 800$  мЭ

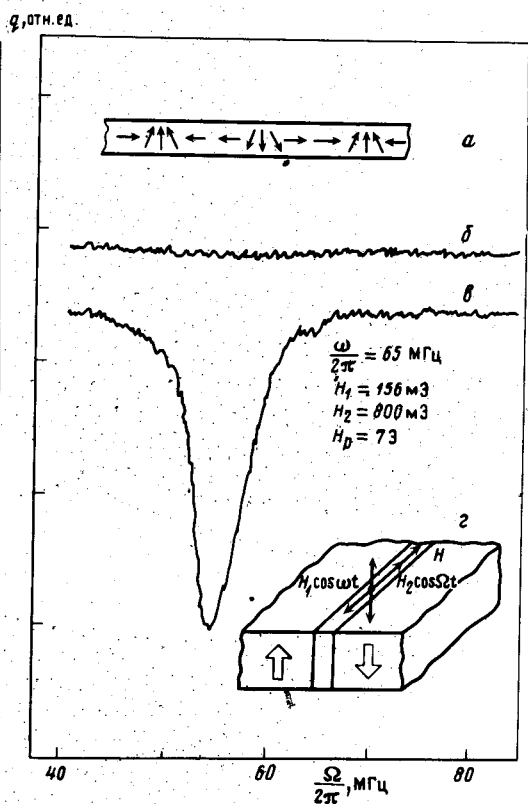


Рис. 2

Эксперименты выполнены на пленке состава  $(YSm)_3(GaFe)_5 \cdot O_{12}$  толщиной 2,1 мкм,  $g$ -фактором  $\sim 1,5$  и  $4\pi M_s = 280$  Гс,  $M_s$  — намагниченность насыщения. Поляризованное и размагниченное состояния ДГ создавались способом, использованным в<sup>1,3</sup>. Геометрия полей приведена на вставке рис. 1. Наблюдение колебаний стенок полосовых доменов осуществлялось с помощью эффекта Фарадея<sup>1</sup>.

Для обнаружения влияния движения ВБЛ на колебания ДГ ориентация поля  $H_2$  выбрана в направлении ДГ. В этом случае энергия взаимодействия спинов стенки с полем  $H_2$  имеет вид  $H_2 \cos \Omega t \cos \phi(x)$ , где  $\phi(x)$  — угол между вектором спина и осью  $x$ , ориентированной вдоль ДГ. Поле  $H_2$  действует только на спины в ВБЛ. На рис. 2 приведены записи сигналов резонансов ДГ с ВБЛ: в отсутствие поля  $H_2$  (кривая 1) и в присутствии поля  $H_2$  (кривая 2). Поле  $H_2$  вызывает сдвиг резонансной частоты  $\omega_0$  стенки с ВБЛ в область меньших частот. Как показывает опыт он практически отсутствует на всех частотах  $\Omega$  поля  $H_2$  за исключени-

ем довольно узкой области ( $\sim 5$  МГц) вблизи частоты  $\Omega_0/2\pi = 53$  МГц. На этой частоте наблюдается максимум сдвига частоты  $\omega_0$ . На рис. 1 кривая 2 представляет запись сигнала резонанса ДГ, когда  $\Omega = \Omega_0$ . Обнаруживается определенная резонансная зависимость частоты  $\omega_0$  резонансных колебаний ДГ от частоты  $\Omega$  второго поля, которое по условию эксперимента может действовать на ВБЛ и возбуждать их колебания. Этот резонанс ВБЛ и его влияние на колебания доменных границ можно обнаружить в более явном виде, несколько изменив схему эксперимента. Например, если частоту  $\omega$  поля  $H_1$  выставить немного правее резонансного значения  $\omega_0/2\pi = 60$  МГц в отсутствие поля  $H_2$  и следить за изменением амплитуды сигнала колебаний ДГ на этой частоте при развертке частоты  $\Omega$  второго поля, вызывающего вынужденные колебания ВБЛ, то при приближении  $\Omega$  к резонансному значению  $\Omega_0$ , в силу того, что кривая 1 начнет перемещаться влево, сигнал колебаний ДГ будет уменьшаться, пройдет через минимальное значение, а затем начнет расти до исходной величины. На рис. 1, в приведена запись сигнала колебаний ДГ на частоте  $\omega/2\pi = 65$  МГц. Он имеет резонансный характер и минимум соответствует частоте  $\Omega/2\pi = 53$  МГц. Если встать левее частоты  $\omega_0/2\pi = 60$  МГц, то следует ожидать при сканировании частоты  $\Omega$  увеличения сигнала колебаний, максимума на частоте резонанса ВБЛ и последующего спада. Мы наблюдали и эту картину, но здесь ее не приводим.

На рис. 1, б приведена запись сигнала резонансных колебаний поляризованной стенки на частоте  $\omega'_0/2\pi = 57$  МГц при развертке частоты  $\Omega$ . Как видим, величина сигнала не меняется, т.е. эффект поля  $H_2$  на поляризованную стенку отсутствует, что находится в соответствии с нашими представлениями о структуре поляризованной и размагниченной стенок и о влиянии на них внешних полей.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что поведение ДГ прямых доменов во многом определяется структурой ДГ, состоянием ВБЛ, и получить информацию об этом и других особенностях поведения ДГ можно с помощью резонанса ВБЛ, который, как нам видится, представляет собой пока единственно возможный способ изучения структуры и поведения ДГ в магнитных полях тонких пленок.

#### Литература

1. Показаньев В.Г., Ялышев Ю.И., Лукаш К.И. Письма в ЖТФ, 1984, 10, 666.
2. Малоземов А., Слонзуски Д. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982.
3. Ялышев Ю.И., Лукаш К.И., Показаньев В.Г. ФТТ, 1984, 26, 1549.