

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ И УПРУГИХ ВОЛН В $\text{FeVO}_3$

М. В. Четкин, В. В. Лыков, А. А. Маковозова, А. Г. Белоногов

Работа посвящена изучению взаимодействия доменной границы с упругими волнами в легкоплоскостном прозрачном ферромагнетике — борате железа ( $\text{FeVO}_3$ ). Исследовались взаимодействие ДГ с продольной звуковой волной, распространяющейся в базисной плоскости кристалла, а также генерация упругих волн при движении ДГ под действием импульсного магнитного поля.

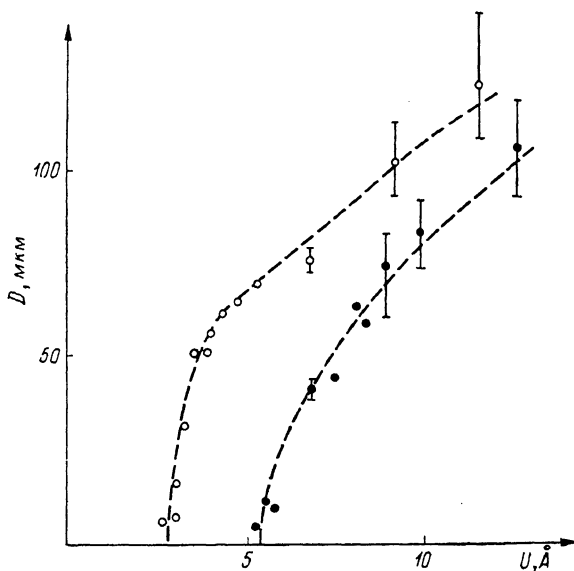


Рис. 1. Зависимость ширины  $90^\circ$ -ного домена, определяющего область ОФП, от амплитуды звуковой волны при двух различных величинах внешнего давления.

ДГ в поле звуковых волн благодаря наличию сильного магнитоупругого взаимодействия в  $\text{FeVO}_3$  может значительно изменить свою энергию [1]. Это в свою очередь должно приводить к движению ее под действием упругих сил волны. Как показали расчеты, звуковое поле в этом случае эквивалентно некоторому эффективному магнитному полю [2]. Если же движение ДГ осуществляется под действием внешнего магнитного поля, то возможно излучение ею упругих волн [1-3].

При этом теоретически показано [4], что в борате железа стационарное движение ДГ возможно лишь при скоростях движения, меньших некоторой скорости  $v_1$ , определяющей величину магнитоупругости щели в спектре ее скоростей. Скорость  $v_1$  растет с увеличением внешнего давления, но не превышает скорости поперечного звука. При достижении ДГ скорости  $v_1$  рост упругой деформации в ней достигает величины, способной изменить знак константы анизотропии, что в эксперименте наблюдается как динамический ориентационный фазовый переход (ОФП), т. е. распад  $180^\circ$ -ной ДГ на две  $90^\circ$ -ные с образованием нового  $90^\circ$ -ного домена [5].

Одиночная  $180^\circ$ -ная ДГ создавалась в пластинке  $\text{FeVO}_3$  толщиной 30 мкм градиентным магнитным полем величиной до 70 Э/см. В плоскости образца могло создаваться сжимающее давление до  $10^9$  дин/см<sup>2</sup>; плоскость ДГ располагалась перпендикулярно направлению сжатия, вдоль

которого могла распространяться продольная звуковая волна. Продольный звук создавался пьезопреобразователем с собственной частотой 3.4 МГц при подаче на него видеопульса длительностью, равной половине периода собственных колебаний, и амплитудой до 2 кВ. Длительность акустического импульса при этом 2 мкс. Использовалась акустическая задержка на 5—25 мкс для отделения электромагнитной наводки от звуковой волны. Измерение амплитуды звука в  $\text{FeVO}_3$  проводилось на основе принципа взаимности с использованием двух пьезопреобразователей, калиброванных электроиндукционным методом.

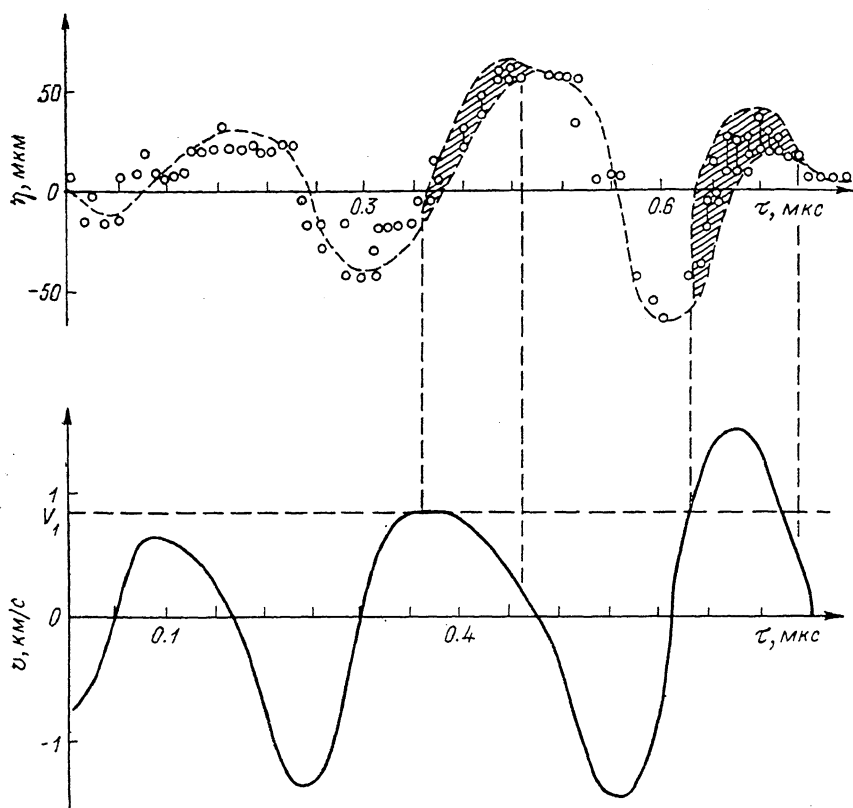


Рис. 2. Зависимость смещения  $\eta$  и скорости  $v$  ДГ от времени в  $\text{FeVO}_3$ . Отмечена скорость  $v_1$ , определяющая величину щели в спектре ее скоростей.

Этот же преобразователь использовался как приемный с дальнейшим усилением сигнала и подачей его на вход осциллографа С1-75; коэффициент усиления был близок к 80 дБ. Движение ДГ в этом случае осуществлялось под действием импульсного магнитного поля с временем нарастания менее 10 нс и длительностью 150 нс. Могли создаваться пачка импульсов с частотой повторения 3.4 МГц в пачке, а также изменяться их длительность. Все это не сказывалось принципиально на результатах эксперимента — на величине выходного сигнала. Наблюдение движения и структуры ДГ осуществлялось при подсветке лазером на красителе на длине волны 530 нм, накачиваемым азотным ТЕА лазером с длительностью импульса 0.4 нс, синхронизованным с акустическим импульсом с точностью не хуже 1 нс. Регистрация велась визуально или методом высокоскоростной фотографии на высокочувствительные ортохроматические фотопленки.

При воздействии на ДГ продольной звуковой волной нами наблюдалось ее движение. Движение ДГ было стационарным, а ее структура устойчивой лишь при малых деформациях в звуковой волне. При дости

жении амплитуды звука некоторой строго определенной и зависящей от внешнего давления величины наблюдается ОФП, т. е. распад  $180^\circ$ -ной ДГ на две с образованием домена с направлением намагниченности в нем, близким к  $90^\circ$ . Зародышем новой  $90^\circ$ -ной фазы выступает ДГ. Зависимость ширины этого домена от амплитуды звуковой волны при различных внешних сжимающих давлениях представлена на рис. 1. При дальнейшем росте амплитуды звука движение ДГ становится существенно нестационарным, что не позволяет провести однозначное соответствие амплитуды звука и ширины  $90^\circ$ -ного домена.

На рис. 2 представлена зависимость положения  $\eta$  и скорости  $v$  ДГ от времени при ее движении в поле звуковой волны. Форма кривых колебания в точности соответствует форме акустического импульса. Как видно из этого рисунка, распад начинается лишь при достижении ДГ скорости  $v_1$  в прямом направлении (область распада ДГ во времени отмечена штриховкой). При движении ДГ в обратном направлении распада не происходит, так как в этом случае дополнительное к внешнему сжимающее давление в звуковой волне лишь увеличивает величину скорости  $v_1$  в полном соответствии с результатами работ [4, 5].

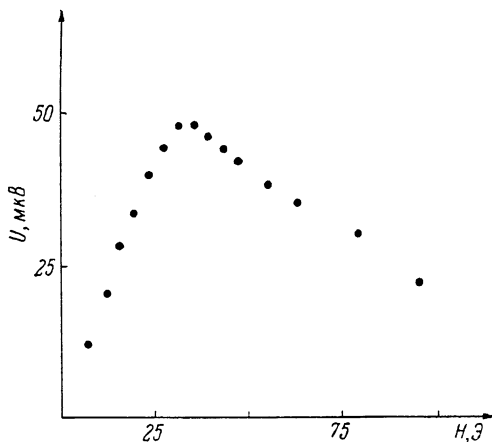


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала на приемном пьезопреобразователе, пропорционального амплитуде звука, генерируемого ДГ, от амплитуды управляющего поля.

При использовании пьезопреобразователя в качестве приемного и с движением ДГ под действием импульсного магнитного поля нами наблюдался звуковой сигнал на экране осциллографа. Звук мог передаваться через тонкий слой масла при создании ДГ только одним градиентным полем, а структура ДГ в динамике могла контролироваться методами высокоскоростной фотографии. Сигнал монотонно возрастал с увеличением магнитного поля, достигал максимума, а затем плавно уменьшался. Он не наблюдался в отсутствие ДГ и уменьшался с ростом внешнего сжимающего давления вплоть до величины шумов (рис. 3). Величина сигнала составляла несколько десятков мкВ, что соответствует интенсивности звуковой волны, равной нескольким мкВт/см<sup>2</sup>. Если ДГ доменная структура не достаточно качественная, т. е. существуют зародыши доменов на краях образца, то зависимость сигнала от поля не имеет ярко выраженных максимумов, но выходит на насыщение. Полученные результаты позволяют говорить о наблюдении упругой волны, генерируемой ДГ. Амплитуда упругой волны монотонно растет с ростом поля до тех пор, пока устойчива структура ДГ (устойчивость повышается с ростом внешнего давления). При достижении ДГ скорости  $v_1$  происходит распад ДГ, и дальнейший рост амплитуды наблюдаемого сигнала происходит до тех пор, пока ДГ не будет распадаться сразу же с момента ее старта, а ширина  $90^\circ$ -ного домена станет равной практически размеру образца [5]. Характер излучаемой волны требует дополнительных, в частности спектральных, исследований, что в данной работе не проводилось.

Таким образом, исследования позволяют говорить о том, что магнитоупругое взаимодействие играет принципиальную роль в динамике ДГ в борате железа. Оно приводит к образованию магнитоупругой щели в спектре ее скоростей, генерации упругой волны, амплитуда которой

может достигнуть величины, способной вызвать распад самой ДГ. При этом доминирующую роль в распаде играет ее скорость.

Авторы выражают глубокую благодарность В. Н. Селезневу, М. Б. Стругацкому за предоставление кристаллов для исследований.

### Список литературы

- [1] Барьяхтар В. Г., Иванов Б. А. // ФММ. 1975. Т. 39. № 3. С. 478—485.
- [2] Туров Е. А., Луговой А. А. // ФММ. 1980. Т. 50. № 4. С. 717—729; № 5. С. 903—913.
- [3] Недлин Г. М., Шапиро Р. Х. // ФТТ. 1976. Т. 18. № 6. С. 1696—1702.
- [4] Звездин А. К., Костюченко В. В., Мухия А. А. // Препринт ФИАН СССР. 1983. № 209.
- [5] Четкин М. В., Лыков В. В., Терещенко В. Д. // ФТТ. 1990. № 3. С. 939—941.

Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова

Поступило в Редакцию  
14 мая 1990 г.

УДК 537.638.5; 538.945

© Физика твердого тела, том 33, № 1, 1991  
Solid State Physics, vol. 33, N 1, 1991

## ЭНТРОПИЯ СМЕШАННОГО СОСТОЯНИЯ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

А. М. Быков, Я. И. Южелевский

В таких соединениях, как ВТСП керамика  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , гигантское значение  $H_{c2}$  и перколяционный характер перехода чрезвычайно затрудняют прямое определение многих параметров. Изменение энтропии при переходе в смешанное состояние  $\Delta S/\Delta H$  выражается комбинацией параметра Гинзбурга—Ландау  $\kappa$  и температурной производной верхнего критического поля  $dH_{c2}/dT$ , которое в свою очередь может быть рассчитано из данных по магнитосопротивлению [1]. В настоящей работе  $\Delta S/\Delta H$  определено в калориметрическом эксперименте, что в сочетании с результатами измерения  $dH_{c2}/dT$  позволило получить независимую оценку параметра  $\kappa$ .

Изменение температуры магнетика, в данном случае сверхпроводника, обусловленное магнитокалорическим эффектом, в адиабатическом процессе определяется соотношением [2]

$$T_2 - T_1 = T \int_{H_1}^{H_2} -\frac{1}{C_{p,H}} \left( \frac{\partial M}{\partial T} \right)_{H,p} dH, \quad (1)$$

где  $T$  — температура,  $C_{p,H}$  — теплоемкость единицы объема,  $M$  — плотность намагниченности.

Как показано в [3], для ВТСП керамики в широком интервале полей  $H > H_{c1}$

$$M = (H - H_{c2})/8\pi\kappa^2. \quad (2)$$

Теплоемкость можно считать независимой от поля, так как даже ее скачок при  $T_c$  ( $H=0$ ) составляет всего 1.5 % общей величины [4]. Подставляя (2) в (1) и учитывая адиабатичность процесса, получим

$$\frac{\Delta S}{\Delta H} = \frac{T_1 - T_2}{H_2 - H_1} \frac{C_p}{T} = -\frac{dH_{c2}/dT}{8\pi\kappa^2}. \quad (3)$$

Как видно, при включении поля температура сверхпроводника понижается, а энтропия возрастает.

В эксперименте адиабатичность обеспечивалась использованием калориметрической ячейки, подобной описанной в [5]. Изменение температуры образца при изменении поля фиксировалось относительно массивного медного диамагнитного блока дифференциальной термопарой. Темпера-