

НЕЛИНЕЙНЫЕ МАГНИТОУПРУГИЕ ВОЛНЫ В ТОНКИХ ПЛАСТИНКАХ БОРАТА ЖЕЛЕЗА

М.В. Четкин, В.В.Лыков

В борате железа, экспериментально обнаружена медленная нелинейная магнитооптические визуализированная магнитоупругая волна со структурой типа поперечной гофрировки, период которой зависит от магнитного поля,

Исследованию магнитоупругих волн в слабых ферромагнетиках типа гематита и бората железа посвящено большое количество работ и систематизированных обзоров ^{1, 2}. Сильная магнитоупругая связь в этих соединениях делает их перспективными для наблюдения нелинейных эффектов и магнитоакустических солитонов ². Для доказательства существования магнитоакустического солитона, большое значение имеют эксперименты, направленные на его визуализацию. В указанных выше обзорах не приведены результаты по визуализации магни-

тоупругих волн. В данной работе впервые представлены результаты экспериментальных исследований необычайно медленной нелинейной магнитоупругой волны в борате железа и ее магнитооптической визуализации.

Исследования проводились в тонких толщиной 30–90 мкм пластинках бората железа (FeBO_3) имеющих развитую базисную плоскость. К боковому торцу пластинки через тонкий слой масла для создания акустического контакта торцом поджимался стеклянный стержень, используемый в качестве акустической задержки (буфера), к другому концу которого приклеивался саломой пьезопреобразователь продольного звука с собственной частотой 3,4 МГц. Преобразователь возбуждался видеоимпульсом напряжения амплитудой до 1,6 кВ и длительностью ≈ 160 нс. Акустический импульс имел длительность 1,5–2 мкс, а измеренная деформация в исследуемом кристалле достигала $3 \cdot 10^{-5}$.

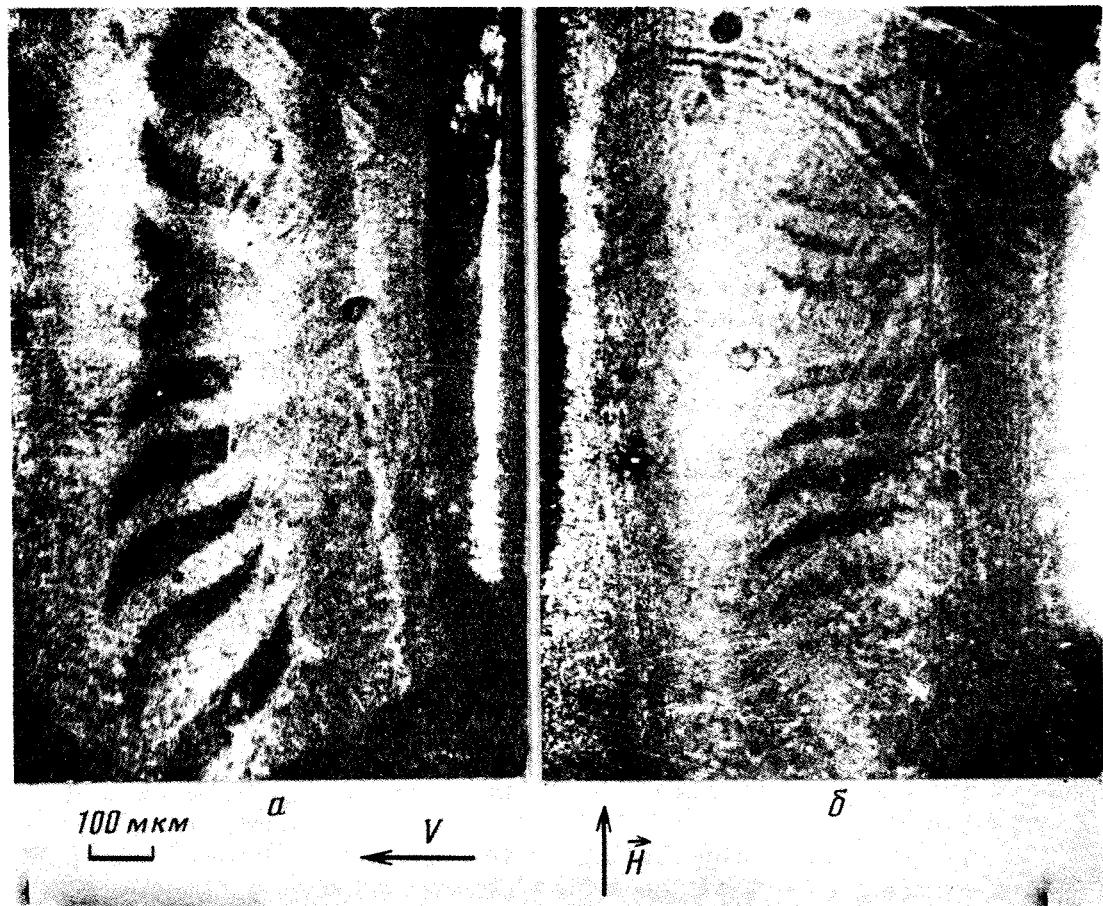


Рис. 1. Нелинейные магнитоупругие волны в борате железа при различных магнитных полях $H \perp K$, визуализированные при помощи эффекта Фарадея: $a - H = 1$ Э; $b - H = 5$ Э

При воздействии акустической волны на образец, однородно намагниченный слабым, величиной в несколько Э, магнитным полем, направленным перпендикулярно волновому вектору, наблюдалась медленная акустическая волна. Использовался метод высокоскоростной фотографии с импульсной подсветкой лазером на красителе оксазин с длиной волны 535 нм, накачиваемым азотным TEA-TEA-лазером с длительностью светового импульса 0,3 нс³. Наблюдение велось при помощи эффекта Фарадея в пластинке, наклоненной под углом $\approx 10^0$ относительно горизонтальной оси и на несколько градусов относительно вертикальной оси, с тем чтобы обеспечить слагаемые намагниченности на направление распространения света.

В отсутствие напряжения на преобразователе, вращение плоскости поляризации в однородно намагниченном образце составляло угол $\approx 1^\circ$. При амплитуде напряжения вплоть до деформации в акустической волне $\approx 10^{-6}$ равномерность вращения плоскости поляризации по всему образцу была неизменной. При амплитуде деформации $\approx 3 \cdot 10^{-6}$ мы наблюдали магнитоупругую волну. Образец при этом разбивался на ряд чередующихся светлых и темных полос с диффузными слaboочерченными границами, расположенными перпендикулярно волновому вектору, и движущихся со скоростью $1,8 \pm 0,2$ км/с.

При дальнейшем увеличении напряжения на преобразователе, при амплитуде звука $\geq 10^{-5}$, границы между полосами становились резкими, а в полосах через одну возникала строго периодическая стационарная доменная структура в поперечном волновом вектору направлении (рис. 1). Структуры как целое перемещались с той же скоростью (в указанных пределах точности). Приложение магнитного поля H в направлении распространения волны приводит к увеличению темных областей и уменьшению светлых: изменение направления поля на противоположное приводит к обратному эффекту. Таким образом, в темных областях динамической структуры намагниченность близка к направлению вдоль движения волны, в светлых — в противоположную.

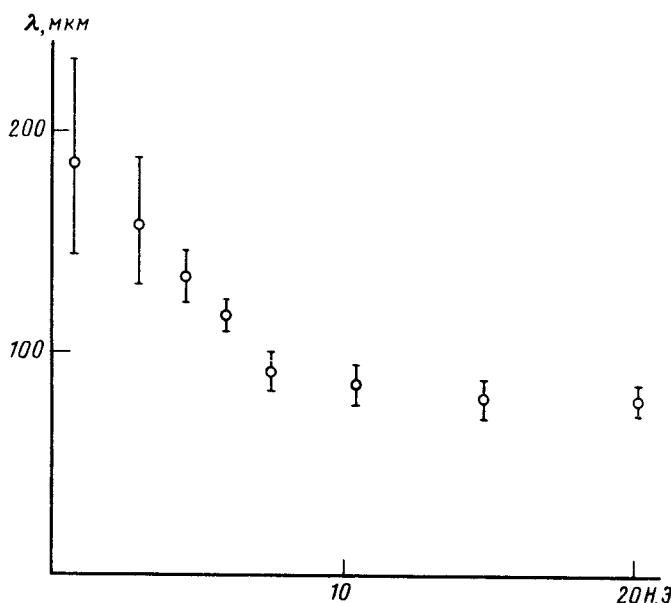


Рис. 2. Зависимость периода магнитоакустической волны от магнитного поля $H \perp K$

Замыкание магнитного потока на переднем фронте волны происходит через домен, находящийся впереди структуры. Как происходит замыкание магнитного потока позади структуры пока не ясно. Возможно, в этом участвуют другие слои образца, параллельные базисной плоскости и отделенные друг от друга блоковскими доменными стенками. Возможно, что в неравновесной динамической структуре нет замыкания потока сзади нее.

При направлении магнитного поля поперек волнового вектора K происходит уменьшение периода структуры. Фотография структуры в магнитном поле $H \perp K$ величиной ≈ 5 Э приведена на рис. 1, б. Зависимость периода динамической структуры от амплитуды магнитного поля $H \perp K$ представлена на рис. 2. Период плавно уменьшался с ростом поля. Передний фронт наблюдавшихся нами динамических структур похож на структуры, возникающие на динамической доменной границе в ортоферрите иттрия и в ферритах-гранатах, возникающих на участках зависимости ее скорости от магнитного поля с отрицательной дифференциальной под-

важностью³. Увеличение магнитного поля свыше 40 Э, направленного как параллельно, так и перпендикулярно направлению распространения звука, приводило к полному исчезновению какой-либо структуры в образце, т.е. к однородно намагниченному кристаллу.

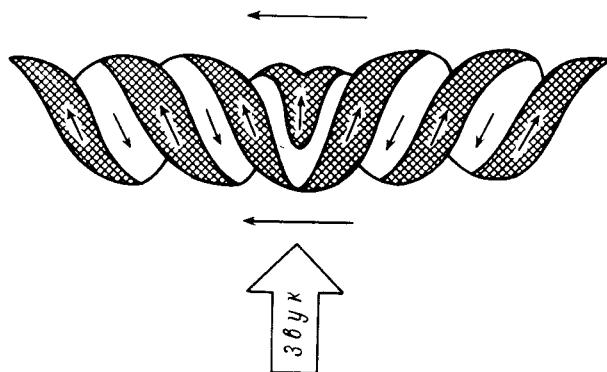


Рис. 3. Схема расположения магнитных моментов в динамических доменах нелинейной магнитоупругой волны. Направление прилагаемых в эксперименте полей лежат в плоскости образца (рисунка) перпендикулярно и параллельно направлению распространению звука. Ось z перпендикулярно плоскости рисунка

Физика наблюдаемого явления представляется следующей. Деформация, сопровождающая акустическую волну, меняет локальную константу анизотропии в борате железа, величина которой в базисной плоскости мала ($H_a < 0,1$ Э) и, фактически, определяется лишь внешними давлениями². В области растяжения, легкая ось кристалла оказывается направленной вдоль направления распространения волны. Там, где деформация в волне достаточна для изменения знака константы анизотропии, возникает динамический ориентационный фазовый переход. Магнитные моменты в областях, где этот переход произошел, направлены вдоль направления движения волны (рис. 3). При амплитуде волны меньшей амплитуды перехода, наблюдается плавное распределение деформации в волне (т.е. линейный случай), на что указывает отсутствие четких границ структуры в образце в этом случае. При больших амплитудах деформации магнитоупругая волна становится нелинейной с резко очерченным профилем и ярко выраженной в ней поперечной гофрировкой структуры. Не исключено, что при этих условиях начинает выполняться критерий модуляционной неустойчивости Лайтхилла⁴. Обсуждения заслуживает необычайно малая скорость нелинейной магнитоупругой волны, которая в 5 раз меньше скорости продольного звука в неограниченном образце², и, как показали измерения, по крайней мере в 3 раза меньше скорости этого звука в тонкой пластинке бората железа (≈ 6 км/с) на вышеуказанной частоте. Возможно, что указанная волна обязана своим происхождением волнам Лэмба.

Теория наблюдаемого явления должна основываться на совместном решении уравнения движения магнитного момента и упругой волны, с учетом сильной магнитоупругой связи. Динамические (полосовые) структуры на продольном звуке в легкоплоскостных ферромагнетиках, без учета их внутренней структуры, были рассмотрены Шавровым В.Г. и Кабыченковым А.Ф.^{6,5}. Возможно, что для интерпретации нелинейного случая можно воспользоваться результатами работ Турицина С.К. и Фальковича Г.Е.⁶, теоретически показавших возможность поперечной гофрировки магнитоупругого солитона, распространяющегося в легкоплоскостном магнетике, со скоростью, величина которой может быть значительно меньше скорости продольного звука.

Авторы выражают искреннюю благодарность Селезневу В.Н. и Стругацкому М.В. за любезно предоставленные кристаллы для исследований, а также Звездину А.К., Шаврову В.Г. и Кабыченкову А.Ф. за полезное и плодотворное обсуждение полученных результатов.

Литература

1. Ожогин В.И., Преображенский В.Л. УФН, 1988, 155, 593.
2. Diehl D. et al. Current Topic in Mater. Sci., 1984, 1, 1.
3. Четкин М.В. и др. ЖЭТФ, 1988, 96, 269.
4. Карпман В.И. Нелинейные волны в диспергирующих средах. М.; Наука, 1973, 133 с.
5. Kabyshenkov A.F., Shavrov V.G. Acta Phys. Polon., 1988, 4, 531.
6. Турицин С.К., Фалькович Г.Е. ЖЭТФ, 1985, 1, 258.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
2 июля 1990 г.