

05;08;12

## Об интенсивности ударных магнитоупругих колебаний, возникающих при переходных процессах в монокристаллах бората железа

© О.С. Колотов, А.П. Красножон, В.А. Погожев

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
119899 Москва, Россия

(Поступило в Редакцию 8 июля 1997 г.)

Впервые сопоставляются интенсивности магнитоупругих колебаний, сопровождающих импульсные процессы  $180^\circ$ -го и  $90^\circ$ -го перемагничивания монокристаллов бората железа, а также их намагничивания из размагниченного состояния (с нулевым суммарным магнитным моментом). За меру интенсивности магнитоупругих колебаний принималась амплитуда  $A_1$  колебаний сигнала, считываемого с исследуемого образца индукционным способом. Найдено, что при одном и том же значении амплитуды импульсов магнитного поля  $H$ , возбуждающих переходной процесс, амплитуды колебаний  $A_1$ , наблюдаемых при  $90^\circ$ -м перемагничивании и намагничивании, имеют практически равные значения, которые в  $\sqrt{2}$  раз меньше амплитуды колебаний при  $180^\circ$ -м перемагничивании. На основании полученного результата делается вывод, что интенсивность магнитоупругих колебаний слабо зависит от исходного состояния монокристалла, а определяется в основном плотностью энергии  $\Delta M \cdot H$ , получаемой магнитной подсистемой кристалла от внешнего поля ( $\Delta M$  — изменение намагниченности). Отсюда следует, что при применении бората железа в скоростных модуляторах мессбауэровского  $\gamma$ -излучения вместо режима намагничивания, как это делалось до последнего времени, предпочтительнее использовать режим  $90^\circ$ -го перемагничивания.

Из известных магнитных материалов одним из наиболее быстродействующих является борат железа ( $\text{FeBO}_3$ ) [1]. Это свойство используется в скоростных модуляторах мессбауэровского  $\gamma$ -излучения [2,3]. Однако слабый легко-плоскостной ферромагнетик  $\text{FeBO}_3$  характеризуется сильным магнитоупругим взаимодействием [4,5] и при переходных процессах в нем возбуждаются магнитоупругие колебания с частотой, определяемой толщиной образца и скоростью распространения волны сдвиговых деформаций (в направлении оси  $c$ ) [6–8]. Это обстоятельство затрудняет применение  $\text{FeBO}_3$  в импульсных устройствах. В созданных ранее модуляторах мессбауэровского  $\gamma$ -излучения [2,3] использован режим импульсного намагничивания монокристаллов  $\text{FeBO}_3$ . В исходном состоянии (в отсутствие внешних магнитных полей) монокристалл разбит на значительное ( $\geq 15$ – $20$ ) число доменов и его средняя намагниченность близка к нулю [5,9]. При выборе этого режима предполагалось, что благодаря несинфазности изменения намагниченности в разных доменах интенсивность магнитоупругих колебаний будет меньше, чем при использовании других переходных процессов. Однако специальных исследований, посвященных сравнению интенсивности колебаний при разных процессах, не проводилось. Между тем такие исследования необходимы не только для выбора оптимального режима работы модуляторов, но и для понимания физики переходных процессов.

Здесь сравниваются интенсивности колебаний, возникающих при импульсном намагничивании и при  $180^\circ$ - и  $90^\circ$ -м перемагничивании. Последние два процесса инициировались быстрым (за время  $< 1$  ns) изменением направления внешнего магнитного поля  $H$  (соответственно на  $180^\circ$  и  $90^\circ$ ) при одновременном увеличении его абсолютного значения. Все указанные процессы харак-

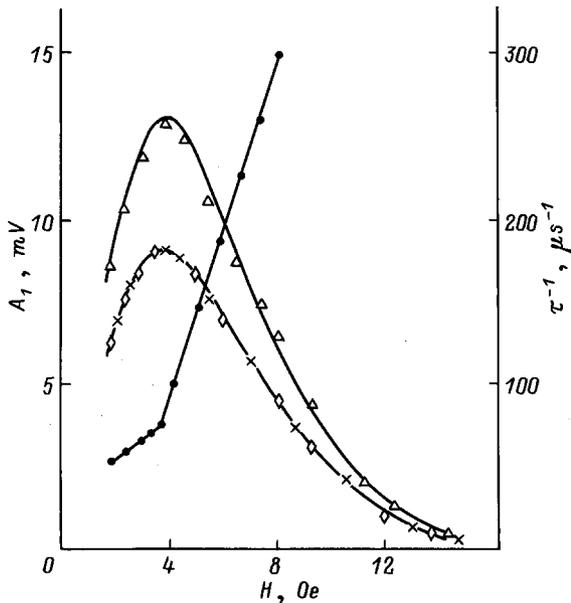
теризуются одинаковым направлением намагниченности в конечном состоянии, что обеспечивает необходимую однозначность при сравнении интенсивности колебаний.

Исследуемые монокристаллические пластины  $\text{FeBO}_3$  имели форму неправильных многоугольников с поперечным размером 3–8 mm и толщину от 24 до 110  $\mu\text{m}$ .

Использовалась индукционная установка с временным разрешением  $\sim 1$  ns [10]. Регистрировался сигнал с продольного съемного витка. За меру интенсивности магнитоупругих колебаний принималась амплитуда  $A_1$  колебаний сигнала, наблюдаемых после окончания основной стадии переходного процесса [7,8].

Исследовалась зависимость интенсивности колебаний от амплитуды импульса поля  $H$ . Положение образца при всех переходных процессах было неизменным. Полученные результаты иллюстрируются на примере образца толщиной 110  $\mu\text{m}$ , полем  $H_s$ , необходимым для технического насыщения образца в его плоскости, 2.1 Oe и средним значением периода магнитоупругих колебаний 56 ns.

Зависимости  $A_1(H)$  приведены на рисунке. Видно, что с ростом напряженности поля  $H$  интенсивность магнитоупругих колебаний сначала возрастает, а затем начинает уменьшаться. При  $H > 15$  Oe амплитуда колебаний становится сравнимой с шумами установки. Для всех трех режимов максимум интенсивности колебаний достигается примерно при одной и той же напряженности поля  $H = H^*$ . Опираясь на ранее проведенные исследования режима  $180^\circ$ -го перемагничивания [7,11], этот результат можно объяснить следующим образом. Начальный рост интенсивности обусловлен увеличением плотности энергии  $\Delta M \cdot H$ , получаемой магнетиком от внешнего поля. Здесь  $\Delta M$  — изменение намагниченности в результате переходного процесса. Одновременно с ро-



Кривая  $90^\circ$ -го импульсного перемагничивания ( $\cdot$ )  $\tau^{-1}(H)$  и зависимости амплитуды колебаний  $A_1$  от амплитуды импульса магнитного поля  $H$ :  $\triangle$  —  $180^\circ$ -е перемагничивание,  $\diamond$  —  $90^\circ$ -е перемагничивание,  $\times$  — намагничивание из размагниченного состояния.

стом напряженности поля уменьшается длительность  $\tau$  основной — начальной стадии переходного процесса и при характерном ее значении  $\tau = \tau^* = 15 \pm 2$  ns, которое слабо зависит от периода магнитоупругих колебаний и типа процесса, начинает сказываться отставание фоновой подсистемы монокристалла от магнетонной. В технике ферромагнитного резонанса этот эффект получил название "замораживания" кристаллической решетки [4,5]. Времени  $\tau^*$ , достигаемому при  $H$ , близком к  $H^*$  (3.5–4 Oe для исследованных образцов), соответствует излом кривых импульсного перемагничивания (или намагничивания), представляющих зависимость обратной длительности переходного процесса от напряженности поля  $H$ . В качестве примера на рисунке приведена кривая  $\tau^{-1}(H)$ , полученная при  $90^\circ$ -м перемагничивании.

Видно, что резкое увеличение скорости перемагничивания в полях  $H > H^*$  связано с уменьшением потерь энергии на возбуждение магнитоупругих колебаний. Другой важный результат состоит в том, что интенсивности колебаний при  $90^\circ$ -м перемагничивании и намагничивании из размагниченного состояния близки друг к другу. Таким образом, режим импульсного намагничивания реально не имеет преимуществ перед режимом  $90^\circ$ -го перемагничивания. При использовании же последнего можно обеспечить большую глубину модуляции мессабауэровского  $\gamma$ -излучения. Из приведенных результатов также следует, что интенсивность колебаний слабо зависит от исходного состояния образца, а определяется в основном величиной  $\Delta M \cdot H$ . Действительно, энергия магнитоупругих колебаний пропорциональна  $A_1^2$ , и поэтому интенсивность при  $180^\circ$ -м перемагничивании должна быть в  $\sqrt{2}$  раз больше, чем при двух других

процессах. Обратившись к рисунку, можно убедиться, что указанное отношение близко к 1.4. Для других исследованных нами образцов оно изменялось от 1.35 до 1.5.

Таким образом, в модуляторах мессабауэровского  $\gamma$ -излучения целесообразно использовать режим  $90^\circ$ -го перемагничивания. Чтобы снизить интенсивность магнитоупругих колебаний, необходимо уменьшить время перемагничивания до  $\sim 1.5$ – $2$  ns. Тогда эффект "замораживания" кристаллической решетки проявится в достаточной мере.

Авторы благодарят Г.В. Смирнова и Ю.В. Швыдько за ценную дискуссию.

## Список литературы

- [1] Kolotov O.S., Pogozhev V.A., Telesnin R.V. et al. // Phys. St. Sol. (a). 1982. Vol. 72. N 2. P. K197–K201.
- [2] Смирнов Г.В., Швыдько Ю.В., Колотов О.С., Погужев В.А. и др. // ЖЭТФ. 1984. Т. 86. Вып. 4. С. 1495–1504.
- [3] Швыдько Ю.В., Алешин К.П., Колотов О.С., Погужев В.А. и др. Препринт института атомной энергии им. И.В. Курчатова. № ИАЭ-3932/14. М., 1984. 12 с.
- [4] Туров Е.А., Шавров В.Г. // УФН. 1988. Т. 155. № 4. С. 593–621.
- [5] Diehl R., Jantz W., Nolang B.I., Wettling W. // Current Topics Mater. Sci. 1984. Vol. 11. N 1. P. 241–387.
- [6] Колотов О.С., Погужев В.А., Смирнов Г.В., Швыдько Ю.В. // ФТТ. 1987. Т. 29. Вып. 8. С. 2544–2549.
- [7] Колотов О.С., Ким Ен Хен., Красножон А.П., Погужев В.А. // Письма в ЖЭТФ. 1993. Т. 58. Вып. 1. С. 52–55.
- [8] Колотов О.С., Красножон А.П., Погужев В.А. // ФТТ. 1996. Т. 38. Вып. 4. С. 1017–1022.
- [9] Scott G.B. // J. Appl. Phys. 1974. Vol. 7. N 5. P. 1574–1587.
- [10] Колотов О.С., Погужев В.А., Телеснин Р.В. Методы и аппаратура для исследования импульсных свойств тонких магнитных пленок. М.: Изд-во МГУ, 1970. 192 с.
- [11] Колотов О.С., Ким Ен Хен., Красножон А.П., Погужев В.А. // ФТТ. 1994. Т. 36. Вып. 1. С. 231–233.