

Динамические свойства монокристаллов бората железа в области больших скоростей перемагничивания

© О.С. Колотов, А.В. Матюнин, В.А. Погожев

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

(Поступила в Редакцию 18 июня 2002 г.)

Обнаружен третий участок на кривой импульсного перемагничивания монокристаллов бората железа с рекордно малым значением коэффициента переключения $S_{w3} \approx (3-5) \cdot 10^{-3} \text{ Oe} \cdot \mu\text{s}$. Его появление объясняется „отключением“ из возможных каналов потерь энергии, связанных с магнитоупругими колебаниями.

Как известно, круг вопросов, относящихся к взаимодействию магнитной и упругой подсистем кристаллов, к связанным с этим взаимодействием потерям энергии и их влиянию на скорость перемагничивания является одним из основных в физике переходных процессов в магнетиках. В наиболее явной и доступной для исследований форме магнитоупругое взаимодействие проявляется в монокристаллах бората железа (FeBO_3) [1–3]. К настоящему времени установлено, что форма основной динамической характеристики — кривой импульсного перемагничивания (представляющей собой зависимость скорости перемагничивания τ^{-1} от амплитуды импульса перемагничивающего поля H_s) — в монокристаллах FeBO_3 полностью определяется особенностями магнитоупругого взаимодействия [3–6]. Так, эффект „замораживания кристаллической решетки“, ранее наблюдавшийся в обсуждаемом магнетике на частотах $\sim 10^{10} \text{ Hz}$ [7,8], при переходных процессах начинает сказываться при временах перемагничивания $\tau = \tau_{cr1} = 15 \pm 2 \text{ ns}$. При меньших временах резко уменьшается интенсивность магнитоупругих колебаний, сопровождающих переходные процессы и связанных с волной сдвиговых деформаций, распространяющейся вдоль оси C . В результате при $\tau = \tau_{cr1}$ уменьшаются потери энергии на возбуждение колебаний, скорость перемагничивания резко возрастает и на кривой $\tau^{-1}(H_s)$ появляется излом (при $\tau = \tau_{cr1}$ и $H_s \sim 3-4 \text{ Oe}$).

Частота исследованной моды магнитоупругих колебаний $F_c = 2V_v/d$, где d — толщина монокристалла, V_c — скорость поперечной звуковой волны (распространяющейся вдоль оси C и зависящей от внешнего магнитного поля) [2,7–9]. Для рассматриваемого здесь интервала полей V_c близка к $4 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$. Очевидно, что эта мода магнитоупругих колебаний не является единственно возможной. Можно ожидать, что при дальнейшем возрастании скорости перемагничивания при некотором ее значении $\tau^{-1} = \tau_{cr2}^{-1}$ начнет сказываться „замораживание“ еще одной из мод магнитоупругих колебаний, сопровождаемое „отключением“ соответствующего ей канала потерь энергии и изменением хода зависимости $\tau^{-1}(H_s)$. Поиску и исследованию этих изменений и посвящена настоящая работа.

Как и при получении упомянутых выше результатов, намеченные здесь исследования выполнены с помощью индукционной установки. Однако для повышения временного разрешения она подвергнута существенной модернизации. В частности, применение низковольтного искрового обострителя [10] позволило снизить длительность фронта перемагничивающего импульса до 0.3 ns . Использование малогабаритного перемагничивающего устройства и включение в цепь съемного витка дополнительного сопротивления ($R = 500 \Omega$) позволило снизить время установления напряжения в канале регистрации до $0.25-0.3 \text{ ns}$. В итоге временное разрешение установки доведено до $0.4-0.5 \text{ ns}$ (вместо 1.4 ns в ее первоначальном варианте).

К настоящему времени исследован процесс 180° импульсного перемагничивания. Исходное состояние технического насыщения исследуемого образца обеспечивалось с помощью поля H_0 . Импульсное поле H_p , вызывающее исследуемый процесс, было направлено противоположно полю H_0 . Далее приводятся результирующие значения перемагничивающего поля $H_s = H_p - H_0$. Исследованы шесть образцов толщиной от 24 до $100 \mu\text{m}$. Для всех этих образцов обнаружен ожидаемый второй излом на кривой импульсного перемагничивания.

В качестве примера на рис. 1 приведена кривая $\tau^{-1}(H_s)$, полученная для образца толщиной $34 \mu\text{m}$ с полем насыщения $H_{\text{sat}} = 1.8 \text{ Oe}$ и средним значением периода ударных магнитоупругих колебаний $T_c = F_c^{-1} = 18 \text{ ns}$. Видно, что наряду с ранее известным изломом кривой импульсного перемагничивания,

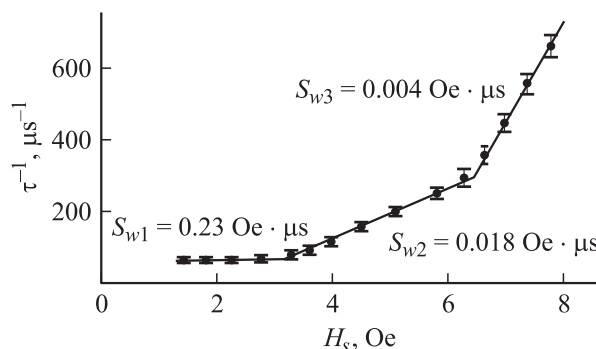


Рис. 1. Кривая импульсного перемагничивания.

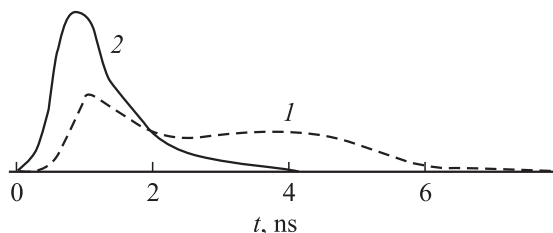


Рис. 2. Сигналы перемагничивания: 1 — $H_s = 4.8$, 2 — 7.3 Ое.

возникающим при характерной скорости перемагничивания $\tau^{-1} = \tau_{cr1}^{-1} = 70 \mu s^{-1}$ в поле $H_s = H_{cr1} = 3.1$ Ое, появился новый излом. Для данного образца он наблюдается в поле $H_s = H_{cr2} = 6.3$ Ое и при скорости перемагничивания $\tau^{-1} = \tau_{cr2}^{-1} = 280 \mu s^{-1}$. Следующий за ним участок кривой аппроксимируется прямой линией с рекордно малым значением коэффициента переключения $S_{w3} = \Delta H_s / \Delta \tau^{-1}$: для рассматриваемого образца $S_{w3} = 4 \cdot 10^{-3}$ Ое $\cdot \mu s$. Для других исследованных нами образцов S_{w3} лежит в пределах $(3-5) \cdot 10^{-3}$ Ое $\cdot \mu s$. Столь малые значения коэффициента переключения не наблюдались ни для одного из исследованных к настоящему времени магнетиков.

На рис. 2 приведены сигналы, полученные для рассматриваемого образца при его перемагничивании в поле $H_s = 4.8$ Ое (осциллограмма 1), что примерно соответствует середине второго участка кривой импульсного перемагничивания, и в поле $H_s = 7.3$ Ое, которое соответствует началу третьего участка. Видно, что переход к третьему участку сопровождается заметным изменением формы сигнала: в полях $H_s > H_{cr2}$ место основного изменения потока индукции смещается к началу обсуждаемого процесса.

Нам не удалось пока выявить моду магнитоупругих колебаний, ответственную за поведение намагниченности в полях $H_s > H_{cr2}$. Скорее всего, эти колебания связаны с продольными звуковыми волнами, для которых отставание упругой подсистемы кристалла от магнитной должно проявляться при больших скоростях перемагничивания. Эти волны могут распространяться не только вдоль оси C . В отличие от ранее исследованной моды, частота основной гармоники F_c которой определяется толщиной монокристалла, для предполагаемых магнитоупругих колебаний характерен, по-видимому, более широкий спектр частот. Возможно, что изменение этого спектра и ответственно за изменение формы сигнала и в целом — за поведение намагниченности в полях $H_s > H_{cr2}$.

Список литературы

- [1] О.С. Колотов, В.А. Погожев, Г.В. Смирнов, Ю.В. Швыдько. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Общая ядерная физика 4 29, 136 (1984).
- [2] О.С. Колотов, В.А. Погожев, Г.В. Смирнов, Ю.В. Швыдько. ФТТ 29, 8, 2548 (1987).

- [3] О.С. Колотов, Ким Ен Хен, А.П. Красножон, В.А. Погожев. Письма в ЖЭТФ 58, 1, 52 (1993).
- [4] О.С. Колотов, Ким Ен Хен, А.П. Красножон, В.А. Погожев. ФТТ 36, 1, 231 (1994).
- [5] О.С. Колотов, А.П. Красножон, В.А. Погожев. ФТТ 40, 2, 305 (1998).
- [6] А.В. Буквин, О.С. Колотов, В.А. Погожев. ФТТ 42, 8, 1437 (2000).
- [7] Е.А. Туров, В.Г. Шавров. УФН 140, 3, 429 (1983).
- [8] B. Diehl, W. Jantz, B.I. Wettling. Current Topics in Mater Sci. 11, 1, 241 (1984).
- [9] M.N. Seavey. Sol. Stat. Commun. 10, 2, 219 (1973).
- [10] О.С. Колотов, В.А. Погожев, Р.В. Телеснин. Методы и аппаратура для исследования импульсных свойств тонких магнитных пленок. Изд-во МГУ, М. (1970).