

УДК 537.624:538.221.245

О ЗАВИСИМОСТИ ФОРМЫ КРИВОЙ ИМПУЛЬСНОГО ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ БОРАТА ЖЕЛЕЗА ОТ ИХ ТОЛЩИНЫ

В. А. Бжвин, О. С. Колотов, В. А. Погожев

(кафедра общей физики)

Показано, что степень излома кривых импульсного перемангничивания монокристаллов бората железа уменьшается с ростом их толщины. Найдено, что зависимость коэффициента переключения S_{w1} для первого участка этой кривой от толщины подчиняется гиперболическому закону. Обнаруженные особенности качественно объясняются тем, что с ростом толщины уменьшается плотность энергии, затрачиваемой на возбуждение ударных магнитоупругих колебаний, сопровождающих переходные процессы.

Как известно [1–4], центральное место в физике переходных процессов в магнетиках занимает вопрос о форме кривой импульсного перемангничивания и ее связи с характером поведения намагниченности. Особый интерес представляет изучение кривых импульсного перемангничивания слабого ферромагнетика бората железа (FeVO_3). Установлено [5–7], что форма кривой импульсного перемангничивания монокристаллов FeVO_3 , в отличие от других исследованных к настоящему времени магнитных материалов, в основном определяется не сменой механизмов перемангничивания, а изменением величины потерь энергии, обусловленных возбуждением ударных магнитоупругих колебаний, сопровождающих переходные процессы. В частности, при длительности переходного процесса $\tau = \tau^* = 15 \pm 2$ нс (которая слабо зависит от толщины монокристалла и, следовательно, периода колебаний) наблюдается отставание упругой подсистемы кристалла от магнитной. В результате потери энергии, связанные с возбуждением магнитоупругих колебаний, резко уменьшаются, а на обсуждаемой кривой появляется излом. Очевидно, что для более глубокого понимания физики импульсного перемангничивания монокристаллов бората железа (как и других магнетиков с сильно выраженным магнитоупругим взаимодействием) необходимо детальное исследование зависимости параметров кривой импульсного перемангничивания от свойств и характеристик монокристаллов. В настоящей работе впервые исследуется влияние толщины монокристаллов. Изучается процесс 180° -го импульсного перемангничивания.

Исследована партия из 8 образцов толщиной от 24 до 130 мкм. Образцы имели форму неправильных многогранников с поперечными размерами от 4 до 8 мм. Плоскость образцов была перпендикулярна оси c . Техническое насыщение образцов в любом направлении, параллельном их плоскости, достигалось с помощью постоянного магнитного поля с напряженностью H_{sat} , минимальная величина которой для разных образцов составляла $1,4 \div 2,5$ Э. Исследования выполнены на индукционной установке, подобной обычно используемым при изучении импульсных свойств Fe–Ni пленок [8]. Разрешающая временная способность установки была близка к 1 нс. Исходное

однодоменное состояние монокристаллов задавалось с помощью постоянного установочного магнитного поля $H_0 = 1,25H_{\text{sat}}$. Изучаемый процесс инициировался импульсным магнитным полем H , направленным противоположно установочному полю. Далее под напряженностью перемангничивающего поля понимается величина $H_s = H - H_0$.

Нами обнаружено, что форма кривой импульсного перемангничивания явно зависит от толщины образца. Для иллюстрации на рис. 1 приведены две кривые, характеризующие динамические свойства образцов с толщиной 35 и 130 мкм. В соответствии с ранее полученными данными [9] на этих кривых выделяются по два участка, каждый из которых хорошо аппроксимируется прямой линией. Для образца большей толщины степень излома кривой перемангничивания, определяемая разным наклоном аппроксимирующих прямых к оси абсцисс, заметно меньше. В магнитодинамике [1–3] темп изменения скорости перемангничивания τ^{-1} в пределах каждого из линейных участков кривой принято характеризовать величиной, обратной тангенсу угла наклона, которая называется коэффициентом переключения: $S_w = dH_s/d\tau^{-1}$. В соответствии с этим степень излома будем характеризовать отношением коэффициентов переключения соседних участков обсуждаемых кривых. Для образца толщиной 35 мкм S_{w1} и S_{w2} равны соответственно 0,24 и 0,022 Э·мкс, для более толстого образца — 0,06 и 0,025 Э·мкс. Таким образом, увеличение толщины образца приводит

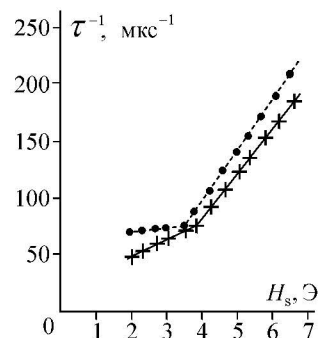


Рис. 1. Кривые импульсного перемангничивания монокристаллов бората железа толщиной 35 мкм (кружки) и 130 мкм (крестики)

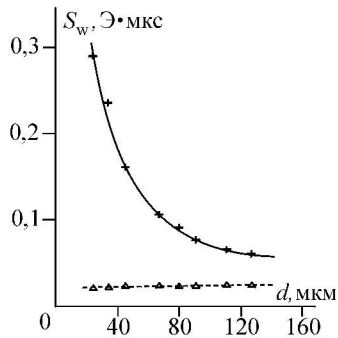


Рис. 2. Зависимости коэффициентов переключения S_{w1} (крестики) и S_{w2} (треугольники) от толщины d монокристаллов бората железа

к сильному (примерно в 4,6 раза) уменьшению степени излома кривой перемагничивания.

На рис. 2 приведены зависимости коэффициентов переключения от толщины монокристаллов d . Видно, что коэффициент переключения S_{w2} изменяется незначительно, оставаясь в пределах 0,02–0,025 Э·мкс. Значение же коэффициента S_{w1} с увеличением толщины монокристалла изменяется весьма существенно, вплоть до 5-кратного его уменьшения в исследованном диапазоне толщин. Таким образом, изменение формы кривой импульсного перемагничивания в основном определяется изменением коэффициента переключения S_{w1} . Опыт показывает, что зависимость $S_{w1}(d)$ хорошо аппроксимируется гиперболой $S_{w1} = k/d$ (см. рис. 2). Для исследованной партии образцов значение коэффициента пропорциональности $k = 7,3$ Э·мкс·мкм.

Итак, степень излома кривых импульсного перемагничивания монокристаллов уменьшается с ростом их толщины. В принципе, следует ожидать, что для достаточно толстых образцов излом на этой кривой может вообще не наблюдаться. К сожалению, изготовление толстых и к тому же достаточно протяженных образцов (последнее необходимо для уменьшения влияния собственного размагничивающего поля) представляет собой сложную технологическую задачу.

Нам не известны сколько-нибудь серьезные попытки количественного анализа влияния магнитоупругого взаимодействия на импульсные свойства магнетиков вообще и бората железа в частности. Тем не менее, опираясь на результаты проведенных исследований, мы попытались дать качественное объяснение обнаруженным нами закономерностям. Прежде всего, известно, что в пределах первого участка обсуждаемой кривой с увеличением напряженности

поля H_s возрастает интенсивность магнитоупругих колебаний и соответственно растут потери энергии на их возбуждение. Величина потерь максимальна в поле H_s , близком к полю излома кривой импульсного перемагничивания, ибо, как уже отмечалось, при дальнейшем увеличении напряженности поля H_s и соответствующем уменьшении времени перемагничивания уменьшается степень магнитоупругого взаимодействия. В то же время следует ожидать, что плотность энергии, связанная с упругими колебаниями в кристалле, должна уменьшаться с ростом толщины, поскольку эта плотность при прочих равных условиях пропорциональна квадрату частоты колебаний [10]. Для магнитоупругих же колебаний их частота обратно пропорциональна толщине монокристалла [11, 12]. Таким образом, с ростом толщины монокристаллов уменьшается плотность энергии, затрачиваемой на возбуждение магнитоупругих колебаний, что в свою очередь приводит к уменьшению коэффициента переключения S_{w1} для первого участка кривой импульсного перемагничивания.

Литература

1. *Humphrey F.B., Gyorgy E.M.* // J. Appl. Phys. 1959. **30**. P. 935.
2. *Крутичка С.* Физика ферритов и родственных им магнитных окислов. Ч. II. М.: Мир, 1976.
3. *Колотов О.С., Погужев В.А., Телеснин Р.В.* // УФН. 1974. **113**. С. 569.
4. *Колотов О.С., Погужев В.А.* // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1991. № 5. С. 3 (Moscow University Phys. Bull. 1991. No. 5. P. 5).
5. *Колотов О.С., Ким Ён Хен, Красножон А.П., Погужев В.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1993. **58**. С. 52.
6. *Колотов О.С., Ким Ён Хен, Красножон А.П., Погужев В.А.* // ФТТ. 1994. **36**. С. 23.
7. *Колотов О.С., Красножон А.П., Погужев В.А.* // ФТТ. 1998. **40**. С. 305.
8. *Колотов О.С., Погужев В.А., Телеснин Р.В.* Методы и аппаратура для исследования импульсных свойств тонких магнитных пленок. М.: Изд-во МГУ, 1970.
9. *Kolotov O.S., Pogozhev V.A., Telesnin R.V. et al.* // Phys. Stat. Solidi (a). 1982. **72**. P. K197.
10. *Красильников В.А., Крылов В.В.* Введение в физическую акустику. М.: Наука, 1984.
11. *Seavy M.H.* // Solid State Commun. 1972. **10**. P. 219.
12. *Колотов О.С., Погужев В.А., Смирнов Г.В., Швыдько Ю.В.* // ФТТ. 1987. **29**. С. 254.

Поступила в редакцию
05.07.99