

ОБ ОТСТАВАНИИ ФОНОННОЙ СИСТЕМЫ КРИСТАЛЛА ОТ МАГНОННОЙ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИИ БОРАТА ЖЕЛЕЗА

Одной из важных задач физики переходных процессов в магнетиках является правильный учет потерь энергии [1,2]. Обычно он осуществляется феноменологически [3-7] с помощью постоянной затухания λ Ландау-Лифшица [3] или коэффициента затухания α Гильберта [4], ибо действительный механизм передачи энергии из спиновой системы кристаллической решетке при импульсном перемагничивании и намагничивании не ясен. В этих условиях большой интерес представляет экспериментальное исследование переходных процессов в магнетиках с ярко выраженным взаимодействием магнонной и фононной систем. К ним относятся слабые ферромагнетики с анизотропией типа «легкая плоскость», в которых в наиболее заметной и доступной для исследования форме проявляется магнитоупругое взаимодействие [8-11]. В частности, в монокристаллах бората железа (FeVO_3) имеется возможность непосредственного сопоставления скорости перемагничивания с интенсивностью магнитоупругих колебаний, сопровождающих переходные процессы. Подобные исследования выполнены недавно [12]. Обнаружен максимум на кривой, представляющей собой зависимость интенсивности колебаний от напряженности перемагничивающего поля H_s , причем уменьшение интенсивности колебаний в области больших полей сопровождается резким возрастанием скорости перемагничивания, что приводит к излому кривой импульсного перемагничивания. Напомним, что эта кривая представляет собой зависимость обратного времени перемагничивания τ^{-1} от напряженности перемагничивающего поля H_s . Уменьшение интенсивности колебаний в больших полях и связанное с этим уменьшение затухания объяснялись в [12] тем, что при временах перемагничивания $\sim 12 \div 16$ нс, соответствующих точке излома кривой $\tau^{-1}(H_s$ и слабо зависящих от толщины монокристалла (т.е. частоты магнитоакустического резонанса), наблюдается отставание фононной системы от магнонной, сопровождаемое заметным снижением потерь энергии в последней. Здесь описан эксперимент, подтверждающий справедливость этого предположения.

Суть эксперимента заключается в следующем: исследуется зависимость интенсивности магнитоупругих колебаний от длительности τ_e начальной стадии импульсного перемагничивания, причем для изменения τ_e варьируется длительность фронта перемагничивающего импульса. Амплитуда же импульса остается неизменной и существенно большей поля, при котором наблюдается излом кривой импульсного перемагничивания. Тогда с увеличением длительности фронта τ_f будет увеличиваться длительность начальной стадии τ_e . Это приведет к уменьшению эффекта отставания фононной системы от магнонной и будет сопровождаться возрастанием амплитуды магнитоупругих колебаний. Очевидно, что увеличение τ_f будет сопровождаться уменьше-

нием избытка энергии, получаемой магнитной системой от внешнего поля. Поэтому наблюдаемый рост интенсивности колебаний от τ_f будет несколько уменьшен. Тем не менее если предполагаемый эффект достаточно силен, то он должен проявиться в возрастании амплитуды колебаний при увеличении длительности фронта в определенных пределах.

Исследования выполнены с помощью стандартной индукционной установки, предназначенной для изучения импульсного перемagnичивания магнитных пленок [13]. Исследовались монокристаллы FeVO_3 толщиной от 24 до 110 мкм. Длительность фронта τ_f перемagnичивающего импульса изменялась от 1 до 40 нс. За меру интенсивности магнитоупругих колебаний принималась амплитуда A_1 колебаний индукционного сигнала, наблюдаемых за начальной стадией перемagnичивания. Длительность этой стадии τ_e полагалась равной интервалу между моментами времени, когда напряжение сигнала равно 0.1 его амплитуды. Такое определение совпадает с широко используемым [2] определением времени перемagnичивания. Полученные результаты иллюстрируются на примере образца толщиной 110 мкм. Кривая импульсного перемagnичивания этого образца показана на рис. 1. Здесь же приведена зависимость амплитуды A_1 колебаний (период которых изменялся от 62 до 54 нс) от поля H_s . В обсуждаемом эксперименте напряженность перемagnичивающего поля была выбрана равной 7 Э , что (при $\tau_f \approx 1 \text{ нс}$) соответствует точке в нижней части правого склона кривой $A_1(H_s)$ и времени $\tau_e \approx 5 \text{ нс}$.

На рис. 2 приведена зависимость амплитуды колебаний от времени перемagnичивания. Видно, что, как и ожидалось, при увеличении

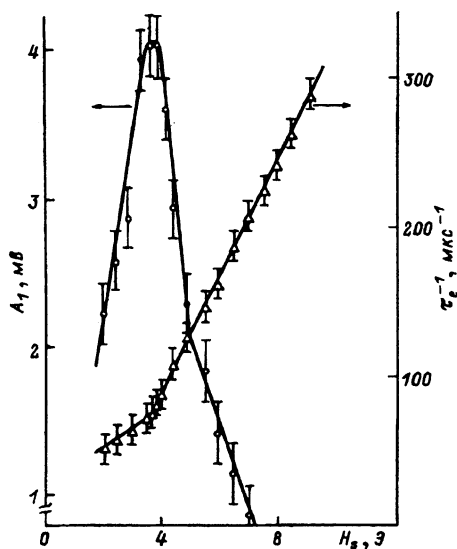


Рис. 1. Кривая импульсного перемagnичивания и зависимость амплитуды магнитоупругих колебаний A_1 от напряженности перемagnичивающего поля H_s .

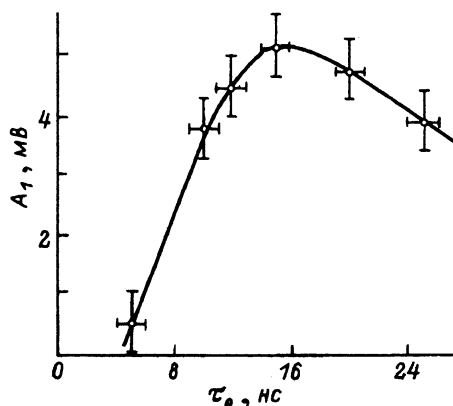


Рис. 2. Зависимость амплитуды магнитоупругих колебаний A_1 от длительности начальной стадии перемagnичивания τ_e .

длительности начальной стадии перемагничивания — по мере ослабления эффекта отставания фоновой системы от магнной — происходит существенное (в рассматриваемом случае более чем на порядок) возрастание амплитуды магнитоупругих колебаний, несмотря на отмеченное выше уменьшение избытка энергии, получаемой магнной системой от внешнего поля. С ростом длительности фронта уменьшение избытка энергии приводит в конце концов к уменьшению амплитуды колебаний.

Таким образом, рассмотренный эксперимент наглядно демонстрирует отставание фоновой системы от магнной или, пользуясь терминологией [8,9], частичное «замораживание» кристаллической решетки при временах перемагничивания ~ 10 нс. Вместе с тем эксперимент показывает, что при анализе переходных процессов в магнетиках надо с большой осторожностью пользоваться значениями λ (или α), получаемыми в опытах по ферромагнитному резонансу. Напомним, что в этих опытах измерения проводят обычно на частотах $\sim 10^3 \div 10^4$ МГц, при которых имеет место полное «замораживание» кристаллической решетки [8,9]. Отметим, что на возможность зависимости величин λ и α от частоты и угла поворота вектора намагниченности указывал еще Смит [1] в 1958 г.

Список литературы

- [1] Smith D.O. // Appl. Phys. 1958. V. 29. N 3. P. 264–273.
- [2] Колотов О.С., Погожев В.А., Телеснин Р.В. // УФН. 1974. V. 113. № 4. С. 569–595.
- [3] Landau L.D., Lifschitz E.M. // Phys. Zs. Sowjetunion. 1935. V. 8. N 2. P. 153–169.
- [4] Gilbert T.L. // Phys. Rev. 1955. V. 100. N 4. P. 1243A.
- [5] Малоземов А., Слонзуски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982.
- [6] Барьяхтар В.Г. // ЖЭТФ. 1984. V. 87. № 4. С. 1501–1508.
- [7] Baryakhtar V., Ivanov B.A., Safaryan K.A. // Solid State Commun. 1989. V. 72. N 11. P. 1117–1121.
- [8] Туров Е.Ф., Шавров В.Г. // УФН. 1983. V. 140. № 3. С. 429–462.
- [9] Diehl R., Jantz W., Nolang B.I., Wettling W. // Current Topics Mater. Sci. 1984. V. 11. N 1. P. 241–387.
- [10] Ожогин В.И., Преображенский В.Г. // УФН. 1988. V. 155. № 4. С. 593–621.
- [11] Колотов О.С., Погожев В.А., Смирнов Г.В., Швыдыко Ю.В. // ФТТ. 1987. V. 29. № 8. С. 2548–2549.
- [12] Колотов О.С., Ким Ен Хен, Красножон А.П., Погожев В.А. // Письма в ЖЭТФ. 1993. Т. 58. № 1. С. 52–55.
- [13] Колотов О.С., Погожев В.А., Телеснин Р.В. Методы и аппаратура для исследования импульсных свойств тонких магнитных пленок. М.: Изд-во МГУ, 1970.

Московский государственный университет
им.М.В.Ломоносова

Поступило в Редакцию
14 июля 1993 г.