

СВЕРХВЫСОКИЕ СКОРОСТИ ВОЛНЫ ОПРОКИДЫВАНИЯ МАГНИТНОГО МОМЕНТА В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ

А.С. Логгинов, Г.А. Непокойчицкий

Обнаружены рекордно высокие скорости волны опрокидывания магнитного момента в пленках ферритов-гранатов, более чем на порядок превышающие минимальную фазовую скорость спиновых волн и достигающие $\sim 6 \cdot 10^4$ м/сек. Показано, что в импульсных полях вплоть до эффективного поля одноосной анизотропии скорости доменных стенок не превышают Уокеровского предела.

В последнее время интенсивно исследуется динамика доменных структур в магнитоупорядоченных средах. Предельные скорости движения доменных стенок (ДС) в пленках фер-

ритов-гранатов (ФГ) обычно, [1], находятся на уровне ~ 100 м/сек, а в образцах с орторомбической анизотропией достигают $1.4 \cdot 10^3$ м/сек [2]. Значительно бóльшие скорости движения ДС экспериментально обнаружены Чёткиным в ортоферритах [3, 4], где в импульсных полях $H_{\text{имп}}$ до 3 кЭ наблюдались скорости ДС до $6 \cdot 10^4$ м/сек [5]. Существование предельной скорости движения ДС в ферромагнетиках теоретически было предсказано Уокером [6]. Ахиезер и Боровик, [7], показали, что скорость волны поворота магнитного момента в ферромагнетиках ограничена фазовой скоростью v_{ϕ} спиновых волн. В работе [8] получено аналитическое выражение v_{ϕ} для материала с анизотропией типа "легкая ось", которое справедливо для пленок ФГ. Отметим, что в перечисленных выше и других работах, например [9, 10], динамика доменных структур в магнитоупорядоченных средах с анизотропией типа "легкая ось" теоретически и экспериментально исследованы лишь в диапазоне магнитных полей H от 0 до H_K , где H_K — эффективное поле одноосной анизотропии.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования динамики перемагничивания пленок ФГ в полях $H_{\text{имп}} \gg H_K$, полученные с использованием метода высокоскоростной фотографии [11]. Подсветка исследуемого образца осуществлялась люминесцентным излучением, возбуждаемым импульсами лазера ЛГИ-21 длительностью ~ 8 нсек в оптической кювете, содержащей раствор родамина - 6G. Для усиления яркости изображения был использован электронно-оптический преобразователь УМ-93. Образцами служили пленки ФГ, выращенные методом жидкофазной эпитаксии на плоскости (111) подложек из $Gd_3Ga_5O_{12}$. В работе приведены результаты для образца состава $(BiTu)_3(FeGa)_5O_{12}$ толщиной $h \cong 10$ мкм, полем коллапса $H_0 \cong 107$ Э и $H_K \cong 1000$ Э. Импульсное поле создавалось плоской однослойной катушкой с внутренним диаметром $d = 1,3$ мм. Величина $H_{\text{имп}}(r=0)$ в центре катушки, где r — расстояние от центра катушки, в экспериментах изменялась от 0 до 4000 Э. Передний фронт $H_{\text{имп}}$ не превышал 35 нсек. В исходном состоянии образец находился в постоянном поле смещения $H_{\text{см}}$. Затем прикладывалось импульсное поле, антипараллельное $H_{\text{см}}$, и в различные моменты времени τ , отсчитываемые от середины переднего фронта $H_{\text{имп}}$, исследовалась динамика процессов перемагничивания (рис.1).

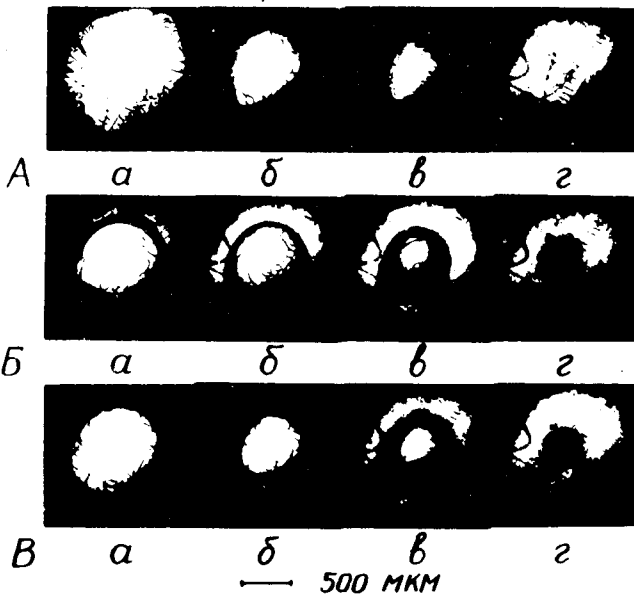


Рис.1. Динамика перемагничивания участка пленки ФГ, ограниченного плоской катушкой. $H_{\text{см}} = 86$ Э: А — $\Delta H(0) = 520$ Э, τ (нсек) — а = 0, б = 60, в = 150, г = 400; Б — $\Delta H(0) = 1000$ Э, τ (нсек) — а = 40, б = 80, в = 120, г = 200; В — $\Delta H(0) = 2000$ Э, τ (нсек) — а = 15, б = 20, в = 25, г = 35

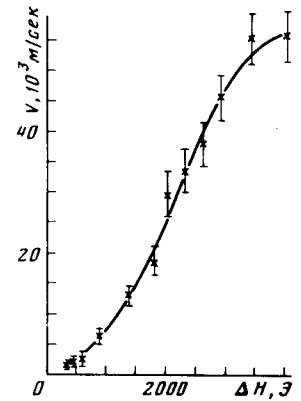


Рис.2. Зависимость скорости волны опрокидывания магнитного момента от величины действующего магнитного поля $\Delta H(0)$

Из рис. 1, А видно, что в центральной части катушки, где $\Delta H(r) = H_{\text{имп}}(r) - H_{\text{см}} < H_{\text{к}}$ процесс перемангничивания идет за счет движения ДС, а вблизи катушки, где $\Delta H(r \sim d/2) > H_{\text{к}}$ начинается процесс перемангничивания образца путем неоднородного вращения вектора намагниченности. Начавшись вблизи витков катушки, где $\Delta H(r \sim d/2)$ максимально, этот процесс быстро распространяется на область более слабых полей $\Delta H(r \rightarrow 0)$, возбуждая волну опрокидывания магнитного момента (ВОММ), движущуюся от краев катушки к ее центру. Для исследования характера движения этой волны эксперимент проводился в почти скрещенных поляроидах, что позволяет визуализировать ВОММ в виде темной кольцеобразной области (рис. 1).

Из рис. 1, А следует, что в случае $\Delta H(0) < H_{\text{к}}$ процесс перемангничивания за счет неоднородного вращения вектора намагниченности происходит по всей площади, ограниченной катушкой, за исключением некоторой строго ориентированной треугольной области в центре катушки, в которой перемангничивание происходит благодаря движению ДС (рис. 1, А - з). Для удобства эту область условно можно назвать треугольным магнитным доменом (ТМД). В экспериментах обнаружено, что существует некоторый диапазон полей $\Delta H(0) < H_{\text{к}}$, в котором, независимо от положения образца относительно катушки и ориентации $H_{\text{см}}$ и $H_{\text{имп}}$, всегда наблюдаются строго ориентированные ТМД. Если в исходном состоянии $H_{\text{см}} < H_0$, то в процессе действия импульса поля $H_{\text{имп}}$ ТМД сжимается, а внутри его наблюдается расширение магнитных доменов (рис. 1, А). Если же $H_{\text{см}} > H_0$, то наблюдается только сжатие ТМД. Исследования показали, что ориентация ТМД жестко связана с направлениями легких осей анизотропии в плоскости пленки.

В полях $\Delta H(0) > H_{\text{к}}$ перемангничивание за счет движения ВОММ происходит по всей площади образца, ограниченной катушкой (рис. 1, Б, В). По графикам пути, пройденного ВОММ, от времени определяли скорость $v_{\text{ВОММ}}$ для различных значений $\Delta H(0)$. Зависимость $v_{\text{ВОММ}}(\Delta H(0))$ приведена на рис. 2. Оценка величины минимальной фазовой скорости спиновой волны в исследованном образце по формуле [8] дает значение $v_{\text{ф}} \cong 3 \cdot 10^3$ м/сек и приблизительно совпадает с минимальной скоростью ВОММ $v_{\text{ВОММ}} \cong 2 \cdot 10^3$ м/сек. Из рис. 2 следует, что $v_{\text{ф}}$ отнюдь не является предельной скоростью для ВОММ и, что в области магнитных полей $\Delta H(0) \sim 4$ кЭ она движется со скоростью, более чем на порядок превышающей $v_{\text{ф}}$.

В исходном состоянии в образце существовала полосовая доменная структура (рис. 1). По зависимости ширины полосовых доменов от времени определялись скорости ДС. При этом из рис. 1, Б, В видно, что в сильных импульсных полях исходные полосовые домены за время движения ВОММ не успевают даже незначительно расшириться. Проведенный анализ показал, что в полях $H_{\text{имп}} \lesssim H_{\text{к}}$ и даже превышающих $H_{\text{к}}$ наблюдается насыщение скорости ДС при ~ 100 м/сек, не превосходящей предельной скорости Уокера, равной для исследуемого образца ~ 110 м/сек. Таким образом, показано, что в исследованных пленках ФГ не наблюдается заметного роста скорости ДС в сильных импульсных полях, как это имеет место в ортоферритах [3 - 5]. Следует подчеркнуть, что в полях $H_{\text{имп}} \gtrsim H_{\text{к}}$ рост зародышей с обратной к $H_{\text{см}}$ намагниченностью не наблюдался, так как процесс перемангничивания за счет неоднородного вращения вектора намагниченности является гораздо более быстрым, чем рост зародышей.

Авторы глубоко признательны М.В. Чёткину за обсуждение результатов работы и ценные замечания.

Литература

1. Рандошкин В.В., Иванов Л.П., Телеснин Р.В. ЖЭТФ, 1978, 75, 960.
2. Breed D.J., De Geus W., Enz U. J. Appl. Phys., 1980, 51, 2780.
3. Чёткин М.В., Де ла Кампа А. Письма в ЖЭТФ, 1978, 27, 168.
4. Чёткин М.В., Ахуткина А.И., Шалыгин А.Н. Письма в ЖЭТФ, 1978, 28, 700.
5. Чёткин М.В., Ахуткина А.И. ЖЭТФ, 1980, 78, 761.

6. *Walker L.* In: *Magnetism*, ed. by G.Rado & H.Suhl, v.3, Acad. Press., 1963, №4, 450.
7. *Ахиезер И.А., Боровик А.Е.* ЖЭТФ, 1967, 52, 1332.
8. *Елеонский В.М., Кирова Н.Н., Кулагин Н.Е.* ЖЭТФ, 1978, 74, 1814.
9. *Барьяхтар В.Г., Иванов Б.А., Сукстанский А.Л.* ЖЭТФ, 1980, 78, 1509.
10. *Елеонский В.М., Кирова Н.Н., Кулагин Н.Е.* ЖЭТФ, 1979, 76, 705.
11. *Иванов Л.П., Юггинов А.С., Рандошкин В.В., Телеснин Р.В.* Письма в ЖЭТФ, 1976, 23, 627.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
17 ноября 1981 г.