

МАГНИТНЫЕ ВИХРИ В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВ

Н.Н.Куделькин, В.В.Рандошкин

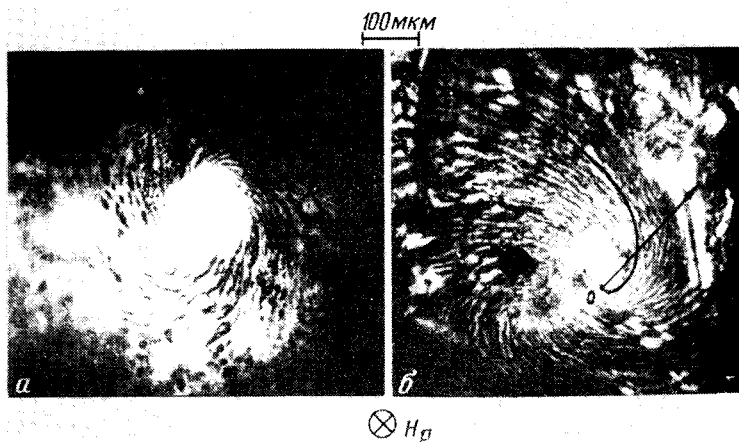
Впервые экспериментально обнаружено возбуждение магнитных вихрей в процессе импульсного перемагничивания из насыщенного состояния пленок феррит-гранатов с предельно малой диссипацией под действием пространственно-неоднородного поля с аксиальной симметрией. Исследования проводили методом высокоскоростной фотографии. Магнитные вихри интерпретируются как солитоны Россби.

В одноосных ферромагнетиках могут формироваться магнитные солитоны, причем легче всего они должны проявляться в случае предельно малой диссипации ^{1, 2}. В работе ³ экспериментально обнаружены магнитные возмущения, генерируемые доменной стенкой в процессе движения и опережающие ее, которые интерпретируются как магнитные солитоны. Однако, наиболее вероятной причиной формирования таких возмущений является процесс локального зародышеобразования ⁴.

В настоящей работе предпринята попытка экспериментально обнаружить формирование магнитных солитонов в процессе импульсного перемагничивания из насыщенного состояния ^{4 - 6} пленок феррит-гранатов с предельно малым затуханием, имеющих состав $(\text{YLuBi})_3 (\text{FeGa})_5 \text{O}_{12}$. Пленки выращивались методом жидкофазной эпитаксии на подложках $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (111) из раствора в расплаве, не содержащем PbO. Импульсное магнитное поле H_p , также как в ^{3 - 7}, создавалось расположенной у поверхности образца плоской катушкой с внутренним диаметром около 1,5 мм и обладало аксиальной симметрией. Его максимальная амплитуда в центре катушки (до 3000 Э) была выше, чем поле одноосной анизотропии в исследованных образцах. Длительность фронта импульса не превышала 25 нс. В исходном состоянии образец намагничивался до насыщения полем H_b , приложенным вдоль нормали к его плоскости, а поле H_p прикладывалось в противоположном направлении. В работе приведены данные для образца с параметрами: толщина 32 мкм, намагниченность насыщения 134 Гс, поле анизотропии 2300 Э, гиромантическое отношение $\gamma = 1,77 \cdot 10^7 \text{ Э}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$, безразмерный параметр затухания Гильберта 0,009. Исследования проводили методом высокоскоростной фотографии ^{4, 6}. Длительность импульса подсветки составляла 8 нс.

Перемагничивание начинается во время действия фронта импульса H_p вращением векторов намагниченности вблизи витков катушки, где импульсное поле максимально, угол поворота

этих векторов равен 180° . При этом формируется волна опрокидывания магнитного момента (ВОММ), движущаяся от периферии к центру; скорость перемещения ВОММ увеличивается с H_p . Ее максимальное значение, измеренное в эксперименте, достигало 60 км/с. Движение ВОММ отражает пространственное перемещение границы, на которой напряженность неоднородного поля достигает критического значения, при нарастании импульса поля. Эта граница разделяет области, где происходит и не происходит вращение намагниченности. Очевидно, что при данной длительности фронта импульса поля чем выше его амплитуда, тем быстрее в заданной точке напряженность поля достигает критического значения и тем выше скорость перемещения ВОММ.



Фотография магнитного вихря в момент времени через 15 нс после приложения импульса поля с $H_p = 1500$ Э (в центре катушки) при $H_0 = 92$ Э (рис. а) и через 50 нс после окончания импульса (рис. б)

В конце первого этапа перемагничивания примерно через 10–20 нс после приложения импульса поля в центре катушки остается неперемагниченная область, которая вследствие малой кубической анизотропии имеет не треугольную, как в ⁷, а круговую форму.

Далее процесс перемагничивания приобретает принципиально иной характер. Хотя неперемагниченная область продолжает сжиматься, но внутри нее происходит распад однородного состояния намагниченности, приводящий к формированию магнитного вихря. На рисунке приведено типичное изображение такого вихря, полученное при „фазовом контрасте” (поляризатор и анализатор скрещены). В светлых областях вектора намагниченности направлены по нормали к плоскости пленки, а в темных областях отклоняются от нее. Детали магнитного вихря, как правило, повторяются от импульса к импульсу. Анализ показывает, что струи намагниченности в этом вихре образуют логарифмическую спираль. При изменении направлений полей H_b и H_p на противоположные, направление закручивания спиралей также изменяется на противоположное. При достаточно высоком значении H_p в конце процесса перемагничивания примерно через 100 нс после приложения импульса поля магнитный вихрь стягивается в небольшую область, которая затем коллапсирует. Формирование магнитного вихря наблюдается также на срезе перемагничивающего импульса, причем закрутка спирали меняется на обратную с левой (рис. а) на правую (рис. б) относительно направления поля H_p . Вихрь, который формируется на срезе импульса поля, выражен более ярко (рис. б), поэтому он использовался для установления вида спирали. Анализ показал, что струи намагниченности в вихре образуют логарифмическую спираль. На рис. б для сравнения показана кривая $r = r_0 \exp(k\phi)$, где $r_0 = 90$ мкм, $k = \text{ctg } \alpha$, $\alpha = 43^\circ$. Возможная ошибка для α , составляющая $\pm 5^\circ$ связана с неоднозначностью определения полюса спирали.

Наблюдающиеся магнитные вихри можно интерпретировать как солитоны Россби, типичными представителями которых являются волны в океане и дрейфовые волны в плазме⁸. Траектории частиц океана, переносящих волны Россби, закручиваются силой Кориолиса, а траектории заряженных частиц плазмы – силой Лоренца. Приблизительно также происходит закручивание при движении магнитных моментов в соответствии с уравнением Ландау – Лифшица (без учета диссипации)

$$\partial \mathbf{M} / \partial t = - \gamma [\mathbf{M}, \mathbf{H}],$$

где \mathbf{M} – намагниченность, \mathbf{H} – внешнее поле. Волны Россби возникают из-за пространственного градиента силы Кориолиса и гидростатического давления, дрейфовые волны – из-за наличия градиента давления плазмы, а магнитные вихри – из-за градиента внешнего поля. Волны всех трех типов распространяются вокруг продольной оси системы перпендикулярно указанному градиентом. Так что аналогия между этими тремя типами волн является в достаточной степени полной.

Литература

1. Ахизер И.А., Боровик А.Е. ЖЭТФ, 1967, 52, 1332.
2. Барьяхтар В.Г., Иванов Б.А., Сукстанский А.Л. Письма в ЖТФ, 1979, 5, 853.
3. Иванов Л.П., Логгинов А.С., Непокойчицкий Г.А. Препринт физич. ф-та МГУ, 1982, №4/1982, 5 с.
4. Мартынов А.Ф., Рандошкин В.В., Телеснин Р.В. Письма в ЖТФ, 1982, 8, 803.
5. Иванов Л.П., Логгинов А.С., Рандошкин В.В., Телеснин Р.В. Письма в ЖЭТФ, 1976, 23, 627.
6. Мартынов А.Ф., Рандошкин В.В., Телеснин Р.В. Письма в ЖЭТФ, 1981, 34, 169.
7. Логгинов А.С., Непокойчицкий Г.А. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, 22.
8. Антипов С.В., Незлин М.В., Снежкин Е.Н., Трубников А.С. ЖЭТФ, 1982, 82, 145.

Поступила в редакцию
10 июля 1983 г.

Институт общей физики
Академии наук СССР

После переработки
10 октября 1983 г.