

УДК 537.634.2

НЕЛИНЕЙНАЯ РЕЛАКСАЦИОННАЯ ДИНАМИКА МАГНИТНОЙ И УПРУГОЙ ПОДСИСТЕМ ТОНКОЙ ФЕРРИТОВОЙ ПЛЕНКИ ВБЛИЗИ АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА

С. Н. Карпачёв, В. С. Власов^{*)}, Л. Н. Котов^{*)}

(кафедра акустики)

Исследована релаксационная динамика нелинейных магнитоупругих колебаний в тонкой ферритовой пленке, возбужденной радиочастотным магнитным полем вблизи акустического резонанса. Выявлены область существования магнитоупругих автоколебаний и порог их возбуждения в зависимости от величины постоянного поля и параметра магнитной диссипации.

Введение

В последнее время интенсивно исследуется динамика нелинейных систем. Увеличение внимания к таким исследованиям связано с важностью и фундаментальностью задачи, а также возможными практическими приложениями результатов. Например, явление резонансного взаимодействия переменного поля с системой ферритовых частиц может быть положено в основу создания устройств памяти и магнитоакустических преобразователей [1, 2]. Поведение магнитной подсистемы пленок и частиц без учета магнитоупругой связи исследовано в работах [1, 3]. В то же время магнитоупругая связь может существенно изменять времена релаксации магнитной и упругой подсистем реальных ферромагнитных образцов, особенно в области магнитоакустического резонанса [4]. До сих пор не существует экспериментальной техники, позволяющей исследовать эффекты, обусловленные магнитоупругой СВЧ-динамикой, во время действия мощного импульсного радиочастотного поля. Таким образом, задача моделирования магнитоупругих явлений, происходящих в тонкой ферритовой пленке, возбужденной СВЧ-полем, является важной и актуальной. Настоящая работа посвящена решению части этой задачи и описанию релаксационной динамики магнитоупругих колебаний в пленках и их релаксации вблизи акустического резонанса (АР).

Модель и основные уравнения

Рассмотрим монокристаллическую ферритовую пленку, имеющую кубический тип кристаллической решетки. Пусть внешнее постоянное поле H_0 направлено перпендикулярно плоскости пленки, вдоль оси z и кристаллографического направления $[001]$ и H_0 больше величины поля насыщения H_S . Рассмотрим случай поперечной накачки, когда внешнее переменное поле направлено вдоль оси x . Воз-

буждение пленки осуществляется на частоте нелинейного ферромагнитного резонанса (ФМР). Для выбранной геометрии задачи на частоте ФМР параметрический распад не происходит [5]. Поэтому в работе учитывались лишь однородные колебания намагниченности.

Для описания магнитоупругих колебаний пленки используем систему уравнений, состоящую из уравнения Ландау–Лифшица в форме Гильберта [3], и уравнение для вектора механического смещения u [2]. Граничные условия учитывались отсутствием механического напряжения на поверхности пленки. При рассмотрении одной свободной ферритовой пленки продольная звуковая волна оказывается не связанной с магнитной подсистемой. Для этого случая компонента механического смещения u_z не учитывалась. Усредняя систему по координате z внутри пленки, получим бесконечномерную систему нелинейных дифференциальных уравнений. Для упрощения описания явления АР в системе учитываем слагаемые, соответствующие только первой акустической моде. При этом бесконечномерная система преобразуется в систему из четырех уравнений. Численное решение системы находилось при помощи метода Рунге–Кутты 8-го порядка. При расчетах использовались параметры ферритового материала пленки из марганцево-цинковой шпинели состава $Mn_{0.42}Zn_{0.44}Fe_{2.145}O_4$ при комнатной температуре [2]. Частота релаксации в упругой подсистеме Γ при всех расчетах была постоянной.

Результаты расчетов и их обсуждение

На основе решений системы проведен анализ динамики магнитной и упругой подсистем пленки вблизи АР. При отсутствии магнитоупругой связи вектор намагниченности выходит на стационарную орбиту прецессии, где совершает нутационное дви-

^{*)} Сыктывкарский государственный университет, физический ф-т, кафедра радиофизики и электроники.

жение на частотах, кратных удвоенной частоте переменного поля [5]. Параметры орбиты определяются величиной внешних полей и константами материала. При выполнении условий АР ($\omega \approx \Omega_1$, ω — частота переменного поля, Ω_1 — частота АР) колебания намагниченности испытывают аномальную релаксацию (рис. 1). В результате вектор намагниченности за некоторое время τ_r , еще при действии переменного поля, релаксирует к первоначальному положению, около которого колеблется с небольшой амплитудой. Основная причина аномального релаксационного поведения намагниченности заключается в существовании значительно отличия (на 2–3 порядка) времен релаксации магнитной и упругой подсистем пленки. Результаты исследования зависимостей τ_r от H_0 , амплитуды переменного поля h_0 и параметра магнитной диссипации α приведены в работе [6].

При наличии небольшой относительной расстройки частоты переменного поля от частоты АР $\xi = (\omega - \Omega_1)/\omega$ возникают магнитоупругие автоколебания во время действия переменного поля начиная с некоторой амплитуды, которую можно назвать порогом возбуждения автоколебаний. Этот процесс характеризуется «неустойчивой» аномальной релаксацией намагниченности. При этом устойчивыми орбитами движения вектора намагниченности являются орбита прецессии при слабой магнитоупругой

связи и орбита прецессии при точном соблюдении условий АР. Автоколебания имеют порог гашения, для которого амплитуда поля находится выше, чем для порога возбуждения. Они наблюдаются в ограниченных интервалах времени магнитной релаксации и величины постоянного поля. Рис. 2 иллюстрирует зарождение автоколебаний. Если порог возбуждения автоколебаний не достигнут, то колебания намагниченности подобны случаю отсутствия магнитоупругой связи (рис. 2, а). При этом упругие колебания и колебания намагниченности слабо связаны друг с другом. На рис. 2, б амплитуда переменного поля незначительно превышает амплитуду порога возбуждения автоколебаний. При этом имеется связь упругих и магнитных колебаний. Энергия за один период автоколебаний передается сначала из магнитной в упругую подсистему, а затем, наоборот, из упругой подсистемы в магнитную. Далее процесс циклично повторяется. На рис. 3 изображена зависимость амплитуды порога возбуждения автоколебаний (амплитуды поля h_{thr}) от α и от постоянного поля. Амплитуда поля h_{thr} немонотонно возрастает с увеличением α и величины постоянного поля. На рис. 3 присутствует «тонкая структура» зависимости амплитуды порога возбуждения автоколебаний от α и величины постоянного поля. Она показывает осциллирующий характер роста амплитуды порога возбуждения при увеличении α .

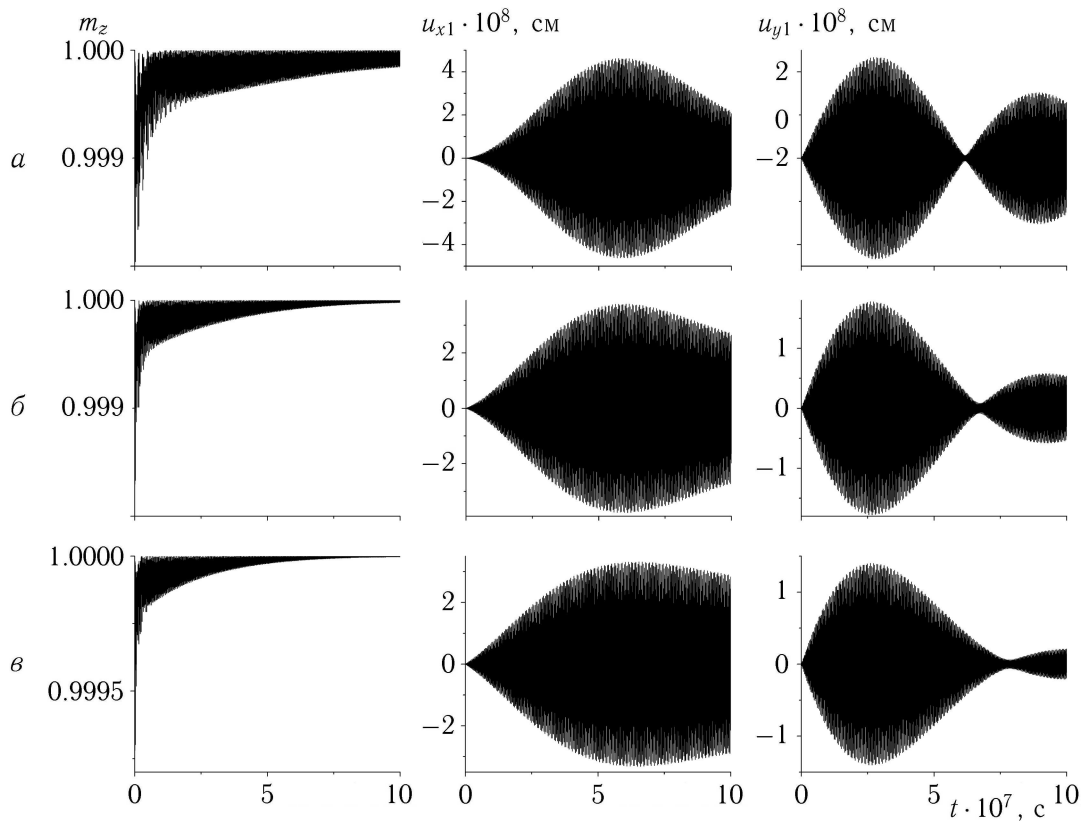


Рис. 1. Временные зависимости компонент единичного вектора намагниченности m_z , первой моды упругого смещения u_{x1} , u_{y1} при точном соблюдении условия акустического резонанса. $H_0 = H_S + 10$ Э, $h_0 = 5$ Э, $\Gamma = 10^5$ с⁻¹, $\alpha = 0.1$ (а), 0.3 (б) и 0.5 (в)

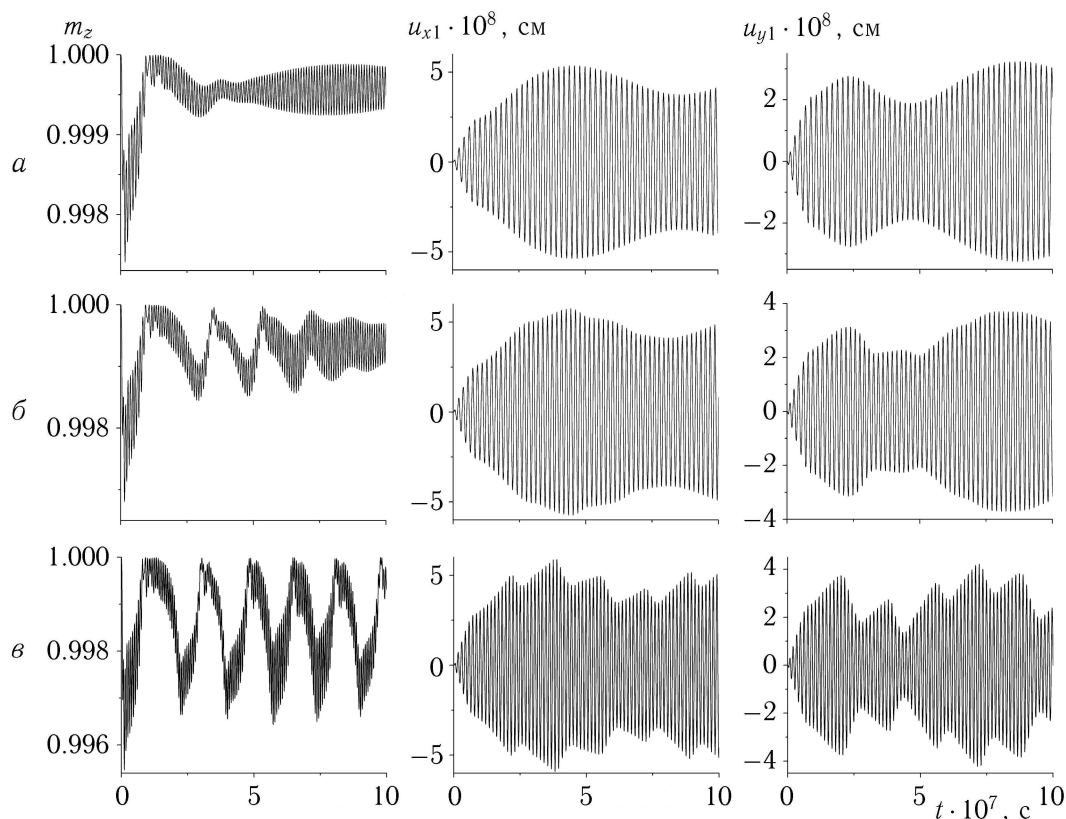


Рис. 2. Временные зависимости компонент единичного вектора намагниченности m_z , первой моды упругого смещения u_{x1} , u_{y1} при различных амплитудах переменного поля вблизи акустического резонанса. $H_0 = H_S + 10$ Э, $\alpha = 0.2$, $\Gamma = 10^5$ с $^{-1}$, $\xi = 0.15$, $h_0 = 0.8$ Э (а), 1 Э (б) и 1.5 Э (в)

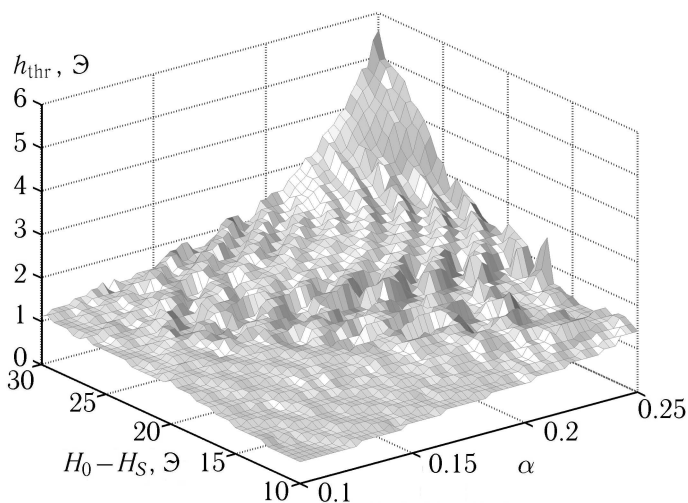


Рис. 3. Зависимость амплитуды порога возбуждения автоколебаний от разности $H_0 - H_S$ и α . $\Gamma = 10^5$ с $^{-1}$, $\xi = 0.15$

Заключение

В работе выявлены нелинейные релаксационные режимы магнитоупругих колебаний в ферритовой тонкой пленке вблизи акустического резонанса. Определена амплитуда порога возбуждения маг-

нитоупругих автоколебаний в широком интервале значений α . Обнаружено, что при автоколебательном режиме магнитоупругая связь имеет скачкообразный характер в зависимости от амплитуды переменного поля. При создании магнитоакустических ВЧ- и СВЧ-устройств необходимо учитывать релаксационные эффекты, предсказанные в работе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 06-02-17302).

Литература

1. Котов Л.Н., Носов Л.С. // ПЖТФ. 2003. **29**, № 20. С. 38.
2. Голдин Б.А., Котов Л.Н., Зарембо Л.К., Карначёв С.Н. Спин-фононные взаимодействия в кристаллах (ферритах). М., 1991.
3. Гуревич А.Г., Мелков Г.А. Магнитные колебания и волны. М., 1994.
4. Vlasov V.S., Kotov L.N., Asadullin F.F. // ЖММ. 2006. **300**, N 1. P. e48.
5. Шутый А.М., Семенов Д.И. // ФТТ. 2002. **44**, № 4. С. 734.
6. Власов В.С., Котов Л.Н., Асадуллин Ф.Ф. // Сб. трудов НММ XX. М., 2006. С. 668.

Поступила в редакцию
22.09.06