

Магнитно-резонансный силовой микроскоп на базе зондового комплекса "Solver HV"

Е. В. Скороходов¹, М. В. Сапожников¹, А. Н. Резник¹, Р. В. Горев¹, В. В. Поляков²,
В. А. Быков², А. П. Володин³, В. Л. Миронов^{1*}

¹ Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая, 7, Нижний Новгород, 607680, Россия.

² NT-MDT Spectrum Instruments, проезд № 4922, 4 стр. 3, г. Москва, Зеленоград, 124460, Россия

³ KU Leuven, Afdeling Vaste-stoffysica en Magnetisme, Celestijnenlaan 200 D, BE-3001 Leuven, Belgium

*miroнов@ipmras.ru

Обсуждаются конструкция и алгоритмы работы модифицированного зондового микроскопа "Solver-HV" в режиме магнитно-резонансной силовой микроскопии. Приводятся результаты тестовых экспериментов по исследованию ферромагнитного резонанса в магнитных наноструктурах.

Введение

В последнее время бурное развитие получила магнитно-резонансная силовая микроскопия, основанная на детектировании высокочастотных колебаний магнитного момента электронов и ядер вещества с помощью чувствительного механического датчика в виде упругой консоли (кантилевера) с малой жесткостью [1-3]. В магнитно-резонансном силовом микроскопе (МРСМ) производится накачка образца СВЧ полем, модулированным по амплитуде на резонансной частоте кантилевера, что обеспечивает рекордную чувствительность такой схемы детектирования магнитных резонансов. Пространственное разрешение определяется областью взаимодействия магнитного зонда с образцом. В настоящей работе описывается простая конструкция МРСМ, предназначенного для регистрации спектров ферромагнитного резонанса (ФМР) в тонкопленочных магнитных структурах.

Конструкция микроскопа

Нами разработан МРСМ на основе сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) "Solver HV" (компания «НТ-МДТ», Зеленоград). Общий вид микроскопа приведен на рис. 1. МРСМ состоит из платформы (1) с двумя электромагнитами (2) и (3) (поле в плоскости и перпендикулярно поверхности образца), столика образца (4) с СВЧ трактом и измерительной головки. СЗМ головка устанавливается на платформе над образцом с возможностью перемещения по осям x , y , z . Головка перемещается в плоскости образца в диапазоне ± 2 мм с помощью шагового двигателя (минимальный шаг позиционирования – 0.1 мкм).

Сканирование образца зондом осуществляется с помощью трубчатого пьезо-сканера. Размер максимальной области сканирования 100×100 мкм. Динамический диапазон перемещений по оси z составляет ± 1 мкм.

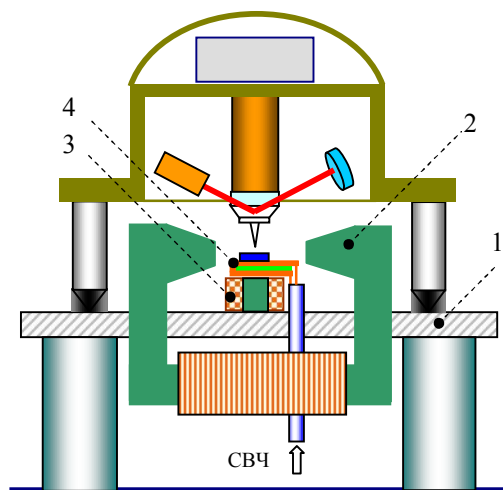


Рис. 1. Схематическое изображение установки МРСМ.

Головка устанавливается на основание, оснащенное магнитами постоянного тока. Магнитное поле в плоскости образца изменяется в диапазоне 0 - 1 кЭ, а в направлении перпендикулярном плоскости образца в диапазоне 0 - 500 Э.

Функциональная схема установки МРСМ приведена на рис. 2. Для СВЧ накачки используется широкополосный перестраиваемый синтезатор частот SPS20 (компания «Спектран», Саратов), работающий в диапазоне частот от 9 кГц до 20 ГГц (выходная мощность от -10 дБм до +20 дБм).

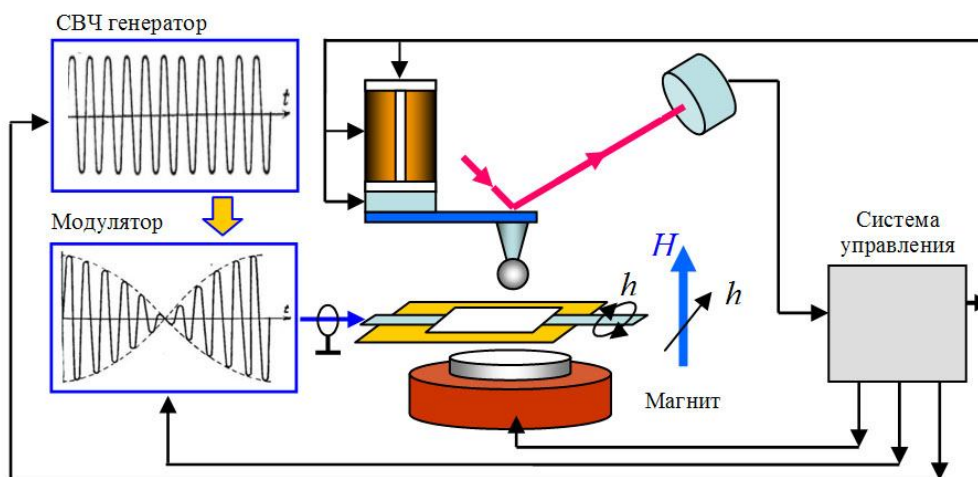


Рис. 2. Функциональная схема магнитно-резонансного силового микроскопа.

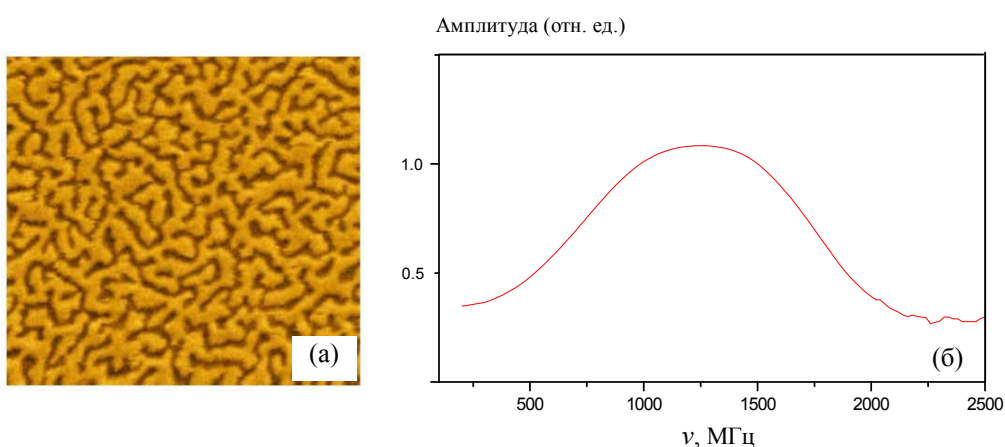


Рис. 3. (а) Изображение доменной структуры пленки Co/Pt магнитно-силовым микроскопом. (Размер кадра 5×5 мкм). (б) MRFM спектр пленки Co/Pt в размагниченном состоянии.

СВЧ излучение накачки модулируется на резонансной частоте кантилевера и подводится к образцу с помощью планарного микрополоскового волновода. Разработано программное обеспечение, позволяющее регистрировать зависимости амплитуды и фазы колебаний кантилевера от частоты СВЧ накачки ν и внешнего магнитного поля H .

В эксперименте в качестве зондов использовались стандартные зондовые датчики NSG-1, у которых пирамидальное острие покрывалось слоем Co толщиной 30-50 нм. Для интерпретации результатов измерений была разработана программа по расчету MRFM отклика образцов [4]. Моделирование проводилось на основе численного решения уравнения Ландау-Лифшица для намагниченности образца с использованием программного пакета OOMMF.

В качестве примера, на рис. 3 приведены доменная структура и спектр ферромагнитного резонанса доменных стенок в многослойной пленке Co/Pt с перпендикулярной анизотропией. Доменная

структура Co/Pt (рис. 3а) создает интенсивные поля рассеяния в области над образцом. Данному состоянию соответствует широкий резонанс с максимумом в области 1.3 ГГц (рис. 3б). При намагничивании образца во внешнем поле состояние намагниченности становится однородным и данный резонанс пропадает.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 16-02-10254).

Сайт проекта: <http://mrfm.ipmras.ru/>.

Литература

1. P.C. Hammel, D.V. Pelekhov, P.E. Wigen *et al.* // Proceedings IEEE, V. 91, 789 (2003).
2. D. Rugar, R. Budakian, H.J. Mamin, B.W. Chui // Nature, V. 403, 329 (2004).
3. O. Klein, G. De Loubens, V.V. Naletov *et al.* // Phys. Rev. B, V. 78, 144410, (2008).
4. E.V. Skorohodov, R.V. Gorev, R.R. Yakubov *et al.* // J. Magn. Magn. Mat., V. 424, 118 (2017).