

05;11;12

Магнитооптическая установка для исследования динамических свойств доменных границ в тонких ферромагнитных пленках

© А.В. Семиров, Б.В. Гаврилюк, А.А. Руденко, В.О. Кудрявцев, Н.П. Ковалева

Иркутский государственный педагогический университет,
664011 Иркутск, Россия
e-mail: semirov@isttu.irk.ru

(Поступило в Редакцию 9 февраля 2005 г.)

Разработана магнитооптическая установка Керра для исследования динамических свойств доменных границ в тонких ферромагнитных пленках во внешних магнитных полях в температурном интервале 20–150°C. В установке реализован метод прерываемого намагничивания с визуализацией магнитной структуры на основе меридионального эффекта Керра. Изображение доменной структуры выводится на монитор персонального компьютера с помощью высокоразрешающей цифровой видеокамеры Nikon DXM 1200. Разработанное программное обеспечение позволяет автоматизировать процессы измерения и обработки экспериментальных данных.

Одним из направлений исследований в физике твердого тела является изучение процессов перемагничивания ферромагнитных материалов. Наиболее полную информацию о физике переходных процессов можно получить только при непосредственном наблюдении магнитной структуры образцов и исследовании изменений этой структуры в результате перемагничивания. Исследования массивных магнитных материалов затруднены в связи с отсутствием возможности наблюдения их внутренней магнитной структуры. Тонкие же ферромагнитные пленки имеют сквозную по толщине доменную структуру, поэтому импульсные процессы в них протекают в условиях более простых, чем в массивных материалах. Являясь в основном вакуумными конденсатами, тонкие ферромагнитные пленки также имеют зеркальную отражающую поверхность, что делает принципиально возможным наблюдение динамики доменной структуры, применяя для этого магнитооптический эффект Керра. Преимущество магнитооптического метода наблюдения перед другими методами заключается в том, что он не оказывает влияния на процессы перемагничивания пленок и на структуру доменных границ.

Для исследования динамических свойств доменных границ в тонких магнитных пленках была разработана и изготовлена установка, блок-схема которой показана на рис. 1. Оптическая часть установки состоит из источника света *1*, в качестве которого используется галогеновая лампа, системы линз *2* и *3* и поляризационного фильтра *4* для формирования параллельного пучка плоскополяризованного света, поляроида-анализатора *5*, оптической системы *6* микроскопа, адаптированной для работы с цифровой видеокамерой *7*.

Так как угол поворота плоскости поляризации зависит от ориентации вектора намагниченности относительно плоскости падения светового луча, следовательно, можно так настроить анализатор *5*, что принимаемое видеокамерой *7* изображение будет состоять из темных и светлых областей, соответствующих разным ориен-

тациям вектора намагниченности в исследуемом образце (рис. 2).

Увеличение оптической части установки дискретно изменяется в пределах 10–100[×]. Применение цифровой видеокамеры Nikon DXM1200 позволяет получать изображение исследуемого участка с разрешением до 3840 × 3072 pix и временем экспозиции от 80 μs до 700 s.

Поскольку вращение плоскости поляризации света при отражении от поверхности тонкой ферромагнитной

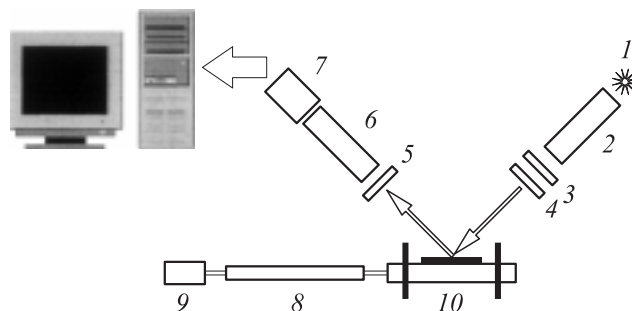


Рис. 1. Блок-схема импульсной магнитооптической установки Керра: *1* — источник света; *2* — система линз; *3* — диафрагма; *4* — поляризатор; *5* — анализатор; *6* — оптическая система микроскопа; *7* — цифровая видеокамера Nikon DXM1200; *8* — трубка с нагревательным элементом; *9* — воздушный компрессор; *10* — система перемагничивающих колец.

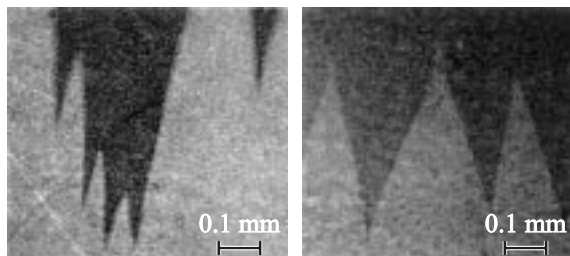


Рис. 2. Примеры фотографий доменных границ, визуализированных меридиональным эффектом Керра.

пленки малой, получаемое видеокамерой изображение имеет низкую контрастность. Для ее повышения оно подвергается цифровой программной обработке.

В настоящей установке для исследования процессов движения доменных границ применен метод прерываемого намагничивания [1,2]. Суть данного метода заключается в том, что образец подвергается воздействию одиночных либо периодических прямоугольных импульсов магнитного поля с временем следования, много большим времени релаксации доменной границы.

В методе прерываемого намагничивания средняя скорость движения доменной границы определяется как отношение расстояния, пройденного границей при перемагничивании, к общему времени перемагничивания. При этом необходимо соблюдение следующих условий: время нарастания и среза перемагничивающего импульса много меньше длительности импульса; вершина перемагничивания прямоугольного импульса должна быть однородной.

Так как перемагничивающим устройством являются низкоиндуктивные кольца Гельмгольца с малым активным сопротивлением, то для создания магнитных полей требуемой напряженности необходимо формирование прямоугольных импульсов тока амплитудой до 100 А. В данной установке для получения прямоугольных перемагничивающих импульсов используется генератор с разрядной линией в виде коаксиального кабеля [1]. В качестве коммутатора использован тиратрон, время ионизации которого составляет 10–15 ns. Суммарное время нарастания и спада прямоугольного импульса не превышает 50 ns при длительности импульса более 0.5 μ s. Поджигающие импульсы для тиратрона формируются генератором прямоугольных импульсов с возможностью ручного однократного запуска.

Длительность импульсов тока регулируется длиной накопительного кабеля, а амплитуда — напряжением зарядки кабеля.

Поскольку прямоугольность формы перемагничивающего импульса имеет принципиальное значение в методе прерываемого намагничивания, то для ее контроля используется осциллограф, работающий в ждущем режиме с внешней синхронизацией от генератора поджигающих импульсов.

Нагрузкой генератора перемагничивающих импульсов служат двухвитковые кольца Гельмгольца 1 (рис. 3). Использование в паре с генератором низкоиндуктивных перемагничивающих колец позволяет формировать прямоугольные импульсы магнитного поля длительностью от 500 ns до 10 μ s и амплитудой от 80 А/м до 4 кА/м. Двухвитковые кольца Гельмгольца конструктивно являются частью перемагничивающего устройства, которое кроме импульсных магнитных полей позволяет дополнительно воздействовать на образец однородными взаимно ортогональными магнитными полями (рис. 3).

Перемагничивающее устройство (рис. 3) состоит из трех пар колец Гельмгольца и полый керамической подставки со слюдяной подложкой, на которую помещается

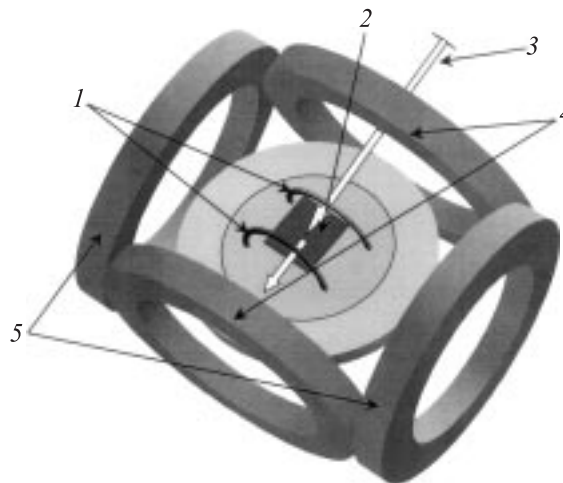


Рис. 3. Внешний вид перемагничивающего устройства (пропорции не соблюдены). 1 — двухвитковые перемагничивающие кольца; 2 — исследуемый образец на подставке со слюдяной подложкой; 3 — направление распространения светового луча; 4, 5 — пары колец Гельмгольца, создающих взаимно ортогональные магнитные поля.

исследуемый образец. Пары колец 4 и 5 используются для создания однородных взаимно ортогональных магнитных полей напряженностью до 16 кА/м. Для питания колец 4, 5 (рис. 3) используются стабилизированные источники тока.

Для исключения влияния внешних магнитных полей как природного, так и техногенного происхождения перемагничивающее устройство размещается внутри компенсационной системы из колец Гельмгольца, создающей ортогональные трехосные магнитные поля (на рисунках не показаны).

Для проведения температурных исследований динамических свойств доменных границ дополнительно к перемагничивающему устройству была изготовлена термоприставка (рис. 1), состоящая из воздушного компрессора 9 и медной трубки с нагревательным элементом 8. Нагнетаемый компрессором воздух пропускается через медную трубку с нагревательным элементом и затем поступает во внутреннюю полость подставки перемагничивающего устройства, где увеличивает температуру слюдяной подложки с лежащим на ней образцом. Температуру образца можно варьировать в пределах 20–150 °С изменением напряжения питания нагревателя.

Контроль температуры осуществляется при помощи термодпары, вмонтированной в перемагничивающее устройство и цифрового вольтметра. Погрешность определения температуры образца указанным способом не превышает 2%.

Для автоматизации процесса измерения было разработано специальное программное обеспечение, позволяющее определять величину перемещения доменной границы и автоматически сохранять результаты в файл электронных таблиц.

Величина перемещения доменной границы вдоль осей трудного и легкого намагничивания определяется по изменению координат курсора, которым указываются начальное и конечное положения границы на экране монитора. Имеется возможность одновременно фиксировать до трех контрольных точек доменной границы.

В ходе эксперимента помимо значений измеренных перемещений в электронную таблицу заносится информация о названии образца, его температуре, а также о числе перемещающих импульсов и величинах действующих магнитных полей.

С целью повышения достоверности результатов эксперимента в программе предусмотрена возможность статистической обработки результатов, полученных при одинаковых условиях эксперимента.

Таким образом, использование методов цифровой обработки изображения, а также применение программных средств регистрации и обработки данных эксперимента позволяют быстро и эффективно проводить исследование по изучению динамических свойств доменных границ на разработанной магнитооптической установке Керра.

Установка создана при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Программы по развитию приборной базы научных исследований.

Список литературы

- [1] Колотов О.С., Погужев В.А., Телеснин Р.В. Методы и аппаратура для исследования импульсных свойств тонких магнитных пленок. М.: МГУ, 1970. 192 с.
- [2] Семиров А.В., Гаврилюк А.В. // ФММ. 1999. Т. 87. № 2. С. 44–53.