

А. В. ЧЖАН, Г. С. ПАТРИН, А. Г. ЗАДВОРНЫЙ, В. А. СЕРЕДКИН

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ДОМЕННЫХ СТРУКТУР В ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Показана возможность использования устройств, снабженных приборами с зарядовой связью, для определения магнитных характеристик ферромагнитных материалов.

Ключевые слова: спектральная характеристика, инфракрасное излучение, светодиод, доменная структура, матрица, поляризатор.

Всестороннее изучение доменных структур (ДС) в ферромагнетиках как в статическом, так и в динамическом режиме является одним из важных направлений исследования магнитных материалов. Характеристики ДС зависят от геометрических размеров, формы и материала образцов, а также намагниченности, анизотропии и обменной энергии. Поэтому исследуя ДС, можно получить дополнительную информацию о магнитных свойствах материала, которая позволит прогнозировать эффективность магнитных преобразователей, так как размеры доменов и их конфигурация во многом определяют величину магнитной проницаемости. Экспериментальное наблюдение ДС обычно проводится в видимом диапазоне светового излучения. Но это не всегда возможно в силу спектральных характеристик исследуемых веществ.

В настоящей работе приведены результаты изучения ДС с помощью web-камеры, светодиодов и широкополосных поляризаторов как в видимой, так и в невидимой части спектра, показана возможность определения магнитных параметров локальных участков образца.

В последнее время активно изучаются возможности существенного повышения пропускной способности информационных систем с помощью оптических методов обработки информации. Однако использование оптоэлектронных систем во многих случаях сдерживается отсутствием эффективных средств записи оптической информации, а также быстродействующих широкополосных фотоприемников. Фотоэмульсионные среды не допускают многократной перезаписи, электронно-оптические преобразователи (ЭОП) сложны и не обеспечивают высокой плотности записи. Кроме того, они чувствительны лишь в ближнем ИК-диапазоне ($\lambda = 800$ нм) [1].

Представляется перспективным применение устройств, которые позволяют исследовать особенности формирования ДС в динамическом режиме в широкой спектральной области. Для подобных исследований наиболее подходят приборы, способные работать в режиме реального времени и визуализировать излучение ближнего инфракрасного диапазона. Этим условиям удовлетворяют устройства, снабженные приборами с зарядовой связью (ПЗС). Их фоточувствительный элемент — кремниевая матрица — определяет спектральную характеристику прибора в целом. Спектральная чувствительность ПЗС-матрицы лежит в диапазоне от 0,1 (рентгеновское и гамма-излучение) до 1100 нм. В реальных приборах диапазон снижается вследствие ограниченного спектрального оптического тракта. В настоящее время выпускаются web-камеры, способные работать в диапазоне длин волн до 1700 нм [2].

В естественном свете визуализация ДС невозможна, требуется наличие поляризатора в оптическом тракте. Наиболее распространенные оптические поляризаторы (герпатитовые, призмы Николя) обладают поляризационной способностью только в ближнем участке инфракрасного спектра, при их использовании необходимо учитывать следующие моменты. Если

источником света служит лампа накаливания, то часть отраженного от образца излучения в ИК-области остается неполяризованной. Так как web-камера чувствительна в широкой области, то ИК неполяризованная часть излучения будет засвечивать матрицу, при этом изображение ДС получить невозможно. Поэтому для подсветки ДС необходимы некогерентные (для исключения интерференционных полос) источники света, обладающие высокой яркостью, с узким спектральным диапазоном.

Наиболее удобно применять светодиоды. В отличие от лазерного излучения свет от светодиодов некогерентный. В то же время излучение светодиодов имеет достаточно узкую спектральную линию ($\Delta\lambda \approx 15\text{—}30\text{ нм}$) в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра, что позволяет выбрать необходимую для исследования длину волны.

Исследования проводились на установке, структурная схема которой приведена на рис. 1 (1 — источник линейно-поляризованного света, 2 — оптический фильтр, 3 — образец, 4 — кольца Гельмгольца, 5 — анализатор, 6 — оптический микроскоп, 7 — ПЗУ-матрица web-камеры, 8 — компьютер, 9 — монитор, 10 — источник переменного тока). В качестве регистрирующего устройства использовалась web-камера типа Vimicro USB PC Camera (ZC0301PLH). Источником света служил светодиод мощностью 5 Вт с длиной волны излучения 600 нм.

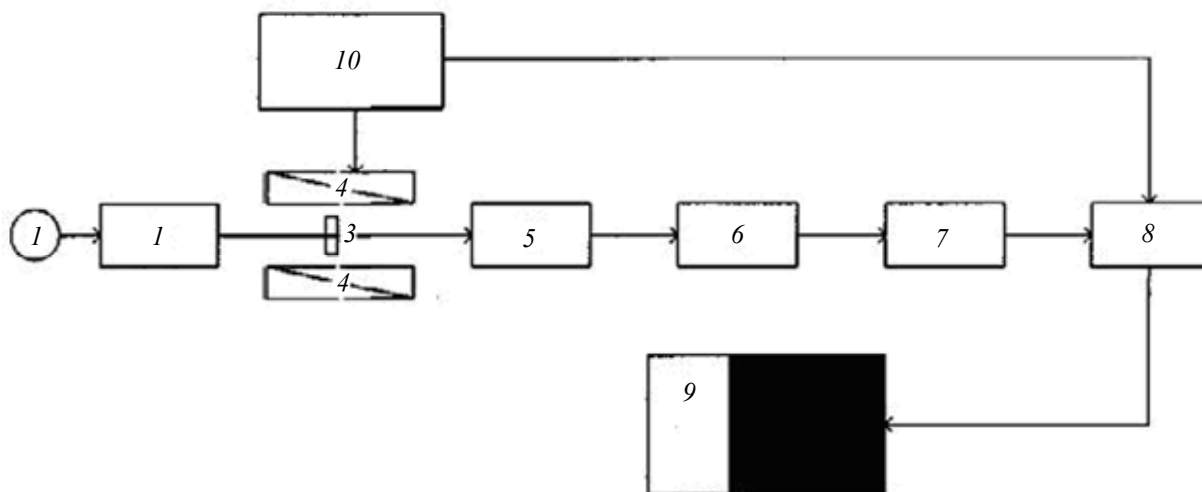


Рис. 1

На рис. 2, а приведено изображение доменной структуры, полученное с применением меридионального эффекта Керра с поверхности тонкой магнитной пленки Co—P.

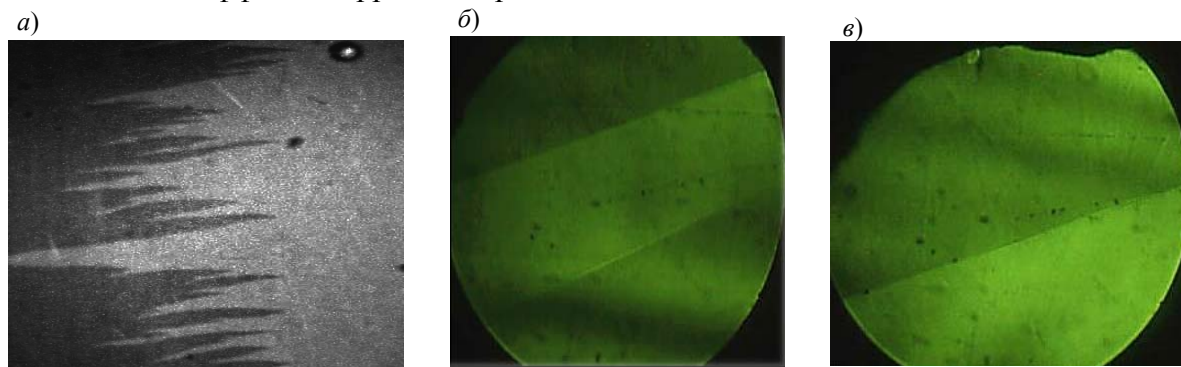


Рис. 2

Визуальное наблюдение ДС с использованием эффекта Фарадея возможно лишь в том случае, если материал прозрачен в видимой области. На рис. 2, б, в приведены изображения ДС гематита, полученные с помощью эффекта Фарадея и зарегистрированные web-камерой в невидимой части спектра. В видимой части спектра гематит непрозрачен (край оптического

поглощения этого соединения находится в области 900 нм). На рис. 2, в видно, что на ДС гематита, которая впервые исследовалась в работе [4], проявляются дополнительные магнитные неоднородности в виде темных и светлых полос, направленных перпендикулярно магнитному полю. Физическая природа возникновения таких полос не совсем ясна. Ранее такие структуры наблюдались в борате железа [5], прозрачном в видимом диапазоне излучения и, так же как гематит, являющемся слабым ферромагнетиком с ромбоэдрической элементарной ячейкой.

Web-камеры можно применять для определения таких характеристик, как магнитная проницаемость, прямоугольность петли гистерезиса, коэрцитивная сила локальных участков образца. Для этого достаточно записать в реальном времени цикл перемагничивания с большой площади образца. Затем при воспроизведении этого видеофайла на экране монитора можно выделить локальные участки и воспроизвести кривые перемагничивания искомых участков.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №11–0200695-А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Середкин В. А., Столяр С. В., Фролов Г. И., Яковчук В. Ю. // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30, вып. 19. С. 46—52.
2. Неизвестный С. И., Никулин О. Ю. // Специальная техника. 1999. № 5. С. 17—29.
3. Формозов Б. Н. Аэрокосмические фотоприемные устройства видимого и инфракрасного диапазонов. СПб: БГТУ „Военмех“, 2004. 127 с.
4. Eaton J. A. and Morrish A. H. // J. Appl. Phys. 1969. Vol. 40, N 8. P. 3180—3185.
5. Haisma J. H., Stasy W. T. // J. Appl. Phys. 1973. Vol. 44, N 7. P. 3367—3369.

Сведения об авторах

- Анатолий Владимирович Чжан** — канд. физ.-мат. наук, доцент; Институт физики им. Л. В. Киренского РАН, Красноярск; E-mail: avchz@mail.ru
- Геннадий Семенович Патрин** — д-р физ.-мат. наук, профессор; Сибирский федеральный университет, кафедра общей физики, Красноярск; заведующий кафедрой; E-mail: patrin@iph.krasn.ru
- Александр Григорьевич Задворный** — канд. техн. наук, доцент; Сибирский федеральный университет, Сибирский государственный аэрокосмический университет, кафедра технической физики, Красноярск; E-mail: angara@inbox.ru
- Виталий Александрович Середкин** — канд. физ.-мат. наук, доцент; Институт физики им. Л. В. Киренского РАН, Красноярск; E-mail: sva@iph.krasn.ru

Рекомендована кафедрой
общей физики

Поступила в редакцию
11.06.11 г.