

Бровин Михаил Александрович

МАГНИТООПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННО НЕОДНОРОДНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Статья посвящена разработке устройства для наблюдения и регистрации распределения намагниченности ферромагнитных материалов, подвергшихся воздействию лазерного излучения. В последнее время для электротехнической промышленности важной задачей является создание материалов с управляемыми магнитными свойствами. Таким образом, необходимо осуществлять контроль качества этих материалов, вследствие чего проведение исследований в данном направлении является актуальным.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2014/7/11.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2014. № 7 (85). С. 44-46. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2014/7/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

УДК 535.548

Технические науки

Статья посвящена разработке устройства для наблюдения и регистрации распределения намагниченности ферромагнитных материалов, подвергшихся воздействию лазерного излучения. В последнее время для электротехнической промышленности важной задачей является создание материалов с управляемыми магнитными свойствами. Таким образом, необходимо осуществлять контроль качества этих материалов, вследствие чего проведение исследований в данном направлении является актуальным.

Ключевые слова и фразы: распределение намагниченности; магнитооптика; эффект Фарадея; лазерная обработка; ферромагнетик.

Бровин Михаил Александрович

*Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики
brovin.m.a@gmail.com*

МАГНИТООПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННО НЕОДНОРОДНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ[©]

Одной из задач современного материаловедения является получение функциональных материалов с заранее заданными физическими характеристиками. Такие материалы после проведения соответствующей обработки (как правило, термической) обладают высокими динамическими магнитными характеристиками, что позволяет использовать их для изготовления деталей специальной техники [1].

В последнее время возросло количество применяемых в промышленности и технике ферромагнитных изделий. Основными характеристиками таких материалов являются удельные магнитные потери и магнитная индукция. Магнитные потери можно разделить на две составляющие: гистерезисную и вихретоковую. Современные технологии изготовления ферромагнитных материалов позволяют снизить гистерезисную составляющую до минимума. Поэтому основной вклад в потери вносит именно вихретоковая составляющая (до 80%). Уменьшение ширины основных магнитных доменов должно приводить к заметному снижению магнитных потерь. Одним из способов уменьшения ширины основных доменов является создание структурных барьеров. Эти структурные барьеры могут быть созданы с использованием лазерного излучения, которое может локальным образом изменить фазовый состав металла с мартенситного на аустенитный при нагреве до температуры фазового перехода, а, следовательно, и локально изменить ферромагнитные свойства материала на парамагнитные [3].

Автором была разработана схема магнитооптического устройства для наблюдения и регистрации распределения намагниченности ферромагнитных образцов, подвергшихся воздействию лазерного излучения. Также было проведено экспериментальное исследование ферромагнитного образца, обработанного лазерным излучением.

В основу действия системы положен эффект Фарадея, который связан с двойным круговым преломлением, т.е. с различием комплексных показателей преломления право- и лево-поляризованных по кругу волн. Действительная часть двупреломления описывает поворот плоскости поляризации, а мнимая его часть – превращение линейно поляризованного света в эллиптически поляризованный.

Если плоско поляризованный свет распространяется через магнитооптический материал параллельно вектору его намагниченности, то происходит вращение плоскости поляризации. Эффект Фарадея определяется следующим выражением:

$$\theta = \varphi \times d, \quad (1)$$

где θ – угол поворота плоскости поляризации; φ – удельное фарадеевское вращение; d – путь светового пучка в магнитооптической среде. Эффект Фарадея является нечетным относительно намагниченности среды [2].

При помещении материала в магнитное поле каждый уровень энергии расщепляется на два близко расположенных уровня, поскольку спин электрона может быть параллелен полю либо направлен противоположно ему. По аналогии с эффектом Зеемана линия поглощения в присутствии магнитного поля также расщепляется спин-орбитальным взаимодействием на две близко расположенные линии.

В твердых телах показатель преломления, как правило, монотонно возрастает с увеличением частоты света. Однако в окрестности линии поглощения такая монотонность нарушается. В магнитном поле в силу расщепления линии поглощения спектральные зависимости показателя преломления для лево- (n_-) и право-поляризованного (n_+) по кругу света оказываются смещенными относительно друг друга. Действительная часть разности $n_+ - n_-$ вызывает фарадеевское вращение плоскости поляризации линейно поляризованного света на угол θ .

В данном устройстве применяется магнитооптическая пленка, которая является пространственным модулятором. Магнитооптическая пленка, находящаяся непосредственно на исследуемом ферромагнитном образце, который создает вокруг себя магнитное поле, помещается между поляризатором и анализатором. В отсутствие магнитного поля магнитооптическая пленка не влияет на поляризацию проходящего через нее света. В таком случае интенсивность света, прошедшего через систему «поляризатор – магнитооптическая пленка – анализатор», определяется законом Малюса:

$$I = I_0 \times \sin^2 \beta, \quad (2)$$

где I_0 – интенсивность излучения, падающего на поляризатор; β – угол между осями пропускания поляризатора и анализатора.

При наличии между поляризатором и анализатором магнитооптической пленки, поворачивающей плоскость поляризации излучения на угол Φ , вместо формулы (2) следует записать:

$$I = I_0 \times \sin^2(\beta \pm \Phi). \quad (3)$$

Так как реальные поляризаторы не обеспечивают полного погашения в положении скрещивания, в формулу (3) необходимо ввести коэффициент p , учитывающий наличие конечного пропускания света в системе «поляризатор – магнитооптическая пленка – анализатор». В таком случае:

$$I = cI_0 \exp(-ad) [(1-p)\sin^2(\Phi \pm \beta) + p], \quad (4)$$

где коэффициент c учитывает потери излучения в системе; a – коэффициент поглощения излучения магнитооптической пленкой.

В реальной системе имеют место потери света при отражении от поверхности поляризатора, магнитооптической пленки и анализатора, а также потери на поглощение в указанных элементах. В тонкопленочных дихроичных поляризаторах суммарные потери на отражение и поглощение составляют 5-10 %, в магнитооптической пленке, изготовленной из феррит-граната, потери в видимой области спектра могут достигать нескольких десятков процентов.

При разработке данного устройства использовались пленки феррит-гранатов с анизотропией «легкая плоскость», т.к. такие пленки обеспечивают наилучшее пространственное разрешение [4].

Основной характеристикой магнитооптического устройства является его оптическая эффективность η , определяемая как отношение изменения интенсивности сигнала за счет эффекта Фарадея ΔI к интенсивности падающего излучения I :

$$\eta = \frac{\Delta I}{I} = \exp\left[-\frac{\alpha}{2\varphi} \arctg \frac{4\varphi}{\alpha}\right] \sin^2\left(\arctg \frac{4\varphi}{\alpha}\right). \quad (5)$$

Оптимальная толщина $d_{\text{опт}}$ пленки, при которой достигается наибольшая эффективность магнитооптического преобразования:

$$d_{\text{опт}} = (2\varphi)^{-1} \arctg\left(\frac{4\varphi}{\alpha}\right). \quad (6)$$

Толщина пленки ограничивается минимальным пространственным периодом визуализируемого магнитного поля λ , т.к. поле рассеяния спадает по экспоненциальному закону с увеличением расстояния от поверхности источника поля:

$$H_{\text{рас}} = H_{\text{пов}} \exp\left(-\frac{2\pi x}{\lambda}\right). \quad (7)$$

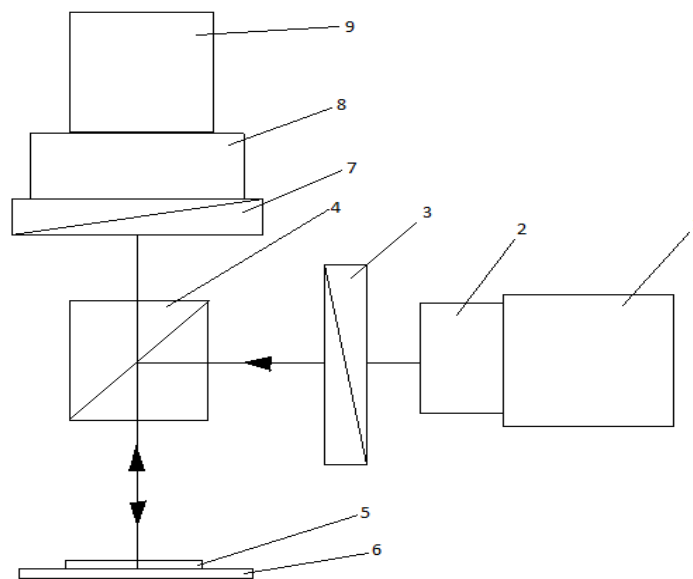


Рис. 1. Структурная схема устройства

Устройство содержит источник света 1 (Рис. 1), объектив 2, который формирует параллельный пучок. Сформированный пучок света проходит через поляризатор 3 и попадает на светоделительный кубик 4. Далее поляризованное излучение падает на магнитооптическую пленку 5, которая лежит на исследуемом образце 6. Намагниченность магнитооптической пленки повторяет намагниченность исследуемого образца. Поляризация излучения, проходя через магнитооптическую пленку, будет поворачиваться. Отражаясь от зеркальной поверхности, напыленной на обратную сторону пленки, излучение повторно проходит через магнитооптическую пленку, вследствие чего эффект Фарадея удваивается. Далее излучение попадает на анализатор 7, за которым расположены объектив 8 и фотоаппарат 9.

Используя данное устройство, было произведено исследование опытного образца. Образец представляет собой узкую ферромагнитную пластинку, обработанную в определенных местах лазерным излучением (Рис. 2а). Нагревание, за счет поглощения лазерного излучения, приводит к тому, что при достижении определенной температуры материал испытывает фазовый переход и из ферромагнитного состояния переходит в парамагнитное [Там же]. На тех участках, где произошел фазовый переход, намагниченность отсутствует, что подтверждают фотографии (Рис. 2б – темные участки).

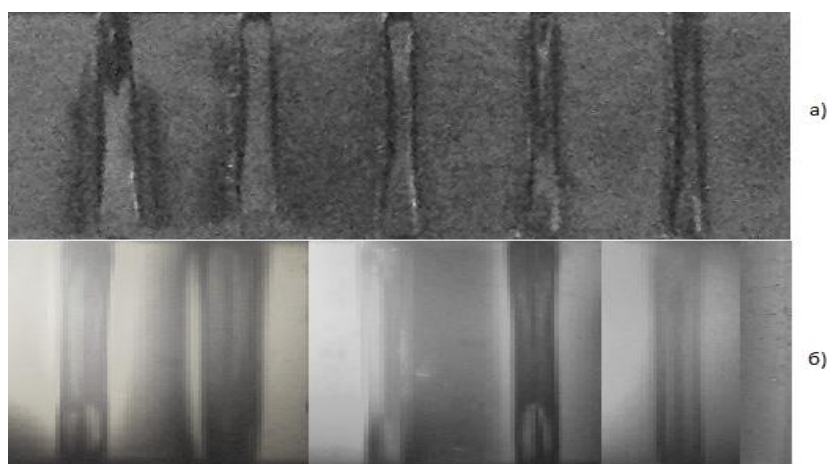


Рис. 2. Фотографии образца (а) и распределения намагниченности (б)

Таким образом, в результате проведенных исследований была создана схема наблюдения и регистрации распределения намагниченности ферромагнитных образцов, подвергшихся воздействию лазерного излучения. Экспериментальное исследование образца показало, что в местах обработки лазерным излучением намагниченность отсутствует.

Список литературы

1. Андреев А. О., Миронов В. Д., Петровский В. Н., Протасов Е. А., Проколова Н. М., Джумаев П. С., Польский В. И. Изменение фазового состава металлов излучением волоконного лазера для управления их магнитными характеристиками // Ядерная физика и инжиниринг. 2013. Т. 4. № 5.
2. Звездин А. К., Котов В. А. Магнитооптика тонких пленок. М.: Наука, 1988.
3. Каюков С. В., Зайчиков Е. Г., Дудоров И. А., Крысанов С. А., Поляков В. Н. Оптимизация режимов лазерной обработки анизотропной электротехнической стали // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2003. Т. 5. № 1.
4. Левин А. В., Либман М. А., Лившиц Э. Я., Каюков С. В., Артамонов Е. В., Захаров В. В., Захаров В. М. Физические принципы создания градиентного материала для авиационных генераторов // Сталь. 2008. № 9.
5. Рандошкин В. В., Червонескис А. Я. Прикладная магнитооптика. М.: Энергоатомиздат, 1990.

MAGNETO-OPTIC APPARATUS FOR MONITORING AND REGISTRATION OF SPATIALLY INHOMOGENEOUS MAGNETIZATION OF FERROMAGNETIC MATERIALS

Brovin Mikhail Aleksandrovich

*Moscow State Institute of Radio Engineering, Electronics and Automation
brovin.m.a@gmail.com*

The article is devoted to the development of an apparatus for the monitoring and registration of the distribution of the magnetization of ferromagnetic materials exposed to laser radiation. The creation of materials with controlled magnetic properties has recently been an important task for electrical industry. Thus, it is necessary to control the quality of these materials, whereupon carrying out a research in this area is topical.

Key words and phrases: magnetization distribution; magneto-optics; Faraday effect; laser processing; ferromagnet.