

рис.2. Люкс амперная характеристика исследуемых структур.

В докладе приводятся результаты измерения фотопроводящих свойств границы раздела полимер/полимер, а также интерпретация полученных результатов.

Список публикаций:

[1]. *Emiliano Di Gennaro, Umberto Scotti di Uccio, Carmela Aruta Advanced Optical Materials.1, 11, 834 (2013).*

[2]. *Р. М. Гадиев, А. Н. Лачинов, В. М. Корнилов, Р.Б. Салихов, Р.Г. Рахмеев, А.Р. Юсупов. Письма в ЖЭТФ 90, 821 (2009).*

## **Использование эффекта анизотропии магнитосопротивления для измерения магнитострикции в тонких пленках сплавов 3d-металлов**

**Фещенко Анастасия Александровна**

*Кудюков Егор Владимирович, Балымов Константин Геннадьевич*

*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина*

*Васьковский Владимир Олегович, д.ф.-м.н.*

[asynickname@mail.ru](mailto:asynickname@mail.ru)

Явление магнитострикции заключается в изменение объема и линейных размеров тела при изменении его намагниченности. Разработка и совершенствование материалов, реализующих это явление в практических целях, относятся к числу актуальных физико-технологических задач. [1]. Существует несколько методик прямого измерения величины константы магнитострикции массивных материалов. Однако на плёночных объектах из-за наличия массивной подложки большинство из них не могут быть реализованы. Для решения этой проблемы целесообразно использовать косвенные методы определения магнитострикции. Один из таких методов может быть основан на обратном магнитострикционном эффекте, то есть изменении магнитного состояния при приложении внешней деформации.

Одной из групп материалов, обладающих значительной магнитострикцией, являются сплавы на основе 3d-металлов, многие из которых так же обладают и анизотропией магнетосопротивления. Данное явление заключается в зависимости электросопротивления проводника от взаимной ориентации векторов намагниченности и плотности тока в нём. Таким образом, магниторезистивная кривая, то есть зависимость электросопротивления от напряжённости внешнего магнитного поля, отражает процесс перемагничивания проводника. При упругой деформации проводника за счёт магнитоупругого вклада изменяется его магнитная анизотропия. Это отражается на процессе перемагничивания и соответственно может быть зарегистрировано по магниторезистивной кривой.

Если магнитную плёнку на упругой подложке поместить между двух пар ножей и деформировать путем изгиба по цилиндрической поверхности, то механические напряжения ( $\sigma$ ), возникающие в образце можно рассчитать по формуле:

$$\sigma \approx \frac{4\delta d}{L^2} E \quad (1)$$

где  $d$  – толщина подложки,  $L$  – расстояние между ножами,  $\delta$  – величина прогиба пленки,  $E$  – модуль Юнга. А связь между величиной  $\sigma$  и магнитоупругим вкладом в поле магнитной анизотропии позволяет определить магнитострикцию насыщения ( $\lambda_s$ ) по формуле:

$$\lambda_s = \frac{2}{3} \frac{\Delta H_a M_s}{\sigma} \quad (2)$$

где  $\Delta H_a$  – изменение поля анизотропии, которое на эксперименте определяется из магниторезистивных кривых,  $M_s$  – намагниченность насыщения плёнки.

Данный метод нами реализован для исследования магнитострикции пленочных образцов  $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$  и  $\text{Ta}/\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$ , с варьируемой толщиной магнитного слоя ( $10 \div 100$  нм) и фиксированной толщиной буферного слоя Ta (5 нм). Данные пленки наносились на стеклянные подложки толщиной 0.2 мм, методом высокочастотного ионно-плазменного распыления в присутствии в области подложки однородного магнитного поля напряженностью 200 Э. Аттестация магнитоупругих свойств плёнок проводились на оригинальной установке [2] и включали измерения параметров изгибной деформации прямоугольных плёночных образцов и соответствующих магниторезистивных кривых. Расстояние между опорными ножами составляло  $L$  12 мм, максимальная стрела прогиба  $\delta$ - 100 мкм. Электрические контакты с плёнкой формировались с использованием легкоплавкого припоя.

На рисунке 1 для сравнения приведены магниторезистивные кривые пленок двух составов. Одному из них ( $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$ ), свойственна отрицательная магнитострикция, другой ( $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ ) считается немагнитострикционным. Как можно видеть, магниторезистивная петля плёнки  $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$  (рисунок 1а) показывает существенные изменения при деформации плёнки, а для плёнки  $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$  подобные изменения отсутствуют (рисунок 1б). Таким образом, данный пример качественно иллюстрирует эффективность использованной методики измерений. Анализ рисунка 1а позволяет определить изменение поля насыщения магнитосопротивления при деформации, и соответственно изменение поля магнитной анизотропии  $\Delta H_a$ . Расчёты, выполненные с использованием формул (1,2), для дали плёнки  $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$  толщиной 40 нм  $\lambda_s = -1,9 \cdot 10^{-5}$ . Полученное значение константы магнитострикции хорошо согласуется с соответствующей характеристикой массивного сплава данного состава, подтверждая тем самым применимость данной методики для определения магнитострикционных свойств плёночных образцов

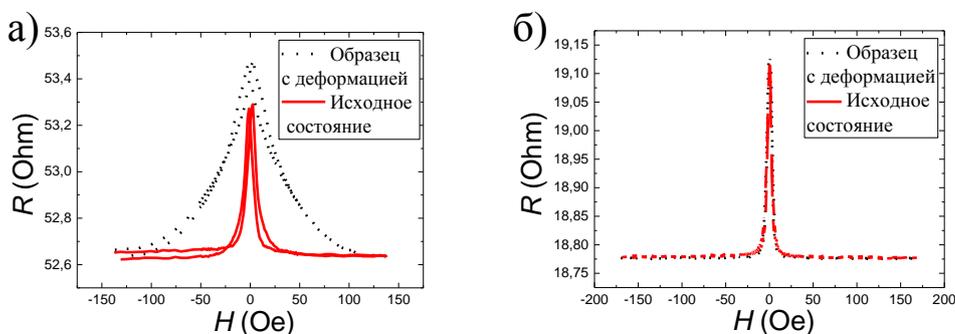


рис. 1. Магниторезистивные петли пленки  $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$  толщиной 40 нм (а) и пленки  $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$  толщиной 100 нм (б)

В работе приведены результаты применения представленной методики для подробного исследования магнитострикционных свойств плёнок  $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$  варьируемой толщины, а также полученные нами данные по магнитострикции других сплавов 3d-металлов в плёночном состоянии.

Список публикаций:

[1] Grössinger R., Turtelli R. S., Mehmood N. *Materials with high magnetostriction //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2014. – Т. 60. – №. 1. – С. 012002.*

[2] Балымов К.Г., Кудюков Е.В., Леаловский В.Н., Кулеш Н.А. Васьяковский В.О. *Использование магниторезистивных плёнок с однонаправленной анизотропией для регистрации упругих деформаций//Дефектоскопия. - 2017.- №7.-Р.46–51*