

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ
БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ ЛЕНТ СОСТАВА FeGa И FeSiB**

© 2016 г. И.А. БАРАБАН, В.В. РОДИОНОВА, Л.Ю. ФЕТИСОВ*

Балтийский федеральный университет им. Канта, г. Калининград,

*Московский технологический университет

e-mail: irinmachay@gmail.com, fetisovl@yandex.ru

Магнитоэлектрический (МЭ) эффект реализуется в композитных структурах, которые состоят из ферромагнитных и пьезоэлектрических слоев, механически соединенных друг с другом. Эффект заключается в электрической поляризации образца при помещении его во внешнее магнитное поле, и реализуется в таких структурах благодаря комбинации магнитострикции ферромагнитного слоя и пьезоэффекта пьезоэлектрического слоя. Такие структуры активно используются для разработки различных устройств: датчиков постоянных и переменных магнитных полей, автономных источников энергии и т.д. [1]. Одной из важнейших задач повышения эффективности МЭ взаимодействия в композитных структурах является поиск материалов с большой магнитострикцией и малым полем насыщения. Среди таких материалов одним из самых лучших является галфенол (FeGa). Ранее нами был исследован МЭ эффект в композитной структуре, где в качестве магнитного слоя использовали пластину галфенола [2]. Показано, что несмотря на достаточно большой по величине МЭ эффект в такой структуре она обладает существенным недостатком: большим полем насыщения магнитострикции (~ 240 Э). Эта проблема решается использованием аморфного магнитного сплава в качестве магнитного слоя, изготовленного в виде лент [3]. Поэтому в данной работе были впервые изготовлены образцы галфенола в виде лент и исследованы их магнитострикционные характеристики. Также исследованы характеристики ферромагнитных лент нового состава.

В работе исследовали ферромагнитные ленты составов $Fe_{83}Ga_{17}$ и $Fe_{77}Si_{10}B_{13}$, сделанные в Словакии в лаборатории Ростислава Варги методом быстрой закалки [4]. Суть метода заключается в плавке литых слитков сплавов в дуговой печи при высокой частоте, чтобы обеспечить их однородность. Сами ленты получают путем плавления слитка в индукционной катушке в частичной атмосфере гелия и дальнейшем выталкиванием расплава на вращающееся медное колесо. Петли гистерезиса образцов измеряли при помощи вибрационного магнитометра фирмы Lake Shore серии 7400 в диапазоне полей до 1 кЭ.

Исследование зависимости магнитострикционных свойств образцов от температуры в диапазоне от 30°C до 80°C производилось с помощью установки, которая была разработана и собрана в НОЦ «Магнитоэлектрические материалы и устройства» Московского технологического университета. В данном стенде магнитострикция измеряется с помощью фольговых резистивных тензодатчиков. Измерительный тензодатчик (ИТД) является одним из плеч измерительного моста, во второе плечо которого включен компенсационный тензодатчик (КТД), находящийся рядом с измерительным, но наклеенный на немагнитный материал. Два других плеча измерительного моста образованы прецизионными резисторами R_1 и R_2 . Относительное изменение длины образца $\sim 10^{-6}$, что при питании моста током порядка 5 мА, приводит к разбалансу моста в зависимости от величины λ от 1 до 10 мкВ, что соответствует изменению сопротивления тензодатчика $\sim 10^{-3}$ Ом.

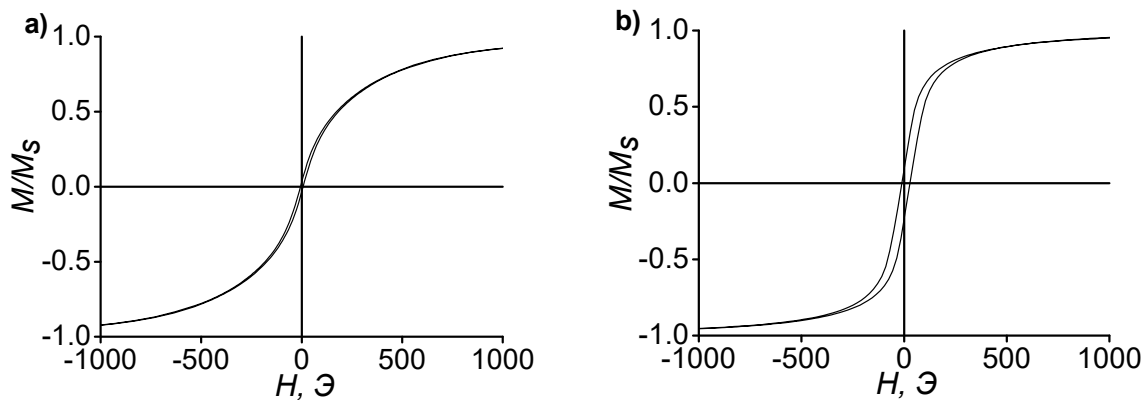


Рис. 1. Петли гистерезиса ферромагнитных лент различных составов, полученных при комнатной температуре: а) лента $\text{Fe}_{77}\text{Si}_{10}\text{B}_{13}$; б) лента $\text{Fe}_{83}\text{Ga}_{17}$.

На первом этапе были исследованы магнитные характеристики лент различного состава. На рис. 1, а, б показаны петли гистерезиса образцов при комнатной температуре. Коэрцитивная сила ленты состава $\text{Fe}_{77}\text{Si}_{10}\text{B}_{13}$ составляла $H_c = 6,9$ Э, что сравнимо с другими аморфными сплавами. Коэрцитивная сила ленты $\text{Fe}_{83}\text{Ga}_{17}$ $H_c = 23,6$ Э (см. рис. 1, б), что совпадает с измеренным ранее значением [2]. Обе ленты демонстрируют наличие небольшого гистерезиса, что говорит о возможности использования их как ферромагнитного слоя для композитных мультиферроидных структур.

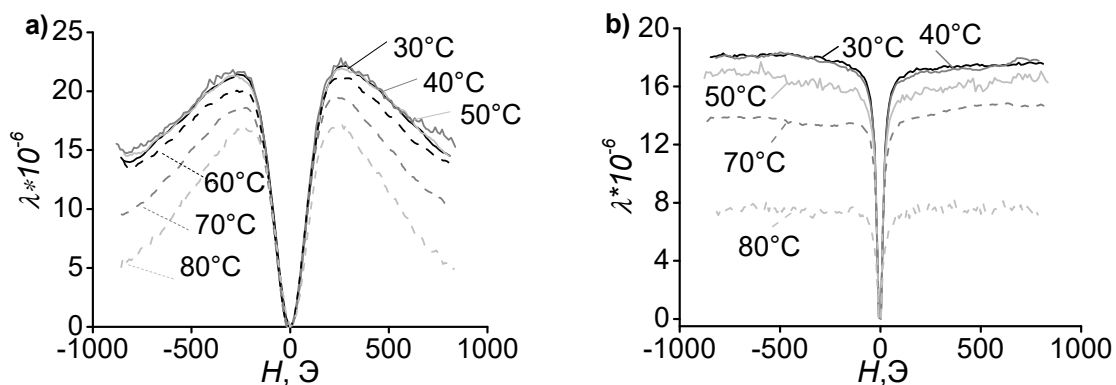


Рис. 2. Графики измерений коэффициента магнитострикции: а) лента $\text{Fe}_{83}\text{Ga}_{17}$; б) лента $\text{Fe}_{77}\text{Si}_{10}\text{B}_{13}$.

На рис. 2 показаны зависимости коэффициента магнитострикции от температуры в диапазоне $30^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$. Диапазон изменения поля - $H = \pm 1\text{кЭ}$. Измеренные зависимости магнитострикции для ленты галфенола приведены на рис. 2, а. Видно, что максимальное значение магнитострикционного коэффициента $\lambda \approx 22 \cdot 10^{-6}$, что сравнимо с ранее полученным значением [2]. Магнитострикция насыщается в том же поле ($H \approx 250$ Э). Результаты измерений для ленты состава $\text{Fe}_{77}\text{Si}_{10}\text{B}_{13}$ приведены на рис. 2, б. Максимальное значение магнитострикции составило $\lambda \approx 17,5 \cdot 10^{-6}$, что несколько меньше, чем для ленты галфенола.

Температурные измерения демонстрируют существенное ухудшение магнитострикционных свойств лент с ростом температуры. Как видно из рис. 3, а значение магнитострикции для ленты галфенола уменьшается с $22 \cdot 10^{-6}$ до $17 \cdot 10^{-6}$, начиная с 50°C . В то время как ухудшение свойств ленты состава $\text{Fe}_{77}\text{Si}_{10}\text{B}_{13}$ начинается с $35-40^\circ\text{C}$ и составляет более чем 2 раза с $17,5 \cdot 10^{-6}$ до $7 \cdot 10^{-6}$.

Спад характеристик, наблюдаемый на рис. 3, обусловлен тем, что магнитострикция прямо пропорциональна намагниченности, а с увеличением температуры намагниченность уменьшается так же, как и уменьшается анизотропия, которая в свою

очередь тоже оказывает влияние на магнитострикцию. Уменьшение значения коэффициента для лент состава $\text{Fe}_{83}\text{Ga}_{17}$ начинается при более высоких температурах, чем у $\text{Fe}_{77}\text{Si}_{10}\text{B}_{13}$ и падает не так быстро, потому что для данного состава необходимо приложить большие температуры для изменения магнитного порядка и последующего изменения значения намагниченности образца.

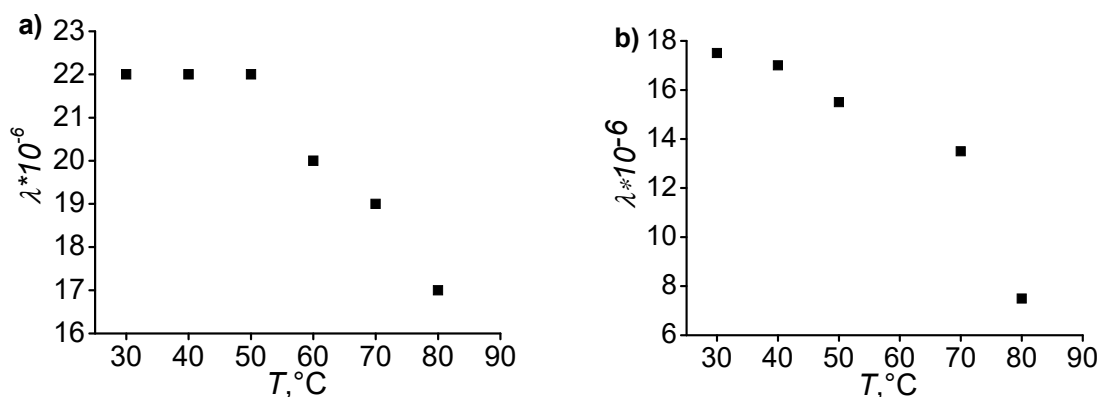


Рис. 3. Температурные зависимости коэффициента магнитострикции: а) лента $\text{Fe}_{83}\text{Ga}_{17}$; б) лента $\text{Fe}_{77}\text{Si}_{10}\text{B}_{13}$.

Таким образом, в работе показано, что изготовленные ленты галфенола обладают достаточно хорошими магнитострикционными характеристиками. Изменение температуры существенно влияет на величину коэффициента магнитострикции для лент обоих составов. Из двух образцов наилучшими характеристиками обладает лента галфенола. Изготовление галфенола в виде ленты на данный момент не дало существенного улучшения магнитных свойств, тем не менее, дальнейшее совершенствование технологии изготовления лент галфенола может позволить улучшить магнитострикционные характеристики. В тоже время использование этих лент гораздо предпочтительнее, так как дает возможность существенно уменьшить толщину всех слоев и сделать гибкие структуры.

Настоящая работа выполнена при поддержке Программы повышения конкурентоспособности БФУ им. И. Канта «5-100» и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-32-50095\16).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nan C.-W., Bichurin M.I., Dong S., Viehland D., and Srinivasan G. Multiferroic magnetoelectric composites: Historical perspective, status, and future directions // Journal of Applied Physics. 2008. v. 103. № 031101.
2. Буш А.А., Каменцев К.Е., Мещеряков В.Ф., Фетисов Ю.К., Чашин Д.В., Фетисов Л.Ю. Низкочастотный магнитоэлектрический эффект в композитной планарной структуре галфенол – цирконат-титанат свинца // Журнал технической физики. – 2009. Т. 79. Вып. 9. С. 71-77.
3. Фетисов Л.Ю., Фетисов Ю.К., Перов Н.С., Чашин Д.В. Магнитоэлектрический эффект в планарных структурах аморфный ферромагнетик FeSiCB – пьезоэлектрик // Журнал технической физики. – 2011. Т. 81. Вып. 4. С. 56 – 61.
4. Cheng S.F., Das B.N., Wun-Fogle M., Lubitz P., and Clark A.E. Structure of Melt-Spun Fe–Ga-Based Magnetostrictive Alloys // IEEE Transactions on Magnetics. – 2002. V. 38.