

УДК 537.9

А.О. Хребтов, Н.М. Лавриненко, А.Н. Пересадченко,

В.П. Комаров, Ю.А. Алехов

НТЦ «Реактивэлектрон» НАН України

ул. Бакинских комиссаров, 17а, г. Донецк, 83049, Украина

e-mail: mezozavr@ukr.net, n.m.lavr@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФЕРРИТ-ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ СОСТАВА

Проведено экспериментальное исследование и сравнительный анализ величины магнитоэлектрического эффекта в композиционных двухслойных дисковых структурах, состоящих из попарных слоев магнитострикционного магнетомягкого никель-цинкового феррита и сегнетомягкой (ЦТССт-2), сегнетожесткой (ЦТССт-3) пьезокерамики. Показано, что на частоте электромеханического резонанса в образце, состоящем из магнетомягкого никель-цинкового феррита и сегнетомягкой пьезокерамики магнитоэлектрический отклик увеличивается в 150 раз.

Ключевые слова: слоистые магнитоэлектрические композиты, магнитоэлектрический отклик.

Введение

Диэлектрические, полупроводниковые и магнитные материалы играют все более важную роль в современной технике, включая такие передовые ее направления как электроника, радиотехника, автоматика и приборостроение. Все возрастающая тенденция в электронике к использованию монолитных твердотельных элементов, их миниатюризации требует поиска новых способов преобразования переменных электрических и магнитных полей. Для этой цели перспективным направлением является использование магнитоэлектрического (МЭ) эффекта в феррит-пьезоэлектрических композитах.

Магнитоэлектрический эффект относится к перекрестным эффектам и заключается в возникновении поляризации под действием магнитного поля и, наоборот, в возникновении намагниченности под действием электрического поля. В феррит-пьезоэлектрических композитах МЭ эффект отсутствует по отдельности и в ферритовой, и в пьезоэлектрической фазах. Его возникновение обусловлено меха-

ническим взаимодействием магнито-стрикционной и пьезоэлектрической подсистем.

Многослойные композиционные структуры представляют широкие возможности для формирования характеристик МЭ взаимодействия. Величиной эффекта можно управлять за счет выбора материала слоев и геометрических параметров структуры, с помощью внешних электрических и магнитных полей.

Проведенные ранее исследования показывают [1-4], что МЭ эффект в таких композиционных структурах имеет огромную величину и на несколько порядков выше эффекта наблюдаемого в природных кристаллах, что позволяет реально использовать МЭ эффект в электронной технике.

В данной работе проведено экспериментальное исследование и выполнен сравнительный анализ величины МЭ эффекта в двухслойных МЭ структурах, состоящих из попарных слоев сегнетомягкой (ЦТССт-2), сегнетожесткой (ЦТССт-3) пьезокерамики и магнетомягкого никель-цинкового феррита.

Электрофизические параметры материалов

Материал	Состав материала	Коэффициент магнитострикции, $\lambda_s, \cdot 10^{-6}$	Пьезомодуль, $d_{33}, \cdot 10^{-12} \text{ Кл/Н}$	ϵ	$\mu_{нач}$	$\rho, \text{ Ом} \cdot \text{м}$
NiZn-феррит	NiO-11.0 ZnO-22.5 Fe ₂ O ₃ -66.5	25	-	100	600	10 ²
Пьезокерамика ЦТССТ-2		-	1200	3000	-	10 ¹¹
Пьезокерамика ЦТССТ-3		-	450	1400	-	10 ¹¹

В таблице 1 показаны электрофизические параметры, используемых в работе материалов.

Ферритовый материал (никельцинковый феррит) получали по керамической технологии (смешение исходных сырьевых компонентов в виде оксидов, синтез материала при температуре 800°С×2ч., подготовка заготовок для спекания, проведение термообработки (температура спекания 1250°С×4ч., охлаждение – воздух)). Для исследования МЭ эффекта из спеченных заготовок феррита вырезались образцы в форме диска диаметром 5 мм и высотой 5 мм.

Пьезокерамические материалы (ЦТССТ-2, ЦТССТ-3) получали по традиционной керамической технологии, включающей ряд технологических операций (смешение исходных сырьевых компонентов – помол; синтез полученных смесей при температуре 800–900°С; прессовка заготовок в виде дисков диаметром 5.5 мм и высотой 5.5 мм; спекание керамики на воздухе под слоем засыпки на основе оксида свинца при температуре 1200–1300°С). Спеченные образцы шлифовали до необходимых размеров, отжигали при температуре 1000°С×1ч. для снятия механических напряжений, металлизировали путем вжигания серебряно-содержащей пасты при температуре 800°С. Металлизированные образцы

сегнетомягкой керамики поляризовали на воздухе при температуре Кюри (190°С) в электрическом поле напряженностью 600 В/мм; образцы сегнетожесткой керамики поляризовали температуре 290°С в электрическом поле напряженностью 800 В/мм. Пьезоэлектрические свойства керамики (см. табл. 1) измеряли методом резонанса-антирезонанса [5]. Генерируемый структурой сигнал снимали с электродов пьезокерамических дисков.

По терминологии, используемые сегнетомягкую (ЦТССТ-2) и сегнетожесткую (ЦТССТ-3) керамики можно связать с облегченностью или затруднительностью (мягкостью или жесткостью) по отношению к деполяризации, т.е. к переориентации сегнетоэлектрических доменов. Сегнетомягкая керамика обладает пониженным коэрцитивным полем, сегнетожесткая – наоборот, в первой – подвижность доменных границ облегчена, во второй – затруднена. Для сегнетомягкой керамики характерны повышенная диэлектрическая проницаемость, низкое коэрцитивное поле, относительно прямоугольные петли гистерезиса, повышенные пьезосвойства.

В сегнетожесткой сегнетокерамике вышеперечисленные параметры изменяются в противоположном направлении [6].

Блок-схема установки для исследования характеристик МЭ взаимодействия в

многослойных структурах в области низких частот модуляция магнитного поля приведена на рисунке 1.

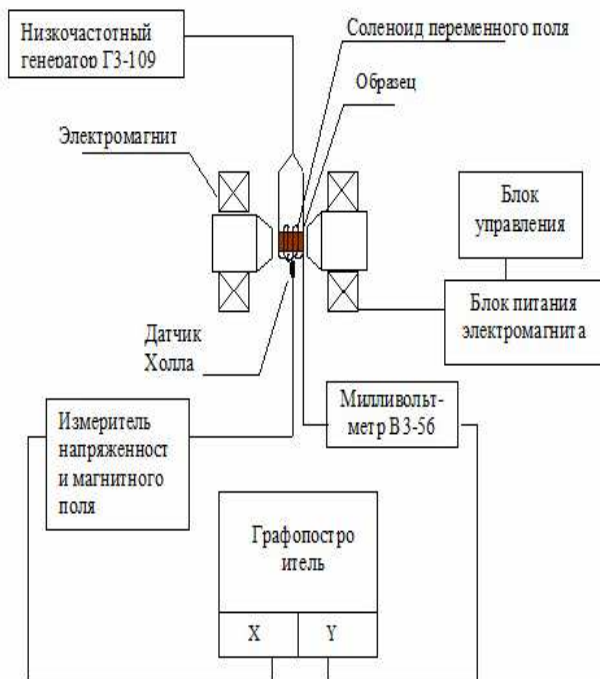


Рис. 1. Блок-схема установки.

Схема нашей установки представлена на рис.1. Она состоит из электромагнита с источником питания, электромагнитных катушек, подключенных к генератору, системы регистрации и записи выходного магнитоэлектрического сигнала. Соленоид подключен к низкочастотному генератору, который генерирует гармоническое магнитное поле с амплитудой до 15 Э и частотой в диапазоне 10 Гц - 400кГц.

Экспериментальные исследования проводились для образцов объемного композиционного материала, образцы имели форму дисков диаметром $D = 5.0 \pm 0.1$ мм и высотой $h = 5.0 \pm 0.1$ мм. Для исследования МЭ эффекта использовался метод, основанный на измерении переменного напряжения, возникающего на образце при приложении на него переменного и медленно меняющегося магнитного поля. Направление электрической поляризации пьезокерамики и приложенного магнитного поля направлены перпендикулярно плоскости образцов.

Поскольку в МЭ композитах возникновение электрической поляризации в магнитном поле происходит благодаря механическим деформациям, то вблизи частот электромеханического резонанса образца величина магнитоэлектрического отклика должна существенно возрастать. Результаты исследований МЭ эффекта в двухслойных феррит-пьезоэлектрических композитах показывают (рисунок 2), что величина напряженности электрического поля, возникающего на обкладках пьезоэлектрического слоя, возбуждаемого магнитным полем $h_f = h_0 \cos(2\pi ft)$ (где амплитуда поля $h_0 = 0,05$ Э, частота f изменяется в диапазоне 0 кГц – 400 кГц; магнитное поле направлено перпендикулярно к плоскости структуры, т.е. рассматривается мода $T-T$) достигает максимальных значений в МЭ структурах, состоящих из сегнетомягкой пьезокерамики (ЦТССт-2) и магнитомягкого никель-цинкового феррита (на рисунке кривая – 1). На частоте электромеханического резонанса магнитоэлектрический отклик $\alpha_{E,33}$ имеет значение в 150 раз превышающее $\alpha_{E,33}$ вдали от резонанса.

В двухслойных МЭ структурах, состоящих из сегнетожесткой пьезокерамики (ЦТССт-3) и магнитомягкого никель-цинкового феррита, увеличение напряженности электрического поля на обкладках пьезоэлектрического слоя, возбуждаемого магнитным полем h_f на частоте электромеханического резонанса, не превосходит 15 раз (рис. 2, кривая 2).

Разницу в величине генерируемого электрического поля в композитах 1 и 2 (см. рис. 2) можно связать с пониженным коэрцитивным полем в сегнетомягкой керамике ЦТССт-2, благодаря чему облегчена переориентация сегнетоэлектрических доменов при поляризации.

Величина генерируемого напряжения U пропорциональна следующему произведению:

$$U \sim (\partial \lambda / \partial H) \cdot d / \varepsilon,$$

где λ – коэффициент магнитострикции никель-цинкового феррита; d – пьезомодуль пьезокерамики; ε – эффективная

диэлектрическая проницаемость двухслойной структуры.

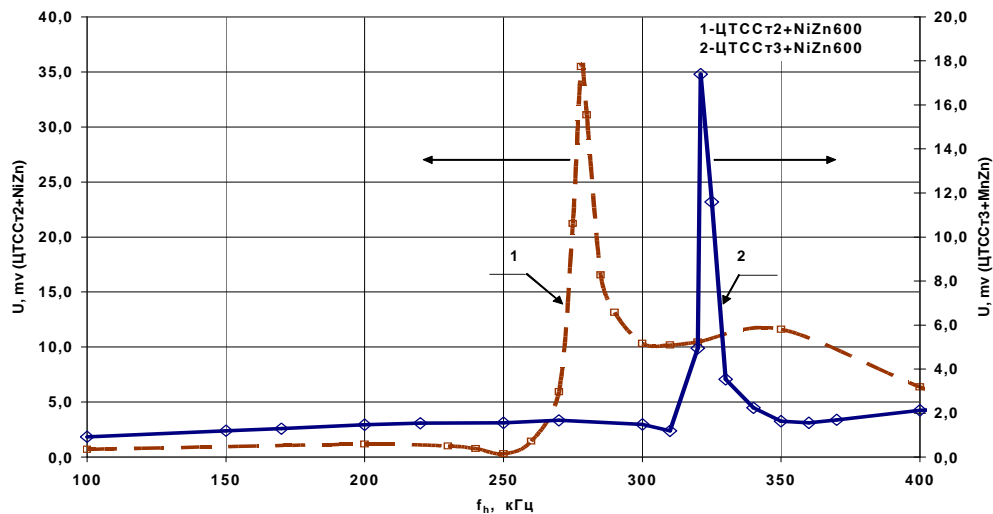


Рис. 2. Зависимость магнитоэлектрического напряжения от частоты.

Значение пьезоэлектрического коэффициента сегнетомягкой керамики (d/ε) значительно больше, чем сегнетожесткой (см. табл. 1), что также объясняет значение повышенного генерируемого электрического напряжения.

Выводы

Показано, что в двухслойных феррит-пьезоэлектрических композитах, состоящих из сегнетомягкой пьезокерамики (ЦТССт-2) и магнитомягкого никель-цинкового феррита, величина напряженности электрического поля, возникающего на обкладках пьезоэлектрического слоя,

возбуждаемого магнитным полем, достигает максимальных значений (увеличение в 150 раз).

В двухслойных МС структурах, состоящих из сегнетожесткой пьезокерамики (ЦТССт-3) и магнитомягкого NiZn – ферритового материала увеличение напряженности электрического поля на обкладках пьезоэлектрического слоя, возбуждаемого магнитным полем не превосходит 15 раз.

Рассмотренные композиционные магнитоэлектрические структуры перспективны для создания датчиков магнитных полей, преобразователей электрической энергии.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nan C.W., Bichurin M.I., Dong S., Viehland D., Srinivasan G. Multiferroic magnetoelectric composites: Historical perspective, status and future directions // J. Appl. Phys.-2008. – v.103. – 031101:1-031101:35.
2. Ryu J., Carazo A.V., Uchino K., Kim H.-E. Magnetoelectric properties in piezoelectric and magnetostrictive laminate composites // Japanese Journal of Applied Physics. – 2001. – vol.40, no.8. – P. 4848-4951.
3. Ekrem N.B., Olabi A.G., Prescott T., Rafferty A., Hashmi M.S.J. An Overview of Magnetostriction, its Use and Methods to Measure These Properties // J. of Materials Processing Technology. – 2007. – v. 191. – P. 96-101.
4. Zhai J.Y., Cai N., Shi Z., Lin Y.H., Nan C.W. Dielectric, ferroelectric, magnetic and magnetoelectric properties of multiferroic composites // J. Phys. D. – 2004. – v. 37. – P. 823-826.

5. ОСТ 1104444-87. Отраслевой стандарт. Материалы пьезокерамические. Технические условия. Введено 01.01.88. – 140 с.

6. Яффе В., Кук У., Яффе Г. Пьезо-электрическая керамика – М.: Мир, 1974. – 288 с.

Стаття надійшла до редакції 20.07.2012

A.O. Khrebtov, N.M. Lavrinenko, O.M. Peresadchenko,
V.P. Komarov, U.O. Alehov

STC "Reactivelectron" NASc Ukraine, Str. Baku commissars, 17a Donetsk, 83049, Ukraine
e-mail: *mezozavr@ukr.net, n.m.lavr@mail.ru*

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE MAGNETOELECTRIC EFFECT IN MAGNETOSTRICTIVE AND PIEZOELECTRIC MATERIALS WITH THE AIM TO OPTIMIZE THEIR COMPOSITION

Experimental investigation of the magnetoelectric effect in two-layered laminate composites has been conducted. To optimize the magnetoelectric laminate the magnetoelectric interaction in ЦТССт-2/Ni-Zn ferrit increases 150x on the piezomagnetic properties of individual disk layers. It is shown that a magnitude of electromechanical resonance frequency that is higher as compared to other compositions.

Key words: magnetoelectric laminate composites, magnetoelectric, piezoelectric, magnetostrictive.

A.O. Хребтов, Н.М. Лавріненко, О.М. Пересадченко,
В.П. Комаров, Ю.О. Альохов

НТЦ «Реактивелектрон» НАН України, Донецьк, 83049, Україна
e-mail: *mezozavr@ukr.net, n.m.lavr@mail.ru*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ ФЕРРИТ-ПЬЕЗОЕЛЕКТРИЧНИХ СТРУКТУР З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ЇХ СКЛАДУ

Проведено експериментальне дослідження та виконано порівняльний аналіз величини магнітоелектричного ефекту в композиційних двошарових дискових структурах, які складаються з попарних шарів магнітострикційного магнітом'якого нікель-цинкового фериту та сегнетом'якої (ЦТССт-2), сегнетотвердої (ЦТССт-3) пьезокераміки. Показано, що на частоті електромеханічного резонансу у зразку, що складається з магнітом'якого нікель-цинкового фериту і сегнетом'якої пьезо-кераміки, магнітоелектричний відгук збільшується у 150 разів.

Ключові слова: шаруваті магнітоелектричні композити, магнітоелектричний відгук.