

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО СООСАЖДЕНИЯ.

Лалетин В. М.¹., Паньков В. В.²., Степанович А. И.²

¹ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси», Витебск, Беларусь,
laletin57@rambler.ru

²Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Введение

Сочетание индивидуальных свойств пьезоэлектрических и магнитных материалов позволяет создавать композиционные структуры с особыми магнитоэлектрическими (МЭ) свойствами. Механизм МЭ взаимодействия в этих структурах является результатом механического взаимодействия магнитной и пьезоэлектрической подсистем. В изменяющемся магнитном поле, возникающая деформация магнитоэлектрической фазы передается пьезоэлектрику и вследствие прямого пьезоэффекта приводит к возникновению электрического поля в образце. МЭ эффект, являющийся новым свойством таких композитов относится к классу вторичных эффектов, или так называемых „product properties“ [1]. Очевидно, что величина эффекта должна зависеть от свойств исходных компонентов и структуры композита. Существуют различные методы получения композиционных материалов, обладающие своими преимуществами и недостатками. Объемные композиционные материалы, полученные спеканием смесей порошков феррита и пьезоэлектрика, хотя и имеют меньшие значения МЭ параметров, но они просты в изготовлении и обладают хорошими механическими свойствами [2]. Эти особенности делают их наиболее перспективными в практическом применении. МЭ эффект в объемных композитах зависит от целого ряда факторов: состава исходных порошков, размера его частиц, соотношения составляющих фаз, влияния добавок, температуры спекания, гомогенности структуры. В данной работе исследованы МЭ свойства композиционной керамики феррит-пьезоэлектрик, полученной методом химического соосаждения, в зависимости от температуры спекания.

Методика эксперимента

В качестве объекта исследования был использован объемный композиционный материал, состоящий из 70 масс.% порошка ЦТБС-3 и 30 масс.% модифицированного феррита никеля $\text{NiFe}_{1,9}\text{Co}_{0,02}\text{O}_4$. Смеси порошков получены методом одностадийного соосаждения прекурсоров феррита (соединения железа, никеля и кобальта) и пьезоэлектрика (соединения свинца, бария, циркония и титана) с последующим отжигом при 800°C . Образцы формовали при статическом давлении 200 МПа и спекали в тиглях со свинец содержащей засыпкой в течение двух часов в интервале температур $1000\text{--}1200^\circ\text{C}$. Поляризацию материалов осуществляли при температуре 90°C в течение двух часов в электрическом поле 4 кВ/мм, возрастающем при охлаждении до 5 кВ/мм.

Для исследования МЭ эффекта использовался метод, основывающийся на измерении переменного напряжения, возникающего на образце, при наложении на него переменного и постоянного магнитных полей. Такой подход позволяет получить дифференциальную характеристику МЭ эффекта, как функцию постоянного магнитного поля. Переменное магнитное поле напряженностью 1,0 Э и частотой 1 кГц генерировалось катушками Гельмгольца. Для создания постоянного магнитного поля напряженностью 0 - 3,0 кЭ использовался электромагнит. Исследования были проведены при двух различных ориентациях образца относительно магнитных полей. В одном случае вектор электрической поляризации был перпендикулярен магнитным полям (поперечный эффект), в другом случае – параллелен (продольный эффект). Для описания МЭ эффекта

использовались два параметра - МЭ коэффициент по напряжению (dE/dH) и МЭ коэффициент по поляризации ($4\pi dP/dH$). Первый параметр характеризует напряженность электрического поля, возникающего в материале под действием магнитного поля, второй параметр – изменение поляризации композита. Они определялись по значениям переменного напряжения, напряженности переменного магнитного поля, толщине образца и диэлектрической проницаемости материала.

Результаты и обсуждение

Исследования МЭ свойств композиционной керамики показали (рис.1), что наиболее высокими МЭ свойствами обладают образцы, полученные при температуре 1150°C . В этом случае значения МЭ коэффициента по напряжению и МЭ коэффициента по поляризации при продольном эффекте составили соответственно $76,6 \text{ мВ}/(\text{см Э})$ и $0,14$. Это примерно в два раза больше, по сравнению с данными, полученными в работе [3] для материала аналогичного состава. Существующее различие можно объяснить различными технологиями, применяемыми для изготовления образцов. В работе [3] для изготовления исходных порошков применялся керамический метод, основанный на смешении оксидов с последующим их синтезом. Этому методу присущ ряд недостатков: наличие остаточной химической неоднородности однофазных продуктов твердофазного синтеза, загрязнение смеси оксидов материалами мельницы, трудность получения гомогенной смеси порошков феррита и пьезоэлектрика. Используемый нами метод химического соосаждения позволил избежать выше перечисленных недостатков. Причем, процесс образования феррита и пьезоэлектрика проходил одновременно. Благодаря этому была получена смесь порошков феррита и пьезоэлектрика с гомогенным распределением компонентов. Из рис.1 также следует, что с ростом температуры спекания от 1000°C до 1200°C отношение продольного МЭ сигнала к поперечному уменьшается от 1,9 до 1,3 что свидетельствует об изменении характера взаимодействия между магнитными кристаллитами.

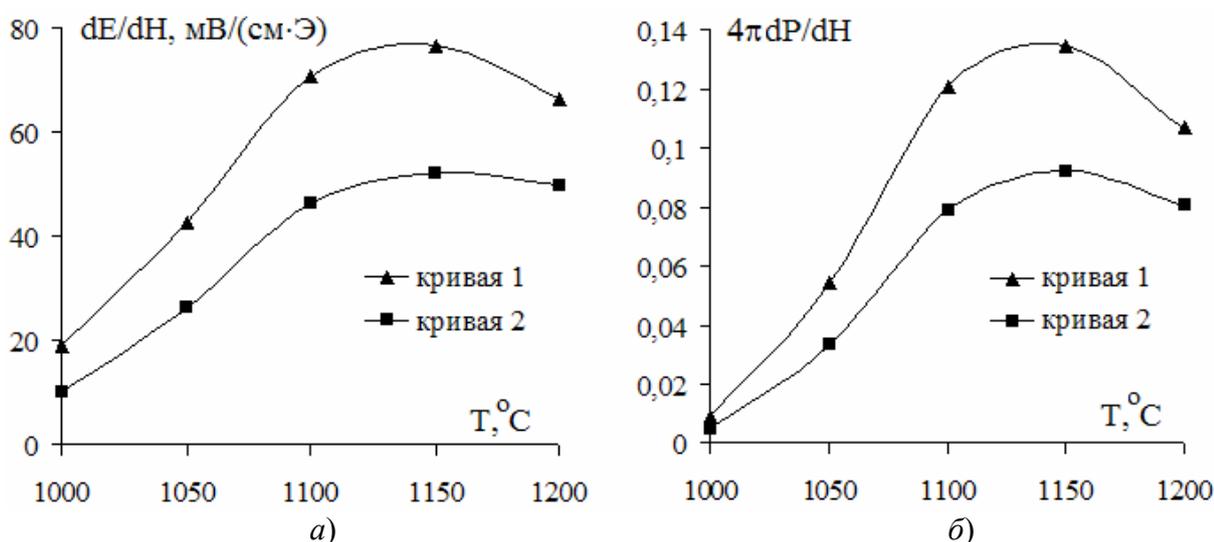


Рис. 1. Зависимость МЭ коэффициента по напряжению *a*) и МЭ коэффициента по поляризации *б*) от температуры спекания для продольного (кривая 1) и поперечного (кривая 2) эффектов.

На рис.2 представлены результаты исследования микроструктуры образца, полученного при температуре спекания 1150°C . Светлые участки соответствуют пьезоэлектрической фазе, темные – магнитной. Установлено, что в процессе спекания смесей порошков образуется двухфазная структура, состоящая из зерен феррита, имеющих правильную кристаллическую огранку размером от $0,5$ до 4 мкм , равномерно распределен-

ных в пьезоэлектрической матрице. Размер частиц исходного порошка (0,1 мкм) и зерен феррита свидетельствует об интенсивном росте магнитных кристаллитов. Исследование микроструктуры проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа LEO 1455VP.

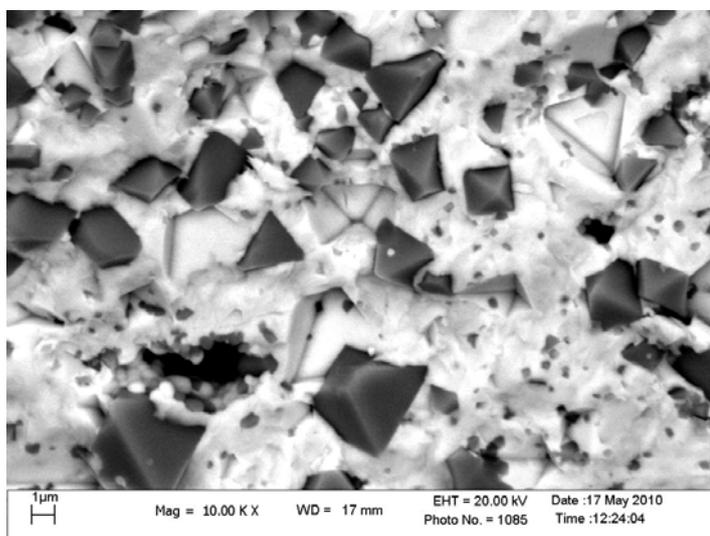


Рис. 2. Микроструктура излома образца, полученного при температуре спекания 1150°C.

Представляет интерес зависимости диэлектрической проницаемости и МЭ коэффициента по поляризации от температуры спекания. С увеличением температуры от 1000°C до 1150°C диэлектрическая проницаемость увеличивается примерно в 4 раза, в тоже время МЭ коэффициент по поляризации при поперечном эффекте увеличивается в 20 раз. Можно предположить, что такой результат явился следствием изменения взаимодействия между пьезоэлектрической и магнитной фазами.

Заключение

Методом химического соосаждения получен объемный композиционный материал феррит-пьезоэлектрик с гомогенным распределением кристаллитов феррита в пьезоэлектрической матрице. Значения МЭ параметров примерно в два раза больше, по сравнению с данными, полученными для материала аналогичного состава изготовленного по керамической технологии, основанной на смешении оксидов металлов с последующим их синтезом.

Список литературы

1. Van Suchtelen. Product properties: a new application of composite materials. // Philips Res. Rep. – 1972. – V.27. – P.28–37.
2. Boomgaard van den J., Born R.A.J. A sintered magnetoelectric composite material BaTiO₃ – Ni(Co,Mn)Fe₂O₄. // Journal of Materials Science. – 1978. – V.13, №5. – P.1538-1548.
3. Лалетин В.М. Физические свойства композиционной керамики в системе ЦТБС – феррит никеля. // Письма в ЖТФ – 1992. – Т.18, Вып.15. – С.27-30.