

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ НА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МУЛЬТИФЕРРОИКАХ

Лалетин В.М., Рубаник В.В.

ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси»

г. Витебск, Беларусь, E-mail: laletin57@rambler.ru

Введение

Мультиферроики – это вещества, обладающие одновременно магнитным и электрическим упорядочением. Взаимосвязь магнитных и электрических свойств мультиферроиков приводит к тому, что в них возможны перекрестные эффекты, связывающие между собой магнитные и электрические характеристики материала. При приложении к такой структуре внешнего электрического поля происходит изменение намагнитченности и, наоборот, при приложении внешнего магнитного поля происходит изменение поляризации [1]. Этот эффект, получивший название магнитоэлектрический (МЭ), интересен тем, что позволяет создавать принципиально новые приборы твердотельной электроники. Величина МЭ эффекта в однофазных мультиферроиках мала, что сдерживает их практическое применение. В композиционных мультиферроиках, представляющих собой механически связанные магнитоэлектрические и пьезоэлектрические компоненты, величина МЭ эффекта значительно больше. Это позволяет использовать их для создания приборов на основе МЭ эффекта. Например – датчики магнитного поля, с чувствительностью, значительно превышающей чувствительность датчиков Холла.

Композиционные мультиферроики можно разделить на две группы: слоистые структуры феррит – пьезоэлектрик, металл – пьезоэлектрик и объемные композиты феррит – пьезоэлектрик. Каждая из этих групп имеет свои достоинства и недостатки. Объемные композиты получают спеканием смесей порошков феррита и пьезоэлектрика. Их достоинство – простота в изготовлении, отсутствие дорогостоящих компонентов, хорошие механические свойства. В объемных композитах механический контакт между фазами возникает в процессе спекания. Поэтому в этих композитах МЭ эффект зависит не только от состава порошков и их соотношения, но и температуры спекания, модифицирующих добавок, гранулометрического состава. В настоящее время одним из способов, применяемых для интенсификации процесса спекания, является ультразвуковая обработка шихты [2]. Активирование исходных порошков достигается за счет измельчения исходных компонентов и получения дефектной структуры. Можно предположить, что ультразвуковая обработка смесей порошков феррита и пьезоэлектрика должна привести и к улучшению спекания композиционной керамики и к повышению ее характеристик. Целью настоящей работы является исследование влияния ультразвуковой механоактивации на МЭ эффект в объемных композитах.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования был выбран объемный композиционный материал, состоящий из 50 масс.% порошка ЦТС-23 и 50 масс.% модифицированного феррита никеля $\text{NiFe}_{1,9}\text{Co}_{0,02}\text{O}_4$. Выбор исходных компонентов обусловлен следующими причинами. Промышленная керамика ЦТС-23 имеет хорошие диэлектрические и пьезоэлектрические свойства. Присутствие магнитной фазы в композите ухудшает условия поляризации вследствие более высокой проводимости феррита по сравнению с пьезоэлектриком. Поэтому в качестве магнитной фазы использовали модифицированный феррит никеля $\text{NiFe}_{1,9}\text{Co}_{0,02}\text{O}_4$ с удельным сопротивлением при комнатной температуре $\sim 10^{10}$ Ом см. Его применение позволило улучшить поляризацию и получить более высокие значения МЭ эффекта.

Получение образцов осуществлялось по следующей технологии. На первой стадии взвешенные порошки подвергались мокрому помолу в среде этилового спирта в яшмовой ступке в течение одного часа (режим 1). Для исследования влияния механоактивации на МЭ эффект полученный порошок подвергался ультразвуковой

обработки при нормальном атмосферном давлении (режим 2) и при давлении две атмосферы (режим 3).

На второй стадии полученные порошки формовали при статическом давлении 200 МПа и спекали в тигле со свинец содержащей засыпкой в течение двух часов при температурах 1180, 1200, 1220, 1240°C. Скорость охлаждения не превышала 50 градусов в час. Поляризацию материалов осуществляли при температуре 80°C в течение двух часов в электрическом поле 4 кВ/мм, возрастающем при охлаждении до 4,5 кВ/мм. Все образцы имели форму диска диаметром 9 мм и толщиной 1 мм.

Для исследования МЭ эффекта использовали метод, основанный на измерении напряжения, возникающего на образце при наложении на него переменного и медленно меняющегося магнитных полей. Амплитуда переменного магнитного поля составляла 1 Э на частоте 1 кГц.

МЭ коэффициент по напряжению (α_E) определяли исходя из толщины образца (h), величины напряжения (dV) и напряженности переменного магнитного поля (dH):

$$\alpha_E = dV/(h \cdot dH).$$

Результаты и обсуждение

Результаты исследований влияния температуры спекания и режимов обработки на МЭ коэффициент представлены на рисунке 1. С увеличением температуры спекания от 1180 до 1220°C наблюдается рост МЭ сигнала. При температуре спекания 1220°C МЭ коэффициент имеет максимальную величину и уменьшается с ее увеличением. Такая закономерность свойственна всем образцам независимо от технологии их получения. Ультразвуковая обработка порошка приводит к росту МЭ коэффициента. Образцы, полученные по обычной керамической технологии в режиме 1, имеют МЭ коэффициент, равный 185 мВ/(см Э) (кривая 1). Максимальный МЭ коэффициент, достигающий 207 мВ/(см Э), получен на образцах, изготовленных из активированных порошков в режиме 2 (кривая 2). Образцы, полученные из активированных порошков в режиме 3, имеют значения МЭ коэффициента равные 202 мВ/(см Э) (кривая 3). Причем, в этом случае кривая 3 на рисунке смещена в сторону меньших температур по сравнению с кривой 2.

Такие закономерности, по-видимому, связаны с особенностями влияния температуры спекания на МЭ эффект в объемных композитах. Процесс спекания сопровождается не только увеличением плотности керамики, но и перекрестным легированием исходных фаз. В первом случае, увеличение плотности приводит к росту МЭ коэффициента. Во втором к его уменьшению. Действие этих двух механизмов приводит к существованию своей оптимальной температуры спекания композиционного материала.

В основе полученных закономерностей лежит ультразвуковая обработка шихты. Она приводит к более равномерному перемешиванию порошков пьезоэлектрика и феррита, что сопровождается увеличением площади соприкосновения двух фаз и, как следствие, ростом МЭ эффекта. Кроме того, ультразвуковая обработка шихты приводит к измельчению исходных компонентов, улучшению дисперсного состава и понижению температуры спекания композиционной керамики.

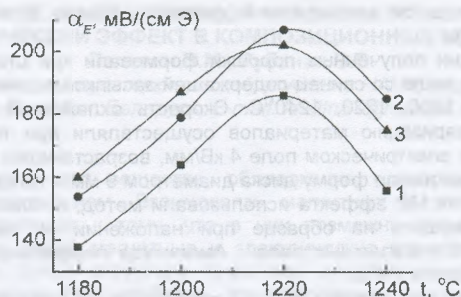


Рисунок 1 – Зависимости МЭ коэффициента от температуры спекания керамики, полученной из активированных порошков в режимах 1 (кривая 1), 2 (кривая 2) и 3 (кривая 3)

Выводы

Применение ультразвуковой механоактивации порошков позволяет улучшить МЭ эффект объемных композитов на 12%. Это обусловлено получением более однородного по своему составу композиционного материала и увеличением площади соприкосновения между фазами.

Список литературы:

1. Van Suchtelen. Product properties: a new application of composite materials / Van Suchtelen // Philips Res. Rep. – 1972. – V.27. – P.28–37.
2. Б.Г.Агранат. Ультразвук в порошковой металлургии. М.:Металлургия. – 1986. – 168 с.