

В.С.Леонтьев

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА ОБРАЗЦАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Магнитоэлектрические (МЭ) композиты характеризуются наличием гигантского МЭ эффекта в отличие от известных однофазных структур. Исследования МЭ композитов открыли широкие возможности для создания различных датчиков, трансформаторов и СВЧ устройств. Практически используются магнитострикционные структуры из пластин Метгласа с толщиной, превышающей один слой. В данной статье предлагается новый метод соединения слоев Метгласа на основе лазерной сварки. Были получены экспериментальные образцы двухслойных пластин Метгласа и проведено сравнение с клеевым соединением.

Ключевые слова: магнитоэлектрический эффект, магнитоэлектрическая структура, лазерная сварка

Введение

В настоящее время как за рубежом, так и в России большое внимание уделяется исследованию физических свойств материалов, характеризующихся несколькими типами их упорядочения (сегнетоэлектрическим, ферромагнитным, упругим и т.п.), т.е. мультиферроиков [1-3]. Это обусловлено возможностью использования мультиферроиков для создания многофункциональных электронных устройств. Взаимодействие между различными параметрами упорядочений в мультиферроиках может приводить к новым эффектам, например, к магнитоэлектрическому (МЭ) эффекту. Композиционные МЭ мультиферроики, содержащие пьезоэлектрическую и магнитострикционную фазу, обладают гигантским МЭ эффектом при комнатной температуре по сравнению с однофазными МЭ материалами, что делает их перспективными для технических применений. В материалах такого рода МЭ эффект проявляется как результат взаимодействия магнитострикционной и пьезоэлектрической фаз компонентов. Электрическая поляризация индуцируется внешним переменным магнитным полем в присутствии подмагничивающего поля или индуцированная намагниченность появляется при приложении электрического поля. Количественно МЭ эффект характеризуется МЭ коэффициентом по напряжению α_E , равным отношению индуцированного переменного электрического поля к приложенному магнитному переменному полю в условиях разомкнутой электрической цепи.

Для практического использования необходимы магнитострикционные структуры из пластин Метгласа толщиной, превышающей один слой. Как известно из [4], клеевая прослойка вносит потери и отрицательно влияет на величину МЭ коэффициента по напряжению с увеличением толщины клея.

Данная работа посвящена исследованию применения технологии лазерной сварки для создания магнитострикционной структуры из двух пластин Метгласа и сравнения ее со структурой, соединенной клеевым способом.

Измерительный стенд

Измерения проводились на измерительном стенде, включающем в себя генератор сигналов Nameg NMF2550, постоянный магнит, катушку индуктивности, осциллограф Nameg НМО722 и магнитометр. Стенд работает следующим образом: на катушку индуктивности подается сигнал генератора, который создает переменное магнитное поле H величиной в 1 Э. Далее, постоянным магнитом создается оптимальное для пластин Метгласа постоянное магнитное поле, которое составляет 30 Э (поле смещения). В результате поперечного МЭ эффекта создается переменный электрический сигнал, который фиксируется осциллографом.



Рис. 1. Структурная схема измерительного стенда

Исследуемые магнитоэлектрические структуры

Объектом исследования является лента Метгласа размером 10x5x0,03мм.

Пластины Метгласа соединялись посредством лазерной сварки различными видами швов: одним сплошным (рис. 2а); одним прерывистым (рис. 2б); двумя сплошными (рис. 2в); двумя прерывистыми (рис. 2г). Краткие характеристики лазерной сварки: волоконный лазер, фокусное расстояние системы 325 мм, режим работы импульсный, мощность 10—12 Вт, скорость 4—5 мм/сек.

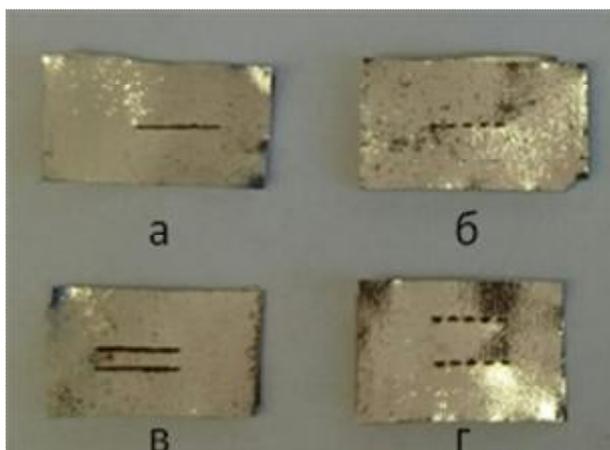


Рис. 2. Внешний вид исследуемых образцов

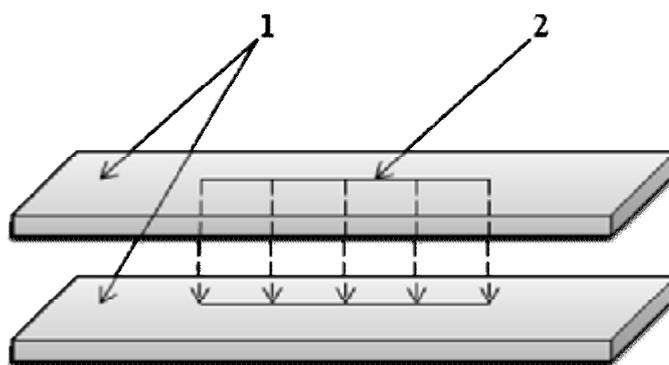


Рис. 3. Структура исследуемых пластин Метгласа: 1) пластины Метгласа; 2) сварочный шов

Далее, посредством клея пластины Метгласа соединялись с пластиной пьезоэлектрика ЦТС-19, образуя МЭ структуру (рис. 3).

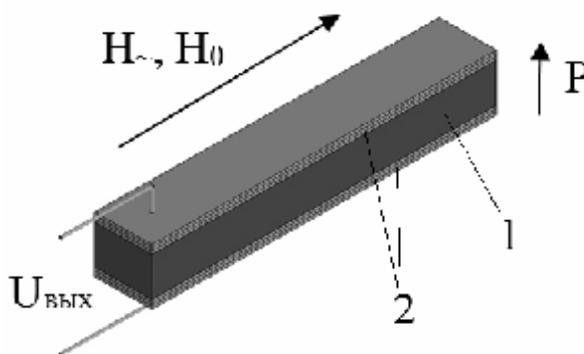


Рис. 4. Конструкция магнитоэлектрической структуры: 1 – пластина ЦТС-19, 2 – пластины Метгласа

Сварка пластин Метгласа одним швом

На рис. 5 представлен график зависимости выходного напряжения от частоты, из которого видно, что МЭ структура со сваркой слоев Метгласа одним сплошным швом имеет большую выходную характеристику — $U_{\text{вых}}=2,54 \text{ В}$ — на резонансной частоте. Выходное напряжение структуры со сваркой слоев Метгласа одним прерывистым швом составляет $U_{\text{вых}}= 1,55 \text{ В}$ на частоте резонанса.

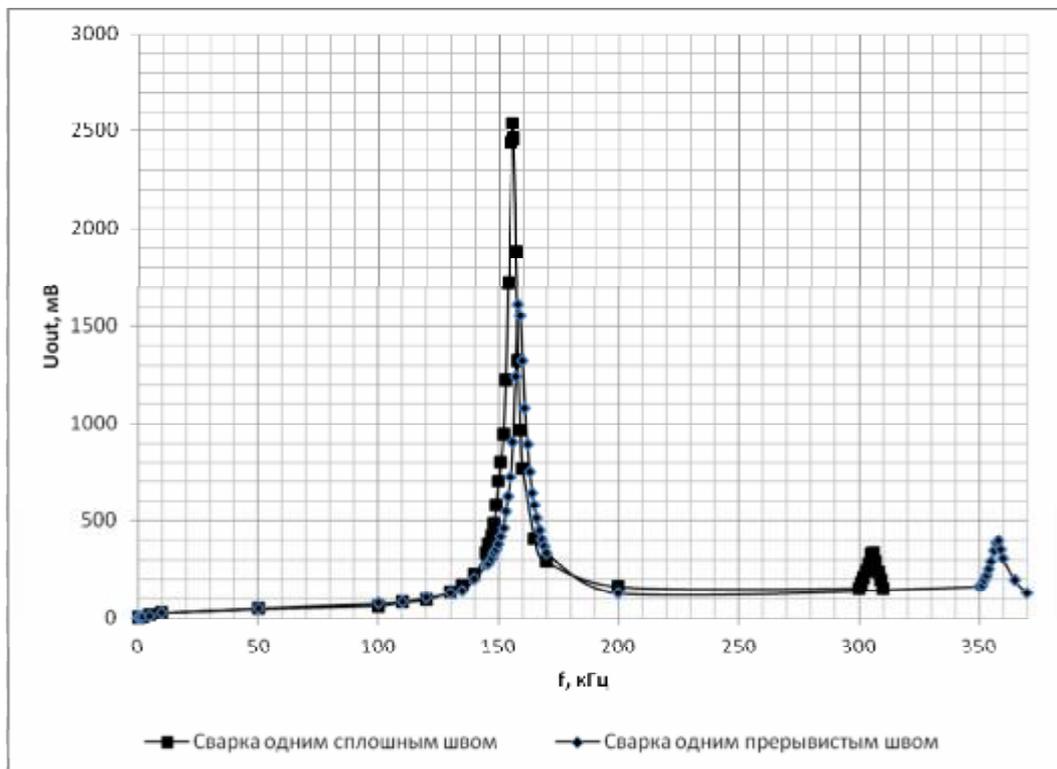


Рис. 5. Сварка пластин Метгласа одним швом

Сварка пластин Метгласа двумя швами

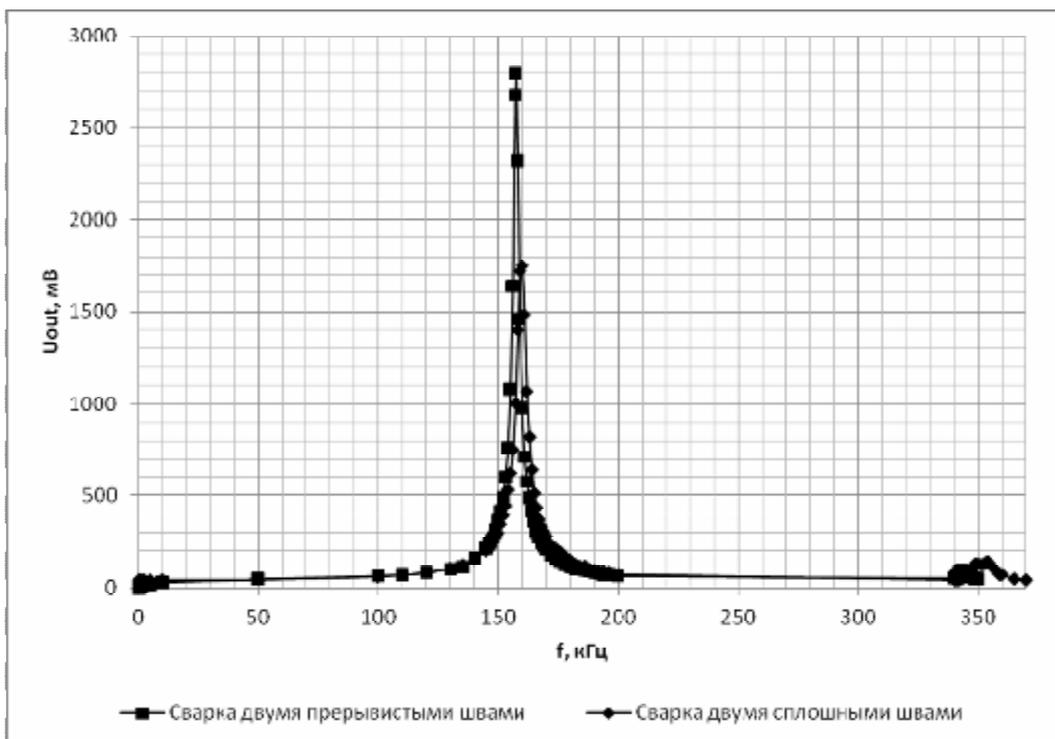


Рис. 6. Сварка пластин двумя швами

На рис. 6 наблюдается противоположная ситуация, МЭ структура со сваркой Метгласа двумя прерывистыми швами обладает более высокой выходной характеристикой и составляет $U_{\text{вых}}=2,8 \text{ В}$ на резонансе. Выходное напряжение МЭ структуры со сваркой Метгласа двумя сплошными швами составляет $U_{\text{вых}}=1,75 \text{ В}$.

Сравнение метода лазерной сварки и клеевого соединения

На рис. 7 представлена сравнительная характеристика клеевого и сварочного соединения. Видно, что величина выходной характеристики при клеевом соединении значительно ниже, также наблюдается смещение резонансной частоты. Величина выходного напряжения при клеевом соединении составляет $U_{\text{вых}}=0,96 \text{ В}$.

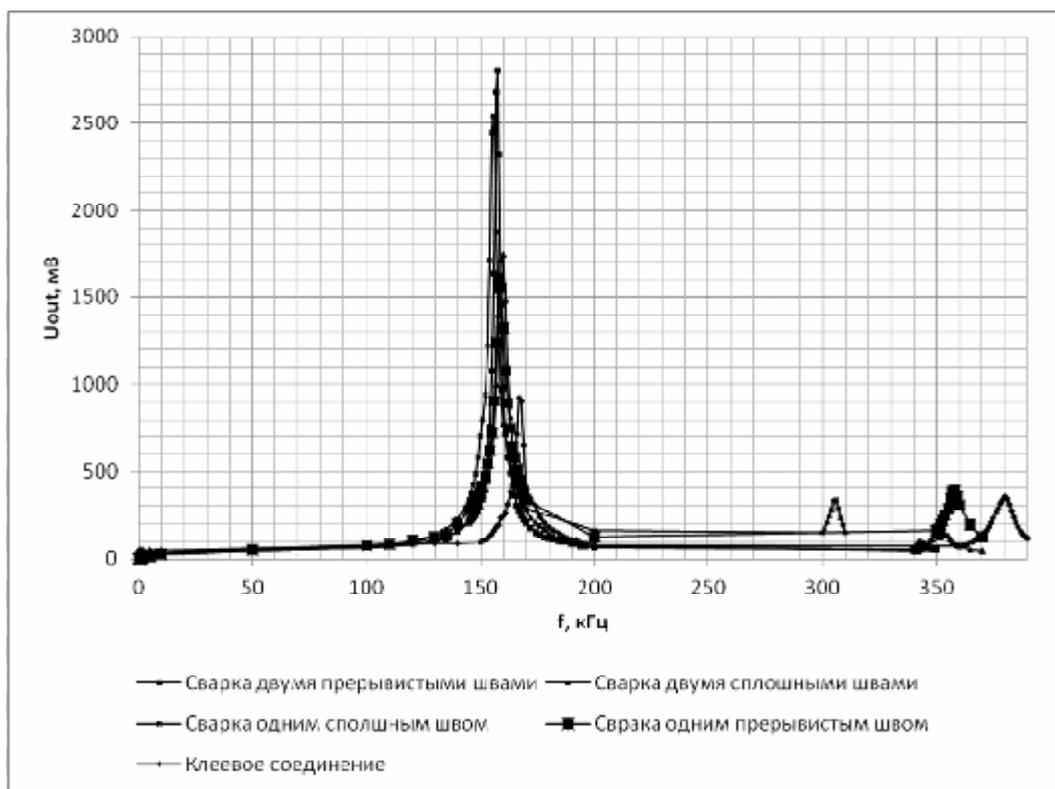


Рис. 7. Сравнительная характеристика сварочного и клеевого соединения

Следует отметить, что при использовании клеевого соединения между слоями Метгласа возникает неоднородность структуры. Вследствие чего происходит уменьшение выходной характеристики. Величина выходной характеристики также уменьшается с увеличением толщины клеевого слоя. Конечная толщина клеевой прослойки в магнитоэлектрической структуре составляет от 0,01 мм до 0,16 мм. При использовании лазерной сварки для соединения слоев Метгласа мы частично избавляемся от клеевой прослойки и стремимся к жесткой связи между слоями магнитоэлектрической структуры. Чем жестче связь между элементами в структуре, тем меньше потери. Идеальной является структура с абсолютной жесткой связью, такую структуру можно получить, используя такие сложные и дорогостоящие операции, как напыление и электрическое осаждение слоев магнитоэлектрической структуры.

Заключение

В данной статье представлены результаты исследований МЭ структур. Исследованы пластины Метгласа, соединенные при помощи метода лазерной сварки. Исследовались МЭ элементы, состоящие из пьезоэлектрика ЦТС-19 с размерами 10x5x1мм и обкладок Метгласа соответствующего размера. Проведено сравнение выходных характеристик МЭ структур. Обнаружено, что МЭ структуры с Метгласом, соединенным методом лазерной сварки, обладают более высокой выходной характеристикой, максимальное выходное напряжение в МЭ структуре со сваркой Метгласа двумя прерывистыми швами составляет $U_{\text{вых}}=2,8 \text{ В}$.

1. Bichurin M.I., Petrov V.M., Srinivasan G. Modeling of magnetolectric effect in ferromagnetic/piezoelectric multilayer composites // Ferroelectrics. 2002. Vol. 280. P. 165-175.

2. Bichurin M.I., Petrov V.M., Srinivasan G. Theory of low-frequency magnetoelectric effects in ferromagnetic-ferroelectric layered composites // Journal of Applied Physics. 2002. Vol. 92. № 12. P. 7681-7683.
3. Magnetoelectricity in Composites / Eds. M.Bichurin and D.Viehland. Singapore: Pan Stanford Publishing, 2011. 286 p.
4. J. Xing, S. Dong, J.F. Li, D.Viehland. Detection of pico-Tesla magnetic fields using magneto-electric sensors at room temperature // Appl. Phys. Lett. 2006. Vol. 88. P. 062510.

Leont'ev V.S. Magnetoelectric effect research by laser welding. Magnetoelectric (ME) composites are known to enable the achievement of ME voltage coefficients many orders of magnitude larger than previously reported values for single phase materials. The advancements have opened up many possibilities in applications of sensors, transformers, and microwave devices. We presented here a new of compound Metglas layers by laser welding.

Keywords: magnetoelectric effect, magnetoelectric structure, laser welding.

Сведения об авторе. В.С.Леонтьев — аспирант кафедры «Проектирование и технология радиоаппаратуры» ИЭИС НовГУ им. Ярослава Мудрого; viktorsergeevich.novsu@gmail.com.

Статья публикуется впервые. Поступила в редакцию 16.05.2016.