УДК 537.9 DOI: https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.2(123).31-35

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТГЛАС/GaAs/МЕТГЛАС ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

Е.В.Кузьмин, В.С.Леонтьев, А.Р.Петрова*, Л.А.Немцев, Р.В.Петров

INVESTIGATION OF THE MAGNETOELECTRIC STRUCTURE OF METGLAS/GaAs/METGLAS FOR USE IN ENERGY SOURCES

E.V.Kuzmin, V.S.Leontiev, A.R.Petrova*, L.A.Nemtsev, R.V.Petrov

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 7777744444@mail.ru
**Московский авиационный институт, a.r.petrova@yandex.ru*

Представлены результаты исследований магнитоэлектрических композитных структур на основе GaAs [100]. Экспериментально были исследованы магнитоэлектрические структуры Метглас/GaAs/Метглас с различными ориентациями в плоскости пластины (11-1), (1-10), (101), размеры пластин: 20×5×0,625 мм. Полученные результаты подтверждают первоначальные теоретические расчеты наблюдения максимального магнитоэлектрического эффекта в плоскости пластины GaAs [100]. Приведены графики зависимости выходного сигнала от частоты и зависимости выходного сигнала от угла плоскости пластины GaAs [100]. Максимальный магнитоэлектрической коэффициент по напряжению наблюдался в плоскости пластины GaAs (11-1) и составил $\alpha_{МЭ}$ = 17,41 В/(см·Э) на частоте $f_{рез}$ = 479,6 кГц. В заключительной части статьи обсуждаются перспективы возможного практического применения данных магнитоэлектрических структур для источников энергии.

Ключевые слова: магнитоэлектрическая структура, источник энергии, харвестер

Для цитирования: Кузьмин Е.В., Леонтьев В.С., Петрова А.Р., Немцев Л.А., Петров Р.В. Исследование магнитоэлектрической структуры Метглас/GaAs/Метглас для применения в источниках энергии // Вестник НовГУ. Сер.: Технические науки. 2021. №2(123). С.31-35. DOI: https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.2(123).31-35

This article presents the results of studies of magnetoelectric composite structures based on GaAs [100]. Magnetoelectric structures of Metglas/GaAs/Metglas with different orientations in the plate plane were studied experimentally (11-1), (1-10), (101), plate dimensions: 20×5×0.625 mm. The obtained results show in which axes in the plane of the GaAs plate [100] the maximum magnetoelectric effect is observed. Graphs of the frequency dependence of the output signal and the dependence of the output signal on the angle of the GaAs plate plane are given [100]. The maximum voltage magnetoelectric coefficient is observed in the plane of the GaAs plate (11-1) and is α_{ME} = 17.41 V/(cm·Oe) at the frequency f_{res} = 479.6 kHz. The final part of the article discusses the prospects for the possible practical application of these magnetoelectric structures for energy sources.

Keywords: magnetoelectric structure, energy source, harvester

For citation: Kuzmin E.V., Leontiev V.S., Petrova A.R., Nemtsev L.A., Petrov R.V. Investigation of the magnetoelectric structure of Metglas/GaAs/Metglas for use in energy sources // Vestnik NovSU. Issue: Engineering Sciences. 2021. №2(123). P.31-35. DOI: https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.2(123).31-35

Введение

Современный прогресс в науке и технике неразрывно связан с развитием научных знаний в области композиционных материалов. Важное место среди известных функциональных композиционных материалов занимают магнитострикционно-пьезоэлектрические материалы, уникальные свойства которых обусловлены существованием в них магнитоэлектрического (МЭ) эффекта. В таких материалах величина МЭ коэффициентов на несколько порядков превышает их значение в однофазных МЭ материалах, благодаря чему возможно широкое практическое применение МЭ эффекта. Для оптимизации МЭ параметров актуальной задачей является изучение взаимосвязи магнитных, электрических и МЭ свойств таких структур. К настоящему времени теоретически и экспериментально исследовано большое число магнитострикционно-пьезоэлектрических композитов на основе металлических ферромагнетиков, ферритов и различного типа пьезокерамик. Необходимость проведения таких исследований происходит из потребностей современной техники мобильной связи, интернет-коммуникаций, телевидения и радиовещания, радионавигационного оборудования и другой электронной техники в устройствах на основе новых функциональных материалов. Значительное число работ посвящено исследованиям новых МЭ материалов, в том числе мультиферроидным материалам [1]. Мультиферроидные материалы — материалы, в которых сосуществуют одновременно два и более типа «ферро» упорядочения: ферромагнитное (англ. ferromagnetic), сегнетоэлектрическое (англ. ferroelectric) и сегнетоэластичность (англ. ferroelastic) имеют широкие перспективы для применения в системах сбора энергии [2-3].

Миниатюризация и уменьшение энергопотребления привели к популярности систем сбора энергии, которые могут преобразовывать энергию окружающей среды, чтобы поддержать требования к питанию в интегральных схемах датчиков и исполнительных механизмов (рис.1). Энергия в природе может принимать различные формы, в том числе света, тепла, радиоволн, вибраций и колебаний.

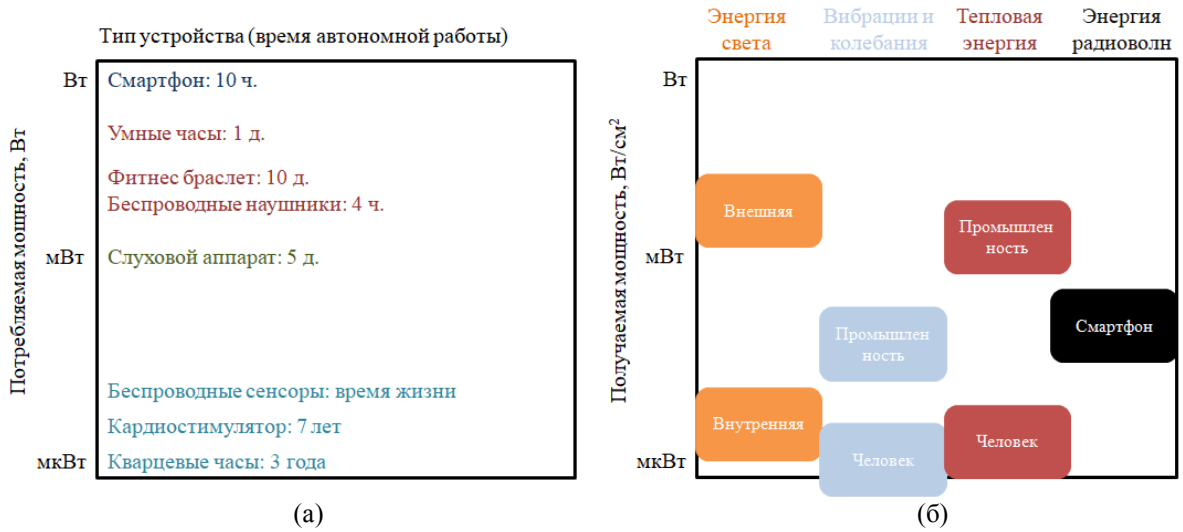

Рис.1. Сравнительные характеристики: а) различные устройства и их потребляемая мощность; б) полученная энергия из различных источников окружающей среды

Целью настоящей статьи является исследование МЭ структуры Метглас/GaAs/Метглас для практического применения в источниках энергии. Использование МЭ структуры Метглас/GaAs/Метглас как источника энергии позволит повысить энергоэффективность существующих устройств. Источники энергии, или, иначе, харвестеры, вызывают все больший интерес у научно-инженерного сообщества в последние несколько лет, и количество работ по данной тематике растет с каждым годом.

Исследуемые структуры

В данной работе исследовались слоистые структуры, состоящие из пьезоэлектрического материала GaAs [100] с размерами 20××5×0,625 мм и вырезанные в различных осях плоскости пластины (рис.2), и обкладок Метгласа (аморфный магнитомягкий сплав), которые одновременно служат электродами. В исследовании были использованы пластины GaAs производства Xiamen Compound Semiconductor Wafers китайского производства, и сплав Метглас AMAG 492 ПАО «МСТАТОР» производства России.

Резка проводилась на установке дисковой резки ADT 7122 алмазным диском толщиной 20 мкм со скоростью 2 мм/с при 40 оборотах диска в секунду.

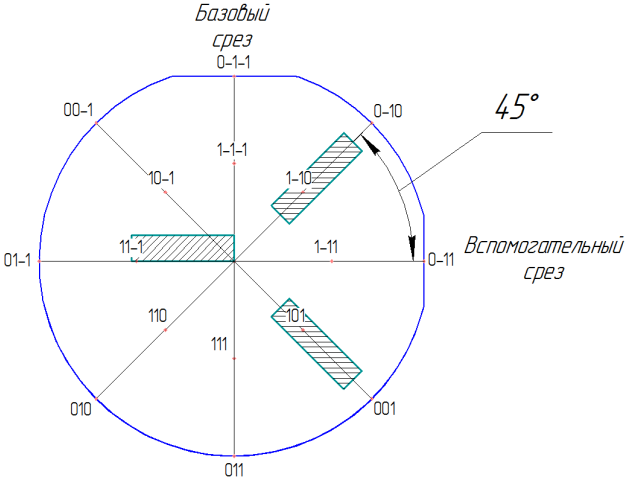

Рис.2. Расположение осей плоскости пластины GaAs с нанесенными проекциями исследуемых образцов

На рис.3 представлена торцевая часть полученного образца, сфотографированная на инспекционном микроскопе Carl Zeiss Jena (inspection JENATECH). Данный рез получился качественным, так как отсутствуют сколы, трещины и поры.

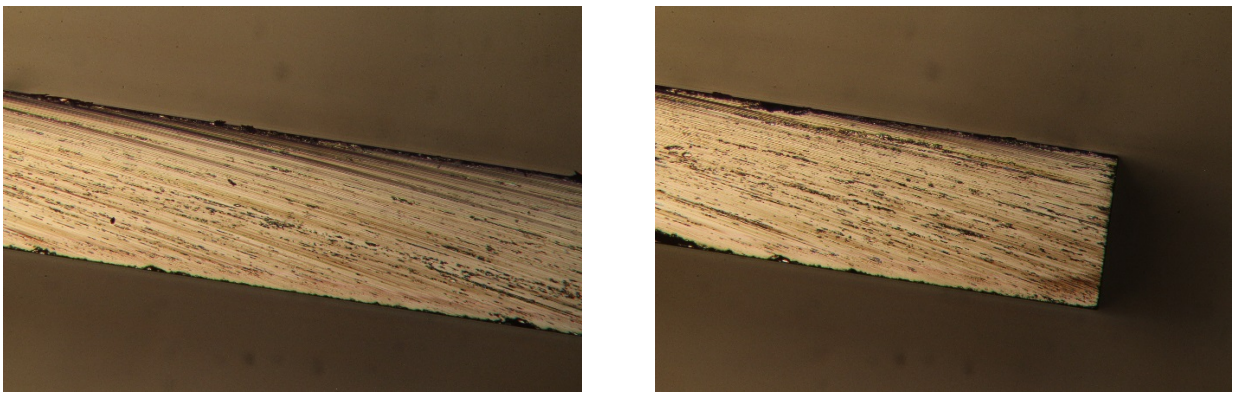

Рис.3. Торцевая часть образца под увеличением

Измерение толщины полученных исследуемых пластин проводилось с помощью цифрового микрометра Mitutoyo на измерительной плите Planolith D-63741. Все пластины пьезоэлектрического материала GaAs имеют толщину 625 мкм.

Конструкция исследуемых МЭ элементов Метглас/GaAs/Метглас приведена на рис.4. Пластины Метгласа соединялись с пластиной GaAs посредством клея марки БФ-2 производителя АО «АНЛЕС», толщина клеевого слоя не превышает 1 мкм. С каждой стороны образца приклеены по 3 пластины Метгласа (рис.4), внешняя пластина на 5 мм длиннее, для пайки выводов.

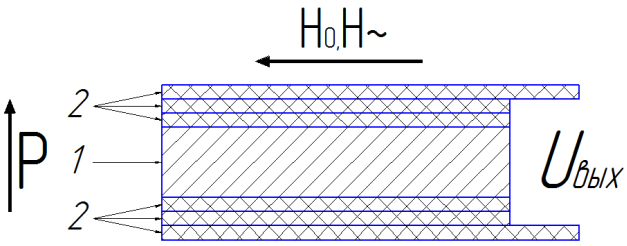

Рис.4. Конструкция исследуемых магнитоэлектрических элементов Метглас/GaAs/Метглас: 1 — пластина GaAs, 2 — пластины Метгласа

Стрелками указано направление постоянного и переменного магнитных полей и направление поляризации.

Измерительный стенд

Измерения проводились на измерительном стенде (рис.5), включающем в себя генератор сигналов Hameg HMF2550, постоянный магнит, катушку индуктивности, осциллограф Hameg HMO722 и магнитометр. Стенд работает следующим образом: на соленоид подается сигнал генератора, который производит переменное магнитное поле H~ величиной около 1 Э. Далее, постоянным магнитом создается постоянное магнитное поле, которое составляет около 30 Э. В результате воздействия постоянного и переменного поля вследствие поперечного МЭ эффекта на обкладках МЭ элемента индуцируется электрический сигнал, который фиксируется осциллографом.

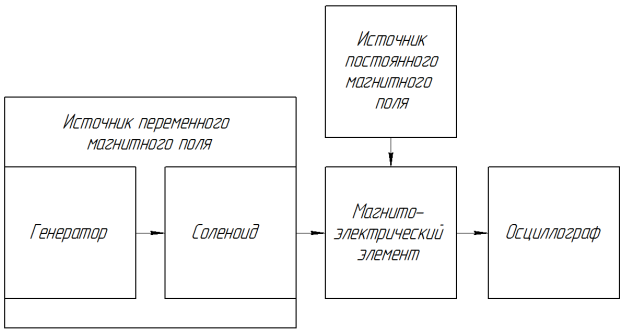

Рис.5. Структурная схема измерительного стенда

Измеренные значения МЭ коэффициента по напряжению показаны на рис.6.

Результаты измерений

Для проведения экспериментальных исследований были подготовлены следующие МЭ слоистые структуры — Метглас/GaAs/Метглас с размерами 20×5×0,625мм. Измерения проводились по ранее отработанной методике измерения МЭ эффекта [4] на измерительном стенде (рис.5). Экспериментальные образцы помещались в катушку индуктивности, далее подавалось поле смещения при помощи постоянного магнита, в результате воздействия постоянного и переменного магнитных полей на композитную структуру наблюдался прямой МЭ эффект. Затем отклик выходного сигнала фиксировался осциллографом. Исследуемые образцы были свободно расположены внутри измерительного стенда.

Был найден МЭ коэффициент по напряжению как функция частоты приложенного магнитного поля. Он определялся путем измерения напряжения, наве-

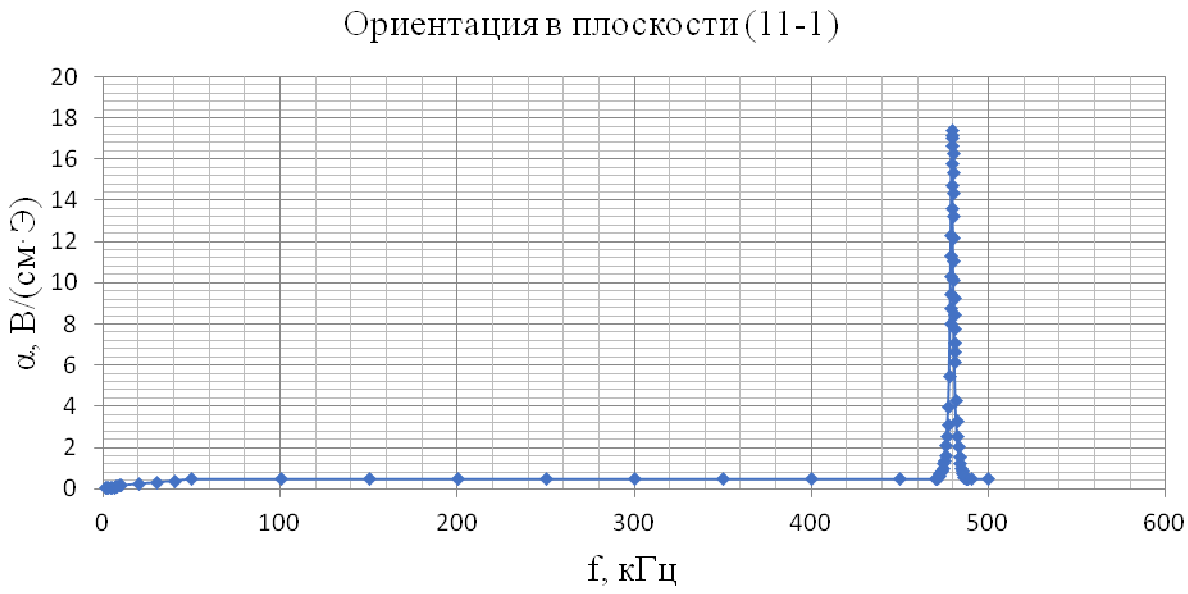

Рис.6. График зависимости МЭ коэффициента от частоты в структуре Метглас/GaAs/Метглас

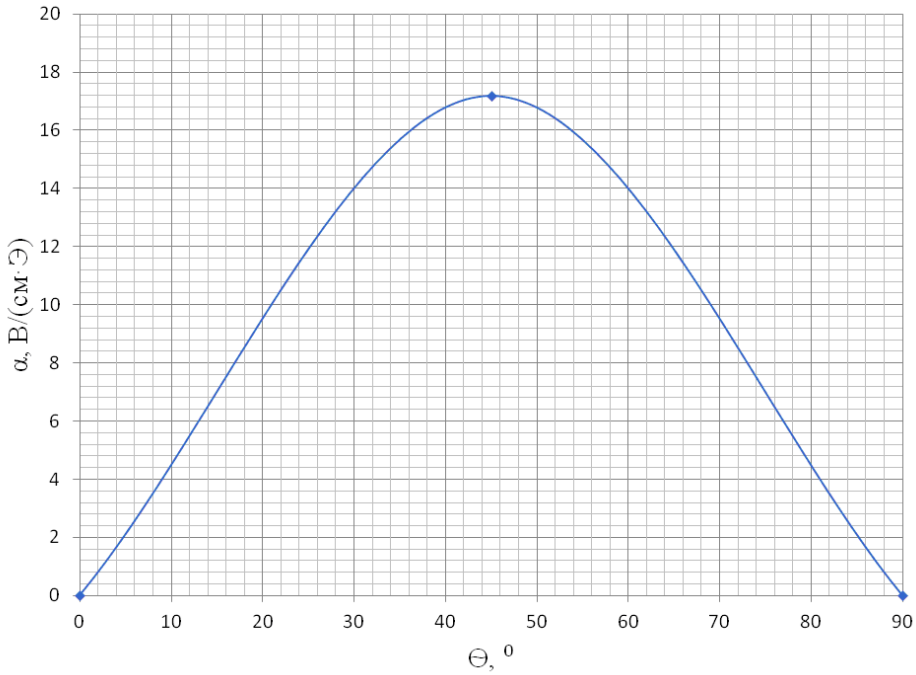

Рис.7. Изменение пикового МЭ коэффициента в зависимости от угла между направлением длины образца на частоте ЭМР

денного на пьезоэлектрический слой. Измерения проводились при подмагничивающем поле, соответствующем максимальному пьезомагнитному коэффициенту.

Для структуры Метглас/GaAs/Метглас поле смещения составляло около 30 Э. Чтобы уменьшить влияние эффекта размагничивания, к образцу прикладывались в плоскости переменные и постоянные магнитные поля. Переменное магнитное поле величиной 1 Э создавалось катушками Гельмгольца, а подмагничивающее поле — электромагнитом. Измеренные значения МЭ коэффициента напряжения для структуры Метглас/GaAs/Метглас показаны на рис. 6 и 7.

Учитывая тот факт, что большинство МЭ систем сбора энергии работают в масштабе от микроватт до милливатт, наиболее распространенным применением МЭ элементов в устройствах сбора энергии может являться обеспечение энергией маломощной электроники, включая имплантируемые биомедицинские устройства, узлы беспроводных датчиков, встроенную и портативную электронику. Устройства сбора энергии (харвестеры) либо источники энергии на основе МЭ материалов могут обеспечить постоянный автономный поток энергии, который не требует замены или обслуживания. Количественная оценка использования харвестеров на магнитоэлектрическом материале GaAs измеряется в пределах от 1 до 10 мВт. По сравнению с традиционными источниками энергии, такими как батареи, автономная работа может снизить затраты, связанные с заменой батарей. Кроме того, автономные источники энергии позволяют встраивать электронные устройства в конструкции или размещать их в удаленных местах. В связи с развитием маломощной электроники (например, беспроводных датчиков, МЭМС) устройства сбора энергии на основе МЭ структур привлекают значительное внимание исследовательского сообщества для исследований и практических применений.

Заключение

В данной работе рассматривается МЭ эффект в слоистой структуре на основе аморфного магнитострикционного сплава и монокристаллического арсенида галлия. Экспериментальные исследования проводились на МЭ слоистых структурах GaAs [100]. Выявлено, что в структуре Метглас/GaAs/Метглас максимальный МЭ эффект наблюдается в плоскости пластины (11-1). Полученные результаты согласуются с ранее разработанной теоретической моделью [5] и могут быть использовать для практического применения, так как монокристаллический арсенид галлия имеет большое значение d/ε, высокие радиационную стойкость и температурную стабильность.

Рассматривая возможность практического применения исследуемых структур, можно выделить одно из перспективных направлений исследований — это устройства сбора энергии на МЭ элементах (ME Energy Harvesting, МЭ источники энергии). Применение МЭ структуры Метглас/GaAs/Метглас в источниках энергии позволит повысить эффективность существующих МЭ устройств сбора энергии и, как следствие, увеличит количество вырабатываемой таким устройством энергии. В дальнейшем планируется оптимизация полученной композитной структуры для улучшения выходных характеристик и разработка прототипа промышленного МЭ устройства сбора энергии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-42-530001 р_а, а также при финансовой поддержке в рамках гранта для молодых ученых НовГУ 2020-2021 гг.

1. Ce-Wen Nan, Bichurin M.I., Shuxiang Dong et al. Multiferroic magnetoelectric composites: Historical perspective, status, and future directions. J. Appl. Phys., 2008, vol.103, p.031101.
2. Bedekar V., Bichurin M.I., Solovjev I. et al. Multimodal Energy Harvesting System. Proc. SPIE 8035. Energy Harvesting and Storage: Materials, Devices, and Applications II, 80350T (May 17, 2011).
3. Dong S., Zhai J., Li J. F. et al. Multimodal system for harvesting magnetic and mechanical energy. APL, 2008, vol.93, p.103511.
4. Petrov V.M., Bichurin M.I., Lavrentyeva K.V. et al. Enhanced Magnetoelectric Coupling in Layered Structure of Piezoelectric Bimorph and Metallic Alloy. Journal of Electronic Materials, 2016, vol. 45, is. 8, pp. 4197–4201. DOI: 10.1007/s11664-016-4628-9
5. Bichurin M.I., Petrov V.M., Leontiev V.S. et al. Magnetoelectric effect in layered structures of amorphous ferromagnetic alloy and gallium arsenide. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2017, vol. 424.