

**Грачев А.А., Садовников А.В., Бегинин Е.Н.,  
Шараевский Ю.П.**

*Саратовский национальный исследовательский  
университет им. Н.Г. Чернышевского*

## **Управляемый деформациями многоканальный ответвитель мощности на магнитоэлектрических волнах**

*В данной работе с помощью численного моделирования основанного на методе конечных элементов и с помощью микромагнитного моделирования исследована динамика спиновых волн, распространяющихся в системе латеральных микроволноводов с пьезоэлектрическим слоем.*

**Ключевые слова:** спиновые волны, стрейнтроника, ответвитель.

Развитие идей магноники [1,2], направленных исследование процессов переноса магнитного момента или спина электрона вместо переноса заряда, открывает новые возможности для применения спиновых волн в построении элементной базы приборов обработки, передачи и хранения информации в микроволновом и терагерцевом диапазоне радиоволн на новых физических принципах [1-3]. Тонкие плёнки железо-иттриевого граната (ЖИГ) демонстрируют значительно меньшие значения затухания спиновых волн (СВ) по сравнению с металлическими магнитными плёнками. Длина распространения СВ в магнитных ЖИГ микроволноводах и магнетонных кристаллах составляет величину порядка единиц миллиметров при комнатной температуре [4,5]. Использование латерально магнитных микроструктур представляется важным для разработки элементов межсоединений в планарных топологиях магнетонных сетей [6]. Управление перестройкой частоты с помощью магнитного поля для устройств магноники происходит медленно и требует большого расхода энергии. В отличие от этого, электрическая настройка гораздо быстрее. Использование пьезоэлектрических слоёв позволяет существенно расширить функциональность латеральных микроструктур за счет дополнительной возможности двойного управления их характеристиками. Возможность перестройки электрическим полем ЖИГ-пьезоэлектрических СВЧ устройств [7] позволяет разрабатывать магнетонные волноводы с управляемой деформацией. Электрическое поле вызывает деформацию слоя пьезоэлектрика вследствие обратного пьезоэффекта. Деформация передается ЖИГ плёнке, которая механически связана с пьезоэлектрическим слоем. Из-за обратного эффекта магнитострикции (эффект Виллари) в ЖИГ плёнке изменяется внутреннее магнитное поле.

В данной работе с помощью численного моделирования основанного на методе конечных элементов и с помощью микромагнитного моделирования исследована динамика спиновых волн, распространяющихся в системе латеральных микроволноводов с пьезоэлектрическим слоем.

На рисунке 1 схематически показана рассматриваемая структура, состоящая из трёх латеральных микроволноводов, полученных с помощью метода лазерной резки из плёнки ЖИГ, толщиной 10 мкм, находящейся на подложке из галлий-гадолиниевого граната. На данной латеральной системе будет расположен пьезоэлектрический слой цирконата-титаната свинца с напылёнными на него электродами из хрома толщиной 50 нм на нижней

стороне (где непосредственно происходит связь плёнки ЖИГ и пьезоэлектрического слоя) и толщиной 250 нм на верхней части пьезоэлектрического слоя для создания эффективной локальной деформации каждой из плёнок ЖИГ.

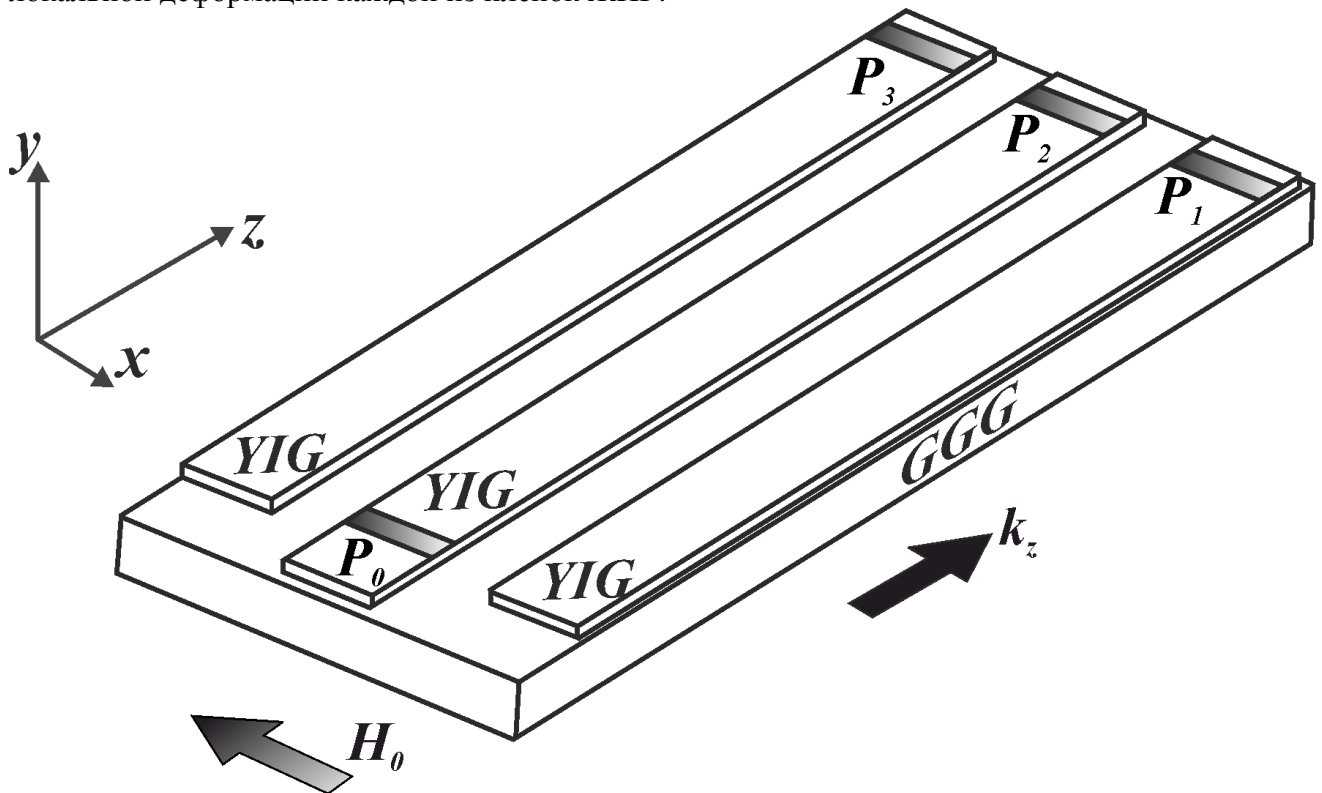


Рис. 1. Схема рассматриваемой структуры.

Структура помещена в однородное статическое магнитное поле  $H = 1200$  Э, направленное вдоль короткой оси микроволноводов для эффективного возбуждения поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ). Прикладываемое внешнее электрическое поле к пьезоэлектрическому слою  $E = -12.5..12.5$  кВ/см.

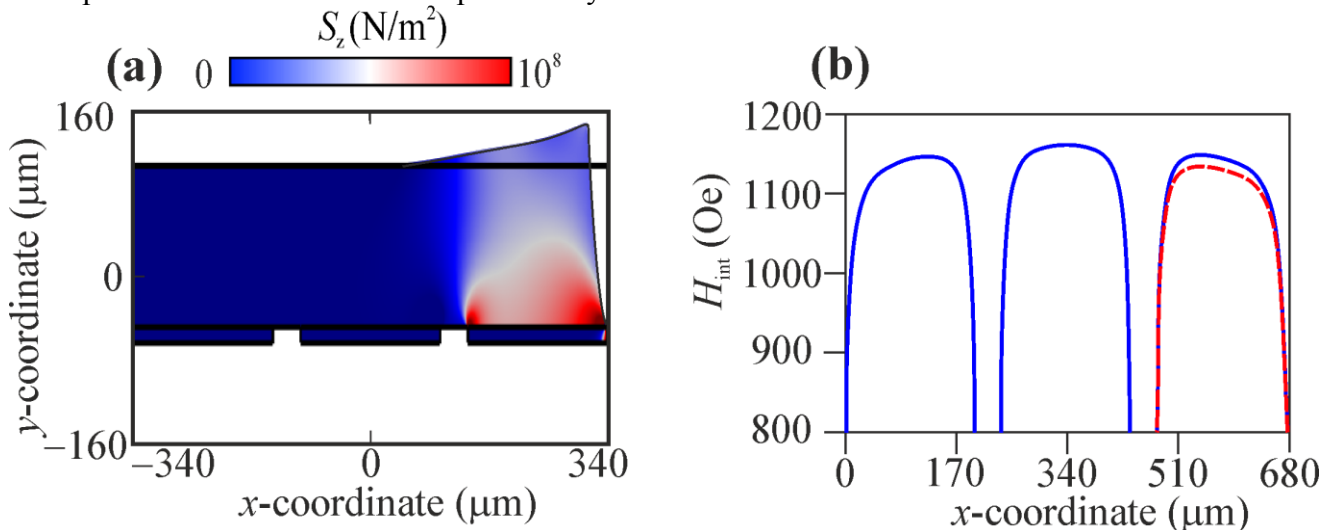


Рис. 2. (а) Распределение компоненты тензора напряжений  $S_z$  в случае приложения внешнего электрического поля к пьезоэлектрическому слою, (б) Профили внутреннего магнитного поля ЖИГ микроволноводов в случае отсутствия внешнего электрического поля (синие кривые) и в случае приложения внешнего электрического поля к одному из электродов.

С помощью метода конечных элементов был произведена оценка влияния деформации на внутренне магнитное поле магнитных микроволноводов. На рисунке 2 (а) представлено распределение тензора напряжений в латеральной структуре в случае приложения напряжения к одному из электродов. Видно, что в этом случае деформация возникает только в области первого электрода, вследствие обратного пьезоэффекта деформация передается ЖИГ плёнке, которая в свою очередь так же деформируется. Из-за обратного эффекта магнитострикции в ЖИГ плёнке изменяется внутреннее магнитное поле. На рисунке 2 (b) показаны профили внутреннего магнитного поля латеральной системы в случае отсутствия внешнего магнитного поля (синие кривые). В случае приложения внешнего электрического поля к одному из электродов возникнет деформация одного из микроволноводов и изменится величина внутреннего магнитного поля в данном микроволноводе (красная штриховая линия).

С помощью микромагнитного моделирования, основанного на решении уравнения Ландау-Лифшица методом конечных разностей показано распространение спиновых волн в латеральной структуре при различных значениях внешнего электрического поля. Таким образом, показано двойное управление (электрическим и магнитным полями) в латеральной структуре. Перестройка магнитным полем может быть выполнена путем смещения величины внешнего магнитного поля, в то время как перестройка электрическим полем возможна благодаря изменению свойств пьезоэлектрического слоя, путем вариации приложенного электрического поля.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№ 16-29-14021,16-37-00217) и стипендии (СП-313.2015.5) и гранта (МК-5837.2016.9) Президента РФ.

#### Библиографический список

1. S. A. Nikitov, D. V. Kalyabin, I. V. Lisenkov, A. N. Slavin, Y. N. Barabanenkov, S. A. Osokin, A. V. Sadovnikov, E. N. Beginin, M. A. Morozova, Y. P. Sharaevsky, Y. A. Filimonov, Y. V. Khivintsev, S. L. Vysotsky, V. K. Sakharov, and E. S. Pavlov, *Magnonics: A new research area in spintronics and spin wave electronics*, *Phys. Usp.* 185, 1099 (2015).
2. V. E. Demidov, S. Urazhdin, A. Zholud, A. V. Sadovnikov, A. N. Slavin, and S. O. Demokritov, *Spin-current nanooscillator based on nonlocal spin injection*, *Sci. Rep.* 5, 8578 (2015).
3. A. V. Chumak, V. I. Vasyuchka, A. A. Serga, and B. Hillebrands, *Magnon spintronics*, *Nat. Phys.* 11, 453 (2015).
4. A. V. Chumak, T. Neumann, A. A. Serga, B. Hillebrands and M. P. Kostylev, *A current-controlled, dynamic magnonic crystal*. *J. Phys. D* 42, 205005 (2009).
5. M. Vogel, A. V. Chumak, E. H. Waller, T. Langner, V. I. Vasyuchka, B. Hillebrands & G. von Freymann, *Optically-reconfigurable magnetic materials*, *Nature Phys.* 11, 487–491 (2015).
6. A. V. Sadovnikov, E. N. Beginin, S. E. Sheshukova, D. V. Romanenko, Y. P. Sharaevskii, and S. A. Nikitov, *Directional multimode coupler for planar magnonics: Sidecoupled magnetic stripes*, *Appl. Phys. Lett.* 107, 202405 (2015).
7. Fetisov, Y. K. and Srinivasan, G. *Electric field tuning characteristics of a ferrite-piezoelectric micro-wave resonator*, *Applied Physics Letters* 88, 143503 (2006)