

**Грачев А.А., Садовников А.В., Сердобинцев А.А.,  
Шараевский Ю.П.**

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

## **Управляемый деформациями частотный фильтр СВЧ сигнала на магнитостатических волнах**

*В данной работе с помощью микромагнитного моделирования и радиофизических измерений исследована динамика спиновых волн, распространяющихся в магнетонном кристалле с пьезоэлектрическим слоем. Показано распространение спиновых волн в слоистой 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.*

**Ключевые слова:** спиновые волны, стрейнотроника, магнетонный кристалл, фильтр

Концепция создания магнетонных сетей основана на соединении базовых логических элементов, таких как сплиттеры, мультиплексоры и демультимплексоры, направленные ответвители, и многие другие, чтобы обеспечить расширенную функциональность и возможность обработки спин-волнового сигнала [1,2]. Важным шагом в создании интегральных магнетонных схем является проектирование компоновки функциональной части сети с соединением магнетонных устройств. Тонкие плёнки железо-иттриевого граната (ЖИГ) демонстрируют значительно меньшие значения затухания спиновых волн (СВ) по сравнению с металлическими магнитными плёнками. В композитных мультиферроидных структурах, состоящих из пленки ЖИГ и слоя пьезоэлектрика, оказывается возможным управлять спектром магнитостатических спиновых волн (МСВ) с помощью изменения как магнитного, так и электрического полей [3,4]. Возможность перестройки электрическим полем ЖИГ-пьезоэлектрических СВЧ устройств [5] 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 микромагнитного моделирования и радиофизических измерений исследована динамика спиновых волн, распространяющихся в магнетонном кристалле с пьезоэлектрическим слоем.

На рис. 1 схематически показана рассматриваемая структура, состоящая из гофрированного магнетонного кристалла, полученного с помощью метода лазерной резки из плёнки ЖИГ, толщиной 7.7 мкм, находящейся на подложке из галлий-гадолиниевого граната. На магнетонном кристалле расположен пьезоэлектрический слой цирконата-титаната свинца. Структура помещена в однородное статическое магнитное поле  $H=1100$  Э, направленного вдоль короткой оси магнетонного кристалла для эффективного

возбуждения поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ). На поверхности пьезоэлектрического слоя (на стороне, где происходит связь с ЖИГ плёнкой) напылены электроды из хрома, толщиной 150 нм, с помощью метода лазерной резки на данной стороне сформирована система «встречные штыри» для улучшения взаимодействия с магнетонным кристаллом. На верхней части пьезоэлектрического слоя нанесены электроды из хрома, толщиной 250 нм.

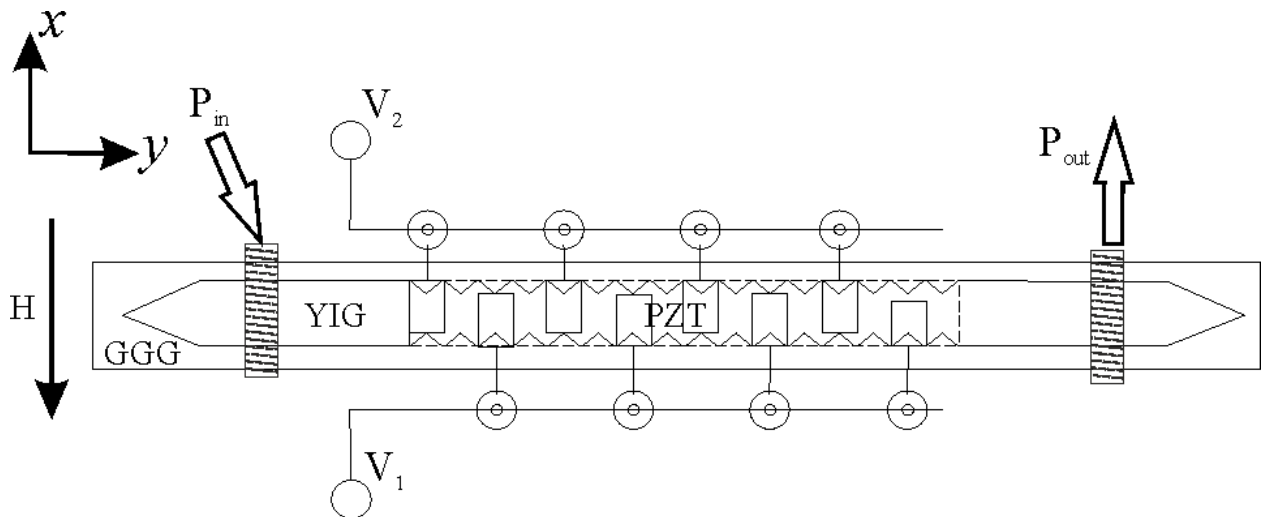


Рис. 1. Схема рассматриваемой структуры.

С помощью СВЧ-векторного анализатора цепей и метода Мандельштам-Бриллюэновского рассеяния света (БЛС) (путем сканирования зондирующего светового пятна на поверхности магнетонного кристалла) показано, что электрическое поле влечёт за собой образование запрещенной зоны при распространении СВ.

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 (№18-37-00482).

#### Библиографический список

1. S.A Nikitov, et.al., Magnonics: A new research area in spintronics and spin wave electronics Phys. Usp. 2015, V. 58, P. 1002–1028.
2. A.V. Sadovnikov, A.A. Grachev, V.A. Gubanov, S.A. Odincov, A.A. Martyshkin, S.E. Sheshukova, Yu.P. Sharaevskii, and S.A. Nikitov Spin-wave intermodal coupling in the interconnection of magnonic units, Appl. Phys. Lett. 112, 142402 (2018)
3. A.V. Sadovnikov, A.A. Grachev, E.N. Beginin, S.E. Sheshukova, Y.P. Sharaevskii, S.A. Nikitov, Voltage-Controlled Spin-Wave Coupling in Adjacent Ferromagnetic-Ferroelectric Heterostructures, Physical Review Applied, 7, 1, 014013
4. A.V. Sadovnikov, A.A. Grachev, E.N. Beginin, S.A. Odintsov, S.E. Sheshukova, Yu.P. Sharaevskii, S.A. Nikitov, Spatial Dynamics of Hybrid Electromagnetic Spin Waves in a Lateral Multiferroic Microwaveguide, JETP Letters, 2017, Vol. 105, No. 6, pp. 364–369
5. A.V. Sadovnikov, A.A. Grachev, E.N. Beginin, S.E. Sheshukova, Yu.P. Sharaevskii, A.A. Serdobintsev, D.M. Mitin, S.A. Nikitov, Splitting of Spin Waves in Strain Reconfigurable Magnonic Stripe, IEEE Transactions on Magnetism. 2017. Vol. 53 Issue 11. Pp. 1-4.