

Одинцов С.А.<sup>1</sup>, Садовников А.В.<sup>1</sup>, Шешукова С.Е.<sup>1</sup>,  
Бегинин Е.Н.<sup>1</sup>, Шараевский Ю.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет

им. Н.Г. Чернышевского

## Нелинейный спин-волновой ответвитель мощности в латеральной топологии

*В настоящей работе было проведено численное и экспериментальное моделирование и исследование динамики распространения волн в системе двух латеральных, ограниченных в поперечном направлении микроволноводов из железо – иттриевого граната. Был выполнен расчет дисперсионных характеристик и профилей полей собственных мод волн, распространяющихся в данной структуре. С помощью метода Манделштам-Бриллюэновской спектроскопии проведено исследование характеристик спиновых волн. Выявлен механизм нелинейной спин-волновой связи между латеральными микроволноводами. Показано, что необходимо учитывать многомодовую связь между волноводами. Также продемонстрировано, что увеличение мощности спиновой волны ведёт к изменению длины перекачки. Таким образом, в латеральных магнитных микроволноводах возможно нелинейное переключение, которое можно использовать в планарной топологии магнанных сетей.*

**Ключевые слова:** волновод, ЖИГ, ответвитель, магنونика.

В последнее время является актуальной разработка магнанных микро- и наноразмерных элементов, которая приводит к созданию функциональных устройств для разработки элементов межсоединений в планарных топологиях магнанных сетей [1-3]. Магнитные волноводы используются для управления спиновыми волнами на микро и наномасштабе из-за возможности управления дисперсией мод. Уникальные особенности магнитных материалов обеспечивают парадигму технологии обработки сигналов, основанную на распространяющихся спиновых волнах [3]. Направленный ответвитель может быть изготовлен с использованием латеральных магнитных микроволноводов [4] и / или магнанных кристаллов [5]. Ранее было показано, что латерально связанные ограниченные магнитные микроволноводы могут быть предложены в качестве альтернативного подхода к методам частотной фильтрации [4].

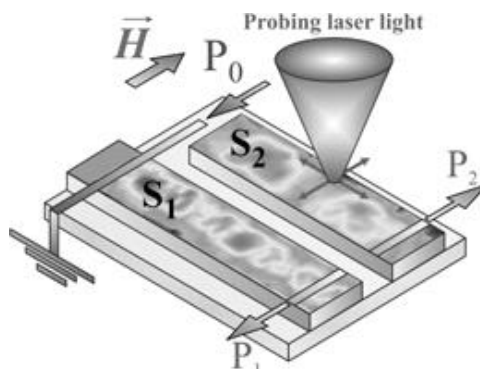


Рис. 1. Схематическое изображение нелинейного магннного ответвителя и двумерная карта интенсивности спиновой волны.

На рис. 1 показана схема нелинейного магнетонного элемента связи, который был изготовлен с помощью лазерного скрайбирования на поверхности пленки железо-иттриевого граната (YIG) толщиной 10 мкм на подложке гадолиний-галлиевого граната (GGG). Ширина обоих волноводов была  $w = 200$  мкм. Расстояние между микроволноводами S1 и S2 составляло 40 мкм. Длина магнитных микроволноводов составляла 7 мм для S1 и 5 мм для S2. Длина связи составляла  $b = 5$  мм. Для возбуждения спиновой волны использовался СВЧ-преобразователь шириной 35 мкм и длиной 2 мм. Входные преобразователи были прикреплены к полоске S1. Структура была помещена в однородное статическое магнитное поле  $H = 1200$  Э, ориентированное вдоль короткой оси каждого микроволновода для эффективного возбуждения направляемой магнитоэлектрической поверхностной волны (MSSW). С помощью метода Мандельштам-Бриллюэновской, была измерена двумерная карта интенсивности спиновых волн, распространяющихся в каждой полосе.

На рис. 1 также показана двумерная пространственная карта интенсивности спиновой волны на частоте 5.1 ГГц. Карта интенсивности была получена путём сканирования зондирующего светового пятна на поверхности плёнок с пространственным разрешением 25 мкм и затем интегрированием с периодом 2 мкс. периодическим образом с пространственным периодом, равным удвоенной длине связи -  $2L$ .

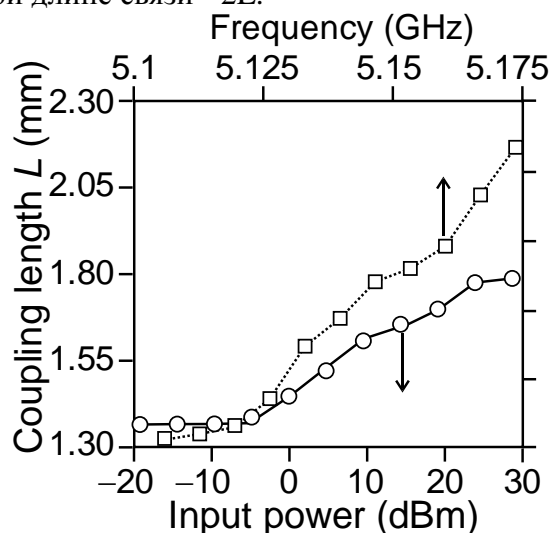


Рис. 2. Зависимость длины перекачки от мощности (сплошная линия) входного сигнала и от частоты (штрихованная линия) входного сигнала

На рис. 2 приведены зависимость длины перекачки от мощности (сплошная линия) входного сигнала и от частоты (штрихованная линия) входного сигнала. Стоит также отметить, что  $L$  увеличивается с увеличением уровня входной мощности. Таким образом, мы видим, что увеличение уровня входного СВЧ-сигнала приводит к изменению коэффициента передачи мощности между магнитными микроволноводами. Затем, чтобы выяснить механизм связи между полосами, мы проводим микромагнитное исследование распространения спиновых волн вдоль латеральных волноводов. Также был произведён численный расчет зависимости длины связи, зависимой от мощности на основе двух связанных уравнений Ландау-Гинзбурга [6]. Феноменологический параметр нелинейного затухания был получен из сравнения экспериментальных и теоретических данных.

Таким образом, был выявлен механизм нелинейной спин-волновой связи между латеральными микроволноводами. Показано, что необходимо учитывать многомодовую связь между волноводами. Также продемонстрировано, что увеличение мощности спиновой волны ведёт к изменению длины перекачки. Таким образом, в латеральных магнитных

микроволноводов возможно нелинейное переключение, которое можно использовать в планарной топологии магнонных сетей.

Изготовление структур и БЛС эксперимент выполнен в рамках проекта РФФ (16-19-10283), численное моделирование выполнено при поддержке гранта РФФИ (16-37-00217, 16-02-00789), стипендии (СП-313.2015.5) и гранта (МК-5837.2016.9) Президента РФ.

#### Библиографический список

1. Nikitov S A, et.al., Magnonics: a new research area in spintronics and spin wave electronics, *Phys. Usp.* 58 (10) (2015).
- 2 Demidov V.E., et.al., Spin-current nano-oscillator based on nonlocal spin injection, *Sci. Rep.* 5, 8578 (2015).
3. A. V. Chumak, et.al., Magnon spintronics, *Nature Physics* 11, 453–461 (2015).
4. A.V. Sadvnikov, et.al., Directional multimode coupler for planar magnonics: Side-coupled magnetic stripes, *Applied Physics Letters* 107, 202405 (2015)
5. A.V. Sadvnikov, et.al., Nonlinear spin wave coupling in adjacent magnonic crystals, *Applied Physics Letters* 109, 042407 (2016)
6. A. B. Ustinov and B. A. Kalinikos, *Applied Physics Letters* 93, 102504 (2008).