

# Многомодовый делитель пучка спиновых волн на основе резонансной T-образной магнитной структуры

А.А. Грачев, А.В. Садовников

Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
им. Н.Г. Чернышевского, лаборатория «Метаматериалы»

**Аннотация:** в данной работе показаны результаты исследования направленной связи спиновых волн в T-образном магнитном волноводе с интегрированным центральным резонатором, фокусируясь на явлении многомодового расщепления пучка спиновых волн за счет формирования резонансов типа Фабри-Перо. При помощи установки мандельштам-бриллюэновской спектроскопии магнитных материалов для анализа распространения спиновых волн показано формирование мод и распределения интенсивности на различных выходных портах. Численное моделирование, проведенное с использованием уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта, дополняет экспериментальные результаты, подтверждая влияние резонатора на частотные спектры спиновых волн. Полученные результаты свидетельствуют об улучшенной направленной связи и частотно-селективном управлении режимами, причем передача спиновых волн может управляться путем изменения геометрических параметров резонатора, таких как расстояние между резонатором и волноводными секциями. Оценка распределений внутреннего магнитного поля и коэффициентов добротности позволяет определить оптимальные конфигурации для эффективного управления волнами. Подобная резонансная T-образная структура позволяет точно расщеплять пучки спиновых волн на различные моды в разных выходных портах, что открывает широкие возможности для применения в магнитных логических затворах, частотных фильтрах и высокочувствительных датчиках. Более того, ее совместимость с существующими электронными и фотонными системами открывает путь к созданию гибридных технологий для вычислений и связи следующего поколения.

**Ключевые слова:** спиновые волны, нерегулярные структуры, делитель мод

## 1. Введение

Развивающаяся область магноники, использующая спиновые волны - коллективные возбуждения спинов электронов в магнитных материалах, - стала преобразующей парадигмой для маломощных технологий обработки информации и связи [1]. В отличие от обычной электроники, основанной на зарядах, магнитные устройства используют волнообразную природу спиновой динамики, обеспечивая энергоэффективную передачу сигналов, логические операции и функции памяти. Центральное место в этом прогрессе занимает разработка передовых магнитных материалов и инженерных волноводных структур [2].

Дизайн волноводов на основе плёнок железо-иттриевого граната (ЖИГ) вышел за рамки традиционных линейных геометрий и включает нерегулярные структуры с нарушением трансляционной симметрии, такие как T- и L-образные конфигурации. Эти архитектуры создают управляемые эффекты рассеяния и интерференции, позволяя реализовать такие новые функции, как маршрутизация спиновых волн, преобразование мод и частотная фильтрация. Например, магнитные резонаторы Фабри-Перо, состоящие из плёнок ЖИГ, соединенных с ферритовыми микро- и нанополосками, используют динамические дипольные взаимодействия для достижения программируемых фазовых сдвигов и понижения длины волны, что является прорывом для реконфигурируемых магнитных схем. Такие структуры используют резонансные полости для усиления когерентности спиновых волн, что

открывает путь к созданию компактных компонентов обработки сигналов с малыми потерями [3].

## 2. Рассматриваемая структура

В данной работе показаны результаты исследования направленной связи спиновых волн в Т-образном магнном волноводе с интегрированным центральным резонатором, фокусируясь на явлении многомодового расщепления пучка спиновых волн за счет формирования резонансов типа Фабри-Перо.

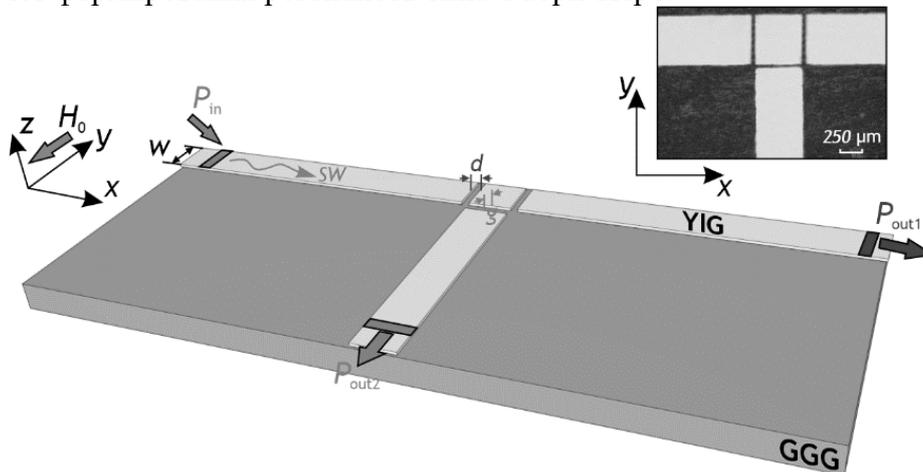


Рисунок 1. Схема рассматриваемой структуры

Структура, показанная на рис. 1, состоит из пленки ЖИГ ( $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ) толщиной 10 мкм. Пленка ЖИГ была изготовлена методом жидкофазной эпитаксии на подложке из гадолиний-галлиевого граната (ГГГ,  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  (111)) толщиной 500 мкм. Намагниченность насыщения слоя ЖИГ составляет Гс. В работе используется метод локально разрешенной лазерной абляции. Для абляции материала мишени использовался волоконный YAG:Nd лазер с высокоточным 2D гальванометрическим сканирующим модулем Cambridge Technology 6240N в импульсном режиме с мощностью импульса 50 Дж и длительностью импульса 10 нс. С помощью этого метода из пленки ЖИГ был создан Т-образный волновод шириной 500 мкм. Как показано на нижней вставке рис. 1, представлена микрофотография реального образца. Волновод имеет длину 6 мм. В центре Т-образного волновода методом лазерной резки вытравлен квадратный элемент, представляющий собой резонатор с размерами  $500 \times 500$  мкм. Расстояние между резонатором и волноводными секциями составляет 40 мкм. Однородное статическое магнитное поле  $H_0 = 1200$  Э прикладывалось в плоскости волновода вдоль направления  $y$  для эффективного возбуждения управляемых магнитоэлектрических поверхностных волн. При помощи установки мандельштам-бриллюэновской спектроскопии магнитных материалов для анализа распространения спиновых волн показано формирование мод и распределения интенсивности на различных выходных портах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-79-30027).

### Список литературы

1. Barman A. et al. The 2021 magnonics roadmap //Journal of Physics: Condensed Matter. – 2021 – Т. 33 – №. 41 – С. 413001
2. Grachev A. A., Sadovnikov A. V., Nikitov S. A. Strain-Tuned Spin-Wave Interference in Micro-and Nanoscale Magnonic Interferometers //Nanomaterials. – 2022. – Т. 12. – №. 9. – С. 1520.
3. Grachev A. A. et al. Reconfigurable dipolar spin-wave coupling in a bilateral yttrium iron garnet structure //Physical Review Applied. – 2023. – Т. 19. – №. 5. – С. 054089.