

Управляемый упругими деформациями многополосный логический затвор спиновых волн на основе мультиферроидной структуры

А.А. Грачев, А.В. Садовников

СГУ им. Н.Г. Чернышевского, лаборатория «Метаматериалы»

Аннотация: в данной работе показаны результаты исследования режимов распространения спиновых волн в управляемой упругими деформациями мультиферроидной структуре с двумя периодами. Структура представляет собой магнетонный кристалл с периодом 250 мкм и пьезоэлектрический слой с периодической системой электродов типа «встречные штыри» с периодом 125 мкм. Используя радиофизические измерения, были получены данные о передаче и дисперсии спиновых волн при различных конфигурациях внешнего электрического поля, приложенного к пьезоэлектрическому слою. Продемонстрировано формирование запрещённых зон в спектре спиновых волн и изменение пропускания спиновых волн при изменении конфигурации внешнего электрического поля. Методом конечных элементов показано, что сочетание неоднородности внутреннего магнитного поля магнетонного кристалла, обусловленной наличием периодических гофрированных областей, с упругими деформациями, что увеличивает амплитуду модуляции внутреннего магнитного поля. При помощи микромагнитного моделирования показано, что это усиление модуляции приводит к изменению пропускания спиновых волн на частоте запрещённой зоны магнетонного кристалла. Рассматриваемая структура может быть использована в качестве многополосного спин-волнового NAND/NXOR логического затвора.

Ключевые слова: спиновые волны, стрейнотроника, магнетонный кристалл, логический затвор

1. Введение

В настоящее время, магнетоника является быстро развивающейся областью, в которой для передачи и хранения информационных сигналов используются спиновые волны (СВ) или их кванты – магнетоны [1-3]. Данная область демонстрирует огромный рост и делает возможным создание компактных устройств, работающих на частотах от гигагерц до терагерц, благодаря спиновым волнам. Это делает их отличным выбором для современных электронных устройств [3,4]. Среди магнетонных материалов, применяемых в СВЧ-технологиях, железо-иттриевый гранат (ЖИГ) имеющий самое низкое значение параметра затухания спиновых волн [1]. Данный материал также обладает потенциалом для создания наноразмерных [2] устройств и отличается низким потреблением энергии при распространении спиновых волн, что делает ЖИГ очень востребованным.

Периодические магнетонные структуры, такие как магнетонные кристаллы (МК), представляют собой универсальную платформу для управления динамикой СВ. Для управления свойствами СВ, проходящих через МК, существуют различные методики, одна из которых предполагает изготовление МК с несколькими пространственными периодами [5]. В настоящее время исследования сосредоточены на волноводах с модулируемой шириной по длине [6]. Волноводы с различной шириной представляют собой универсальную платформу для разработки сложных магнетонных схем и устройств, обладающих потенциалом для эффективной маршрутизации сигналов и обработки информации.

2. Рассматриваемая структура

Целью данной работы является рассмотрение простой конструкции перестраиваемого МК, обеспечивающей условия для создания запрещённой зоны с управляемым усилением отражения СВ от периодической решетки. Для достижения этой цели показано управляемое электрическим полем распространение СВ в МК с пьезоэлектрическим слоем.

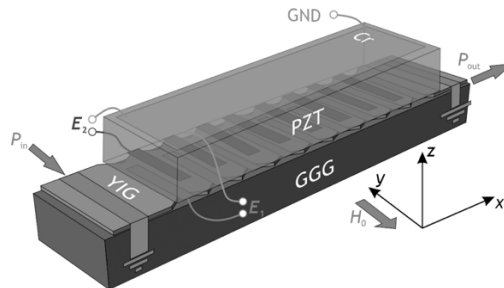


Рисунок 1. Схема рассматриваемой структуры

Структура, показанная на рис. 1(a), состоит из пленки ЖИГ, толщиной 10 мкм и шириной 1 мм. Пленка ЖИГ была изготовлена методом жидкофазной эпитаксии на подложке из гадолиний-галлиевого граната (ГГГ) толщиной 500 мкм. Намагниченность насыщения слоя ЖИГ составляет $4\pi M_0 = 1750$ Гс. С помощью методики лазерной резки из пленки ЖИГ был создан волновод шириной 1 мм. Кроме того, на боковых участках полосы YIG были сформированы треугольные области с периодом 250 мкм и глубиной 200 мкм. Таким образом, эта периодическая структура представляет собой МК. В данном случае регулярный участок МК имеет ширину 600 мкм. Длина МК составляет 8 мм. На вершине МК находится пьезоэлектрический слой толщиной 200 мкм из цирконата-титаната свинца (ЦТС). После этого на нижнюю часть слоя ЦТС был напылён слой титана толщиной 100 нм. На нижней части слоя ЦТС с помощью метода лазерной резки была создана периодическая система титановых электродов типа встречные штыри. Период электродов составил 125 мкм. Однородное статическое магнитное поле $H_0 = 1300$ Э было приложено в плоскости МК вдоль направления y для эффективного возбуждения поверхностных магнитостатических волн.

Для исследования передаточных характеристик (абсолютное значение параметра S_{21}) и дисперсии СВ рассматриваемой структуры использовался векторный анализатор цепей. Продемонстрировано формирование запрещённых зон в спектре СВ и изменение пропускания при изменении конфигурации внешнего электрического поля.

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.
4. Grachev A. A. et al. Nonreciprocal spin-wave transport in an asymmetric three-dimensional magnonic coupler //Physical Review Applied. – 2024. – Т. 21. – №. 2. – С. 024031.
5. Kłos J. W. et al. Photonic-magnonic crystals: Multifunctional periodic structures for magnonic and photonic applications //Journal of Applied Physics. – 2014. – Т. 115. – №. 17.
6. Frey P. et al. Reflection-less width-modulated magnonic crystal //Communications Physics. – 2020. – Т. 3. – №. 1. – С. 17.