

УДК 537.624,537.632

РАСЩЕПЛЕНИЕ ДИФРАКЦИОННО-СЖАТОГО ЛУЧА СПИНОВЫХ ВОЛН МАГНОННЫМ КРИСТАЛЛОМ, ИНДУЦИРОВАННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ, В ПЛЕНКЕ ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА

© 2020 г. А. Ю. Анненков¹, *, С. В. Герус¹, Э. Г. Локк¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова Российской академии наук, Фрязинский филиал, Фрязино, Россия

*E-mail: amts-f@mail.ru

Поступила в редакцию 30.08.2019 г.

После доработки 16.09.2019 г.

Принята к публикации 28.10.2019 г.

Представлены результаты экспериментального исследования дифракции сверхнаправленного луча поверхностных спиновых волн на слабоконтрастном магнонном кристалле, сформированном в пленке железо-иттриевого граната с помощью локализованного пространственно-периодического магнитного поля. Получены распределения поля спиновой волны, характерные для брэгговской дифракции на магнитной решетке.

DOI: 10.31857/S0367676520020052

Рассеяние спиновых волн периодическими магнитными решетками, называемыми также магнонными кристаллами, было рассмотрено в ряде работ (см., например, [1, 2]). Ниже представлены экспериментальные исследования дифракции сверхнаправленного луча поверхностных спиновых волн (СВ) на слабоконтрастном магнонном кристалле.

Волны возбуждали в пленке железо-иттриевого граната (ЖИГ), а магнонный кристалл формировали локализованным пространственно-периодическим магнитным полем при помощи нескольких отрезков магнитофонной ленты, наложенных на поверхность ЖИГ впритык параллельно друг к другу. Для совмещения максимумов записанных на ленту синусоидальных сигналов использовали метод визуализации магнитных доменов, наведенных магнитофонной записью, основанный на фарадеевском вращении, подробно описанный в [3].

В эксперименте возбуждали луч поверхностной СВ с очень маленьким дифракционным расплыванием [4], который можно охарактеризовать как сверхнаправленный луч. Возможность возбуждения такого луча связана с наличием анизотропии у СВ, приводящей к неколлинеарным направлениям векторов фазовой и групповой скоростей. В формулу для расходимости луча входит направление, равный производной зависимости направления групповой скорости от направления фазовой скорости. Для изотропных волн направления фазовой и групповой скоростей совпадают, поэтому этот коэффициент всегда равен единице.

Для анизотропных волн зависимость становится нелинейной, и в направлении, при котором производная обращается в нуль, будет возбуждаться сверхнаправленный луч. Наличие дисперсии приводит к тому, что это направление будет зависеть еще и от частоты. Для параметров проводимого эксперимента направление с наименьшей расходимостью луча соответствует 45° на частоте 3000 МГц, поэтому возбуждающий преобразователь (в виде линейного СВЧ-тока) ориентировали под углом 45° к оси Y .

На рис. 1 показана ориентация вектора магнитного поля, направлений фазовой и групповой скоростей СВ и магнонного кристалла относительно системы координат. Возбуждающий СВЧ-преобразователь создавал в пленке ЖИГ сверхнаправленный луч, на пути распространения которого располагали магнонный кристалл. Взаимодействие луча СВ с магнонным кристаллом приводило к образованию на его выходе множества как смещенных лучей с тем же направлением, так и продифрагировавших лучей, имеющих другое направление. Полученная картина сильно зависела от частоты, ориентации вектора решетки кристалла и направления волнового вектора.

Распределения полей СВ измеряли СВЧ-зондом в виде микропетли, который имел возможность перемещаться в плоскости пленки в двух взаимно-перпендикулярных направлениях Y и Z [5]. Непрерывное сканирование (проход) в направлении оси Y выполняли при фиксированной координате Z . Затем зонд смещали на небольшой

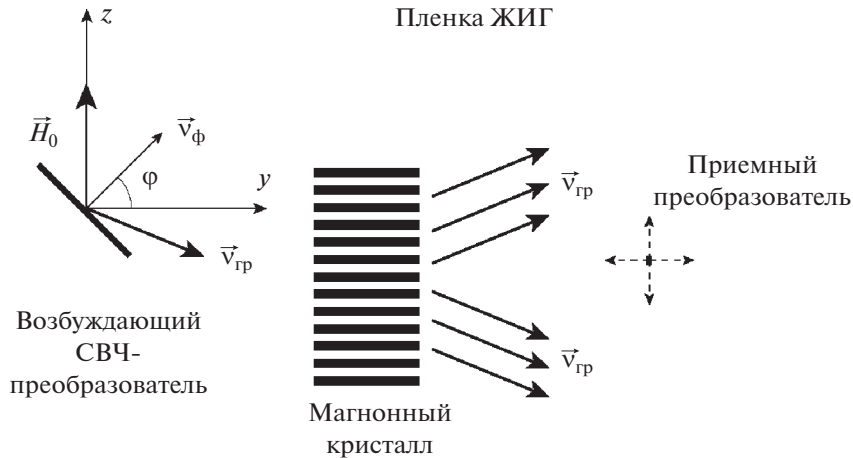


Рис. 1. Геометрия эксперимента. Оси YZ лежат в плоскости пленки ЖИГ, имеющей толщину $h = 15$ мкм и намагниченность насыщения $4\pi M = 1850$ Гс. Поле подмагничивания направлено вдоль оси Z и имеет величину $H_0 = 500$ Э. Возбуждающий СВЧ-преобразователь представлен отрезком жирной линии под углом $\varphi = 45^\circ$ к оси Y . Магнетонный кристалл показан в виде чередующихся полос, шаг которых равен периоду решетки 810 мкм.

шаг по оси Z и сканирование повторяли при следующем фиксированном значении координаты Z . В результате многократных проходов записывали данные о распределении волны в интересующей области пленки ЖИГ. При каждом проходе с помощью АЦП формировались отсчеты, содержащие информацию о текущих значениях координаты y , частоты СВЧ-сигнала f и комплексного коэффициента передачи. Изменение частоты по пилообразному закону позволяло выполнить измерения в заданном диапазоне частот.

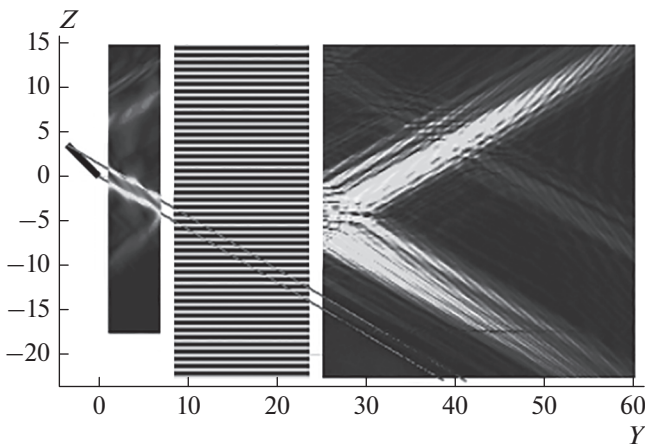


Рис. 2. Распределение амплитуды поверхностной СВ при дифракции на слабоконтрастном магнетонном кристалле (размеры указаны в миллиметрах). Черный отрезок изображает возбуждающий СВЧ-ток. Линии, идущие от отрезка, соответствуют распространению луча СВ при отсутствии магнетонного кристалла. Магнетонный кристалл показан в виде чередующихся полос. Переход от темного к светлому соответствует увеличению амплитуды СВ.

Дальнейшую обработку данных выполняли на компьютере в среде MATLAB. Авторами было разработано оригинальное ПО, позволяющее объединять данные из отдельных проходов в регулярную трехмерную матрицу значений комплексной амплитуды СВ с заданным шагом по координатам y , z и частоте f . Для каждого значения частоты из этой матрицы извлекали соответствующее двумерное распределение по координатам и строили распределение амплитуды волны по поверхности пленки ЖИГ.

На рис. 2 представлена картина дифракции почти сверхнаправленного луча на магнетонном кристалле, вектор решетки \vec{q} которого ориентирован параллельно полю подмагничивания. Величина вектора \vec{q} была выбрана так, чтобы для падающего луча были сформированы условия, близкие к созданию брэгговской дифракции [6]. Брэгговская дифракция является эффектом, резко зависящим от частоты. Сверхнаправленность ПСВ также имеет достаточно заметную частотную зависимость [4]. В результате при небольшом изменении частоты (около 100 МГц) наблюдается целый набор совершенно разных распределений СВ в ферритовой пленке ЖИГ.

На рис. 2 представлено одно из распределений, в наибольшей степени соответствующее режиму брэгговской дифракции сверхнаправленного луча. Виден узкий хорошо сформированный падающий луч слева от магнетонного кристалла. Справа от кристалла наблюдаются два луча, распространяющиеся в разные стороны симметрично относительно некоторой горизонтальной оси. Это прошедший основной луч нулевого порядка дифракции и продифрагировавший брэгговский луч первого порядка. Отметим, что основной луч оказался сдвину-

тым относительно исходного падающего луча и оба прошедших луча за счет взаимодействия с периодической структурой кристалла оказались гораздо шире падающего луча.

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования в рамках государственного задания по теме № 0030-2019-0014 и при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-07-00033).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анненков А.Ю., Виноградов А.П., Герус С.В. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2007. Т. 71. № 11. С. 1612; *Annenkov A.Y., Gerus S.V., Vinogradov A.P. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2007. V. 71. № 11. P. 1569.
2. Анненков А.Ю., Герус С.В. // Изв. РАН. Сер. физ. 2017. Т. 81. № 8. С. 1091; *Annenkov A.Y., Gerus S.V.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2017. V. 81. № 8. P. 984.
3. Герус С.В., Лисовский Ф.В., Мансветова Е.Г. и др. Способ определения напряженности статического периодического магнитного поля. Пат. СССР № 1396761, кл. G01N 27/72. 1989.
4. Локк Э.Г. // УФН. 2012. Т. 182. № 12. С. 1327; *Lock E.H.* // Phys. Usp. 2012. V. 55. № 12. P. 1239.
5. Анненков А.Ю., Герус С.В. // Радиотехн. и электрон. 2012. Т. 57. № 5. С. 572; *Annenkov A.Y., Gerus S.V.* // J. Commun. Technol. Electron. 2012. V. 57. № 5. P. 519.
6. Герус С.В. Магнитостатические волны в пространственно-периодических и двумерно-неоднородных магнитных полях. Дисс. ... докт. физ.-мат. наук. Фрязино: ИРЭ РАН, 2010. 317 с.