

Взаимодействие магнитостатических волн с одномерным магنونным кристаллом на частотах непропускания

Изучено распространение поверхностных магнитостатических волн (МСВ) в одномерном магноном кристалле, созданном в плёнке железо-иттриевого граната (ЖИГ) с помощью синусоидального сигнала, записанного на магнитофонной ленте. Половина длины волны равнялась периоду магнонного кристалла, что соответствовало центру зоны непропускания. В результате измерений было получено распределение энергии волны по поверхности плёнки, позволяющее увидеть, каким образом магنونный кристалл взаимодействует с магнитостатической волной.

Ключевые слова: метаматериалы, магнитостатические волны, магنونный кристалл

В последнее время всё больше внимания уделяется изучению различных метаматериалов, в основе которых лежат различные периодические структуры. Ожидается, что эти материалы будут обладать уникальными свойствами и эффектами, недостижимыми в обычных средах. В качестве одного из возможных вариантов метаматериала можно рассматривать слабоконтрастный магنونный кристалл на основе ферритовой плёнки. Для его создания к плёнке прикладывается стационарное пространственно-периодическое магнитное поле, величина которого мала по сравнению с однородным полем подмагничивания. При этом возникает пространственно-периодическая модуляция магнитной проницаемости, что и позволяет рассматривать эту среду как магنونный кристалл. Осуществить такую магнитную периодическую структуру можно используя либо токовый меандр [1], либо периодическую сигналограмму, записанную на магнитофонную ленту [2]. В отличие от сильноконтрастных магنونных кристаллов [3, 4], создание которых требует травление или другую механическую обработку ферритовой плёнки, слабоконтрастный магنونный кристалл создаётся неразрушающим способом, что позволяет использовать его не только как законченное устройство, но и в качестве инструмента для исследования дисперсионных зависимостей МСВ и для измерения параметров магнитных пленок [5].

Как известно, касательно намагниченная ферритовая плёнка обладает сильной анизотропией, обусловленной наличием выделенного направления вдоль магнитного поля. Волны, распространяющиеся в таких плёнках, имеют специфический вид дисперсии и значительную неколлинеарность векторов фазовой и групповой скоростей. Следует ожидать, что сочетание этих особенностей со свойствами кристаллических структур приведёт к появлению новых качеств, образуемых искусственных магнитных структур. Так, например, ожидается, что магنونные кристаллы, созданные на основе касательно-намагниченных ферритовых плёнок, скорее всего также будут обладать сильной анизотропией, которая проявится в зависимости эффективности взаимодействия МСВ с кристаллом от взаимной ориентации магнитного поля, магнонного кристалла и направления волнового вектора МСВ.

В данной работе будет рассмотрено взаимодействие поверхностной МСВ с магнетонным кристаллом на частоте, соответствующий зоне не пропускания кристалла.

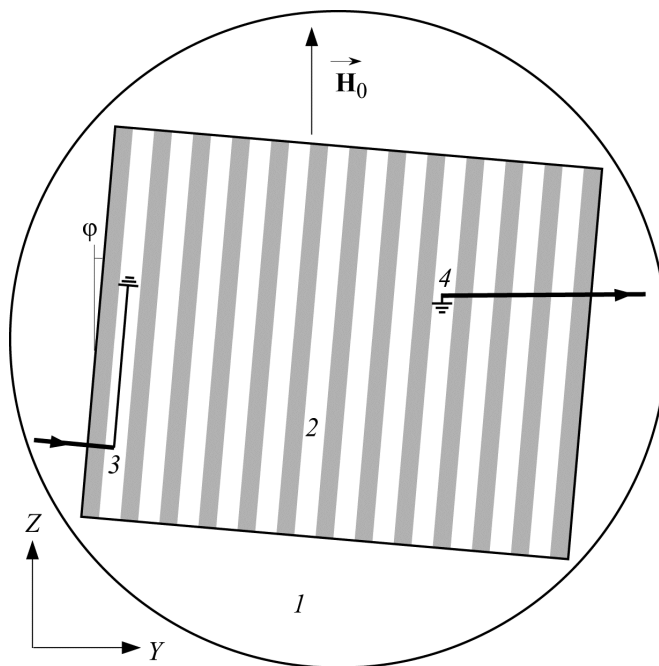


Рисунок 1. Схема проведения измерений: 1 — плёнка ЖИГ, 2 — магнитофонная лента с сигналограммой, 3 — передающий преобразователь, 4 — приёмный преобразователь (зонд).

Для создания магнетонного кристалла использовался синусоидальный сигнал, записанный на высококоэрцитивную магнитофонную ленту. Схема измерений приведена на рис. 1. Ферритовая плёнка ЖИГ 1 размещалась между полюсами постоянного магнита, которые создавали в центральной части касательное к поверхности плёнки однородное магнитное поле H_0 . Поле H_0 было направлено по оси Z , что создавало условия для распространения поверхностных МСВ в направлении оси Y . Магнитофонная лента 2 располагалась непосредственно на поверхности плёнки ЖИГ и создавала в плёнке ЖИГ периодическую магнитную неоднородность, другими словами магнитную решётку. Для проведения измерений использовался измеритель комплексного коэффициента передачи. С выхода измерителя СВЧ сигнал поступал на передающий преобразователь 3 длиной 5 мм. Достаточно большая апертура преобразователя необходима для формирования пучка МСВ. Амплитуда распространяющейся волны считывалась приёмным преобразователем-щупом 4, который перемещался с помощью электромеханического устройства, а его координаты с выхода датчика перемещения поступали в компьютер, как и значения комплексного коэффициента передачи, соответствующие этим координатам. Сканирование поверхности осуществлялось многократными проходами преобразователем-щупом вдоль оси Y при разных значениях координаты Z . Таким образом снималась двумерная матрица значений коэффициента передачи,

представляющая собой распределение поля МСВ по поверхности плёнки. Более подробно методика измерений описана в работе [6].

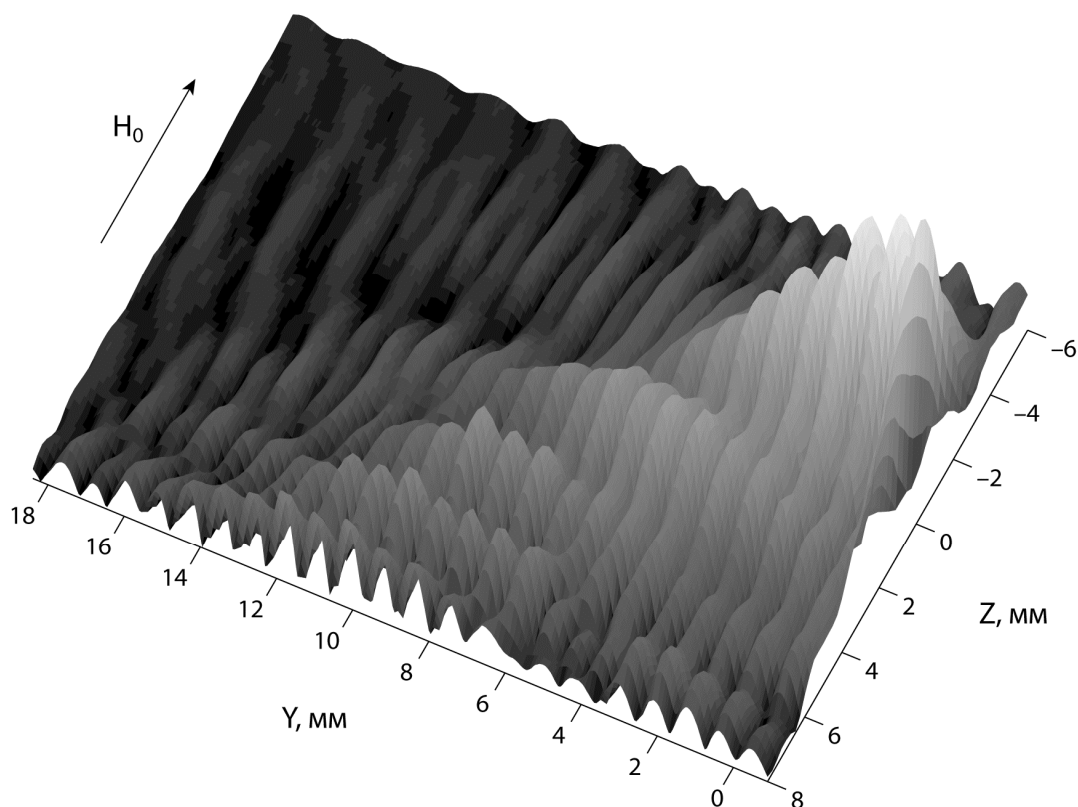


Рисунок 2. Распределение амплитуды ПМСВ по поверхности образца ЖИГ на частоте 3032 МГц. $H_0 = 470$ Э. Намагниченность насыщения плёнки ЖИГ $4\pi M = 1850$ Гс, толщина $d = 15$ мкм. Период магнитной решётки 810 мкм.

На рис. 2 приведено распределение поверхностной МСВ, измеренное на частоте, при которой длина волны была близка к периоду магнитной решётки. Такая частота соответствует зоне непропускания магнетонного кристалла и на этой частоте должно наблюдаться наиболее сильное взаимодействие волны с решёткой. Магнитная решётка и передающий преобразователь были повернуты на 5° относительно направления постоянного поля. При такой ориентации направления фазовой и групповой скоростей МСВ не совпадают – формируемый пучок МСВ распространяется под некоторым углом относительно нормали к преобразователю, что можно наблюдать на полученном распределении. Взаимодействие волны с решёткой приводит к почти полному её отражению от решётки и возникновению стоячей волны, что выражается в сильной изрезанности приведённого на рис. 2 распределения пучка МСВ.

На рис. 3, представляющем вид сверху для распределения, приведённого на рис. 2, хорошо видно, что период изрезанности соответствует периоду решётки, которая изображена белыми линиями. На этом же рисунке также можно заметить, что фронт волны в пучке немного разворачивается по мере распространения волны вследствие небольшой неоднородности постоянного магнитного поля. При этом фронт волны оказывается не параллельным линиям решётки и взаимодействие с решёткой в этом

случае приводит к искривлению фронта волны и появлению дополнительных биений, менее глубоких и с большим периодом.

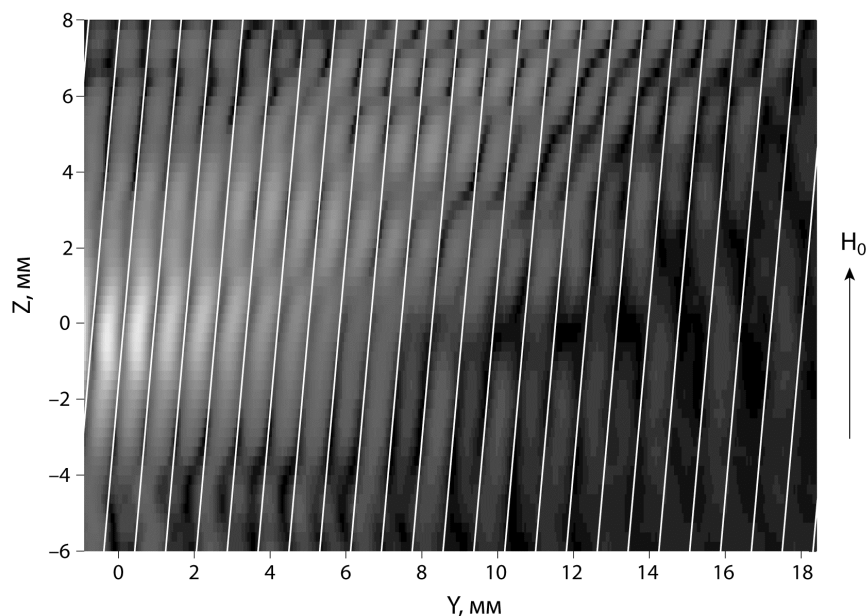


Рисунок 3. Вид сверху распределения, приведённого на рис. 2.
Магнитная решётка схематично изображена в виде белых линий

В дальнейшем предполагается провести измерения при различных значениях частоты и различных углах между полем, магнитной решёткой и преобразователем. Это позволит получить более полное представление о механизме и особенностях взаимодействия МСВ с периодическими магнитными структурами.

Библиографический список

1. Калиникос Б.А., Ковалева М.К., Ковшиков Н.Г., Новиков Г.М., Петрунькин Е.З., Тупикин В.Д. СВЧ-резонатор // А. С. № 966798. Опубл. в Б.И. 1982. – №38. – С. 256.
2. Герус С.В. Взаимодействие поверхностных магнитостатических волн с пространственно-периодическим магнитным полем / С.В. Герус, А.В. Вороненко // – Письма в ЖТФ. – 1984. – Т. 10, № 12. – С. 746–748.
3. Калиникос Б.А. Дисперсионные характеристики спиновых волн в планарных периодических структурах на основе ферромагнитных пленок / Б.А. Калиникос, Н.Ю. Григорьева // – ЖТФ. – 2009. – Т. 79, № 8. – С. 110–117.
4. Гуляев Ю.В. Поверхностные магнитостатические спиновые волны в двумерных магнитных кристаллах / Ю.В. Гуляев, С.А. Никитов, А.И. Волков // – РЭ. – 2007. – Т. 50, № 9. – С. 1107–1113.
5. Герус С.В. Метод измерения параметров гиромангнитных пленок / А.В. Вороненко, С.В. Герус, Л.А. Красножён // – Микроэлектроника. – 1989. – Т. 18, № 1. – С. 61–65.
6. Анненков А.Ю., Герус С. В. Исследование распределения поверхностных магнитостатических волн путём сканирования поверхности ферритовой пластины / А.Ю. Анненков, С. В. Герус // – РЭ. – 2012. – Т. 57, № 5. – С. 572.