

Бубликов К.В., Бегинин Е.Н., Садовников А.В., Шараевский Ю.П.
Саратовский национальный исследовательский государственный

университет имени Н.Г. Чернышевского

Управление характеристиками запрещенной зоны в слоистой периодической структуре феррит-сегнетоэлектрик

Представлены результаты численного электродинамического моделирования методом конечных элементов одномерной структуры с периодическими слоями феррита и сегнетоэлектрика. Показано, что путем выбора материальных и геометрических параметров данных слоев, величины внешнего касательного магнитного поля и периода пространственной модуляции слоев возможно управление характеристиками брэгговской запрещенной зоны в спектре собственных гибридных волн такой структуры.

Ключевые слова: Слоистая структура феррит–сегнетоэлектрик, феррит-сегнетоэлектрический магнетонный кристалл, запрещенная зона.

В настоящее время в микроэлектронике сверхвысоких частот (СВЧ) активно исследуются периодические структуры на основе ферритов – магнетонные кристаллы (см., напр. обзор [1]), получившие название по аналогии с фотонными кристаллами в оптике. Одним из способов изготовления одномерных магнетонных кристаллов является создание периодической модуляции толщины ферритового слоя. При этом за счет брэгговского резонанса в спектре волн, распространяющихся в таких структурах, образуются запрещенные зоны (области частот со значительным ослаблением сигнала). Интерес к таким структурам вызван ввиду возможности создания таких управляемых (изменением внешнего магнитного поля) функциональных устройств СВЧ электроники, как фильтров, шумоподавителей, ограничителей мощности и др.

Также актуальным направлением микроэлектроники СВЧ является исследование слоистых феррит-сегнетоэлектрических структур (мультиферроидных), в которых за счет связи парциальных волн ферритового и диэлектрического слоев и, как следствие, формирования гибридных волн, становится возможным реализовать двойное управление гибридными волнами путем вариации внешнего магнитного поля и путем изменения диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрического (СЭ) слоя [2]. К настоящему времени проведен ряд исследований периодических слоистых мультиферроидных структур, в которых пространственной периодичностью обладают либо ферритовый, либо сегнетоэлектрический слой [3,4].

В данной работе представлены результаты исследования слоистой структуры феррит-сегнетоэлектрик, оба слоя которой обладают пространственной периодичностью. На рис. 1. представлено схематическое изображение одного пространственного периода такой структуры: в направлении оси y повторяется бесконечное число таких периодов, вдоль оси x структура безгранична, магнитное поле приложено сонаправлено оси x , волна распространяется вдоль положительного направления оси y . В качестве слоя феррита в численных расчетах моделировался железоиттриевый гранат (ЖИГ), l_1 и l_2 –толщины тонкой и толстой частей пленки ЖИГ.

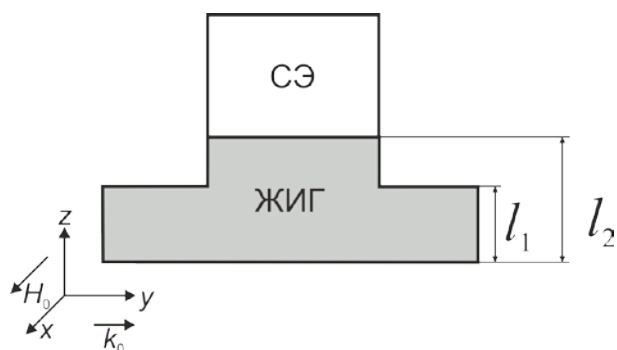


Рис. 1. Схема одного периода мультиферроидной структуры.

Анализ структуры, представленной на рисунке 1, позволяет определить следующее: волновое число парциальной волны ферритового слоя при выбранной частоте находится между значений k_1 и k_2 [5], которые определяются соответственно толщинами пленки l_1 и l_2 (см. например [6]), согласно рис. 1 $k_1 > k_2$ т.к. $l_1 < l_2$. При этом запрещенная зона возникает вследствие разницы этих значений [5]. Известно, что при нагрузке феррита слоем сегнетоэлектрика дисперсионная характеристика волнового процесса вследствие гибридизации смещается в область больших волновых чисел [2] (т.е., волновое число на фиксированной частоте увеличивается). В конфигурации периодической структуры, представленной на рис.1, расположение периодической сегнетоэлектрической нагрузки таково, что её влияние главным образом уменьшает значение k_2 , таким образом уменьшается значение $k_1 - k_2$, что приводит к уменьшению ширины запрещенной зоны по частоте [5].

В работе были оценены материальные и геометрические параметры такой мультиферроидной структуры с двойной периодичностью, которые позволяют эффективно управлять шириной запрещенной зоны путем изменения диэлектрической проницаемости ϵ слоя СЭ. Оценки выполнялись при помощи численного электродинамического моделирования методом конечных элементов. Было показано, что наибольшая эффективность управления происходит в области частот, соответствующей области взаимодействия волн парциальных систем [7].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (16-37-60093, 16-37-00217, 14-02-00976) и стипендии (СП-313.2015.5) и гранта (МК-5837.2016.9) президента РФ.

Библиографический список

1. Serga A.A., Chumak A.V. and Hillebrands B. YIG magnonics // *J. Phys.D: Appl. Phys.* 2010. Vol. 43. P. 264002
2. Демидов В. Е., Калинико Б. А. Спектр дипольно-обменных спиновых волн в касательно намагниченных слоистых структурах металл–сегнетоэлектрик– ферромагнетик–сегнетоэлектрик–металл. // *Письма в ЖТФ.* 2000. Т. 26. В. 7. С. 8–17.
3. Устинов А. Б., Калинико Б. А. Мультиферроидные периодические структуры на основе магнетонных кристаллов для электронно перестраиваемых сверхвысокочастотных устройств. // *Письма в ЖТФ.* 2014. Т. 40. В. 13. С. 58-65.
4. Дроздовский А. В, Никитин А. А., Устинов А. Б., Калинико Б. А. Теоретическое исследование сверхвысокочастотных свойств феррит-сегнетоэлектрического магнетонного кристалла // *Журнал технической физики.* 2014. Т. 84. В. 7. С. 87-90.
5. Виноградова М. Б., Руденко О. В., Сухоруков А. П. Теория волн. М.: Наука. 1979.
6. Damon R. W., Eshbach J. R. Magnetostatic modes of a ferromagnet slab. // *J. Phys. Chem. Solids.* Vol. 19. P. 308–320. 1961.
7. Бубликов К.В., Садовников А.В., Бегинин Е.Н., Шараевский Ю.П., Никитов С.А. Влияние металла на характеристики поперечных мод гибридных волн в слоистой структуре феррит-сегнетоэлектрик // *Письма в ЖТФ* 2016. В. 9. С. 88 – 96.