

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СВЧ ВЕНТИЛЯ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТ-ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР

В.Н.Лобекин, Д.В.Снисаренко, А.С.Татаренко, М.И.Бичурин

RESEARCH OF A MAGNETOELECTRIC MICROWAVE ISOLATOR BASED ON FERRITE-PIEZOELECTRIC STRUCTURES

V.N.Lobekin, D.V.Snisarenko, A.S.Tatarenko, M.I.Bichurin

Институт электронных и информационных систем НовГУ, slavalobekin@gmail.com

В работе исследован магнитоэлектрический СВЧ вентиль, реализованный на микрополосковой линии со шлейфами с использованием феррит-пьезоэлектрической структуры гадолиний-галиевый гранат; железо-иттриевый гранат; цирконат-титанат свинца. Экспериментально показано, что при приложении электрического поля наблюдается сдвиг ферромагнитного резонанса от частоты. Проведено моделирование в программе HFSS Ansoft, получены зависимости затухания от частоты, согласующиеся с результатами эксперимента.

Ключевые слова: магнитоэлектрический СВЧ вентиль, феррит-пьезоэлектрическая структура, компьютерное моделирование

In this research, we present a magnetoelectric microwave isolator based on a microstrip line with stubs and with ferrite-piezoelectric structure of the gadolinium halide garnet, iron yttrium garnet, and plumbum zirconate titanate. It has been experimentally shown that when an electric field is applied, a shift of the ferromagnetic resonance from the frequency is observed. Modeling was carried out using the program HFSS Ansoft, and the attenuation dependences on the frequency were found to be consistent with the results of the experiment.

Keywords: magnetoelectric microwave isolator, ferrite-piezoelectric structure, computer modelling

Введение

Активный прогресс развития современной техники приводит к созданию, исследованию и использованию материалов с широким диапазоном физических свойств, в которых можно комбинировать традиционные свойства: магнитные и сегнетоэлектрические, магнитные и полупроводниковые и т. д. [1].

В последние годы большое внимание уделяется разработке магнитоэлектрических (МЭ) устройств. Использование управления электрическим полем в МЭ СВЧ устройствах позволяет уменьшить стоимость устройств; повышает быстродействие; уменьшает мощность, потребляемую в цепи управления; позволяет избавиться от наводок, возникающих при управлении магнитным полем.

Исследование МЭ эффекта в композиционных структурах, содержащих ферромагнитные и сегнетоэлектрические слои, представляет интерес для создания нового поколения устройств СВЧ твердотельной электроники, таких как фазовращатели, фильтры, аттенюаторы, вентили. Они являются незаменимыми приборами для телевидения, радиолокации, радиовещания и связи.

Экспериментальное исследование сдвига линии ФМР в слоистой феррит-пьезоэлектрической структуре

Ферромагнитный резонанс (ФМР), одна из разновидностей электронного магнитного резонанса, проявляется в избирательном поглощении ферро-

магнетиком энергии электромагнитного поля при частотах, совпадающих с собственными частотами прецессии магнитных моментов электронной системы ферромагнитного образца во внутреннем эффективном магнитном поле $H_{\text{эф}}$. ФМР в более узком смысле — возбуждение колебаний типа однородной (во всем объеме образца) прецессии вектора намагниченности J (спиновых волн с волновым вектором $k = 0$), вызываемое магнитным СВЧ-полем H , перпендикулярным постоянному намагничивающему полю H_0 . Для слоистой структуры состава феррит и пьезоэлектрик приложенное электрическое поле и зависимость напряжения от толщины образца приводит к деформации пьезоэлектрика, что ведет к деформации ферромагнитного материала. В результате этого наблюдается сдвиг линии ФМР [2].

Исследуемый экспериментальный образец гадолиний-галиевый гранат (ГГГ); железо-иттриевый гранат (ЖИГ); цирконат-титанат свинца (ЦТС), имел следующие размеры: пластина пьезоэлектрика ЦТС-13 — $5 \times 5 \times 0,5$ мм; пленка феррита ЖИГ — $D = 3,65$ мм, $s = 0,1$ мм, нанесенная на подложку феррита ГГГ — $D = 3,65$ мм, $s = 0,4$ мм, конечная толщина образца составила 1 мм (рис.1).



Рис.1. Слоистая структура феррит-пьезоэлектрик

Пленка ЖИГ, нанесенная на подложку ГТГ, соединялась с пластиной ЦТС посредством клея. Образец помещался в СВЧ вентиль, реализованный на микрополосковой линии передачи со шлейфами (рис.2) [3].

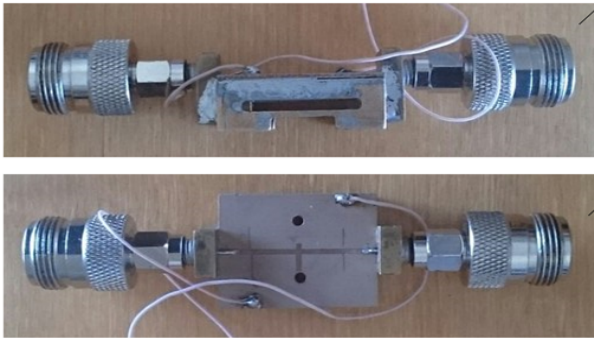


Рис.2. СВЧ вентиль для проведения исследований

СВЧ вентиль — невзаимное четырехполюсное устройство, пропускающее волну в одном направлении почти без ослабления, но поглощающее волну, распространяющуюся в обратном направлении. Вентили применяются для поглощения отраженных волн в линии передачи, улучшая тем самым согласование различных элементов цепи.



Рис.3. Экспериментальная установка

Исследование проводилось с помощью векторного анализатора цепей фирмы Agilent. Также для наблюдения ФМР к образцу прикладывается постоянное магнитное поле H_0 с помощью электромагнита фирмы GMW (рис.3).

Результаты эксперимента

В результате эксперимента при $E = 0$ наблюдается ФМР линия. При приложении электрического поля напряженностью $E = 6$ кВ/см наблюдается сдвиг резонансной линии. Приложенное магнитное поле H_0 составило 3000 Э. Величина сдвига линии ФМР зависит от соотношения толщин материалов ЖИГ/ЦТС. В исследуемом образце наблюдался сдвиг резонансной кривой, который составил 2,95 МГц, при соотношении толщин ЖИГ/ЦТС 0,2. В результате исследований удалось экспериментально установить, что при приложении электрического поля к исследуемому образцу наблюдается сдвиг линии ФМР.

Компьютерное моделирование МЭ СВЧ вентилей

Моделирование МЭ СВЧ невзаимных устройств в современных программах сквозного моделирования, вычисляющих многомодовые S-параметры и электромагнитные поля в трехмерных пассивных структурах, значительно упрощает подбор оптимальных параметров таких устройств [4].

Программа HFSS Ansoft предназначена для проектирования трехмерных СВЧ устройств, повышенное внимание уделяется особенностям методов расчета и установке опций программы HFSS в ходе построения трехмерных моделей волноводных, микрополосковых и антенных структур.

Процесс проектирования с помощью HFSS включает в себя ряд стандартных шагов

1. Создание модели анализируемой структуры, в том числе:
 - создание трехмерной графической модели структуры (чертежа);
 - задание параметров материалов, из которых состоит структура.
2. Определение электродинамических параметров структуры, включающее:
 - задание граничных условий на поверхностях, формирующих анализируемый объект;
 - определение и калибровка портов;
 - задание параметров решения.
3. Электродинамический анализ исследуемого объекта, в том числе:
 - анализ объекта в полосе частот;
 - параметрический анализ и оптимизация объекта;
4. Визуализация результатов электродинамического анализа, включающая:
 - построение графиков в декартовых, полярных координатах, диаграмм Смита, диаграмм направленности и т.д.;
 - анимация распределений электромагнитного поля и электрического тока;
 - сохранение результатов анализа в файлах данных [5].

На рис.4 представлена компьютерная 3D модель МЭ СВЧ вентилей, реализованного на микрополосковой линии со шлейфами. В качестве резонатора использована слоистая структура феррит-пьезоэлектрик (рис.1).

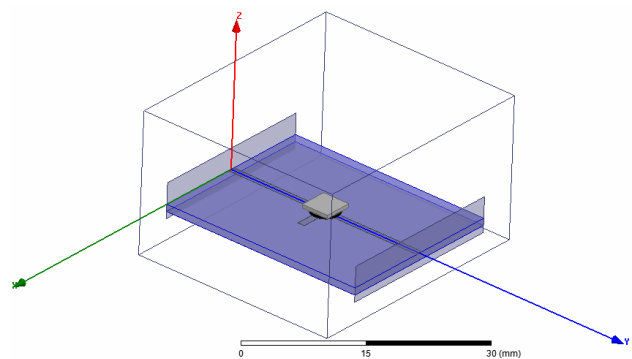


Рис.4. Модель СВЧ вентилей, реализованного на микрополосковой линии со шлейфами

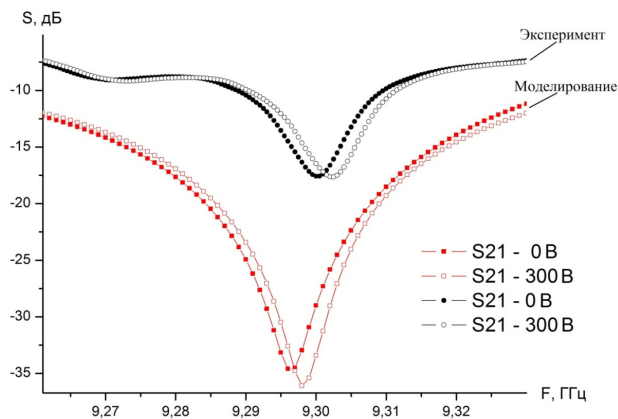


Рис.5. Зависимости сдвига резонансной кривой от частоты

На рис.5 показана зависимость сдвига резонансной кривой от частоты для моделирования и эксперимента. Наблюдается согласованность зависимостей сдвига резонансной кривой от частоты. Разница в затухании S , дБ может быть обусловлена шумами, а также качеством соединения ферритового материала с пьезоэлектрическим. Представленные результаты экспериментального исследования сдвига линии ФМР и моделирования СВЧ вентилля в дальнейшем позволяют подобрать оптимальные параметры и размеры феррит-пьезоэлектрической структуры для дальнейшего моделирования и экспериментов.

Заключение

В статье представлены результаты исследования СВЧ вентилля, реализованного на микрополосковой линии со шлейфами. Проведено моделирование СВЧ вентилля в программе HFSS Ansoft, получены зависимости затухания от частоты. Рассмотрена композиционная структура феррит-пьезоэлектрик, проведено исследование линии ФМР и экспериментально установлено, что при приложении электрического поля наблюдается сдвиг резонансной кривой. Полученные экспериментальные результаты эффекта для феррит-пьезоэлектрической структуры хорошо согласуются с результатами моделирования.

Статья подготовлена по итогам исследования, проведенного в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России №11.7069.2017/8,9.

1. Антоненков О.В., Бичурин М.И., Филиппов Д.А. Сдвиг линии магнитного резонанса в двухслойных композиционных феррит-пьезоэлектрических структурах на основе железо-иттриевого граната – цирконата-титаната свинца [Электронный ресурс] // Исследовано в России. 2004. №122 С.1287-1296.
2. Petrov V.M., Bichurin M.I., Saplev A.F. et al. Electric field induced broadening of magnetic resonance line in ferrite/piezoelectric bilayer // Journal of Applied Physics. 2017. V.121. ID 224103
3. Вамберский М.В., Абрамов В.П., Казанцев В.И. Конструирование ферритовых развязывающих приборов СВЧ. М.: Радио и связь, 1982. 136 с.
4. Лаврентьева Д.В., Татаренко А.С. Моделирование магнитоэлектрических управляемых невязимных СВЧ устройств // Вестник НовГУ. 2016. №4 (95). С.69-72.
5. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. М.: ЗАО «НПП «Родник», 2009. 256 с.

References

1. Antonenkov O.V., Bichurin M.I., Filippov D.A. Sdvig linii magnitnogo rezonansa v dvukhsloynnykh kompozitsionnykh ferrit-p'ezoelektricheskikh strukturakh na osnove zhelezo-ittrievogo granata – tsirkonata-titanata svintsya [Shift of the magnetic resonance line in ferrite-piezoelectric composites based on iron yttrium garnet – plumbum zirconate titanate]. Issledovano v Rossii, 2004, no. 122, pp. 1287-1296.
2. Petrov V.M., Bichurin M.I., Saplev A.F., Tatarenko A.S., Lobekin V.N. Electric field induced broadening of magnetic resonance line in ferrite/piezoelectric bilayer. Journal of Applied Physics, 2017, vol. 121, id 224103.
3. Vamberskii M.V., Abramov V.P., Kazantsev V.I. Konstruirovaniye ferritovykh razv'azyvayushchikh priborov SVCh [Engineering of decoupling ferrite microwave devices]. Moscow, "Radio i svyaz" Publ., 1982. 136 p.
4. Lavrent'eva D.V., Tatarenko A.S. Modelirovaniye magntoelektricheskikh upravlyаемykh nevzaimnykh SVCh ustroystv [Modeling of controlled magnetoelectric nonreciprocal microwave devices]. Vestnik NovGU. Ser. Tekhnicheskie nauki – Vestnik NovSU. Issue: Engineering Sciences, 2016, no. 4(95), pp. 69-72.
5. Bankov S.E., Kurushin A.A. Raschet antenn i SVCh struktur s pomoshch'yu HFSS Ansoft [Calculation of antennas and microwave devices using HFSS Ansoft]. Moscow, ZAO NPP RODNIK Publ., 2009, 256 p.