

Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «ФАЗА»

344065, г. Ростов-на-Дону, ул. Белорусская, 9/7Г. Тел. +7(863)2523125, факс +7(863)2540990, E-mail: faza4@aaanet.ru

18.01.2021. № 09/765-35

на № 209/ от 2020 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

Анатолий Васильевич Чечетин



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Семенова Алексея Сергеевича** на тему «Микрополосковые ферритовые развязывающие приборы миллиметрового диапазона длин волн с улучшенными характеристиками», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 - «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Актуальность работы. Твердотельная СВЧ электронная компонентная база, одним из важнейших элементов которой являются невзаимные микрополосковые устройства, активно востребована для разработки огромного числа радиоэлектронных систем. С каждым годом возрастает потребность в разработке и производстве радиоаппаратуры миллиметрового диапазона длин волн для более эффективного решения задач навигации, связи, медицины, обороноспособности и ряда других научно – технических задач. Освоение данного диапазона является одной из важнейших задач, решаемых в настоящее время в радиотехнике.

Среди преимуществ мм-диапазона можно выделить такие как: уменьшение габаритов радиоаппаратуры, повышение разрешающей способности радионавигационных систем, повышение плотности передачи данных, возможность скрытой передачи данных и многие другие.

В настоящее время разработки бортовой радиоаппаратуры миллиметрового диапазона в основном ведутся на микрополосковых линиях передачи, обеспечивающих миниатюрность, технологичность и относительную дешевизну.

Важное место во всех радиосистемах занимают ферритовые развязывающие приборы, которые обеспечивают равномерность уровня СВЧ мощности генераторов, устойчивость работы усилительных цепочек на переменные нагрузки, позволяют распределять мощность СВЧ сигнала в цепях РЛС.

В последнее время широкое распространение получили микрополосковые ферритовые развязывающие приборы (МФРП), что обусловлено их технологичностью и относительной дешевизной по сравнению с ферритовыми приборами других типов.

Сегодня перед разработчиком микрополосковых ферритовых развязывающих приборов миллиметрового диапазона длин волн встаёт ряд конструктивно-технологических задач: точное измерение характеристик ферритовых материалов, исследование перспективных ферритовых материалов, моделирование и расчёт конструкции приборов, разработка технологии изготовления МФРП мм-диапазона. В условиях возросшего спроса на МФРП мм-диапазона длин волн, решение этих задач весьма актуально.

Автором чётко обозначена научная проблема - отсутствие широкополосных микрополосковых ферритовых развязывающих приборов миллиметрового диапазона длин волн на отечественном и мировом рынке.

Целью работы Семенова А.С. является разработка микрополосковых ферритовых развязывающих приборов миллиметрового диапазона длин волн с улучшенными электрическими и массогабаритными характеристиками.

Для достижения указанной цели в работе решались следующие основные задачи:

- Разработка методик и стендов для точного измерения электромагнитных параметров ферритовых материалов;
- Исследование электромагнитных параметров ферритов, анализ и выбор ферритовых материалов для микрополосковых ферритовых развязывающих приборов мм-диапазона;

- Расчёт конструкции, создание и оптимизация параметрических моделей микрополосковых ферритовых вентиляй и циркуляторов миллиметрового диапазона длин волн;
- Разработка технологии изготовления миниатюрных широкополосных микрополосковых ферритовых развязывающих приборов миллиметрового диапазона длин волн;
- Создание Y-циркулятора и вентиля 8-мм диапазона длин волн для проведения сравнительного анализа электрических характеристик приборов с характеристиками их аналогов;
- Исследование возможности создания микрополосковых ферритовых развязывающих приборов мм-диапазона длин волн без магнитной системы на подложках из ферритов с гексагональной кристаллической структурой.

В ходе исследований лично автором получены новые научные результаты, основными из которых являются:

1. На основе частотной зависимости модуля коэффициента отражения R плоской электромагнитной волны (TEM-волны) от плоскопараллельного слоя магнитодиэлектрика при её нормальном падении разработаны методика и стенд для измерения эффективной диэлектрической проницаемости и тангенса угла суммарных потерь магнитодиэлектриков в мм-диапазоне длин волн.
2. На основе анализа взаимодействия образцов гексаферритов малых размеров с электромагнитным СВЧ полем в микрополосковой линии и зависимости резонансной частоты ФМР образцов от величины НАэфф. разработана методика оценки эффективного поля анизотропии и ширины полосы ферромагнитного резонанса в диапазоне частот от 25 до 67 ГГц.
3. С использованием экспериментально полученных электромагнитных параметров ферритов произведены расчёты конструкций и созданы параметрические модели микрополосковых ферритовых вентиля и Y-циркулятора миллиметрового диапазона длин волн, позволяющие моделировать их поведение в зависимости от частоты, свойств материала и размеров подложки.
4. Разработан алгоритм проектирования с использованием аналитических

расчётов и параметрического 3D моделирования на основе экспериментально полученных параметров ферритов, позволяющий повысить точность расчёта конструкций микрополосковых ферритовых развязывающих приборов миллиметрового диапазона длин волн и сократить время их оптимизации.

5. Проведён комплекс исследований ферритов с гексагональной кристаллической структурой, на основе которого была произведена оценка возможности создания МФРП мм-диапазона длин волн без магнитной системы и выработаны требования к подложкам для таких приборов.

Практическая значимость результатов исследования и область применения результатов заключается в разработке алгоритма проектирования МФРП мм-диапазона с использованием точно измеренных характеристик ферритового материала и моделирования приборов с помощью систем инженерного анализа на основе метода конечных элементов, что позволило создать микрополосковые ферритовые развязывающие приборы мм-диапазона длин волн с улучшенным комплексом электрических параметров. А также в успешном использовании в АО «НПП «Исток» им. Шокина» разработанной технологии изготовления миниатюрных микрополосковых ферритовых развязывающих приборов миллиметрового диапазона длин волн.

Производимые на основе результатов данного исследования вентили и Y-циркуляторы для СВЧ-электроники мм-диапазона по комплексу параметров превышают лучшие отечественные и зарубежные аналоги.

Подтверждением обоснованности результатов и достоверности выводов диссертационной работы являются:

1. Разработанные методики позволяют повысить точность измерения электромагнитных параметров ферритовых материалов, применяемых для производства МФРП мм-диапазона. Методики и стенды внедрены в производство и применяются для неразрушающего контроля ферритовых заготовок.
2. Разработана технология изготовления миниатюрных широкополосных МФРП мм-диапазона длин волн, с помощью которой изготовлены микрополосковые ферритовые вентиль и Y-циркулятор 8-мм диапазона длин волн, превосходящие отечественные и зарубежные аналоги по комплексу электрических параметров.

3. Организовано производство миниатюрных микрополосковых ферритовых вентилей и У-циркуляторов миллиметрового диапазона длин волн в АО «НПП «Исток» им. Шокина».
4. Предложен алгоритм проектирования, позволяющий повысить точность расчёта конструкций микрополосковых ферритовых развязывающих приборов миллиметрового диапазона длин волн и сократить время их оптимизации.
5. Проведена оценка возможности создания МФРП мм-диапазона без магнитной системы и выработаны требования к гексаферритовым подложкам для таких приборов, облегчающие их конструирование.
6. Оптимизированы технологические процессы изготовления микрополосковых ферритовых плат путём снижения термического воздействия, что позволило улучшить электрические характеристики вентилей и У-циркуляторов миллиметрового диапазона длин волн, а также увеличить выход годных плат и снизить их себестоимость.

Оценка основных положений диссертации. Задача исследования решена автором в полном объеме. Научное обоснование новых технических решений сформулировано в рассматриваемой предметной области. Проведенные автором исследования отвечают содержанию работы.

Анализ диссертации показывает, что она характеризуется внутренним единством и представляет собой законченный труд, содержащий новые научные результаты, положения и выводы.

Основные результаты и положения диссертации были доложены и обсуждены на 5 региональных, 2 всероссийских и одной международной научно-технических конференциях по данной тематике.

По материалам диссертации автором опубликовано 11 печатных работ, из них 5 статей в рецензируемых периодических научных изданиях, включенных в перечень ВАК и 2 статьи в научных изданиях, входящих в международную реферативную базу данных Scopus. Подана и оформлена заявка на патент «Микрополосковый ферритовый вентиль СВЧ».

Диссертация написана логически последовательно, оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ВАК.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Представленные в работе результаты используются в АО «НПП «Исток» им.Шокина» и могут быть рекомендованы для ознакомления и использования в АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», АО "НИИ "Феррит-Домен", МГУ им. М.В. Ломоносова, Инженерно-технологической академии «Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения», Московском Технологическом университете тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Институте metallurgии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Институте неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, НИТУ «МИСиС», Санкт-Петербургском государственном технологическом университете, Южном федеральном университете, Уральском федеральном университете им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Национальном исследовательском Томском государственном университете, Новосибирском государственном техническом университете.

Диссертация, соответствует паспорту специальности 05.27.01
«Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро - и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Работа выполнена на высоком научном уровне, полученные научные и практические результаты, а так же опубликованные научные работы свидетельствуют о большом личном вкладе автора в науку и практику.

Замечания по работе. При анализе содержания диссертации и автореферата отмечены следующие недостатки:

1) Литературный обзор пересыщен общизвестными фактами, в частности, его можно существенно сократить без ущерба для содержания диссертации.

2) В тексте диссертации присутствуют стилистические неточности и опечатки, которые проанализированы и указаны в тексте диссертации.

Однако, отмеченные недостатки не снижают научной и практической ценности результатов, полученных в диссертации.

Выводы. Диссертация охватывает основные вопросы сформулированной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что

подтверждается наличием непротиворечивой методической платформы.

Диссертация «Микрополосковые ферритовые связывающие приборы миллиметрового диапазона длин волн с улучшенными характеристиками» Семенова А.С. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложена совокупность новых научно обоснованных технических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие соответствующей отрасли науки, решает проблему импортозамещения и повышает обороноспособность страны. Уровень изложенных в работе результатов и их значимость соответствуют требованиям п.п. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Семенов Алексей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 - «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро - и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Содержание работы, автореферат и отзыв на диссертацию Семенова А.С. рассмотрены и одобрены на заседании НТС от 25 декабря 2020 г.

Начальник отдела 760 АО «НПП «ФАЗА»
e-mail: faza-f@mail.ru
тел.: 8 (863) 254-95-88

Захаров Игорь Васильевич

Зам. начальника отдела 760

АО «НПП «ФАЗА»
e-mail: faza-f@mail.ru
тел.: 8 (863) 254-95-88

Архипов Игорь Иванович