



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016122952, 09.06.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.06.2016Дата регистрации:
14.04.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.06.2016

(45) Опубликовано: 14.04.2017 Бюл. № 11

Адрес для переписки:
109378, Москва, ул. Федора Полетаева, 24, корп.
4, кв. 23, Кухаренко А.С.

(72) Автор(ы):

Кухаренко Александр Сергеевич (RU),
Елизаров Андрей Альбертович (RU),
Скуридин Андрей Андреевич (RU),
Закирова Марина Ивановна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Кухаренко Александр Сергеевич (RU)

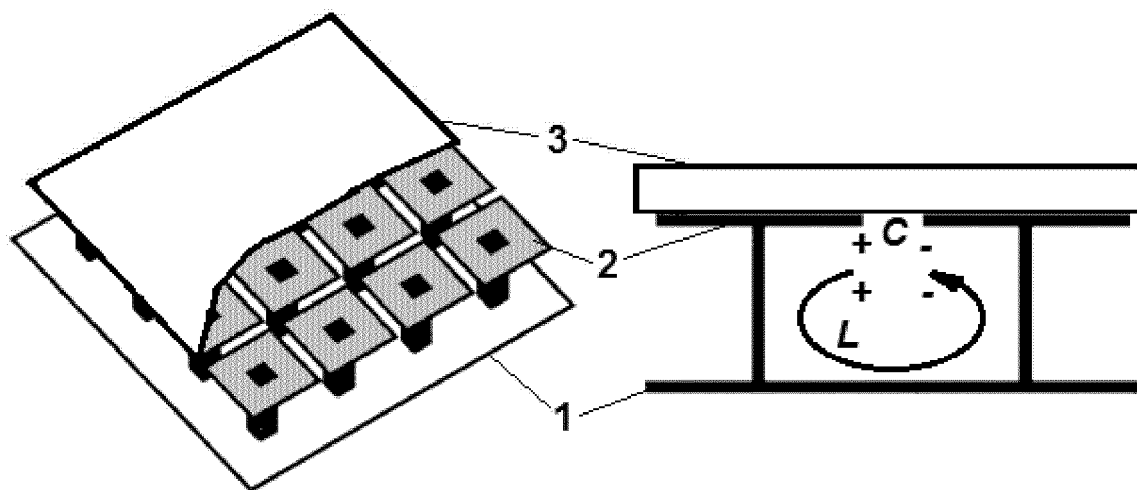
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Кухаренко А.С., Елизаров А.А.,
Анализ физических особенностей
метаматериалов и частотно-селективных
СВЧ-устройств на их основе, Электроника.
Радиотехника, T-Comm Vol. 9, N 5, 2015. RU
2571385 C1, 20.12.2015. WO 2012094410 A2,
12.07.2012. US 7256753 B2, 14.08.2007. WO
2014025425 A2, 13.02.2014.

(54) Чувствительный элемент на метаматериале

(57) Реферат:

Использование: для микроволнового измерения физических величин и контроля параметров технологических процессов. Сущность полезной модели заключается в том, что чувствительный элемент содержит участок плоской частотно-селективной высокоимпедансной поверхности, выполненный на основе метаматериала грибовидного типа, который закрыт сверху однослойным или многослойным плоским диэлектрическим экраном, при этом метаматериал представляет собой двухслойную диэлектрическую плату с металлическим экраном, выполненным на

нижнем слое, и периодически расположенными рядами сквозных металлизированных отверстий, в каждом из которых закреплены идентичные металлические элементы в виде распределенных колебательных контуров, связанных емкостными зазорами, и имеющих геометрические размеры, много меньшие рабочей длины волны, а толщина диэлектрического экрана не превышает толщину метаматериала. Технический результат: обеспечение возможности создания чувствительного элемента на грибовидном метаматериале. 2 з.п. ф-лы, 4 ил.



Фиг.1

Полезная модель относится к элементам и устройствам для микроволнового измерения физических величин и контроля параметров технологических процессов, и может быть использована в радиоэлектронной аппаратуре.

Известны чувствительные элементы радиоволновых измерительных преобразователей, выполненные на основе одиночных и (или) связанных замедляющих систем, работа которых основана на измерении электродинамических параметров резонансных структур при изменении их геометрических размеров, параметров окружающих сред или расстояния до металлических предметов [Елизаров А.А., Пчельников Ю.Н. Радиоволновые элементы технологических приборов и устройств с использованием электродинамических замедляющих систем. - М.: Радио и связь, 2002. – с.125 - 134]. Недостатком таких чувствительных элементов является их работа в радиоволновом диапазоне, на частотах в единицы-десятки МГц, что не всегда позволяет обеспечить равномерное распределение электромагнитного поля в контролируемом объекте или технологической среде, и снижает точность таких измерений.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является развязывающий фильтр на грибовидном метаматериале, содержащий экранированную с одной стороны однослойную или многослойную диэлектрическую плату с периодически расположенными рядами сквозных отверстий, в каждом из которых закреплены идентичные металлические элементы в виде распределенных колебательных контуров, связанных емкостными зазорами, и имеющих геометрические размеры, много меньшие рабочей длины волны [Патент РФ на изобретение № 2 571 385. Развязывающий фильтр на метаматериале/ А.С.Кухаренко, А.А.Елизаров. Опубл. в БИ № 35, 2015]. Однако возможность использования такой структуры в качестве основы для создания чувствительного элемента не рассматривалась.

Технической задачей, на решение которой направлена данная полезная модель, является создание чувствительного элемента на грибовидном метаматериале, обладающего полосой заграждения не менее 100 МГц (на уровне (-3дБ)) и затуханием не хуже 20 дБ, смещение которых в микроволновом диапазоне позволит обеспечить эффективное измерение и контроль физических величин или параметров технологического процесса.

Решение технической задачи достигается тем, что чувствительный элемент содержит участок плоской частотно-селективной высокоимпедансной поверхности, выполненный на основе метаматериала грибовидного типа, который закрыт сверху однослойным или многослойным плоским диэлектрическим экраном. Согласно предлагаемой полезной модели, метаматериал представляет собой двухслойную диэлектрическую плату с металлическим экраном, выполненным на нижнем слое, и периодически расположенными рядами сквозных металлизированных отверстий, в каждом из которых закреплены идентичные металлические элементы в виде распределенных колебательных контуров, связанных емкостными зазорами, и имеющих геометрические размеры, много меньшие рабочей длины волны, а толщина диэлектрического экрана не превышает толщину метаматериала.

Одной из отличительных особенностей чувствительного элемента может являться выбор относительной диэлектрической проницаемости однослойного плоского диэлектрического экрана вдвое большей относительной диэлектрической проницаемости однослойной диэлектрической платы метаматериала.

Другой отличительной особенностью может являться выбор относительной диэлектрической проницаемости первого слоя многослойного плоского диэлектрического экрана вдвое большей относительной диэлектрической проницаемости

однослойной диэлектрической платы метаматериала, и ее дальнейшим линейным уменьшением при увеличении расстояния от плоскости метаматериала.

Техническим результатом, достигаемым при осуществлении всей совокупности существенных признаков, является обеспечение смещения полосы заграждения шириной не менее 100 МГц (на уровне (-3 дБ)) и затухания не хуже 20 дБ в микроволновом диапазоне, что позволит создать чувствительный элемент на грибовидном метаматериале для эффективного измерения физических величин и параметров технологических процессов.

Предлагаемое изобретение иллюстрируется рисунками, где

на фиг.1 показана конструкция чувствительного элемента на метаматериале, где цифрой 1 обозначена двухслойная диэлектрическая плата, цифрой 2 – распределенные колебательные контуры, связанные емкостными зазорами и образующие частотно-селективную высокоимпедансную поверхность метаматериала, цифрой 3 – плоский диэлектрический экран; здесь же показано образование эквивалентных индуктивности и емкости между двумя распределенными колебательными контурами;

на фиг.2 показана топология чувствительного элемента на основе грибовидного метаматериала со «шляпками грибов» в форме мальтийского креста, выполненная на диэлектрической подложке из стеклотекстолита FR4 с относительной диэлектрической проницаемостью 4,5 и геометрическими размерами: $a = b = 100\text{ мм}$; $c = 7\text{ мм}$; $d = 9\text{ мм}$; $e = 5\text{ мм}$; $f = g = 1\text{ мм}$;

на фиг.3 приведены зависимости комплексного коэффициента передачи S_{21} от частоты, полученные для модели чувствительного элемента при изменении зазора между его поверхностью и однослойной диэлектрической пластиной толщиной 2 мм и относительной диэлектрической проницаемостью 4,5 (стеклотекстолит FR4);

на фиг.4 приведены зависимости комплексного коэффициента передачи S_{21} от частоты, полученные для модели чувствительного элемента с лежащей на его поверхности однослойной пластиной толщиной 2 мм при измерении ее относительной диэлектрической проницаемости 4,5 (стеклотекстолит FR4) и 9,8 (поликор).

Работа чувствительного элемента на метаматериале осуществляется следующим образом.

Композитная поверхность метаматериала чувствительного элемента возбуждается с помощью емкостного зазора, образованного двумя параллельными микрополосковыми линиями, расположенными по краям диэлектрической платы и обозначенными цифрами 1 и 2 (фиг.2). Конструктивные размеры каждого из колебательных контуров, образующих метаматериал, много меньше рабочей длины волны возбуждения. Распределенные колебательные контуры метаматериала могут быть представлены эквивалентной схемой, содержащей индуктивности, образованные полыми цилиндрическими металлическими ножками, соединенными с экраном, и емкости, сформированные между соседними контурами (фиг.1). Такая эквивалентная схема представляет собой схему линии передачи с отрицательной дисперсией, обладающую отрицательной фазовой скоростью и положительной групповой скоростью. Каждый из идентичных колебательных контуров, образующих метаматериал, обладает собственной добротностью $Q > 100$ и при изменении геометрических размеров может иметь резонансную частоту от 0,1 до 100 ГГц. При размещении в ближней зоне от поверхности метаматериала измеряемых объектов или контролируемых сред (как диэлектрических так и токопроводящих) возникает дополнительная электромагнитная связь, изменяющая эквивалентные погонные параметры индуктивности и емкости колебательных контуров метаматериала, что приводит к смещению резонансной

частоты и изменению коэффициента затухания структуры. Величины изменения резонансной частоты и коэффициента затухания зависят от проводимости и относительной диэлектрической проницаемости объекта, размещаемого вблизи поверхности метаматериала, что и позволяет использовать предложенную конструкцию

в качестве чувствительного элемента.

Возможность достижения цели подтверждается результатами численного эксперимента, полученными с помощью программных средств CST Studio Suite. На фиг.3 показаны зависимости комплексного коэффициента передачи S_{21} от частоты, полученные для модели чувствительного элемента с геометрическими размерами, приведенными на фиг.2, при изменении зазора между его поверхностью и однослойной диэлектрической пластиной толщиной 2 мм с относительной диэлектрической проницаемостью 4,5 (стеклотекстолит FR-4). Анализ полученных кривых показывает, что при отсутствии зазора, когда диэлектрическая пластина лежит на поверхности чувствительного элемента, резонансов в диапазоне 3,5 – 4,0 ГГц не наблюдается, а затухание составляет (- 23–24) дБ. При увеличении зазора от 0,2 до 2 мм резонансная частота структуры смещается с 3,51 ГГц при затухании (-39 дБ) до 3,55 ГГц при затухании (- 53 дБ). При этом ширина полосы меняется незначительно и составляет 120 МГц на уровне половинной мощности. В результате, чувствительность элемента к изменению зазора по смещению резонансной частоты составляет 0,10, а по изменению величины коэффициента затухания 0,14.

Возможность достижения цели подтверждается также зависимостями комплексного коэффициента передачи S_{21} от частоты, полученными для модели чувствительного элемента с лежащей на его поверхности однослойной пластиной толщиной 2 мм при изменении ее относительной диэлектрической проницаемости (4,5 (стеклотекстолит FR4) и 9,8 (поликор)) (фиг.4). Анализ результатов моделирования показывает смещение резонансной частоты с 4,10 ГГц при затухании (- 30,5) дБ до 4,45 ГГц при затухании (- 35,5) дБ. Тем самым, чувствительность элемента к изменению относительной диэлектрической проницаемости составляет 0,11, а по изменению величины коэффициента затухания 0,12.

Увеличение вдвое относительной диэлектрической проницаемости экрана по сравнению с диэлектрической проницаемостью двухслойной диэлектрической платы метаматериала, а также применение многослойного экрана с линейно уменьшающейся диэлектрической проницаемостью, обеспечивает согласование волнового сопротивления высокоимпедансной поверхности чувствительного элемента с внешним воздушным пространством, имеющим сопротивление $120\pi \approx 377$ Ом [Патент РФ на изобретение №2 484 559. Печатная плата с подвешенной подложкой/ А.А.Елизаров, Э.А.Закирова. Оpubл. в БИ № 35, 2011].

Достоинством предлагаемой полезной модели является возможность создания чувствительного элемента в микрополосковом исполнении, предназначенного для измерения физических величин и контроля технологических процессов в заданном диапазоне частот, с геометрическими размерами значительно меньшими рабочей длины волны при сохранении высокой добротности структуры.

(57) Формула полезной модели

1. Чувствительный элемент, содержащий участок плоской частотно-селективной высокоимпедансной поверхности, выполненный на основе метаматериала грибовидного типа, закрытого сверху однослойным или многослойным плоским диэлектрическим экраном, отличающийся тем, что метаматериал представляет собой двухслойную

диэлектрическую плату с металлическим экраном, выполненным на нижнем слое, и периодически расположенными рядами сквозных металлизированных отверстий, в каждом из которых закреплены идентичные металлические элементы в виде распределенных колебательных контуров, связанных емкостными зазорами, и имеющих
5 геометрические размеры, много меньшие рабочей длины волны, а толщина диэлектрического экрана не превышает толщину метаматериала.

2. Чувствительный элемент по п.1, отличающийся тем, что относительная диэлектрическая проницаемость однослойного плоского диэлектрического экрана, вдвое больше относительной диэлектрической проницаемости однослойной
10 диэлектрической платы метаматериала.

3. Чувствительный элемент по п.1, отличающийся тем, что относительная диэлектрическая проницаемость первого слоя многослойного плоского диэлектрического экрана вдвое больше относительной диэлектрической проницаемости однослойной диэлектрической платы метаматериала, и линейно уменьшается с
15 увеличением расстояния от плоскости метаматериала.

20

25

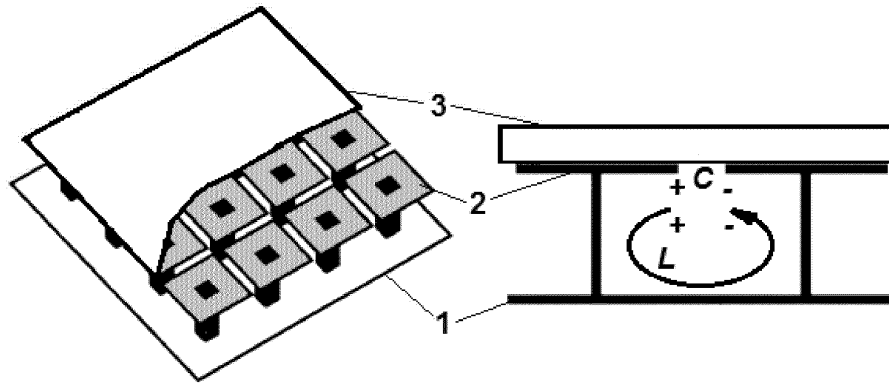
30

35

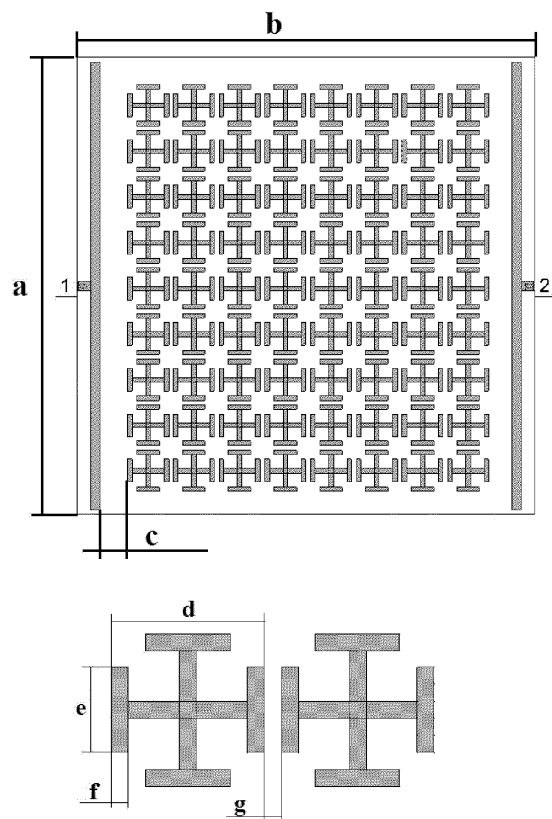
40

45

1

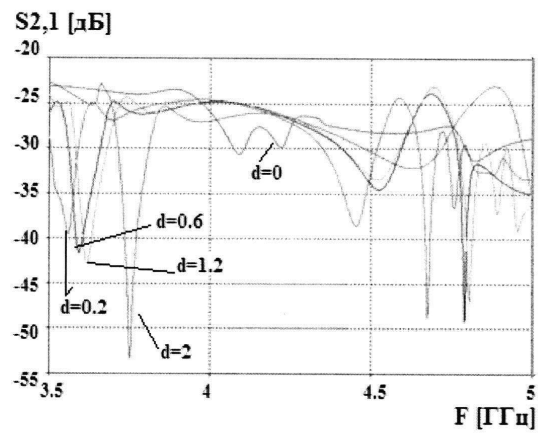


Фиг.1

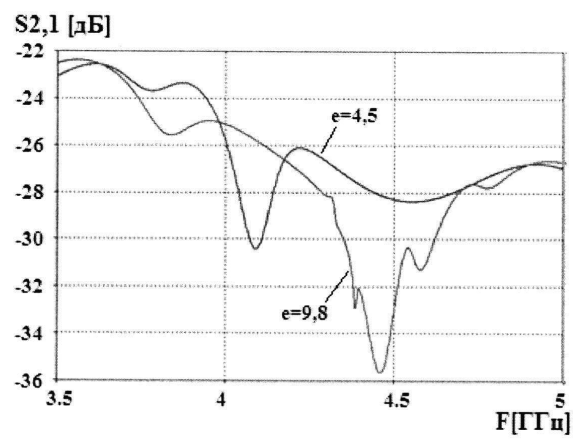


Фиг.2

2



Фиг.3



Фиг.4