



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015142787, 07.10.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.10.2015

Дата регистрации:
12.05.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.10.2015

(43) Дата публикации заявки: 11.04.2017 Бюл. № 11

(45) Опубликовано: 12.05.2017 Бюл. № 14

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, стр.
38, ИФ СО РАН, патентный отдел

(72) Автор(ы):

**Беляев Борис Афанасьевич (RU),
Тюрнев Владимир Вениаминович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный
исследовательский центр "Красноярский
научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук" (RU)**

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 9093736 B2 28.07.2015. JP H
05267906 A 15.10.1993. SU 1091263 A1
07.05.1984. RU 2480867 C1 27.04.2013.

(54) МНОГОСЛОЙНЫЙ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЙ ФИЛЬТР

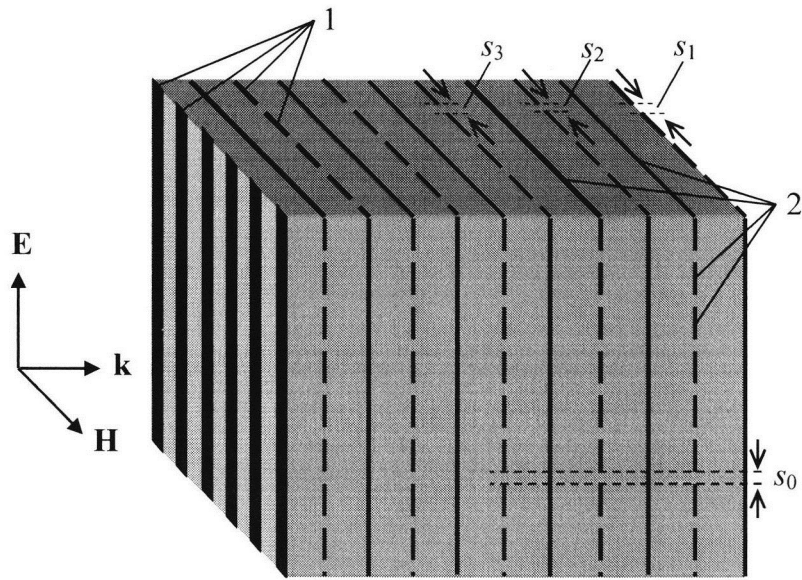
(57) Реферат:

Многослойный полосно-пропускающий фильтр содержит параллельные слои диэлектрика резонансной толщины, каждый из которых отделен один от другого и от окружающего пространства плоской решеткой параллельных тонкопленочных полосковых проводников с упорядоченными осями. При этом оси любых двух соседних решеток ортогональны.

Технический результат изобретения заключается в улучшении селективных свойств фильтра, выражающемся в расширении верхней полосы заграждения за счет значительного повышения частоты второй моды колебаний двухслойных резонаторов по сравнению с частотой первой моды колебаний. 2 ил.

RU 2 619 137 C2

RU 2 619 137 C2



Фиг. 1

RU 2619137 C2

RU 2619137 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2015142787, 07.10.2015**(24) Effective date for property rights:
07.10.2015Registration date:
12.05.2017

Priority:

(22) Date of filing: **07.10.2015**(43) Application published: **11.04.2017** Bull. № 11(45) Date of publication: **12.05.2017** Bull. № 14

Mail address:

**660036, g. Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50, str.
38, IF SO RAN, patentnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Belyaev Boris Afanasevich (RU),
Tyurnev Vladimir Veniaminovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyj
issledovatelskij tsentr "Krasnoyarskij nauchnyj
tsentr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii
nauk" (RU)**(54) **MULTILAYER BANDPASS FILTER**

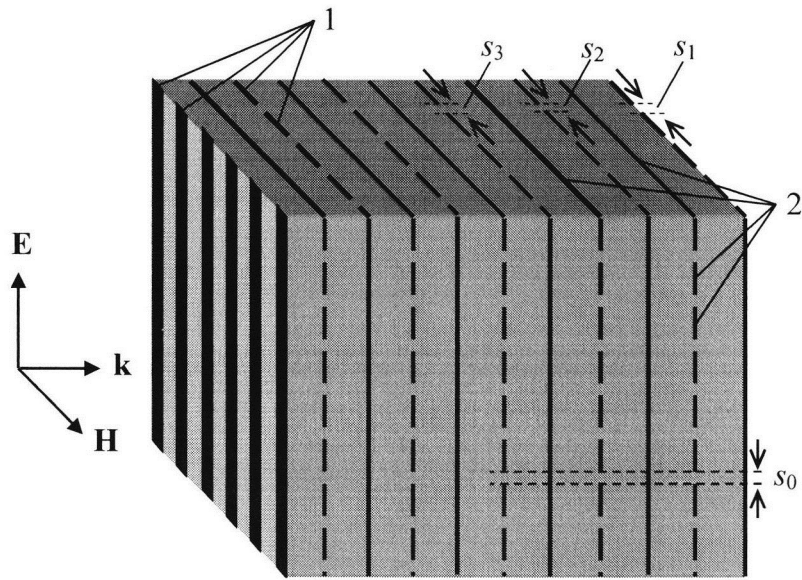
(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: multilayer bandpass filter comprises parallel dielectric layers of the resonance thickness, each separated from one another and from the surrounding space by a flat grid of parallel thin film strip conductors with ordered axes. The axes of any two adjacent grids are orthogonal.

EFFECT: improved selective properties of the filter, expressed in the extension of the upper boom band due to the significant increase in the frequency of the second oscillations mode of dual-layer resonators compared to the frequency of the first oscillations mode.

2 dwg



Фиг. 1

RU 2619137 C2

RU 2619137 C2

Изобретение относится к микроволновой и оптической технике и может быть использовано в устройствах связи, преобразователях частоты и спектрометрах в диапазоне от миллиметровых до субмикронных длин волн.

Известен оптический многослойный полосно-пропускающий фильтр [Патент РФ №2552127, МПК G02B 5/28, опубл. 10.06.2015 г., Бюл. №16]. Фильтр содержит диэлектрическую подложку, на которую нанесены чередующиеся тонкопленочные слои диэлектриков с высоким и низким показателем преломления. Часть слоев из материала с низким показателем преломления являются однослойными резонаторами, имеющими фазовую толщину π на центральной частоте полосы пропускания. Остальные слои образуют многослойные диэлектрические зеркала, обеспечивающие требуемые величины связей каждого из резонаторов с соседним резонатором, диэлектрической подложкой или внешним пространством.

Недостатком известного оптического многослойного полосно-пропускающего фильтра является близкое расположение нижней и верхней паразитных полос пропускания в его частотной характеристике к рабочей полосе пропускания. Этот недостаток обусловлен проявлением резонансных свойств многослойными диэлектрическими зеркалами, а также эквидистантностью спектра резонансных частот однослойных резонаторов.

Наиболее близким аналогом является многослойный полосно-пропускающий фильтр [Прототип: В.А. Belyaev and V.V. Tyurnev. Novel multilayer bandpass filter with extended lower and upper stop bands // Optics Letters. 2015. Vol. 40, No. 18, p. 4333-4335], содержащий параллельные слои диэлектрика, каждый из которых отделен один от другого и от окружающего пространства прилегающими зеркалами. Каждое зеркало фильтра представляет собой решетку параллельных тонкопленочных полосковых проводников, нанесенную на поверхность диэлектрического слоя. Во всех зеркалах оси параллельных тонкопленочных полосковых проводников совпадают. Каждый слой диэлектрика в фильтре является резонатором.

Недостатком наиболее близкого аналога является то, что край верхней паразитной полосы пропускания устройства расположен ниже, чем удвоенная центральная частота фильтра. Это сужает верхнюю полосу заграждения и тем самым ухудшает частотную характеристику устройства. Указанный недостаток обусловлен тем, что однослойные диэлектрические резонаторы фильтра имеют почти эквидистантный спектр резонансных частот.

Техническим результатом заявляемого изобретения является улучшение селективных свойств фильтра, выражающееся в расширении верхней полосы заграждения за счет значительного повышения частоты верхней паразитной полосы пропускания относительно центральной частоты фильтра.

Технический результат достигается тем, что в многослойном полосно-пропускающем фильтре, содержащем параллельные слои диэлектрика, каждый из которых отделен один от другого и от окружающего пространства плоской решеткой параллельных тонкопленочных полосковых проводников с упорядоченными осями, новым является то, что оси любых двух соседних решеток ортогональны, а резонансная частота каждой пары смежных слоев диэлектрика вместе с прилегающими к ним решетками полосковых проводников равна центральной частоте полосы пропускания.

Отличается заявляемый фильтр от наиболее близкого аналога ортогональностью осей его любых двух соседних решеток тонкопленочных полосковых проводников, а также равенством резонансных частот каждой пары смежных слоев диэлектрика вместе с прилегающими к ним решетками полосковых проводников центральной частоте

полосы пропускания.

Достоинством многослойного фильтра с двумя типами решеток с ортогональными осями тонкопленочных полосковых проводников является образование в таком фильтре системы связанных двухслойных резонаторов, в которых частота второго резонанса может быть значительно выше удвоенной частоты первого резонанса. Это позволяет значительно повысить частоту паразитной полосы пропускания относительно центральной частоты и тем самым значительно расширить верхнюю полосу заграждения.

Это отличие позволяет сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критерию «новизна». Признак, отличающий заявляемое техническое решение от прототипа, не выявлен в других технических решениях при изучении данной и смежных областей техники и, следовательно, обеспечивает заявляемому решению соответствие критерию «изобретательский уровень».

Сущность изобретения поясняется чертежами.

На фиг. 1 изображена конструкция многослойного полосно-пропускающего фильтра пятого порядка. Здесь 1 - вертикальные полосковые проводники, 2 - горизонтальные полосковые проводники; векторы E , H указывают направления электрического и магнитного поля фильтруемой волны, а волновой вектор k указывает направление распространения этой волны.

На фиг. 2 представлены расчетные частотные зависимости коэффициента прохождения мощности электромагнитной волны для заявляемого многослойного полосно-пропускающего фильтра пятого порядка и его ближайшего прототипа.

Пример осуществления изобретения показан на фиг. 1. Фильтр пятого порядка имеет десять диэлектрических слоев, выполненных из полиметилпентена. Этот материал имеет показатель преломления $n=1.46$. Конструкция фильтра обладает зеркальной симметрией относительно плоскости, расположенной между центральными слоями диэлектрика. На границах раздела диэлектрических слоев располагаются решетки параллельных тонкопленочных полосковых проводников с чередующимися вертикальными (1) и горизонтальными (2) осями. Все решетки полосковых проводников имеют период $T=40$ мкм. Все решетки с горизонтальными осями (2) имеют одинаковые зазоры между полосковыми проводниками $s_0=1.96$ мкм. Решетки с вертикальными осями (1) имеют зазоры $s_1=26.28$ мкм, $s_2=7.50$ мкм, $s_3=6.73$ мм с нумерацией в направлении от наружных решеток к центральным решеткам. Слои в каждой паре соседних слоев диэлектрика имеют одинаковую толщину, если между ними располагается решетка с горизонтальными проводниками. Слои в таких парах имеют толщины $h_1=23.25$ мкм, $h_2=25.42$ мкм, $h_3=25.45$ мкм с нумерацией в направлении от наружных пар соседних слоев к центральным парам.

Расчетная частотная характеристика для приведенного примера фильтра показана сплошной линией на фиг. 2. Здесь использовался матричный метод расчета многослойных структур, а также формулы для матрицы рассеяния волн на решетке полосковых проводников [Б.А. Беляев, В.В. Тюрнев. Дифракция электромагнитных волн на одномерной решетке полосковых проводников, расположенной на границе раздела диэлектрических сред // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015, т. 58, №5, с. 57-66]. Рабочая полоса пропускания имеет центральную частоту $f_0=1$ ТГц и относительную ширину $\Delta f/f_0=1\%$ по уровню -3 дБ. На частотах ниже частоты f_0 паразитные полосы пропускания отсутствуют. Край ближайшей паразитной полосы пропускания по уровню прохождения -100 дБ располагается на частоте $3.82f_0$.

Здесь же на фиг. 2 показана штриховой линией расчетная частотная характеристика

ближайшего аналога с теми же параметрами полосы пропускания.

Многослойный фильтр работает следующим образом. Он представляет собой систему из пяти связанных резонаторов. Резонатором является каждая пара соседних слоев диэлектрика, между которыми расположена плоская решетка горизонтальных тонкопленочных полосковых проводников. «Внешними линиями передачи» фильтра является свободное пространство по обе стороны конструкции, в котором могут распространяться падающие и отраженные плоские электромагнитные волны. Цепями связи резонаторов являются решетки вертикальных полосковых проводников.

Две наружные решетки вертикальных полосковых проводников обеспечивают оптимальную связь двух наружных резонаторов фильтра с «внешними линиями передачи», то есть со свободным пространством. Величину такой связи обычно характеризуют внешней добротностью Q_e . Эта связь тем больше, чем меньше Q_e .

Внутренние решетки вертикальных полосковых проводников призваны обеспечить оптимальную связь между соседними резонаторами. Связь между резонаторами характеризуют коэффициентом связи k . Оптимальные значения Q_e и k зависят от требуемой относительной ширины полосы пропускания. Они могут быть рассчитаны по известным формулам [G.L. Matthaei, L. Young, and E.M.T. Jones. Microwave filter, impedance-matching networks, and coupling structures. McGraw-Hill Book Company, 1964, Sec. 8.02]. Из них, в частности, следует, что все связи в фильтре пропорциональны относительной ширине полосы пропускания. Оптимальные величины связей в фильтре обеспечиваются выбором величин зазоров s_i между полосковыми проводниками во всех решетках с вертикальными осями. Чем больше величина зазора, тем сильнее связь.

Как и в любом резонаторном фильтре, частота первой моды колебаний каждого резонатора должна совпадать с центральной частотой f_0 требуемой полосы пропускания. Положение ближайшей паразитной полосы пропускания будут задавать частоты вторых мод колебаний резонаторов.

Наличие решетки горизонтальных полосковых проводников в центре каждого двухслойного резонатора позволяет значительно понизить частоту первой моды колебаний относительно частоты второй моды. В результате край ближайшей паразитной полосы пропускания фильтра переместится вверх за частоту $2f_0$. Причем чем меньше будет зазор s_0 между горизонтальными проводниками, тем выше отодвинется край паразитной полосы пропускания за частоту $2f_0$. На частоте f_0 фазовая толщина слоев диэлектрика для любого резонатора всегда будет меньше $\pi/2$. Совпадение частоты первой моды колебаний каждого резонатора с требуемой центральной частотой f_0 может быть обеспечено как выбором оптимальных толщин диэлектрических слоев h_1, h_2, h_3 для каждого резонатора, так и выбором для каждого резонатора оптимального зазора s_0 в решетке горизонтальных проводников. В примере осуществления изобретения, приведенном выше, равенство частот резонаторов при произвольном одинаковом значении зазора s_0 во всех резонаторах достигнуто выбором неодинаковых оптимальных значений толщин h_1, h_2, h_3 . Возможен и другой вариант конструирования фильтра, при котором все резонаторы имеют одинаковые произвольные фиксированные толщины слоев h_1, h_2, h_3 , но неодинаковые оптимальные зазоры s_0 .

Следует иметь в виду, что резонансные частоты любого резонатора в рассматриваемом фильтре зависят не только от параметров его диэлектрических слоев и параметров расположенной между ними решетки горизонтальных проводников, но

также зависят от параметров решеток, связывающих резонаторы. Так как все связи резонаторов в настроенном фильтре всегда неодинаковы, то не могут быть одновременно одинаковыми зазоры s_0 во всех решетках горизонтальных проводников при одинаковых толщинах h_1, h_2, h_3 всех диэлектрических слоев.

5 Таким образом, преимуществом заявляемого многослойного фильтра является большая ширина верхней полосы заграждения. Он может быть изготовлен из материалов с произвольной диэлектрической проницаемостью.

(57) Формула изобретения

10 Многослойный полосно-пропускающий фильтр, содержащий параллельные слои диэлектрика, каждый из которых отделен один от другого и от окружающего пространства плоской решеткой параллельных тонкопленочных полосковых проводников с упорядоченными осями, отличающийся тем, что оси любых двух соседних решеток ортогональны, а резонансная частота каждой пары смежных слоев диэлектрика
15 вместе с прилегающими к ним решетками полосковых проводников равна центральной частоте полосы пропускания.

20

25

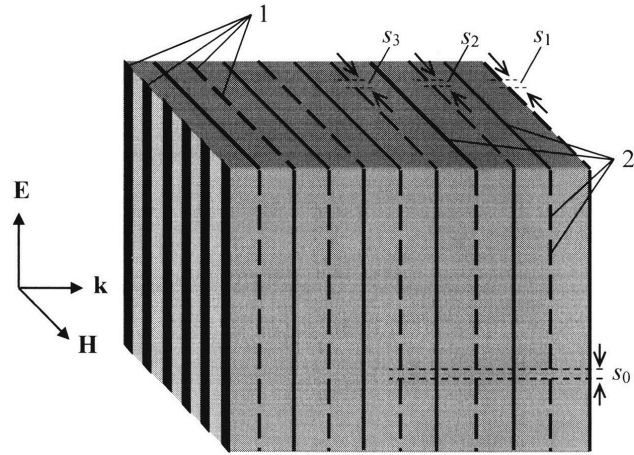
30

35

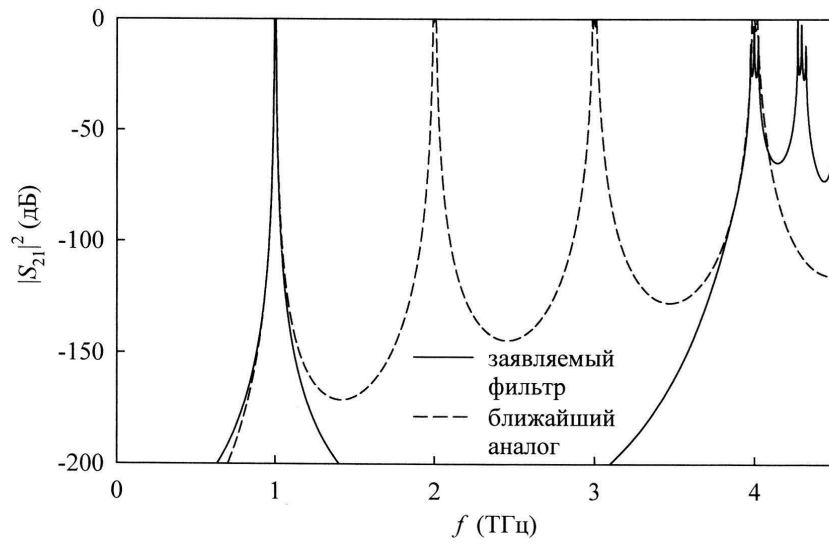
40

45

МНОГОСЛОЙНЫЙ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЙ ФИЛЬТР



Фиг. 1



Фиг. 2