



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01J 3/26 (2021.05)

(21)(22) Заявка: 2021111086, 19.04.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.04.2021

Дата регистрации:
08.09.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.04.2021

(45) Опубликовано: 08.09.2021 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

119017, Москва, ул. Большая Ордынка, 24,
Государственная корпорация по атомной
энергии "Росатом"

(72) Автор(ы):

Богачев Николай Николаевич (RU),
Скворцова Нина Николаевна (RU),
Малахов Дмитрий Валерьевич (RU),
Гусейн-заде Намик Гусейнага оглы (RU),
Колик Леонид Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Российская Федерация, от имени которой
выступает Государственная корпорация по
атомной энергии "Росатом" (Госкорпорация
"Росатом") (RU)

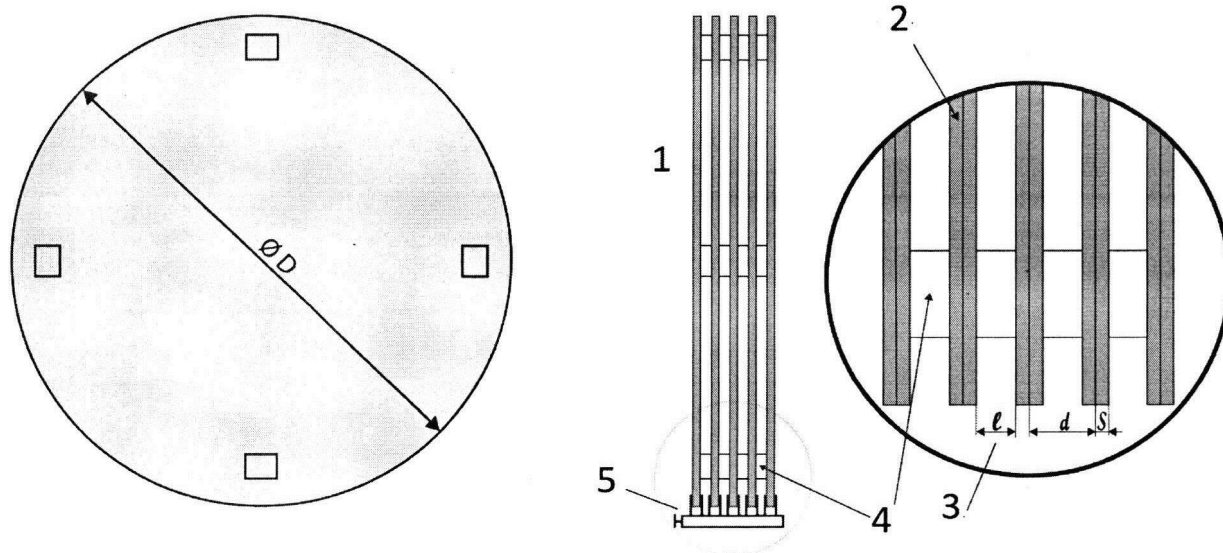
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2305350 C1, 27.08.2007. RU
2650750 C1, 17.04.2018. RU 2399935 C2,
20.09.2010. KR 20040013732 A, 14.02.2004. EP
3757532 A1, 30.12.2020.

(54) Фильтр миллиметрового диапазона на основе резонатора Фабри-Перо для систем бесконтактной диагностики

(57) Реферат:

Полезная модель относится к радиотехнике, а именно к технике миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов электромагнитных волн, и может быть использована, преимущественно, в системах бесконтактной диагностики. Требуемый технический результат, заключающийся в упрощении конструкции, повышении стабильности характеристик и снижении паразитных переотражений, а также возможности работы в качестве как полосно-заграждающего, так и полосно-пропускающего фильтра, достигается в устройстве, содержащем закрепленные в диэлектрическом фиксаторе последовательно установленные на расстоянии

1 друг от друга пары соприкасающихся пластин из слюды толщиной S с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ , причем параметры фильтра выбирают из условия $l=d-2S$, где $d = d_0 - \Delta d$, $d_0 = m\lambda_0$ - для полосно-пропускающего фильтра, $2d_0 = m\lambda_0$ - для полосно-заграждающего, $\Delta d = m \frac{nS(\lambda_0 - \lambda)}{2}$, m - целое число, λ_0 - длина электромагнитной волны в свободном пространстве, $\lambda = \lambda(\epsilon)$ - длина электромагнитной волны в слюде. 5 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг. 1

Полезная модель относится к радиотехнике, а именно к технике миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов электромагнитных волн, и может быть использована, преимущественно, в системах бесконтактной диагностики, в частности, в радиотехнических системах диагностики параметров плазмы в установках по удержанию газовой плазмы и плазмохимических реакторах.

Данная задача является в настоящее время общей для всех установок с использованием интерферометров и рефлектометров одновременно с мощными источниками СВЧ излучения миллиметрового диапазона, например, гиротронами, где необходимо избавляться от дополнительных наводок и шумов.

Известны устройства с использованием резонатора Фабри-Перо.

В частности, известна волоконно-оптическая система измерения мгновенных частот множества СВЧ-сигналов [RU 2721739, С1, G01R 23/165, 21.05.2020], содержащая источник узкополосного оптического сигнала, первый модулятор Маха-Цендера, при этом радиочастотный вход первого модулятора Маха-Цендера является входом волоконно-оптической системы измерения мгновенных частот множества СВЧ-сигналов, оптический циркулятор, оптический фильтр, первый фотоприемник, второй фотоприемник, а также контроллер определения частот СВЧ-сигналов, причем второй порт оптического циркулятора через оптический фильтр посредством волоконных световодов через первый фотоприемник подключен к первому входу контроллера определения частот СВЧ-сигналов, а третий порт оптического циркулятора посредством волоконного световода через второй фотоприемник подключен ко второму входу контроллера определения частот СВЧ-сигналов, а также генератор СВЧ-сигнала, второй модулятор Маха-Цендера, при этом оптический вход второго модулятора Маха-Цендера соединен с источником узкополосного оптического сигнала посредством волоконного световода, радиочастотный вход второго модулятора Маха-Цендера соединен с генератором СВЧ-сигнала, а выход второго модулятора Маха-Цендера посредством волоконного световода соединен с оптическим входом первого модулятора Маха-Цендера, выход которого в свою очередь посредством волоконного световода соединен с первым портом оптического циркулятора, при этом контроллер определения частот СВЧ-сигналов имеет выход, который является выходом волоконно-оптической системы измерения мгновенных частот множества СВЧ-сигналов.

Известны также устройства [SU 293502 Открытый резонатор для миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн, P.G. Wannier, J.A. Arnaud, F.A. Pelow, and A.A. M. Sale // Review of Scientific Instruments 47, 56 (1976); doi: 10.1063/1.1134490, A.B. Аржанников, Н.С. Гинзбург, В. Ю. Заславский, В. Г. Иваненко, И. А. Иванов, П. В. Калинин, А. С. Кузнецов, С.А. Кузнецов, Н.Ю. Песков, А.С. Сергеев, С.Л. Сеницкий, В.Д. Степанов, 2006 Вестник НГУ. Серия: Физика. 2006. Том 1, выпуск 2 и т.п.], созданные на основе плоско-параллельного резонатора Фабри-Перо, состоящего из зеркал, выполненных в виде металлических сеток в рамках или нанесенных на радиопрозрачный материал, при этом, пространства между зеркалами заполнены воздухом или диэлектриком, а также из средств фиксации зеркал с возможностью изменения длины резонатора или без этой функции, причем ячейки сеток должны быть меньше длины электромагнитной волны проходящего излучения.

Недостатком таких конструкций является сильная зависимость радиофизических характеристик таких устройств-фильтров от точности изготовления сеток, что приводит к технологической сложности конструкции. В основном они используются в качестве полосно-заграждающих фильтров из-за низких требований к характеристикам таких устройств.

Наиболее близким техническим решением к предложенному является устройство [А.В. Аржанников, Н.С. Гинзбург, В.Ю. Заславский, В.Г. Иваненко, И.А. Иванов, П.В. Калинин, А.С. Кузнецов, С.А. Кузнецов, Н.Ю. Песков, А.С. Сергеев, С.Л. Синицкий, В.Д. Степанов, 2006 Вестник НГУ. Серия: Физика. 2006. Том 1, выпуск 2], содержащее резонатор Фабри-Перо, выполненный в виде пары плоскопараллельных двумерных сеток из медной фольги на текстолитовой подложке. Сетки имеют следующие геометрические параметры: $g=1$ мм, $a=0,32$ мм, $t=0,018$ мм, $d=0,9$ мм, $L \approx 8$ мм, рабочая апертура - 100×100 мм².

При выборе значений этих параметров использовались результаты из [Baker E. A. M., Walker B. Fabry-Perot interferometers for use at submillimeter wave-lengths // J. Phys. E: Sci. Instrum. 1982. Vol. 15. P. 25-32. Green J. P., Veron D., Belland P. Theory of the transmission of metal strip gratings on a dielectric substrate. Application to submillimeter laser coupling // International Journal of Infrared and Millimeter Waves. 1986. Vol. 7. No. 11. P. 1747-1767], в которых задавались значения t , d , осуществлялся выбор значений g , a , L для обеспечения ширины полосы пропускания $0,6 \dots 0,7$ ГГц в окрестности частоты 75 ГГц и коэффициента контраста не менее 25 дБ.

При изготовлении сеточных фильтров Фабри-Перо с приведенными выше характеристиками необходимо соблюдать точность выдерживания значения параметра, а в пределах апертуры для исключения возможности паразитного уширения полос пропускания фильтров на величину масштаба $0,1$ ГГц, сетки и плоскопараллельность сеток должны быть не хуже, чем $\Delta\alpha=10$ мкм и $\Delta L=40$ мкм соответственно.

Недостатком наиболее близкого технического решения является относительно высокая сложность, обусловленная необходимостью соблюдения точности изготовления сеточных фильтров, невыполнение которой может привести к нежелательному увеличению значения ширины полос пропускания и возможности возникновения паразитных переотражений на элементах фильтра.

Задачей, которая решается в полезной модели, является создание фильтра с более простой конструкцией при повышенной стабильности его характеристик, снижение паразитных переотражений и расширение функциональных возможностей путем обеспечения применения как в качестве полосно-заграждающего, так и полосно-пропускающего фильтра. Это позволит расширить арсенал технических средств, используемых в качестве фильтров миллиметрового диапазона на основе резонатора Фабри-Перо для систем бесконтактной диагностики.

Требуемый технический результат заключается в упрощении конструкции, повышении стабильности характеристик и снижении паразитных переотражений, а также в расширении функциональных возможностей путем обеспечения его применения как в качестве полосно-заграждающего, так и в качестве полосно-пропускающего фильтра.

Поставленная задача решается, а требуемый технический результат достигается в фильтре миллиметрового диапазона на основе резонатора Фабри-Перо для систем бесконтактной диагностики, содержащем закрепленные в диэлектрическом фиксаторе последовательно установленные на расстоянии l друг от друга пары соприкасающихся пары пластин из слюды толщиной S с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ , причем параметры фильтра выбирают из условия $l=d-2S$, где $d=d_0-\Delta d$, $d_0=m\lambda_0$ - для полосно-пропускающего фильтра, $2d_0=m\lambda_0$ - для полосно-заграждающего,

$$\Delta d = m \frac{nS(\lambda_0 - \lambda)}{2}, \quad m - \text{целое число, } \lambda_0 - \text{длина электромагнитной волны в свободном}$$

пространстве, $\lambda=\lambda(\epsilon)$ - длина электромагнитной волны в слюде.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что расстояние l устанавливают равным 1,46 мм.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что толщину S пластин из слюды устанавливают равной 0,12 мм.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что пластины из слюды выбирают с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ , равной 6

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что число k последовательно установленных пар соприкасающихся пластин выбирают равным 5, а количество резонаторов h равным 4.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что фильтр выполнен с возможностью установки на диэлектрическом штативе для крепления пар пластин и изменения расстояния между ними.

На чертеже представлены:

на фиг. 1 - фильтр миллиметрового диапазона на основе резонатора Фабри-Перо для систем бесконтактной диагностики с диэлектрическим фиксатором и диэлектрическим штативом;

на фиг. 2 - система бесконтактной диагностики для демонстрации примера использования фильтра миллиметрового диапазона на основе резонатора Фабри-Перо.

На чертеже обозначены:

1 - фильтр миллиметрового диапазона на основе резонатора Фабри-Перо;

2 - пара соприкасающихся пластин толщиной S из слюды с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ ;

3- резонатор Фабри-Перо;

4 - диэлектрический фиксатор;

5 - диэлектрический штатив для крепления пар пластин с возможностью изменения расстояния;

6 - объект исследований;

7 - диагностическое окно;

8 - линзы;

9 - приемная антенна системы.

Фильтр 1 миллиметрового диапазона на основе резонатора Фабри-Перо для систем бесконтактной диагностики содержит закрепленные в диэлектрическом фиксаторе 4 последовательно установленные на расстоянии l друг от друга пары 2 соприкасающихся пластин из слюды толщиной S с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ , которые образуют резонаторы Фабри-Перо с длиной d .

В частном случае расстояние l устанавливают равным 1,46 мм, толщину S пластин из слюды устанавливают равной 0,12 мм, относительную диэлектрическую проницаемость ϵ устанавливают равной 6, число k последовательно установленных пар соприкасающихся пластин выбирают равным 5 (число резонаторов $h=4$), а фильтр выполнен с возможностью установки на диэлектрическом штативе для крепления пар пластин с возможностью изменения расстояния между ними.

Пары 2 пластин для образования фильтра располагаются на расстоянии l . Это расстояние может фиксироваться двумя способами: без возможности изменения (настройки) - с помощью диэлектрических фиксаторов 4, и с возможностью изменения расстояния (управления параметрами и характеристиками фильтра) на штатив 5. Крепление пластин в паре между собой, а также с диэлектрическими фиксаторами и штативом осуществляется с помощью диэлектрического клея.

Работа фильтра происходит следующим образом.

Работа предложенного фильтра основана на свойствах резонатора Фабри-Перо - интерферометра с двумя параллельными слюдяными пластинами (служащими отражателями) без применения на них металлических сеток. Резонансные свойства резонатора-интерферометра Фабри-Перо определяются интерференционными минимумами и максимумами, связанными с длиной его полости d из выражения:

1) У полосно-заграждающего фильтра интерференционный минимум для длины волны λ_0

$$2d_0 = m\lambda_0, \quad (1a)$$

2) У полосно-пропускающего фильтра интерференционный максимум для длины волны λ_0

$$d_0 = m\lambda_0, \quad (1b)$$

где d_0 - длина резонатора для свободного пространства, m - целое число, а λ_0 длина электромагнитной волны в свободном пространстве. Длина резонатора определяется как

$$d_0 = \frac{m\lambda_0}{2}. \quad (2)$$

Однако необходимо также учитывать, что резонатор изготавливается из слюды с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ , относительной магнитной проницаемостью $\mu=1$ и толщиной S . Длина электромагнитной волны в слюде составляет

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (3)$$

Длину резонатора d следует рассчитывать с учетом длины электромагнитной волны λ в слюде (3):

$$d = d_0 - \Delta d, \quad (4)$$

где Δd -

$$\Delta d = m \frac{nS(\lambda_0 - \lambda)}{2} \quad (5)$$

Тогда расстояние между пластинами в резонаторе определяется из выражения:

$$l = d - 2S \quad (6)$$

Количество резонаторов h в фильтре определяется исходя из требований к добротности фильтра, габаритным размерам и затуханию в полосах пропускания и подавления.

Созданный на основании этих расчетов фильтр может устанавливаться двумя способами:

1) в качестве внешнего устройства в открытые квазиоптические тракты систем бесконтактной диагностики между патрубком (окном) экспериментальной установки и приемной (рупорной/линзовой) антенной системы (пример установки продемонстрирован на фиг. 2);

2) в качестве составного блока в тракте внутри систем диагностики.

Работоспособность полосно-заграждающего фильтра проверена при его

использовании в качестве внешнего устройства в системе бесконтактной доплеровской СВЧ рефлектометрии горячей плазмы, создаваемой с помощью электронно-циклотронного резонансного нагрева электромагнитным излучением гиротронного комплекса МИГ-3 на частоте $f_0=75,3$ ГГц (длина волны $\lambda_0=4$ мм) с мощностью до 600 кВт. Для фильтра были выбраны следующие исходные параметры $m=1$, $n=2$, $S=0,12$ мм, $\epsilon=6$, $k=5$, $h=4$ (коэффициент отражения $R \approx 0,03$), получено $\Delta d \approx 0,3$ мм, $d=1,7$ мм и расстояние между пластинами $l=1,46$ мм.

В таблице представлены рассчитанные параметры и характеристики получаемых устройств для различного количества резонаторов h . В качестве опытного образца для измерения и подтверждения заявленных характеристик использовался полосно-заграждающий фильтр с $k=5$, $h=4$, $l=1,4$. Проведенные измерения позволили получить заявленные характеристики, представленные в таблице ниже.

Количество резонаторов h	Расстояние между пластинами l , мм	Затухание в полосе пропускания (около частоты 37,5 ГГц) S_{21} , дБ	Затухание на рабочей частоте гиротронного комплекса МИГ-3 (75,3 ГГц) S_{21} , дБ
2	1,4	меньше -1	-11,4
	1,5	меньше -1	-11,2
3	1,4	меньше -1	-16,9
	1,5	меньше -1	-16,9
4	1,4	меньше -1	-23
	1,5	меньше -1	-21
5	1,4	меньше -1	-31,2
	1,5	меньше -1	-29
6	1,4	меньше -1	-30,7
	1,5	меньше -1	-29,9
7	1,4	меньше -1	-34,9
	1,5	меньше -1	-35
8	1,4	меньше -1	-38,5
	1,5	меньше -1	-36,9

Таким образом, благодаря введенным усовершенствованиям достигается требуемый технический результат, заключающийся в упрощении конструкции, повышении стабильности характеристик и снижении паразитных переотражений, а также возможности работы в качестве как полосно-заграждающего, так и полосно-пропускающего фильтра.

(57) Формула полезной модели

1. Фильтр миллиметрового диапазона на основе резонатора Фабри-Перо для систем бесконтактной диагностики, содержащий закрепленные в диэлектрическом фиксаторе последовательно установленные на расстоянии l друг от друга пары соприкасающихся пластин из слюды толщиной S с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ ,

причем параметры фильтра выбирают из условия $l=d-2S$, где $d=d_0-\Delta d$, $d_0=m\lambda_0$ - для полосно-пропускающего фильтра, $2d_0=m\lambda_0$ - для полосно-заграждающего,

$$\Delta d = m \frac{nS(\lambda_0 - \lambda)}{2}, \quad m - \text{целое число, } \lambda_0 - \text{длина электромагнитной волны в свободном}$$

пространстве, $\lambda=\lambda(\epsilon)$ - длина электромагнитной волны в слюде.

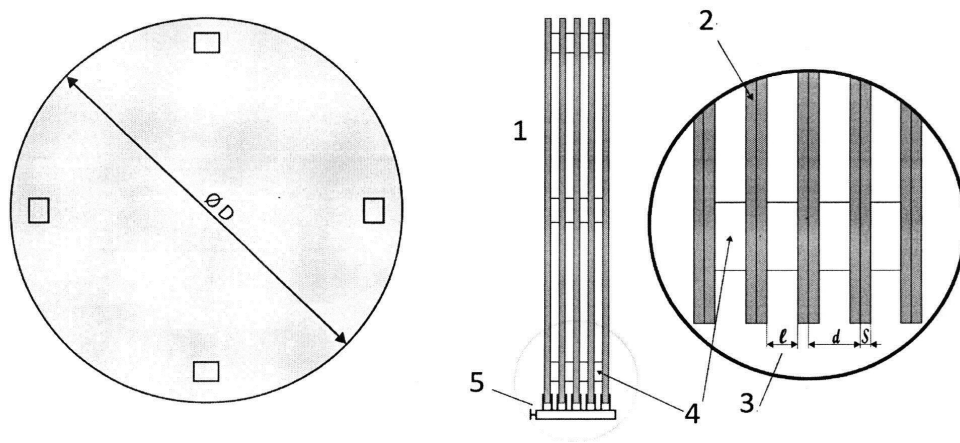
2. Фильтр по п. 1, отличающийся тем, что расстояние l устанавливают равным 1,46 мм.

3. Фильтр по п. 1, отличающийся тем, что толщину S пластин из слюды устанавливают равной 0,12 мм.

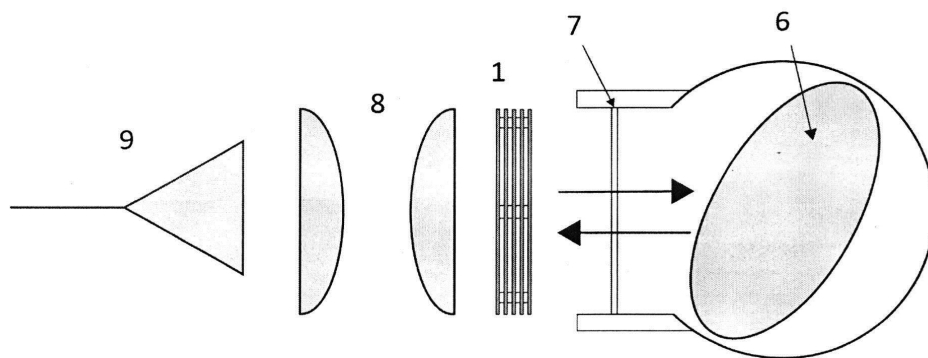
4. Фильтр по п. 1, отличающийся тем, что пластины из слюды выбирают с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ , равной 6.

5. Фильтр по п. 1, отличающийся тем, что число k последовательно установленных пар соприкасающихся пластин выбирают равным 5, а число резонаторов h - равным 4.

6. Фильтр по п. 1, отличающийся тем, что фильтр выполнен с возможностью установки на диэлектрическом штативе для крепления пар пластин без фиксаторов с возможностью изменения расстояния между ними.



Фиг. 1



Фиг. 2