



(51) МПК
G01J 1/08 (2006.01)
G01J 5/06 (2006.01)
G01M 11/02 (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2011120785/28**, **24.05.2011**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.05.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **24.05.2011**

(45) Опубликовано: **10.12.2012** Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 2008149861 A1**, **26.06.2008**. **WO 0022392 A1**, **20.04.2000**. **RU 100338 U1**, **10.12.2010**. **RU 2139613 C1**, **10.10.1999**.

Документ находится в Патентном отделе

ОКБ АСТРОН

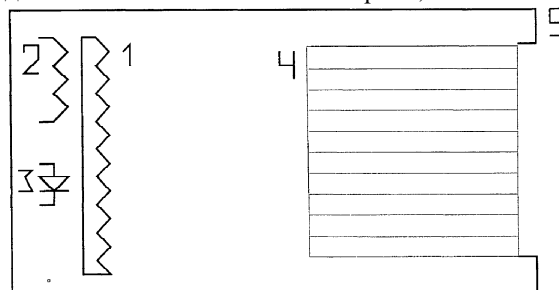
140081, Московская область, г.Лыткарино,
 ул.Парковая, д.1

(54) НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРНОГО ТЕЛА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области измерительной техники, а именно к фоточувствительным приборам, предназначенным для обнаружения теплового излучения, и охлаждаемым приемникам ИК-излучения. Низкотемпературный перестраиваемый источник излучения черного тела содержит излучатель черного тела, нагреватель и термометр, размещенные в холодной камере. В одном варианте в устройство введена широкоапертурная матрица запредельных волноводов, перекрывающая выходную апертуру источника и термически присоединенная к холодной стенке камеры. В другом варианте в устройство введен сверхпроводящий тонкопленочный фильтр, термически присоединенный к холодной камере и представляющий собой пленку

сверхпроводника с энергией щели, соответствующей частоте отсека, содержащую матрицу отверстий размером, меньше половины заданной длины волны среза. Технический результат заключается в обеспечении возможности подавления низкочастотных компонент излучения черного тела при его использовании в терагерцовом диапазоне частот. 2 н. и 5 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1

RU 2 469 280 C1

RU 2 469 280 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01J 1/08 (2006.01)
G01J 5/06 (2006.01)
G01M 11/02 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2011120785/28, 24.05.2011**

(24) Effective date for property rights:
24.05.2011

Priority:

(22) Date of filing: **24.05.2011**

(45) Date of publication: **10.12.2012 Bull. 34**

Документ находится в Патентном отделе
ОКБ АСТРОН
140081, Московская область, г.Лыткарино,
ул.Парковая, д.1

(54) **LOW-TEMPERATURE ADJUSTABLE BLACK BODY RADIATION SOURCE**

(57) Abstract:

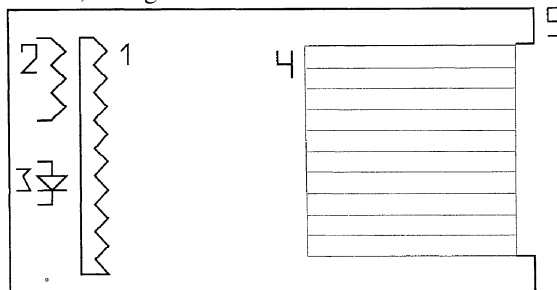
FIELD: physics.

SUBSTANCE: low-temperature adjustable black body radiation source has a black body radiator, a heater and a thermometer placed in a cold chamber. In one version, the device includes a wide-aperture array of below-cutoff waveguides which overlaps the output aperture of the source and is thermally connected to the cold wall of the chamber. In another version, the device includes a superconducting thin-film filter which is thermally connected to the cold chamber and is a superconductor film with aperture energy which corresponds to the cutoff frequency, having an array of openings whose size is less than

half the given cutoff wavelength.

EFFECT: suppression of the low-frequency component of black body radiation when used in the terahertz frequency band.

7 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2 469 280 C1

RU 2 469 280 C1

Изобретение относится к измерительной технике, области фоточувствительных приборов, предназначенных для обнаружения теплового излучения, к охлаждаемым приемникам ИК излучения.

Для калибровки и аттестации криогенных терагерцовых и ИК приемников излучения используют как традиционные методы калибровки с мощным источником излучения и многоступенчатыми аттенюаторами, так и криогенные источники теплового излучения черного тела.

Известно устройство-аналог: источник калиброванного излучения черного тела в миллиметровом диапазоне с биконической полостью [M.Jungang, M.Ning, B.Ming, X.Dong, H.Anyong, L.Dawei. Millimeter wave blackbody radiation calibration source with biconical cavity serial structure, CN 101666684 (A), application CN 20091093483 20090928], представляющее собой металлическую периодическую коническую структуру, внутренние стенки которой покрыты поглощающим материалом, что позволяет уменьшить отражения от входной апертуры и достичь более точного соответствия эффективной температуры излучения и температуры черного тела. Аналог обеспечивает удовлетворительную точность калибровки в миллиметровом диапазоне волн, однако при калибровке на более коротких волнах создает недопустимо высокую длинноволновую засветку.

Известно устройство-аналог: инфракрасный криогенный источник излучения [K.Rin, H.Nanba. Infrared cryogenic background radiation source device, JP 2006010494 (A)], состоящий из контейнера с жидким азотом, источника излучения черного тела и экранирующего колпака с входным окном, внутри которых находится сухой обменный газ. Недостатками аналога являются единственное значение яркостной температуры, равное температуре жидкого азота, и высокие значения плотности излучения в миллиметровом/субмиллиметровом диапазонах.

Известно устройство-аналог: тепловой малоразмерный источник терагерцового или ИК излучения с наноосцилляторами в согласованном микроскопическом резонаторе с фотонными кристаллами [D.L.Barker, W.R.Owens, P.O.Kano. Thermally powered low dimensional nano-scale oscillators in coupled micro-scale photonic crystal resonant defect cavities for generation of terahertz or infrared radiation. US 20100108916 (A1)], состоящее из малоразмерных осцилляторов типа нанопроводников и нанотрубок с микроскопическими фотонными кристаллами с дефектными резонансами, позволяющими эффективно генерировать, согласовывать и излучать электромагнитные волны, а излучение отдельных осцилляторов объединяется в волноводной или квазиоптической системе. Недостатком аналога является некалиброванное значение спектральной плотности излучения и его спектральная неравномерность.

Известно устройство-прототип: низкотемпературный перестраиваемый источник излучения черного тела [S.K.Wilcken, K.J.Davis. Low temperature adjustable blackbody apparatus. US 2008149861 (A1)], состоящий из источника излучения черного тела, снабженного нагревателем и термометром, и оптического окна, при этом в промежутке между источником излучения и оптическим окном пропускается сухой газ. Температура холодного элемента, присоединенного к холодной ступени криостата, управляется системой поддержания температуры на заданном уровне, состоящей из нагревателя, термометра и схемы управления температурой.

Недостатком прототипа, как и большинства аналогов, является сильно неравномерное спектральное распределение мощности в субмиллиметровом диапазоне, спадающее на много порядков величины с ростом частоты в терагерцовом

диапазоне. При увеличении температуры черного тела излучение на низких частотах растет значительно быстрее, чем в терагерцовом диапазоне. В результате уровень паразитного длинноволнового излучения оказывается столь высоким, что может приводить к насыщению и перегреву калибруемого приемника.

Цель предлагаемого изобретения заключается в снижении мощности излучения на низких частотах для повышения точности калибровки источника путем введения в устройство излучателя матрицы запердельных волноводных структур, либо сверхпроводникового пленочного фильтра в качестве холодного широкоапертурного высокоэффективного фильтра высоких частот для полного отсекаания длинноволновых компонент излучения черного тела.

Поставленная цель достигается введением в устройство специального фильтра в виде матрицы запердельных волноводов либо тонкой пленки сверхпроводника. Такой фильтр, термически присоединенный к холодной камере криостата, позволяет поддерживать фоновое излучение на низких частотах на уровне температуры приемного элемента и, тем самым, избежать насыщения и перегрева прошедшим и собственным излучением.

Перечень фигур

Фиг.1. Схематическое изображение предлагаемого источника излучения, 1 - излучающее черное тело, 2 - нагреватель, 3 - термометр, 4 - фильтр в виде матрицы запердельных волноводов в поперечном сечении, 5 - холодная камера криостата.

Фиг.2. Матрица круглых волноводов, вид со стороны излучения (слева) и поперечное сечение (справа).

Фиг.3. Частотная зависимость логарифма спектральной плотности мощности излучения $\log S$ черного тела при температуре 30 К (сплошная кривая S30), 4 К (пунктирная кривая S4) и 2 К (штриховая кривая S2).

Устройство (фиг.1) состоит из источника излучения черного тела (1), нагревателя черного тела (2), термометра (3), высокоэффективного фильтра высоких частот (4), помещенных в холодную камеру (5). Источник излучения черного тела представляет собой металлическую пластину размером, много больше длины волны, на излучающей поверхности которой нанесены специальные поглощающие покрытия. Поверхность может быть выполнена в виде металлической периодической конической структуры для уменьшения отражений и достижения высокой степени черноты поверхности более 90%. Нагреватель представляет собой пленочный или проволочный резистор с хорошим тепловым контактом к обратной стороне излучателя черного тела. Термометр также располагается с обратной стороны черного тела, имеет хороший тепловой контакт к его металлической поверхности, и может быть полупроводниковым, углеродным, металлопленочным или другим калиброванным криогенным термометром. Термометр и нагреватель присоединены к стандартной электронике для управления и поддержания температуры на заданном уровне.

Матрица запердельных волноводных структур (фиг.2) в составе прямоугольной решетки отрезков круглых или прямоугольных запердельных волноводов представляет собой монолитную конструкцию, которая выполняется методом спаивания (сварки) отрезков волноводов, или методом выфрезеровывания отверстий в плоской металлической пластине. Диаметр круглых волноводов или широкая стенка прямоугольных волноводов составляет половину длины волны отсекаемого излучения, а длина, не меньше длины волны отсекаемого излучения. Ослабление в таких запердельных волноводах на несколько порядков величины более эффективно, чем в стандартных сеточных

фильтрах, выполненных из металлической пленки или фольги. Матрица запредельных структур термически присоединена к холодной камере криостата, что снижает уровень собственного теплового излучения фильтра до минимальной температуры в криостате.

5 Сверхпроводниковый пленочный фильтр представляет собой пленку сверхпроводника с энергией сверхпроводящей щели, соответствующей частоте отсечения фильтра. Пленочный фильтр термически присоединен к холодной камере криостата и может быть дополнительно снабжен нагревателем и термометром для
10 настройки частоты отсечения путем нагрева пленки и снижения величины энергетической щели, а вместе с ней и частоты отсечения фильтра. Без дополнительного нагрева частота отсечения составляет 80 ГГц для сверхпроводящей пленки алюминия и 600 ГГц для сверхпроводящей пленки ниобия. Такая пленка может
15 быть перфорированной с размером отверстий, соответствующим половине длины волны отсечения. По сравнению с металлическими сеточными фильтрами повышение ослабления достигается за счет применения сверхпроводника, который полностью отражает излучение на частотах, ниже энергетической щели. В металлических несверхпроводящих сетках происходит возбуждение токов в проводниках сетки и
20 переизлучение в пространство за фильтром, что приводит к просачиванию части низкочастотного излучения через фильтр.

Применение нестандартных фильтров позволяет получить желаемый эффект значительного подавления низкочастотных компонент излучения черного тела при его использовании в терагерцовом диапазоне частот.

25 Устройство работает следующим образом: тепловое излучение черного тела (1), температура которого управляется с помощью нагревателя (2) и термометра (3), пропускается через высокоэффективный холодный фильтр высоких частот (4), отсекающий все частоты ниже частоты энергетической щели. Применение фильтра
30 позволяет убрать нежелательную фоновую засветку на низких частотах, ослабив мощность более чем на 50 дБ. В качестве высокоэффективного фильтра высоких частот (ФВЧ) может применяться матрица запредельных волноводов (фиг.2). Для круглого волновода запредельной является длина волны больше удвоенного диаметра волновода $\lambda_c > 2D$, а для прямоугольного волновода - удвоенной ширины широкой
35 стенки. Потери для запредельных волн волноводов длиной более длины волны превышают 50 дБ. Такой источник может быть широкоапертурным, поскольку размеры черного тела ограничены только размерами холодной камеры криостата (5). Применение круглых волноводов позволяет получить изотропное неполяризованное
40 излучение. Применение прямоугольных волноводов позволяет получить поляризованное излучение на частотах вблизи частоты среза фильтра.

Другой вариант ФВЧ представляет собой тонкую пленку сверхпроводника, которая отражает все частоты ниже частоты энергетической щели и является полупрозрачной для более высоких частот. Соотношение между частотой и
45 энергетической щелью описывается выражением

$$hf > \Delta/e,$$

где h - постоянная Планка, f - частота сигнала, Δ - энергия щели, e - заряд электрона. Характерные значения частоты энергетической щели для стандартных
50 сверхпроводников Ti, Al, Nb составляют 20 ГГц, 80 ГГц, 600 ГГц.

Пленка сверхпроводника может быть перфорированной для улучшения пропускания на высоких частотах и содержать нагреватель и термометр для настройки температуры и значения энергетической щели.

Калибровка приемников по холодной и теплой нагрузке широко применяется в радиотехнике и в радиоастрономии. В случае частот не выше 100 ГГц тепловые источники излучения обеспечивают равномерную спектральную плотность излучения, и калибровка проводится по простому соотношению

$$\delta P = kT * \delta f, \quad (1)$$

где δP - мощность излучения, k - постоянная Больцмана, T - температура черного тела излучателя, δf - полоса пропускания приемника. Для более высоких частот мощность излучения быстро падает и необходимо пользоваться формулой Планка

$$|\delta P = \frac{hf}{\exp(hf / kT) - 1} * \delta f \quad (2)$$

где h - постоянная Планка. В этом случае плотность мощности экспоненциально падает с ростом частоты и при аттестации приемного устройства с широкополосной и неравномерной спектральной функцией приводит к значительным погрешностям и перегреву приемного элемента низкочастотным фоновым излучением. На Фиг.3 приведены частотные зависимости спектральной плотности мощности излучения, попадающего в приемную структуру для трех значений температуры черного тела.

Первая зависимость S30 соответствует повышенным температурам черного тела ($T=30$ К), как в прототипе, и отличается достаточной равномерностью в диапазоне частот 100-1000 ГГц. Две других приведены для температуры черного тела 4 К и 2 К, они резко падают с ростом частоты. Из этих зависимостей видно, что при низких температурах черного тела мощность излучения на низких частотах намного порядков величины выше, чем на высоких частотах. В результате при калибровке даже селективных приемников будет возникать систематическая ошибка за счет недооценки полной поглощаемой мощности, в то время как применение предложенных специальных фильтров позволяет подавить это паразитное излучение ниже значений, приводящих к погрешностям калибровки.

В качестве примера реализации такого источника был изготовлен образец с размерами черного тела 50x50 мм, покрытый пленкой поглотителя излучения с ослаблением 20 дБ. В качестве фильтра применен ФВЧ в виде медной фольги толщиной 50 мкм с решеткой квадратных отверстий размером 0.5x0.5 мм и периодом 1 мм. При ослаблении низкочастотных компонент сигнала на 20-30 дБ такой экспериментальный образец давал удовлетворительные результаты калибровки цепочки болометров на холодных электронах.

Таким образом, техническим результатом предлагаемого устройства является отсечение мощных низкочастотных компонент излучения в диапазоне частот до 600 ГГц, и, следовательно, повышение точности калибровки приемных устройств с помощью такого источника излучения.

Формула изобретения

1. Низкотемпературный перестраиваемый источник излучения черного тела, состоящий из излучателя черного тела, нагревателя и термометра, размещенных в холодной камере, отличающийся введением в устройство широкоапертурной матрицы запердельных волноводов, перекрывающей выходную апертуру источника и термически присоединенной к холодной стенке камеры.

2. Низкотемпературный перестраиваемый источник излучения черного тела по п.1, отличающийся тем, что широкоапертурная матрица запердельных волноводов выполнена в виде решетки круглых отверстий длиной более длины волны и

диаметром меньше половины длины волны в круглом волноводе за пределами для заданной частоты среза.

3. Низкотемпературный перестраиваемый источник излучения черного тела по п.1, отличающийся тем, что широкоапертурная матрица за пределами волноводов
5 выполнена в виде круглых волноводов длиной более длины волны и диаметром меньше половины длины волны в круглом волноводе за пределами для заданной частоты среза.

4. Низкотемпературный перестраиваемый источник излучения черного тела по п.1,
10 отличающийся тем, что в качестве широкоапертурной матрицы за пределами волноводов матрицы использованы отрезки прямоугольных волноводов длиной более длины волны и широкой стенкой меньше половины длины волны в волноводе за пределами для заданной частоты среза.

5. Низкотемпературный перестраиваемый источник излучения черного тела,
15 отличающийся тем, что в устройство введен сверхпроводящий тонкопленочный фильтр, термически присоединенный к холодной камере и представляющий собой пленку сверхпроводника с энергией щели, соответствующей частоте отсечения, содержащую матрицу отверстий размером меньше половины заданной длины волны
20 среза.

6. Низкотемпературный перестраиваемый источник излучения черного тела по п.5, отличающийся тем, что сверхпроводящий фильтр выполнен в виде сверхпроводящей пленки алюминия для отсечения частот ниже 80 ГГц.

7. Низкотемпературный перестраиваемый источник излучения черного тела по п.5,
25 отличающийся тем, что сверхпроводящий фильтр выполнен в виде сверхпроводящей пленки ниобия для отсечения частот ниже 600 ГГц.

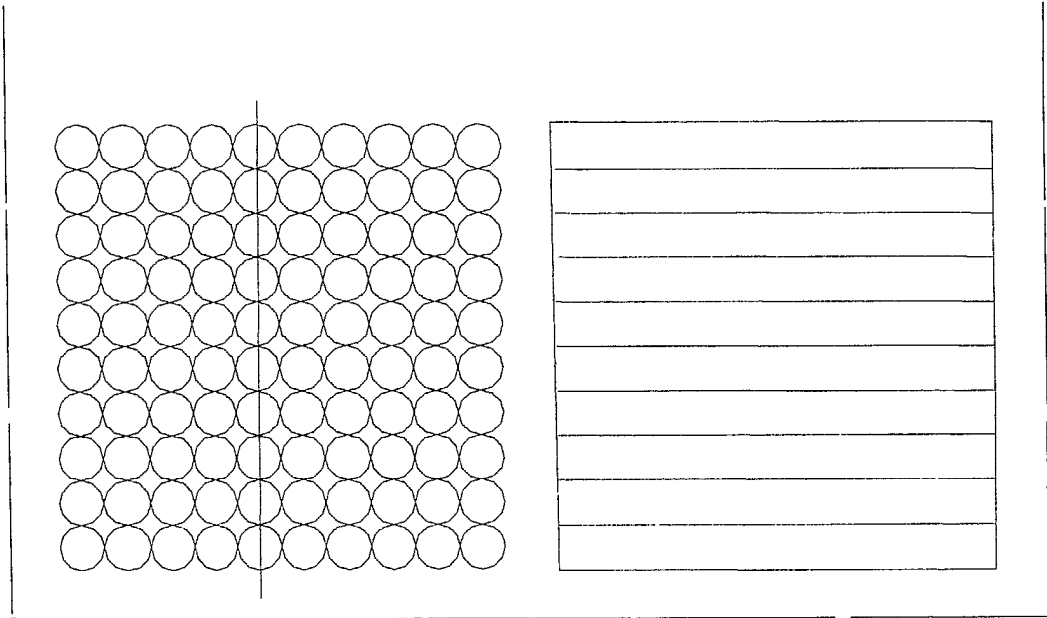
30

35

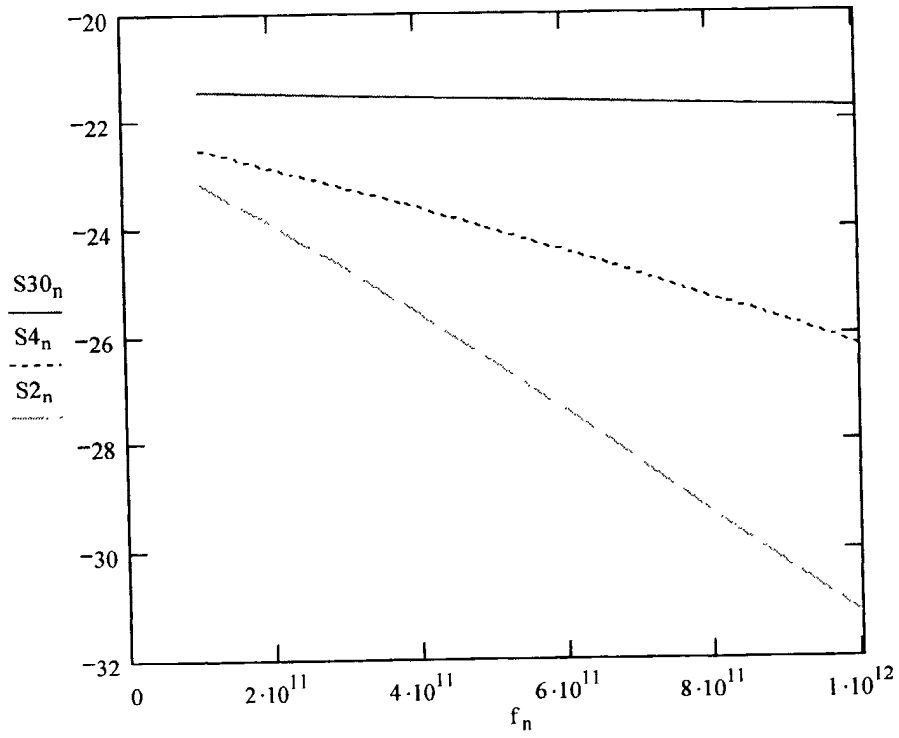
40

45

50



Фиг. 2



Фиг. 3