РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) RU (11) 2218560 (13) C2

(51) МПК 7 G01J5/20, G01S3/784

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: по данным на 07.05.2013 - действует
Пошлина: учтена за 15 год с 17.09.2012 по 16.09.2013

(21), (22) Заявка: **98117939/28, 16.09.1998**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.09.1998

(43) Дата публикации заявки: **27.06.2000**

(45) Опубликовано: **10.12.2003**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 4654622 A, 31.03.1987. US 5171733 A, 15.12.1992. EP 0354369 A2, 14.02.1990. US 5047783 A, 10.09.1991.**

(54) СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ДЕЙСТВУЮЩАЯ В СУБМИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

(57) Реферат:

Система формирования изображения включает более чем один приемник на по меньшей мере одной подложке и оптический элемент для сбора электромагнитного излучения и для фокусировки его на указанные приемники, выполненные в виде болометров с сопрягающей антенной. Размеры антенн выбраны таким образом, что чувствительность болометров снижена на длинах волн, меньших заданного значения. Система дополнительно содержит по меньшей мере один адаптивный элемент для улучшения сопряжения излучения сболометрами. Оптический элемент выполнен с возможностью ограничения полосы длин волн электромагнитного излучения, падающего на подложку для болометров. В результате система обладает двухступенчатой селективностью по отношению к длине волны. Обеспечивается повышение разрешения системы, упрощение системы и более низкое потребление энергии.
15 з.п.ф-лы, 4 ил.

Область техники

Настоящее изобретение относится к визуальному контролю, проводимому с пользованием миллиметровых и субмиллиметровых длин волн, в частности к решениям проблемы формирования изображения в диапазоне

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTRONN.ru

субмиллиметровых длин волн.
Уровень техники

В настоящее время обнаружение спрятанного оружия и других предметов контрабанды обычно проводят с использованием детекторов металла и личного обыска подозреваемого человека. Эти методы имеют несколько отрицательных сторон. Металлические детекторы имеют тенденцию к выдаче ложных сигналов тревоги и не обнаруживают неметаллические объекты, такие как взрывчатые вещества и наркотики. С другой стороны, личный обыск, проводимый сотрудником таможни, утомителен и продолжителен. Рентгеновские лучи и другая визирующая радиация не могут быть использованы для осмотра людей из-за опасности для здоровья, создаваемой ионизирующей радиацией. Таким образом, имеет место быстро растущая потребность в методе неконтактного осмотра, безвредном для субъекта и инспектора.
Неконтактный осмотр субъекта наиболее часто осуществляется с пользованием электромагнитного или корпускулярного излучения. Чтобы обеспечить методу осмотра максимальную безопасность, взаимодействие между излучением и тканью должно быть таким незначительным, как только это возможно. На практике это требование исключает применение ионизирующего излучения, например рентгеновского излучения, нейтронов или заряженных частиц. В какой-то степени используют рентгеновское излучение очень малой энергии, но опасность для здоровья, связанная даже с таким уровнем и самой идеей применения ионизирующей радиации для осмотра людей, препятствует использованию таких систем. Оборудование, основанное на применении ультразвука, полностью безопасно, но получаемые при этом качество картинки и разрешение недостаточны.
Одной из в высшей степени перспективных процедур для осмотра людей и вещей является применение излучения субмиллиметрового диапазона. Этот интервал электромагнитного спектра лежит в зоне, промежуточной между длинноволновой инфракрасной радиацией и микроволновой радиацией, с типичными длинами волн излучения порядка 100-1000 мкм, частотой 0,3-3 ТГц (1012 Гц) и энергией фотонов 1,2-12 мэВ. В этом спектральном диапазоне почти прозрачно большинство диэлектрических материалов, таких как ткани, бумага, пластики и кожа. Благодаря относительно малой длине волны дифракция даже в случае относительно низкоапертурной оптики почти не ограничивает разрешение, которое можно получить. Одна из наиболее ценных особенностей этого интервала длин волн заключается в том, что осмотр может быть проведен с использованием полностью неактивной системы, в которой источником оказывающего воздействие излучения является сам осматриваемый объект.
Все тела испускают электромагнитное излучение. Излучение, испускаемое телами или предметами, соответствует непрерывному спектру, известному как излучение черного тела. Интенсивность излучения зависит от температуры тела, а также, причем очень критично, от того, насколько эффективно тело излучает. Эта эффективность, т.е. излучательная способность, близка к единице у водосодержащих материалов, таких как кожа. С другой стороны, металлы имеют излучательную способность, очень близкую к нулю. Все другие материалы имеют свойства, лежащие между этими экстремумами, и могут наблюдаться при их радиометрических температурах. Металлические и многие пластиковые объекты могут быть изготовлены радиометрически "горячими" или "холодными" независимо от собственной температуры объекта, т.к. излучение таких объектов очень мало, а отражают они почти все падающее на них тепловое излучение, которое, в свою очередь, может быть "горячим" или "холодным". Водосодержащие

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTROHN.ru

материалы излучают очень эффективно и, соответственно, отражают очень мало, поэтому такие материалы при температуре тела проявляют себя как радиометрически "горячие" по сравнению с объектами при комнатной температуре. Такие различия интенсивностей могут быть измерены чувствительным приемником, а для получения изображения измеряемого объекта может быть использована матрица приемников.
Существует несколько различных типов приемников, функционирующих в субмиллиметровом диапазоне. В современной технике частотный интервал радиотехнических гетеродинных приемных устройств и приемных устройств прямого усиления лежит ниже 200 ГГц. Кроме того, существует несколько приемлемых болометров различных типов, ячеек Голея и пироэлектрических приемников. Для приложений с формированием изображения в высшей степени пригодны болометры с сопрягающей антенной, т.к. они имеют хорошее отношение сигнал-шум, быстродействие из-за малой постоянной времени и низкую стоимость изготовления. Интервал длин волн дляболометров с сопрягающей антенной может выбираться достаточно свободно, т.к. чувствительность на различных длинах волн определяется главным образом только устройством антенны.
Существующая технология функционирует главным образом в интервале от 80 до 140 ГГц, т.к. для этих частот пригодны традиционные микроволновые технологии. Решения проблемы с применением данной технологии описаны, например, в статье P. F. Goldsmith, C. -T. Hsieh, G.R.Huguenin, J.Kapitzky, E.L.Moore "Системы формирования изображений в фокальной плоскости для миллиметровых длин волн", IEEE transaction on microwave theory and techniques, vol. 41, 10, Oct. 1993, pp.1664-1675, а также в патентных публикациях США US 5047783 и US 5227800. В статье G.R.Huguenin, C.-T.Hsieh, J.Kapitzky, E.L.Moore, K.D. Stephan, A.S.Vickery "Обнаружение контрабанды через одежду посредством формирования изображения на миллиметровых волнах", Proceedings of Underground and Obscured Object Imaging and Detection, 15-16 Apr. 1994, Oriando, SPIE proceedings series vol. 1942, pp.117-128, описана система, использующая формирование изображения посредством сканирования и функционирующая в частотном интервале выше 94 ГГц. Отрицательной стороной традиционной микроволновой технологии являются дорогие приемники, в результате чего стоимости изготовления большой матрицы приемников становятся слишком высокими. Кроме того, такие приемники имеют высокое потребление энергии. Другой отрицательной стороной этого частотного интервала являются дифракционные ограничения разрешения до умеренного уровня как результат относительно большой длины волны.
На фиг. 1 изображено принципиальное устройство болометра с сопрягающей антенной 10. Болометр с сопрягающей антенной 10 обычно содержит элемент-антенну, включающий две антенные ветви 12 для приема электромагнитного излучения, а также элемент-болометр 11 для превращения электромагнитного излучения в тепло. Изменение температуры элемента-болометра 11, индуцируемое энергией электромагнитного излучения, детектируется как изменение сопротивления элемента-болометра 11. Элемент-болометр может также содержать более одного компонента, посредством чего термочувствительное сопротивление, конвертирующее энергию электромагнитного излучения в тепловую энергию, и температурный компенсационный элемент термочувствительного сопротивления представляют собой раздельные компоненты.
Болометр с сопрягающей антенной, в принципе, является широкополосным, однако ширина полосы может регулироваться устройством ветвей 12 элемента-

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTROHN.ru

антенны. Для элемента-антенны известно несколько вариантов решений, и показанное на фиг. 1 устройство является только одним из примеров. Кроме показанного на фиг. 1 спирального устройства, известны, например, логопериодическое устройство, а также круговое симметричное вибраторное и двойное симметричное вибраторное устройства. Некоторые из этих типов антенн хорошо функционируют также в качестве дополнительных устройств. Такими дополнительными устройствами являются, например, щелевая антенна и двойная щелевая антенна, которые представляют собой дополнение, соответственно, к симметричной вибраторной и двойной симметричной вибраторной антеннам. Выбор устройства антенны может быть использован для воздействия на характеристики антенны и посредством этого на такие, например, характеристики болометра с сопрягающей антенной, как полоса частот и диаграмма направленности.
Различные варианты устройства болометра, например используемые в нем материалы, описаны в обзорной статье P.L.Richards "Болометры для инфракрасных и миллиметровых волн", Journal of Applied Physics, 76 (1994), 1-24. Различные типы антенных устройств, сконструированных с применением производственных технологий интегральных схем, описаны, например, в статье G.M. Rebeiz "Антенны на интегральных схемах для миллиметровых длин волн и терагерцовых частот", Proceedings of the IEEE, Vol. 80, 11, November 1992, pp. 1748-1769.
Сущность изобретения

Задача, решаемая изобретением, заключается в создании системы формирования изображения, функционирующей в интервале субмиллиметровых длин волн. Другой решаемой изобретением задачей является создание системы, в которой построение изображения не требует сканирования. Дополнительной задачей, решаемой изобретением, является создание системы с более высоким разрешением по сравнению с известными до сих пор технологическими системами. Далее, задача, решаемая изобретением, заключается в создании системы согласно вышеуказанным задачам изобретения, имеющей более низкое потребление энергии по сравнению с известными до сих пор системами, созданными по существующей технологии. В конечном итоге задача, решаемая изобретением, сводится к системе построения изображения, которая проще по сравнению с известными до сих пор технологическими решениями проблемы. Перечисленные задачи решены путем применения приемников, состоящих из болометров с сопрягающей антенной; при этом указанные приемники могут быть получены на подложке в большом количестве одновременно по обычным технологиям производства интегральных схем, а также путем нанесения на подложку приемника или на его поверхность предназначенных для болометров линз или других адаптивных элементов с целью улучшения сопряжения электромагнитного излучения с болометрами. Излучение фокусируется наболометры посредством зеркала или линзы, от которых преимущественно зависят границы полосы длин волн электромагнитного излучения, попадающего на болометр.
Система согласно изобретению характеризуется тем, что она содержит:

- более чем один приемник, при этом эти приемники представляют собой болометры с сопрягающей антенной,

- по меньшей мере одну существенно плоскую подложку для болометров, при этом приемники наносятся на по меньшей мере одну подложку для болометров с

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTRONN.ru

сопрягающей антенной,

- оптический элемент для собирания электромагнитного излучения и для фокусирования его на указанные приемники, а также

- по меньшей мере один адаптивный элемент для улучшения сопряжения излучения, направленного на указанную по меньшей мере одну подложку для болометров, с указанными приемниками.

Приемники, применяемые в системе согласно изобретению, содержат болометры с сопрягающей антенной вместе с оптическими системами, селективными по отношению к длине волны. Для уменьшения погрешностей изображения матрица приемников имеет предпочтительно изогнутую форму. Для обеспечения кривизны матрицы приемников она собирается из плоских субматриц, каждая из которых снабжена одним болометром с сопрягающей антенной или несколькими такими болометрами, соединенными в одно целое. Возможный интервал детектируемых частот ограничивается главным образом на двух этапах, во-первых, из-за оптических систем, селективных по отношению к длине волны, и во-вторых, из-за рабочей полосы антенны болометра с сопрягающей антенной. Для того чтобы обеспечить фокусировку поступающего излучения на болометры и максимально эффективное его сопряжение, обеспечивают фиксацию подложки для болометров или снабжают поверхность или внутреннюю часть матрицы болометров болометрическими линзами или соответствующим оптическим элементом, соосным с каждым болометром.

Перечень фигур чертежей

Далее изобретение будет описано более детально со ссылками на предпочтительные варианты осуществления, представленные в виде примеров, и на чертежи, на которых:

фиг. 1 представляет принципиальное устройство болометра с сопрягающей антенной,

фиг.2 представляет устройство одного из предпочтительных вариантов осуществления изобретения,

фиг. 3 представляет устройство другого предпочтительного варианта осуществления изобретения,

фиг. 4 представляет устройство субматричного элемента согласно одному из предпочтительных вариантов осуществления изобретения.

На фигурах соответствующие компоненты обозначаются соответствующими ссылочными номерами и символами.

Фиг.2 иллюстрирует устройство одного из предпочтительных вариантов осуществления изобретения. В этом варианте контраст между изображаемым объектом и фоном может быть улучшен освещением объекта источником излучения 112 и рассеивающим элементом 113 или обеспечением возможности для объекта отражать излучение холодной поверхности (холодного тела 111). Объект может также изображаться пассивным способом, т.е. без активного освещения или не прибегая к применению холодного тела. Излучение, испущенное объектом, отраженное от объекта или рассеянное им, собирается с помощью параболического зеркала 110, селективного по отношению к длине волны. Зеркало 110 концентрирует излучение на матрице приемников 108,

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTRONN.ru

расположенной в плоскости изображения. Радиация, попадающая на матрицу приемников 108, модулируется механическим или электрооптическим модулятором 109. Механический модулятор 109 может быть образован, например, круглым телом с прорезями по краю для модуляции излучения, измеряемого приемниками, при вращении указанного тела.
Электрооптический модулятор 109 может содержать, например, кремниевый диск, у которого модулируется плотность зарядов. Функционирование такого варианта изобретения основывается на том факте, что прозрачность кремниевого диска в субмиллиметровом интервале длин волн в большой степени зависит от плотности зарядов кремниевого диска. Заряды на кремниевом диске могут быть образованы, например, с помощью лазерного облучения или каким-либо другим известным способом инжекции зарядов. Когда напряжение смещения коммутируется через диск, носители возникших зарядов мигрируют к полюсам напряжения, в результате чего заряды исчезают. Таким образом, плотность зарядов кремниевого диска может быть промодулирована модулированным лазерным облучением, индуцирующим заряды.
Подложка матрицы приемников со стороны, противоположной приемникам, снабжается линзами 115 подложки, по одной на каждый приемник. В этом варианте осуществления каждый приемник не снабжен своим усилителем; вместо этого использован единый усилитель, точнее - каскад усилителей, усиливающий выходной сигнал нескольких приемников. Для этой цели выходной сигнал каждого приемника поступает в мультиплексор 107, который в каждый данный момент выбирает для усиления выходной сигнал одного приемника. Каскад усилителей содержит предпочтительно предусилитель 106 и синхронный усилитель 105. Синхронный усилитель также настроен на частоту и фазу модулятора 109 и усиливает сигналы, имеющие частоту, существенно равную частотам модулятора 109. После синхронного усилителя сигнал проходит через низкочастотный фильтр 104 и попадает в блок сбора данных 101. Вместо низкочастотного фильтра 104 или в добавление к нему система может также использовать другие известные специалистам функции и способы обработки сигнала. Например, блок 101 сбора данных может быть компьютером, снабженным аналого-цифровым преобразователем для конвертирования измеряемого сигнала в цифровую форму. Блок 101 сбора данных преимущественно сохраняет измеряемые сигналы и на основании их воспроизводит изображение на дисплее блока сбора данных. Блок 101 сбора данных может быть использован также для обработки данных и для выполнения функций обработки изображения, известных специалистам, чтобы оператор аппаратуры видел улучшенное изображение. Число каскадов усилителей, каждый из которых состоит из мультиплексора 107, усилителей 106 и 105, а также низкочастотного фильтра 104, может быть больше единицы, при этом каждый каскад усилителей усиливает сигналы определенной группы приемников. Т.к. производимый болометром сигнал очень слабый, обычно несколько нановольт, предусилитель 106 должен иметь низкий уровень шумов. Предусилитель 106 может быть образован усилителем напряжения с низким уровнем шумов, например схемой Burt-Brown INA 103 или какой-либо другой соответствующей схемой.
Параболический отражатель 110 строит изображение различных частей исследуемого объекта в плоскости изображения. Одной из задач отражателя 110 является использования максимально возможного телесного угла для сбора излучения, испущенного объектом или отраженного от объекта, говоря более конкретно, от различных разрешаемых элементов. С точки зрения максимизации площади поверхности сопрягающего оптического элемента, собирающего излучение, наиболее предпочтительно применение оптических устройств с низким

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTRONN.ru

апертурным отношением. Изображаемый объект может быть относительно большим, например размером с человека. Расстояние до изображаемого объекта предпочтительно делать относительно коротким, в случае изображения человека оно предпочтительно составляет, например, 3-5 метров, чтобы обеспечить максимально возможный сбор излучения, испускаемого объектом или отражаемого от объекта и минимизировать влияние атмосферного поглощения. Следствием этих условий является то, что матрица приемников, установленная в плоскости изображения, должна быть предпочтительно относительно большой. Для минимизации искажений, вызванных отклонением лучей от оптической оси, плоскость приемников можно предпочтительно сделать изогнутой, например параболической или гиперболической. В данной заявке используется термин "плоскость приемников" независимо от формы поверхности приемников, такой выбор термина не ограничивает концепцию только плоскими поверхностями приемников. В зависимости от размеров отражателя или линзы 110 их фокальная плоскость, а также плоскость приемников могут быть или вогнутыми, или выпуклыми. Такая плоскость приемников может быть предпочтительно

составлена делением матрицы приемников на субматрицы, например на 10•10

субматриц, каждая из которых имеет несколько приемников, например 8•8 приемников. Такие субматрицы могут быть расположены таким образом, чтобы приблизительно составить требуемую поверхность. Этот тип устройства имеет то преимущество, что субматрицы могут быть идентичными между собой и плоскими, что упрощает их изготовление, тем не менее они способны с достаточной точностью составить изогнутую поверхность требуемой формы. Кроме четырехугольной субматрицы, могут иметь место также и другие формы, зависящие от требуемой формы плоскости приемников. Например, можно известным способом из правильных многоугольников сконструировать плоскость приемников в форме сферической головки таким же образом, как строят геодезическую сферическую оболочку.

Как показано на фиг. 2, контраст объекта может быть улучшен с помощью активного освещения. Один из возможных источников излучения 112, пригодных для освещения, содержит генератор на лампе обратной волны (ГЛОВ). Другие возможные источники излучения включают, например, генератор на диоде Ганна, различные комбинации генераторов на диоде Ганна и умножителей частоты, генераторы на лавинно-пролетном диоде, различные транзисторные генераторы, а также ламповые генераторы, такие как отражательные клистроны.

Предпочтительно, чтобы падающее на объект излучение имело рассеянный характер, чтобы уменьшить отражательные блики с мешающей яркостью. В одном из предпочтительных вариантов осуществления изобретения излучение, генерируемое генератором на лампе обратной волны, становится рассеянным, например, за счет рассеивания посредством диэлектрических пластинок, внутри или на поверхности которых находятся маленькие проводящие вкрапления с диаметрами на порядок или несколько меньше, чем длина волны излучения. Такие вкрапления могут содержать, например, металлические частицы размером от 0,1 до 1 мм. Размер таких диэлектрических пластинок определяется согласно геометрии любого конкретного применения. В другом предпочтительном варианте осуществления изобретения излучение рассеивается посредством перфорированных металлических пластинок, диаметры отверстий в которых имеют величину порядка или несколько меньше длины волны излучения, например размеры от 0,1 до 1 мм.

В одном из преимущественных вариантов осуществления изобретения излучение от источника излучения 112, например от генератора на лампе обратной волны,

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTRONN.ru

фокусируется на объект посредством одного или нескольких зеркал или линз. В таком варианте осуществления источник излучения 112 предпочтительно находится в фокусе зеркальной или линзовой системы, посредством чего излучение, если это желательно, может быть сфокусировано на маленьком участке объекта или рассеяно до размера целого объекта. Таким образом, источник падающего на объект излучения имеет диаметр, существенно равный диаметру указанной зеркальной или линзовой системы. Если этот диаметр зеркальной или линзовой системы по порядку величины такой же, как объект, освещение, обеспечиваемое источником излучения и зеркальной или линзовой системой, существенно равномерно, в результате чего число бликов с мешающей яркостью будет существенно меньше, чем это было бы при применении приблизительно точечного источника освещения.
В другом предпочтительном варианте осуществления изобретения излучение от источника излучения 112 рассеивается посредством матированных зеркал. В таком варианте осуществления зеркала могут иметь среднеквадратичную шероховатость порядка от 2 до 100 мкм, в результате чего излучение субмиллиметрового диапазона при отражении от зеркал приобретает рассеянный характер.
Как показано на фиг.2, одним из возможных способов увеличения контраста до уровня, достаточного для обнаружения объекта, является применение холодного тела. Применение холодного тела основывается на том факте, что, например, объекты, спрятанные под одеждой, обнаруживаются в первую очередь по разнице излучения, вызванного температурой человеческого тела, и излучения, отраженного от объекта и соответствующего температуре окружающей среды. Достаточная для обнаружения разница температур может быть увеличена изменением температуры окружающей среды или ее участка, например посредством холодного тела, при этом достаточный для обнаружения контраст осматриваемого объекта улучшается, т.к. объект отражает излучение этого холодного тела. Если температура применяемого холодного тела менее $0^{o}C$, его предпочтительно следует температурно изолировать для предотвращения конденсации и замораживания водяного пара. В этом случае слой льда затруднит работу системы, т.к. температура его поверхности неизбежно будет выше, чем температура холодного тела, а поверхность льда имеет высокую излучательную способность, вследствие чего разницу температур холодного тела и человеческого тела нельзя использовать полностью. Такое холодное тело можно создать с помощью изолированного контейнера с жидким азотом. Материал контейнера может содержать, например, пенополистирол или какой-нибудь другой подходящий материал с толщиной 10-200 мм, служащий одновременно и изолятором. Материал изолятора должен иметь высокую прозрачность в субмиллиметровом интервале. Одним из пригодных материалов изолятора является, например, пенополистирол, но могут быть применены также и другие пористые диэлектрические материалы. Изолятор может содержать также, например, достаточное количество тонких полимерных пленок, например полиамидных пленок, толщиной 3-100 мкм

Фиг. 3 иллюстрирует такой предпочтительный вариант осуществления изобретения, в котором формирующий изображение оптический элемент 110 представляет собой не зеркало, а линзу 110. Такой линзой может быть, например, обычная вогнутая линза или линза Френеля, хорошо известная специалистам в этой области. В остальном вариант осуществления по фиг. 3 имеет устройство и функции, подобные аналогичным параметрам варианта осуществления по фиг. 2. Подходящим материалом линзы может быть один из таких материалов, которые

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTROHN.ru

имеют показатель преломления выше показателя преломления воздуха и хорошее пропускание в интервале субмиллиметровых длин волн. Такими материалами являются, например, политетрафторэтилен (ПТФЭ) и некоторые керамики.
На фиг. 4 представлено техническое решение согласно одному из предпочтительных вариантов осуществления изобретения для устройства.
На фиг. 4 представлено техническое решение согласно одному из предпочтительных вариантов осуществления изобретения для устройства субматричного элемента. Субматричный элемент содержит субматрицу 200 приемников, включающую в себя один или несколько приемников. Субматрица приемников может быть сопряжена с остальной частью субматричного элемента, например, посредством монтажа методом перевернутого кристалла (выводами к подложке). В результате субматрица 200 приемников снабжается точечным контактом для каждой связи, которую нужно установить (например, в типичном случае применения четырехточечного измерения четырьмя точечными контактами на один приемник). При четырехточечном измерении к сопротивлению болометра подводится ток смещения, проходящий по первой паре проводников, а напряжение, генерируемое током смещения на сопротивлении, измеряется на второй паре проводников. В системе согласно изобретению возможно также применение более простого двухточечного измерения, при котором ток смещения подводится к сопротивлению по той же паре проводников, которая используется для измерения напряжения на сопротивлении. Однако известно, что четырехточечное измерение является более точным методом измерения сопротивления. Предпочтительно, чтобы ток смещения был существенно постоянным, вследствие чего тепловой эффект, производимый током смещения, также остается постоянным. Субматричный элемент снабжен схемной платой 210, у которой на ее первой стороне, обращенной к субматрице приемников, имеются припаянные зажимы, совмещенные с помощью технологии метода перевернутого кристалла с точечными контактами субматрицы приемников. Другая сторона схемной платы 210 снабжена мультиплексором 107, электрическими контактами между припаянными зажимами и мультиплексором и проводниками тока смещения для приемников, предпочтительно не проходящими через мультиплексор, а также предпочтительно первый элемент 220 разъема 220, 220'. В дополнение к схеме мультиплексора 107 схемная плата 210 также может быть снабжена устройствами, выполняющими другие функции обработки сигнала, такими как фильтры и усилители, например, являющимися частью схемы мультиплексора 107 или отдельными схемами (не показанными на фиг.4). Таким образом, матрица приемников 200, схемная плата 210, а также электронные схемы обработки сигналов и разъем 220, включенный в схемную плату 210, составляют первый сегмент в субматричном элементе. Второй сегмент в субматричном элементе состоит из второго элемента 220' разъема 220, 220', одного или более усилительных элементов 230 и второго разъема 240. Усилительный элемент 230 содержит предпочтительно предусилитель 106, описанный со ссылкой на фиг.2, синхронный усилитель 105 и фильтр или какой-либо другой соответствующий элемент 104 обработки сигнала. Число усилительных элементов 230 может быть равно единице или более предпочтительно двум, как показано на фиг.4. Конечно, число усилительных элементов определяется в зависимости от конкретного применения и зависит, в первую очередь, от числа приемников в матрице приемников 200, от числа каскадов усилителей, включенных в единый усилительный элемент, а также от числа приемников, чьи выходные сигналы объединяются в одном каскаде усилителей в мультиплексоре 107. Устройство согласно изобретению может также

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTRONN.ru

содержать один каскад или серию усилителей на каждый приемник, в результате чего отпадает необходимость в мультиплексоре 107. В том случае, когда каждый из субматричных элементов 230 содержит только один каскад усилителей, состоящий из предусилителя 106 и синхронного усилителя 105, субматричный элемент может содержать единый усилительный элемент 230 на каждый приемник. Полностью укомплектованный субматричный элемент может быть соединен с остальной аппаратурой посредством разъема 240. Такое устройство субматричного элемента, содержащего два сегмента, предпочтительно также по той причине, что в случае повреждения одного приемника достаточно заменить первый сегмент этого конкретного субматричного элемента, содержащий субматрицу приемников 200.

Наиболее предпочтительным способом осуществления устройства, показанного на фиг. 4, является вариант, при котором усилительные элементы 230, разъемы 220, 220', 240 и схемная плата 210 имеют ширину, равную или меньшую, чем субматрица приемников 200. При таком решении проблемы боковой размер субматричного элемента определяется главным образом только субматрицей приемников 200. В результате несколько субматричных элементов может быть смонтировано рядом друг с другом таким образом, чтобы между субматрицами приемников не оставалось пустого пространства, но вместо этого промежутки между внешними краями приемников двух соседних субматричных элементов были существенно равны промежуткам между приемниками в едином субматричном элементе.

Другим преимуществом, вытекающим из применения субматричной структуры, является то, что такая структура может быть применена для экономичной сборки больших матриц приемников. Процесс изготовления болометров с сопрягающей антенной является прецизионным, поэтому при изготовлении большого числа приемников, например, на полупроводниковом диске диаметром 15 см на одном диске может легко сформироваться несколько дефектных (неактивных) приемников. Если такой диск использовать как отдельно взятый элемент, процесс изготовления будет иметь низкую производительность, т.к. наличие даже небольшого количества неактивных приемников разрушило бы целый диск. При делении такого диска на субматрицы такие индивидуальные субматрицы при наличии на них одного или нескольких неактивных приемников могут быть отбракованы. Таким образом можно утилизировать большую часть даже такого полупроводникового диска, который при использовании в виде единой большой матрицы был бы отбракован.

Согласно другому предпочтительному варианту осуществления изобретения в субматричном элементе все узлы, выполняющие функции обработки сигналов, такие как упомянутый выше предусилитель 106, синхронный усилитель 105 и фильтр 104, монтируют на той же схемной плате 210, что и мультиплексор 107. Этот тип схемы или устройства предпочтителен в том случае, когда эти функции обработки сигналов объединяются в очень маленьком наборе микросхем, например даже в той же микросхеме, что и мультиплексор 107. Каскад усилителей также может быть объединен на одной кремниевой подложке с приемником, например, таким образом, чтобы в соединении с каждым приемником объединялся полный каскад усилителей или часть его, например предусилитель.

В различных вариантах осуществления изобретения возможно также использовать другие типы субматричных элементов, отличающиеся от образца устройства, показанного на фиг.4. Например, если нужно объединить сборки усилителей и фильтра 104, 105, 106 в очень маленьком наборе микросхем, субматричный элемент может быть приблизительно плоским. Такие почти плоские субматричные элементы могут быть легко использованы для составления

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTROHN.ru

имеющих различную кривизну плоскостей приемников в соответствующих вариантах решения проблемы.
Синхронный усилитель способен детектировать модулированный широкополосный сигнал в диапазоне ТГц с очень низким уровнем шума. Для подавления шума, пропорционального 1/f, который типичен для неохлаждаемых болометров, частота модуляции предпочтительно должна быть выше 300 Гц. В одном из предпочтительных вариантов осуществления изобретения модулятор 109, модулирующий излучение, падающее на матрицу болометров, содержит механически вращающуюся или колеблющуюся шторку, прерывающую входной лучистый поток. Модуляцию можно осуществлять также любым другим устройством, способным периодически подавлять излучение. В таком варианте осуществления изобретения, который проводится с активным освещением объекта, модулировать можно освещающее объект излучение, поэтому модулятор 109 или какой-либо другой соответствующий элемент помещают между объектом 114 и источником излучения 112. В варианте осуществления, показанном на фиг.2, одно предпочтительное положение модулятора находится между генератором на лампе обратной волны 112 и рассеивающим элементом 113. В варианте осуществления, реализуемом с использованием источника промодулированного излучения, отдельный модулятор не требуется, т.к. необходимая модуляция излучения может быть осуществлена путем управления источником излучения, например, посредством отдельного управляющего модуляцией сигнала или, например, модулированием рабочего напряжения генератора.
Согласно одному из предпочтительных вариантов осуществления изобретения селективность системы по отношению к длине волны может быть получена в два этапа без использования отдельного фильтрующего элемента. Во-первых, приемники можно спроектировать таким образом, чтобы их чувствительность резко падала на длинах волн менее 100 мкм. В болометрах с сопрягающей антенной это может быть достигнуто, как известно специалистам, за счет подбора конструкции и размера антенны. Во-вторых, можно сделать селективным по отношению к длине волны отражатель 110. Селективность отражателя по отношению к длине волны можно получить, сделав поверхность отражателя соответствующим образом матрированной (шероховатой), например, с шероховатостью порядка 10 мкм, предпочтительно с разупорядоченным (случайным) характером, в результате чего длины волн короче 100 мкм отражаются диффузно, в то время как длины волн длиннее 100 мкм отражаются зеркально. Другой альтернативой является изготовление отражающей поверхности отражателя 110 из электропроводной сетки или перфорированной пластинки, при этом поверхность действует как селективный по отношению к длине волны отражатель. Подавление излучения с длиной волны меньше 100 мкм желательно, т.к. волны длиной меньше 100 мкм очень плохо проникают через одежду и другие диэлектрические слои.
В случае, когда оптический элемент 110 содержит вместо отражателя 110 линзу 110, ее можно использовать для обеспечения эквивалентной селективности по отношению к длине волны с помощью матирования поверхности линзы 110 до шероховатости порядка 10 мкм. При этом, как результат матирования, длины волн короче 100 мкм преломляются на границе раздела воздуха и линзы в случайных направлениях, вследствие чего для таких длин волн оптический элемент 110 не функционирует как линза.
В одном из предпочтительных вариантов осуществления изобретения излучение, выходящее из отражателя 110 и линзы 110, фокусируется на каждый болометр с сопрягающей антенной посредством квазиоптического или адаптивного

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTROHN.ru

элементов, модифицированных для болометров. Такой элемент содержит предпочтительно линзу, прикрепленную к подложке для болометров или изготовленную на подложке; указанная линза здесь и далее обозначается термином "линза болометра". Другой альтернативный способ заключается в использовании матрицы волноводов, имеющей по одному волноводу для каждого болометра. Назначением оптического элемента является максимальное сопряжение входящего излучения с антенной и минимизация отражений от различных поверхностей, а также уменьшение паразитной излучательной энергии, вызванных отражениями на различных границах раздела в подложке. Предпочтительно включать такой оптический элемент в поверхность подложки, противоположную болометру, т.к. диаграмма направленности болометров с сопрягающей антенной, собранных на кремниевой подложке, сильно ориентирована в направлении к подложке.

В одном из предпочтительных вариантов осуществления изобретения в таком оптическом элементе использованы сборки рупорных облучателей. В качестве примера такой сборки можно привести конус, вмонтированный в подложку для болометра соосно сболометром; внутренняя поверхность конуса покрывается металлом путем испарения или напыления. Такой металлический конус концентрирует входящее излучение на приемнике.

Линза болометра предпочтительно может быть изготовлена из того же материала, что и подложка для приемников-болометров. Однако, если в качестве материала подложки используется кремний с высоким удельным сопротивлением, изготовление линз становится дорогостоящим в особенности из-за того, что применение большой матрицы приемников требует большого числа линз. В одном из предпочтительных вариантов осуществления изобретения линзы болометров изготавливаются из смеси порошка и эпоксидной смолы, имеющих соответственно высокую и низкую диэлектрическую проницаемость, при этом потери почти полностью отсутствуют. Эпоксидными смолами, пригодными для этой цели, являются, например, эпоксидные смолы, известные под коммерческой маркой Styecast epoxies. Порошок с высокой диэлектрической проницаемостью может содержать, например, карбид кремния или двуокись титана. Такая смесь может быть применена для производства линз болометров путем инжектирования симметричных круглых капель, например, непосредственно на подложку для болометров или на отдельную пластинку из ПТФЭ. Эпоксидной смоле можно позволить сохнуть в условиях изготовления или для ускорения процесса сушки инжектированные капли могут быть термообработаны отдельно. При использовании пластинки из ПТФЭ законченные линзы болометров могут быть удалены с пластинки и приклеены отдельно друг от друга к подложке для болометров. Форму линз болометров можно задать, например, регулированием вязкости смеси, разведением смеси в допустимых пределах, регулированием расстояния инжекционной форсунки от подложки и с помощью как температуры термообработки, так и давления инжекции. Этот способ изготовления позволяет применять для изготовления больших партий линз болометровавтоматическую пневматическую инжекционную систему.

В другом предпочтительном варианте осуществления изобретения болометра линза формируется на подложке для болометра за счет изменения диэлектрической проницаемости подложки в подходящем месте и на подходящей глубине. Это можно осуществить, например, ионной имплантацией или диффузией одного или нескольких подходящих элементов, таких, например, как атомы кислорода или азота, внутрь подложки на глубину одной или нескольких длин волн. Такое решение проблемы чрезвычайно компактно, т.к. не требует оптических элементов вне подложки.

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Дыткарино, www.ASTROHN.ru

Один из вариантов предотвращения развития паразитных поверхностных мод энергии излучения заключается в снабжении поверхности подложки линзой болометра, изготовленной способом дифракционной бинарной оптики. Это можно осуществить путем применения обычных технологий производства микросхем для получения трафаретного металлического покрытия, согласованного с желательным расположением линз болометра.
Линзы болометров, применяемые в системе согласно изобретению, могут быть также почти плоскими линзами Френеля, изготовленными, например, посредством микромеханических методов обработки и имеющими ширину полосы, достаточную для применения в системе согласно изобретению.
Кроме линз болометров, применяемый адаптивный элемент, уменьшающий развитие паразитных поверхностных мод энергии излучения, может также содержать специальную антиотражательную (просветляющую) слоистую структуру. Такую слоистую структуру можно получить формированием поверхности подложки для болометров в виде слоев таким образом, чтобы диэлектрическая проницаемость слоев уменьшалась в направлении от подложки через слои в направлении к поверхности. В такой слоистой структуре нет большой разницы между диэлектрическими проницаемостями одинаковых поверхностей раздела и, таким образом, показатель преломления не очень высок, в результате чего общее отражение имеет граничный угол, который, например, на поверхности раздела между подложкой и первым из таких слоев существенно больше, чем на границе раздела между подложкой и воздухом. Это уменьшает сопряжение входящей излучательной энергии с поверхностными модами и улучшает сопряжение входящей излучательной энергии с приемниками. Такой поверхностный слой, в котором диэлектрическая проницаемость уменьшается в направлении к поверхности ступенчато или почти непрерывно, может быть изготовлен, например, ионной имплантацией или диффузией одного или нескольких подходящих элементов, таких, например, как атомы кислорода или азота, в подложку на различную глубину. По отношению к решению проблемы путем применения линз болометров недостатком этого типа сборки является тот факт, что такая слоистая структура не собирает и не фокусирует на болометре излучение с площади, большей чем болометр.
В одном из предпочтительных вариантов осуществления изобретения матрица приемников детектирует электромагнитное излучение в диапазоне, перекрывающем несколько интервалов длин волн. Такая матрица приемников может быть сконструирована нанесениемболометров, размеры которых различны для различных интервалов длин волн, на обычную подложку. Объединение приемников в общей плоскости изображения позволяет получать непрерывное изображение и фокусировку на общем поле изображения в двух или более интервалах длин волн, таких, например, как инфракрасный интервал и интервал субмиллиметровых длин волн. В таком варианте осуществления линза болометра или соответствующий оптический элемент, предназначенный для каждого болометра, предпочтительно оптимизируется для полосы длин волн, детектируемой этим конкретным болометром, в результате чего общая подложка также может быть снабжена более чем одним типом линз болометров или соответствующих элементов.
Объединение болометров, предназначенных для нескольких интервалов длин волн, на общей подложке может быть использовано для разрешения проблем, вызванных общей индуктивностью антенн в антенном устройстве. Например, если между двумя антенными элементами с размерами, заданными для первого интервала длин волн, находится антенный элемент с размерами, заданными для второго интервала длин волн, общая индуктивность между этими антенными

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTROHN.ru

элементами с размерами, заданными для первого интервала длин волн, будет меньше, чем в случае, когда между ними нет такого же элемента с размерами, заданными для второго интервала длин волн.
Например, антенные элементы болометров с сопрягающей антенной, оптимизированные для различных интервалов длин волн, могут быть идентичными по форме, но иметь различные размеры, равные размерам, рассчитанным для их собственных интервалов длин волн исходя только из размера. Элементы различных интервалов длин волн также могут быть различного типа. Например, если для первого интервала длин волн требуется максимально широкая полоса длин волн для максимизации собираемой энергии при формировании изображения, а для второго интервала длин волн требуется выходной сигнал, зависящий от поляризации входного излучения, антенный элемент для первого интервала длин волн может содержать спиральный элемент, как это показано на фиг.1, но аналогичный по назначению элемент для второго интервала длин волн может быть симметричным вибраторным элементом.
Обычная подложка может быть также снабжена болометрами с сопрягающей антенной с размерами, рассчитанными для обычного интервала длин волн, но отличающимися определенными особенностями, для получения двух или более различных изображений в обычном интервале длин волн. Например, обычная подложка может быть снабжена болометрами, направленными в двух перпендикулярных друг другу направлениях и оборудованными симметричным вибраторным антенным элементом, в результате чегоболометры, направленные в разных направлениях, принимают излучение, поляризованное в различных направлениях. Этот тип матрицы приемников может быть применен, например, для создания такой системы формирования изображения, которая способна производить первое изображение посредством горизонтально поляризованного излучения, а второе изображение - посредством вертикально поляризованного изображения.
В таком предпочтительном варианте осуществления изобретения, который формирует несколько изображений, приемники различных изображений, соответствующих общему элементу изображения, могут использовать одну и ту же линзу болометра. В вышеприведенном примере, в системе которого болометры, ориентированные в первом направлении, формируют горизонтально поляризованное изображение, а болометры, ориентированные во втором направлении, формируют вертикально поляризованное изображение, система может содержать одну линзу болометров на одну пару болометров, при этом данная пара болометров состоит из болометров, соответствующих общему элементу изображения и ориентированных в разных направлениях.
Система согласно изобретению обладает несколькими преимуществами по сравнению с существующей до сих пор техникой. По сравнению с решениями, основанными на традиционной радиотехнике, такими как применение гетеродинного приемного устройства, достоинства включают более короткую длину волны, формирующую изображение, что при использовании одинаковой оптики приводит к меньшему углу дифракции. Кроме того, потребляемая мощность будет существенно ниже, составляя лишь доли мВт на элемент изображения, по сравнению с мощностью порядка Вт на элемент изображения, потребляемой гетеродинным приемным устройством.
Изготовление больших, плотно сформированных матриц приемников с использованием болометров с сопрягающей антенной менее дорого и более надежно, чем с помощью традиционной ВЧ-технологии. Плотность приемников матрицы приемников представляет собой критический фактор с точки зрения качества изображения, т.к. оптическая система имеет низкое апертурное

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTRONN.ru

отношение и, таким образом, искажения, имеющие место в направлениях, отклоняющихся от оси изображения, резко ограничивают размер полезной плоскости изображения. Кроме того, в субмиллиметровом интервале длин волн интенсивность излучения черного тела, испускаемого телом при комнатной температуре, прямо пропорциональна квадрату плотности, при этом болометр, работающий в субмиллиметровом интервале длин волн, согласно закону Рэлея-Джинса детектирует объект при комнатной температуре как более яркий, чем это получается при использовании ВЧ- технологии, основанной на функционировании приемного устройства в интервале выше 100 ГГц; вот почему решения проблемы, использующие болометры с сопрягающей антенной, в случае пассивного формирования изображения более эффективны.
Система согласно изобретению может быть применена при комнатной температуре и таким образом отпадает необходимость в дорогом и сложном охлаждающем оборудовании.
Система согласно изобретению может быть применена не только для поиска оружия и контрабандных товаров, но также и для спектроскопии в субмиллиметровом интервале, обнаружения металлов, измерения толщины и содержания влаги в диэлектрических материалах, топографических съемок, температурного анализа объектов и для многих других применений. Высокая светосилаболометров с сопрягающей антенной позволяет использовать их в применениях, в которых требуемая светосила очень высока. Одним таким достойным упоминания применением являются формирующие изображение головки для самонаводящихся ракет, которые согласно существующей технологии снабжаются пассивными приемниками, обнаруживающими инфракрасное излучение. Число точек изображения, необходимых в таком применении, невелико, но частота изображения должна быть очень высокой. Возможности такого наводящего оборудования могут быть улучшены применением субмиллиметрового интервала длин волн, т.к. прозрачность воздуха в субмиллиметровом интервале достаточна, а приемник, работающий в субмиллиметровом интервале длин волн, менее чувствителен к мерам противодействия, таким как дым или огни, поскольку субмиллиметровое излучение проходит сквозь дождь, туман и дым более эффективно, чем инфракрасная радиация. Действие такой формирующей изображение головки может быть далее улучшено применением матрицы приемников, снабженной приемниками для нескольких интервалов длин волн, например приемниками для длинноволнового инфракрасного интервала и субмиллиметрового интервала длин волн. Система согласно изобретению может быть также применена для пассивного и активного обнаружения мин и похожих на мины объектов. Даже в этом типе применения система может предпочтительно использовать приемники для по меньшей мере двух интервалов длин волн, например приемники для длинноволнового инфракрасного интервала от 8 до 12 мкм и субмиллиметрового интервала длин волн.
Упомянутый выше интервал длин волн от 100 до 1000 мкм представляет собой только один пример преимущественного интервала длин волн. Однако изобретение не ограничивается только этим интервалом, поскольку преимущественные свойства этого интервала длин волн распространяются отчасти и за эти пределы. Аналогичным образом, хотя в этом описании часто делаются ссылки на субмиллиметровые длины волн, изобретение не ограничивается применением длин волн короче одного миллиметра. Вышеописанные преимущественные свойства субмиллиметрового интервала не ограничиваются длинами волн короче чем строго один миллиметр, но распространяются также на более длинные волны. Например, длины волн от

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTRONN.ru

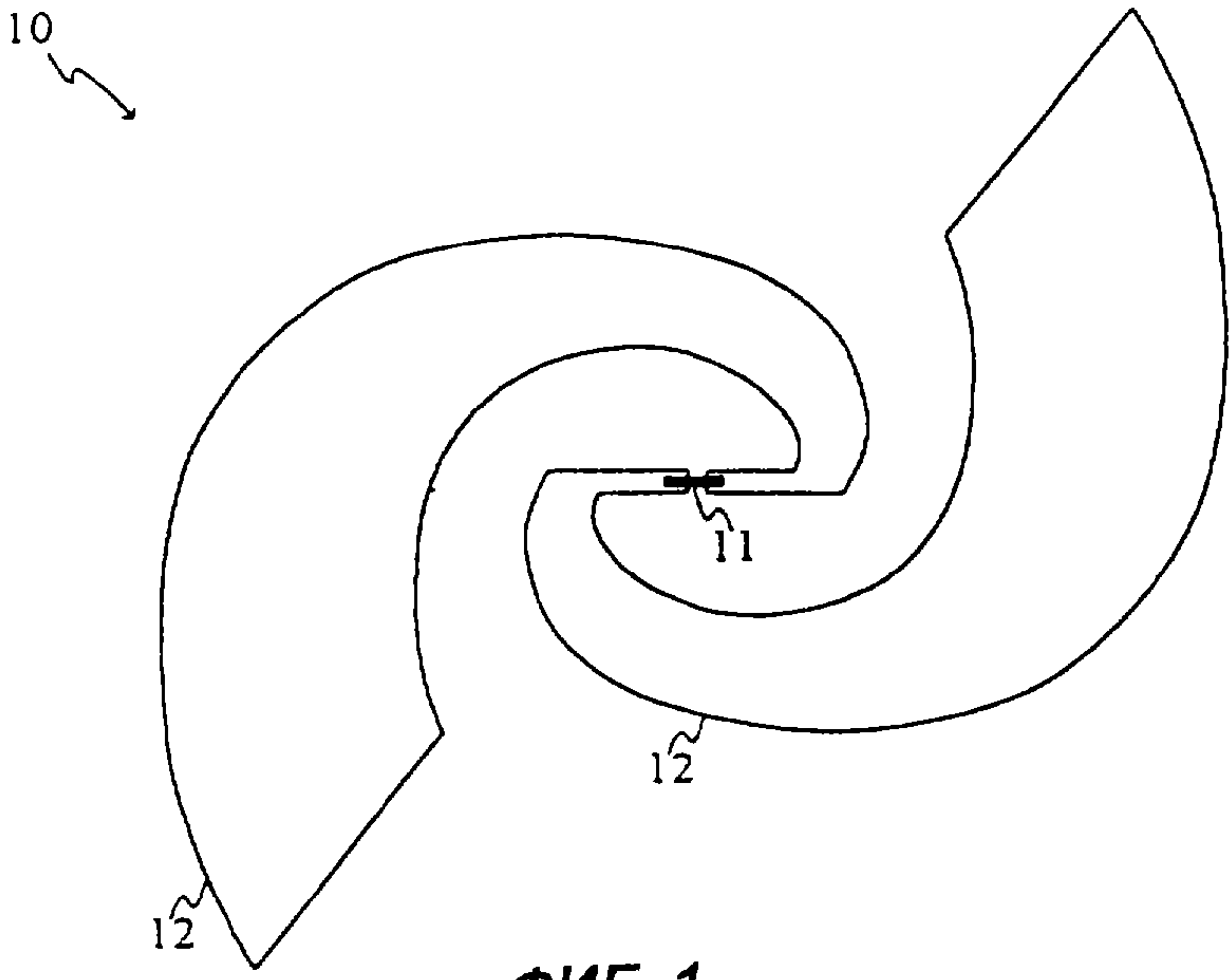
приблизительно 100 мкм до приблизительно 3 мм пригодны для применений, указанных в предыдущем параграфе.
Изобретение было описано выше со ссылкой на несколько предпочтительных вариантов осуществления, но очевидно, что изобретение может быть модифицировано во многих направлениях, находящихся в рамках концепции изобретения, определенной в прилагаемой формуле изобретения.

Формула изобретения

1. Система формирования изображения в диапазоне субмиллиметровых длин волн, включающая более чем один приемник на по меньшей мере одной по существу плоской подложке и оптический элемент для сбора электромагнитного излучения и фокусировки этого излучения на указанные приемники, отличающаяся тем, что указанные приемники выполнены в виде болометров с сопрягающей антенной, причем размеры антенн выбраны таким образом, что чувствительность болометров снижена на длинах волн, меньших заданного значения, при этом система дополнительно содержит по меньшей мере один адаптивный элемент для улучшения сопряжения излучения с указанными болометрами, а указанный оптический элемент выполнен с возможностью ограничения полосы длин волн электромагнитного излучения, падающего на подложку для болометров, для подавления излучения с длинами волн, меньшими упомянутого заданного значения, в результате чего система обладает двухступенчатой селективностью по отношению к длине волны, включающей упомянутое снижение чувствительности болометров и упомянутое подавление излучения.
2. Система по п.1, отличающаяся тем, что указанный адаптивный элемент содержит просветляющий слой, созданный на поверхности подложки для болометров.
3. Система по п.1, отличающаяся тем, что указанный адаптивный элемент содержит матрицу волноводов.
4. Система по п.1, отличающаяся тем, что указанный адаптивный элемент содержит линзу.
5. Система по п.4, отличающаяся тем, что количество указанных линз составляет одну линзу на каждый болометр с сопрягающей антенной.
6. Система по п.4, отличающаяся тем, что указанная линза выполнена ионной имплантацией в подложку для болометров.
7. Система по п.4, отличающаяся тем, что указанная линза выполнена из смеси эпоксидной смолы и порошка, при этом указанный порошок состоит из материала, который имеет заданную диэлектрическую проницаемость.
8. Система по п.1, отличающаяся тем, что размеры ее элементов выбраны из условия приема электромагнитного излучения, имеющего длину волны от приблизительно 100 мкм до 3 мм.
9. Система по п.1, отличающаяся тем, что указанная по меньшей мере одна подложка для болометров снабжена болометрами с сопрягающей антенной, при этом по меньшей мере один из указанных болометров с сопрягающей антенной имеет размеры, заданные для приема электромагнитного излучения первого интервала длин волн, и по меньшей мере один болометр имеет размеры, заданные для приема электромагнитного излучения второго интервала длин волн.
10. Система по п.1, отличающаяся тем, что она содержит более чем две подложки для болометров, при этом указанные подложки дляболометров адаптированы для придания поверхности приемника формы, близкой к заданным образом изогнутой поверхности, а указанная заданным образом изогнутая поверхность находится приблизительно в фокальной плоскости указанного оптического элемента.

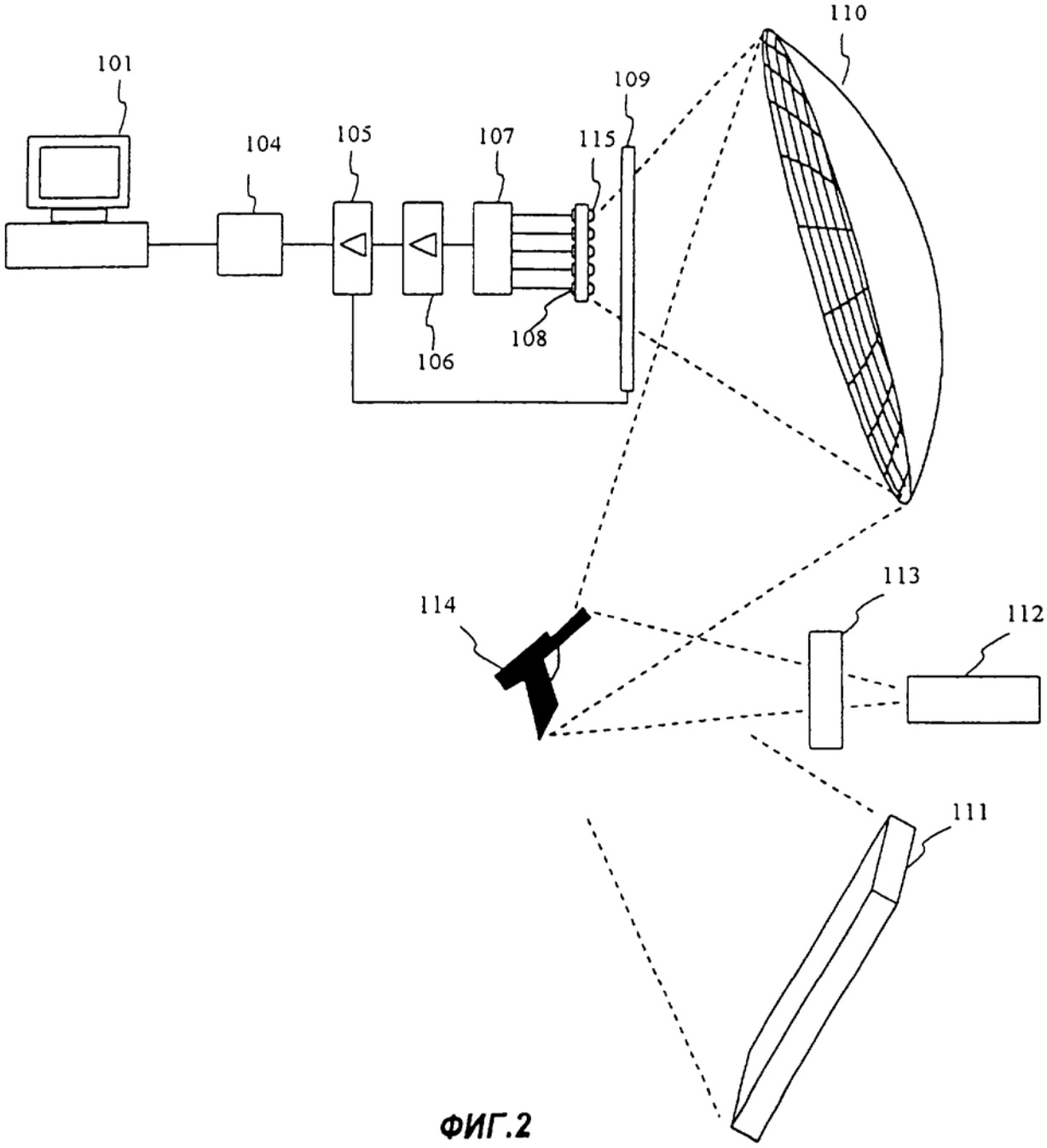
Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTRONN.ru

11. Система по п.1, отличающаяся тем, что по меньшей мере одна из поверхностей указанного оптического элемента выполнена матированной, при этом шероховатость указанной поверхности выбрана существенно эквивалентной предварительно заданному значению.
12. Система по п.1, отличающаяся тем, что указанный оптический элемент содержит линзу.
13. Система по п.1, отличающаяся тем, что указанный оптический элемент содержит зеркало.
14. Система по п.1, отличающаяся тем, что она содержит холодную поверхность для повышения контраста между подлежащим изображению объектом и его фоном.
15. Система по п.14, отличающаяся тем, что холодная поверхность создана с использованием контейнера с жидким азотом, при этом указанный контейнер снабжен термоизоляцией, которая содержит материал, существенно прозрачный для детектируемой полосы длин волн.
16. Система по любому из пп.1-15, отличающаяся тем, что она содержит источник излучения и рассеивающий элемент для освещения подлежащего изображению объекта.



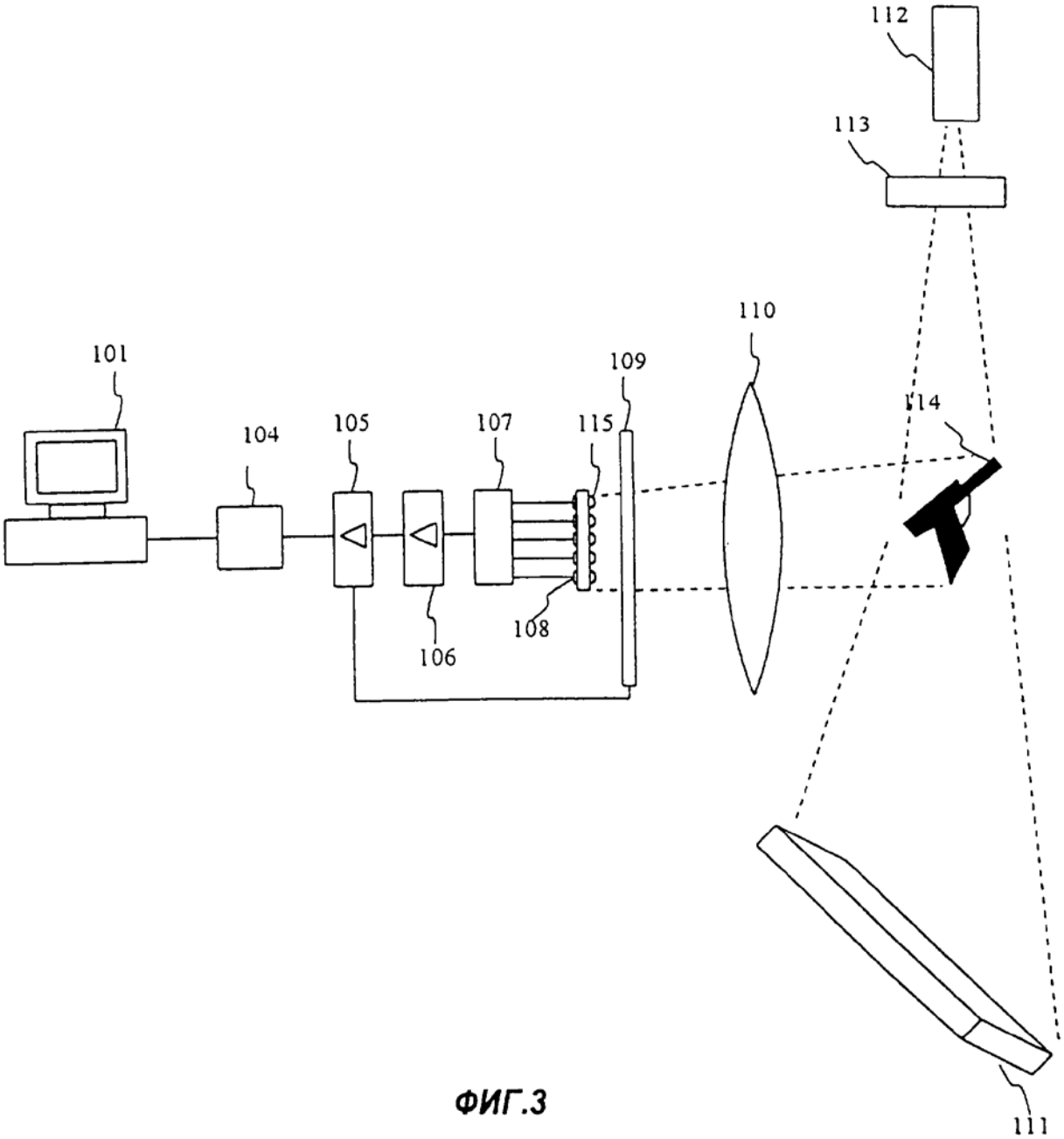
ФИГ. 1

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTROHN.ru



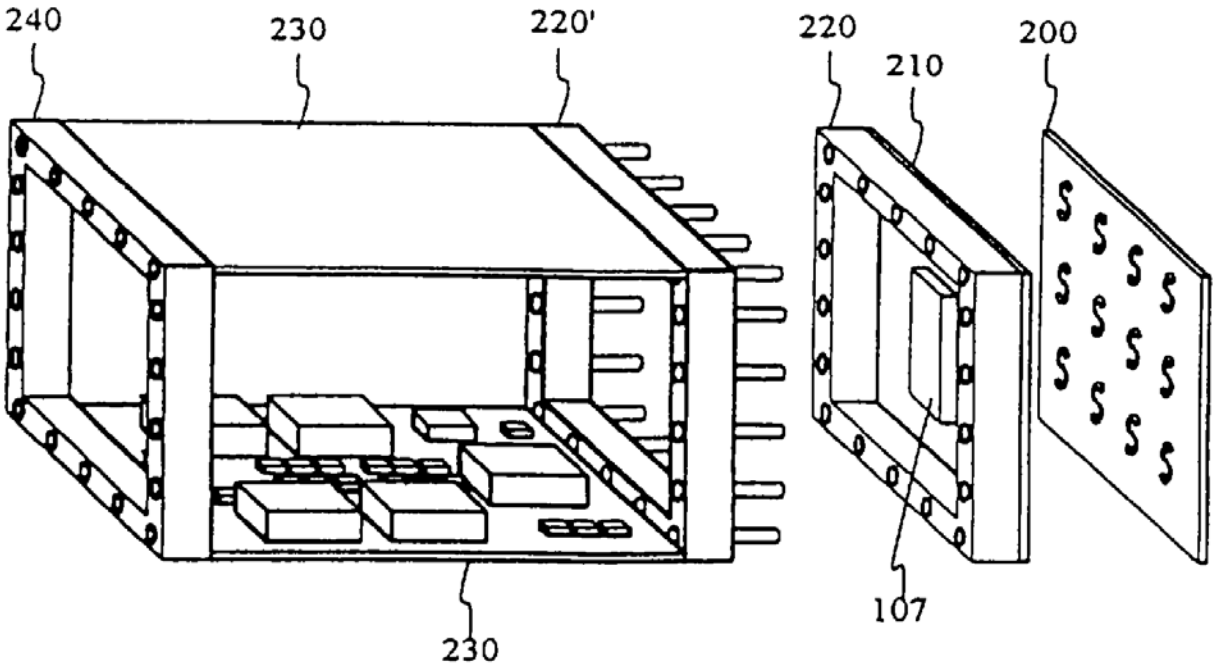
ФИГ.2

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTROHN.ru



ФИГ.3

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTROHN.ru



ФИГ.4

Патент предоставлен ОКБ АСТРОН г. Лыткарино, www.ASTROHN.ru