



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) За вка: 2006129452/28, 15.08.2006

(24) Дата начала отсчета срока действи патента:
15.08.2006

(45) Опубликовано: 20.06.2008 Бюл. № 17

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 6812464 B1, 02.11.2004. US 7049593
B2, 23.05.2006. US 7078694 B2, 18.07.2006. US
6828809 B1, 07.12.2004. US 6710343 B2,
23.03.2004. US 5021659 A, 04.06.1991. US
4873482 A, 10.10.1989. US 4843446 A,
27.07.1989. JP 2002-094133, 29.03.2002. JP
62095428, 01.05.1987. SU 1032959 A1, 15.05.1985.

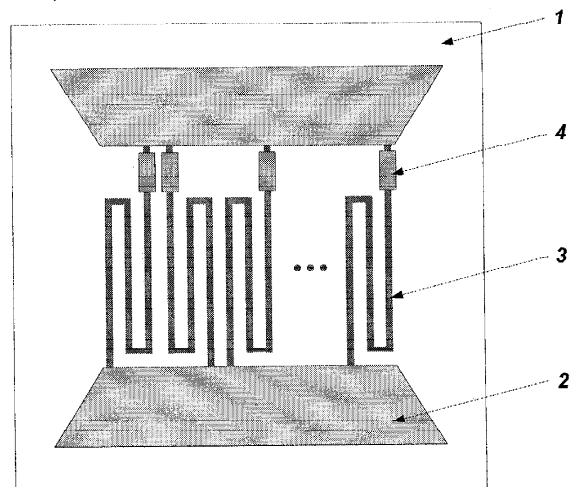
Документ находится в Патентном отделе
ОКБ АСТРОН
140081, Московская область, г.Лыткарино,
ул.Парковая, д.1

(54) БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЙ ОДНОФОТОННЫЙ ДЕТЕКТОР С ПОЛОСКОВЫМИ РЕЗИСТОРАМИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к устройствам дл
регистрации отдельных фотонов видимого и
инфракрасного диапазонов. Сущность
изобретени : сверхпроводниковый однофотонный
детектор содержит подложку, контактные
площадки, размещенные на подложке, и полоски,
выполненные из пленки сверхпроводника,
расположенные на подложке между контактными
площадками. Концы полосок подсоединены к
контактным площадкам, при этом каждая полоска
соедин етс с одной из контактных площадок через
соответствующий полосковый резистор. Резисторы
дл всех полосок выполнены одинаковыми, а
сопротивление резисторов составл ет 0.5-500 Ом,
в зависимости от кинетической индуктивности
сверхпровод щих полосок оно подбираетс так,
чтобы переключение в резистивное состо ние
одной из полосок не приводило к переключению в
резистивное состо ние остальных полосок, т.е.
чтобы величина тока в этих полосках не

превышала величину критического тока.
Техническим результатом изобретени вл етс
повышение быстродействи детектора. 5 з.п. ф-лы,
2 ил, 1 табл.



Фиг. 1

RU 2 3 2 7 2 5 3 C 2

RU 2 3 2 7 2 5 3 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2006129452/28**, **15.08.2006**

(24) Effective date for property rights: **15.08.2006**

(45) Date of publication: **20.06.2008 Bull. 17**

(54) **QUICK-RESPONSE SUPERCONDUCTING SINGLE PHOTON DETECTOR WITH STRIPE RESISTORS**

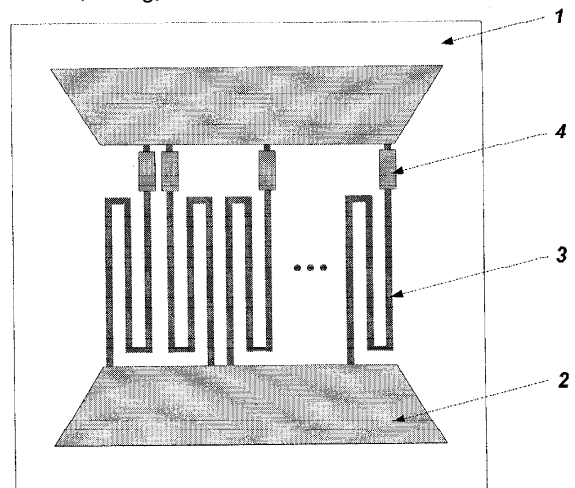
(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention pertains to devices for registering individual photons in the visible and infrared ranges. The superconducting single photon detector consists of a substrate, terminal pads on the substrate, and stripes made from superconductor films, put on the substrate between the terminal pads. The ends of the stripes are joined to the terminal pads. Each stripe is joined to one of the terminal pads through the corresponding stripe resistor. Resistors for all stripes are the same, and the resistors have resistance of 0.5-500 Ohm. Depending on the kinetic inductance of the superconductor stripes, the resistance are chosen in such a way that, switching into resistive state of one of the stripes does not lead to the other stripes also switching into resistive state i.e. the value of current in these stripes does not exceed the value of the critical current.

EFFECT: increased response speed of the detector.

6 cl, 2 dwg, 1 tbl



Фиг. 1

RU 2 327 253 C2

RU 2 327 253 C2

Изобретение относится к устройствам для регистрации отдельных фотонов видимого и инфракрасного диапазонов и может быть использовано в системах оптической волоконной связи на больших расстояниях, телекоммуникационных технологиях, в системах защиты передаваемой информации с помощью систем квантовой криптографии, диагностики и

5 тестировании больших интегральных схем (БИС) в электронике, в спектроскопии одиночных молекул, анализе излучения квантовых точек в полупроводниковых наноструктурах, астрономии, медицине.

Известны устройства - сверхпроводящие болометры, в которых чувствительный элемент выполнен из сверхпроводящей полоски в форме меандра (авторское свидетельство СССР №747370, H01L 40/00, опубл. 23.09.1982), (авторское свидетельство СССР №1032959, H01L 39/14, опубл. 15.05.1989).

10

Использование сверхпроводящей полоски в форме меандра позволяет повысить чувствительность болометра. Ограничением болометров является то, что они имеют большой размер чувствительного элемента (ширина полоски 1 мкм, общий размер меандра

15 $8 \times 8 \text{ мм}^2$), что делает невозможным его работу в однофотонном режиме, и устройство функционирует в интегральном режиме. Выходной сигнал интегрирующего детектора представляет собой линейную функцию средней энергии поглощенного излучения. Для обеспечения работы болометра требуется приложение внешнего магнитного поля, перпендикулярного плоскости расположения чувствительного элемента.

Также известным аналогом является сверхпроводниковый однофотонный детектор с антиотражающим покрытием, содержащий подложку, контактные площадки, размещенные на подложке, полоску, выполненную в форме меандра из сверхпроводника, расположенную на подложке между контактными площадками и концы которой подсоединены к контактными площадкам (патент США №6812464, H01L 39/00, опубл. 02.11.2004).

20

Преимуществом этого устройства перед болометрами является то, что квантовый детектор обеспечивает достаточный сигнал при поглощении одного фотона.

В этом устройстве используется зеркало, а кванты излучения могут регистрироваться только после прохождения излучения через подложку. Чувствительный элемент в известном устройстве представляет собой узкую полоску длиной 500 мкм из тонкой пленки

30 сверхпроводника, изогнутой в форме меандра и заполняющей прямоугольную площадку. Толщина пленки выбрана порядка длины когерентности, а ширина полоски - меньше глубины проникновения магнитного поля. Использование полоски, выполненной в форме меандра из сверхпроводника, позволяет увеличить чувствительность устройства. Кроме того, в другом варианте исполнения устройства использована прямоугольная полоска из

35 сверхпроводника, что позволяет повысить быстродействие устройства, но при этом значительно снижается его чувствительность.

Ограничениями известного сверхпроводникового детектора с антиотражающим покрытием являются:

- возможность достижения высокой чувствительности при использовании полоски, выполненной в форме меандра, лишь для квантов излучения в узком диапазоне длин волн;
- выполнение сверхпроводящей полоски в форме меандра характеризуется значительной величиной кинетической индуктивности, что ограничивает быстродействие детектора.

Наиболее близким аналогом является сверхпроводниковый однофотонный детектор, состоящий из сверхпроводящей полоски, смещаемой током, близким к критическому. Детектор содержит подложку, контактные площадки, размещенные на подложке, полоску, выполненную в форме меандра из сверхпроводника, расположенную на подложке между контактными площадками и концы которой подсоединены к контактными площадкам (патент США №7049593, H01L 39/00 (20060101), опубл. 10.03.2005).

45

Чувствительный элемент в известном устройстве представляет собой узкую полоску длиной 500 мкм из тонкой пленки сверхпроводника, изогнутой в форме меандра и заполняющей прямоугольную площадку. Толщина пленки выбрана порядка длины когерентности, а ширина полоски - меньше глубины проникновения магнитного поля.

50

Использование полоски, выполненной в форме меандра из сверхпроводника, позволяет увеличить чувствительность устройства. Кроме того, в другом варианте исполнения устройства использована приполюсная полоска из сверхпроводника, что позволяет повысить быстродействие устройства, но при этом значительно снижается его чувствительность.

Ограничением известного сверхпроводникового детектора является значительная величина кинетической индуктивности, существенно ограничивающая быстродействие детектора.

Решаемой изобретением задачей является повышение технико-эксплуатационных характеристик детектора.

Технический результат, который может быть получен при выполнении заявленного устройства, является повышение быстродействия детектора.

Для решения поставленной задачи с достижением указанного технического результата в известном сверхпроводниковом однофотонном детекторе, содержащем подложку, контактные площадки, размещенные на подложке, полоску, выполненную в форме меандра из сверхпроводника, расположенную на подложке между контактными площадками и концы которой подсоединены к контактным площадкам, согласно изобретению полоска из тонкой сверхпроводящей пленки заменена несколькими полосками меньшей длины, концы которых подсоединены к контактным площадкам. Кинетическая индуктивность каждой из полосок оказывается меньше кинетической индуктивности исходной сверхпроводящей полоски. Полоски электрически подключены параллельно относительно друг друга. Каждая из полосок подключена к контактным площадкам через дополнительно введенные одинаковые полосковые резисторы, представляющие собой приполюсные площадки, выполненные из металлической пленки, находящиеся в нормальном состоянии.

Возможны дополнительные варианты исполнения устройства, в которых целесообразно, чтобы:

- полоски были выполнены в форме меандра;
 - полоски были выполнены приполюсными;
 - габариты полосок были вписаны в квадрат со стороной 10 мкм;
 - ширина полосок была выбрана в диапазоне 60÷150 нм, при этом величины зазоров между создающими их полосками были выполнены в диапазоне 150÷60 нм;
 - ширина полосок была выбрана одинаковой;
 - полоски, выполненные в форме меандра, были исполнены с фактором заполнения k более 0,5, определяемым по формуле
- $$k = a/b,$$
- где a - ширина полоски меандра;
 b - период меандра;
- резисторы были выполнены в виде приполюсников из пленки золота толщиной 30-50 нм, рабочей площадью от 0.3×1.5 мкм² до 0.5×20 мкм²;
 - сопротивление полосковых резисторов составляло 0,5-500 Ом в зависимости от кинетической индуктивности сверхпроводящих полосок оно подбиралось так, чтобы переключение в резистивное состояние одной из полосок не приводило к переключению в резистивное состояние остальных полосок, т.е. чтобы величина тока в этих полосках не превышала величину критического тока;
 - резисторы для всех полосок были выполнены одинаковыми.

Указанные преимущества, а также особенности настоящего изобретения по сути являются лучшими вариантами исполнения устройства со ссылками на прилагаемую фигуру.

Фиг.1 изображает внешний вид на подложке с заявленным устройством.

Сверхпроводниковый однофотонный детектор (фиг.1) содержит подложку 1 и контактные площадки 2, размещенные на подложке 1. Сверхпроводящие полоски 3 выполнены в форме меандра из сверхпроводника, расположены на подложке 1 между контактными площадками 2 и концы полосок 3 подсоединены к контактным площадкам 2 через полосковые резисторы 4 из пленки золота.

Габариты полосок 3, подключенных параллельно для увеличения быстродействия, могут быть вписаны в квадрат со стороной 10 мкм.

Ширина полосок 3 может быть выбрана в диапазоне 60÷150 нм, при этом величины зазоров внутри меандра между создающими его полосками также выполнены в диапазоне 60÷150 нм.

Габариты резисторов из пленки золота подобраны таким образом, чтобы переключение в резистивное состояние одной из полосок не приводило к переходу в резистивное состояние остальных полосок, т.е. чтобы величина тока в этих полосках не превышала величину критического тока. В зависимости от величины кинетической индуктивности параллельно включенных сверхпроводящих полосок сопротивление резисторов составляет от 0.5 до 500 Ом.

Для повышения чувствительности полоски 3, выполненные в форме меандра, исполнены с фактором заполнения k более 0,5, определяемым по формуле

$$k = a/b,$$

где a - ширина полоски меандра;

b - период меандра.

Для обеспечения максимального быстродействия сверхпроводящие полоски могут быть выполнены параллельными (фиг.2). При этом каждая полоска соединяется с одним из контактов через полосковый резистор 4, выполненный из пленки золота, что позволяет избежать переключения других сверхпроводящих полосок в нормальное состояние при переключении в нормальное состояние одной из полосок 3.

Работает сверхпроводниковый однофотонный детектор (фиг.1 и 2) следующим образом.

В рабочем режиме детектор имеет температуру ниже температуры сверхпроводящего перехода (например, температура жидкого гелия). Через полоски 3 пропускается транспортный ток, близкий к критическому. При поглощении сверхпроводником фотона происходит разрушение куперовской пары и образуется электрон, обладающий энергией, близкой к энергии фотона. Посредством электрон-электронного и электрон-фотонного взаимодействий этот электрон релаксирует по энергии, разрушая куперовские пары и приводя к каскадному размножению квазичастиц. В результате сверхпроводимость на короткое время подавляется в малой по сравнению с шириной части одной из полосок 3 и образуется «горячая точка». В этой области появляется сопротивление, величина которого соответствует сопротивлению пленки, из которой выполнены полоски 3 в нормальном состоянии. Если в это время через полоску 3 пропущен ток, близкий к критическому, то происходит его перераспределение по оставшейся в сверхпроводящем состоянии части пленки. Величина плотности тока в сверхпроводящей области начинает превышать критическую, и все сечение этой полоски переходит в нормальное состояние. Поскольку сопротивление этой полоски вместе с ее полосковым резистором становится больше, чем у остальных полосок, ток начинает перераспределяться между полосками: в полоске, поглотившей фотон ток падает, а в остальных полосках - растет. Благодаря наличию кинетической индуктивности полосок 3, а также благодаря полосковым резисторам 4, возникшее дополнительное сопротивление полоски, поглотившей фотон, не шунтируется остальными полосками, что приводит к увеличению напряжения на контактах 2 образца. Этот скачок напряжения свидетельствует о регистрации фотона. Величина полосковых резисторов подбирается таким образом, чтобы при перераспределении между полосками 3, ток в этих полосках не достигал критического. Импульс напряжения, возникающий в момент поглощения фотона, поступает в схему регистрации.

Так же, как в ближайшем аналоге, для получения высокой чувствительности в видимом и инфракрасном диапазонах волн чувствительный элемент представляет собой полоску 3 из тонкой пленки сверхпроводника, изогнутую в форме меандра и заполняющую прилегающую площадку. Толщина пленки полоски 3 выполнена порядка длины когерентности, а ширина полоски - меньше глубины проникновения магнитного поля. Можно было бы достичь увеличения быстродействия детектора, уменьшая длину полоски 3, однако при этом резко ухудшается чувствительность детектора, т.к. не заполняется

приемная площадка детектора. Для увеличения быстродействия чувствительный элемент, представляющий собой сверхпроводящую полосу, заменяется на несколько полосок меньшей длины, соединенных параллельно и заполняющих такую же по величине площадку детектора. Каждая из полосок имеет кинетическую индуктивность меньшую, чем кинетическая индуктивность исходной длинной полоски. Пленка, из которой состоит полоска 3, находится при температуре ниже критической, и по ней протекает электрический ток, близкий к критическому.

Для увеличения быстродействия размеры полосок 3 могут быть выбраны с величиной кинетической индуктивности в 50 раз меньше кинетической индуктивности исходной полоски, что обеспечивается наименьшей длиной полосок 3, равной расстоянию между контактными площадками 2, в случае выполнения полосок 3 премолинейными (фиг.2). Введение дополнительных полосковых резисторов 4 позволяет исключить переключение в нормальное состояние других сверхпроводящих полосок 3 при переключении в нормальное состояние одной из полосок 3, в которой поглотился фотон, и приводит к увеличению быстродействия.

Завершающее устройство характеризуется наличием новых качеств: существенно большим быстродействием благодаря замене длинной сверхпроводящей полоски полосками меньшей длины 3, соединенными параллельно и содержащими полосковые резисторы 4. Детектор обладает большим быстродействием при сохранении высокой чувствительности во всем рабочем диапазоне волн 0,4 - 6 мкм, при выборе фактора заполнения k более 0,5.

Габариты полосок 3 могут быть вписаны в воображаемый прямоугольник, например 20×10 мкм², или в квадрат 10×10 мкм², или в квадрат 20×20 мкм² в соответствии с технологией, описанной в ближайшем аналоге.

Сверхпроводящие полоски 3 могут быть изготовлены из пленки NbN толщиной 4 нм, нанесенной на подложку 1 из сапфира. Основным чувствительным элементом - полоски 3 выполнены шириной 60÷150 нм в виде меандра с расстоянием между полосками внутри меандра, также в диапазоне 60÷150 нм, и заполняющим квадрат со стороной 10 мкм. Контактные площадки 2 изготавливаются из NbN и покрываются золотом для улучшения электрического контакта.

Детектор работает при температурах ниже 10К (приблизительная температура сверхпроводящего перехода для тонких пленок NbN), например 4.2К. При указанных размерах полосок 3 величина критического тока для каждой из полосок I_c составляет около 15 мкА при температуре 4.2К. Величина транспортного тока составляет 0.8-0.9 от I_c . Как и в ближайшем аналоге, устройство подключается к источнику постоянного тока и СВЧ-тракту через адаптер смещения. СВЧ-тракт представляет собой коаксиальный кабель и цепочку СВЧ-усилителей. После усиления импульсы напряжения, возникающие на детекторе при поглощении фотонов, поступают на регистрирующую аппаратуру. Основные характеристики детекторов (фиг.1 и 2) приведены в следующей таблице.

Быстродействующий сверхпроводниковый детектор с полосковыми резисторами	
Рабочий диапазон длин волн λ	0.4-6 мкм
Квантовая эффективность на длине волны 1.26 мкм при температуре 4.2К	20%
Максимальная скорость счета	>1 ГГц
Уровень темнового счета	<0.1 с ⁻¹
Временная нестабильность сигнала	20 пс
* - квантовая эффективность определяется как отношение числа отсчетов детектора в единицу времени к числу фотонов, упавших на его чувствительный элемент.	

Замена одной длинной сверхпроводящей полоски на параллельно включенные полоски меньшей длины с полосковыми резисторами позволило повысить быстродействие в 50 раз без потери чувствительности детектора. Завершающий сверхпроводниковый однофотонный детектор промышленно применим для регистрации отдельных фотонов видимого и инфракрасного диапазонов в системах оптической волоконной связи, телекоммуникационных технологиях, в системах защиты передаваемой информации с

помощью систем квантовой криптографии, в электронике для диагностики и тестирования больших интегральных схем (БИС), в спектроскопии одиночных молекул, анализе излучения квантовых точек в полупроводниковых наноструктурах, в астрономии и медицине.

5

Формула изобретения

1. Сверхпроводниковый однофотонный детектор, содержащий подложку, контактные площадки, размещенные на подложке, полосу, выполненную из пленки сверхпроводника, толщина которой порядка длины когерентности, а ширина - меньше глубины проникновения магнитного поля, расположенную на подложке между контактными площадками, отличающийся тем, что параллельно сверхпроводящей полоске подключено несколько таких же полосок, размещенных на той же подложке, концы полосок подсоединены к контактным площадкам, при этом каждая полоска соединена с одной из контактных площадок через соответствующий полосковый резистор, резисторы для всех полосок выполнены одинаковыми, а сопротивление резисторов составляет от 0,5-500 Ом, в зависимости от кинетической индуктивности сверхпроводящих полосок оно подбирается так, чтобы переключение в резистивное состояние одной из полосок не приводило к переключению в резистивное состояние остальных полосок, т.е. чтобы величина тока в этих полосках не превышала величину критического тока.

2. Сверхпроводниковый однофотонный детектор по п.1, отличающийся тем, что габариты полосок вписаны в квадрат со стороной 10 мкм.

3. Сверхпроводниковый однофотонный детектор по п.1, отличающийся тем, что ширина полосок выбрана в диапазоне 60-150 нм, при этом величины зазоров между создающими его полосками выполнены в диапазоне 60-150 нм.

4. Сверхпроводниковый однофотонный детектор по п.1, отличающийся тем, что полоски выполнены в форме меандра, исполнены с фактором заполнения k более 0,5, определенным по формуле

$$k = a/b,$$

где a - ширина полосок меандра;

30 b - период меандра.

5. Сверхпроводниковый однофотонный детектор по п.1, отличающийся тем, что полоски выполнены премолинейными.

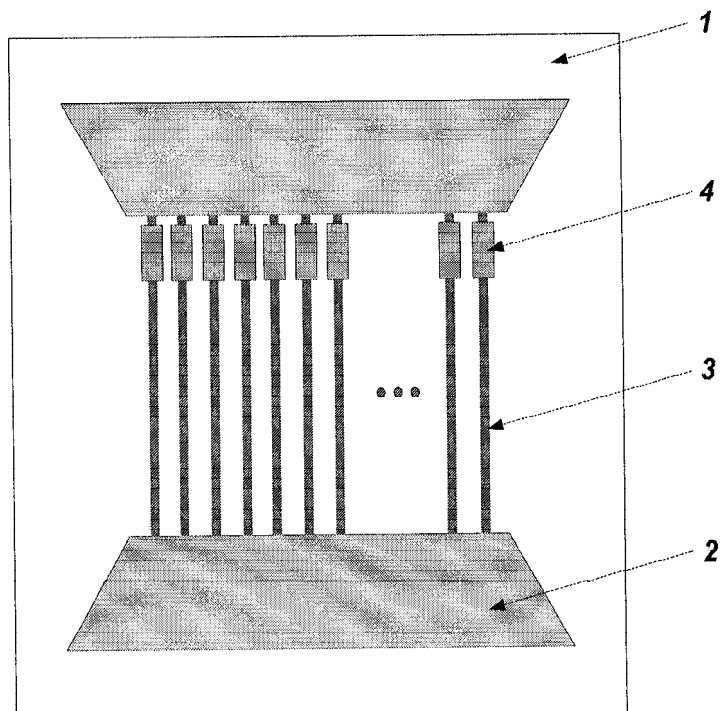
6. Сверхпроводниковый однофотонный детектор по п.1, отличающийся тем, что полоски выполнены в форме меандра.

35

40

45

50



Фиг. 2