



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) За вка: 2005139902/28, 21.12.2005

(24) Дата начала отсчета срока действи патента:
21.12.2005

(45) Опубликовано: 10.06.2007 Бюл. № 16

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 6812464 A1, 02.11.2004. SU 1032959
A1, 15.05.1989. SU 747370 A, 23.12.1982. DE
19828088 A, 30.12.1999. JP 2003282933 A,
03.10.2003.

Документ находится в Патентном отделе

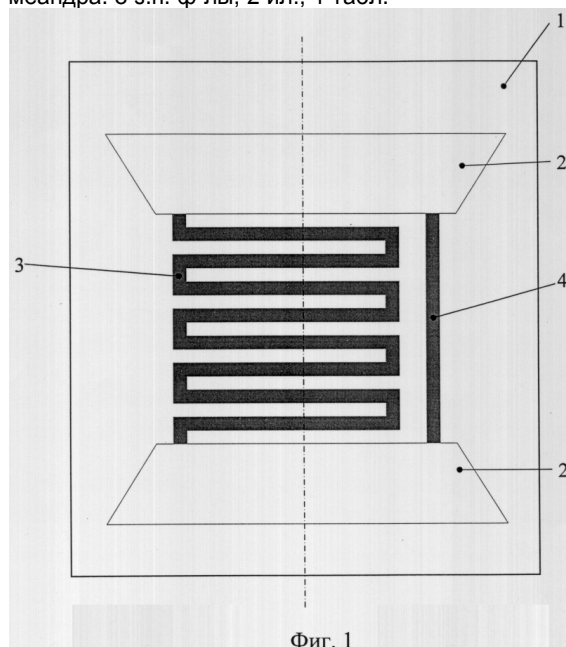
ОКБ АСТРОН140081, Московская область, г.Лыткарино,
ул.Парковая, д.1

(54) БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЙ ОДНОФОТОННЫЙ ДЕТЕКТОР

(57) Реферат:

Изобретение относится к устройствам дл
регистрации отдельных фотонов и может быть
использовано в системах оптической волоконной
св зи, дл телекоммуникационных технологий в
системах защиты передаваемой информации,
диагностике и тестировании больших интегральных
схем, в спектроскопии одиночных молекул,
астрономии, медицине. Технический результат
изобретени : повышение быстродействи ,
чувствительности и широкополосности детектора.
Сущность: устройство содержит подложку и
размещенные на ней контактные площадки. Одна
полоска выполнена в форме меандра из
сверхпроводника и ее концы подсоединены к
контактным площадкам. Друга дополнительна
полоска из сверхпроводника подключена
параллельно к упом нутой полоске, выполненной в
форме меандра. Дополнительна полоска
выполнена из сверхпроводника с кинетической
индуктивностью меньшей, чем кинетическа
индуктивность полоски, выполненной в форме

меандра. 8 з.п. ф-лы, 2 ил., 1 табл.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.

H01L 31/101 (2006.01)*H01L 39/02* (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2005139902/28, 21.12.2005**(24) Effective date for property rights: **21.12.2005**(45) Date of publication: **10.06.2007 Bull. 16****(54) HIGH-SPEED SINGLE-PHOTON SUPERCONDUCTOR DETECTOR**

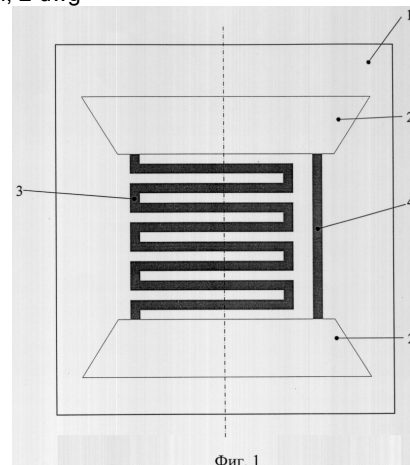
(57) Abstract:

FIELD: fiber-optic communications, data protection, telecommunications, large-scale integrated circuit diagnosing and testing, single molecule spectrometry, astronomy, and medicine.

SUBSTANCE: proposed device has substrate carrying contact pads, One strip is made of superconductor in the form of meander and its ends are connected to contact pads. Other, additional, semiconductor strip is connected in parallel with above-mentioned strip made in the form of meander. Additional strip is made of superconductor whose kinetic inductance is lower than that of strip made in the form of meander.

EFFECT: enhanced speed, sensitivity, and bandwidth of detector.

9 cl, 2 dwg



RU 2 300 825 C1

RU 2 300 825 C1

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).

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 8×8 мм²), 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.

Наиболее близким 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).

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.

Решаемой изобретением задача - повышение технико-эксплуатационных характеристик

45 детектора.

Технический результат, который может быть получен при выполнении заявленного устройства, - повышение чувствительности, быстродействия и широкополосности.

Для решения поставленной задачи с достижением указанного технического результата в известном сверхпроводниковом однофотонном детекторе, содержащем подложку,

50 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, согласно изобретению введена дополнительная полоска, выполненная из сверхпроводника с кинетической

индуктивностью, меньшей, чем кинетическая индуктивность полоски, выполненной в форме меандра, дополнительная полоска расположена на подложке между контактными площадками, ее концы подсоединены к контактным площадкам, и она подключена электрически параллельно относительно полоски, выполненной в форме меандра.

5 Возможны дополнительные варианты выполнения устройства, в которых целесообразно, чтобы:

- габариты полоски, выполненной в форме меандра, и дополнительной полоски были вписаны в квадрат со стороной 10 мкм;

10 - ширина полоски, выполненной в форме меандра, и дополнительной полоски была выбрана в диапазоне 80÷120 нм, при этом величины зазоров внутри меандра между создающими его полосками и между краем меандра, обращенным к дополнительной полоске и ее краем, были выполнены в диапазоне 120÷80 нм;

- ширина полоски, выполненной в форме меандра, и дополнительной полоски была выбрана одинаковой;

15 - полоска, выполненная в форме меандра, была исполнена с фактором заполнения более 0,75, определенным по формуле

$$k=a/b,$$

где a - ширина полоски меандра,

b - период меандра;

20 - дополнительная полоска была выполнена премолинейной;

- дополнительная полоска была выполнена в виде меандра.

Для последнего варианта выполнения изобретения целесообразно, чтобы

25 - дополнительная полоска была выполнена с числом полос в ее меандре в интервале от 3 до $N-3$, где N - число полос в меандре упомянутой полоски, выполненной в форме меандра;

- дополнительная полоска была исполнена с фактором заполнения более 0,75, определенным по формуле

$$k=a/b,$$

где a - ширина дополнительной полоски меандра,

30 b - период меандра.

Указанные преимущества, а также особенности настоящего изобретения по сути являются лучшими вариантами выполнения устройства со ссылками на прилагаемые чертежи:

35 фиг.1 изображает внешний вид на подложку с упомянутым устройством, при выполнении дополнительной полоски премолинейной; фиг.2 - топологию устройства, при выполнении дополнительной полоски в форме меандра.

Сверхпроводниковый однофотонный детектор (фиг.1) содержит подложку 1 и контактные площадки 2, размещенные на подложке 1. Полоска 3 выполнена в форме меандра из сверхпроводника, расположена на подложке 1 между контактными площадками 2 и концы полоски 3 подсоединены к контактным площадкам 2.

40 Введена дополнительная полоска 4, выполненная из сверхпроводника, расположена на подложке 1 между контактными площадками 2, концы которой подсоединены к контактным площадкам 2. Дополнительная полоска 4 электрически подключена параллельно к упомянутой полоске 3. Дополнительная полоска 4, выполненная из сверхпроводника, обладает меньшей кинетической индуктивностью, чем полоска, выполненная в форме меандра.

45 Габариты полоски 3 и дополнительной полоски 4 для увеличения быстродействия могут быть вписаны в квадрат со стороной 10 мкм.

50 Ширина полоски 3 и дополнительной полоски 4 может быть выбрана в диапазоне 80÷120 нм, при этом величины зазоров внутри меандра между создающими его полосками и между краем меандра, обращенным к дополнительной полоске 4 и ее краем, также выполнены в диапазоне 80÷120 нм.

Ширина полоски 3 и дополнительной полоски 4 может быть выбрана одинаковой.

Для повышения чувствительности полоска 3 (фиг.2), выполненная в форме меандра,

исполнена с фактором k заполнения более 0,75, определенным по формуле

$$k=a/b,$$

где a - ширина полосы меандра,

b - период меандра.

5 Для обеспечения максимального быстродействия дополнительная полоска 4 может быть выполнена премолинейной (фиг.1).

Дополнительная полоска 4 может быть выполнена в виде меандра (фиг.2).

10 Для обеспечения кинетической индуктивности дополнительной полоски 4 меньшей, чем кинетическая индуктивность полоски 3, при выполнении дополнительной полоски 4 в форме меандра дополнительная полоска 4 выполнена с числом полос в ее меандре в интервале от 3 до $N-3$, где N - число полос в меандре упомянутой полоски 3.

Кроме того, для повышения чувствительности без значительного уменьшения быстродействия дополнительная полоска 4 может быть выполнена с фактором k заполнения более 0,75, определенным по формуле

15 $k=a/b,$

где a - ширина дополнительной полоски 4 меандра,

b - период меандра.

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

При поглощении сверхпроводником фотона происходит разрушение куперовской пары.

20 Сверхпроводимость на короткое время подавляется в малой по сравнению с шириной части полоски 3 и образует "горб". В этой области появляется сопротивление, величина которого соответствует сопротивлению пленки, из которой выполнены полоска 3 и дополнительная полоска 4 в нормальном состоянии. Если в это время через полоску 3 и дополнительную полоску 4 пропущен ток, близкий к критическому току распаривания, то происходит его перераспределение по оставшейся в сверхпроводящем состоянии части пленки, и величина плотности тока в сверхпроводящей области начинает превышать критическую. В результате все сечение полоски переходит в нормальное состояние и в детекторе появляется электрическое сопротивление, которое сопровождается импульсом напряжения.

30 В рабочем режиме детектор имеет температуру ниже температуры сверхпроводящего перехода (например, температура жидкого гелия). Через полоску 3 и дополнительную полоску 4 пропускается транспортный ток, близкий к критическому. Импульс напряжения, возникающий в момент поглощения фотона, поступает в схему регистрации.

35 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, изогнутой в форме меандра и заполняющей прямоугольную площадку. Толщина пленки полоски 3 выполнена порядка длины когерентности, а ширина полоски - меньше глубины проникновения магнитного поля. Можно было бы достичь увеличения быстродействия детектора, уменьшив число полосок в меандре полоски 3, однако при этом резко ухудшается его чувствительность. Для увеличения быстродействия параллельно чувствительному элементу - полоске 3 - подключается дополнительная полоска 4, выполняющая шунтирующую функцию. Дополнительная полоска имеет кинетическую индуктивность, меньшую, чем кинетическая индуктивность полоски 3. Пленка полоски 3 и дополнительной полоски 4 находится при

45 температуре ниже критической, и по ней протекает электрический ток, близкий к критическому.

Для увеличения быстродействия размеры дополнительной полоски 4 могут быть выбраны с величиной ее кинетической индуктивности в 50 раз меньше кинетической индуктивности полоски 3, что обеспечивает кратчайшим размером дополнительной

50 полоски 4 на расстоянии между контактными площадками 2, в случае выполнения дополнительной полоски 4 премолинейной (фиг.1). Или кинетическая индуктивность дополнительной полоски 4 выбирается в 10 раз меньшей, чем кинетическая индуктивность полоски 3, что достигается выполнением дополнительной полоски 4 в виде меандра, с

числом полос в меандре дополнительной полоски 4 в интервале от 3 до N-3, где N - число полос в меандре упомянутой полоски 3, первоначально выполненной в форме меандра.

Заключительное устройство характеризуется наличием новых качеств: существенно большим быстродействием благодаря наличию дополнительной полоски 4, выполняющей шунтирующую функцию. Кроме того, из-за отсутствия антиотражающего покрытия устройство не обладает ярко выраженной спектральной селективностью, допускает регистрацию фотонов, падающих непосредственно на подложку 1, а не проходящих через нее, что обеспечивает регистрацию падающих на чувствительные элементы - полоску 3 и дополнительную полоску 4 - фотонов в диапазоне волн 0,4-4 мкм. Детектор обладает большим быстродействием при сохранении высокой чувствительности во всем рабочем диапазоне волн, при выборе фактора k заполнения более 0,75. Кроме того, как показали экспериментальные исследования, чувствительность при выборе фактора k заполнения более 0,75 увеличивается на 5-7% по сравнению с ближайшим аналогом, что свидетельствует о том, что дополнительная полоска 4, кроме шунтирующей функции, также выполняет функцию чувствительного элемента, как и полоска 3.

Габариты полоски 3, выполненной в форме меандра, и дополнительной полоски 4 с указанным фактором k могут быть вписаны в воображаемый прямоугольник, например 20x10 мкм, или в квадрат 10x10 мкм, или в квадрат 20x20 мкм в соответствии с технологией, описанной в ближайшем аналоге.

Полоска 3 и дополнительная полоска 4 могут быть изготовлены из пленки NbN толщиной 4 нм, нанесенной на подложку 1 из сапфира. Основным чувствительным элементом - полоска 3 выполнена шириной 80-120 нм, изогнутой в виде меандра с расстоянием между полосками внутри меандра около 100 нм, например, также в диапазоне 80-120 нм, и заполняющей квадрат со стороной 10 мкм. Шунтирующая секция представляет собой дополнительную полоску 4, например, такой же ширины, как и полоска 3 меандра, и длиной 10 мкм (фиг.1). 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, 4 величина критического тока I_c составляет около 30 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	
Рабочий диапазон длин волн λ	0,4-4 мкм
Квантовая эффективность на длине волны 1,26 мкм при температуре 4,2К	20%
Динамический диапазон	10^9
Уровень темного счета	$<0,1 \text{ с}^{-1}$
Временная нестабильность сигнала	20 пс
Квантовая эффективность определяется как отношение числа отсчетов детектора в единицу времени к числу фотонов, упавших на его чувствительный элемент.	

Включение дополнительной полоски 4, выполняющей шунтирующую функцию, позволило повысить быстродействие в 7-12 раз. При этом квантовая эффективность возрастает на 7%.

Наиболее успешно разработанный 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, астрономии и медицине.

Формула изобретения

- 5 1. Сверхпроводниковый однофотонный детектор, содержащий подложку, контактные площадки, размещенные на подложке, полосу, выполненную в форме меандра из сверхпроводника, расположенную на подложке между контактными площадками и концы которой подсоединены к контактным площадкам, отличающийся тем, что введена дополнительная полоска, выполненная из сверхпроводника с кинетической индуктивностью, меньшей кинетической индуктивности полосы, выполненной в форме меандра, дополнительная полоска расположена на подложке между контактными площадками, ее концы подсоединены к контактным площадкам и она подключена электрически параллельно относительно полосы, выполненной в форме меандра.
- 10 2. Сверхпроводниковый однофотонный детектор по п.1, отличающийся тем, что габариты полосы, выполненной в форме меандра, и дополнительной полосы вписаны в квадрат со стороной 10 мкм.
3. Сверхпроводниковый однофотонный детектор по п.1, отличающийся тем, что ширина полосы, выполненной в форме меандра, и дополнительной полосы выбрана в диапазоне 80-120 нм, при этом величины зазоров внутри меандра между создающими его полосками и между краем меандра, обращенным к дополнительной полоске, и ее краем, выполнены в диапазоне 80÷120 нм.
- 20 4. Сверхпроводниковый однофотонный детектор по п.1, отличающийся тем, что ширина полосы, выполненной в форме меандра, и дополнительной полосы выбрана одинаковой.
5. Сверхпроводниковый однофотонный детектор по п.1, отличающийся тем, что полоска, выполненная в форме меандра, исполнена с фактором заполнения более 0,75, определены формулы
- 25 $k=a/b$,
где a - ширина полосы меандра,
 b - период меандра.
- 30 6. Сверхпроводниковый однофотонный детектор по п.1, отличающийся тем, что дополнительная полоска выполнена премолинейной.
7. Сверхпроводниковый однофотонный детектор по п.1, отличающийся тем, что дополнительная полоска выполнена в виде меандра.
8. Сверхпроводниковый однофотонный детектор по п.6, отличающийся тем, что дополнительная полоска выполнена с числом полос в ее меандре в интервале от 3 до $N-3$, где N - число полос в меандре упомянутой полосы, выполненной в форме меандра.
- 35 9. Сверхпроводниковый однофотонный детектор по п.6, отличающийся тем, что дополнительная полоска исполнена с фактором заполнения более 0,75, определены формулы
- 40 $k=a/b$,
где a - ширина дополнительной полосы меандра,
 b - период меандра.

45

50

