



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
 ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007139745/28, 26.10.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 26.10.2007

(45) Опубликовано: 10.08.2009 Бюл. № 22

(56) Список документов, цитированных в отчете о
 поиске: RU 2298260 C1, 27.04.2007. RU 2308123 C1,
 10.10.2007. RU 2080693 C1, 27.05.1997. US
 4178602 A, 11.12.1979. US 5565415 A,
 15.10.1996. JP 3228385 A, 09.10.1991.

Адрес для переписки:

424000, Республика Марий Эл,
 г.Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3, ГОУВПО
 Марийский государственный технический
 университет, отдел интеллектуальной
 собственности

(72) Автор(ы):

Игумнов Владимир Николаевич (RU),
 Большаков Александр Павлович (RU),
 Филимонов Виталий Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное
 учреждение высшего профессионального
 образования Марийский государственный
 технический университет (RU)

(54) ДЖОЗЕФСОНОВСКИЙ КРИОТРОН И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к криоэлектронике
 и может быть использовано для создания
 логических схем. Техническим результатом
 изобретения является упрощение конструкции
 и способа изготовления криотрона. Указанный
 технический результат достигается тем, что
 функции экрана и управляющей шины
 совмещаются и выполняются нижней

сверхпроводниковой дорожкой, нанесенной на
 поверхность подложки, частично
 изолированной от верхней дорожки с
 джозефсоновским контактом, и гальванически
 соединенной с ней. Технический результат
 достигается также тем, что состояния
 криотрона определяются его параметрами и
 протекающим током. 2 н.п. ф-лы, 5 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION(21), (22) Application: **2007139745/28, 26.10.2007**(24) Effective date for property rights:
26.10.2007(45) Date of publication: **10.08.2009 Bull. 22**

Mail address:

**424000, Respublika Marij Ehl, g. Joshkar-Ola, pl.
Lenina, 3, GOUVPO Marijskij gosudarstvennyj
tekhnicheskij universitet, otdel intellektual'noj
sobstvennosti**

(72) Inventor(s):

**Igumnov Vladimir Nikolaevich (RU),
Bol'shakov Aleksandr Pavlovich (RU),
Filimonov Vitalij Evgen'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovaniya
Marijskij gosudarstvennyj tekhnicheskij
universitet (RU)**

(54) JOSEPHSON CRYOTRON AND METHOD OF MAKING SAID CRYOTRON

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to cryoelectronics and can be used for making logical circuits. The technical outcome is achieved due to that, functions of the screen and the control bus are combined and executed by a lower superconducting

track, deposited on the surface of a substrate, partially insulated from an upper track by a Josephson contact, and galvanically connected to it.

EFFECT: state of the cryotron is determined by its parameters and current; simpler design and method of making the cryotron.

2 cl, 5 dwg

Изобретение относится к криоэлектронике и может быть использовано для создания логических устройств.

Известны устройства на эффекте Джозефсона, которые могут находиться в состоянии "0" или "1" [1, рис.17]. Для получения более сложной характеристики прибора, имеющей три и более устойчивых рабочих состояния, необходимы управляющие шины-электроды.

Наиболее близким техническим решением является джозефсоновский криотрон (ДК), содержащий переход Джозефсона (ДП), управляющую шину и экран, защищающий ДП от внешних полей [1, рис.22].

Недостатком известного устройства является его сложность. Он представляет собой, как минимум, пятислойную конструкцию (экран-изолятор-сверхпроводник-изолятор-проводник). Кроме того, необходима схема питания управляющей шины.

Известен способ изготовления ДП, включающий формирование методом фотолитографии на подложке MgO сверхпроводниковой дорожки $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$, поперек которой протаскивают зонд атомно-силового микроскопа, формируя область переменной толщины для создания ДП [2].

Недостатком такого способа является то, что он не предусматривает функции экранирования и управления ДП.

Техническим результатом изобретения является упрощение конструкции ДК за счет уменьшения числа его слоев и соответственно упрощение способа изготовления.

Указанный технический результат достигается тем, что функции экрана и управляющей шины совмещаются и выполняются нижней сверхпроводниковой дорожкой, нанесенной на поверхности подложки под ДП и последовательно соединенной с ДП.

При пропускании через криотрон тока, меньшего, чем критический ток ($I < I_{\text{кр}}$), сопротивление нижней дорожки равно нулю, и состояние криотрона определяется состоянием ДП верхней дорожки. Здесь возможен либо стационарный ($I < I_0$), либо нестационарный эффект Джозефсона (фиг.1). Можно записать выражения для ВАХ ДП

$$U = 0 \text{ при } I < I_0, \quad (1)$$

$$U = U_0 = I_0 R \text{ при } I = I_0, \quad (2)$$

$$U = R(I^2 - I_0^2)^{1/2} \text{ при } I > I_0, \quad (3)$$

где I_0 - максимальный ток куперовских пар, характеристика данного ДП (определяется из его ВАХ как I при $U=U_0$);

R - сопротивление ДП в нормальном состоянии (определяется из ВАХ по тангенсу угла наклона ВАХ α на участке $(U_0; U_{\text{max}})$, как $R=1/\text{tg}\alpha$).

Выражения (1)-(3) описывают поведение ДП в отсутствие магнитного поля.

Если имеется магнитное поле, приложенное параллельно плоскости джозефсоновского контакта, I_0 становится функцией этого поля (фиг.2) [3]

$$I(\Phi_K) = I_0 \left[\sin \frac{\pi \Phi_K}{\Phi_0} \left(\frac{\pi \Phi_K}{\Phi_0} \right)^{-1} \right], \quad (4)$$

где Φ_K - магнитный поток в площади ДП,

$\Phi_0 = h/2e$ - квант магнитного потока, $\Phi_0 = 2,07 \cdot 10^{-15}$ Вб.

Магнитный поток в данном случае определяется из выражения

$$\Phi_K = BS = Bd_C w, \quad (5)$$

где S - площадь ДП,

d_C - высота ДП,

w - ширина ДП,

B - индукция магнитного поля.

В заявляемом устройстве источником магнитного поля является нижняя сверхпроводниковая дорожка с током I. В первом приближении можно использовать известное выражение

$$B = \frac{\mu_d \mu_0 I}{2\pi d_d}, \quad (6)$$

где μ_d - магнитная проницаемость диэлектрика;

μ_0 - магнитная постоянная

d_d - толщина диэлектрика.

С учетом (4) и (5) выражение (3) можно записать в виде

$$U = R \left[I^2 - I_0^2 \sin^2 \frac{\pi \Phi_K}{\Phi_0} \left(\frac{\pi \Phi_K}{\Phi_0} \right)^{-1} \right]^{1/2}. \quad (7)$$

Согласно выражению (7) минимум тока криотрона $I_{\min}$ будет соответствовать условию

$$\Phi_K = \Phi_0, \quad (8)$$

т.е. с учетом (6)

$$I_{\min} = \Phi_0 \frac{2\pi d_d}{\mu_d \mu_0 S}. \quad (9)$$

Из выражения (7) можно найти напряжение на криотроне $U_{\min}$

$$U_{\min} = RI_{\min} = \Phi_0 \frac{2\pi R d_d}{\mu_d \mu_0 S}. \quad (10)$$

Максимальные значения тока криотрона можно оценить из выражения

$$I_{\max} = I_0 + I_{\min}, \quad (11)$$

а максимальное значение напряжения на криотроне

$$U_{\max} = I_{\max} R. \quad (12)$$

Таким образом ВАХ криотрона содержит как минимум четыре состояния (фиг.3)

$$\left. \begin{array}{ll} 1) U_1 = 0; I < I_0, & 2) U_2 = U_0; I_2 = I_0 \\ 3) U_3 = U_{\max}; I_3 = I_{\max}, & 4) U_4 = U_{\min}; I_4 = I_{\min} \end{array} \right\} \quad (13)$$

Конкретный вид выражений (13) записывается с учетом соотношений (9) и (11).

Указанный технический результат достигается также тем, что на подложке из MgO формируют нижнюю сверхпроводящую дорожку $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$, изолируют ее от верхней дорожки (СДП) и соединяют верхнюю и нижнюю дорожку последовательно. В верхней дорожке с помощью атомно-силового микроскопа формируют область ДП.

Именно такой способ позволяет формировать вышеописанную вольт-амперную характеристику криотрона (фиг.3). Это позволяет сделать вывод о том, что заявленные технические решения связаны между собой единым изобретательским замыслом. Сопоставительный анализ признаков, изложенных в предложенном техническом решении, с признаками прототипов показывает, что заявленный джозефсоновский криотрон отличается от прототипа наличием сверхпроводниковой дорожки, выполняющей роль экрана и управляющей шины, соединенной с джозефсоновским переходом последовательно, а способ изготовления криотрона отличается тем, что вначале на подложке сверхпроводниковую, затем изолирующую,

затем вновь сверхпроводниковую дорожку так, что сверхпроводниковые дорожки имеют гальваническую связь (в верхней сверхпроводниковой дорожке с помощью атомно-силового микроскопа формируют область ДП). Все это говорит о соответствии технических решений критерию "новизна".

Сравнение заявленных технических решений с другими техническими решениями в данной области техники показало, что джозефсоновский криотрон, содержащий управляющую и экранирующую дорожку, имеющий три состояния, два из которых определяются выражениями (7), (8), (9), (10), неизвестен. Кроме того, совокупность существенных признаков вместе с ограничительными позволяет обнаружить у заявляемых решений иные, в отличие от известных свойства, к числу которых можно отнести следующие:

- простота конструкции и способа изготовления криотрона;
- связь параметров состояний и параметров криотрона;
- возможность изменения параметров состояний.

Таким образом иные, в отличие от известных, свойства, присущие предложенным техническим решениям, доказывают наличие существенных отличий, направленных на достижение технического результата.

На фиг.1 показана ВАХ джозефсоновского перехода. На фиг.2 показан график зависимости максимального тока куперовских пар ДП от магнитного потока. На фиг.3 представлена ВАХ заявляемого криотрона. На фиг.4 представлена схема конструкции криотрона в разрезе. На фиг.5 показан вид сверху джозефсоновского криотрона.

джозефсоновский криотрон состоит из MgO подложки 1, нижней сверхпроводниковой дорожки 2, изолирующего слоя 3, верхней сверхпроводниковой дорожки 4, в которой сформирован ДК 5 (фиг.4, 5). На MgO подложке 1 наносят методом магнетронного распыления сверхпроводниковую пленку $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$. Размеры подложки 14×14 мм, толщина пленки 80-100 нм. Методом фотолитографии формируют нижнюю сверхпроводниковую дорожку 2. Ширина дорожки - 3 мкм. Далее наносят изолирующий слой MgO методом ВЧ распыления 3. Толщина слоя 40-100 нм. На поверхности изолирующего слоя наносят и формируют верхнюю сверхпроводниковую дорожку $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ 4 (фиг.4, 5). Ширина дорожки - 1 мкм, толщина 80 нм. После формирования верхней сверхпроводниковой дорожки в ней формируют область малой толщины 5 путем протаскивания зонда атомно-силового микроскопа. Глубина канавки - 40 нм. Ширина верхней части 30 нм.

Параметры криотрона определены из вольт-амперной характеристики перехода: $I_0=1,5$ мА, $U_0=0,6$ мВ; $R=0,4$ Ом.

Отсюда можно определить состояния криотрона

- 1) $U_1 = 0$; $I_1 < 1,5$ мА, 2) $U_2 = 0,6$ мВ; $I_2 = 1,5$ мА;
 3) $U_3 = 2,2$ мВ; $I_3 = 5,5$ мА, 4) $U_4 = 1,6$ мВ; $I_4 = 4$ мА.

Таким образом ВАХ заявляемого джозефсоновского криотрона имеет как минимум четыре состояния и обладает более простой конструкцией и способом изготовления.

Источники информации

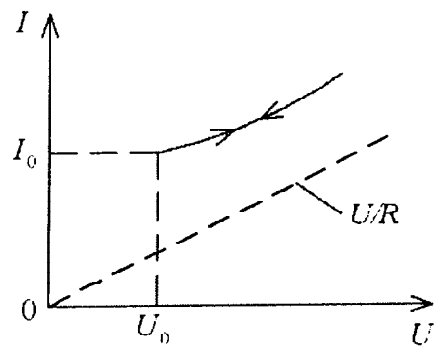
1. Интегральные схемы и микроэлектронные устройства на сверхпроводниках / В.Н.Алфеев и др. - М.: Радио и связь, 1985. - 232 с.
2. Патент РФ №2298260, H01L 39/24.
3. Лыков С.Н. Сверхпроводимость полупроводников - СПб: Наука, 2001. - 104 с.

4. Тинкхам М. Введение в сверхпроводимость - М.: Атомиздат, 1980. - 310 с.

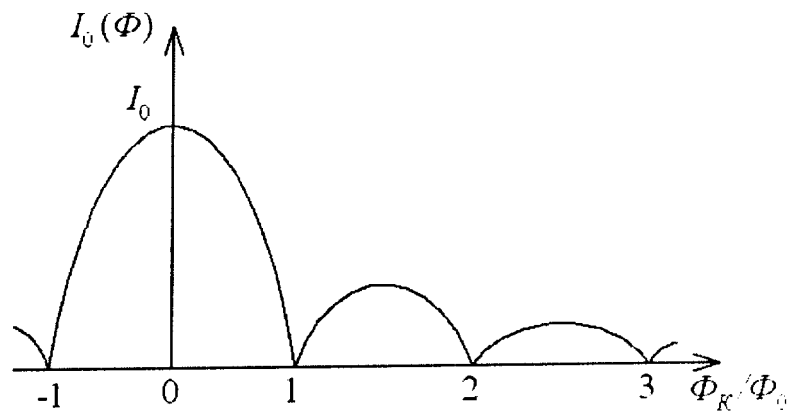
Формула изобретения

5 1. Джозефсоновский криотрон, содержащий верхнюю сверхпроводниковую дорожку из $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ с джозефсоновским контактом, отличающийся тем, что под верхней дорожкой располагается нижняя сверхпроводниковая дорожка из $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$, выполняющая функции экранирования и управления криотроном, при этом дорожки изолированы друг от друга в области
10 джозефсоновского контакта и соединены последовательно.

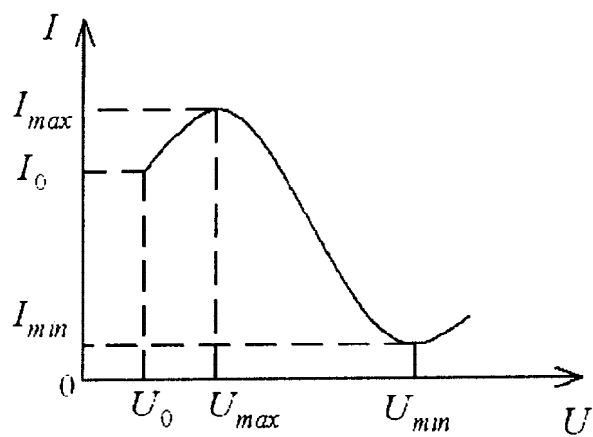
2. Способ изготовления джозефсоновского криотрона, в котором методом магнетронного распыления и фотолитографии формируют верхнюю сверхпроводниковую дорожку из $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$, где с помощью
15 атомно-силового микроскопа формируют джозефсоновский переход, отличающийся тем, что предварительно на подложке из MgO с помощью магнетронного распыления и фотолитографии формируют нижнюю сверхпроводниковую дорожку из $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$, выполняющую функции экранирования и управления криотроном, затем на
20 нее наносят изолирующий слой, на котором формируют вышеупомянутую верхнюю сверхпроводниковую дорожку с джозефсоновским контактом.



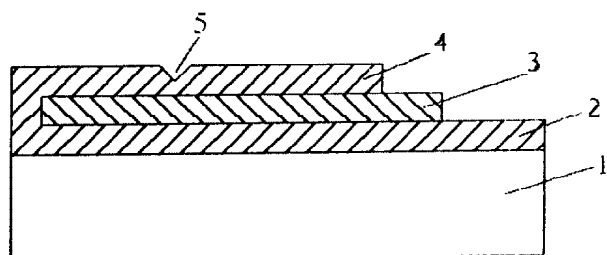
Фиг. 1



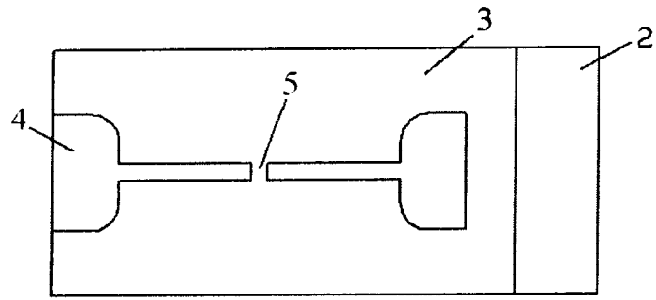
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5