



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2009115467/28, 24.04.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
24.04.2009

(45) Опубликовано: 10.09.2010 Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US 7304358 A2, 06.03.2006. RU 2248538 C2,  
20.03.2005. RU 2034372 C1, 20.03.2005. RU  
2251114 C1, 27.04.2005.

Адрес для переписки:

124498, Москва, Зеленоград, пр-д 4806, д.5,  
МИЭТ, патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Беспалов Владимир Александрович (RU),  
Золотарев Виталий Иосифович (RU),  
Рудаков Григорий Александрович (RU),  
Рыгалин Дмитрий Борисович (RU),  
Федирко Валерий Алексеевич (RU),  
Фетисов Евгений Александрович (RU),  
Хафизов Ренат Закирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

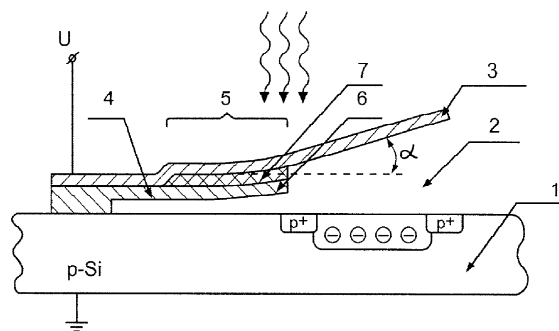
Общество с ограниченной  
ответственностью "ЭЛЕМ ИНФО" (RU)

## (54) ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ПОЛЕВОЙ ПРИБОР

(57) Реферат:

Изобретение относится к инфракрасной технике, а именно к преобразователям теплового излучения в электрический сигнал. Предлагаемый термочувствительный полевой прибор содержит конденсатор со структурой «металл - диэлектрик - полупроводник» (МДП) с подвижным проводящим полевым электродом, подвешенным на биморфной консоли над полупроводниковой подложкой. Часть консоли состоит из двух или более слоев с разными коэффициентами термического расширения. Под действием нагрева тепловым излучением консоль изгибается, эффективно изменяя величину изолирующего промежутка между проводящим электродом и полупроводниковой подложкой, что обеспечивает возможность тепловой

модуляции величины подвижного заряда или электрического тока в приповерхностной области полупроводника. Технический результат - реализация прибора с высокой термической чувствительностью за счет использования режима глубокого (сильного) обеднения в структуре с накоплением заряда. 4 ил.



Фиг. 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2009115467/28, 24.04.2009**(24) Effective date for property rights:  
**24.04.2009**(45) Date of publication: **10.09.2010 Bull. 25**

Mail address:

**124498, Moskva, Zelenograd, pr-d 4806, d.5,  
MIEhT, patentno-litsenzionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Bespalov Vladimir Aleksandrovich (RU),  
Zolotarev Vitalij Iosifovich (RU),  
Rudakov Grigorij Aleksandrovich (RU),  
Rygalin Dmitrij Borisovich (RU),  
Fedirko Valerij Alekseevich (RU),  
Fetisov Evgenij Aleksandrovich (RU),  
Khafizov Renat Zakirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju  
"EhLEM INFO" (RU)**

**(54) HEAT-SENSITIVE FIELD DEVICE**

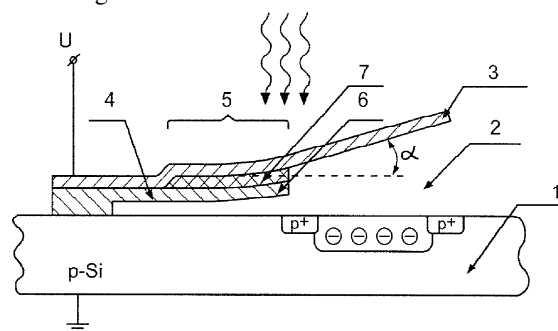
(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: heat-sensitive field device has a capacitor with a metal-insulator-semiconductor (MIS) structure with a movable conducting field electrode suspended on a bimorph cantilever over a semiconductor substrate. Part of the cantilever consists of two or more layers with different coefficients of thermal expansion. The cantilever bends under the heating effect of thermal radiation, thereby effectively changing the value of the insulating gap between the conducting electrode and the semiconductor substrate, which enables thermal modulation of the value of mobile charge or electric current in the surface region of the semiconductor.

EFFECT: design of a device with high thermal sensitivity owing to use of a deep depletion mode in the structure with charge accumulation.

4 dwg



Фиг. 2

Изобретение относится к инфракрасной технике, а именно к преобразователям теплового излучения в электрический сигнал.

Известен полупроводниковый полевой прибор, содержащий полупроводниковую подложку и проводящий электрод, отделенный от подложки слоем диэлектрика [1].  
5 Прибор управляется электрическим полем, возникающим в диэлектрическом слое и в приповерхностном слое полупроводника при приложении к проводящему электроду электрического напряжения. Возможность влияния теплового излучения на рабочие характеристики прибора чрезвычайно мала, так как определяются только  
10 температурной зависимостью физических параметров полупроводниковой подложки. Вследствие этого прибор не нашел применения в качестве преобразователя теплового излучения в электрический сигнал.

Известен кремниевый полевой транзистор с изолированным затвором, сформированный на кремниевой подложке и содержащий металлический затвор,  
15 отделенный от подложки слоем изолятора [2]. Функционирование прибора также основано на полевом эффекте, обеспечивающем возможность управления током в приповерхностном слое полупроводника под действием напряжения, приложенного к металлическому затвору. Однако низкая термическая чувствительность прибора  
20 также недостаточна для его целенаправленного эффективного использования в качестве преобразователя теплового излучения.

Наиболее близким по конструктивным признакам к предлагаемому изобретению является прибор со структурой, представленной патентом [3], а также прибор описан в статье [4]. Прибор включает в себя полупроводниковую подложку и проводящий  
25 затвор, отделенный от подложки не только слоем диэлектрика, а также и изолирующим промежутком. Характеристики прибора также могут лишь слабо изменяться под действием теплового излучения. Поэтому предложенный в указанной работе прибор не обеспечивает термической чувствительности, конкурентной по  
30 сравнению с известными современными тепловыми, например болометрическими, преобразователями.

Задача, на решение которой направлено заявляемое изобретение, состоит в реализации прибора с высокой термической чувствительностью.

Для решения данной задачи предлагается следующая техническая концепция  
35 построения неохлаждаемых ИК приемников. Предлагаемый термочувствительный полевой прибор строится не на болометре, а на конденсаторе со структурой «металл - диэлектрик - полупроводник» (МДП) с проводящим полевым электродом, подвешенным на биморфной консоли. При этом новое качество - резкое повышение  
40 чувствительности - достигается за счет использования режима глубокого (сильного) обеднения в такой структуре МДП, а в качестве сигнала используется накопленный заряд. Для считывания изображения могут применять приборы с зарядовой связью (ПЗС).

Предлагаемое изобретение обеспечивает достижение высокой термической  
45 чувствительности полупроводникового прибора, содержащего полупроводниковую подложку и проводящий затвор, отделенный от подложки изолирующим промежутком, за счет конструктивного элемента, который представляет собой консоль, соединяющую проводящий электрод с подложкой. При этом указанная  
50 консоль представляет собой тонкопленочную структуру, по крайней мере, часть которой является полиморфной, то есть состоит из двух или более слоев с разными коэффициентами термического расширения. За счет нагрева под действием теплового излучения консоль, изгибаясь, эффективно изменяет величину изолирующего

промежутка между проводящим электродом и полупроводниковой подложкой, что обеспечивает возможность тепловой модуляции величины подвижного заряда или электрического тока в приповерхностной области полупроводника.

В основе функционирования прибора по заявляемому изобретению лежат физические процессы термического расширения материалов полиморфной части консоли, которая соединяет проводящий электрод с полупроводниковой подложкой, и накопления заряда в МДП-структуре при ее глубоком обеднении. Поскольку полиморфная часть выполнена из материалов с разными коэффициентами термического расширения, воздействие теплового излучения на поверхность проводящего электрода приводит к изгибу консоли и, следовательно, к изменению величины изолирующего промежутка, отделяющего затвор от подложки. Это обеспечивает возможность тепловой модуляции величины подвижного заряда в приповерхностной области полупроводника или электрического тока через нее.

Важная особенность предложенного прибора состоит в том, что он эффективно функционирует при комнатных и даже несколько более высоких температурах, что выгодно отличает его от квантовых приемников, требующих глубокого охлаждения. Конструкция прибора предусматривает использование в качестве проводящего электрода и консоли тонкопленочной структуры, для нагрева которой требуется незначительное количество тепла, что обеспечивает высокое быстродействие и минимальные значения обнаружимой разности температур.

На Фиг.1 схематически представлено поперечное сечение предлагаемого термочувствительного полевого прибора, где:

- 1 - полупроводниковая подложка;
- 2 - изолирующий промежуток, отделяющий от подложки затвор;
- 3 - проводящий (металлический) электрод;
- 4 - консоль;
- 5 - часть консоли, состоящая из двух слоев с разными коэффициентами термического расширения;
- 6 - первый (нижний) слой консоли;
- 7 - второй (верхний) слой консоли;
- U - потенциал, приложенный к проводящему электроду.

При этом электрод расположен на присоединенной к подложке консоли, по крайней мере, часть которой состоит из двух или более слоев с разными коэффициентами термического расширения.

На Фиг.2 пояснен принцип действия термочувствительного полевого прибора, где:

- 1 - полупроводниковая подложка;
- 2 - изолирующий промежуток;
- 3 - проводящий электрод;
- 4 - консоль;
- 5 - часть консоли, состоящая из двух слоев с разными коэффициентами термического расширения;
- 6 - первый (нижний) слой консоли;
- 7 - второй (верхний) слой консоли;
- U - потенциал электрода;
- $\alpha$  - угол изгиба консоли.

На Фиг.3 приведен пример схемы считывания заряда термочувствительного МДП-конденсатора, где:

- V1 - транзистор для восстановления исходного потенциала затвора транзистора V2;

V2 - активный транзистор истокового повторителя;  
 V3 - нагрузочный транзистор истокового повторителя;  
 RG - затвор для инжекции заряда в приповерхностную область подложки  
 структуры «полевой электрод - изолирующий промежуток - подложка»;

R - затвор транзистора V1;

RL - затвор транзистора V3;

U - потенциал проводящего электрода;

VDD - напряжение питания схемы считывания.

На Фиг.4 показан другой пример схемы считывания - схема интегрирования тока термочувствительного полевого транзистора, где:

V1 - транзистор для восстановления исходного потенциала под затвором G1;

R - затвор транзистора V1;

G1 - электрод накопления заряда;

G2 - входной затвор ПЗС-регистра;

CCD - первый электрод переноса заряда в ПЗС-регистре;

U - потенциал проводящего электрода;

VDD - напряжение питания схемы считывания.

Прибор может быть реализован на полупроводниковой подложке определенного типа проводимости, например на кремниевой подложке p-типа проводимости.

Приповерхностная область подложки, локализованная под проводящим подвижным электродом, отделена от остальной поверхности полупроводника областями с повышенной концентрацией основной легирующей примеси (области p+).

Часть консоли, соединяющей проводящий электрод с подложкой, содержит два или более слоя с разными коэффициентами термического расширения. Под действием теплового излучения консоль изгибается на угол  $\alpha$  (Фиг.2), изменяя величину d изолирующего промежутка между проводящим электродом и подложкой на  $\Delta d$ , что приводит к изменению удельной емкости структуры «подвижный электрод - изолирующий промежуток - подложка» на величину  $\frac{\epsilon \Delta d}{4\pi d^2}$

где  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость изолирующего промежутка.

Изменение емкости обеспечивает изменение удельной накопительной зарядовой способности структуры на  $\Delta Q = \frac{\epsilon \Delta d}{4\pi d^2} U$ ,

где U - потенциал, приложенный к проводящему подвижному электроду.

Электрическая схема, позволяющая считывать указанную модуляцию заряда, может быть построена, например, так, как показано на Фиг.3. Здесь термочувствительный МДП-конденсатор со структурой «подвижный электрод - изолирующий промежуток - подложка», представленной на Фиг.1, 2, окружен пунктирной линией. Заряд неосновных носителей Q в приповерхностной области подложки структуры «электрод - изолирующий промежуток - подложка», который зависит от интенсивности теплового излучения, инжектируется в приповерхностную область структуры при открытии затвора RG. Считывание потенциала, пропорционального величине этого заряда, производится с помощью истокового повторителя, образованного транзисторами V2 и V3. При этом указанный повторитель обеспечивает поступление на выход сигнала, усиленного по мощности. Транзистор V1 служит для восстановления исходного значения потенциала на плавающем узле затвора транзистора V2.

На основе предлагаемого прибора может быть также реализован полевой

транзистор, в котором изгиб консоли под действием теплового излучения обеспечит модуляцию электрического тока, протекающего через его канал.

Крутизна полевого транзистора  $g$ , то есть способность управления током между его истоком и стоком изменением потенциала затвора, обратно пропорциональна величине зазора  $d$  и длине проводящего канала  $L$ , то есть  $g \sim \frac{1}{dL}$ . Поэтому нагрев

консоли под действием теплового излучения, обеспечивающий, например, уменьшение изолирующего промежутка, приводит к увеличению тока через полевой транзистор.

Изменение тока фиксируется, например, включением рассматриваемого транзистора в состав схемы, представленной на Фиг.4, в которой обеспечивается интегрирование тока  $J$  транзистора путем реализации режима накопления заряда  $Q$  под затвором  $G1$ ,

$$Q = \int_0^t J dt.$$

Важным фактором практической реализации такой схемы в составе матричного приемника является то, что время интегрирования  $t$  может достигать величины, равной времени кадра. Это, наряду с оптимизацией топологических размеров транзистора, обеспечивает достижение высоких значений тепловой чувствительности приемников на его основе. В описываемом примере считывание накопленного заряда осуществляется ПЗС-регістром после открывания затвора  $G2$ . Так же, как и в схеме на Фиг.3, транзистор  $V1$  служит для восстановления исходного значения потенциала плавающей приповерхностной области полупроводника МДП-конденсатора  $G1$ .

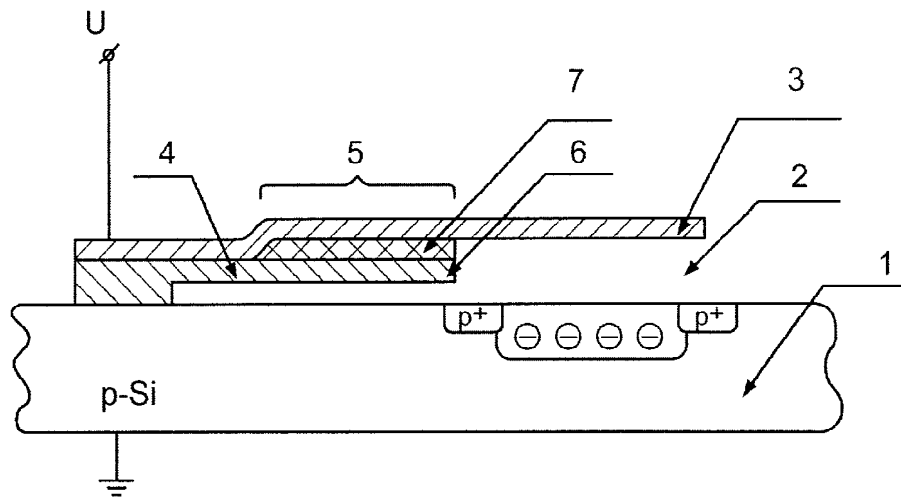
Таким образом, предлагаемый прибор представляет собой высокочувствительный преобразователь теплового излучения в электрический сигнал.

Источники информации

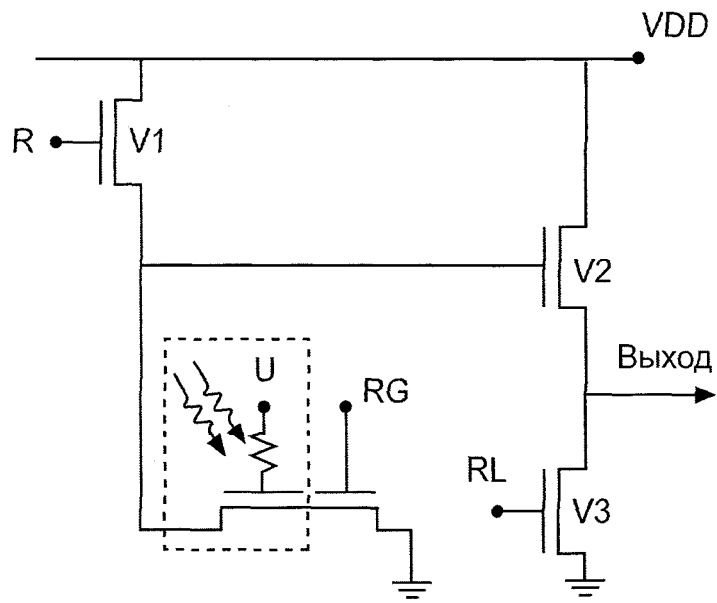
1. Патент США №3102230.
2. Hofstein, S.R. and Heiman, F.P. «The Silicon Insulated Gate Field Effect Transistor», Proceedings of the IEEE, vol. 51, 1963, pp.1190-1202.
3. Патент США №7304358.
4. N.Abele, R.Fritchi, K.Boucart et al., «Suspended-gate MOSFET: bringing new MEMS functionality into solid-state MOS transistor», IEDM Technical Digest, 2005, pp.479-481.

#### Формула изобретения

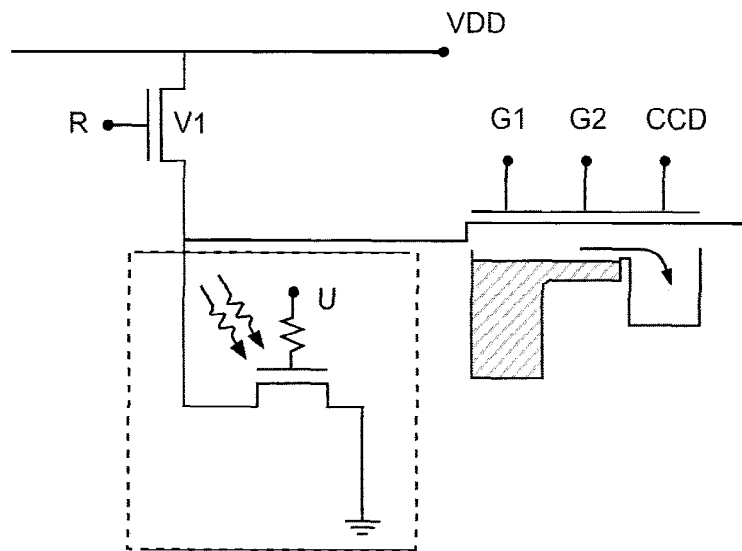
Термочувствительный полевой прибор, содержащий полупроводниковую подложку и подвижный проводящий электрод, отделенный от подложки изолирующим промежутком, отличающийся тем, что электрод расположен на присоединенной к подложке консоли, по крайней мере часть которой состоит из двух или более слоев с разными коэффициентами термического расширения.



Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 4