

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

(19) **ВУ** (11) **6828**

(13) **С1**

(51)<sup>7</sup> **H 01L 35/28**



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(54)

**ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ХОЛОДИЛЬНИК**

(21) Номер заявки: а 20010872

(22) 2001.10.19

(46) 2005.03.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет; Сычик Василий Андреевич (ВУ)

(72) Авторы: Сычик Василий Андреевич; Сычик Андрей Васильевич; Шамкалович Владимир Иванович; Шумило Виктор Степанович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет; Сычик Василий Андреевич (ВУ)

(57)

Термоэлектрический холодильник, включающий полупроводниковый термопреобразователь, содержащий р- и n-полупроводниковые области с омическими контактами, р-п-переход, внешние электрические выводы, отличающийся тем, что р-п-переход сформирован в виде n-р-гетероперехода, толщина контактирующей с n-р-гетеропереходом n-области составляет (0,5...0,8) диффузионной длины пробега электронов, толщина контактирующей с n-р-гетеропереходом р-области составляет (2...5) диффузионной длины пробега электронов, причем n-полупроводник является узкозонным, а р-полупроводник - широкозонным.

(56)

US 5064476 A, 1991.

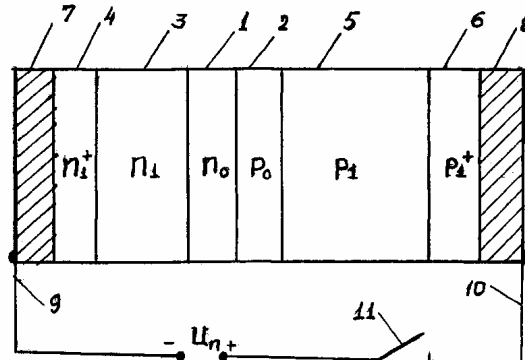
RU 2129745 C1, 1999.

RU 2110021 C1, 1998.

RU 2117362 C1, 1998.

WO 94/28364

JP 63273466 A, 1988.



Фиг. 1

# ВУ 6828 С1

Изобретение относится к полупроводниковым термопреобразователям, функционирующим на эффекте Пельтье, и может быть использовано в холодильных агрегатах бытовых и специальных холодильных аппаратов.

Известен термоэлектрический холодильник [1], который содержит термоэлектрические преобразователи термопарного типа с радиаторными пластинами, вентиляционный блок и источник питания. Такой преобразователь электрической энергии в тепловую обладает небольшой температурой охлаждения и сложной конструкцией.

Также известен термоэлектрический холодильник [2], который содержит несколько термоэлектрических модулей, каждый из которых составлен из множества объединенных попарно термоэлектрических элементов. На одной стороне каждого модуля имеется рабочий канал, на другой стороне модуля размещен теплообменник. Такой термопреобразователь также обладает сложной конструкцией и невысокими техническими параметрами.

Прототипом предлагаемого изобретения является термоэлектрический холодильник [3], который содержит ленту с проводящей полоской, из которой формируют матрицу контактов для первой стороны термоэлектрического холодильника. Матрица контактов прикреплена к изолирующей пластине, представляющей плату термопреобразователя. Термоэлектрические элементы р-п-типа проводимости, расположенные между контактами платы и выводами, включают р-п-переход с примыкающими р- и п-полупроводниковыми областями и омическими контактами.

Недостатками прототипа являются:

а) сложная конструкция термоэлектрического холодильника, содержащая множество элементов, кроме полупроводникового р-п преобразователя;

б) невысокая стабильность работы термоэлектрического холодильника из-за большого числа коммутирующих соединений;

в) поскольку используется узкозонный р-п переход, например из германия, и высота его потенциального барьера незначительна (десятые доли эВ), термоэлектрический холодильник обладает небольшой температурой охлаждения, не выше  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Техническим результатом изобретения является повышение температуры охлаждения и стабильности работы.

Поставленная задача достигается тем, что в термоэлектрическом холодильнике, включающем полупроводниковый термопреобразователь, содержащий р- и п-полупроводниковые области с омическими контактами, р-п переход, внешние электрические выводы, р-п переход сформирован в виде р-п гетероперехода, толщина контактирующей с п-р гетеропереходом п-области составляет  $(0,5...0,8)$  диффузионной длины пробега электронов, толщина контактирующей с п-р гетеропереходом р-области составляет  $(2...5)$  диффузионной длины пробега электронов, причем п-полупроводник является узкозонным, а р-полупроводник - широкозонным.

Температура охлаждения термоэлектрического холодильника-прототипа не превышает  $-10^{\circ}\text{C}$ , а температура охлаждения предлагаемого устройства на гетеропереходе типа  $\text{pGe-pGaAs}$  достигает  $-20^{\circ}\text{C}$ , причем благодаря существенному упрощению конструкции более чем в три раза повышается стабильность его работы.

Изложенная сущность изобретения поясняется фиг. 1, 2.

На фиг. 1 изображена конструкция ТЭХ, на фиг. 2 - его зонная диаграмма.

Конструктивно термоэлектрический холодильник состоит из гетероперехода, включающего обедненную  $n_0$ -область 1 из узкозонного полупроводника и обедненную  $p_0$ -область 2 - из широкозонного полупроводника. Обедненная  $n_0$ -область 1 контактирует с узкозонной  $n_1$  - полупроводниковой областью 3 и сильнолегированным  $p_1^+$  слоем 4, а обедненная  $p_0$  область 2 контактирует с широкозонной  $p_1$  полупроводниковой областью 5 и сильнолегированным  $p_1^+$  слоем 6. На сильнолегированных  $p_1^+$  и  $p_1^+$  слоях 4 и 6 размещены омические контакты 7 и 8, которые жестко связаны с внешними выводами 9 и 10.  $n_1$  - область 3 ТЭХ изготавливается из узкозонного полупроводника, обладающего высокой

# ВУ 6828 С1

подвижностью носителей, большим временем их жизни и возможностью методом легирования создавать в его объеме сильнолегированные слои, например из германия. Ширина  $n_1$ -области 3 ТЭХ определяется минимумом потерь электронов, инжектируемых источником питания  $U_n$ , подключаемым коммутатором 11, и, как показали результаты эксперимента, составляет  $(0,5...0,8)L_d$ , где  $L_d$  - диффузионная длина пробега электронов в  $n_1$ - или  $p_1$ -области.  $P_1$  область 5 ТЭХ формируется из широкозонного полупроводника с большим временем жизни носителей и также возможностью создавать методом легирования в его объеме сильнолегированные слои, например из арсенида галлия. Ширина  $p_1$  области определяется полным поглощением в ней тепловой энергии электронов, экстрагируемых из  $n_1$ - в  $p_1$ -область и, как показали результаты эксперимента, составляет  $(2...5)L_d$ .

Сильнолегированный  $n_1^+$  слой 4 представляет часть  $n_1$ -области 3, который сформирован путем введения высокой концентрации донорной примеси  $N_d \cong 10^{20} \text{ см}^{-3}$ , обладает малым сопротивлением и обеспечивает омический контакт с металлическим слоем 7.

Сильнолегированный  $p_1^+$ -слой 6 представляет часть  $p_1$ -области 5 и также сформирован методом диффузии или ионной имплантации при введении высокой концентрации акцепторной примеси  $N_a \cong 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . Он обладает высокой проводимостью и обеспечивает омический контакт с металлическим слоем 8. Для контакта невырожденных полупроводников количество поглощаемого тепла в  $p_1$ -области 5 от инжекции в нее электронов из  $n_1^+$ -области 3 зависит от соотношения концентрации электронов в этих областях ( $n_{n1}/n_{p1}$ ), поэтому узкозонная  $n_1$  область 3 легирована примесью с концентрацией примеси  $N_{d1} \cong 10^{18}...10^{19} \text{ см}^{-3}$ , а широкозонная  $p_1$  область 5 легирована акцепторной примесью  $N_{a1} \cong 10^{16}...10^{17} \text{ см}^{-3}$ .

Поскольку в рабочем режиме примесь узкозонного полупроводника, то есть  $n_1$ -области 3 полностью ионизирована, то концентрация электронов в  $n_1$ -области  $n_{n1} \cong 10^{18}...10^{19} \text{ см}^{-3}$ , а концентрация электронов в широкозонной полупроводниковой  $p_1$ -области 5 будет меньше концентрации носителей для собственного полупроводника, то есть  $n_{p1} \cong 10^8 \text{ см}^{-3}$ , то соотношение  $n_{n1}/n_{p1} \geq 10$ . Количество поглощаемого тепла также зависит от разности энергий инжектированных из  $n_1$ -области 3 электронов и энергии элект-

тронов в  $p_1$ -области 5, то есть  $A = \frac{w_2}{w_1} \cong \frac{E_{g2}}{E_{g1}}$ , где  $A$  - коэффициент, учитывающий соот-

ношение энергий электронов в узкозонном  $w_1$  и широкозонном  $w_2$  полупроводниках;  $E_{g1}$ ,  $E_{g2}$  - ширина запрещенной зоны узкозонного и широкозонного полупроводников. Для  $n_0\text{Ge} - p_0\text{GaAs}$  гетероперехода коэффициент  $A = E_{g2}/E_{g1} = 1,43/0,66 \cong 2,2$ .

Для обеспечения максимальной инжекции электронов из  $n_1$ -области 3 узкозонного полупроводника в  $p_1$ -область 5 широкозонного полупроводника, то есть исключения потерь на границе контакта  $n_0$ - $p_0$  обедненных областей 1 и 2 узкозонный материал (Ge) и широкозонный материал (GaAs) выбираются с одинаковыми структурой и постоянными решеток  $a_1$  и  $a_2$ , а относительное их изменение  $\Delta = \left(\frac{2(a_2 - a_1)}{a_2 + a_1}\right) \cdot 100 \leq 2\%$ . Для гетероперехода

$n_0\text{Ge}-p_0\text{GaAs}$   $\Delta \cong 1\%$ . Для повышения эффективности отбора тепла из охлаждаемого объема термоэлектрический холодильник устанавливается на радиатор.

Термоэлектрический холодильник работает следующим образом. При подаче питающего напряжения прямой полярности  $U_n$  через коммутатор 11 на внешние выводы термоэлектрического холодильника  $n_1$ -области 3 начинает инжектировать через  $n_0$ - $p_0$  гетеропереход электроны в  $p_1$ -область 5. Плотность тока через  $n_0$ - $p_0$  гетеропереход определяется из выражения

$$I \cong I_s \left[ \exp\left(\frac{eU_n}{kT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

# BY 6828 C1

и экспоненциально возрастает с повышением питающего напряжения. В (1)  $I_s$  - ток насыщения;  $e$ ,  $k$ ,  $T$  - соответственно заряд электрона, постоянная Больцмана, температура. Инжектирующие в  $p_1$ -область 5 электроны на расстоянии диффузионной длины  $L_d$  поглощаются из кристаллической решетки этой области энергию и повышают ее до величины энергии электронов  $p_1$ -области 5. В результате отбора энергии инжектированными электронами от кристаллической решетки  $p_1$ -области 5 ее температура и соответственно температура термоэлектрического холодильника понижается. Величина поглощаемой тепловой энергии определяется зависимостью

$$Q_n = \Pi It, \quad (2)$$

где  $\Pi$  - коэффициент Пельтье;  $I = J \cdot S$  - ток, протекающий через  $n_0$ - $p_0$  гетеропереход сечением  $S$ ;  $t$  - время протекания тока. Коэффициент Пельтье для  $n$ - $p$  гетероперехода из невырожденных полупроводников определяется из зависимости

$$\Pi = A \frac{kT}{e} \ln \frac{n_2}{n_1}, \quad (3)$$

где  $A$  - коэффициент, учитывающий соотношение энергии электронов в  $p$  и  $n$  областях;  $n_1$  и  $n_2$  - концентрация собственных электронов в  $n$ - и  $p$ -областях.

Повышение диапазона рабочих отрицательных температур в предложенном термоэлектрическом холодильнике по сравнению с аналогами, где используется  $p$ - $n$  гомопереход, обусловлено существенным повышением коэффициента Пельтье. Для предлагаемого  $n_0$ Ge- $p_0$ GaAs гетероперехода с  $n_1$ - и  $p_1$ -областями коэффициент  $A = 2,2$ , а соотношение  $\ln n_2/n_1 \leq 6$ . Поэтому с учетом (2) поглощаемая тепловая энергия предлагаемым термоэлектрическим холодильником по сравнению с прототипом возрастает в  $n = 2,2 \cdot \frac{10}{6} \cong 3,7$  раз.

Повышение стабильности работы предложенного устройства в сравнении с аналогами заключается в существенном упрощении ее конструкции и использовании в качестве теплопоглощающей области широкозонного полупроводника.

Создано экспериментальное устройство - термоэлектрический холодильник с  $n$ Ge- $p$ GaAs гетеропереходом.  $n^+$ -слой толщиной 0,3 мкм выполнен на основе Ge, легированного фосфором до концентрации  $N_d \cong 3 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ,  $p_1$  - область представляет слой германия толщиной 0,6 мкм, легированный фосфором с концентрацией  $N_d \cong 6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Суммарная толщина  $n_0$ - $p_0$  гетероперехода составляет 0,65 мкм, примыкающая  $p_1$ -область выполнена на основе GaAs, легированного акцепторной примесью - кадмием с концентрацией  $N_a \cong 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ,  $p^+$ -слой сформирован в GaAs путем введения Cd ионной имплантацией с последующей разгонкой, причем  $N_a \cong 2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ , а его толщина составляет 0,3 мкм. Внешние выводы сформированы к  $n^+$  слою структурой Cd-Al-Ni общей толщиной 1,2 мкм, а к  $p^+$  слою - структурой Sb-Al-Ni толщиной 1,3 мкм.

Экспериментальный термоэлектрический холодильник при плотности прямого тока  $1 \text{ А/см}^2$  позволяет получать предельную температуру охлаждения  $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ , расчетная надежность безотказной работы устройства составляет  $\sim 10^5$  часов. Для прототипа эти параметры соответственно составляют  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $2 \cdot 10^4$  часов.

На базе предлагаемого устройства при использовании матрицы элементов может быть создан термохолодильник требуемых объемов охлаждения и температур.

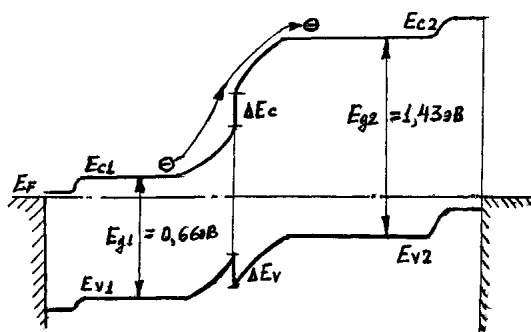
Технико-экономические преимущества предлагаемого термоэлектрического холодильника в сравнении с базовым устройством-прототипом и другими аналогами:

1. Более чем в два раза возрастает предельная температура охлаждения.
2. Более чем в 5 раз повышается стабильность работы термоэлектрического холодильника.

# ВУ 6828 С1

Источники информации:

1. А.с. СССР 1791874, МКИ<sup>5</sup> Н01L 35/28 // БИ № 4, 1993.
2. Патент США № 4134803, МКИ<sup>4</sup> Н01L 35/28 // ИСМ № 21, 1987.
3. Патент США № 5064476, МКИ<sup>5</sup> Н01L 35/34 // ИСМ № 12, 1993.



Фиг. 2