

Наносят на свободные от просветляющего слоя участки p^+ - и p^+ -слоев более широкозонного полупроводника электронно-лучевым напылением омических контактов путем последовательного нанесения на p -слой структуры $Cd-Al-Ni$ суммарной толщиной 1,5...2,0 мкм и на p^+ -слой структуры $Te-Al-Ni$ общей толщиной 1,5...2,0 мкм.

Завершающей операцией способа изготовления преобразователя солнечной энергии является термоотжиг сформированной структуры в инертной среде в течение 10... 15 мин при температуре 300...450 °С для создания надежных омических контактов к p^+ - и p^+ -слоям широкозонного полупроводника (GaAs) и полупроводника (AlAs).

Изготовленный предложенным способом полупроводниковый преобразователь солнечной энергии с фоточувствительной структурой на двух последовательно соединенных n - p - и p - p -структурах типа $nGaAs-pGaAs-pGa_xAl_{(1-x)}As-pAlAs$ и $pGaAs-nGaAs-nGa_xAl_{(1-x)}As-nAlAs$ размером рабочей поверхности первой и второй областей фоточувствительной структуры 5×10 мм

каждая позволяет получать при интенсивности солнечного излучения с энергией $P_v = 65$ мВт/см выходную электрическую мощность $P_{ат} = 40\text{--}50$ мВт/см², максимальное выходное напряжение $U_{ам} = 2,6$ В и максимальный выходной ток $I_{ам} < 20$ мА/см².

Технико-экономические преимущества полупроводникового преобразователя солнечной энергии, полученного предлагаемым способом, в сравнении известными способами-аналогами:

- более чем в 3 раз возрастает выходная мощность;
- более чем в 2 раза возрастает фотоЭДС.

Литература

1. Пат. 20122261 Рос. Федерация, МПК H01L 31/18. Способ изготовления фотоэлектрического преобразователя / А. В. Иванов, Б. П. Сидоров. – № 20122259; опубл. 10.08.2021, Бюл. № 22.
2. Пат. 02148876 Рос. Федерация, МПК H01L 31/18. Фотоэлектрический модуль и способ его изготовления / В. К. Петров, С. М. Козлов. – № 02148876; опубл. 27.04.2004, Бюл. № 12.

УДК 681.325

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СОЛНЕЧНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА Сычик В. А., Уласюк Н. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Способ изготовления термоэлектрического солнечного холодильника включает формирование термоэлектрического элемента, в котором на поверхность монокристаллической подложки из-за широкозонного полупроводника наносится первый p^+ -слой, который размещают на металлическом основании, на противоположной поверхности подложки формируют n -слой, на который последовательно наращивают эпитаксиальный i -слой и второй p^+ -слой, образца $p^+-i-n-p^+$ структуру из широкозонного полупроводника и наносит на второй p^+ -слой электропроводящий просветляющий оптически прозрачный слой.

Ключевые слова: термоэлектрический холодильник, монокристаллическая подложка, широкозонный полупроводник, металлическое основание, эпитаксиальный слой, омический контакт, просветляющий слой.

FORMATION OF A SEMICONDUCTOR SOLAR REFRIGERATOR Sychyk V. A., Ulasiuk M. M.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. The method for manufacturing a thermoelectric solar refrigerator includes forming a thermoelectric element in which a first p^+ layer is applied to the surface of a single-crystal substrate from a wide-bandgap semiconductor, which is placed on a metal base, an n -layer is formed on the opposite surface of the substrate, onto which an epitaxial i -layer and a second p^+ layer are successively grown, of a $p^+-i-n-p^+$ structure from a wide-bandgap semiconductor, and an electrically conductive, antireflective, optically transparent layer is applied to the second p^+ layer.

Keywords: thermoelectric refrigerator, single-crystal substrate, wide-bandgap semiconductor, metal base, epitaxial layer, ohmic contact, antireflection layer.

Адрес для переписки: Сычик В. А. 220095 г. Минск, пр-т Рокоссовского, 49-18
e-mail: bntu@bntu.by

Термоэлектрические холодильники – это новые типы полупроводниковых устройств, функционирующих на эффекте Пельтье и осуществляющих преобразование солнечной лучистой энергии в минусовые температуры на выходе.

Существует способ создания термоэлектрического солнечного холодильника [1], включающий операцию нанесения на подложку из анизотропного материала элементов – полупроводников n -типа и p -типа проводимости, на которых

формируют омические контакты. Такой способ изготовления термоэлектрического холодильника не позволяет создавать полупроводниковый солнечный холодильник на основе p - n переходов с высокой температурой охлаждения.

Также известный способ изготовления полупроводникового термоэлектрического холодильника [2], который включает операции нанесения на ленту из проводящей плоской матрицы омиче-

ских контактов к изолирующей пластине, нанесения на р-области р-п переходов, формирования омических контактов на торцевых сторонах п-областей переходов, прикрепления внешних выводов к омическим контактам.

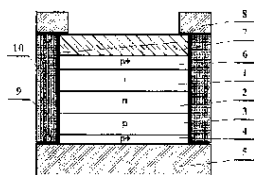


Рисунок 1 – Структура термоэлектрического солнечного холодильника

Изготовленные таким способом термоэлектрические холодильные структуры обладают: сложной технологией изготовления термоэлектрического холодильника, включая операции формирования омических контактов к р- и п-областям, изготовления ленты с проводящей пленкой, нанесения на эту пленку матрицы омических контактов, прикрепления контактов к изолирующей пластине и посадки р-п перехода на эти контакты причем, созданный этим способом термоэлектрический холодильник не может осуществлять прямое преобразование солнечной энергии в холод.

Нами создан способ получения термоэлектрического солнечного холодильника, позволяющего осуществить прямое преобразование солнечной энергии в холод, существенно увеличить рабочую температуру охлаждения полупроводникового термоэлектрического холодильника и повысить стабильность его работы.

Технология изготовления термоэлектрического солнечного холодильника отображается структурой, изображенной на рисунке 1.

На полупроводниковой монокристаллической области (подложке) р-типа проводимости из широкозонного полупроводника, например кремния, легированной бором с концентрацией $N_A = (10^{16}-10^{19}) \text{ см}^{-3}$, толщиной $0,1 + 0,3 \text{ мм}$ формируют методом термической диффузии слой п-типа проводимости, легированный донорной примесью с концентрацией примеси $N_d = (10^{16} - 10^{19}) \text{ см}^{-3}$, толщиной $0,6 + 1,2 \text{ мкм}$. Температура диффузии примеси составляет $1100 + 1200 \text{ }^\circ\text{C}$, а время процесса диффузии – $0,6-0,8 \text{ часа}$.

На сформированный п-слой методом газовой эпитаксии наращивают эпитаксиальный слой кремния собственной проводимости толщиной $(0,7 + 0,9) \text{ мкм}$, поскольку диффузионная длина носителей заряда L_d в собственном полупроводнике выше, чем в примесном. Температура нагрева в зоне реакции $T = 600-700 \text{ }^\circ\text{C}$.

Методом термической диффузии на эпитаксиальном слое широкозонного полупроводника, например кремния, формируют сильнолегированный p^+ -слой, легированный акцепторной примесью-бором с концентрацией примеси $N_A = (10^{16} - 10^{19}) \text{ см}^{-3}$, толщиной $0,3-0,5 \text{ мкм}$.

Температура процесса диффузии бора $T = 1000-1100 \text{ }^\circ\text{C}$, а время процесса составляет $0,3-0,5 \text{ часа}$.

Методом термической диффузии на поверхности кремниевой монокристаллической р-области формируют сильнолегированный слой p^+ -типа толщиной $0,3-0,5 \text{ мкм}$ введением акцепторной примеси – бора с концентрацией $(10^{20} - 10^{21}) \text{ см}^{-3}$. Температура процесса диффузии бора $T = 1000-1100 \text{ }^\circ\text{C}$.

На сформированный p^+ -слой широкозонного полупроводника со стороны i-слоя наносят методом электронно-лучевого испарения или ионно-плазменного распыления проводящий слой из светопрозрачного материала, например из окиси олова или окиси индия, который является омическим контактом к p^+ -слою широкозонного полупроводника и просветляющим слоем. Температура процесса $T = 350-450 \text{ }^\circ\text{C}$.

С помощью электропроводящего клея, представляющего смесь эпоксидной смолы и алюминиевого или серебряного порошка, приклеивают сформированную $p^+-i-n-p^+$ структуру термоэлектрического солнечного холодильника к алюминиевому основанию по стандартной технологии. Затем путем приклеивания присоединяют внешние алюминиевые выводы к электропроводящему слою из светопрозрачного материала.

Методом микроконтактной или ультразвуковой сварки присоединяют металлическую проволоку к основанию и внешнему алюминиевому выводу термоэлектрического солнечного холодильника, обеспечивая короткое замыкание между его омическим выводом и основанием.

Завершающей операцией способа изготовления полупроводникового преобразователя солнечной энергии является термоотжиг сформированной $p^+-i-n-p^+$ структуры в инертной среде в течение $10-15 \text{ минут}$ при температуре $300-400 \text{ }^\circ\text{C}$ для создания надежных омических контактов к p^+ -слоям широкозонного полупроводника (кремния).

Формирование термоэлектрического солнечного холодильника на монокристаллической кремниевой подложке со структурой термочувствительного элемента $p^+-i-n-p$ типа с омическими контактами в соответствии с изложенной методикой приведена на рисунке 1.

На кремниевой монокристаллической подложке р-типа проводимости с концентрацией акцепторной примеси-бора $N_A = 10^{17} \text{ см}^{-3}$, ориентированной в плоскости (111) и с совершенной поверхностью, размером $48 \times 48 \text{ мм}$, толщиной $0,2 \text{ мм}$ формируют методом термической диффузии п-слой 2 толщиной $0,9 \text{ микрона}$ путем введения донорной примеси-фосфора с концентрацией $N_d = 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Температура процесса диффузии фосфора $T = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$, время процесса $0,6 \text{ часа}$.

На сформированный п-слой 2 методом гидридной эпитаксии из газовой фазы наносят эпитаксиальный i-слой 3 кремния собственной проводимости толщиной $1,3 \text{ микрона}$. Температура процесса эпитаксиального наращивания i-слоя 3

$T = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$, а средняя скорость наращивания i -слоя 3 составляет 25 А/с .

Методом термической диффузии на эпитаксиальном i -слое 3 кремния формируют сильнолегированный p^+ -слой 4 путем введения акцепторной примеси-бора с концентрацией $N_A = 10^{19} - 10^{20}\text{ см}^{-3}$ толщиной $0,4\text{ микрона}$. Температура диффузии бора $T = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, время процесса легирования составляет $0,5\text{ часа}$.

Методом термической диффузии на поверхности кремниевой монокристаллической подложки 1 p -типа проводимости формируют сильнолегированный p^+ -слой 5 толщиной 2 мкм с концентрацией легирующей примеси-бора $N_A = 10^{19} - 10^{20}\text{ см}^{-3}$. Температура диффузии бора $T = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, а время формирования p^+ -слоя 5 составляет $0,3\text{ часа}$.

На сформированный p^+ -слой 4 кремния методом ионно-плазменного распыления наносят проводящий слой 6 из светопрозрачного материала - окиси олова - толщиной 2 микрона , который является омическим контактом к p^+ -слою 4 и просветляющим слоем.

Размещают монокристаллическую кремниевую подложку 1 со сформированной $p^+ - i - n - p^+$ структурой на алюминиевом основании 7 размером $48 \times 48\text{ мм}$, толщиной 4 мм и жестко соединяют ее с алюминиевым основанием посредством электропроводящего клея. Алюминиевое основание 7 – это нижний вывод термоэлектрического солнечного холодильника.

Присоединяют к верхнему омическому контакту – электропроводящему слою 6 – верхний внешний вывод термоэлектрического солнечного

холодильника из алюминия шириной 3 мм и толщиной 1 мм по периметру электропроводящего слоя $6\text{ } 48 \times 48\text{ мм}$ посредством приклеивания его электропроводящим слоем состава: $70\text{ \%}$ алюминиевый порошок + $30\text{ \%}$ эпоксидного слоя.

Посредством ультразвуковой сварки по стандартной технологии присоединяют в четырех точках по периметру со сдвигом на 90° алюминиевые проволочные выводы толщиной $0,3\text{ мм}$ к алюминиевому основанию 7 и внешнему алюминиевому выводу 8.

Производят термоотжиг изготовленного термоэлектрического солнечного холодильника с термочувствительным элементом $p^+ - i - n - p$ типа в инертной среде в течение 15 минут при температуре $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ для создания надежных омических контактов к p^+ -слоям кремния.

Изготовленный предложенным способом термоэлектрический солнечный холодильник размером $48 \times 48\text{ мм}$ при интенсивности солнечного излучения 70 мВт/см^2 позволяет получать предельную температуру охлаждения $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а расчетная надежность работы устройства составляет 10^5 часов . Он обеспечивает прямое преобразование солнечной энергии в холод.

Литература

1. Пат. 5022928 США Термоэлектрический охлаждающий модуль / R. J. Buist, P. G. Lau. – № 07/434,800; заявл. 07.11.1989; опубл. 11.06.1991.
2. Пат. 9339 Беларусь Термоэлектрический генератор / А. К. Петров, В. Л. Сидоренко. – № a20020015; заявл. 10.01.2002; опубл. 30.09.2003, Бюл. № 3.