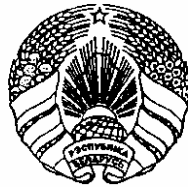


**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



(19) **ВУ** (11) **7007**
(13) **С1**
(46) **2005.06.30**
(51)⁷ **Н 01L 35/28**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(54) **СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО
ТЕРМОЭЛЕМЕНТА**

(21) Номер заявки: а 20020191
(22) 2002.03.05
(43) 2003.09.30

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

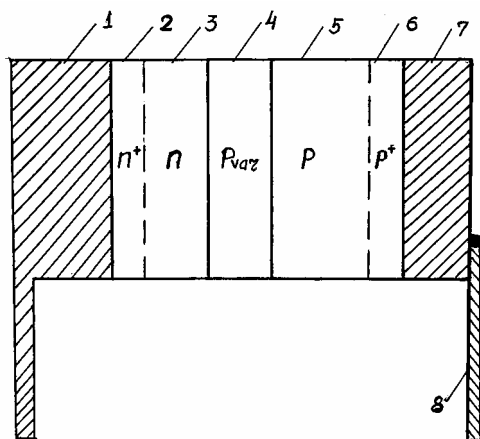
(72) Авторы: Сычик Василий Андреевич; Шумило Виктор Степанович; Шамкалович Владимир Иванович; Калантаева Татьяна Владимировна (ВУ)

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

(56) US 5064476 А, 1991.
RU 2117362 С1, 1998.
RU 2173493 С2, 2001.
WO 94/283647 А1.
JP 63273466 А, 1988.
EP 0592044 А2, 1994.

(57)

Способ изготовления полупроводникового термоэлемента, включающий формирование n- и p-областей p-n-перехода и нанесение на его торцевые стороны омических контактов, отличающийся тем, что p-n-переход формируют в виде гетероперехода путем нанесения на металлическое основание с внешним выводом сильнолегированного n⁺-слоя из бинарного соединения An1B_m, наращивания на n⁺-слое n-слоя из узкозонного бинарного соединения An1B_m, нанесения на n-слой варизонного слоя соединения An1_xAn2_{1-x}B_m с изменением параметра степени концентрации компонента в растворе x от 1 до 0 для снижения содержания компонента An1, наращивания на варизонном слое p-слоя из широкозонного бинарного соединения An2B_m, наращивания на p-слое сильнолегированного p⁺-слоя из бинарного соединения An2B_m; а на p⁺-слой наносят металлический слой, на котором формируют внешний вывод.



ВУ 7007 С1 2005.06.30

ВУ 7007 С1 2005.06.30

Изобретение относится к технологии формирования полупроводниковых термопреобразователей, функционирующих на эффекте Пельтье.

Известен способ изготовления полупроводникового термоэлемента [1], включающий операции нанесения на подложку из анизотропного материала чередующих элементов из полупроводниковых материалов n-типа и p-типа, на которых формируют омические контакты. Через соответствующие промежуточные элементы к омическим контактам присоединяют металлические выводы. Такой способ изготовления не позволяет создавать полупроводниковый термоэлемент на основе p-n переходов, который обладает малой температурой охлаждения.

Прототипом предлагаемого изобретения является способ формирования полупроводникового термоэлемента [2], который включает операции нанесения на ленту с проводящей полоской матрицы омических контактов, прикрепления матрицы контактов к изолирующей пластине, нанесения на p-области полупроводниковых p-n переходов омических контактов, формирования омических контактов на торцевых сторонах n-областей p-n переходов, прикрепления внешних выводов к омическим контактам p-n переходов.

Недостатками способа прототипа являются:

а) в структуре устройства данным методом формируется p-n переход, потенциальный барьер которого незначителен (десятые доли эВ), поэтому изготовленный таким методом полупроводниковый термоэлемент будет обладать невысокой температурой охлаждения;

б) сложная технология формирования омических контактов к p-n областям перехода, включающая операции изготовления ленты с проводящей пленкой, нанесения на эту пленку матрицы омических контактов, прикрепления омических контактов к изолирующей пластине и посадку изготовленного p-n перехода на эти контакты;

в) невысокая стабильность работы полупроводникового термоэлемента, поскольку формирование омических контактов к p- и n-областям перехода включает много операций с высокотемпературным нагревом, что также создает возможность внесения загрязнений в p- и n-области и ухудшения электрических свойств термоэлементов.

Техническим результатом изобретения является разработка способа получения полупроводникового термоэлемента на основе гетероперехода из бинарных соединений типа AnB_m , что позволит существенно увеличить рабочую температуру охлаждения полупроводникового термоэлемента и повысить стабильность его работы.

Поставленная задача достигается тем, что в способе изготовления полупроводникового термоэлемента, включающем формирование n- и p-областей p-n перехода и нанесение на его торцевые стороны омических контактов, - и p-n переход формируют в виде гетероперехода путем нанесения на металлическое основание с внешним выводом сильнолегированного n^+ -слоя из бинарного соединения $An1B_m$, наращивания на n^+ -слое n-слоя узкозонного бинарного соединения $An1_xAn2_{1-x}B_m$ с изменением параметра степени концентрации компонента в растворе x от 1 до 0 для снижения содержания компонента $An1$, наращивания на p-слое сильнолегированного p^+ -слоя из бинарного соединения $An2B_m$, а на p^+ -слое наносят металлический слой, на котором формируют внешний вывод.

Температура охлаждения полупроводникового термоэлемента на основе кремниевого p-n перехода, полученного способом-прототипом, не превышает -10°C , а температура термоэлемента, на основе бинарных соединений AnB_m , полученного предлагаемым способом, превышает -20°C , причем существенно улучшается стабильность работы термоэлемента.

Технология изготовления полупроводникового термоэлемента.

На заданный участок металлического основания, являющегося нижним электродом полупроводникового термоэлемента, методом эпитаксии из газовой фазы или молекулярно-лучевой эпитаксии наносят сильнолегированный n^+ -слой n-области гетероперехода из бинарного соединения AnB_m - узкозонного полупроводника. При формировании n^+ -слоя молекулярно-лучевой эпитаксией температура нагрева металлического основания составляет $300...400^\circ\text{C}$, а средняя скорость его наращивания с одновременным легированием

ВУ 7007 С1 2005.06.30

донорной примесью до концентрации $N_d \cong 10^{20} \text{ см}^{-3}$ составляет $V = 10 \dots 18 \text{ \AA/с}$. Затем после формирования n^+ -слоя заданной толщины (0,2...0,4 мкм) снижают плотность потока легирующей примеси и наращивают оставшуюся n -область гетероперехода из бинарного соединения An_1B_m , которая легирована донорной примесью с концентрацией $N_d \cong (3 \dots 8) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

На n -области из бинарного соединения An_1B_m формируют варизонный слой $An_1xAn_{2(1-x)}B_m$ посредством эпитаксии из газовой фазы или молекулярно-лучевой эпитаксией. Например, если n -область гетероперехода выполнена из узкозонного бинарного соединения $InAs$, а p -область гетероперехода выполнена из широкозонного бинарного соединения $GaAs$, то варизонный слой реализуется структурой $In_xGa_{1-x}As$, где x - параметр степени концентрации компонента в растворе, путем монотонного снижения интенсивности потока компонента An_1 от максимального значения до нуля и монотонного повышения интенсивности потока компонента An_2 от нуля до максимального значения. Параметр x изменяется от 1 до нуля. Режим формирования варизонного слоя $An_1xAn_{2(1-x)}B_m$ из бинарного соединения молекулярно-лучевой эпитаксией: температура нагрева n -области составляла $300 \dots 400 \text{ }^\circ\text{C}$, средняя скорость наращивания варизонного слоя $V \cong 5 \dots 15 \text{ \AA/с}$. Варизонный слой в процессе формирования акцепторной примесью с концентрацией $N_a = 10^{14} \dots 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Этот слой является промежуточным между n - и p -областями n - p гетероперехода, он обеспечивает соответствие в постоянных решетках p - и n -областей, а также плавность и непрерывность изменения ширины запрещенной зоны E_g от значения E_{g1} узкозонного полупроводника n -типа до значения E_{g2} широкозонного полупроводника p -типа, то есть исключается появление разрывов валентной зоны и зоны проводимости и потенциальных барьеров для переноса электронов через гетеропереход.

Наносят на сформированный варизонный слой $An_1xAn_{2(1-x)}B_m$ посредством эпитаксии из газовой фазы или молекулярно-лучевой эпитаксии слой акцепторного полупроводника, то есть p -область гетероперехода из бинарного соединения An_2B_m , который легируется в процессе роста акцепторной примесью с концентрацией $N_a \cong 10^{16} \dots 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Режим формирования p -области гетероперехода молекулярно-лучевой эпитаксией: температура нагрева металлического основания $300 \dots 400 \text{ }^\circ\text{C}$, средняя скорость наращивания слоя $V \cong 15 \dots 18 \text{ \AA/с}$.

Наращивают на p -области гетероперехода сильнолегированный p^+ -слой бинарного соединения An_2B_m толщиной 0,1...0,3 мкм путем повышения плотности потока акцепторной примеси до получения в p^+ -слое концентрации акцепторной примеси $N_a \cong 10^{20} \text{ см}^{-3}$.

Наносят на сформированный сильнолегированный p^+ -слой p -области гетероперехода ионно-плазменным или электронно-лучевым распылением металлический слой, являющийся омическим контактом к p^+ -слою. Осуществляют термоотжиг нанесенного металлического слоя в инертной среде в течение 10-15 мин при температуре $250 \dots 300 \text{ }^\circ\text{C}$.

Завершающей операцией изготовления полупроводникового термоэлемента является прикрепление к сформированному металлическому слою омического контакта внешнего электрического вывода.

Пример.

Изготовление полупроводникового термоэлемента типа $nInAs$ - $p_{var}In_xGa_{1-x}As$ - $pGaAs$ предлагаемым способом осуществляют на установке молекулярно-лучевой эпитаксии в соответствии с представленным на чертеже (фигура).

1. На алюминиевом основании 1 размером $5 \times 5 \text{ мм}$ с внешним выводом и приготовленной путем шлифовки, полировки, обезжиривания рабочей поверхностью наносят электронно-лучевым испарением слой теллура толщиной 0,01...0,03 мкм при температуре алюминиевого основания 1 $300 \text{ }^\circ\text{C}$.

2. На алюминиевую подложку с подслоем теллура молекулярно-лучевой эпитаксией из двух источников наносят сильнолегированный n^+ -слой 2 арсенида индия толщиной 0,2 мкм при температуре алюминиевого основания 1 $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Скорость наращивания n^+ -слоя 2 под-

BY 7007 C1 2005.06.30

держивают равной $15 \text{ \AA}/\text{с}$, при этом легирующей примесью является селен, а ее концентрацию в n^+ -слое 2 обеспечивают на уровне 10^{20} см^{-3} .

3. Снижая плотность потока испаряемого селена, наращивают в едином цикле молекулярно-лучевой эпитаксией n -область 3 гетероперевода - термоэлектрического преобразователя, то есть слой арсенида индия легированного селеном с концентрацией донорной примеси $N_d = 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ толщиной $0,5 \text{ мкм}$. Ширина запрещенной зоны InAs $E_{g1} = 0,36 \text{ эВ}$.

4. Наносят на n -область 3 посредством молекулярно-лучевой эпитаксии из трех источников варизонный p_{var} -слой 4 состава $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Формирование p_{var} -слоя 4 осуществляют при температуре алюминиевого основания $1 \text{ } 350 \text{ }^\circ\text{C}$ и скорости наращивания $10 \text{ \AA}/\text{с}$. Слой 4 легируют кадмием-акцепторной примесью в процессе роста до концентрации $N_a \cong 10^{15} \text{ см}^{-3}$, его толщина $0,3 \text{ мкм}$. Ширина запрещенной зоны p_{var} -слоя 4 изменяется от $0,36 \text{ эВ}$ до $1,43 \text{ эВ}$.

5. Посредством молекулярно-лучевой эпитаксии наносят на сформированный варизонный слой 4 p -область 5 гетероперевода из бинарного соединения GaAs толщиной 3 мкм . Процесс осуществляют из двух источников при температуре алюминиевого основания $1 \text{ } 350 \text{ }^\circ\text{C}$ со средней скоростью $15 \text{ \AA}/\text{с}$. В процессе наращивания p -области 5 ее легируют акцепторной примесью-кадмием с концентрацией $N_a \cong 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Ширина запрещенной зоны p -области из GaAs $E_{g2} = 1,43 \text{ эВ}$.

6. Формируют на p -области 5 сильнолегированный p^+ -слой 6 молекулярно-лучевой эпитаксией путем повышения интенсивности потока легирующей примеси - кадмия. Температуру нагрева алюминиевого основания 1 поддерживают $350 \text{ }^\circ\text{C}$, скорость наращивания $15 \text{ \AA}/\text{с}$, а концентрацию p^+ -слоя 6 обеспечивают на уровне $N_a \cong 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Толщина сформированного p^+ -слоя 6 составляет $0,2 \text{ мкм}$.

7. Наносят на сформированный p^+ -слой 6 электронно-лучевым испарением при температуре алюминиевого основания 1 $250 \text{ }^\circ\text{C}$ последовательно подслоем теллура толщиной $0,02 \text{ мкм}$, слоем алюминия толщиной 1 мкм и слоем никеля толщиной $0,5 \text{ мкм}$. Средняя скорость наращивания металлических слоев $60 \text{ \AA}/\text{с}$.

8. Осуществляют термоотжиг нанесенного металлического слоя 7 типа теллур-алюминий-никель в среде аргона в течение 15 мин при температуре $250 \text{ }^\circ\text{C}$.

9. Методом пайки или термокомпрессионной сварки присоединяют к металлическому слою 7 внешний медный или алюминиевый вывод 8.

Изготовленный предложенным способом полупроводниковый термоэлемент на основе бинарных соединений AnB_m , представляющий гетеропереход типа $n\text{InAs}-p_{\text{var}}\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}-p\text{GaAs}$ размером рабочей поверхности $5 \times 5 \text{ мм}$ обладает следующими параметрами: напряжение питания $1,5 \dots 5 \text{ В}$; рабочий ток $I_0 = 0,25 \text{ А}$; предельная температура охлаждения поверхности термоэлемента - $24 \text{ }^\circ\text{C}$.

Технико-экономические преимущества полупроводникового термоэлемента, полученного предлагаемым способом в сравнении с базовым устройством, полученным способом-прототипом:

1. Более чем в 2 раза возрастает предельная температура охлаждения поверхности термоэлемента.

2. Более чем в 3 раза повышается стабильность работы полупроводникового термоэлемента.

Источники информации:

1. Патент США 5022928, МПК Н 01L 35/28, 1993.

2. Патент США 5064476, МПК Н 01L 35/34, 1993.