

практически в два раза (от 1,2 до 2,4 МПа), однако при этом увеличивается коэффициент теплопроводности (от 0,18 до 0,43 Вт/(м·К)), пористость материала достигает 79 – 83 %.

УДК 681.3

### **Инжекционный лазерный элемент**

Сычик В.А., Уласюк Н.Н., Шумило В.С.  
Белорусский национальный технический университет

Авторами разработан инжекционный лазерный элемент, который обладает высоким КПД и упрощенной конструкцией. Конструктивно инжекционный лазерный элемент на биполярном транзисторе содержит триодную р–п–р структуру из монокристаллического широкозонного полупроводника, включающую эмиттер – сильнолегированный  $n^+$ – слой, базу слаболегированный р – слой, коллектор, представляющий вырожденный  $n^+$  – слой и рекомбинационный р – типа слой, причём область контакта  $n^+$  слоя и р – типа слоя представляет туннельный р–п переход. При подаче питающего напряжения  $U_n$ , к базовому р–п переходу прикладывается напряжение  $U_{бэ}$  прямой полярности, а к коллекторному переходу напряжение  $U_{кб}$  обратной полярности, происходит снижение высоты потенциального барьера эмиттерного перехода  $\phi_{10}$  до значения  $\phi_1 = \phi_{10} - eU_{бэ}$  и повышение потенциального барьера коллекторного перехода  $\phi_{20}$  до значения  $\phi_2 = \phi_{20} + eU_{кб}$ . В результате эмиттер транзисторной п–р–п структуры инжектирует в базу носители заряда – электроны, которые, проходя практически без потерь через тонкую базу, диффундируют в  $n^+$  – вырожденный слой, его зону проводимости, которая с ростом  $U_{кб}$  начинает значительно перекрывать валентную зону р-типа слоя. Избыточные электроны  $n^+$ –вырожденного слоя в виде импульсов тока высокой плотности благодаря сильному электрическому полю в туннельном  $n^+$ –р переходе туннелируют через узкий канал  $n^+$ –р перехода в р–типа слой. Здесь они достигают уровня инверсной населенности и рекомбинируют с дырками, поступающими в р–слой от положительного полюса напряжения источника питания  $U_n$ . В результате происходит спонтанная рекомбинация избыточных электронов р–типа слоя в зоне инверсной населенности с дырками по механизму зона– зона и выделение мощных фотонных потоков лазерного излучения. Лазерное излучение видимой области спектра выходит из поверхности р–слоя в проводящий слой из светопрозрачного материала и затем в окружающее пространство.

Экспериментальный образец размером полезной площади  $10 \times 10$  мм<sup>2</sup> при подаче на его вход через разделительный конденсатор импульсного напряжения в форме импульсов потока электронов длительностью  $10^{-5}$  с, частотой следования импульсов  $10^4$  Гц, плотностью потока электронов в

импульсе  $J = 10 \text{ А/см}^2$  обеспечивает генерацию светового излучения мощностью 50 Вт, яркость светового излучения  $B = 5 \cdot 10^3 \text{ кд/см}^2$ .

УДК 681.3

### Термоэлектрический холодильник

Сычик В.А., Уласюк Н.Н., Шумило В.С.

Белорусский национальный технический университет

Известные полупроводниковые холодильники обладают сложной конструкцией, небольшой температурой охлаждения и невысокой стабильностью работы. Авторами разработан полупроводниковый термоэлектрический холодильник (ПТЭХ), обладающий регулируемым диапазоном отрицательных температур и достаточно простой конструкцией. Конструктивно ПТЭХ состоит из  $n^+$ -основания, сформированного из узкозонного монокристаллического полупроводника, например германия, на котором создан  $p$ - $n$  гомопереход из того же материал, включающий  $n$ -слой и  $p$ -слой. Методом молекулярно - лучевой эпитаксии на  $p$ -слое узкозонного монокристаллического полупроводника создан монокристаллический  $i$ -слой из широкозонного полупроводника. Контакт  $p$ -слой узкозонного полупроводника и  $i$ -слой широкозонного полупроводника представляет гетеропереход. На  $i$ -слое из широкозонного полупроводника, например арсенида галлия, сформирован монокристаллический  $p$ -слой из того же полупроводника, причем  $i$ -слой и  $p$ -слой представляют гомопереход из широкозонного полупроводника. На  $p$ -слое методом ионной имплантации с последующей терморазгонкой примеси создан сильнолегированный  $p^+$ -слой для формирования внутреннего омического контакта. Толщина  $p$ -слоя  $d = (2 \div 5) L_d$ , поскольку в этом слое происходит отбор энергии инжектированными из  $p$ -слоя электронами, то есть охлаждение ПТЭХ. На сильнолегированных  $n^+$ -оснований 1 и  $p^+$ -слое размещены омические контакты, которые жестко связаны с внешними выводами. При подаче питающего напряжения прямой полярности  $U_n$  на внешние выводы ПТЭХ  $n^+$ -слой начинает эффективно инжектировать через  $p$ - $n$  гомопереход,  $p$ - $i$  гетеропереход и  $i$ - $n$  гомопереход электроны в  $p$ -слой. Инжектирующие в  $p$ -слой электроны на расстоянии двойной диффузионной длины ( $2L_d$ ) поглощают из кристаллической решетки этого слоя энергию и повышают ее до величины энергии электронов  $p$ -слоя. В результате отбора энергии инжектированными электронами от кристаллической решетки  $p$ -слоя ее температура соответственно в ПТЭХ понижается. Экспериментальный ПТЭХ при плотности прямого тока  $1 \text{ А/см}^2$  позволяет получать предельную температуру охлаждения  $-27^\circ\text{C}$ , расчетная надежность безотказной работы устройства составляет  $\sim 10^5$  часов.