

Мощные непрерывные 2.5-Вт лазерные диоды, изготовленные в системе AlGaAs/GaAs

А.В.Алуев, А.М.Морозюк, М.Ш.Кобякова, А.А.Чельный

Изготовлены и исследованы непрерывные лазерные полупроводниковые излучатели с рабочей мощностью 2.5 Вт при ширине полоскового контакта 100 мкм, излучающие на длине волны 850 нм. Лазерная гетероструктура с сильнолегированным P-эмиттером изготавливалась МОС-гидридным методом в системе AlGaAs/GaAs. При длине резонатора 800 мкм внешняя дифференциальная квантовая эффективность составила 84 % (1.2 Вт/А), а характеристическая температура порогового тока была равна 230 К. Прогнозируемый ресурс работы – более $5 \cdot 10^3$ ч.

Ключевые слова: мощный лазерный диод, мезаполосковая структура.

1. Введение

Полупроводниковые лазеры большой мощности находят широкое применение для накачки твердотельных лазеров, в медицине и технологии обработки материалов. Для получения высокой мощности необходим высокоэффективный излучатель с низкой плотностью порогового тока и высокой дифференциальной квантовой эффективностью. В целом ряде работ [1–4] показано, что для повышения предельной мощности излучателей и улучшения их ресурсных характеристик необходимо снизить плотность мощности излучения на выходной грани резонатора. Обычно это достигается за счет уменьшения оптического ограничения в лазерном волноводе, в результате чего снижается расходимость излучения в плоскости, перпендикулярной плоскости гетероструктуры. Однако уменьшение фактора оптического ограничения вызывает увеличение плотности порогового тока, а снижение высоты гетеробарьеров приводит к росту утечки тока из активной области и к снижению внешней квантовой эффективности.

В настоящей работе сообщается о создании непрерывного полупроводникового лазера мощностью 2.5 Вт с шириной полоскового контакта 100 мкм. Лазер излучал на длине волны 850 нм и имел расходимость излучения в дальней зоне 40° , высокая рабочая мощность была достигнута за счет сильного легирования P-эмиттера.

2. Эксперимент

Лазерная гетероструктура изготавливалась МОС-гидридным методом в кварцевом щелевом реакторе, работающем при пониженном давлении. Графитовый подложкодержатель нагревался ВЧ генератором до 700°C . Для повышения однородности состава и толщин осаждаемых слоев графитовый подложкодержатель вращался со скоростью 30 об./мин. В качестве газа-носителя ис-

пользовался водород. Источниками Ga, Al, Zn служили триэтилгаллий, триметилалюминий и диэтилцинк соответственно. Металлоорганические соединения термостатировались при температуре $+17^\circ\text{C}$. В качестве источника мышьяка использовался концентрированный арсин. Для получения слоев n-типа пленки GaAs и AlGaAs легировались кремнием из смеси 1 % SiH_4/Ar .

Эпитаксиальная установка была снабжена системой балансировки давлений байпас/реактор, а также регуляторами давлений на каждой линии МОС. Это предотвращало развитие переходных гидравлических явлений в газовой системе и реакторе при взаимных переключениях газовых потоков.

В качестве подложек использовались пластины арсенида галлия, выращенного методом горизонтальной направленной кристаллизации, с концентрацией носителей $n = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Выращенная двойная гетероструктура с раздельным ограничением и с двумя квантовыми ямами имела следующую последовательность слоев: буферный слой GaAs:Si, $n = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$; слой $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ градиентного состава $x = 0.05 - 0.53$ толщиной $d = 0.5$ мкм; N-эмиттер $\text{Al}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{As}$:Si, $n = 0.8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $d = 2.5$ мкм; волноводный слой $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$, $d = 0.15$ мкм; первый активный слой GaAs, $d = 8.5$ нм; барьерный слой $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$, $d = 15$ нм; второй активный слой GaAs, $d = 8.5$ нм; волноводный слой $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$, $d = 0.15$ мкм; P-эмиттер $\text{Al}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{As}$: Zn, $p = 4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $d = 1.7$ мкм; контактный слой p^+ -GaAs, $p = 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $d = 0.5$ мкм.

Изготавливались лазеры с шириной мезаполоски $w = 100$ мкм. Токовое ограничение создавалось зарастиванием слоем высокоомного ZnSe толщиной 0.4 мкм. На обеих поверхностях гетероструктуры создавались омические контакты Ti/Ni/Au с p-стороны и Ge/Au с n-стороны. Структуры скалывались на кристаллы с длиной резонатора 800 мкм. На грани лазерного диода напылялись диэлектрические многослойные покрытия с коэффициентами отражения 10 и 95 % (для передней и задней грани соответственно), а затем кристалл монтировался на теплоотвод.

У изготовленных образцов лазерных диодов исследовались ватт-амперные и спектральные характеристики, а

Федеральное унитарное государственное предприятие НИИ «Полос» им. М.Ф.Стельмаха, Россия, 117342 Москва, ул. Введенского, 3

Поступила в редакцию 17 декабря 2000 г., после доработки – 23 марта 2001 г.

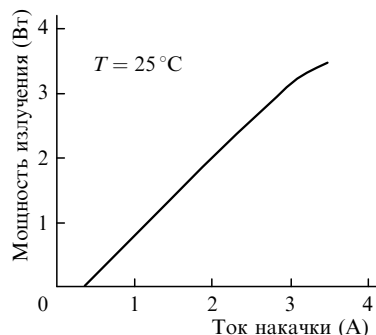


Рис.1. Типичная ватт-амперная характеристика лазера при комнатной температуре.

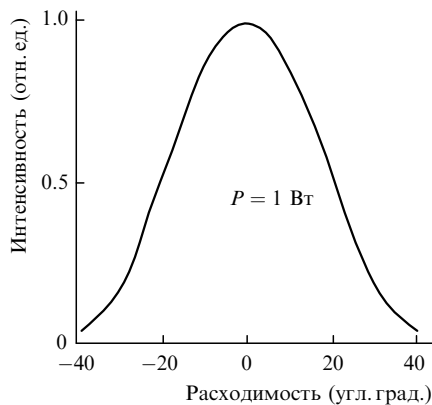


Рис.2. Расходимость излучения в дальней зоне в плоскости, перпендикулярной плоскости $p-n$ -перехода.

также расходимость излучения в дальней зоне. Кроме того, были проведены ресурсные испытания приборов.

3. Результаты измерений

На рис.1 представлена типичная ватт-амперная характеристика лазера при комнатной температуре. Плотность порогового тока составляла 420 А/см^2 , внешняя дифференциальная квантовая эффективность – 84% (1.2 Вт/А). Максимальная мощность в непрерывном режиме была равна $3,5 \text{ Вт}$ и ограничивалась разогревом кристалла. Катастрофическая деградация при накачке лазера импульсами тока с длительностью 150 нс и частотой 1 кГц имела место при импульсной мощности 35 Вт . Характеристическая температура порогового тока T_0 составляла 230 К , последовательное сопротивление диодов равнялось $0,1 \text{ Ом}$.

Относительно высокие плотности мощности были получены в условиях сильного оптического ограничения световой волны в волноводе гетероструктуры. Как видно из рис.2, расходимость излучения в плоскости, перпендикулярной плоскости $p-n$ -перехода, составляла 40° .

Высокие значения характеристической температуры T_0 и внешней дифференциальной квантовой эффективности говорят о малом токе утечки носителей из активной области; последнее обусловлено высоким уровнем легирования цинком P -эмиттера. Концентрация дырок в P -

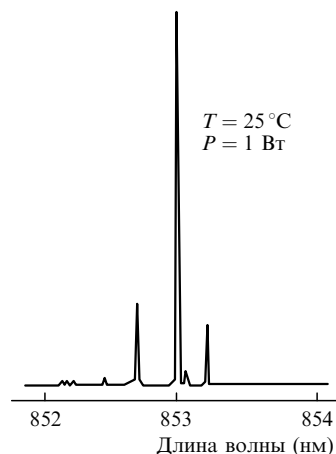


Рис.3. Спектр излучения при комнатной температуре и мощности излучения 1 Вт .

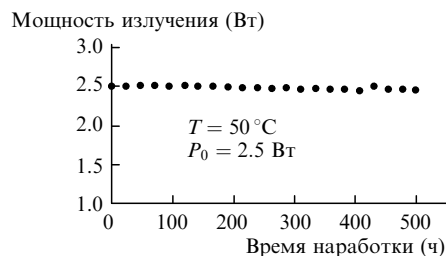


Рис.4. Результаты ресурсных испытаний приборов при начальной мощности излучения $P_0 = 2,5 \text{ Вт}$, $T = 50^\circ \text{C}$.

эмиттере составила $4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, что в $4-5$ раз выше концентрации в P -эмиттере традиционных структур.

Уменьшение последовательного сопротивления приборов и улучшение характера инжекции носителей в активную область позволило улучшить спектральные характеристики лазеров. На рис.3 представлен спектр лазерного излучения диодов при мощности генерации 1 Вт . Полуширина спектра равна $1,5 \text{ нм}$, а его характер близок к одночастотному.

Отметим, что высокое содержание Zn в эмиттере не привело к росту оптических потерь в резонаторе, потери составили $1-2 \text{ см}^{-1}$.

На рис.4 представлены результаты ресурсных испытаний излучателей. Исследования проводились при температуре тепловода 50°C в течение 500 ч в режиме постоянного тока накачки. Прогнозируемый ресурс составил более $5 \cdot 10^3 \text{ ч}$.

Авторы выражают благодарность В.П.Коняеву и В.А.Симакову за полезное обсуждение результатов.

1. Wang J., Smith B. *Appl.Phys.Letts*, **74**, 345 (1999).
2. Iovdache G., Buda M., Acket G.A., van der Roer T.G., Kaufman L.M.F., Karonta F., Jagadish C., Tan H.H. *Electron.Letts*, **35**, 148 (1999).
3. Wade J.K., Mawst L.J., Botez D., Morris J.A. *Electron.Letts*, **34**, 1100 (1998).
4. Garbuzov D.Z., Abeles J.H., Morris N.A., Gardner P.D., Triano A.R., Harvey M.G., Gilbert D.B., Connolly O.C. *Proc.SPIE*, **2682**, 20 (1996).