

РЕШЕТКА ЛАЗЕРОВ НА ОСНОВЕ
МНОГОПРОХОДНОЙ Р-П-ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ

У.А. Бекирев, С.А. Бондарь,
Д.В. Галченков, Р.А. Сурис,
М.А. Гранкин, Г.В. Ершова,
В.Н. Инкин, М.А. Малышкин

Значительное понижение пороговой плотности тока за счет явления самопоглощения спонтанного излучения в активной области лазера на основе многопроходной р-п-гетероструктуры [1] должно существенным образом отразиться и на таких его характеристиках, как ватт-амперная зависимость, эффективность преобразования тока в лазерное излучение и дифференциальный квантовый выход. В данной работе приведены результаты исследований влияния эффектов переизлучения и многопроходности на указанные характеристики лазера.

Конструкция лазера на основе многопроходной р-п-гетероструктуры должна обеспечивать минимальные токовые и оптические потери в нем. Для этого токовые контакты, поглощающие спонтанное излучение, должны занимать малую долю поверхности лазера и обеспечивать относительно равномерную прокачку носителями зарядов активной области. Таким требованиям соответствуют распределенные по площади граней полосковые контакты.

С учетом указанных обстоятельств на основе двухсторонней эпитаксиальной $GaAlAs$ р-п-гетероструктуры типа „ЭСАГА-60“ [2] с толщиной активной р-области ~ 1 мкм были изготовлены образцы лазерных диодов. Для ограничения растекания тока через р-п-переход со стороны р-слоя химическим травлением формировались полосковые меза-структуры высотой 30–80 мкм и шириной в верхней грани ~ 110 –120 мкм. На этой грани изготавливался распределенный токовый контакт к широкозонному р-слою, состоящий из 8 параллельных металлизированных полосок шириной по 5 мкм и шагом 15 мкм. Между контактными покрытиями металлизация шла по диэлектрическому покрытию из SiO_2 толщиной ~ 1 мкм. При толщине р-эмиттера 10–20 мкм и степени легирования его до $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ изготовленные контакты могли обеспечить относительно равномерную прокачку током активной области. За счет явлений многопроходности и самопоглощения спонтанного излучения в активной области равномерность прокачки еще больше улучшается. Токовый контакт к широкозонному п-слою из металлического покрытия шириной ~ 50 мкм изготавливался у основания меза-структуры на расстоянии ~ 200 мкм от ее центральной линии. Образцы лазеров выкалывались из готовой структуры так, что сколотые грани, перпендикулярные полосковым контактам, образовывали резонатор Фабри-Перо (см. рис. 1).

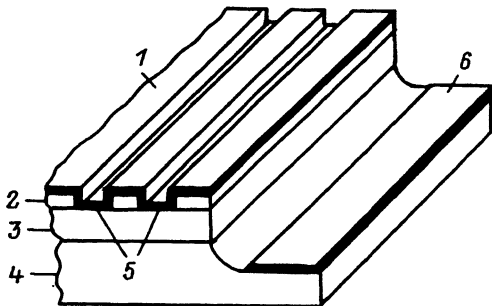


Рис. 1. Фрагмент конструкции лазера на основе многопроходной гетероструктуры. 1 – металлическое покрытие, 2 – слой SiO_2 , 3 – n – $GaAs$, 4 – p – $GaAs$, 5, 6 – токовые контакты к n - и p -слоям соответственно.

Наличие распределенного токового контакта к p -эмиттеру в виде регулярной решетки приводило к регулярности в расположении лазерных каналов в активной области. Как показали наблюдения в ИК-микроскоп, картина ближнего поля при импульсных токах накачки, в 2 раза превышающих пороговый ток J_{th} , представлялась в виде 32 эквидистантных точек. Обычно между двумя яркими точками, расположенными под краями двух соседних полосковых контактов, заключалось по две точки, имеющих в 1.5–2 раза меньшую яркость. При шаге между каналами генерации в несколько микрон возникала решетка оптически связанных лазеров [3], в результате чего спектр излучения лазеров имел одну полосу полушириной ~ 1 А (см. рис. 2, а), а диаграмма направленности лазерного излучения в плоскости p - p -перехода была сужена до 4–7 градусов.

На рис. 2, б представлены зависимости суммарной выходной мощности лазерного излучения с обеих граней резонатора для двух наилучших образцов, изготовленных из одной и той же структуры. Образец 1 с площадью p - p -перехода 120×230 мкм был без $GaAs$ -подложки, на которой выращивалась $GaAs$ -гетероструктура, и работал в многопроходном режиме для спонтанного излучения. В образце 2 с размером площади p - p -перехода $\sim 110 \times 250$ мкм для уменьшения многопроходности подложка не удалялась, а боковые грани меза-структуры покрывались частично поглощающим излучение составом. Образец 1 показал пороговую плотность тока ~ 1.5 кА/см², а образец 2 ~ 3.8 кА/см². Ватт-амперная характеристика образца 1 шла круче, чем характеристика образца 2. Наибольшая крутизна характеристики образца 1 достигала значений ~ 0.8 Вт/А с каждой грани резонатора. Это соответствовало дифференциальному квантовому выходу η_d более 1.1 кванта на электрон (более 110%, см. рис. 2, в). Значение η_d более 100% наблюдалось при монотонном возрастании лазерной мощности. Из рисунка

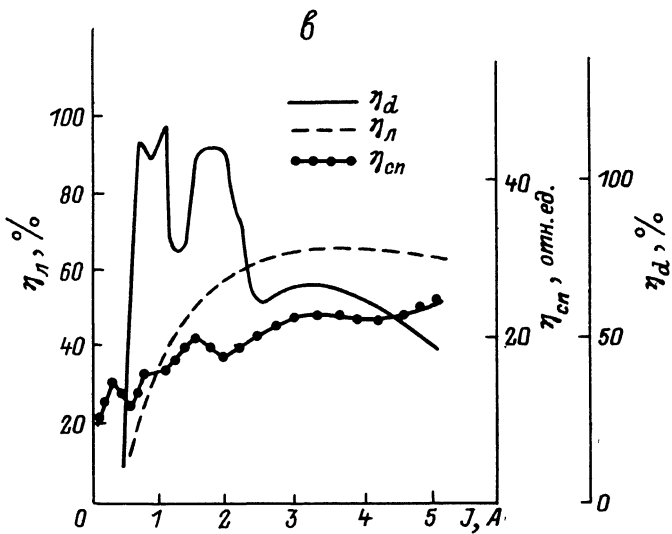
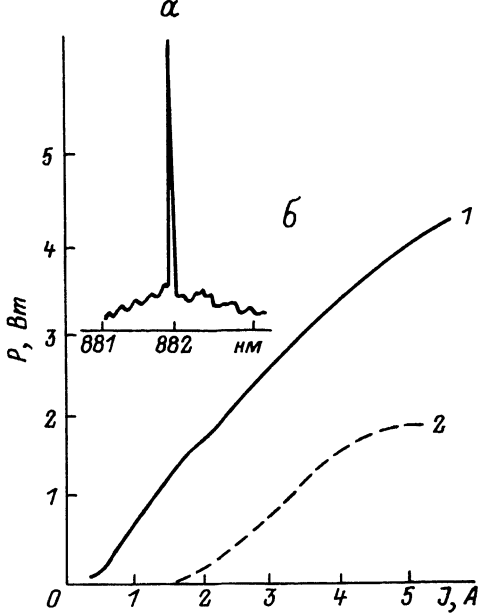


Рис. 2. а - спектр излучения при $J \approx 1.2$ А. б - ватт-амперные зависимости: 1 - образец 1; 2 - образец 2, в - зависимости η_n , η_d и η_{cn} от тока.

также видно, что переход к наибольшим дифференциальным квантовым выходам лазерного излучения сопровождался заметным уменьшением внешнего квантового выхода спонтанного излучения η_{sp} .

Внешняя эффективность преобразования тока в лазерное излучение η_l при $T = 300$ К в многопроходном лазере достигала максимального значения более 0,65 кванта на электрон ($> 65\%$) на импульсах тока длительностью ≤ 1 мкс и амплитудой ~ 4 А. При большем токе из-за разогрева образца наблюдалось падение величины η_l , значение величины η_{sp} соответственно возрастало. Импульсный ток в 5 А $\approx 11 J_{th}$ давал с каждой грани резонатора по ~ 2.1 Вт лазерного излучения. В образце 2 величины параметров η_d , η_l и лазерной мощности P были в ~ 1.8 и более раз меньше. Достигнутые внешние квантовые выходы и мощности излучения обусловлены эффективным преобразованием за счет самопоглощения в многопроходном лазере невышедшего наружу спонтанного излучения в лазерное.

Внешний квантовый выход спонтанного излучения в образце 1 составил $\sim 9-12\%$ (в том числе со стороны меза-структуры $\eta_{ch} \approx 4-5\%$). В образце 2 со стороны меза-структуры до нанесения на нее поглощающего покрытия $\eta_{ch} \approx 1.6-1.8\%$. В результате общая внешняя эффективность преобразования тока в лазерное и спонтанное излучение при $T = 300$ К в многопроходном образце превысила 75% .

При охлаждении образца 1 до температур $\sim 120-150$ К пороговая плотность тока лазера понижалась до ~ 1.1 кА/см², максимальная величина η_l возрастала до значений $\approx 71\%$. Это значение выше наилучшей известной эффективности лазеров [4, 5]. Выход спонтанного излучения наружу возрастал в ~ 1.1 раза [2]. Общая эффективность преобразования тока во внешнее излучение при низких температурах является рекордной величиной и достигает $\sim 81\%$. Возрастание внешней квантовой эффективности с охлаждением обусловлено уменьшением оптических и безызлучательных потерь в структуре. Это вместе с сужением длинноволнового плеча спонтанной полосы излучения увеличивает долю излучения, испытывающего самопоглощение в активной области. В результате происходит более полное по сравнению с $T = 300$ К преобразование спонтанного излучения в лазерное.

Таким образом, в лазерах на основе многопроходных гетероструктур эффекты переизлучения наряду с понижением пороговой плотности тока приводили к существенному увеличению крутизны ватт-амперной характеристики, значительному увеличению выводимой наружу максимальной мощности лазерного излучения и увеличению эффективности преобразования тока в лазерное излучение. При этом общая эффективность преобразования тока в выводимое за пределы кристалла спонтанное и лазерное излучение впервые превысила 80% .

- [1] Гарбузов Д.З., Ермакова А.Н., Румянцев В.Д., Трукан М.К., Халфин В.Б. - ФТП, 1977, т. 11, в. 4, с. 717-725.
- [2] Бекирев У.А., Бондарь С.А., Галченков Д.В., Гранкин М.А., Ершова Г.В., Инкин В.Н., Малышкин М.А. - Тез. докл. 1У Всес. конф. по физическим процессам в полупроводниковых гетероструктурах. Минск, 1986, с. 116-117.
- [3] Seifres D.B., Burnham R.D., Lindstrom C., Streifer W., Paoli T.L. - Appl. Phys. Lett., 1983, v. 42, N 8, p. 645-647.
- [4] Waters R.G., Wagner D.K., Hill D.S., Tihanyi P.L., Vollmer B.J. - Appl. Phys. Lett., 1987, v. 51, N 17, p. 1318-1319.
- [5] Антонишкис Н.Ю., Арсентьев И.Н., Гарбузов Д.З., Колышкин В.И., Комиссаров А.Б., Кочергин А.В., Налет Т.А., Стругов Н.А. Письма в ЖТФ, 1988, т. 14, в. 8, с. 699-702.

Поступило в Редакцию
29 сентября 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 23

12 декабря 1988 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-ЯРКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СТРУКТУР С КЕРАМИЧЕСКИМ ДИЭЛЕКТРИКОМ

М.Я. Рахлин, В.Е. Родионов

В последнее время большое распространение в системах отображения информации получили тонкопленочные электролюминесцентные экраны и индикаторы [1]. В основе таких устройств лежит многослойная тонкопленочная МДПДМ структура, нанесенная на прозрачную стеклянную подложку методами вакуумного напыления. Работает такая структура при приложении знакопеременного импульсного или синусоидального напряжения. В работе [2] сообщается о создании электролюминесцентных структур на основе керамического диэлектрика. Такие структуры отличаются малыми рабочими напряжениями и повышенной надежностью.

В настоящем сообщении приведены результаты исследования яркостных характеристик двух типов электролюминесцентных струк-