

06;07;12

Мезаполосковые одномодовые InGaAsP лазеры раздельного ограничения с двойной гетероструктурой, полученные методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений

© Е.Г. Голикова, В.А. Горбылев, Ю.В. Ильин, В.А. Курешов,
А.Ю. Лешко, А.В. Лютецкий, Н.А. Пихтин, Ю.А. Рябоштан,
В.А. Симаков, И.С. Тарасов, Е.А. Третьякова, Н.В. Фетисова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 10 ноября 1999 г.

Методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений изготовлены мезаполосковые одномодовые InGaAsP/InP лазерные диоды с оптической мощностью излучения 200 мВт в непрерывном режиме генерации. Лазерные структуры изготавливались с двумя длинами волн излучения 1.3 и 1.55 мкм. При ширине мезаполоскового контакта $W = 5 \mu\text{m}$ одномодовый режим генерации наблюдался во всем диапазоне токов накачки. Пороговые плотности тока составили 450–600 А/см² при длине резонатора 1.0–2.5 мм. Дифференциальная квантовая эффективность составила 30–40%. Внутренние оптические потери в лазерах мезаполосковой конструкции снижены до 7.7 cm^{-1} . Не обнаружено изменений в ватт-амперной характеристике контрольных образцов, поставленных на деградационные испытания при 50°C, после 1500 h наработки.

Концепция создания мощных лазерных диодов, основанная на снижении внутренних оптических потерь, нашла в настоящее время всемирное признание [1–3]. Подтверждение получено и для лазерных гетероструктур длинноволнового диапазона $\lambda = 1.3\text{--}1.55 \mu\text{m}$ [4,5]. В длинноволновом диапазоне основной интерес вызывают конструкции одномодовых лазеров. Изготовление одномодовых лазеров связано с постростовыми операциями (травление мезаполосков, зарощивание и др.), вносящими дополнительные внутренние оптические потери. Поэтому целью настоящей работы была реализация концепции лазерных гетероструктур раздельного ограничения (РО) с малыми оптическими

потерями при создании мощных одномодовых лазерных диодов с длиной волны излучения 1.3–1.5 μm . В разработке были использованы технология газофазной эпитаксии из металлорганических соединений (МОС-гидридная эпитаксия) [6] и постростовая технология мезаполосковых одномодовых лазеров [7].

Методом МОС-гидридной эпитаксии на InP-подложке *n*-типа были изготовлены InGaAsP раздельного ограничения двойной гетероструктуры (РО ДГС) с двумя напряженными квантовыми ямами толщиной 50 Å каждая. Состав твердого раствора InGaAsP соответствовал длинам волн 1.3 и 1.55 μm . Толщина волноводного слоя между квантовыми ямами составляла 150 Å, а суммарная толщина волноводного слоя — один микрон для обоих типов структур. Ширина запрещенной зоны твердого раствора волноводного слоя $E_g = 1.25\text{ eV}$ и $E_g = 1.1\text{ eV}$ соответственно для структур с длиной волны излучения 1.3 и 1.55 μm . Активная область и волноводные слои преднамеренно не легировались. *P*-эмиттер толщиной 1.2 μm и *p*-контактный слой толщиной 0.3 μm легировались до концентраций $7 \cdot 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ и $2 \cdot 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ соответственно.

Лазерные диоды мезаполосковой конструкции изготавливались из описанных выше гетероструктур по стандартной технологии [7]. Характерной отличительной особенностью была замена операции химического травления на операцию ионно-плазменного травления мезаполоска на заданную глубину (0.1–0.15 μm до волноводного слоя). Операция проводилась на установке Alkatel-350. Ширина мезаполоскового контакта оставлялась 5 μm . Омические контакты ZnAu и TeAu наносились термическим напылением. С помощью магнетронного напыления наносились глухие ($> 95\%$) и просветляющие ($< 4\%$) покрытия Si/SiO₂ на торцы лазерных диодов, которые монтировались на медные теплоотводы. Оптические длины резонатора составляли 500–2500 μm .

На рис. 1 приведены ватт-амперные характеристики типичных лазерных диодов с длиной волны излучения 1.3 и 1.5 μm . При мощности излучения 150–200 mW и токе накачки порядка одного ампера наблюдался загиб ватт-амперной характеристики, связанный с разогревом. Дифференциальное сопротивление лазерных диодов было $\sim 0.5\ \Omega$, что несколько хуже, чем в четырехсклоотых образцах, за счет постростовых операций. Дифференциальная квантовая эффективность на начальном участке ватт-амперной характеристики составляла 30–40% при длине резонатора 1200 μm . Величина пороговых токов в лазерных диодах составляла величину 25–35 mA, что соответствовало пороговым плот-

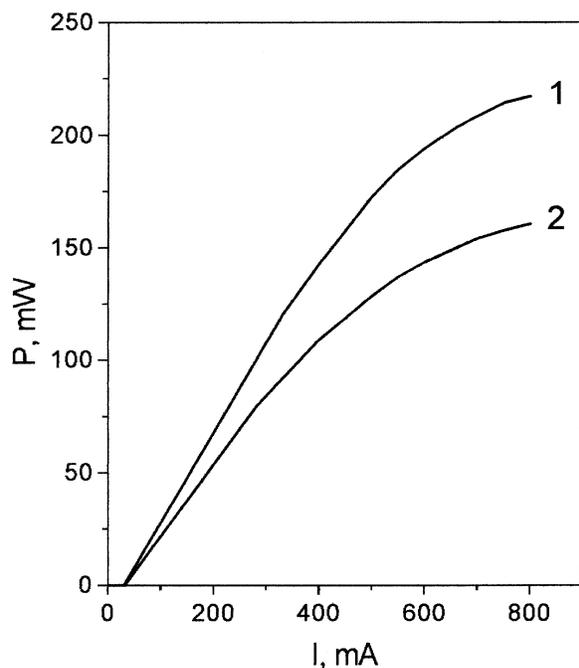


Рис. 1. Ватт-амперные характеристики мезаполосковых одномодовых лазерных диодов с длиной резонатора $L = 1200 \mu\text{m}$, излучающих на длинах волн $1.3 \mu\text{m}$ (1) и $1.55 \mu\text{m}$ (2) в непрерывном режиме при 20°C .

ностям тока $450\text{--}600 \text{ A/cm}^2$. В четырехсклоотых образцах, изготовленных из этих структур, пороговая плотность тока была $160\text{--}200 \text{ A/cm}^2$. Различие, по нашему мнению, объясняется уменьшением длины резонатора и внесением дополнительных внутренних оптических потерь при формировании узкого мезаполоска.

При ширине мезаполоскового контакта $W = 5 \mu\text{m}$ во всем диапазоне накачки наблюдался одномодовый режим генерации. На рис. 2 приведена картина дальнего поля в плоскости, параллельной $p\text{--}n$ -переходу, с величиной $\theta_{\parallel} = 15^\circ$. Отсутствие каких-либо изменений в картине дальнего поля с увеличением тока накачки свидетельствует о достаточной величине волноводного эффекта при формировании мезаполосково-

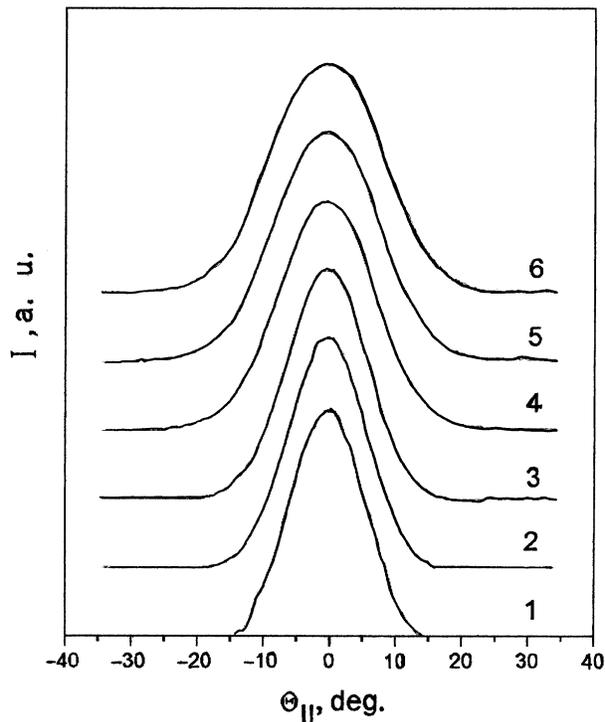


Рис. 2. Картина дальнего поля мезаполоскового одномодового лазерного диода с $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ в плоскости, параллельной p - n -переходу, при различных токах накачки: 1 — $I = 50 \text{ mA}$, 2 — 100 mA , 3 — 200 mA , 4 — 300 mA , 5 — 400 mA , 6 — 500 mA , в непрерывном режиме при 20°C .

го волновода. Картина дальнего поля в плоскости, перпендикулярной p - n -переходу, также свидетельствует о генерации нулевой моды, несмотря на толщину волновода $1 \mu\text{m}$, и составила $\theta_{\perp} = 45^\circ$.

Спектр излучения одномодового лазерного диода имел уширение с током накачки (рис. 3), обусловленное одновременно двумя эффектами: насыщением усиления в квантово-размерных областях и их разогревом. В лазерных диодах, изготовленных из обоих типов гетероструктур (на 1.3 и $1.55 \mu\text{m}$), T_0 составляло величину 70 – 80 K .

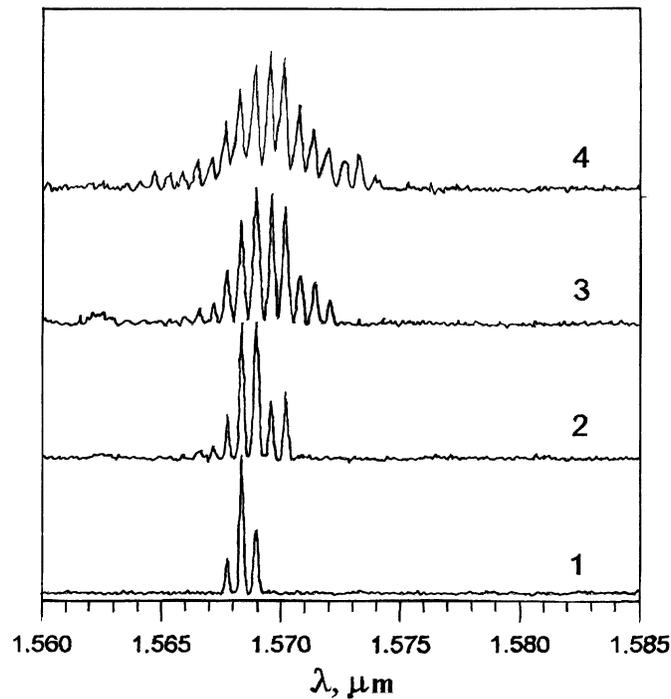


Рис. 3. Спектр излучения одномодового лазерного диода в непрерывном режиме при 20°C при различных токах накачки: 1 — $I = 50$ мА, 2 — 100 мА, 3 — 300 мА, 4 — 500 мА.

На рис. 4 приведена зависимость обратной величины дифференциальной квантовой эффективности от длины резонатора для лазерных диодов с широким ($W = 100 \mu\text{m}$) и мезаполосковым ($W = 5 \mu\text{m}$) контактом. Величина внутренних оптических потерь для лазерных диодов мезаполосковой конструкции несколько выше (7.7 cm^{-1}), чем для лазеров с широким контактом (4.2 cm^{-1}). Внесение постростовых технологических операций при изготовлении мезаполосковой конструкции увеличивает внутренние оптические потери. Дальнейшее увеличение мощности излучения в лазерах связано с оптимизацией лазерной гетероструктуры и конструктивного решения одномодового лазера.

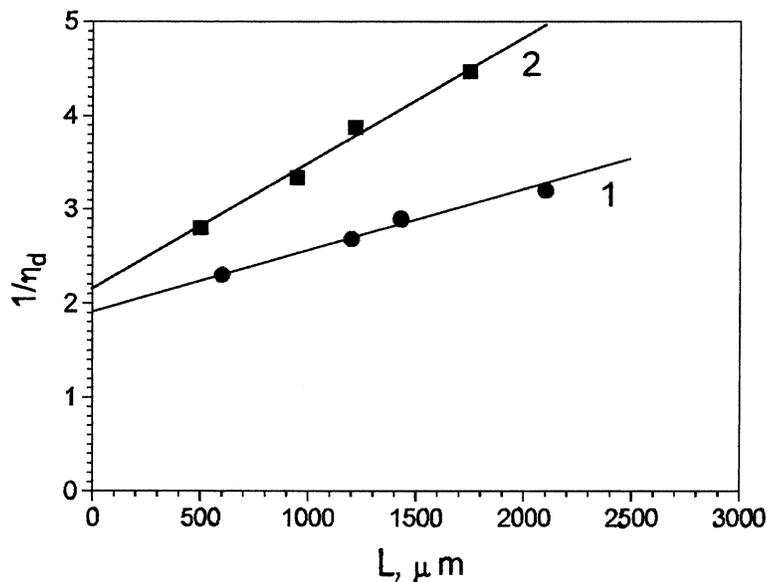


Рис. 4. Зависимость обратной величины дифференциальной квантовой эффективности от длины резонатора для $1.55 \mu\text{m}$ лазеров с широким ($W = 100 \mu\text{m}$) контактом (1) и мезаполосковым ($W = 5 \mu\text{m}$) контактом (2). 1 — $\eta_i = 53\%$, $\alpha_i = 4.2 \text{ cm}^{-1}$; 2 — $\eta_i = 47\%$, $\alpha_i = 7.7 \text{ cm}^{-1}$.

Партия образцов из пяти штук испытывалась при повышенной температуре 50°C . Каждый образец был установлен на рабочий ток, обеспечивающий половину максимальной оптической мощности. После 1500 h наработки изменений в ватт-амперной характеристике обнаружено не было.

В результате проведенной работы получены мощные 200 mW одно-модовые InGaAsP/InP PO ДГС лазеры с длиной волны излучения 1.3 и $1.55 \mu\text{m}$. В разработке использована технология МОС-гидридной эпитаксии и постростовая технология мезаполосковых лазеров. Внутренние потери в лазерах мезаполосковой конструкции снижены до 7.7 cm^{-1} .

Работа поддержана МНТП России "Физика твердотельных наногетероструктур", гранты № 97-1035, 99-2037, 99-2038.

Список литературы

- [1] *Wade J.K., Mawst L.J., Botez D., Nabiev R.F., Jansen M., Morris J.A.* // Appl. Phys. Lett. 1998. V. 72. P. 4.
- [2] *Wang J., Smith B., Xie X., Wang X., Burnham G.T.* // Appl. Phys. Lett. 1999. V. 74. P. 1525.
- [3] *Mawst L.J., Bhattacharya A., Lopez J., Botez D., Garbuzov D.Z., DeMarco L., Connolly J.C., Jansen M., Fang F., Nabiev R.F.* // Appl. Phys. Lett. 1996. V. 69. P. 532.
- [4] *Garbuzov D., Xu L., Forrest S.R., Menna R., Martinelli R., Connolly J.C.* // Electron. Lett. 1996. V. 32. P. 1717.
- [5] *Bhattacharya A., Botez D.* // Appl. Phys. Lett. 1999. V. 72. P. 138.
- [6] *Голикова Е.Г., Дураев В.П., Козиков С.А., Кригель В.Г., Лабутин О.А., Швейкин В.И.* // Квант. электрон. 1995. Т. 22. В. 2. С. 105–107.
- [7] *Иванов М.А., Ильинская Н.Д., Ильин Ю.В., Корсакова Ю.А., Лешко А.Ю., Лунев А.С., Лютецкий А.В., Мурашова А.В., Тарасов И.С.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 5. С. 70–75.