

06.3; 07

© 1991

ЗАРОЩЕННЫЕ ОДНОМОДОВЫЕ НЕПРЕРЫВНЫЕ
InGaAsP / InP ЛАЗЕРЫ
РАЗДЕЛЬНОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ($\lambda = 1.3$ МКМ)

Д.З. Гарбузов, И.Э. Беришев,
Ю.В. Ильин, Н.Д. Ильинская,
Н.А. Пихтин, А.В. Овчинников,
И.С. Тарасов

Данная работа является продолжением исследований [1-3], направленных на разработку мощных *InGaAsP/InP* ($\lambda = 1.3$ МКМ) лазеров на основе структур раздельного ограничения, выращенных модифицированным методом жидкостной эпитаксии. В работе [3] были рассмотрены параметры зарощенных лазеров при изготовлении которых во втором ростовом процессе мезаполосок зарощивался структурой с обратным р-п переходом. Описанные в [3] лазеры с шириной полоска $W = 12-17$ МКМ обладали рекордными мощностными характеристиками ($P_{св} \geq 300$ мВт) и были использованы при разработке ряда многомодовых устройств для ВОЛС. Однако при уменьшении ширины полоска до $W \leq 7$ МКМ воспроизводимость параметров зарощенных лазерных диодов резко ухудшалась, возрастали пороговые плотности тока, распределение дальнего поля становилось неоднородным и не стабильным по току.

Цель данной работы заключается в улучшении воспроизводимости технологии получения одномодовых мощных *InGaAsP/InP* лазеров раздельного ограничения зарощенной конструкции и исследования свойств полученных излучателей.

Для изготовления зарощенных лазеров использовались гетеро-структуры, не отличавшиеся от описанных ранее [1]. Толщина активной области в исходных структурах составляла 200-400 Å. На структуру наносился слой SiO_2 и проводились стандартные фотолитографические операции [1]. Затем в наборе химических травителей вытравливались мезаполоски с перетяжкой в районе активной области. Ширина перетяжки W варьировалась от 2 до 14 МКМ. На рис. 1, а приведена микрофотография скола мезы, полученной последовательным травлением в четырех селективных травителях. Особое внимание было уделено морфологическому совершенству боковых стенок травленной мезы, по нашему мнению, сильно влияющих на излучательные свойства лазеров. Выбранная форма мезаполоска в сочетании с подбором режима зарощивания позволила прецизионно и воспроизводимо совмещать положение блокирующего р-п перехода с положением инжектирующего р-п перехода в лазерном диоде.

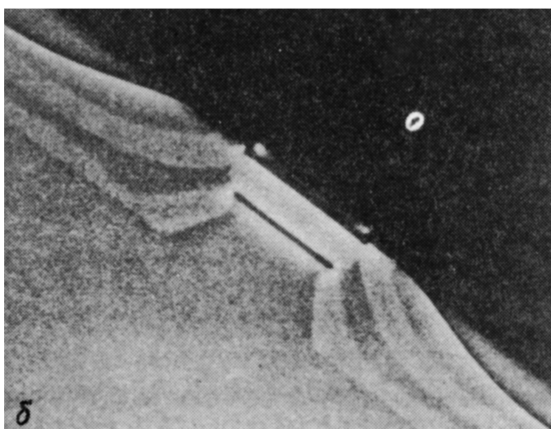
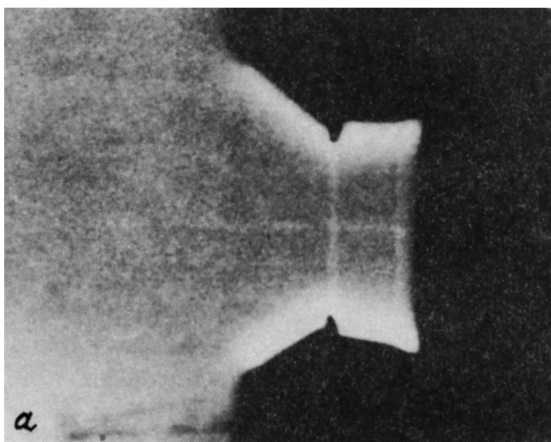


Рис. 1. Микрофотография сколов мезаполоска после химического травления (а) и после заравнивания (б).

Блокирующие р-п-р-п слои фосфида индия выращивались последовательно во втором эпитаксиальном процессе. Последний из зарощенных слоев $InGaAsP$ улучшал планарность структуры в районе мезаполоска и позволял избавиться от термической эрозии структуры при охлаждении ростового реактора (рис. 1, б). После изготовления омических контактов структура разделялась на лазерные кристаллы с длиной резонатора 500–1000 мкм. Затем лазерные кристаллы напаивались при помощи индиевого припоя на медные теплоотводы.

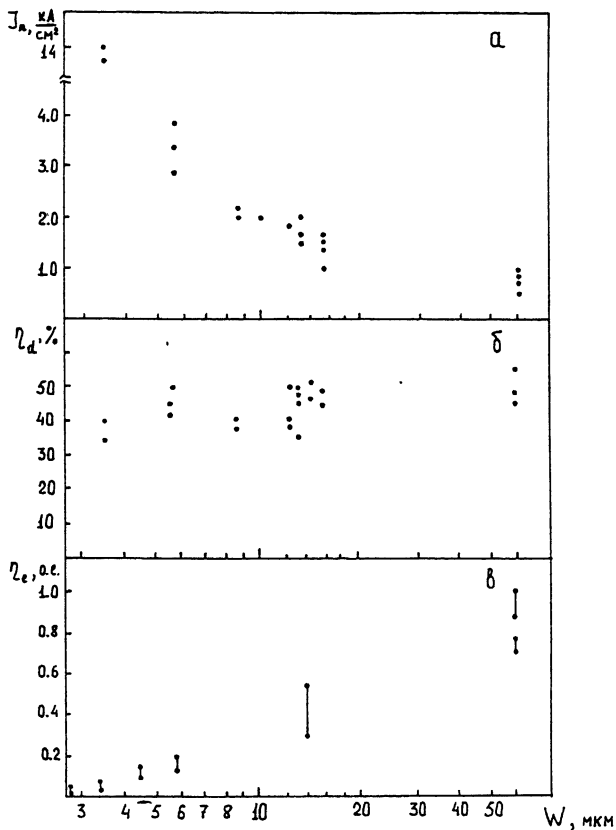


Рис. 2. Зависимость пороговой плотности тока (а), дифференциальной квантовой эффективности (б) и максимального квантового выхода спонтанного излучения (в) от ширины активной области в зарощенных РО $InGaAsP/InP$ лазерах.

Измерения характеристик лазеров в непрерывном и импульсном режиме проводились при температуре 15°C . Для сопоставления аналогичные измерения были выполнены так же для оксиднополосковых лазеров с широким контактом ($W=60$ мкм). На рис. 2, а показана зависимость пороговых плотностей тока от ширины полоска, измеренная для диодов с достаточно длинными резонаторами $L \approx 500-1000$ мкм. На рис. 2, б приведены максимальные значения дифференциальной эффективности, измеренные на начальных участках ватт-амперных характеристик этих же лазерных диодов. Резкое возрастание пороговых плотностей в диодах с $W < 10$ мкм, наблюдающееся и при новой технологии вытравливания и зарощивания мезы, по нашему мнению, не связано с шунтировкой за счет токовых утечек. В пользу этого утверждения говорит как непосредственный анализ вольтамперных характеристик (избыточные

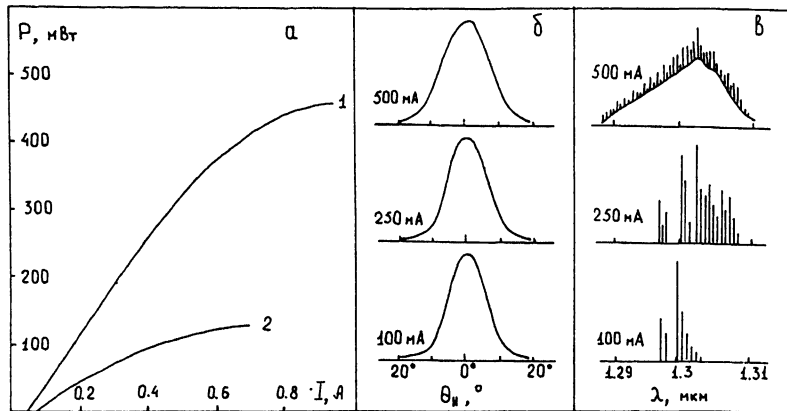


Рис. 3. Ватт-амперные характеристики (а), распределение интенсивности излучения в дальней зоне в плоскости, параллельной р-р переходу (θ_{\parallel}) (б) и спектры излучения (в) зарощенных РО $InGaAsP/InP$ лазеров ($L=370$ мкм, $\alpha_{\alpha}=400$ Å, $R=95\%$).

токи утечек не более 5 мА), так и слабое уменьшение дифференциальной эффективности лазеров при уменьшении ширины полоска (рис. 2, б).

На рис. 2, в показана зависимость внешней эффективности спонтанного излучения (η_e) от ширины полоска. Сопоставляемые на рис. 2, в значения эффективности относятся к плотности тока, при которых эффективность спонтанного излучения достигала максимального значения. Как видно из рис. 2, при сокращении ширины полоска происходит резкое уменьшение η_e . Так что именно этой причиной можно объяснить соответствующее возрастание пороговой плотности тока.

Причиной уменьшения эффективности излучательной рекомбинации и роста пороговых плотностей тока в данных диодах, по нашему мнению, является безызлучательная рекомбинация на зарощенных поверхностях активной области. Тем не менее примененная в данной работе технология травления и зарощивания, намного (со сравнению с [3]) улучшила воспроизводимость результатов и позволила резко увеличить выход диодов с удовлетворительными параметрами. На рис. 3, а приведены ватт-амперные характеристики двух диодов с шириной полоска 14 и 5.6 мкм. Оба диода имели многослойное Si/SiO_2 покрытие на заднем зеркале, длина резонаторов составляла около 400 мкм. Предельная мощность непрерывного излучения для многомодового диода с шириной полоска 14 мкм составляла 450 мВт (рис. 3, а, кривая 1), что находится на уровне лучших достижений для незарощенных мезаполосковых диодов [2].

Совершенствование технологии травления и зарощивания привело так же к улучшению формы полей излучения. На рис. 3, б приведено распределение дальнего поля для одного из лазерных диодов

с шириной полоска 5.6 мВт. Ватт-амперная характеристика этого диода показана кривой 2 на рис. 3, а. Несмотря на некоторое уширение диаграммы дальнего поля, характер распределений, представленных на рис. 3, б, позволяет предположить, что нулевая поперечная мода остается основной вплоть до максимальных мощностей излучения ($P \approx 115$ мВт). Что касается спектрального распределения излучения (рис. 3, в), то в области малых и средних мощностей спектр состоит из нескольких разделенных продольных мод, которые при максимальных токах, соответствующих насыщению ватт-амперной характеристики, сливались в общую полосу с полушириной $\sim 150 \text{ \AA}$.

Суммируя полученные результаты, следует сказать, что рассмотренные в данной работе усовершенствования технологии травления и зарастивания полосков позволили воспроизводимо изготавливать одномодовые лазеры с высокой мощностью излучения, однако они не решили проблему возрастания пороговых плотностей тока, которые в одномодовых лазерах почти в 5 раз выше, чем в лазерах с широким полоском. Дальнейшие исследования, направленные на уменьшение безызлучательной рекомбинации на границах зарастиваемой мезы, позволят решить эту проблему.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Алферов Ж.И., Гарбузов Д.З., Зайцев С.В., Нивин А.Б., Овчинников А.В., Тарасов И.С. // ФТП. 1987. Т. 21. № 5. С. 824-829.
- [2] Гарбузов Д.З., Зайцев С.В., Колышкин В.И., Налет Т.А., Овчинников А.В., Тарасов И.С. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 3. С. 241-246.
- [3] Гарбузов Д.З., Зайцев С.В., Колышкин В.И., Кулагина М.Н., Мокина И.А., Нивин А.Б., Овчинников А.В., Тарасов И.С. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 2. С. 99-104.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
22 января 1991 г.