

06.3; 07

© 1990

ЗАВИСИМОСТЬ ПОРОГОВОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РО ДГС $InGaAsP / InP$ ($\lambda = 1.3$ МКМ) ЛАЗЕРОВ ОТ ПОТЕРЬ НА ВЫХОД

Д.З. Гарбузов, С.В. Зайцев,
Ю.В. Ильин, Т.А. Налет,
А.В. Овчинников, И.С. Тарасов

Настоящее сообщение является продолжением серии работ [1-4], посвященных исследованию лазеров с $\lambda = 1.3$ мкм, изготовленных на основе жидкофазных $InGaAsP / InP$ структур раздельного ограничения (РО) с толщинами активных областей менее 500 Å. Зависимость параметров зарощенных лазеров от ширины активного полоска и влияние на эти параметры дополнительных диэлектрических зеркал предварительно были рассмотрены в работах [1, 2].

В данной работе приведено более подробное исследование параметров РО ДГС $InGaAsP / InP$ лазеров в зависимости от потерь на выход. Для этих исследований были использованы зарощенные лазеры с шириной активного полоска 9.5 и 12 мкм, изготовленные из структур Р-1045, Р-1047, толщины активных областей в которых составляли около 150 Å. После нанесения омических контактов структуры раскалывались на полоски в направлении, перпендикулярном расположению зарощенных мез. Ширина выколотых полосок (L) соответствовала длине лазерных резонаторов и варьировалась от 0.15 до 1.3 мм. Нанесение диэлектрического шестислойного $Si - SiO_2$ зеркала ($R > 95\%$) [5] осуществлялось, как правило, на одну из сколотых граней полоски. Затем из полоски выкалывали отдельные лазеры и проводилась их пайка на медные теплоотводы.

Измерения ватт-амперных характеристик этих лазеров в непрерывном режиме генерации давало возможность определять пороговую плотность тока и значение дифференциальной квантовой эффективности на начальном линейном участке характеристики. В некоторых случаях для узких полосок с $L < 200$ мкм диэлектрическое зеркало, состоящее из двух пар слоев $Si - SiO_2$, наносилось и на вторую сколотую грань полоски. Из таких же узких полосок для сравнения были изготовлены „короткие“ лазеры без дополнительных диэлектрических покрытий.

На рис. 1, а показана зависимость пороговой плотности тока от величины потерь на выход для исследованных лазеров.¹ Особен-

¹ На рис. 1, а не приведены данные для лазеров, имевших покрытия на обоих зеркалах, поскольку неизвестно точное значение коэффициента отражения для выходного зеркала.

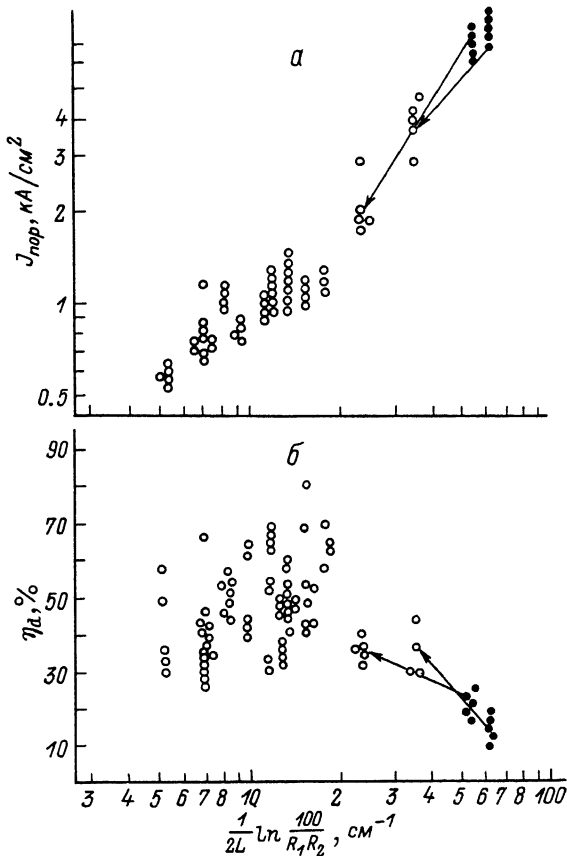


Рис. 1. а - зависимость пороговой плотности тока ($J_{\text{пор}}$) от потерь на выход ($\alpha = \frac{1}{2} L \ln^1 / R_1 R_2$), б - зависимость дифференциальной квантовой эффективности на одно зеркало (η_d) от потерь на выход. Точки - лазеры без диэлектрических зеркал, кружки - с диэлектрическим зеркалом.

ностью этой зависимости, уже обсуждавшейся ранее [2], является быстрое возрастание пороговой плотности тока ($J_{\text{пор}}$) от потерь на выход (α), резко усиливающееся при $\alpha > 20 \text{ см}^{-1}$. Причинами особенностей хода зависимости $J_{\text{пор}} = f(\alpha)$ для лазеров с тонкой активной областью безусловно являются: насыщение усиления на низкоэнергетических переходах [6] и оже-рекомбинация [7]. Не исключено также влияние на ход зависимости $J_{\text{пор}} = f(\alpha)$

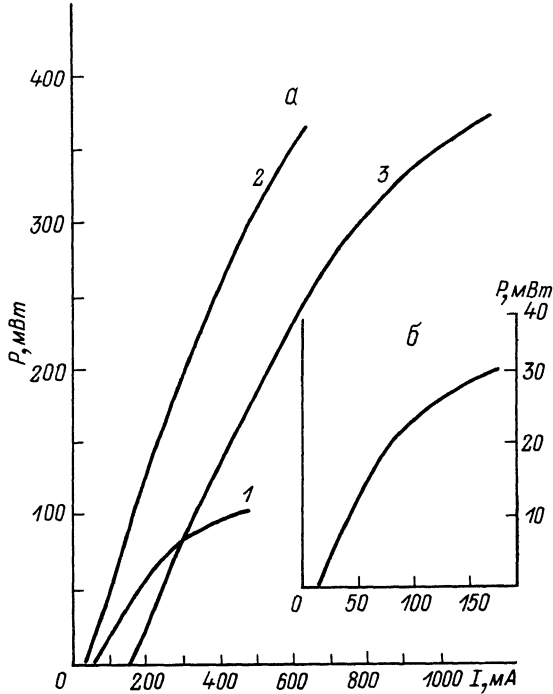


Рис. 2. Ватт-амперные характеристики зарощенных полосковых лазеров с диэлектрическим зеркалом на одной грани (а) и с диэлектрическими зеркалами на двух гранях (б). Длина резонатора: 1 - 270 мкм, 2 - 450 мкм, 3 - 650 мкм и 4 - 150 мкм.

токовых утечек в эмиттер, обусловленных высокой концентрацией носителей в активной области лазеров.

Рис. 1, б демонстрирует зависимость дифференциальной квантовой эффективности (η_d) от потерь на выход для этих же лазеров. Как видно из приведенных данных, для лазеров с малыми потерями на выход ($\alpha < 15 \text{ см}^{-1}$) увеличение α приводит к возрастанию дифференциальной квантовой эффективности, несмотря на рост пороговых плотностей тока. Это означает, что возрастание внутренних потерь (α_i), обусловленное ростом $J_{пор}$, происходит сравнительно медленно и не оказывает определяющего влияния на η_d :

$$\eta_d = \eta_{ст} (1 + \alpha_i \alpha^{-1})^{-1}.$$

Необычной является зависимость $\eta_d = f(\alpha)$ в области высоких потерь на выход ($\alpha > 15 \text{ см}^{-1}$). Спад η_d при увеличении α свидетельствует о резком усилении механизмов неизлучательных потерь, связанных с быстрым увеличением пороговых плотностей

тока в таких лазерах. К таким механизмам относятся потери, связанные с поглощением свободными носителями в активной области и волноводных слоях, а также, возможно, и уже упоминавшиеся токовые утечки в эмиттеры.

Стрелками на рис. 1 отмечены изменения дифференциальной квантовой эффективности и пороговой плотности тока при нанесении диэлектрических зеркал на лазеры с короткими резонаторами. Соответствующее увеличение η_d превышает ожидаемую величину (~ 2) вследствие резкого уменьшения $J_{пор}$, приводящего к уменьшению внутренних потерь. Типичная ватт-амперная характеристика для короткого лазера ($L = 270$ мкм) показана кривой 1 (рис. 2). Выходная мощность таких лазеров ограничена, по-видимому, разогревом образца и, как правило, не превышает 100 мВт при ширине активного полоска 12 мкм.

Оптимальными для получения высоких мощностей излучения оказываются лазеры с длиной резонатора 400–500 мкм, в которых после нанесения диэлектрических зеркал реализуется значение потерь на выход порядка 15 см^{-1} . Именно в таких лазерах (кривая 2, рис. 2) была получена мощность излучения 360 мВт при токе 600 мА. В более длинных образцах (которые были бы предпочтительнее для получения высоких мощностей с точки зрения теплового и последовательного сопротивлений) при нанесении диэлектрического зеркала дифференциальная квантовая эффективность возрастает менее чем вдвое и вследствие этого их максимальные мощности (кривая 3, рис. 2) практически не превосходят предельные мощности лазеров, имевших меньшие длины резонаторов.

Очевидно, что для получения минимальных пороговых токов [8, 9] необходимо нанесение отражающих диэлектрических покрытий на оба зеркала лазеров с короткими резонаторами. В одном из таких лазеров ($L = 190$ мкм, $W = 12$ мкм) пороговый ток составил 5 мА, что соответствует плотности тока 210 А/см^2 , являющейся рекордной для лазеров с $\lambda = 1.3$ мкм. В другой серии аналогичных экспериментов, проведенных с лазерами, имевшими ширину активного полоска 9.5 мкм, низкие пороговые токи удалось сочетать с высокой дифференциальной квантовой эффективностью. Ватт-амперная характеристика этого лазера ($L = 150$ мкм) показана на вставке рис. 2. Пороговый ток составил 7 мА, а выходная мощность излучения 20 мВт при токе 60 мА.

Основным результатом данной работы является обнаружение аномальной зависимости дифференциальной эффективности для РО ДГС $\text{InGaAsP} / \text{InP}$ лазеров от потерь на выход в широкой области значений ($\alpha > 15 \text{ см}^{-1}$). Дальнейшие исследования должны определить, в какой мере данный эффект связан с поглощением на свободных носителях, и тем самым выявить степень его общности для РО ДГС лазеров.

В заключение авторы благодарят Ж.И. Алфёрова за постоянное внимание к работе, В.Б. Халфина за полезные обсуждения результатов, Н.Д. Ильинскую, Т.Н. Дрокину и А.Н. Ермакову за помощь в подготовке образцов.

- [1] Гарбузов Д.З., Зайцев С.В., Колышкин В.И., Кулагина М.М., Мокина И.А., Нивин А.Б., Овчинников А.В., Тарасов И.С. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 2. С. 99-104.
- [2] Гарбузов Д.З., Зайцев С.В., Ильин Ю.В., Налет Т.А., Овчинников А.В., Тарасов И.С. I Всесоюз. конф. по физическим основам твердотельной электроники. 1989 г. 25-29 сентября, Ленинград.
- [3] 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.
- [4] Алфёров Ж.И., Гарбузов Д.З., Зайцев С.В., Нивин А.Б., Овчинников А.В., Тарасов И.С. // ФТП. 1987. Т. 21. № 5. С. 824-828.
- [5] Бессонов Ю.П., Бородкина А.А., Бородулин В.И., Конаев В.П., Паенко О.А., Пепкин В.Н., Швейкин В.И. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 3. С. 137-139.
- [6] Гарбузов Д.З., Тикуннов А.В., Жигулин С.Н., Соколова З.Н., Халфин В.Б. // ФТП. 1988. Т. 22. № 6. С. 1035-1039.
- [7] Гарбузов Д.З., Евтихийев В.П., Карпов С.Ю., Соколова З.Н., Халфин В.Б. // ФТП. 1985. Т. 19. № 3. С. 449-455.
- [8] Дураев В.П., Елисеев П.Г., Масхудов Б.И., Неделин Е.Т., Швейкин В.И. // Квантовая электроника. 1987. Т. 14. № 11. С. 2201-2202.
- [9] Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Аксенов В.Ю., Налет Т.А., Фьюнг Н.Т., Румянцев В.Д., Хвостиков В.П. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 22. С. 2057-2060.

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

Поступило в Редакцию
6 декабря 1989 г.