

06;07

Мощный широкополосный одномодовый InGaAsP/InP суперлюминесцентный диод

© Н.А. Пихтин, Ю.В. Ильин, А.Ю. Лешко, А.В. Лютецкий,
А.Л. Станкевич, И.С. Тарасов, Н.В. Фетисова

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

Поступило в Редакцию 29 апреля 1999 г.

На базе InGaAsP/InP двойной гетероструктуры раздельного ограничения с широким профилем усиления созданы суперлюминесцентные диоды, обладающие высокой оптической мощностью (40 mW), широким спектром излучения (65 nm по полуширине), низкой глубиной модуляции ($< 1\%$). При непрерывном токе накачки 150 mA получен 1 mW суперлюминесцентного излучения на выходе одномодового оптического волокна.

Суперлюминесцентные диоды (СЛД) являются оптимальными источниками света для низкокогерентной рефлектометрии [1] и волоконных гироскопов [2] благодаря их малой длине когерентности, низким внутренним шумам и широкому спектру излучения. В этой связи создание СЛД, излучающего в диапазоне 1300–1550 nm длин волн с высокой выходной оптической мощностью и эффективным вводом в одномодовое оптическое волокно, является актуальной задачей.

Главной проблемой получения суперлюминесцентного излучения является достижение высокого коэффициента усиления в диоде без обратной связи. Наиболее эффективными методами подавления Фабри–Перо мод являются: нанесение просветляющего покрытия на переднюю грань диода [3], введение непрокачиваемой поглощающей задней секции [4,5], формирование косога мезаполоска [6].

Целью настоящей работы являлось определение оптимальной конструкции СЛД для получения максимальной мощности суперлюминесцентного одномодового излучения с широким спектром и малой глубиной модуляции спектра. Конструкция СЛД базировалась на мезаполосковой конструкции лазерного диода [7] на основе InGaAsP/InP двойной гетероструктуры раздельного ограничения (РО ДГС), выращенной модифицированным методом жидкофазной эпитаксии [8]. Толщина

активной области и волноводов такой структуры составила 800 \AA и 1 \mu m соответственно. Мезаполосковая конструкция лазера с шириной полоска $W = 4 \text{ \mu m}$ обеспечивает эффективный ввод излучения в одномодовое волокно с коэффициентом ввода более 50% [7]. Лазеры на основе такой структуры, излучающие в диапазоне 1300–1550 nm, обладают низким пороговым током, высокой внутренней и внешней квантовой эффективностью и имеют высокие мощности в непрерывном режиме генерации при работе в нулевой поперечной моде [7]. Наши предыдущие исследования [9] показали, что такие лазеры обладают аномально широким спектром спонтанного излучения и генерации. Наличие широкого профиля усиления в такой структуре делает ее очень привлекательной для создания мощного широкополосного СЛД.

Для получения суперлюминесцентного излучения в конструкцию РО ДГС InGaAsP/InP лазерного диода, описанную выше, поэтапно вносились изменения с целью подавления лазерного режима. При этом исследовалось влияние каждого вносимого изменения на режим работы диода, в частности на такие его характеристики, как пороговый ток генерации, мощность и эффективность суперлюминесцентного излучения, ширина спектра излучения и глубина модуляции спектра.

Исследования излучательных характеристик СЛД мезаполосковой конструкции с разным углом наклона полоска к нормали α (от 0 до 14°) и с разной длиной резонатора L позволили определить оптимальные значения этих величин (рис. 1 и 2). Они составили 10° и 1 mm соответственно. Как видно на рис. 1, по мере увеличения наклона полоска растет величина тока перехода СЛД в режим генерации и увеличивается доля стимулированного излучения до порога генерации. Полуширина спектра стимулированного излучения СЛД уменьшается с ростом тока накачки, и эта зависимость тем резче, чем меньше угол наклона полоска. При этом растет глубина модуляции спектра $m = (P_{\max} - P_{\min}) / (P_{\max} + P_{\min})$, где P_{\max} , P_{\min} — максимальная и минимальная интенсивности пиков спектра излучения. Величина $m = 0.1$ была выбрана пороговой точкой перехода СЛД в лазерный режим (рис. 1).

Необходимо отметить довольно резкую зависимость дифференциальной квантовой эффективности стимулированного излучения η_d от длины СЛД (рис. 2) по сравнению с подобной зависимостью лазерного диода [11], связанную с однопроходным режимом работы СЛД (падение η_d при малых L) и ростом внутренних оптических потерь (падение η_d при

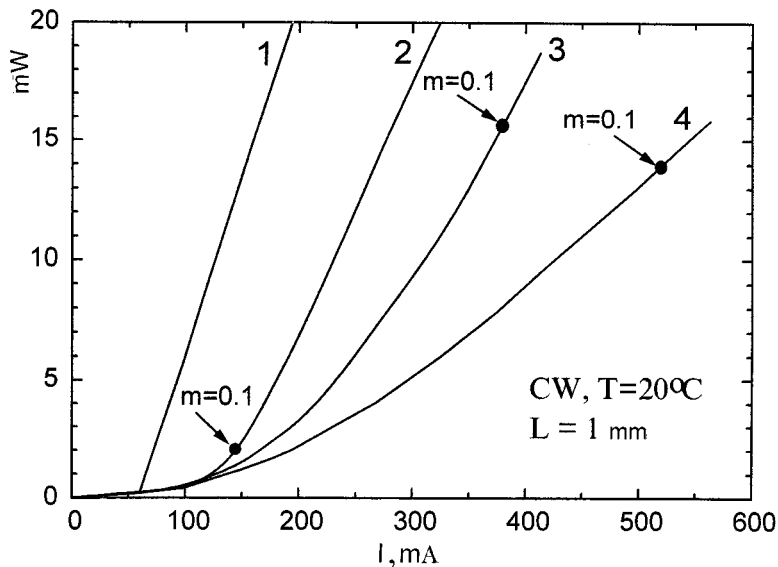


Рис. 1. Ватт-амперные характеристики в непрерывном режиме РО ДГС InGaAsP/InP ($\lambda = 1.55 \mu\text{m}$) СЛД ($L = 1 \text{ mm}$) с углом наклона мезаполоска α : 1 — $\alpha = 0^\circ$ (лазерный диод), 2 — $\alpha = 5^\circ$, 3 — $\alpha = 10^\circ$, 4 — $\alpha = 14^\circ$.

больших L). Величина η_d измерялась на прямом участке ватт-амперной характеристики СЛД.

Максимальная мощность суперлюминесцентного излучения, определяемая при значении глубины модуляции спектра $m = 0.1$, составила 15 mW при оптимальных значениях $\alpha = 10^\circ$ и $L = 1 \text{ mm}$.

Расширение диапазона токов, в котором происходит рост стимулированного излучения, стало возможным с введением дополнительной секции в диоде, играющей роль поглотителя. Такая конструкция диода аналогична конструкции двухсекционного лазера, технология изготовления которого подробно описана в [10]. В данном случае оптимальная длина накачивающей и поглощающей секций составляла 1000 и 300 μm соответственно. На рис. 3 приведены свет-токовые характеристики СЛД двухсекционной конструкции с наклонным полоском ($\alpha = 10^\circ$). Использование такой конструкции СЛД позволило получить 40 mW

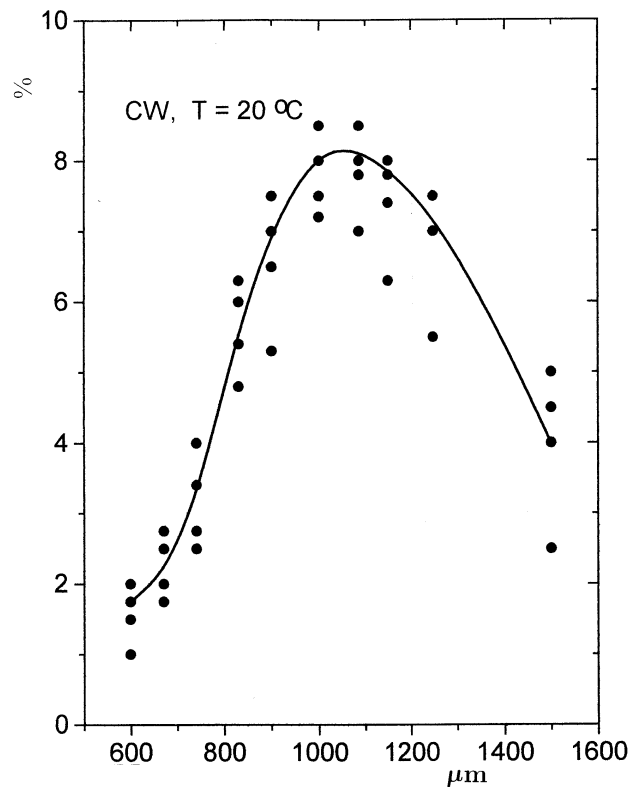


Рис. 2. Зависимость дифференциальной квантовой эффективности с выходного торца от длины СЛД на базе РО ДГС InGaAsP/InP ($\lambda = 1.55 \mu\text{m}$) с углом наклона мезаполоска $\alpha = 10^\circ$.

(диапазон длин волн 1300 nm) и 30 mW (диапазон длин волн 1550 nm) непрерывной мощности суперлюминесцентного излучения. Полуширина спектра составила 60 nm при глубине модуляции $m = 0.03$ на максимальной мощности P_{max} и соответственно 65 nm и $m = 0.01$ на рабочей мощности ($1/2P_{\text{max}}$). Картина дальнего поля СЛД имеет однолепестковый вид с полуширинами $\Theta_{\parallel} = 25^\circ$ и $\Theta_{\perp} = 40^\circ$ и не изменяется во всем диапазоне токов накачки, обеспечивая эффективный

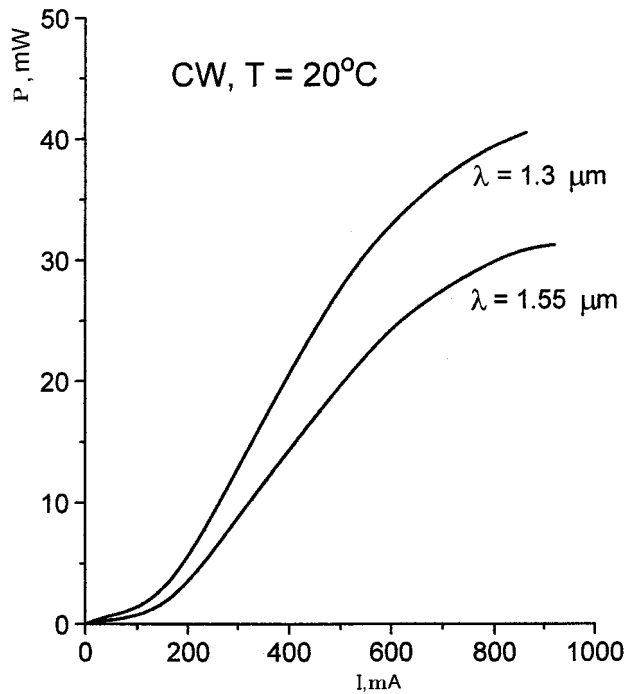


Рис. 3. Ватт-амперные характеристики в непрерывном режиме РО ДГС InGaAsP/InP СЛД ($L = 1 \text{ mm}$) с 10° наклонным мезаполоском и поглощающей секцией ($L = 300 \mu\text{m}$).

ввод излучения в одномодовое оптическое волокно. При этом максимум интенсивности сдвинут от нормали на угол $\Theta_0 = \arcsin(n_{eff} \cdot \sin \alpha)$, где n_{eff} — эффективный показатель преломления волновода (в нашем случае $\Theta_0 = 37^\circ$ при $\alpha = 10^\circ$).

Нанесение на переднюю грань диода просветляющего покрытия с коэффициентом отражения 1% не дало заметного увеличения мощности стимулированного излучения.

Эксперименты по вводу суперлюминесцентного излучения в одномодовое волокно (диаметр жилы $9 \mu\text{m}$) проводились с СЛД ($\lambda = 1.55 \mu\text{m}$) с углом наклона мезаполоска 10° и длиной $L = 1 \text{ mm}$. Для эффек-

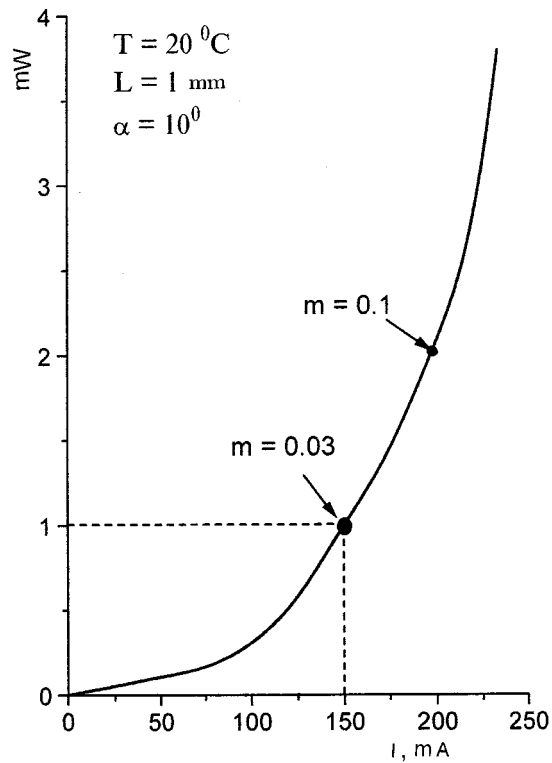


Рис. 4. Зависимость мощности на выходе одномодового оптического волокна от непрерывного тока накачки InGaAsP/InP СЛД ($\lambda = 1.55 \mu\text{m}$) с наклонным мезаполоском.

тивного согласования СЛД с волокном на конце оптического волокна формировался вытянутый конус с оплавленной микролинзой (фокон). Кристаллы паялись на медный теплоотвод под углом $\sim 37^{\circ}$ к торцу теплоотвода. На рис. 4 проведена зависимость оптической мощности, измеряемой на выходе одномодового оптического волокна, от тока накачки СЛД. При стыковке с волокном проводились измерения выходных оптических характеристик СЛД непосредственно с заднего торца диода. Были обнаружены увеличение оптической мощности излучения диода и

сужение спектра стимулированного излучения СЛД. При этом переход в лазерный режим работы диода начинался при более низких токах накачки. При постоянном токе накачки 150 мА мощность на выходе волокна составила 1 мВт, полуширина спектра излучения 40 нм, глубина модуляции спектра $m = 0.03$. Коэффициент ввода с учетом влияния оптического волокна на мощность излучения диода составил 55%.

Дальнейшая оптимизация электрических и оптических характеристик суперлюминесцентного диода видится в уменьшении внутренних оптических потерь в гетероструктуре, используемой для изготовления СЛД, а также в нанесении на переднюю грань диода просветляющего покрытия с коэффициентом отражения $< 0.1\%$.

Список литературы

- [1] *Youngquist R.C., Carr S., Davies D.E.N.* // Opt. Lett. 1987. V. 12. P. 158.
- [2] *Burns W.K., Chen C.L., Moeller P.P.* // IEEE/OSA J. Lightwave Technol. 1983. LT-1. P. 98.
- [3] *Kaminow I.P., Eisenstein G., Stulz L.W.* // IEEE J. Quantum Electron. 1983. V. 19. P. 493.
- [4] *Kwong N.S.K., Bar-Chaim N., Chen T.* // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54(4). P. 298.
- [5] *Nagai H., Noguchi Y., Sudo S.* // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54(18). P. 1719.
- [6] *Lin C.F.* // Electr. Lett. 1991.V. 27. P. 968.
- [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., Пихтин Н.А., Тарасов И.С.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21 (5). С. 70.
- [8] *Алферов Ж.И., Гарбузов Д.З.* // ФТП. 1987. Т. 21 (7). С. 824.
- [9] *Пихтин Н.А., Тарасов И.С., Иванов М.А.* // ФТП. 1994. Т. 28 (11). С. 1983.
- [10] *Пихтин Н.А., Лешко А.Ю., Лютецкий А.В., Халфин В.Б., Шувалова Н.В., Ильин Ю.В., Тарасов И.С.* // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23 (6). С. 10.
- [11] *Гарбузов Д.З., Овчинников А.В., Пихтин Н.А., Соколова З.Н., Тарасов И.С., Халфин В.Б.* // ФТП. 1991. Т. 25 (5). С. 928.