

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНОГО ТЕПЛООВОГО ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛАЗЕРНОЙ ЛИНЕЙКИ, РАБОТАЮЩЕЙ В КВАЗИНЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ

Карпов С. Ю., Копьев П. С., Тер-Мартirosян А. Л.,  
Чалый В. П., Шкурко А. П.

Проведено исследование взаимного теплового влияния элементов лазерной линейки, изготовленной из РО ДГС, полученной методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Показано, что существенную роль в стабильности работы лазерной линейки играет неоднородность распределения температуры в плоскости слоев. Продемонстрировано существование критического температурного режима, приводящего к развитию шпотовой генерации в лазерной линейке на основе лазеров с широким контактом.

В последнее время интенсивно исследуются лазерные линейки, представляющие собой несколько лазерных излучателей (одиночных лазерных диодов или связанных многополосковых лазеров), интегрированных на единой подложке [1]. Предельные характеристики таких линеек — высокая мощность излучения при относительно большом сроке службы — достигаются только в случае высокой однородности свойств отдельных излучателей вдоль излучающей апертуры. Если технология изготовления лазерных линеек обеспечивает необходимую однородность, то мощность излучения ограничивается различного рода неустойчивостями, приводящими к шпотовому режиму генерации. В данной работе на основе экспериментов по взаимному тепловому влиянию лазерных диодов, интегрированных в линейку и работающих в квазинепрерывном режиме, показано, что такого рода неустойчивость может быть инициирована неоднородным распределением температуры в лазерной линейке. Продемонстрировано существование критического температурного режима, приводящего к возникновению шпотовой генерации полупроводникового лазера с широким контактом.

Для создания линейки использовалась лазерная гетероструктура, аналогичная [2], изготовленная на основе твердых растворов GaAs—AlAs. Из этой структуры по обычной технологии [2] была изготовлена линейка, содержащая лазерные диоды с шириной полосковых контактов 100 мкм и расстоянием между полосками 100 мкм. Подложка утоньшалась до толщины 100 мкм, и вся линейка напайвалась с помощью индия на медный теплоотвод слоями вверх. Предварительные измерения показали, что разброс параметров лазерных диодов, интегрированных в линейку, не превышает 10 %, при этом пороговая плотность тока составляла 220—240 А/см<sup>2</sup>, а дифференциальная квантовая эффективность на два зеркала — 55—60 %.

В изготовленной линейке выбирались три соседних лазерных диода. Два крайних диода включались параллельно и в эксперименте использовались как источники тепла, разогревающие центральный диод. Для питания крайних диодов использовались длинные токовые импульсы (длительностью 500 мкс и частотой повторения 50 Гц). Питание центрального диода осуществлялось импульсами длительностью 100 нс (частота повторения 25 Гц), которые с помощью контролируемой задержки могли смещаться во времени относительно переднего фронта длинного импульса.

В эксперименте измерялись спектры излучения центрального лазера при фиксированном токе его накачки 700 мА (пороговый ток — 230 мА). Для этого на входной щели монохроматора формировалось изображение линейки таким образом, чтобы в щель попадало только излучение центрального диода. Регистрация спектров осуществлялась с помощью системы синхронного детектирования на частоте 25 Гц. Температура линейки поддерживалась постоянной и равной 15 °С.

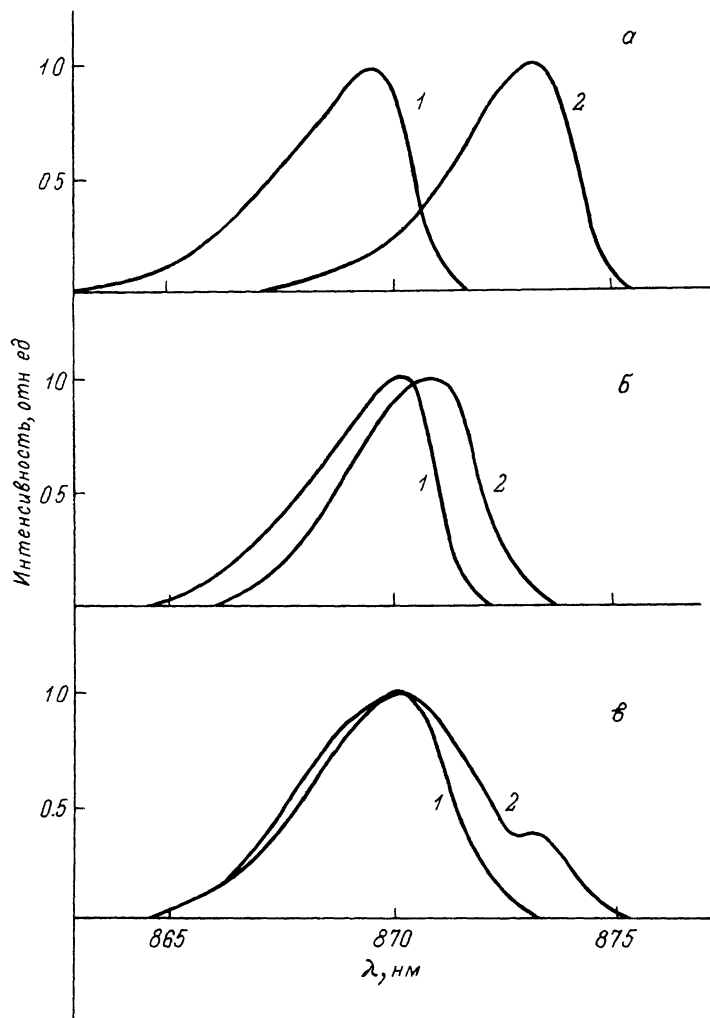


Рис. 1. Спектры генерации центрального лазера при токе накачки  $I_{\text{д}}=700$  мА ( $3I_{\text{п}}$ ).

а) крайние диоды отключены, температура линейки  $T$  °С: 1 — 15, 2 — 30; б) ток накачки крайних диодов  $I=2$  А,  $T=15$  °С, время задержки  $\tau$ , мкс: 1 — 200, 2 — 500; в)  $T=15$  °С,  $I=3$  А,  $\tau$ , мкс: 1 — 200, 2 — 300.

В предварительной серии экспериментов было установлено, что при отключенных крайних диодах длинноволновая и коротковолновая границы спектров излучения центрального лазера (точки перегиба на огибающей спектра генерации, рис. 1, а) линейно смещаются с увеличением температуры образца  $T$  со скоростью  $2.5 \text{ \AA}/\text{град}$  (в диапазоне  $T=15\text{--}30$  °С). Измеренные таким образом температурные зависимости положений границ спектра использовались в дальнейшем в качестве калибровочных кривых.

Включение крайних диодов приводило к неоднородному разогреву центрального лазера, в результате чего спектры излучения изменяли свою форму и упирались (рис. 1, б). При этом коротковолновая и длинноволновая границы спектра характеризовали соответственно локальную минимальную ( $T_{\text{min}}$ ) и

максимальную ( $T_{\max}$ ) температуру центрального диода. На рис. 2 показаны зависимости минимальной (1) и максимальной (2) температуры от тока накачки  $I$  крайних диодов при фиксированной задержке  $\tau=300$  мкс импульса накачки центрального лазера. Видно, что при  $I=2.4$  А наблюдается скачкообразное увеличение максимальной температуры; при этом величина  $T=T_{\max}-T_{\min}$  возрастает более чем в 2 раза.

Существование критического теплового режима демонстрируют также зависимости  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$  от задержки  $\tau$  при фиксированных значениях тока накачки крайних диодов (рис. 3). В случае  $I=2.0$  А величины  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$  монотонно увеличиваются с ростом  $\tau$ . При  $I=2.4$  А наблюдается скачкообразное возрастание  $T_{\max}$  вблизи задержки  $\tau=300$  мкс. Такое изменение сопровождается

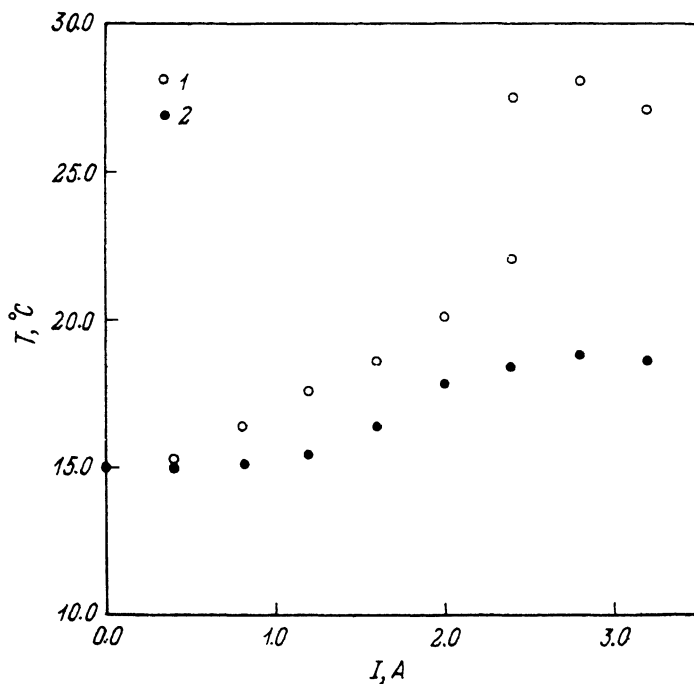


Рис. 2. Зависимости максимальной (1) и минимальной (2) температур центрального диода от тока накачки  $I$  крайних диодов.  
 $\tau=300$  мкс,  $T=15$  °C.

ется резкой трансформацией спектра излучения (рис. 1, в): от основного спектра отщепляется длинноволновое крыло, которое вызывает скачкообразный сдвиг длинноволновой границы спектра.

Описанные выше изменения обусловлены, на наш взгляд, развитием неустойчивости шпотового режима генерации. Для выяснения ее природы нами были исследованы ближние поля излучения центрального лазера в линейке при режимах накачки, соответствующих резким изменениям в спектрах. В допороговых режимах накачки боковых диодов излучение центрального лазера в ближнем поле представляло систему самосфокусированных каналов [3], взаимная интенсивность которых практически не менялась при изменении тока через боковые диоды и при изменении длительности задержки. В послепороговых режимах интенсивность излучения по краям центрального диода возрастает в 1.3—1.6 раза, а интенсивность излучения в центре диода уменьшается на такую же величину; при этом интегральная интенсивность излучения практически не меняется. Описанные эффекты могут быть объяснены, на наш взгляд, следующим образом. Превышение порога приводит к более сильному разогреву краев центрального диода и, следовательно, сопровождается локальным уменьшением ширины запрещенной зоны. Обусловленный этим градиент

потенциала вызывает дрейф неравновесных носителей от центра диода к его краям и приводит к преимущественной локализации каналов генерации по краям полоска. Усиление генерации света в этих каналах и является, по-видимому, причиной отщепленной длинноволновой части спектра излучения (рис. 1, *в*).

Степень взаимного теплового влияния определяется геометрией лазерной линейки и длительностью импульсов накачки отдельных диодов. Так, за время  $\tau$  фронт тепла, выделившегося на одном из диодов, распространится на длину  $\sim l_{\tau} = 2(D_{\tau}\tau)^{1/2}$ , ( $\sim 200$  мкм), где  $D_{\tau}$  — коэффициент температуропроводности (для GaAs  $D_{\tau} = 0.31$  см<sup>2</sup>/с при  $T = 300$  К [4]). Тепловое влияние становится существенным при  $l_{\tau} \geq L$ , где  $L$  — расстояние между полосковыми контактами. Следовательно, влияния лазерных диодов друг на друга можно ожидать при временах  $\tau \geq L^2/4D_{\tau}$ ; для  $L = 200$  мкм — при  $\tau \geq 300$  мкс. Следует отметить,

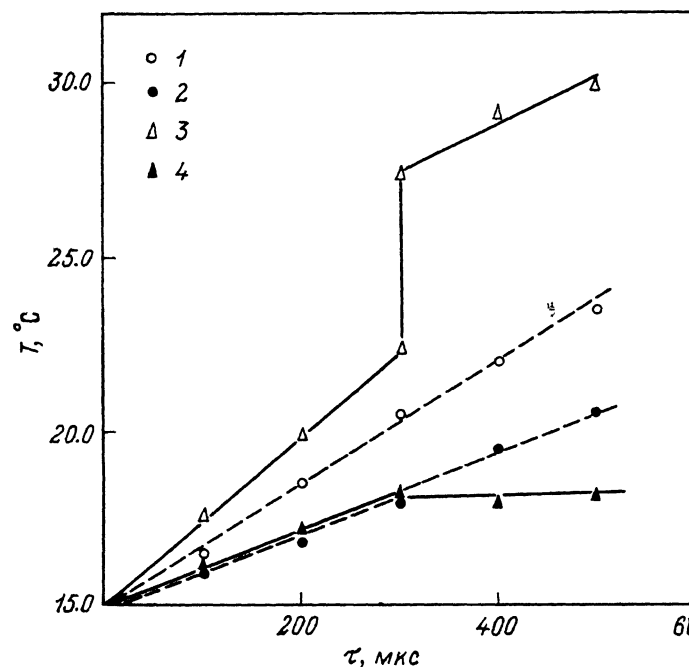


Рис. 3. Зависимости максимальной (1, 3) и минимальной (2, 4) температур центрального диода от времени задержки  $\tau$ .  
 $T = 15$  °C;  $I$ , А: 1, 2 — 2; 3, 4 — 2.4.

что приведенная грубая оценка согласуется с результатами экспериментов при токах накачки  $2.4 < I < 3.2$  А; резкие изменения температуры наступают вблизи значения задержки  $\tau \sim 300$  мкс (рис. 3).

В заключение сформулируем основные выводы.

1. Существенную роль в стабильности работы лазерной линейки играет неоднородность распределения температуры в плоскости слоев.
2. Взаимное тепловое влияние лазерных диодов носит пороговый характер. В допорогового режиме оно проявляется в незначительном ( $< 15\%$ ) уширении спектров излучения. В послепорогового режиме усиливается локализация носителей и области генерации света в разогретых областях (спектры излучения и распределение интенсивности в ближнем поле при этом заметно трансформируются).
3. При работе лазерной линейки в квазинепрерывном режиме минимальное расстояние между полосками определяется прежде всего длительностью импульса накачки. При  $\tau = 300$  мкс стабильная работа лазерной линейки наблюдалась при  $I < 2.4$  А, уменьшение  $\tau$  до 200 мкс позволило повысить рабочий ток по крайней мере до 3.2 А.

4. Возрастание значения тока накачки вызывающего критический тепловой режим работы лазерной линейки, можно получить при напайвании диодов на теплоотвод слоями вниз.

#### Список литературы

- [1] Botez D., Mawst L. J., Peterson G., Roth T. J. // Proc. CLEO. 1990. P. 432.
- [2] Алфёров Ж. И., Иванов С. В., Кошнев П. С., Леденцов Н. Н., Луценко М. Э., Мельцер Б. Я., Неменов М. И., Устинов В. М., Шапошников С. В. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 1. С. 152—153.
- [3] Гаврилович П., Гарбузов Д. З., Кочергин А. В., Рафаилов Э. У., Стругов Н. А., Тер-Мартirosян А. Л., Чалый В. П. // Тез. докл. I Всес. конф. «Физические основы твердотельной электроники». Л., 1989. Т. А. С. 28.
- [4] Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. G. III. V. 17. A: / Ed. by O. Madelung, M. Schulz, H. Weiss. Berlin, 1982. С. 642.

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

Получена 29.03.1991  
Принята к печати 8.04.1991