

## НАПРЯЖЕННЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ GaInAsP/InP И ИХ РЕСУРСНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

П.Г. Елисеев, Н. Шохуджаев \*

УДК 621.373.826.038.825.4

*Проведены ресурсные испытания неполюсованных гетеролазеров, изготовленных на основе гетероструктуры GaInAsP/InP ( $\lambda \sim 1,3$  мкм) с различным уровнем остаточных напряжений в активной области. Лазерные диоды испытывались в режиме некогерентного излучения при плотности тока  $\geq 1,5$  кА/см<sup>2</sup> при температуре 100 °С в течение 30 ч (эквивалентное время  $\sim 4000$  ч при 25 °С).*

Для получения стабильной линейной поляризации лазерного излучения гетероструктур GaInAsP/InP (1,1 – 1,6 мкм), а также для оптимизации некоторых их излучательных характеристик /1, 2/ может быть целесообразным создание определенного уровня упругих напряжений в гетероструктуре, т.е. использование "напряженных" гетероструктур, в отличие от гетеролазеров на основе GaAlAs/GaAs, где приходится тщательно устранять механические напряжения.

Напряженное состояние можно получить за счет отклонения от полного согласования периодов решетки между GaInAsP и InP в пределах когерентности гетеропереходов. Речь идет о химическом несоответствии  $\Delta a/a \leq 10^{-3}$ . Анизотропную деформацию можно увеличить за счет градиентного или ступенчатого рассогласования периодов решетки между подложкой и активным слоем или используя прижимные держатели с дозированным давлением (это применимо к образцам типа ТМ и некоторым типа ТЕ/ТМ /1/). Знак и величину напряжения можно оценить по поляризации спонтанного излучения.

Основным вопросом целесообразности этого пути является надежность и долговечность напряженных гетероструктур. Следует отметить, что эксперименты по ресурсу лазеров на основе структуры GaInPAs/InP, проведенные в работах /3 – 5/, показывают их большую долговечность по сравнению с ла-

\* Физико-технический институт им. С.У. Умарова АН Таджикской ССР, г. Душанбе.

зерами на основе традиционной гетероструктуры GaAlAs/GaAs. В лазерах на GaInAsP/InP механизм деградации иной, не столь сильно связанный с прорастающими дислокациями. В них после продолжительной работы не было выявлено обилия "темных линий" и пятен, типичных для деградировавших лазеров на GaAlAs/GaAs. В отличие от GaAlAs/GaAs-лазеров, в GaInAsP/InP-лазерах проникающие дислокации и дислокации несоответствия, лежащие в плоскости гетерограницы, не являются очагами ускорения деградационного процесса /6/. Высокотемпературные испытания показали, что лишь при 250 °С можно наблюдать формирование темных пятен как результат деградации. Таким образом, экспериментальные результаты показывают, что лазеры на GaInAsP/InP практически не подвержены "болезни ТЛЛ" при обычных рабочих температурах, поэтому они потенциально более надежны, а требования к исходным подложкам в них не столь жестки, как в случае GaAlAs/GaAs-лазеров.

В данной работе проведены ресурсные исследования напряженных структур GaInAsP/InP, излучательные характеристики которых исследовались в /1/. На начальном этапе изучалась стабильность мощности в импульсном лазере на длине волны 1,3 мкм при повышенной внешней механической нагрузке (до 2,5 кбар), причем никаких признаков явного ускорения деградации под нагрузкой в лазерном режиме (300 К, 10 ч, 6 кА/см<sup>2</sup>) не обнаружилось. В аналогичном опыте с GaAlAs/GaAs-лазером /7/ ускорение деградации было легко выявлено. Далее проводились высокотемпературные испытания напряженных структур на постоянном токе с плотностью 1,5 – 2 кА/см<sup>2</sup> при температуре 100 °С в течение 30 ч. Некоторые исходные параметры изученных гетероструктур даны в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Исходные параметры образцов*

№ партии	$\lambda$ , мкм	d, мкм	$j_t$ (300 К), кА/см <sup>2</sup>	$\Delta a_1/a \cdot 10^3$	$V_p \cdot 10^5$ %·ч <sup>-1</sup>	$\tau \cdot 10^3$ , ч
1	1,32	~ 0,8	7	4,6	~ 3,9	≥ 26
2	1,235	~ 0,5	6	0,6	~ 3,3	≥ 30
3	1,31	~ 0,6	4	-3,3	~ 2,6	≥ 38

Величина относительного несоответствия периодов решеток (ОНПР)  $\Delta a_1/a$  определялась по поляризационной методике [8].

Согласно [5], скорость относительного спада мощности

$$V_p = \frac{d}{dt} \ln P = \frac{1}{P} \frac{dP}{dt} \quad (1)$$

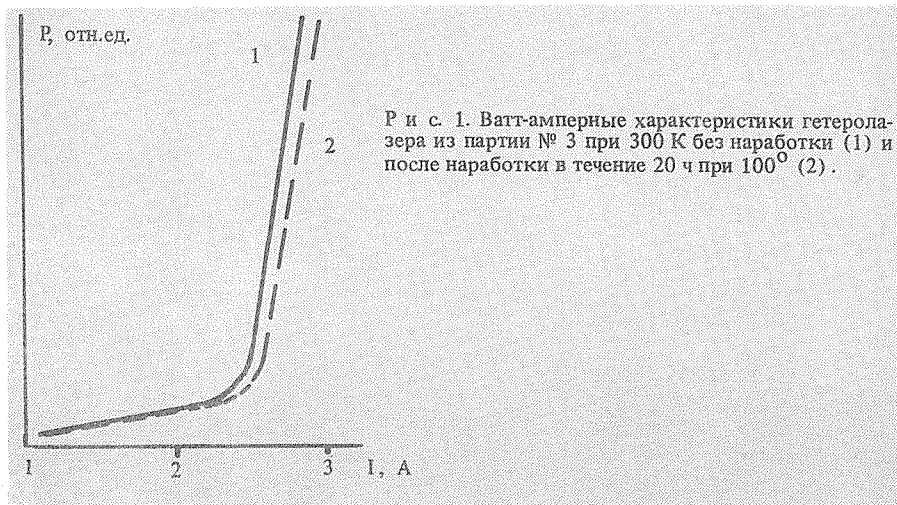
может служить оценкой ресурса

$$\tau = \frac{1}{V_p}, \quad (2)$$

а  $\tau$  имеет следующую зависимость от температуры:

$$\tau(T) = \tau_0 \exp(E_A/kT), \quad (3)$$

где  $E_A$  — энергия активации деградационного процесса, равная 0,61 эВ [5]. Оценка экстраполированного значения  $\tau$  при температуре активной области 25 °С с использованием значения  $V_p$  при 100 °С (табл. 1), дала  $\tau = (2,6 - 3,8) \cdot 10^4$  ч. Никакого существенного различия по ресурсу для структур с разными знаками несоответствия решеток (табл. 1) не наблюдалось за время испытания до 30 ч при 100 °С. Случаи деградации из-за натека индиевого припоя на зеркало диода не принимались во внимание. Испытания структур с незначительным  $\Delta a_1/a$  дали такие же результаты. Изменения порога и дифференциальной эффективности были незначительны, что соответствует оценочным данным, полученным по скорости деградации (рис. 1).



Таким образом, предварительные результаты испытания гетероструктур с различной величиной несоответствия периодов решеток показывают, что скорость деградации практически не зависит от относительного несоответствия решеток в пределах ее когерентности за время наработки  $\sim 30$  ч при  $100^\circ\text{C}$  (эквивалентное время  $\sim 4$  тыс. ч при  $25^\circ\text{C}$ ). Этот факт, по-видимому, гарантирует долговечность лазеров на основе напряженных гетероструктур GaInAsP/InP, сравнимую с долговечностью напряженных гетероструктур.

Авторы благодарны В.П. Дураеву за помощь в работе.

Поступила в редакцию 10 июля 1985 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев П.Г., Свердлов Б.Н., Шохуджаев Н. Квантовая электроника, 11, 8, 1665 (1984).
2. Елисеев П.Г., Свердлов Б.Н., Шохуджаев Н. Препринт ФИАН № 107, М., 1984.
3. Yamamoto T., Sakai K., Akiba S. IEEEJ. Quant. Electron., QE-15, 8, 684 (1979).
4. Horikoshi Y., Kobayashi T., Furukawa Y. Japan. J. Appl. Phys., 18, 2237 (1979).
5. Безотосный В.В. и др. Квантовая электроника, 8, 1985 (1981).
6. Fukuda M., Wakita K., Iwane G. Jap. J. Appl. Phys., 20, № 2, L 87 (1981).
7. Елисеев П.Г., Хайдаров А.В. Квантовая электроника, 2, № 1, 127 (1975).
8. Берг Н.А. и др. ФТП, 16, № 1, 60 (1982).