

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОРОГ ГЕНЕРАЦИИ
В ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРАХ
НА ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ $\text{GaAs} - \text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$

Д. М. Долгинов, П. Г. Елисеев, Л. Д. Либов,
И. Э. Пинскер, Е. Г. Шевченко

Инжекционные ПКГ на основе гетероструктур¹ имеют относительно низкие пороги генерации при 300°K²⁻⁴, что выгодно отличает их от обычных ПКГ на p-n переходах (гомоструктурах). Имеется два варианта гетероструктур, первый из которых - "несимметричная" структура $n\text{GaAs} - p\text{GaAs} - p\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ^{2,3} - подробно изучен в настоящей работе. Второй вариант - "симметричная" структура (в смысле диэлектрического волновода^{5,6}) $p\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As} - \text{GaAs} - p\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, описанная в работе⁴.

Использование гетеропереходов в ПКГ позволяет контролировать инжекцию и диффузию избыточных носителей, а также контролировать локализацию электромагнитного поля, что в целом ведет к улучшению характеристик ПКГ.

В работе³ показано, что в несимметричных гетероструктурах имеется оптимум по толщине d слоя $p\text{GaAs}$, и кроме того при некоторой температуре T_M происходит резкое возрастание порогового тока, так что рабочий диапазон температур таких ПКГ ограничен сверху величиной T_M . Предположено, что срыв генерации при T_M связан с появлением дырочной инжекции³.

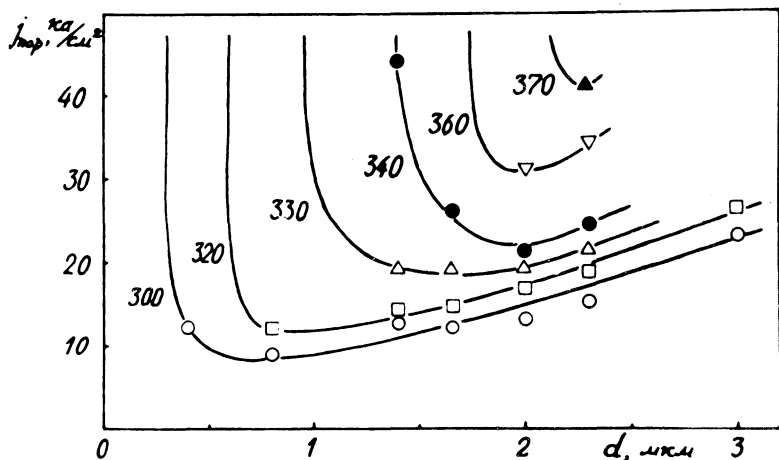
В работе⁵ были рассмотрены условия генерации с учетом особенностей несимметричного диэлектрическо-

го волновода, который, несомненно, имеется в обсуждаемых гетероструктурах. Из решения волнового уравнения для трехслойной модели инжекционного лазера⁶, распространенной на гетероструктуры, были получены выводы об оптимальной толщине среднего слоя и о температурном срыве генерации, если принять, что скачок диэлектрической проницаемости в p-n переходе зависит от температуры или от плотности тока.

В настоящей работе экспериментально исследовались температурные эффекты в гетероструктурах несимметричного типа, в основном при температуре выше комнатной. Диоды изготовлялись методом жидкостной эпитаксии p-слоя $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$, легированного Zn и Ge, на подложке nGaAs, легированного Sn или Te, с ориентацией (100). Вариации температурного режима процесса позволили контролировать глубину диффузии Zn в подложку из наращенного слоя в пределах 0,4 - 4 мкм, чем определялась толщина d излучающей области p - GaAs. Величина d определялась с погрешностью не более 0,3 мкм с помощью микроскопа на сколах, протравленных смесью H_2SO_4 , H_2O_2 , $\text{H}_2\text{O}(3:2:1)$. Остаточное сопротивление диодов толщиной 150 мкм составляло на единицу площади p-n перехода $4 \cdot 10^{-4}$ ом.см². Порог генерации определялся в режиме импульсов длительностью 0,1 мксек с частотой повторения 500 гц. Для температурных исследований диоды помещались в вакуумный криостат.

Пороговые плотности тока при 300°K составляли $8 + 12$ ка/см² для образцов с d от 0,8 до 2,2 мкм и длиной резонатора Фабри-Перо 0,5 - 1,0 мм. Наиболее низкое значение 5,5 ка/см² отмечено в четырехсторонних диодах (подложка с концентрацией олова $3,8 \cdot 10^{18}$ см⁻³). Влияние d на порог генерации, как можно видеть из рис. 1, немонотонно, и вблизи $d \approx 1$ мкм имеется минимум порогового тока при 300°K, который сдвигается к большим значениям d с ростом температуры. Влияние d на T_M для двух партий образцов показано на рис. 2 (каждая партия приготовлена на

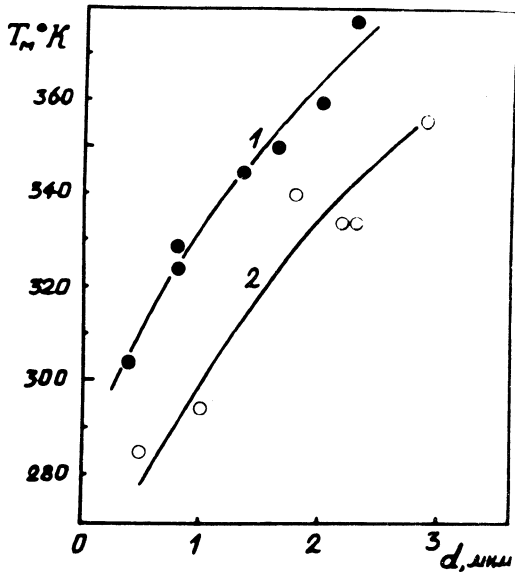
подложках из одного исходного слитка). Диоды разных партий существенно различаются по величине T_M (примерно на 30 градусов). Специальные опыты с серебрением одной грани резонатора с целью выяснения влия-



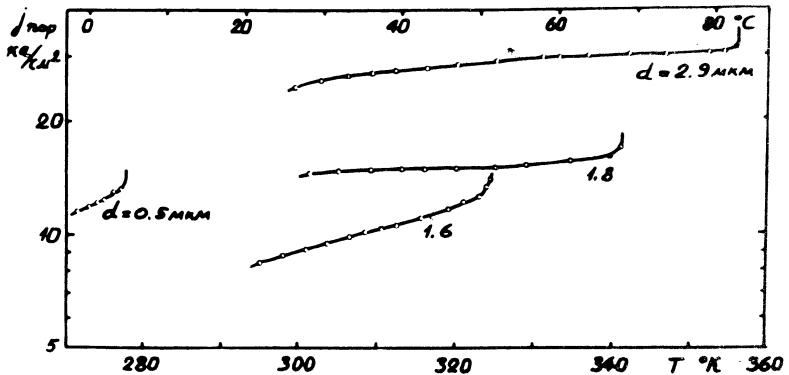
Р и с. 1. Влияние толщины d слоя $pGaAs$ в гетероструктуре на пороговый ток лазеров при различных температурах (указаны у кривых в $^{\circ}K$). ПКГ с резонаторами Фабри-Перо, длина 0,5–0,7 мм; подложка – $nGaAs$ с примесью $3,8 \times 10^{18}$ Sn/cm^3 .

ния добротности резонатора на срыв генерации при T_M показали, что T_M зависит от состояния резонатора и при серебрении несколько возрастает (см. таблицу 1), в то время как плотность тока J_M в точке срыва уменьшается или остается неизменной.

В некоторых образцах при приближении к T_M наблюдалась слабая температурная зависимость порогового тока, как это видно на кривых 1, 2 на рис. 3. Значения характеристической температуры $T_0 \equiv \frac{\partial T}{\partial \ln j_{пор}}$ для этих образцов достигало 480° (кривая 2),



Р и с. 2. Влияние d на T_M (температуру срыва генерации) в двух сериях диодов. 1 - подложка $nGaAs$ с примесью $3,8 \cdot 10^{18} \text{ Sn/cm}^3$; 2 - подложка $nGaAs$ с примесью $5 \cdot 10^{18} \text{ Sn/cm}^3$.



Р и с. 3. Температурные зависимости плотности порогового тока для образцов с различными значениями d (указаны в мкм). Диоды из партии 2, рис. 2.

Таблица 1

Влияние серебрения одной грани резонатора до $R \approx 1$
на T_M (°К) и J_M (ка/см²)

| № образца | 825 | 848 | 856 |
|------------------------|-----|------|------|
| T_M до серебрения | 348 | 324 | 334 |
| T_M после серебрения | 352 | 333 | 337 |
| J_M до серебрения | 44 | 26,5 | 31 |
| J_M после серебрения | 44 | 25,6 | 29,4 |
| d, мкм | 2,2 | 2,0 | 2,3 |

тогда как для большинства других диодов оно было в интервале $50 \pm 150^\circ$. От 100°К до 300°К обычно наблюдалась степенная зависимость порога от температуры, близкая к квадратичной, причем оптические потери остаются примерно постоянными, тогда как усиление на единицу плотности тока убывает с ростом T . При 300°К для партии диодов, показанных на рис. 1 с $d = 0,8$ мкм были получены коэффициент внутренних оптических потерь 34 см^{-1} и коэффициент усиления на единицу плотности тока $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ см/а}$ (из зависимости порога от длины резонатора).

Полученные результаты, в частности, изменение T_M при серебрении, наводят на мысль, что срыв генерации обуславливается достижением известного уровня концентрации избыточных носителей тока. Этот срыв генерации создает нежелательные ограничения выходной мощности ПКГ, работающего с большой рассеиваемой мощностью. Согласно анализу волноводных свойств гетероструктур⁵ температурный срыв генерации должен отсутствовать в симметричных гетероструктурах. Что же касается изученных здесь образцов, оптимум на сред-

нюю выходную мощность сдвинут по сравнению с оптимумом на пороговый ток в сторону больших значений d и больших пороговых токов, что в некоторой мере уменьшает преимущества несимметричных гетероструктур перед обычными гомоструктурами при комнатной температуре.

Поступила в редакцию
13 мая 1970 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ж. И. Алферов, В. М. Андреев, В. И. Корольков, Е. Л. Портной, Д. Н. Третьяков. ФТП 2, 1545 (1968).
2. H. Kressel, H. Nelson. RCA Rev., 30, 106 (1969).
3. I. Hayashi, M. V. Panish, P.W. Foy. IEEE Journ. Quant. Electron. QE-5, 211 (1969).
4. Ж. И. Алферов, В. М. Андреев, Е. Л. Портной, М. К. Трукан. ФТП 3, 1328 (1969).
5. П. Г. Елисеев. Сб. кратких сообщений по физике, №4 (1970).
6. W. W. Anderson. IEEE Journ. Quantum Electron. QE-1, 228 (1965).