

ПЬЕЗОЭФФЕКТ УСИЛЕНИЯ В ЛАЗЕРНЫХ ДИОДАХ НА ОСНОВЕ GaInAsP/InP

П.Г. Елисеев, И. Исмаилов, Н. Шохуджаев

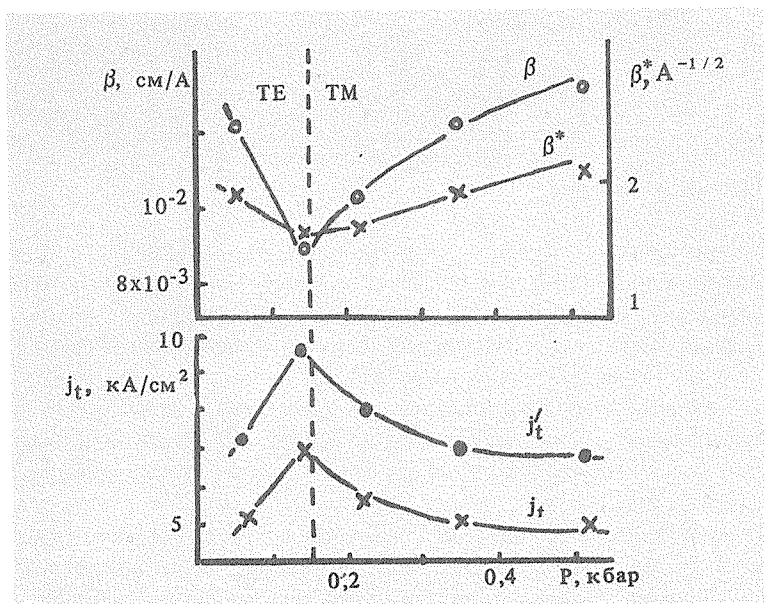
УДК 621.378.375

Изучено влияние одностороннего сжатия по нормали к плоскости активного слоя на величину оптического усиления в лазерах на GaInAsP/InP. Показано, что дифференциальный коэффициент β , характеризующий крутизну зависимости усиления от накачки, для ТЕ-моды с ростом давления уменьшается, а для ТМ-моды увеличивается.

В инжекционных лазерах одностороннее давление, приложенное перпендикулярно плоскости излучающего слоя, ведет к снижению порога генерации ТМ-мод и увеличению порога ТЕ-мод /1–3/. Это в основном объясняется изменением оптического усиления, т.е. уменьшением усиления для ТЕ и увеличением для ТМ-моды с ростом внешнего давления. Однако прямых экспериментальных исследований зависимости оптического усиления от давления, т.е. пьезоэффекта усиления, не имелось. В настоящей работе проведены опыты для выяснения влияния одностороннего сжатия на оптическое усиление в лазерных диодах.

Исследовались гетеролазеры, изготовленные на основе двусторонних гетероструктур (ДГС) GaInAsP/InP. Структуры выращивались жидкофазной эпитаксией на подложках InP, ориентированных по плоскости (100). Внешнее одностороннее давление осуществлялось следующим образом. Лазерные образцы монтировались в прижимных кристаллодержателях с калиброванными пружинами. Измерения проведены в импульсном режиме (частота повторения 500 Гц, длительность импульса 0,3 мкс) при комнатной температуре на образце лазера типа ТЕ/ТМ, работающем на длине волны 1,56 мкм (длина резонатора $L = 250$ мкм, площадь диода $5 \cdot 10^{-4}$ см², толщина активного слоя $\sim 0,4$ мкм, исходная пороговая плотность тока 5,2 кА/см²). Измерялся пороговый ток при различных значениях одноосного давления (0,06 – 0,52 кбар) и его изменение при иммерсии в бензоле (показатель преломления которого 1,467 для 1,5 мкм и 1,47 для 1,3 мкм). Иммерсия уменьшает коэффициент отражения граней резонатора, следовательно, уве-

личивает оптические потери. Приращение потерь $\Delta\alpha = (1/L) (\ln 1/R - \ln 1/R_0)$, где R и R_0 — коэффициенты отражения при иммерсии и без нее. Отношение этого приращения к приращению плотности порогового тока характеризует дифференциальный коэффициент усиления, т.е. скорость увеличения показателя оптического усиления с ростом плотности тока накачки. Наибольшее повышение порога при иммерсии составило 38% вследствие увеличения пересчитанного показателя оптических потерь на $24,6 \text{ см}^{-1}$. Результаты измерений показаны на рис. 1.



Р и с. 1. Влияние давления на характеристики излучения лазерного диода на длине волны $1,56 \text{ мкм}$ с длиной резонатора 250 мкм : j_t и j_t' — пороговая плотность тока без иммерсии и с иммерсией; β и β^* — дифференциальные коэффициенты, характеризующие скорость приращения усиления с накачкой (рассчитанные для двух моделей).

Анализ проведен для двух моделей: 1) показатель усиления g линейно растет с плотностью тока j , т.е. $g = \beta(j - j_0)$, где β — дифференциальный коэффициент (крутизна усиления), j_0 — плотность тока, соответствующая порогу инверсии; 2) $g(j)$ растет как $\beta^* j^{1/2} - g_0$, где β^* — коэффициент

пропорциональности, g_0 — подгоночная константа. В литературе имеются свидетельства в пользу второй модели; что касается первой, то она соответствует удобному линейному приближению.

Из порогового условия (при пороговой плотности тока j_t)

$$g(j_t) = a_0 + (1/L) \ln(1/R) \quad (1)$$

для плоского резонатора (где a_0 — показатель внутренних оптических потерь) для первой модели следует выражение

$$\beta = (1/L) \ln(R_0/R) / (j'_t - j_t), \quad (\text{см}/\text{А}), \quad (2)$$

где j'_t и j_t — пороговые плотности тока с иммерсией и без нее; для второй модели

$$\beta^* = (1/L) \ln(R_0/R) / (\sqrt{j'_t} - \sqrt{j_t}), \quad (\text{А}^{-1/2}). \quad (3)$$

Кроме того, можно рассчитать параметры $a = \beta j_0 + a_0$ (в первой модели) или $a^* = g_0 + a_0$ (во второй модели), которые не разделяются на составляющие без дополнительных, например, мощностных, измерений. На рис. 1 приведены расчетные кривые β и β^* , проходящие через минимум при P^* (давлении переключения типа поляризации, т.е. переключения ТЕ на ТМ), которое в данном случае составляет $\sim 0,15$ кбар. Качественно обе гипотезы согласуются в том, что дифференциальное усиление для ТЕ-моды уменьшается, а для ТМ-моды увеличивается с приложением давления. Средняя скорость $d\beta/dP$ составляет для ТМ-моды $1,1 \cdot 10^{-2}$ см/А·кбар ($d\beta^*/dP \approx 1,2 \text{ А}^{-1/2}$ кбар для той же моды).

Измерение порогового тока при различных значениях давления и его изменения при иммерсии в бензоле проведено также на образце типа ТЕ (переключение типа поляризации в исследованном интервале давления 0–1,2 кбар не наблюдалось), работающем на длине волны 1,34 мкм ($L = 300$ мкм, площадь лазерного диода $6,75 \cdot 10^{-4}$ см², толщина активного слоя $\sim 0,6$ мкм, исходная пороговая плотность тока 5,1 кА/см²). Расчеты показали, что коэффициенты β и β^* с ростом внешнего одноосного давления уменьшаются. Средняя скорость $d\beta/dP$ составляла $-1 \cdot 10^{-2}$ см/А·кбар, а $d\beta^*/dP \approx -0,9 \text{ А}^{-1/2}$.

Таким образом, измерения дифференциальных коэффициентов β и β^* , характеризующих крутизну роста усиления с ростом накачки в условиях одностороннего сжатия в гетероструктурах GaInAsP/InP, свидетельствуют о влиянии давления на вынужденное излучение, причем знак этого влияния

зависит от поляризации лазерного излучения. При переключении поляризации из-за изменения состояния анизотропной деформации /4/ крутизна усиления проходит через минимум, а пороговая плотность тока — через максимум. Для изучения влияния давления на оптическое нерезонансное поглощение в GaInAsP/InP требуются отдельные исследования. О таком влиянии свидетельствует зависимость дифференциальной эффективности лазерных диодов от давления /3, 4/. Если имеется вклад пьезоэффекта поглощения, зависящий от накачки (например, пропорциональный концентрации избыточных носителей), то он будет одновременно проявляться и в изученном здесь пьезоэффекте усиления.

Поступила в редакцию 10 июня 1985 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев П.Г., Манько М.А., Страхов В.П. ЖТФ, 38, № 6, 1100 (1984).
2. Patel N.B., Ripper J.E., Brosson P. IEEE J. Quant. Electron., QE-9, N 2, 338 (1973).
3. Елисеев П.Г., Свердлов Б.Н., Шохуджаев Н. Квантовая электроника, 11, № 8, 1965 (1984).
4. Елисеев П.Г., Свердлов Б.Н., Шохуджаев Н. Препринт ФИАН № 107, М., 1984.