

Я. ААРИК, Я. БЕРГМАНН,
П. ЛЫУК, Я. ФРИДЕНТАЛ

ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК AlGaAsSb-GaSb - ГЕТЕРОЛАЗЕРОВ ОТ СТЕПЕНИ СОГЛАСОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕШЕТОК НА ГЕТЕРОГРАНИЦАХ

J. AARIK, J. BERGMANN, P. LOUK, J. FRIEDENTHAL. AlGaAsSb-GaSb HETEROLASERITE KARKTERISTIKUTE SÖLTUVUS VÖREPARAMEETRI SOBITAMISEST HETEROSTRUKTUURIS

J. AARIK, J. BERGMANN, P. LOUK, J. FRIEDENTHAL. DEPENDENCE OF AlGaAsSb-GaSb DH LASER CHARACTERISTICS ON LATTICE MATCHING IN HETEROSTRUCTURE

(Представил К. К. Ребане)

В [1] сообщалось о создании инжекционных лазеров с двусторонней гетероструктурой на основе четырехкомпонентных соединений AlGaAsSb , излучающих в диапазоне 1,5—1,78 мкм. Получение генерации при сравнительно невысоких плотностях порогового тока $j_{\text{пор}} = 6,2 \text{ кА/см}^2$ при 300 К свидетельствует о достаточном совершенстве гетерограниц в использованных структурах. Однако более детальные данные о влиянии гетерограниц на характеристики этих лазеров отсутствуют. Поэтому нам представлялось интересным исследовать этот вопрос. Для изменения степени рассогласования параметров решеток варьировалось содержание мышьяка в широкозонных эмиттерах из $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$.

Двусторонние гетероструктуры были получены методом жидкостной эпитаксии. Выращивание осуществлялось при 570 °С в режиме принудительного охлаждения раствора-расплава со скоростью 0,3 град/мин. На подложку p -типа с ориентацией (100) наращивали эмиттер из $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$, активную область из $p\text{-GaSb}$ и эмиттер из $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$. Толщина активной области d исследованных лазеров составляла 0,8—2 мкм.

Зависимость приведенной плотности порогового тока $j_{\text{пор}}/d$ от содержания мышьяка в эмиттерах лазера показана на рис. 1 (кривая 1). Эта зависимость имеет минимум при $y = y_{\text{опт}}$. В целях выяснения причин увеличения плотности порогового тока при отклонении от $y_{\text{опт}}$ исследовались вольтамперные характеристики лазерных диодов, квантовый выход люминесценции, внутренние оптические потери, а также параметры, определяющие оптическое усиление.

Оказалось, что плотности обратных и прямых токов этих диодов при малых смещениях ($\sim 0,1 \text{ В}$) сильно зависят от y и имеют минимальные значения при $y = y_{\text{опт}}$. Исследование формы и температурной зависимости вольтамперных характеристик показало, что значительную роль в протекании тока играет, по-видимому, туннельно-реком-

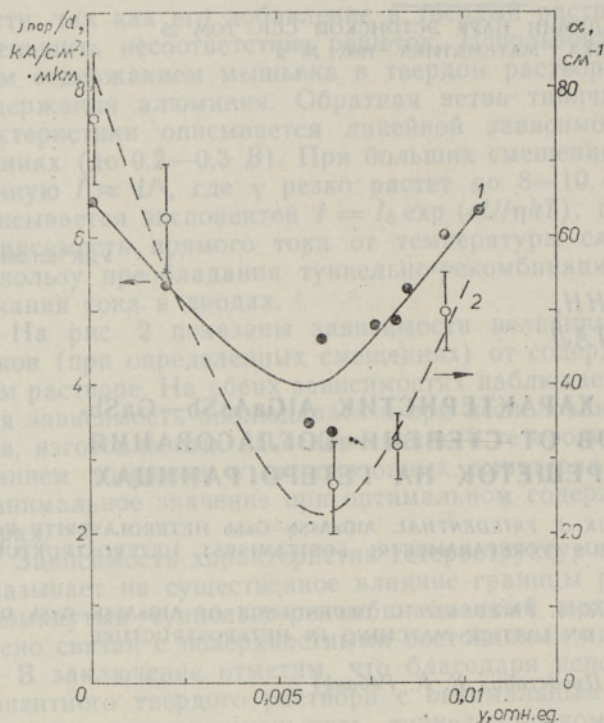


Рис. 1. Зависимость приведенной плотности порогового тока (1) и внутренних оптических потерь (2) от содержания мышьяка в эмиттерах

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}\text{-GaSb}$ -лазеров ($x = 0,21 \pm 0,02$).

бинационный механизм [2]. Резкая зависимость величины тока от y свидетельствует об участии в последнем процессе локальных состояний, возникающих на гетерогранице из-за несоответствия параметров решеток. В пользу этого говорят и ваттамперные характеристики спонтанной электролюминесценции, показанные на рис. 2. Кривая 1 соответствует случаю $y = y_{\text{опт}}$, при котором

наблюдается максимальное значение квантового выхода люминесценции $\eta_{\text{сп}}$. При отклонении содержания мышьяка в эмиттерах от оптимального $\eta_{\text{сп}}$ значительно уменьшается. Особенно сильно это проявляется в области малых токов, где относительная доля туннельной составляющей больше. Более подробно характер зависимости $\eta_{\text{сп}}$ от y изображен на рис. 3 (кривая 1).

С возрастанием прямого смещения преобладающей становится инжекционная составляющая тока. Об этом свидетельствует возрастание с током крутизны ваттамперных характеристик спонтанной электролюминесценции (рис. 2) и наблюдаемое при этом ослабление зависимости квантового выхода от y . Вблизи порога генерации зависимость квантового выхода люминесценции $\eta_{\text{сп}} \sim \beta$, где β — «удельное» усиление, уже весьма слабая (рис. 3, кривая 2).

В целях выяснения влияния несоответствия параметров решеток на свойства активного оптического волновода в условиях сильного возбуждения исследовались характеристики лазерных диодов в режиме генерации. По известным зависимостям плотности порогового тока $j_{\text{пор}}$ и внешней дифференциальной эффективности $\eta_{\text{д}}$ от внешних оптических потерь α_p [3-5]:

$$j_{\text{пор}} = j_0 + (1/\beta)(\alpha + \alpha_p)^m \quad (1)$$

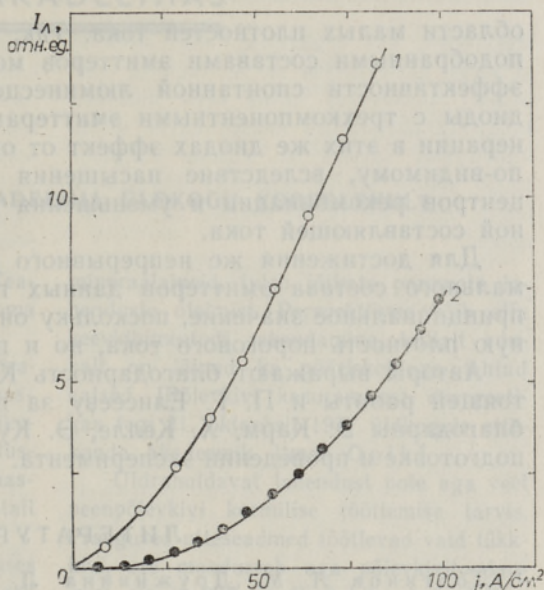
и

$$\eta_{\text{д}} = \eta_{\text{ст}}(1 + \alpha/\alpha_p)^{-1} \quad (2)$$

(j_0 и m — параметры, характеризующие зависимость коэффициента оптического усиления от тока накачки) определялись коэффициентом внутренних оптических потерь α , «удельное» усиление β и внутренний

Рис. 2. Зависимость интенсивности спонтанной электролюминесценции

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}-\text{GaSb}$ -лазеров при $y = y_{\text{опт}}$ (1) и $y = 0$ (2) от плотности тока. Оба лазера имели одинаковую геометрию — длина резонатора составляла 300 мкм, ширина 124 мкм, толщина активной области 1,4 мкм.



квантовый выход стимулированного излучения $\eta_{\text{ст}}$. При этом коэффициент внешних оптических потерь $\alpha_p = (1/L)\ln(1/R)$ (L — длина резонатора и R — коэффициент отражения зеркал) варьировался путем постепенного укорачивания длины резонатора.

Оказалось, что в интервале приведенных плотностей тока от 5 до 17 $\text{kA/cm}^2 \cdot \text{мкм}$ $j_{\text{пор}}$ является линейной функцией от α_p (т. е. $m = 1$) независимо от y . Установлено, что не только β , но и α зависит от y и имеет минимум при $y = y_{\text{опт}}$ (рис. 1, кривая 2). Следовательно, снижение порога генерации при уменьшении рассогласования параметров решеток на гетерограницах связано как с уменьшением внутренних оптических потерь, так и с небольшим увеличением «удельного» усиления. Интересно также отметить, что внутренний квантовый выход стимулированного излучения не зависит от y .

Итак, проведенные нами исследования показывают, что точным согласованием параметров решеток в гетероструктурах

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}-\text{GaSb}$ с небольшим содержанием Al ($x \leq 0,23$) можно заметно улучшить характеристики лазерных диодов как в режиме генерации, так и в спонтанном режиме. Особенно это касается

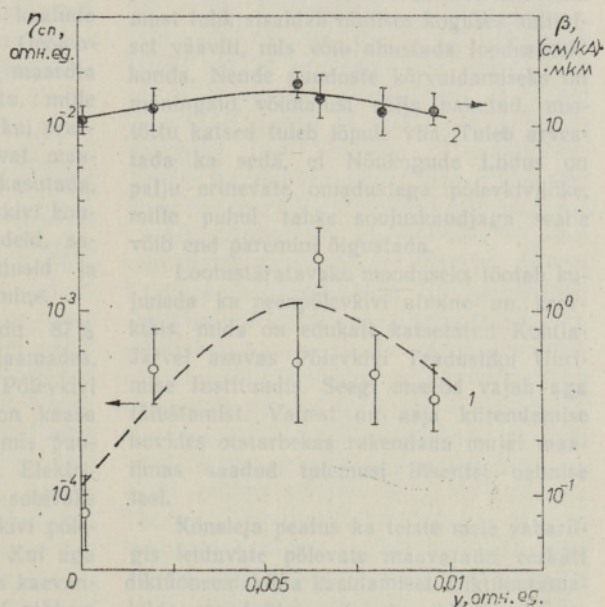


Рис. 3. Зависимость квантового выхода спонтанной люминесценции при $j d = 15 \text{ A/cm}^2 \cdot \text{мкм}$ (1) и «удельного» усиления $\beta \sim \eta_{\text{сп}}$ вблизи порога генерации (2) от содержания мышьяка в эмиттерах $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}-\text{GaSb}$ -лазеров.

области малых плотностей тока. Так, например, диоды с оптимально подобранными составами эмиттеров могут превосходить по квантовой эффективности спонтанной люминесценции более чем на порядок диоды с трехкомпонентными эмиттерами ($Al_xGa_{1-x}Sb$). В режиме генерации в этих же диодах эффект от оптимизации значительно слабее, по-видимому, вследствие насыщения связанных с гетерограницами центров рекомбинации и уменьшения доли туннельно-рекомбинационной составляющей тока.

Для достижения же непрерывного режима генерации выбор оптимального состава эмиттеров данных гетероструктур имеет, вероятно, принципиальное значение, поскольку он обеспечит не только минимальную плотность порогового тока, но и предупредит деградацию.

Авторы выражают благодарность К. К. Ребане за поддержку настоящей работы и П. Г. Елисееву за полезные замечания. Мы также благодарны Э. Карм, Х. Келле, Э. Куус и А. Вирро за помощь при подготовке и проведении эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долгинов Л. М., Дружинина Л. В., Елисеев П. Г., Мильвидский М. Г., Свердлов Б. Н., Квант. электроника, 3, № 2, 465—466 (1976).
2. Milnes, A. G., Feucht, D. L., Heterojunctions and metal-semiconductor junctions, Academic Press, New York—London, 1972.
3. Lasher, G. J., IBM J. Res. Develop., 7, № 1, 58—61 (1963).
4. Biard, J. R., Carr, W. N., Reed, B. S., Trans. AIME, 230, 286—290 (1964).
5. Грибковский В. П., Теория поглощения и испускания света в полупроводниках, Минск, «Наука и техника», 1975.

Институт физики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
3/1 1980