

06.3; 07; 12

© 1992

ДЛИННОВОЛНОВЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ  
 $InAsSb / InAsSbP$  ДЛЯ СПЕКТРОСКОПИИ  
 МЕТАНА ( $\lambda = 3.2-3.4$  мкм)

А.Н. Баранов, Т.Н. Данилова,  
 О.Г. Ершов, А.Н. Именков,  
 В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев

1. Одной из возможностей использования лазеров, излучающих в спектральном диапазоне 3–4 мкм, является применение их в газоаналитической аппаратуре, в частности для спектроскопии метана. В этой области длин волн работают ДГС лазеры на основе  $InAsSb / InAsSbP$  [1–3].

Для спектроскопии необходимы лазеры одномодовые с плавно изменяющейся длиной волны за счет нагревания в течение некоторого, в несколько десятков микросекунд, импульса. Однако в работах [1–3] одномодовый режим не продемонстрирован.

Нами были изготовлены полосковые ДГС лазеры на основе  $InAsSb / InAsSbP$ , излучающие в области 3.2–3.4 мкм, имеющие модовый состав, достаточный для лазерной спектроскопии. Исследовались зависимости порогового тока и длины волны когерентного излучения от длины резонатора и температуры.

2. Лазерные структуры (рис. 1, а) изготавливались жидкофазной эпитаксией на подложке  $InAs$ , ориентированной в плоскости (100). Узкозонная область имела состав  $InAs_{0.96}Sb_{0.04}$ , при 77 К  $E_g = 0.383$  эВ и показатель преломления  $n_0 = 3.54$ . Широкозонные ограничивающие слои имели состав  $InAs_{0.63}Sb_{0.12}P_{0.25}$ , при 77 К  $E_g = 0.549$  эВ. Разность между показателями преломления узкозонной и широкозонной областей составляла 0.02. Толщина активной области – 2 мкм. ДГС лазеры имели мезаполосковую конструкцию с шириной полоска 60 мкм. Длина резонаторов изменялась в пределах 50–950 мкм. Исследования порогового тока проводились в интервале температур 77–150 К. При 77 К измерения проводились на постоянном токе, при больших температурах в импульсном режиме с длительностью импульса 100 нс и частотой следования 5 кГц.

3. Спектр когерентного излучения исследуемых лазеров при токе вблизи порогового при 77 К представлен на рис. 1, б. Генерация обычно происходит в максимуме спонтанной полосы. На вставке к этому рисунку (рис. 1, в) демонстрируется наличие одномодового режима генерации излучения. Видно, что интенсивность излучения, пропущенного через внешний резонатор Фабри–Перо, изменяется со временем по синусоидальному закону, и мода устойчива

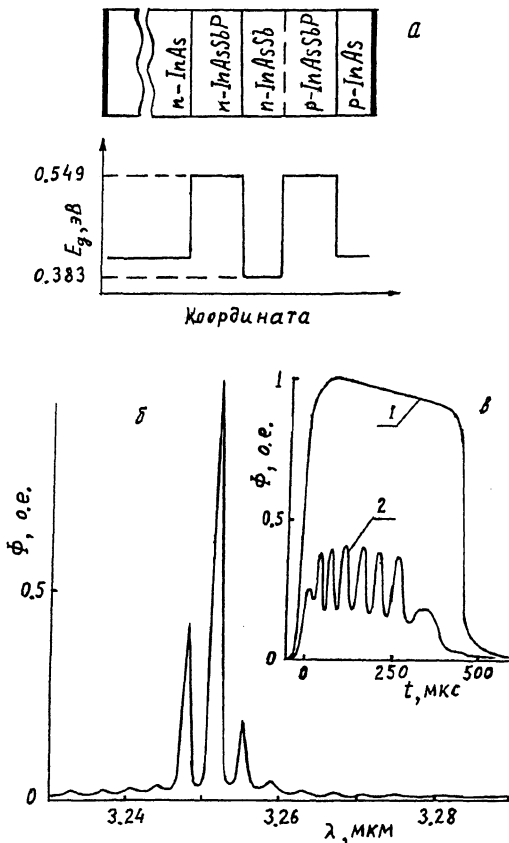


Рис. 1. Лазерная структура и послойный профиль ширины запрещенной зоны  $E_g$  (а); спектр излучения лазера при температуре 77 К (б) и осциллограммы импульсов его излучения, прошедшего через воздух (1) и резонатор Фабри-Перо (2), при начальной температуре 80 К (в).

в течение импульса тока длительностью более 300 мкс, при этом длина волны  $\lambda$  моды изменяется за счет нагревания в течение импульса.

Длина волны когерентного излучения  $\lambda$  (рис. 2, а) уменьшается с уменьшением длины резонатора  $L$  от 750 до 200 мкм практически линейно. При дальнейшем уменьшении  $L$  до 125 мкм наблюдается резкое уменьшение  $\lambda$ . С ростом температуры  $\lambda$  увеличивается практически линейно  $d\lambda/dT = 0.002$  мкм/К.

Зависимость  $I_{th}$  от  $L$  представляет собой кривую с минимумом (рис. 2, б). При  $L < 200$  мкм  $I_{th}$  резко увеличивается с уменьшением  $L$ , при  $L = 50$  мкм генерация когерентного

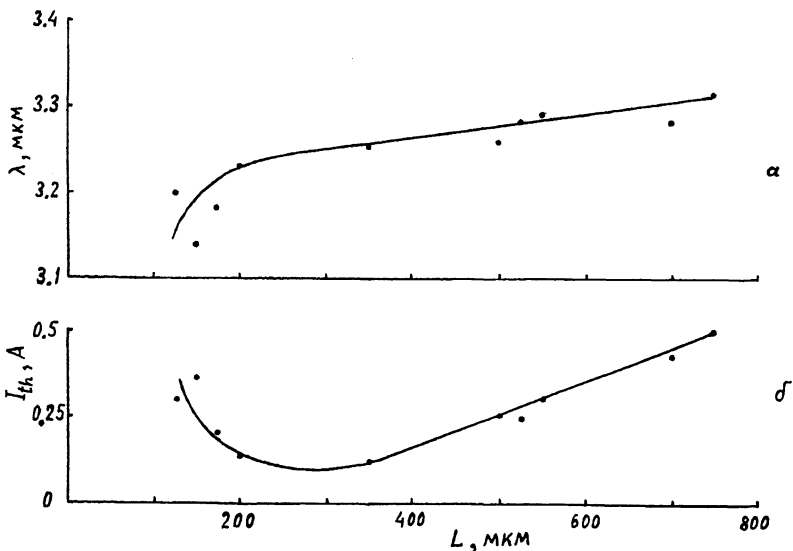


Рис. 2. Зависимость длины волны когерентного излучения  $\lambda$  (а) и порогового тока  $I_{th}$  (б) лазеров от длины резонатора  $L$  при температуре 77 К.

излучения не получена, а при  $L > 350$  мкм  $I_{th}$  плавно увеличивается с ростом  $L$ .

Пороговый ток сверхлинейно зависит от температуры,  $I_{th} \sim T^n$  (рис. 3). Вблизи 77 К  $n = 1.5-2$  сначала плавно увеличивается с повышением температуры до  $n = 4-5$ , а после некоторой критической температуры (120–140 К) увеличивается резко до  $n = 10-20$ . С уменьшением длины резонатора критическая температура уменьшается.

Представленная экспериментальная зависимость  $I_{th}(T)$  удовлетворительно описывается экспоненциальной зависимостью с  $T_0 = 20$  К в интервале температур 77–120 К.

4. Проанализируем полученные экспериментальные результаты. Резкое возрастание порогового тока и уменьшение длины волны когерентного излучения при малых длинах резонатора  $L < 200$  мкм характерны для квантово-размерных лазеров и являются следствием насыщения усиления [4]. Можно предположить, что в исследуемых лазерах когерентное излучение возникает вследствие рекомбинации в квантово-размерных ямах на одной из интерфейсных границ структуры. В пользу этого предположения говорит возникновение во многих случаях у этих лазеров когерентного излучения в максимуме спонтанной полосы как в квантово-размерных лазерах в работе [5].

Резкое увеличение  $I_{th}$  с уменьшением  $L$  при  $L \ll 150$  мкм (рис. 2, б) можно объяснить тем, что при  $L < 100$  мкм генерация невозможна из-за ограничения усиления.

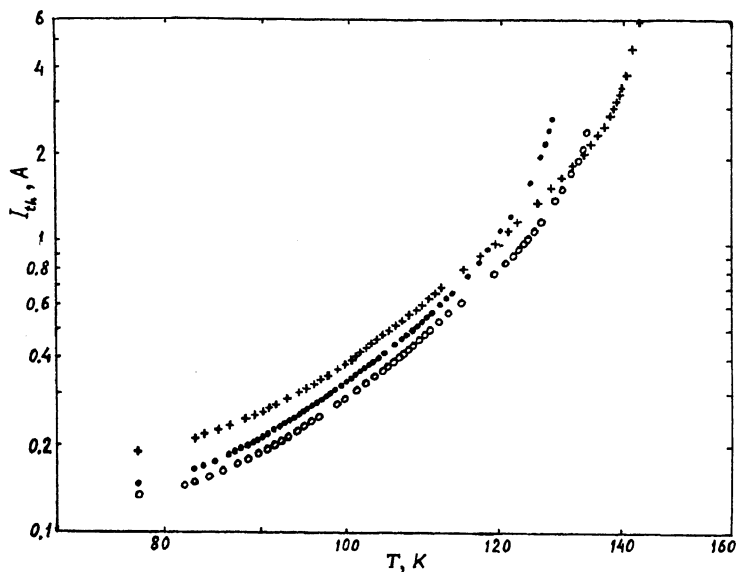


Рис. 3. Температурные зависимости пороговых токов лазеров с различной длиной резонатора, мкм: 150 - точки, 200 - окружности, 525 - кресты.

Резкое уменьшение  $\lambda$  с уменьшением  $L$  (рис. 2, а) определяется увеличением степени вырождения электронов с увеличением  $I_{th}$ , обусловленным ограничением усиления с уменьшением длины резонатора.

Увеличение крутизны зависимости  $I_{th}$  от  $T$  с ростом  $T$  (рис. 3), начинающееся с тем меньшей температуры, чем меньше  $L$ , можно объяснить таким увеличением внутренних потерь излучения ( $\alpha$ ), которое не компенсируется даже максимальным усилением. Наблюдающееся увеличение  $I_{th}$  с ростом  $L$  (рис. 2) при  $L \gg 270$  мкм показывает наличие существенных внутренних потерь излучения. Сверхлинейность зависимости  $I_{th}$  от  $T$  (рис. 3) при докритических температурах свидетельствует о большом вкладе безызлучательной оже-рекомбинации.

Зависимость  $I_{th}$  от  $L$  при различных механизмах рекомбинации переплетается с зависимостью  $I_{th}$  от  $L$  и  $\alpha$  от  $T$ . Это может быть предметом последующих исследований, направленных на улучшение параметров лазеров для спектроскопии линий поглощения метана и других промышленных и природных газов.

Авторы благодарят А.А. Рогачева и А.Н. Надеждинского за поддержку и внимание к работе.

Список литературы

- [1] Kobayashi N., Horikoshi Y. // Jap. J. Appl. Phys. 1980. V. 19. N 10. P. 4641-4644.
- [2] Айдаралиев М.А., Зотова Н.В., Карандашев С.А., Матвеев Б.А., Стусь Н.М., Талалакин Г.Н. // Письма ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 17. С. 563-565.
- [3] Mani H., Joullie A., Boissier G., Tournie E., Pitard F., Joullie A.-M., Alibert C. // Electron Lett. 1988. V. 24. N 25. P. 1542-1543.
- [4] Гарбузов Д.З., Тикуннов А.В., Халфин В.Б. // ФТП. 1987. Т. 21. № 6. С. 1085-1093.
- [5] Аверкиев Н.С., Баранов А.Н., Именков А.Н., Рогачев А.А., Яковлев Ю.П. // Письма ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 6. С. 332-337.
- [6] Гельмонт Б.Л., Зегря Г.Г. // ФТП. 1991. Т. 25. В. 23. С. 2019-2023.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
С.-Петербург

Поступило в Редакцию  
27 октября 1992 г.