

06.2;06.3;07

ПЕРЕСТРОЙКА ТОКОМ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРОВ НА ОСНОВЕ InAsSb/InAsSbP ДВОЙНОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ

© Т.Н.Данилова, О.И.Евсеевко, А.Н.Именков,
Н.М.Колчанова, М.В.Степанов,
В.В.Шерстнев, Ю.П.Яковлев

1. Перестройка длины волны полупроводниковых лазеров вызывает сейчас все больший интерес в связи с развитием лазерной спектроскопии [1-5]. Перестройка в таких лазерах происходит в основном вследствие нагревания активной области импульсом тока. Однако теплоемкость и тепловое сопротивление лазера ограничивает быстродействие и вынуждает подбирать длительность импульса для каждой температуры и каждого лазера индивидуально.

В данной работе исследована перестройка полупроводниковых лазеров на 3.2-3.4 мкм током, лишенная этих недостатков.

2. Исследовались лазеры на основе N-InAsSbP-n-InAsSb-P-InAsSbP двойной гетероструктуры, полученные методом жидкофазной эпитаксии. Широкозонные эмиттеры имели толщину по 3 мкм, а активная область — 1 мкм. Слой N-InAsSbP был легирован Sn до концентрации электронов $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, P-InAsSbP легировался Zn ($p = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$). Активная область специально не легировалась, и концентрация электронов в ней составляла — 10^{16} см^{-3} . На выращенных структурах с использованием стандартной фотолитографии формировались мезаполосковые лазеры с шириной полоска ~ 20 мкм. Лазерные диоды с длиной резонатора Фабри-Перо 275-350 мкм образовывались скалыванием. Оптические свойства этих лазеров исследованы в работах [2,6,7].

В данной работе изучены одночастотные лазеры с длиной волны генерации 3.2-3.4 мкм. Спектр излучения контролировался на монохроматоре, характеристики тока-напряжение и излучение-ток на импульсном характеристикографе. Лазер питался одновременно постоянным током и пилообразно изменяющимся со времени током. Спад тока был в 10 раз быстрее нарастания. Постоянный ток устанавливался равным пороговому току, амплитуда пилообразного тока выбиралась в пределах 0.7-1.2 порогового тока, чтобы лазер оставался в одномодовом режиме. Частота пилообразного тока задавалась от 10^2 до 10^4 Гц. Выходящее

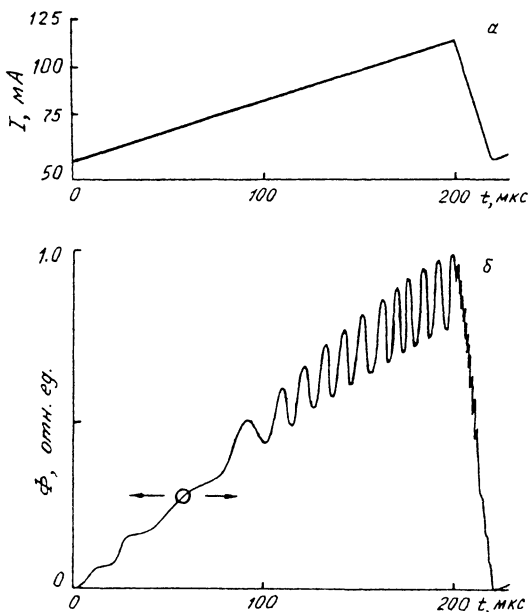


Рис. 1. Осциллограмма питающего тока (а) и интенсивности лазерного излучения (лазер V1191), прошедшего через внешний резонатор Фабри-Перо.

из лазера когерентное излучение проходило через внешний резонатор Фабри-Перо, изготовленный из пластинки полупроводящего кремния, толщиной 47 мм, который служил амплитудно-частотным дискриминатором. Далее оптический сигнал проходил через монохроматор, детектировался InSb-фотодиодом, усиливался дифференциальным усилителем с быстродействием 0.2 мкс. Изменение длины кремниевого резонатора Фабри-Перо обеспечивало разрешение длины волны лазерного излучения $2 \times 10^{-2} \text{ \AA}$. Измерения выполнялись в температурном интервале 77–90 К. На тех же структурах по методике, описанной в [6], исследовались диаграммы направленности лазерного излучения в зависимости от тока накачки.

3. Перестройка длины волны когерентного излучения наблюдалась во всем исследованном интервале температур. На рис. 1 приведена экспериментальная кривая, полученная при 77 К. Излучение, прошедшее через внешний резонатор Фабри-Перо, при питании лазерного диода линейно нарастающим в течение импульса током (рис. 1, а) оказалось промодулированным по амплитуде синусоидой (рис. 1, б) с изменяющимся периодом. При малых надпороговых токах

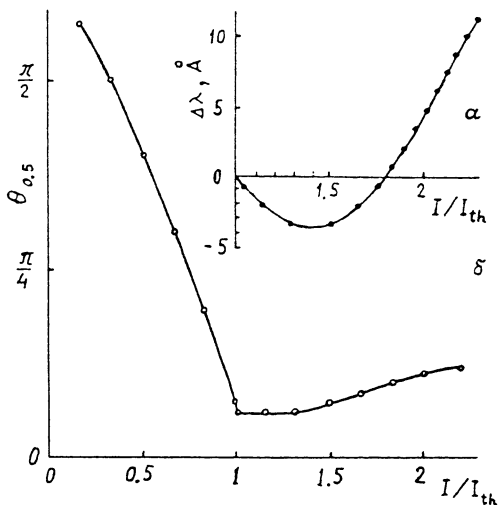


Рис. 2. Зависимость изменения длины волны лазерного излучения $\Delta\lambda$ (а) и полуширины диаграммы направленности $\theta_{0,5}$ (б) с изменением величины отношения тока к пороговому току I/I_{th} при азотной температуре (лазер V1191).

амплитуда синусоиды небольшая. У первоначально возникшей синусоиды период постепенно увеличивается, и начиная с некоторого отношения I/I_{th} (1.4) период начинает уменьшаться с током. Наблюдается сублинейная зависимость интенсивности от тока. При изменении внешнего резонатора Фабри-Перо путем его поворота синусоиды при малых надпороговых токах накачки смещаются в область малых времен t и токов. Это соответствует уменьшению длины волны с током. Затем существует некоторое значение I/I_{th} , отмеченное кружком на рис. 1, б, где не происходит сдвига синусоид. При дальнейшем увеличении тока синусоиды перемещаются в сторону больших времен и токов, что соответствует увеличению длины волны с током. Направление смещения синусоид показано стрелками на рис. 1, б. Изменение положения линии генерации с током представлено на рис. 2, а. Таким образом, с увеличением тока вначале наблюдается изменение длины волны в коротковолновую сторону, а затем в длинноволновую. Число синусоид и смещение линии излучения было различным в различных лазерах. Величина перестройки в различных структурах изменялась в пределах 2–16 Å. Смещение в коротковолновую сторону (отрицательное $\Delta\lambda$ на рис. 2), как правило, было меньше, чем в длинноволновую область спектра. Отметим, что в некоторых лазерах увеличение длины волны лазерного излучения с током начинается при превы-

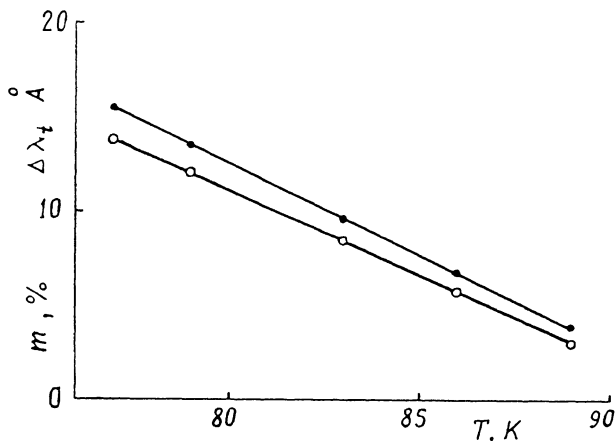


Рис. 3. Изменение интервала перестройки $\Delta\lambda_T$ (точки) и глубины модуляции m (кружочки) с температурой T .

шении тока над порогом 5%. В этих лазерах интенсивность с током растет линейно, т.е. нагревание практически незаметно. Если же заметна сублинейность в зависимости излучения от тока, то длина волны излучения начинает увеличиваться с током при больших надпороговых значениях. При переключении частоты следования пилообразной компоненты тока не наблюдалось изменения характера перестройки. На рис. 2, б представлено изменение полуширины диаграммы направленности излучения при 77 К. Наблюдается четкая корреляция между изменением длины волны генерации и изменением полуширины диаграммы направленности. При малых надпороговых токах, когда диаграмма направленности практически не изменяется с током, происходит смещение полосы излучения в коротковолновую сторону, а при больших надпороговых токах, когда наблюдается расширение диаграммы направленности, линия излучения начинает смещаться в длинноволновую сторону.

При повышении температуры среды наблюдалось изменение основных оптических параметров, характеризующих перестройку частоты генерации лазера (рис. 3). Уменьшается с ростом температуры величина перестройки $\Delta\lambda_T$, также падает амплитуда синусоид, характеризующая глубину модуляции m .

4. Характерной чертой перестройки длины волны лазерного излучения при увеличении надпорогового тока является смещение λ сначала в коротковолновую сторону, а при дальнейшем росте тока в длинноволновую сторону. Наблюдаемое при малых токах смещение моды с током в коротковолновую сторону может быть связано с увеличением кон-

центрации свободных носителей тока с ростом тока. При этом уменьшается коэффициент преломления [8]. Это приводит к уменьшению длины волны генерации λ_0 . Ослабление уменьшения длины волны λ и последующее ее возрастание с увеличением надпорогового тока можно объяснить наличием эффекта самофокусировки [8]. Наличие самофокусировки подтверждается расширением диаграммы направленности излучения лазера в плоскости p - n перехода в дальнем поле. Коэффициент преломления при самофокусировке увеличивается из-за роста плотности потока излучения. Большая ширина полоска лазерного резонатора способствует проявлению самофокусировки при достаточно малых токах.

Таким образом, в полупроводниковых лазерах, работающих в области 3.2–3.4 мкм, возможна перестройка положения линии лазерного излучения током. Самофокусировка лазерного излучения, лежащая в основе перестройки лазерного излучения в длинноволновую сторону, является квантово-механическим эффектом. Поэтому перестройка происходит практически безынерционно, что важно для лазерной спектроскопии высокого разрешения.

Работа частично выполнена в рамках проекта "Сорегникс", контракт № СІРА СТ 940158.

Список литературы

- [1] Аветисов В.Г., Баранов А.Н., Именков А.Н., Надеждинский А.И., Хуснутдинов А.Н., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 14. С. 66–69.
- [2] Баранов А.Н., Данилова Т.Н., Ершов О.Г., Именков А.Н., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 22. С. 6–10.
- [3] Яковлев Ю.П., Баранов А.Н., Именков А.Н., Шерстнев В.В., Степанов М.В., Понуровский А.Я. // Квантовая электроника. 1993. Т. 20. № 9. С. 839–842.
- [4] Baranov A.N., Imenkov A.N., Sherstnev V.V., Yakovlev Yu.P. // Proc. of the Fifth International Conference on Indium Phosphide and Related Materials. Paris, 1993, April. С. 19–22.
- [5] Plek S., Thulke W., Schaneu C., Lang H., M-c Aman // Electr. Lett. 1990. V. 26. N 1. P. 46–47.
- [6] Баранов А.Н., Данилова Т.Н., Ершов О.Г., Именков А.Н., Степанов В.В., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 17. С. 30–31.
- [7] Данилова Т.Н., Ершов О.Г., Зегря Г.Г., Именков А.Н., Степанов М.В., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1995. Т. 29. В. 9. С. 1605–1610.
- [8] Елисеев П.Г., Богатов А.П. // Труды ФИАН. 1986. Т. 166. С. 15–51.

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

Поступило в Редакцию
7 июня 1996 г.