

ДЛИННОВОЛНОВЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ
ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $GaInAsSb$
ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ НЕСМЕШИВАЕМОСТИ
($\lambda \sim 2.5$ мкм, $T = 300$ К)

А.Н. Баранов, Е.А. Гребенщикова,
Б.Е. Джуртанов, Т.Н. Данилова,
А.Н. Именков, Ю.П. Яковлев

1. Спектральный диапазон длин волн 2–2.5 мкм перспективен для волоконно-оптических линий связи третьего поколения, а также для целей влагометрии и газового анализа. Среди соединений A^3B^5 наибольший интерес для создания источников когерентного излучения в указанном спектральном диапазоне представляют многокомпонентные твердые растворы $Ga_{1-x}In_xAs_ySb_{1-y}$, изопериодные к подложке $GaSb$. На основе этих растворов были разработаны лазеры для спектрального диапазона 1.8–2.4 мкм [1–3]. Длинноволновая граница лазерных структур определялась существованием обширной области несмешиваемости в системе твердых растворов $Ga_{1-x}In_xAs_ySb_{1-y}$ для составов $0.24 \leq X \leq 0.75$ [4]. Предельная длина волны излучения, достигнутая в работе [5], составляла ~ 2.4 мкм ($X = 0.207$; $Y = 0.151$). Из-за наличия минимума потерь в инфракрасных волокнах на флюоридном стекле [6] на длине волны 2.4–2.5 мкм вызывает интерес исследование закономерностей генерации излучения вблизи границы несмешиваемости твердых растворов с целью создания лазеров с большей длиной волны излучения.

В данной работе исследовались лазерные структуры с активной областью на основе $GaInAsSb$, состав которого находился вблизи области несмешиваемости данного твердого раствора.

2. Лазерные структуры выращивались методом жидкофазной эпитаксии на подложках p -типа проводимости ($n = (1-5) \cdot 10^{17}$ см $^{-3}$) с различной ориентацией: [100], [111]А, [111] В и представляли собой многослойную структуру, состоящую из активного слоя n - $GaInAsSb$, заключенного между двумя эмиттерными слоями $Al_{0.34}Ga_{0.66}As_{0.03}Sb_{0.97}$ толщиной (2–3) мкм. Толщина активной области находилась в интервале 0.5–0.6 мкм и была легирована теллуром до концентрации носителей $(1-3) \cdot 10^{17}$ см $^{-3}$. R - p -переход располагался на гетерогранице эмиттера и активного слоя. Из лазерных структур были изготовлены лазеры с широким контактом, а также с помощью фотолитографии полосковые лазеры (ширина полоска 30–40 мкм) с длиной резонатора 250–500 мкм.

Измерялись спектральные характеристики излучения в спонтанном и когерентном режимах, диаграмма направленности излучения и зависимость интенсивности излучения от тока в интервале 77–300 К. Спектры спонтанного и когерентного излучения измерялись с помощью монохроматора МДР-3. Детектором излучения служило фотоспро-

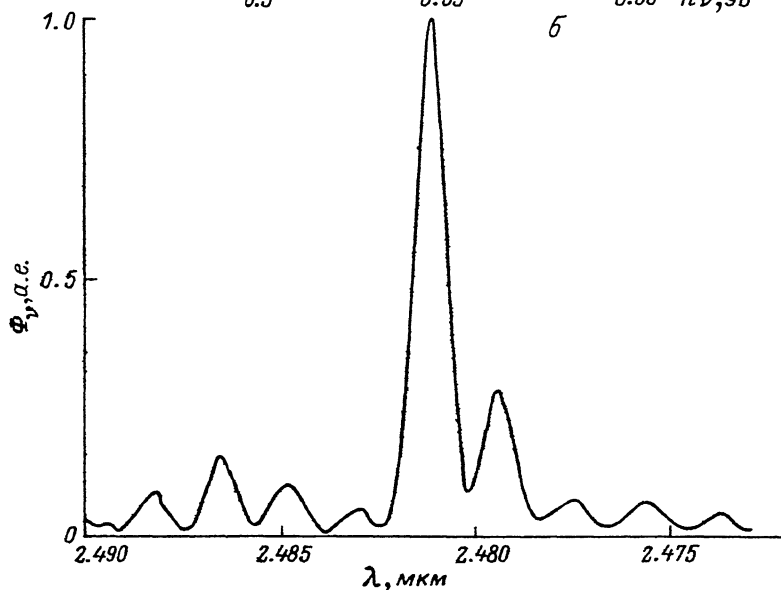
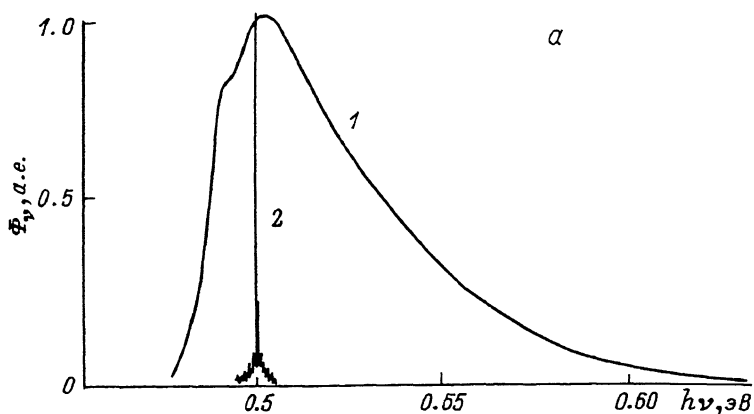


Рис. 1 а) - спектры спонтанного (1) и когерентного (2) излучения при комнатной температуре. б) модовый состав когерентного излучения при комнатной температуре.

тивление PBS . Измерения проводились на постоянном токе, а также на импульсах длительностью 200 нс и частотой следования 5 кГц. Состав твердого раствора в активной области структуры определялся с помощью рентгеновского микроанализа на отдельных слоях, выращенных на подложках различной ориентации.

3. Результаты исследования состава твердого раствора в активной области и характеристики лазерных структур представлены в таблице.

Сравнительные характеристики лазерных структур для различных ориентаций подложек (300 К) (полосковая конструкция, ширина полоска ~40 мкм, длина резонатора ~250)

Параметры лазеров		Состав твердой фазы $Ga_{1-x}In_xAs_ySb_{1-y}$		
		[100]	[111] А	[111] В
		$X = 0.22$ $Y = 0.20$	$X = 0.24$ $Y = 0.205$	$X = 0.255$ $Y = 0.23$
Полуширина спектра спонтанного излучения, δ , мэВ		35-40	40-45	50-60
Длина волны когерентного излучения λ , мкм	T = 77 К	2.08-2.10	2.14-2.15 [±]	2.16-2.18
	T = 300 К	2.32-2.34	2.44-2.45	2.46-2.48
Пороговый ток лазеров, J_{th} , А		1.1-1.3	1.0-1.2	0.9-1.1

Активная область всех лазерных структур выращивалась из одного и того же состава жидкой фазы ($X_{Ga}^z = 0.1$, $X_{Sb}^z = 0.515$, $X_{As}^z = 0.003$, T = 600 С) и содержание индия в твердой фазе возрастало от 0.22 до 0.255 в ряду [100], [111] А, [111] В.

Спектр спонтанного излучения при комнатной температуре содержал одну полосу, полуширина которой зависела от ориентации подложки (рис. 1). Характерно, что полуширина спектра спонтанного излучения и длина волны излучения в максимуме спектральной полосы возрастали в ряду [100], [111] А, [111] В.

Когерентное излучение возникало практически в максимуме спонтанной полосы (рис. 1а, б). На пороге генерации обычно разрешалось несколько мод, а при токах, превышающих пороговый ток в 1-2 раза, обычно преобладала одна мода. Длина волны излучения зависела от ориентации подложки и возрастала от 2.34 мкм до 2.48 мкм в ряду [100], [111] А, [111] В. Таким образом, на ориентации подложки [111] В была получена самая длинноволновая генерация при комнатной температуре.

Пороговый ток лазерных структур слабо зависел от ориентации подложки и убывал в ряду [100], [111] А, [111] В. Для лазерных структур, полученных на границе несмешиваемости твердого раствора $GaInAsSb$, характерно возрастание порогового тока в 1.5-2 раза по сравнению с пороговым током для лазеров с $\lambda = 2.2$ мкм. Этот результат находится в противоречии с данными работы [1], в которой наблюдалось практически независимое значение J_{th} в широком интервале длин волн 1.7-2.4 мкм.

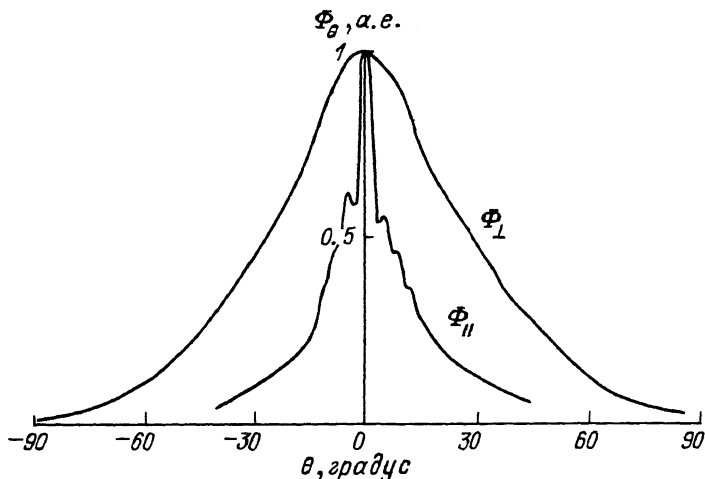


Рис. 2. Диаграмма направленности когерентного излучения в плоскости, параллельной р-р-переходу Φ_{\parallel} и перпендикулярной ей Φ_{\perp} .

Пороговая плотность тока J_{th} с ростом температуры увеличивается по закону $J_{th} \sim \exp(T/T_0)$, где характеристическая температура для разных структур T_0 составляла 49–60 К для интервала температур 77–300 К, что близко к значению T_0 , наблюдаемому в работах [1–3].

На структурах с максимальной длиной волны лазерного излучения наблюдалась генерация в непрерывном режиме вплоть до температуры окружающей среды 220 К. Можно предположить, что на лазерных структурах с $\lambda \sim 2.5$ мкм возможно достигнуть непрерывной генерации и при комнатной температуре, если существенно улучшить электронное и оптическое ограничение (например за счет увеличения содержания алюминия до $X = 0.5$ – 0.7 в эмиттерных слоях и использования лазерных полосковых конструкций с двусторонним электрическим и оптическим ограничением).

Лазерное излучение было линейно поляризовано с электрическим вектором электромагнитной волны, параллельным плоскости р-р-перехода (ТЕ-поляризация). Степень поляризации составляла 0.97. Спонтанное излучение было также ТЕ-поляризовано с коэффициентом 0.2–0.4.

Диаграмма направленности излучения длинноволнового лазера ($\lambda = 2.48$ мкм) показана на рис. 2. В плоскости, параллельной плоскости р-р-перехода, диаграмма имеет главный лепесток и несколько побочных. Главный лепесток расположен вблизи 0 градусов и имеет ширину 6–7 градусов. В плоскости, перпендикулярной р-р-переходу, диаграмма имеет главный лепесток при нулевом значении угла и один-два побочных. Ширина главного лепестка составляет 30–35 градусов.

Анализ диаграммы излучения длинноволновых лазеров на границе несмешиваемости твердых растворов показал, что в когерентном излучении таких лазеров присутствуют только продольные моды, а распределение амплитуды электромагнитных волн на зеркале резонатора можно считать близким к однородному.

Таким образом, впервые на основе твердых растворов *GaInAsSb* созданы самые длинноволновые лазеры ($\lambda \approx 2.5$ мкм), работающие при комнатной температуре.

В заключение авторы выражают благодарность А.А. Рогачеву за стимулирующие обсуждения и поддержку в работе, С.С. Архиповой и А.М. Литваку за помощь в изготовлении приборов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Акимова И.В., Бочкарев А.Э., Долгинов Л.М., Дракин А.Е., Дружинина Л.В., Елисейев П.Г., Свердлов Б.Н., Скрипкин В.А. - ЖТФ, 1988, т. 58, в. 4, с. 701-707.
- [2] Баранов А.Н., Джуртанов Б.Е., Именков А.Н., Рогачев А.А., Шерняков Ю.М., Яковлев Ю.П. - ФТП, 1986, т. 20, в. 12, с. 2217-2221.
- [3] Caneau C., Zyskind J.L., Sulhoff W., Glover T.E., Centanni J., Burrus C.A., Dentai A.G., Pollack M.A. - Appl. Phys. Lett., 1987, v. 51, N 10, p. 764-766.
- [4] Бочкарев А.Э., Долгинов Л.М., Дружинина Л.В., Капанадзе Э.Б. Сб. стат. Полупроводники и гетеропереходы, Таллин: Валгус, 1987, с. 3-5.
- [5] Бочкарев А.Э., Долгинов Л.М., Дракин А.Е., Дружинина Л.В., Елисейев П.Г., Свердлов Б.Н., Скрипкин В.А. - Квантовая электроника, 1986, т. 13, в. 10, с. 2119-2120.
- [6] Дианов Е.М. - Изв. вузов, Радиоэлектроника, 1983, т. 26, в. 5, с. 27-35.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
19 августа 1988 г.