

Перестраиваемый лазер на основе InAsSb/InAsSbP с высокой направленностью излучения в плоскости $p-n$ -перехода

© А.П. Астахова, Т.Н. Данилова, А.Н. Именков, Н.М. Колчанова, В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев[†]

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 3 марта 2000 г. Принята к печати 7 марта 2000 г.)

На основе двойной гетероструктуры InAsSb/InAsSbP созданы лазеры с большой толщиной активной области (3 мкм) и большой шириной резонатора (40 мкм) для получения высокой направленности излучения в плоскости $p-n$ -перехода, работающие вблизи 3.3 мкм. Изучены спектры генерации и диаграммы направленности при различных токах. Линия лазерного излучения смещается с током на 24 Å. Полуширина диаграммы направленности составляет 9° в плоскости $p-n$ -перехода и 63° в плоскости, перпендикулярной плоскости $p-n$ -перехода. Проведено сопоставление экспериментальных результатов направленности потока излучения с теоретически ожидаемым для случая возникновения в резонаторе двух синфазных потоков с одинаковой амплитудой.

1. Введение

Перестраиваемые лазеры на основе твердых растворов $A^{III}B^V$ являются в настоящее время перспективными для диодной лазерной спектроскопии высокого разрешения [1–3]. Узкая линия излучения, значительное изменение длины волны генерации с током, высокая интенсивность, быстрое действие и стабильность делают перестраиваемые лазеры пригодными для использования в ряде других областей.

Ранее нами исследовались перестройка длины волны излучения с током и пространственное распределение излучения в дальнем поле диодных лазеров на основе гетероструктур InAsSb/InAsSbP с шириной полоска 10–12 мкм, излучающих в области 3.3 мкм. Лучшие лазеры имели одномодовый спектр и большой диапазон смещения длины волны моды с током, до 60–100 Å. Пространственное распределение излучения лазеров при токах (I), близких к пороговому току (I_{th}), представляет собой в плоскости $p-n$ -перехода одну продольную моду с шириной на половине максимальной интенсивности $\Delta\theta \approx 22^\circ$, соответствующей косинусному распределению светового потока на выходном зеркале резонатора. С увеличением тока до $2.5I_{th}$ $\Delta\theta$ уменьшается до 17° [4], что формально соответствует равномерному распределению амплитуды электрического поля световой волны на выходном зеркале резонатора с амплитудой световой волны на краях полоска, практически равной нулю. Реализация такого распределения мало вероятна. Было сделано предположение, что в случае аномально узкой диаграммы направленности распространяется не один, а два параллельных световых потока, колеблющихся синфазно от одного края к другому, меняясь местами. Теоретические расчеты подтвердили такое предположение [5]. Далее нами исследовались лазеры с более широким полоском (18–20 мкм). У некоторых лазеров с такой шириной полоска наблюдалась диаграмма направленности

в плоскости $p-n$ -перехода в виде одной продольной моды, но расширенной у основания вследствие появления небольших поперечных мод 1-го порядка [6]. Однако с увеличением тока центральная мода раздваивалась. У большинства лазеров с шириной полоска 18 мкм диаграмма направленности имела два максимума, угловое расстояние между которыми составляло $\sim 11^\circ$, тогда как при преобладании первой поперечной пространственной моды одно должно было составить $\sim 20^\circ$. Теоретическое рассмотрение, предполагающее колебания в волноводе двух параллельных противофазных потоков излучения, дает хорошее совпадение с экспериментально полученной аномальной диаграммой направленности в плоскости $p-n$ -перехода лазеров с такой шириной полоска. Увеличение ширины полоска еще в 2 раза (до 40 мкм) привело к тому, что при токах, близких к пороговому, в диаграмме направленности в плоскости $p-n$ -перехода преобладающей оказалась поперечная мода 2-го порядка, причем общая полуширина диаграммы направленности $\Delta\theta \approx 23^\circ$ [6]. Зависимость от тока спектральных и пространственных характеристик этих лазеров не исследовалась. Однако, поскольку лазеры с более широким полоском излучают большую мощность и имеют меньшую ширину спектральной линии, такие исследования актуальны.

Цель настоящей работы — исследование спектральных и пространственных характеристик в зависимости от тока лазеров с шириной полоска 40 мкм.

2. Лазерные диоды

Лазерные диоды на основе двойных гетероструктур $P\text{-InAs}_{0.48}\text{Sb}_{0.17}\text{P}_{0.35}/n\text{-InAs}_{0.95}\text{Sb}_{0.05}/N\text{-InAs}_{0.48}\text{Sb}_{0.17}\text{P}_{0.35}$ были получены методом жидкофазной эпитаксии на подложке InAs (100), легированного Zn до концентрации дырок $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Активная область толщиной 3 мкм специально не легировалась, была n -типа проводимости с концентрацией электронов $\sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Ограничительные слои имели толщину 3 мкм каждый.

[†] Факс: (812) 2470006
E-mail: jak@itopt.ioffe.rssi.ru

Слой N -InAsSbP легировался Sn до концентрации электронов $\sim (3-5) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Слой P -InAsSbP легировался Zn до концентрации дырок $\sim 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

На выращенных структурах методом фотолитографии формировались полоски шириной 40 мкм. Резонаторы Фабри–Перо длиной 250 мкм были получены скалыванием. Ширина подложки в лазерной конструкции составляла ~ 500 мкм, а ее толщина ~ 100 мкм.

3. Методика исследований

На полученных лазерных структурах при температуре 77 К были исследованы спектры излучения и диаграммы направленности в плоскостях, как параллельной, так и перпендикулярной плоскости p - n -перехода, в зависимости от тока. Измерения проводились при питании лазеров прямоугольными импульсами тока со скважностью 2 (типа меандр) и частотой следования 80 Гц.

4. Экспериментальные результаты

Спектр излучения лазеров состоит из нескольких мод, соотношение интенсивностей которых зависит от тока. В интервале токов от $I = 1.5I_{th}$ до $3I_{th}$ всегда имеется преимущественная мода. Интенсивность этой моды выше суммы интенсивностей других мод в несколько меньшем интервале токов. В этом интервале токов лазер можно считать одномодовым. При возрастании тока длины волн генерации всех мод линейно смещаются в область меньших значений. На рис. 1 показана зависимость длины волны λ преимущественной моды от тока. Максимальное изменение длины волны с током составляет 24 \AA при межмодовом расстоянии 62 \AA . При больших токах появляются длинноволновые моды, что связано с нагревом активной области.

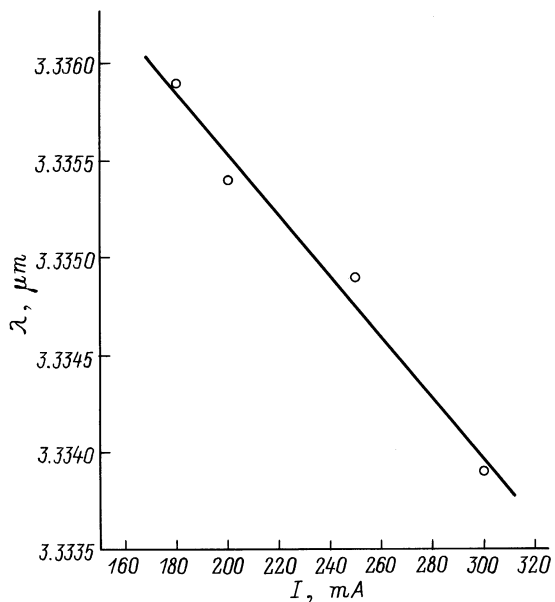


Рис. 1. Зависимость длины (λ) волны преимущественной моды от тока (I) при температуре 77 К для лазера V-1109-1-15.

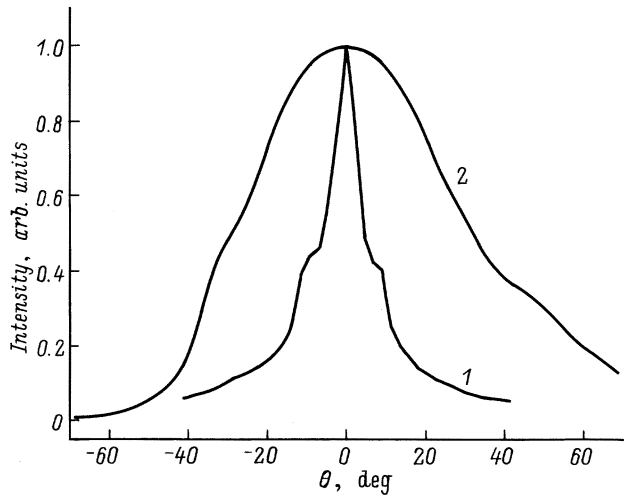


Рис. 2. Диаграмма направленности потока лазерного излучения в плоскостях, параллельной (1) и перпендикулярной p - n -переходу (2), при токе $I/I_{th} = 1.44$ и при температуре 77 К для лазера V-1109-1-15.

Пространственное распределение излучения в плоскости p - n -перехода в дальнем поле представляет собой при всех токах один лепесток с острой вершиной и несколько расширенным основанием. При токах вблизи порогового ($I/I_{th} = 1.2$) $\Delta\theta \approx 23^\circ$, вершина диаграммы направленности острая. С увеличением тока лепесток сужается. Так, $\Delta\theta \approx 9^\circ$ при $I/I_{th} = 1.44$, причем вершина диаграммы становится еще более острой. В плоскости, перпендикулярной плоскости p - n -перехода, $\Delta\theta \approx 63^\circ$ (рис. 2).

5. Обсуждение результатов

Основным неожиданным результатом явилось то, что увеличение ширины полоска лазера от 10–20 до 40 мкм не ухудшило существенно его спектральных характеристик. Лазер имеет интервал токов, в котором спектр можно считать одномодовым. Смещение длины волны с током на 24 \AA при межмодовом расстоянии 62 \AA является средней величиной для лазеров на основе гетероструктур InAsSb/InAsSbP с шириной полоска 10–20 мкм.

Диаграмма направленности в плоскости p - n -перехода исследованных лазеров имеет необычный характер. При токах вблизи порогового $\Delta\theta$ имеет такую же величину, как у лазеров с шириной полоска 40 мкм, имеющих распределение световой волны на выходном зеркале резонатора, соответствующее 2-й поперечной моде [6], однако представляет собой один лепесток с острой вершиной. С увеличением тока $\Delta\theta$, так же как у лазеров с шириной полоска 10–20 мкм, уменьшается, но еще больше, чем у узких лазеров: $\Delta\theta$ достигает 9° . Экспериментально полученная для исследованных лазеров диаграмма направленности так же, как для лазеров с шириной полоска 10–20 мкм, хорошо совпадает с теоретической в предположении колебания в волноводе двух синфазных

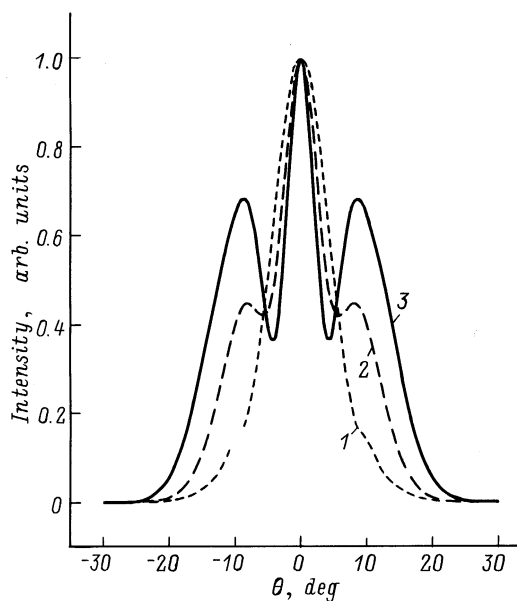


Рис. 3. Рассчитанные по формулам работы [5] диаграммы направленности излучения в плоскости $p-n$ -перехода при возникновении в резонаторе двух синфазных потоков излучения одинаковой амплитуды для амплитуд отклонения потоков от середины полоска, мкм: 1 — 5, 2 — 8, 3 — 10.

потоков, но с учетом того, что в волноводе лазера с широким полоском будут размещаться пространственные моды 2-го порядка. На рис. 3 представлены рассчитанные диаграммы направленности в плоскости $p-n$ -перехода для потоков, имеющих равные амплитуды и такую же, как в работе [5], зависимость коэффициента преломления от координаты. Кривая 1 соответствует потоку излучения, центр тяжести которого отклоняется от середины полоска до координаты 1-й поперечной моды. Кривые 2 и 3 соответствуют потокам, колеблющимся между крайними максимумами 2-й и 3-й поперечных мод соответственно. Экспериментальная диаграмма направленности хорошо совпадает с теоретической кривой 2 в соответствии с тем, что в лазерах с шириной полоска 40 мкм в случае распространения одного светового потока наблюдается поперечная мода 2-го порядка [6]. В случае широких полосков лазеров в диаграмме направленности появляются боковые крылья, интенсивность которых, однако, незначительная.

В плоскости, перпендикулярной плоскости $p-n$ -перехода, диаграмма направленности характеризуется косинусным распределением излучения. Полуширина здесь близка к значению, определяемому соотношением $\Delta\theta = \lambda/d = 63^\circ$, где d — толщина активной области. По-видимому, в этом направлении поток излучения не колеблется. Кроме того, отметим: что выполнение указанного соотношения для $\Delta\theta$ говорит о том, что световой поток не заходит в широкозонные области при толщине активной области 3 мкм. Это свидетельствует о хорошем оптическом ограничении, близком к единице.

6. Заключение

Таким образом, исследование лазерных диодов на основе гетеропереходов InAsSb/InAsSbP с шириной полоска 40 мкм показало значительную линейную перестройку длины волны излучения с током, которая позволяет использовать их для целей лазерно-диодной спектроскопии высокого разрешения. Сопоставление экспериментальной зависимости диаграммы направленности в плоскости $p-n$ -перехода с теоретической указывает на возникновение в лазерах исследуемого типа двух синфазных потоков, что приводит к узкой направленности выходящего излучения.

Работа поддержана контрактом INCO-Copernicus N1C15-CT97-0802 (DG12-CDPF) и грантом Российского фонда фундаментальных исследований (№ 99-02-18019).

Список литературы

- [1] Ю.П. Яковлев, А.Н. Баранов, А.Н. Именков, В.В. Шерстнев, Е.В. Степанов, Я.Я. Понуровский. Квант. электрон., **20**, 839 (1993).
- [2] А.П. Данилова, А.Н. Именков, Н.М. Колчанова, С. Цивиц, В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев. ФТП, **33**, 1469 (1999).
- [3] А.П. Данилова, А.Н. Именков, Н.М. Колчанова, С. Цивиц, В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев. ФТП, **34**, 115 (2000).
- [4] Т.Н. Данилова, А.П. Данилова, О.Г. Ершов, А.Н. Именков, В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев. ФТП, **32**, 373 (1998).
- [5] А.П. Данилова, Т.Н. Данилова, А.Н. Именков, Н.М. Колчанова, М.В. Степанов, В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев. ФТП, **33**, 1014 (1999).
- [6] А.Н. Баранов, Т.Н. Данилова, О.Г. Ершов, А.Н. Именков, В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев. Письма ЖТФ, **18** (17), 30 (1993).

Редактор Л.В. Шаронова

Tuning InAsSb/InAsSbP lasers with small width of the $p-n$ -junction plane beam pattern

A.P. Astakhova, T.N. Danilova, A.N. Imenkov, N.M. Kolchanova, V.V. Sherstnev, Yu.P. Yakovlev

loffe Physicotechnical Institute,
Russian Academy of Sciences,
194021 St. Petersburg, Russia

Abstract The tuning lasers with large active layer thickness ($3\ \mu\text{m}$) and large resonator width ($40\ \mu\text{m}$) based on InAsSb/InAsSbP double heterostructures have been manufactured for obtaining a narrow oriented laser beam near $3.3\ \mu\text{m}$. The emission spectrum and laser beam patterns for different currents have been investigated. The lasing mode has short-wavelength tuning up to $24\ \text{\AA}$. The lasers had small width of beam pattern 9° in the $p-n$ -junction plane and 63° in a normal plane. Experimental results on laser beam patterns were compared with theoretical ones for equal-amplitude phase beams arising in the cavity.