

Полупроводниковый лазер с вытеканием излучения через подложку и трапециевидной активной областью

Н.В.Дикарева, С.М.Некоркин, М.В.Карзанова, Б.Н.Звонков,
В.Я.Алешкин, А.А.Дубинов, А.А.Афоненко

Изготовлены полупроводниковые лазеры с узкой ($\sim 2^\circ$) диаграммой направленности как в плоскости p - n -перехода, так и перпендикулярно ей. Для достижения малой расходимости излучения в плоскости p - n -перехода активная область лазера в ней была изготовлена в виде трапеции. Узкая диаграмма направленности в плоскости, перпендикулярной p - n -переходу, обеспечивалась использованием вытекающей моды, через которую выходило более 90% мощности излучения лазера.

Ключевые слова: полупроводниковый лазер, активная область, квантовая яма, вытекающая мода.

1. Введение

Важнейшей характеристикой лазера является диаграмма направленности его излучения. В полупроводниковых лазерах стандартной полосковой конструкции расходимость излучения в плоскости p - n -перехода составляет $\sim 10^\circ$, а в перпендикулярной ей плоскости – 30° . Для накачки волоконных лазеров и усилителей требуется лазерный пучок высокого качества, и для его достижения обычно применяется довольно сложная оптическая схема с астигматическими линзами. В связи с этим очевидна необходимость улучшения качества выходного излучения лазера – сужение диаграммы направленности и достижение одинаковой расходимости излучения в обеих плоскостях.

Создание полупроводниковых лазеров со сверхшироким волноводом с ограничительными слоями [1] и без них [2, 3], а также лазеров с вытеканием излучения в подложку [4–6] позволило лишь частично решить данную проблему. Лазеры со сверхшироким волноводом имеют расходимость излучения $\sim 20^\circ$. Излучение лазерных диодов, работающих на вытекающей моде, характеризуется очень малой расходимостью (1 – 2°) в плоскости, перпендикулярной структуре (p - n -переходу), однако расходимость их излучения в плоскости структуры соответствует расходимости гетеролазеров стандартной полосковой конструкции ($\sim 10^\circ$).

Узкая диаграмма направленности излучения в плоскости гетероструктуры была реализована в лазерах с

распределенной обратной связью. Угловая расходимость их излучения в плоскости структуры составляет $\sim 1^\circ$, положение спектрального максимума практически не зависит от плотности тока накачки, лазер генерирует в одночастотном режиме генерации [7]. Однако технология его изготовления достаточно сложна.

Еще одним, более простым способом формирования узконаправленного излучения является использование трапециевидной (в виде рупора) активной области лазера [8]. Принцип действия лазеров такой геометрии основан на том, что основная поперечная мода имеет наименьшую дифракционную расходимость, а высшие моды сильнее выходят из расширяющейся активной области и испытывают значительное затухание в неактивных слоях. Расходимость излучения лазеров подобной конструкции составляет около 2° в направлении p - n -перехода, однако в направлении, перпендикулярном p - n -переходу, она велика.

В настоящей работе экспериментальные исследованы спектральные и пространственные характеристики полупроводниковых лазеров с трапециевидной активной областью и выходом излучения через подложку. Такая конструкция лазера позволяет существенно сузить диаграмму направленности и сделать примерно равными угловые расходимости в обеих плоскостях.

2. Результаты экспериментов и их обсуждение

Лазерная гетероструктура InGaAs/GaAs/InGaP с 10 квантовыми ямами в активной области была выращена методом МОС-гидридной эпитаксии при атмосферном давлении. Параметры слоев структуры приведены в табл. 1. Тонкий (67 нм) ограничительный слой InGaP n -типа позволяет большей части мощности излучения лазера (свыше 90%) туннелировать из волновода в область подложки. Для компенсации больших потерь на вытекание в активной области использовались 10 квантовых ям [9]. На основе данной гетероструктуры были изготовлены лазерные диоды с длиной активной области 1 мм. Напыления просветляющих и отражающих покрытий на грани лазерных чипов не проводилось – зеркалами служили сколо-

Н.В.Дикарева, С.М.Некоркин, М.В.Карзанова, Б.Н.Звонков. Научно-исследовательский физико-технический институт Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского, Россия, 603950 Н.Новгород, просп. Гагарина, 23; e-mail: nekorkin@nifti.unn.ru, zvonkov@nifti.unn.ru
В.Я.Алешкин, А.А.Дубинов. Институт физики микроструктур РАН, Россия, 603950 Н.Новгород, ГСП-105, Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского, Россия, 603950 Н.Новгород, просп. Гагарина, 23; e-mail: sanya@ipm.sci-nnov.ru
А.А.Афоненко. Белорусский государственный университет, Белоруссия, 220050 Минск, просп. Независимости, 4; e-mail: afonenko@bsu.by

Табл.1. Параметры слоев лазерной гетероструктуры.

Номер слоя	Название слоя	Легирование и состав слоя	Толщина слоя (нм)
1	Подложка	n ⁺ -GaAs	–
2	Буферный	n-GaAs	954
3	Ограничительный	n-InGaP	67
4	Волноводный	n-GaAs	318
5	Волноводный	i-GaAs	32
6	Компенсирующий	i-GaAsP	18
7	Волноводный	i-GaAs	32
8	Квантовая яма	InGaAs	8
9	Волноводный	i-GaAs	32
10	Компенсирующий	i-GaAsP	32
11	Волноводный	i-GaAs	32
12–27	Повтор слоев 8 – 11 восемь раз		
28	Квантовая яма	InGaAs	8
29	Волноводный	i-GaAs	32
30	Компенсирующий	i-GaAsP	16
31	Волноводный	i-GaAs	32
32	Волноводный	p-GaAs	318
33	Ограничительный	p-InGaP	504
34	Контактный	p ⁺ -GaAs	220

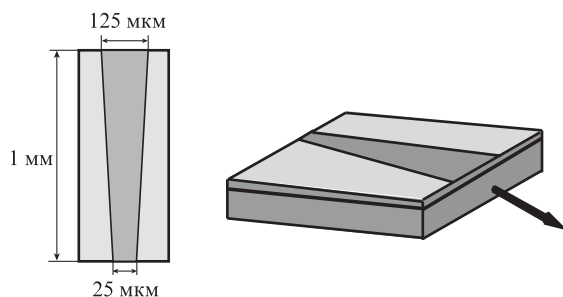


Рис.1. Размеры и расположение трапециевидной активной области на лазерном чипе.

тые грани структур. Активная область гетеролазеров представляла собой трапецию с основаниями 25 и 125 мкм (рис.1), которыми служили сколотые зеркала лазера. Во избежание перегрева прибора лазерные чипы припаивались к медному теплоотводу индиевым припоем.

Измерения излучательных характеристик лазеров проводились в режиме импульсной накачки электрическим током (длительность импульса 360 нс, частота следова-

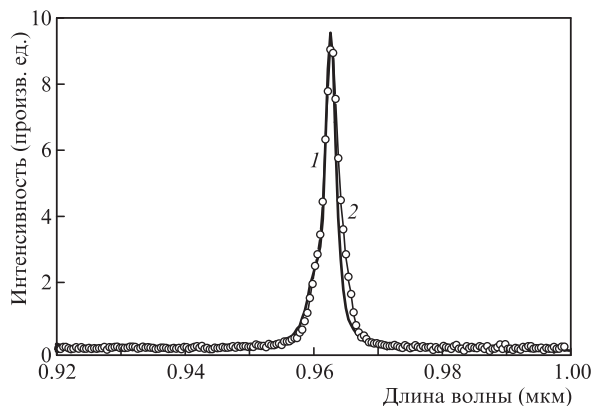


Рис.2. Спектральные характеристики излучения лазерных диодов с трапециевидной активной областью и выходом излучения через подложку при токах накачки 13 А (1) и 15 А (2).

ния примерно 1.43 кГц). Спектральные характеристики излучения лазерных диодов представлены на рис.2. Видно, что лазерные диоды представленной конструкции генерируют узкополосное излучение. При токе накачки 13 А ширина спектральной линии составила 2 нм, а при токе 15 А – 3 нм. Лазерная генерация наблюдалась на длине волны 963 нм, порог генерации был равен 10 А.

Измерения пространственных характеристик излучения проводились в лазерном режиме в плоскостях, параллельной и перпендикулярной р–n-переходу. Все измерения выполнялись при комнатной температуре. Картина дальнего поля лазера в плоскости, параллельной р–n-переходу, при токе накачки 11 А показала наличие многолепестковой диаграммы направленности, один лепесток которой имел интенсивность, на порядок большую, чем остальные, угол расхождения 3° и угловое положение 1°. Такое небольшое отклонение центрального лепестка диаграммы направленности от нуля типично для данных структур [10–12]. При токе 12 А угловое положение максимума интенсивности излучения составило 2.5°, а диаграмма направленности сузилась до 1.5° (рис.3).

Диаграмма направленности в режиме лазерной генерации в плоскости, перпендикулярной р–n-переходу, имеет один, характерный для лазеров со значительным вытеканием излучения в подложку, узкий (2°) лепесток с угловым отклонением от нормали 4° (при токе накачки 10 А), связанным с вытеканием излучения через подложку (рис.4). С увеличением тока до 15 А диаграмма направленности сужается до 1.5°, при этом угловое положение максимума интенсивности излучения не изменяется. На-

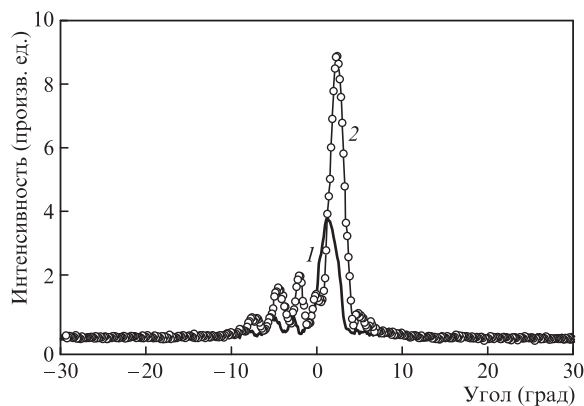


Рис.3. Диаграммы направленности излучения лазера в плоскости, параллельной р–n-переходу, при токах накачки 11 А (1) и 12 А (2).

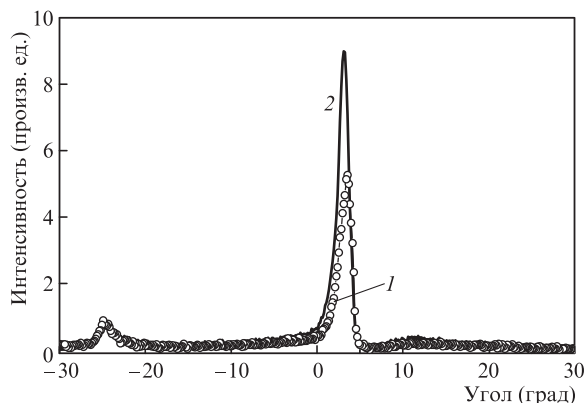


Рис.4. Диаграммы направленности излучения лазера в плоскости, перпендикулярной р–n-переходу, при токах накачки 10 А (1) и 15 А (2).

блюдаемый пик с угловым положением -24° вызван переотражением излучения от подложки.

Таким образом, экспериментально показано, что полупроводниковые лазеры с трапециевидной активной областью и значительным вытеканием излучения в подложку в небольшом диапазоне токовой накачки способны генерировать узконаправленное излучение.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 13-02-97062-р_поволжье_а и 14-02-90002-Бел_а).

1. Слипченко С.О., Подоскин А.А., Винокуров Д.А., Бондарев А.Д., Капитонов В.А., Пихтин Н.А., Копьев П.С., Тарасов И.С. *ФТП*, **47** (8), 1082 (2013).
2. Алешкин В.Я., Дикарева Н.В., Дубинов А.А., Звонков Б.Н., Карзанова М.В., Кудрявцев К.Е., Некоркин С.М., Яблонский А.Н. *Квантовая электроника*, **43** (5), 401 (2013).
3. Алешкин В.Я., Афоненко А.А., Дикарёва Н.В., Дубинов А.А., Кудрявцев К.Е., Морозов С.В., Некоркин С.М. *ФТП*, **47** (11), 1486 (2013).
4. Звонков Н.Б., Звонков Б.Н., Ершов А.В., Ускова Е.А., Максимов Г.А. *Квантовая электроника*, **25** (7), 622 (1998).
5. Алешкин В.Я., Бабушкина Т.С., Бирюков А.А., Дубинов А.А., Звонков Б.Н., Колесников М.Н., Некоркин С.М. *Квантовая электроника*, **40** (10), 855 (2010).
6. Некоркин С.М., Звонков Б.Н., Колесников М.Н., Дикарева Н.В., Алешкин В.Я., Дубинов А.А. *Вестник ННГУ им. Лобачевского*, **1** (1), 30 (2012).
7. Богатов А.П., Дракин А.Е., Батрак Д.В., Гютер Р., Пашке К., Венцель Х. *Квантовая электроника*, **36** (8), 745 (2006).
8. Авруцкий И.А., Ахлестина С.А., Дианов Е.М., Звонков Н.Б., Линькова Е.Р., Максимов Г.А. *Квантовая электроника*, **23** (8), 701 (1996).
9. Ушаков Д.В., Афоненко А.А., Алешкин В.Я. *Квантовая электроника*, **43** (11), 999 (2013).
10. Богатов А.П., Дракин А.Е., Стратонников А.А., Алавердян Ю.С., Устинов А.В., Швейкин В.И. *Квантовая электроника*, **27** (2), 131 (1999).
11. Богатов А.П., Дракин А.Е., Лях А.А., Стратонников А.А. *Квантовая электроника*, **31** (10), 847 (2001).
12. Некоркин С.М., Звонков Б.Н., Карзанова М.В., Дикарева Н.В., Алешкин В.Я., Дубинов А.А. *Квантовая электроника*, **42** (10), 931 (2012).