

Полупроводниковые лазеры с волоконной брэгговской решеткой и узким спектром генерации на длинах волн 1530–1560 нм

В.П.Дураев, Е.Т.Неделин, Т.П.Недобывайло, М.А.Сумароков, К.И.Климов

Описана конструкция и приведены основные характеристики непрерывного одночастотного полупроводникового лазера с волоконной брэгговской решеткой в составном резонаторе на длине волны 1553.6 нм, предназначенного для волоконно-оптических систем со спектральным уплотнением каналов. Показано, что при подавлении собственных продольных мод лазерного диода благодаря просветлению внутренней грани кристалла генерация происходит на одной продольной моде составного резонатора, полуширина линии генерации не превышает 0.1 нм, а длина волны генерации соответствует брэгговской длине волны волоконной решетки и остается стабильной в динамическом режиме.

Ключевые слова: полупроводниковый лазер, внешний резонатор, волоконная брэгговская решетка.

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) заняли прочное место в современных системах передачи информации. В последнее время для увеличения объема передаваемой информации по оптическим линиям связи применяется спектральное уплотнение каналов (WDM или DWDM). При этом одной из важнейших проблем ВОЛС со спектральным уплотнением является создание лазерных источников излучения с узким и стабильным спектром (не более 0.1 нм), который должен сохраняться в динамическом режиме при модуляции информационным сигналом с частотами вплоть до 10 ГГц [1, 2, 4]. Это условие определяется тем, что разность длин волн соседних спектральных каналов должна составлять доли нанометра (0.2–0.8 нм), причем девиация длин волн источников излучения не должна превышать 0.01 нм. Этим требованиям наиболее полно могут отвечать полупроводниковые лазеры с волоконными брэгговскими решетками (ВБР) на одномодовых волоконных световодах (ОВС).

В настоящей работе описаны полупроводниковые лазеры с ВБР, излучающие в диапазоне длин волн 1530–1560 нм и предназначенные для работы в ВОЛС со спектральным уплотнением и эрбиевыми волоконно-оптическими усилителями.

Генерация лазеров на требуемых длинах волн с заданным спектральным интервалом между ними обеспечивается применением дискретных брэгговских решеток показателя преломления в ОВС [3], записываемых в сердцевине волокна. При включении решетки в схему внешнего резонатора с лазерным диодом (ЛД) (аналогично [4]) длина волны генерации находится в области максимума контура спектрально-селективного отражения решетки. Для стабилизации длины волны и обеспечения одночастотного режима генерации с узким спектром излучения в конструкции лазера нами предложены и реализованы следующие физические и технологические решения:

1. Малая ширина спектрального контура отражения ВБР (менее 0.3 нм).

2. Большой коэффициент отражения ВБР в максимуме (80 %) для обеспечения необходимой добротности внешнего резонатора.

3. ЛД с длиной собственного резонатора 200 мкм и коэффициентом просветления торца не хуже 0.5 %.

4. Получение короткого внешнего резонатора и разреженного спектра продольных мод составного резонатора за счет приближения ВБР к просветленному торцу ЛД.

5. Просветление микролинз для увеличения эффективности связи ЛД с ВБР и подавление продольных мод нежелательных составных резонаторов.

6. Совпадение максимума спектрального контура усиления просветленного лазера с максимумом контура селективности решетки (λ_B).

Схема лазера с ВБР на длину волны генерации в области 1530–1560 нм приведена на рис. 1.

В работе использовались лазеры на основе гетероструктур InGaAsP–InP с квантоворазмерными слоями, изготовленными методом МОС-гидридной эпитаксии на подложке p-InP аналогично [5]. Из исходных квантоворазмерных гетероструктур изготавливались мезаполосковые лазерные диоды с шириной мезаполоски 3 мкм и длиной резонатора 200 мкм. На заднюю грань резонатора наносились многослойные просветляющие покрытия с коэффициентом отражения $R_2 \approx 0.5\%$.

ЛД монтировался на медный теплоотвод, который помещался на термоэлектрический микроохладитель, управляемый схемой термостабилизации. Излучение с задней грани ЛД вводилось в одномодовый световод,

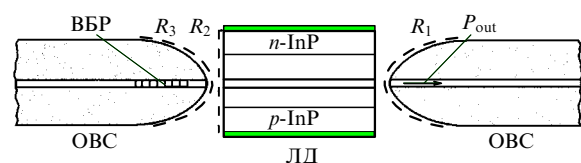


Рис. 1. Схема одночастотного лазера с ВБР; $R_1 = R_2 = R_3 \approx 0.5\%$ — коэффициенты отражения просветляющих покрытий.

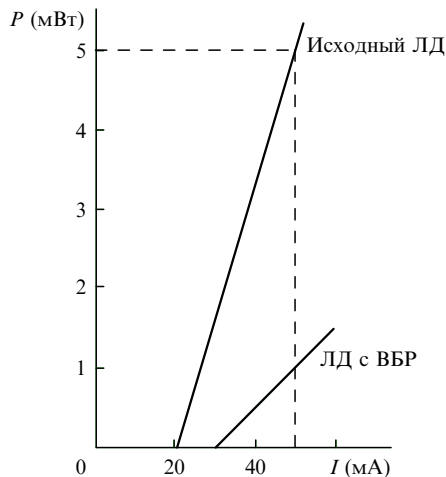


Рис.2. Ватт-амперные характеристики, снятые с переднего (правого) зеркала исходного ЛД, и они же после просветления и стыковки с ВБР.

содержащий ВБР с коэффициентом отражения 80 %. Для длин волн 1530–1560 нм с интервалом 0.8 нм период ВБР выбирался исходя из соотношения $A = \lambda_B / (2n_{\text{eff}})$, где n_{eff} – эффективный показатель преломления световода на заданной длине волны, и составлял ~ 0.5 мкм. Протяженность области решетки вдоль оси световода была равна 3 мм, что обеспечивало ширину контура селективного отражения решетки ~ 0.3 нм. На торце световода перед решеткой формировалась микролинза с радиусом закругления менее 10 мкм, на поверхность которой наносилось просветляющее покрытие с коэффициентом отражения $R_3 \approx 0.5$ %. С переднего зеркала сколотой грани ЛД излучение вводилось в световод с микролинзой на торце и просветляющим покрытием с $R_1 \approx 0.5$ %. Диаметр сердцевинного одномодового световода составлял 9 мкм, диаметр оболочки – 125 мкм. Радиус закругления микролинзы был равен 10 мкм.

Ватт-амперные характеристики, снятые с переднего зеркала ЛД до и после стыковки с ВБР, показаны на рис.2. Пороговый ток исходного ЛД без покрытий составлял 20 мА, рабочий ток – 50 мА при мощности излучения 5 мВт. После нанесения покрытий с R_1, R_2, R_3 и стыковки с ВБР и ОВС пороговый ток ЛД был равен 30 мА, мощность излучения 1 мВт на выходе ОВС достигалась при токе накачки 50 мА. Эффективность ввода излучения ЛД в ОВС составляла 30–50 %.

На рис.3 представлены спектральные характеристики ЛД до и после стыковки с ВБР. Длина волны исходного ЛД в максимуме спектра излучения λ_{max} составляла 1576 нм. Полуширина линии $\Delta\lambda = 4.5$ нм и межмодовое расстояние $\delta\lambda = 1.5$ нм. Длина волны просветленного ЛД при $I = 100$ мА была равна 1550 нм, а полуширина

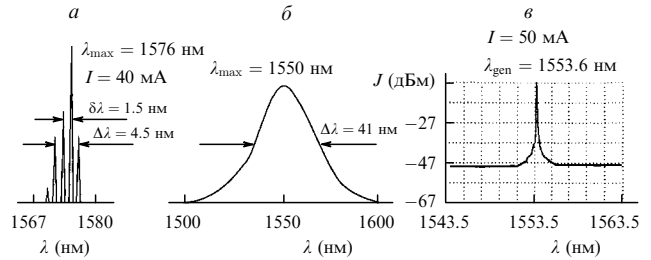


Рис.3. Спектральные характеристики исходного ЛД (а), они же после нанесения просветляющего покрытия (б) и после стыковки с ВБР (в).

спектра излучения $\Delta\lambda = 41$ нм; при этом максимум огибающей спектра излучения относительно λ_{max} исходного ЛД смещался в коротковолновую сторону на 26 нм.

Спектр излучения на выходе ОВС после эффективной оптической связи ЛД с ВБР содержит одну продольную моду составного резонатора (рис.3,в). Видно, что в спектре люминесценции просветленного ЛД и в спектре генерации лазера с ВБР отсутствуют продольные моды собственного резонатора ЛД, а также других паразитных резонаторов, которые могли бы формироваться торцами волокон при стыковке. Это свидетельствует о качественном просветлении торцов волокон и грани ЛД, обращенной к волоконной решетке.

Длина волны генерации ЛД с ВБР λ_{gen} составила 1553.6 нм, что совпадает с брэгговской длиной волны использованной волоконной решетки λ_B . Полуширина спектральной линии генерации не превысила 0.1 нм при модуляции лазера импульсами тока накачки с частотой до ~ 5 ГГц, что свидетельствует о стабильности работы лазера в динамическом режиме. Расстройка длины волны Брэгга относительно максимума линии усиления просветленного ЛД составила 3.6 нм в длинноволновую сторону.

Таким образом, реализация всех перечисленных выше конструктивных и технологических мер позволяет устойчиво получать одночастотную генерацию на одной продольной моде составного резонатора с ВБР при ширине спектральной линии не более 0.1 нм и создавать передающие оптические модули со стабильными характеристиками в динамическом режиме в интервале длин волн 1530–1560 для волоконно-оптических систем передачи информации со спектральным уплотнением каналов.

1. Дураев В.П. *Лазерная техника и оптоэлектроника*, № 3-4, 40(1992).
2. Дианов Е.М. *Квантовая электроника*, **30**, 659 (2000).
3. Дианов Е.М. и др. *Квантовая электроника*, **23**, 1059 (1996).
4. Дураев В.П. и др. *Квантовая электроника*, **25**, 301 (1998).
5. Голикова Е.Г., Дураев В.П. и др. *Квантовая электроника*, **22**, 105 (1995).