

В. П. Дурьев, С. В. Медведев (Москва, ЗАО «Нолатех»). **Отечественные оптоэлектронные компоненты для информационных систем.**

Представлены результаты исследований, разработки и промышленного выпуска отечественных оптоэлектронных компонентов для информационных систем (одномодовых одночастотных перестраиваемых полупроводниковых лазеров, передающих оптических модулей, полупроводниковых оптических усилителей, приемных модулей). Приведены основные их характеристики. Дан перечень основных изделий, выпускаемых отечественной промышленностью.

Современные информационные системы нельзя себе представить без применения в них элементов оптоэлектроники. Примером тому служит то, что полупроводниковые лазеры, приемные и передающие оптические модули и усилители нашли самое широкое применение в современных волоконно-оптических линиях связи, заменив проводные и кабельные линии.

1. Лазерные модули. В основу физических принципов создания полупроводниковых лазеров для телекоммуникаций заложены следующие основные требования: непрерывный и импульсный режимы работы, низкий пороговый ток, широкая полоса модуляции, линейная зависимость мощности излучения от тока накачки, малые шумы, большой ресурс работы, одномодовый и одночастотный режим работы.

Активные элементы представленных приборов изготавливались из квантово-размерных эпитаксиальных структур на основе арсенида галлия или фосфида индия (в зависимости от длины волны излучения) с использованием МОС-гидридной эпитаксии. Конструктивно активные элементы имели полосковый волновод, что обеспечивает локализацию света и носителей тока в канале шириной 23 мкм. Эти лазеры позволяют реализовать генерацию одной моды и снизить пороговый ток до 5 мА [1].

Наиболее полно требованиям телекоммуникаций отвечают лазеры с длиной волны излучения 1,3 и 1,55 мкм. Лазеры работают до температуры плюс 85 градусов без охлаждения и имеют мощность излучения до 100 мВт и более.

Важной экономической и технической проблемой является введение волоконно-оптических систем связи в каждую квартиру. Для этих целей требуются неохлаждаемые лазеры, обладающие малой себестоимостью. Для этих целей используются также лазеры с длиной волны 1300 нм и 1550 нм. Минимальное значение порогового тока на этих лазерах достигнуто 1–3 мА. По спектральному составу используемые лазеры в связи могут иметь как многомодовый, так и одномодовый в пределе одночастотный режим генерации в зависимости от скорости и дальности передачи информации [2].

Основными элементами лазерного модуля являются лазерный диод, элемент Пельтье, фотодиод обратной связи, оптический изолятор, одномодовый световод со сферической или с цилиндрической линзой на конце световода, оптический разъем [3].

Большинство лазеров для связи имеют резонаторы типа Фабри–Перо (ФП). Однако в последние годы для многих применений используются одночастотные лазеры, в частности, на магистральных линиях связи со спектральным уплотнением каналов стали использоваться одночастотные лазеры с резонаторами на основе волоконно-брегговских решеток (ВБР) или с распределенной обратной связью (РОС) с шириной излучения 1 МГц и менее.

ВБР-лазер — это лазер с внешним резонатором, в котором положительная обратная связь создана волоконно-брэгговской решеткой и задней гранью активного элемента полупроводникового оптического усилителя (ПОУ) [4].

Согласно данным, опубликованным в работе [5], лазеры с распределенной обратной связью (РОС), или DFB-лазеры (distributed feedback laser), обладают большим чирпом, чем ВБР-лазеры (излучатель с волоконной брэгговской решеткой). Таким образом, ВБР-лазер более подходит для передачи данных на короткие и средние расстояния с использованием DWDM (технология мультиплексирования с разделением по длине волны — Dense Wavelength Division Multiplexing) при использовании прямой модуляции, чем DFB-лазер. При этом ВБР-лазер не требует включения в свою конструкцию дополнительного устройства для стабилизации частоты, и это делает систему передачи данных с использованием ВБР-лазера проще и дешевле.

Перестройка длины волны ВБР-лазера до 2 нм возможна за счет сжатия/растяжения решетки с помощью пьезокерамики [6, 7]. Большинство одиночных полупроводниковых лазеров для многих применений выпускаются в конструкции типа 8-pin DIL, 14pin DIL, Butterfly и коаксиальном корпусе. Основные характеристики выпускаемых лазеров с резонатором Фабри-Перо представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Длина волны, нм	Мощность, мВт	Ширина линии, нм
405–445	1..20	1–2
520–525	1..20	1–2
630–670	1..20	1–2
700–790	1..20	1–3
800–850	1..40	1–3
900–980	1..100	1–3
1020–1090	1..100	1–3
1270–1330	1..50	1–3
1510–1570	1..200	1–9
1620–1650	1..100	1–9

Основные характеристики полупроводниковых лазеров на длину волны 1550 нм с различными типами резонаторов представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Тип модуля	FPL-1550	DFB-1550	BLD-1550	TLD-1550
Резонатор	ФП	РОС	ВБР	ВБР
Мощность	1–200	1–10	1–100	1–100
Рабочий ток, мА	20–700	20–100	20–700	20–700
Пороговый ток, мА	10–50	5–10	10–40	10–40
Напряжение, В	2	2	2	2
Ширина линии излучения	2–9 нм	1–20 МГц	0,1–1 МГц	0,1–1 МГц
Перестройка длины волны, нм	–	2,5	–	2
Чирп	Большой	Большой	Малый	Малый

Ресурс работы составляет более 500 тыс. часов. Ширина линии излучения 10...500 КГц. Диапазон плавной перестройки длины волны 0,1...0,3 нм.

2. Полупроводниковые оптические усилители. Усиление оптических сигналов рассматривалось первоначально как сопутствующее явление, наблюдаемое при исследовании процессов в лазерных устройствах. Однако с развитием волоконно-оптической техники и технологии оно стало самостоятельным направлением развития оптической техники [7, 8].

ПОУ применяются в качестве: усилителей мощности выходного излучения; линейных усилителей для компенсации потерь в линиях связи при передаче информации по волокну; оптических предусилителей для повышения чувствительности фотоприемников; основы для полупроводниковых кольцевых лазеров, гироскопов и волновых конвертеров; оптических модуляторов; для съема информативного сигнала в его электрической цепи по электрическому отклику на оптический сигнал, проходящий через активную среду; оптических коммутаторов и т. д.

Современные оптические усилители обладают следующими характеристиками:

- коэффициент усиления слабого сигнала — 20–27 дБ;
- максимальная выходная мощность на выходе усилителя — 13 дБм;
- минимальная мощность входного сигнала (чувствительность) — минус 20 дБм;
- мощность насыщения — 8–10 дБм;
- шум-фактор — 7–8 дБ;
- ширина полосы усиления — 30–40 нм.

Основные характеристики полупроводниковых оптических усилителей приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Тип ПОУ	Длина волны (нм)	Коэффициент усиления (дБ)	Ширина линии усиления (нм)
ПОУ-670	650...680	10...30	7...9
ПОУ-780	760...790	10...30	20...40
ПОУ-830	800...840	10...30	20...40
ПОУ-905	900...915	10...30	20...40
ПОУ-976	970...980	10...30	20...40
ПОУ-1030	1020...1050	10...30	20...40
ПОУ-1060	1060...1090	10...30	20...40
ПОУ-1300	1270...1310	10...30	20...40
ПОУ-1550	1510...1550	10...30	20...40

3. Суперлюминесцентные диоды

Отечественные суперлюминесцентные диоды (СЛД) выпускаются в диапазоне длин волн 650–1650 нм с мощностью излучения от 0,1 до 10 мВт. Ширина спектра излучения СЛД составляет 20–70 нм [7]. Основные характеристики суперлюминесцентных диодов приведены в табл. 4.

Таблица 4.

Длина волны излучения СЛД, нм	Мощность излучения, мВт	Спектральная ширина контура излучения СЛД, нм	Ток накачки, мА
670–680	2–5	8–9	не более 300
780–810	2–10	20–30	не более 300
820–850	2–10	20–60	не более 300
890–930	2–10	20–50	не более 300
960–990	2–10	20–50	не более 250
1020–1064	2–10	20–50	не более 300
1290–1335	2–10	20–30	не более 300
1510–1560	2–5	30–40	не более 300
1610–1650	2–5	30–40	не более 300

4. Приемники оптического излучения. Наряду с полупроводниковыми лазерами, в оптических системах большое место занимают приемники оптического излу-

чения. В настоящее время отечественной промышленностью созданы приемники излучения в спектральном диапазоне от ультрафиолета до глубокой инфракрасной области [7].

Наиболее широкое применение в волоконно-оптических линиях связи нашли применение приемные оптические модули на основе р-і-п фотодиодов с длиной волны излучения 600 до 1700 нм.

Основные параметры приемного модуля на основе InGaAs фотодирда представлены в табл. 5.

Таблица 5.

Температура		25° С		
		Мин	Тип	Макс
Чувствительность	А/Вт	0.9	0.95	1.0
Темновой ток	нА	0.5	1	2
Обратное напряжение	В	5	10	30
Длина волны	нм	1000		1650
Емкость	пФ	0.5	1	2

Модули имеют волоконно-оптический выход с коннектором типа FC/PC как в одномодовом, так и в многомодовом исполнении. Внешний вид приемников оптического излучения показан на рис. 1.

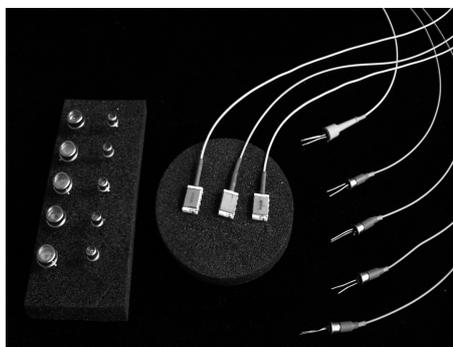


Рис. 1. Внешний вид приемников оптического излучения

5. Кольцевые лазеры. Полупроводниковый кольцевой лазер (ПКЛ) представляет собой полупроводниковый оптический усилитель (ПОУ), замкнутый кольцом оптического волокна, которое выступает в роли резонатора. Интерес к полупроводниковым кольцевым лазерам (ПКЛ) возникает вследствие наличия широкого спектра оптических явлений в полупроводниках, возможности управления излучением таких лазеров простыми методами, а также относительной дешевизной изготовления таких лазеров. ПКЛ могут быть использованы в оптических линиях связи, в составе различных устройств полностью оптической обработки информации, в навигационных системах, в составе лазерного гироскопа (рис. 2), в качестве задающего генератора в СВЧ генераторах, и во многих других устройствах. На основе ПКЛ возможно создание одночастотных и многочастотных (с заданным спектральным интервалом) лазеров [9, 10].

Закключение. В представленном докладе приведены сведения основных конструктивных и эксплуатационных характеристик выпускаемых отечественной промышленностью одномодовых, перестраиваемых одночастотных полупроводниковых лазеров, приемно-передающих модулей, полупроводниковых оптических усилителей, суперлюминесцентных диодов и кольцевых лазеров. Передающие и приемные модули,

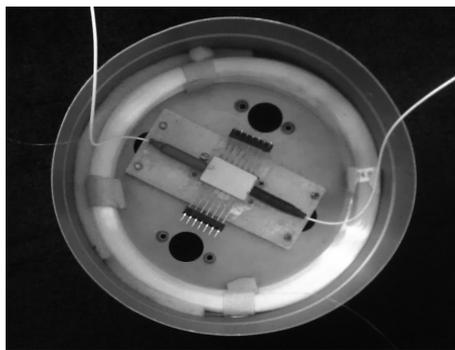


Рис. 2. Датчик вращения на основе полупроводникового кольцевого лазера

полупроводниковые оптические усилители, суперлюминесцентные диоды работают в широком интервале длин волн (450...1650 нм), имеют мощность излучения от единицы до 100 мВт, ресурс работы составляет более 500 тыс. часов и по своим параметрам соответствуют лучшим зарубежным образцам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дураев В. П., Неделин Е. Т., Недобывайло Т. П., Сумароков М. А., Климов К. И. Квантовая электроника, 2001, т. 31, № 6, с. 529–530.
2. Волоконно-оптическая техника (история, достижения, перспективы). 2-е изд./ Под ред. С. А. Дмитриева, Н. Н. Слепова, М.: ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005, 576 с.
3. Дураев В. П., Неделин Е. Т., Недобывайло Т. П., Сумароков М. А., Климов К. И. Квантовая электроника, 2001, т. 31, № 6, с. 529–530.
4. Дураев В. П., Медведев С. В. Перестраиваемые одночастотные полупроводниковые лазеры. — Физика и техника полупроводников, 2014, т. 48, в. 1, с. 125–128.
5. Hashimoto J. I. et al. J. Lightwave Technol, 2003, v. 21, p. 2002–2009.
6. Дураев В. П., Медведев С. В. Одночастотные полупроводниковые лазеры на основе двухпроходных усилителей. — Фотоника, 2015, т. 54, № 6.
7. Дураев В. П., Медведев С. В. Элементная база фотоники для систем передачи и защиты информации. — Обозрение прикл. промышл. матем., 2016, т. 23, в. 1, с. 36–42.
8. Дураев В. П., Медведев С. В. Полупроводниковые оптические усилители в диапазоне длин волн 840–1550 нм. — Научное приборостроение, 2012, т. 22, № 3, с. 53–57.
9. Дураев В. П., Медведев С. В. Полупроводниковый лазер с кольцевым волоконным резонатором. — Квантовая электроника, 2013, т. 43, № 10, с. 914–916.
10. Акпаров В. В., Дураев В. П., Медведев С. В. Датчики вращения на основе полупроводникового оптического усилителя. — Приборы и техника эксперимента, 2013, № 2, с. 84–88.