

**В. П. Д у р а е в, С. В. М е д в е д е в** (Москва, ЗАО «Новая лазерная технология»). **Элементная база фотоники для систем передачи и защиты информации.**

В данной работе представлены результаты исследований, разработки и промышленного выпуска отечественных полупроводниковых элементов фотоники для систем передачи и защиты информации (одномодовых одночастотных перестраиваемых полупроводниковых лазеров, передающих оптических модулей, полупроводниковых оптических усилителей, приемных модулей, суперлюминесцентных диодов). Приведены основные их характеристики. Представлен краткий анализ современного состояния разработок и выпуска представленных изделий. Представленные в данной работе и выпускаемые отечественной промышленностью полупроводниковые приборы прежде всего направлены на импортозамещение. Представленные в данной работе изделия защищены патентами РФ [1].

Современные информационные сети нельзя себе представить без применения в них элементов фотоники. Примером тому является то, что полупроводниковые лазеры, приемные и передающие оптические модули и усилители сделали возможным революционное преобразование в области средств связи (заменяя проводные и кабельные линии на волоконно-оптические) в устройствах записи, хранения, передачи, защиты и обработки информации. Использование волоконно-оптической связи позволяет значительно снизить вес, увеличить скорость передачи информации, повысить помехозащищенность и долговечность. Полупроводниковые лазеры, приемники излучения, оптические усилители нашли также широкое применение в таких областях науки и техники, как волоконно-оптические датчики (температуры, давления, растяжения, сжатия, вращения и т. д.), в спектроскопии высокого разрешения, в научном приборостроении и в медицинской и экологической аппаратуре [2, 3, 4].

Активные элементы представленных приборов изготавливались из квантово-размерных эпитаксиальных структур (в зависимости от длины волны излучения) на основе арсенида галлия или фосфида индия с использованием МОС-гидридной эпитаксии.

Конструктивно активные элементы имели полосковый волновод, что обеспечивает локализацию света и носителей тока в канале шириной 2...3 мкм. Эти лазеры позволяют реализовать генерацию одной моды и снизить пороговый ток до 5 мА.

В последние годы, в квантово-криптографической аппаратуре стали использоваться перестраиваемые одночастотные лазеры с волоконно-брэгговскими резонаторами или с распределенной обратной связью с шириной излучения 1 МГц и менее.

Наиболее полно требованиям квантово-криптографической аппаратуры отвечают лазеры с длиной волны излучения 1,3 и 1,55 мкм. Лазеры имеют диапазон перестройки длины волны 2 нм и мощность излучения до 100 мВт и более.

Большинство одиночных полупроводниковых лазеров для многих применений выпускаются в конструкции типа 14pin-DIP и «Butterfly» (международный стандарт).

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 FC/PC или FC/APC[5,6,7].

Конструкция активного элемента лазерного диода показана на рис. 1

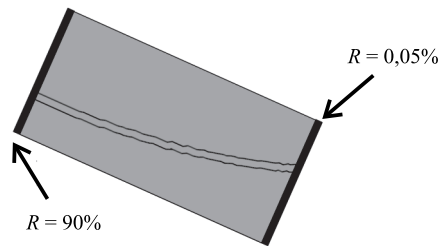


Рис. 1. Активный элемент лазерного диода

Принципиальная схема перестраиваемого одночастотного полупроводникового лазера с волоконно-брэгговской решеткой на пьезокерамике показана на рис. 2.

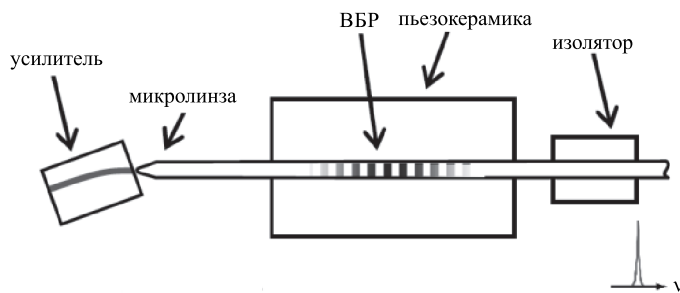


Рис. 2. Принципиальная схема перестраиваемого одночастотного полупроводникового лазера с волоконно-брэгговской решеткой

Перестройка длины волны за счет растяжения решетки с помощью подачи напряжения на пьезокерамику показана на рис. 3 и рис. 4.

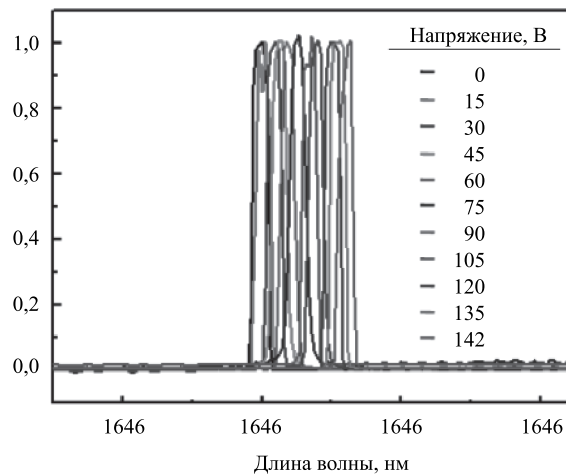


Рис. 3. Спектр перестройки излучения лазера в зависимости от напряжения на пьезокерамику

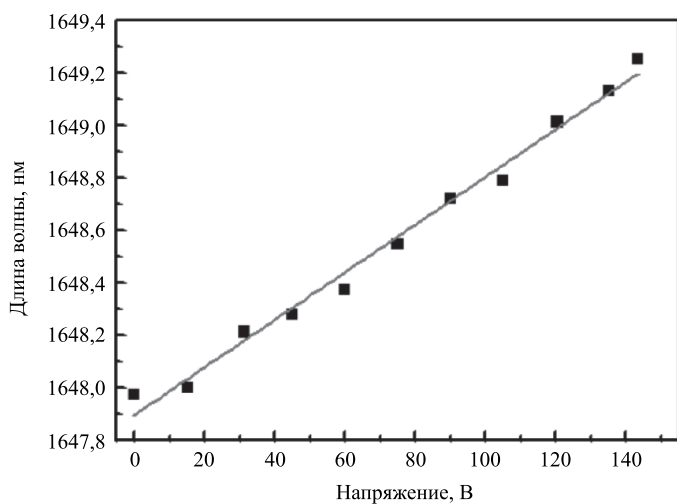


Рис. 4. График перестройки длины волны

Внешний вид одночастотного перестраиваемого лазера показан на рис. 5. Схема включения показана на рис. 6.

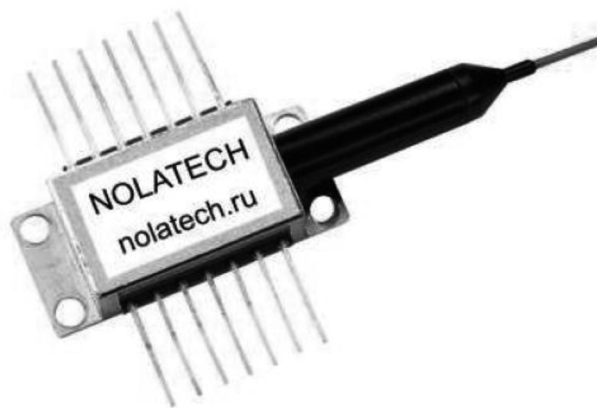


Рис. 5. Внешний вид одночастотного полупроводникового лазера

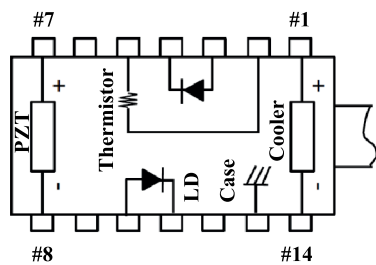


Рис. 6. Схема включения одночастотного перестраиваемого полупроводникового лазера

Основные характеристики одночастотных перестраиваемых полупроводниковых лазеров с волоконно-брэгговской решеткой представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Длина волны, нм	Мощность, мВт	Тип резонатора	Ширина линии, кГц
650–670	5...10	ВБР	< 500
700–790	5...20	ВБР	< 500
800–850	5...40	ВБР	< 500
900–980	10...50	ВБР	< 500
1020–1090	5...100	ВБР	< 500
1270–1330	2...50	ВБР	< 500
1510–1570	2...100	ВБР	< 500
1620–1650	2...30	ВБР	< 500

Ресурс работы составляет более 500 тыс. часов. Ширина линии излучения 10...500 КГц. Диапазон плавной перестройки длины волны 2 нм.

Основные характеристики одночастотных DFB-лазеров представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Длина волны, нм	Мощность, мВт	Ширина линии, МГц
1310	5	< 5
1550	10	< 5
1650	10	< 5

### 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. В настоящее время наметились несколько направлений в создании оптических усилителей [8, 9, 10]. Принципиальная схема оптического усилителя показана на рис. 7.

Основные типы оптических усилителей:

- эрбиевые усилители;
- полупроводниковые усилители;
- параметрические усилители.

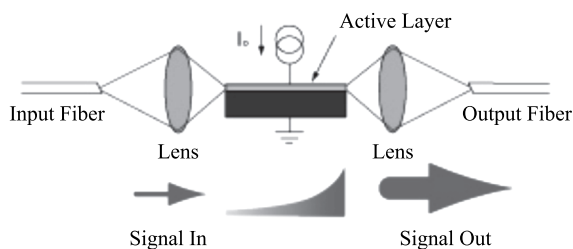


Рис. 7. Принципиальная схема оптического усилителя

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	20...40
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

Ресурс работы составляет более 50 тыс. часов.

#### Суперлюминесцентные диоды

Отечественные суперлюминесцентные диоды (СЛД) выпускаются в диапазоне длин волн 650–1650 нм с мощностью излучения от 0,1 до 50 мВт. Ширина спектра излучения СЛД составляет 20–80 нм.

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
650–680	2–5	20	не более 300
780–810	2–10	20–40	не более 300
820–850	2–10	20–30	300
890–930	2–20	20–50	300
960–990	2–20	20–50	не более 250
1020–1064	2–20	20–50	не более 300
1290–1335	2–10	20–30	не более 300
1510–1560	2–10	20–30	не более 300
1610–1650	2–10	20–30	не более 300

#### Приемники оптического излучения

Наряду с полупроводниковыми лазерами в оптических системах большое место занимают приемники оптического излучения. В настоящее время отечественной промышленностью созданы приемники излучения в спектральном диапазоне от ультрафиолета до глубокой инфракрасной области.

Наиболее широкое применение в волоконно-оптических линиях связи нашли применение приемные оптические модули на основе р-і-n фотодиодов с длиной волны излучения 500 до 1700 нм.

Для высокоскоростных ВОСП разработаны приемные модули, имеющие в своем составе твердотельный усилитель с полосой до 2,5 ГГц.

Основные параметры приемного модуля ФДМ-14-2К и приемного модуля с преусилителем ФДУ-1 представлены в таблицах 5 и 6.

Модули имеют волоконно-оптический выход с коннектором типа FC/PC как в одномодовом, так и в многомодовом исполнении.

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	1300	1700
Емкость	пФ	0,5	1	2

Таблица 6.

MAX	MIN	TYPICAL	MAX	Unit
Длина волны	1200	1550	1600	nm
Динамический диапазон	-39	—	+3	dBm
Чувствительность фотоприемника	0,9	0,9	1	A/W
Емкость фотоприемника	—	0,7	1	pF
Длительность фронтов выходных импульсов	—	—	2	nsec
Ширина полосы пропускания	115	—	—	MHz
Диапазон рабочих температур	-40	25	+70	°C
Напряжение питания	—	4,5	—	V

Конструкции, представленных в данной работе полупроводниковых приборов по фотонике выпускаемых отечественной промышленностью, показаны на рис. 8.



Рис. 8. Конструкции полупроводниковых приборов по фотонике

**Закключение.** Таким образом, в работе изложены основные характеристики выпускаемых отечественной промышленностью одномодовых, перестраиваемых одночастотных полупроводниковых лазеров, приемно-передающих модулей, полупроводниковых оптических усилителей, суперлюминесцентных и торцевых светодиодов. Приведены их основные конструктивные и эксплуатационные характеристики. Передающие и приемные модули, полупроводниковые оптические усилители, суперлюминесцентные диоды работают в широком интервале длин волн (650...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.

Практически все выпускаемые приборы защищены патентами РФ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дураев В. П. Отечественные оптоэлектронные компоненты для современных ВОСП. Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 2005, 1, с. 66–69.

2. *Голикова Е. Г. и др.* Квантовая электроника, 1953, 24(2), с. 96–98.
3. *Дураев В. П.* Лазерная техника и оптоэлектроника, 1992, № 3–4, 40.
4. *Слепов Н. Н.* Оптические усилители, Connect. Мир связи, 1999, ч. 1, № 8, с. 88–91.
5. Волоконно-оптическая техника (история, достижения, перспективы). Под ред. С. А. Дмитриева, Н. Н. Слепова. М.: Connect, 2000, 376 с.
6. *Курков А. С., Наный О. Е.* “LIGHTWAVE”, Russian edition, 2003, № 1, с. 14.
7. *Дураев В. П., Неделин Е. Т., Недобывайло Т. П., Сумароков М. А., Климов К. И.* Полупроводниковые лазеры с волоконной брэгговской решеткой и узким спектром генерации на длинах волн 1530–1560 нм. — Квантовая Электроника, 2001, т. 31, № 6, с. 529–530.
8. *Дураев В. П., Медведев С. В.* Перестраиваемые одночастотные полупроводниковые лазеры. — Физика и техника полупроводников, 2014, т. 48, в. 1, с. 125–128.
9. *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.
10. *Ви Ван Лык, Дураев В. П., Елисеев П. Г. и др.* Оптический усилительный модуль, Москва, Препринт ФИАН, 1989.