

В. П. Д у р а е в, С. В. М е д в е д е в, С. А. В о р о н ч е н к о (Москва, ЗАО «Новая лазерная технология»). **Полупроводниковые лазеры для цифровых информационных систем.**

Представлены результаты исследований, разработки и промышленного выпуска отечественных полупроводниковых элементов фотоники для цифровых систем передачи 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].

Цифровая технология работает, в отличие от аналоговой, с дискретными, а не непрерывными сигналами. Кроме того, сигналы имеют небольшой набор значений, как правило, два, но в реальной жизни системы, особенно учетные системы хранения данных, на основе трех значений. Обычно это 0, 1, NULL которые в булевой алгебре имеют значения «Ложь», «Истина» и в присутствии NULL «отсутствие результата» соответственно.

Одно из преимуществ цифровых схем по сравнению с аналоговыми [1] заключается в том, что во-первых сигналы могут быть переданы без искажений. Например, непрерывный звуковой сигнал, передающийся в виде последовательности 1 и 0, может быть восстановлен без ошибок при условии, что шума при передаче было не достаточно, чтобы предотвратить идентификацию 1 и 0.

В настоящее время во всем мире, в том числе и в России, возросли требования к сетям связи как с точки зрения обеспечения высоких показателей надежности связи, так и расширения предоставляемых услуг абонентам. Удовлетворение потребностей в средствах связи, развитие и модернизация сетей электросвязи, может быть реализована на базе новых технологий, таких как оптические линии связи, цифровые системы коммутации и цифровые системы передачи.

Современные информационные системы 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 [2–4].

Лазерные модули. Активные элементы представленных приборов изготавливались из квантово-размерных эпитаксиальных наноструктур (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 цифровых информационных системах стали использоваться перестраиваемые одночастотные лазеры с волоконно-брэгговскими резонаторами или с распределенной обратной связью с шириной излучения 1 МГц и менее. Наиболее полно требованиям цифровых линий связи отвечают лазеры с длиной волны излучения 1,3 и 1,55 мкм. Лазеры имеют диапазон перестройки длины волны до 2 нм и мощность излучения до 1000 мВт. Большинство одиночных полупроводниковых лазеров для многих применений выпускаются в конструкции типа miniDIL, 14pin DIL 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 [5–8]. Принципиальная схема перестраиваемого одночастотного полупроводникового лазера с волоконно-брэгговской решеткой на пьезокерамике показана на рис. 1.

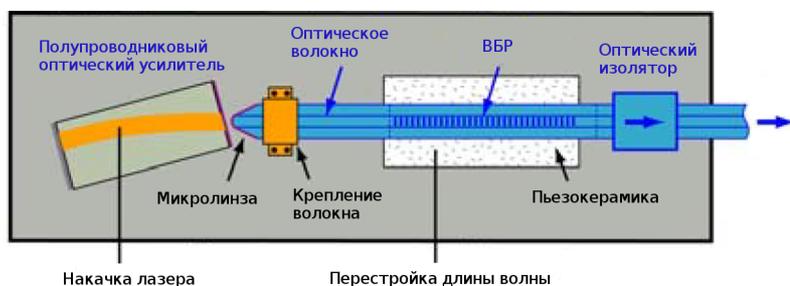


Рис. 1. Принципиальная схема перестраиваемого одночастотного полупроводникового лазера с волоконно-брэгговской решеткой

Внешний вид одночастотного перестраиваемого лазера показан на рис. 2. Схема включения показана на рис. 3.

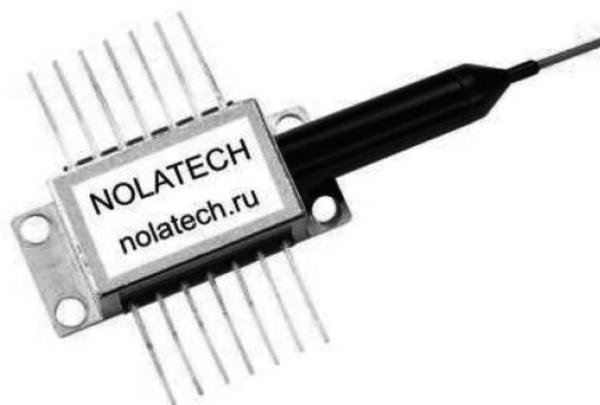


Рис. 2. Внешний вид одночастотного полупроводникового лазера

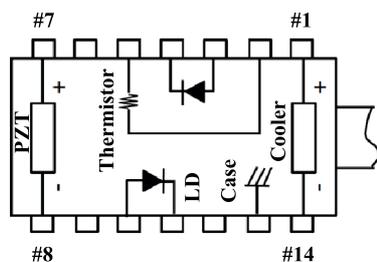


Рис. 3. Схема включения одночастотного перестраиваемого полупроводникового лазера

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

Таблица 1.

Длина волны, нм	Мощность, мВт	Диапазон перестройки, нм	Ширина линии, кГц
633–660	5...20	> 1	< 500
700–790	5...20	> 1	< 500
800–850	5...30	> 1	< 500
910–980	10...50	> 1	< 500
1020–1080	5...100	> 1	< 500
1270–1330	2...50	> 1,5	< 500
1520–1570	2...100	> 1,5	< 500
1620–1650	2...100	> 1,5	< 500

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

Другим типом перестраиваемых полупроводниковых лазеров являются DFB лазеры, где брэгговская решетка изготовлена внутри активного элемента лазера. Основные характеристики одночастотных DFB-лазеров представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Длина волны, нм	Мощность, мВт	Диапазон перестройки, нм	Ширина линии, кГц
1310	5	> 2	< 5
1550	10	> 2	< 5
1650	5	> 2	< 5

Для многих применений необходимы мощные лазеры, работающие только в импульсном режиме. В табл. 3 показаны основные параметры импульсных лазеров. Такие лазеры могут иметь узкую ширину линии менее 1 МГц или широкий спектр излучения 1–10 нм.

Таблица 3.

Длина волны, нм	Мощность, мВт	Длительность импульса, нс	Частота, кГц
1064	1000	10–100	< 1
1535	1000	10–100	< 1
1635	1000	10–100	< 1

Широкое применение нашли лазеры в восьми выводных корпусах miniDIL без встроенного охлаждения. Основными преимуществами таких лазеров являются малые размеры и низкие рабочие токи. В табл. 4 показаны основные параметры лазеров с малыми рабочими токами.

Таблица 4.

Длина волны, нм	Мощность, мВт	Пороговый ток, нс	Рабочий ток, мА
1310	1–5	5–10	20–40
1550	1–5	5–10	20–40

Драйверы лазерных диодов. В табл. 5 показаны основные параметры драйверов лазерных диодов. Драйверы могут работать как в импульсном, так и непрерывном (линейном) режиме. Все драйверы имеют встроенный контроллер температуры для элемента Пельтье.

Таблица 5.

Тип драйвера	Максимальный	Управление рабочий ток, мА	Режим
DLC-1300	1300	Ручное	Линейный
DLC-M-1200-OEM	1200	Ручное	Линейный
DLC-R-1200-OEM	1200	Внешнее	Линейный
DLC-P-1500-OEM	1500	Ручное	Импульсный

Внешний вид драйверов показан на рис. 4.



Рис. 4. Драйверы лазерных диодов

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. В настоящее время наметились несколько направлений в создании оптических усилителей [9–11]. Принципиальная схема оптического усилителя показана на рис. 5.

Основные типы оптических усилителей:

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

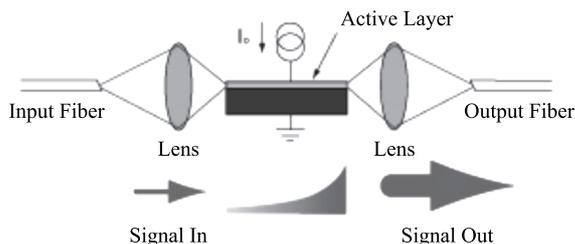


Рис. 5. Принципиальная схема оптического усилителя

Основные характеристики полупроводниковых оптических усилителей приведены в табл. 6.

Таблица 6.

Тип ПОУ	Длина волны (нм)	Коэффициент (дБ)	Ширина линии усиления (нм)
ПОУ-670	650...680	20...30	8...9
ПОУ-840	800...840	20...30	20...40
ПОУ-915	900...915	20...30	20...40
ПОУ-980	970...980	20...30	30...40
ПОУ-1060	1060...1090	20...30	35...45
ПОУ-1300	1270...1310	20...30	30...40
ПОУ-1550	1510...1550	20...30	30...40

Ресурс работы составляет более 100 тыс. часов.

Суперлюминесцентные диоды. Отечественные суперлюминесцентные диоды (СЛД) выпускаются в диапазоне длин волн 670–1650 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. 7.

Таблица 7.

Длина волны, нм	Мощность излучения, мВт	Спектральная ширина, нм	Ток накачки, мА
670–680	2–5	9	не более 300
820–860	2–5	20–65	не более 300
890–940	2–5	20–45	не более 300
960–990	2–10	35–45	не более 300
1020–1070	2–10	35–45	не более 300
1270–1330	2–5	30–40	не более 300
1510–1550	2–5	30–40	не более 400
1610–1650	2–5	30–40	не более 400

Приемники оптического излучения. Наряду с полупроводниковыми лазерами в цифровых информационных 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 приемные оптические модули на основе pin фотодиодов с длиной волны 400 до 1650 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 8 и 9.

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

Таблица 8.

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	800	1300	1650
Емкость	пФ	0,5	1	2

Таблица 9.

	Мин	Тип	Макс	Ед. измерения
Длина волны	1200	1550	1600	нм
Динамический диапазон	-39	—	+3	дБм
Чувствительность фотоприемника	0,9	0,9	1	А/Вт
Емкость фотоприемника	—	0,7	1	пФ
Длительность фронтов выходных импульсов	—	—	2	нс
Ширина полосы пропускания	115	—	—	МГц
Диапазон рабочих температур	-40	+25	+70	°С
Напряжение питания	—	4,5	—	В

Конструкции представленных в данной работе полупроводниковых приборов по фотонике выпускаемых отечественной промышленностью показаны на рис. 6.

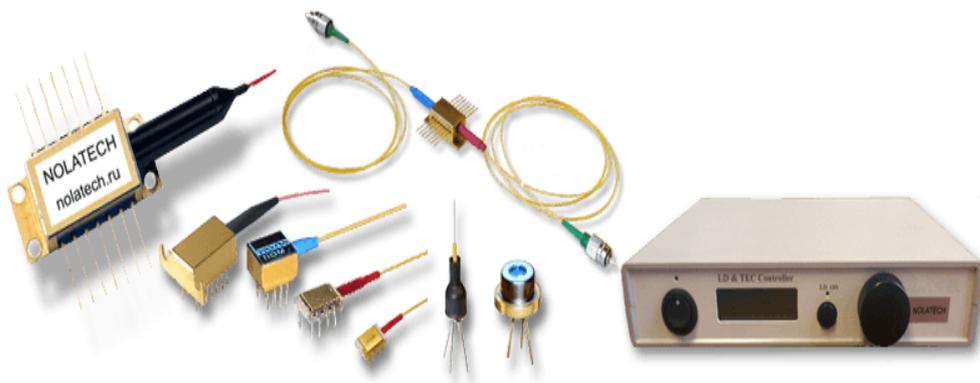


Рис. 6. Конструкции полупроводниковых приборов по фотонике

Заключение. Таким образом, в работе изложены основные характеристики выпускаемых отечественной промышленностью одномодовых, перестраиваемых одночастотных полупроводниковых лазеров, приемно-передающих модулей, полупроводниковых оптических усилителей, суперлюминесцентных диодов и приемников оптического излучения для цифровых информационных систем.

Приведены их основные конструктивные и эксплуатационные характеристики. Представленные приборы работают в широком интервале длин волн (630–1650 нм), имеют мощность излучения от 1 до 1000 мВт, ресурс работы составляет более 500 тыс. часов и по своим параметрам соответствуют лучшим зарубежным образцам.

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., Дураев В. П., Козиков С. А., Кригель В. Г., Лабутин О. А., Швейкина В. И. Лазеры на основе InGaAsP/InP с квантово-размерными слоями. — Квантовая электроника, 1995, т. 22, № 2, с. 105–107.
3. Дураев В. П. Инжекционные лазеры для ВОСП. — Лазерная техника и оптоэлектроника, 1992, № 3–4, с. 40.
4. Слепов Н. Н. Оптические усилители. Ч. 1. — Connect! Мир связи, 1999, № 8, с. 88–91.
5. Слепов Н. Н. Оптические усилители. — В кн.: Волоконно-оптическая техника: История, достижения, перспективы./ Под ред. С. А. Дмитриева, Н. Н. Слепова. М.: Изд-во Connect, 2000, с. 97–116.
6. Курков А. С., Наний О. Е. Эрбиевые волоконно-оптические усилители. — LIGHTWAVE Russian edition, 2003, № 1, с. 14–19.
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. Элементная база фотоники для систем передачи и защиты информации. — Обзорение прикл. и промышл. матем., 2016, т. 23, в. 1, с. 36–42.
9. Дураев В. П., Медведев С. В. Перестраиваемые одночастотные полупроводниковые лазеры. — Физика и техника полупроводников, 2014, т. 48, в. 1, с. 125–128.
10. Дураев В. П., Медведев С. В. Полупроводниковые оптические усилители в диапазоне длин 840–1550 нм. — Научное приборостроение, 2012, т. 22, № 3, с. 53–57.
11. Ви Ван Лык, Дураев В. П., Елисеев П. Г. и др. Оптический усилительный модуль. Препринт ФИАН. М.: ФИАН, 1989.