

Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства

Лекция 11:

Полупроводниковые лазеры

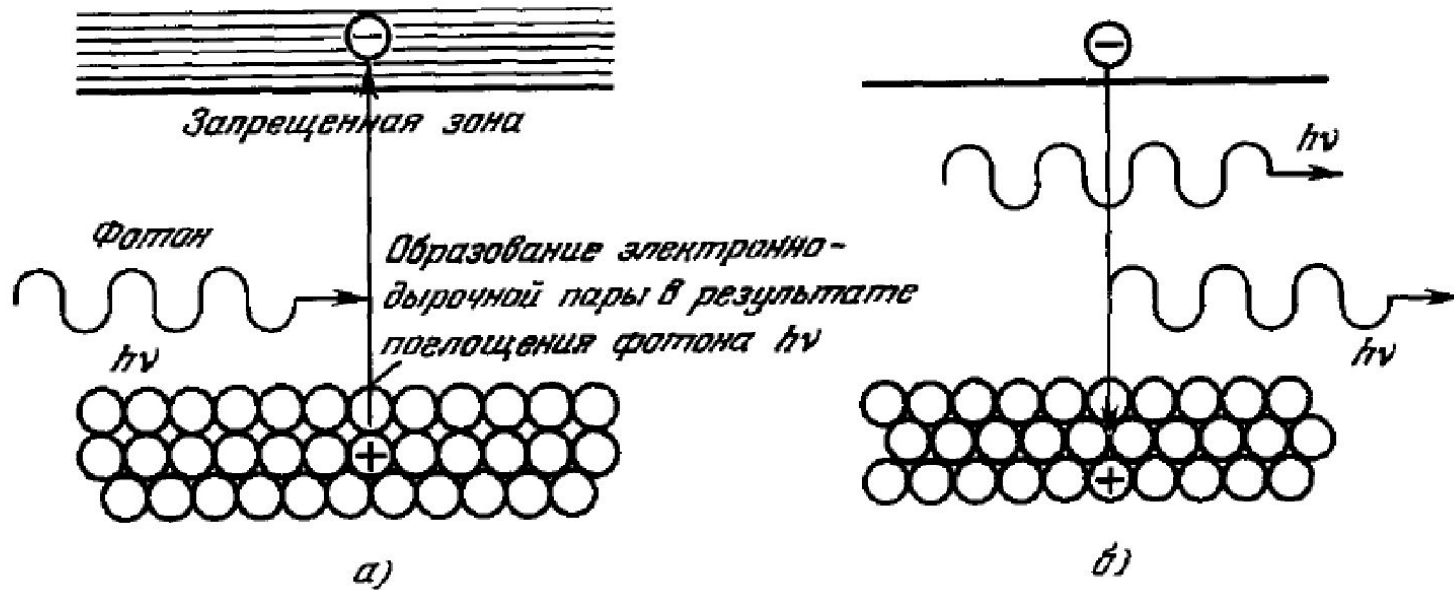
В.М. Шандаров

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Параметры некоторых полупроводников

	E_g , эВ	χ , эВ	a , Å
Si	1.12	4.01	5.431
Ge	0.66	4.13	5.658
GaAs	1.43	4.07	5.654
InP	1.26	5.34	5.869
InAs	0.36	4.90	6.057
InSb	0.17	4.59	6.479
GaP	2.20	4.30	5.451
GaSb	0.73	4.06	6.095
AlAs	2.16	2.62	5.659
AlSb	1.65	3.65	6.135

Условие поглощения



$$h\nu \geq E_g$$

$$\lambda = hc/E_g$$

К чему приводит прямое смещение

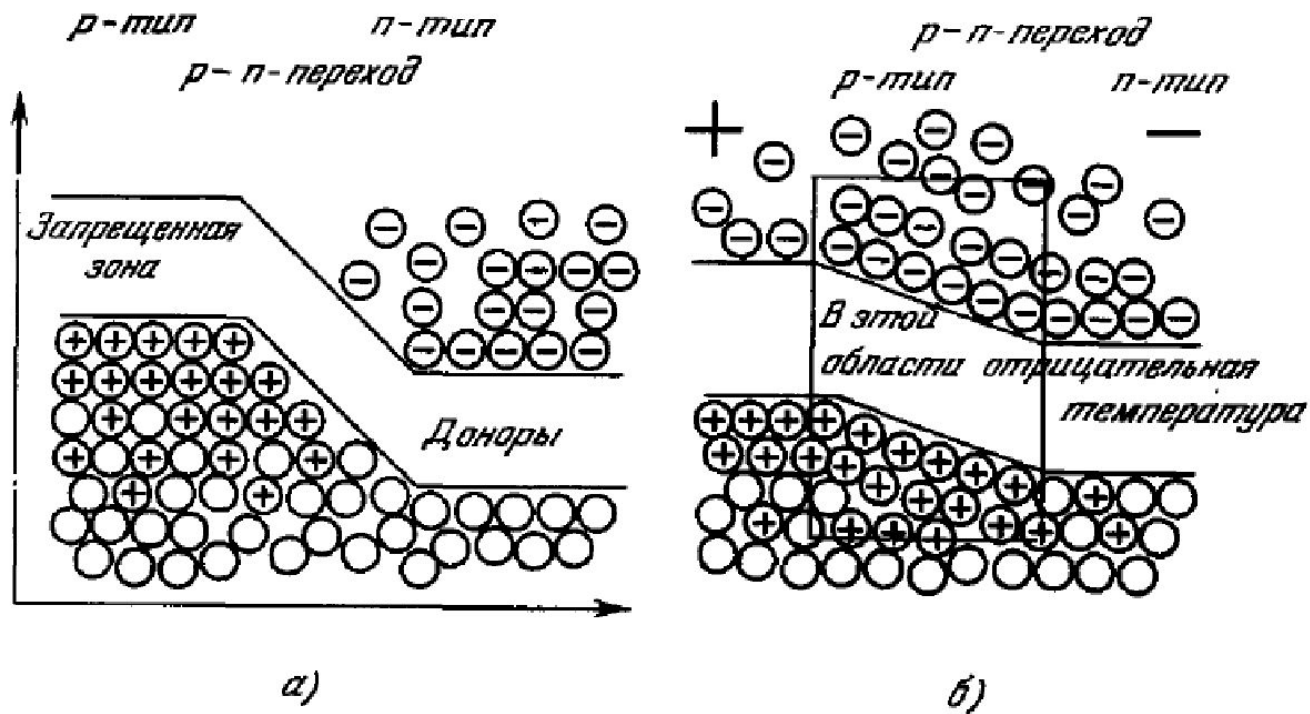


Рис. 7. а) Переход в равновесии; б) переход во внешнем электрическом поле.

Таблица П.1.1

Основные физические характеристики важнейших
полупроводниковых материалов

Вещество	Темпер. плавл., °C	Ширина за- прещ. зоны, E_g , эВ (0 К)	$\beta = -\frac{\partial E_g}{\partial T}$, эВ/°C · 10 ⁴	Подвижность электронов, см ² /В · с (300 К)	Подвижность дырок μ_p , см ² /В · с (300 К)
Ge	959	0,785	+4,0	3600	1800
Si	1410	1,206	+4,2	1500	500
ZnSb	544	0,56			150
CdSb	456	0,48		660	362
Cu ₂ O	1236	2,172			50
AlP		≈ 3,0			
AlAs	> 1600	2,2			
AlSb	1060	1,55	+3,5	200	200
GaP	1350	2,32	+5,4	175	75
GaAs	1280	1,53	+4,9	9700	420
GaSb	728	0,81	+3,5	4000	700
InP	1055	1,29	+4,6	3400	50
InAs	942	0,35	+3,5	33000	460
InSb	525	0,17	+2,7	82000	≈ 750
ZnO	1975	3,436			
ZnS (гекс.)	1850	3,91			
ZnSe	≈ 1500	2,83		≈ 100	
ZnTe	1239	2,39		≈ 100	
CdS (гекс.)	1750	2,582	+5,5	210	
CdSe	1350	1,84			
CdTe	1098	1,607		650	60
InSe	660	1,2		≈ 5	
PbS	1114	0,29	-5,0	640	800
PbSe	1065	0,17	-5,0	1200	850
PbTe	905	0,19	-5,0	2100	840
Bi ₂ Te ₃	580	0,2	+0,9	800	400

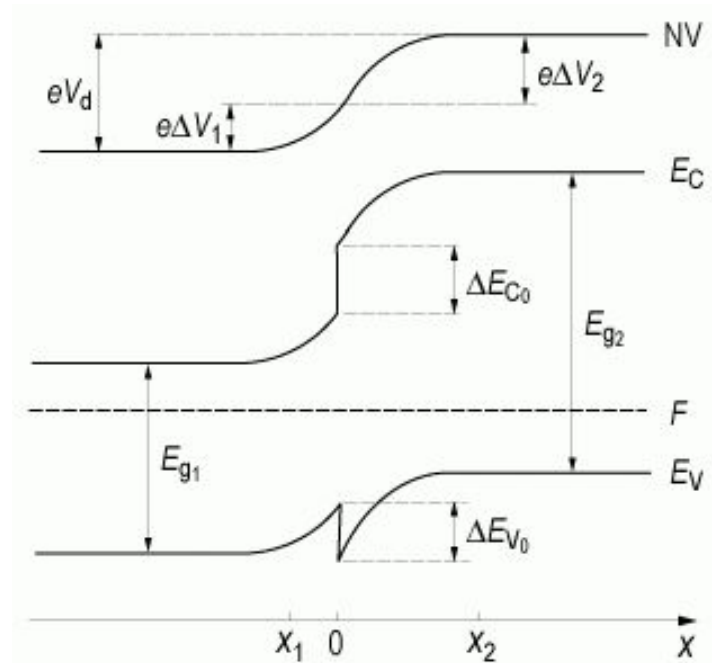
Гетеропереход



Для п/п с узкой ЗЗ используют обозначения **n, p**

С штрихой – **N, P**

Гетеропереход



В реальности – разрывы ΔE_V и ΔE_C

$$\Delta E_V + \Delta E_C = E_{g1} - E_{g2}$$

Причина – скачки диэлектрической проницаемости и электронного сродства

Эффекты в гетеропереходах

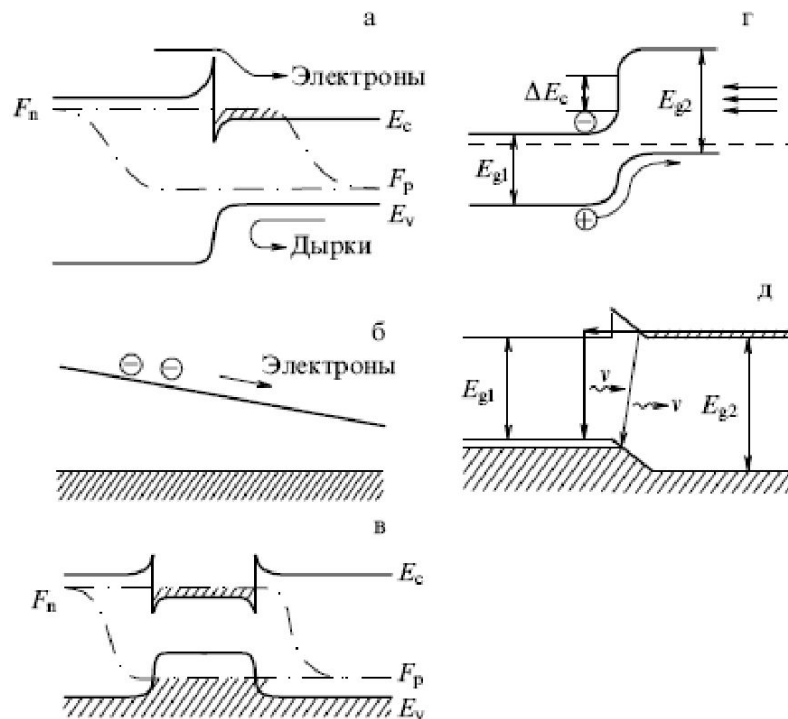
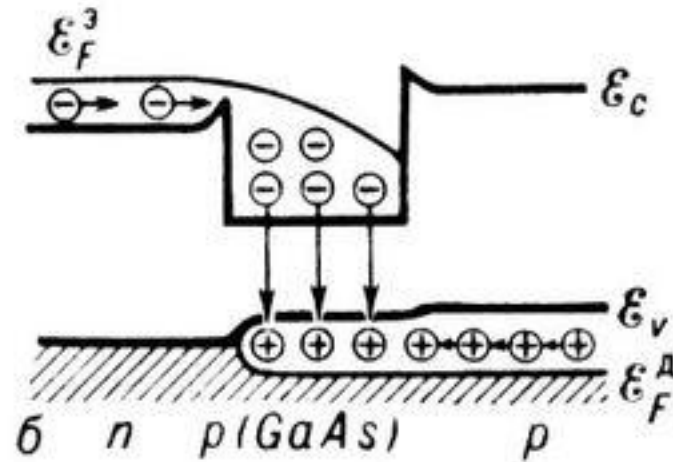
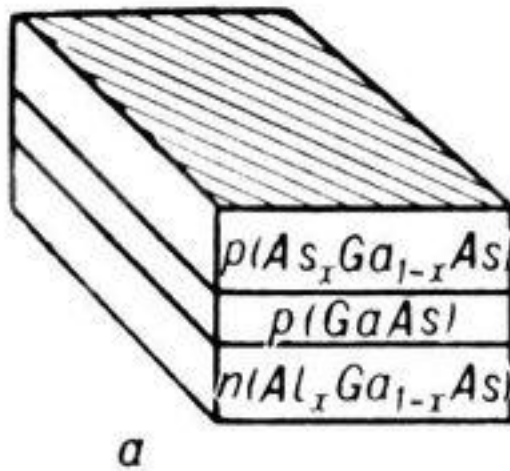


Рис. 1. Основные физические явления в классических гетероструктурах: (а) односторонняя инжекция и суперинжекция; (б) диффузия во встроенном квазиэлектрическом поле; (в) электронное и оптическое ограничение; (г) эффект широкозонного окна; (д) диагональное туннелирование через гетерограницу.

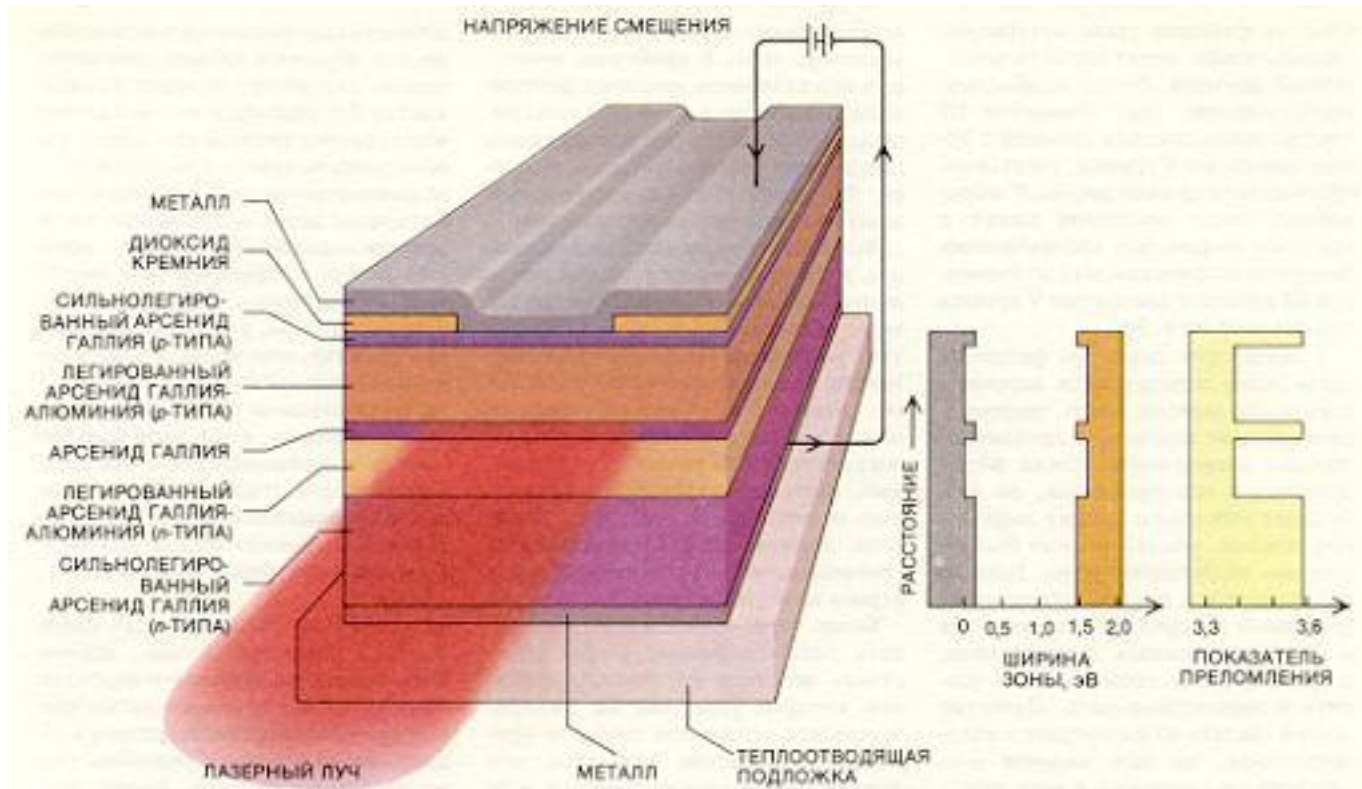
Эффекты

1. Эффект широкозонного окна: генерируемое излучение не поглощается в широкозонной области.
2. Эффект односторонней инжекции – преимущественная инжекция зарядов из широкозонной области в узкозонную. Отношение электронного и дырочного токов определяется множителем $\exp[(E_{g1}-E_{g2})/kT]$ и при комнатной температуре может достигать нескольких тысяч.
3. Эффект «сверхинжекции» - В гетеропереходе возможно возникновение «отрицательного барьера» для электронов или дырок.
4. Волноводный эффект. Показатель преломления узкозонного материала, как правило, выше такового для широкозонного.

Гетеропереход

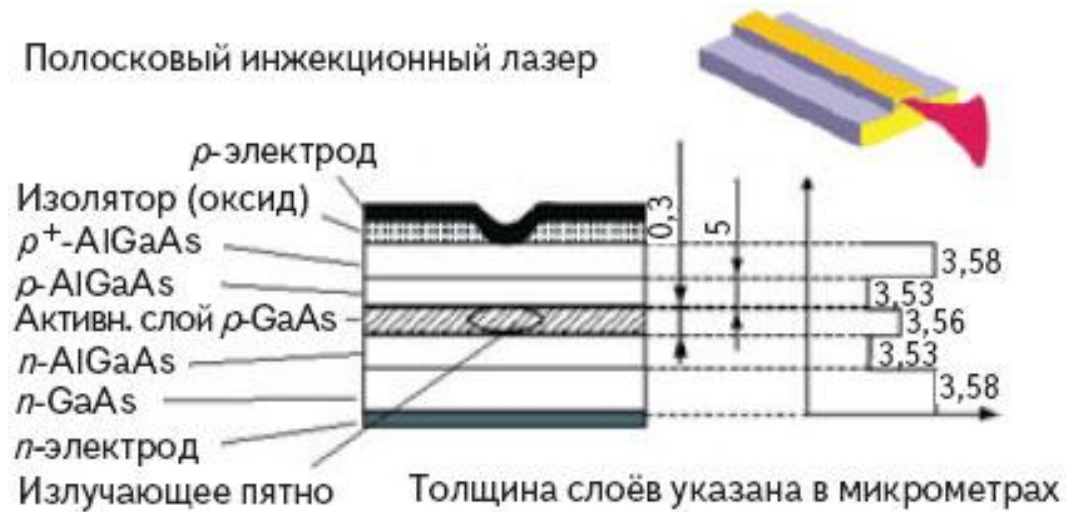


ДГС лазер

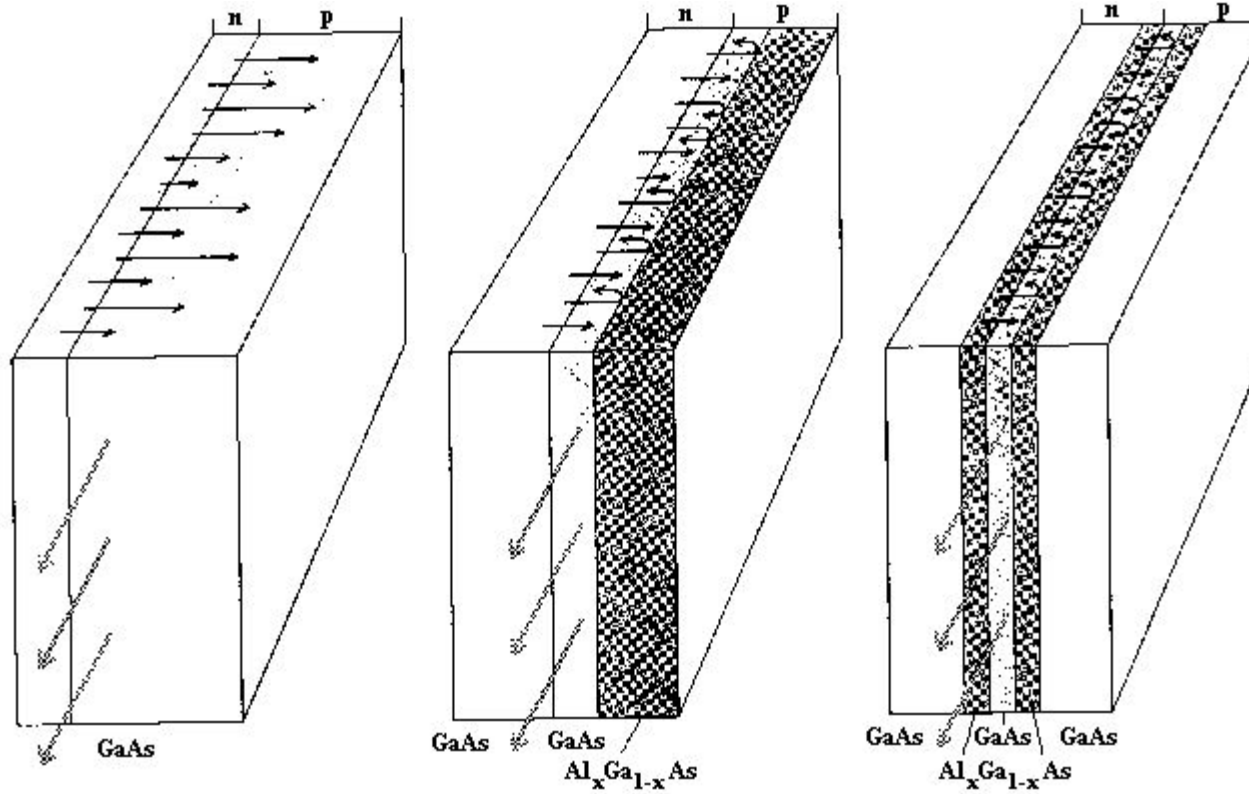


ДГС лазер

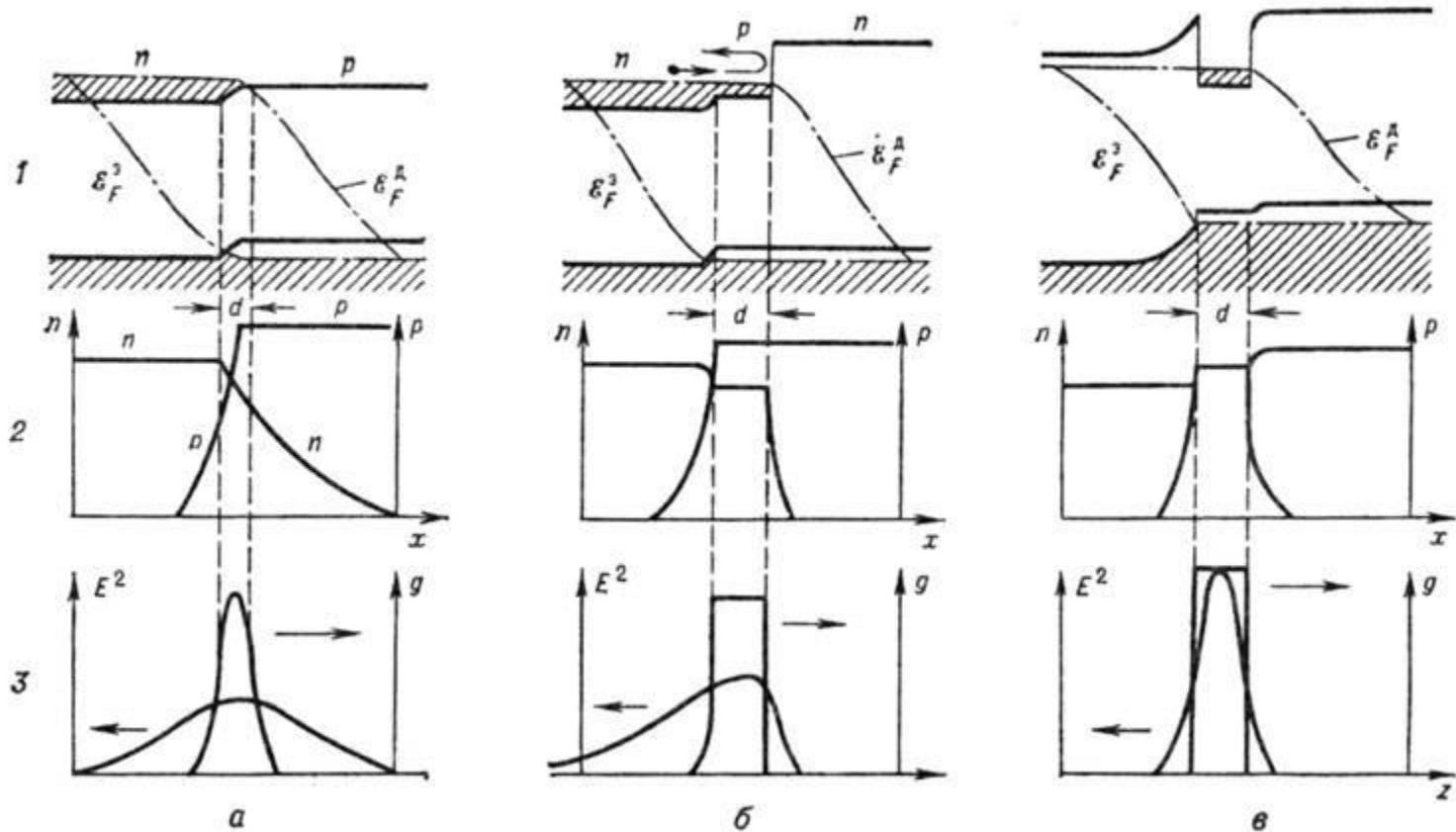
Полосковый инжекционный лазер



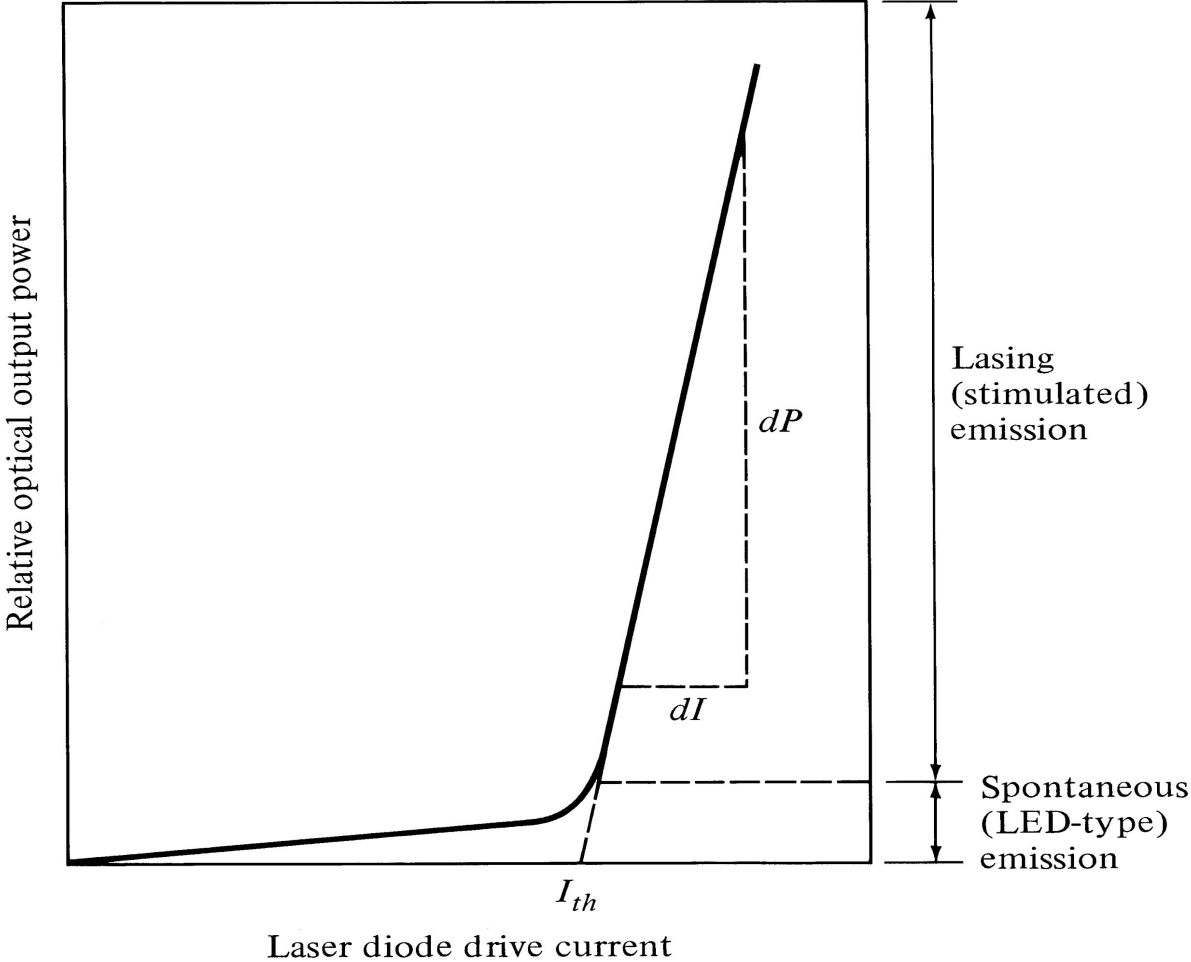
Лазерные структуры



Для лазеров разной структуры



Ватт-амперная характеристика лазера



Спектральные характеристики п/п излучателей

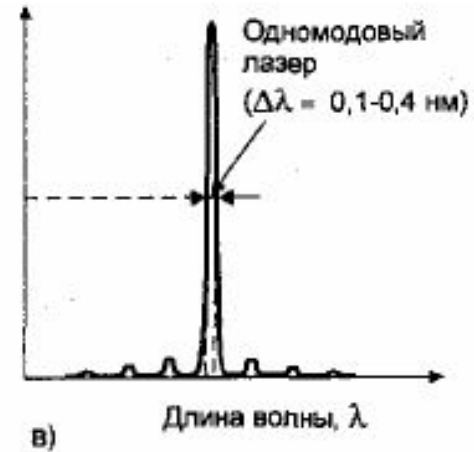
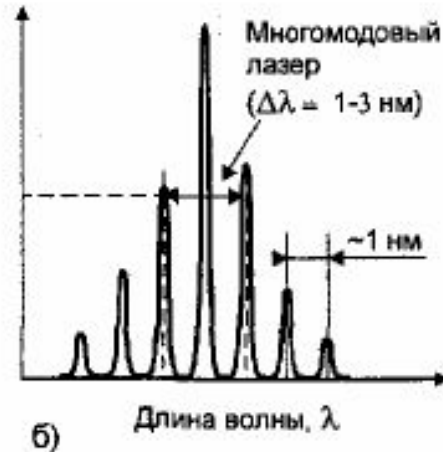


Схема конструкции

Лазер Фабри-Перо (Fabri-Perot laser)

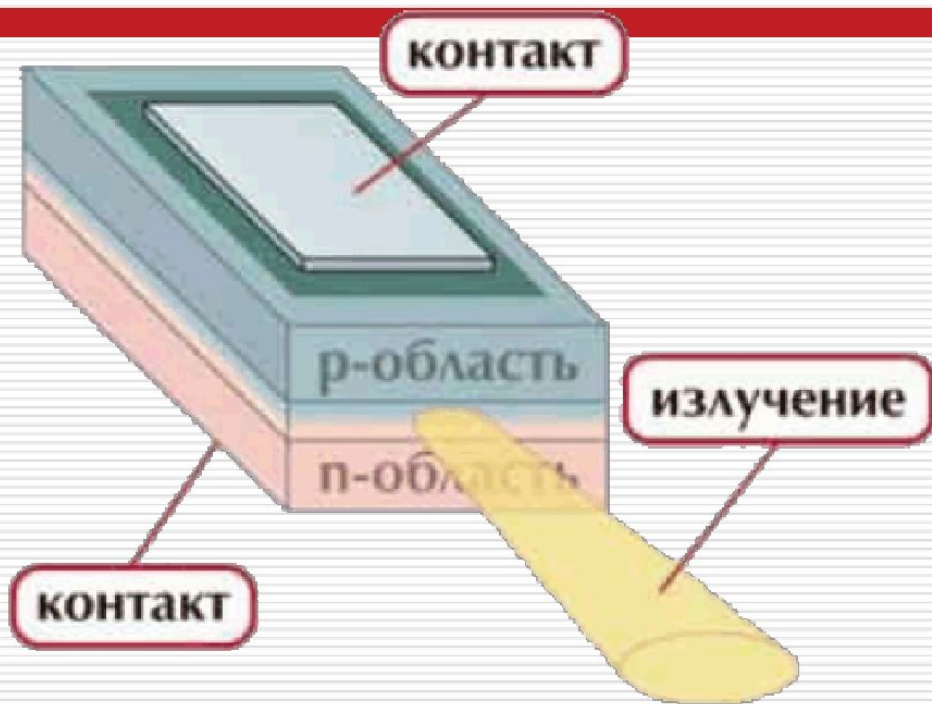


Схема конструкции

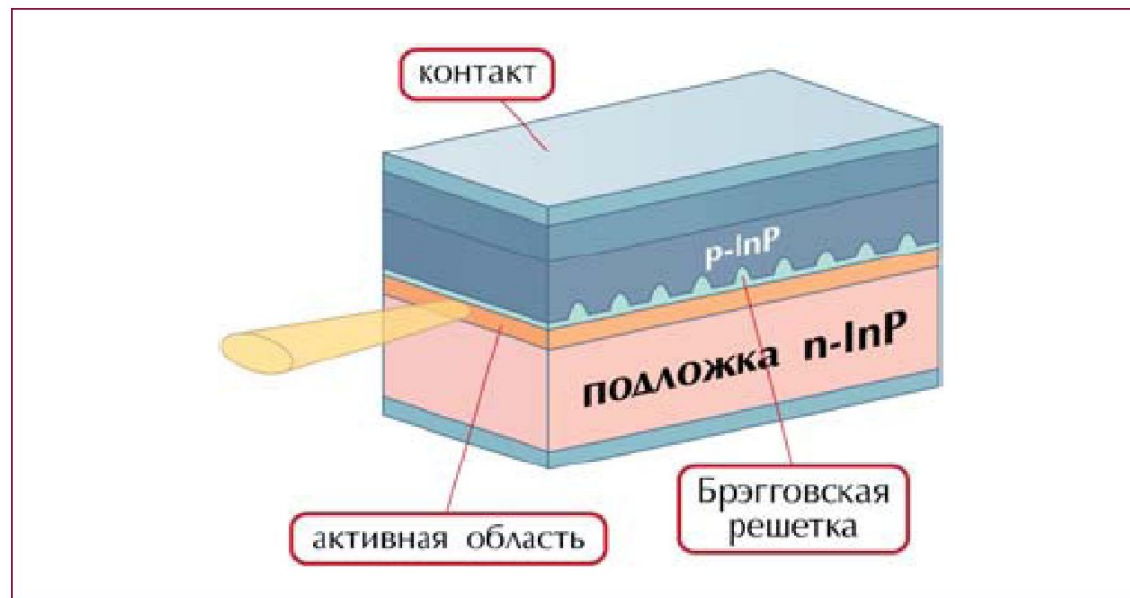
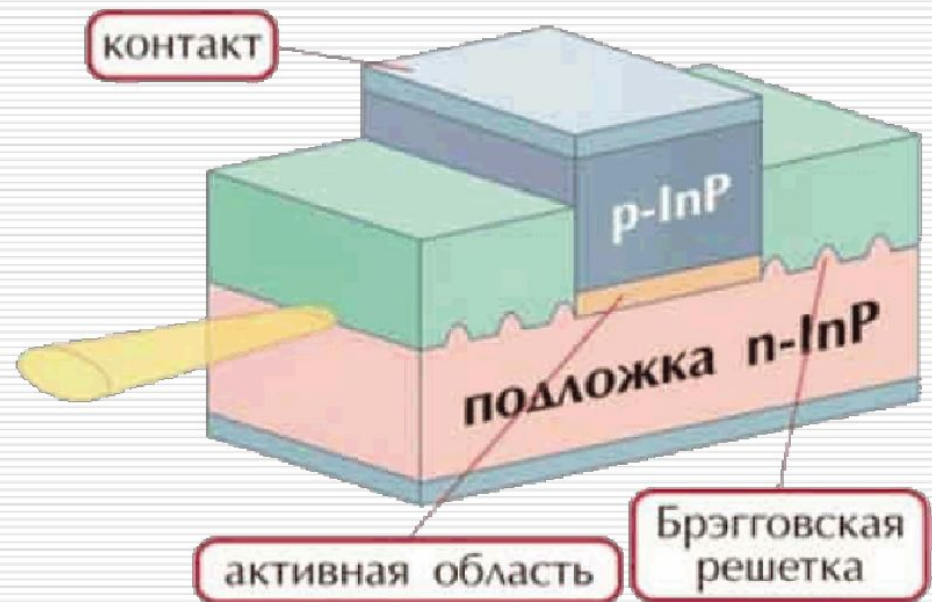
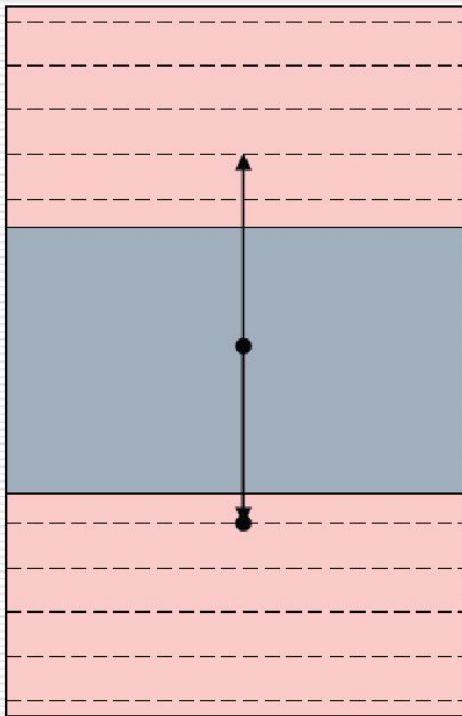
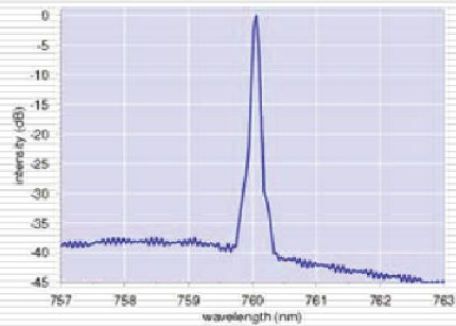


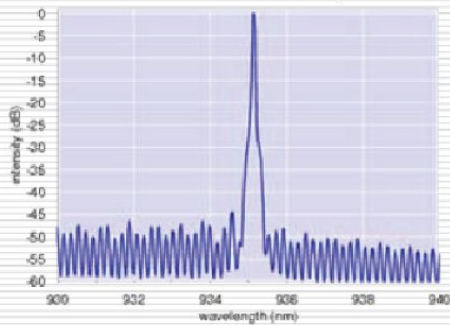
Рис.5. Полупроводниковый лазер с распределенной обратной связью

Схема конструкции

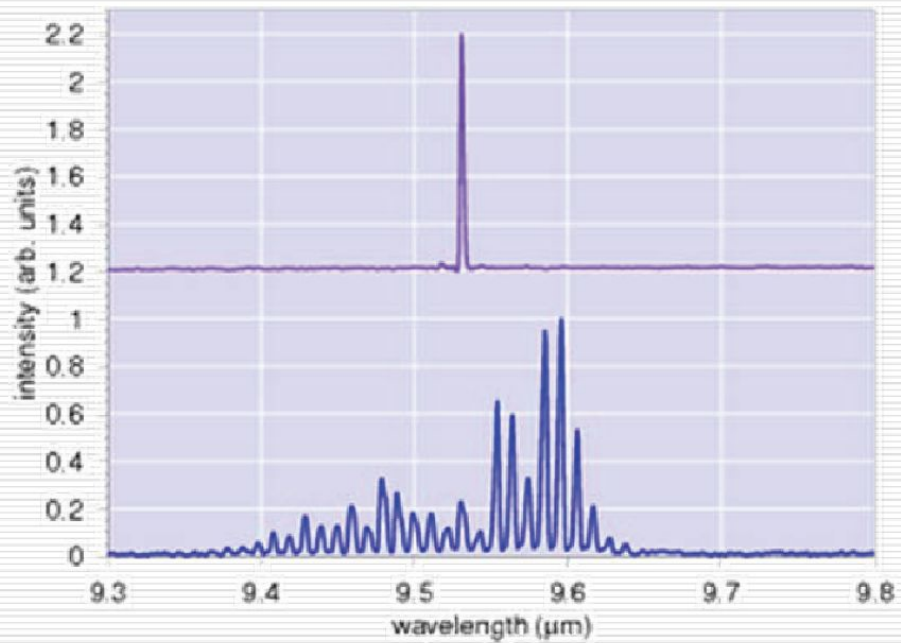




РБО лазер

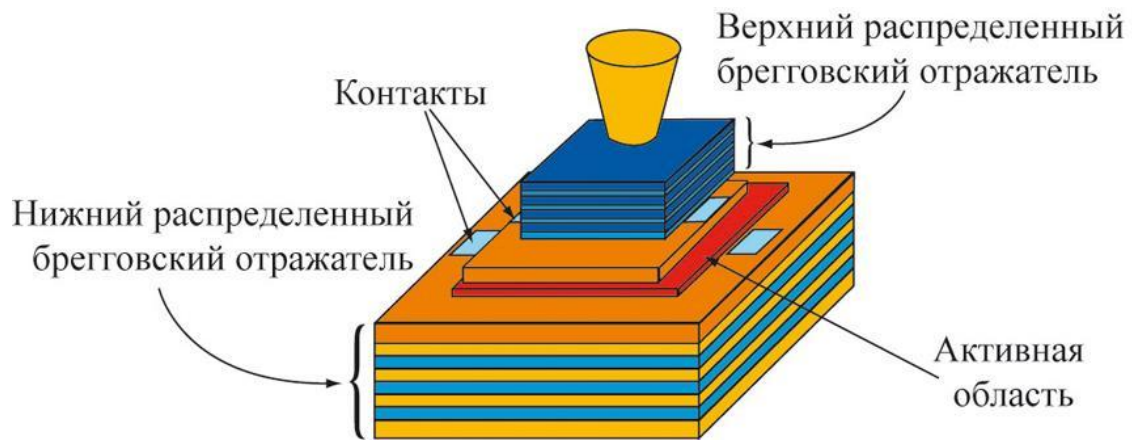


РОС лазер



РОС и Фабри-Перо лазеры

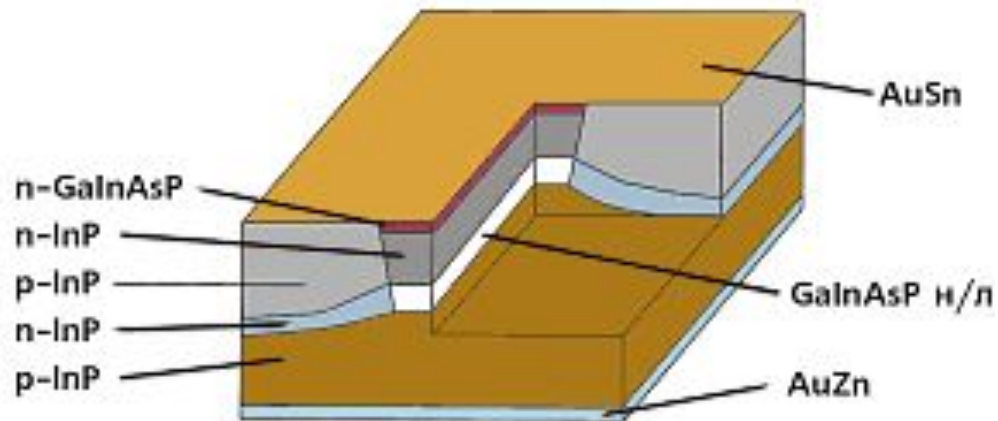
Схема конструкции



Реальные конструкции ППЛ

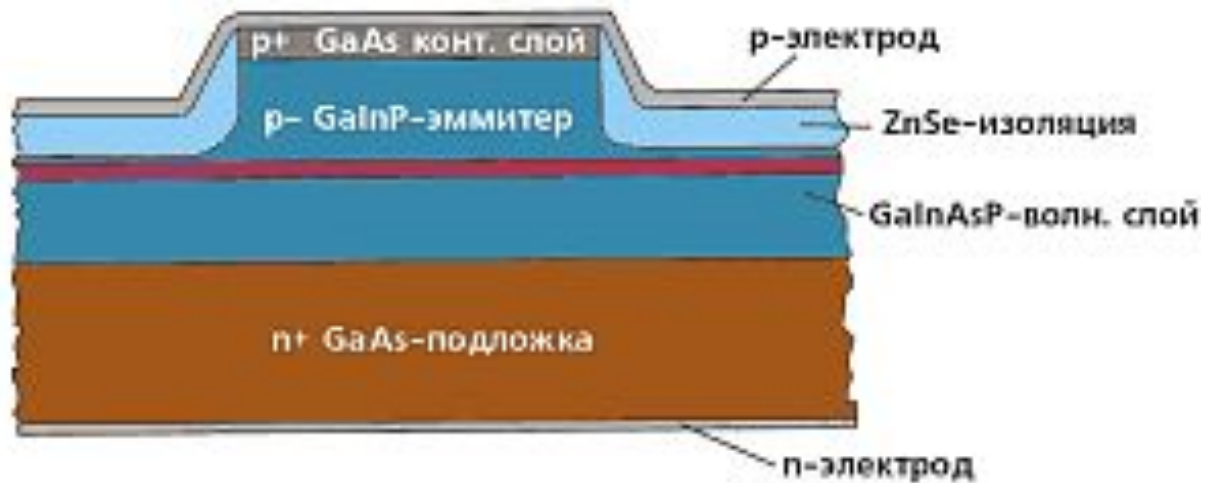
В ВО системах передачи информации применяются лазеры полосковой геометрии, в которых область протекания тока ограничена по плоскости р-п перехода. Ширина полосковых контактов обычно равна 3,5 мкм. Такое ограничение, во-первых, необходимо для уменьшения площади свечения и рабочего тока. Во-вторых, при ширине полосок менее 5 мкм происходит генерация света в одном канале и в основной поперечной моде, в результате чего повышается коэффициент ввода излучения в волокно и линейность ватт-амперной характеристики лазера.

Реальные конструкции ППЛ



Конструкция лазерного диода
с зарощенной мезополосковой структурой

Реальные конструкции ППЛ



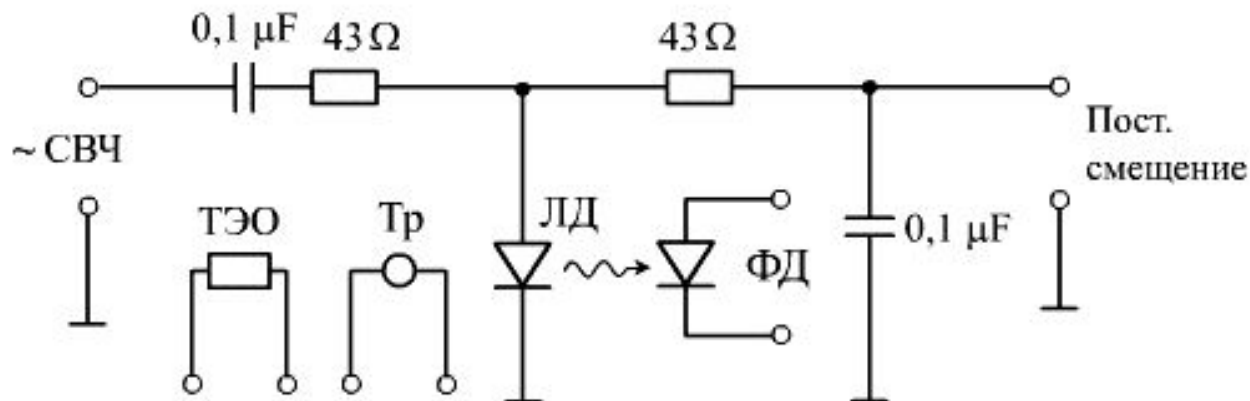
Недотравленная мезополосковая структура

Реальные конструкции

В волоконно-оптических линиях связи большое распространение получили конструкции лазерных модулей типа «ДИП» или «Баттерфляй».

Основными элементами лазерного модуля являются: лазерный диод (ЛД), фотодиод, термоэлектрический холодильник, оптический изолятор, одномодовый световод со сферической линзой на конце.

Электрическая схема модуля ДМПО131-23



ФД – фотодиод обратной связи

Тр – термосопротивление для контроля температуры

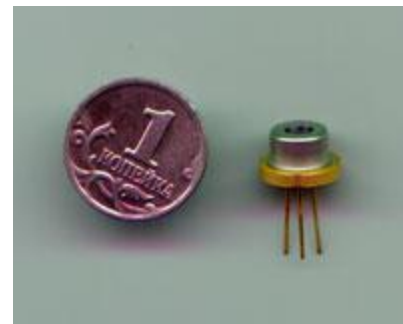
ТЭО – термоэлектрический охладитель (элемент Пельтье)

Излучатель ИЛПН-1300-100 / ИЛПН-1550-100

Параметр	Обозначение	Ед. измерен.	Мин.	Тип.	Макс.
Выходная мощность	P	мВт		100	
Длина волны излучения	λ	нм	1500	1550	1590
			1280	1310	1350
Размеры излуч. области	WxH	мкм x мкм		4.5x1.5	
Пороговый ток	I _п	мА	12	20	30
Ток накачки	I _н	мА		300	400
Напряжение	U _н	В		2.1	2.5
Расходимость	θ_{\perp}	Градус		40	
Расходимость	θ_{\parallel}	Градус		30	
Ширина спектра	$\Delta\lambda$	нм		8	10
Модовый состав				многомод.	
Дифференциальная эффективность	dP/dI	Вт/А	0.2		
Величина тока встроенного ФД	I _ф	мА	0.060		
Напряжение встроенного ФД	U _ф	В	4.5	5.0	5.5

Излучатель ИЛПН-1300-100 / ИЛПН-1550-100

Полупроводниковый излучатель ИЛПН-1300 / ИЛПН-1550, выполненный в малогабаритном корпусе 9мм, служит источником когерентного излучения для различных целей. Излучатель имеет высокую характеристическую температуру и низкие токи накачки. В состав прибора входит встроенный фотодиод для поддержания постоянного уровня мощности излучения. Нарботка на отказ составляет не менее 40 000 часов. Диапазон рабочих температур $-40...+60^{\circ}\text{C}$.



Передающие оптические модули

Модель	Описание	Длина волны излучения (средняя), мкм	Ток накачки лазерного диода (средний), мА	Оптическая выходная мощность (средняя), мВт	Диапазон частот модуляции, МГц
ДМПО131-23	Высокочастотный лазерный модуль	1.31	60	9	0.1 – 16000
ДМПО131-14 ДМПО155-14	Лазерный модуль	1.31 1.55	30	1.5	< 200
ДМПО131-21 ДМПО155-21	Высокочастотный лазерный модуль	1.31 1.55	50	5	0.1 – 6000
ДМПО131-22 ДМПО155-22	Высокочастотный лазерный модуль	1.31 1.55	50	4	0.1 – 6000
ДМПО131Н-8 ДМПО155Н-8	Неохлаждаемый лазерный модуль	1.31 1.55	30	1.5	< 200
ДМПО131Н-14 ДМПО155Н-14	Неохлаждаемый лазерный модуль	1.31 1.55	30	1.5	< 200

Передающие оптические модули для волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Модули изготовлены из InGaAsP/InP и AlGaInP/GaAs лазерных диодов с длиной волны излучения 1.3 и 1.55 мкм, выпускаются в охлаждаемых и неохлаждаемых корпусах с одномодовым или многомодовым оптическим волокном.

**Спасибо за
внимание!**

