

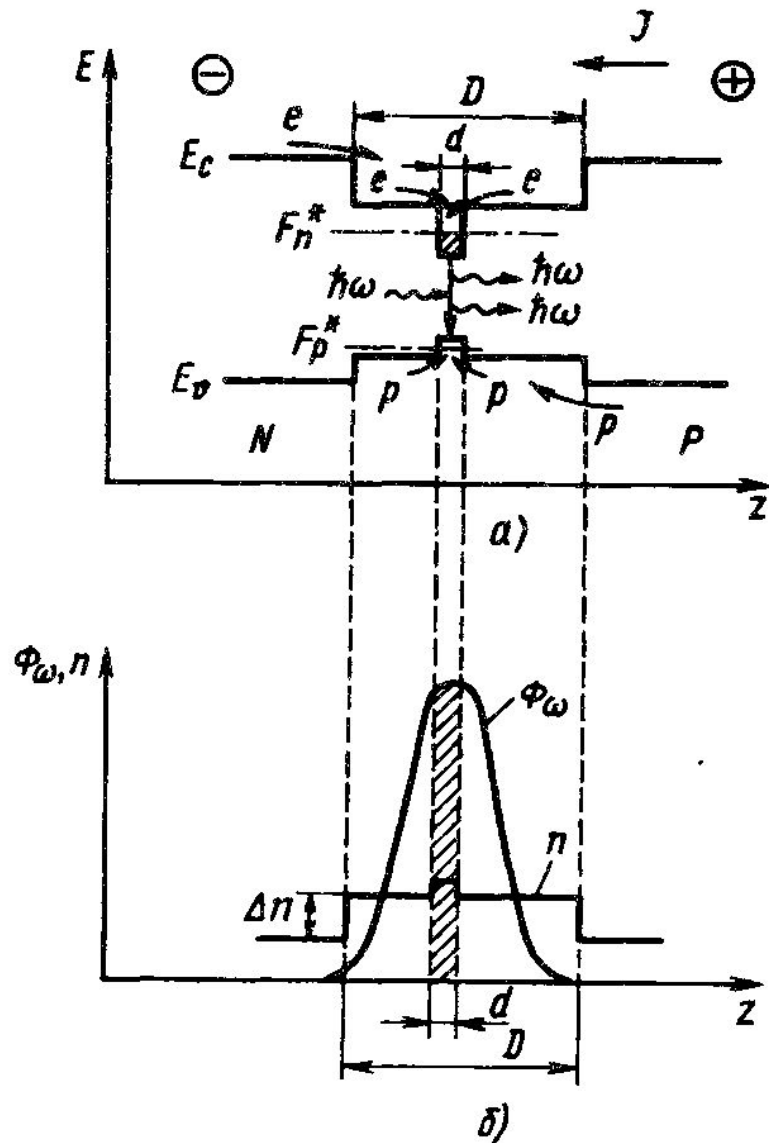
Гетеролазеры с раздельным электронным и оптическим ограничением

$$J_{\text{пор}} = \frac{eB_{\text{эфф}}}{A_0^2} \frac{d}{\xi^2} [\alpha_n \xi + \alpha + (1/l) \ln \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2}}]^2$$

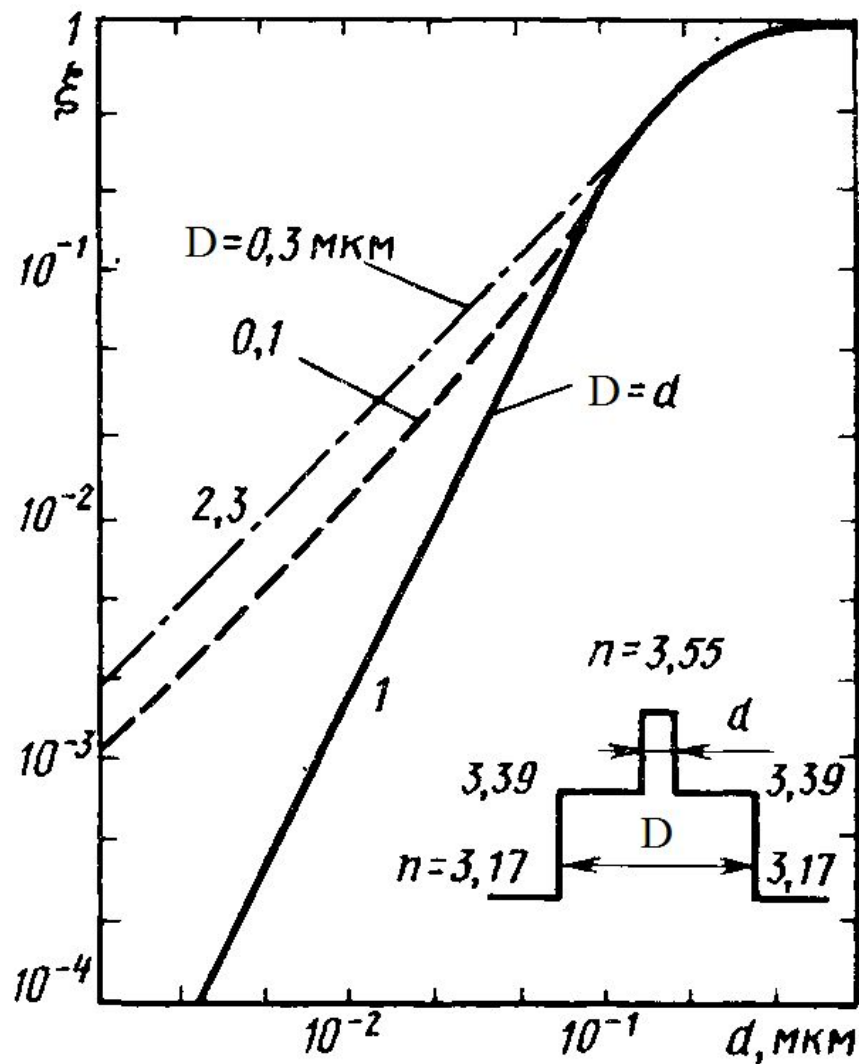
$$D \approx \lambda/n$$

$$d \ll \lambda/n$$

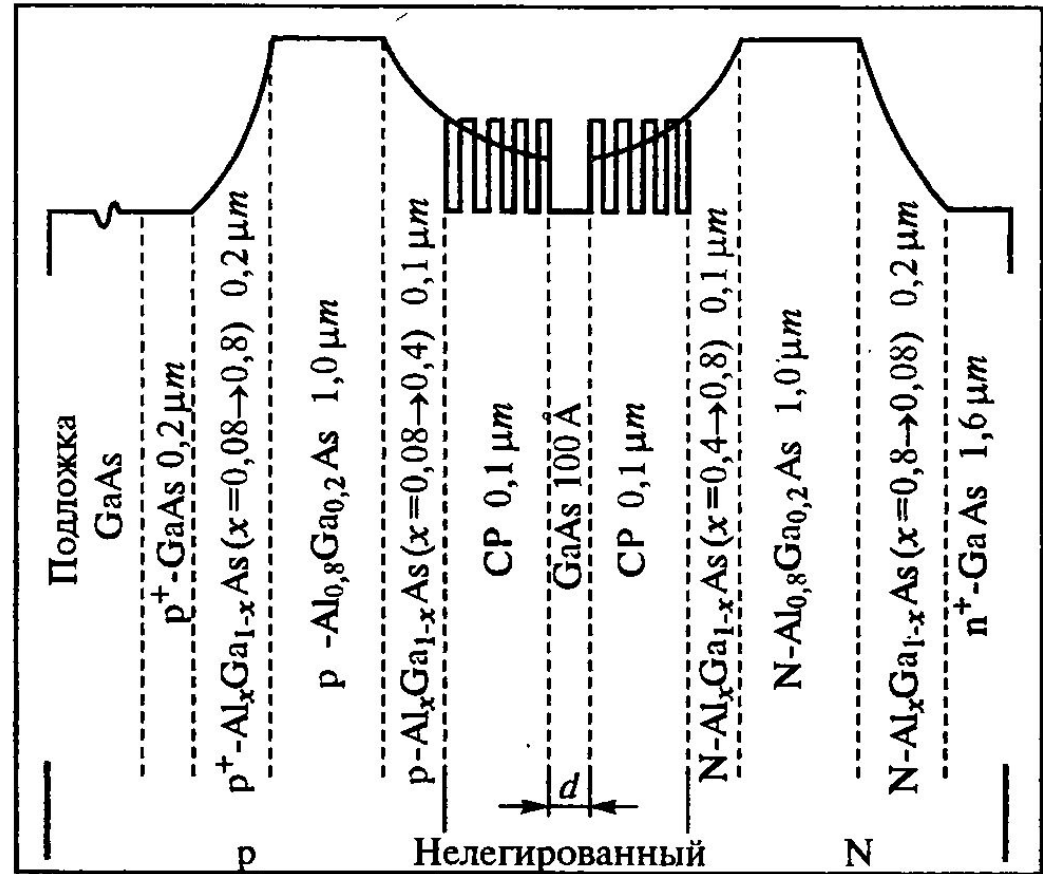
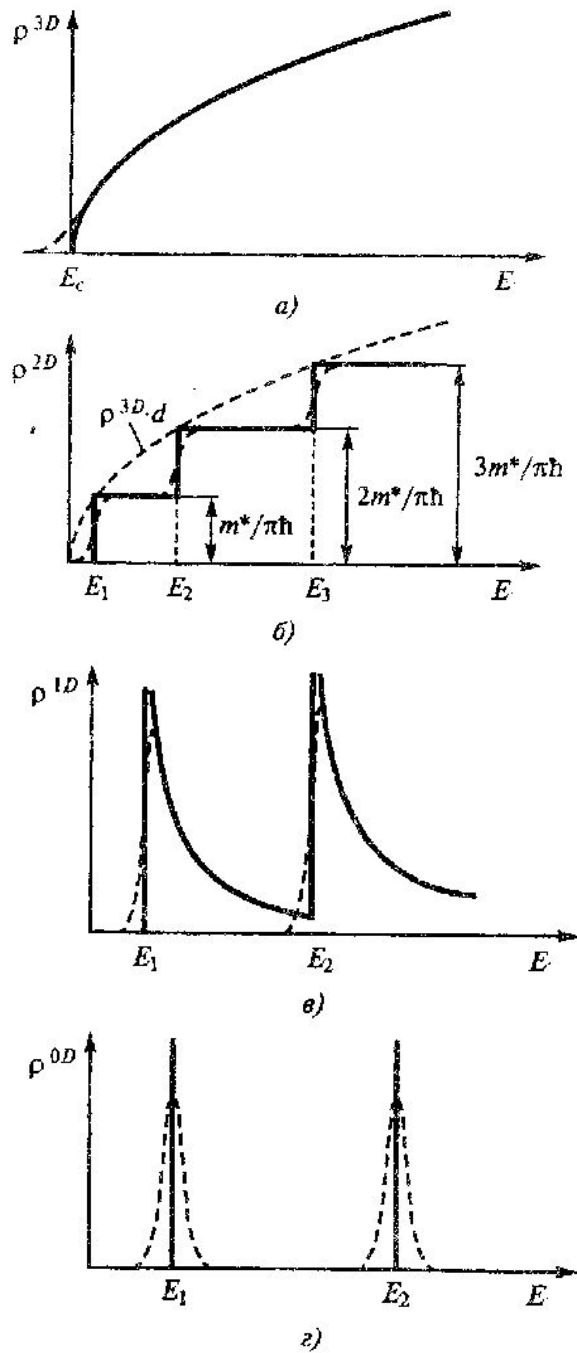
Гетеролазер с раздельным электронным и оптическим ограничением (РО ДГС-лазер):
 а — энергетическая диаграмма;
 б — распределение показателя преломления n и поле излучения Φ_ω



Зависимость параметра оптического ограничения от толщины активного слоя d для ДГС-лазера (1) и РО ДГС-лазеров с различной шириной области оптического ограничения D (2, 3)

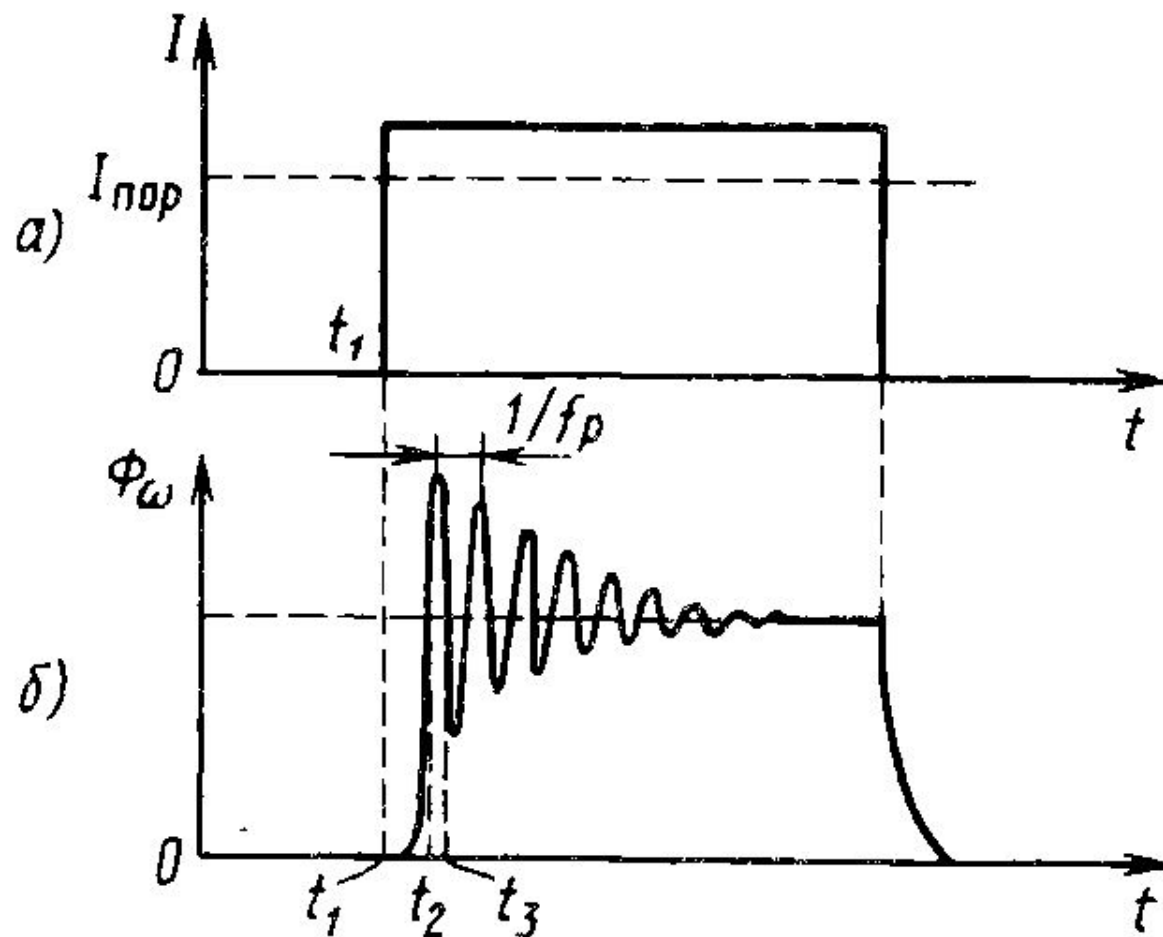


Лазерная РО ДГС-структура с GaAs-квантовой ямой и параболическим профилем волновода, сформированным короткопериодной сверхрешеткой и твердым раствором $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ переменного состава



Плотность состояний в объемном 3D-кристалле (а), двумерном 2D (б), одномерном 1D (в) и нульмерном 0D (г) электронном газе. Пунктиром показано влияние эффектов уширения на функции плотности состояний

Модуляционная характеристика



Импульсная модуляция излучения инжекционного лазера:
а) токовый импульс; б) оптический отклик (лазерное излучение)

$$t_{\text{зад}} = t_2 - t_1 = \tau_n \ln \left(\frac{I}{I - I_{\text{пор}}} \right)$$

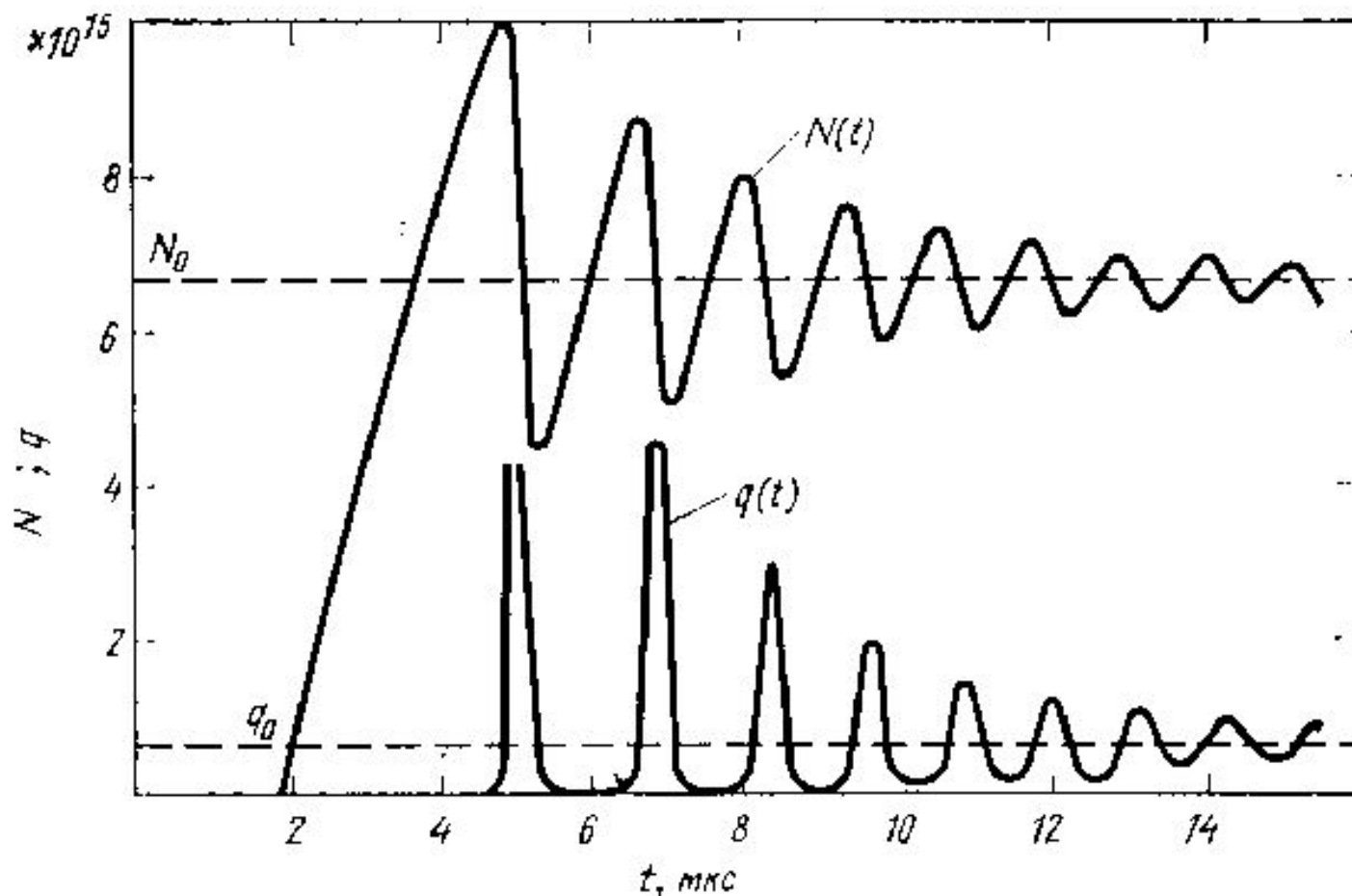
$$f_p \approx \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{\tau_\phi \tau_n} \left(\frac{I}{I_{\text{пор}}} - 1 \right) \right]^{1/2}$$

τ_n

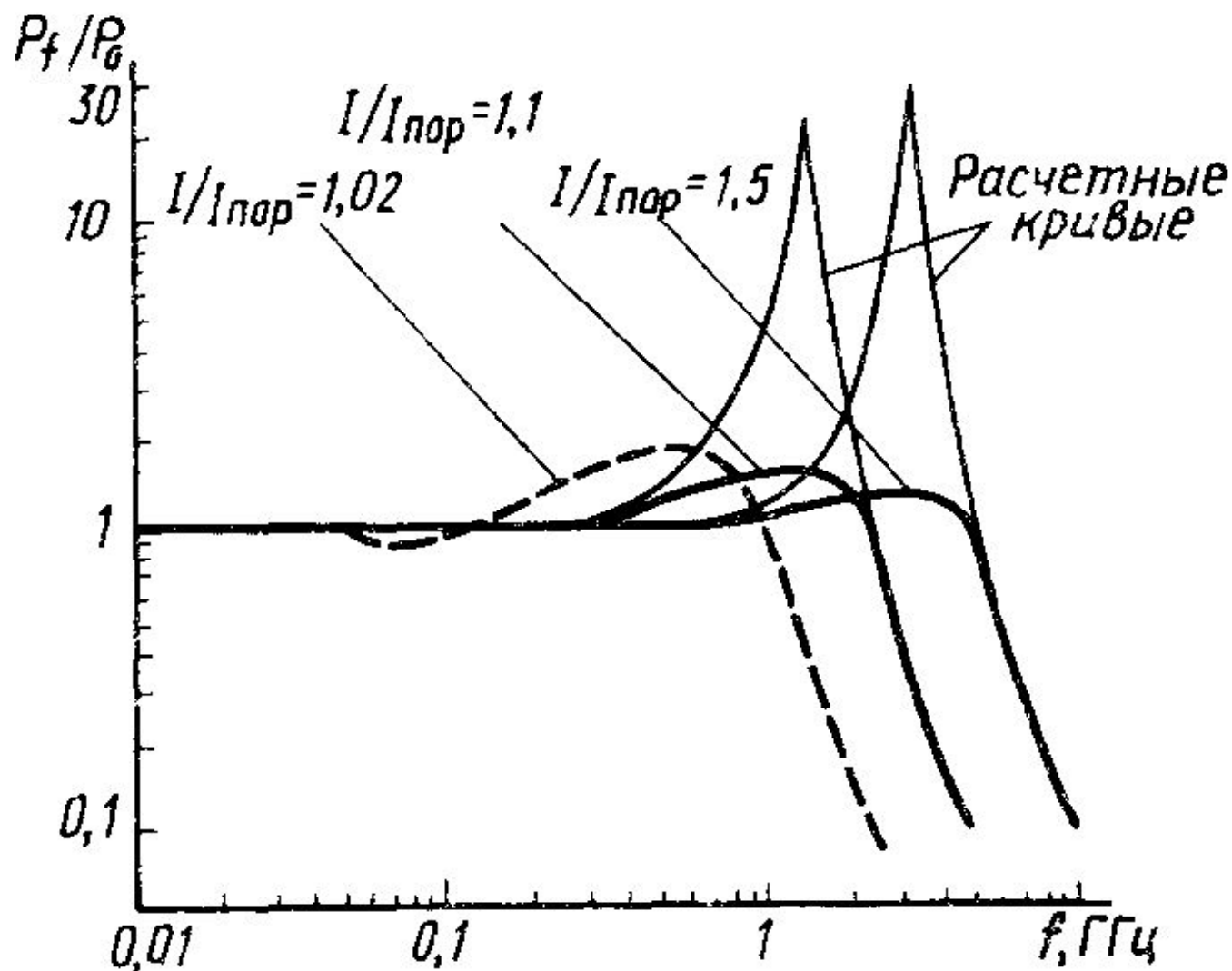
время жизни неравновесных носителей

τ_ϕ

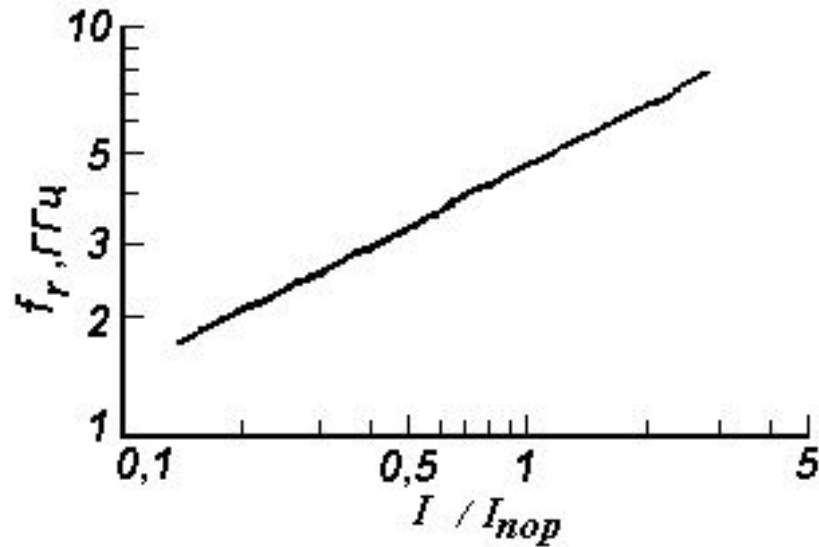
время жизни фотона в резонаторе



Временные зависимости полной инверсии $N(t)$ и числа фотонов $q(t)$ в трехуровневом лазере.

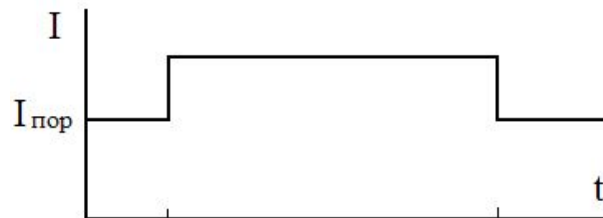


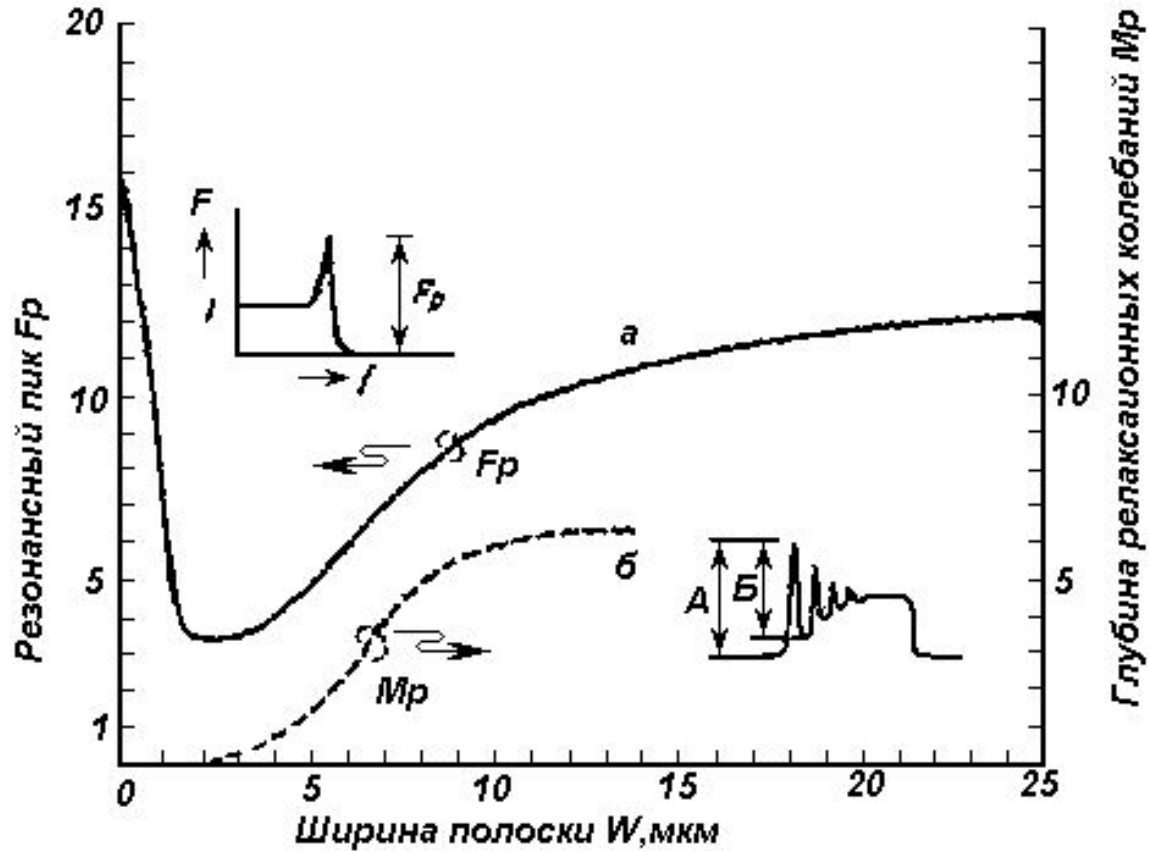
Типичные зависимости нормированной мощности излучения от частоты модуляции ДГС-лазера для различных уровней возбуждения



Релаксационные колебания и время задержки можно уменьшить:

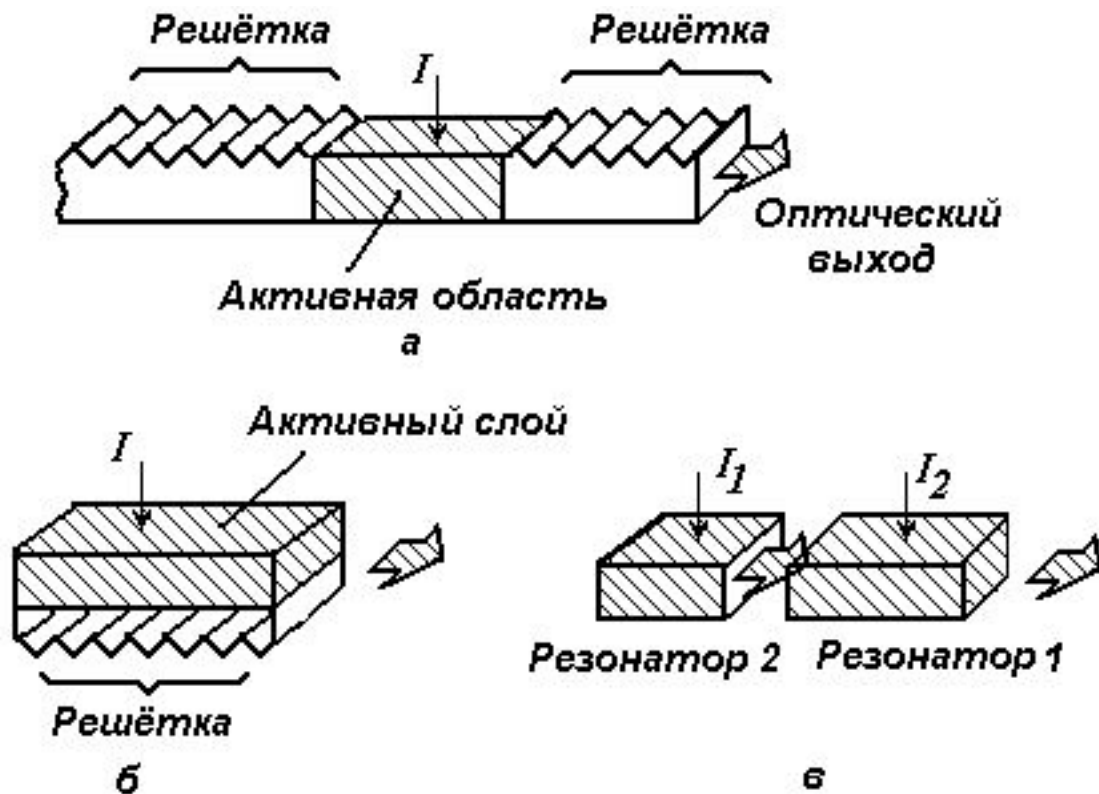
- осуществляя подпитку лазера постоянным током, равным пороговому току;
- применяя полосковые лазеры с узкой полоской.



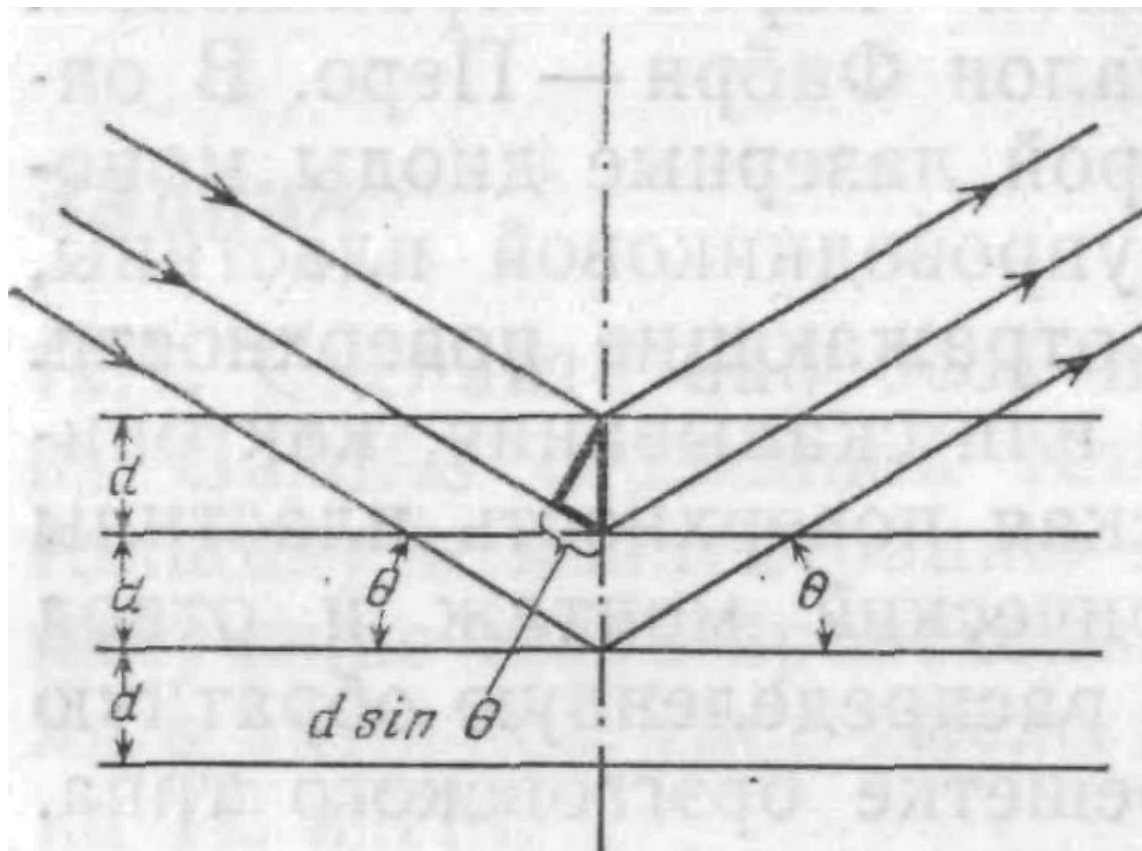


Подавление релаксационных колебаний за счет диффузии носителей в поперечном направлении. Сплошная линия соответствует расчетным значениям F ($I/I_{пор} = 2$; $\tau_n / \tau_\phi = 10^3$; $L_d = 2 \text{ мкм}$), пунктирная – экспериментальным значениям $M_p = Vt/A$

Динамические одномодовые лазеры

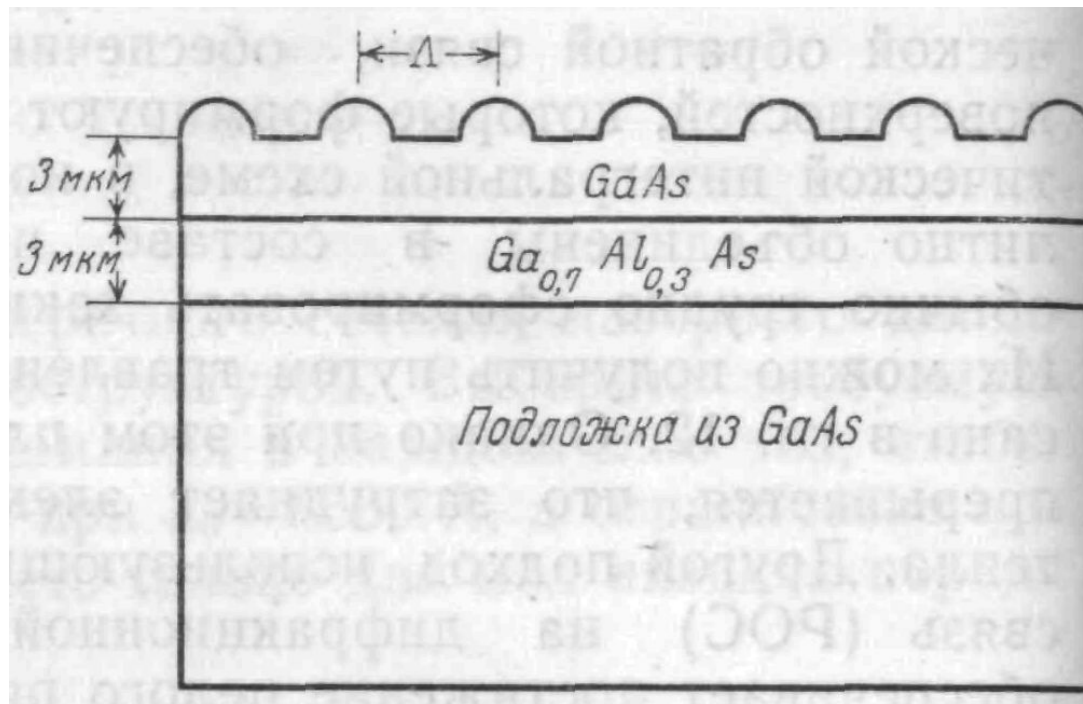


- Виды динамических одномодовых лазеров:
- а – DBR-лазер с распределенным отражением;
 - б – DBF-лазер с распределенной обратной связью;
 - в – двухрезонаторный лазер.



Брэгговское отражение от периодической структуры

$$2d \sin \theta_l = l \lambda, \quad l=1,2,3,\dots,$$



Поперечное сечение РОС-лазера

- Чтобы применить предыдущее соотношение к случаю отражения на 180 град., необходимо

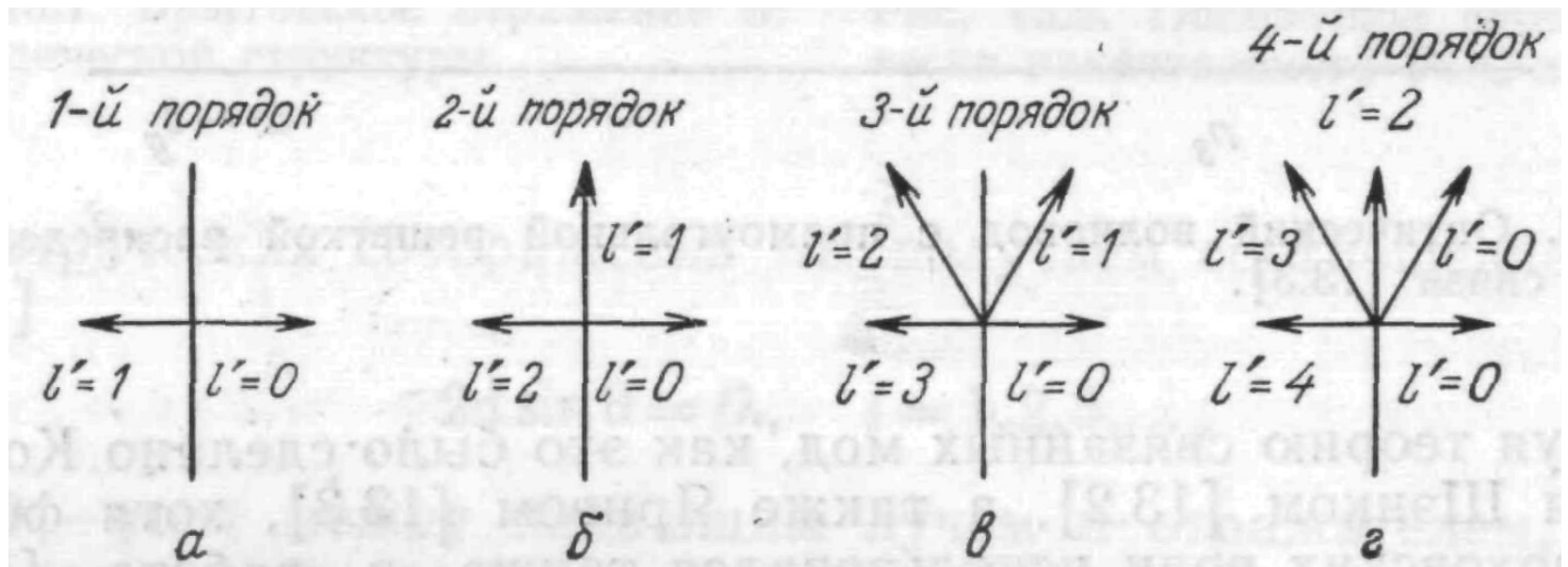
$$d = \Lambda \quad \lambda = \lambda_0 / n_g, \quad \theta = 90^\circ$$

n_g — эффективный показатель преломления волновода

$$2\Lambda = l(\lambda_0 / n_g), \quad l = 1, 2, 3, \dots$$

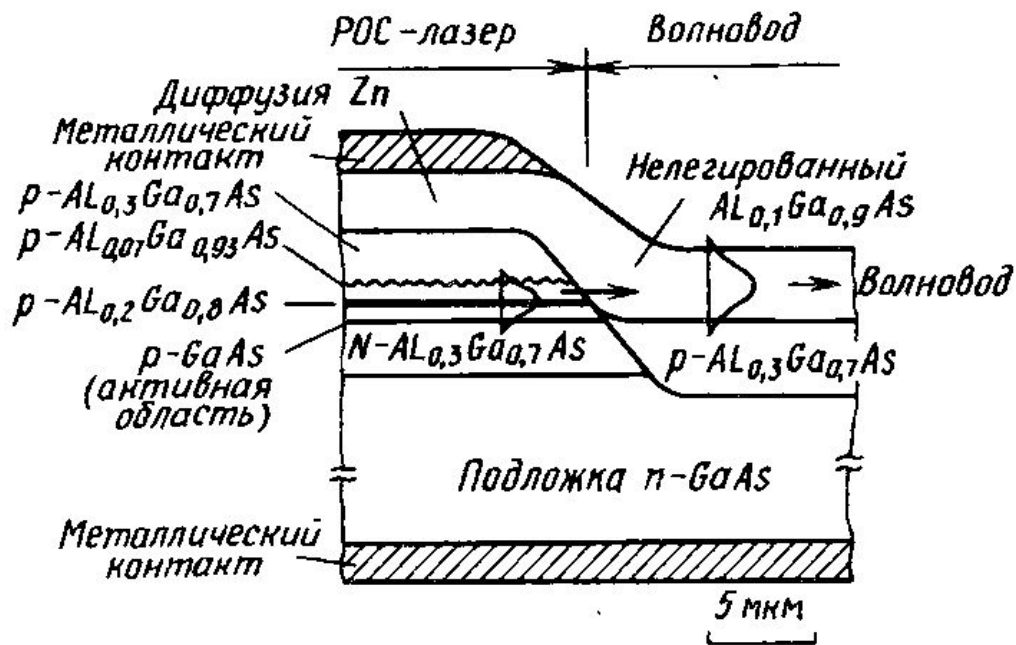
$$\lambda_0 = 2\Lambda n_g / l, \quad l = 1, 2, 3, \dots$$

- Доля оптической мощности, отраженной решеткой зависит от:
 - - толщины волноводного слоя, расстояния до решетки;
 - - глубины штриха, его формы;
 - - длины решеточной области.

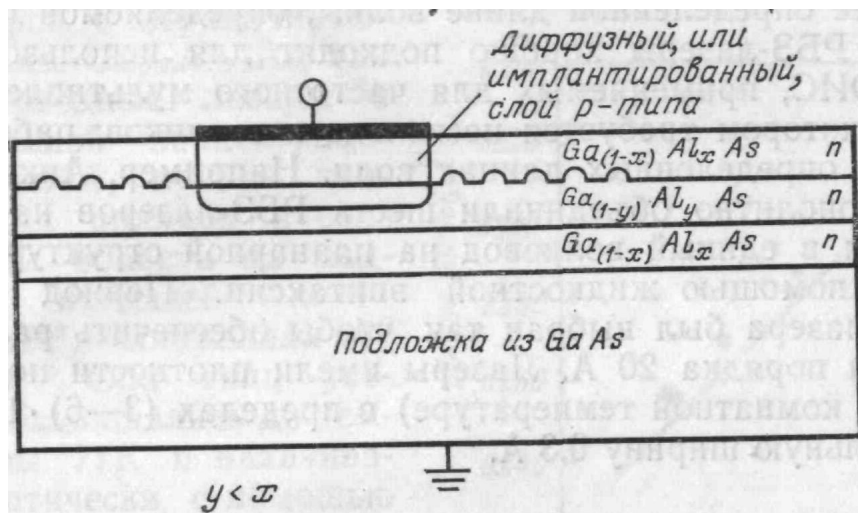


Направления рассеянных волн для брэгговских решеток высокого порядка.

$$E_{g \text{ волновода}} > E_{g \text{ излучателя}} > E_{g \text{ детектора}}$$



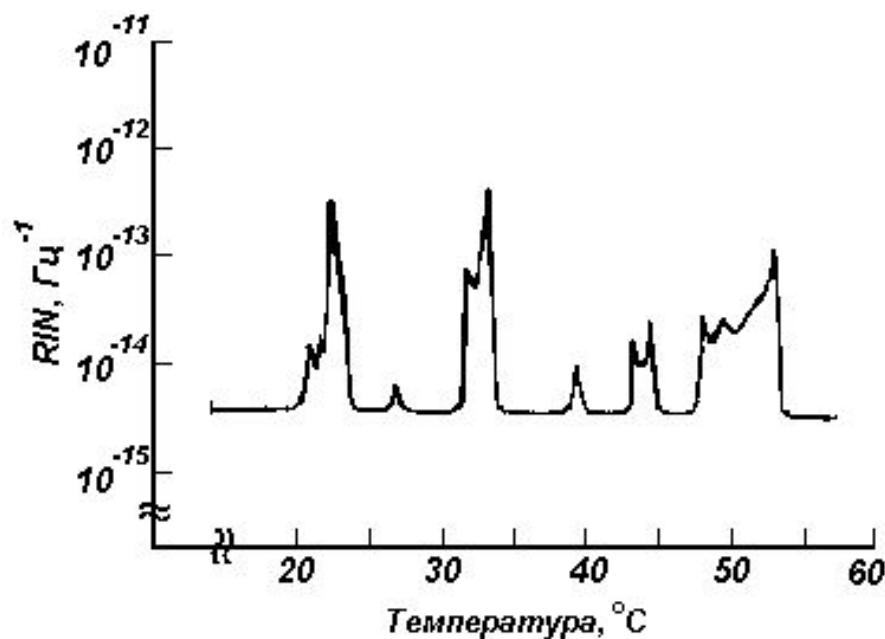
Ввод излучения в оптический волновод в лазере с распределенной обратной связью



Интегрально-оптический РБО-лазер

Шумы в п/п инжекционных лазерах

- Квантовый шум
- Шум токораспределения
- Шум, обусловленный перескоком моды
- Шум, обусловленный отраженным светом



$$RIN = \frac{(\Delta P)^2}{P^2} \frac{1}{B}$$

Мощные п/п инжекционные лазеры

- Излучение отдельных лазеров вводится в волоконный световод
- Лазерные линейки, лазерные решетки
- Излучение отдельных лазеров (на одном кристалле) вводится в плоский волновод

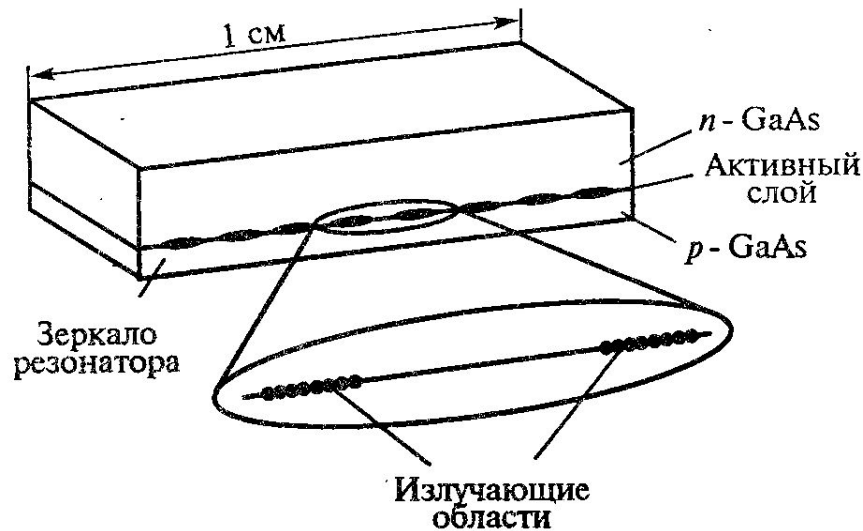


Схема типовой лазерной линейки