



**ФИЗИКА
МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ
ПРИБОРОВ**

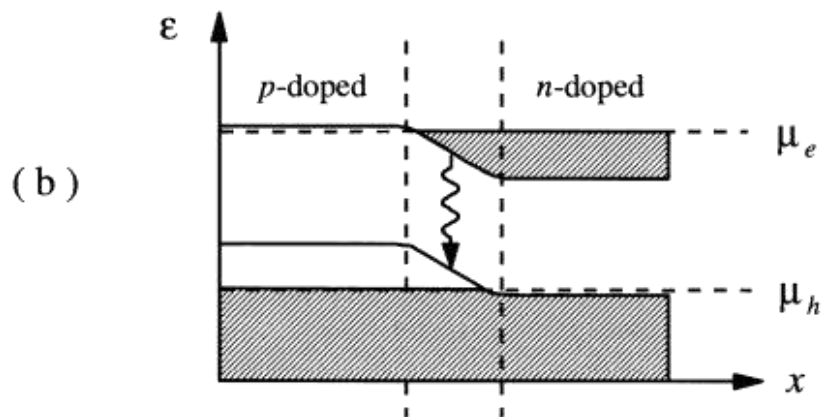
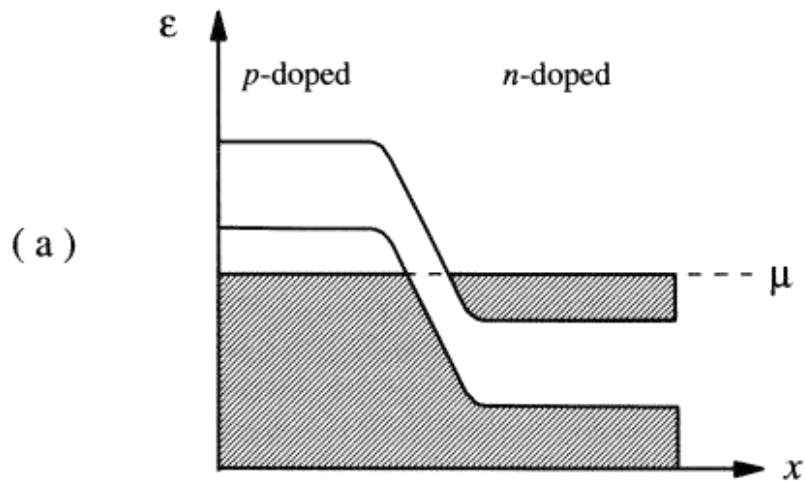
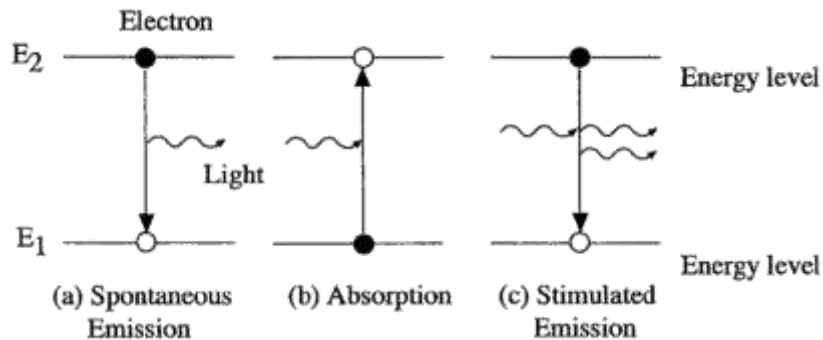
III-V

4.

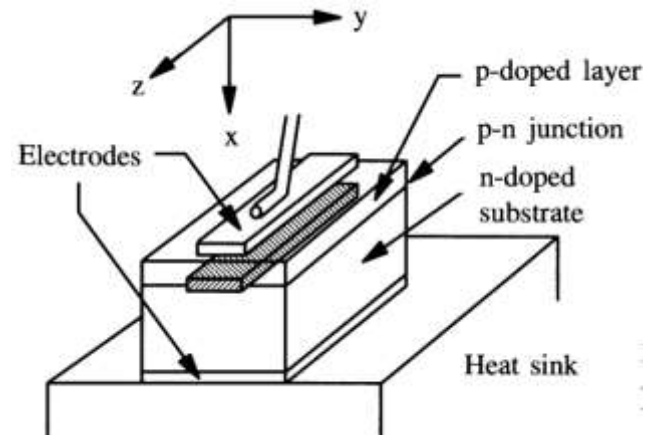
Светоизлучающие устройства:
2. лазеры



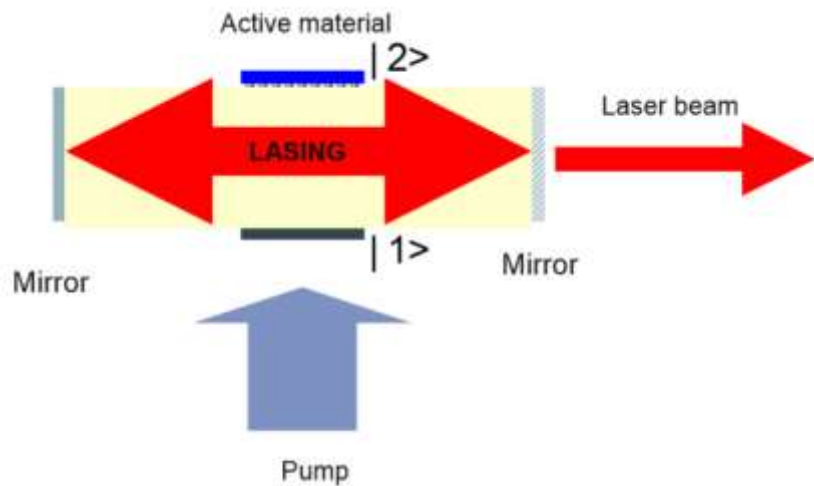
Полупроводниковые лазеры – принцип работы



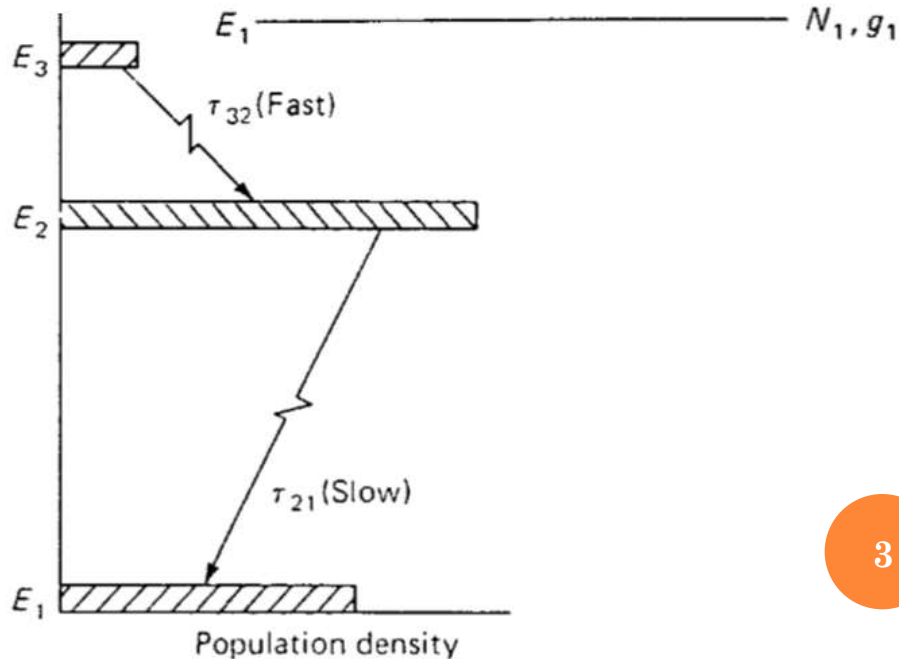
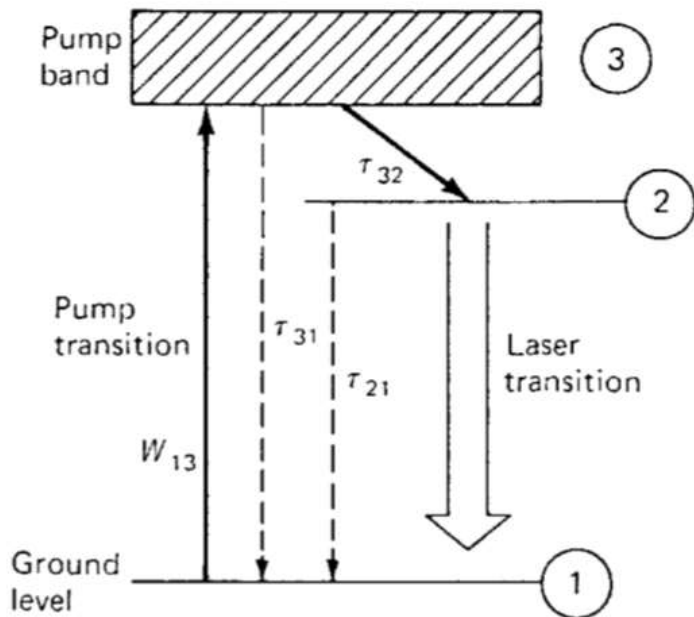
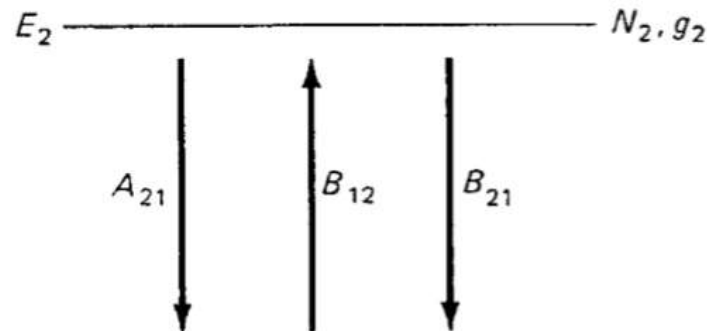
В полупроводниковом инжекционном лазере (или лазерном диоде) активной средой является полупроводниковый слой толщиной порядка 1 мкм, помещённый в р-п-переход. Инверсия активной среды достигается инжекцией неравновесных носителей заряда с помощью р-п-перехода. Накачка активной среды в лазерном диоде обеспечивается внешним электрическим смещением р-п-перехода в прямом направлении.



Полупроводниковые лазеры – принцип работы



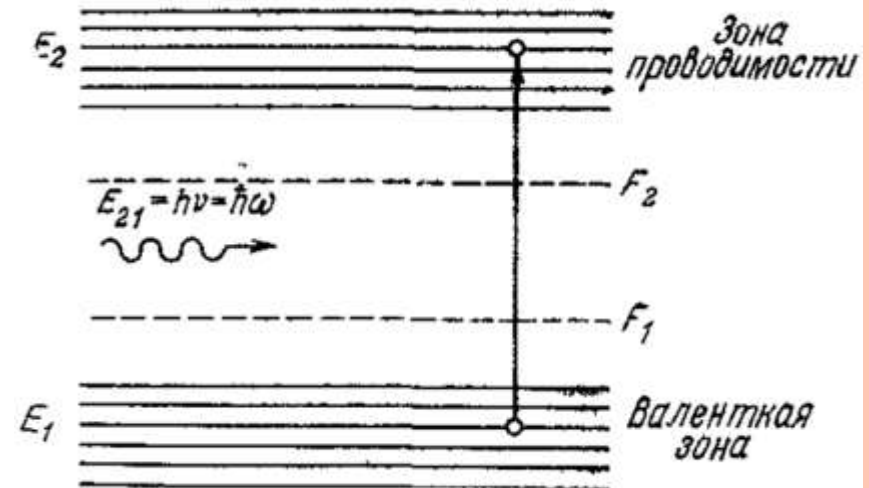
$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left(\frac{-(E_2 - E_1)}{kT}\right),$$



Полупроводниковые лазеры – принцип работы

$$r_{ind} = r_{sp}(E_{21}) \cdot \left(1 - \exp\left(E_{21} - \frac{F_2 - F_1}{kT}\right) \right)$$

$$r_{sp}(E_{21}) = \frac{8\pi n^2 E_{21}^2 \alpha(E_{21})}{h^3 c^2 \left(\exp\left(E_{21} - \frac{F_2 - F_1}{kT}\right) - 1 \right)}$$



Здесь:

r_{ind} – суммарная скорость вынужденного излучения,

r_{sp} – скорость спонтанного излучения,

α – коэффициент поглощения,

F_1 и F_2 – квазиуровни Ферми для валентной зоны и зоны проводимости,

n – показатель преломления,

$E_{21} = E_2 - E_1$.

Полупроводниковые лазеры – принцип работы

Порог генерации (усиление излучения равно потерям):

$$g\Gamma = \alpha_i + \frac{1}{L} \ln \left(\frac{1}{R} \right)$$

где (при 300К) g [см⁻¹] = $5.0 \cdot 10^{-2} \left(\frac{J\eta}{d} - 4.5 \cdot 10^3 \right)$

g – коэффициент усиления вынужденного излучения,

J – плотность электрического тока,

η – квантовая эффективность,

d – толщина области накачки (мкм),

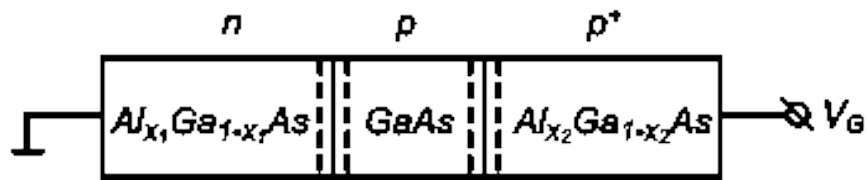
Γ – фактор оптического ограничения (доля электромагнитного излучения в расчёте на равномерно возбуждённую область),

α_i – внутренние потери (поглощение на свободных носителях, рассеяние на оптических неоднородностях и др.),

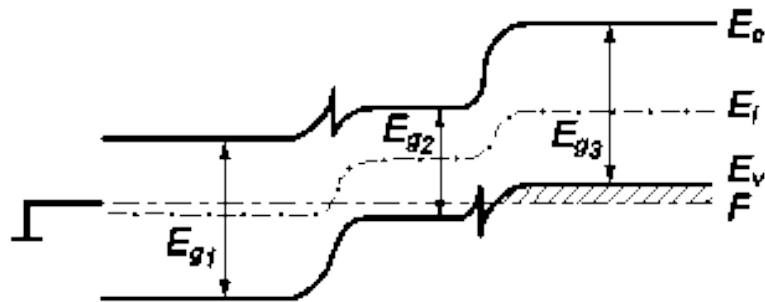
R – коэффициент отражения зеркал (~0.3 для сколотых граней),

L – длина резонатора.

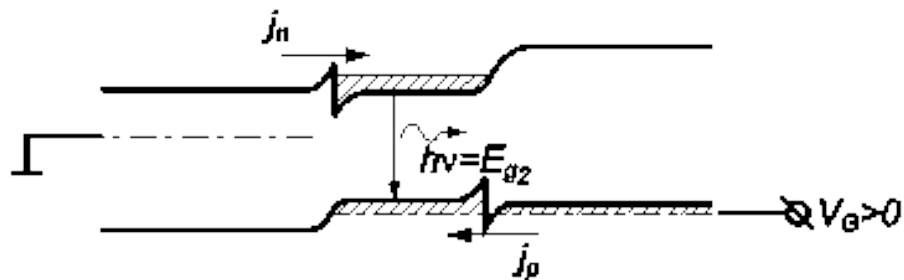
Лазеры на гетеропереходах



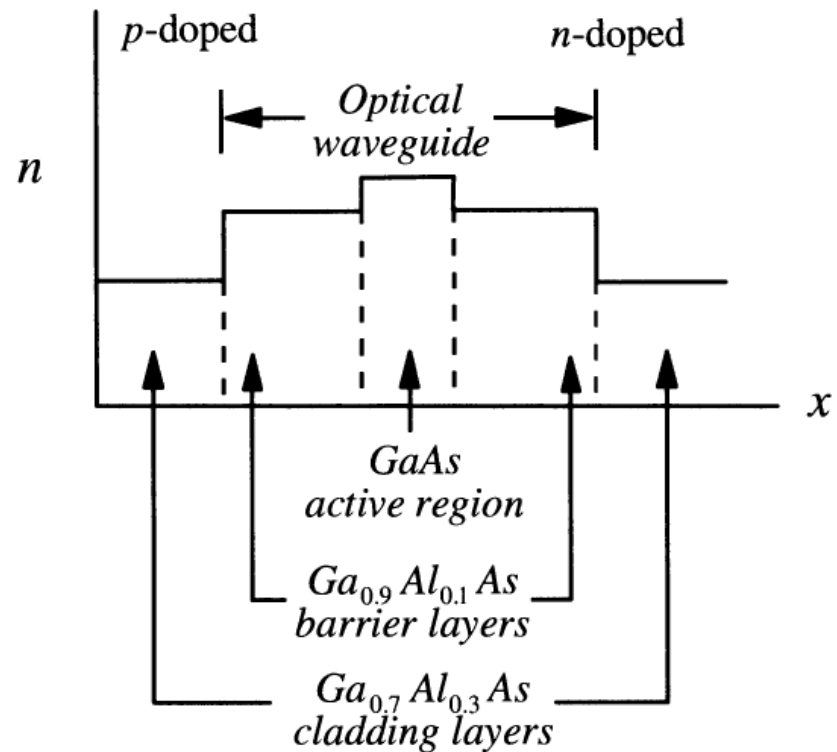
a



b



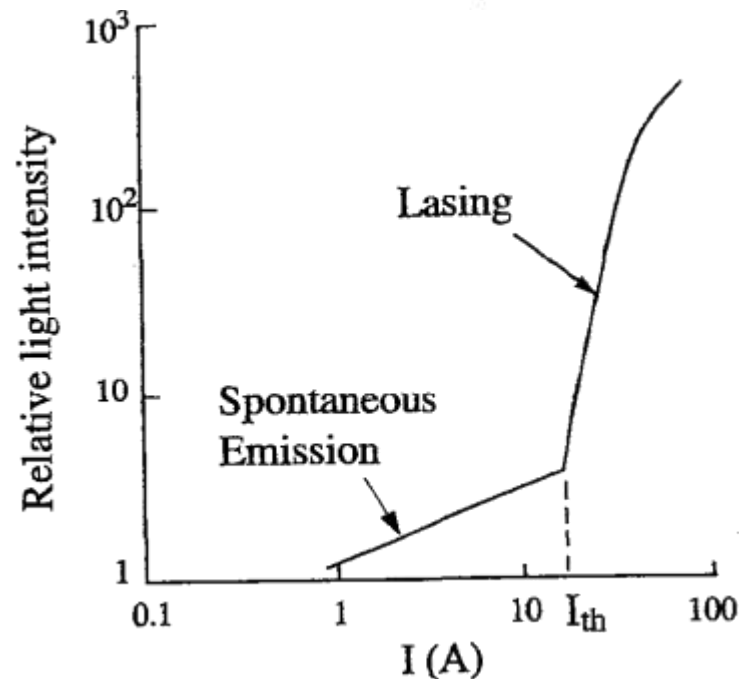
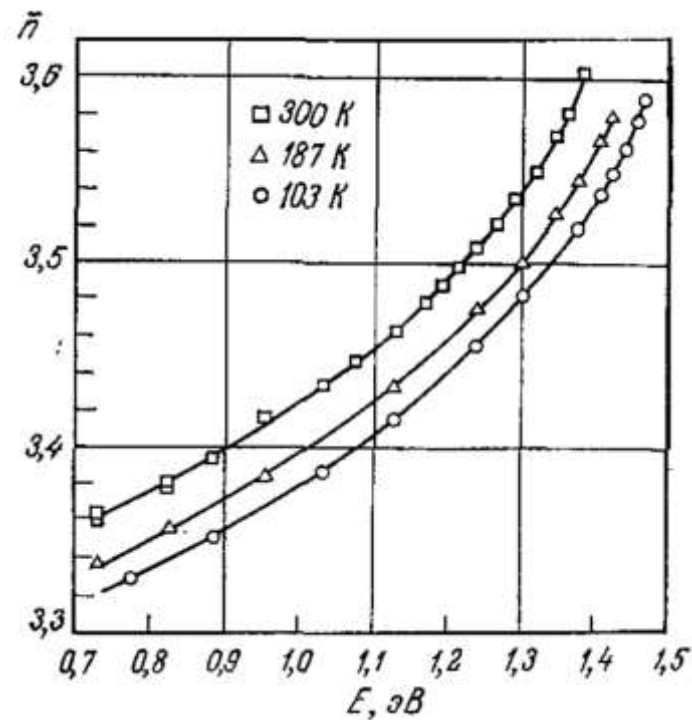
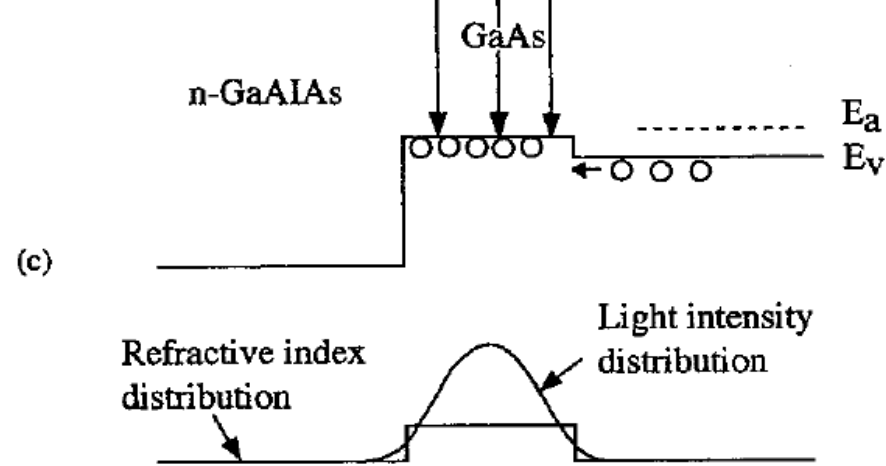
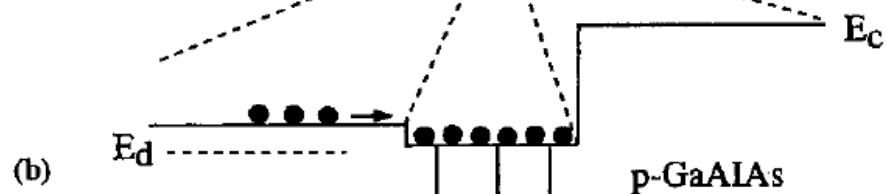
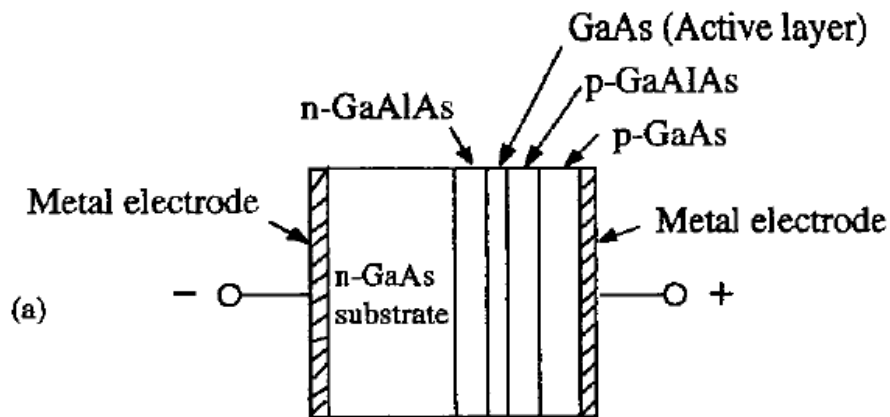
в



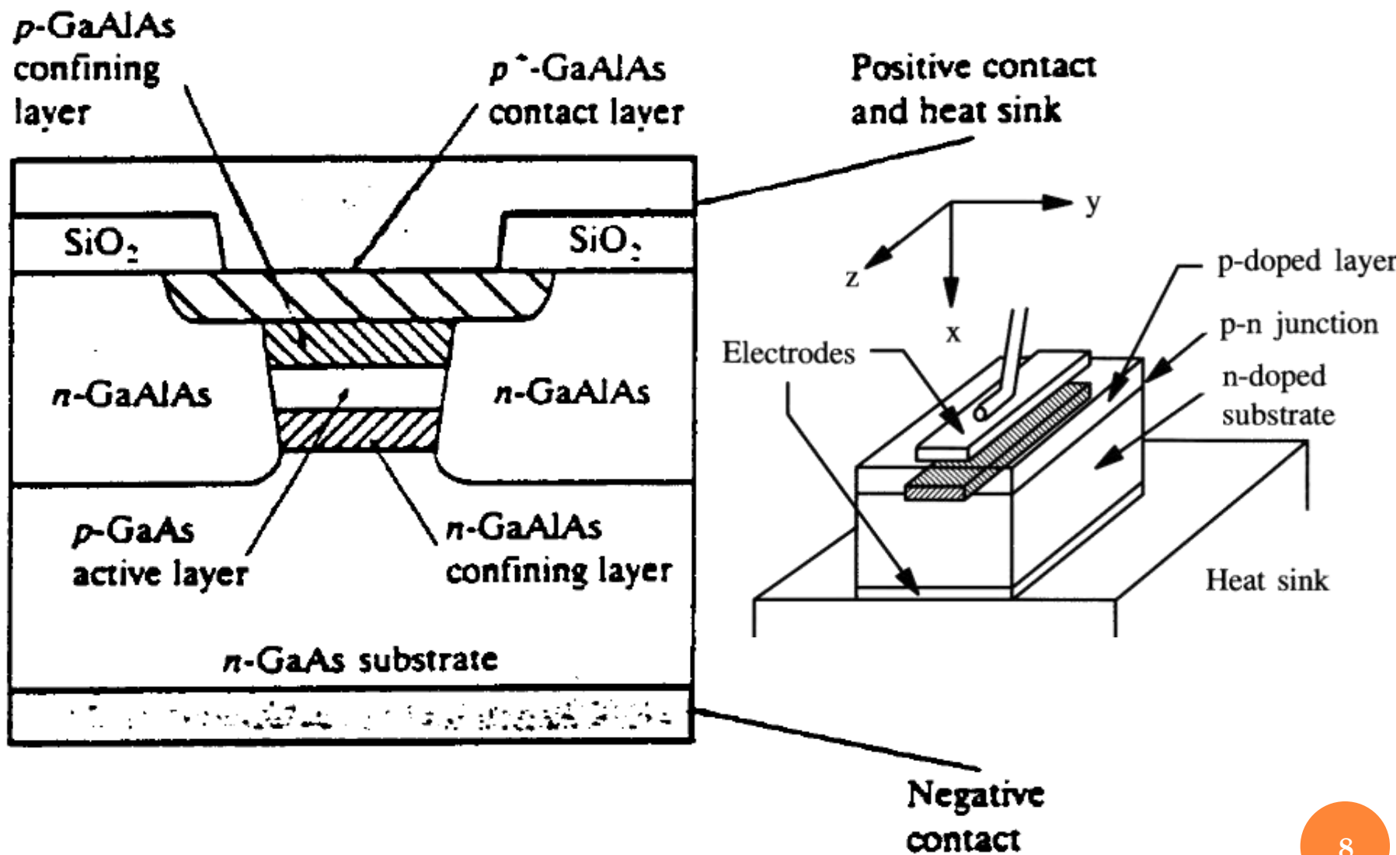
Для $Al_xGa_{1-x}As$:

$$n = 3.590 - 0.710x + 0.091x^2$$

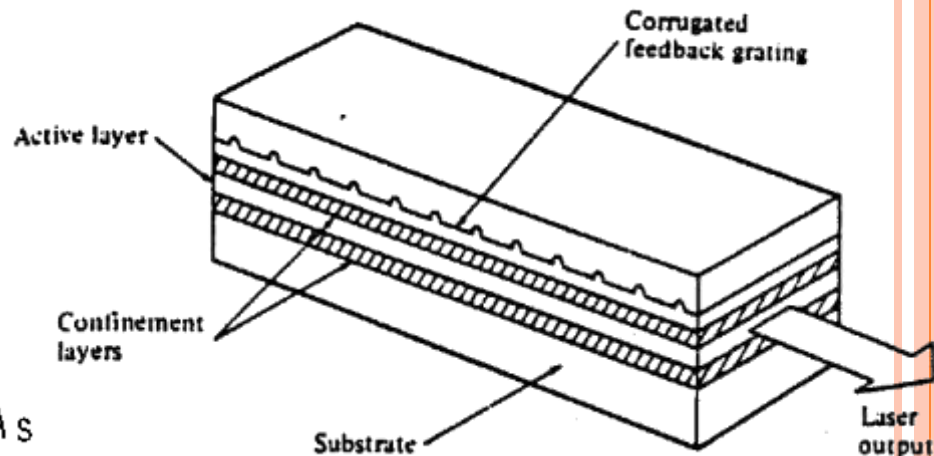
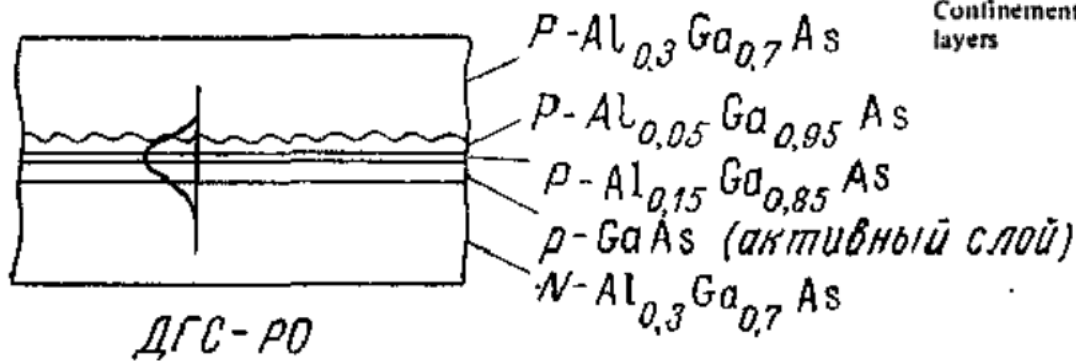
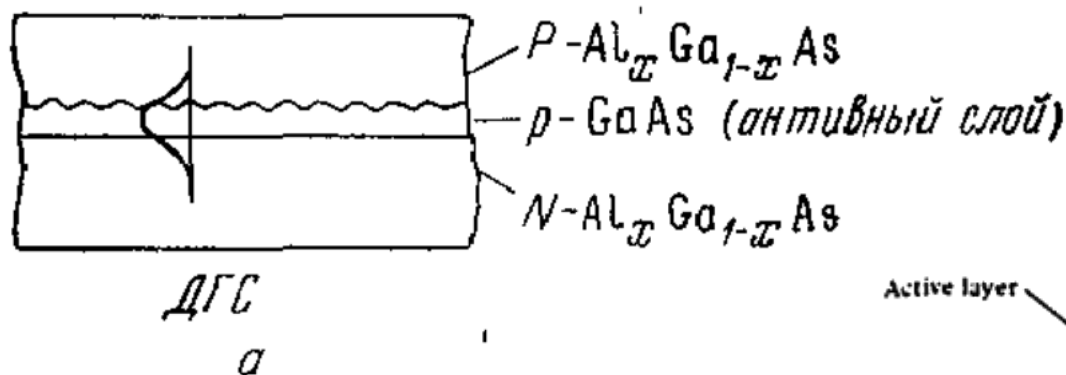
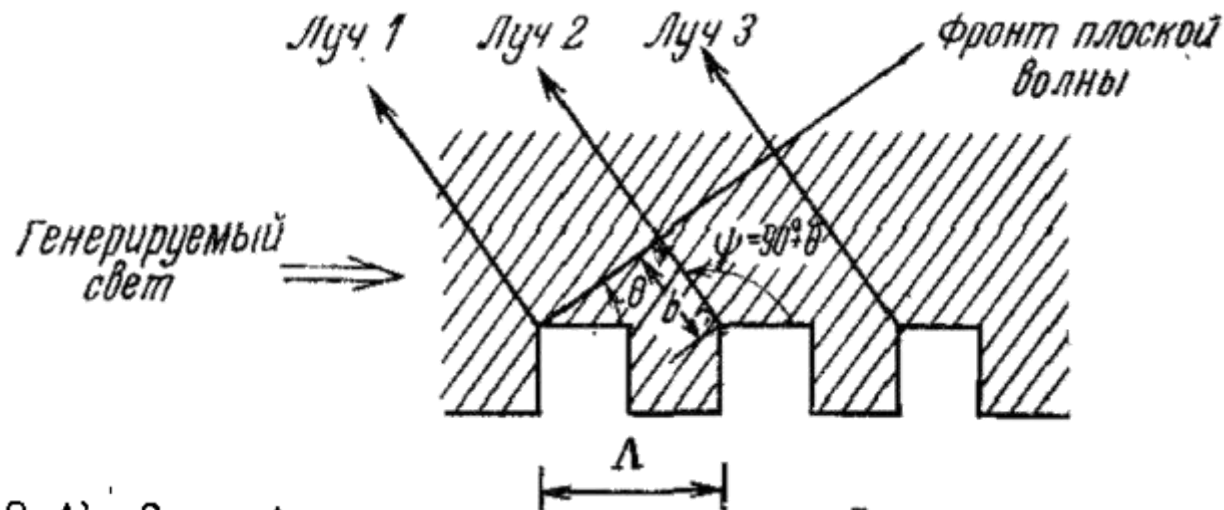
Лазеры на GaAs гетероструктурах



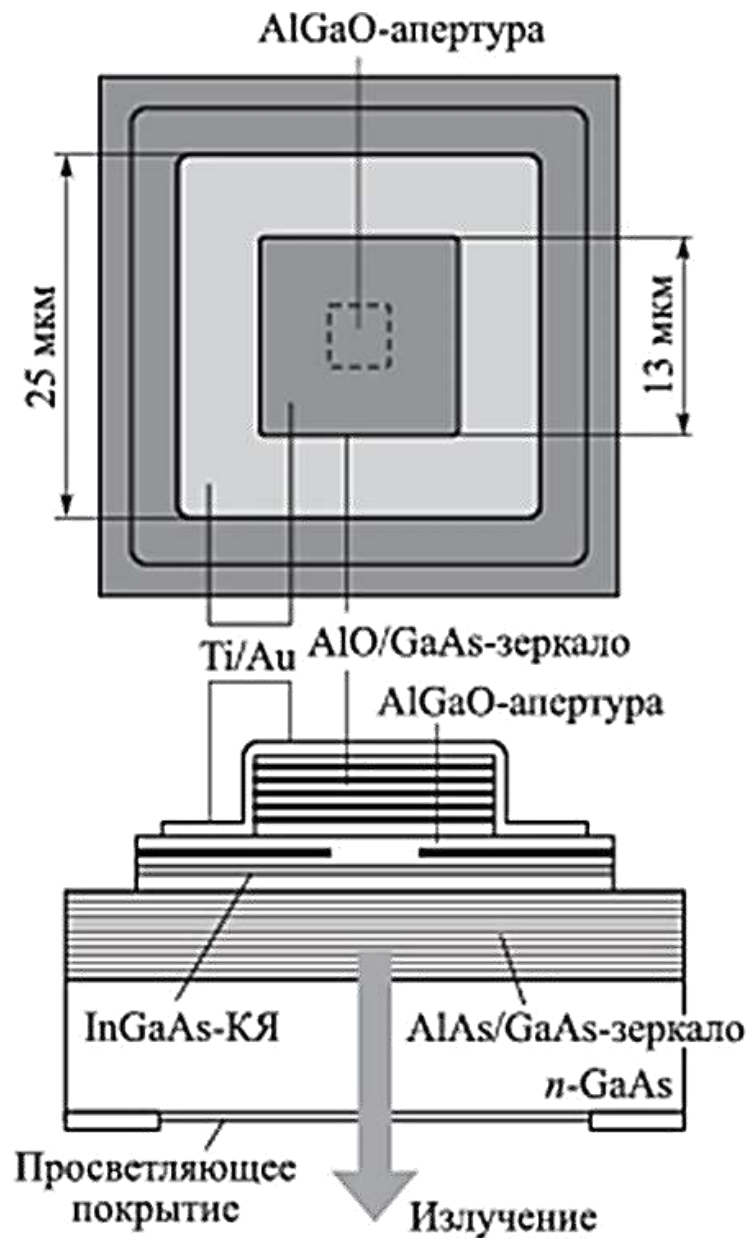
Полосковый лазер



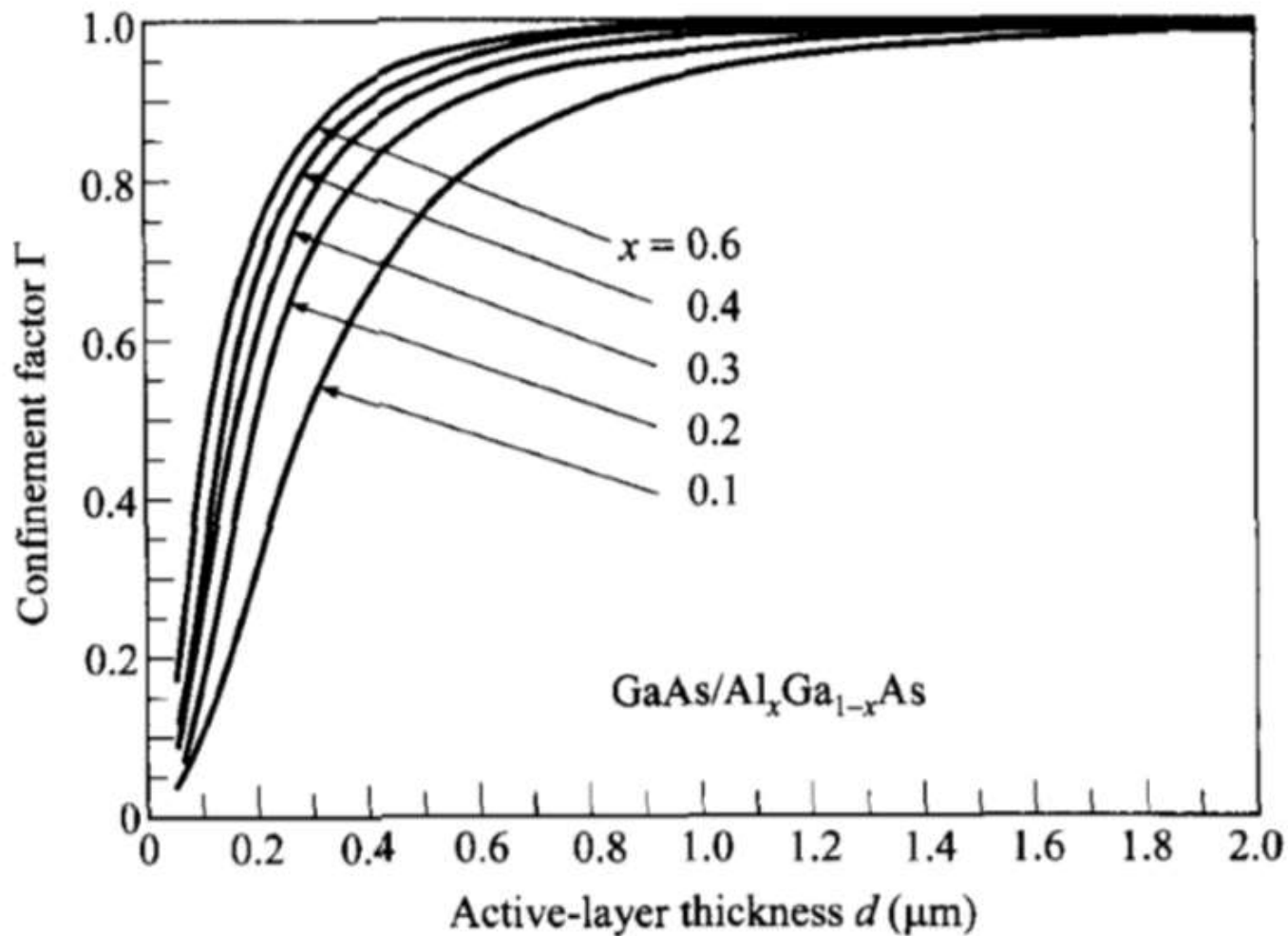
Распределённая обратная связь



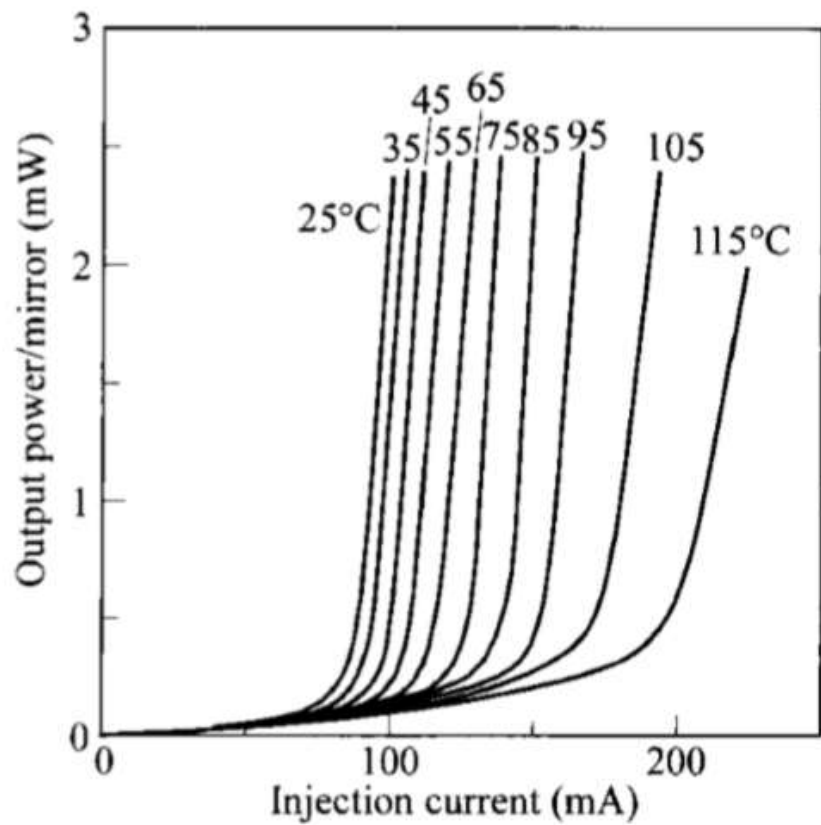
Лазер на гетероструктуре с вертикальным резонатором



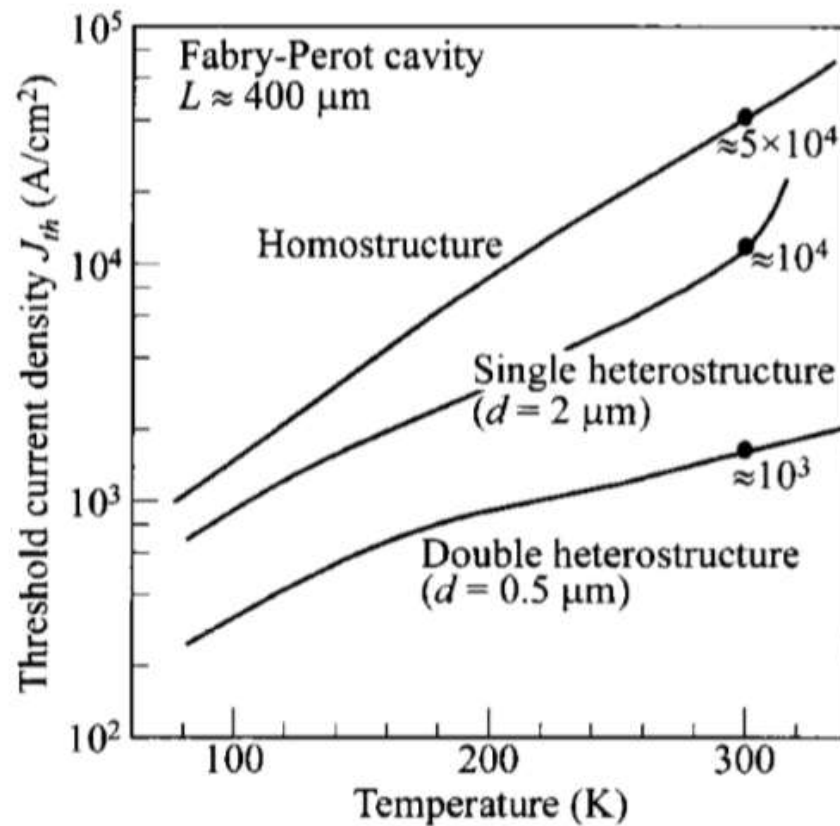
Поведение фактора оптического ограничения



Электрофизические характеристики лазеров



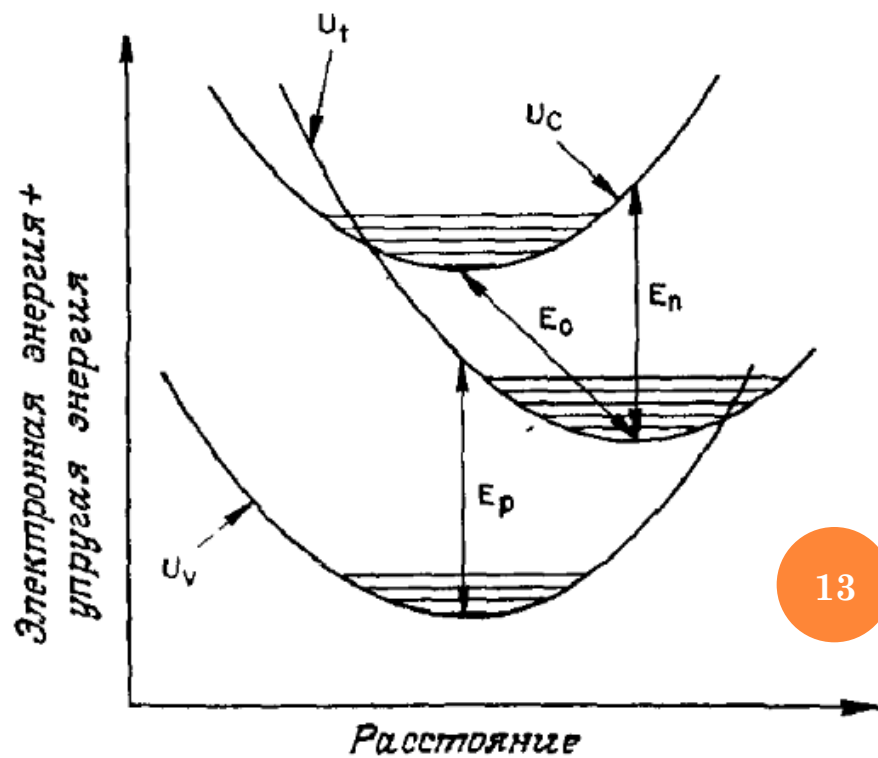
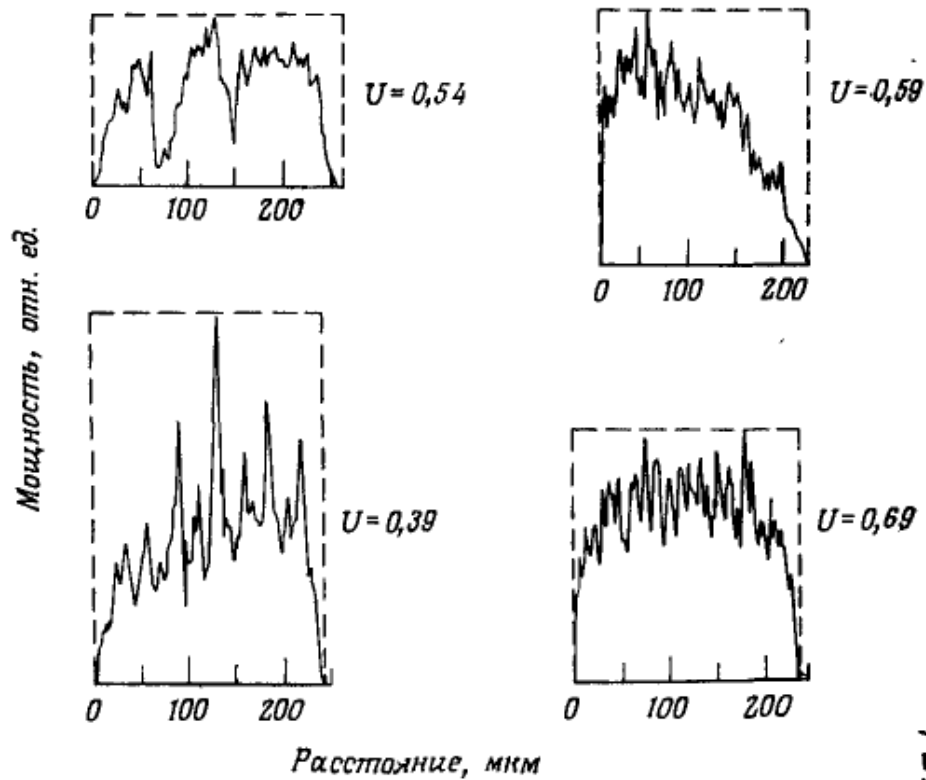
(a)



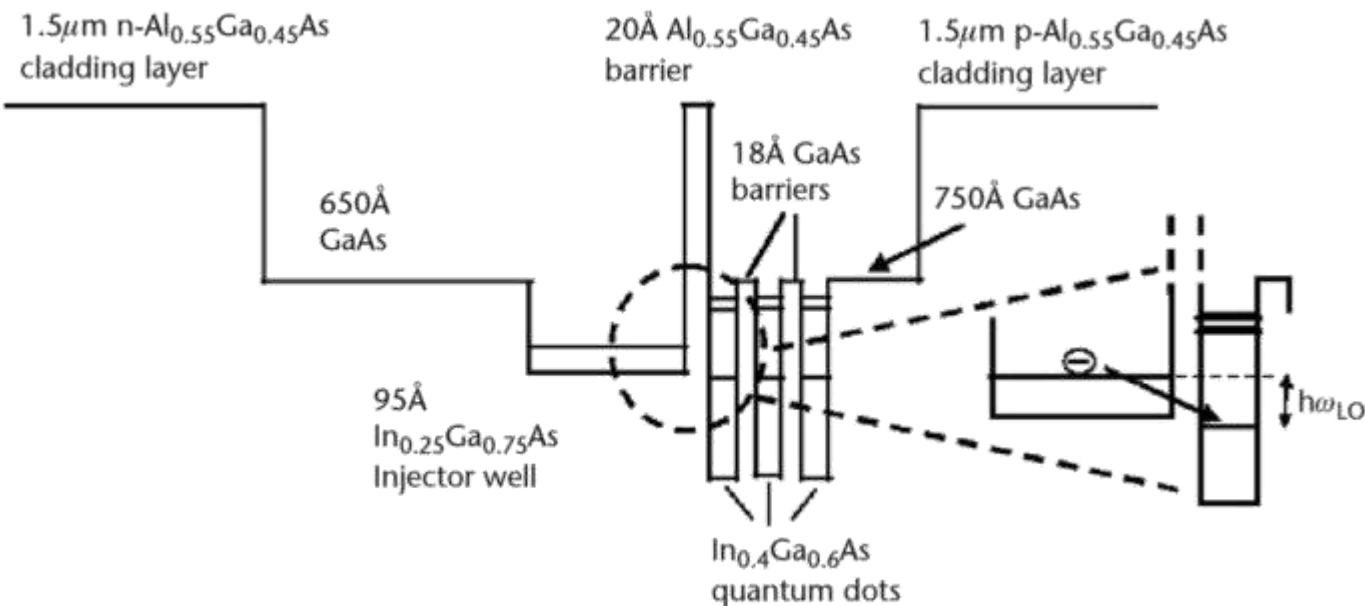
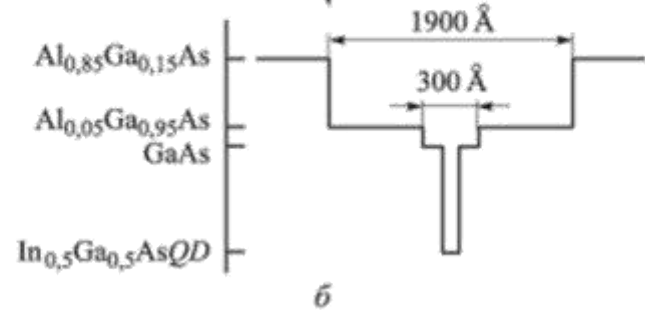
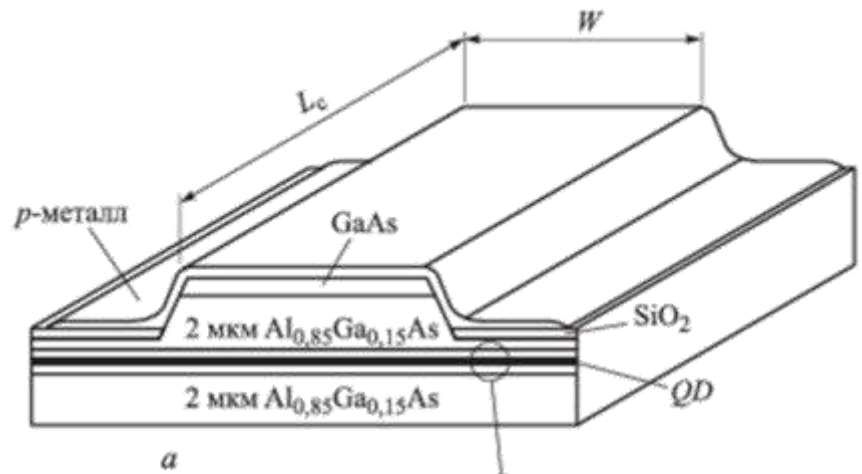
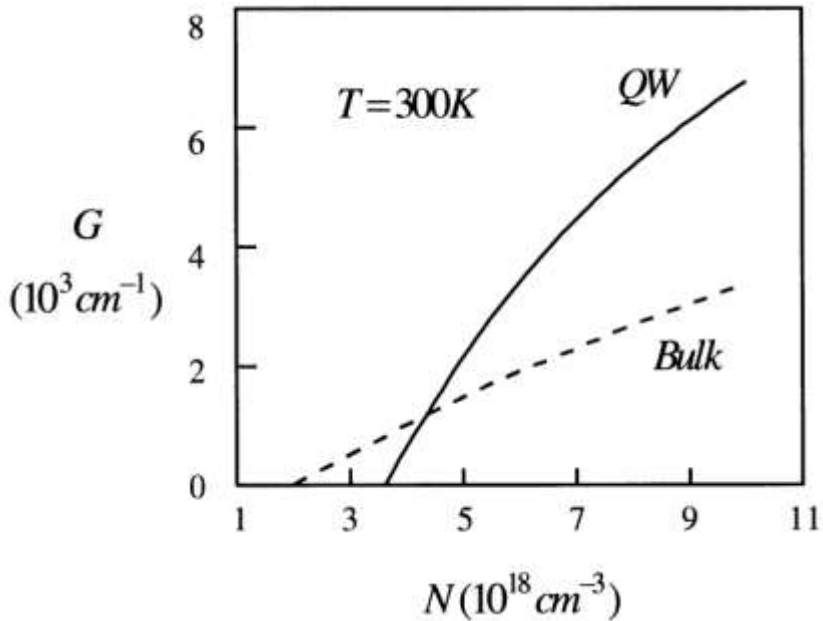
(b)

GaAs/Al_xGa_{1-x}As

Деградация лазерных диодов



Лазер на квантовых точках



Виды полупроводниковых лазеров

