

Источники электромагнитного излучения видимого и ближнего ИК диапазона

Классификация источников



Когерентные

- Лазерные источники
 - газовые
 - твердотельные
 - полупроводниковые



Некогерентные

- Лампы накаливания
- Газоразрядные лампы высокого давления
- Газоразрядные лампы низкого давления
- Светодиодные источники

Световые величины и единицы измерения

Radiometric			Photometric			Photon			
Quantity	Usual Symbol	Units	Quantity	Usual Symbol	Units	Quantity	Usual Symbol	Units	
Radiant Energy	Q_e	J	Luminous Energy	Q_v	lm s	Photon Energy	N_p	*	энергия
Radiant Power or Flux	Φ_e	W	Luminous Flux	Φ_v	lm	Photon Flux	$\Phi_p = \frac{dN_p}{dt}$	s^{-1}	мощность, световой поток
Radiant Exitance or Emittance	M_e	$W m^{-2}$	Luminous Exitance or Emittance	M_v	$lm m^{-2}$	Photon Exitance	m_p	$s^{-1} m^{-2}$	плотность мощности
Irradiance	E_e	$W m^{-2}$	Illuminance	E_v	lx	Photon Irradiance	E_p	$s^{-1} m^{-2}$	освещенность
Radiant Intensity	I_e	$W sr^{-1}$	Luminous Intensity	I_v	cd	Photon Intensity	I_p	$s^{-1} sr^{-1}$	сила света, интенсивность
Radiance	L_e	$W sr^{-1} m^{-2}$	Luminance	L_v	$cd m^{-2}$	Photon Radiance	L_p	$s^{-1} sr^{-1} m^{-2}$	

Symbols Key:

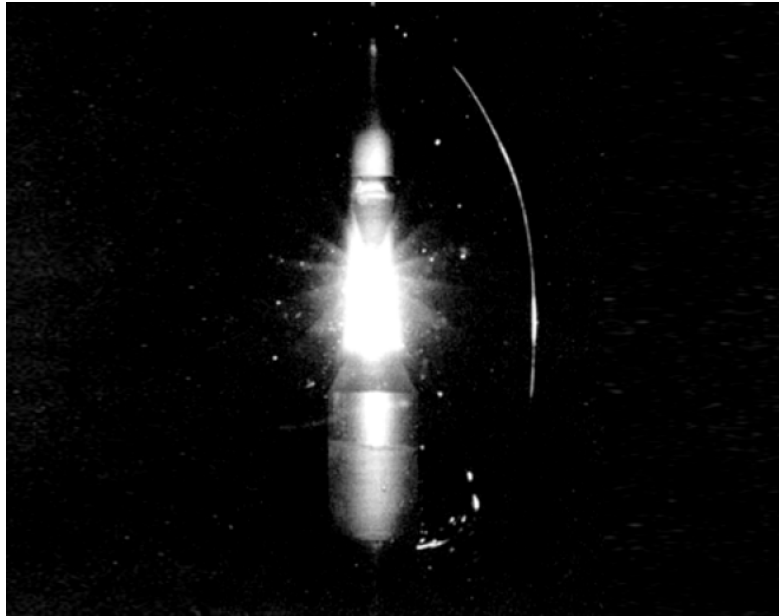
J: Joule
W: watts
m: meter
sr: steradian
lm: lumen
S: seconds
cd: candela
lx: lux, lumen m^{-2}

Units	Equivalent	Quantity
Talbot	lm s	Luminous Energy
Footcandle	lm ft^{-2}	Illuminance
Footlambert	cd ft^{-2}	Luminance
lambert	cd cm^{-2}	Luminance

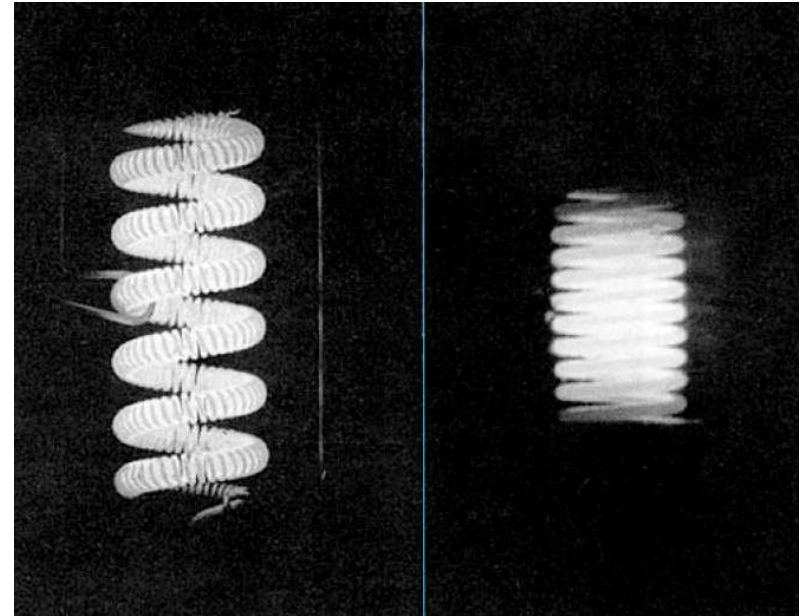
Кандела — сила света в заданном направлении источником монохроматического излучения частотой $540 \cdot 10^{12}$ герц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет (1/683) Вт/ср
Люмен - световой поток, испускаемый точечным источником, с силой света, равной одной канделе, в телесный угол величиной в один стерадиан
Люкс - освещённость поверхности площадью $1 m^2$ при световом потоке падающего на неё излучения, равном 1 лм

Некогерентные источники

Разрядные лампы



Лампы накаливания

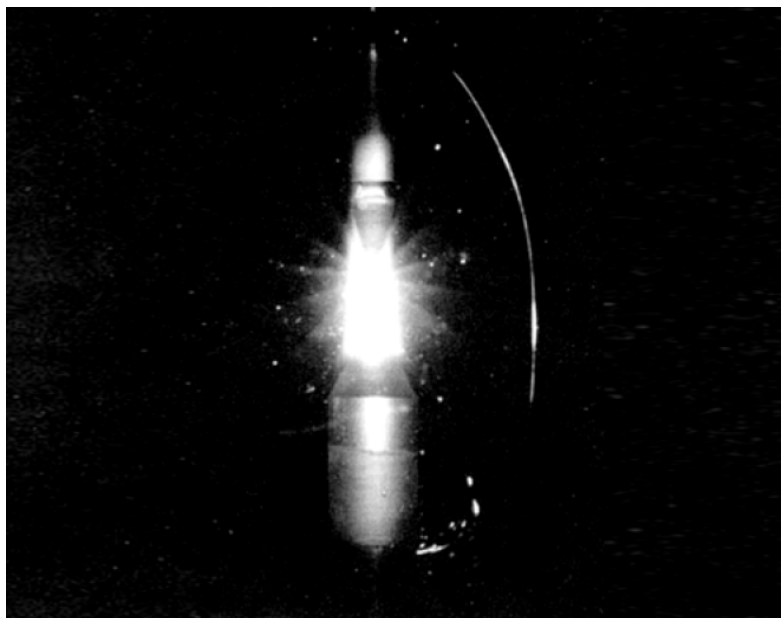


Особенности

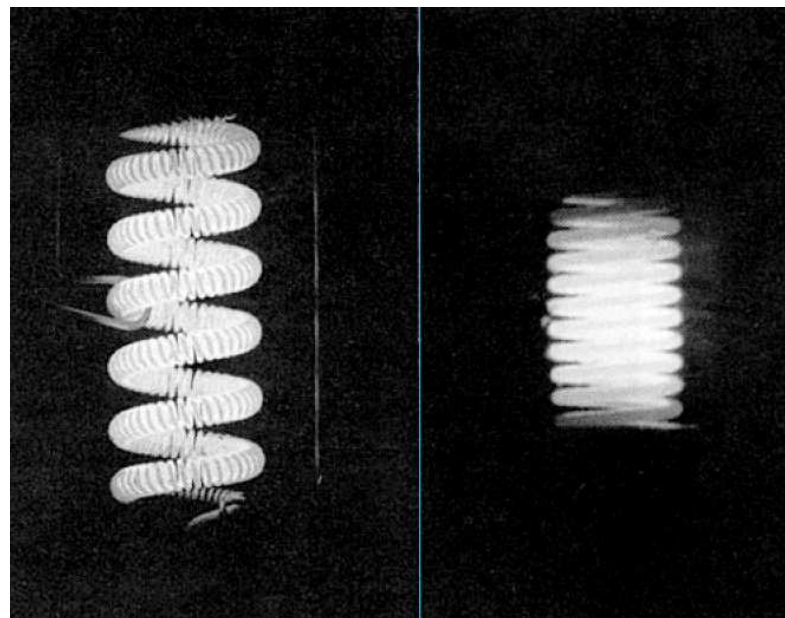
- Высокая энергетическая яркость в ультрафиолете и видимом диапазонах
- Маленькие размеры дуги
- Спектр ксеноновой лампы близок к солнечному
- Высокая интегральная интенсивность в видимом диапазоне
- Хорошая стабильность
- Широкий спектральный диапазон (250 - 2500 нм)
- Медленное изменение интенсивности с длиной волны

Некогерентные источники

Разрядные лампы



Лампы накаливания



Преимущества

- Можно достичь максимальной освещенности маленьких объектов
- Можно хорошо коллимировать пучки
- Хорошо подходит для исследований в ультрафиолетовой области (например, для УФ-фотохимии)
- Может эмулировать солнечный свет
- Просты в использовании
- Простота детектирования при спектральном сканировании
- Дешевизна

Классификация разрядных ламп

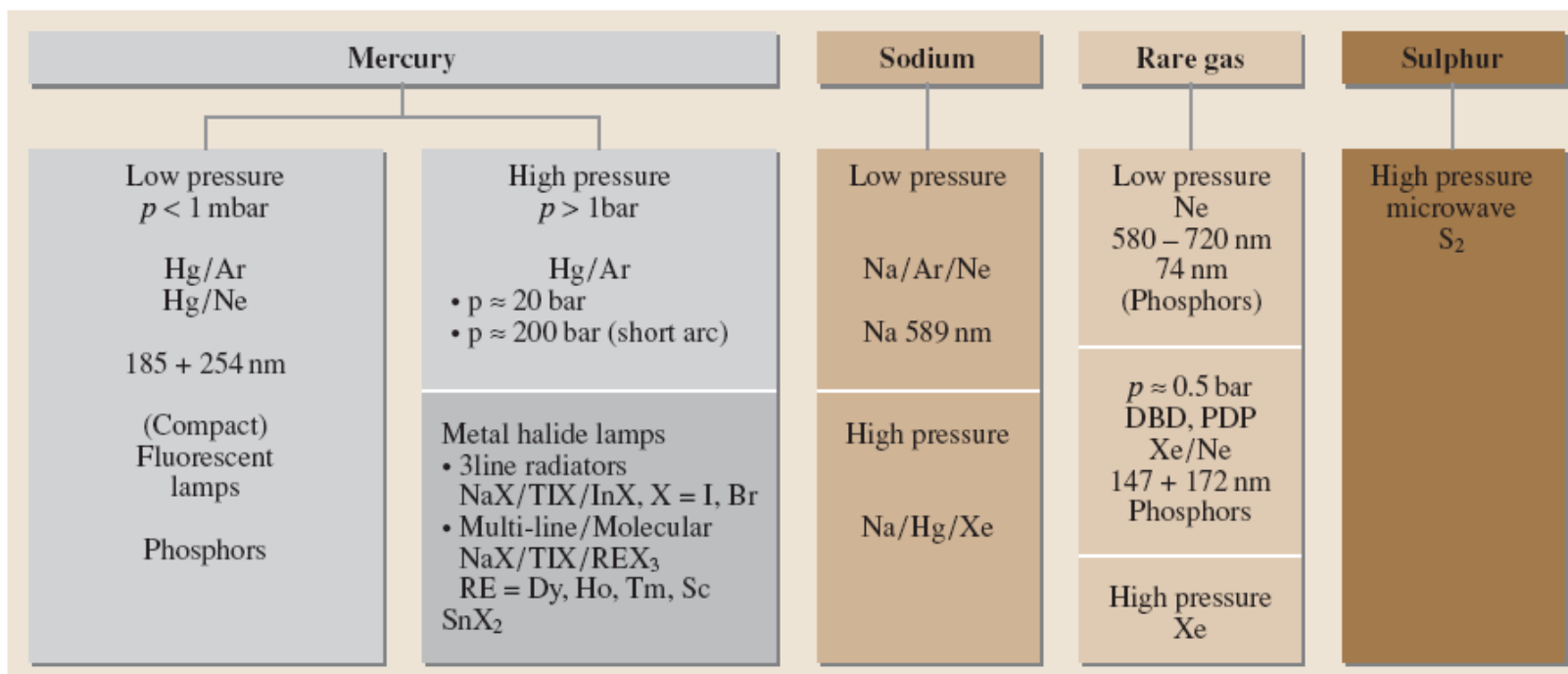
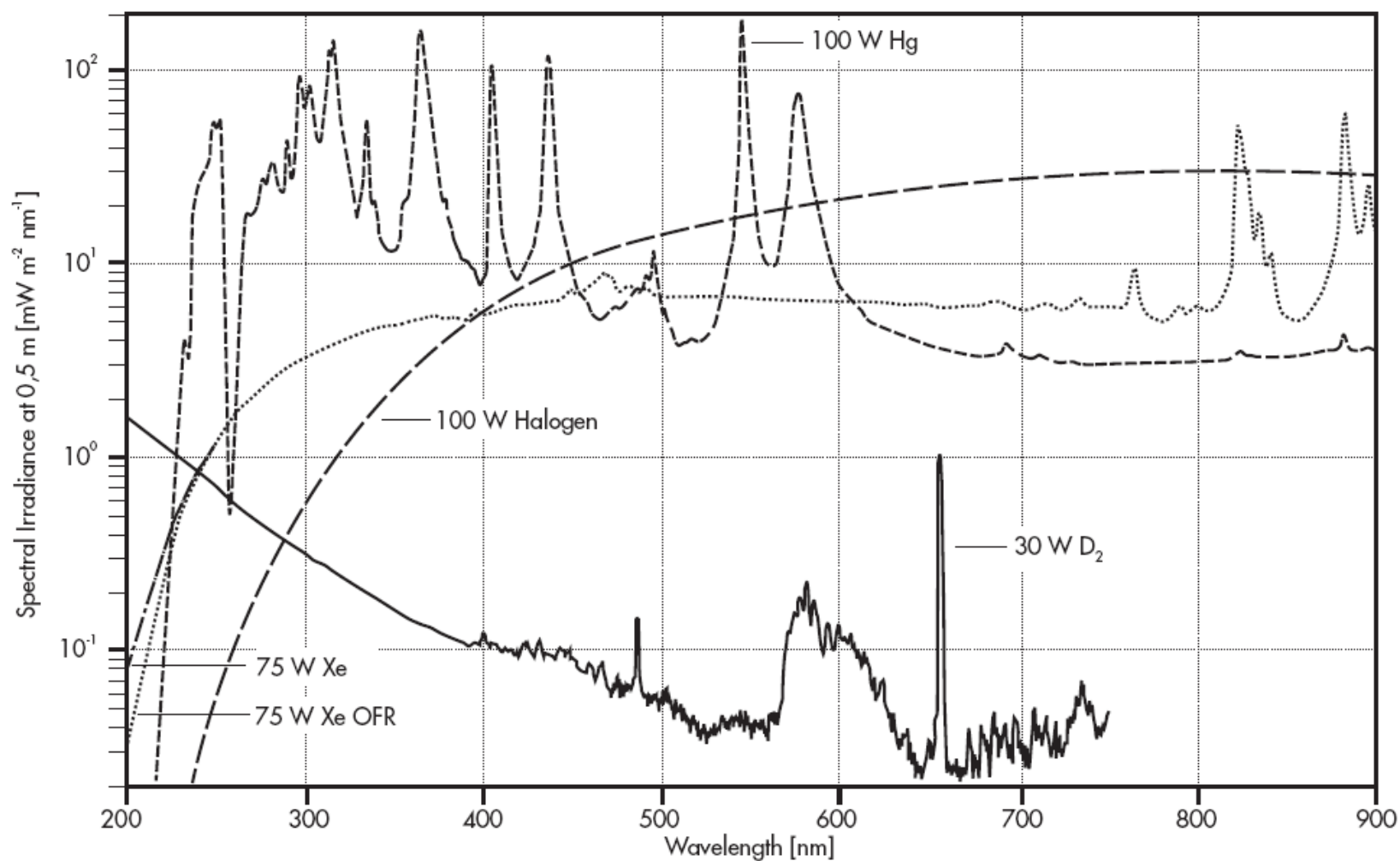


Fig.10.5 Overview of gas discharge lamps

Характерные спектры некогерентных источников



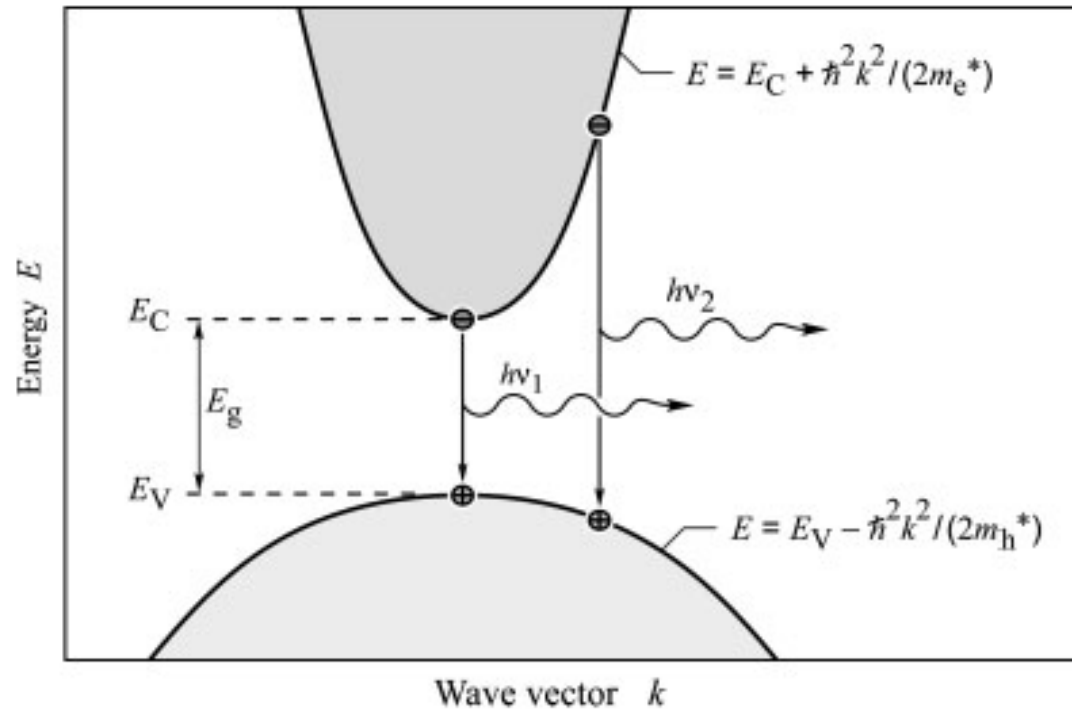
Светодиодные источники: принципы электролюминесценции

Рекомбинация возбужденных состояний инжектированных носителей в основное состояние с излучением фотона (излучательная рекомбинация)



Fig. 10.16 Schematic of a classical indicator and high-power illumination LED

Светодиоды (Light Emitting Diodes - LED)



Вероятность излучательной рекомбинации пропорциональна концентрациям электронов и дырок, $R = Bnp$, где $B \approx 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$

В приближении параболического закона дисперсии

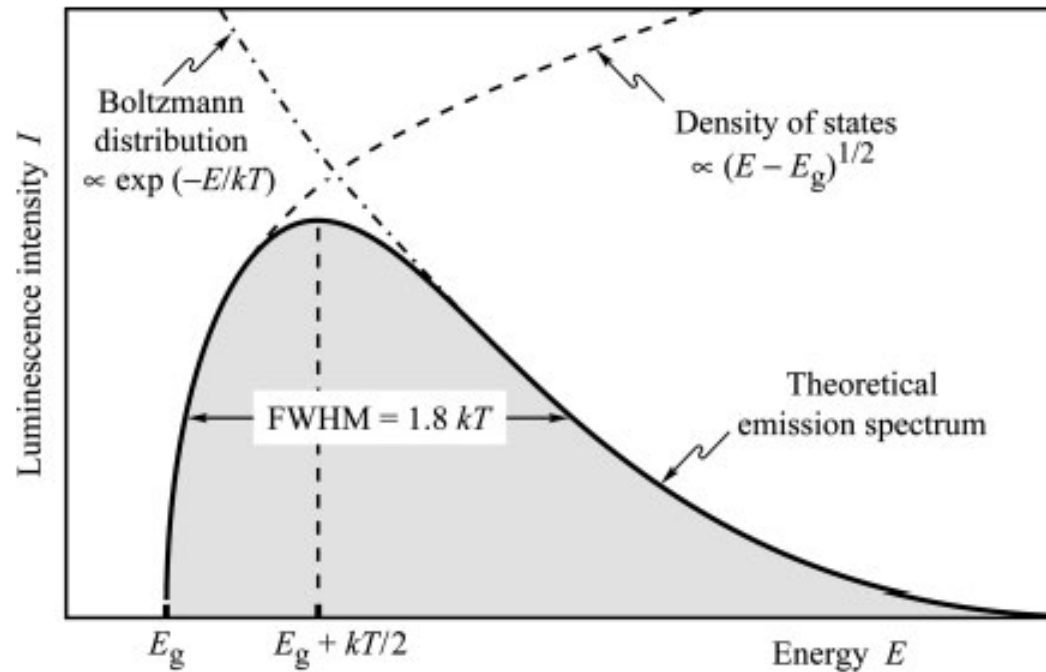
$$E = E_C + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e}, \quad E = E_V - \frac{\hbar^2 k^2}{2m_h}$$

полоса генерации светодиода порядка ширины запрещенной зоны

$$\hbar\omega \approx E_C - E_V + \frac{\hbar^2 k^2}{2} \left(\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h} \right) = E_g + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_r}$$

m_r - приведенная масса

Спектр излучения светодиода



пример:

GaAs :

$$E_g = 1,42 \text{ eV},$$

$$\lambda_{\max} = 870 \text{ nm},$$

$$\Delta E = 46 \text{ meV},$$

$$\Delta \lambda = 28 \text{ nm}$$

Разностная плотность состояний носителей

$$\rho(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m_r}{\hbar^2} \right)^{3/2} \sqrt{E - E_g}$$

плотность носителей в зонах определяется распределением Больцмана

$$f_B(E) = e^{-E/(kT)}$$

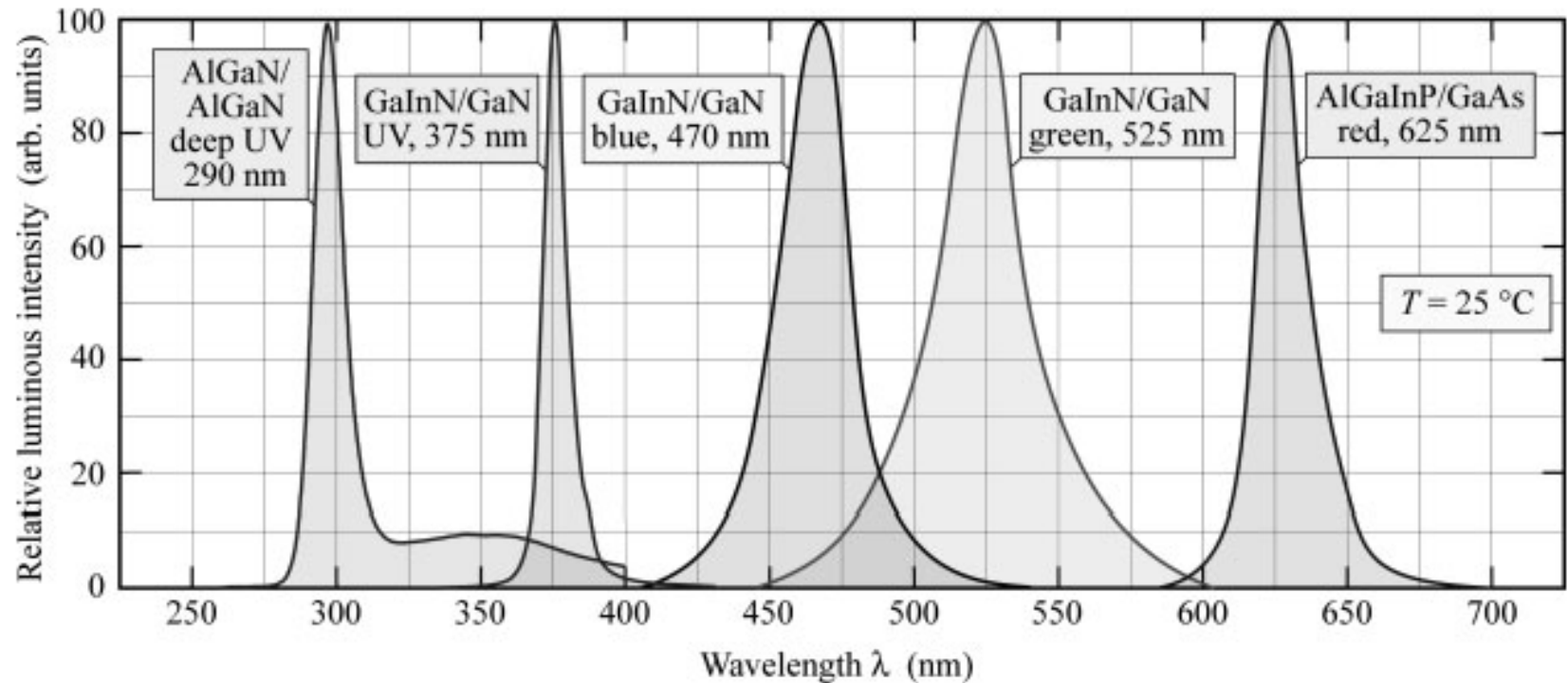
интенсивность люминесценции определяется их произведением

$$I(E) \propto \sqrt{E - E_g} e^{-E/(kT)}$$

максимум интенсивности достигается при $E_{\max} = E_g + kT / 2$

ширина спектра на полувысоте $\Delta E = 1.8 kT$

Спектр излучения различных светодиодов



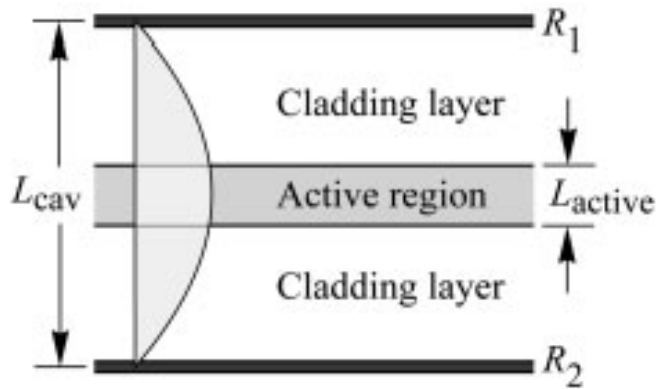
Механизмы уширения спектров светодиодов:

- термический: $\Delta E = 1.8 kT$
- флуктуации концентраций в сплавах: $\Delta E = (3 \div 8) kT$

Временные характеристики:

- время жизни носителей – $1 \div 100\text{ ns}$
- частоты работы оптоволоконных каналов связи со светодиодами в качестве передающего устройства - $1\text{ Gbit} / s$

Светодиоды с вертикальными резонаторами

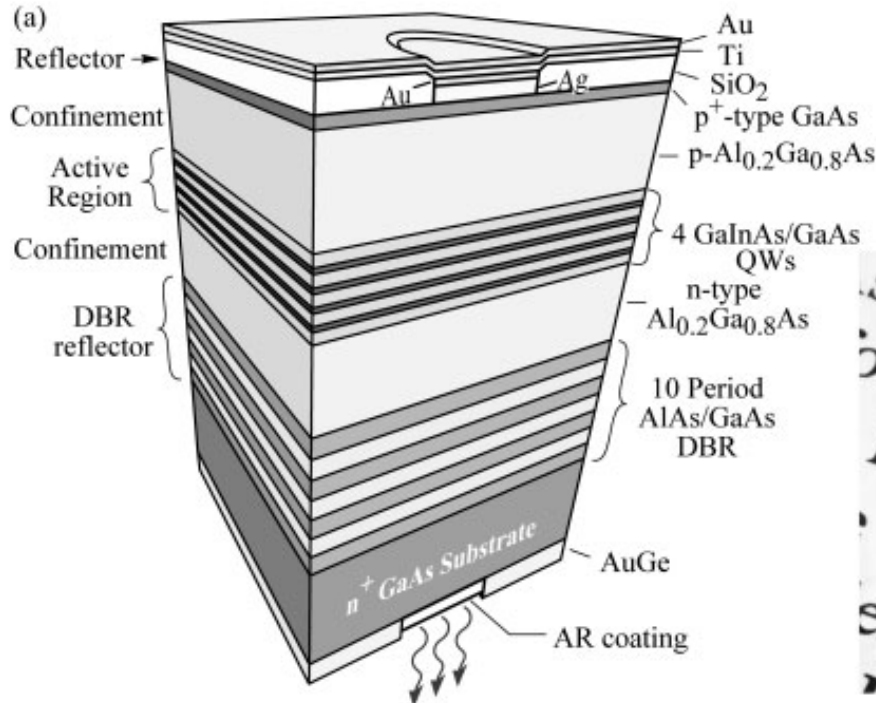


Скорость спонтанного излучения определяется скоростью излучения в одну оптическую моду и плотностью мод:

$$W_{spont} = \tau_{spont}^{-1} = \int_0^{\infty} W_{spont}^{(l)} \rho(\nu_l) d\nu_l$$

В однородном случае, плотность мод на единицу длины на единичный частотный интервал

$$\rho(\nu) = \frac{2n}{c}$$



Светодиоды с вертикальными резонаторами

Плотность мод резонатора для излучения вдоль его оси:

$$\rho(\nu) = \frac{(R_1 R_2)^{3/4}}{T_1 T_2} \frac{4n}{c} \left(1 - \sqrt{R_1 R_2}\right) T(\nu)$$

где коэффициент пропускания резонатора Фабри-Перо

$$T(\nu) = \frac{T_1 T_2}{1 + R_1 R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2} \cos(4\pi n L_{cav} / c)}$$

В максимуме коэффициента отражения

$$\rho_{\max} = \frac{(R_1 R_2)^{3/4}}{(1 - \sqrt{R_1 R_2})} \frac{4n}{c}$$

Добротность резонатора

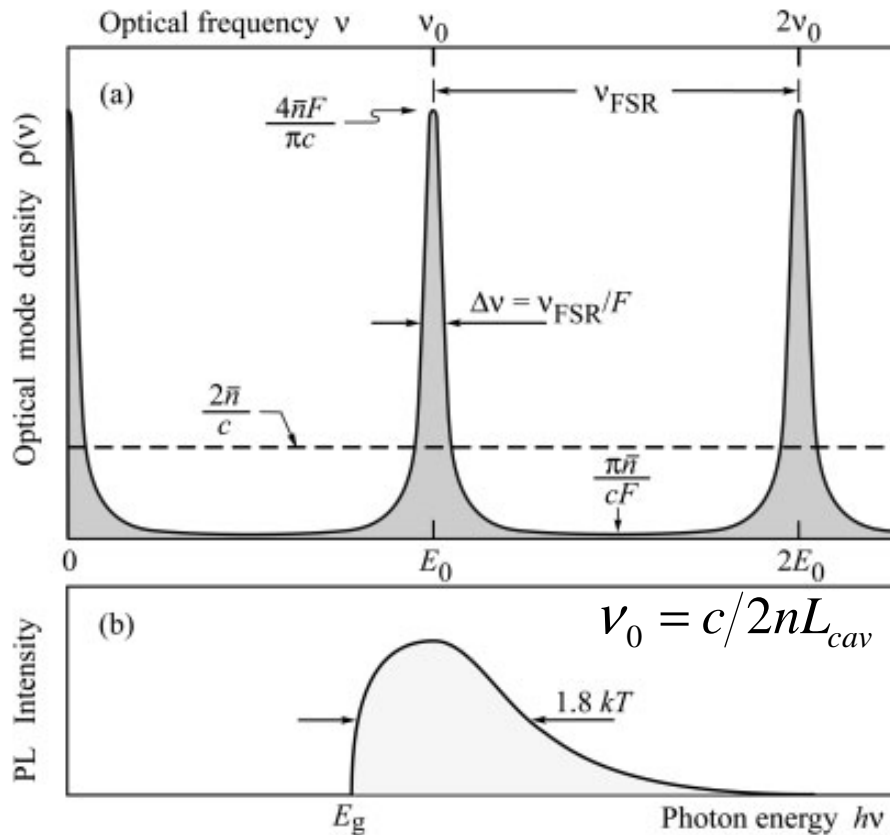
$$F = \frac{\pi}{1 - \sqrt{R_1 R_2}}$$

тогда

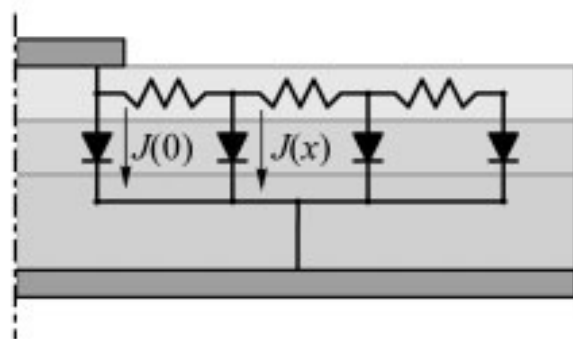
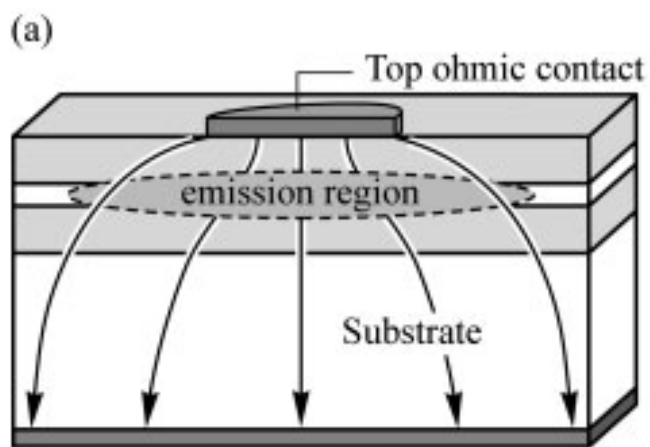
$$\rho_{\max} \approx \frac{4n}{\pi c} F$$

увеличение плотности мод

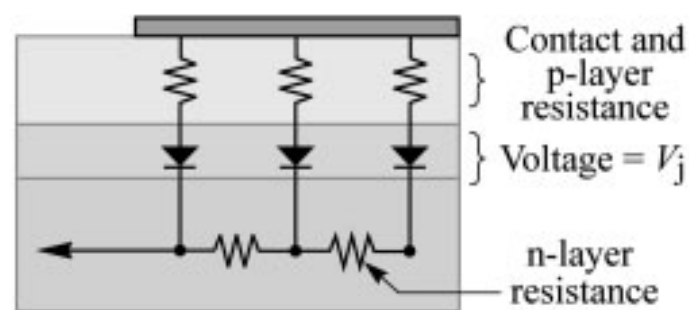
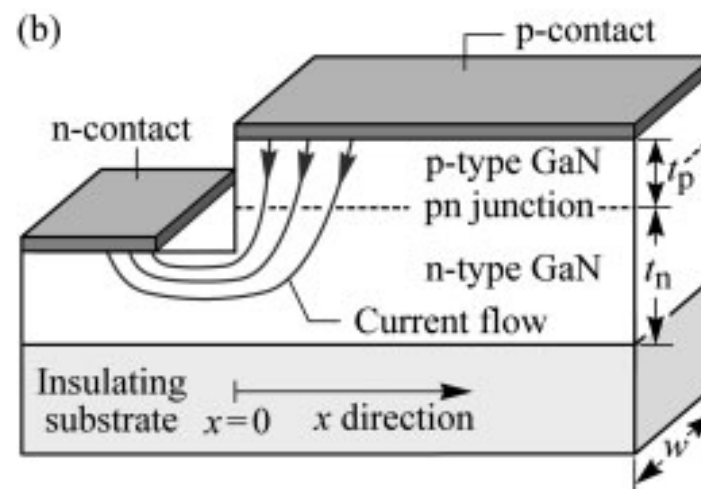
$$\frac{\rho_{\max}}{\rho} \approx \frac{2}{\pi} F$$



Схемы электрической накачки светодиодов



проводящая подложка



диэлектрическая подложка

Светодиодные источники белого света

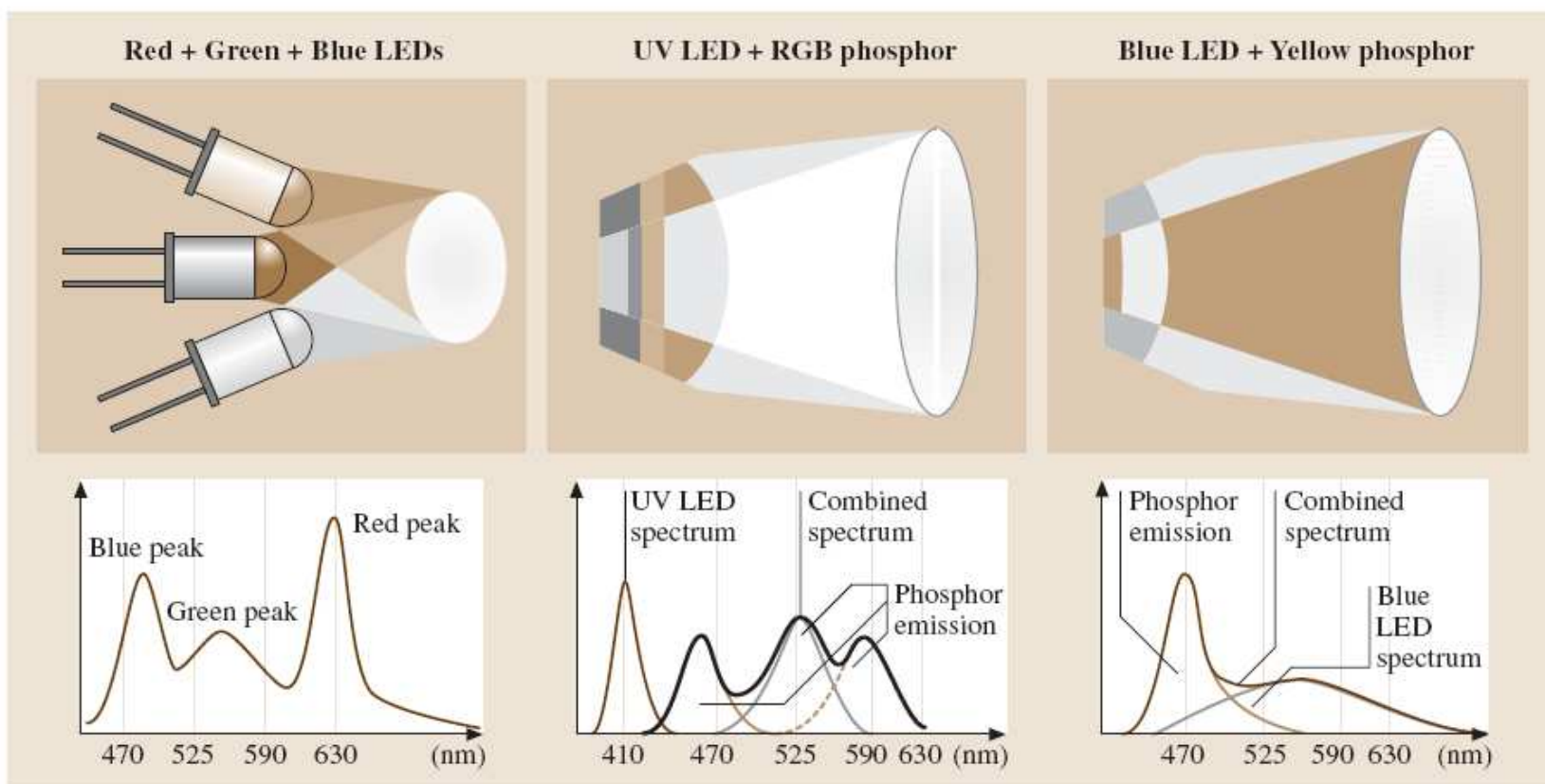


Fig. 10.20 Summary of different methods of generating white light with LEDs