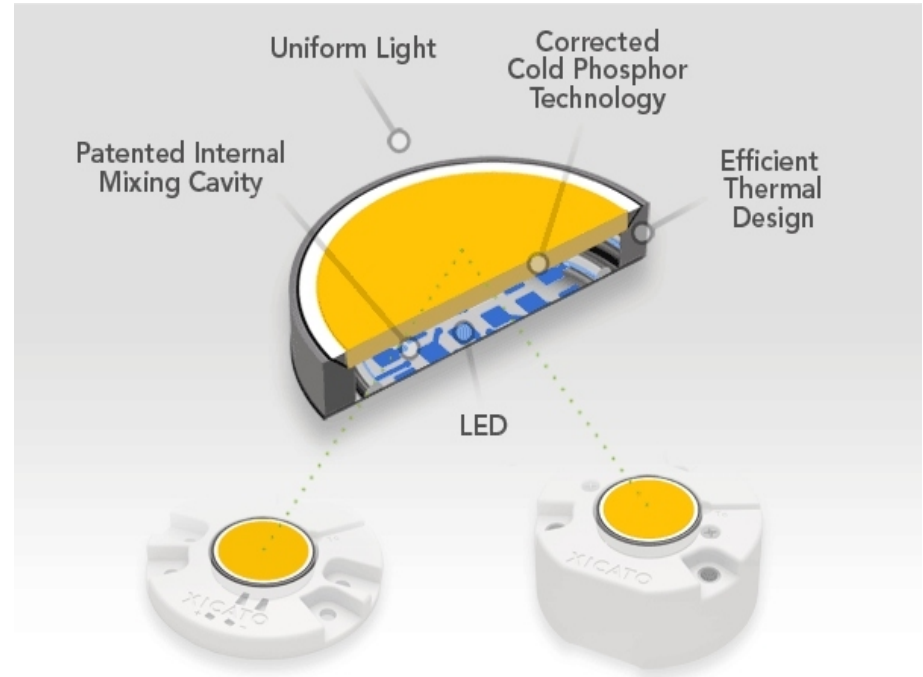
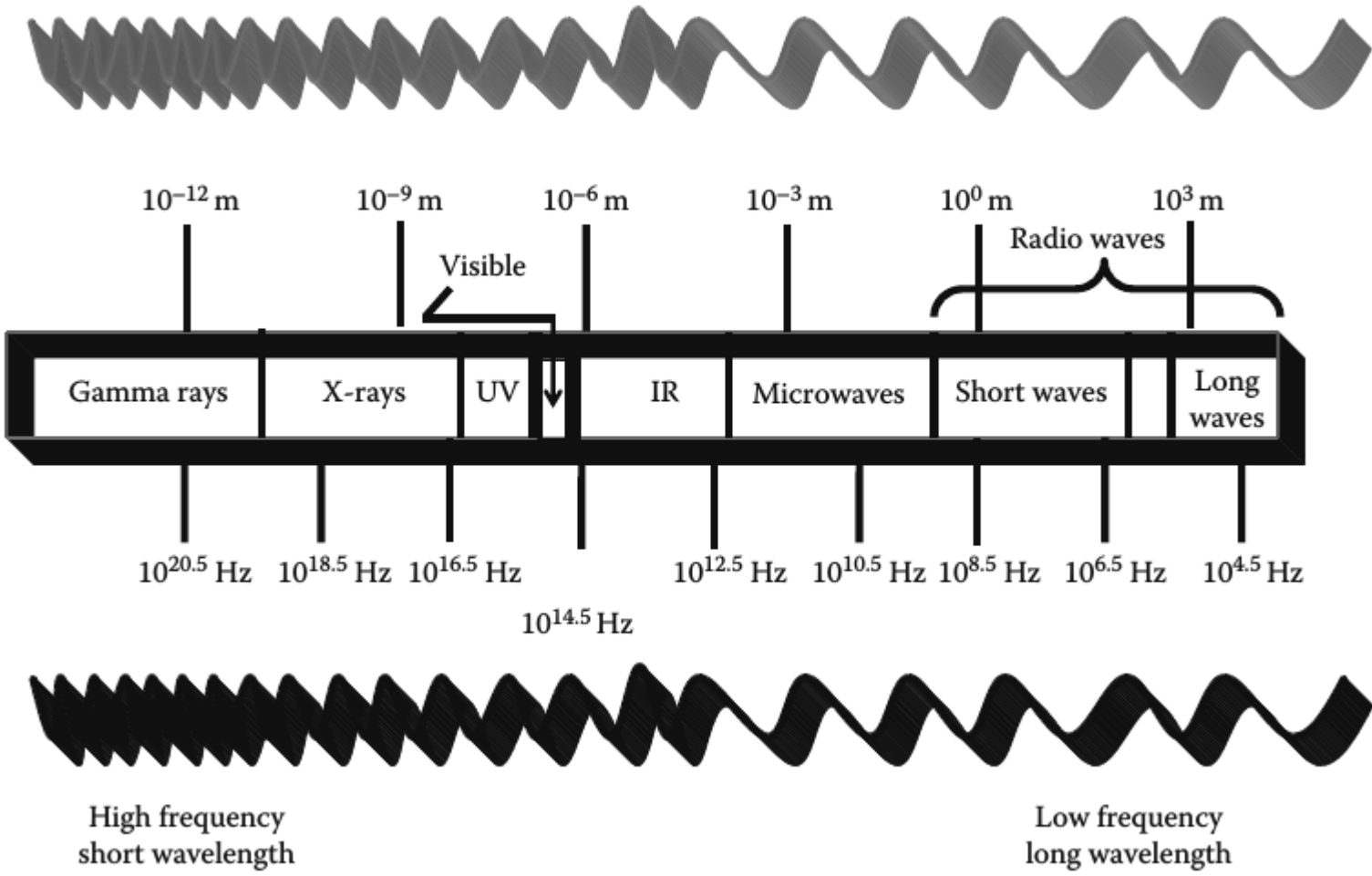


Излучатели света. Светодиоды



Введение

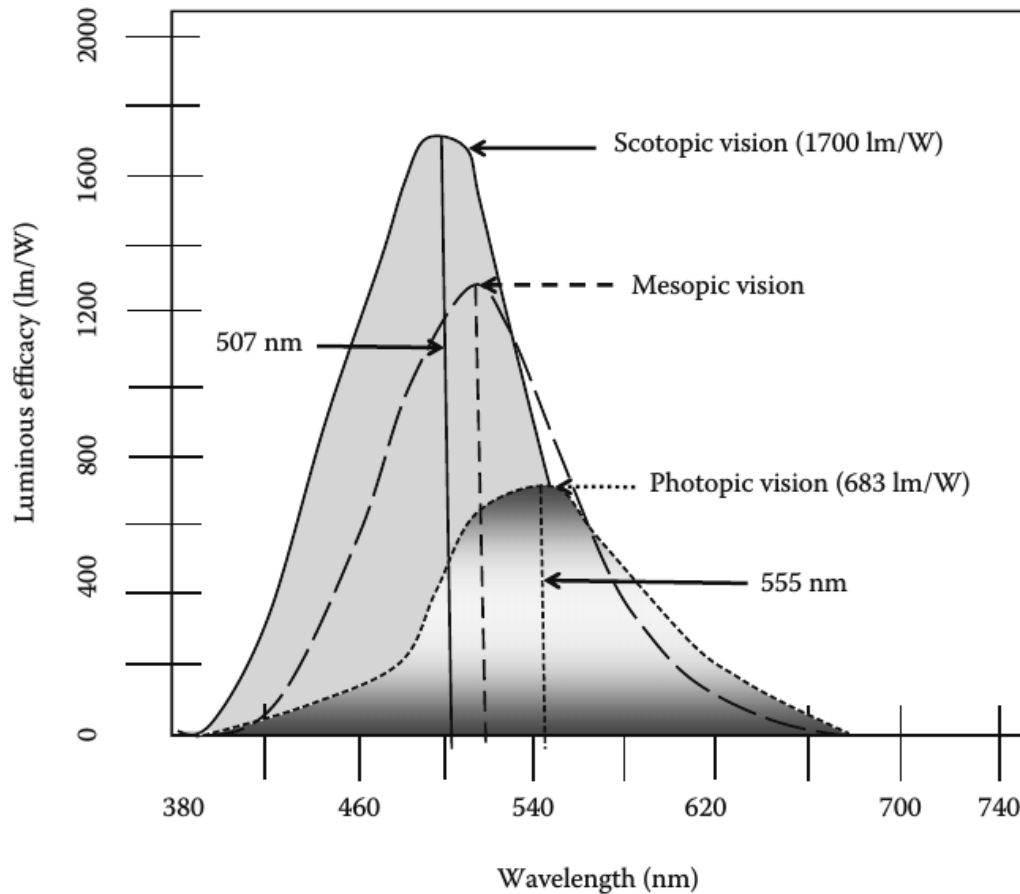


Введение

Зрение — палочки и колбочки

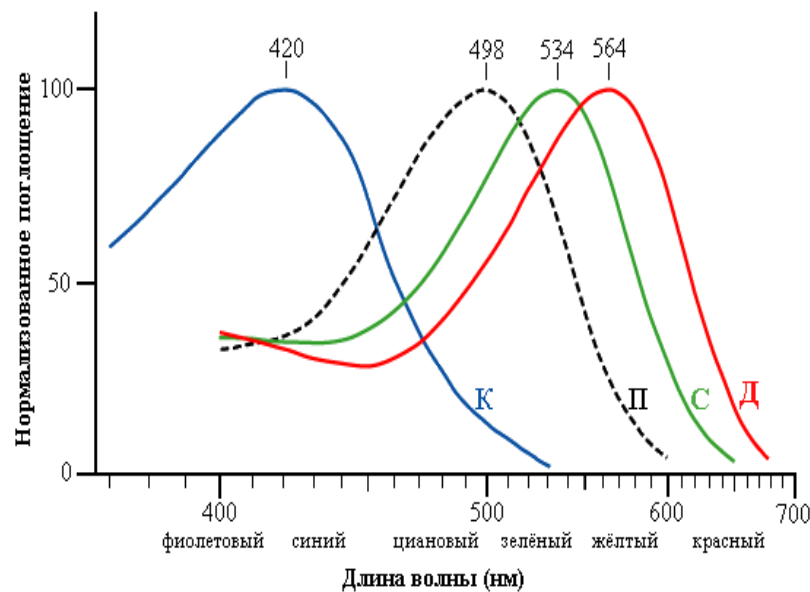
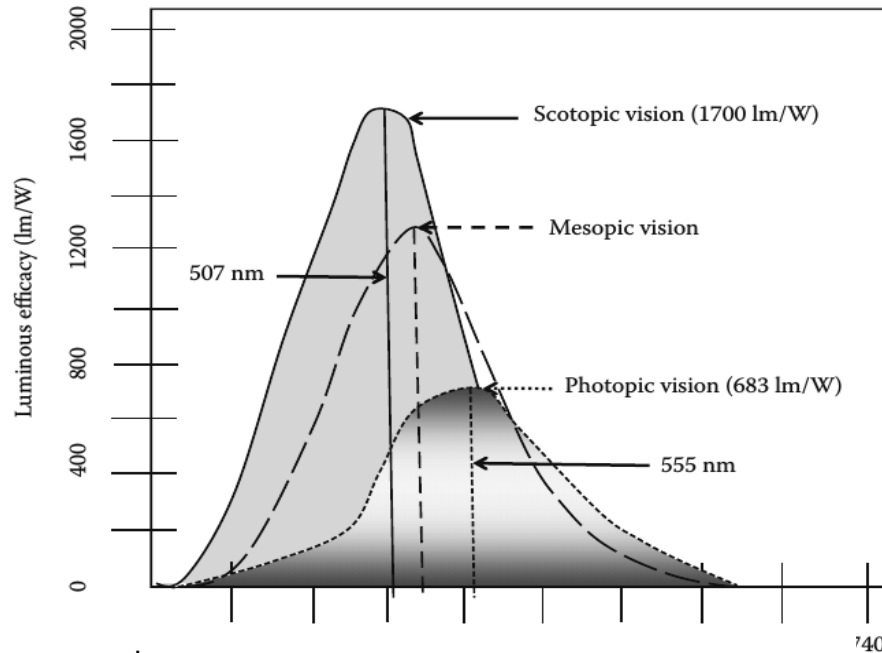
Палочки — скотопическое зрение, максимум чувствительности в области 498 нм, зрение в темноте

Колбочки — цветное зрение, максимальная чувствительность в зеленой области,



Feature	Photopic Vision	Scotopic Vision
Definition	Bright light vision	Night vision
Peak efficacy	683 lm/W	1700 lm/W
Wavelength at peak efficacy	555 nm or yellow green	510 nm or pure green

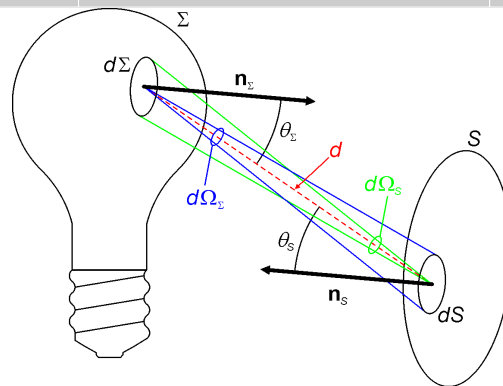
Введение



Колбочки S-типа чувствительны в фиолетово-синей (S от [англ. Short](#) — коротковолновый спектр), M-типа — в зелено-желтой (M от [англ. Medium](#) — средневолновый), и L-типа — в желто-красной (L от [англ. Long](#) — длинноволновый) частях спектра. Наличие этих трёх видов колбочек (и палочек, чувствительных в изумрудно-зелёной части спектра) даёт человеку цветное зрение.

Введение. Фотометрия

	Величина			
	Световой поток (Luminous flux)	Сила света (Luminous intensity)	Освещенность (Illuminance)	Яркость (Luminance)
Определение	Количество света, испускаемого источником, в восприятии человека	Количество света, выходящего в заданный телесный угол	Количество света, попадающее на поверхность заданной площади	Количество света, падающего на поверхность заданной площади в заданном телесном угле
Размерность	Люмен, Лм (Lm)	Лм/стерадиан или Канделла	Лм/кв.метр или Люкс	Канделла/кв.м.



Введение. Цветовая температура

Характеристика хода **интенсивности излучения** источника **света** как функции **длины волны** в **оптическом** диапазоне. Согласно **формуле Планка**, цветовая температура определяется как **температура абсолютно чёрного тела**, при которой оно испускает излучение того же **цветового тона**, что и рассматриваемое излучение

TABLE 2.4 Color Temperature Chart of Familiar Sources of Light

Source	Color Temperature on Kelvin Scale	Source	Color Temperature on Kelvin Scale
Flame of a match stick	1700–1800 K	Sun at noon	5000–5400 K
High-pressure sodium lamp	1800 K	Clear metal halide lamp	5500 K
Flame of a candle	1850–1930 K	Average summer noon daylight	5500 K
Sunrise or sunset	2000–3000 K	Electronic photoflash	5500–5600 K
Domestic tungsten lamp	2500–2900 K	Sun through clouds	5500–6500 K
40 W Incandescent lamp	2680 K	Overcast sky	6000–6500 K
200 W Incandescent lamp	3000 K	Shade in daylight	6500 K
Halogen lamp	3000 K	Shade from blue sky	7500 K
Fluorescent lamp	3200–7500 K	Partly cloudy sky	8000–10,000 K
1 h from dawn or dusk	3400 K	Clear blue sky	10,000–15,000 K

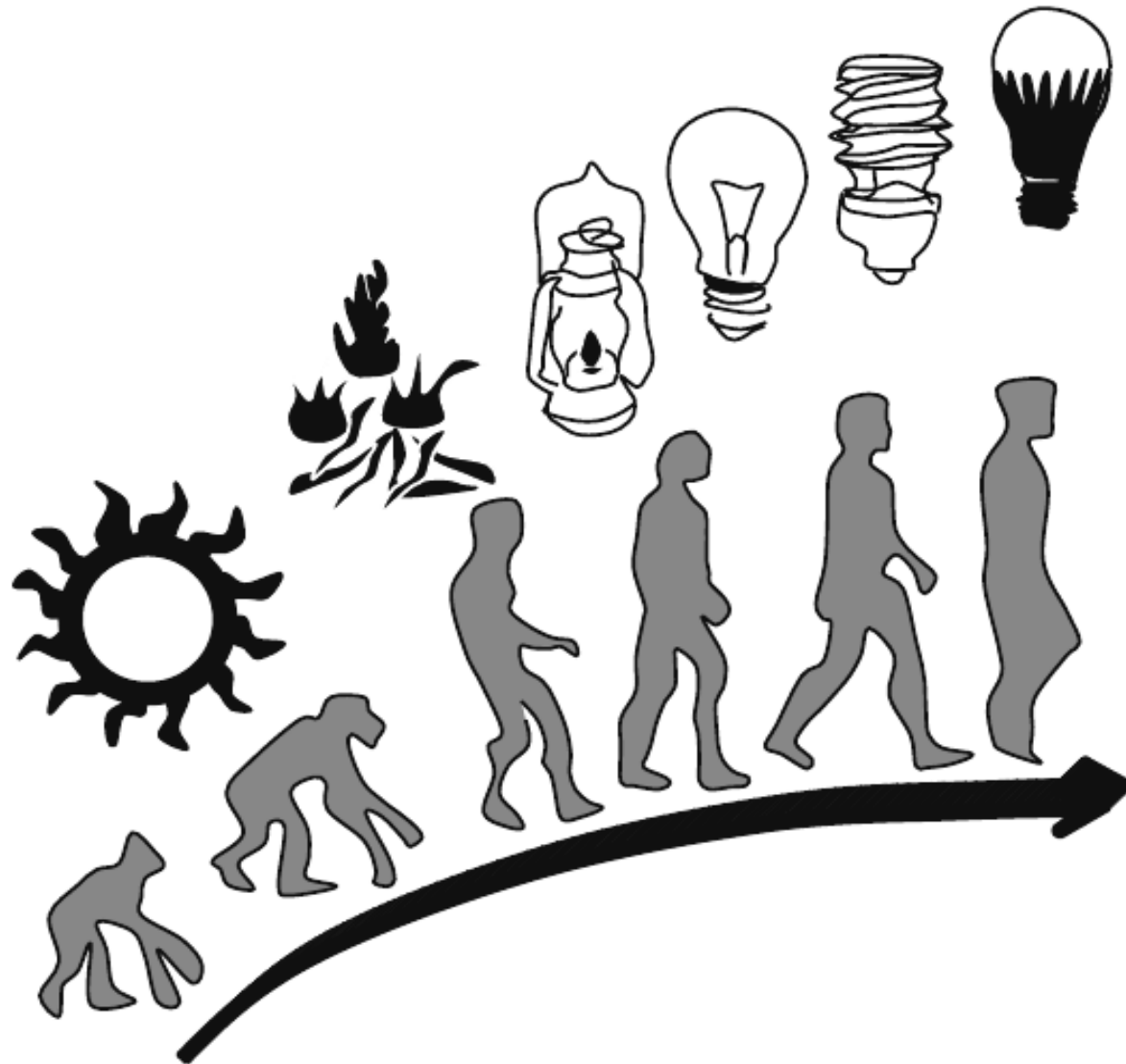
Введение. Цветовая температура

$$R(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1},$$

TABLE 2.4 Color Temperature Chart of Familiar Sources of Light

Source	Color Temperature on Kelvin Scale	Source	Color Temperature on Kelvin Scale
Flame of a match stick	1700–1800 K	Sun at noon	5000–5400 K
High-pressure sodium lamp	1800 K	Clear metal halide lamp	5500 K
Flame of a candle	1850–1930 K	Average summer noon daylight	5500 K
Sunrise or sunset	2000–3000 K	Electronic photoflash	5500–5600 K
Domestic tungsten lamp	2500–2900 K	Sun through clouds	5500–6500 K
40 W Incandescent lamp	2680 K	Overcast sky	6000–6500 K
200 W Incandescent lamp	3000 K	Shade in daylight	6500 K
Halogen lamp	3000 K	Shade from blue sky	7500 K
Fluorescent lamp	3200–7500 K	Partly cloudy sky	8000–10,000 K
1 h from dawn or dusk	3400 K	Clear blue sky	10,000–15,000 K

Введение

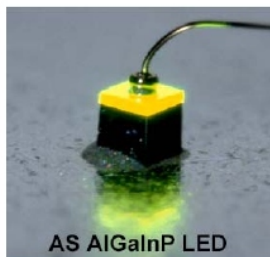


Введение. История

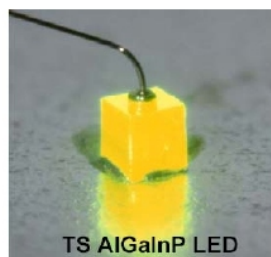
Открытие светодиода — 1927 г. Олег Владимирович Лосев.
Электролюминесценция на контакте SiC — металл и ZnO - металл



Transparency Substrate



AS AlGaInP LED



TS AlGaInP LED

Source: <http://www.lumileds.com/pdfs/techpaperspres/intertch2000.PDF>

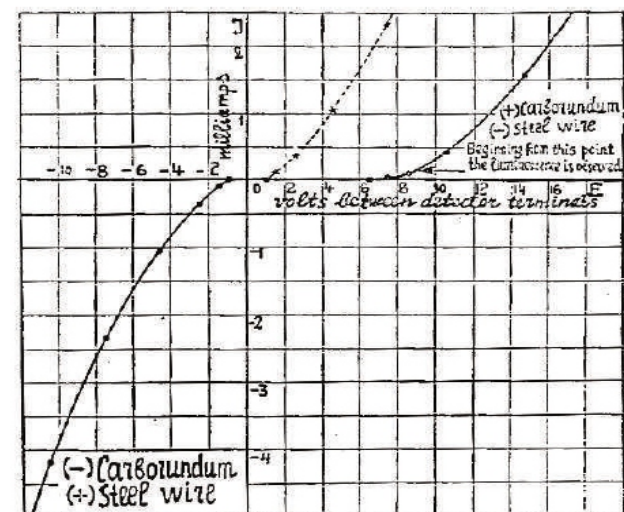
GII. *Luminous Carborundum Detector and Detection Effect and Oscillations with Crystals.* By O. V. LOSSEV *.

[Plates XVII.-XX.]

ABSTRACT.

In this paper are described further observations on the phenomenon of the luminescence produced at the contact of a carborundum detector in connexion with a view on luminescence as a consequence of the process in the contact which is very similar to cold electronic discharge.

A facsimile of the abstract of Losev's paper published in the *Philosophical Magazine* in 1928 (ref. 7). This work describes detailed studies of LEDs.



Введение. История

Технология промышленного изготовления светодиодов -
Ник Холоньяк — 1963 г. General Electric

Volume 1, Number 4

APPLIED PHYSICS LETTERS

1 December 1962

COHERENT (VISIBLE) LIGHT EMISSION FROM $\text{Ga}(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)$ JUNCTIONS*

Nick Holonyak, Jr. and S. F. Bevacqua

Advanced Semiconductor Laboratory

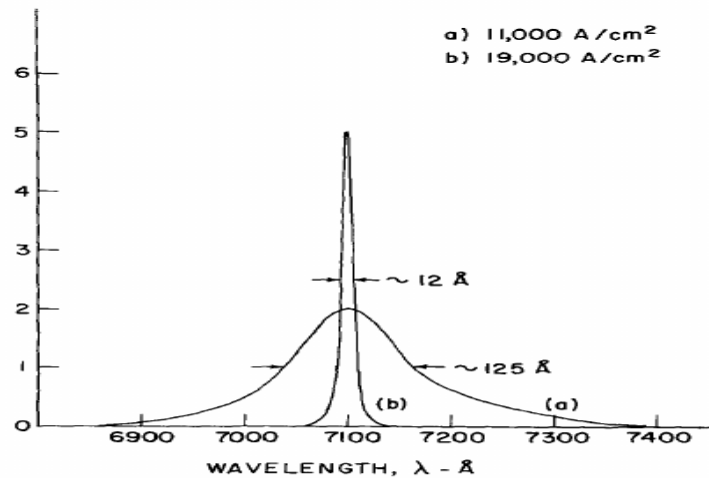
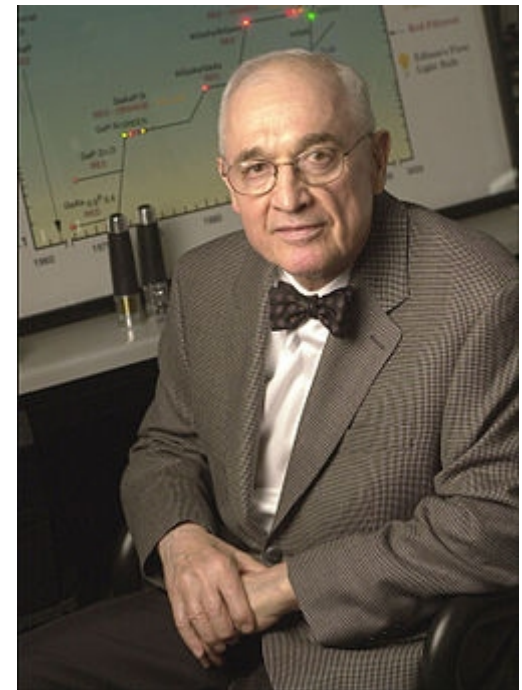


Fig. 1. Spectral distribution of $\text{Ga}(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)$ diode 28A at 77°K. (a) Below threshold (11,000 A/cm²) and (b) above threshold (19,000 A/cm²). Different vertical scales.



Введение. История

- 1968 год компания Монсанто — массовый выпуск светодиодов GaAsP
-
- 1994 год - первый белый светодиод.

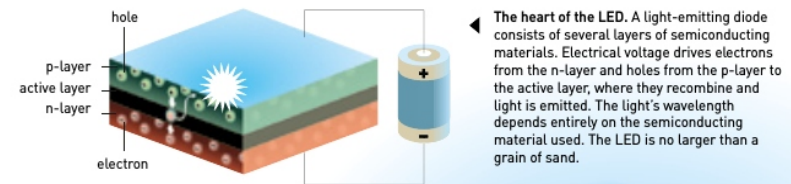
1994 First WLED. Shuji Nakamura, Nichia Corporation, Japan, demonstrated the first high-brightness blue LED based on InGaN; he is regarded as the inventor of the blue LED.

2014 год — Нобелевская премия по физике
Награждены за изобретение нового
энергоэффективного и экологически чистого
источника света — синего светодиода

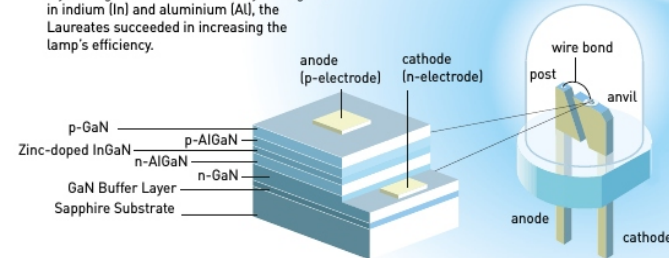
Введение. История

- 1994 год - первый белый светодиод.

2014 год — Нобелевская премия по физике
Награждены за изобретение нового энергоэффективного и экологически чистого источника света — синего светодиода



Blue LED lamp. The light-emitting diode in this lamp consists of several different layers of gallium nitride (GaN). By mixing in indium (In) and aluminium (Al), the Laureates succeeded in increasing the lamp's efficiency.



Введение. История

- 1994 год - первый белый светодиод.

2014 год — Нобелевская премия по физике
Награждены за изобретение нового энергоэффективного и экологически чистого источника света — синего светодиода



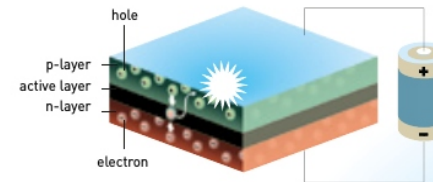
Isamu Akasaki
Meijo University, Nagoya, Japan
Nagoya University, Japan



Hiroshi Amano
Nagoya University, Japan

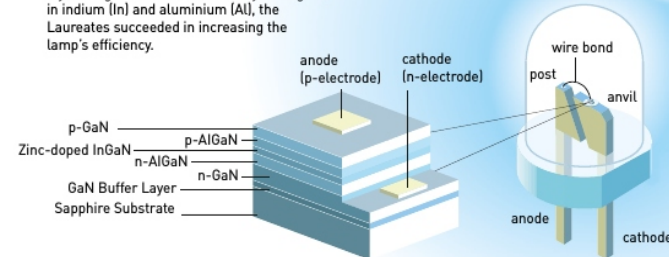


Shuji Nakamura
University of California,
Santa Barbara, CA, USA



◀ The heart of the LED. A light-emitting diode consists of several layers of semiconducting materials. Electrical voltage drives electrons from the n-layer and holes from the p-layer to the active layer, where they recombine and light is emitted. The light's wavelength depends entirely on the semiconducting material used. The LED is no larger than a grain of sand.

▶ Blue LED lamp. The light-emitting diode in this lamp consists of several different layers of gallium nitride (GaN). By mixing in indium (In) and aluminium (Al), the Laureates succeeded in increasing the lamp's efficiency.



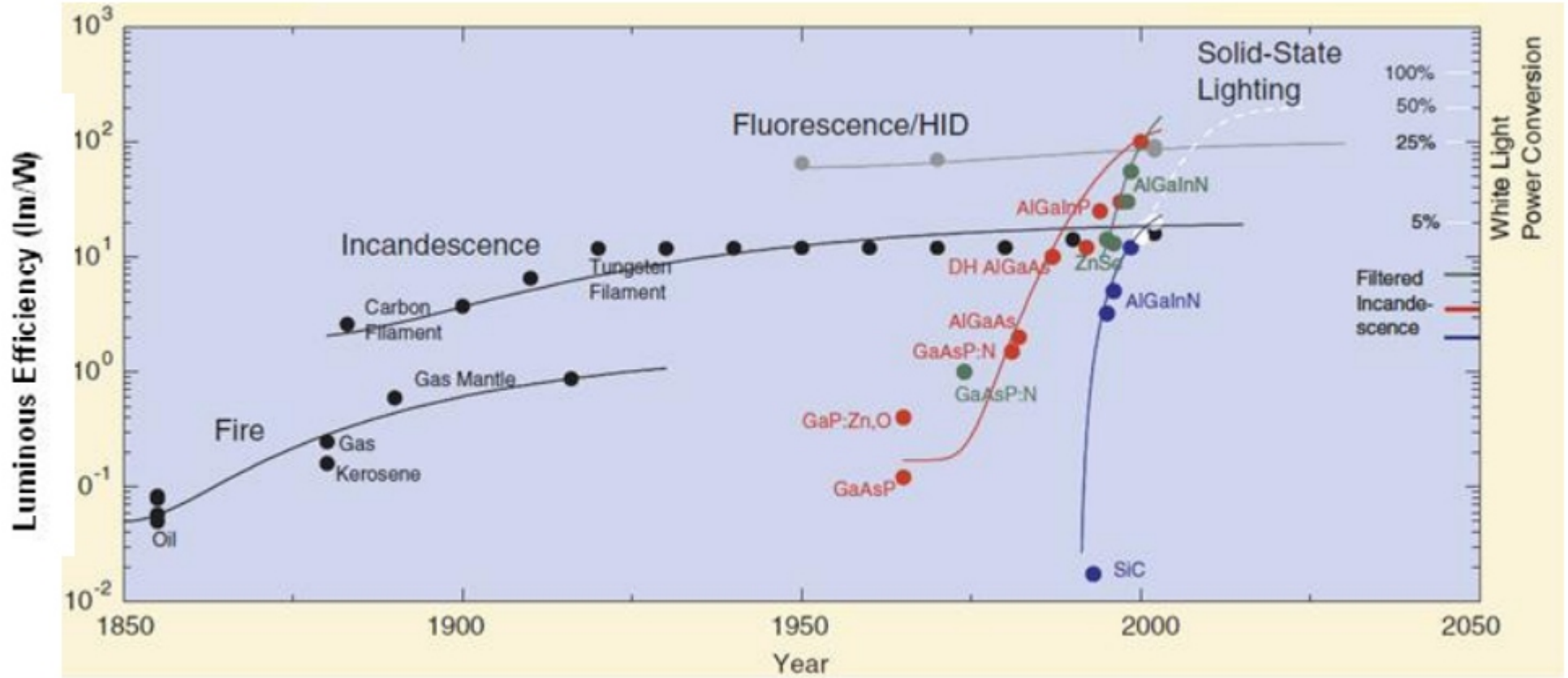
Введение. История

Color of Light	Wavelength (nm)	Semiconductor Material	Year
IR	850–940	GaAs	Mid-1970s
Yellow	585–595	GaP	Mid-1970s
Red	630–660	GaAsP and AlGaAs	Mid-1980s
Green	550–570	InGaN	Mid-1990s
Blue	430–505	InGaN	Mid-1990s
White	450 ^a	InGaN + phosphor (or red–green–blue–white)	Mid-1990s

TABLE 1.4 GaAs, GaAsP, and GaP LEDs: A Comparison

Property	GaAs LEDs	GaAsP LEDs	GaP LEDs
Emission region	Invisible (IR)	Visible (red)	Visible (yellow)
Forward voltage	1.4 V	2 V	3 V
Rating	Milliwatts	Millicandelas (1000 mcd = 1 cd and cd = lumen/beam coverage)	Millicandelas

LED



LED. Принцип работы

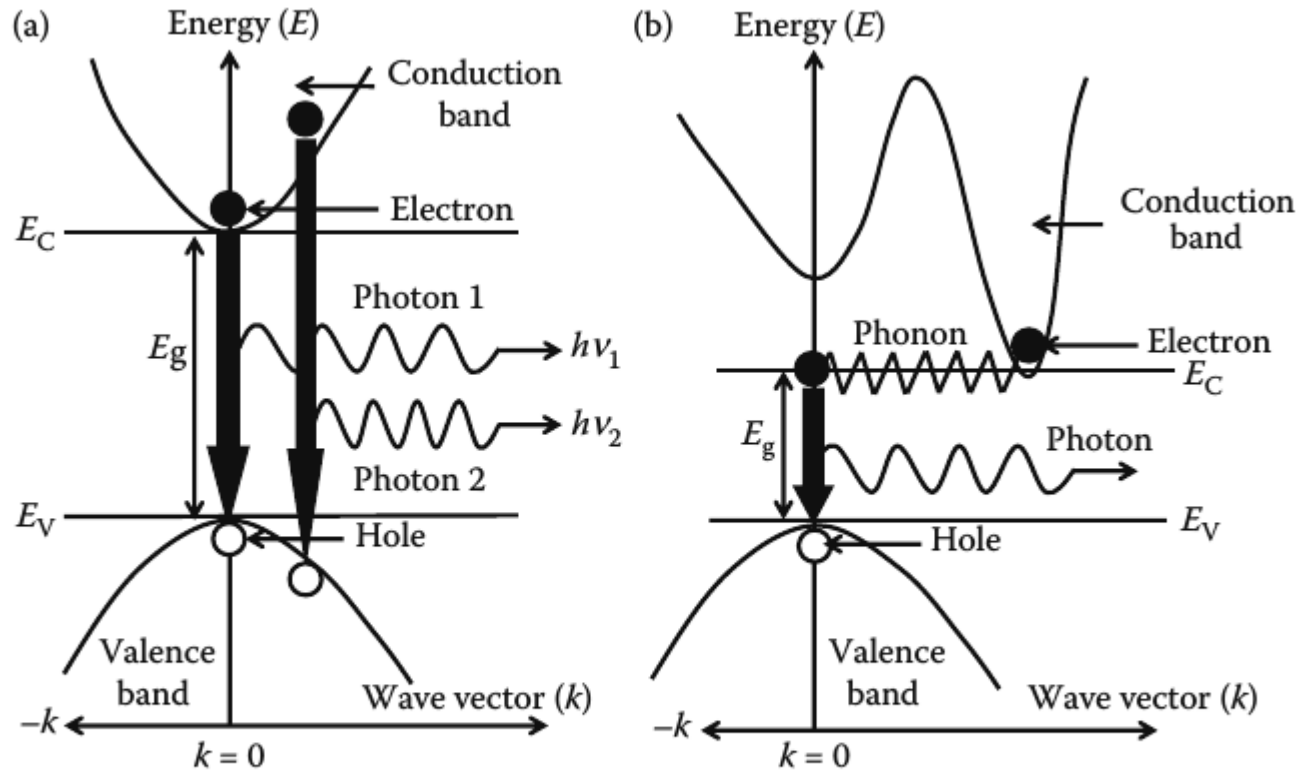
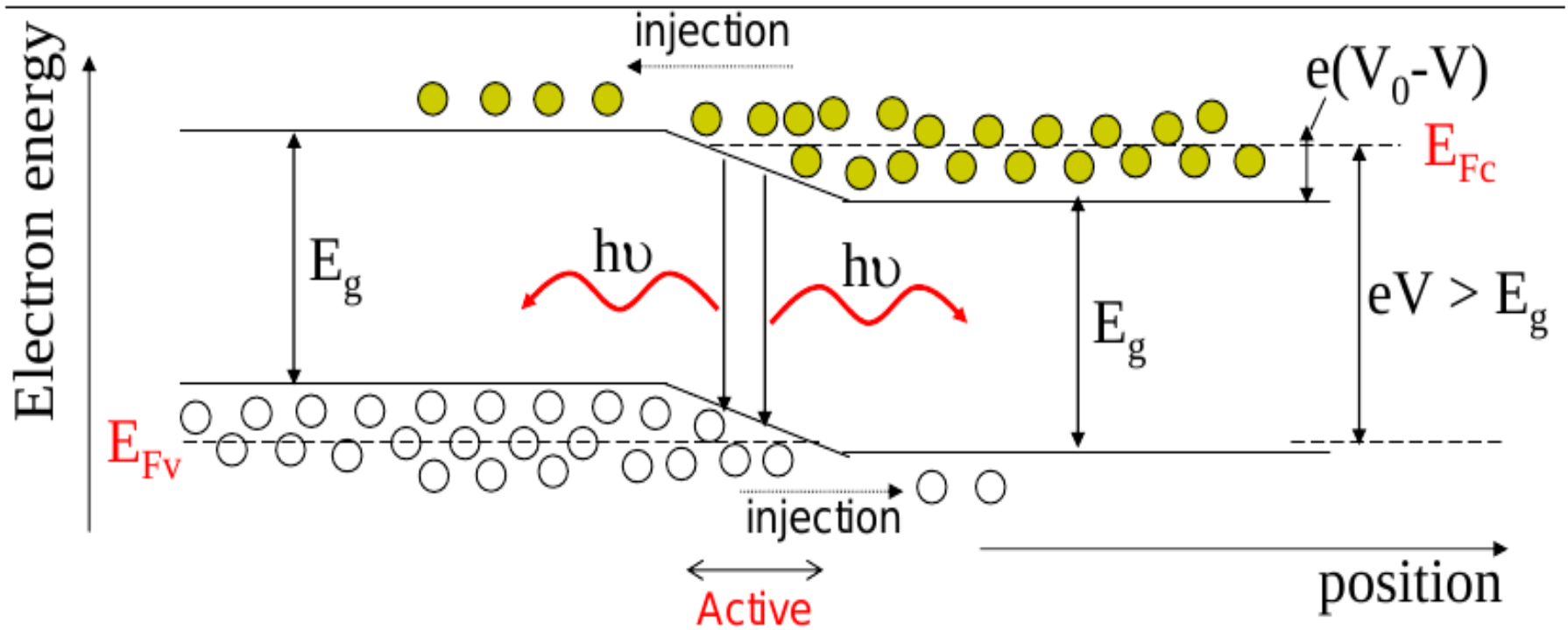


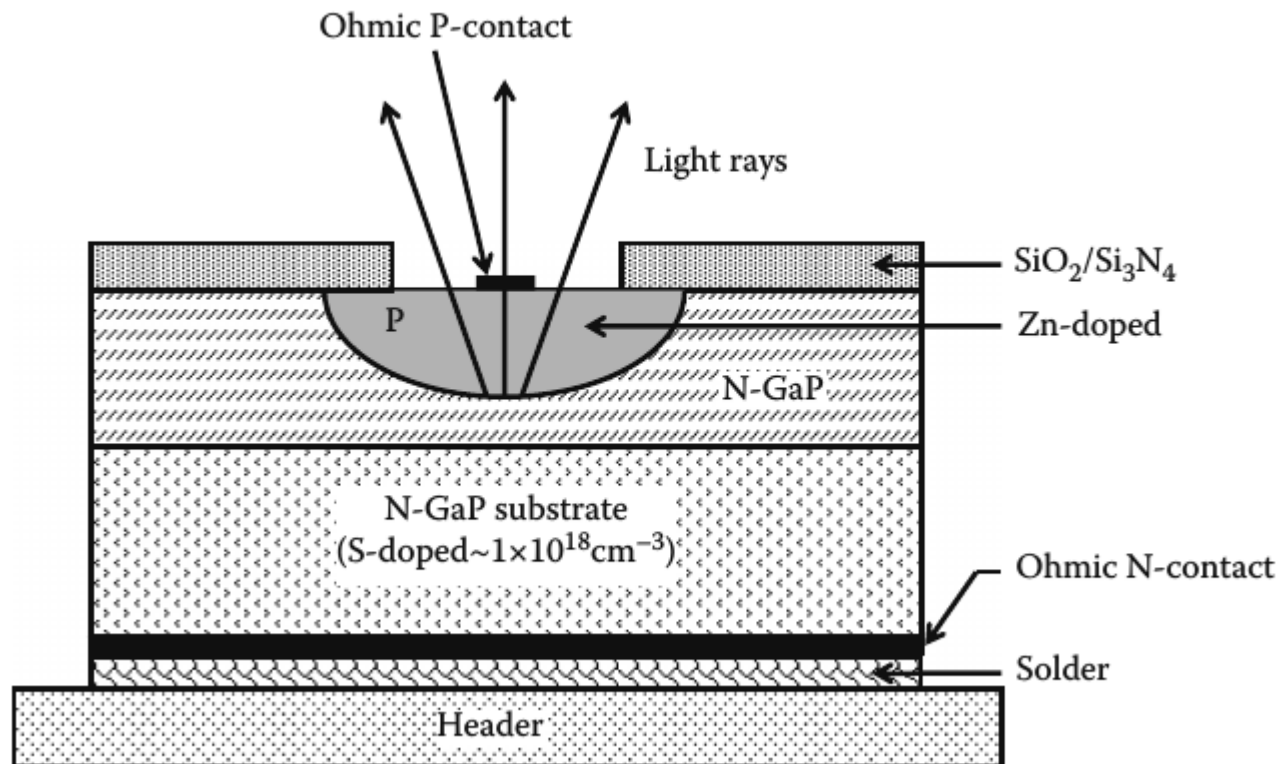
FIGURE 4.1 Energy-band diagrams: (a) direct bandgap and (b) indirect bandgap semiconductor.

$$h\nu_1 = E_g = E_c - E_v$$

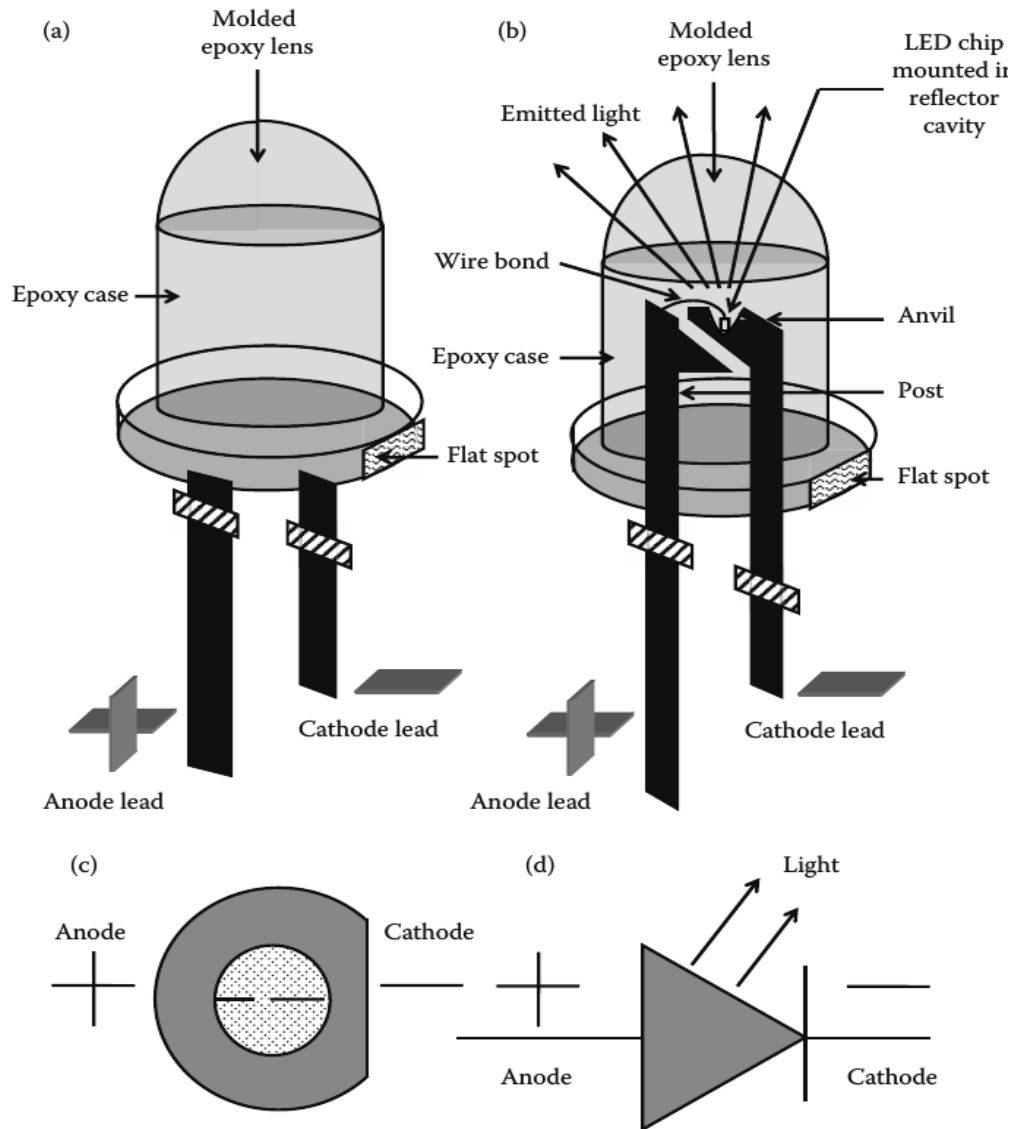
LED. Красный диод



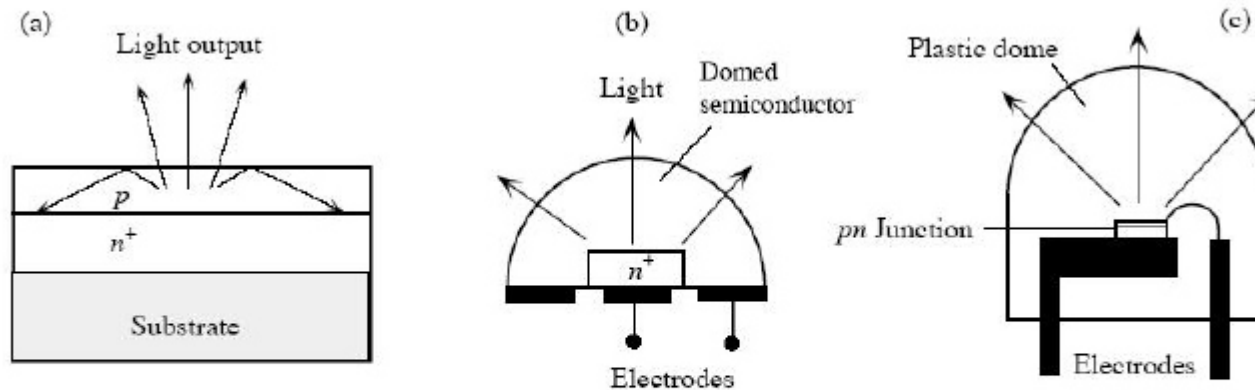
LED. Красный диод



LED. Красный диод

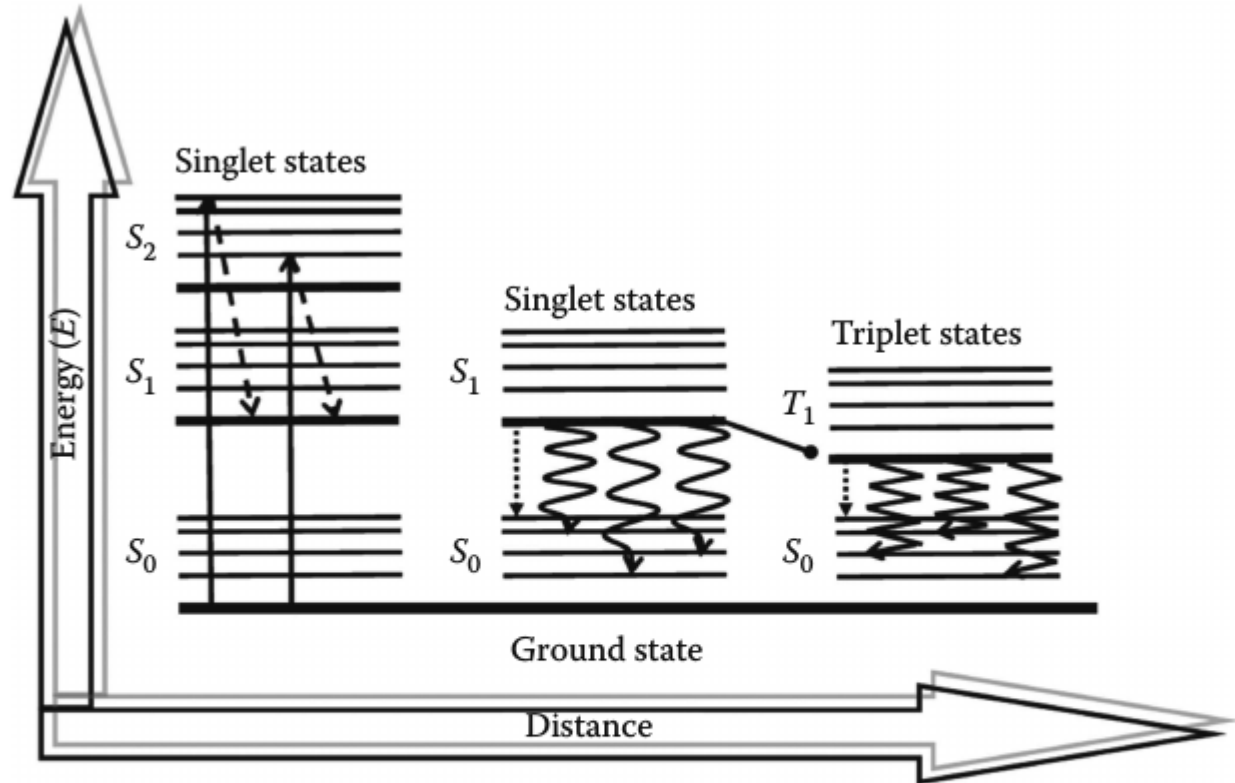


LED



(a) Some light suffers total internal reflection and cannot escape. (b) Internal reflections can be reduced and hence more light can be collected by shaping the semiconductor into a dome so that the angles of incidence at the semiconductor-air surface are smaller than the critical angle. (c) An economic method of allowing more light to escape from the LED is to encapsulate it in a transparent plastic dome.

LED



- | | | | |
|----------------------------|--|---------------------------|--|
| Absorption (10^{-15} s) | Thermal relaxation and internal conversion (10^{-12} s) | Nonradiative deactivation | Inter system crossing |
| | | | Fluorescence (10^{-9} s) |
| | | | Phosphorescence $\sim 10^{-6} - 10^{-3}$ s |

LED. Принцип работы

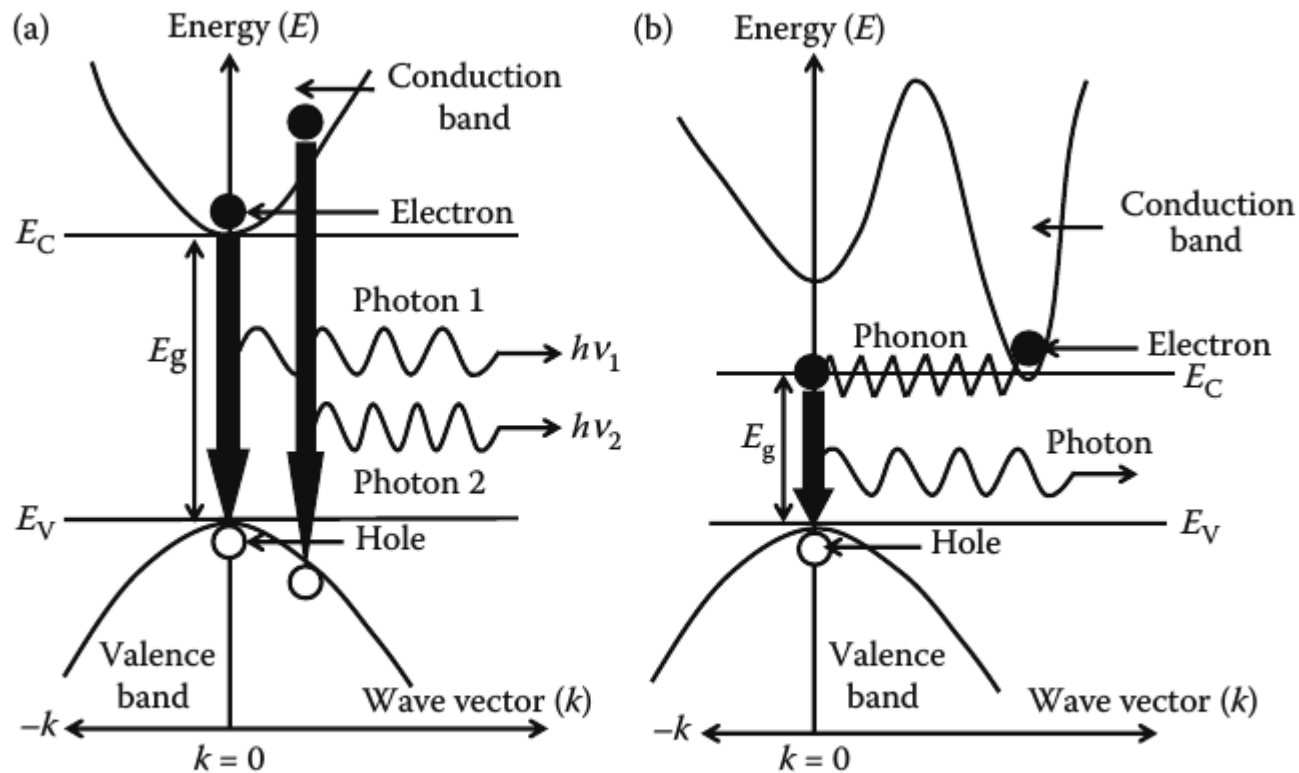
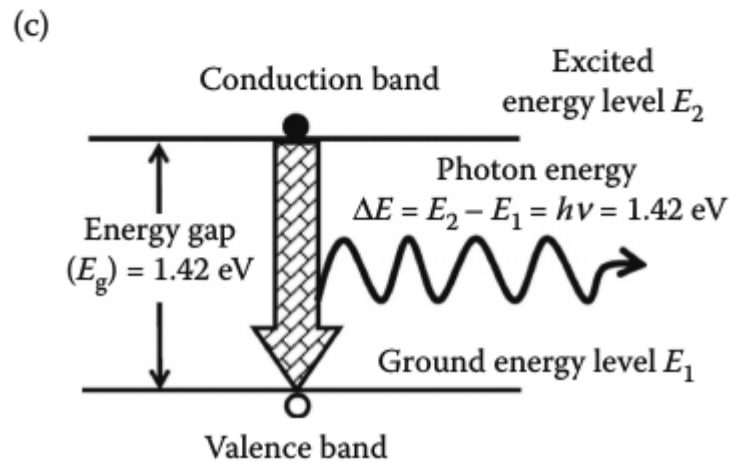
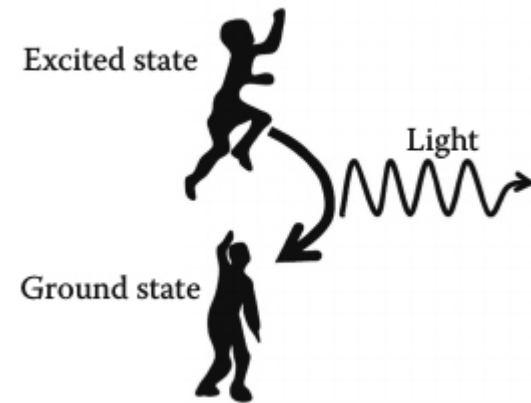
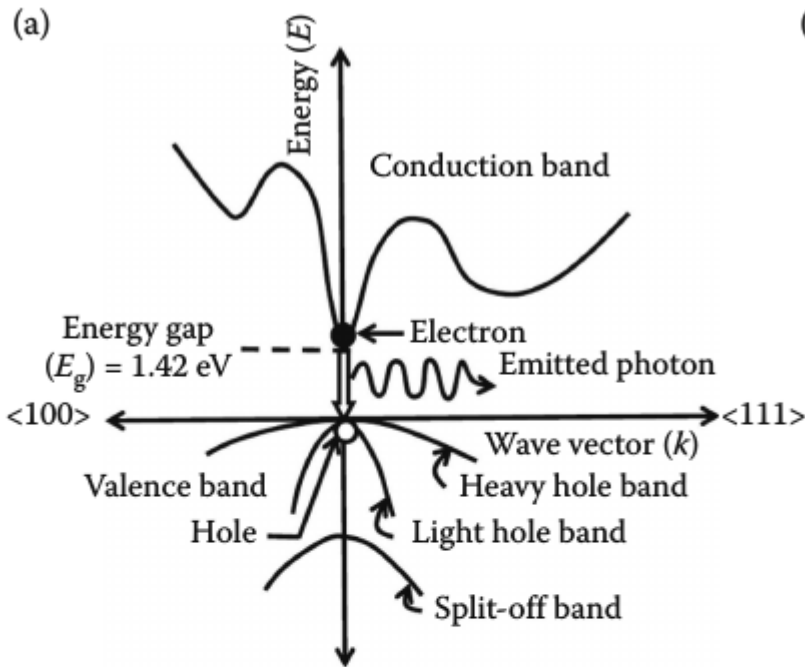


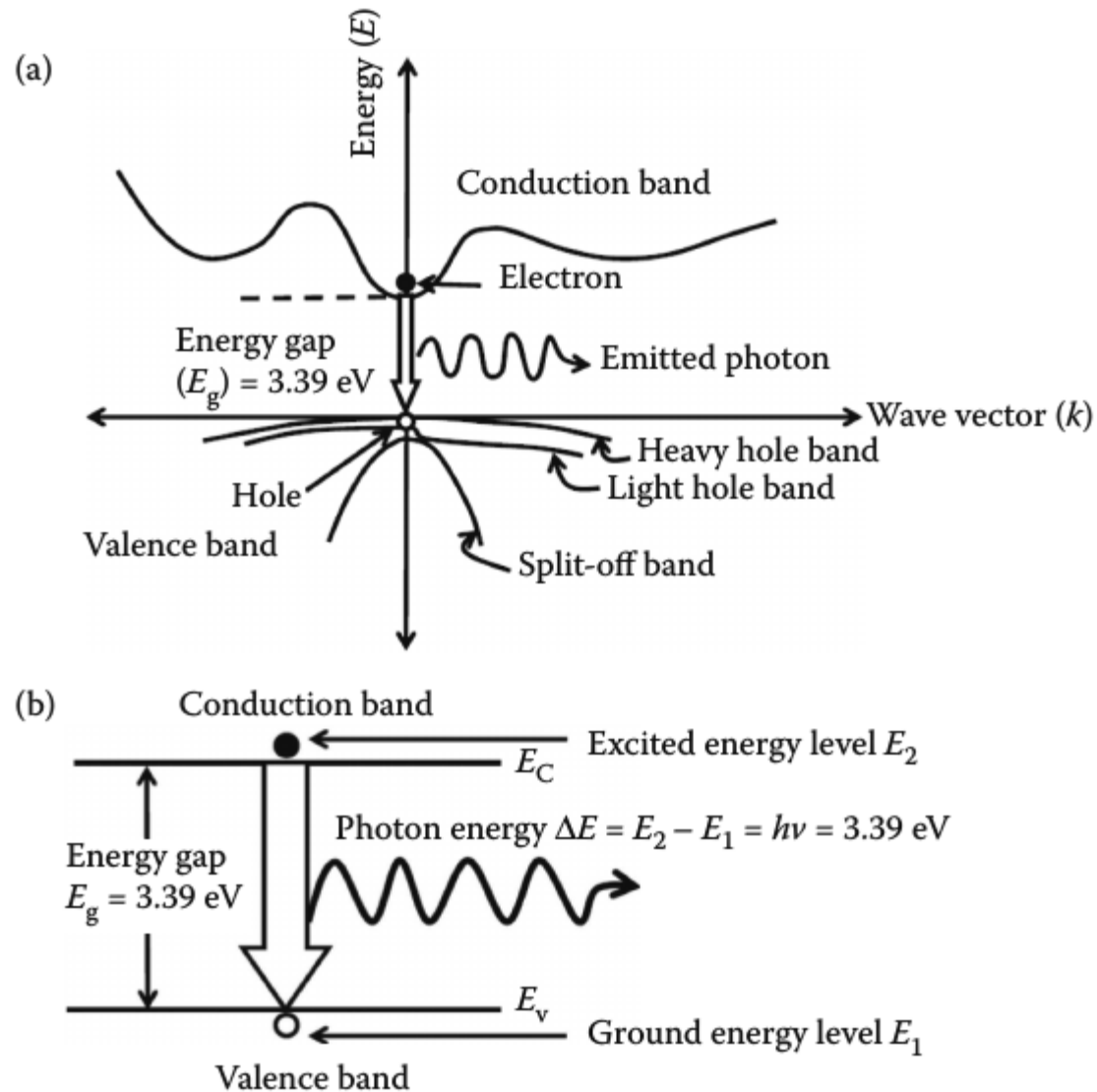
FIGURE 4.1 Energy-band diagrams: (a) direct bandgap and (b) indirect bandgap semiconductor.

LED. Принцип работы



(d)

LED. Принцип работы



LED. Принцип работы

$$\begin{aligned} E &= h\nu = E_e - E_h = E_c + \frac{k_B T}{2} - \left(E_v - \frac{k_B T}{2} \right) \\ &= (E_c - E_v) + k_B T = E_g + k_B T \end{aligned}$$

T=300K, температурный вклад

$$k_B T = 0.025887 \text{ eV} = 25.887 \text{ meV},$$

$$E = h\nu \approx E_g$$

LED. Виды люминесценции. ЭКСИТОНЫ

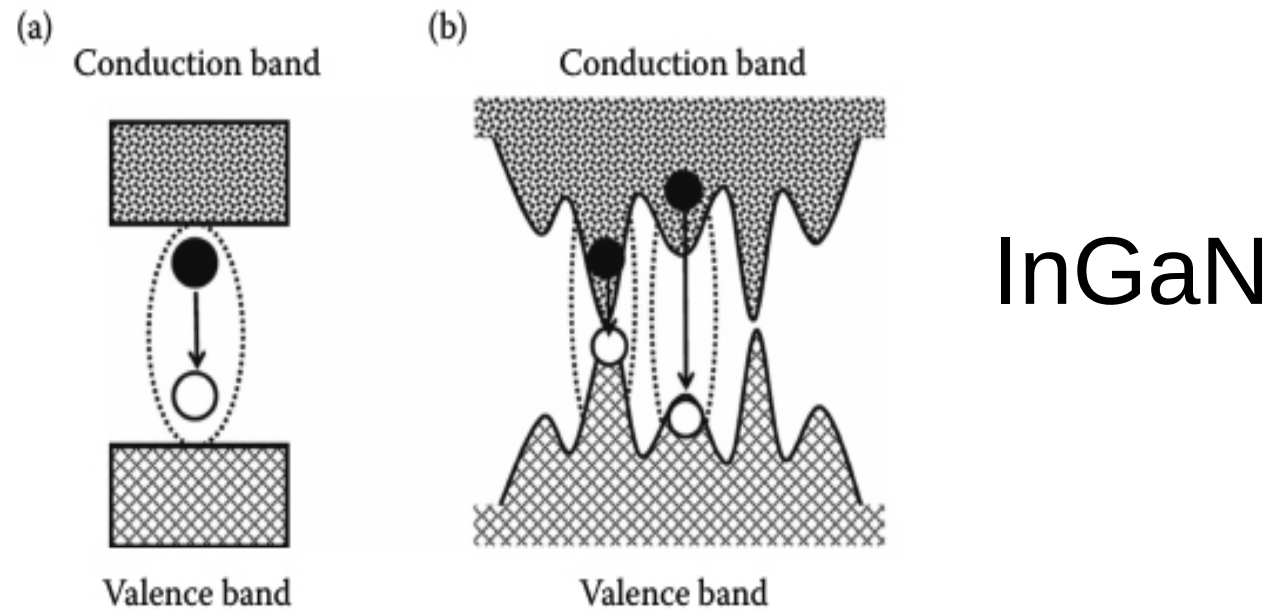
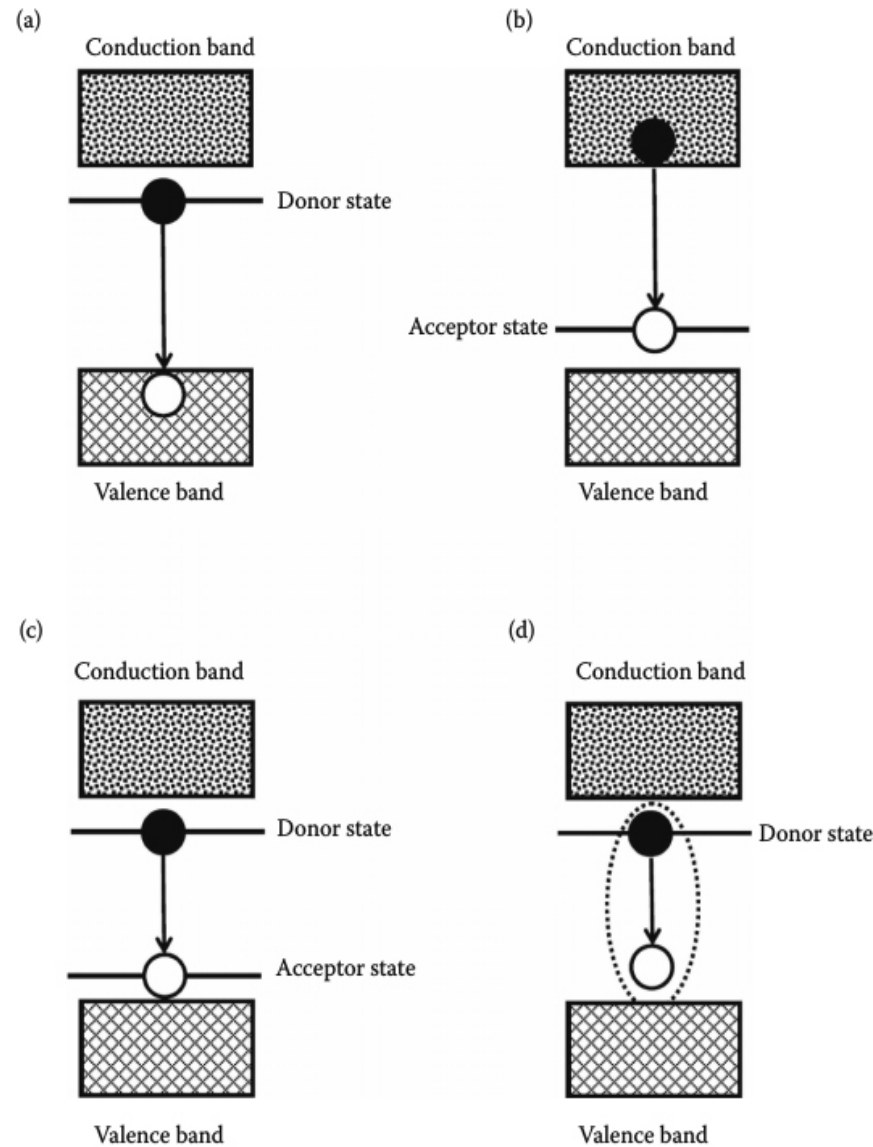


FIGURE 5.4 Different intrinsic radiative recombination routes: (a) free-exciton annihilation and (b) recombination of excitons located at band potential fluctuations.

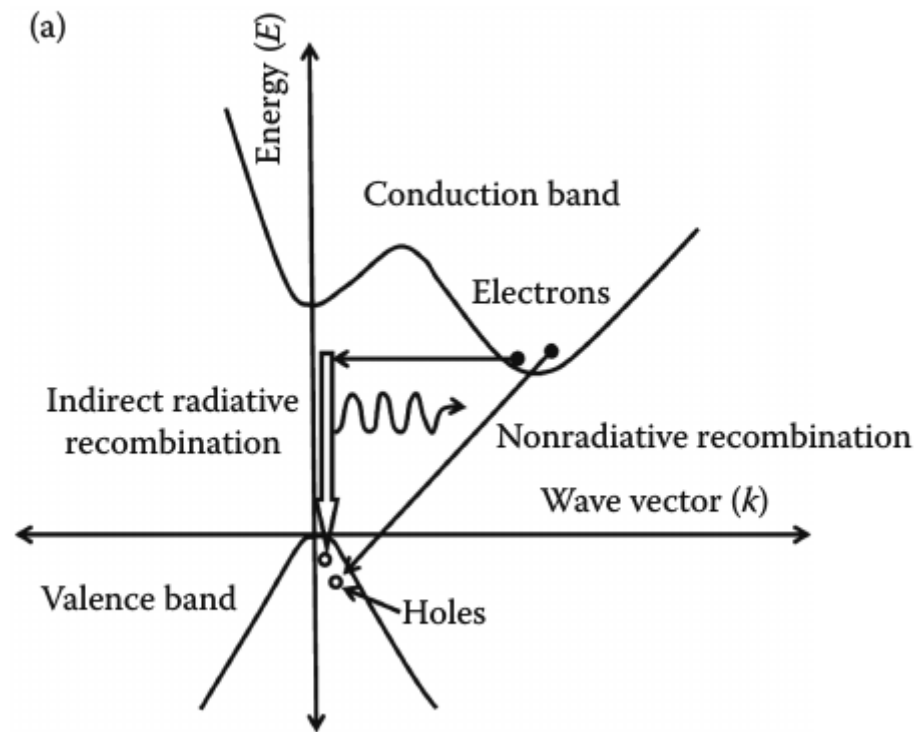
LED. Виды люминесценции. Примесная



GaP:N

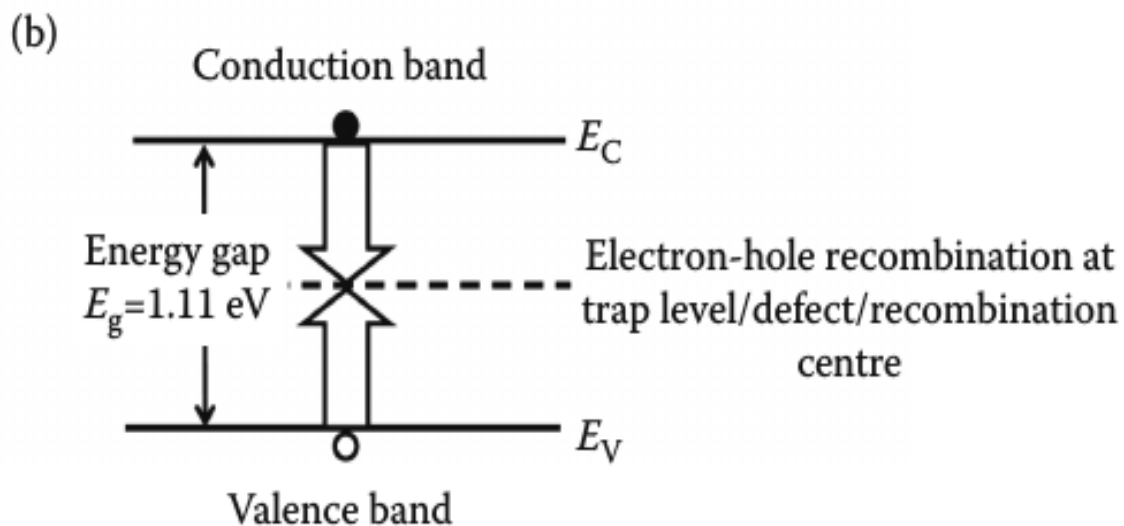
LED. Безызлучательная рекомбинация

1) В непрямозонных полупроводниках с участием фононов



LED. Безызлучательная рекомбинация

2) Рекомбинация на примесном уровне



LED. Безызлучательная рекомбинация

3) Оже-механизм

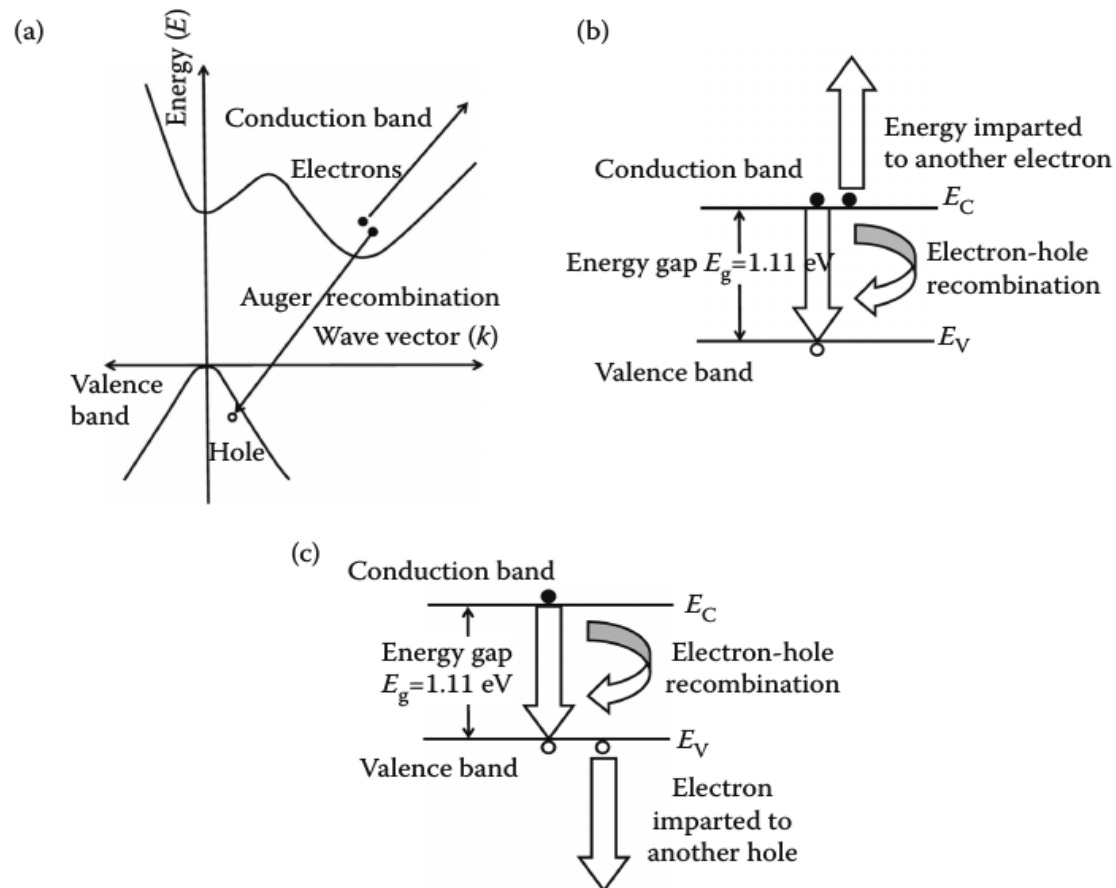


FIGURE 5.7 Representation of indirect Auger nonradiative recombination in Si by: (a) Energy-momentum ($E-k$) diagram, (b) and (c) energy-distance ($E-x$) diagram.

LED. Безызлучательная рекомбинация

The Auger recombination rate varies as the cube of the carrier concentration:

$$U_{\text{Auger}} \approx Cn^3 \quad (5.36)$$

where C is the Auger coefficient and n is the injected carrier density.
 $C = 4\text{--}5 \times 10^{-30} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$ for GaAs.