

СВЕТОДИОДЫ

Светодиод или светоизлучающий диод (СД, СИД, LED англ. Light-emitting diode) — полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом или контактом металл-полупроводник, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока

ИСТОРИЯ

- 1907- первое сообщение об излучении света твердотельным диодом (Генри Раунд);
- 1962 – первый практически применимый светодиод , работающий в световом (красном) диапазоне (Нил Холоньяк);
- 1972 – первый желтый светодиод (Джордж Крафорд) улучшил яркость красных светодиодов в 10 раз;
- 1976 - первый в мире высокоэффективный светодиод высокой яркости для телекоммуникационных применений (Т.Пирсол) на полупроводниковых материалах, специально адаптированных к передачам через оптические волокна.

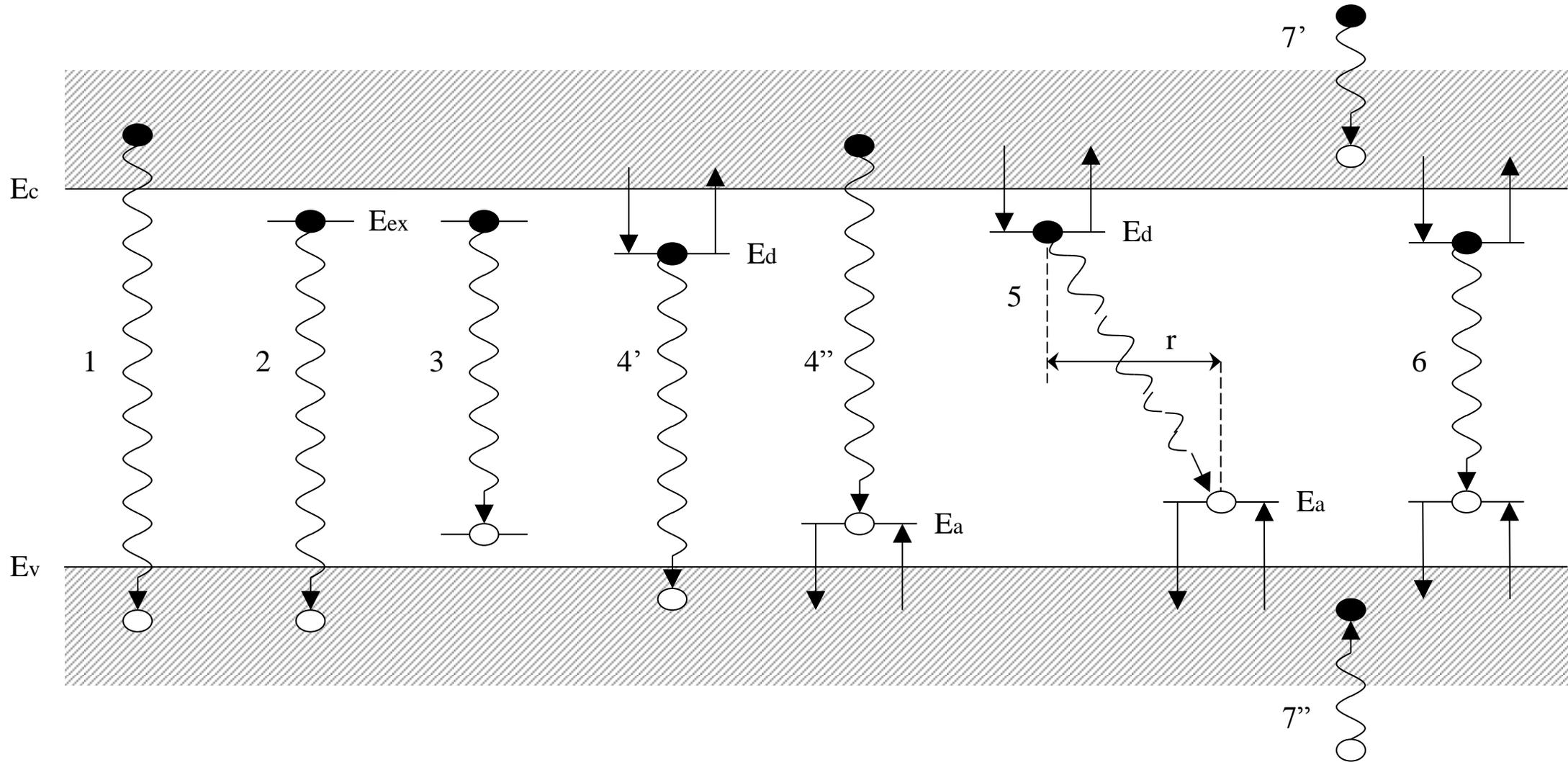
ПЕРВЫЕ В МИРЕ «СВЕТОДИОДЫ»



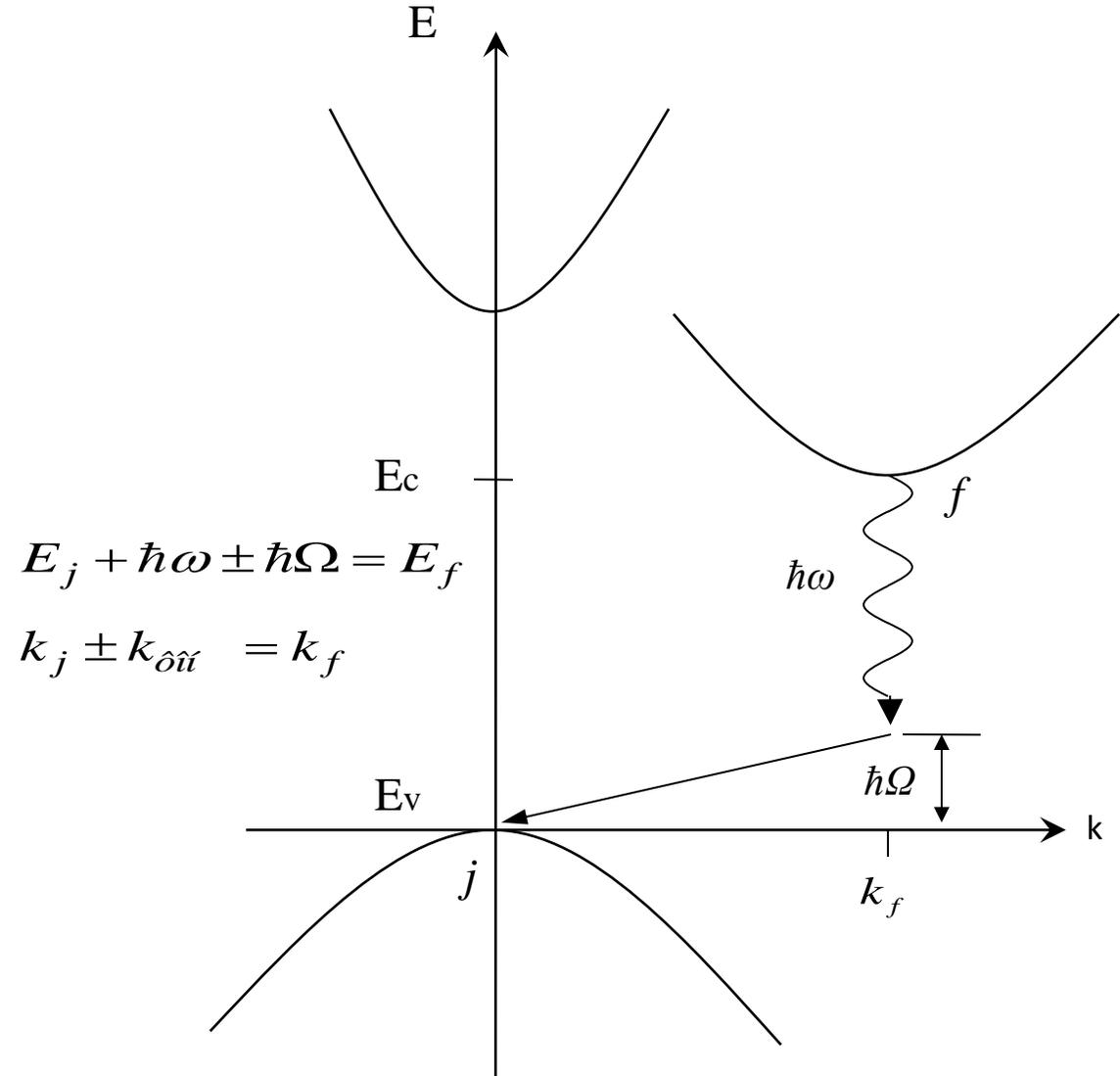
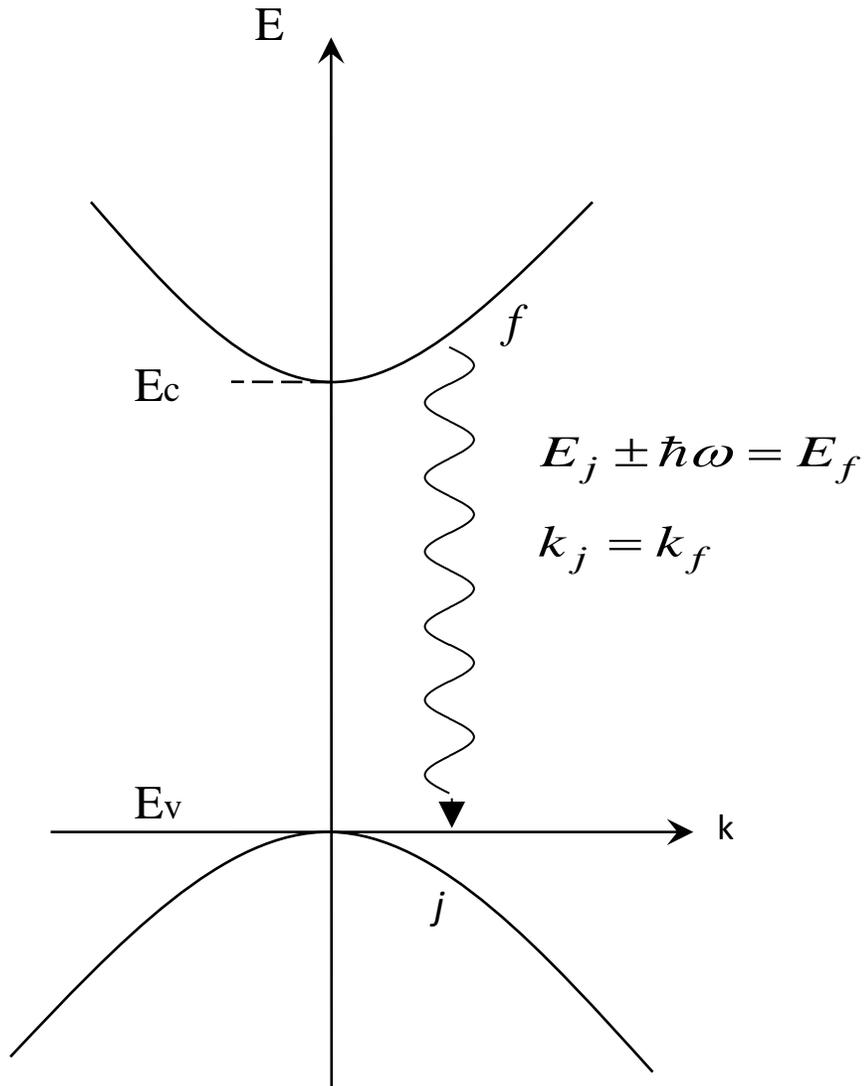
Свечение наблюдалось в области контакта электрода с кристаллом SiC.



Механизмы излучательной рекомбинации

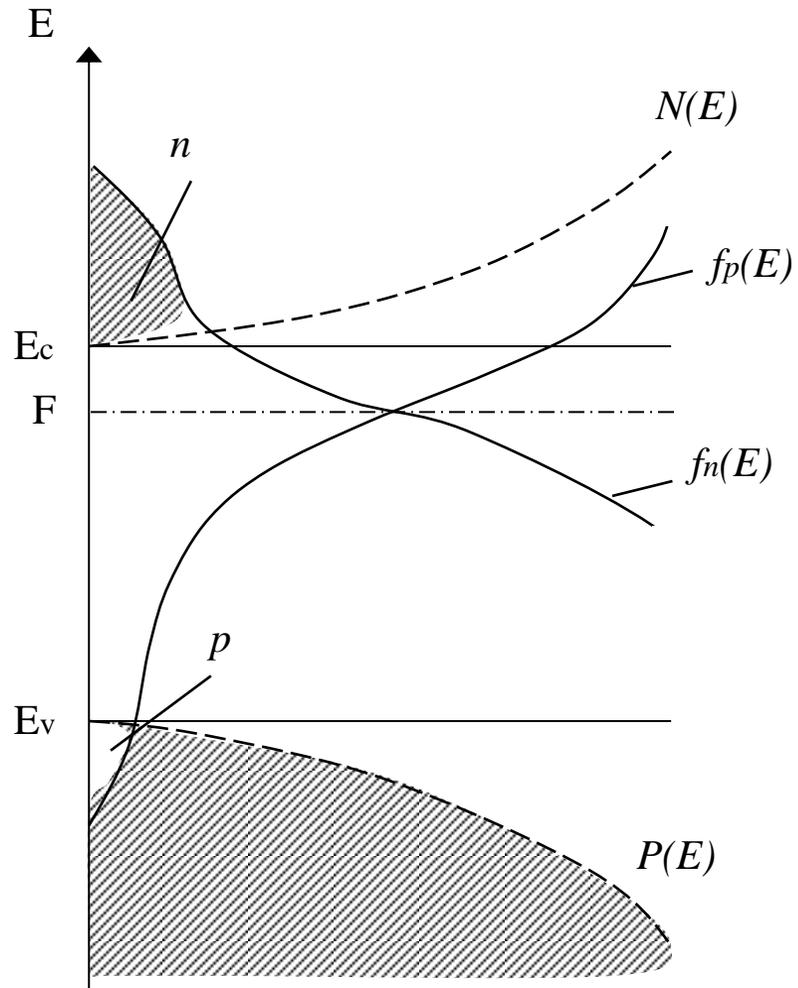


Прямые и непрямые межзонные переходы

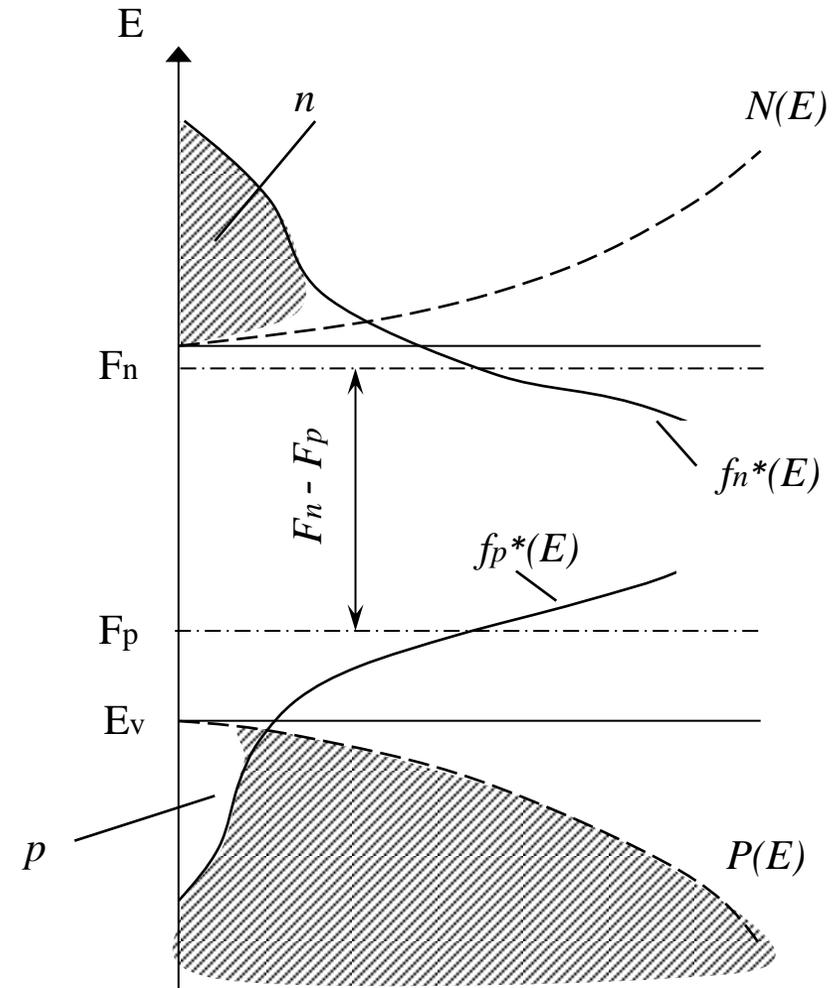


Распределение носителей заряда по энергиям

Равновесное состояние



Неравновесное состояние



Рекомбинация электронно-дырочных пар

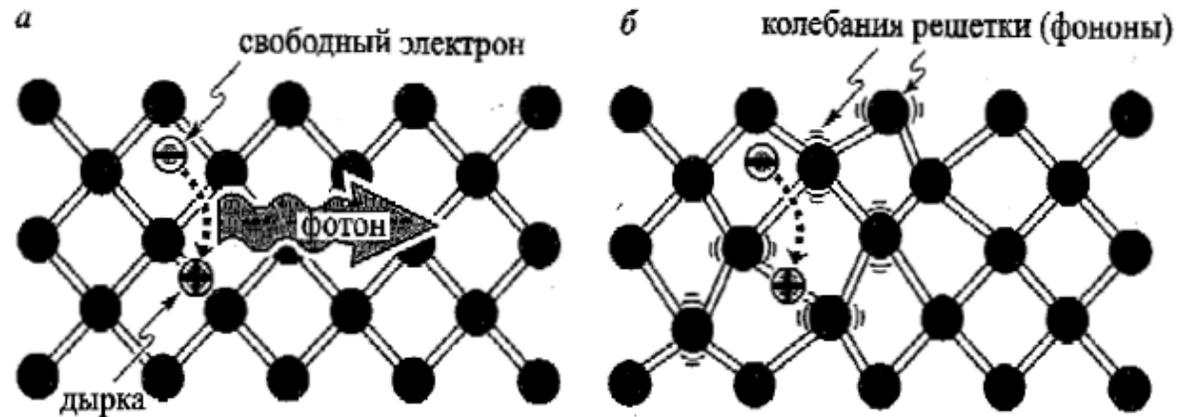
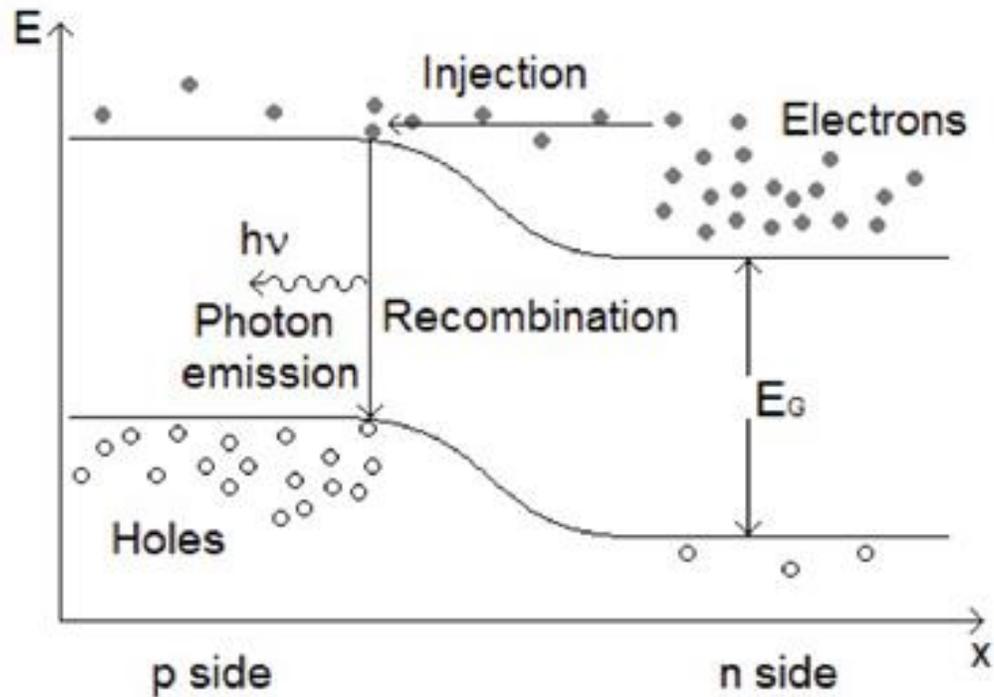
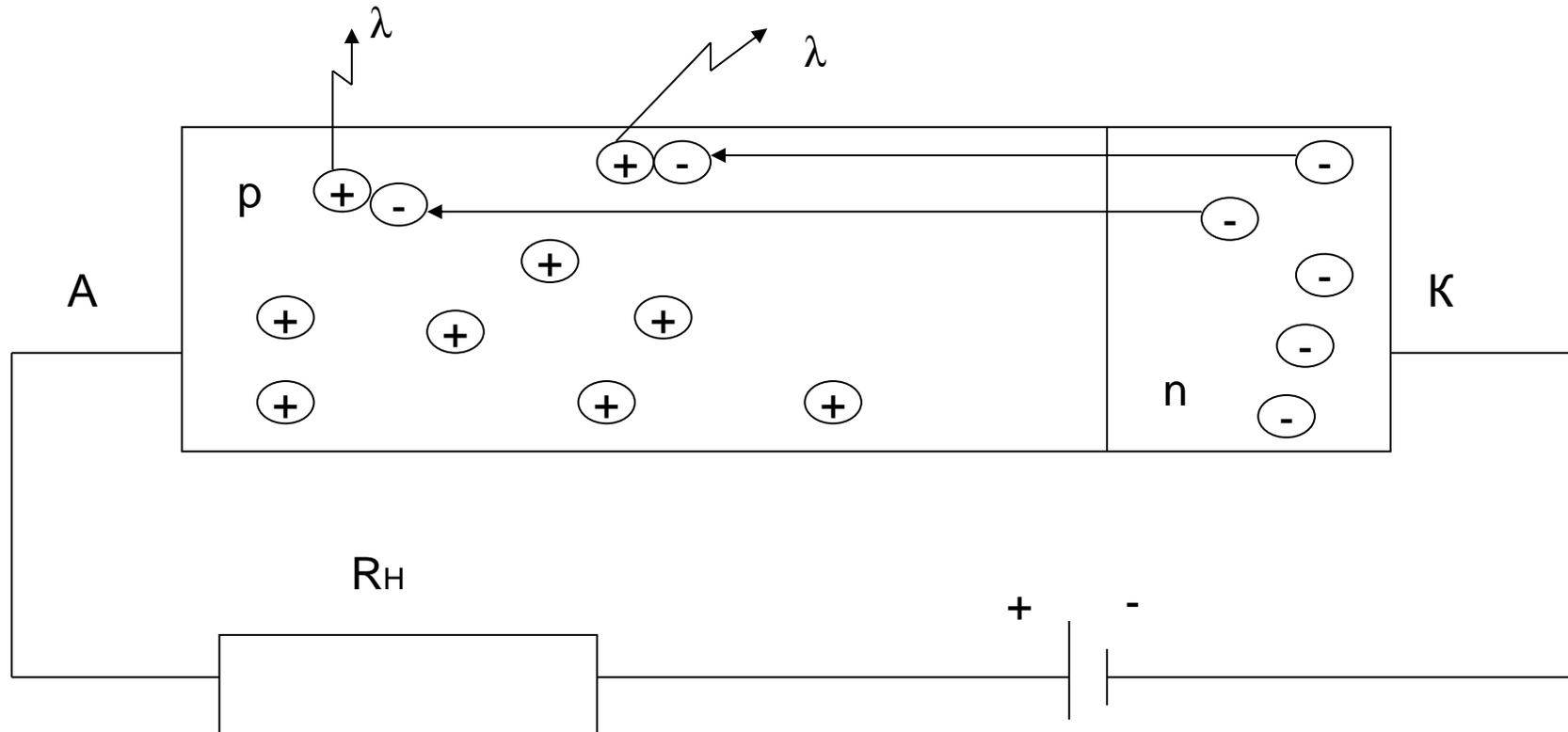


Рис. 2.5. Излучательная рекомбинация электронно-дырочной пары, сопровождающаяся возбуждением фотона с энергией $h\nu - E_g$ (a). В ходе безызлучательной рекомбинации энергия, высвобождаемая при рекомбинации электронно-дырочной пары, передается фононам (б) (Shockley, 1950)

Структура светодиода



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СИД

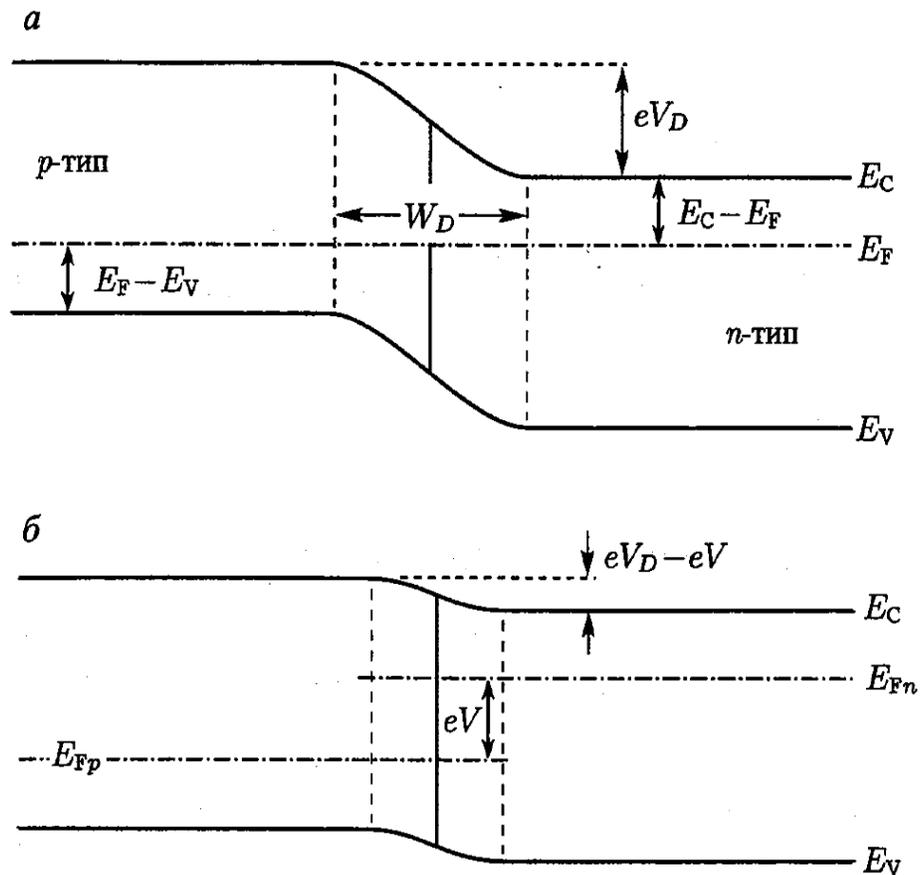


Рис. 4.1. Состояние p - n -перехода: a — при нулевом смещении, b — при прямом смещении. При прямом смещении p - n -перехода неосновные носители тока диффундируют в нейтральные области, где рекомбинируют с основными носителями

$$eV_D = kT * \ln \frac{N_A * N_D}{n_i^2}$$

Контактная разность потенциалов

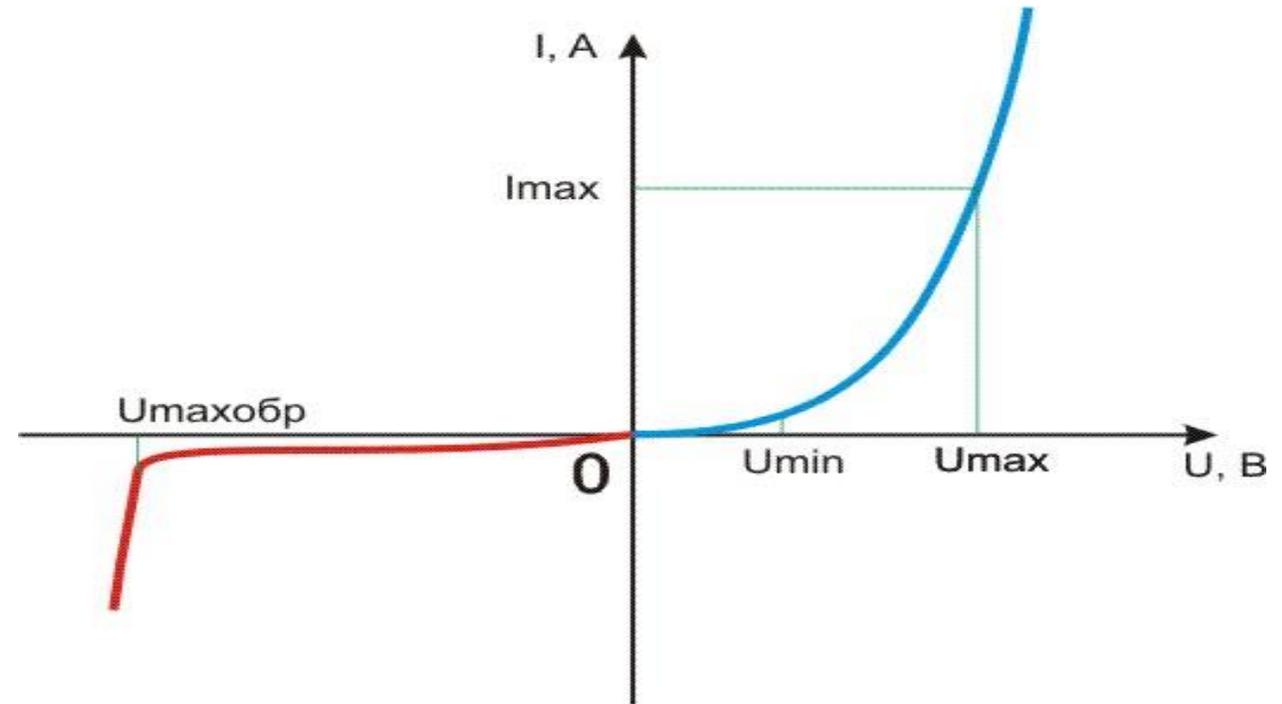
$$I = I_S * (e^{eV/kT} - 1)$$

$$I_S = eA * \left(\sqrt{\frac{D_p}{\tau_p}} * \frac{n_i^2}{N_D} + \sqrt{\frac{D_n}{\tau_n}} * \frac{n_i^2}{N_A} \right)$$

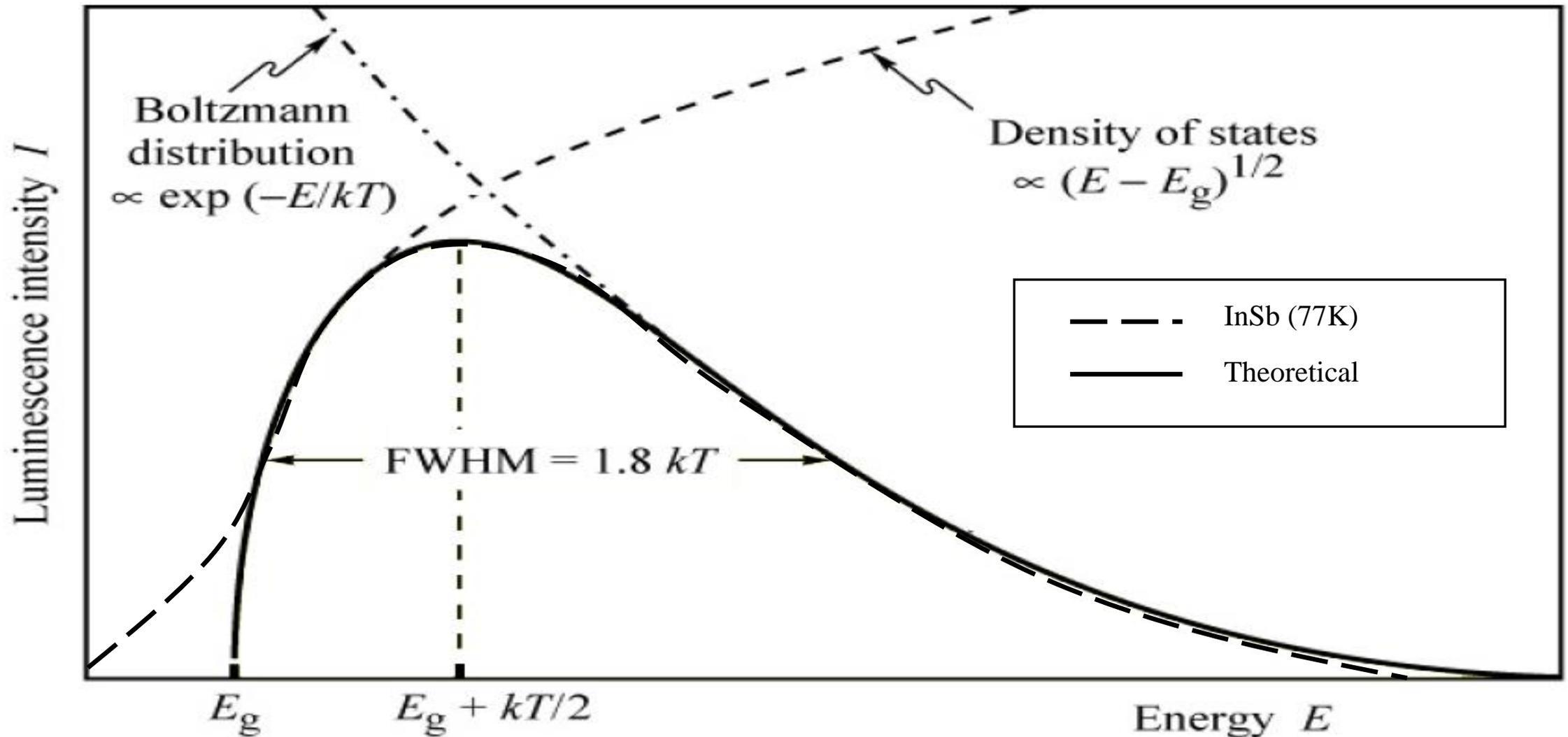
ВАХ диода

ВАХ светодиода

Диапазон питающих напряжений между U_{\min} и U_{\max} называется "рабочей" зоной, так как именно здесь обеспечивается работа светодиода.



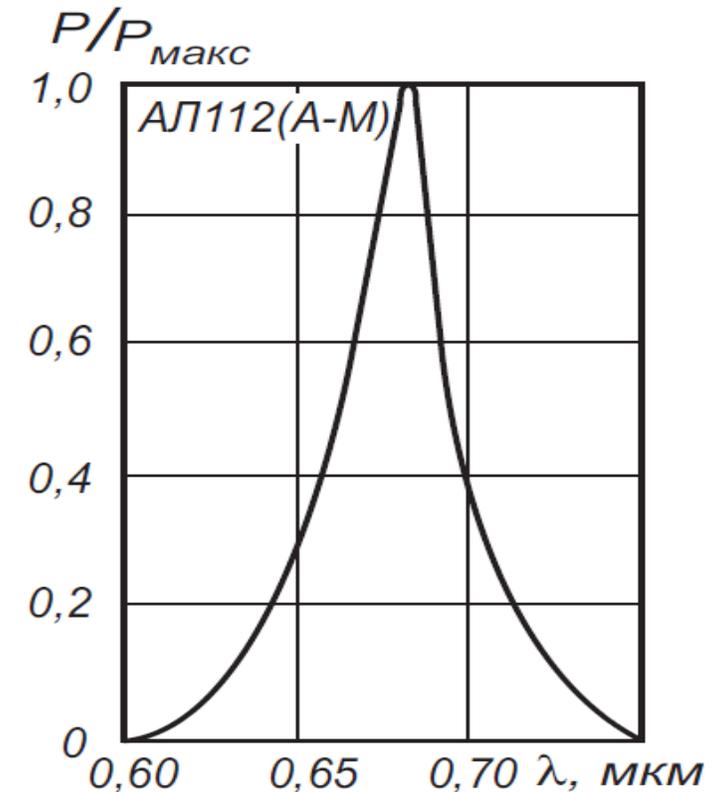
Люминесценция в прямозонных полупроводниках



Спектральная характеристика излучения светодиода при межзонных переходах представляет из себя монохроматическую линию, полушириной kT и центрированную при значении $h\nu = E_g$, при этом интенсивность излучения описывается нижележащим соотношением.

$$I(h\nu) = V^2 (h\nu - E_g)^{3/2} e^{-\frac{(h\nu - E_g)}{kT}}$$

В качестве примера приведем спектр излучения красного светодиода АЛ112 при комнатной температуре, который хорошо описывается этим соотношением.



По характеристике излучения



Светодиоды
с излучением
в видимой части спектра

Светодиоды
с излучением
в инфракрасной части
спектра

Для приборной реализации всей цветовой гаммы используют широкий спектр полупроводниковых материалов. Светодиоды выпускаются красного (1,8 эВ GaP: ZnO, $\text{GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$), оранжевого ($\text{GaAs}_{0,35}\text{P}_{0,65}$), желтого ($\text{GaAs}_{0,14}\text{P}_{0,86}$), зеленого (2,3 эВ GaP, ZnTe), голубого (2,4 эВ GaAs-ErYb, SiC, CdS), фиолетового (2,8 эВ GaN) цветов свечения.

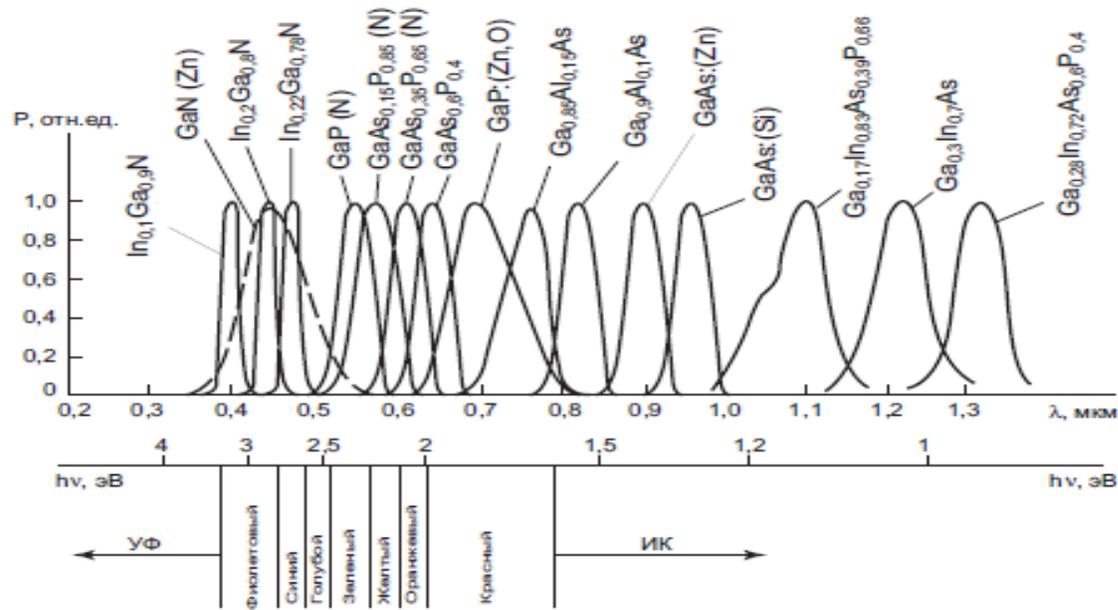
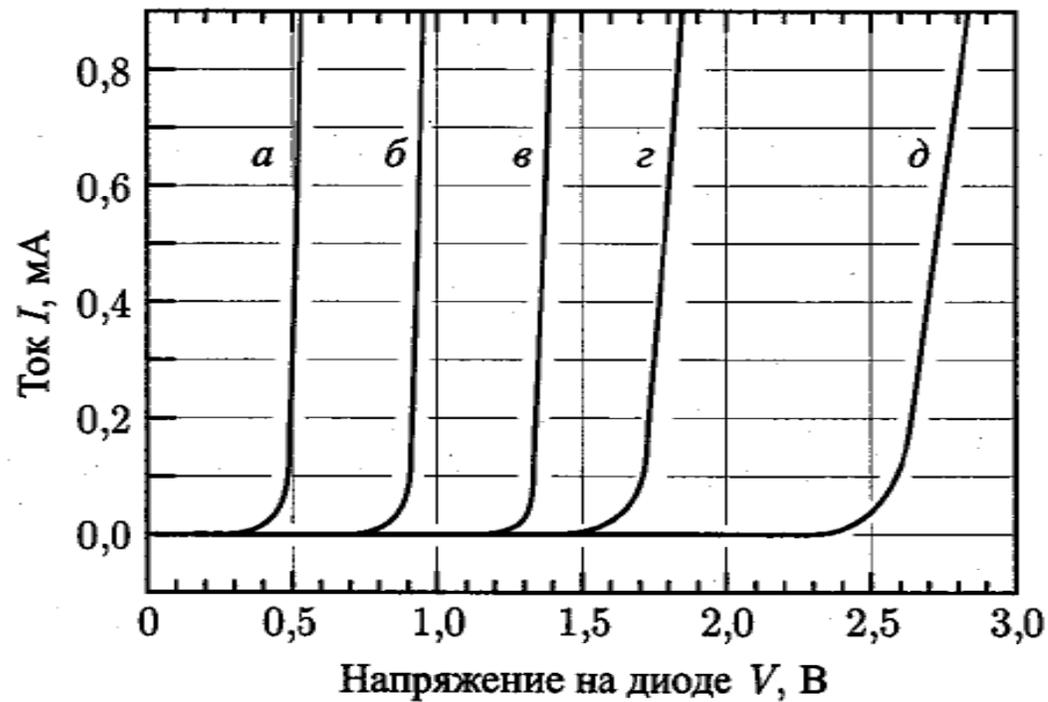


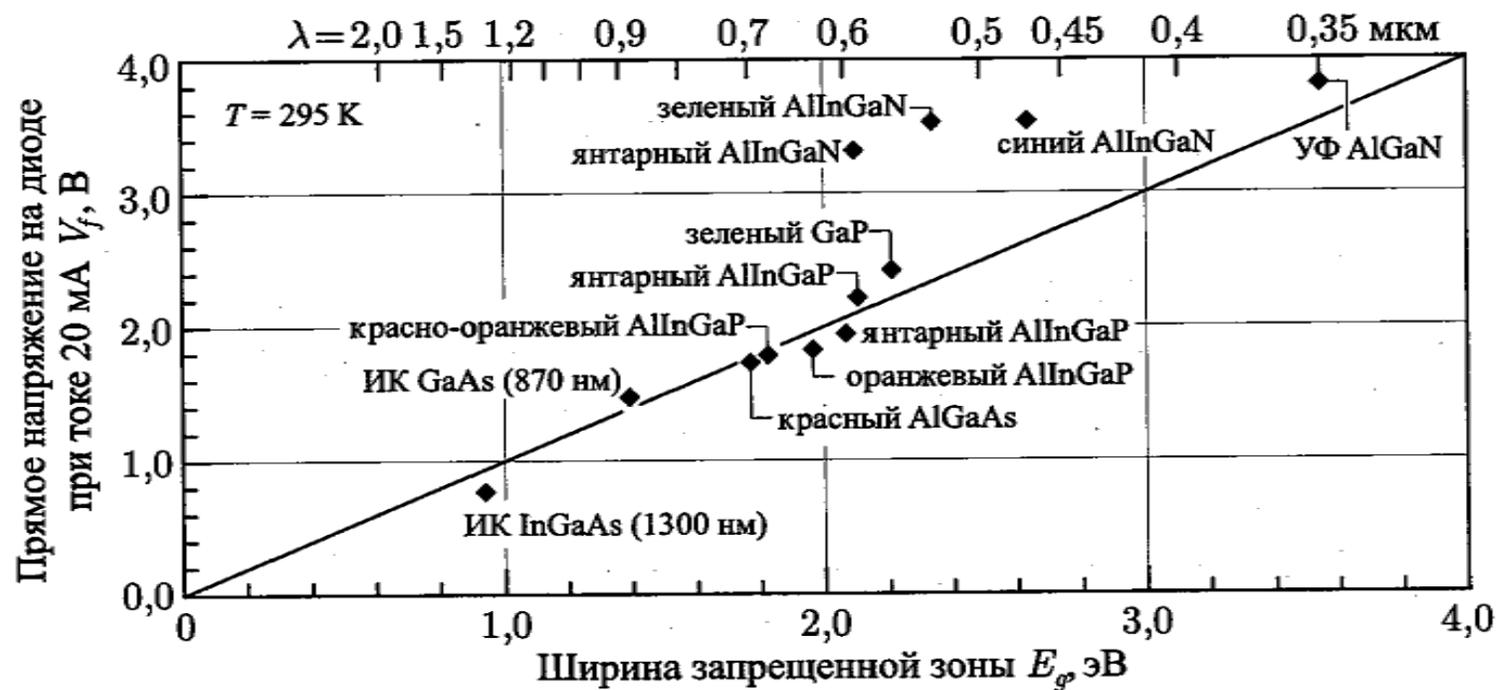
Рис. 10.5. Спектральные характеристики светодиодов, изготовленных из различных полупроводниковых материалов [84]

На рисунке приведены спектральные характеристики светодиодов видимого и инфракрасного диапазонов с указанием стехиометрии полупроводниковых соединений.



$T = 295 \text{ K}$

a — Ge	$E_g \approx 0,7 \text{ эВ}$
$б$ — Si	$E_g \approx 1,1 \text{ эВ}$
$в$ — GaAs	$E_g \approx 1,4 \text{ эВ}$
$з$ — GaAsP	$E_g \approx 2,0 \text{ эВ}$
$д$ — InGaN	$E_g \approx 2,9 \text{ эВ}$



Конструктивные особенности светодиодов

Конструктивно в светодиодах используют полупроводниковые структуры с плоской геометрией, изготовленные по планарной технологии.

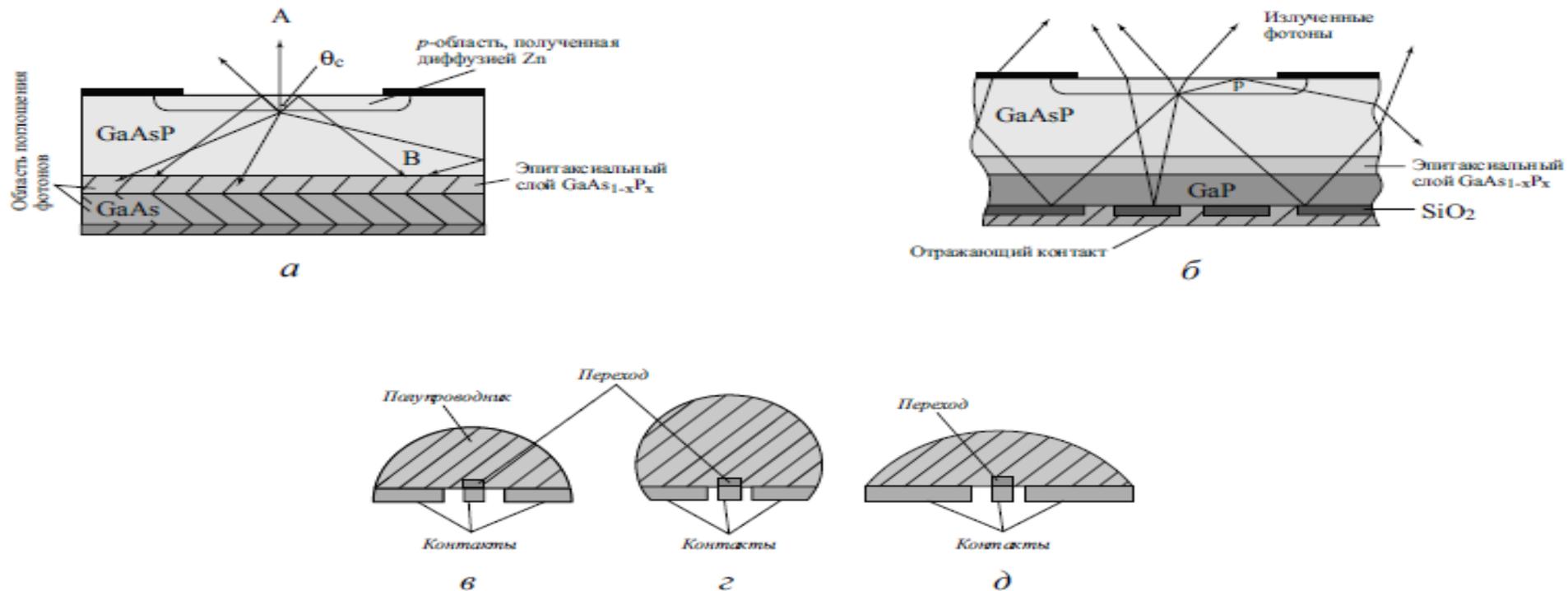


Рис. 10.6. Конструкция светодиодов и разрез трех светодиодов с различными типами корпусов: в — полусфера; г — усеченная сфера; д — параболоид

Эффективность светодиодов

1. $\eta \approx \frac{\hbar\omega}{eU}$ - эффективность (КПД) светодиода

2. $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_I \cdot \eta_o$ - Внешний квантовый выход

$$\eta_i = \frac{1/\tau_r}{1/\tau} = \frac{\tau}{\tau_r} = \frac{\tau_{nr}}{\tau_{nr} + \tau_r} \quad \text{- внутренний квантовый выход}$$

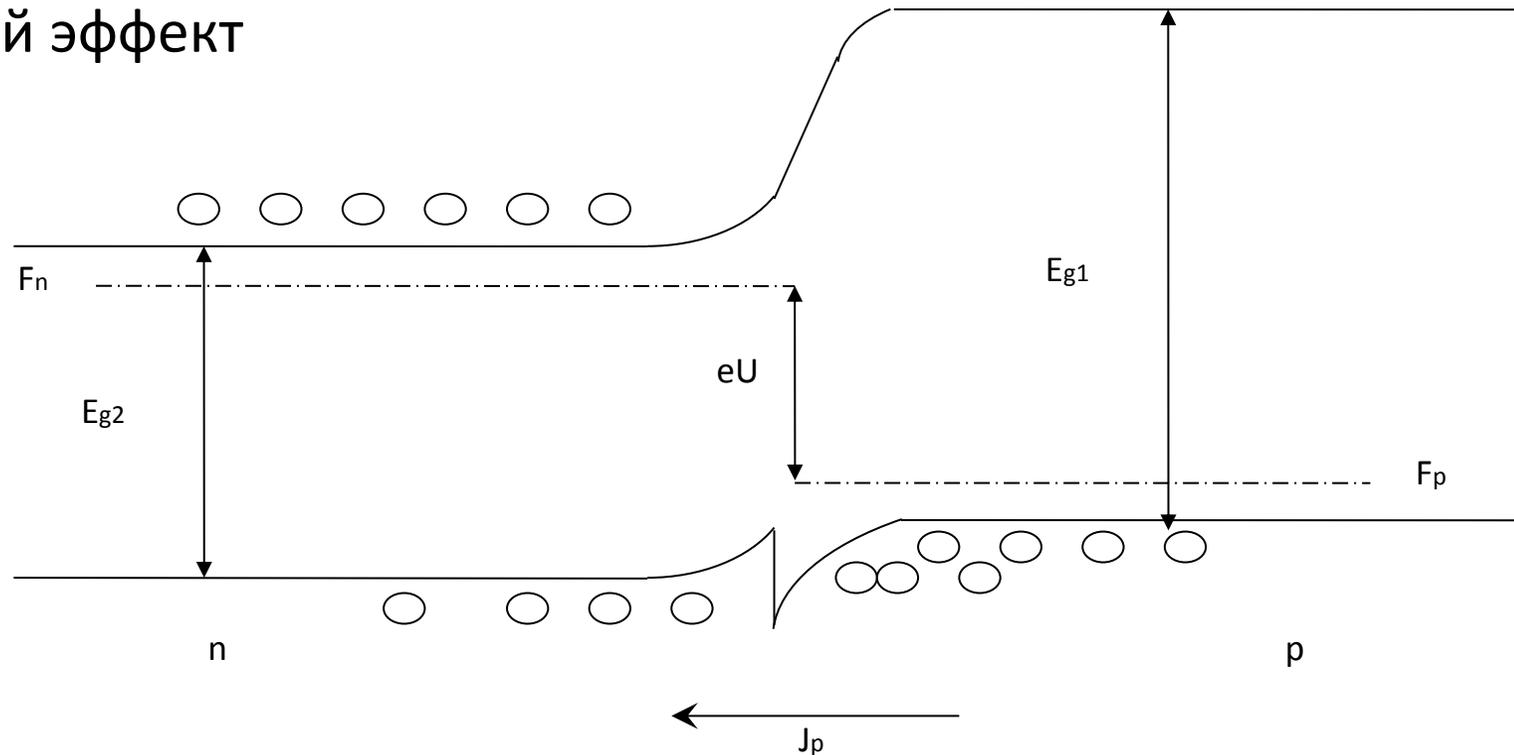
где $\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_r} + \frac{1}{\tau_{nr}}$ - суммарное время жизни неравновесных носителей

$$\eta_I = j_p / (j_p + j_n) \quad \text{- коэффициент инжекции}$$

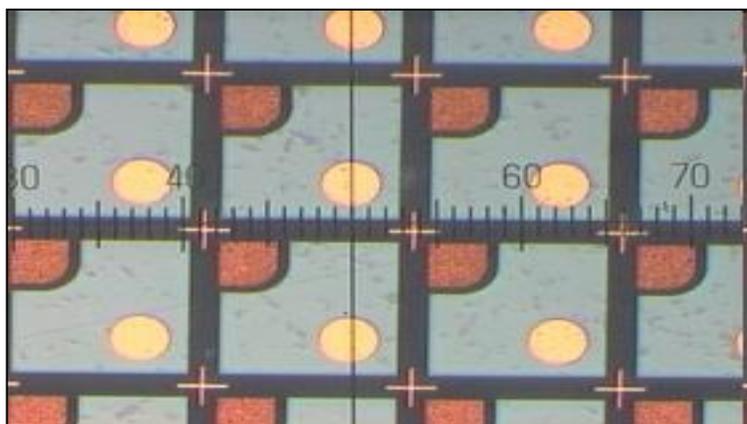
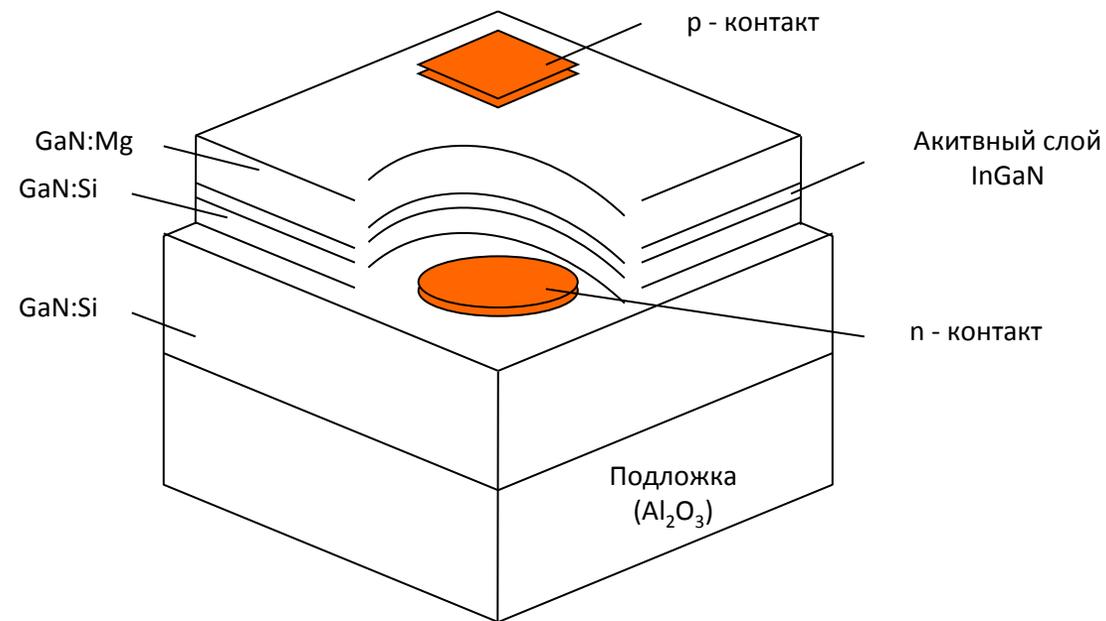
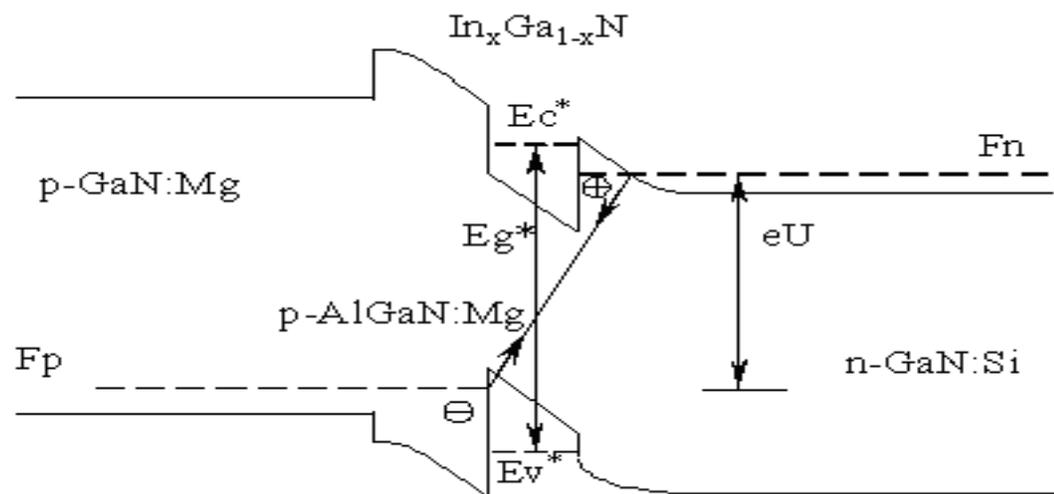
$$\eta_o \approx \frac{1}{n(n+1)^2} \quad \text{- коэффициент вывода света}$$

Гетеропереход

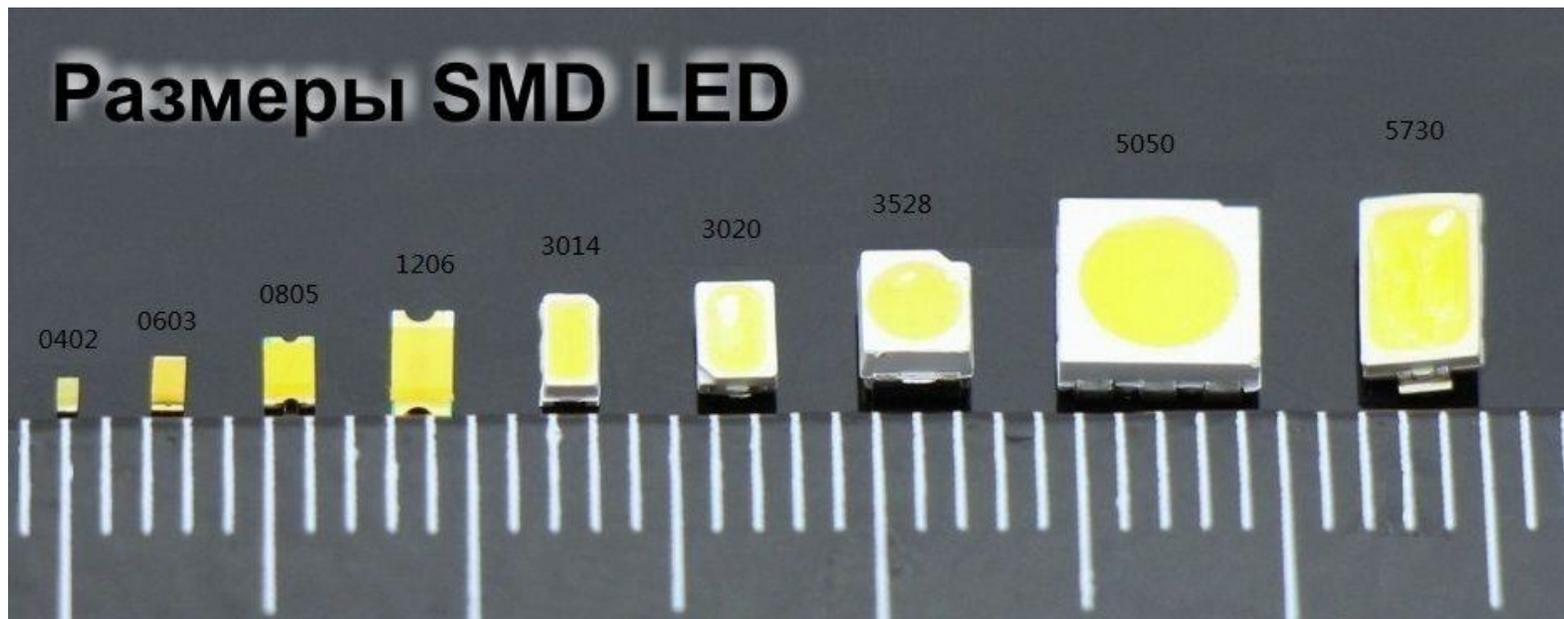
- Эффект широкозонного окна
- Эффект односторонней инжекции
- Волноводный эффект



Светодиоды на основе InGaN/AlGaN/GaN



Корпуса светодиодов



Голубые светодиоды на соединениях нитрида галлия

Нитриды элементов третьей группы (GaN, AlN, InN) и тройные соединения на их основе являются широкозонными полупроводниками с прямыми оптическими переходами. Нитрид галлия и тройные соединения на его основе являются наиболее перспективными материалами для изготовления голубых светодиодов и светодиодов ультрафиолетовой об

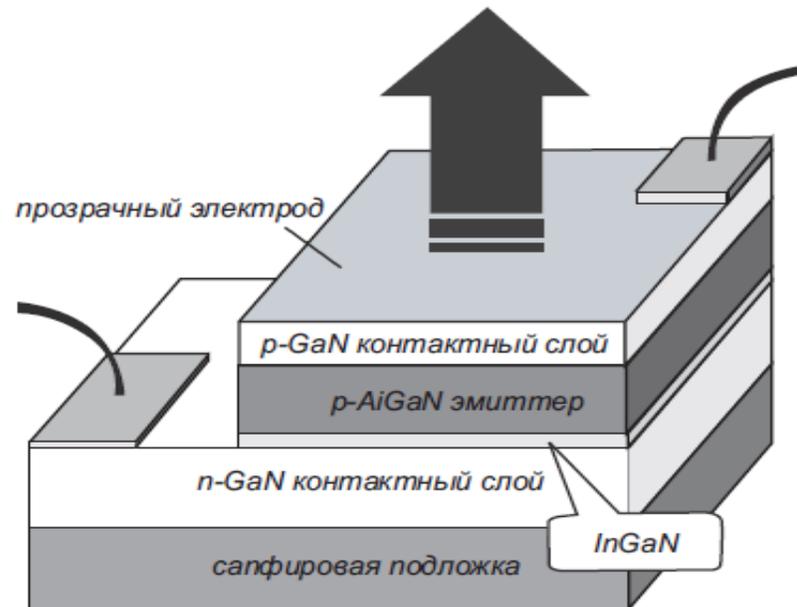


Рис. 10.8. Типовая структура светодиода с планарной генерацией излучения на основе гетероструктур InGaN/GaN [27, 49]

Белый светодиодный свет. 1 способ

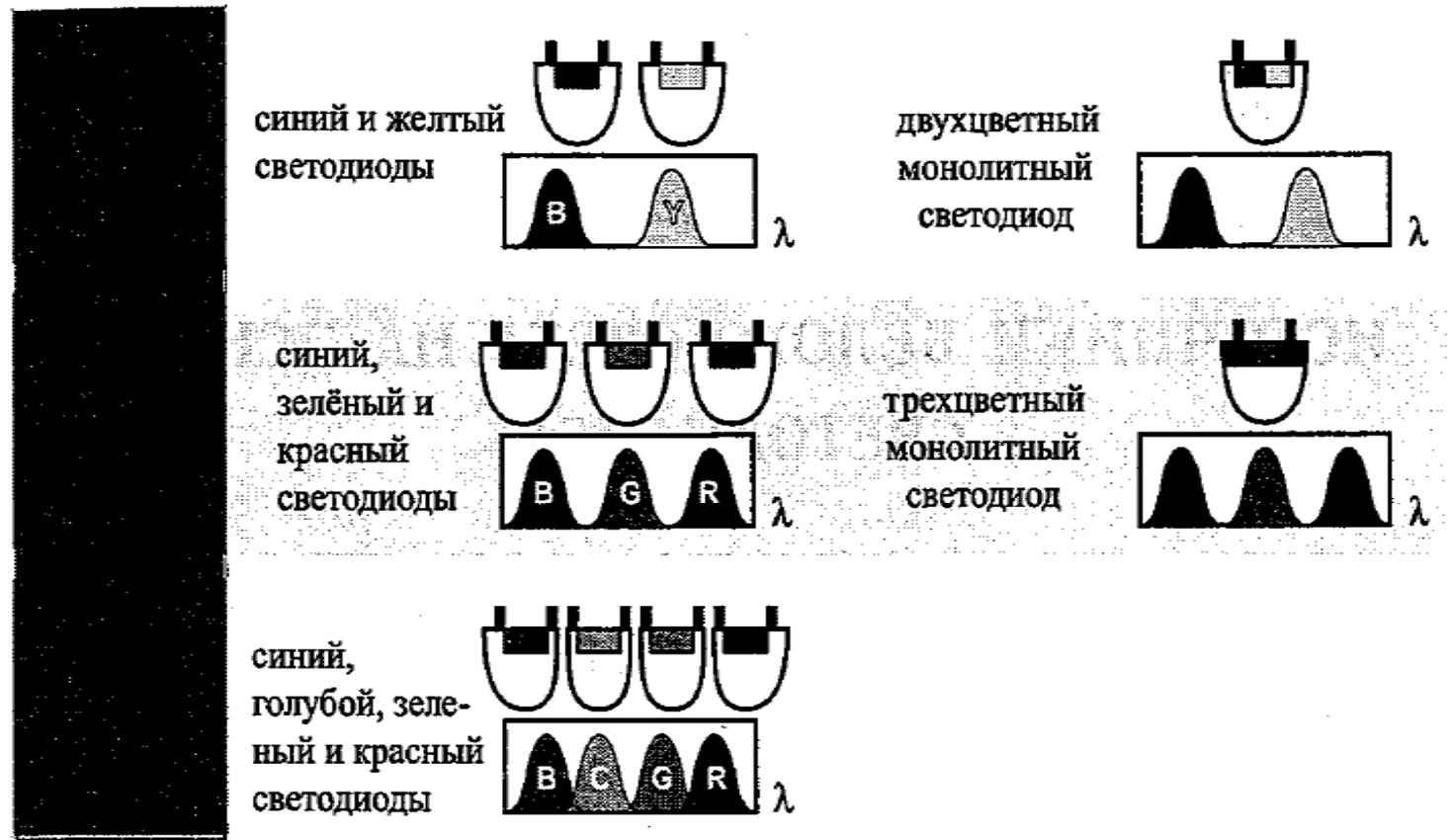
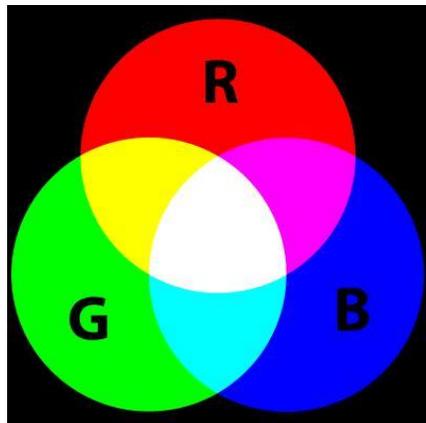


Рис. 20.1. Принцип создания однокристалльных и многокристалльных источников белого света на основе светодиодов двух, трех и четырех цветов

Белый светодиодный свет. 2 способ

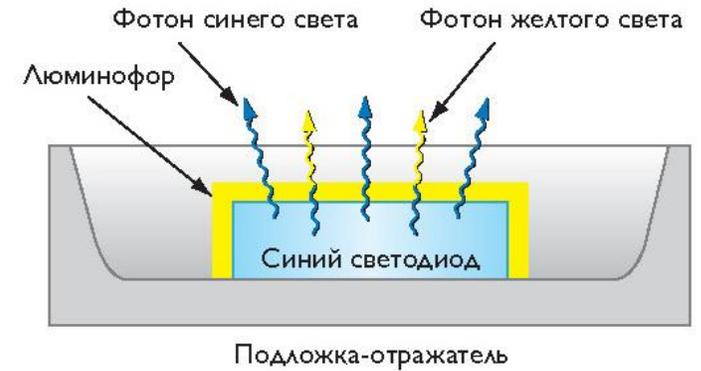
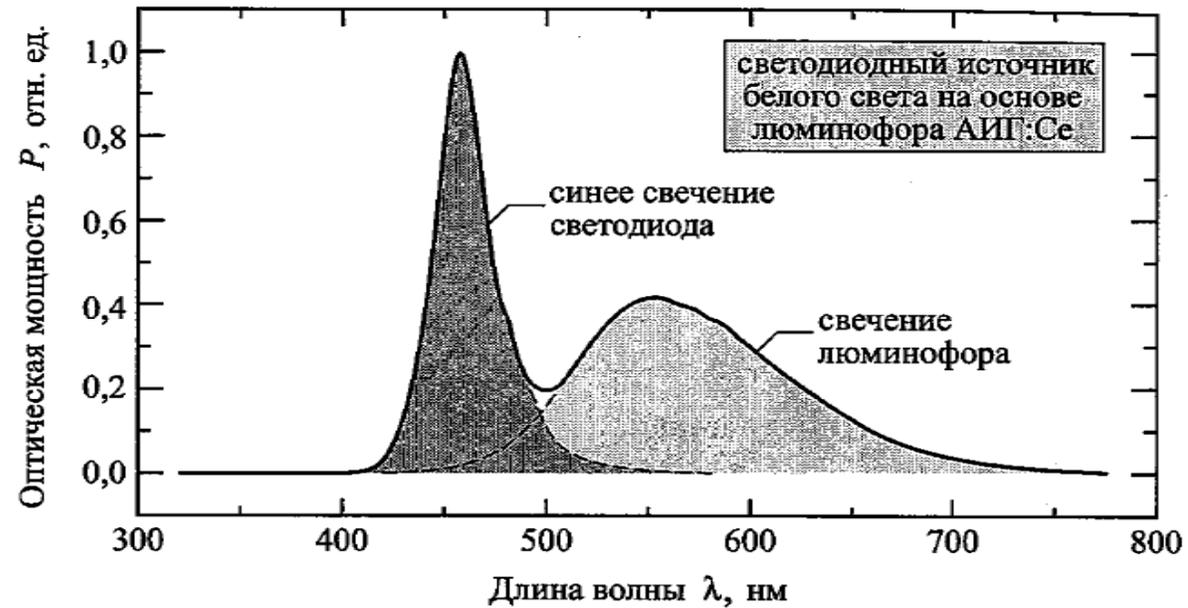


Рис. 21.8. Спектр излучения светодиодной лампы белого света на основе люминофора, изготовленного Nichia Chemical Industries Corporation (Anan, Tokushima, Japan)



Хироси Амано, Сюдзи Накамура, Исама Акасаки – лауреаты Нобелевской премии 2014 года по физике за изобретение дешевой технологии производства синего светодиода

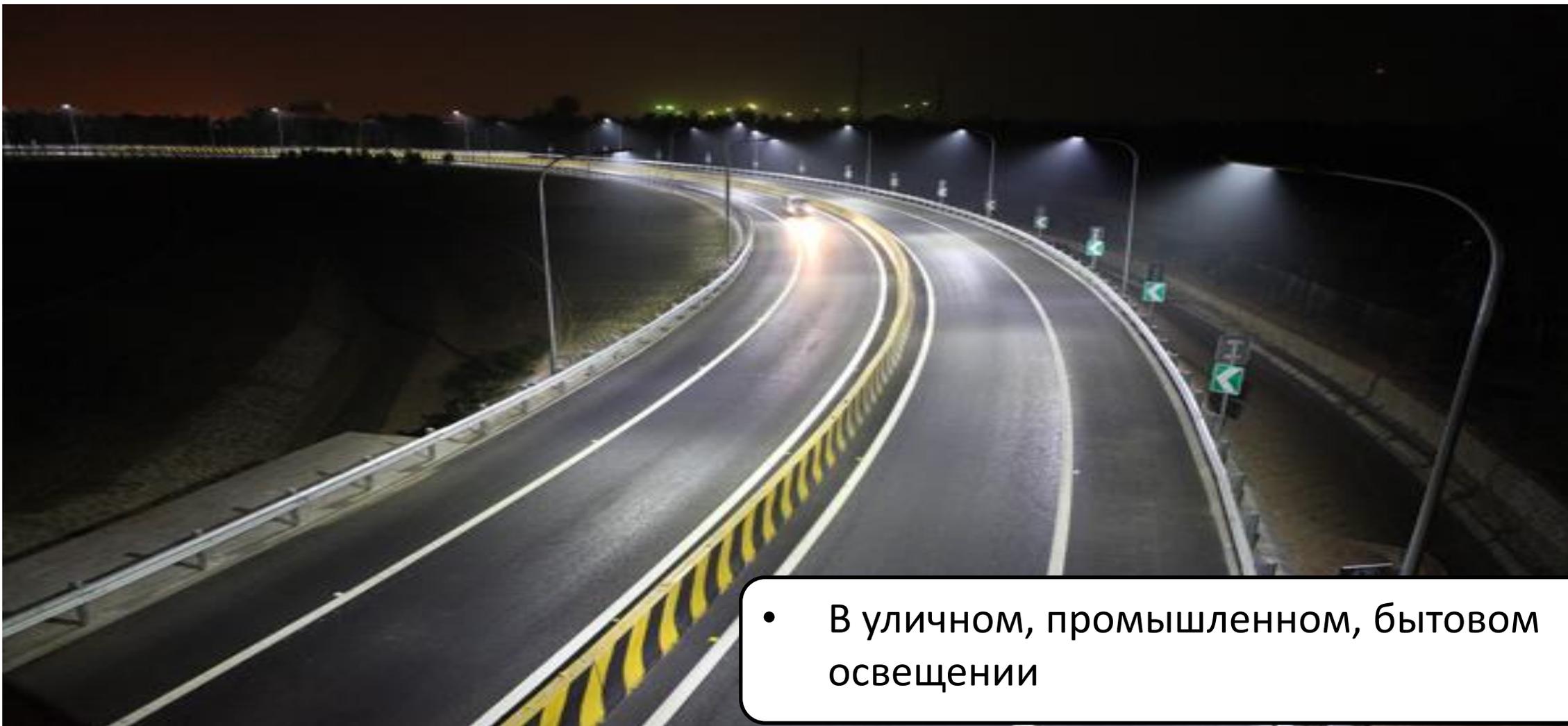
Миллион за светодиод



Нобелевская премия за «голубые» светодиоды

- Исследователь Университета Калифорнии Накамура и его японские коллеги профессор Амано из университета Мейджо и профессор Акасака из университета Нагоя получили эту премию в 2014 году.
- Ученые создали дешевые синие светодиодные лампы (знаменитые синие LED).
К 1993 году компании Nichia удалось начать промышленный выпуск синих светодиодов нового типа.

Применение светодиодов



- В уличном, промышленном, бытовом освещении

Применение светодиодов

Светодиоды используются в качестве источников модулированного оптического излучения (передача сигнала по оптоволокну, пульты ДУ, светотелефоны, интернет[10])



Применение светодиодов

В подсветке ЖК-экранов (мобильные телефоны, мониторы, телевизоры и т. д.)

