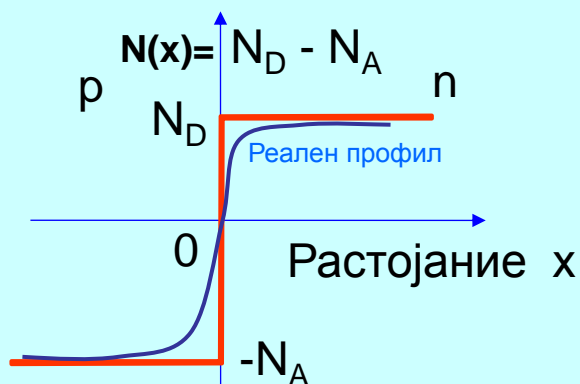


2. *pn*-СПОЈ И ДИОДИ

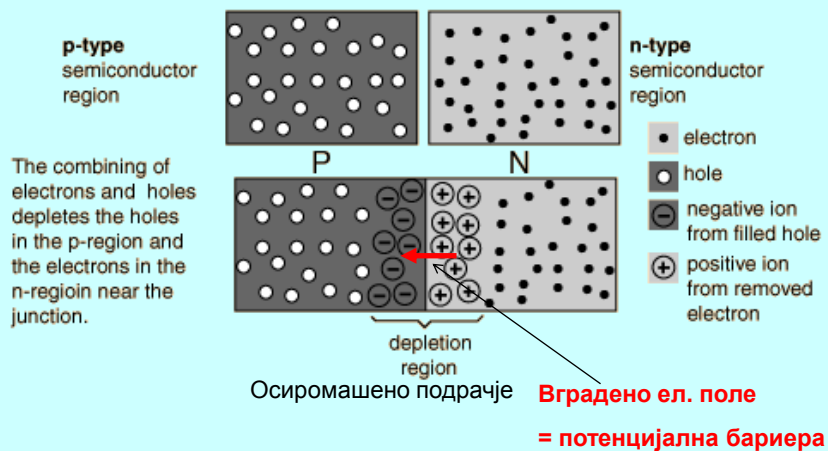
Скоковит *pn*-спој

- Технолошки профил на *pn*-спојот:



- $N_A = N_D$ - металуршка граница.
- особина на рп-спојот: насочувачко дејство

„Металуршко спојување“



- Осиромашеното подрачје се нарекува **слој на просторен полнеж, pn бариера** или **преоден слој**.
- d_B - дебелина на pn бариерата.
- На спојот се создава **потенцијална бариера** што ја запира дифузијата на мајоритетните носители.

- При услови на рамнотежа:
директна струја + инверзна струја = 0
- $I_n = I_{Dn} + I_{Sn} = 0$
- $I_p = I_{Dp} + I_{Sp} = 0$

- Рамнотежни концентрации:

- На n-страната:

$$n_{on} = N_D$$

- На p-страната:

$$n_{op} = \frac{n_i^2}{p_{op}} = \frac{n_i^2}{N_A}$$

- Оттука (р.2.1):

$$V_P - V_N = V_T \ln \frac{n_{op}}{n_{on}} = V_T \ln \frac{n_i^2}{N_A N_D}$$

- E_K - Контактна потенцијална енергија.

- $V_K = V_P - V_N < 0$ - Контактен потенцијал:

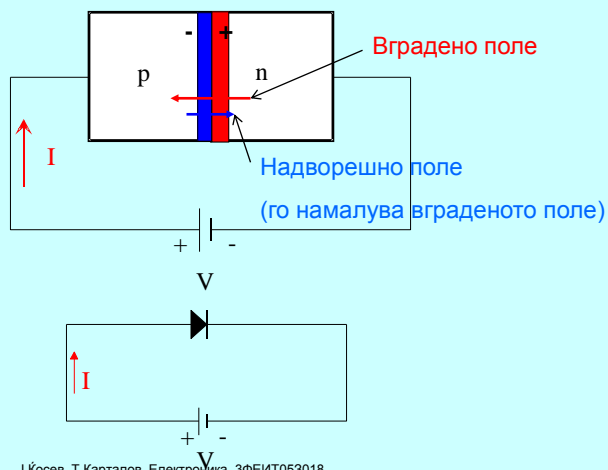
$$V_K = V_T \ln \frac{n_i^2}{N_A N_D}$$

- $|V_K| = 0,4$ до $0,9V$ за Si.

- $E_K < E_G$.

pn спој приклучен на напон

- **директна поларизација**

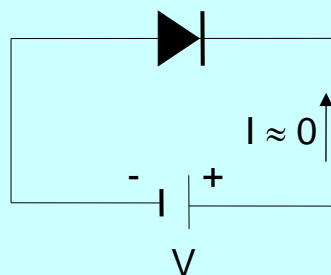
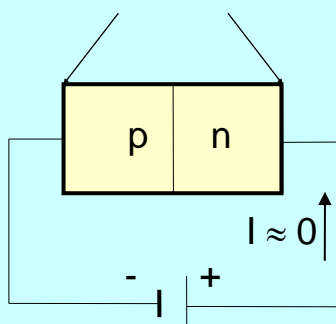


Ј.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

9

Инверзна поларизација

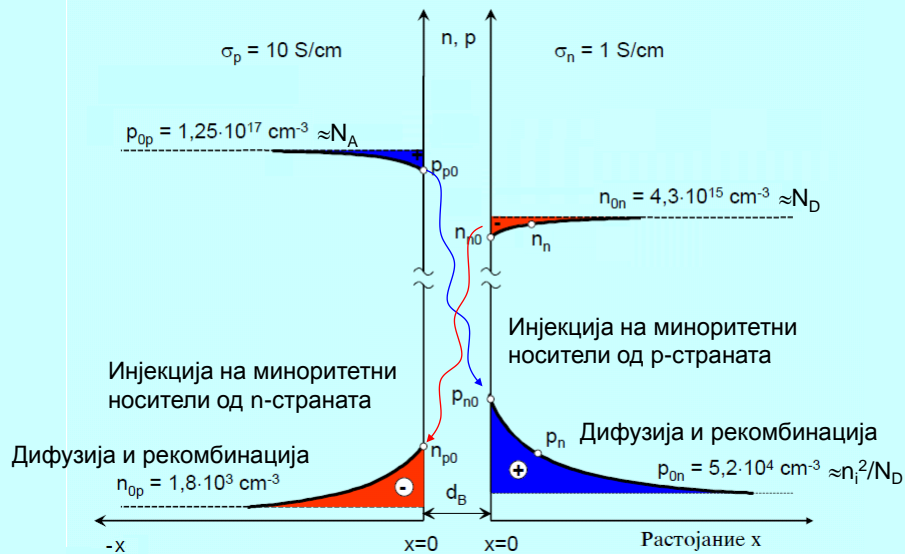
Метални
ОМСКИ КОНТАКТИ



Ј.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

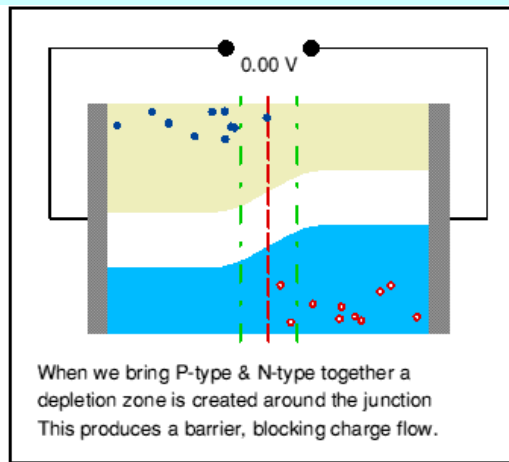
10

- Распределба на носителите при директна поларизација:



Ј.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

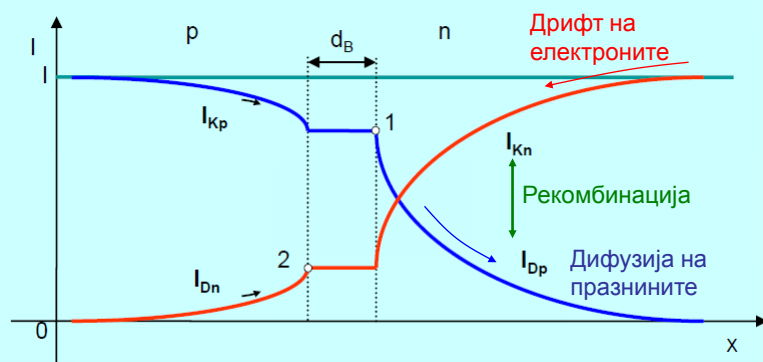
11



© J. C. G. Lesurf Univ. St. Andrews

Ј.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

12



E1-3/67

Ј.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

13

Шоклиева релација

$$I = I_{Dp}(0) + I_{Dn}(0) = qS \left(\frac{D_p p_{0n}}{L_p} + \frac{D_n n_{0p}}{L_n} \right) \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right)$$

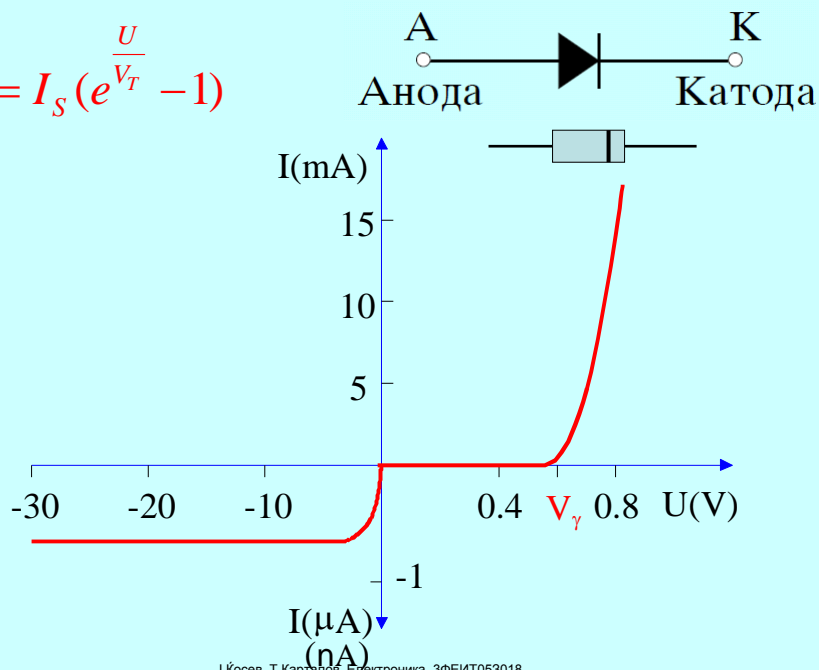
$$I_S = qS \left(\frac{D_p p_{0n}}{L_p} + \frac{D_n n_{0p}}{L_n} \right)$$

$$I = I_S \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right)$$

Ј.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

14

$$I = I_s (e^{\frac{U}{V_T}} - 1)$$



Ј.Косев, Т.Картапов, Електроника, ЗФЕИТ053018

15

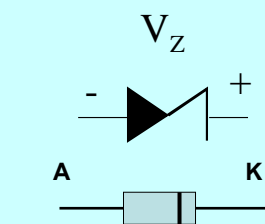
Видови полупроводнички диоди

- Стандардна (насочувачка, сигнална)
- Зенерова диода
- Фотодиода
 - Фотоволтаици (соларни ќелии)
- Светлечка или **LED** диода.
 - За сигнализација - индикатори
 - За осветление: LED lamp
- Ласерски диоди
- Енергетска диода

Ј.Косев, Т.Картапов, Електроника, ЗФЕИТ053018

16

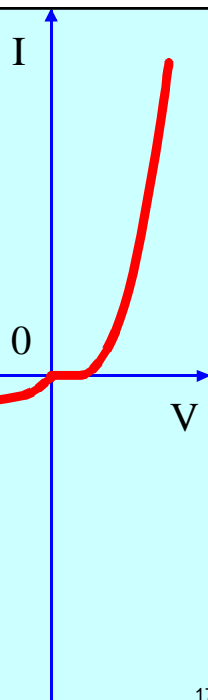
Видови полупро- воднички диоды



Зенерова
диода

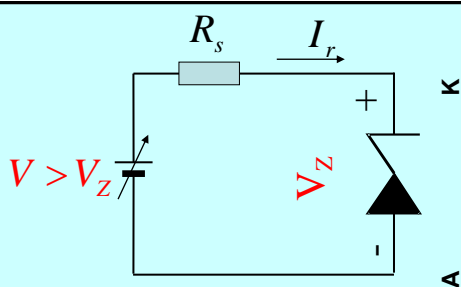
$-V_Z$

Работи во
режим на
пробив



Ј.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

17



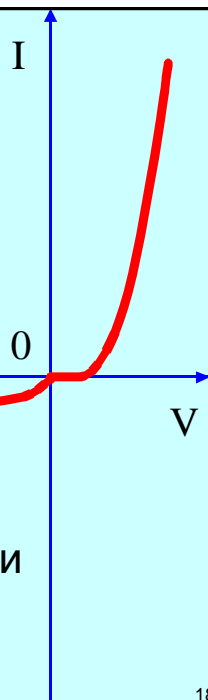
Зенерова
диода

Примена:
стабилизатор
на напон

$-V_Z$



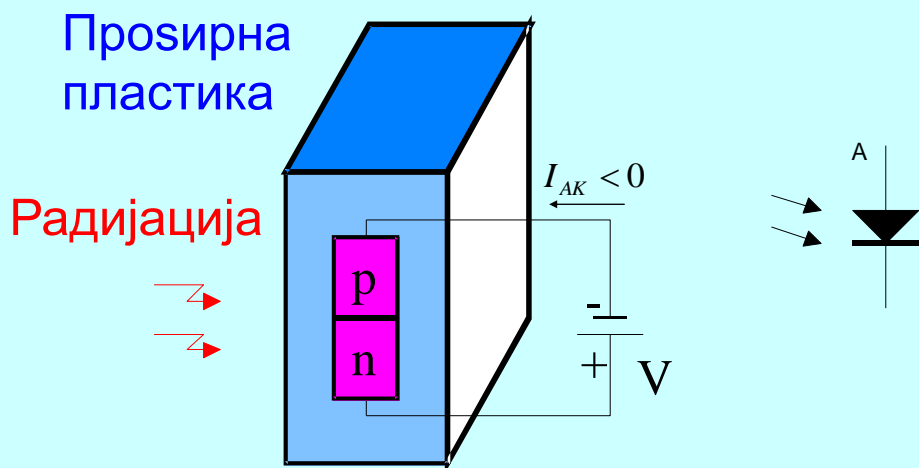
Поведение
на напонски
генератор



Ј.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

18

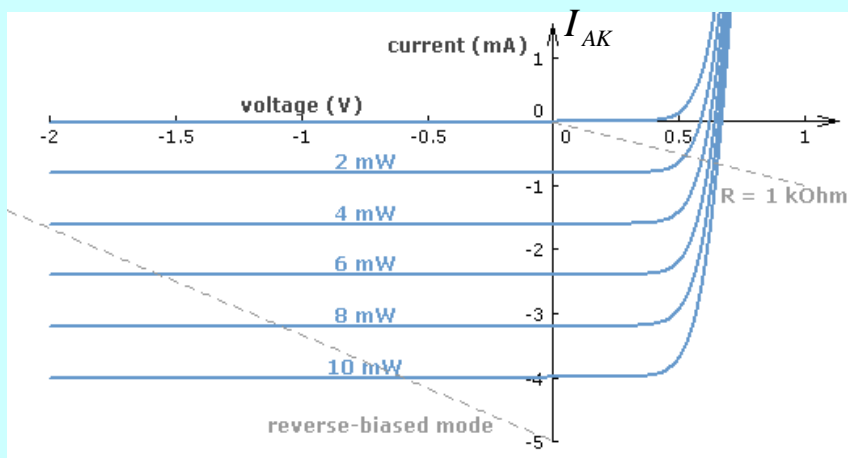
Полупроводничка фотодиода



Ј.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

19

Карактеристика на фотодиода



Ј.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

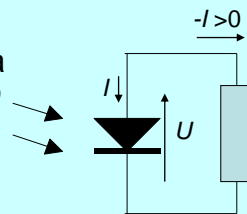
20

Функционирање на фотодиода

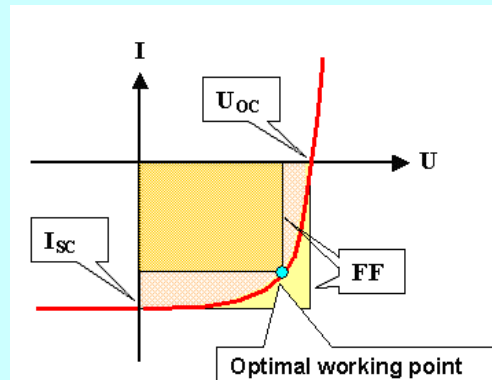
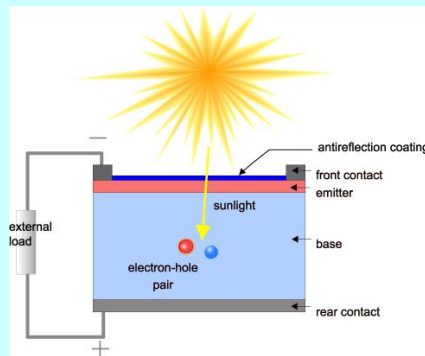
- Во темнина рп-спојот не пропушта струја во инверзна насока (**струјата на темно** е I_s)
- Ако се осветли, фотоните избиваат електрони во бариерата, а полето во бариерата ги движи носителите (празнините кон р-страната и електроните кон п-страната) така што **тече струја во инверзна насока**

Соларна ќелија

- Интересена е работата во **четвртиот квадрант** со поврзан отпорник меѓу А и К ($I < 0$, $U > 0 \Rightarrow P = UI < 0$!!)
- р-п спојот **оддава моќност** (генератор)
- Вградениот потенцијал има улога на **електромоторна сила** што ги раздвојува полнежите генерирани од светлинското зрачење
- Струјно-напонски карактеристики на ефикасна соларна ќелија:
 - Напон на отворено коло: 0.64 V,
 - густина на струја на куса врска: 35.5 mA/cm²
 - Макс. коефициент на полезно дејство 18.7%

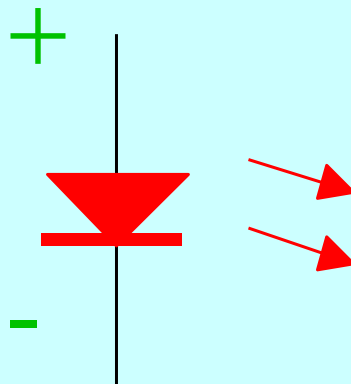


- Соларна ќелија (fotovoltaic).
- Типично при дневна светлина : $U = 0.4V$, $I = 0.1mA/mm^2$ и $\eta = 14\%$.



J.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

Светлечка или LED-диода



Принцип на работа:

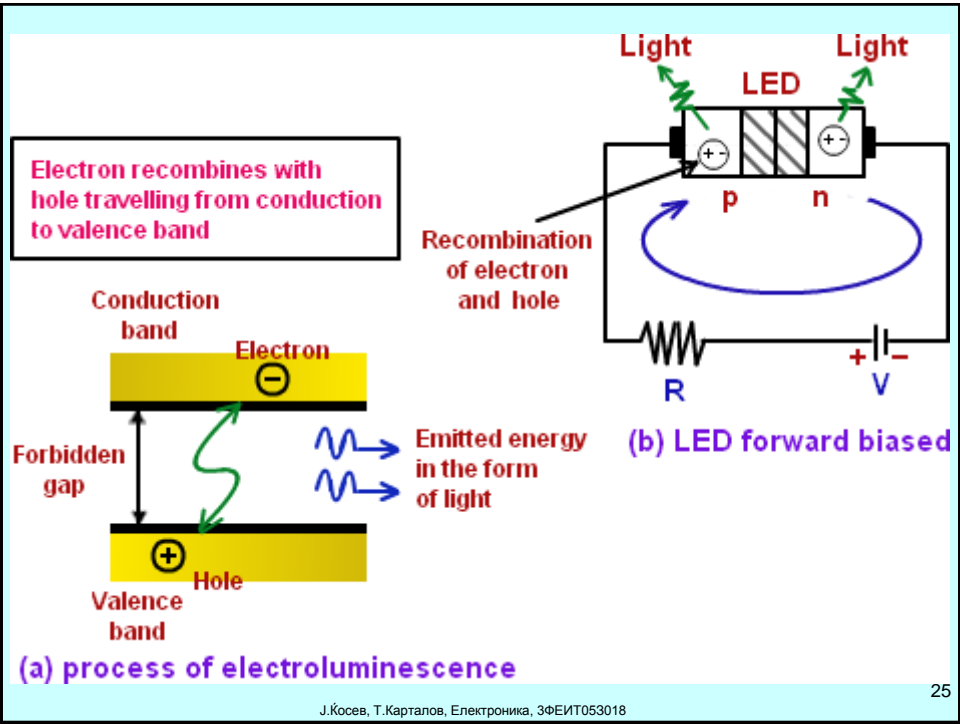
При течење **директна струја** се **рекомбинираат** електрон со празнина и се ослободува **квант енергија**. Ако не биде апсорбиран од кристалната решетка како топлина, тој се емитира како **фотон**.

Брановата должина на светлината зависи од енергетскиот процеп на полупроводникот (од инфрацрвена до ултравиолетова).

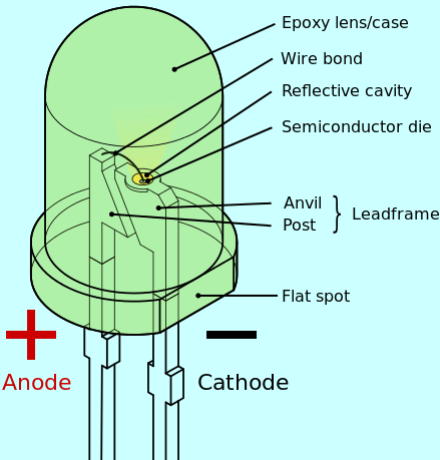
$$h\nu \approx E_g$$

J.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

24



Светлечка или LED-диода

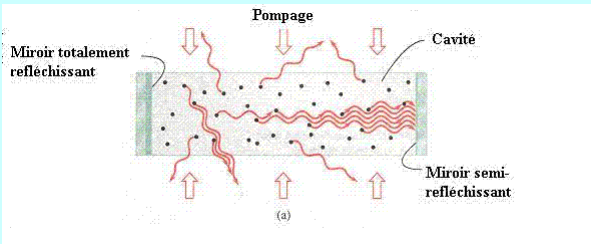


LED-светилки (информативно)

Cost Comparison for 60 watt incandescent equivalent lightbulb (U.S. residential electricity prices)						
	Incandescent ^[26]	Halogen ^[27]	CFL ^[28]	LED (Generic) ^[29]	LED (Philips) ^[30]	LED (Philips L-Prize)
Purchase price	\$0.36	\$1.50	\$1.75	\$8	\$16	\$30
Power used (watts)	60	43	14	10	9.5	10
lumens (mean)	860	750	775 ^[31]	800	806	940
lumens/watt	14.3	17.4	55.4	80	84.8	94
Color Temperature kelvin	2700	2900	2700	2700	2700	2700
CRI	100	100	82	82	>80	92
Lifespan (hours)	1,000	1,000	10,000	25,000	15,000	30,000
Bulb lifetime in years @ 6 hours/day	0.5	0.5	4.6	>11.4	6.8	>13.7
Energy cost over 10 years @ 12 cents/kWh	\$158	\$113	\$37	\$26	\$25	\$26
Total cost	\$167	\$146	\$42	\$34	\$57	\$56
Total cost per 860 lumens	\$167	\$167	\$47	\$35	\$61	\$51
Comparison based on 6 hours use per day (21,900 hours over 10 yrs)						
J.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018						
						27

Ласерска диода

- <http://www.youtube.com/watch?v=o8tHfNjiae4>
- LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- =светлинско засилување со стимулирана емисија на зрачење



Ласерска диода (информативно)

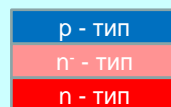
- Инјекција низ рп-спојот = „пумпање“ енергија
- Рекомбинација → светлосни кванти (спонтанa емисија $h\nu = E_G$) [бранова должина $\lambda = c/\nu$]
- Оптичка резонанција (огледала на $n\lambda/2$) → само кванти со иста фаза и бранова должина
- Стимулирана рекомбинација (од квантите што резонираат) → оптичко засилување
- Полупропусно огледало → ласерски сноп
- Колимациска леќа → тенок ласерски зрак
- Анимации:
<http://ecee.colorado.edu/~bart/book/movie/movies.htm>

Ј.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

29

Енергетска диода

- По функција, слична на обичната диода (сигнална / насочувачка)
- Разлика во дизајнот – воведување на п-подрачје со пониска концентрација на примеси заради издржливост на повисоки инверзни напони.
- Напонска и струјна издржливост – илјадници волти инверзен напон, стотици ампери директна струја.
- Можност за работа на повисоки номинални температури.
- Енергетските диоди најчесто се изведуваат во робусни метални куќишта



Ј.Косев, Т.Карталов, Електроника, ЗФЕИТ053018

30