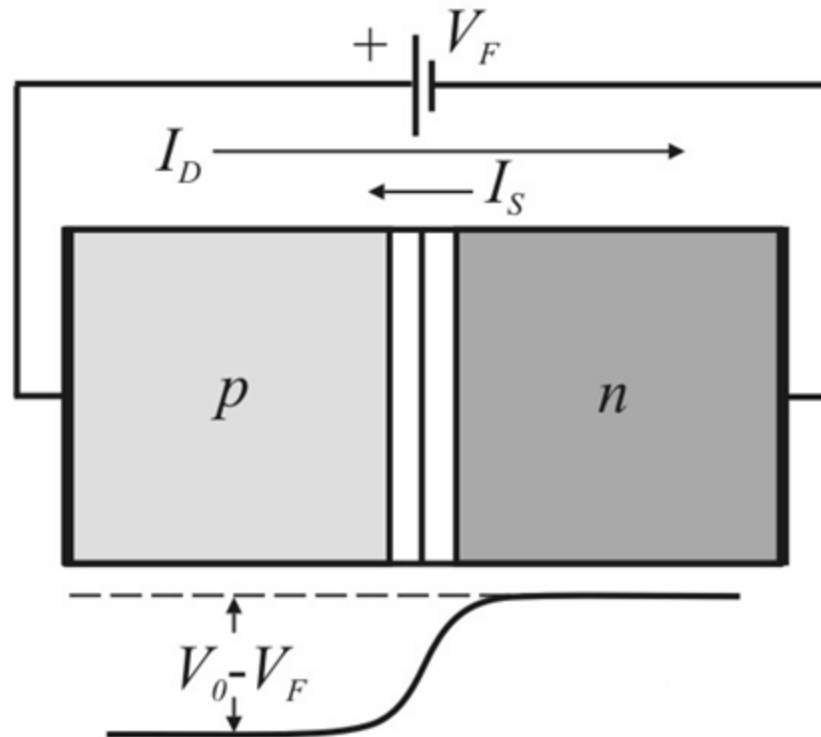


# Osnovi analogne elektronike

prof. Dr Nenad Jovičić

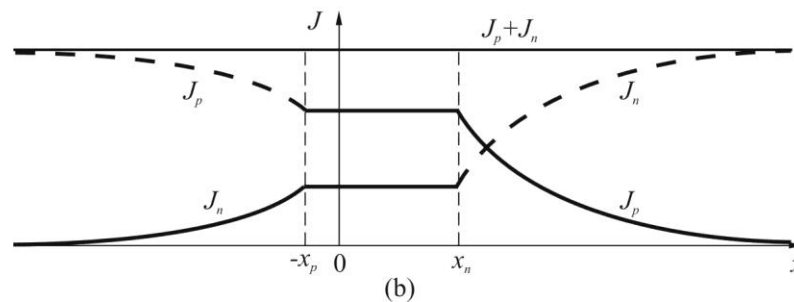
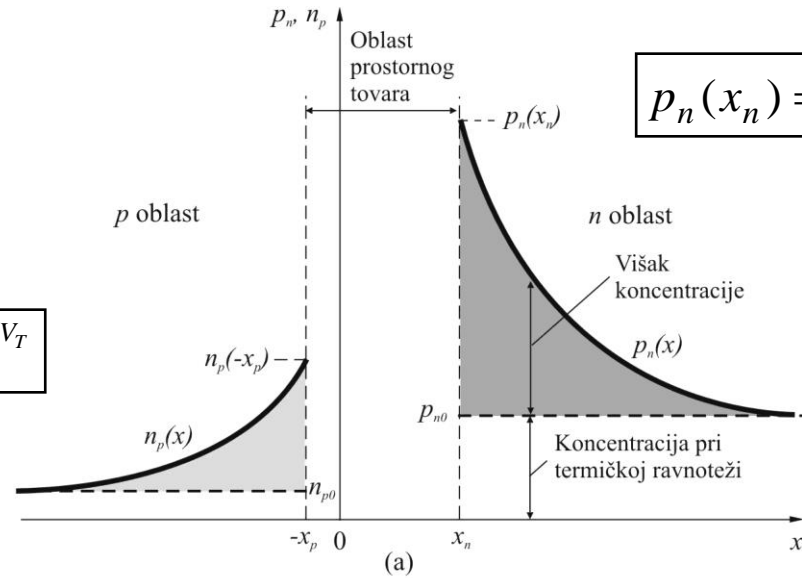
nenad@etf.rs

# Direktno polarisan PN spoj



# Direktno polarisan PN-spoj

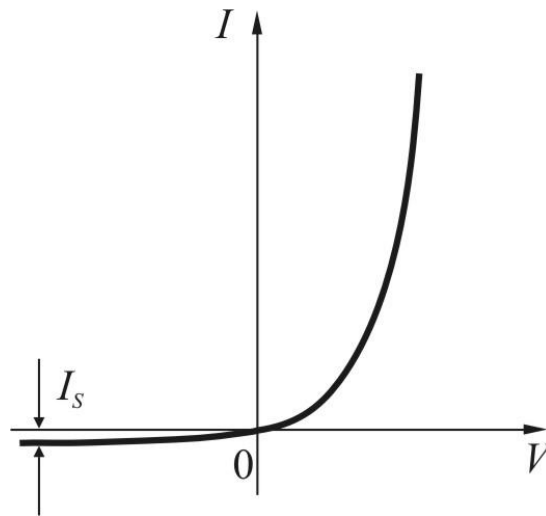
$$n_p(-x_p) = n_{p0} e^{V/V_T}$$



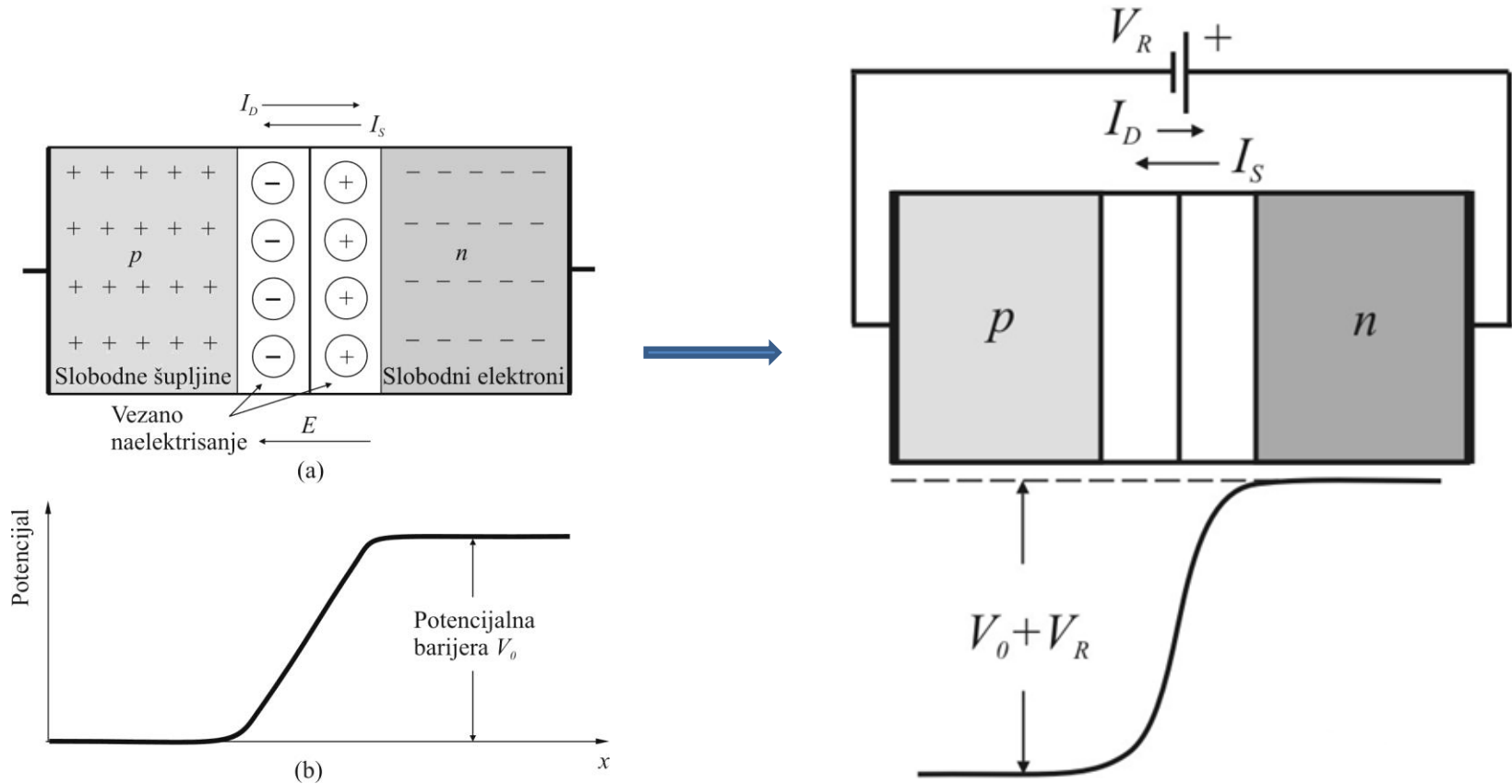
$$J = J_s (e^{V/V_T} - 1)$$

$$I = I_s (e^{V/V_T} - 1)$$

# Struja direktno polarisanog PN spoja

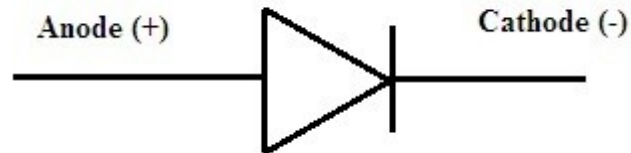


# Inverzno polarisan PN spoj

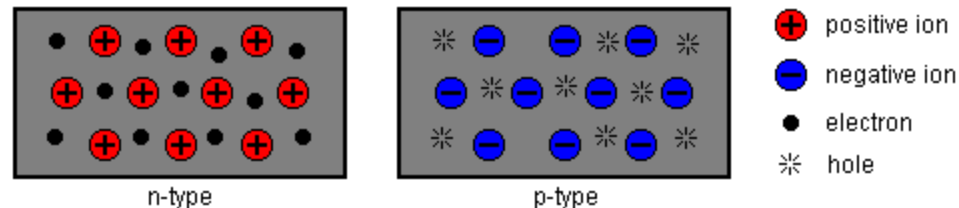


# Šta je najbitnija osobina PN spoja?

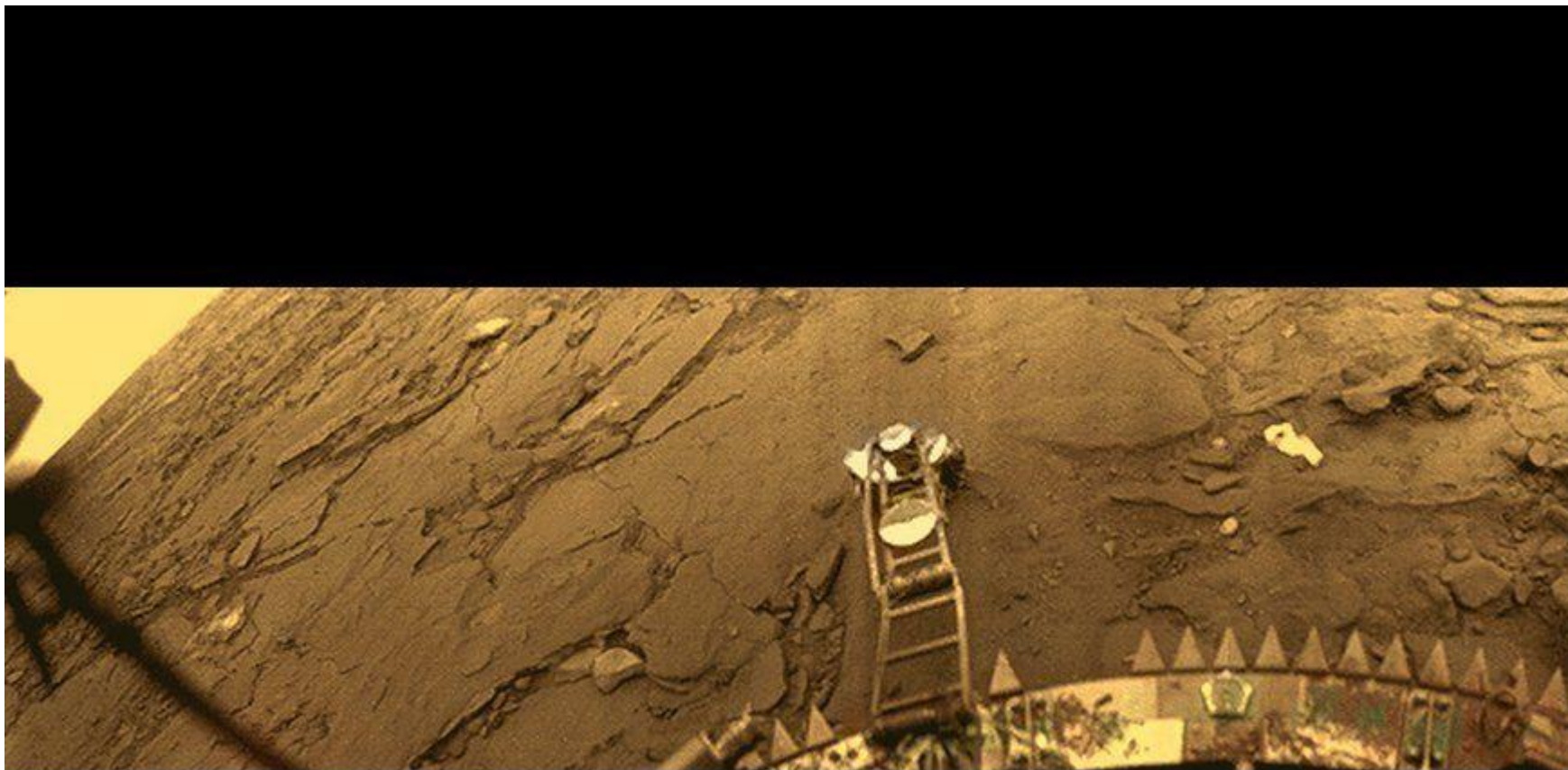
- Šta je najbitnija osobina PN spoja?



- Kako se to postiže?



Hoće li Si PN spoj funkcionisati ovde?



# Ostali poluprovodnici

Ge 0.7eV, Si 1.1eV, GaAs 1.4eV, SiC 3.3eV, Diamant 5.4eV

**Periodic table of the elements**

group 1\*

period

18

2

13 14 15 16 17

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Alkali metals  
Alkaline-earth metals  
Transition metals  
Other metals  
Other nonmetals

Halogens  
Noble gases  
Rare-earth elements (21, 39, 57–71) and lanthanoid elements (57–71 only)  
Actinoid elements

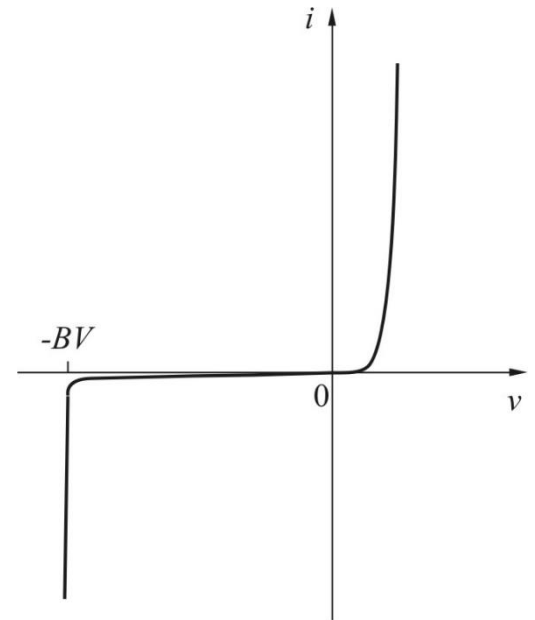
1	2												13	14	15	16	17	18
1	2											13	14	15	16	17	18	
3	4											5	6	7	8	9	10	
11	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	
lanthanoid series 6		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
actinoid series 7		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103			

\*Numbering system adopted by the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). © Encyclopædia Britannica, Inc.

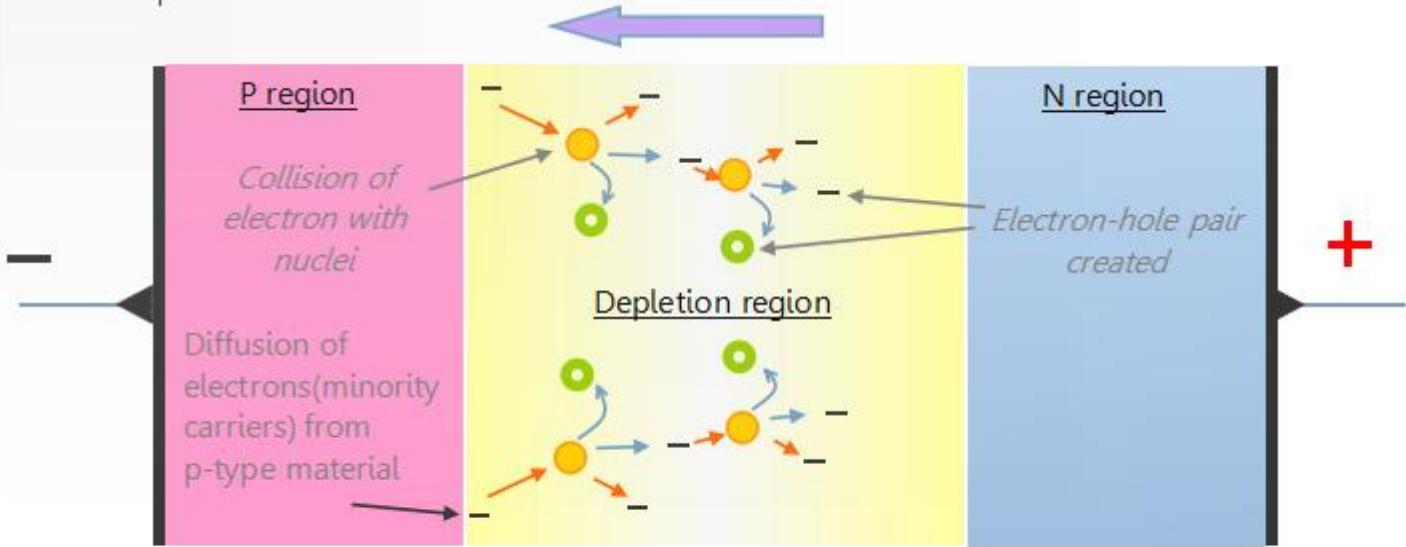


# Proboj PN spoja

- Proboj se javlja pri inverznoj polarizaciji PN spoja
- Ako se napon poveća iznad neke vrednosti dolazi do naglog povećanja struje, i PN spoj ulazi u oblast proboja
- Napon pri kome PN spoj ulazi u proboj naziva se probojni napon,  $BV$  (breakdown voltage)



# Lavinski proboj



Avalanche breakdown

# Lavinski proboj

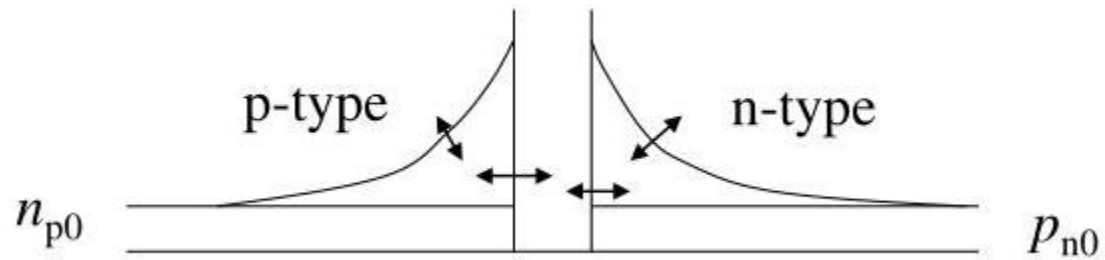
- Visok inverzni napon polarizacije stvara jako el.polje
  - najjače na samom spoju, u oblasti prostornog tovara
  - Ubrzavaju se manjinski slobodni elektroni, koji se sudaraju sa nepokretnim atomima u oblasti prostornog tovara
  - Ako je energija manjinskog nosioca dovoljna, dolazi do raskidanja veze jezgra i valentnog elektrona
    - Stvaraju se parovi elektron-šupljina
    - Pod dejstvom jakog polja i ovi nosioci mogu da sudaranjem generišu nove nosioce, struja raste, o dolazi do proboja.

# Zenerov proboj

- Ako je koncentracija primesa velika, do proboja dolazi i pri manjim naponima inv. polarizacije.
  - U oblasti prostornog tovara unutrašnje polje „čupa“ (tunelski efekat) elektrone iz kovalentnih veza, što stvara struju proboja.
    - Više dopiran poluprovodnik, veća verovatnoća izvlačenja elektrona iz atoma, probojni napon niži
- Zenerov proboj  $BV < 5V$  ,lavinski proboj  $BV > 7V$

$$BV \sim \left( \frac{1}{N_d}, \frac{1}{N_a} \right)$$

# Kapacitivnost i dinamička otpornost PN spoja



# Kapacitivnost i dinamička otpornost PN spoja

- PN spoj ima usmeračko svojstvo, provodi kada je direktno polarisan, ne provodi kada je inverzno polarisan.
- Kada se PN spoj izloži promenljivom naponu, ponaša se kao da sadrži kapacitivnost,
- Kapacitivno ponašanje zbog
  - Postojanja oblasti protornog tovara pri inverznoj polarizaciji
  - Uspostavljanje raspodele viška slobodnih nosilaca pri direktnoj polarizaciji
- Zato se definišu kapacitivnost oblasti prostornog tovara i difuziona kapacitivnost

# Kapacitivnost oblasti prostornog tovara

- **Kapacitivnost oblasti prostornog tovara**
- Kod inverzne polarizacije, obrazuje se oblast prostornog tovara. Ako se napon inverzne polarizacije  $V_R$  menja, menja se širina oblasti  $w$ , pa samim tim i količina vezanog naelektrisanja,  $dV \rightarrow dQ_t$
- Ekvivalentna kap. oblasti prostornog tovara:  $C_t = \frac{dQ_t}{dV}$
- Odgovara pločastom kondenzatoru sa pločama površine  $A$  na rastojanju  $l$ ,  $C_t = \varepsilon \frac{A}{w}$
- $\varepsilon$  je dielektrična konstanta silicijuma,  $w \sim \sqrt{\frac{v}{N_d}}$  ako se uzme da je  $N_a \gg N_d$ ,  $p$  strana mnogo više dopirana ( $p^+$ )

# Difuziona kapacitivnost

## – Difuziona kapacitivnost

– Pri promeni napona direktne polarizacije menja se koncentracija sporednih nosilaca sa obe strane spoja.

- Kretanje difuzijom, potrebno vreme da se višak akumulira

– Analogno punjenju i pražnjenju kondenzatora, ekvivalentna kapacitivnost direktno polarisanog pn spoja:

$$C_d = \frac{dQ}{dV}$$

–  $dQ = \tau_T di$ ,  $\tau_T$  je srednje vreme preleta ( $\sim \tau_p, \tau_n$ ),  $i$  struja pn spojna ( $i_p + i_n$ )



# Difuziona kapacitivnost

- **Difuziona kapacitivnost**

- $dQ = \tau_T di$ ,  $\tau_T$  je srednje vreme preleta ( $\sim \tau_p, \tau_n$ ),  $i$  struja pn spojna ( $i_p + i_n$ )

- $$C_d = \frac{\tau_T di}{dv} = \frac{\tau_T}{\frac{dv}{di}} = \frac{\tau_T}{r_d}$$

- $r_d$  dinamička otpornost pn spoja