

## Elektronika

Auditorne vježbe 2

#### Zadatak 1.

 Izračunati širinu zabranjenog pojasa silicija na sljedećim temperaturama:

a) 
$$T=200 \text{ K}$$

b) 
$$T=350 \text{ K}$$

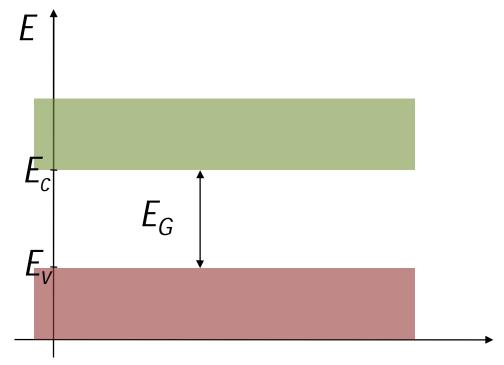
c) 
$$T=400 \text{ K}$$

#### Rješenje:

a) 
$$E_G = 1.147 \text{ eV}$$

b) 
$$E_G = 1.111 \text{ eV}$$

c) 
$$E_G = 1.097 \text{ eV}$$



Širina zabranjenog pojasa se smanjuje s povećanjem temperature!!!

# Čisti (intrinsični) silicij

- Bez primjesa (nečistoća).
- Broj slobodnih elektrona = broj razbijenih kovalentnih veza.
- Razbijena kovalentna veza = slobodno mjesto za drugi elektron -> šupljina.
- Gustoća šupljina *p* [cm<sup>-3</sup>].
- U intrinsičnom poluvodiču:

$$n = p = n_i$$

#### Zadatak 2.

 Izračunati intrinsičnu gustoću u silicijskom poluvodiču na temperaturama:

a) 
$$T = 100 \text{ K}$$

b) 
$$T = 200 \text{ K}$$

c) 
$$T = 350 \text{ K}$$

d) 
$$T = 400 \text{ K}$$

#### ✓ Rješenje:

a) 
$$n_i = 2,23 \cdot 10^{-11} \text{ cm}^{-3}$$

b) 
$$n_i = 4.61 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-3}$$

c) 
$$n_i = 3.05 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-3}$$

d) 
$$n_i = 4.58 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$$

Intrinsična gustoća se značajno povećava s porastom temperature!!!



## Onečišćeni (ekstrinsični) poluvodič

- Poluvodič s primjesama (namjerno unesene)
- Gustoća primjesa određuje električna svojstva (vodljivost)
- primjesa = nečistoća = dopant
- unošenje nečistoća = dopiranje

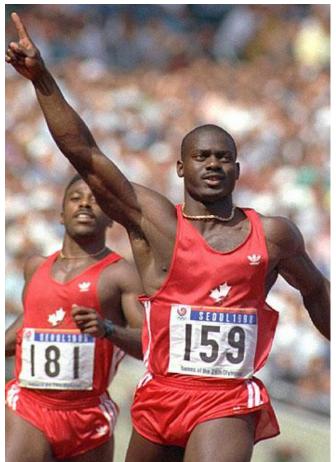
## Dopiranje

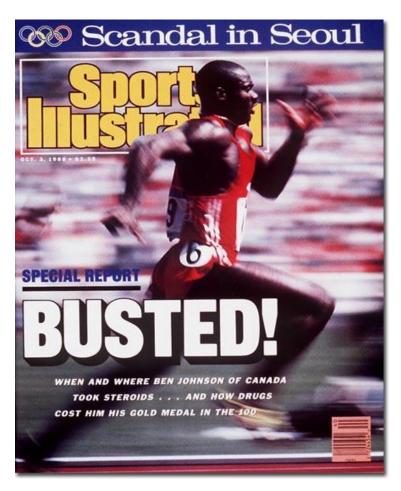
U sportu → strogo zabranjeno

OI Seoul, 1988:

100 m:

Ben Johnson 9,79 s





U elektronici → pożeljno!



## Tipovi ekstrinsičnih poluvodiča

- Prevladavaju elektroni n-tip
- Prevladavaju šupljine p-tip
- Primjese se unose posebnim tehnološkim postupcima

Uređaj za ionsku implantaciju i nanošenje poluvodičkih filmova

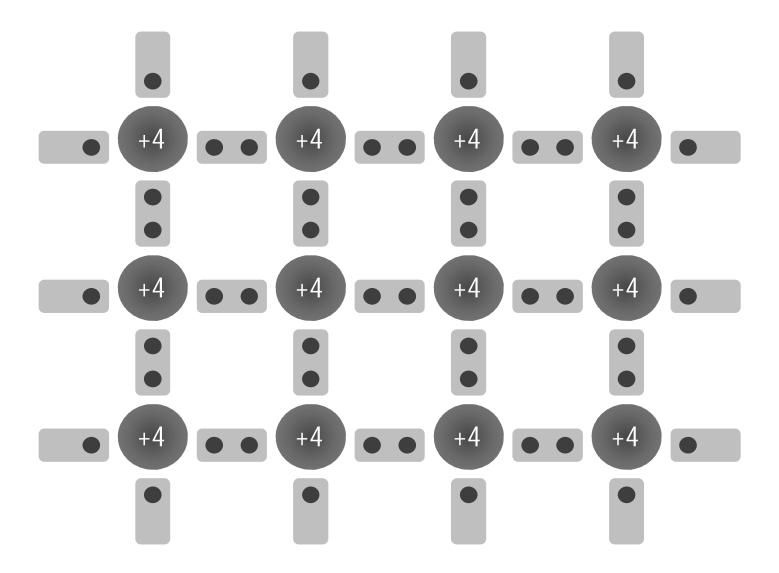


- Primjese: 5-valentni atomi:
  - FOSFOR (P)
  - ARSEN (As)
  - ANTIMON (Sb)
- Imaju 5 valentnih elektrona:
  - 4 u kovalentnoj vezi (čvrsto vezani)
  - 1 vezan uz jezgru (puno slabije vezan)

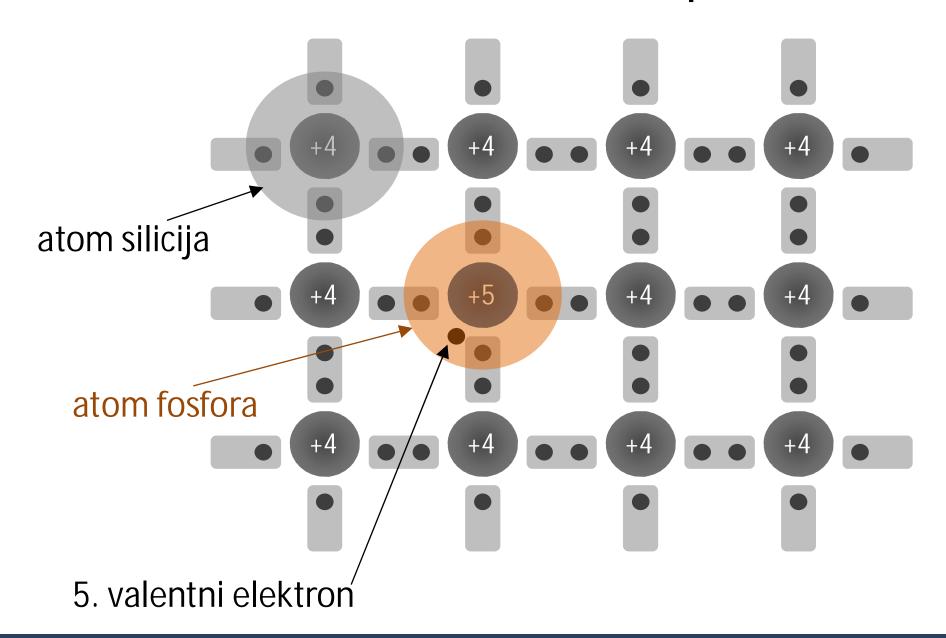
						2
						He
						Helium 4.003
	5	6	7	8	9	10
	В	C	N	O	F	Ne
	Boron	Carbon	Nitrogen	Oxygen	Fluorine	Neon
	10.811	12.0107	14.00674	15.9994	18.9984032	20.1797
	Al	Si	<b>P</b>	S	Cl	
	All	Silicon	Phosphorus	Sulfur	Chlorine	Ar Argon
	26.981538	28.0855	30.973761	32.066	35.4527	39.948
	31	32	33	34	35	36
	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
	Gallium 69.723	Germanium 72.61	Arsenic 74.92160	Selenium 78.96	Bromine 79.904	Krypton 83.80
_	49	50	51	52	53	54
	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
	Indium	Tin	Antimony	Tellurium	■ Iodine	Xenon
	114.818	118.710	121.760	127.60	126.90447	131.29
	81	82	83	84	85	86
	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
	Thallium 204.3833	Lead 207.2	Bismuth 208.98038	Polonium (209)	Astatine (210)	Radon (222)
_	113	114	200.70030	(209)	(210)	(222)



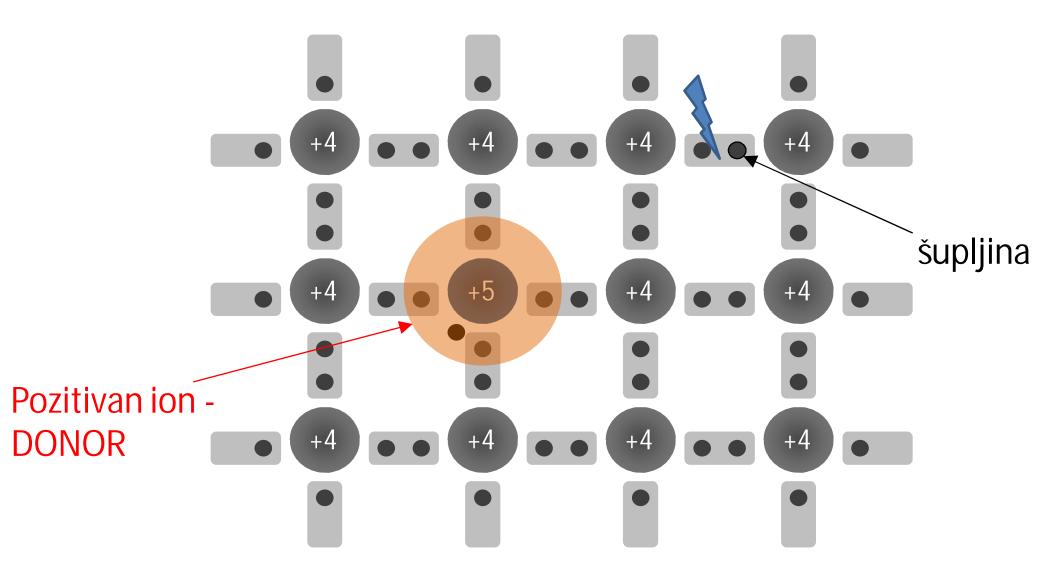
# Intrinsični poluvodič











5. valentni elektron



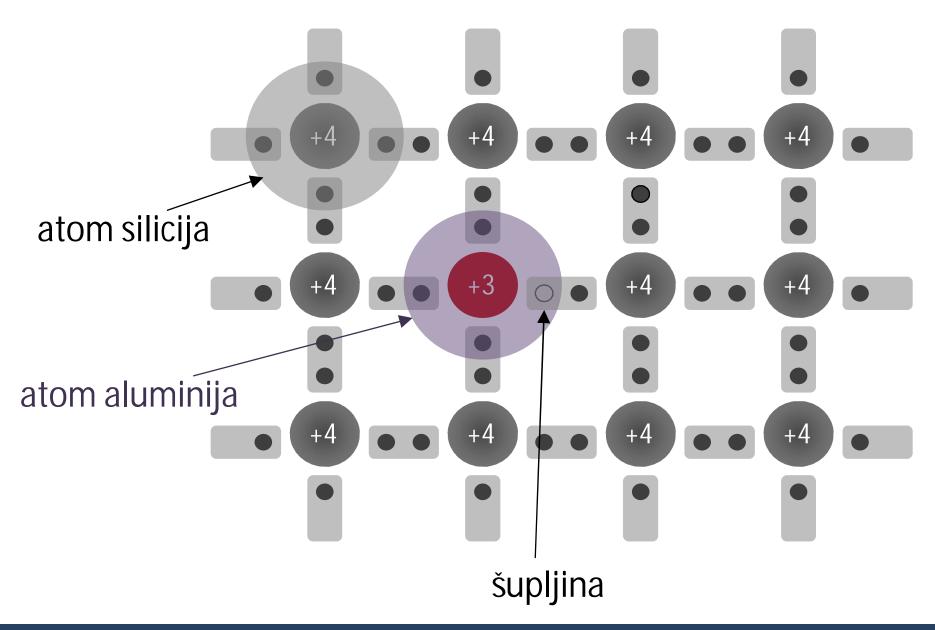
- Naboji u poluvodiču n-tipa:
  - Slobodni elektroni
  - Slobodne šupljine
  - Lokalizirani donori
- Ravnotežno stanje:
  - Gustoća elektrona n<sub>0</sub>
  - Gustoća šupljina  $p_0$

$$n_0 > p_0$$

- Gustoća donora N<sub>D</sub>
- Elektroni su većinski nosioci naboja
- Šupljine su manjinski nosioci naboja

- Primjese: 3-valentni atomi:
  - BOR (B)
  - ALUMINIJ (AI)
  - GALIJ (Ga)
- Imaju 3 valentna elektrona:
  - 3 u kovalentnoj vezi (čvrsto vezani)
  - 1 nedostaje uz jezgru (slobodno mjesto za elektron - šupljina)

					2
					He
					Helium 4.003
5	6	7	8	9	10
В	C	N	O	F	Ne
Boron 10.811	Carbon 12.0107	Nitrogen 14.00674	Oxygen 15.9994	Fluorine 18.9984032	Neon 20.1797
13	14	15	16	17	18
Al	Si	P	S	Cl	Ar
Aluminum 26.981538	Silicon 28.0855	Phosphorus 30.973761	Sulfur 32.066	Chlorine 35.4527	Argon 39.948
31	32	33	34	35	36
Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Gallium 69.723	Ge Germanium 72.61	As Arsenic 74.92160	Se Selenium 78.96	Br Bromine 79.904	Kr Krypton 83.80
Gallium	Germanium	Arsenic	Selenium	Bromine	Krypton
Gallium 69.723	Germanium 72.61	Arsenic 74.92160	Selenium 78.96	Bromine 79.904	Krypton 83.80
Gallium 69.723 49	Germanium 72.61 50	Arsenic 74.92160 51	Selenium 78.96 52	Bromine 79.904 53	Krypton 83.80 54
Gallium 69.723 49 In	Germanium 72.61 50 Sn Tin	Arsenic 74.92160 51 <b>Sb</b> Antimony	Selenium 78.96 52 Te Tellurium	Bromine 79.904 53 I Iodine	Krypton 83.80 54 <b>Xe</b> Xenon
Gallium 69.723 49 <b>In</b> Indium 114.818	Germanium 72.61 50 <b>Sn</b> Tin 118.710	Arsenic 74.92160 51 <b>Sb</b> Antimony 121.760	Selenium 78.96 52 <b>Te</b> Tellurium 127.60	Bromine 79.904 53 <b>I</b> Iodine 126.90447	83.80 54 <b>Xe</b> Xenon 131.29
Gallium 69.723 49 In Indium 114.818 81 Tl Thallium	Germanium 72.61 50 Sn Tin 118.710 82 Pb Lead	Arsenic 74.92160  51  Sb Antimony 121.760  83  Bi Bismuth	Selenium 78.96 52 Te Tellurium 127.60 84 Po Polonium	53 I Iodine 126.90447 85 At Astatine	Xe Xenon 131.29 86 Rn Radon
Gallium 69.723 49 In Indium 114.818 81 Tl	Germanium 72.61 50 Sn Tin 118.710 82 Pb	Arsenic 74.92160  51  Sb Antimony 121.760  83  Bi	52 <b>Te</b> Tellurium 127.60 84 <b>Po</b>	53 I Iodine 126.90447 85 At	54 Xe Xenon 131.29 86 Rn





- Naboji u poluvodiču p-tipa:
  - Slobodni elektroni
  - Slobodne šupljine
  - Lokalizirani akceptori
- Ravnotežno stanje:
  - Gustoća elektrona n<sub>0</sub>
  - Gustoća šupljina  $p_0$

$$p_0 > n_0$$

- Gustoća donora  $N_A$
- Šupljine su većinski nosioci naboja
- Elektroni su manjinski nosioci naboja

## Osnovni zakoni u poluvodičima

1) Zakon električne neutralnosti:

$$n_0 + N_A = p_0 + N_D$$

2) Zakon termodinamičke ravnoteže:

$$\left| n_0 \cdot p_0 = n_i^2 \right|$$

#### Zadatak 3.

 Izračunati relativnu promjenu intrinsične gustoće u silicijskom poluvodiču ako se temperatura s 300 K povisi za 10%.

#### ☑ Rješenje:

#### Proračun:

$$T_1$$
=300 K  $\rightarrow n_{i1}$  = 8,68·10<sup>9</sup> cm<sup>-3</sup>  
 $T_2$ =330 K  $\rightarrow n_{i2}$  = 8,3·10<sup>10</sup> cm<sup>-3</sup>

$$\frac{\Delta n_i}{n_{i1}} = \frac{n_{i2} - n_{i1}}{n_{i1}} = 856\%$$

#### Zadatak 4.

- Silicijskom poluvodiču dodane su akceptorske primjese gustoće N<sub>A</sub>=10<sup>14</sup> cm<sup>-3</sup>. Odrediti gustoće slobodnih nosilaca naboja na temperaturama:
  - a) 0°C
  - b) 27°C
  - c) 175°C

#### ☑ Rješenje:

Primjese=akceptori → p-tip poluvodiča! → prevladavaju šupljine!

Primijeniti osnovne zakone o poluvodičima!

