



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) $T=400\text{ K}$

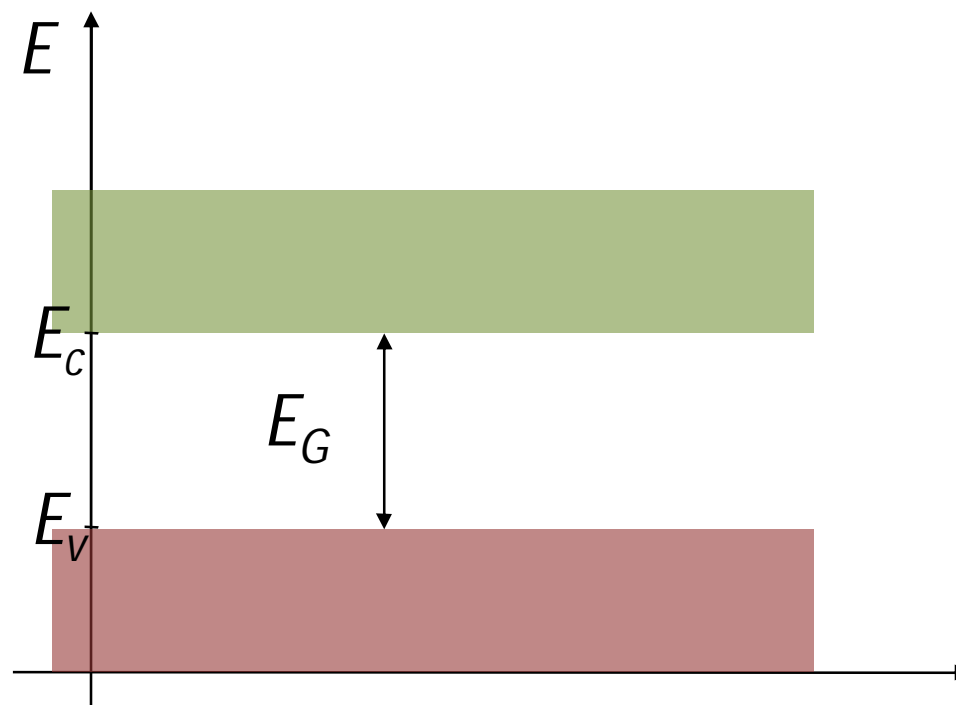


Rješenje:

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 (intrinzični) silicij

- Bez primjesa (nečistoća).
- Broj slobodnih elektrona = broj razbijenih kovalentnih veza.
- Razbijena kovalentna veza = slobodno mjesto za drugi elektron → šupljina.
- Gustoća šupljina p [cm⁻³].
- U intrinzičnom poluvodiču:

$$n = p = n_i$$

Zadatak 2.

- Izračunati intrinzičnu 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) $n_i = 4,58 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$

Intrinzična gustoća se značajno povećava s porastom temperature!!!

Onečišćeni (ekstrinzični) poluvodič

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

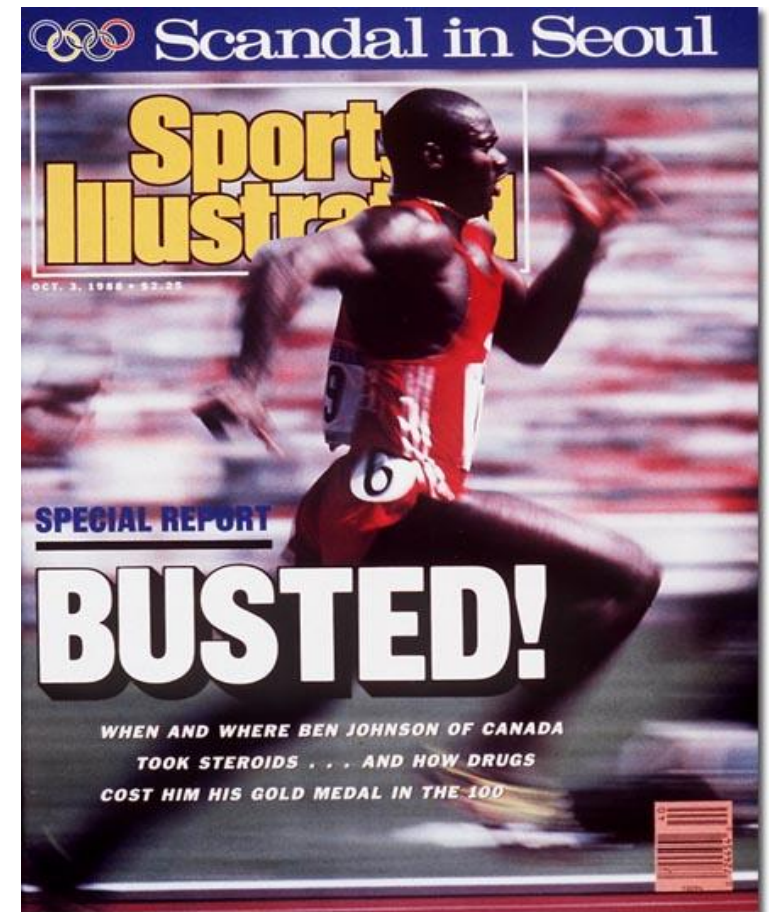
Dopiranje

- U sportu → strogo zabranjeno

Ol Seoul, 1988:

100 m:

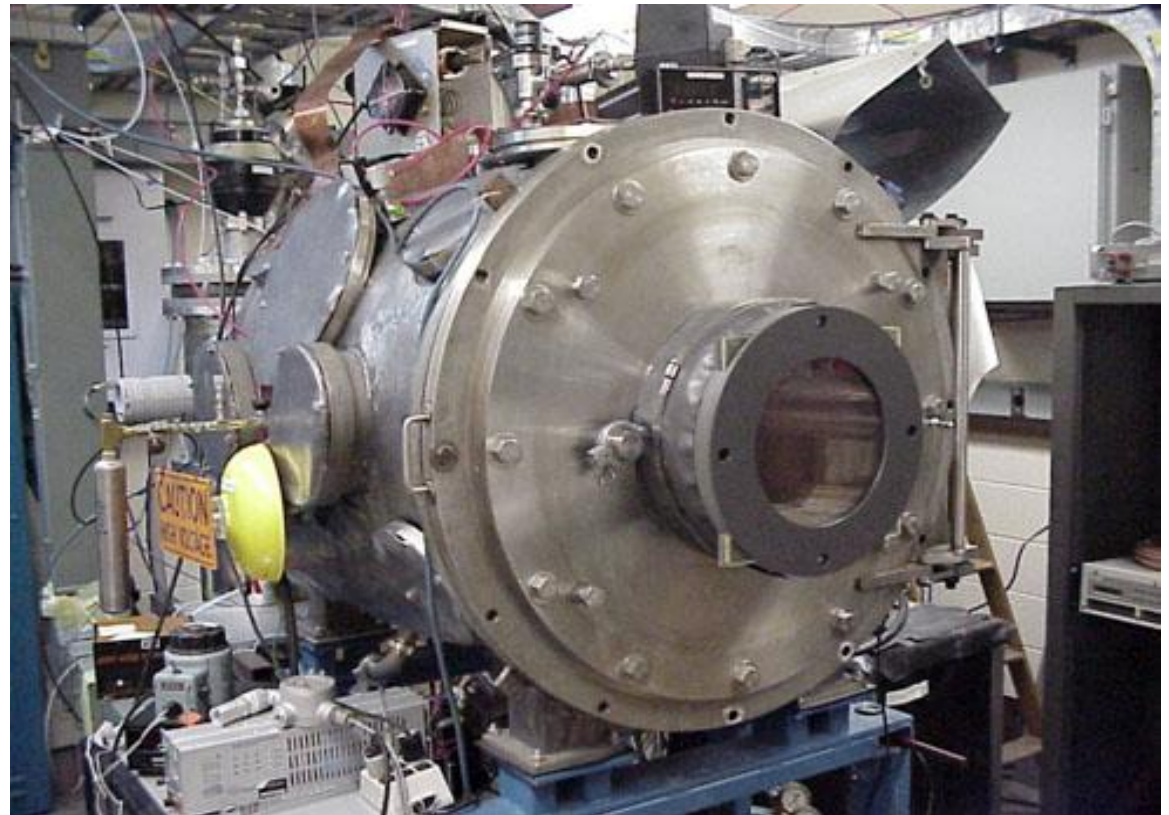
Ben Johnson 9,79 s



- U elektronici → poželjno!

Tipovi ekstrinzičnih poluvodiča

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



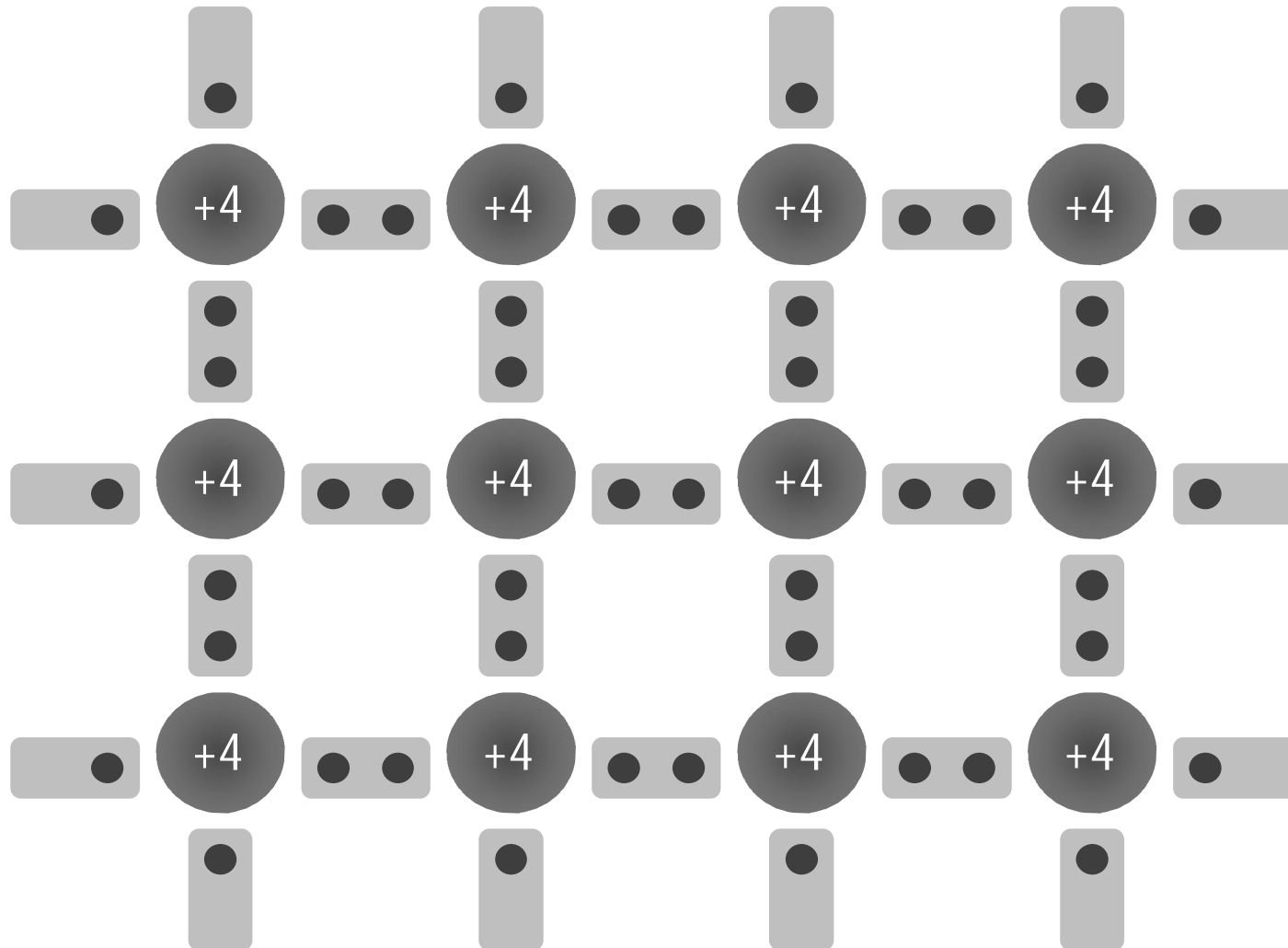
Uređaj za ionsku implantaciju i nanošenje poluvodičkih filmova

Poluvodič **n**-tipa

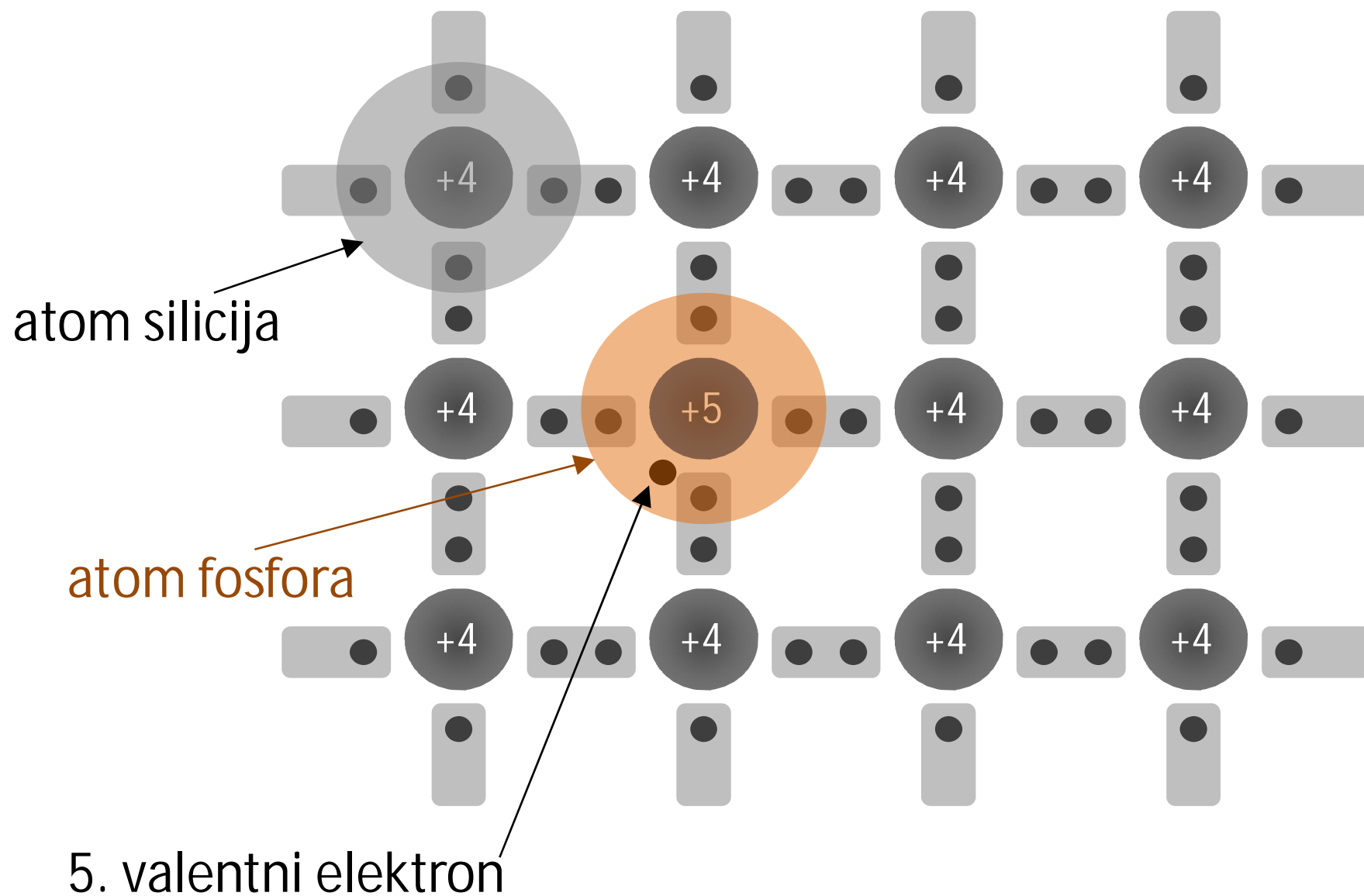
- Primjese: 5-valentni atomi:
 - FOSFOR (P)
 - ARSEN (As)
 - ANTIMON (Sb)
- Imaju 5 valentnih elektrona:
 - 4 u kovalentnoj vezi (čvrsto vezani)
 - 1 vezan uz jezgru (puno slabije vezan)

					2 He Helium 4.003
5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797
13 Al Aluminum 26.981538	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973761	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948
31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.92160	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80
49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29
81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98038	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
113	114				

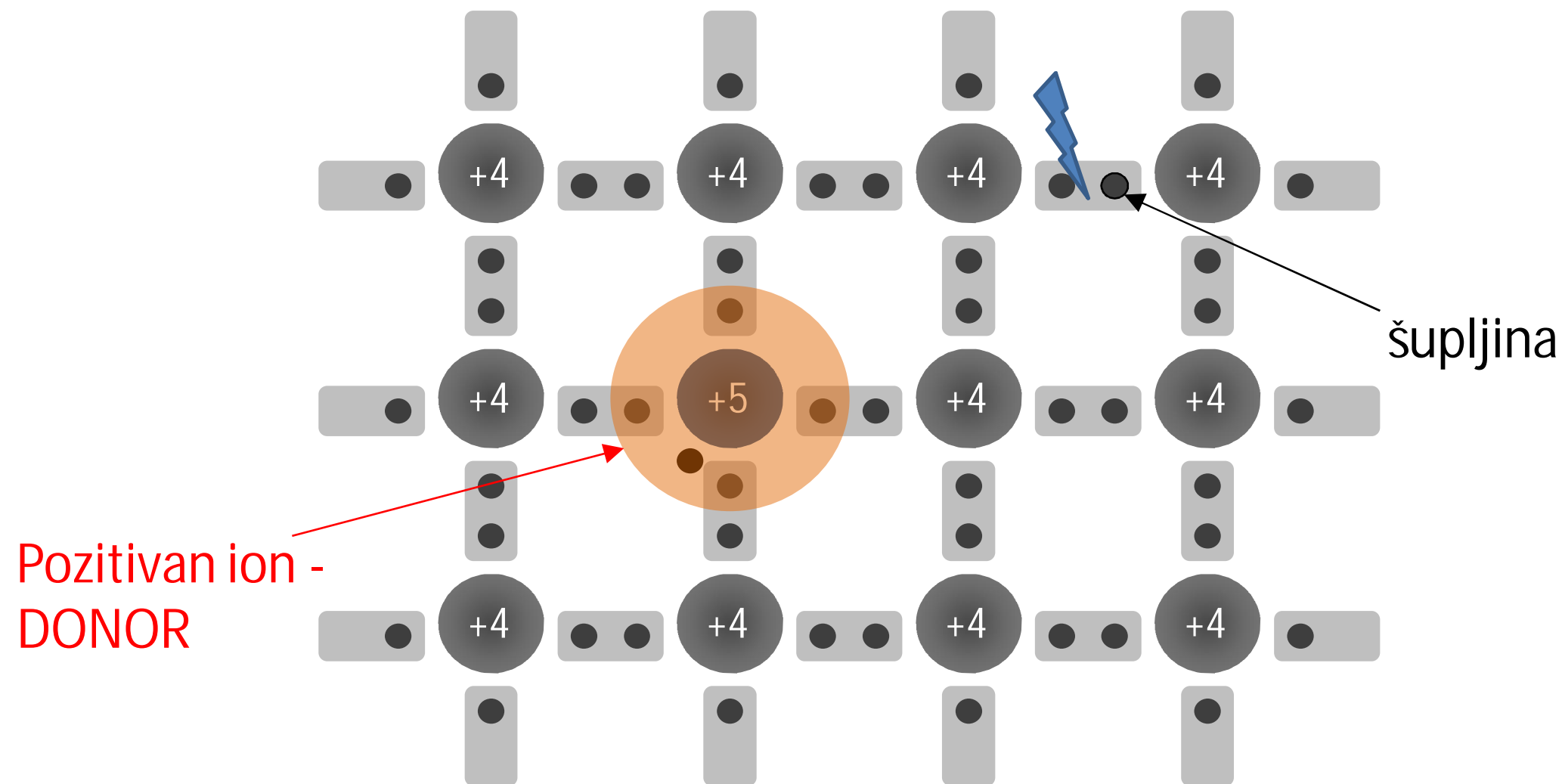
Intrinsični poluvodič



Poluvodič **n**-tipa



Poluvodič **n**-tipa



5. valentni elektron

Poluvodič **n**-tipa

- Naboji u poluvodiču n-tipa:
 - Slobodni **elektroni**
 - Slobodne **šupljine**
 - Lokalizirani **donori**
- Ravnotežno stanje:
 - Gustoća elektrona n_0
 - Gustoća šupljina p_0
 - Gustoća donora N_D
- *Elektroni su većinski nosioci naboja*
- *Šupljine su manjinski nosioci naboja*

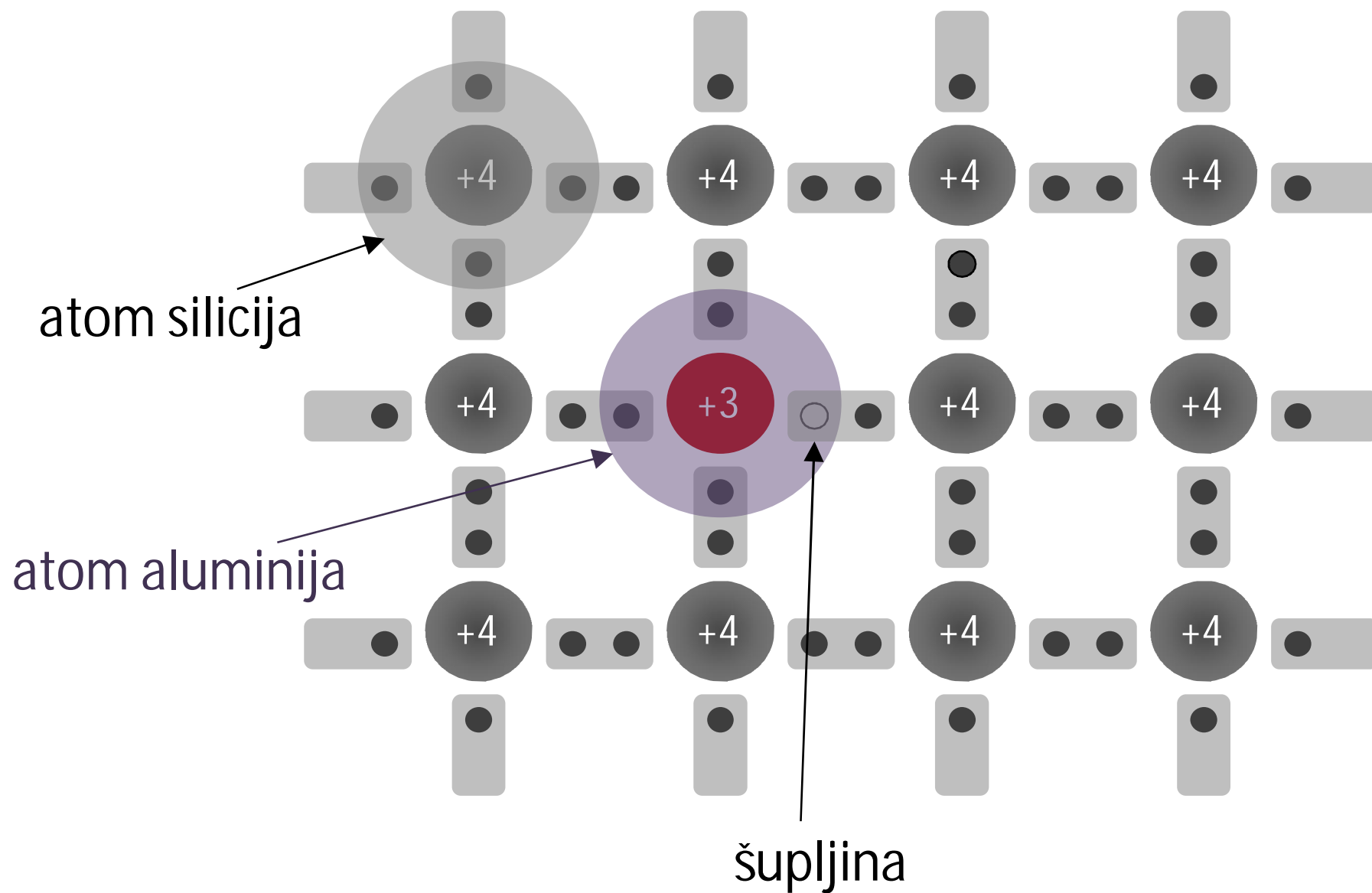
$$n_0 > p_0$$

Poluvodič p-tipa

- Primjese: 3-valentni atomi:
 - BOR (B)
 - ALUMINIJ (Al)
 - 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 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797
13 Al Aluminum 26.981538	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973761	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948
31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.92160	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80
49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29
81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98038	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
113	114				

Poluvodič p-tipa



Poluvodič p-tipa

- Naboji u poluvodiču p-tipa:
 - Slobodni **elektroni**
 - Slobodne **šupljine**
 - Lokalizirani **akceptori**
- Ravnotežno stanje:
 - Gustoća elektrona n_0
 - 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:

$$n_0 \cdot p_0 = n_i^2$$

Zadatak 3.

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

✓ Rješenje:

Proračun:

$$T_1=300 \text{ K} \rightarrow n_{i1} = 8,68 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$$

$$T_2=330 \text{ K} \rightarrow n_{i2} = 8,3 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

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

Zadatak 4.

- Silicijskom poluvodiču dodane su akceptorske primjese gustoće $N_A = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. Odrediti gustoće slobodnih nosilaca naboja na temperaturama:
 - a) 0°C
 - b) 27°C
 - c) 175°C

Rješenje:

Primjese=akceptori \rightarrow p-tip poluvodiča! \rightarrow prevladavaju šupljine!

Primijeniti osnovne zakone o poluvodičima!