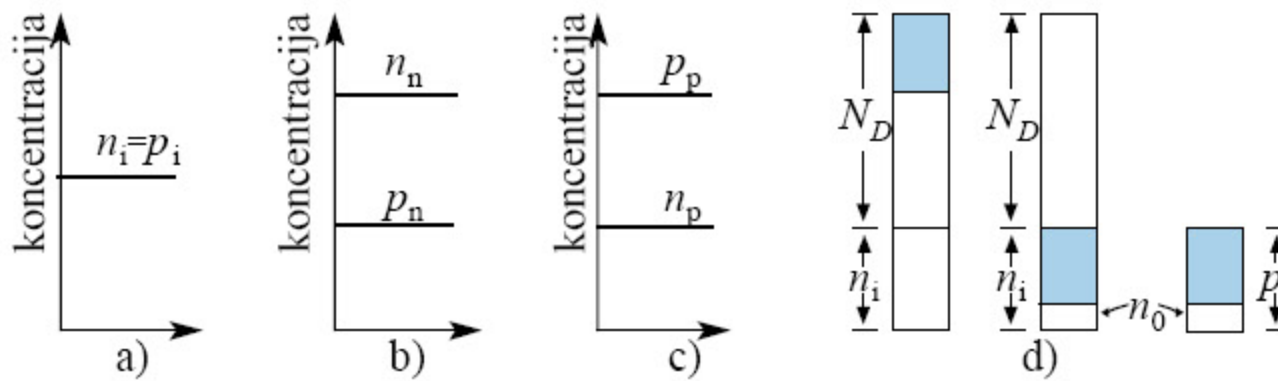


Sl. A.3.13 Položaj Fermi-jevog nivoa kod (a) čistog poluprovodnika, (b) poluprovodnika N-tipa, (c) degenerisanog poluprovodnika N-tipa, (d) poluprovodnika P-tipa i (e) degenerisanog poluprovodnika P-tipa



Sl. A.3.14 Koncentracije slobodnih elektrona i šupljina u (a) čistom poluprovodniku, (b) poluprovodniku N-tipa, (c) poluprovodniku P-tipa i (d) rekombinacija u slabo dopiranom poluprovodniku N-Tipa

Od velikog je interesa ponašanje poluprovodnika pri vrlo velikim koncentracijama nečistoća. Ovde treba najpre imati u vidu da postoji granica rastvorljivosti (legiranja) jednog materijala u drugi i iznad ove granice će se formirati ostrva (grudve) materijala koji se rastvara tako da oni ne učestvuju u generisanju slobodnih nosilaca. Na osnovu dosadašnjih razmatranja možemo zaključiti da će se Fermijev nivo pri velikim koncentracijama pomeriti ka granicama energijskog procepa. Kada se on poklopi sa jednom od granica, kada je  $E_{fn}=E_c$  ili  $E_{fp}=E_v$  (ili, što je isto, kada koncentracija primesa poraste tako da je  $n_n=N_c$  ili  $p_p=N_v$ ) kažemo da poluprovodnik postaje degenerisan. Veličina koncentracije koja odgovara  $N_c$  i  $N_v$  za različite poluprovodnike je data u Tabeli A.2.2 i za silicijum imamo  $N_c=2.8 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  i  $N_v=1.04 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ . To znači da je silicijum postao degenerisan kada je koncentracija primesa postala za približno tri reda veličine manja od broja atoma po jedinici zapremine. Za  $N_D > N_c$  ili za  $N_A > N_v$  Fermijev nivo prelazi u provodni odnosno u valentni opseg. To je najvažnija osobina degenerisanih poluprovodnika. Sada, za poluprovodnik N-tipa, kao i kod metala, postoje elektroni čija je energija niža od Fermijevog nivoa, a da su ipak raspoloživi za provodjenje. Slično, postoje šupljine čija je energija viša od enerije fermijevog nivoa, a da se još uvek nalaze u valentnom opsegu pa su raspoložive za provodjenje. Pri generisanju kvantitativnih zaključaka, međjutim, treba imati u

vidu da pri vrlo velikim koncentracijama, zanemarivanje koje je učinjeno pri izvodjenju (A.3.15) iz (A.3.14) ne može biti prihvaćeno pošto je sada  $E_f$  blizu  $E_c$  (slično važi za P-tip). U ovom slučaju dakle integral u (A.3.14) mora da se računa numerički.

Kod degenerisanog poluprovodnika dolazi do uzajamnog dejstva atoma primesa. Sada su oni relativno blizu pa putanje "petog elektrona" budući sa velikim poluprečnikom, međusobno utiču jedna na drugu, a u energijskom procepu ne možemo da govorimo o donorskom nivou, već o donorskim nivoima. Ovaj efekt ilustrovan je na Sl. A.3.13c i Sl. A.3.13e.

Do degradacije osobina poluprovodnika može doći i usled porasta temperature. Naime na sobnim temperaturama obično je  $N_D$  bar za pet redova veličine veće od  $n_i$  tako da je  $n_i$  zanemarivo. Pri povišenoj temperaturi, međjutim  $N_D$  ostaje nepromenjeno, a  $n_i$  raste saglasno (A.3.23). Postoji vrednost temperature kada  $n_i$  prestaje da bude zanemarivo u odnosu na  $N_D$  tako da se kod poluprovodnika N-tipa mora koristiti (A.3.38) za određene koncentracije. Naravno da na još većim temperaturama  $n_i$  postaje dominantno tako da se poluprovodnik ponaša kao čist. Ako uzmemo da je granica upotrebe poluprovodnika  $n_i=N_D$  onda imamo sledeći izraz za maksimalnu temperaturu na kojoj poluprovodnik može da bude upotrebljavan:

$$(A.3.39) \quad T_{\max} = \frac{E_g}{2k} \cdot \frac{1}{\ln\{\sqrt{N_c N_v} / N_D\}}$$