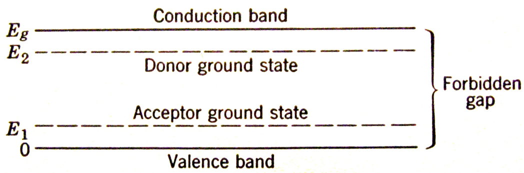
Temperaturna odvisnost kemijskega potenciala v polprevodniku tipa n

Rok Prislan

23. maj 2008

Med prevodnim in valenčnim pasom polprevodnika je energijska špranja velikosti E_g. Ko imajo polprevodniki dodane nečistoče, postane njihov vpliv na prevodnost kristala prevladujoče. Energije elektronov na nivoju donorjev in akceptorjev so znotraj energijske špranje, kot prikazuje spodnja slika.



V našem primeru imamo v polprevodnik domešane nečistoče donorskega tipa in naša naloga je izračunati temperaturno odvisnost kemijskega potenciala za ta primer. Z N_d označimo koncentracijo donorjev, N_d^0 koncentracijo neioniziranih donorjev, z N_d^+ pa koncentracijo ioniziranih. Uporabili bomo Fermi-Diracovo statistiko.

$$N_d^0 = \frac{N_d}{1 + e^{(E_2-\mu)\beta}}$$

$$N_d^+ = N_d - N_d^0 = N_d \left(1 - \frac{1}{1 + e^{(E_2-\mu)\beta}}\right) = \frac{N_d}{1 + e^{-(E_2-\mu)\beta}}$$

$$N_a^- = N_a \left(\frac{1}{1 + e^{(E_1-\mu)\beta}}\right)$$

V vse tri zgornje izraze smo na predavanjih postavili faktor $\frac{1}{2}$ pred eksponentni člen v imenovalcu. Tak zapis je pravilnejši, saj vsa stanja niso dovoljena. Mi bomo kljub temu računali brez predfaktorja.

Kot smo že izračunali za intrinzični primer sta

$$N_c = \frac{1}{4} \left(\frac{2m_c^*}{\pi\hbar^2\beta}\right)^{3/2} \qquad P_v = \frac{1}{4} \left(\frac{2m_v^*}{\pi\hbar^2\beta}\right)^{3/2}.$$

Za kristal zahtevamo, da je električno nevtralen. To je tudi naš nastavek, za nadlajno računanje.

$$p_v + N_d^+ = n_c + N_a^-,$$

kjer je p_v koncentracija vrzeli v valenčnem pasu, n_c pa elektronov v prevodnem. Tako zapišemo

$$P_v e^{-\mu\beta} + \frac{N_d}{1 + e^{-(E_2-\mu)\beta}} = N_c e^{(\mu-E_g)\beta} + N_a \left(\frac{1}{1 + e^{(E_1-\mu)\beta}}\right).$$

Ker računamo kemijski potencial za n-tip polprevodnika, je $N_a = 0$. Omejimo se na primer, ko lahko p zanemarimo. Tako se enačba poenostavi.

$$\frac{N_d}{1+e^{-(E_2-\mu)\beta}} = N_c e^{(\mu-E_g)\beta}$$

Množimo z imenovalcem levega dela nečbe. Tako lahko zapišemo kvadratno enačbo za $e^{\mu\beta}$

$$\left(N_c e^{-(E_2+E_g)\beta}\right) e^{2\mu\beta} + \left(N_c e^{-E_g\beta}\right) e^{\mu\beta} - N_d = 0.$$

Rešitvi kvadratne enačbe sta

$$e^{\mu\beta} = \frac{-N_c e^{-E_g\beta} \pm \sqrt{(N_c e^{-E_g\beta})^2 + 4N_c^0 e^{-(E_2+E_g)\beta} N_d}}{2N_c^0 e^{-(E_2+E_g)\beta}}$$

Če izraz podelimo z $N_c e^{-E_g\beta}$ in upoštevamo, da je smiselna le rešitev s plusom, dobimo

$$e^{\mu\beta} = \frac{-1+\sqrt{1+4\frac{N_d}{N_c}e^{-(E_2-E_g)\beta}}}{2e^{-E_2\beta}}.$$

Iz tega izraza lahko poračunamo dve limiti.

a) $4\frac{N_d}{N_c}e^{-(E_2-E_g)\beta} << 1$

To je limita, ko je gostota donorskih primesi majhna, ali pa za temperatura visoka. Koren razvijemo po Taylorju in dobimo

$$e^{\mu\beta} = \frac{N_d}{N_c} e^{E_g\beta} \qquad \Longrightarrow \qquad \mu = E_g + kTln(\frac{N_d}{N_c}).$$

b) $4\frac{N_d}{N_c}e^{-(E_2-E_g)\beta} >> 1$

To je limita, ko je gostota donorskih primesi velika ali temperatura nizka. Enice v števcu zanemarimo in dobimo

$$e^{\mu\beta} = (\frac{N_d}{N_c})^{1/2} e^{(E_g+E_2)\beta/2} \qquad \Longrightarrow \qquad \mu = \frac{E_g+E_2}{2} + kT\frac{1}{2}ln(\frac{N_d}{N_c})$$

V priblizku visoke temperature se kemijski potencial spušča proti sredini energijske reže, zato pri dovolj visoki temperaturi predpostavka, da je p majhen, odpove. Kemijski potencial bi bilo zato potretrebno izračunati iz zadnje enačbe na prvi strani.