

ÖRNEK: $100 \text{ nm} \times 100 \text{ nm} \times 10 \text{ nm}$ boyutlarındaki bir Si örneğin iletkenlik bandının 100 meV üzerinde ($E = E_C + 0.1 \text{ eV}$) birim enerji aralığındaki durumların sayısını hesaplayınız ($m_e^* = 1.08 m_0$).

Birim hacimde yarıiletkenlerin iletkenlik bandındaki durum yoğunluğu:

$$N_{CB}(E) = \frac{dN}{dE} = \frac{1}{2\pi^2 \hbar^3} (2m_e^*)^{3/2} (E - E_C)^{1/2} = 1.51 \times 10^{56} \text{ m}^{-3} \text{ J}^{-1}$$

ÖRNEK: $E_F = 6.25 \text{ eV}$ ve $T = 300 \text{ K}$ ise, 6.5 eV 'da Fermi-Dirac dağılım fonksiyonunu hesaplayınız. Fermi enerjisinin değişmediğini farz ederek, $T = 950 \text{ K}$ 'de benzer hesaplamayı yapınız. Hangi sıcaklıkta $E = 5.95 \text{ eV}$ enerji seviyesinin boş olma olasılığı %1 olur?

$T = 300 \text{ K}$ 'de;

$$f(6.5 \text{ eV}) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{6.5 - 6.25}{0.02586}\right)} = 6.29 \times 10^{-5}$$

$T = 950 \text{ K}$ 'de;

$$f(6.5 \text{ eV}) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{6.5 - 6.25}{0.0818}\right)} = 0.045$$

5.95 eV enerjili seviyenin boş olma olasılığı %1 ise, dolu olma olasılığı %1'dir

$$f(5.95 \text{ eV}) = 0.99 = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{5.95 - 6.25}{k_B T / e}\right)}$$

$T = 484.7 \text{ K}$

ÖRNEK: Si asal yarıiletkeni, her 10^6 Si atomu başına bir fosfor atomu olacak şekilde katkılanmıştır. Elde edilen katkılı yarıiletken n-tipi mi yoksa p-tipi midir? 300 K'de bu yarıiletkenin serbest elektron ve boşluk yoğunluğunu hesaplayınız.

Fosfor, V. Grup elementidir, bu nedenle Si yarıiletkeninde donör atomu olarak davranacağından yarıiletken n-tipidir. Çoğunluk taşıyıcılar elektronlar, azınlık taşıyıcılar boşluklardır.

T = 300 K'de asal Si yarıiletkeninde 5×10^{28} atom/m³ bulunmaktadır ve asal taşıyıcı yoğunluğu $n_i = p_i = 1.4 \times 10^{16}$ taşıyıcı/m³'dür.

Donör atomlarının yoğunluğu $N_D = \frac{5 \times 10^{28}}{10^6} = 5 \times 10^{22}$ fosfor atomu/m³ olarak elde edilir.

Fosfor atomları iyonize olduklarında her fosfor atomundan bir elektron yarıiletkeneye verilecektir. 300 K'de bütün katkı atomlarının iyonize olduklarını düşünüyoruz.

$N_D \gg n_i$ olduğundan, 2.44 denkleminde elektron yoğunluğu

$$n = N_D = 5 \times 10^{22} \text{ elektron/m}^3$$

ve 2.46 denkleminde boşluk yoğunluğu

$$p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{(1.4 \times 10^{16})^2}{5 \times 10^{22}} = 4 \times 10^9 \text{ boşluk/m}^3$$

elde edilir.

ÖRNEK: Yukarıdaki örnekte silisyum yarıiletkeninin fosfor yerine bor ile katkılanmış olduğunu düşünerek, çoğunluk ve azınlık taşıyıcı yoğunluklarını hesaplayınız.

Bor III. Grup elementidir, bu nedenle yarıiletken içinde akseptör atomu olarak davranacaktır. Dolayısıyla yarıiletken p-tipidir ve boşluklar çoğunluk, elektronlar ise azınlık taşıyıcıdır.

$$p = N_A = 5 \times 10^{22} \text{ boşluk/m}^3$$

$$n = \frac{n_i^2}{p} = \frac{(1.4 \times 10^{16})^2}{5 \times 10^{22}} = 4 \times 10^9 \text{ elektron/m}^3$$

ÖRNEK: Fermi dağılım fonksiyonunun %5 olduğu enerji değerini Fermi enerjisine göre $k_B T$ cinsinden belirleyiniz.

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp[(E - E_F)/k_B T]} = 0.05$$

$$E - E_F = \ln(19)k_B T = 3k_B T$$

ÖRNEK: Asal GaAs yarıiletkeninde iletkenlik ve valans bantlarındaki etkin seviye yoğunluğu ile Fermi seviyesinin pozisyonunu 300 K'de hesaplayınız ($m_e^* = 0.067m_0$ ve $m_h^* = 0.45 m_0$).

$$N_C = 2 \left(\frac{2\pi m_e^* k_B T}{h^2} \right)^{3/2} = 2 \left(\frac{2\pi \times 0.067 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300}{6.626 \times 10^{-34}} \right)^{3/2} = 4.45 \times 10^{23} m^{-3}$$

$$N_V = 2 \left(\frac{2\pi m_h^* k_B T}{h^2} \right)^{3/2} = 7.72 \times 10^{24} m^{-3}$$

Fermi seviyesinin konumu, valans bandı maksimumu referans alınarak aşağıdaki gibi bulunur:

$$E_F = E_V + \frac{1}{2} E_g + \frac{k_B T}{2} \ln \frac{N_V}{N_C} = \frac{1.424 eV}{2} + \frac{26 \times 10^{-3}}{2} \ln \frac{7.72 \times 10^{24}}{4.45 \times 10^{23}} = E_V + 0.787 eV$$

ÖRNEK: Asal Si yarıiletkeninin Fermi seviyesinin pozisyonunu 300 K'de hesaplayınız ($m_e^* = 0.98m_0$, $m_i^* = 0.19 m_0$, $m_{lh}^* = 0.15m_0$, $m_{hh}^* = 0.5 m_0$, E_g (Si) = 1.12 eV).

Si'da durum yoğunluğu kütlesi altı iletkenlik bandı vadisi kütlelerinin etkin değeridir:

$$m_e^* = (6)^{2/3} (m_i^* m_l^*)^{1/3} = (6)^{2/3} (0.98 \times 0.19 \times 0.19)^{1/3} m_0 = 1.08 m_0$$

ve etkin boşluk kütlesi;

$$m_h^* = (m_{lh}^* m_{hh}^*)^{2/3}$$

ifadesinden bulunup,

$$E_F = E_V + \frac{1}{2} E_g + \frac{3}{4} \ln \frac{m_h^*}{m_e^*} = E_V + 0.5472 eV$$

