

Müh. İçin. Yarıiletken Fizik 1 - Çözümler Serisi - (1)

ELEKTRİKLE İLGİLİ

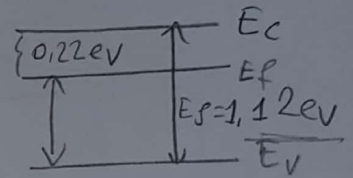
5. Hafta

- 1) Bir yarıiletken, Fermi enerjisi seviyesinin ; iletkenlik bandının 0,22 eV altında olduğu durumda $T=300\text{ K}$ için silisyonda ısıtılma elektron ve boşluk yoğunluklarını bulunuz. $E_g = 1,12\text{ eV}$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}, 1\text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}, N_c = 2,8 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$$
$$N_v = 1,04 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$$

$$n = N_c e^{-\left(\frac{E_c - E_F}{kT}\right)} = 2,8 \cdot 10^{19} \exp\left(-\frac{0,22}{0,026}\right)$$

$$n = 5,9 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$



$$p = N_v \exp\left(-\frac{(E_F - E_v)}{kT}\right) = 1,04 \cdot 10^{19} \exp\left(-\frac{(1,12 - 0,22)}{0,026}\right)$$
$$kT = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}}$$

$$p = 8149,63 \cdot \text{cm}^{-3}$$

$$kT = 0,026 \text{ eV}$$

- 2) 2,4 V 'luk bir potansiyel farkı, 0,65 cm uzunluğundaki n-tipi yarıiletken üzerine uygulanmıştır. Sürüklenme hızı $7,2 \cdot 10^3 \text{ cm/s}$ olduğuna göre, e^- ların mobilitelerini bulunuz.

$$E = \frac{V}{d} = \frac{2,4}{0,65} = 3,692 \text{ V/cm}$$

$$v = \mu_n E \Rightarrow \mu_n = \frac{v}{E} = \frac{7,2 \cdot 10^3 \text{ cm/s}}{3,692 \text{ V/cm}}$$

$$\mu = 1950 \text{ cm}^2/\text{V.s}$$

(2)

③ Donör ve akseptör yoğunlukları aynı esit olan
 Germaniyumun $T = 300\text{K}$ 'de $N_d = N_a = 6,65 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$
 iletkenliğini hesaplayınız - $n_i = 2,4 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$

$$\mu_n = 3900 \text{ cm}^2/\text{V.s}$$

$$\mu_p = 1900 \text{ cm}^2/\text{V.s}$$

$$\sigma_i = e n_i (\mu_n + \mu_p) = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,4 \cdot 10^{13} (3900 + 1900)$$

$$\sigma_i = 0,0223 (\Omega \text{ cm})^{-1}$$

④ ② Germaniyumun e^- ve boşluklarının $T = 300\text{K}$ 'de
 mobiliteleri $0,45 \text{ m}^2/\text{V.s}$ ve $0,35 \text{ m}^2/\text{V.s}$ ise
 yoğunlukları $2,5 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$ ve $7 \cdot 10^{13} \text{ m}^{-3}$ ise
 elektriksel iletkenliğini hesaplayınız.

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_p = e n \mu_n + p \mu_p$$

$$\sigma = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,45 \cdot 2,5 \cdot 10^{18} + 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,35 \cdot 7 \cdot 10^{13}$$

$$\sigma = 0,18 (\Omega \text{ m})^{-1}$$

(3)

5) a) 300 K ve 300 K 'de saf silisyumun iletkenliğini belirleyiniz. (Nc ve mobilitenin sıcaklıkla değişmediğini ve iletkenliğin e⁻ larla old. kabul edelim).

b) $N_d = 5 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ donör atomları ile katkılandırılmış 300 K 'de silisyumun iletkenliği ne kadar değişir? (iletkenliğe katkı yok, tüm donörler iyonize)

c) 300 K 'de saf durumda ve katkı durumunda $\left(\frac{3 \text{ mm}}{L} \right) \times \left(\frac{2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}}{A} \right)$ birgeçir direncini hesaplayınız.

$$E_g = 1,14 \text{ eV}$$

$$N_c = 2 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

$$\mu = 0,135 \text{ m}^2 / \text{V.s}$$

a) 300 K için

$$n = N_c e^{-E_g / 2kT} = 2 \cdot 10^{25} \exp \left(- \frac{1,14 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{2 \cdot 4,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300} \right)$$

$$n = 2 \cdot 10^{25} \exp(-214,5) \approx 8,67 \cdot 10^{-69} \text{ m}^{-3}$$

$$\sigma = ne\mu = 8,67 \cdot 10^{-69} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,135 = 1,87 \cdot 10^{-88} (\Omega \text{ m})^{-1}$$

300 K için

$$n = 2 \cdot 10^{25} \exp \left(- \frac{1,14 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{2 \cdot 4,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300} \right) \approx 9,67 \cdot 10^{15} \text{ m}^{-3}$$

$$\sigma = ne\mu = 9,67 \cdot 10^{15} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,135 = 2,10^{-4} (\Omega \text{ m})^{-1}$$

b) $n \approx N_d = 5 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$

$$\sigma = N_d e \mu = 5 \cdot 10^{22} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,135 = 1080 (\Omega \text{ m})^{-1}$$

c) $R_{\text{saf}} = \rho_{\text{saf}} \frac{L}{A} = \frac{L}{\sigma_{\text{saf}} \cdot A} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 3,75 \cdot 10^6 \Omega$

$$R_{\text{katlı}} = \rho_{\text{katlı}} \frac{L}{A} = \frac{L}{\sigma_{\text{katlı}} \cdot A} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{1080 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 0,694 \Omega$$

(7)

9) Çinkonun (Zn) Fermi enerjisi 9,4 eV'dur.

a) Serbest e⁻lerinin yoğunluğunu bulunuz.

b) Fermi hızlarını bulunuz.

c) Zn'nin kaç valans (değerlik) e⁻nu vardır??

$$a) E_F = \frac{h^2}{8m} \left(\frac{3n}{\pi} \right)^{2/3}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$(9,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{8 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} \left(\frac{3n}{\pi} \right)^{2/3}$$

$$\left[\left(\frac{3n}{\pi} \right)^{2/3} \right]^{3/2} = \left[2,5 \cdot 10^{19} \right]^{3/2} \Rightarrow n \approx 1,31 \cdot 10^{29} \text{ m}^{-3}$$

$$b) v_F = \sqrt{\frac{2E_F}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 1,81 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

$E_F = \frac{1}{2} m v^2$

$$c) V = \frac{M_{Zn}}{\rho_{Zn}} = \frac{65,38}{7,1 \cdot 10^3} = 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$9,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \rightarrow n \cdot 6,02 \cdot 10^{23}$$

$$1 \text{ m}^3 \rightarrow 4,31 \cdot 10^{29}$$

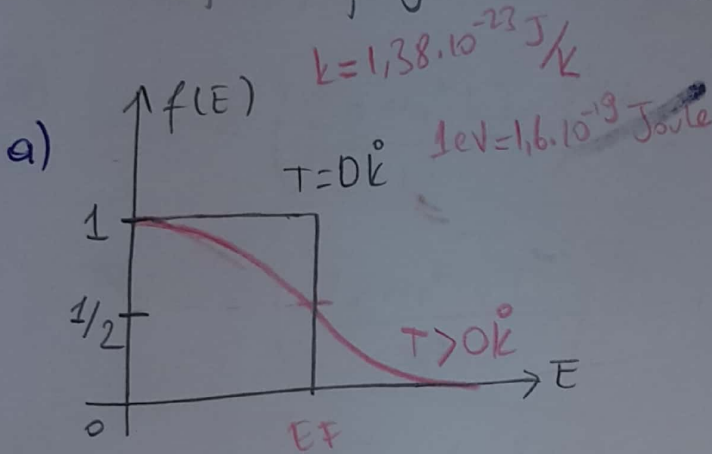
$$n \approx 2$$

⑥ Bir malzemenin $T=300\text{K}$ 'de enerji seviyesi $6,25\text{eV}$ 'dur. ④
 Bu malzemedeki e^- lar Fermi-Dirac dağılım fonksiyonuna uygundur.

a) Fermi-Dirac fonk. $T=0\text{K}$ ve $T>0\text{K}$ için bakacak olursanız.

b) E_F 'nin sıcaklıkla değişmeyeceğini varsayarak $T=350\text{K}$ 'de $6,5\text{eV}$ 'e e^- bulunma ihtimali nedir?

c) Fermi seviyesinin $0,3\text{eV}$ altındaki seviyede, e^- nın bulunmama ihtimalinin $\%1$ olduğu sıcaklığı hesaplayınız.



b) $kT = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 350}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,0819\text{eV}$

$$0,99 = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{0,3}{kT}\right)}$$

$$0,99 + 0,99 \exp\left(\frac{0,3}{kT}\right) = 1$$

$$\frac{0,99 \exp\left(-\frac{0,3}{kT}\right)}{0,99} = \frac{0,01}{0,99}$$

$$\exp\left(-\frac{0,3}{kT}\right) \approx 0,01$$

$$-\frac{0,3}{kT} \approx \ln 0,01 = -4,6$$

$$kT \approx \frac{0,3}{4,6} \approx 0,0652$$

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)} = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{6,5 - 6,25}{0,0819}\right)} = 0,045 \quad \%4,5$$

c) $1 - f(E) = 1 - \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{0,3}{kT}\right)} = 0,01$

$$kT \approx 0,0652$$

$$T = \frac{0,0652}{1,38 \cdot 10^{-23}} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \approx 756\text{K}$$

12) Silisyum örnekte iletkenlik bandındaki e⁻ların
T = 355 K'deki yoğunluğu $n = 2,95 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 'dür.

- a) iletkenlik ve valans bandındaki efektif durum yoğunluğunu bulunuz.
b) Saf (asal) taşıyıcı yoğunluğunu (cm^{-3}) cinsinden bulunuz.
c) Valans bandtaki boşluk yoğunluğunu bulunuz.
d) Tipini (n, p) ??
e) $(E_c - E_F) = ??$

$m_n^* = 1,08 m_0 = 1,08 \cdot 9,108 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

$m_p^* = 0,56 m_0 = 0,56 \cdot 9,108 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

a) $N_c = 2 \left(\frac{2\pi m_n^* kT}{h^2} \right)^{3/2} = 3,62 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

$N_v = 2 \left(\frac{2\pi m_p^* kT}{h^2} \right)^{3/2} = 1,35 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

b) $n_i^2 = N_c N_v \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right)$

$n_i^2 = 3,62 \cdot 10^{19} \times 1,35 \cdot 10^{19} \exp\left(-\frac{1,12}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 355}\right) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$

$n_i^2 = 6,21 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$

$n_i = 2,49 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-3}$

c) $p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{6,21 \cdot 10^{22}}{2,95 \cdot 10^{16}} = 2,11 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-3}$

d) $n > p \Rightarrow$ n-tipi yarıiletkenidir.

e) $E_c - E_F = kT \ln \frac{N_c}{n} = 0,036 \ln \left(\frac{3,62 \cdot 10^{19}}{2,95 \cdot 10^{16}} \right) = 0,218 \text{ eV}$

(8)

10) GaAs yarıiletkeninde $E_g = 1,43 \text{ eV}$ $\frac{m_b^*}{m_e^*} = 6$

ise yasak enj. aralığının ortasından itibaren Fermi Enerjisi ~~aralığının~~ 300 K 'den 800 K 'e çıkarıldığında ne kadar değişeceğini hesaplayınız.

$$E_F = \frac{E_g}{2} + \underbrace{\frac{3}{4} kT \ln \left(\frac{m_b^*}{m_e^*} \right)}_{\Delta E}$$

$$\Delta E = \frac{3}{4} kT \ln 6 = \frac{3}{4} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} T \ln 6$$

$$\Delta E = 1,85 \cdot 10^{-23} T$$

$$\Delta E_1 = 1,85 \cdot 10^{-23} \cdot 300 = 5,56 \cdot 10^{-21} \text{ J}$$

$$\Delta E_2 = 1,85 \cdot 10^{-23} \cdot 800 = 1,48 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

$$\Delta E_2 - \Delta E_1 = \frac{9,24 \cdot 10^{-21} \text{ J}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 0,058 \text{ eV}$$

11) $T = 300 \text{ K}$ 'deki Silisyumun $N_d = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_a = 0$ ise $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

- a) Göpünlük yük taşıyıcılarını } bulunuz.
b) Azınlık yük taşıyıcılarını }

$$a) n = \frac{N_d - N_a}{2} + \sqrt{\left(\frac{N_d - N_a}{2} \right)^2 + n_i^2}$$

$$n = \frac{10^{16} - 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{0 - 10^{16}}{2} \right)^2 + (1,5 \cdot 10^{10})^2} \approx 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$b) p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{(1,5 \cdot 10^{10})^2}{1 \cdot 10^{16}} \approx 2,25 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-3}$$

Soru -4-

Katkı yoğunluğunun $N_d(x) = 10^{17} \exp(x/100 \text{ nm}) \text{ cm}^{-3}$ ifadesine göre değiştiği n-tipi bir silisyum 300°K de dengededir. Bu silisyumdan geçen sürüklenme ile difüzyon akım yoğunluklarının aynı olması için uygulanması gereken elektrik alanı bulunuz.

$$n \approx N_d$$

$$J_{\text{toplam}} = n q \mu_n E + q D_n \frac{dn}{dx} = 0 \quad \text{olmalıdır.}$$

(5)

$$n q \mu_n E = - q D_n \frac{dn}{dx}$$

$$D_n = \mu_n \frac{kT}{q} \quad (5)$$

$$E = - \frac{1}{n \mu_n} \mu_n \frac{kT}{q} \frac{dn}{dx} = - \frac{1}{n} \frac{kT}{q} \frac{dn}{dx} \quad (5)$$

$$\left(\frac{dn}{dx} = \frac{d}{dx} \left(10^{17} e^{\frac{x}{100 \text{ nm}}} \right) = \frac{1}{100 \text{ nm}} \cdot 10^{17} e^{\frac{x}{100 \text{ nm}}} \right) \quad (5)$$

$$E = - \frac{1}{10^{17} e^{\frac{x}{100 \text{ nm}}}} \cdot \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \frac{1}{100 \text{ nm}} \cdot 10^{17} e^{\frac{x}{100 \text{ nm}}} \quad (5)$$

$$E = - \frac{0,026}{100 \cdot 10^{-9}} \approx - 2,6 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$\left(E = - 2,6 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}} \right) \quad \text{olmalıdır.}$$

Difüzyon akımı(devam)

- **Örnek:** n- tipi silisyum tabakada boşluk yoğunluğu ($N_d = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) düzgün olarak 10^{14} cm^{-3} den 10^{13} cm^{-3} e $x=0$ ve $x=1 \text{ mm}$ arasında düşmektedir. Boşluk difüzyon akım yoğunluğunu bulunuz.

- Boşluk difüzyon akım yoğunluğu:

$$J_p = qD_p \frac{dp}{dx} = 1.6 \times 10^{-19} \times 8.2 \times \frac{9 \times 10^{13}}{10^{-4}} = 1.18 \text{ A/cm}^2$$

- Burada difüzyon katsayısı Einstein bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır:

$$D_p = V_t \mu_p = 0.0259 \times 317 = 8.2 \text{ cm}^2/\text{s}$$

- n tipi malzemedeki "boşluk" mobilitesi ise aynı katkı yoğunluğuna sahip p-tipi malzemenin boşluk mobilitesi olarak daha önce verilen tablodan alınmıştır.

Taşıyıcı sürüklenmesi(devam)

- Örnek:

- Saf galyum arsenik içinde elektronların mobilitesi $8,800 \text{ cm}^2/\text{V-s}$ dir. Çarpışmalar arasındaki ortalama zamanı bulunuz. İki çarpışma arasında alınan yolu (ortalama serbest yol) bulunuz. Ortalama hız olarak 10^7 cm/s değerini kullanınız.

- Çözüm:

- Çarpışma zamanı:

$$\tau_c = \frac{\mu_n m_e^*}{q} = \frac{0.88 \times 0.067 \times 9.1 \times 10^{-31}}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.34 \text{ ps}$$

- Ortalama serbest yol ise,

$$l = v_{\text{average}} \tau_c = 10^7 \times 0.34 \times 10^{-12} = 34 \text{ nm}$$

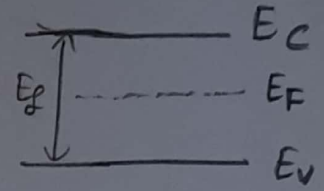
7) Fermi-Dirac olasılık dağılımını kullanarak,

5

10^{21} atomlu olan bir katının iletkenlik bandındaki serbest elektronların sayısını; $T = 300\text{K}$

a) $E_g \approx 1,4\text{eV}$ olan yarıiletken

b) $E_g \approx 5\text{eV}$ olan yalıtkanda bulunur.



a) Yarıiletken

$$E - E_F = E_g - E_F = 1,4 - 0,55 = 0,55\text{eV}$$

$$kT \approx 0,026\text{eV}$$

$$\frac{(E - E_F)}{kT} \approx \frac{0,55}{0,026} \approx 21$$

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)} \approx \frac{1}{e^{21}} \approx 10^{-9}$$

10^9 tane \rightarrow 1 atomun e^- ni iletkenliğe katkıda bulunur.

b) Yalıtkanlarda

$10^3 \rightarrow 1e^-$
 $10^{21} \rightarrow n$ } $n = 10^{12} e^-$ serbest e^- var.

$$E - E_F \approx 5 - 2,5 \approx 2,5\text{eV}$$

$$f(E) \approx \frac{1}{e^{2,5/0,026}} = \frac{1}{e^{96}} \approx 10^{-42}$$

10^{42} tane atomun 1'i katkıda bulunur.

$10^{42} \rightarrow 1$
 $10^{21} \rightarrow n$ } $n = 10^{-21} \Rightarrow$ Hiç e^- katkıda olmaz.

NOT: Metallerde 10^{21} tane e^- iletkenliğe katkıda bulunur.

8) Bakır için a) Fermi enerjisini,

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

6

b) ~~e-ların ortalama enerjisini,~~

c) Fermi seviyesindeki e-ların ortalama hızını (v_F) bulunuz.

a) $n = \frac{N}{V} \rightarrow$ Birim hacimdeki tüm e-ların sayısı.

$$(D(E)) n = C \int_0^{E_F} E^{1/2} dE = \frac{8\sqrt{2} \pi m^{3/2}}{h^3} \int_0^{E_F} E^{1/2} dE = \frac{8\sqrt{2}}{h^3} \pi m^{3/2} \frac{2}{3} E_F^{3/2}$$

$$E_F = \frac{h^2}{8m} \left(\frac{3}{\pi} n \right)^{2/3}$$

$$M_{Cu} = 63,5 \text{ g}$$

$$\rho = 8,96 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho = \frac{M}{V}$$

$$V = \frac{M}{\rho} = \frac{63,5}{8,96} \text{ cm}^3$$

Avogadro Sayısı = 1 mol
 $\rightarrow 6,02 \cdot 10^{23}$ tane atom

$$1 \text{ cm}^3 \rightarrow n$$

$$n = n = 0,086 \cdot 10^{23} \text{ e}^-/\text{cm}^3 = 0,086 \cdot 10^{29} \text{ e}^-/\text{m}^3$$

$$E_F = \frac{(6,63 \cdot 10^{-34})^2}{8 \cdot (9,1 \cdot 10^{-31})} \left(\frac{3}{\pi} (0,086 \cdot 10^{29}) \right)^{2/3} \left(\frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19}} \right)$$

$$E_F \approx 7 \text{ eV}$$

$$b) \bar{E} = \frac{3}{5} E_F = 4,2 \text{ eV} ??$$

$$b) u=0$$

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v_F = \sqrt{\frac{2E_F}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}}$$

$$v_F \approx 1,6 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

~ Müh. İsim Yariletken Fizikî -1 ~ Elektrikle ilgili Sorular ~

- ① Fermi enerji seviyesinin, iletkenlik bandının $0,22\text{eV}$ altında olduğu durumda $T=300\text{K}$ için silisyumda ısı dengede e^- ve boşluk yoğunluklarını bulunuz. $E_g(\text{Si})=1,12\text{eV}$. $N_c=2,8 \cdot 10^{19}\text{cm}^{-3}$, $N_v=1,04 \cdot 10^{19}\text{cm}^{-3}$.
- ② 2V 'luk bir potansiyel farkı $0,65\text{cm}$ uzunluğundaki n-tipi yarıiletkene uygulanmıştır. Sürekli hızı $7,2 \cdot 10^3\text{cm/s}$ old. göre e^- ların mobilitesi nedir?
- ③ Donör ve akseptör yoğunlukları eşit olan Germaniyumun $T=300\text{K}$ 'de $N_a=N_d=6,65 \cdot 10^{13}\text{cm}^{-3}$ ise iletkenliğini hesaplayınız.
 $n_i=2,4 \cdot 10^{13}\text{cm}^{-3}$, $\mu_n=3900\text{cm}^2/\text{V.s}$, $\mu_p=1900\text{cm}^2/\text{V.s}$
- ④ Germaniyumun e^- ve boşluklarının $T=300\text{K}$ 'de mobiliteleri $0,45\text{m}^2/\text{V.s}$ ve $0,35\text{m}^2/\text{V.s}$ ve yoğunlukları $2,5 \cdot 10^{18}\text{m}^{-3}$ ve $7 \cdot 10^{13}\text{m}^{-3}$ ise elektriksel iletkenliğini hesaplayınız.
- ⑤ a) 30K ve 300K 'de saf silisyumun iletkenliğini belirleyiniz.
(N_c ve mobilitenin sıcaklıkla değişmediğini ve iletkenliğin e^- larla olduğunu kabul ediniz.)
b) $N_d=5 \cdot 10^{22}\text{m}^{-3}$ donör atomları ile katkılandırılmış 300K 'de silisyumun iletkenliği ne kadar değişir? (iletkenliğe boşluk katkısı yok, tüm donörler iyonize.)
c) 300K 'de saf silisyumda ve katkılı durumda $[3\text{mm}] \times [2\text{mm} \times 2\text{mm}]$
örneğin direncini hesaplayınız.
 $E_g=1,1\text{eV}$, $N_c=2 \cdot 10^{25}\text{cm}^{-3}$, $\mu=0,135\text{m}^2/\text{V.s}$
- ⑥ Bir malzemenin 300K 'deki enerji seviyesi $6,25\text{eV}$ 'dir. Bu malzemedeki e^- lar Fermi-Dirac dağılımı fonksiyonuna uyumladır.
- a) Fermi-Dirac fonksiyonunu $T=0\text{K}$ ve $T>0\text{K}$ için tabaca yazınız.
- b) E_F 'nin sıcaklıkla değişip değişmediğini 950K ve $6,5\text{eV}$ da elektron bulunma olasılığı nedir?
- c) Fermi seviyesinin $0,3\text{eV}$ altındaki seviyede, elektronun bulunmama ihtimalinin $\%1$ olduğu sıcaklığı hesaplayınız.

7) Fermi-Dirac olasılık dağılımını kullanarak, 10^{21} atomu bir katının iletkenlik bandındaki serbest e^- sayısını $T=300\text{K}$ 'de,

a) $E_g \approx 1,1\text{eV}$ olan bir yarıiletken,

b) $E_g \approx 5\text{eV}$ olan bir yalıtkan bulunur.

8) Bakır için a) Fermi seviyesini,

b) Fermi seviyesindeki e^- ların ortalama hızını bulunur.

9) Çinkonun (Zn) Fermi Enerjisi $9,4\text{eV}$ 'dir.

a) Serbest e^- ların yoğunluğunu bulunur.

b) Fermi hızlarını bulunur.

c) Zn'nin kaç valans (değerlik) e^- var?

10) GaAs yarıiletkeninde $E_g=1,43\text{eV}$, $\frac{m_b^*}{m_e^*}=6$ ise yasak enj. aralığının ortasından itibaren, Fermi enerjisi aralığının 300K 'den 800K 'ne çıkarıldığında ne kadar değişeceğini hesaplayınız.

11) 300K 'deki Silisyumun $N_d=10^{16}\text{cm}^{-3}$, $N_a=0$ ve $n_i=1,5 \cdot 10^{10}\text{cm}^{-3}$ 'de,

a) Göçümlük yük taşıyıcılarını } bulunur.

b) Azınlık yük taşıyıcılarını }

12) Silisyum örnekte iletkenlik bandındaki e^- ların $T=355\text{K}$ 'deki yoğunluğu $n=2,35 \cdot 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 'dir.

a) iletkenlik ve valans bandındaki efektif durum yoğunluğunu bulunur.

b) Saf (Asal) taşıyıcı yoğunluğunu (cm^{-3}) cinsinden bulunur.

c) Tipini (n, p) ?? bulunur. $m_n^*=1,08 \cdot m_0=1,08 \cdot 9,108 \cdot 10^{-31}\text{kg}$

d) $(E_c-E_f)=???$ $m_p^*=0,56 \cdot m_0=0,56 \cdot 9,108 \cdot 10^{-31}\text{kg}$

SABİTLER

$$e=1,6 \cdot 10^{-19}\text{Coulomb}$$

$$1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19}\text{Joule}$$

$$m_e=9,1 \cdot 10^{-31}\text{kg}$$

$$\hbar=1,054 \cdot 10^{-34}\text{Joule.s}$$

$$h=6,63 \cdot 10^{-34}\text{Joule.s}$$

$$N=6,023 \cdot 10^{23}\text{atom/mol}$$

$$R=1,097 \cdot 10^7\text{m}^{-1}$$

$$a_0=0,53 \cdot 10^{-10}\text{m}$$

$$\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}\text{C}^2/\text{Nm}^2$$

$$k_e=9 \cdot 10^9\text{Nm}^2/\text{C}^2$$

$$k=1,38 \cdot 10^{-23}\text{J/K}$$

$$hc=1240\text{eV.nm}$$

Tabaka direnci(devam)

- **Örnek:**
- 100 mm uzunluklu, 10mm genişlikli ve 1mm kalınlıklı silyum arsenik ile katkılanmıştır. ($N_d = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) Örneğin iki ucu arasındaki tabaka direncini bulunuz

$$\rho = \frac{1}{qn\mu_n} = \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{17} \times 727} = 0.086 \Omega \text{cm}$$

- Silisyumun öz direnci:

- (mobilité tablodan alınmıştır)

- Direnç:

$$R = \rho \frac{L}{Wt} = 0.086 \times \frac{100 \times 10^{-4}}{10 \times 10^{-4} \times 10^{-4}} = 8.6 \text{ k}\Omega$$

- Diğer yaklaşım ise önce
- tabaka direncinin (R_s) bulunmasıdır

$$R_s = \frac{\rho}{t} = \frac{0.086}{10^{-4}} = 860 \Omega / \text{square}$$

- Direnç:

$$R = R_s \frac{L}{W} = 860 \times \frac{100 \times 10^{-4}}{10 \times 10^{-4}} = 8.6 \text{ k}\Omega$$

Örnek:

- $N_d = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olan krom-silisyum metal yarıiletken kavşağını düşünerek, bariyer yüksekliği ve built-in potansiyelini hesaplayın. Aynı soruyu aynı katkı yoğunluklu p-tipi yarıiletken için tekrarlayın

- Bariyer yüksekliği:

$$\phi_B = \Phi_M - \chi = 4.5 - 4.05 = 0.45 \text{ V}$$

- Bu değer listedekinden farklıdır, çünkü il fonksiyonunun vakum için değeri kullanılmıştır.

- Built-in potansiyeli:

$$\phi = \phi_B - V_T \ln \frac{N_c}{N_d} = 0.45 - 0.0259 \ln \frac{2.82 \times 10^{19}}{10^{17}} = 0.30 \text{ V}$$

- Krom/p-tipi kavşak için bariyer yüksekliği:

$$\phi_B = \chi + \frac{E_g}{q} - \Phi_M = 4.05 + 1.12 - 4.5 = 0.67 \text{ V}$$

- Ve built-in potansiyeli:

$$\phi = \phi_B - V_T \ln \frac{N_c}{N_a} = 0.67 - 0.0259 \ln \frac{1.83 \times 10^{19}}{10^{17}} = 0.53 \text{ V}$$

Örnek

- $N_d = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olan krom-silisyum metal yarıiletken kavşakta arınma bölgesi genişliğini, metal-silisyum arayüzeyinde elektrik alanını, yarıiletkendeki potansiyel düşmesini ve uygulanan 5V'tluk potansiyel altında birim yüzeydeki kapasitansı bulunuz.

$$x_d = \sqrt{\frac{2 \epsilon_s (\phi - V_a)}{q N_d}} = \sqrt{\frac{2 \times 11.9 \times 8.85 \times 10^{-14} \times (0.3 + 5)}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{17}}} = 0.26 \mu\text{m}$$

- Arınma bölgesi genişliği:
- "built in" potansiyeli önceki örnekte hesaplanmıştı.
- Ara yüzeyde yarıiletken üzerindeki elektrik alan:

$$E(x=0) = \frac{q N_d x_d}{\epsilon_s} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{17} \times 2.6 \times 10^{-5}}{11.9 \times 8.85 \times 10^{-14}} = 4.0 \times 10^3 \text{ V/cm}$$

- Potansiyel:
 - Birim yüzeydeki kapasitans ise:
- $$\phi(x=x_d) = \frac{q N_d x_d^2}{2 \epsilon_s} = \phi - V_a = 5.3 \text{ V}$$
- $$C_j = \frac{\epsilon_s}{x_d} = \frac{11.9 \times 8.85 \times 10^{-14}}{2.6 \times 10^{-5}} = 40 \text{ nF/cm}^2$$