

# MÜHENDİSLER İÇİN YARIİLETKEN FİZİĞİ

## FIZ1951

Ders Adı	Kodu	Yerel Kredi	AKTS	Ders (saat/hafta)	Uygulama (saat/hafta)	Laboratuvar (saat/hafta)
Mühendisler için Yarıiletken Fiziği	FIZ1951	3	5	3	0	0

Ara Sınavlar	2	60
Final	1	40

**Grup 1**

## SORU 1

T = 300K de yasak band genişliği 1.12 eV olan bir yarıiletkenin Fermi enerji seviyesinin iletkenlik bandının 0.22eV altında olması durumunda ısı dengede elektron ve boşluk yoğunluklarını hesaplayınız.

$$(N_C = 2.80 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}, N_V = 1.04 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3})$$

$$k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}, 1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$k_B T = 1,38 \times 10^{-23} \times 300 \text{ K} \\ = 4.14 \times 10^{-21} \text{ J}$$

$$k_B T / 1.6 \times 10^{-19} = 2.5875 \times 10^{-2} \text{ eV} \\ k_B T = 0.026 \text{ eV}$$

## SORU ÇÖZÜMÜ

$$n = N_C \left( e^{-\frac{(E_C - E_F)}{k_B T}} \right)$$

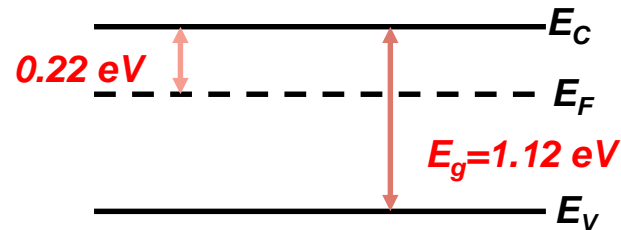
$$p = N_V \left( e^{-\frac{(E_F - E_V)}{k_B T}} \right)$$

$$n = 2.80 \times 10^{19} \left( e^{-\frac{(0.22)}{0.026}} \right)$$

$$p = 1.04 \times 10^{19} \left( e^{-\frac{(1.12 - 0.22)}{0.026}} \right)$$

$$n = 5.90 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$p = 8.15 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$$



## SORU 2

2.40 V luk potansiyel fark 0.65 cm uzunluklu  $n$  tipi yarıiletkenin iki ucuna uygulanmıştır. Sürüklenme hızı  $7.2 \times 10^3$  cm/s olduğuna göre elektronların mobilitesini hesaplayınız.

$$E = \frac{V}{d} = \frac{2.40}{0.65} = 3.69 \text{ V/cm}$$

$$v = \mu_n E$$

$$\Rightarrow 7.2 \times 10^3 = \mu_n 3.69$$

$$\Rightarrow \mu_n = 1950 \frac{\text{cm}^2}{\text{V.s}}$$

### SORU 3

Donör ve akseptör taşıyıcı yoğunlukları tam eşit olan Germanyum yarıiletkeninin iletkenliğini 300 K için hesaplayınız.

$$\mu_n = 3900 \frac{cm^2}{V.s}, \quad \mu_p = 1900 \frac{cm^2}{V.s}, \quad n_i = 2.4 \times 10^{13} cm^{-3}$$

$$\sigma = q n_i (\mu_n + \mu_p)$$

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times 2.4 \times 10^{13} (3900 + 1900)$$

$$= 0.022 (\Omega cm)^{-1}$$

$$= 2.2 (\Omega m)^{-1}$$

#### SORU 4

Aşağıda donör ve akseptör taşıyıcı konsantrasyonları ve mobiliteleri verilen yarıiletkeninin iletkenliğini 300 K için hesaplayınız.

$$\mu_n = 0.45 \frac{m^2}{V.s}, \quad \mu_p = 0.35 \frac{m^2}{V.s}, \quad n = 2.5 \times 10^{18} m^{-3}, \quad p = 7.0 \times 10^{18} m^{-3}$$

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times (2.5 \times 10^{18} \times 0.45 + 7.0 \times 10^{18} \times 0.35)$$

$$= 0.18 (\Omega m)^{-1}$$

**SORU 5**

30 K ve 300 K de saf silikon **elektriksel iletkenliğini**, (mobilite ve  $N_C$  nin sıcaklıkla değişmediğini, iletimin elektronlarla olduğunu kabul ederek) hesaplayınız.

*T=30K için*

$$N_C = 2.0 \times 10^{25} m^{-3}, \quad \mu_n = 0.135 \frac{m^2}{V.s}, \quad E_g = 1.11 eV,$$
$$k_B = 1.38 \times 10^{-23} J/K, \quad 1eV = 1.6 \times 10^{-19} J$$

$$n_i = N_C \left( e^{-\frac{E_g}{2k_B T}} \right)$$

$$n_i = 2.0 \times 10^{25} \times \left( e^{-\frac{1.11 \times 1.6 \times 10^{-19}}{2 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 30}} \right)$$

$$n_i = 2.0 \times 10^{25} \times (e^{-214.5}) \Rightarrow n_i(30K) = 8.7 \times 10^{-69} m^{-3}$$

Çok küçük

$$\sigma = qn\mu_n \text{ veya } \sigma = en_i\mu_n$$

$$\sigma = 1.6 \times 10^{-19} \times 8.7 \times 10^{-69} \times 0.135$$

$$\sigma = 1.9 \times 10^{-88} (\Omega m)^{-1}$$

Çok küçük

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{1.9 \times 10^{-88}} = 5 \times 10^{87} (\Omega m)$$

Çok büyük, yani 30 K de yalıtkan

**SORU 5**

30 K ve 300 K de saf silisyumun **elektriksel iletkenliğini**, (mobilite ve  $N_C$  nin sıcaklıkla değişmediğini, iletimin elektronlarla olduğunu kabul ederek), hesaplayınız.

*T=300K için*

$$N_C = 2.0 \times 10^{25} m^{-3}, \quad \mu_n = 0.135 \frac{m^2}{V.s}, \quad E_g = 1.11 eV, \\ k_B = 1.38 \times 10^{-23} J/K, \quad 1eV = 1.6 \times 10^{-19} J$$

$$n = N_C \left( e^{-\frac{E_g}{2k_B T}} \right)$$

$$n = 2.0 \times 10^{25} \times \left( e^{-\frac{1.11 \times 1.6 \times 10^{-19}}{2 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300}} \right)$$

$$n = 2.0 \times 10^{25} \times (e^{-21.5}) = 2.0 \times 10^{25} \times 4.61 \times 10^{-10} \Rightarrow n_i(300K) = 9.2 \times 10^{15} m^{-3}$$

$$\sigma = qn\mu_n \text{ veya } \sigma = eni\mu_n$$

$$\sigma = 1.6 \times 10^{-19} \times 9.2 \times 10^{15} \times 0.135$$

$$\sigma = 2.0 \times 10^{-4} (\Omega m)^{-1} \quad \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{2.0 \times 10^{-4}} = 5 \times 10^3 (\Omega m)$$

*T=30K için bulunanlar*

$$\sigma = 1.9 \times 10^{-88} (\Omega m)^{-1} \\ \rho = 5 \times 10^{87} (\Omega m)$$

Oda sıcaklığındaki iletkenlik değeri 30 K deki değerden çok büyük  
Oda sıcaklığındaki öz direnç değeri 30 K deki değerden çok küçük

## SORU 5

$N_d = 5.0 \times 10^{22} m^{-3}$  donör atomlarıyla katkılıandığında 300 K de silikonun **elektriksel iletkenliğini** (Mobilite ve  $N_c$  nin sıcaklıkla değişmediğini, iletimin elektronlarla olduğunu ve tüm donörler iyonize kabul ederek), hesaplayınız.

$$\sigma = qn\mu_n \text{ veya } \sigma = en\mu_n$$

$$n = N_d$$

$$\sigma = 1.6 \times 10^{-19} \times 5.0 \times 10^{22} \times 0.135$$

$$\sigma = 1080 (\Omega m)^{-1}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{1080} = 9.23 \times 10^{-4} \Omega m$$

### *Saf yarıiletken*

*T=30K için bulunanlar*

$$\sigma = 1.9 \times 10^{-88} (\Omega m)^{-1}$$

$$\rho = 5 \times 10^{87} (\Omega m)$$

*T=300K için bulunanlar*

$$\sigma = 2.0 \times 10^{-4} (\Omega m)^{-1}$$

$$\rho = 5 \times 10^3 (\Omega m)$$

### *Katkılı yarıiletken*

*T=300K için bulunanlar*

$$\sigma = 1080 (\Omega m)^{-1}$$

$$\rho = 9.23 \times 10^{-4} (\Omega m)$$



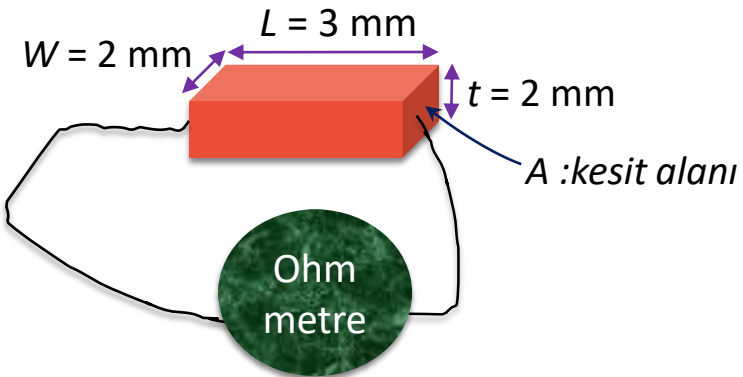
## SORU 5

300 K de saf ve katkılı durum için 3mmx2mmx2mm boyutlu silikon örneğin elektriksel direncini (Mobilite ve  $N_C$  nin sıcaklıkla değişmediğini, iletimin elektronlarla olduğunu kabul ederek) hesaplayınız.

$T=300K$  için

$$R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow R = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{A}$$

$$R_{saf} = \frac{1}{2.0 \times 10^{-4}} \frac{3 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-3}} \quad R = 3.75 \times 10^6 \Omega$$



$$R_{katkılı} = \frac{1}{1080} \frac{3 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-3}} \quad R = 0.694 \Omega$$

$R_{katkılı} \ll R_{saf}$  saf yarıiletkenlerin niye katkılı olduğunu gösteren somut değerler.

## SORU 6

Çinkonun (Zn) Fermi enerji seviyesi 9.4 eV tur.

- a) Serbest elektron yoğunluğunu,
- b) Fermi hızlarını,
- c) Valans (Değerlik) elektron sayısını, hesaplayınız.

$$\begin{aligned}h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}, \\1\text{eV} &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}, \\m_e &= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}\end{aligned}$$

a)

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

$$9.4 \times 1.6 \times 10^{-19} = \frac{(6.63 \times 10^{-34})^2}{8 \times 9.1 \times 10^{-31}} \left( \frac{3n}{\pi} \right)^{2/3} \Rightarrow$$

$$n = 1.31 \times 10^{29} \text{ m}^{-3}$$

## SORU 6

Çinkonun (Zn) Fermi enerji seviyesi 9.4 eV tur.

- a) Serbest elektron yoğunluğunu,
- b) Fermi hızlarını,
- c) Valans (Değerlik) elektron sayısını, hesaplayınız.

$$\begin{aligned}h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}, \\1\text{eV} &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}, \\m_e &= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}\end{aligned}$$

b)

$$v_F = \left( \frac{2E_F}{m_e} \right)^{1/2} \Rightarrow$$

$$v_F = \left( \frac{2 \times 9.4 \times 1.6 \times 10^{-19}}{9.1 \times 10^{-31}} \right)^{1/2} \Rightarrow$$

$$v_F = 1.8 \times 10^6 \text{ m/s}$$

## SORU 6

Çinkonun (Zn) Fermi enerji seviyesi 9.4 eV tur.

- a) Serbest elektron yoğunluğunu,
- b) Fermi hızlarını,
- c) Atom başına valans (Değerlik) elektron sayısını, hesaplayınız.

$$\begin{aligned}h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s,} \\1\text{eV} &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ J,} \\m_e &= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \\m_{\text{Zn}} &= 65.38 \text{ g/mol} \\ \rho_{\text{Zn}} &= 7.1 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

c)

1 molün hacmi  $V = \frac{m_{\text{Zn}}}{\rho_{\text{Zn}}} \Rightarrow$

$$V = \frac{65.38}{7.1 \times 10^6} \Rightarrow 9.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

1 m<sup>3</sup>te

$$9.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

1.31 × 10<sup>29</sup> değerlik elektron varsa

x 6.02 × 10<sup>23</sup> değerlik elektron içerir

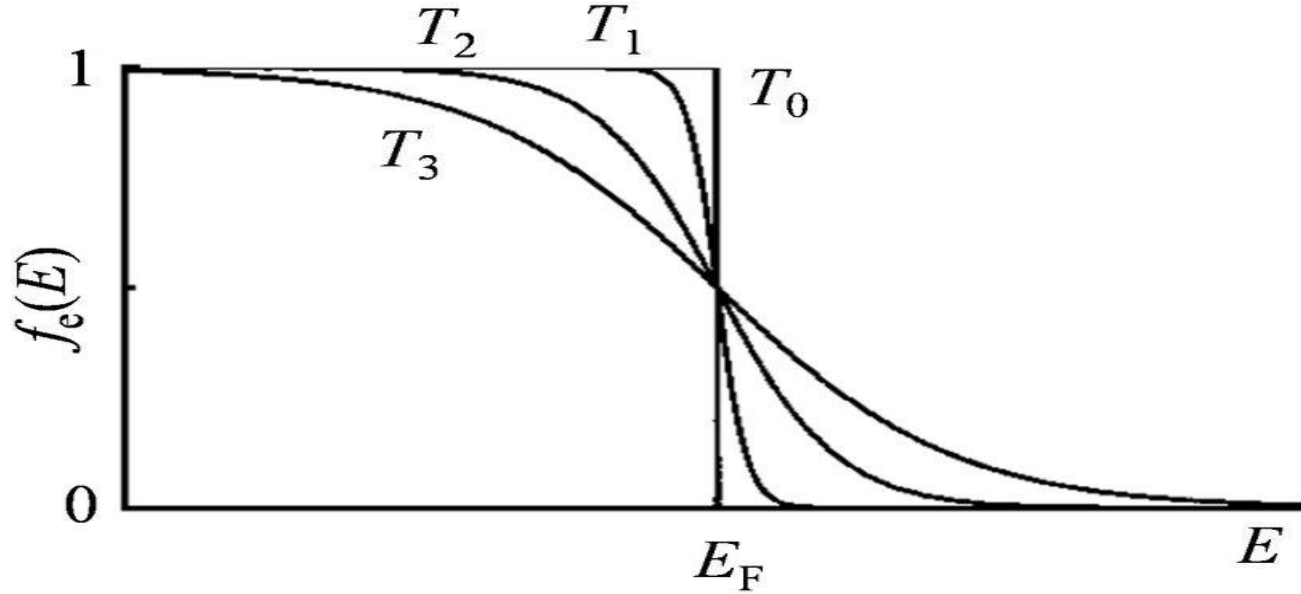
$$x \approx 2$$

## SORU 7

Elektronları Fermi Dirac istatistiğine uyan malzemenin Fermi enerji seviyesi 6.25 eV tur

- $T = 0K$  ve  $T > 0 K$  için Fermi-Dirac fonksiyonunun enerjiye göre değişimini kabaca çiziniz,
- $E_F$  nin sıcaklıkla değişmediğini varsayarak, 950 K de 6.5 eV enerji seviyesinde elektron bulunma olasılığını hesaplayınız.,
- Fermi seviyesinin 0.3 eV altında elektron bulunmama ihtimalinin 1% olacağı sıcaklığı hesaplayınız.

a)



$$T_3 > T_2 > T_1 > T_0 = 0K$$

## SORU 7

Elektronları Fermi Dirac istatistiğine uyan malzemenin Fermi enerji seviyesi 6.25 eV tur

a)  $T = 0\text{K}$  ve  $T > 0\text{K}$  için Fermi-Dirac fonksiyonunun enerjiye göre değişimini kabaca çiziniz,

b)  $E_F$  nin sıcaklıkla değişmediğini varsayarak, 950 K de 6.5 eV enerji seviyesinde elektron bulunma olasılığını hesaplayınız.,

c) Fermi seviyesinin 0.3 eV altında elektron bulunmama ihtimalinin 1% olacağı sıcaklığı hesaplayınız.

b)

$$f(E, T) = \frac{1}{1 + \exp \frac{(E - E_F)}{k_B T}} \quad \begin{array}{l} T \text{ sıcaklığında } E \text{ enerjili seviyede elektron} \\ \text{bulunma ihtimali} \end{array}$$

$$f(E, T) = \frac{1}{1 + \exp \frac{(6.5 - 6.25)}{1,38 \times 10^{-23} \times 950}}$$

$$k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}, \quad 1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\begin{aligned} k_B T &= 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \times 950 \text{ K} \\ &= 1311 \times 10^{-23} \text{ J} \\ 1311 \times 10^{-23} \text{ J} / (1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) \\ &= 0.0819 \text{ eV} \end{aligned}$$

$$f(E, T) = \frac{1}{1 + \exp \frac{(6.5 - 6.25)}{0.0819}}$$

$$f(E, T) = 0.045$$

$$f(E, T) = \%4.5$$

## SORU 7

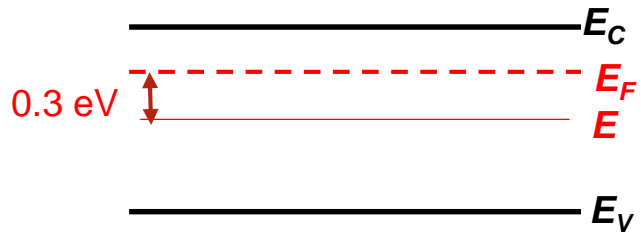
Elektronları Fermi Dirac istatistiğine uyan malzemenin Fermi enerji seviyesi 6.25 eV tur

- a)  $T = 0K$  ve  $T > 0 K$  için Fermi-Dirac fonksiyonunun enerjiye göre değişimini kabaca çiziniz,  
b)  $E_F$  nin sıcaklıkla değişmediğini varsayarak, 950 K de 6.5 eV enerji seviyesinde elektron bulunma olasılığını hesaplayınız.,  
c) Fermi seviyesinin 0.3 eV altında elektron **bulunmama ihtimalinin 1% olacağı sıcaklığı hesaplayınız.**

c) 
$$f_p(E, T) = \frac{1}{1 + \exp \frac{(E_F - E)}{k_B T}}$$

*T sıcaklığında E enerjili seviyede elektron bulunmama ihtimali*

$(E_F - E) = 0.3eV \Rightarrow 0.01 = \frac{1}{1 + \exp \frac{(0.3)}{k_B T}} \Rightarrow$



$$0.01 + 0.01 \exp \frac{(0.3)}{k_B T} = 1$$

$$\Rightarrow 0.01 \exp \frac{(0.3)}{k_B T} = 0.99 \Rightarrow \exp \frac{(0.3)}{k_B T} = \frac{0.99}{0.01} = 99$$

$$\Rightarrow \frac{(0.3 eV)}{k_B T} = \ln 99 \text{ her iki tarafın } \ln' \text{ i alındı}$$

$$k_B T = \frac{(0.3 eV)}{\ln 99} = \frac{(0.3 eV)}{4.595} = 0.0653 eV \Rightarrow$$

$$T = \frac{0.0653 \times 1.6 \times 10^{-19} J}{1.38 \times 10^{-23} J/K^\circ} = 757 K^\circ \Rightarrow \boxed{T = 757K}$$

## SORU 8

Silikon örnekte  $T=355\text{ K}$  de iletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu  $2.95 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  tür.

a) İletkenlik ve valans bandındaki efektif/etkin durum yoğunluğunu bulunuz.

b) Asal (saf) taşıyıcı yoğunluğunu bulunuz.

c) Yarıiletkenin iletkenlik tipini bulunuz. ( $n$  veya  $p$ )

d)  $E_C - E_F = ?$

( $m_e^* = m_n^* = 1.08m_0$  ve  $m_h^* = m_p^* = 0.56m_0$ ,  $m_0 = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ,  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ,  $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ )

$$\text{a)} \quad N_C = 2 \left( \frac{2\pi m_n^* k_B T}{h^2} \right)^{3/2} \Rightarrow N_C = 2 \left( \frac{2\pi \times 1.08 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 355}{(6.63 \times 10^{-34})^2} \right)^{3/2}$$

$$N_C = 36 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$$

$$1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm} \Rightarrow N_C = 36 \times 10^{24} (10^2 \text{ cm})^{-3} = 36 \times 10^{24} 10^{-6} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_C = 36 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$



## SORU 8

Silisyum örnekte  $T=355$  K de iletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu  $2.95 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  tür.

a) İletkenlik ve valans bandındaki efektif/etkin durum yoğunluğunu bulunuz.

b) Asal (saf) taşıyıcı yoğunluğunu bulunuz.

c) Yarıiletkenin iletkenlik tipini bulunuz. ( $n$  veya  $p$ )

d)  $E_C - E_F = ?$

( $m_e^* = m_n^* = 1.08m_0$  ve  $m_h^* = m_p^* = 0.56m_0$ ,  $m_0 = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ,  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ,  $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ )

$$\text{a)} \quad N_V = 2 \left( \frac{2\pi m_p^* k_B T}{h^2} \right)^{3/2} \Rightarrow N_V = 2 \left( \frac{2\pi \times 0.56 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 355}{(6.63 \times 10^{-34})^2} \right)^{3/2}$$

$$N_V \approx 14 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$$

$$1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm} \Rightarrow N_V \approx 14 \times 10^{24} (10^2 \text{ cm})^{-3} = 14 \times 10^{24} 10^{-6} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_V \approx 14 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

## SORU 8

Silisyum örnekte  $T=355\text{ K}$  de iletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu  $2.95 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  tür.

a) İletkenlik ve valans bandındaki etkin durum yoğunluğunu bulunuz.

b) Asal (saf) taşıyıcı yoğunluğunu bulunuz.

c) Yarıiletkenin iletkenlik tipini bulunuz. ( $n$  veya  $p$ )

d)  $E_C - E_F = ?$

( $m_e^* = m_n^* = 1.08m_0$  ve  $m_h^* = m_p^* = 0.56m_0$ ,  $m_0 = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ,  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ,  $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ ) Silikon için  $E_g = 1.12\text{eV}$ )

**b)**

$$n_i^2 = N_V N_C \exp\left(-\frac{E_g}{k_B T}\right) \Rightarrow n_i^2 = 14 \times 10^{18} \times 36 \times 10^{18} \exp\left(-\frac{1.12\text{eV} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}}{1.38 \times 10^{-23} \times 355}\right) \Rightarrow$$

$$n_i \approx 2.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3} @ 355\text{K}$$

## SORU 8

Silisyum örnekte  $T=355\text{ K}$  de iletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu  $n = 2.95 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  tür.

a) İletkenlik ve valans bandındaki efektif/etkin durum yoğunluğunu bulunuz.

b) Asal (saf) taşıyıcı yoğunluğunu bulunuz.

c) Yarıiletkenin iletkenlik tipini bulunuz. (n/p)

d)  $E_C - E_F = ?$

( $m_e^* = m_n^* = 1.08m_0$  ve  $m_h^* = m_p^* = 0.56m_0$ ,  $m_0 = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ,  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ,  $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ )

$$\text{c)} \quad n_i^2 = np \Rightarrow p = \frac{n_i^2}{n} \Rightarrow \frac{(2.5 \times 10^{11})^2}{2.95 \times 10^{16}}$$

$$p \approx 2.1 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$$

$$n = 2.95 \times 10^{16} > p \approx 2.1 \times 10^6$$

dolayısıyla

*n tipi*

## SORU 8

Silisyum örnekte  $T=355\text{ K}$  de iletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu  $2.95 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  tür.

a) iletkenlik ve valans bandındaki etkin durum yoğunluğunu bulunuz.

b) Asal (saf) taşıyıcı yoğunluğunu bulunuz.

c) Yarıiletkenin iletkenlik tipini bulunuz. ( $n$  veya  $p$ )

d)  $E_C - E_F = ?$

( $m_e^* = m_n^* = 1.08m_0$  ve  $m_h^* = m_p^* = 0.56m_0$ ,  $m_0 = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ,  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ,  $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ )

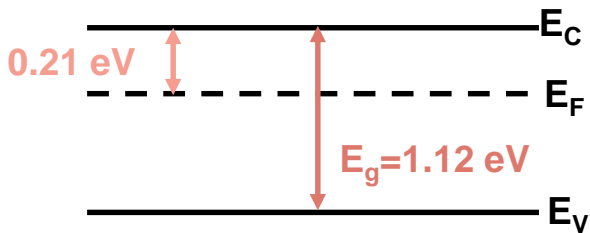
d) 
$$n = N_C \left( e^{-\frac{(E_C - E_F)}{k_B T}} \right) \Rightarrow E_C - E_F = (k_B T) \ln \frac{N_C}{n}$$

$$E_C - E_F = (1.38 \times 10^{-23} \times 355) \ln \frac{36 \times 10^{18}}{2.95 \times 10^{16}}$$

$$E_C - E_F = 3482 \times 10^{-23} \text{ J}$$

$$E_C - E_F = \frac{3482 \times 10^{-23} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}}$$

$$E_C - E_F \approx 0.21 \text{ eV}$$



## SORU 9

Yasak band genişliği 1.43 eV olan GaAs yarıiletkeninin sıcaklığı 300K den 800 K e getirildiğinde Fermi enerjisi ne kadar değişir? ( $\frac{m_p^*}{m_n^*} = 6$ )

$$E_F = \frac{E_g}{2} + \frac{3}{4}(k_B T) \ln \frac{m_p^*}{m_n^*} \quad E_F = \frac{E_g}{2} + \Delta E_T \quad \Delta E_T = \frac{3}{4}(k_B T) \ln \frac{m_p^*}{m_n^*}$$

$$\Delta E_T = \frac{3}{4}(k_B T) \ln \frac{m_p^*}{m_n^*}$$

$$\Delta E_{T=300K} = \frac{3}{4} \left( \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 300}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}} \right) \ln 6 = 0.0347 \text{ eV}$$

$$\Delta E_{T=800K} = \frac{3}{4} \left( \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 800}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}} \right) \ln 6 = 0.0927 \text{ eV}$$

$$\Delta E_{T=800K} - \Delta E_{T=300K} = 0.058 \text{ eV}$$

## SORU 10

300K de silisyumun  $N_D = 10^{16} cm^{-3}$ ,  $N_A = 0$ ,  $n_i = 1.5 \times 10^{10} cm^{-3}$  ise

- Çoğunluk yük taşıyıcısı sayısını,
- Azınlık yük taşıyıcısı sayısını, bulunuz.

$$n = \frac{N_D - N_A}{2} + \sqrt{\left(\frac{N_A - N_D}{2}\right)^2 + n_i^2}$$

$$n = \frac{10^{16} - 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{0 - 10^{16}}{2}\right)^2 + (1.5 \times 10^{10})^2} \approx 10^{16} cm^{-3}$$

$$n_i^2 = np \Rightarrow p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{10^{16}}$$

$$p \approx 2.25 \times 10^4 cm^{-3}$$

## SORU 11

Katkı yoğunluğu  $N_D(x) = 10^{17} \exp\left(\frac{x}{100nm}\right) cm^{-3}$  ifadesine göre değişen  $n$  tipi silisyum, 300K de dengededir. Silisyumdaki difüzyon ve sürüklenme akım yoğunluklarının aynı olması için uygulanması gereken  $E$  (elektrik alan) ne olmalıdır?

$$J_{toplam} = nq\mu_n E + qD_n \frac{dn}{dx} = 0 \Rightarrow$$

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

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

$$E = -\frac{1}{n} \frac{kT}{q} \frac{dn}{dx} \quad \boxed{n \approx N_D}$$

$$E = -\frac{1}{10^{17} \exp\left(\frac{x}{100nm}\right)} \frac{kT}{q} \frac{d}{dx} \left(10^{17} \exp\left(\frac{x}{100nm}\right)\right)$$

## SORU 11

Katkı yoğunluğu  $N_D(x) = 10^{17} \exp\left(\frac{x}{100nm}\right) cm^{-3}$  ifadesine göre değişen  $n$  tipi silisyum 300K de dengededir. Silisyumdaki difüzyon ve sürüklenme akım yoğunluklarının aynı olması için uygulanması gereken  $E$  (elektrik alan) ne olmalıdır?

$$E = -\frac{1}{10^{17} \exp\left(\frac{x}{100nm}\right)} \frac{kT}{q} \frac{d}{dx} \left(10^{17} \exp\left(\frac{x}{100nm}\right)\right)$$

$$E = -\frac{1}{10^{17} \exp\left(\frac{x}{100nm}\right)} \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 300}{1.6 \times 10^{-19}} \frac{1}{100nm} \left(10^{17} \exp\left(\frac{x}{100nm}\right)\right)$$

$$E = -\frac{1.38 \times 10^{-23} \times 300}{1.6 \times 10^{-19}} \frac{1}{100nm}$$

$$E = -\frac{0.026}{100 \times 10^{-9}}$$

$$E = -2.6 \times 10^5 \text{ V/m}$$



## SORU 12

*n*-tipi silisyumda ( $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) içindeki boşluk yoğunluğu  $x = 0$  ile  $x = 1 \text{ mm}$  arasında doğrusal olarak  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 'ten  $10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 'e azalır. Hol (Delik) difüzyon akımı yoğunluğunu hesaplayın. ( $\mu_p = 317 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ )

$$\text{Boşluk(hole) difüzyon akımyoğunluğu} \Rightarrow J_p = -qD_p \frac{dp}{dx}$$

$$T=300 \text{ K de Termik Voltaj, } V_t = \frac{kT}{q} = 0.0259 \text{ V} \quad D_p = \mu_p V_t = 317 \times 0.0259 \Rightarrow D_p = 8.2 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$\text{Boşluk(hole) difüzyon akımı,} \Rightarrow J_p = -1.6 \times 10^{-19} \times 8.2 \times \frac{10^{14} - 10^{13}}{10^{-1} - 0}$$

$$\text{Boşluk(hole) difüzyon akımı,} \Rightarrow J_p = -1.18 \text{ A/cm}^2$$

### SORU 13

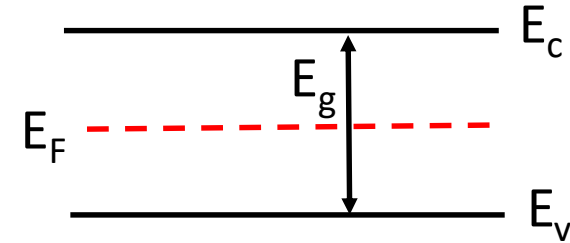
Fermi Dirac olasılık dağılımını kullanarak  $10^{21}$  atomu olan bir yarıiletken ( $E_g = 1.1$  eV) ve bir yalıtkanda ( $E_g = 5$  eV) serbest elektron sayılarını 300K de hesaplayınız.

$$E_F = \frac{E_g}{2} = 0.55 \text{ eV}$$

$$E = E_C$$

$$300 \text{ K de } k_B T \equiv 0.026 \text{ eV}$$

$$f(E, T) = \frac{1}{1 + \exp \frac{(E - E_F)}{k_B T}}$$



$$E - E_F = E_g - E_F = 1.1 - 0.55 = 0.55 \text{ eV}$$

$$f(E, T) = \frac{1}{1 + \exp \frac{(0.55)}{0.026}} \cong \frac{1}{e^{21}} \cong 10^{-9} \rightarrow = 1/10^9$$

$10^9$  atomdan 1 elektron serbest olur

$10^{21}$  atomdan x elektron serbest olur

$$x = 10^{12} \text{ serbest elektron}$$

### SORU 13

Fermi Dirac olasılık dağılımını kullanarak  $10^{21}$  atomu olan bir yarıiletken ( $E_g = 1.1$  eV) ve bir yalıtkanda ( $E_g = 5$  eV) serbest elektron sayılarını 300K de hesaplayınız.

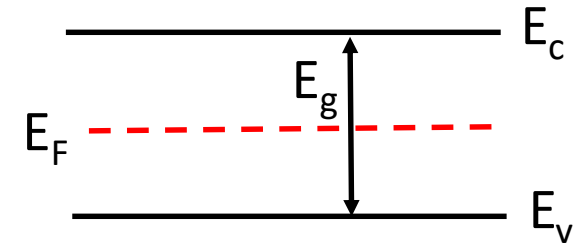
$$f(E, T) = \frac{1}{1 + \exp \frac{(E - E_F)}{k_B T}}$$

$$E - E_F = E_g - E_F = 5 - 2.5 = 2.5 \text{ eV}$$

$$f(E, T) = \frac{1}{1 + \exp \frac{(2.5)}{0.026}} \cong \frac{1}{e^{96}} \cong 10^{-42} = 1/10^{42}$$

$10^{42}$  atomdan 1 elektron serbest olur

$10^{21}$  atomdan x elektron serbest olur



$$x = 10^{-21} = 0 \text{ elektron}$$

Yani hiç serbest elektron oluşmaz

## SORU 14

Bakır (Cu) için

- a) Fermi enerjisini,
- b) Fermi seviyesindeki elektronların ortalama hızını ( $v_F$ ), bulunuz.

a)

$$n = \frac{N}{V}$$

$N$ : tüm elektronların sayısı

$n$ :  $E$  ile  $E + dE$  arasındaki birim hacimdeki elektron sayısı

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

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

$$V = \frac{m}{d} = \frac{63.5}{8.96} = 7.087 \text{ cm}^3 \quad \text{de} \quad 6.02 \times 10^{23} \text{ Avagadro sayısı kadar atom}$$

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

x

$$x = 0.85 \times 10^{29} \text{ elektron/m}^3$$

$$\begin{aligned} h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s,} \\ 1 \text{ eV} &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ J,} \\ m_e &= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \\ m_{\text{Cu}} &= 63.5 \text{ g/mol} \\ d_{\text{Cu}} &= 8.96 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

## SORU 14

Bakır (Cu) için

- a) Fermi enerjisini,
- b) Fermi seviyesindeki elektronların ortalama hızını ( $v_F$ ), bulunuz.

$$\begin{aligned}h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}, \\1\text{eV} &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}, \\m_e &= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \\m_{Cu} &= 63.5 \text{ g/mol} \\d_{Cu} &= 8.96 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

$$E_F = \frac{(6.63 \times 10^{-34})^2}{8(9.1 \times 10^{-31})} \left( \frac{3}{\pi} 0.85 \times 10^{29} \right)^{\frac{2}{3}} \times \left( \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}} \right)$$

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

## SORU 14

Bakır (Cu) için

- a) Fermi enerjisini,
- b) Fermi seviyesindeki elektronların ortalama hızını ( $v_F$ ), bulunuz.

b)

$$v_F = \sqrt{\frac{2E_F}{m}}$$

$$v_F = \sqrt{\frac{2 \times 7 \times 1.6 \times 10^{-19}}{9.1 \times 10^{-31}}}$$

$$v_F \cong 1.6 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}, \\ 1 \text{ eV} &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}, \\ m_e &= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \\ m_{Cu} &= 63.5 \text{ g/mol} \\ d_{Cu} &= 8.96 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

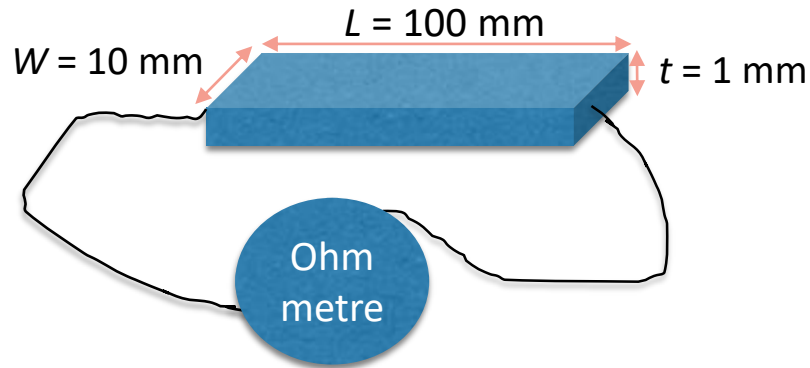
### SORU 15

100 mm uzunluklu, 10 mm genişlikli ve 1 mm kalınlıklı silikon,  $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  arsenik ile katkılanmıştır. Örneğin iki ucu arasındaki tabaka direncini bulunuz.  $\mu = 727 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

Silikonun öz direnci:  $\frac{1}{\sigma} = \rho = \frac{1}{eN_D\mu_n} = \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{17} \times 727} = 0.086 \text{ } \Omega\text{cm}$

$$A = Wt$$

$$R = \rho \frac{L}{Wt} \Rightarrow R = 0.086 \times \frac{10}{1 \times 0.1} \Rightarrow R = 8.6 \text{ ohm}$$



## SORU 16

Silisyumun Hall katsayısı 100 K ile 400 K arasında  $-7.35 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Yarıiletkenin tipini belirleyin. İletkenlik  $200 (\Omega\text{m})^{-1}$  olarak verilirse yük taşıyıcı yoğunluğu ve mobilitesini hesaplayın.

Hall katsayısı negatif, dolayısıyla  $n$ -tipi

$$\sigma = 200 (\Omega\text{m})^{-1}$$

$$R_H = -7.35 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{C}$$

$$R_H = -\frac{1}{ne} \Rightarrow n = -\frac{1}{R_H e}$$

$$n = -\frac{1}{(-7.35 \times 10^{-5})(1.6 \times 10^{-19})}$$

$$n = 8.455 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$$



### SORU 16

Silisyumun Hall katsayısı 100 K ile 400 K arasında  $-7.35 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Yarıiletkenin doğasını belirleyin. İletkenlik  $200 (\Omega\text{m})^{-1}$  olarak verilirse yük taşıyıcı yoğunluğu ve mobilitesini hesaplayın.

$$\sigma = 200 (\Omega\text{m})^{-1}$$

$$\sigma = ne\mu_e \Rightarrow \mu_e = \frac{\sigma}{ne}$$

$$\mu_e = \frac{200}{(8.455 \times 10^{22})(1.6 \times 10^{-19})}$$

$$\mu_e = 0.0147 \text{ m}^2/\text{Vs}$$