ELEKTRONİĞE GİRİŞ 2005 – 2006 BAHAR UYGULAMA 2

HATIRLATMA: Saf Yarıiletken için Enerji Bant Modelinde:

TdD deki bir kristal için her zaman:

1. Nötrlük koşulu geçerlidir: $n + N_A^- = p + N_D^+$
2. $p.n = n_i^2$ dir.

Saf YI için N_A ; $N_D = 0$ olduğundan nötrlük koşulu $n = p$ haline gelir.

$$n = N_C e^{-\frac{E_C - E_F}{kT}} \; ; \; p = N_v e^{-\frac{E_F - E_V}{kT}}$$ olduğundan

$$N_C e^{-\frac{E_C - E_F}{kT}} = N_V e^{-\frac{E_F - E_V}{kT}}$$

$$\frac{N_C}{N_V} = e^{\frac{-E_F + E_V + E_C - E_F}{kT}} = e^{\frac{-2E_F + E_V + E_C}{kT}}$$

$$\frac{-2E_F + E_V + E_C}{kT} = \ln \frac{N_C}{N_V}$$

$$E_F = \frac{E_C + E_V}{2} - \frac{kT}{2} \ln \frac{N_C}{N_V} = E_{Fi} = E_i$$

$$E_i \cong \frac{E_C + E_V}{2}$$ E_i : Öz iletim Fermi seviyesi olarak tanımlanır.

Örnek 1: $N_D = 5.10^{15} cm^{-3}$ Antimon katkılı bir Si kristali ile aynı katkı yoğunluğuna sahip Kükürt katkılı bir Si kristalinin T = 50, 300, 600K deki taşıyıcı yoğunluklarını, Fermi enerji seviyelerini ve iletkenliklerini hesaplayarak yorumlayınız.

$$\Delta E_{D_{Sb}} = 0.04eV \; ; \; \Delta E_{D_S} = 0.18eV$$

T[K]	N_C [cm^{-3}]	n_i [cm^{-3}]	kT [eV]
50	$1,97.10^{18}$	0	0,0043
300	$2,9.10^{19}$	$1,5.10^{10}$	0,026
600	$8,2.10^{19}$	$4,9.10^{15}$	0,052

T = 50 K için:

Antimon (Sb) katkılı kristal

$$n = \frac{1}{2} N_C e^{-\frac{\Delta E_D}{kT}} \left[\sqrt{4 \frac{N_D}{N_C} e^{\frac{\Delta E_D}{kT}} + 1} - 1 \right]$$

$$K = 4 \frac{N_D}{N_C} e^{\frac{\Delta E_D}{kT}} = 4. \frac{5.10^{15}}{1,97.10^{18}} .e^{\frac{.04}{.0043}}$$

$$K = 103,45 >> 1$$

o halde düşük sıcaklıklar için yaklaşık formülü kullanabiliriz:

$$n = \sqrt{N_C N_D} .e^{-\frac{\Delta E_D}{2kT}} = \sqrt{1,97.10^{18}.5.10^{15}} e^{-\frac{.04}{0.0086}}$$

$$n = 9,832.10^{14} cm^{-3} = N_D^+$$

iyonlaşma oranı:

$$\eta = \% \frac{N_D^+}{N_D} .100 = \% 19,66$$

$n_i = 0$; $p = 0$;

$$E_C - E_F = kT \ln \frac{N_C}{n} = 0,0043 \ln \frac{1,97.10^{18}}{9,832.10^{14}}$$

$$E_C - E_F = 0,033 eV$$

$$\sigma = q.\mu_n.n$$

$$\sigma = 1,6.10^{-19}.1350.\left(\frac{300}{50}\right)^{3/2} .9,832.10^{14}$$

$$\sigma = 3,121 \frac{1}{\Omega.cm}$$

Kükürt (S) katkılı kristal

$$K = 4 \frac{N_D}{N_C} e^{\frac{\Delta E_D}{kT}} = 4. \frac{5.10^{15}}{1,97.10^{18}} .e^{\frac{.18}{.0043}}$$

$$K = 1,11.10^{16} >> 1$$

yine düşük sıcaklıklar için yaklaşık formülü kullanabiliriz:

$$n = \sqrt{N_C N_D} .e^{-\frac{\Delta E_D}{2kT}} = \sqrt{1,97.10^{18}.5.10^{15}} e^{-\frac{.18}{0.0086}}$$

$$n = 9,48.10^{7} cm^{-3} = N_D^+$$

iyonlaşma oranı:

$$\eta = \frac{N_D^+}{N_D} = 1,897.10^{-8}$$

$n_i = 0$; $p = 0$;

$$E_C - E_F = kT \ln \frac{N_C}{n} = 0,0043 \ln \frac{1,97.10^{18}}{9,48.10^{7}}$$

$$E_C - E_F = 0,103 eV$$

$$\sigma = q.\mu_n.n$$

$$\sigma = 1,6.10^{-19}.1350.\left(\frac{300}{50}\right)^{3/2} .9,48.10^{7}$$

$$\sigma = 3,011.10^{-7} \frac{1}{\Omega.cm}$$

T = 300 K için:

Antimon (Sb) katkılı kristal

$$K = 4\frac{N_A}{N_V}e^{\frac{\Delta E_A}{kT}} = 4.\frac{5.10^{15}}{2,9.10^{19}}.e^{\frac{.04}{.026}}$$

$$K = 3,21.10^{-3} << 1$$

O halde $n = N_D^+ = N_D$, yani oda sıcaklığında Sb katkılı kristalde tüm katkılar iyonlaşmıştır kabul edilebilir.

$$n = 5.10^{15} cm^{-3}$$

(tam formülden hesapla
$n = 4,995.10^{15} cm^{-3}$ $\eta = \%99.91$ bulunurdu)

$$n_i = 1.5.10^{10} cm^{-3}$$

$$p = \frac{n_i^2}{n} = 4,5.10^4 cm^{-3}$$

$$E_C - E_F = kT \ln\frac{N_C}{n} = 0,026 \ln\frac{2,9.10^{19}}{5.10^{15}}$$

$$E_C - E_F = 0,225eV$$

$$\sigma = q.\mu_n.n = 1,6.10^{-19}.1350.5.10^{15}$$

$$\sigma = 1,079\frac{1}{\Omega.cm}$$

Kükürt (S) katkılı kristal

$$K = 4\frac{N_D}{N_C}e^{\frac{\Delta E_D}{kT}} = 4.\frac{5.10^{15}}{2,9.10^{19}}.e^{\frac{0.15}{0.026}}$$

$K = 0,7 << 1$ değil

yaklaşıklığı kullanamayız

$$n = \frac{1}{2}N_C e^{-\frac{\Delta E_D}{kT}}\left[\sqrt{4\frac{N_D}{N_C}e^{\frac{\Delta E_D}{kT}} + 1} - 1\right]$$

$$n = 4,34.10^{15} cm^{-3} = N_D^+$$

iyonlaşma oranı: $\eta = \frac{N_D^+}{N_D} = 0,868 = \%86,8$

yani oda sıcaklığında S katkılı kristalde tüm katkılar iyonlaşmamıştır.

$$E_C - E_F = kT \ln\frac{N_C}{n} = 0,026 \ln\frac{2,9.10^{19}}{4,34.10^{15}}$$

$$E_C - E_F = 0,229eV$$

$$\sigma = q.\mu_n.n = 1,6.10^{-19}.1350.4,34.10^{15}$$

$$\sigma = 0,937\frac{1}{\Omega.cm}$$

T = 600 K için:

Yüksek sıcaklık bölgesinde artık S katkılı kristalde de tüm katkılar iyonlaşmıştır ve taşıyıcı yoğunluklarını ağırlıklı olarak etkileyen bileşen n_i dir (n_i yoğunluğu artık N_D ile aynı mertebeye ulaşmıştır, hatta sıcaklıkla hızla artarak N_D yi çok geçmektedir). Dolayısıyla her iki katkı için yüksek sıcaklık bölgesinde bir fark gözlenmez.

$$n = \frac{N_D}{2} + \sqrt{\left(\frac{N_D}{2}\right)^2 + n_i^2} \quad ; \quad n_i = 4.9.10^{15} cm^{-3}$$

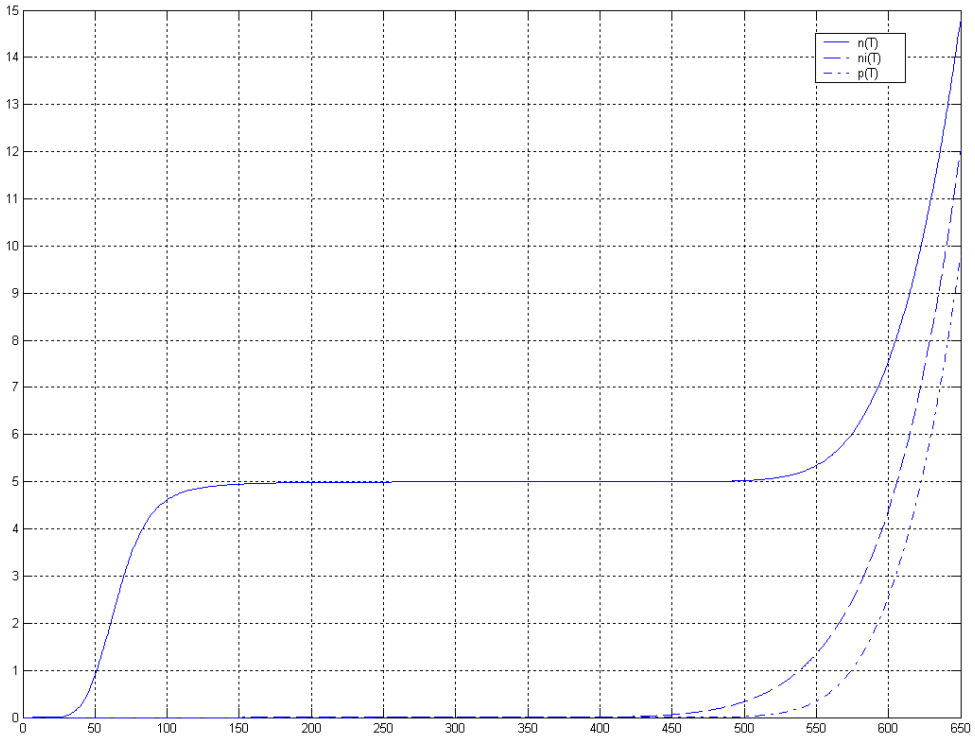
$$n = \frac{N_D}{2} + \sqrt{\left(\frac{N_D}{2}\right)^2 + n_i^2} = 2,5.10^{15} + \sqrt{\left(2,5.10^{15}\right)^2 + \left(4.9.10^{15}\right)^2} = 8.10^{15} cm^{-3}$$

$$p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{\left(4.9.10^{15}\right)^2}{8.10^{15}} = 3.10^{15} cm^{-3}$$

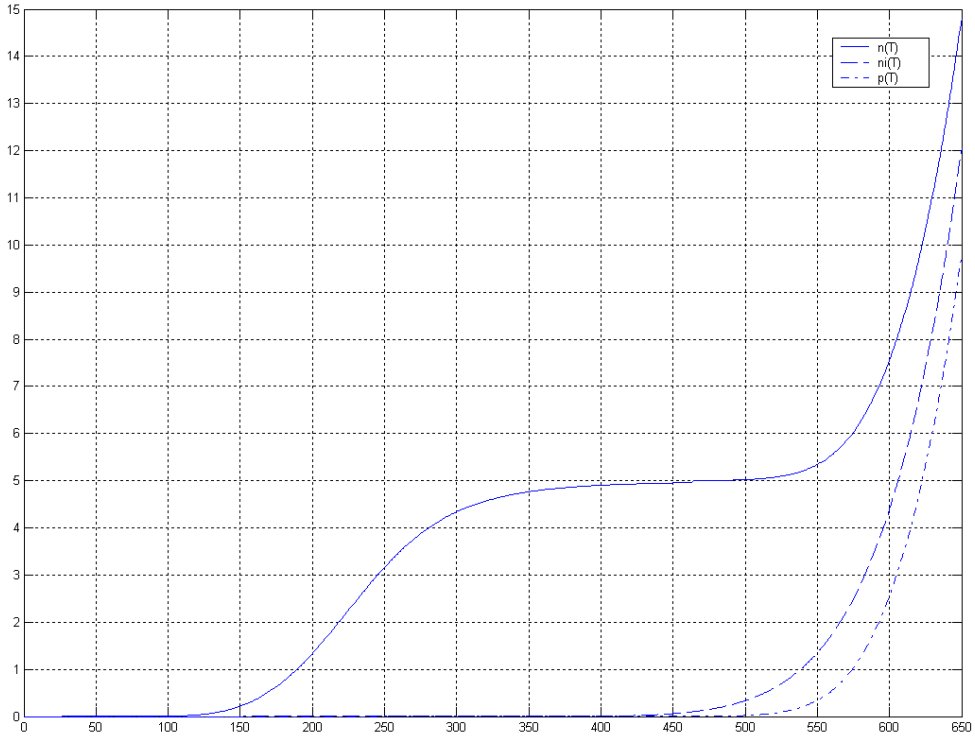
$$E_C - E_F = kT \ln \frac{N_C}{n} = 0,052 \ln \frac{8,2.10^{19}}{8.10^{15}} = 0,480eV$$

n ve p değerleri birbirine yakın olduğundan iletkenlik hesaplanırken p'li bileşen <u>ihmal edilemez.</u>

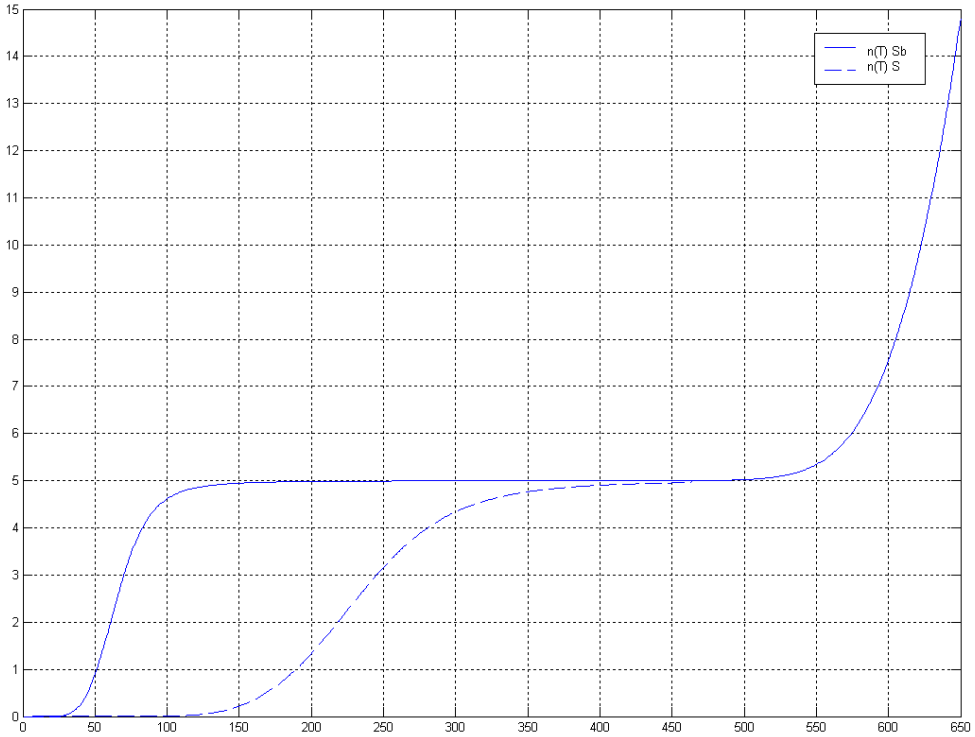
$$\sigma = q.\mu_n.n + q.\mu_p.p = 1,6.10^{-19}\left[1350.\left(\frac{300}{600}\right)^{3/2}.8.10^{15} + 480.\left(\frac{300}{600}\right)^{3/2}.3.10^{15}\right] = 0,692\frac{1}{\Omega.cm}$$



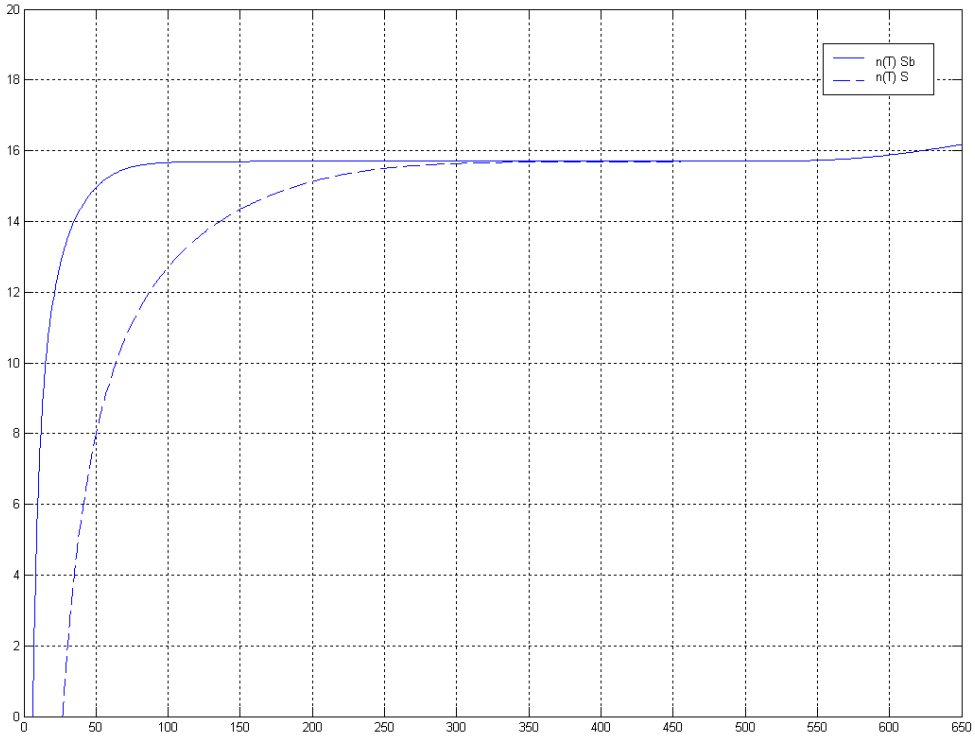
Antimon katkılı Si kristalinin taşıyıcı yoğunluklarının sıcaklıkla değişimi (lineer)



Kükürt katkılı Si kristalinin taşıyıcı yoğunluklarının sıcaklıkla değişimi (lineer)



Antimon ve kükürt katkılı Si kristallerinin n(T) değişimi (lineer)



Antimon ve kükürt katkılı Si kristallerinin n(T) değişimi (logaritmik)