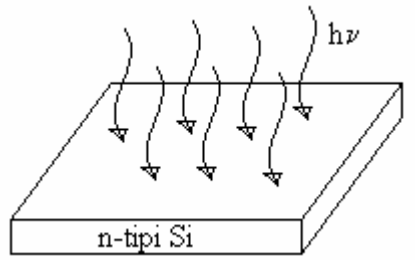
ELEKTRONİĞE GİRİŞ 2008 – 2009 BAHAR UYGULAMA 3

HOMOJEN YI KRİSTALDE TERMO DİNAMİK DENGEDEN SAPMA ve YENİDEN DENGEYE ULAŞMA

TdD'deki kristal çeşitli şekillerde bu dengeden saptırılabilir. Bunlardan birisi fotonla uyarımdır. n veya p katkılı bir Si kristali, enerjisi Silisyumun yasak bant enerjisinden daha büyük fotonlarla uyarıldığında kristalde elektron-delik çiftleri ürer. Yeterince uzun zaman beklendiğinde ışınım sebebiyle üreyen bu fazla elektron ve delikler tekrar birleşerek kaybolur ve sistem tekrar TdD'ye erişir.

$T = T_0$



$h\upsilon > E_g$ ise elektron-delik çifti oluşturma olasılığı vardır.

<u>Generasyon (Oluşum):</u> birim zamanda ve hacimde üreyen elektron-delik çifti sayısı $\left[\frac{1}{cm^3 s}\right]$

Generasyon öncesi elektron yoğunluğu n, delik yoğunluğu p_0 olsun.

$$n \rightarrow n + \Delta n$$

Generasyon sonucu: $p \rightarrow p_0 + \Delta p$

$$\Delta n = \Delta p$$

<u>Rekombinasyon (Yeniden birleşme):</u> Birim zaman ve hacimde yeniden birleşerek kaybolan elektron-delik çifti sayısı $\left[\frac{1}{cm^3 s}\right]$

n-tipi kristalde $r_{th} = -\frac{p(t) - p_0}{\tau_p}$,

τ_p : n-tipi kristalde deliklerin (azınlık taşıyıcılarının) ortalama rekombinasyon süresi (ortalama ömrü)

p-tipi kristalde $r_{th} = -\frac{n(t) - n_0}{\tau_n}$,

τ_n : p-tipi kristalde elektronların (azınlık taşıyıcılarının) ortalama rekombinasyon süresi (ortalama ömrü)

TdD'de $E_F = E_{FC} = E_{FV}$

Denge bozulduğunda $E_{FC} \neq E_{FV}$

$$n = N_C e^{-\frac{E_C - E_{FC}}{kT}} \quad , \quad p = N_V e^{-\frac{E_{FV} - E_V}{kT}}$$

<u>Işıma süresince:</u>

n-tipi kristalde deliklerin zamanla değişimi $\boxed{\frac{dp(t)}{dt} = -\frac{p(t) - p_0}{\tau_p} + g(t) \quad t \geq 0}$

p-tipi kristalde elektronların zamanla değişimi $\boxed{\frac{dn(t)}{dt} = -\frac{n(t) - n_0}{\tau_n} + g(t) \quad t \geq 0}$

<u>Işıma sonunda:</u>

n-tipi kristalde deliklerin zamanla değişimi $\boxed{\frac{dp(t)}{dt} = -\frac{p(t) - p_0}{\tau_p}}$

p-tipi kristalde elektronların zamanla değişimi $\boxed{\frac{dn(t)}{dt} = -\frac{n(t) - n_0}{\tau_n}}$

<u>Örnek 1</u>: $N_A = 2.10^{15} cm^{-3}$ Bor katkılı homojen bir p-tipi Si kristali veriliyor. Kristal $g_0 = 5.10^{17} cm^{-3} s^{-1}$ olacak şekilde 80μs boyunca aydınlatılıyor. Azınlık taşıyıcılarının rekombinasyon süresi 100μs olduğuna göre ışınım süresince ve ışınım sonunda taşıyıcı yoğunluklarının zamanla değişimini veriniz.

$\boxed{\frac{dn(t)}{dt} = -\frac{n(t) - n_0}{\tau_n} + g(t) \quad t \geq 0}$ azınlık taşıyıcılarının süreklilik denklemi

Katkı elementi Bor olduğuna göre oda sıcaklığında tüm katkılar iyonlaşmış kabul edilebilir:

$N_A = p = 2.10^{15}\ cm^{-3}$; $n_0 = 1{,}125.10^5\ cm^{-3}$;

$$\sigma = \sigma_p = q\mu_p p = 1{,}6.10^{-19}.480.2.10^{15} = 0{,}1536 \frac{1}{\Omega.cm}$$

<u>t = 0 anında gelen ışık darbesi için:</u>

$n(t) - n_0 = n_1(t) = \Delta n$ dönüşümüyle

$$\frac{dn_1(t)}{dt} = -\frac{n_1(t)}{\tau_n} + g_0 = -\frac{n_1(t) - g_0\tau_n}{\tau_n}$$

$$\int \frac{dn_1(t)}{n_1(t) - g_0\tau_n} = -\int \frac{dt}{\tau_n}$$

$$\ln \frac{n_1(t) - g_0\tau_n}{C} = -\frac{t}{\tau_n}$$

$$n_1(t) - g_0\tau_n = C.e^{-\frac{t}{\tau_n}} \; ; \; n_1(t) = C.e^{-\frac{t}{\tau_n}} + g_0\tau_n$$

t = 0 için $n_1(t) = 0$ başlangıç koşulundan $C = -g_0\tau_n$ bulunur.

$$n_1(t) = -g_0\tau_n.e^{-\frac{t}{\tau_n}} + g_0\tau_n = g_0\tau_n\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_n}}\right) = 5.10^{13}\left(1 - e^{-10^4 t}\right)$$

$$n(t) = n_1(t) + n_0 = g_0\tau_n\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_n}}\right) + n_0 = 5.10^{13}\left(1 - e^{-10^4 t}\right) + 1{,}125.10^5$$

$\Delta n = \Delta p$ olacağına, yani ışınımla ne kadar elektron ürerse aynı sayıda delik üreyeceğine göre delik artışı:

$$p(t) = p + \Delta p = g_0\tau_n\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_n}}\right) + p = 5.10^{13}\left(1 - e^{-10^4 t}\right) + 2.10^{15}$$

$t > 5\tau_n$ için $n_1(t) = g_0\tau_n = 5.10^{13} cm^{-3} \cong n(t)$;

$p(t) = g_0\tau_n + p = 5.10^{13} + 2.10^{15} = 2{,}05.10^{15} cm^{-3}$ olacaktı ancak ışık darbesi yalnızca 80μs boyunca uygulandığından, 80μs sonunda

$$n_1(t)\big|_{t=80\mu s} = 5.10^{13}\left(1 - e^{-10^4.80.10^{-6}}\right) = 2{,}75.10^{13} cm^{-3}$$

$$n(t)\big|_{t=80\mu s} = 2{,}75.10^{13} + 1{,}125.10^5 = 2{,}75.10^{13} cm^{-3}$$

$$p(t)\big|_{t=80\mu s} = p + \Delta p = 2.10^{15} + 2{,}75.10^{13} = 2{,}0275.10^{15} cm^{-3}$$

İletkenlik ise:

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

$$\sigma(t) = 1{,}6.10^{-19}\left(1350.\left[5.10^{13}\left(1 - e^{-10^4 t}\right) + 1{,}125.10^5\right] + 480\left[5.10^{13}\left(1 - e^{-10^4 t}\right) + 2.10^{15}\right]\right)$$

$$\sigma(t) = 0{,}01464\left(1 - e^{-10^4 t}\right) + 0{,}1536$$

$$\sigma(t)\big|_{t=80\mu s} = 0{,}01464\left(1 - e^{-10^4 t}\right) + 0{,}1536 = 0{,}1617 \frac{1}{\Omega.cm}$$

<u>t = t_1 = 80μs de ışık darbesi kesilince:</u>

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{n(t) - n_0}{\tau_n}$$

$$\frac{dn_1(t)}{dt} = -\frac{n_1(t)}{\tau_n} \quad \Rightarrow \quad \int \frac{dn_1(t)}{n_1(t)} = -\int \frac{dt}{\tau_n} \quad \Rightarrow \quad \ln \frac{n_1(t)}{C} = -\frac{t}{\tau_n}$$

$$n_1(t) = C.e^{-\frac{t}{\tau_n}}$$

Yukarıdaki ifade t > t_1 için geçerlidir. O halde üstel ifadeyi t_1 e ötelenmiş olarak yazalım:

$$n_1(t) = C.e^{-\frac{t-t_1}{\tau_n}}$$

Darbe kesildiği andaki sınır koşulu (t = t_1 anında) $n_1(t_1)\big|_{t=80\mu s} = 2,75.10^{13} cm^{-3}$ dir. Bu koşul $n_1(t)$ ifadesinde yerine yazarak C bulunur.

$$C = 2,75.10^{13} cm^{-3}$$

$$n_1(t) = C.e^{-\frac{t-t_1}{\tau_n}} = 2,75.10^{13} e^{-\frac{t-80\mu s}{100\mu s}} = 2,75.10^{13} e^{-\left(10^4 t-0,8\right)}$$

$$n(t) = n_1(t) + n_0 = 2,75.10^{13} e^{-\left(10^4 t-0,8\right)} + 1,125.10^5$$

$$p(t) = p + \Delta p = 2,75.10^{13} e^{-\left(10^4 t-0,8\right)} + 2.10^{15}$$

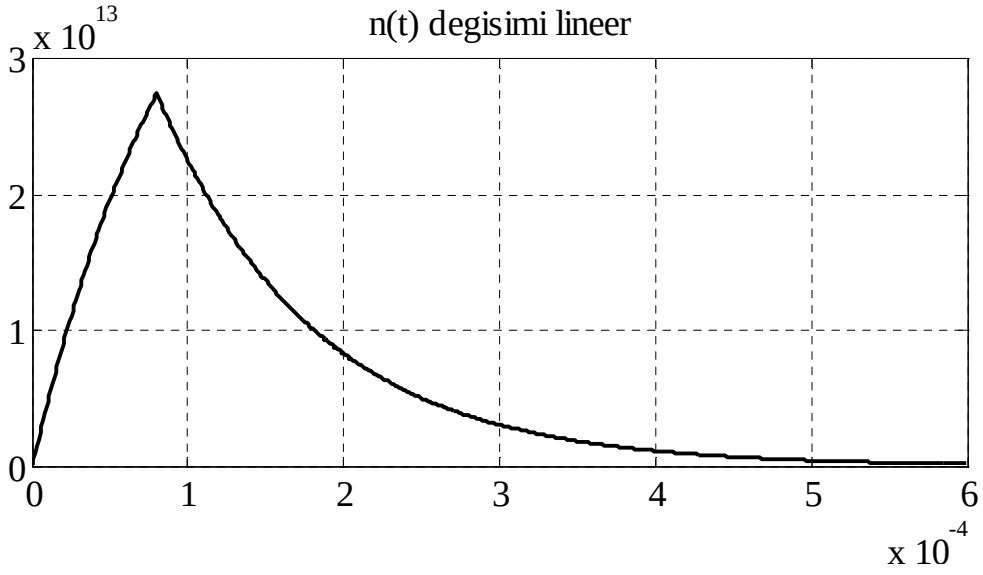
$t \to \infty$ için $n_1(t) = 0$; $n(t) = n_0 = 1,125.10^5 cm^{-3}$; $p(t) = 2.10^{15} cm^{-3}$ olur.

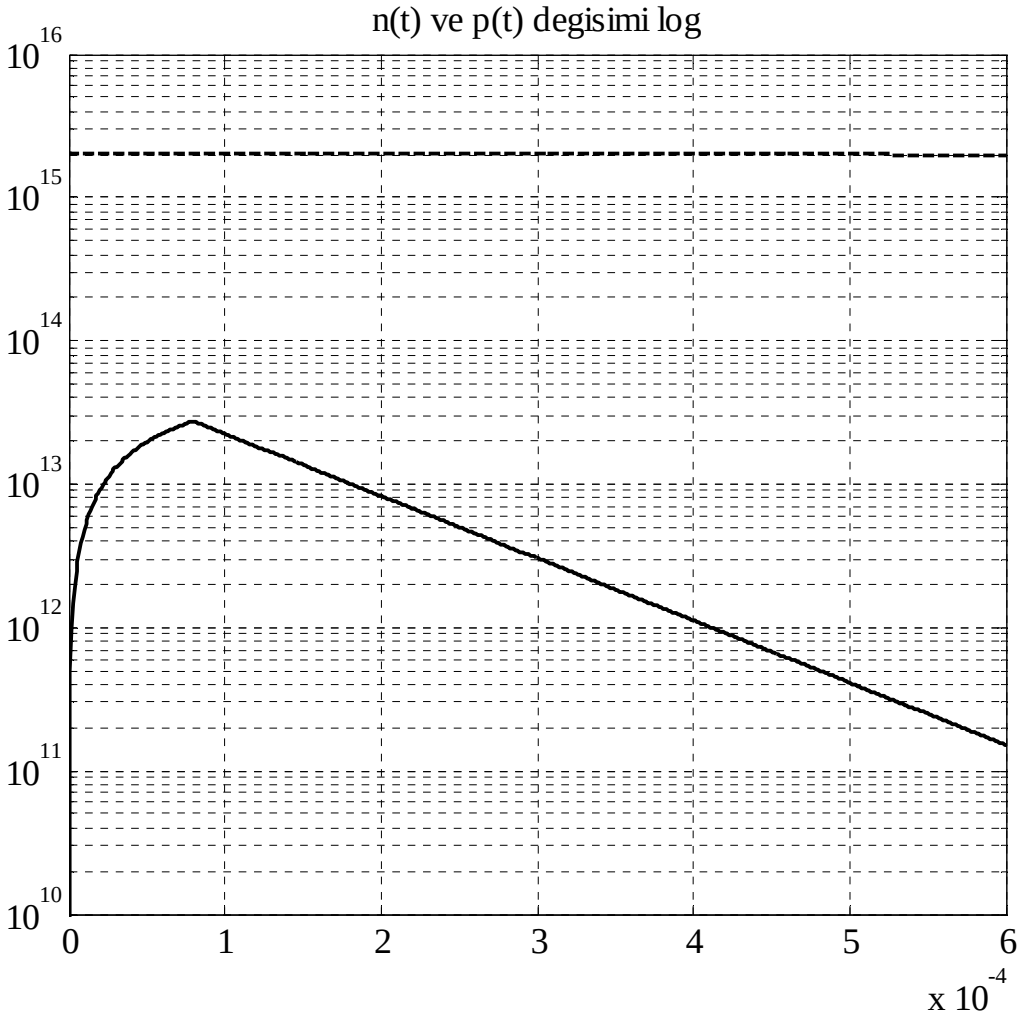
İletkenlik:

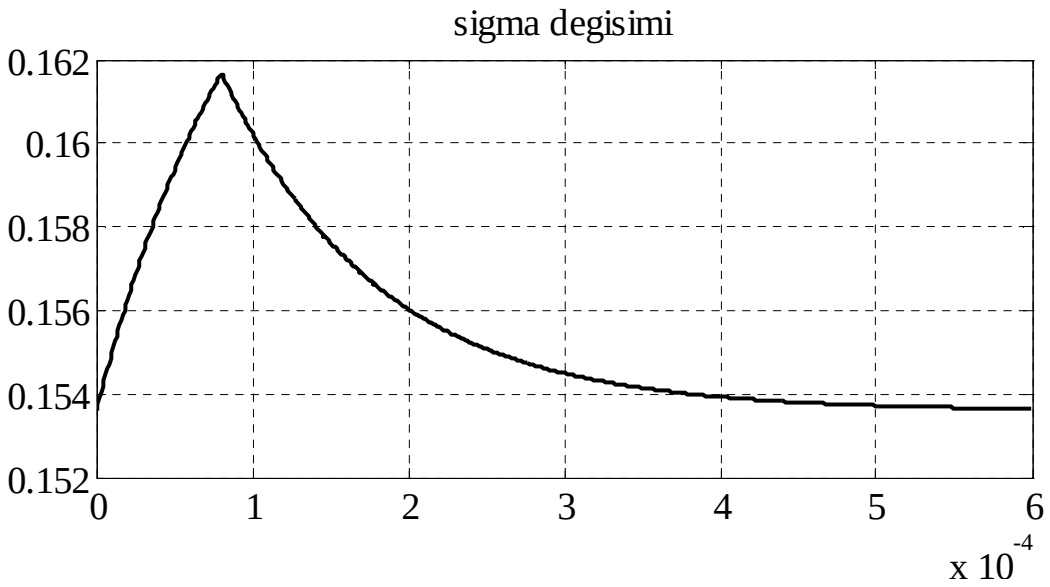
$$\sigma(t) = q\mu_n n(t) + q\mu_p p(t)$$

$$\sigma(t) = 1,6.10^{-19}\left(1350.\left[2,75.10^{13} e^{-\left(10^4 t-0,8\right)} + 1,125.10^5\right] + 480\left[2,75.10^{13} e^{-\left(10^4 t-0,8\right)} + 2.10^{15}\right]\right)$$

$$\sigma(t) = 0,01464 e^{-\left(10^4 t-0,8\right)} + 0,1536$$


n(t) degisimi lineer
x 10^13
3
2
1
0
0
1
2
3
4
5
6
x 10^-4


n(t) ve p(t) degisimi log
10^16
10^15
10^14
10^13
10^12
10^11
10^10
0
1
2
3
4
5
6
x 10^-4


sigma degisimi
0.162
0.16
0.158
0.156
0.154
0.152
0
1
2
3
4
5
6
x 10^-4