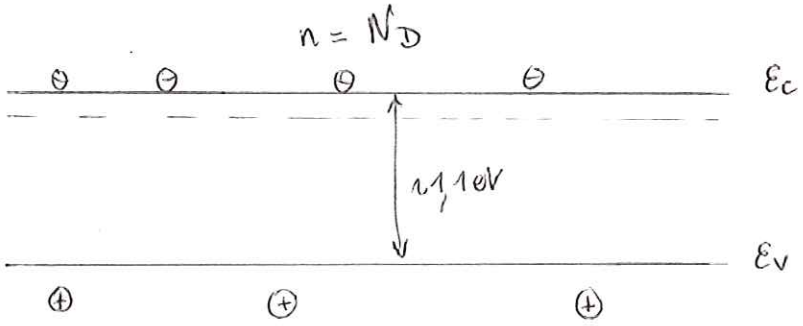
GENERATION - RECOMBINAISON

sc hors d'éq : retour à l'éq : $\frac{\partial n}{\partial t} = - \frac{n - n_0}{\tau}$

Comment déterminer τ.

1 Généra0 - Recombinaison



$\rho = \frac{n_i^2}{N_D}$

Sat Natonaire.

En permanence : recombinaisons e^+/e^-, compensées par l'excitat0 (généra0) de paires $e^- e^+$ (e^- trou)

généra0 de paires :

$e^-_{BV} \rightarrow e^-_{BC}$ 1 trou en + ds la BV

energie prise par absorpo d'1 $h\nu$ par le cristal.

$h\nu \rightarrow \underset{(e^-_{BC})}{n} + p$

$e^-_{BC} \rightarrow e^-_{BV}$ 1 trou de - ds BV

≡ annihilat0 e^- trou : émission d'1 $h\nu$

$h\nu \rightleftharpoons n + p$

cinétique de la réac0 :

A cause du rayonnem^t : probabilité no de créer des paires (taux de créa0)

recombinaison : taux r_1

$$r_1 = A\,n\,p \qquad \text{(ici } n \text{ et } p \text{ sont les nb de } e^- \text{ et de trous)}$$

à l'éq : $r_0 = r_1 = A\,n_0 p_0$

$$\rightarrow \quad A = \frac{r_0}{n_0 p_0}$$

Calcul de τ :

$$\frac{\partial n}{\partial t} = r_0 - r_1$$

$$= r_0 - \frac{r_0}{n_0 p_0} n p \quad \rightarrow \quad \frac{\partial n}{\partial t} = r_0\left(1 - \frac{n p}{n_0 p_0}\right)$$

$\left.\begin{aligned} n &= n_0 + \Delta n \\ p &= p_0 + \Delta n \end{aligned}\right\}$ cristal neutre : compensation exacte.

$$\rightarrow \quad \frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\partial \Delta n}{\partial t} = r_0\left(1 - \frac{(n_0+\Delta n)(p_0+\Delta n)}{n_0 p_0}\right)$$

$$= \frac{-r_0}{n_0 p_0}\left(n_0 + p_0 + \Delta n\right)\Delta n$$

$$\rightarrow \quad \frac{1}{\Delta n}\frac{\partial \Delta n}{\partial t} = -\,r_0\,\frac{(n_0+p_0)}{n_0 p_0}$$

cristal n $\rightarrow$ $\dfrac{1}{\Delta n}\dfrac{\partial \Delta n}{\partial t} = -\,r_0/p_0 = -\dfrac{r_0 N_D}{n_i^2}$ (si cristal p : $\dfrac{1}{\Delta n}\dfrac{\partial n}{\partial t} = -r_0/n_0 = -\dfrac{r_0 N_A}{n_i^2}$)

$$= -\frac{1}{\tau}$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{1}{\tau} = \frac{r_0 N_D}{n_i^2} = B\,N_D}$$

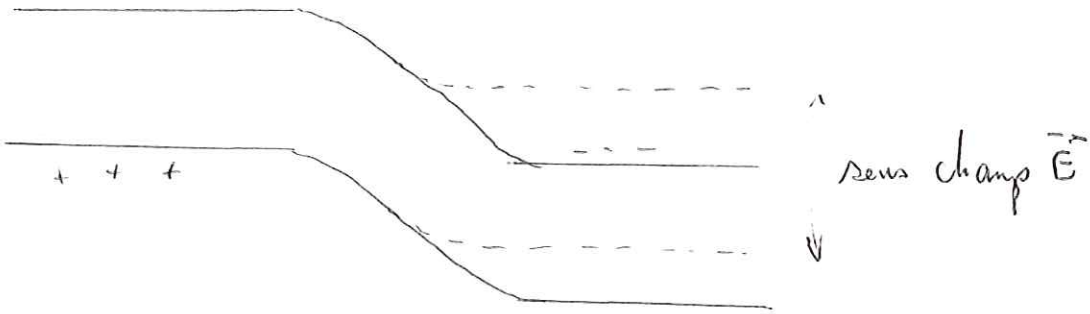
↑ de caractéristique du Si : $B = 1{,}5 \cdot 10^{-21}\ m^3/s$

$$L = \sqrt{D\tau} = 16\ mm \quad \text{pour } N_D = 10^{22}\ m^{-3}$$

Ce n'est pas ce qui intervient ds les recombinaisons

Néanmoins : ces transitions sont utilisées pour les dispositif diode électro-luminescente, et diode laser.

électroluminescente :



abaisse la barrière → transfo possible : courant direct

partie n : excès de trou qui se recombinent, avec 1 hνs suffisant pour emettre de la lumière.

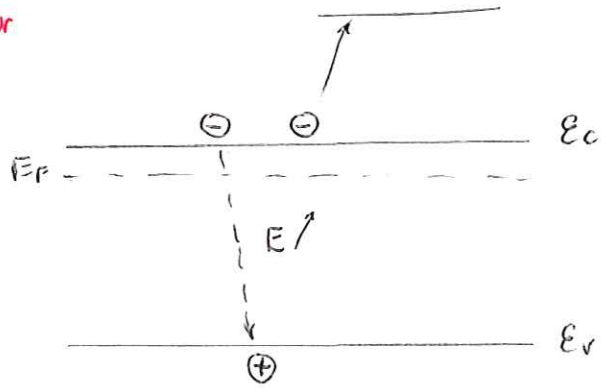
Si : 1,1 eV → IR.

→ diode électroluminescente ≠ Si, mais AsGa (1,43 → IR)

$Ga_{1-x}Al_xAs$ (1,8 eV → rouge)

→ photos coupleurs : isolement électrique.

2 Effet Auger



2ème principe de recomb sans radiation.

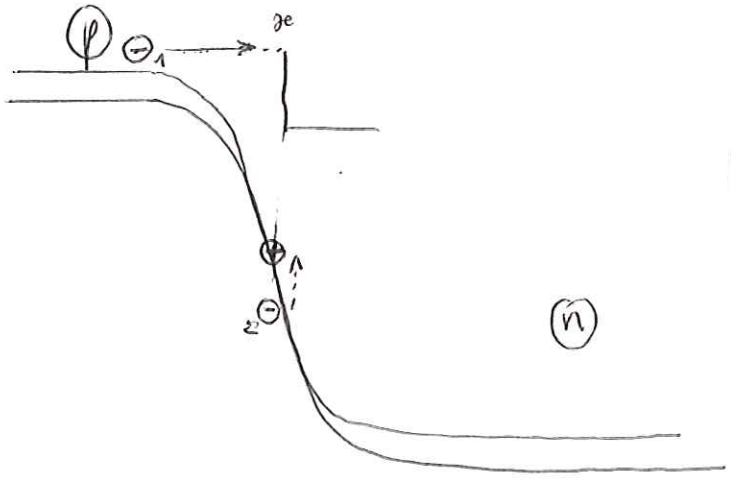
1 des 2 é se recombine → libération d'E, transmise au 2ième électron, qui se retrouve à 1 niveau très élevé.

$$\mathcal{E} - \mathcal{E}_c = \frac{1}{2} m^* V_d^2$$

ici : V_d (vitesse de dérive) ↗

processus inverse : é d'$\mathcal{E}$ ↗, qui la perd, pour la transmettre à 1é de BV, qui se retrouve ds BC : ionisa0 par impact.

c'est ce phénomène qui limite la V inverse applicable à 1 diode :



Très forte tension inverse

e^- attiré par (n) : V_d très gde qd il est en x

→ crée 1 paire é trou. (BV → BC) par perte d'$\mathcal{E}$

e^-_2 attiré par n, trou attiré par p → phénomène d'avalanche.

l'effet Auger, est cinétiquement ≤ recombinaisons radiatives.

il faut é proche de trou. → $p = f(n^b$ trous$)$

+ e^-_1 — — e^-_2 → $p = f(n^2_{e^-})$

au faible dopage, l'effet Auger est négligeable.

au fort — , il dépasse les trans0 radiatives.

Si : 10^{18} cm^{-3} valeur critique.

généralement : zones fortement dopées.

$n_0 + \delta n \qquad p_0 + \delta n \longrightarrow r = C n^2 p$ et $r_0 = C n_0^2 p_0$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = C\left((n_0+\delta n)^2 (p_0+\delta n) - n_0^2 p_0\right)$$

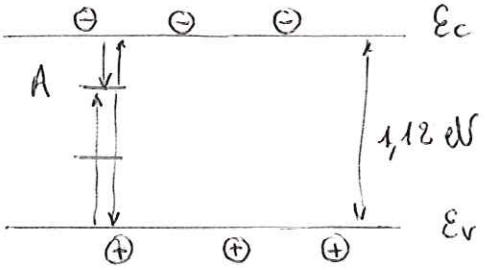
$$= C\,\delta n\,(n_0^2 + 2 n_0 p_0)$$

$p_0 \ll n_0 \longrightarrow$ $\boxed{\frac{\partial n}{\partial t} = C\,\delta n\, n_0^2}$ $\nearrow \tau = \frac{1}{C n_0^2}$

$n_0 = N_D$ (N_A pour 1 p)

l'effet Auger se distingue car il varie avec le carré de n_0.

3 Centres profonds prépondérants



impuretés → niveaux localisés de la bande.

ex : Cu, Au, Fe ... → apport de 1 ou plusieurs niveaux de BI profonds car généralement distants de + de 0,2eV de E_c ou E_v

→ ~ centre de la bande.

A vide ou occupé → 4 processus.

* e^- de BC vient occuper le niveau A : capture d'1 e^-
* e^- de A remonte de BC : emission d'1 e^-

pour ces e^- : 0,2 eV à franchir → + facile.

* e^- de A de BV : capture d'1 trou.
* e^- de BV vers A : émission d'1 trou.

Ces processus sont proportionnels au nb de niveaux profonds, donc de la pureté du Si utilisé.

5.10^{22} at/cm^3 de Si

10^{15} à 10^{12} at/cm^3 en métaux de transition.

Les phénomènes successifs $BV \rightleftharpoons BC$ seront prépondérants.

soit n é ds BC, Nt centres profonds de type A.

Nt ft de centres occupés par 1 e$^-$.

$$n = N_C \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{kT}\right)$$

$$\frac{dn_c}{dt} = n\, N_t\,(1-f_t).\, C_n$$

= nb d'é capturés par unité de t.

C_n = probabilité pour qu'1 é soit capturé par 1 centre

émission : $N_t\, f_t\, N_C\, e_n = \frac{dn_e}{dt}$

↑ nb d'états effectif ds BC ; ↖ probabilité pour qu'1 é d'1 centre soit émis.

à l'éq : $\frac{dn_c}{dt} = \frac{dn_e}{dt}$ principe de microréversibilité.

$$\rightarrow \quad e_n = f(C_n) \qquad e_n = \frac{1-f_t}{f_t} \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{kT}\right) C_n$$

$C_n = \sigma \bar{v}_d$

↑ surface efficace ($99\ \text{Å}^2$) ; ↖ vitesse de dérive moyenne

→ si on veut avoir identité avec les recombinaisons radiatives.

→