Derivazione semplificata dell'equazione di Shockley

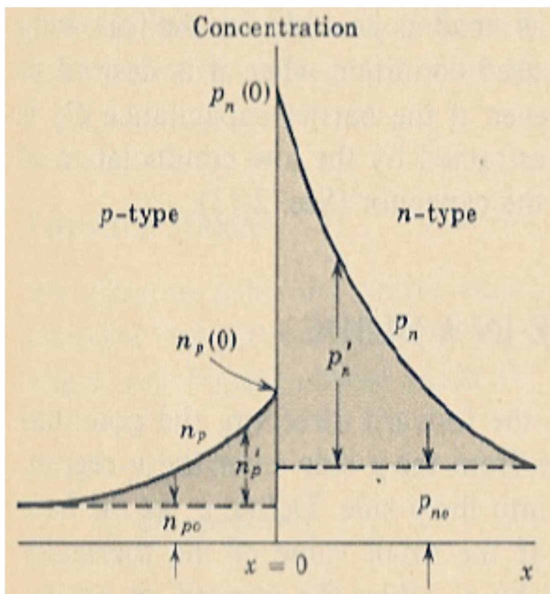
Polarizzazione diretta:

Variazione delle concentrazioni di minoritari → Iniezione di minoritari

$$\Delta p_n \approx \frac{N_A}{e^{\frac{V_{bi}}{V_T}}}\left(e^{\frac{V_F}{V_T}} - 1\right) \text{ Incremento}$$

$$\Delta n_p \approx \frac{N_D}{e^{\frac{V_{bi}}{V_T}}}\left(e^{\frac{V_F}{V_T}} - 1\right) \text{ Incremento}$$

Profilo delle concentrazioni:



Conc. dei minoritari nelle 'regioni neutre': conseguenza della 'iniezione' di minoritari dallo strato di svuotamento in conseguenza dell'abbassamento della barriera di potenziale V_{bi}

Contemporaneamente: flusso di maggioritari dalle regioni neutre verso lo strato di svuotamento, conseguenza della variazione di concentrazione dei minoritari

Densita' di corrente dei minoritari nelle zone neutre:

$$\left.\begin{aligned} j_n(x,V) &= qD_n \frac{d(\Delta n_p)}{dx} \\ j_p(x,V) &= -qD_p \frac{d(\Delta p_n)}{dx} \end{aligned}\right\} \text{solo correnti di diffusione, c. elettrico } \sim 0$$

Eq. di continuita', generalizzata con produzione/ricombinazione:

$$\nabla \cdot \mathbf{j}_n(x,V) \equiv \frac{\partial j_n(x,V)}{\partial x} = -q\frac{\partial n(x,V)}{\partial t} + qG_n - qR_n$$

G_n, R_n rates di generazione, ricombinazione nella giunzione

Assunzione:

$$G_n \equiv 0, R_n = \frac{n_p(x,V) - n_{p0}}{\tau_n}$$

$$\rightarrow \text{Eq. stazionaria: } \frac{\partial n(x,V)}{\partial t} = 0$$

$$\rightarrow \frac{\partial j_n(x,V)}{\partial x} = -qR_n = -q\frac{n_p(x,V) - n_{p0}}{\tau_n} = -q\frac{\Delta n_p(x,V)}{\tau_n}$$

Ricordando:

$$j_n(x,V) = qD_n \frac{d(\Delta n_p)}{dx}$$

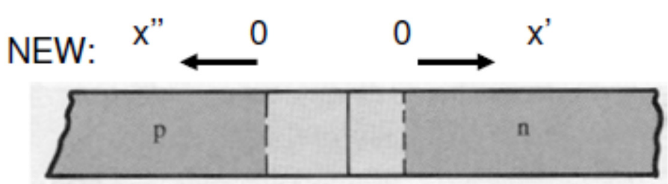
Derivando rispetto a *x*:

$$\rightarrow D_n \frac{\partial^2(\Delta n_p)}{\partial x^2} = \frac{1}{q}\frac{\partial j_n(x,V)}{\partial x} = -\frac{\Delta n_p(x,V)}{\tau_n}$$

$$\rightarrow \frac{\partial^2(\Delta n_p)}{\partial x^2} = -\frac{\Delta n_p(x,V)}{D_n \tau_n}$$

$D_n = \frac{1}{2}v_t^2\tau_n \rightarrow D_n\tau_n = \frac{1}{2}v_t^2\tau_n^2 = \frac{1}{2}l_n^2 \equiv L_n^2,\ L_n$ lunghezza di diffusione

Nuove coordinate per semplificare le espressioni:



Sol. generale:

$$\Delta p_n(x) = A_1 e^{\frac{x_1'}{L_p}} + A_2 e^{-\frac{x_1'}{L_p}}$$

Cond. al contorno:

$\Delta p_n(x'=0) = p_{n0}\left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1\right)$ concentraz. di iniezione

$\Delta p_n(x' \to \infty) = 0$ zona neutra

$$\to \Delta p_n(x') = p_{n0}\left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1\right) e^{-\frac{x'}{L_p}}$$

Simile per n_p:

$$\to \Delta n_p(x'') = p_{n0}\left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1\right) e^{-\frac{x''}{L_n}}$$

Corrente totale:

$$j_p = -qD_p \frac{d}{dx'} p_{n0}\left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1\right) e^{-\frac{x'}{L_p}} = \frac{qD_p p_{n0}}{L_p}\left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1\right) e^{-\frac{x'}{L_p}}$$

$$j_n = \frac{qD_n n_{p0}}{L_n}\left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1\right) e^{-\frac{x''}{L_n}}$$

$\to$ Corr. totale ai confini della giunzione $x' = 0, x'' = 0$:

$$J = q\left(\frac{D_p p_{n0}}{L_p} + \frac{D_n n_{p0}}{L_n}\right) = qn_i^2\left(\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A}\right)\left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1\right)$$

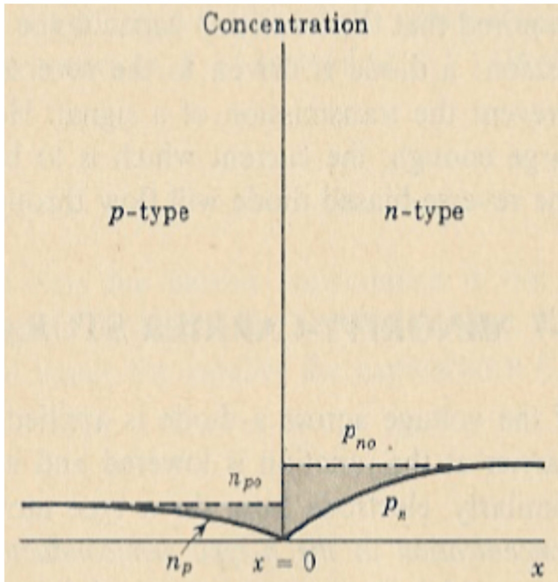
$$\to I = JA = qn_i^2 A\left(\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A}\right)\left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1\right)$$

NB: Si ricordi che, mentre J si attenua esponenzialmente allontanandosi dai confini dello strato di svuotamento, la corrente di maggioritari invece aumenta: la somma dei due contributi e' indipendente da x

Polarizzazione inversa:

Variazione delle concentrazioni di minoritari → Riduzione

Profilo delle concentrazioni:



Procedimento simile a quello usato in polarizzazione diretta:

Stessa equazione per la relazione I - V

→ In pol. inversa

$$I = I_0(e^{\frac{qV}{kT}} - 1) \underset{V<0}{\approx} I_0(e^{-\frac{q|V|}{kT}} - 1) \approx -I_0$$