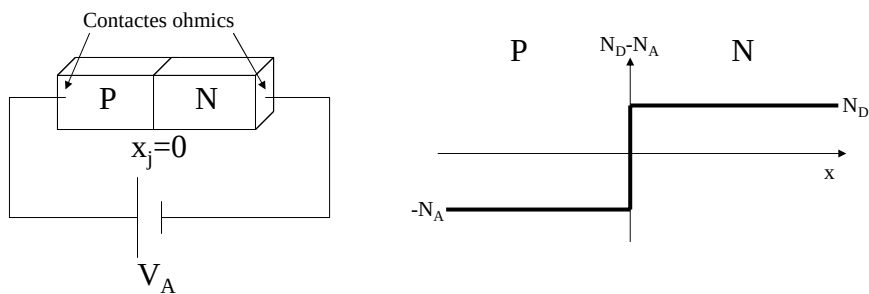


Tema 3: El Diode I : Unió PN en estàtica

- 1. Anàlisi qualitatiu en equilibri
- 2. Potencial intern (V_{bi})
- 3. Aproximació de buidament
- 4. Polarització directa i polarització inversa
- 5. Unions graduades linealment

1. Anàlisi qualitatiu en equilibri

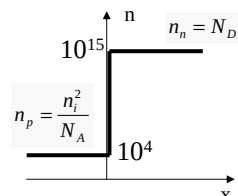
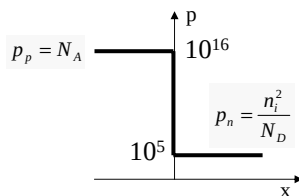


- Suposicions
 - Dispositiu unidimensional
 - Unió metalúrgica a $x=0$
 - Unió esglao des de N_A fin a N_D . (regions dopades uniformement)
 - Contactes ohmics perfectes (ideals)

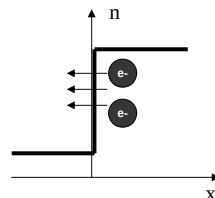
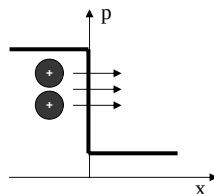
1. Anàlisi qualitatiu en equilibri

- En equilibri

- $V_A=0$, sense il.luminació, T uniforme, $E=0$ i $B=0$
- Neutralitat de càrrega



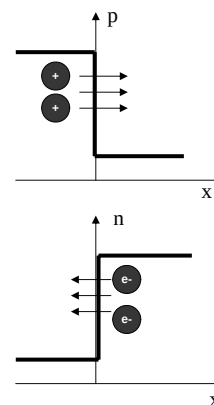
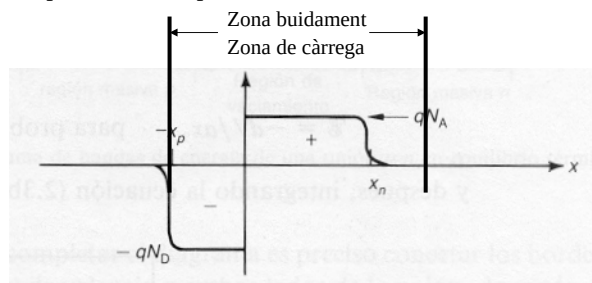
- Diferències importants de concentracions de forats i electrons a ambdós costats. Difusió per homogeneïtzar



1. Anàlisi qualitatiu en equilibri

- Difusió, fins quan ?

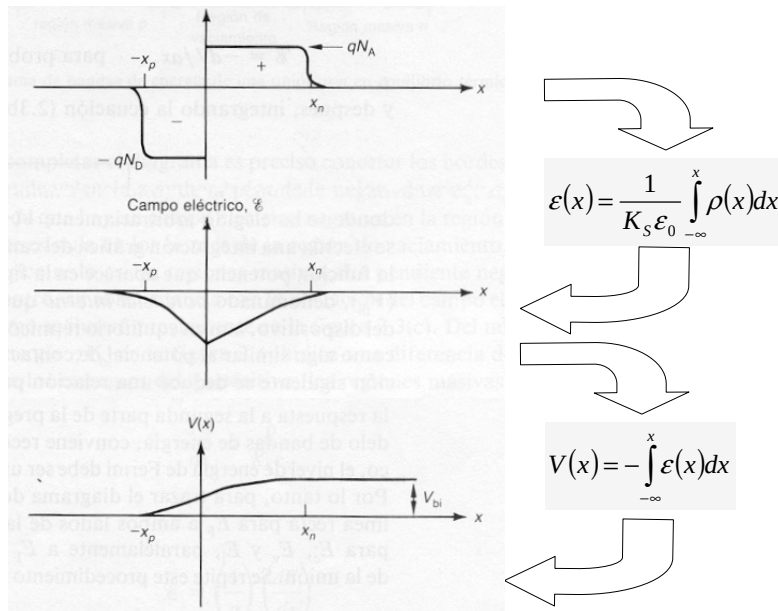
- Sembla que fins homogeneïtzar concentracions (NO!!!)
- Quan els forats van a N i els electrons cap a P
 - S'estableix una densitat de càrrega
 - Apareix una zona de buidament
 - Apareix un camp elèctric



E

Aquest camp s'oposa a la difusió
No s'arribarà a homogeneïtzar concentracions

1. Anàlisi qualitatiu en equilibri



1. Anàlisi qualitatiu en equilibri

• En equilibri

Diferència de concentració de portadors

Difusió de portadors

Creació de zona de buidament
i densitat de càrrega

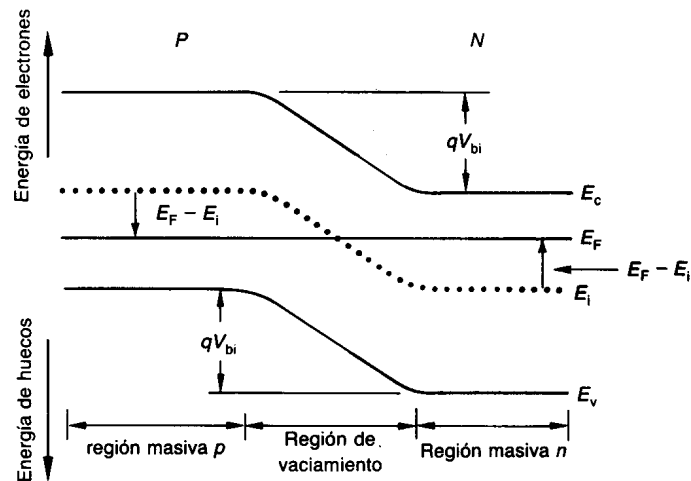
Existència de camp elèctric
(apareix un potencial intern a la
unió V_{bi} inclús en estat d'equilibri)

Oposició a la difusió

En equilibri:
Fluxe net de
portadors nul

1. Anàlisi qualitatiu en equilibri

- Teoria de bandes



2. El potencial intern V_{bi} .

- Dos punts de vista
 - A) Difusió de portadors , densitat de càrrega, E , V_{bi}
 - B) $E_C - E_F$ és diferent a les zones p i n, $\Delta E = qV_{bi}$
- Amb qualsevol dels dos punts de vista :

$$V_{bi} = \frac{KT}{q} \ln \left[\frac{N_D N_A}{n_i^2} \right]$$

3. Aproximació de buidament.

- Càlculs electrostàtics (camp-potencials)
 - Equacions de Poisson

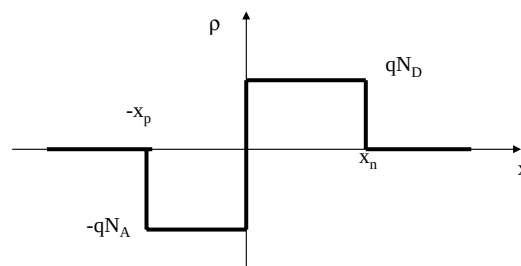
$$\frac{d\mathcal{E}}{dx} = \frac{q}{K_s \epsilon_0} (p(x) - n(x) + N_D(x) - N_A(x))$$

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -\frac{q}{K_s \epsilon_0} (p(x) - n(x) + N_D(x) - N_A(x))$$

- Solució exacte : complicat.
- Solució numèrica: càlcul numèric
- Analíticament : Models aproximats
 - P. Exemple: Aproximació de buidament

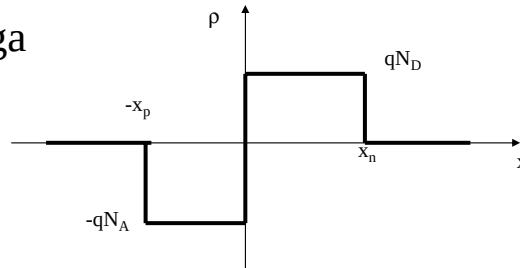
3. Aproximació de buidament

- Hipòtesis
 - 1. Portadors mòbils (n i p) pocs comparats amb impureses (N_A i N_D) a la zona de buidament
 - $N_A \gg n_p$ o p_p $\rho = -qN_A$ $-x_p \leq x \leq 0$
 - $N_D \gg n_n$ o p_n $\rho = qN_D$ $0 \leq x \leq x_n$
 - 2. Neutralitat de càrrega a altres zones
 - $\rho = 0$ fora de la zona de buidament ($x > x_n$ i $x < -x_p$)



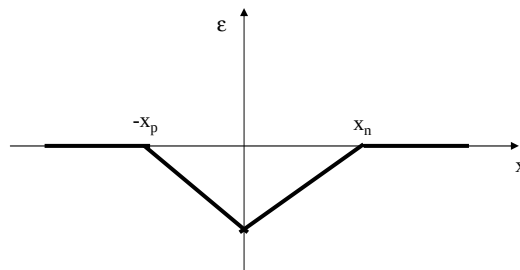
3. Aproximació de Buidament

- Densitat de càrrega



- Camp Elèctric

$$\begin{aligned} \frac{d\mathcal{E}}{dx} &= \frac{qN_D}{K_S \epsilon_0} & 0 \leq x \leq x_n \\ \frac{d\mathcal{E}}{dx} &= \frac{-qN_A}{K_S \epsilon_0} & -x_p \leq x \leq 0 \\ \mathcal{E} &= 0 & x < -x_p \quad \text{i} \quad x > x_n \end{aligned}$$



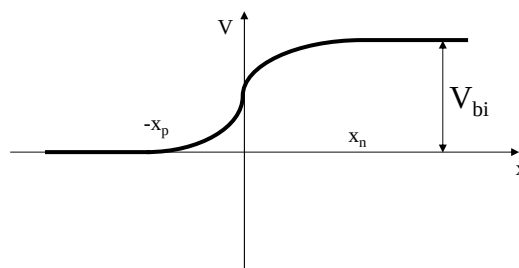
3. Aproximació de Buidament

- Continuïtat en el camp

$$N_D x_n = N_A x_p$$

- Càlcul del Potencial

$$\frac{dV}{dx} = -\mathcal{E}$$



3. Aproximació de Buidament

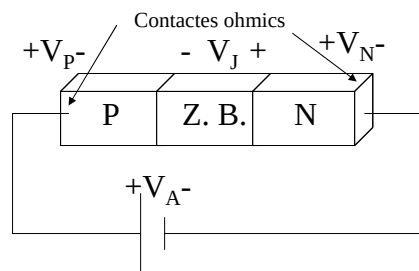
- Càlcul de l'amplada de la regió de buidament
 - Continuitat al potencial + continuïtat al camp

$$\left. \begin{aligned} N_D x_n &= N_A x_p \\ -\frac{qN_D}{2K_S \epsilon_0} x_n^2 + V_{bi} &= \frac{qN_A}{2K_S \epsilon_0} x_p^2 \end{aligned} \right\} \begin{cases} x_n = \sqrt{\frac{2K_S \epsilon_0 V_{bi}}{q} \frac{N_A}{N_D(N_A + N_D)}} \\ x_p = \sqrt{\frac{2K_S \epsilon_0 V_{bi}}{q} \frac{N_D}{N_A(N_A + N_D)}} \end{cases}$$

- Si $N_D \uparrow$ $x_n \downarrow$ per un valor de N_A fixe
- Si $N_A \uparrow$ $x_p \downarrow$ per un valor de N_D fixe

$$W = \sqrt{\frac{2K_S \epsilon_0 V_{bi}}{q}} \sqrt{\frac{1}{N_A + N_D} \left(\sqrt{\frac{N_A}{N_D}} + \sqrt{\frac{N_D}{N_A}} \right)} = \sqrt{\frac{2K_S \epsilon_0 V_{bi}}{q}} \sqrt{\frac{N_A + N_D}{N_A N_D}}$$

4. Polarització Directa i Inversa.



- En equilibri tèrmic $I=0$,

$$V_j = V_{bi} = V_{N^-} - V_A + V_P = V_N + V_P$$

- En polarització directa $V_A > 0$

$$V_j = V_N - V_A + V_P = V_{bi} - V_A$$

- Disminueix el potencial a la zona de buidament
- Generalitzar resultats obtinguts fins ara substituint V_{bi} per $V_{bi} - V_A$

Equació de malla

4. Polarització Directa i Inversa

- Polarització directa : Generalització $V_{bi}-V_A$

– Regió $(0, x_n)$

$$\varepsilon(x) = \frac{-qN_D}{K_S \varepsilon_0} (x_n - x)$$

$$V(x) = (V_{bi} - V_A) - \frac{qN_D}{2K_S \varepsilon_0} (x_n - x)^2$$

$$x_n = \sqrt{\frac{2K_S \varepsilon_0}{q} (V_{bi} - V_A) \frac{N_A}{N_D (N_A + N_D)}}$$

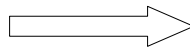
– Regió $(-x_p, 0)$

$$\varepsilon(x) = \frac{-qN_A}{K_S \varepsilon_0} (x_p + x)$$

$$V(x) = \frac{qN_A}{2K_S \varepsilon_0} (x_p + x)^2$$

$$x_p = \sqrt{\frac{2K_S \varepsilon_0}{q} (V_{bi} - V_A) \frac{N_D}{N_A (N_A + N_D)}}$$

Disminueix W

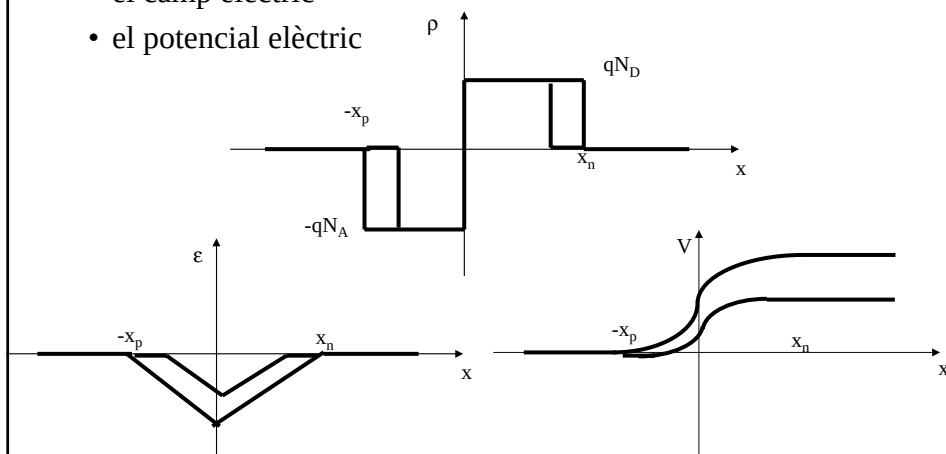


$$W = \sqrt{\frac{2K_S \varepsilon_0}{q} (V_{bi} - V_A) \frac{N_A + N_D}{N_A N_D}}$$

4. Polarització Directa i Inversa

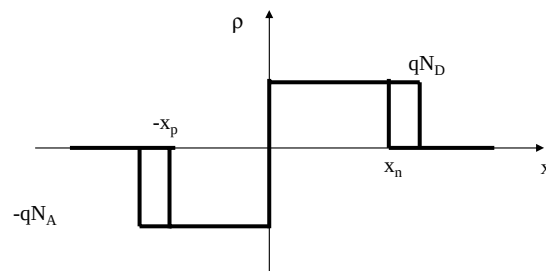
– Polarització directa : Disminueixen

- amplada zona buidament o zona de càrrega d'espai
- el camp elèctric
- el potencial elèctric



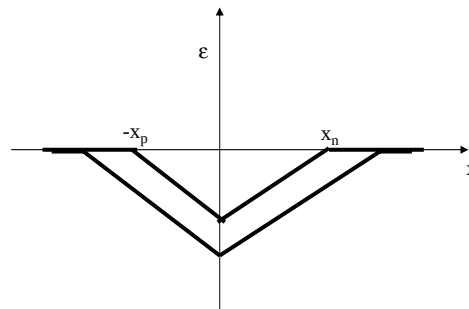
4. Polarització Directa i Inversa

- Polarització inversa $V_A < 0$
 - Generalització canviant ara $-V_A$ per $+|V_A|$
 - Resultat
 - Augment de la zona de buidament o càrrega d'espai
 - Augment del camp elèctric
 - Augment del potencial

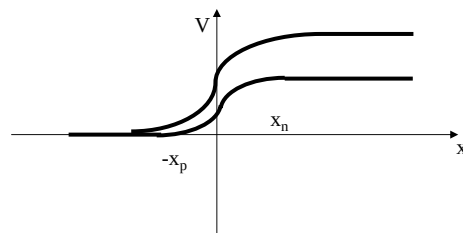


4. Polarització Directa i Inversa

- Camp elèctric



- Potencial



5. Unions Graduades Linealment

- Punt tractat a full de problemes
- Perfil lineal de dopatge
- Càlcul de camp, potencial, amplada zona de buidament, ...

