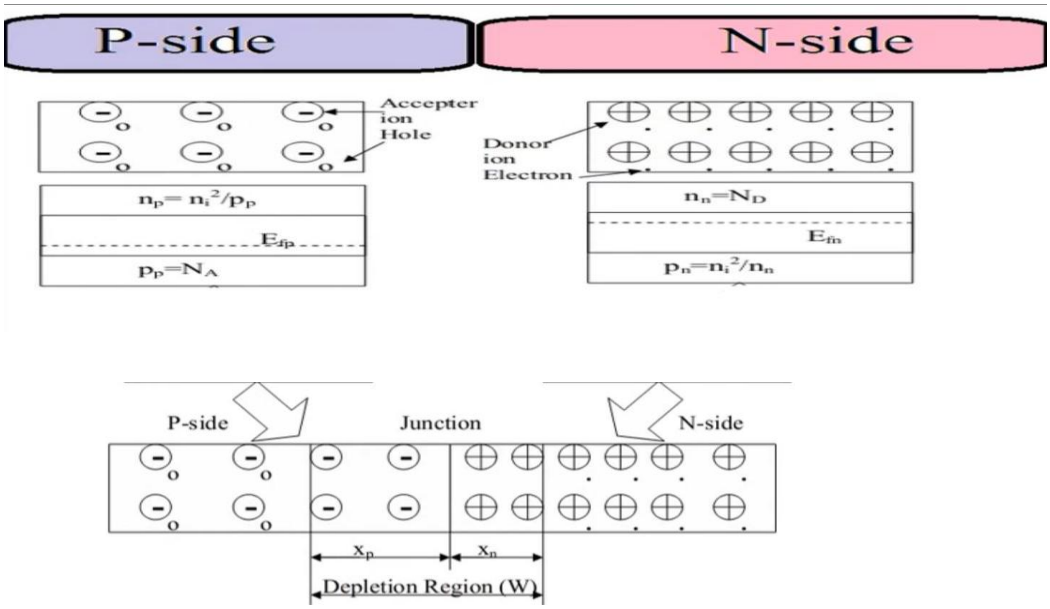
LECTURE NO.3

P-N Junction

المقدمة

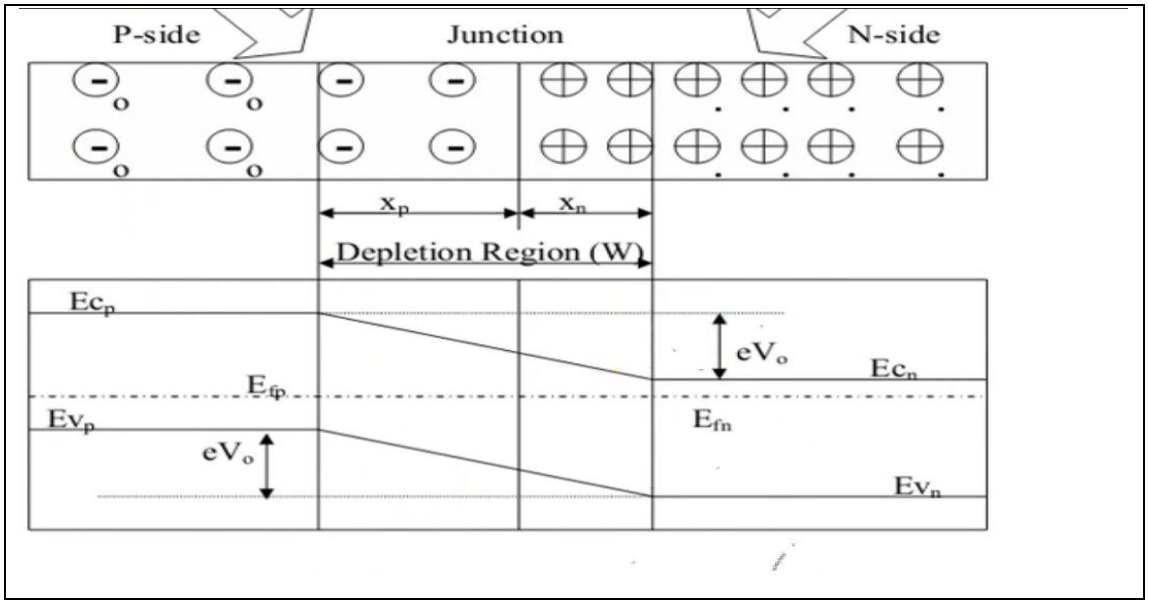
وكما نعلم ان شبه الموصل من النوع السالب يجتوي على ايونات مانحة(N_D وهي ايونات موجبه) تحتوي على تركيز عالي من الكترونات والشبه الموصل من النوع الموجب يجتوي على ايونات القابله (N_A وهي ايونات سالبه) تحتوي على تركيز عالي من الفجوات فاذا فرضنا انهما وصلا بطريقة فنية مناسبة فعند دمج النوع السالب (n type) مع النوع الموجب (p type) يكون لنا PN Junction فقسم من الكترونات الموجوده ف ي (n side) تتحد مع الفجوات الموجوده (p side) فيكون لنا منطقه لاتحتوي على الكترونات ولا على فجوات تسمى منطقة الاستنزاف depletion region تفصل بين (n side) و(p side)



الشكل يوضح pn junction

Equilibrium Condition حالة التوازن

في الوصلة الثنائية pn junction حالة عدم وجود اثارة خارجية مثل مجال كهربائي او مغناطيسي او ضوء فيكون صافي التيار يساوي صفر وقسم من الفجوات الموجوده في الجانب الموجب (p-side) سوف تنتشر نحوالجانب السالب (n-side) عند مسافة قيمتها x_n هو انتشار شحنة الفجوات في مادة الجانب السالب وكذلك الحال بالنسبة لقسم من الالكترونات في الجانب السالب (n-side) سوف تنتشر الى الجانب الموجب (p-side)عند مسافة قيمتها x_p هو انتشار شحنة الالكترونات في مادة الجانب الموجب



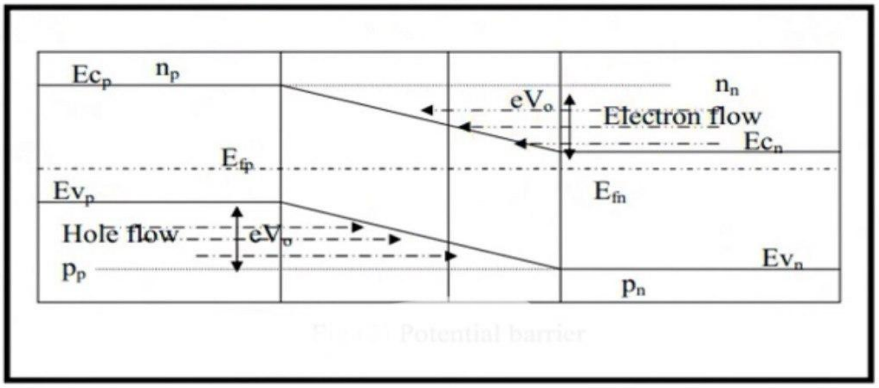
الشكل يوضح مخطط حزم الطاقه (pn junction)في حالة التوازن

ويمكن حساب عرض منطقة الاستنزاف (W) من خلال القانون الاتي

$$W = x_n + x_p$$

نتيجة انتشار الالكترونات والفجوات سوف يتولد مجال كهربائي حول PN Junction وهذا المجال الكهربائي سيكون له قوه كافيه لمنع انتشار الالكترونات والفجوات المتبقية هذا المجال الكهربائي يسمى بحاجز الجهد(V_o (Potential Barrier

بحاجز الجهد وهو طاقة الكتروستاتيكية تمنع انتشار الفجوات من (p-side) الى (n-side) والالكترونات من (n-side) الى (p-side) كما موضح في الشكل التالي



$eV_o = (E_{cp} - E_{fp}) - (E_{cn} - E_{fn})$

$eV_o = KT \ln(\frac{N_C}{n_p}) - KT \ln(\frac{N_C}{n_n})$

$eV_o = KT[\ln N_C - \ln n_p - \ln N_C + \ln n_n]$

$eV_o = KT \ln(\frac{n_n}{n_p})$

$n_n = N_D$, $P_P = N_A$,

$n_p = \frac{n_i^2}{N_A}$

$$V_o = \frac{KT}{e} \ln(\frac{N_D * N_A}{n_i^2}) \rightarrow V_o = \frac{T}{11600} \ln(\frac{N_D * N_A}{n_i^2})$$

$\frac{T}{11600}$ يرمز له ب V_T (القطع في الجهد او الجهد الحراري)

$$\sigma \cong eN_D \mu_n \qquad \sigma \cong eN_A \mu_p$$

$\mu_n \& \mu_p$: it is mobility

$$\mu_n = D_n * \frac{11600}{T} \qquad \mu_p = D_P * \frac{11600}{T}$$

$D_n \& D_P$: $diffusion\ constant$ تعطى في السؤال

وكما ذكرنا سابقا فعند انتشارالفجوات من الجانب الموجب (p-side) الى الجانب السالب (n-side) سيتولد منطقة غير متوازنة تحوي فقط على ايونات سالبة المستقبلة (accepter ions) فاذا طلب بالسؤال حساب الشحنة السالبة الموجوده في Junction

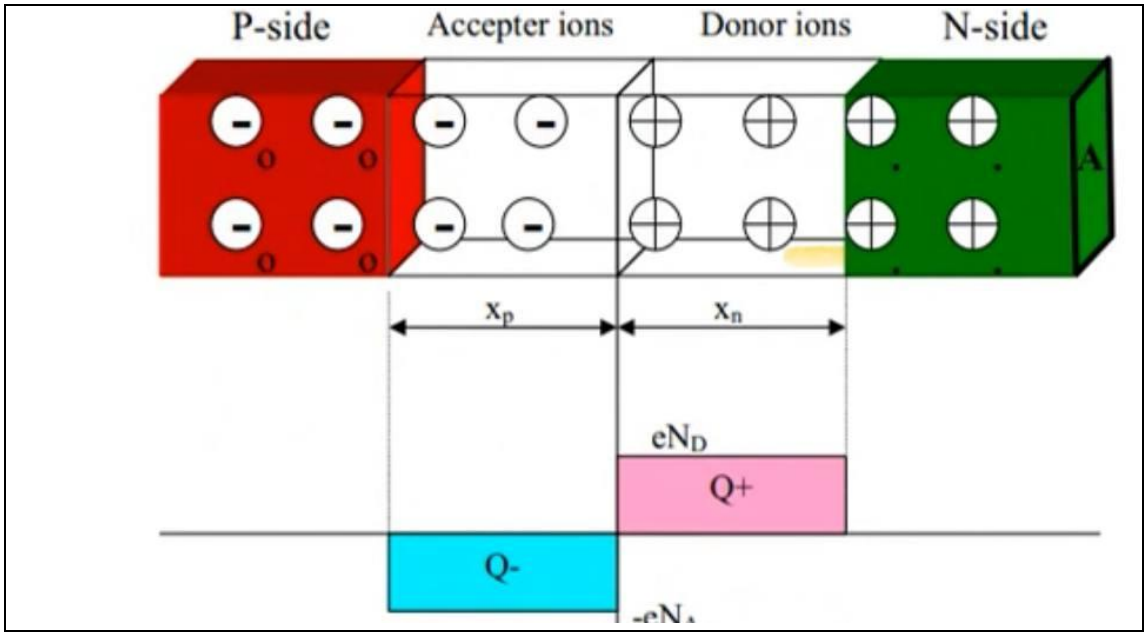
$$|Q-| = e\ A\ X_P\ N_A$$

A: Junction هو مساحة المقطع العرضي

نفس الكلام ينطبق على الالكترونات عندما تنتشر من الجانب السالب (n -side) الى الجانب الموجب (p -side) سيتولد منطقة غير متوازنة تحوي فقط على ايونات الموجبة المانحة(donor ions) فاذا طلب بالسؤال حساب الشحنة الموجبة الموجوده في Junction

$$|Q+| = e\ A\ x_n\ N_D$$

الرسم التالي يوضح كثافة الشحنة في Junction



وبما انه كمية الفجوات المنتشره من الجانب الموجب (p-side) الى الجانب السالب (n-side) مساوي لكمية الالكترونات المنتشره من الجانب السالب (n -side) الى الجانب الموجب (p –side) يؤدي ذلك

$$|Q+| = e\,A\,x_n\,N_D \quad = \quad |Q-| = e\,A\,xp\,N_A$$

$$e\,A\,x_n\,N_D = e\,A\,xp\,N_A \rightarrow \frac{x_n}{x_p} = \frac{N_A}{N_D}$$

If $N_D = N_A$ then $x_n = xp$

$W = x_n + x_p$

$$x_n = W * \frac{N_A}{N_D + N_A} \qquad x_p = W * \frac{N_D}{N_D + N_A}$$

$$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_o \varepsilon_r Vo}{e}\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)}$$

ε_o: $Permittivity\ free\ space$ سماحيةالفراغ

$\varepsilon_o = 8.85 * 10^{-12}$ F/m

$\varepsilon_o = 8.85 * 10^{-14}$ F/cm

$\varepsilon_r = 12 \rightarrow Si$ ε_r → السماحيةالنسبيه

$\varepsilon_r = 16 \rightarrow Ge$

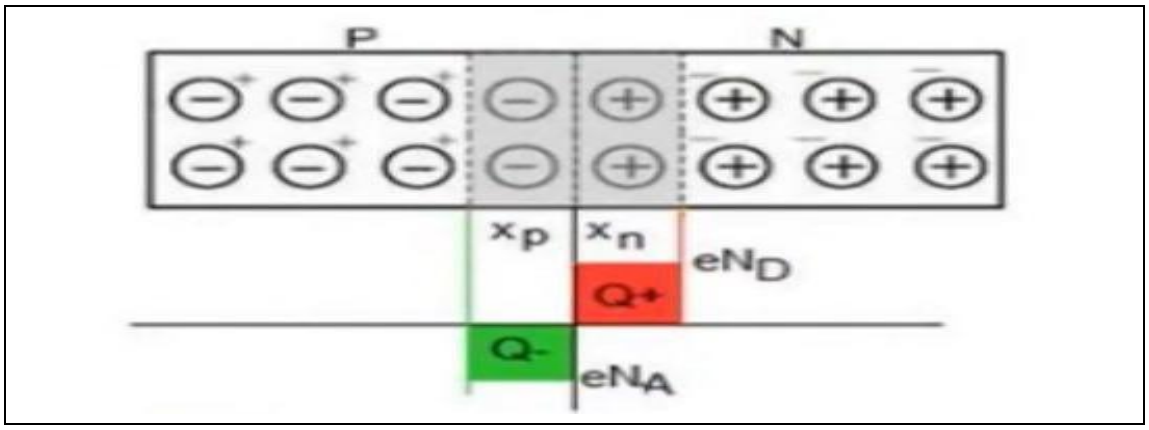
ملاحظة حسب العلاقة الرياضيه الاتية

نلاحظ ان x_n يتناسب تناسب طردي مع N_A وان x_p يتناسب تناسب طردي مع N_D ومنها سوف تظهر لنا ثلاثة حالات

1. $N_D = N_A$

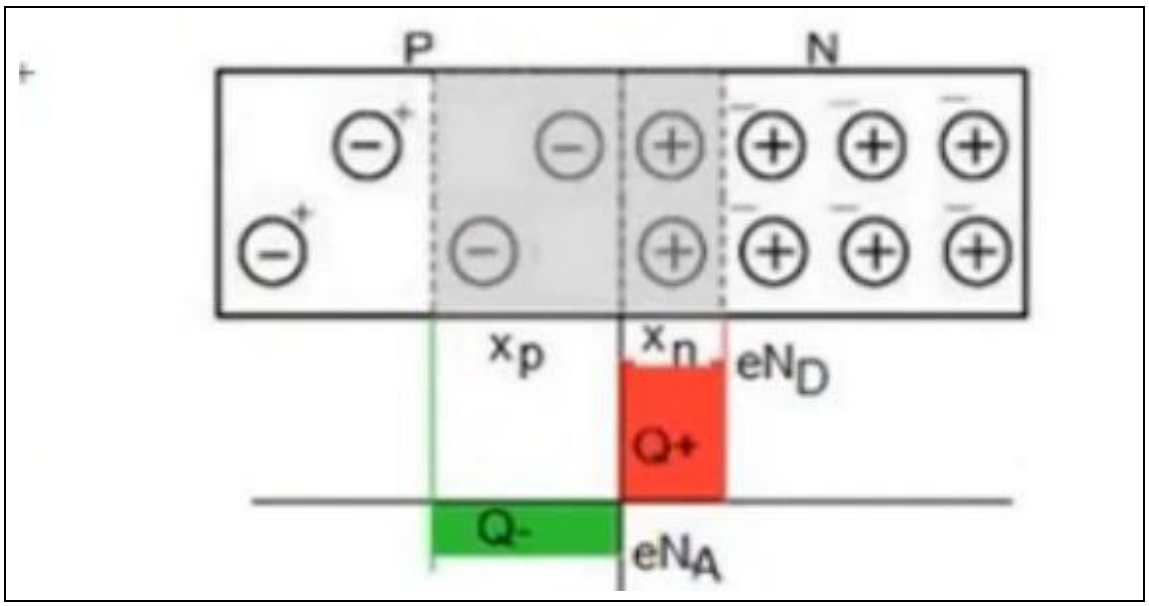
هذا يعني $x_p = x_n$ كما في الشكل ادناه حيث نلاحظ ان كمية الشوائب في p side

مساوي لكمية الشوائب في n side



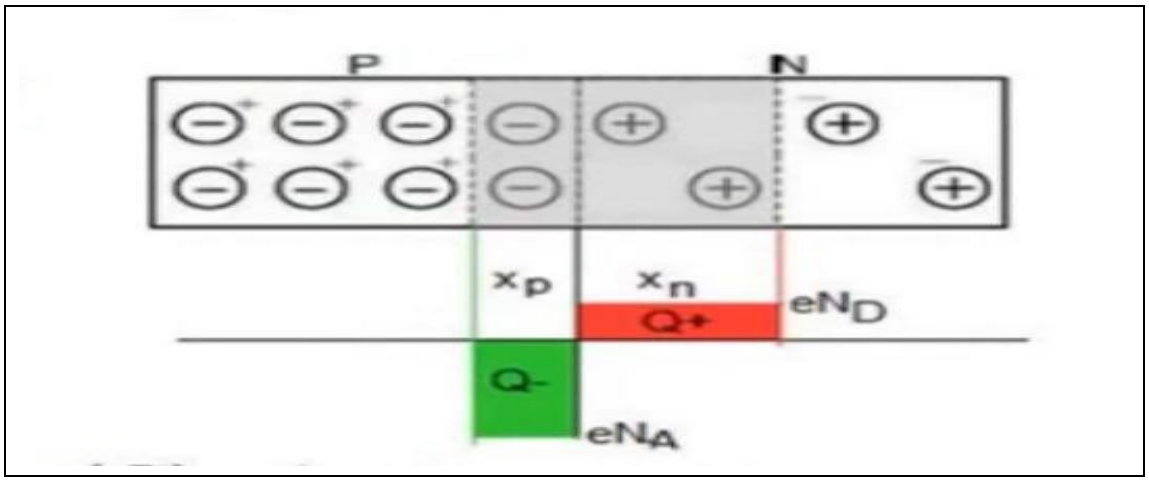
2. $N_D \gg N_A$

هذا يعني $x_p > x_n$ وتسمى هذه الحاله ب $P-N^+$ كما في الشكل



3. $N_A \gg N_D$

هذا يعني $x_n > x_p$ تـ *سمى هذه الحالة ب* P^+ -N *كما في الشكل ادناه*



ومن خلال الاشكال اعلاه نلاحظ انه يزداد عرض منطقة الاستنزاف في الجانب الذي يكون فيه كمية التشويب اقل

مثال : الوصلة الثنائية (P-N Junction) لجرمانيوم عند درجة حرارة الغرفة اذا علمت ان

$$N_D = N_A = 10^{16} 1/\text{cm}^3 \quad \varepsilon_r = 16, D_n = 99\frac{cm^2}{sec}, D_p = 47\frac{cm^2}{sec}$$

اوجد مايلي

1. *حاجز الجهد*
2. *تركيز حاملات الشحن الاغلبية والاقلية في كل جانب*
3. *المقاومة النوعية لكل جانب*
4. *المسافة بين مستوى فيرمي وحزمة التكافؤ في* N-type
5. *عمق منطقة الاستنزاف في* N-type

H.W : حل المثال $P-type$ا

الحل:

$E_{g=0.785-2.32*10^{-4}(T)\rightarrow}\ 0.785 - 2.32 * 10^{-4}(300)$

$= 0.715$ eV

$N_v = N_c = 4.82 * 10^{21}(T)$

$= 4.82 * 10^{21}(300) = 2.5*10^{25} 1/\text{m}^3 \rightarrow 2.5*10^{19}\ 1/\text{cm}^3$

ni= $2.5*10^{25} \exp\left(\frac{-0.715}{2*8.62*10^{-5}*300}\right) = 2.477 * 10^{19}\ 1/\text{m}^3$

$=2.477*10^{13} 1/\text{cm}^3$

1. $V_o = \frac{T}{11600} \ln\left(\frac{N_A * N_D}{n_i^2}\right)$

$V_o = \frac{300}{11600} \ln\left(\frac{10^{16}*10^{16}}{(2.477*10^{13})^2}\right) = 0.31$ ev

2. $n_n = N_D = 10^{16} 1/\text{cm3}$

$p_n = \frac{n_i^2}{n_n} = \frac{(2.477*10^{13})^2}{10^{16}} = 6.13*10^{10}\ 1/\text{cm}^3$

3. $\mu_n = D_n * \frac{11600}{T} \rightarrow 99 * \frac{11600}{300} = 3828\ \frac{cm^2}{V.sec}$

$\rho_{N-type} = \frac{1}{eN_D\mu_n} = \frac{1}{1.6*10^{-19}*10^{16}*3828} =$

4. $(E_{fn} - \text{Ev}) = KT ln\left(\frac{N_v}{P_n}\right)$

$= 8.62 * 10^{-5} * 300 \ln\left(\frac{2.5*10^{19}}{6.13*10^{10}}\right) = 0.513$ev

5. $W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_o \varepsilon_r \text{Vo}}{e}\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)}$

$$=\sqrt{\frac{2*8.85*10^{-14}*16*0.31}{1.6*10^{-19}}\left(\frac{1}{10^{16}}+\frac{1}{10^{16}}\right)}=3.312*10^{-5}\,\text{cm}$$

$N_A = N_D \rightarrow x_p = xn$

$W_{N\text{-type}} = w/2 \rightarrow 3.312*10^{-5}/2 = 1{,}656*10^{-5}\,\text{cm}$