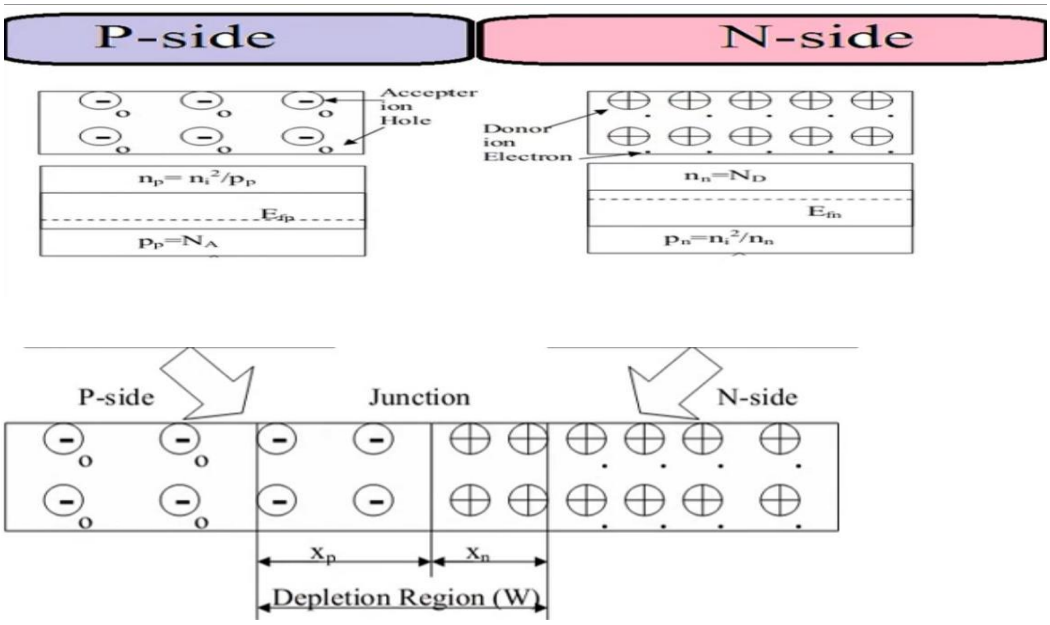
LECTURE NO.3

P-N Junction

المقدمة

ثنائي الوصلة الموجب والسالب هو عبارة عن وصل النوعين الموجب والسالب بطريقة فنية خاصة ومناسبة . وكما نعلم ان شبه الموصل من النوع السالب يجتوي على ايونات مانحة (N_D) ويحتوي على تركيز عالي من الكترونات الحرة والشبه الموصل من النوع الموجب يجتوي على ايونات متقبلة (N_A) ويحتوي على تركيز عالي من الفجوات فاذا فرضنا انهما وصلا بطريقة فنية مناسبة لتكوين ثنائي الوصلة الموحبة والسالبة يتم تشكيله على بلورة احادية ومتصلة من مادة شبه موصله نقيه ويطعم احد اجزاء البلورة بشوائب مانحة والجزء الاخر بشوائب مستقبلة هذا الثنائي البلوري يتكون من بلورة من نوع سالب وثانية من نوع موجب يفصل بينهما حاجز يسمى الجهد الحاجز (Barrier potential) هذا الحاجز يعمل على مرور الالكترونات والفجوات من جهة الى اخرى مما يودي الى تجمع هذه الناقلات عند حدود وصلة البلورتين مشكلة مايسمى بمنطقة الاستنزاف وهذه المنطقة خالية من اي حاملات شحنة.



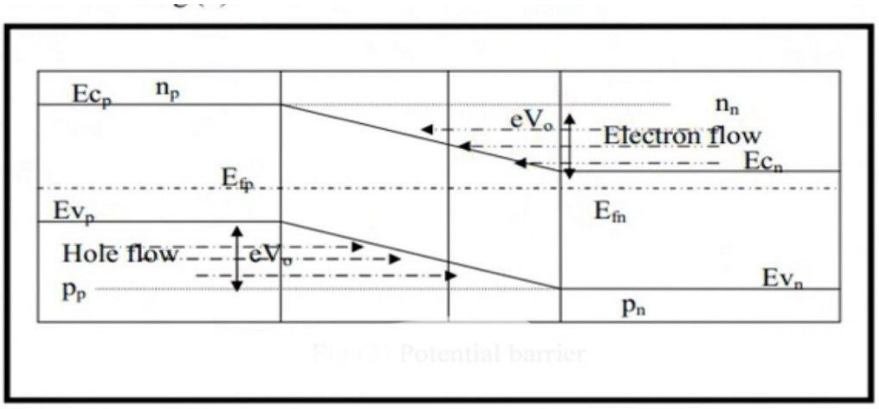
Equilibrium Condition حالة التوازن

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 الى الجانب 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 انتشار شحنة الالكترونات في مادة الجانب الموجب ولهذا فان المنطقة من PN Junction لاتحوي على الكترون ولا فجوات تسمى منطقة الاستنزاف ويمكن حساب عرضها 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) 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)

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

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

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

$D_n \& D_P : diffusion\ constant$ 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 PN Junction

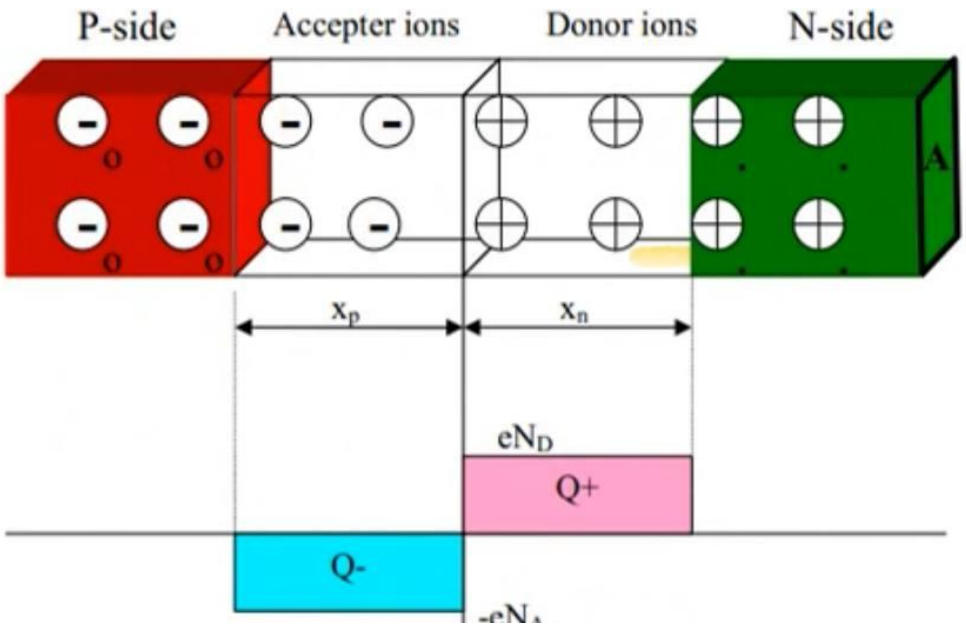
$|Q -| = e\ A\ \text{xp}\ N_A$

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 $x_n = xp$

$W = x_n + x_p$

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

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

ε_o: $Permittivity\ free\ space$ سماحيةالهواء

$\varepsilon_o = 8.85 * 10^{-12}$ $\varepsilon_o = 8.85 * 10^{-14}$

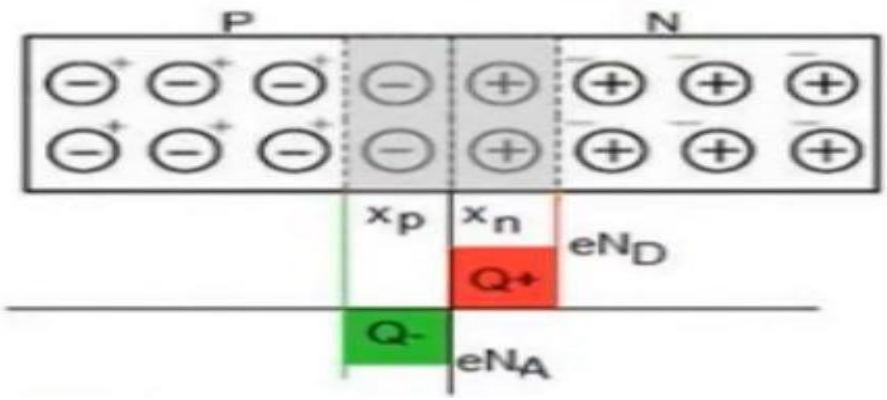
$\varepsilon_r = 12 \rightarrow Si$ $\varepsilon_r \rightarrow$ السماحيةالنسبيه

$\varepsilon_r = 16 \rightarrow Ge$

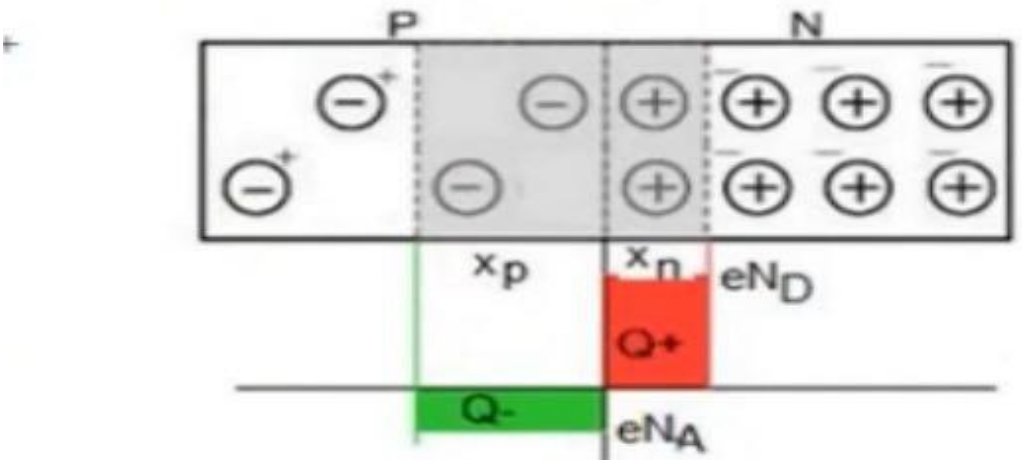
ملاحظة حسب العلاقة الرياضيه الاتية

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

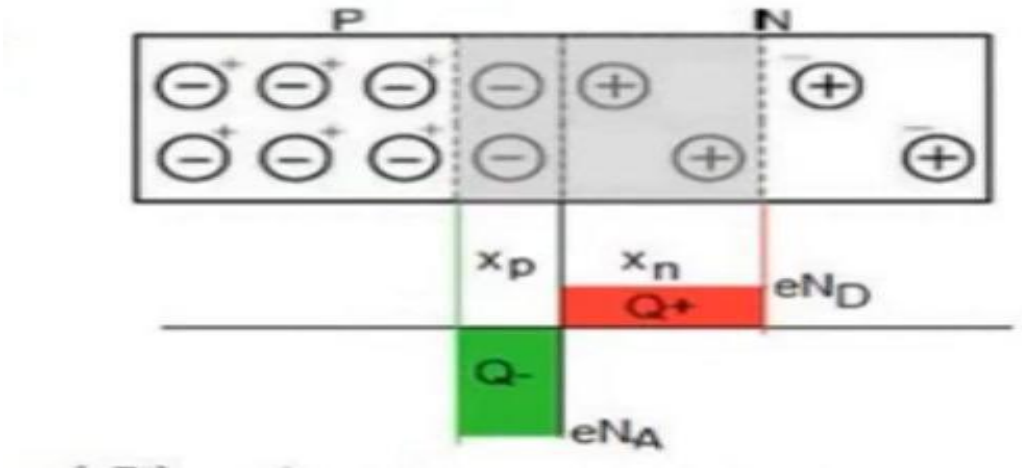
1. اذا كانت $x_p = x_n \leftarrow N_D = N_A$ *كما في الشكل الاتي حيث نلاحظ كما الشوائب في* n side *مساوي لكمية الشوائب في* p side *كما في الشكل*



2. اذا كانت $x_p > x_n \leftarrow N_D \gg N_A$ *تسمى هذه الحاله ب* $P - N^+$ *كما في الشكل*



3. اذا كانت $N_A \gg N_D \leftarrow x_p > x_n$ وتسمى هذه الحالة ب P^+-N كما في الشكل



ومن خلال الاشكال اعلاه نلاحظ ان 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

الحل:

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

$=\ 0.715\ \text{eV}$

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

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

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

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

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

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

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

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

4.$(E_{fn}-\ \mathrm{Ev}) = KTln\ \left(\frac{N_v}{P_n}\right)$

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

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

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

$N_A = N_D \rightarrow x_p=xn$

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