

41
26 n-type Semiconductor نصف موصل نوع n

الموصل نوع - ٧٧

1- Carrier concentration in n-type تركيز الحاملات

From

Mass-action law:

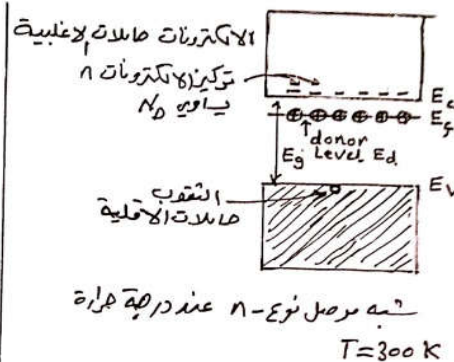
$$p_n = \eta_i^2 \dots (1)$$

and charge.

neutrality

principle:

$$(+)\text{charge} = (-)\text{charge}$$



number of electrons (-) = No. of holes (+) + No. of ionized donors (+)

$$n = p + N_D^+ = p + N_D \quad \text{--- (2)}$$

المعادلة (2) تعتبرنا ان جميع الذرات الشحنة الماصة متأينة .

جمل المعادلتين ① و ② ارباً يمكن الحصول على m و p :

$$n = n_n = \frac{1}{2} N_0 + \frac{1}{2} N_0 \sqrt{1 + 4 (n_i / N_0)^2}$$

$$n_n \approx N_D + \frac{n_i^2}{N_D} \approx N_D \quad \text{for } n_i \ll N_D \quad \text{--- (3)}$$

$$P = P_n = \frac{1}{2} N_D \sqrt{1 + 4(n_i/N_D)^2} - N_D/2$$

$$\rho_n = \frac{n_i^2}{n} \approx \frac{n_i^2}{N_D} \quad \text{--- (4)}$$

The subscript n refers to n -type semiconductor.

$$\therefore n_n \approx N_D, \quad p_n \approx n_i^2 / N_D$$

2- The Fermi-Level in n-type: مستوي فرمی

$$n = N_c \exp \left[- \frac{E_c - E_f}{kT} \right]$$

عبارة هذا التعبير بـ (N_D) (مع معادلة 3 اعلاه) فضل على:

$$N_c \exp \left[- \frac{E_c - E_f}{kT} \right] = N_D$$

وبإعادة الترتيب للحصول على E_f

$$E_f = E_c - kT \ln \frac{N_c}{N_D} \quad (5)$$

بفرض

3- Conductivity in n-type Semiconductor التوصيلية

According to equation (3) and (4) for n-type semiconductor,

$$n = N_D, \quad p = n_i^2 / N_D \quad \text{subject to the condition } n_i \ll N_D$$

therefore $p = \frac{n_i^2}{N_D} = \left(\frac{n_i}{N_D}\right) n_i$ and since $\frac{n_i}{N_D} \ll 1$ hence

$p \ll n_i$ but $n \approx N_D \gg n_i$, Therefore for n-type

$p \ll n$, the holes are called minority carriers

في أشباه الموصلات من النوع n تكون تركيز الثقوب p أصغر بكثير من تركيز الإلكترونات n

فإن الثقوب تسمى بأمثلة الأقلية والإلكترونات بأمثلة الأغلبية.

and n, the electrons are called majority carriers.

$$\sigma = en\mu_n + ep\mu_p \approx en\mu_n \quad \text{for n-type.}$$

Example:

مثال:

A silicon wafer is doped with 10^{15} phosphorous atoms/cm³.

Find the carrier concentration,

Fermi level and conductivity

at room temperature (300K).

given that $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

and $N_c = 2.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$?

شريحة سليكون مغطاة بالفوسفور

بتركيز 10^{15} ذرة لكل سم³.

أوجد تركيز الحاملات ومستوى فيرمي

والتوصيلية عند درجة حرارة

الغرفة ($T = 300\text{K}$) - علماً أن

$$N_c = 2.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3} \text{ و } n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

Solution

$$\text{At } 300\text{K}, N_D^+ = N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3} \gg n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$\therefore n_n = N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$p_n = n_i^2 / N_D = (1.5 \times 10^{10})^2 / 10^{15} = 2.25 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$$

نجد نسبة الحاملات (n و p) بعد القطع إلى قيمتها قبل القطع:

$$\frac{n}{n_i} = \frac{10^{15}}{1.5 \times 10^{10}} = 6.67 \times 10^4, \quad \frac{p}{p_i} = \frac{2.25 \times 10^5}{1.5 \times 10^{10}} = 1.5 \times 10^{-5}$$

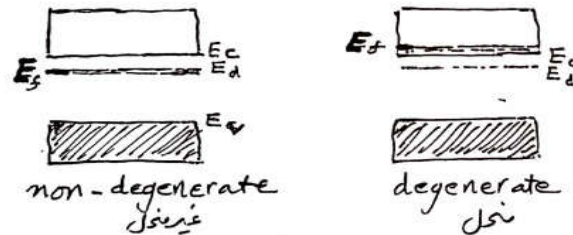
أما تركيز n زاد بالتركيز في أشعة ألفا مرة في تركيز p قل
بنفس النسبة تقريباً .

The Fermi level is :

$$E_f = E_c - kT \ln \frac{N_c}{N_D} = E_c - 0.0258 \ln \frac{2.8 \times 10^{19}}{10^{15}}$$

$$\text{or } E_c - E_f = 0.265 \text{ eV.}$$

أما E_f أو طاً E_c مقدار 0.265 eV .
ملاحظة : ان الفرق $(E_c - E_f)$ يجب ان يكون اكبر من $3kT$ لكي تكون
القوانين التي نستخدمها صحيحة . ذلك لاننا في خطوة من خطوات الاشتقاق
نقرب دالة فيرمي - ديراك بدالة ماكسويل - بولتزمان . عند عدم
تحقق هذا الشرط يجب استخدام العلاقة الاحصائية لدالة فيرمي - ديراك
وتستل شبه الموصل في هذه الحالة باننا نخله degenerate وتصل هذه
الحالة عندما تكون تركيز الشوائب N_D كبيرة جداً بحيث ان E_f تقترب
من E_c وربما تقع E_f داخل حزمة التوصيل أو يصبح E_f أعلى من E_c .
 $(E_c - E_f) > 3kT$ nondegenerate semiconductor غير متدهنة
 $(E_c - E_f) < 3kT$ degenerate semiconductor متدهنة



The conductivity σ is given by :

$$\sigma = en\mu_n = eN_D\mu_n = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^{15} \times 1350 = 0.216 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$$

التوصيلية قبل التطعيم (أي σ_i)

$$\sigma_i = en_i(\mu_n + \mu_p) = 1.6 \times 10^{-19} (1.5 \times 10^{10}) (1350 + 480) \\ = 4.392 \times 10^{-6} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$$

$$\frac{\sigma \text{ after doping}}{\sigma_i \text{ before doping}} = \frac{0.216}{4.392 \times 10^{-6}} = 4.92 \times 10^4 = 49200$$

أي ان التوصيلية زادت بما يقارب (49) ألف مرة .

نشان قطعه من مادة سليكون نقيته طمعت بطايب من ذرات الفسفور
 بنية واحدة الى مليون من ذرات المادة المضافة .
 (٢) اتوزم عدد اموها درو لايجاد تركيز ذرات السليكون
 (٣) اصب تركيز الاكترونات والعجوات بعد التطعيم
 (٤) اصب توصيلية القطعة قبل وبعد التطعيم
 اعتبارا : $n_i(300K) = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $\mu_n = 1300 \frac{\text{cm}^2}{\text{V.s}}$, $\mu_p = 500 \frac{\text{cm}^2}{\text{V.s}}$
 كثافة السليكون $\frac{2.33}{\text{cm}^3}$, لعوزن الذرة السليكون $\frac{28.1}{\text{mole}}$, عدد اموها درو
 $N_{av} = 6 \times 10^{23} \frac{\text{atom}}{\text{mole}}$

الحل : a) concentration = $N_{av} \frac{\text{density}}{\text{molar weight}} = n_{av} \frac{d}{A}$

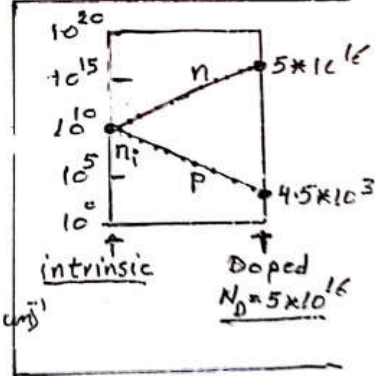
$N_{Si} = 6 \times 10^{23} \times \frac{2.33}{28.1} = 5 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3$

b) After doping : $n \approx N_D$, $p = n_i^2 / N_D$
 $N_D = (\frac{1}{10^6}) N_{atoms} = \frac{1}{10^6} \times 5 \times 10^{22} = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \text{ donors}$
 $n \approx N_D = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \text{ electrons}$
 $p = n_i^2 / N_D = (1.5 \times 10^{10})^2 / 5 \times 10^{16} = 4.5 \times 10^3 \text{ cm}^{-3} \text{ holes}$
 يلاحظ ان تركيز p صغير جداً مقارنة بـ n

c) before doping : $\sigma_i = e n_i (\mu_n + \mu_p)$
 $\sigma_i = 1.6 \times 10^{-19} (1.5 \times 10^{10}) (1300 + 500)$
 $= 14.4 \times 10^{-6} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$

after doping : نجو التطعيم
 $\sigma = \sigma_n + \sigma_p = e n \mu_n + e p \mu_p$
 $= e n \mu_n \quad (p \ll n \text{ إذن})$

$\sigma = 1.6 \times 10^{-19} (5 \times 10^{16}) (1300) = 10.4 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$
 $\frac{\sigma}{\sigma_i} = \frac{10.4}{14.4 \times 10^{-6}} = 7.2 \times 10^5 = 720000$



ا م زيادة (720 ألف) ضعف عن قيمة التوصيلية الزائفة . لاحظ ان
 نسبة ضئيلة جداً من الفسفور (بنية واحدة الى مليون) تسببت في زيادة التوصيلية
 بمئات الالوف من المرات . ان هذا يبين ان التحكم في مقدار دة يتطلب تحكماً دقيقاً في مقدار نسبة الجوابي