جامعة بسكرة
كلية العلوم الدقيقة و علوم الطبيعة و الحياة

قسم علوم المادة
فيزياء انصاف النواقل 2

أعمال توجيهية 3

الترنزستور الثنائي

تعطى لترنزستور ثنائي القطبية من نوع PNP من السيليسيوم:

أطوال الباعث , القاعدة و المجمع هي 0.5 , 0.1 و $1\ \mu m$ على التوالي

تطعيم الباعث , القاعدة و المجمع هي 5×10^{17} , 2×10^{15} و $10^{16}\ cm^{-3}$ على التوالي

حركية الإلكترونات $\mu_n = 1300\ cm^2V^{-1}s^{-1}$ و حركية الثقوب $\mu_p = 500\ cm^2V^{-1}s^{-1}$

, مدة حياة الحوامل الأقلية $\tau_n = \tau_p = 0.1\ \mu s$. المطلوب:

1. حساب كثافة تيارات الباعث , المجمع و القاعدة من أجل $V_{BE} = -0.5\ V$
2. تضخيم تيار الباعث المشترك
3. تضخيم تيار القاعدة المشتركة
4. إعادة الأسئلة السابقة إذا كان طول القاعدة $5\ \mu m$

يعطى: التركيز الجوهري $n_i = 10^{10}\ cm^{-3}$, الشحنة الإلكترونية $q = 1.6 \times 10^{-19} C$ و $\frac{kT}{q} = 25\ mV$ عند $300\ °K$.

حل التمرين الاول الترنزستور الثنائي القطبية PNP

1. كثافة تيارات الباعث , المجمع و القاعدة من أجل $V_{BE} = -0.5\ V$

كثافة تيارات الباعث: في المحاضرة, درسنا الترنزستور NPN ووجدنا ان عبارة كثافة تيار الباعث هي:

$$J_E = qn_i^2 \left\{ \frac{D_p}{N_E L_p} cotgh\left(\frac{W_E}{L_p}\right) + \frac{D_n}{N_B L_n} cotgh\left(\frac{W_B}{L_n}\right) \right\} \left(e^{\frac{qV_{BE}}{kT}} - 1\right)$$

من اجل الترنزستور PNP نعكس فقط الثوابت D_p , L_p ب D_n, L_n وبدل V_{BE} ناخذ V_{EB} وتكون عبارة كثافة تيار الباعث هي:

$$J_E = qn_i^2 \left\{ \frac{D_n}{N_E L_n} cotgh\left(\frac{W_E}{L_n}\right) + \frac{D_p}{N_B L_p} cotgh\left(\frac{W_B}{L_p}\right) \right\} \left(e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1\right)$$

$$D_n = \frac{kT}{q}\mu_n = 32{,}5 cm^2S^{-1} \qquad D_p = \frac{kT}{q}\mu_p = 12{,}5 cm^2S^{-1}$$

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} = 1{,}8 \times 10^{-3} cm = 18 \mu m \qquad L_p = \sqrt{D_p \tau_p} = 1{,}1 \times 10^{-3} cm = 11 \mu m$$

$$J_E = 4{,}861\ A/cm$$

بنفس الطريقة نجد كثافة تيارالمجمع:

$$J_C = qn_i^2 \left\{ \frac{D_p}{N_B L_p sinh\left(\frac{W_B}{L_p}\right)_p} \right\} \left(e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1\right) = 4{,}85\ A/cm^2$$

كثافة تيار القاعدة:

$$J_B = J_E - J_C = 0{,}01 A/cm^2$$

2. تضخيم تيار الباعث المشترك :

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{4{,}85}{0{,}01} = 485$$

3. تضخيم تيار القاعدة المشتركة:

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = 0{,}997$$

4. إعادة الأسئلة السابقة إذا كان طول القاعدة $5\ \mu m$: بنفس الطريقة لكن مع الغاء التقريبات المتعلقة بالدوال : sinh و cotgh

<u>التمرين الثاني الترنزستور ذو التأثير الحقلي</u>

تعطى لترنزستور أحادي القطبية من أرسنيك الغاليوم (GaAs) الوسائط التالية:

- البوابة نصف ناقل من نوع p مطعم بـ 10^{18} cm^{-3}
- القناة نصف ناقل من نوع n مطعم بـ$5x10^{16}$ cm^{-3} , طولها L= 1 µm, سمكها w= 0.3 µm وعرضها a_0=5µm.

1. من أجل فرق جهد 0 V بين البوابة و المنبع , ماهو سبب التشبع؟
2. أحسب جهد و تيار التشبع
3. أعد الأسئلة السابقة من أجل فرق جهد -1 V بين البوابة و المنبع
4. إذا استبدل نصف ناقل البوابة بمعدن طاقة النزع فيه 5.10 eV أعد الأسئلة السابقة.

تعطى يعطى لأرسنيك الغاليوم: التركيز الجوهري $n_i = 10^6\ cm^{-3}$, حركية الإلكترونات $\mu_n = 8000\ cm^2V^{-1}s^{-1}$, النفاذية النسبية $\varepsilon_r = 13.1$, الألفة الإلكترونية $\chi_S = 4.07\ eV$, النطاق الممنوع $E_G = 1.42\ eV$, الحقل الحرج $E_C = 5 \times 10^3\ V.cm^{-1}$

تعطى كذلك الشحنة الإلكترونية $q = 1.6 \times 10^{-19} C$, $\varepsilon_0 = 8.5 \times 10^{-14}\ Fcm^{-1}$ و $\frac{kT}{q} = 25\ mV$ عند $300\ °K$.

الحل

1. سبب التشبع من أجل فرق جهد V_{GS}= 0 بين البوابة و المنبع:

يحدث التشبع لسببين تشبع السرعة أو غلق القناة:

الاحتمال الاول غلق القناة :

$$d = a_0 = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_r(N_A+N_D)}{qN_AN_D}(V_B - V_{GS} + V_{DS})} \qquad \Rightarrow V_{DS} = \frac{qN_AN_Da_0^2}{2\varepsilon_0\varepsilon_r(N_A+N_D)} - V_B$$

الحاجز الكموني: $V_B = \frac{kT}{q} Ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right) = 1{,}3V$

$$\Rightarrow V_{DS} = 1{,}77\ V$$

الاحتمال الثاني التشبع بالسرعة:

$$E_C = \frac{V_{DS}}{L} \Rightarrow E_C = V_{DS} \times L = 0{,}5\ V$$

V 1,77>V 0,5 التشبع يحدث بالسرعة قبل غلق القناة لان ⟸

2. جهد و تيار التشبع :طولها L= 1 µm, سمكها w= 0.3 µm وعرضها a_0=5µm .

V_{DS}=0,5V

$$I_{DS} = G_0\left[V_{DS} - \frac{2}{3\sqrt{V_B - V_p}}(V_B - V_{GS} + V_{DS})^{3/2} - (V_B - V_{GS})^{3/2}\right]$$

$$G_0 = \frac{q\mu_n N_D a_0 w}{L} = 9{,}6 \times 10^{-3}\Omega^{-1}$$ مع

$$a_0 = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_r(N_A+N_D)}{qN_AN_D}(V_B - V_p)}$$

Vp : الجهد اللازم تطبيقه على القناة حتى سمك منطقة شحنة الفضاء يساوي سمك القناة,

$$\sqrt{(V_B - V_p)} = 1{,}75\ V^{-1} \qquad \Rightarrow I_{DS} = 1{,}39\ x10^{-3} A$$

3. من أجل فرق جهد 1V- بين البوابة و المنبع

3.1 بنفس الطريقة نجد ان التشبع يحدث بتشبع السرعة ومنه V_{DS}=0,5V

3.2 تيار التشبع: I_{DS}=4,22 x10^{-4} A

4. استبدل نصف ناقل البوابة بمعدن طاقة النزع فيه 5.10 eV=Φm

$$\Phi_s = X_s + E_c - E_{FS}$$

$$E_c - E_{FS} = E_c - E_i + E_i - E_{FS} = \frac{Eg}{2} + kTLn\left(\frac{n_i}{N_D}\right) = 0{,}089eV$$

$$\Phi_s = 4{,}159eV$$

$$V_B = \frac{|\Phi_s - \Phi_M|}{q} = 0{,}941V$$

ونعيد الحسابات باستخدام قيمة V_B الجديدة.