**Les propriétés des semi-conducteurs (TD1)**

**Exercice 1**

1. Trouvez la résistance d’un cristal de silicium pur, dont son volume est 1 cm3.
2. Quelle est sa nouvelle résistance si on ajoute des atomes de l’arsénique As (donneur) ; où pour chaque 109 atome de Si on ajoute 1 atome As.

***La concentration atomique de Si est 5x1022 cm-3, ni=1.0x1010cm-3, μe=1350cm2V-1S-1 et μp=450 cm2V-1S-1***

**Résultats : a. R=347 KΩ. B. R=92Ω**

**Exercice 2**

Un semi-conducteur de Si type n contienne 1016cm-3atome de phosphore (P : donneur) est dopé, une deuxième fois,  avec 1017cm-3 atomes de bore (Br : accepteur).

1. Calculez la concentration des électrons et des trous dans ce semi-conducteur.

**Résultats : p= 9 x 1016 cm-3, n= 1,1 x 10+3 cm-3**

**Exercice 3**

Un semi-conducteur de Si type n est obtenu par un dopage avec 1016 cm-3 de l’antimoine (Sb).

1. Calculez la position du niveau de Fermi Ef par apport au niveau de Fermi intrinsèque Efi.

On ajoute au semi-conducteur précédent 2x1017 cm-3 atomes de bore.

1. Calculez la nouvelle position du niveau de Fermi Ef par apport au niveau de Fermi intrinsèque Efi.

***(On considère T=300ket kT=0.029eV)***

**Résultats : a. EFn-EFi=kT ln (Nd/ni)= 0,36 eV, b. EFp-EFi = -kT ln (p/ni)= -0,43 eV**

**Exercice 4**

On considère une jonction **pn** abrupte dans laquelle le profil de dopage Nd-Na constant dans chacune des régions, passe brutalement de -1018 cm-3 dans la région de type **p** à +5x1017 cm-3 dans la région **n**. On appellera Nap l’excédant d’accepteurs dans la région de type p et Ndn l’excédant de donneurs dans la région de type n.

***A la température ambiante T=300K : Eg=1.12eV, Nc=2.7x1025m-3, Nv=1.1x1025 m-3 et ε=10-10Fm-1***

1. Etablir l’expression de la tension de diffusion de la jonction et calculer sa valeur.
2. On considère que la zone de charge d’espace, bordée par xp et xn, est vide de porteurs libre :
* Donnez l’expression de la charge d’espace dans toute la structure.
* Etablir les expressions des champs électrique et potentiel dans toute la structure.
* Calculer la largeur W de la zone de charge d’espace.
* Calculer la valeur maximum du champ électrique.

**Résultats : a.** $V\_{d}=\frac{kT}{e}ln\left(\frac{N\_{dn}N\_{ap}}{n\_{i}^{2}}\right)=0,95 V$ **,**

 **b. – ρ(x)=0 pour x<xp et x>xn. ρ(x)=-eNap pour xp<x<0. ρ(x)=eNdn pour 0<x< xn .**

 **\_ Pour x<xp et x>xn : E(x)=0, V(x)=Vn dans la région n, V(x)=Vp dans la région p.**

 **Pour xp<x<0 :** $E\left(x\right)=\frac{-eN\_{ap}}{ε}\left(x-x\_{p}\right). $$V\left(x\right)=\frac{eN\_{ap}}{2ε}\left(x-x\_{p}\right)^{2}+V\_{p}$

 **Pour 0<x< xn:** $E\left(x\right)=\frac{eN\_{dn}}{ε}\left(x-x\_{n}\right). $$V\left(x\right)=-\frac{eN\_{dn}}{2ε}\left(x-x\_{n}\right)^{2}+V\_{n}$

 **\_**$w\_{n}=2\left(\frac{εkT}{2e^{2}N\_{dn}}\right)^{^{1}/\_{2}}\left(\frac{1}{1+^{N\_{dn}}/\_{N\_{ap}}}ln\frac{N\_{ap}N\_{dn}}{n\_{i}^{2}}\right)^{^{1}/\_{2}}$$w\_{p}=2\left(\frac{εkT}{2e^{2}N\_{ap}}\right)^{^{1}/\_{2}}\left(\frac{1}{1+^{N\_{ap}}/\_{N\_{dn}}}ln\frac{N\_{ap}N\_{dn}}{n\_{i}^{2}}\right)^{^{1}/\_{2}}$

$w≈w\_{n}=2\left(\frac{εkT}{2e^{2}N\_{dn}}\right)^{^{1}/\_{2}}\left(\frac{1}{1+^{N\_{dn}}/\_{N\_{ap}}}ln\frac{N\_{ap}N\_{dn}}{n\_{i}^{2}}\right)^{^{1}/\_{2}}≈0,05μm$**.**

**\_** $E\_{m}=-\frac{eN\_{dn}}{ε}\left(x\_{n}\right)=-\frac{eN\_{dn}}{ε}\left(w\_{n}\right)=-3,2×10^{5}Vcm^{-1}$

**Exercice 5**

Une diode est réalisé à partir d’une jonction **pn** de silicium dont les taux de dopage et les longueurs des régions **n** et **p** sont respectivement Nd= 1015cm-3, Na=1017cm-3, dn=10μm et dp=300μm. La section de la jonction est S=104μm2. Les mobilités et les longueurs de diffusion des électrons et des trous sont respectivement : μn= 1400cm2/Vs, Ln=0.1μm, μp=500 cm2/Vs, et Lp=5μm. La densité de porteurs intrinsèques est : ni= 1010 cm-3.

* Calculer la tension de diffusion Vd de la jonction.
* Calculer le courant de saturation Is de la jonction.
* La diode est polarisée par une tension inverse de 5 volts. Calculer la largeur de la zone de charge d’espace.
* La diode est polarisée par une tension directe de 0.5 volts. Calculer le courant traversant la diode.

**Résultats : 1.** $V\_{d}=\frac{kT}{e}ln\left(\frac{N\_{d}N\_{a}}{n\_{i}^{2}}\right)=0,72 V$**.**

 **2.** $I\_{s}=SkTn\_{i}^{2}\left(\frac{μ\_{p}}{N\_{d}L\_{p}}+\frac{μ\_{n}}{N\_{a}L\_{p}}\right)=10^{-7}μA.$

 **3. Pour la jonction p+n, Na>>Nd et w≈wn=2,7 µm.**

 **4.** $I\_{}=I\_{s}\left[exp\left(\frac{eV}{kT}\right)-1\right]≈I\_{s}exp\left(\frac{eV}{kT}\right)=22,5μA$

