

Physique des semi-conducteurs: Cours 01

Chapitre I: Définition des semi-conducteurs (s/c)

• Intro:

L'industrie des s/c a moins de 70 ans (« avant 1947 »)

1947: Découverte et fabrication du 1^{er} transistor

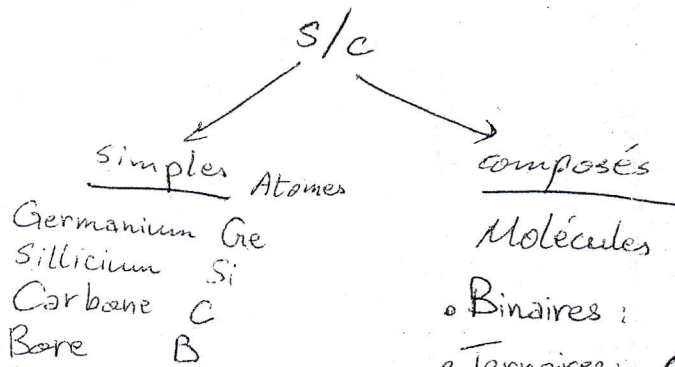
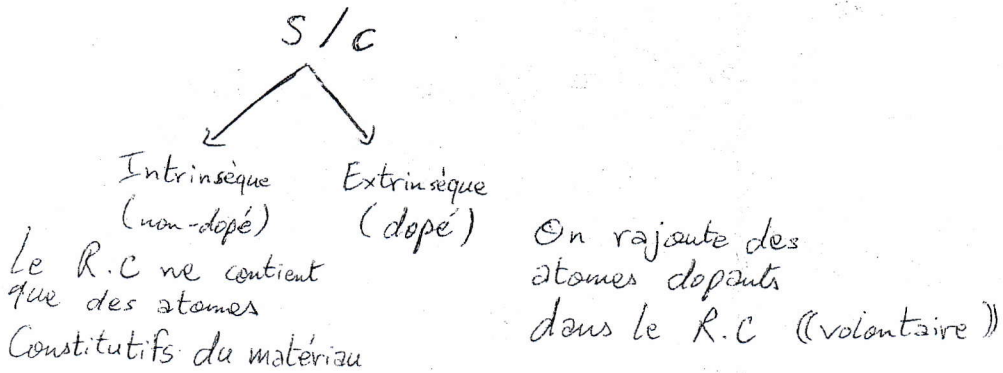
1999: Transistor **MOS** (échelle 20nm)

(16 milliards d'informations logiques)

En 2012, INTEL a acquis 16,4% du marché mondial des s/c

• Éléments semi-conducteurs:

Définition: On désigne sous le nom de semi-conducteurs des corps qui sont différents des isolants et des métaux



(-3)

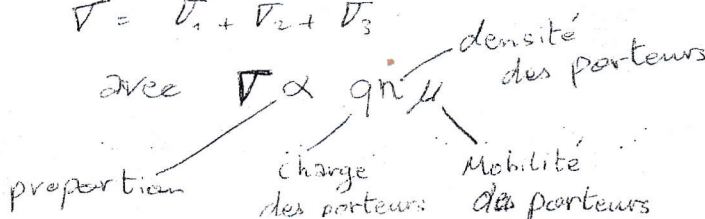
• La conductivité dans les semi-conducteurs:

La grandeur fondamentale qui caractérise les s/c est la conductivité

$$i = \frac{dq}{dt} = \int_{(S)} \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

\vec{J} : densité du courant avec $\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}$

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$



Conductivité $\left\{ \begin{array}{l} \text{Champs} \\ \text{Electrique} \end{array} \right.$

(4)

• Valeurs caractéristiques : $\sigma_{\text{isolant}} \approx 10^{-14} \text{ S/cm}$

* Dans les isolants : $\sigma_i < 10^{-4} \text{ S}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

* Dans les métaux : $10^3 < \sigma_m < 10^4 \text{ S}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

* Dans les s/c : On note n la concentration des électrons
On note p la concentration des trous

$$10^{13} / \text{cm}^3 < n < 10^{19} / \text{cm}^3$$

$$10^{-4} < \sigma_{\text{sic}} < 10^3 \text{ S}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$$

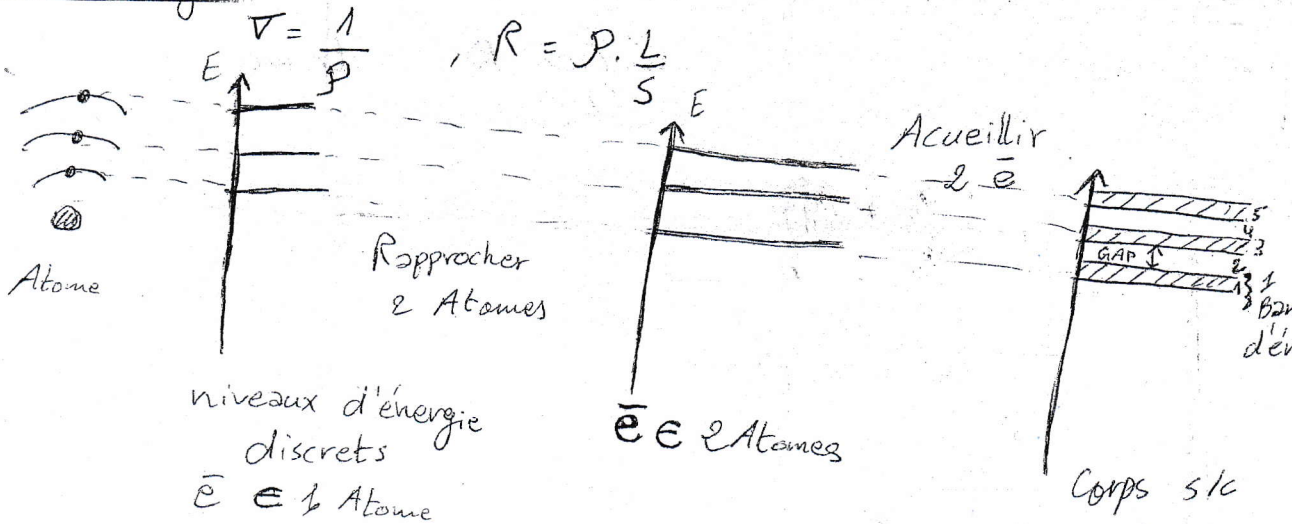
• Remarque : $\sigma_{\text{sic}} = f(T, \vec{E}, \vec{B}, \text{Dopage} \dots)$

$$\text{à } T = 0^\circ \text{K} : \sigma_{\text{sic}} = 0 \text{ S}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$$

$$R_{\rightarrow \infty} = \frac{1}{\sigma_{\rightarrow 0}} \Rightarrow I \approx 0$$

S/c \equiv Isolant parfait
 $T = 0^\circ \text{K}$

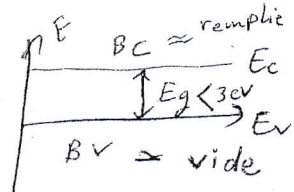
Bandes d'énergie:



- * Bandes : 1, 3, 5
Les bandes permises
- * Bandes : 2, 4
Les bandes non-permises (interdites)

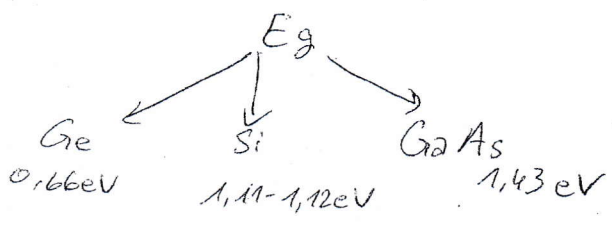
• Pour un s/c intrinsèque excité:

Les \bar{e} qui participent aux liaisons covalentes occupent des bandes d'énergie permises qu'on appelle bandes de valence "BV".
 Pour casser une liaison covalente, on donne un min d'énergie E_g qu'on appelle GAP



BC: Bande de conduction

L' E_g est une caractéristique des s/c



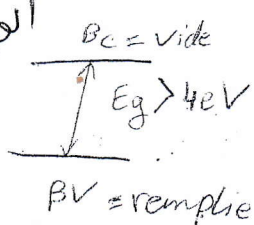
(-2)

• Pour des métaux (Conducteurs): التوائل

$\approx 10^{23} \bar{e} / \text{cm}^3$ pureté

Chevauchement des bandes d'énergie $\frac{BC}{BV}$

• Pour les isolants: العوزل



(3)

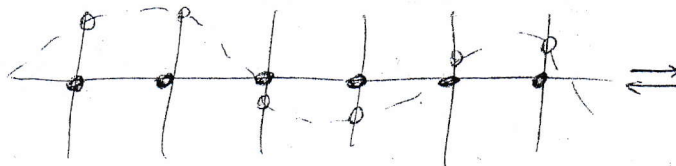
• Défauts dans les sc:

Les défauts existent dans tous les RC autrement dit le réseau parfait n'existe pas, ces défauts peuvent être thermiques, électroniques, ou atomiques

Type	Nom du défaut
Thermique	photons
Electronique	Création d'une paire de-trous (e-t)
Atomique	Ponctuel: Absence d'un atome Atome en interstitielle Présence d'un Atome étranger
	Linéaire: Absence d'une rangée d'atomes
	Planaire: Présence de plusieurs orientations dans un même cristal

• Défaut thermique:

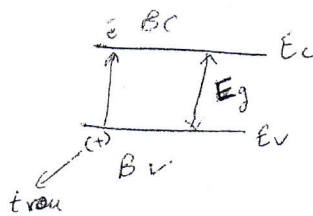
Le sc est soumis à une température T_1



Plus $T \uparrow$

Plus l'atome s'éloigne de sa position d'équilibre

• Défaut électronique:



• Défaut atomique:

↳ Réseau cristallin (géométrie)
↳ Atome étranger
souvent ils co-existent

1) Défaut ponctuel:

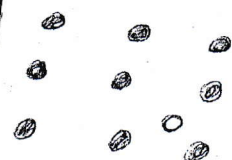
a- Lacune
(Absence d'un atome)
Schottky



b- Lacune + interstitielle
Frenkel



c- Interstitielle

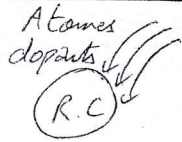


d- Substitutionnelle



Les défauts introduisent des niveaux d'énergie dans le gap

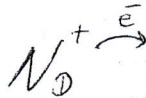
Impuretés de dopage: ذرات الشوائب



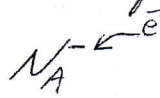
Contrairement aux défauts le dopage est, il consiste à introduire les atomes dopants dans le R.C, cette opération est appelée le dopage volontaire

Atomes dopants

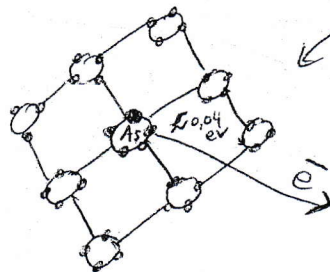
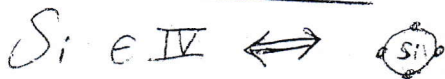
Les donneurs



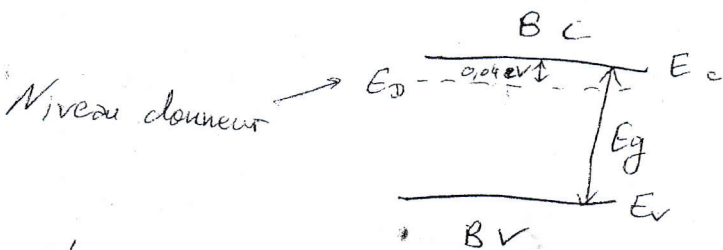
Les accepteurs



Les donneurs:



Il suffit d'une énergie de 0,04 eV pour arracher le cinquième e^- qui n'est pas dans une Liaison covalente et par conséquent $As \rightarrow As^+ + 1e^-$ Libre

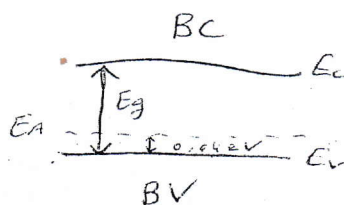
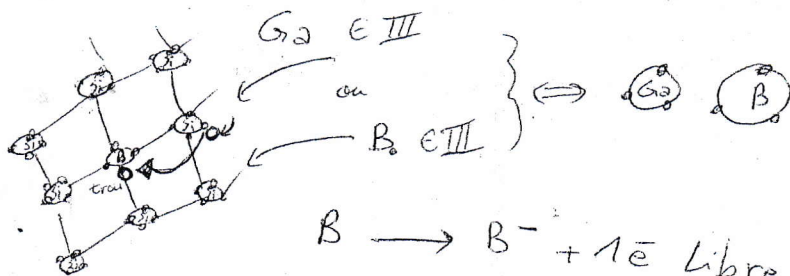


(-)

Les accepteurs:

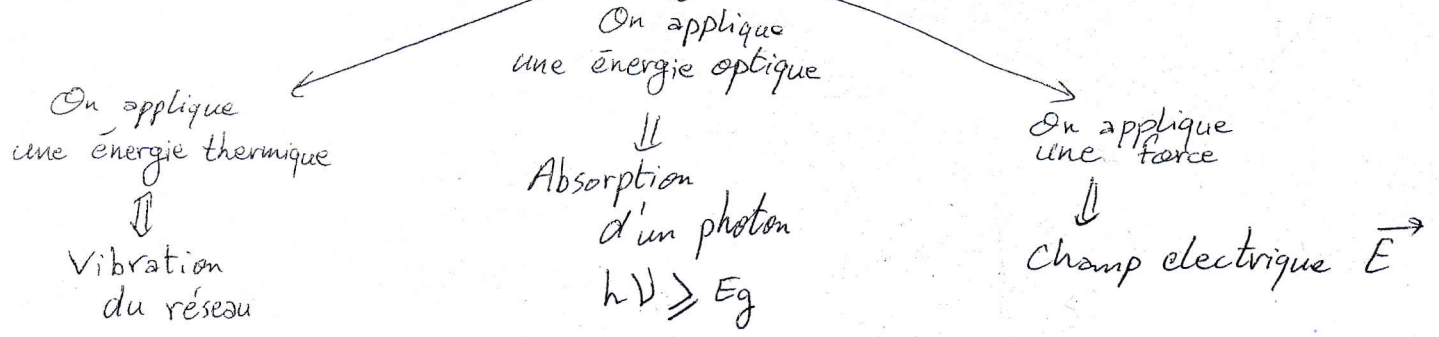
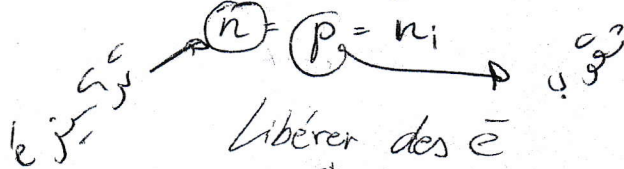
R. Si

Chaque trou va être occupé par un e^-

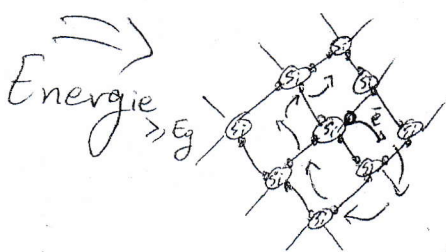


Conduction dans les s/c intrinsèques:

Dans un s/c intrinsèque, l'origine des \bar{e} libres est la rupture de liaisons covalentes: 1 \bar{e} et 1 trou



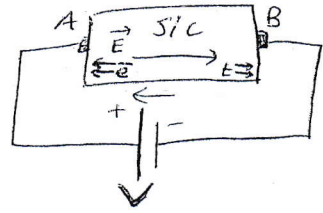
a) Application d'une énergie:



1/ Mvt de l' \bar{e} libre dans le R.C.
 2/ Mvt de l' \bar{e} de trou en trou
 Le Mvt du trou dans le sens inverse

Ce double déplacement crée un courant électrique

b) Application d'un champ électrique \vec{E} :



$\vec{E} = -\text{grad} V$
 $\vec{F}_e = -q\vec{E}$
 $\vec{F}_t = +q\vec{E}$
 $n = p$ (intrinsèque)
 $\vec{I} \neq 0$

Orientation du mvt: les \bar{e} se déplacent dans le sens contraire de \vec{E} , les trous se déplacent dans le même sens de \vec{E} .

La conductivité intrinsèque:

\bar{e} : $\vec{v}_n = \mu_n \vec{E}$
 t : $\vec{v}_p = \mu_p \vec{E}$
 Mobilité

Sous l'action du champ électrique, les porteurs de charge ($\bar{e}-t$) acquièrent une vitesse

$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = qn\mu_n + qp\mu_p$

Or, pour un s/c intrinsèque on a $n = p = n_i$, par conséquent:

$\sigma_{in} = qn_i(\mu_n + \mu_p)$

06,99 | 00,38 | 74

1000 Milliards d'Atomes de Si

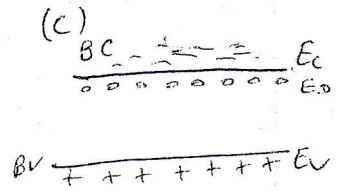
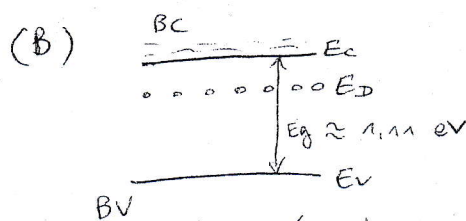
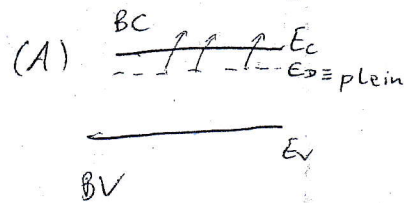
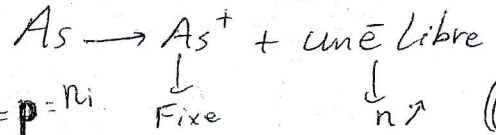
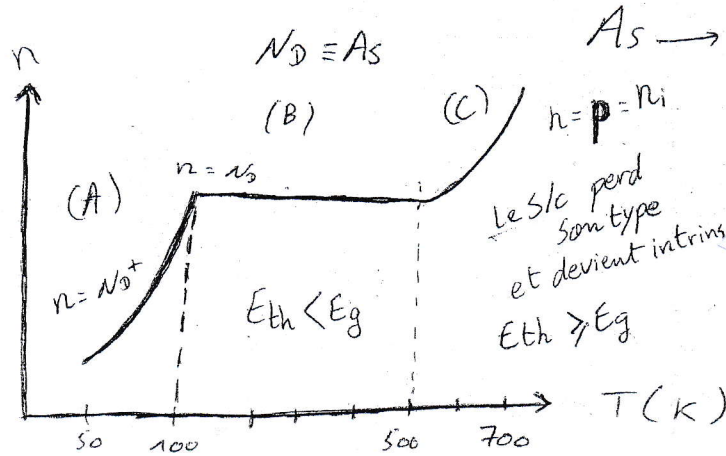
Induction dans les s/c dopés: dopé \equiv extrinsèque

a) s/c type n:

On obtient un s/c de type n si on rajoute dans le réseau de Si des éléments qui appartiennent à la 5^{ème} colonne comme l'As

A $T = 0^\circ\text{K}$ le s/c dopé est un isolant parfait

$T \uparrow \Rightarrow$ Energie thermique $\geq 0,04$ l' \bar{e} de l'As se libère



$n = N_D$ tant que $E_{th} < E_g$

Pour $100 < T \leq 500^\circ\text{K}$ La concentration des \bar{e} reste fixe et égale à N_D

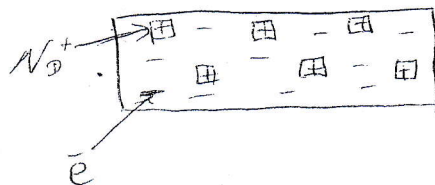
On dit que le s/c est de type n

Conductivité dans un s/c type n:

$\sigma_n = qn\mu_n + qp\mu_p$

Or pour un s/c type n: La concentration des \bar{e} est très grande par rapport à la concentration des trous $n \gg p$, par conséquent:

$\left. \begin{matrix} \sigma_n \approx qn\mu_n \\ n = N_D \end{matrix} \right\} \sigma_n = qN_D\mu_n$



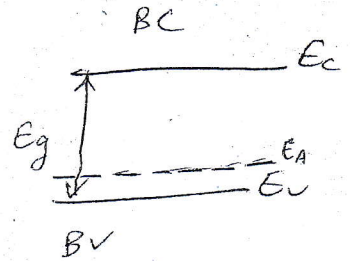
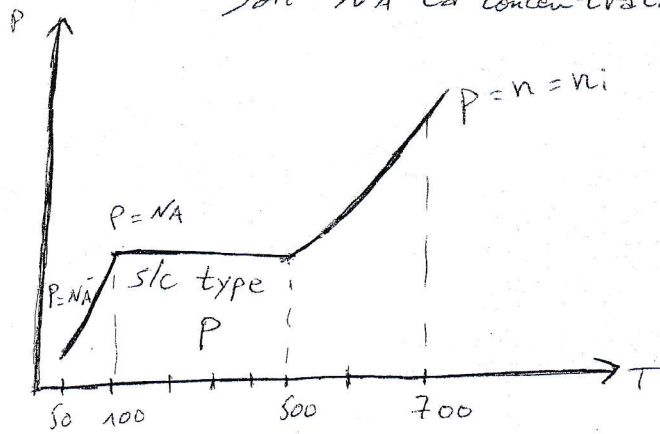
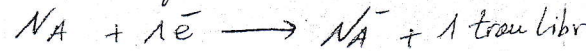
Représentation schématique d'un s/c type n

b) s/c type p:

On obtient un s/c de type p si dans un Réseau de Si e IV on rajoute des éléments qui appartiennent au groupe III

Comme le Ga ou le B (des accepteurs)

Soit N_A la concentration des accepteurs introduits dans le réseau



$$\nabla_P = qn k_n + qp k_p$$

Pour un slc type p : $p \gg n$ ↳ Les trous sont majoritaires
↳ Les e^- sont minoritaires

$$\Rightarrow \left. \begin{array}{l} \nabla_P \approx qp k_p \\ p = N_A \end{array} \right\} \boxed{\nabla_P = q N_A k_p}$$

Représentation schématique d'un slc type p :

