

I. Introduction

Afin de mener à bien notre étude, il est nécessaire de rappeler les différents défauts dans une structure cristalline. Dans une structure cristalline idéale, il existe le même arrangement autour des atomes (périodicité non perturbée) c'est-à-dire il n'y a pas de défauts.

Dans une structure cristalline réelle, il peut toujours s'y trouver des défauts c'est-à-dire des imperfections. Ils représentent des erreurs d'empilement liées à la nature des atomes différents.

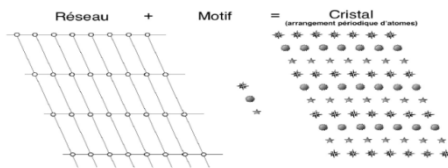
Les défauts ont une importance considérable puisqu'ils déterminent un grand nombre de propriétés importantes des solides cristallins, telles que les propriétés plastiques.

Dans ce chapitre nous présentons les défauts de structure. Ils sont répartis en quatre catégories suivant leur dimensionnalité : défauts ponctuels (0D), linéaires (1D), planaires (2D), et volumiques (3D).

II. Les matériaux

1. Cristallin

Il s'agit d'un réseau contenant les motifs



Parmi les systèmes cristallins [1], on trouve le :

- ✓ Système cubique :
 - Système cubique simple : atomes présents uniquement aux points du réseau.
 - Système cubique centré (système CC) : il y a un atome supplémentaire au centre du cube.
 - Système cubique faces centrées (système CFC) : chaque face comporte un atome au centre de celle-ci.
- ✓ Système hexagonal : le système hexagonal peut se décomposer en prismes à base losangique.

2. Amorphe

Un composé amorphe est un composé dans lequel les atomes ne respectent aucun ordre à moyenne et grande distance, ce qui le distingue des composés cristallisés. Les verres, les élastomères et les liquides sont des composés amorphes [2].

III. Définition d'un défaut

Il est communément défini par ; soit manque, soit insuffisance de quelque chose, soit absence, ou bien imperfection, ou difformité.

1. Définition du défaut dans les matériaux

On appelle *défauts* les déviations par rapport à une structure idéalisée. Le défaut cristallin est défini aussi par la perturbation dans l'agencement périodique et régulier des atomes dans un cristal.

IV. Les différents types de défauts

1. Défauts ponctuels

1.1 **Définition :** Le défaut ponctuel est un défaut limité à un nœud du réseau. Il est de dimension 0 : le rayon atomique est très petit devant les dimensions du cristal.

1.2 Les différents types de défauts ponctuels[3]

a. **Lacune ponctuelle:** est un site du réseau ne contenant aucun motif, aucun atome (vide).

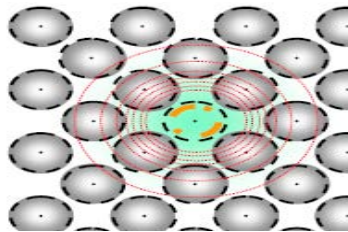


Figure II.1 : représentation de la lacune ponctuelle

b. **L'atome interstitiel:** l'atome étranger s'insère dans les espaces vides du réseau. La taille de l'atome étranger est en général inférieure à celle de l'atome de réseau.

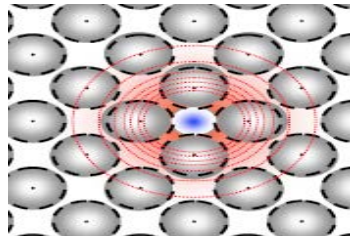


Figure II.2 : Représentation d'atome étranger en insertion

c. **L'atome de substitution:** la position régulière d'un atome occupée par un atome étranger est en général de même taille que celle de l'atome du réseau.

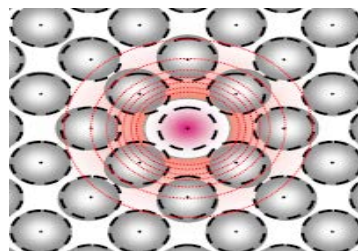


Figure II.3 : Représentation d'atome étranger en substitution

1.3 Association de défauts [4]

Les défauts ponctuels ne sont pas toujours isolés, ils peuvent parfois s'associer.

Dans les cristaux ordonnés, on peut avoir :

- l'association de lacunes de deux ou plusieurs éléments différents, c'est un défaut de SCHOTTKY.

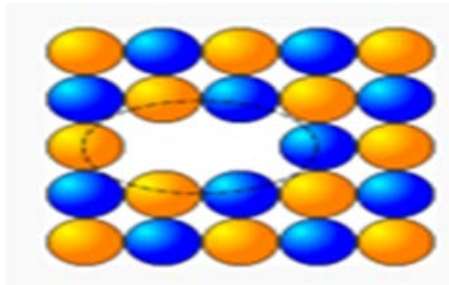


Figure II.4 : Défaut de Schottky [4]

- l'association d'un atome auto-interstitiel et d'une lacune du même élément, c'est un défaut de FRENKEL.

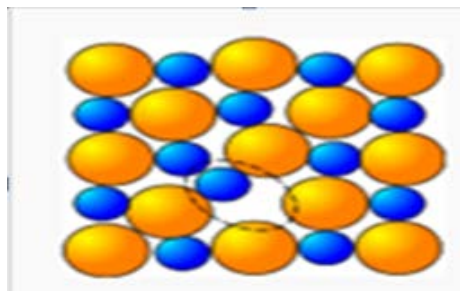


Figure II.5 : Défaut de Frenkel [4]

2. Défauts linéaires

2.1 Définition d'un défaut linéaire

Les défauts linéaires sont appelés « dislocations ». Ce sont des défauts de dimension 1, c'est-à-dire que la largeur des défauts est très petite devant les dimensions du cristal. Ces défauts permettent la déformation élastique.

Les dislocations sont obtenues par le glissement b d'une partie du cristal le long d'un plan. La ligne de dislocation proprement dite correspond à la ligne du plan de glissement séparant la partie du cristal qui a glissé de celle qui est restée immobile. Le vecteur de glissement b est appelé vecteur de Burgers de la dislocation.

2.2 Principe de dislocation

Pour illustrer cette construction considérons un réseau cubique simple non déformé. Coupons ce réseau suivant un plan en s'appuyant sur la ligne AA et déplaçons les atomes situés d'un côté du plan de coupe parallèlement à ce plan d'une distance égale à un intervalle atomique. Puis relient les atomes de part et d'autre de la coupure. Le nouveau réseau obtenu est déformé seulement au voisinage de la ligne AA qui est la ligne de dislocation, le volume cylindrique qui

entoure le voisinage de la ligne de dislocation est le cœur de la dislocation. Selon l'orientation du déplacement par rapport à la ligne de dislocation, on crée une dislocation coin, vis ou mixte [5].

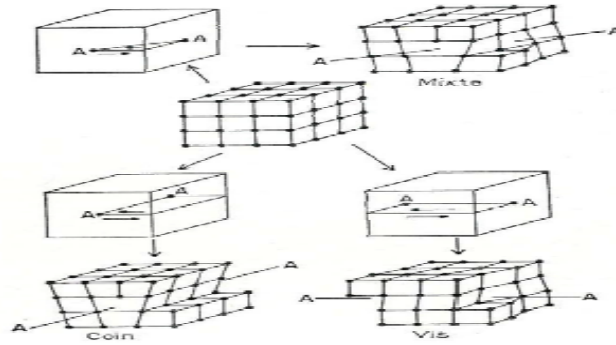


Figure II.6 : Représentation du réseau de dislocation [5]

2.3 Les différents types de défauts linéaires

a. Dislocation coin

Le déplacement est perpendiculaire à la ligne de dislocation AA

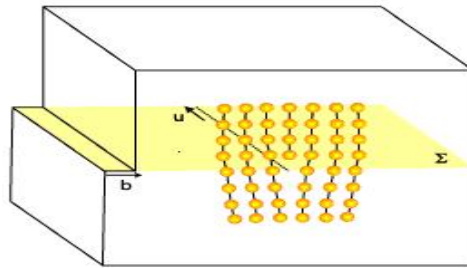
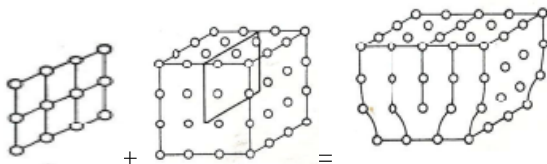


Figure II.7 : dislocation coin [5]

On peut aussi simplement, pour générer une dislocation coin, insérer un demi-plan d'atomes supplémentaire dans le réseau ou en retirer un. La ligne de dislocation est le bord du demi-plan supplémentaire [5].



b. Dislocation vis

Le déplacement est parallèle à la ligne de dislocation AA

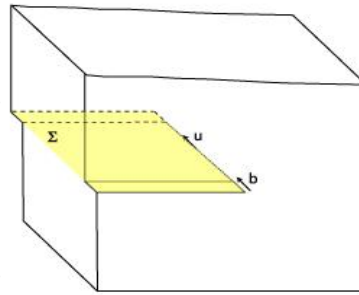


Figure II.8 : Dislocation vis [5]

c. Dislocation mixte

Quand la ligne de dislocation émerge en B, elle a un caractère purement coin : le déplacement est perpendiculaire à la ligne, en A elle est purement vis le déplacement est parallèle à la ligne. Entre les deux points la dislocation est mixte mais la proportion de caractère vis et coin varie continûment.

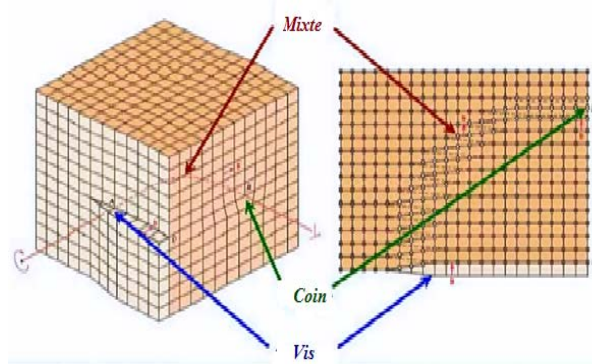


Figure II.9 : dislocation mixte [5]

Une ligne de dislocation se termine à la surface du cristal, sur un défaut ou forme une boucle qui se referme sur elle-même. Elle peut se terminer à un nœud de dislocations.

2.4 Les propriétés de dislocation

a. Vecteur de Burgers

Vecteur de Burgers : petit déplacement nécessaire à fermer la « boucle » autour du défaut appelé «circuit de Burger » [6].

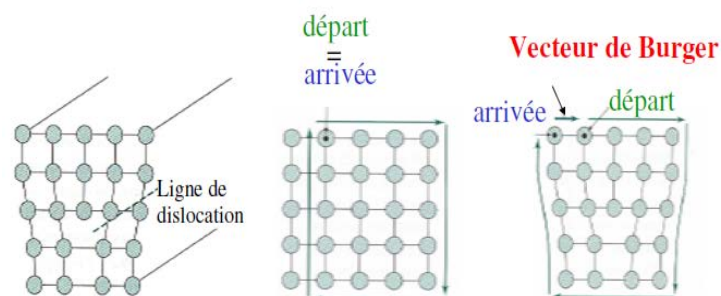


Figure II.10 : Vecteur Burgers [6]

Il est possible de déterminer le vecteur de Burgers d'une dislocation en comparant les **circuits de Burgers** construits autour de la dislocation et dans la partie du cristal exempt de défauts selon le et la:

- ✚ Choix d'une orientation de la ligne de dislocation \vec{L} .
- ✚ Construction d'un circuit fermé autour de la dislocation, orienté suivant la règle du tire-bouchon. Donc Le circuit commençant au nœud (pour « départ ») et finit au nœud (pour « fin »). Les nœuds sont confondus.
- ✚ Le vecteur de Burgers correspond au défaut de fermeture du circuit dans le cristal parfait \vec{b}

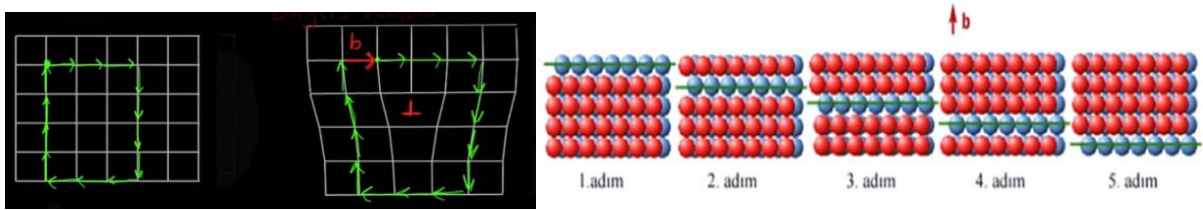


Figure II.11: Détermination du vecteur de Burgers d'une dislocation coin (a)

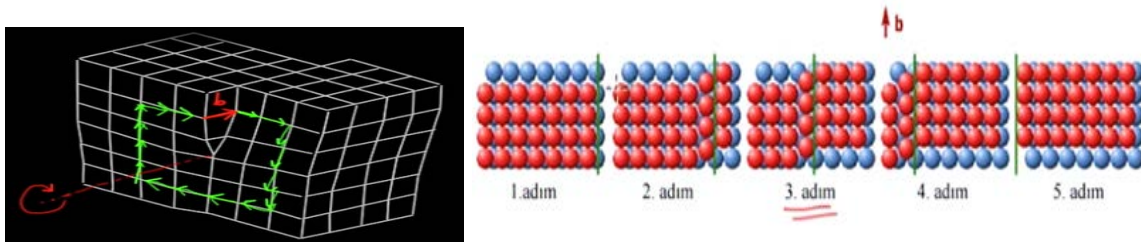


Figure II.12 : Détermination du vecteur de Burgers d'une dislocation vis (b) [6].

b. Le Champ de Contrainte Interne

Expression des contraintes en fonction des déformations dans un milieu «continu», les C_{ij} sont des constantes. La loi de Hooke stipule que la contrainte est proportionnelle à la déformation. Cette loi, appliquée aux solides cristallins est valable si la contrainte est faible et les effets du fluage négligeable (basse température). Elle permet d'évaluer le comportement des solides soumis à une déformation de faible amplitude. C'est une loi élastique linéaire.

- Contraintes conventionnelles

Traction	Compression	Cisaillement
$\sigma = E \cdot \epsilon$	$\sigma = E \cdot \epsilon$	$\tau = G \times \gamma$
$\sigma = \frac{F}{S}$ Avec $F=k \times \Delta l$	$\sigma = \frac{F}{S}$ Avec $F=k \times \Delta l$	

Tableau II.1 : cylindre soumis à de la traction / compression [7]

c. Déformation plastique

Si nous considérons un barreau de matière soumis à une contrainte de traction uniaxiale et en exerçant, dans ce cas, une force \vec{F} parallèlement à l'axe de la section S [Figure 13a], la valeur de la contrainte est donnée comme le rapport de la force sur la surface : $\sigma = \vec{F}/S$

Sous l'action de la force \vec{F} , le solide se déforme suivant l'axe de la contrainte. On définit mathématiquement la déformation correspondante comme $\varepsilon = \Delta l/l$, où l est l'allongement relatif dans la direction de la contrainte [7].

La Figure 13b indique le comportement mécanique idéalisé d'un matériau solide, reliant la contrainte et la déformation ε qui en résulte :

- ✚ Soumis à une contrainte σ telle que $0 < \sigma < \sigma_L$, un solide se trouve dans le domaine de comportement élastique. La déformation subite est réversible et, en bonne approximation, proportionnelle à la contrainte $\sigma = C\varepsilon$: (loi de Hooke). Le domaine élastique correspond en général à de petites déformations.
- ✚ Pour $\sigma_L < \sigma < \sigma_R$, on se trouve dans le domaine de comportement plastique dans lequel la déformation devient non réversible. Suite à l'annulation de la contrainte à partir du point A, on observe une réduction de l'allongement le long de la droite (AOA) laissant subsister une déformation permanente ε_{OA} .
- ✚ Pour $\sigma > \sigma_R$, on atteint le point d'arrêt R de la courbe $\sigma(\varepsilon)$ correspondant à la rupture du solide.

Dans les défauts, les dislocations jouent un rôle fondamental lors d'une déformation plastique. Par ailleurs, l'interaction des dislocations avec les autres types de défauts influence la dureté du matériau. La dureté est quantifiée par la valeur de la contrainte limite σ_L , également appelée limite élastique. Il s'agit de la contrainte maximale que peut supporter un matériau sans se déformer de manière permanente [7].

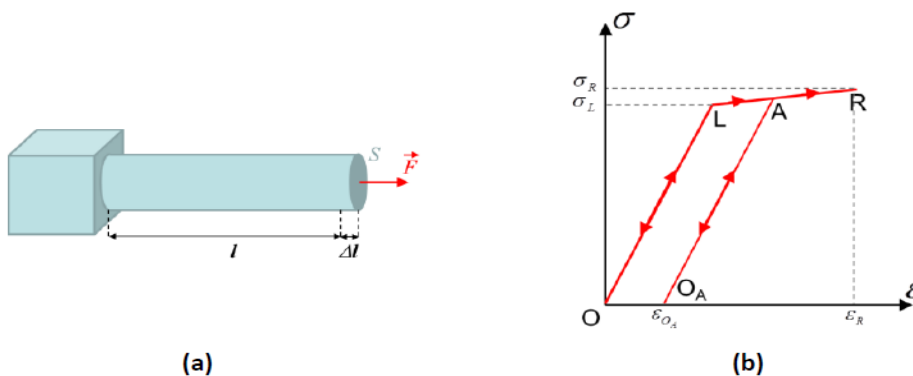


Figure II.13 : (a) Barre cylindrique soumise à une contrainte de traction uniaxiale. (b) Relation schématisée entre contrainte et déformation dans un matériau solide. OL est le domaine élastique, et LR est le domaine plastique [7].

3. Défauts planaires

3.1 Définition d'un défaut surfacique

Les défauts surfaciques sont des défauts à deux dimensions comprenant les joints de grains, (les joints de) macles, les sous-joints et les parois d'antiphase. Nous nous limitons aux joints de grains et aux macles.

a. La macle

Une macle est une association orientée de deux ou plusieurs cristaux identiques, dits individus, reliés par une opération de groupe ponctuel de symétrie.

b. Joint de macle.

Il peut exister des plans cristallographiques particuliers autorisant le cristal à se disposer indifféremment dans le prolongement de son orientation initiale « cristal-mère » ou en position symétrique par rapport à ce plan particulier (« cristal maclé »); ceci suppose que les niveaux d'énergie des atomes en position initiale et en position symétrique soient identiques. Les joints de macle sont aisément reconnaissables à leur tracé rectiligne.

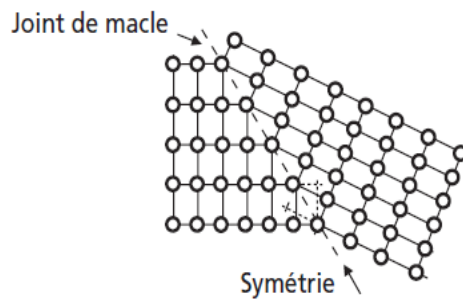


Figure II.14 : Schématisation à deux dimensions d'un joint de macle [22].

c. Les joints de grains

Un joint de grains est, par définition, la surface qui sépare deux cristaux d'orientations différentes dans un agrégat poly cristallin

Les métaux réels sont généralement constitués de nombreux cristaux (ou grains) séparés par des joints de grains. Tous les grains n'ont pas la même orientation

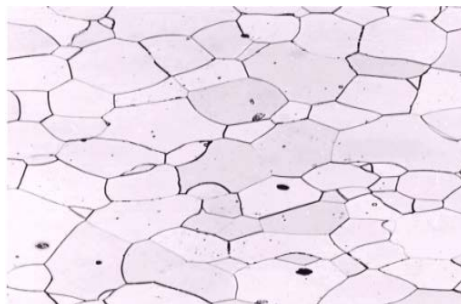


Figure II.15 : Représentation les joints de grain.

d. Propriétés des joints de grains

- Les joints de grains constituent des obstacles sur lesquels butent les dislocations.
- L'empilement de dislocation engendre une concentration de tension sur le joint d'autant plus importante que l'empilement est grand.
- Une augmentation de tension, d'autant plus faible que la concentration de contrainte est grande permet à une source de fonctionner dans le cristal voisin et de poursuivre la déformation.

4. Défauts volumique

4.1 Définition un défaut volumique

Un défaut volumique est un défaut à trois dimensions. Quand une partie du cristal est remplacée par un volume d'un composé différent, la différence est de nature chimique et peut ou non être accompagnée de différences cristallographiques.

4.2 Les différents types de défauts volumiques

La partie étrangère du cristal peut être soit un précipité, soit une inclusion, soit un pore.

a. Pores

Un pore est une cavité fermée à l'intérieur d'un cristal ou d'un poly-cristal. [8]

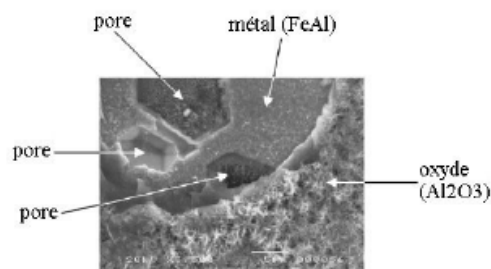


Figure II.16 : Micrographie électronique montrant la présence de pores sous une couche d'oxyde écaillée [8]

b. Inclusion

Les inclusions sont des « impuretés » dans le métal, qui proviennent de son élaboration à l'état liquide. Elles sont le plus souvent des oxydes, des sulfures ou des silicates.

c. Précipité

Particule solide de petite taille entièrement enrobée à l'intérieur d'un grain qui constitue sa matrice. En général les précipités apparaissent dans un cristal à l'issue de réactions à l'état solide. Selon les caractéristiques des deux réseaux cristallins, les joints de phases entre précipité et matrice peuvent avoir différentes structures :

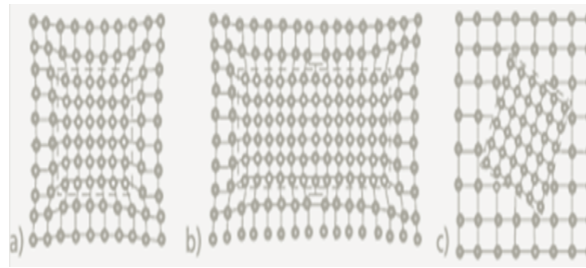


Figure II.17 : a) Précipité cohérent : continuité de certains plans cristallins entre le précipité et la matrice. b) Précipité semi-cohérent : les déformations sont relaxées par la présence de dislocations aux interfaces. c) Précipité incohérent [8].

5. Dopage

Le dopage est l'action d'ajouter des impuretés en petites quantités à une substance pure afin de modifier ses propriétés de conductivité.

Les propriétés des semi-conducteurs sont en grande partie régies par la quantité de *porteurs de charge* qu'ils contiennent. Ces porteurs sont les électrons ou les trous. Le dopage d'un matériau consiste à introduire, dans sa matrice, des atomes d'un autre matériau. Ces atomes vont se substituer à certains atomes initiaux et ainsi introduire davantage d'électrons ou de trous [9].

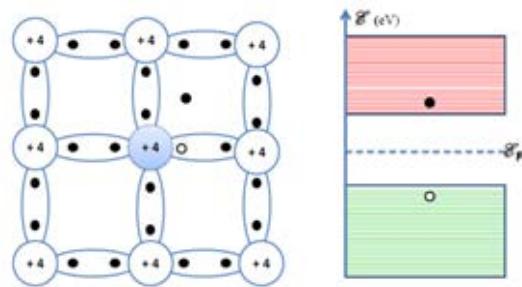


Figure II.18 : semi-conducteur intrinsèque à $T \neq 0K$ [9]

L'introduction en quantité très faible de certaines impuretés dans un semi-conducteur intrinsèque, peut augmenter dans des proportions considérables le nombre de porteurs de charges. Pour un semi-conducteur au silicium dopé à l'arsenic, un atome d'arsenic, As, remplace un atome de silicium dans le réseau. L'atome As ayant cinq électrons de valence, il forme quatre liaisons covalentes avec des atomes de silicium voisins ; il reste un électron libre qui peut participer à la conduction électrique. L'atome d'arsenic étant donneur d'électron, on parle de dopage de **type N** (N pour négatif) [10].

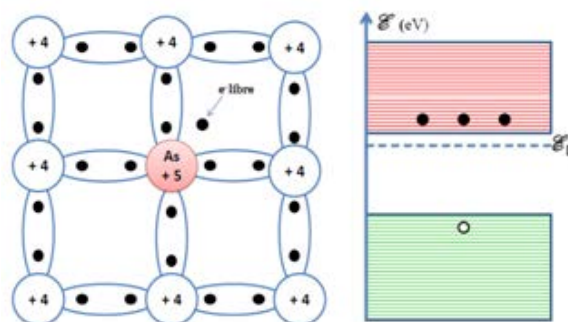


Figure II.19 : Dopage d'un semi-conducteur par un atome donneur [10]

Un atome dopant possédant trois électrons de valence, comme l'indium, In, conduit à un déficit d'électron de valence dans le réseau, appelé trou.

Ce trou peut être comblé par un électron de valence d'un atome de silicium voisin, déplaçant ainsi le trou. L'atome d'indium étant accepteur d'électron, on parle de dopage de **type P** (p pour positif). Les éléments dopants génèrent des niveaux d'énergies dans la bande interdite. Ces niveaux sont proches des bandes de valence ou de conduction [10].

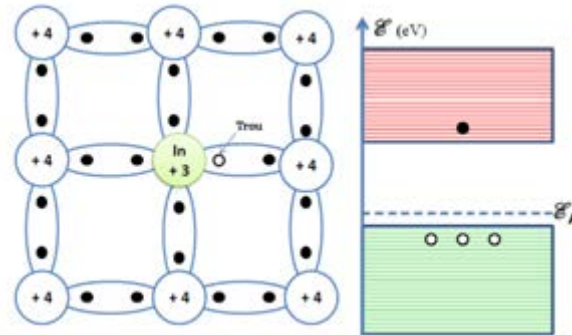


Figure II.20 : Dopage d'un semi-conducteur par un atome accepteur[10]

6. Les défauts dans le silicium cristallin

Dans le silicium cristallin il existe des défauts ponctuels et des défauts de structures étendus (dislocations, clusters). Les défauts ponctuels sont des défauts primaires, lacunes et interstitiels ou bien des impuretés étrangères.

6.1 Défauts natifs :

L'origine de ces défauts a été un thème important des recherches dans le passé, ces défauts sont formés via les interactions des lacunes et les autos interstitielles avec l'oxygène. Leur formation est déterminée par les conditions d'élaboration du matériau [11].

Les concentrations faibles des défauts natifs ont été un obstacle pour comprendre les propriétés de ces défauts et empêche leur mesure directe.

6.2 Impuretés non métalliques (oxygène et carbone) :

Le carbone et l'oxygène agissent indirectement sur les propriétés photoélectriques du matériau en se précipitant dans les zones très disloquées ou en s'associant à d'autres impuretés [12]. L'oxygène est introduit dans le silicium du creuset en quartz. Une grande fraction de l'oxygène interstitiel incorporé au cristal précipite durant le refroidissement du lingot ou durant les traitements thermiques ultérieurs des échantillons. Les études récentes ont montré que l'oxygène et le carbone sont en fait les principales impuretés dans le silicium multi-cristallin. En plus l'oxygène et le carbone peuvent précipités au niveau des joints de grains et des dislocations et ainsi changé leurs comportements électriques. Ces impuretés peuvent aussi avoir un impact sur les recombinaisons en volume et sur les propriétés de la jonction PN s'il y'a une large concentration qui peu atteindre la zone de charge d'espace. L'oxygène peut former une large variété de défauts qui affectent le comportement électrique différemment [23].

Généralement, la technique DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) est utilisée pour détecter les différents défauts qui existent dans les semi-conducteurs. Cette technique permet de déterminer la nature du défaut, la position du défaut dans le gap d'énergie, les sections efficaces

de capture des porteurs libres et la densité des défauts. Le tableau III.2 présente quelques Défauts primaires dans le Si intrinsèque [13] et le tableau III.3 présente les défauts caractérisés dans une cellule solaire p-n en silicium cristallin [14,15]

Lacunes	
Niveau d'énergie (eV)/ E_v	Charge
0.05	$V^+ / 0$
0.13	$V^{2+} / +$
0.47	-
0.84	$V^{2-} / -$
1.01	$V^{2-} / -$

Interstitiels		
Niveau d'énergie (eV)/ E_v	d'énergie	Charge
0.26		-
0.45		-
0.68		$I^+ / 0$

Tableau II.2 : les défauts primaires dans le silicium cristallin [13,14]

Energie (eV)	Sources des défauts	Nature
$E_v + 0.39$		Fe-B
$E_v + 0.1$	Contamination par Fe	Défauts liés au Fe
$E_v + 0.33$		Complexe Fe-O
$E_v + 0.2$		-
$E_v - 0.53$	Contamination par Fe	Complexe Fe-B
$E_v + 0.35$	Cellule processus	Complexe B-O
$E_v - 0.45$		
$E_v + 0.38$		
$E_v + 0.45$	Processus de Fabrication	Complexe liés au Fe
$E_v + 0.23$		
$E_v + 0.33$	Traitement thermique	Complexe B-O, C-V-O
$E_v + 0.41$		
$E_v + 0.6$		

Tableau II.3 : défauts caractérisés dans une cellule solaire P-N en Si [14,15]

7 Les défauts dans l'oxyde de zinc

7.1 Microstructure et défauts dans le ZnO

Les impuretés de dopages

Le dopage consiste à introduire localement des impuretés dans un semi-conducteur intrinsèque pour le transformer en semi-conducteur extrinsèque.

Pour le ZnO, le dopage non intentionnel est de type N, alors que le dopage de type P est très difficile à obtenir. Ceci est attribué aux positions des maxima de la bande de conduction et de

valence qui sont relativement bas par rapport aux positions minimales et maximales du niveau de Fermi.

Dopage N : le ZnO est un matériau très prometteur pour être utilisé comme oxyde conducteur transparent. Le dopage N intentionnel se fait généralement avec des éléments de la colonne III en substitution du zinc, notamment Al, Ga, et In. Des concentrations d'électrons 10^{21}cm^{-3} avec des résistivités de $10^{-4} \Omega$ ont été obtenues [16].

Le dopage N non intentionnel serait dû aux impuretés résiduelles qui peuvent être présentes dans le matériau source (telles que Al, Ga et In), ou à l'hydrogène qui peut se retrouver dans la plupart des méthodes de croissance. Réduire la concentration résiduelle d'électrons est un préalable indispensable pour espérer obtenir le dopage p.

Dopage P: Comme nous l'avons dit, le dopage P est difficile à cause de la compensation, qui peut causer son instabilité. Un facteur aggravant peut être la faible solubilité du dopant, ou la formation de précipités avec celui-ci. Enfin un dernier problème est que beaucoup d'accepteurs ont des énergies d'ionisation trop élevées pour donner suffisamment de trous. Le dopage P peut se faire avec un élément de la colonne I tel que Li, Na, K, Cu ou Ag en substitution de Zn, ou par un élément de la colonne V tel que N, P, As ou Sb en substitution de O. Li, Na et K seraient relativement superficiels d'après des calculs, mais ils ont aussi tendance à occuper les sites interstitiels à cause de leur faible rayon atomique : ils deviennent ainsi donneurs.

Plus la couche de ZnO possède d'impuretés (comme les atomes de bore ou des atomes de zinc interstitiels), plus celles-ci provoquent la diffusion des porteurs de charge. L'étude de l'importance de cette diffusion en fonction des différents types d'impuretés est très complexe [17].

7.2 Les défauts intrinsèques [18]

Les défauts ponctuels intrinsèques, ou natifs, sont des imperfections du réseau cristallin qui mettent en jeu uniquement les éléments constitutifs de ce réseau. Ces défauts natifs peuvent affecter de manière importante les propriétés électriques ou optiques des semi-conducteurs, tels le dopage, le temps de vie des porteurs ou la luminescence. Ils peuvent être classés en trois catégories :

- Lacunes : Absence d'un atome dans le réseau : V_{Zn} et V_O .
- Interstitiels : Présence d'un atome hors du réseau : Zn_i et O_i .
- Antisites : Permutation entre deux atomes du réseau : Zn_O et O_{Zn} .

Dans le cas du ZnO (structure wurtzite), il faut noter qu'il existe deux configurations possibles pour les défauts interstitiels [19, 20]. On peut également classer les défauts ponctuels en fonction de leur type, donneur ou accepteur, qui va dépendre de leur état de charge :

- Les défauts donneurs : V_O , Zn_O et Zn_i
- Les défauts accepteurs : V_{Zn} , O_{Zn} et O_i

Les interstitiels

- ✓ L'interstitiel d'oxygène O_i (octaédrique) est un défaut de type accepteur qui existe de manière stable sous forme O_i^- et O_i^{2-} , mais essentiellement sous forme doublement ionisé

Défaut	Type	Energie d'ionisation
O_i^-	Donneur	$(0/-) = 0.7 \text{ eV}$
O_i^{2-}	Donneur	$(-/2-) = 1.6 \text{ eV}$

Tableau II.4 : L'interstitiel d'oxygène [19]

- ✓ L'interstitiel de zinc Zn_i est un défaut de type donneur qui possède une très forte énergie de formation dans un matériau de type N ($\sim 6 \text{ eV}$) dans son état de charge le plus stable Zn_i^{2+} .

Il possède une énergie de transition très faible, ce qui en fait un donneur très peu profond. Il faut rajouter à cela que le zinc interstitiel Zn_i possède une barrière à la diffusion de l'ordre de 0.6 eV pour Zn_i^{2+} , à comparer aux : 2.6 eV pour V_o^0 , 1.9 eV pour V_o^{2+} , 1.4 eV pour V_{Zn}^{2+} et 1.1 eV pour O_i^{2-} .

Les antisites

Le zinc en site oxygène ZnO est un défaut de type donneur stable uniquement sous forme Zn_o^0 , Zn_o^{2+} et Zn_o^{4+} . Le niveau Zn_o^{4+} est un niveau très profond avec une énergie de transition ($4 + /2+$) à 1.8 eV du bas de la bande de conduction.

7.3 Les défauts extrinsèques [18]

Impureté	Type	Energie d'ionisation	Concentration
Al	Donneur	52 meV	10^{16} cm^{-3}
Ga	Donneur	55 meV	10^{17} cm^{-3}
In	Donneur	63 meV	10^{16} cm^{-3}
H	Donneur	35 meV	10^{18} cm^{-3}
Li	Amphotère	-	10^{18} cm^{-3}
N	Accepteur	>400 meV	10^{17} cm^{-3}
Cu	Accepteur	>700 meV	-
Si	Amphotère	-	10^{16} cm^{-3}
C	Amphotère	-	10^{18} cm^{-3}

Tableau II.5 : des impuretés extrinsèques non intentionnelles les plus fréquentes le ZnO [18].

Nous avons vu que le ZnO est caractérisé par plusieurs défauts. Ainsi, pour la fabrication des cellules solaire, ceci nécessite une étude soignée de ces défauts qui influencent leurs propriétés structurale et électrique. En plus des défauts de structure, d'autres formes de défauts existent. Elles sont essentiellement des défauts de fabrication

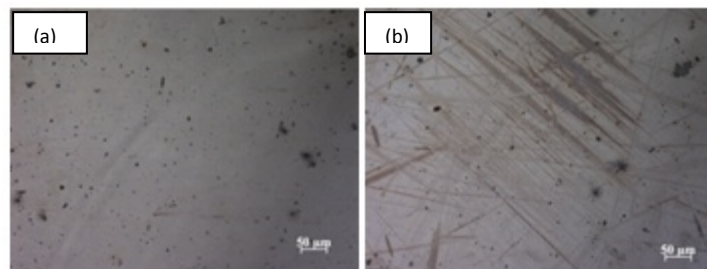


Figure II.21: photo de ZnO (a) les impuretés d'environnement (b) effet de chauffage [21]

v. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les défauts existants dans les matériaux. Nous pouvons résumer ceci en ce qui suit :

- ✚ Un défaut ponctuel entraîne un défaut autour d'un point, mais les voisins sont également perturbés. Introduire un atome, c'est introduire une force. Ces défauts ponctuels entraînent donc des défauts autour d'un point.
- ✚ les dislocations contribuent à la dégradation des durées de vie des porteurs minoritaires dans le matériau. Elles jouent donc, un rôle primordial dans les propriétés mécaniques des matériaux.
- ✚ Le déplacement s'arrête lorsqu'il arrive au « bord » du cristal = joint de grains. Le joint de grains est donc un piège à dislocation.
- ✚ On a un défaut a trois dimensions quand une partie du cristal est remplacée par un volume d'un composé différent ; la différence est de nature chimique et peut ou non être accompagnée de différences cristallographiques. La partie étrangère du cristal est soit un précipité, soit une inclusion.
- ✚ l'étude de l'effet des défauts sur les paramètres électriques d'une cellule solaire **N-P** en silicium cristallin et d'une cellule solaire en couche mince de ZnO fera l'objet du chapitre suivant intitulé « Résultats et discussions ».

VI. Références

- [1] A. Raskin, « Societe Francophone de Biomateriaux Dentaires », Université Médicale Virtuelle Francophone, 2010.
- [2] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Amorphe>
- [3] K. El Guermai, “ les defaults de la structure cristalline”, Rabat, 2012.
- [4] https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9faut_ponctuel
- [5] « Les macles et les dislocations : des défauts parfois beaux et utiles », Techniques de l'ingénieur, 2012
- [6] N. Capron, « chimie des solides du cristal parfait au cristal réel », Réseau Français de Chimie Théorique Label "Chimie Théorique", Niveau M2, Paris, 2012.
- [7] C. Laulhé, « défauts dans les cristaux », Cours de licence physique et application.
- [8] https://fr.wikiversity.org/wiki/introduction_à_la_science_des_matériaux/Défauts_les_cristaux
- [9] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Dopage_\(semi-conducteur\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Dopage_(semi-conducteur))
- [10] A. Belayachi, « Matériaux semi-conducteurs » Présentation, Rabat, 2013.
- [11] S. Enrichetta, “Recombination mechanisms in crystalline silicon: bulk and surface contributions”, international journal of Photoenergy Vol. 1 ,1999.
- [12] G. Mathian, H.Amzil, “Dependance electronic properties of polysilicon grain size intra grain defects “, solide sta. Elect. Vol.26, 1983
- [13] M. L. Ciurea, V. Iancu, S. Lazanu, A.-M. Lepadatu, E. Rusnac, I. Stavarache, "defects in silicon: from bulk crystals to nanostructures" ,Romanian Reports in Physics, Vol. 60, No. 3, 2008.
- [14] R.Lakhdari, « Etude par simulation numérique de l'effet des défauts dans une cellule solaire N/P en silicium cristallin », Mémoire de Master, Biskra, 2014
- [15] A. Ali, T. Gouveas, M.-A.Hasan, S. H.Zaidi , M. Asghar, "Influence of deep level defects on the performance of crystalline silicon solar cells: Experimental and simulation study" Solar Energy Materials & SolarCells », Vol95, 2011
- [16] Y. Merabet, « Etude Des Caractéristiques Structurelles Des Couches Minces De ZnO. Application à une Cellule Photovoltaïque. », Mémoire de Master, Tlemcen, 2013
- [17] S. Faÿ « L'oxyde De Zinc Par Dépôt Chimique En Phase Vapeur Comme Contact Electrique Transparent Et Diffuseur De Lumière Pour Les Cellules Solaires », EPF de Lausanne, 2003.
- [18] S. Brochen, « Propriétés électriques du ZnO monocristallin », Thèse de Doctorat, Grenoble, 2006.
- [19] H. von Wenckstern, H. Schmidt, M. Brandt, A. Lajn, R. Pickenhain, M. Lorenz, M. Grundmann, D. Hofmann, A. Polity, B. Meyer, H. Saal, M. Binnewies, A. Börger, K.-D. Becker, V. Tikhomirov et K. Jug. « Anionic and cationic substitution in ZnO ». Progress in Solid State Chemistry 37, 2009
- [20] A. Janotti et C. G Van de Walle. « Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor ». Reports on Progress in Physics 72, 2009.
- [21] R. Bensaha, « Elaboration des couches minces a base d'oxyde pour la dépollution de l'eau », Mémoire de Master, Tlemcen, 2016.
- [22] Capelle, « les macles et les dislocations », cours, metz, 2012
- [23] D.Yesref, « Optimisation d'une cellule solaire à base du silicium polycristallin en couche mince déposé sur un substrat en céramique », Mémoire de Magister, Tlemcen, 2013