

synthèse bibliographique sur les semi-conducteurs et le Matériau SnS

I.1. Introduction :

Les semi-conducteurs à large bande interdite et singulièrement leurs nanostructures sont au cœur de nombreux développements actuels.

Dans ce chapitre, nous proposons de présenter une brève revue des semi-conducteurs, en particulier des semi-conducteurs de type IV-VI, puis nous prenons un aperçu des propriétés de base du SnS, y compris sa structure cristalline, ses propriétés électriques et optiques.

I.2. Définition d'un semi-conducteur :

Un semi-conducteur est un solide cristallin dont les propriétés de conduction électrique sont Déterminées par deux bandes d'énergie particulières : d'une part, la bande de valence, qui correspond aux électrons impliqués dans les liaisons covalentes ; d'autre part, la bande de conduction, comprenant les électrons dans un état excité, qui peuvent se déplacer dans le Cristal [1].

Les matériaux semi-conducteurs possèdent une résistivité électrique qui diminue avec la température. Contrairement aux métaux, qui sont de bons conducteurs électriques mais dont la résistivité augmente avec la température. À température ambiante, la résistivité des semi-conducteurs se situe entre 10^{-2} et $10^9 \Omega \text{ cm}$, valeurs intermédiaires situées entre celles des bons conducteurs électriques ($10^{-6} \Omega \text{ cm}$) et celles des matériaux isolants (10^{14} à $10^{22} \Omega \text{ cm}$) [2].

I.3. Les différents types des semi-conducteurs :

I.3.1. Les semi-conducteurs intrinsèques :

Un semi-conducteur intrinsèque est un cristal idéal pur c'est-à- dire qui n'est pas pollué par des impuretés pouvant changer sa concentration des porteurs Libres (électrons, trous) [3].

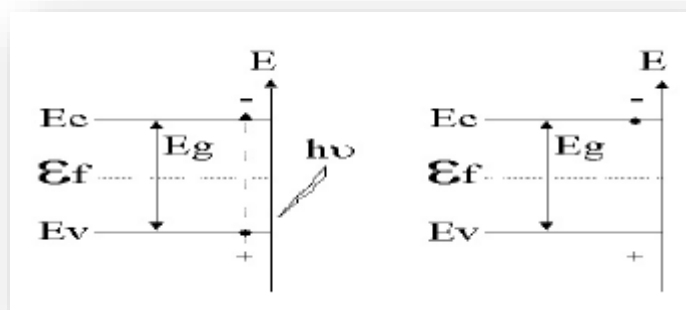


Figure. I.1 : Caractère intrinsèque d'un semi-conducteur [4].

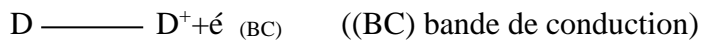
I.3.2. Les semi-conducteurs extrinsèques :

Un semi-conducteur extrinsèque est un semi-conducteur intrinsèque dopé par des impuretés spécifiques, tout en gardant le degré de pureté initial nettement supérieur au taux du dopage [5].

Il existe deux types de semi-conducteur extrinsèque :

I.3.2.1. Semi-conducteur de type n « donneur » :

Dans le cas d'un semi-conducteur de type n, les atomes dopants sont en substitution des Atomes du réseau et fournissent un électron à la bande de conduction selon le mécanisme :



D : l'élément donneur

L'augmentation de la concentration en électrons libres engendre un déplacement du niveau de Fermi du matériau vers la bande de conduction [4].

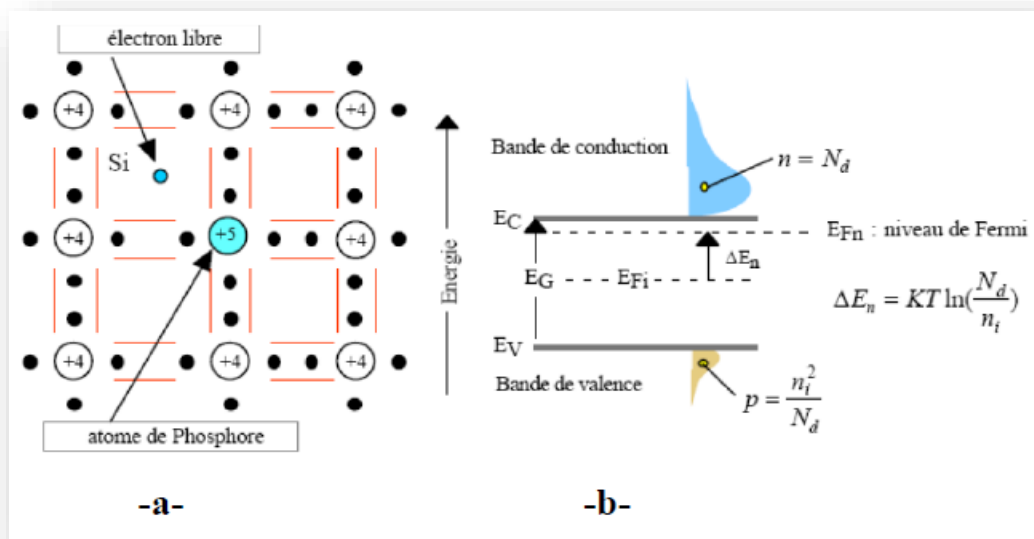
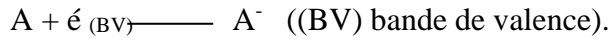


Figure. I.2 : dopage de type n, (a) montre la libération d'un électron par atome de Phosphore (b) schéma des bandes [3].

I.3.2.2. Semi-conducteur de type p « accepteur » :

Dans le cas d'un semi-conducteur de type p, les éléments dopants présentent un défaut d'électron par rapport à la matrice et captent un électron de la bande de valence selon le mécanisme :



Ils augmentent le nombre de charges positives dans la bande de valence et déplacent le niveau de Fermi vers la bande de valence [4].

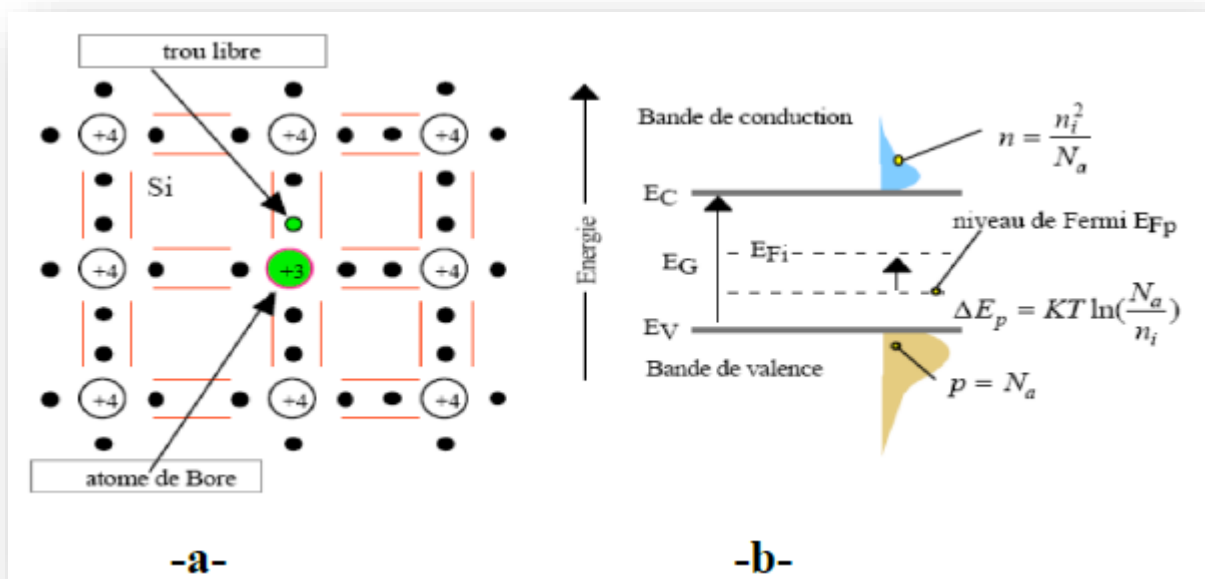


Figure. I .3: dopage de type p, (a) montre la libération d'un trou par atome de Bore, (b) schéma des bandes [3].

I.4. Les semi-conducteurs de type IV-VI :

I.4.1. Le groupe IV :

Les atomes de la colonne IV possèdent 2 électrons de valence sur leur dernière orbitale, par exemple : L'étain, Sn ([Kr] 4d10 5s2 5p2).

L'étain est un élément chimique de la famille des cristallogènes, de symbole Sn et de numéro atomique 50. C'est un métal gris-argent, malléable, moyennement ductile à Température ambiante. Il appartient à la 4ème colonne du tableau périodique, l'étain est compris, dans cette colonne, entre le germanium (Ge ; Z = 32) et le plomb (Pb ; Z = 82) [6].

Dans le tableau ci-dessous nous avons résumées quelques propriétés de ces trois éléments Ge, Sn et Pb :

Propriétés physiques	Ge	Sn	Pd
Numéro atomique	32	50	82
Poids atomique (g /cm ³)	72.59	118.710	207.2
Densité (g/cm ³)	5.32	7.30	11.4
Structure cristalline	Diamant	Diamant	-
Température de fusion (°K)	1210.4	505.06	600.6
Température d'ébullition (°K)	3107	2876	2023

Tab N°. I.1 : principales propriétés de quelque élément du groupe IV [7].

I.4.2. Le groupe VI :

La colonne 16 ou VIA (chalcogènes) de la classification périodique, située à droite de ce Groupe de quatre colonnes, est constituée de trois éléments non-métaux (O, S, Se), de deux Métalloïdes (Te, Po).

Tous les éléments de cette famille possèdent six électrons sur la couche de valence (ns^2np^4) ou $ns^2(n-1)d^{10}np^4$ comme le montre le tableau. I.2.C'est pour cela qu'ils ont une forte tendance à capter deux électrons ou à former deux liaisons covalentes pour acquérir une couche saturée, afin de respecter la règle de l'octet [8].

Élément	Symbole	Structure électronique
Oxygène	O	[He] 2s ² 2p ⁴
Soufre	S	[Ne] 3s ² 3p ⁴
Sélénium	Se	[Ar]3 d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴
Tellure	Te	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴

Tab N°. I.2 : structures électroniques des éléments chalcogènes.

L'élément soufre représente 0,60 % de la masse de la terre mais seulement 0,34 % de la masse De la croûte terrestre [8].

Propriétés physiques	S	Se	Te
Numéro atomique	16	34	52
Poids atomique (g /mol)	32.064	78.96	127.6
Structure cristalline	Rhomboédrique	Hexagonale	Hexagonale
Paramètre de réseau(A°)	/	a = 4.355 - 4.750 c = 4.72 – 4.949	a = 4.4570 c = 5.9290
Densité (g/ cm ³)	2.06	4.5 – 4.81	6.2199 (20°C)
Température de fusion (°C)	119	217	449.5 – 450

Tab N°. I.3: principales propriétés de quelque élément du groupe VI [9,10].

Les éléments des groupes IV et VI tels que Oxygène (O), Soufre (S), Sélénium (Se), Tellure (Te) Ge, Sn et Pb ...Peuvent former des composés entre eux : Oxydes (SiO₂, SnO₂), Sulfures (SnS, GeS), Séléniures (SnSe, PbSe), Tellurures (PbTe,GeTe), ainsi que d'autres composés [11].

I.5.Sulfure d'étain :

Les travaux sur SnS remontent au début du XXe siècle. Il a été signalé pour la première fois par un minéralogiste allemand herzenberg en 1932. Les composés binaires basés sur le système Sn-S ont un potentiel d'utilisation élevé dans les dispositifs optoélectroniques [12].

Le sulfure d'étain forme une variété de phases, telles que SnS (orthorhombique/ Zinc blende) SnS₂ (Hexagonale/ Trigonale), Sn₂S₃ (orthorhombique), et Sn₃S₄ (Tetragonale) [13] en raison de la polyvalence des caractéristiques de coordination de l'étain et du soufre.

Du point de vue technologique, le mono sulfure d'étain (SnS), le disulfure d'étain (SnS₂) et le composé Sn₂S₃ sont parmi les matériaux les plus intéressants, surtout les deux formes : SnS et SnS₂ [14].

I.6. Mono sulfure d'étain SnS :

Nommé aussi sulfure d'étain, le SnS est un composant du groupe IV-VI des semi-conducteurs constitué, par l'association d'atome d'étain de la colonne IV et l'atome soufre de la colonne VI de la table périodique des éléments chimiques [6].

Le matériau SnS attire beaucoup d'attention ces dernières années pour ses propriétés optiques, électriques...etc [15].

I.6.1. Les Propriétés cristallographique du SnS :

Il existe principalement deux types de structure cristalline pour le SnS, orthorhombique et Zinc blende.

À la température ambiante la structure du SnS est Orthorhombique, cette structure se compose de doubles couches perpendiculaires à l'axe c dans lesquelles les atomes Sn et S sont reliés par des faibles forces de Vander Waals [17].

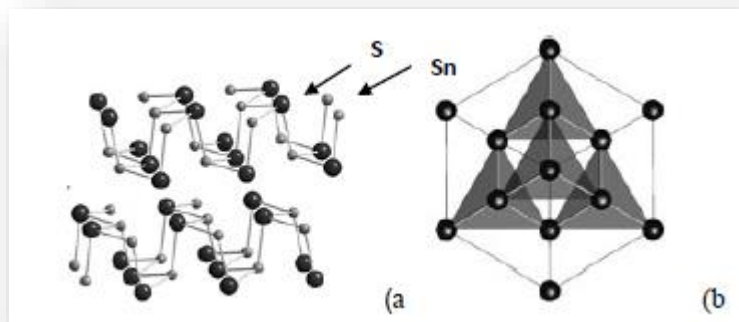


Figure. I.4 : Schéma de structures orthorhombique (a) et zinc blende (b) de SnS [6].

Les mailles élémentaires des deux structures ; zinc blende et orthorhombique sont présentées sur la figure ci-dessus. A partir de ces deux structures, nous remarquons que la structure zinc blende est plus dure et compacte que celle de l'orthorhombique, Mais la formation de cette structure reste très rare par rapport à l'orthorhombique qui est plus fréquente et plus stable [18,16].

N. K. Reddy, et al [20], ont élaboré des films de SnS par la technique de spray sur des substrats en verre à une température variant entre 100 et 450°C. Les films obtenus à 350°C sont

monophasés avec une orientation préférentielle sur le plan (111) qui correspond à la structure orthorhombique de SnS. Cependant, pour les températures du substrat ($T_s \leq 275^\circ\text{C}$ et $T_s \geq 425^\circ\text{C}$) on a noté la présence d'autres phases comme SnS₂, Sn₂S₃ et SnO₂ [19, 20].

La présence de la phase SnO₂ à haute température est due à l'évaporation du soufre Car il est connu comme étant un élément très volatil c'est pour cela que l'oxygène le remplace. Ce phénomène a été confirmé par plusieurs auteurs [21].

I.6.2. Les propriétés optiques de SnS :

L'étude des propriétés optiques de la couche de sulfure d'étain est très importante en raison de son utilisation comme couche absorbante dans les cellules solaires. La transmittance, l'absorbance et le gap optique sont les propriétés optiques les plus intéressants dans la conversion photovoltaïque.

a) La transmittance :

Les films minces du sulfure d'étain SnS ont une transmittance faible dans la région du visible du spectre solaire 400 à 800 nm, ce qui permet son utilisation comme matériau absorbeur dans les cellules photovoltaïques [22].

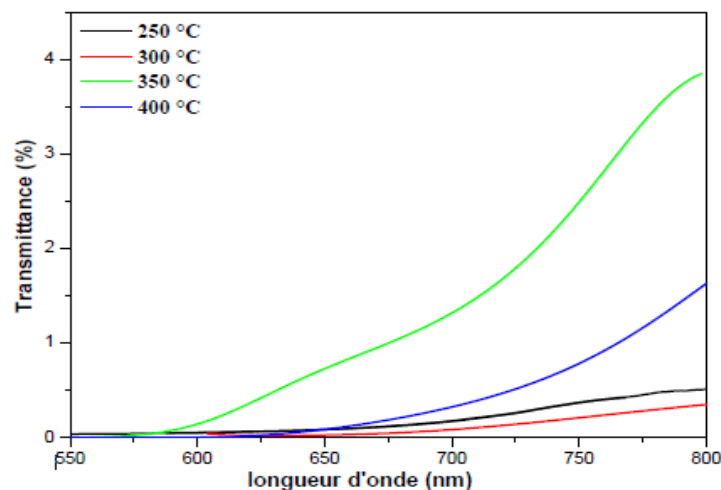


Fig. I.5 : spectres de transmittance des films SnS élaborés à différentes températures de Substrat [6].

La figure. I.6: montre le spectre de transmittance des films SnS préparés par la technique spray à différentes températures du substrat.

b) Le coefficient d'absorption et le gap optique de SnS :

Le SnS a un coefficient d'absorption (α) très élevé comme indiqué dans la figure I.6 au-dessus de la bande interdite [23] (E_g), il a un gap direct de 1.2-1.5ev et un gap indirect de 1.1ev [24].

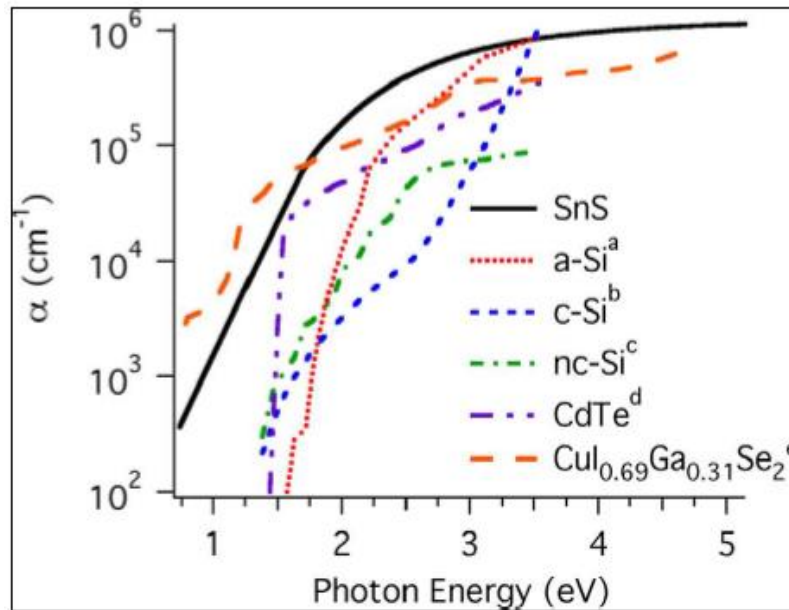


Figure. I.6 : Coefficients d'absorption pour les matériaux utilisés fréquemment dans les Panneaux photovoltaïques par rapport au SnS pulvérisée [13].

Cette figure montre le coefficient d'absorption de SnS par rapport aux matériaux absorbants traditionnels utilisés dans l'industrie, Où l'on note que les propriétés d'absorption de SnS sont proches ou supérieures à la majorité des matériaux qui existe dans le marché. Le tableau suivant présente les valeurs du gap optique de SnS données par divers chercheurs selon les variétés des techniques de dépôt des films de SnS.

Technique de dépôt	Température de dépôt (°C)	Epaisseurs (μm)	Gap optique E_g (eV)	Réf
CBD	30	0.270	1.5	[25]
Spray	375	0.95	1.3	[26]
Evaporation Thermique	200-400	0.650	1.33-1.53	[27]
Electrodéposition	55	1.325	1.1	[28]

Tab N°. I.4 : Valeurs du gap optique de SnS élaboré par différentes techniques de dépôt.

A partir de ces résultats, la valeur moyenne du gap rapportée dans la plupart des études relatives au SnS préparé avec différentes méthodes est de l'ordre de 1.3 eV.

I.6.3. Propriété électrique du SnS :

La résistivité électrique des films SnS pour la structure orthorhombique dans l'obscurité est normalement entre 10^5 à $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$. Et la résistivité électrique des films SnS, zinc blende dans l'obscurité se situe autour de $1.7 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$. Il est normalement admis qu'une très haute résistivité électrique n'est pas bénéfique pour l'application dans les cellules solaires [15]. Alors, afin de dépasser cet obstacle plusieurs chercheurs ont étudié les propriétés électriques du SnS notamment l'identification des défauts limitant la performance de ce matériau. [5]. En outre, le SnS a à la fois le type p et n de conduction [29].

I.6.4. Application des films mince de sulfure d'étain :

Le sulfure d'étain (SnS) est utilisé dans diverses application telles que les systèmes d'enregistrement holographiques, et les cellules solaires photovoltaïques car ses éléments constitutifs sont peu coûteux, respectueux de l'environnement et facilement disponibles dans la nature [8].

1.7. Disulfure d'étain SnS₂ :

Le disulfure d'étain (SnS₂) est un semi-conducteur de type n à structure hexagonale de L'iodure de cadmium (CdI₂). Il est composé de feuilles d'atomes d'étain prises en sandwich entre

deux feuilles compactes d'atomes de soufre [30]. Il a montré un potentiel important pour la photo détectrice et pour la couche fenêtre dans les cellules solaires en raison de la forte mobilité des porteurs et de la large bande interdite qui varie entre 2,24 et 2,6 eV, selon différentes sources [31].

Les films minces SnS₂ ont été préparés en utilisant diverses procédures telles que le dépôt chimique en phase vapeur [32], dépôt chimique [33], dépôt de revêtement par trempage [34], spray [35], etc. .

La conductivité de type p et n de SnS et SnS₂ ouvre la voie au développement de cellules solaires à base de p-SnS / n-SnS₂ [36]. Un récent calcul théorique révèle que le rendement de conversion de ces cellules solaires est de 25,3% [37].

1.7.1. Structure cristalline de SnS₂ :

Disulfure d'étain (SnS₂) est une couche semi-conductrice à structure de type CdI₂ ou PbI₂ avec une cellule primitive Hexagonal. Il est composé de feuilles d'atomes d'étain prise en sandwich entre deux feuilles serrées d'atomes de soufre [30].

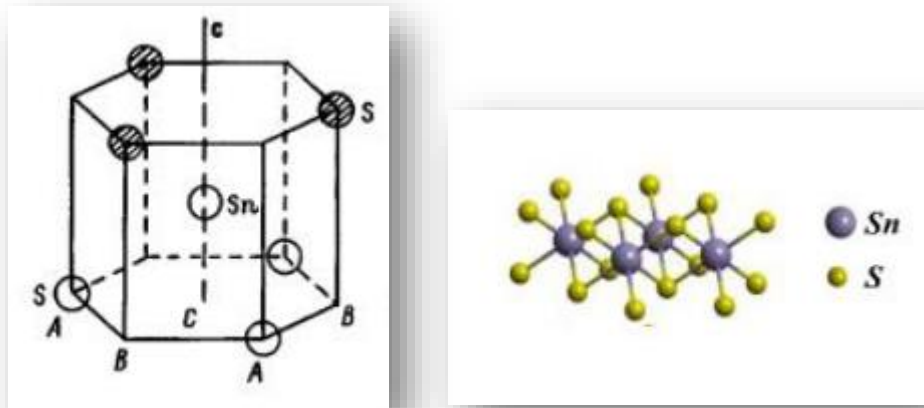


Figure.1.7. Location des atomes dans une couche mono-moléculaire de SnS₂ [7].

1.7.2. Propriétés optique de SnS₂ :

En ce qui concerne le SnS₂, il a des propriétés très intéressantes lié à la conversion électrique et aux mécanismes de conduction, et surtout à l'absorption optique dans la région

visible. Il a un grand coefficient d'absorption dans la région visible ($>10^4 \text{ cm}^{-1}$) [7], et une bande de gap qui varie dans la palette 2,24 et 2,6 eV [31], et un fort comportement pour la photoconductivité. Ces propriétés montrent que c'est un bon matériau pour les cellules solaire en tant qu'absorbeur ou un matériau fenêtre et aussi pour les applications des appareils optoélectronique [7].

I.7.3. Propriétés électrique de SnS₂ :

On le compare avec le SnS, le SnS₂ a la possibilité de représenter à la fois le type p et le type n de conduction. Mais dans certaines conditions il représente une conductivité électrique de type-n. Ces deux caractéristiques font de ce composé adéquat pour le rôle d'un matériau fenêtre dans la structure des hétérojonctions [7].

I.8. Conclusion :

Dans ce chapitre ont été passé en revue les propriétés des semi-conducteurs particulièrement les semi-conducteurs binaires, Nous avons également présenté les différentes propriétés structurales, électroniques et optiques des matériaux SnS.

Références du chapitre I

- [1] Mr. Said Benramache, « Elaboration et caractérisation des couches minces de ZnO Dopées Cobalt et indium », mémoire de doctorat, université mohamed khider – biskra, 2012.
- [2] Salah Yahiaoui, « L'effet de la molarité des différentes sources d'étain sur les propriétés Des couches minces d'oxyde d'étain SnO₂ élaborées par spray ultrasonique », mémoire de Magister, université mohamed khider – biskra, 2014.
- [3] Physique des solides et des semi-conducteurs et dispositifs, prof olivier bonnaud, Université de rennes 1, Juin, (2003).
- [4] Souad Laghrib, « Synthèse des films minces de : SnO₂, SnO₂: In par deux procédés Physique et chimique et étude de leur caractérisation », mémoire de doctorat, université ferhat Abbas-setif- .
- [5] Khoualdia Sabah, « Etude des Propriétés Structurales et Electroniques des semi-Conducteurs Binaires CaX (X=S, Se, Te) », mémoire de master, université larbi Tébessi ,2016.
- [6] Meriem Messaoudi, « Elaboration et caractérisation de couches minces SnS », mémoire de doctorat lmd, université freres mentouri-costantine, 2016.
- [7] Kenza Kamli, - Elaboration et caractérisation physico-chimique des couches minces de sulfure d'étain par spray ultrasonique : Effet des sources d'étain- Mémoire de Magister, Université mohamed khider-biskra, 2013.
- [8] Imane bouhaf kherkhachi, « étude de couche mince de sulfure d'étain (SnS) élaborée par moyens chimique pour application technologiques », », mémoire de doctorat, université med khider de biskra 2016-2017.
- [9] P. Baranski, V. Klotchkov, I. potykévitch, aide-mémoire, deuxième partie, éditions de Moscou, 1978.
- [10] [http://www. Fiches internationales de sécurité chimique. Soufre. htm](http://www.Fiches internationales de sécurité chimique. Soufre. htm).
- [11] T. Chattopadhyay, A. Werner, H. G. von Schnering, Revue Phys. Appl. 19, (1984) 807-813.
- [12] R. Herzenberg, Rev. Miner 4 (1932) 33.
- [13] R.E. Banai, M.W. Horn, J.R.S. Brownson, Solar Energy Materials & Solar Cells, 150 (2016) 112–129.
- [14] M. Calixto-Rodriguez, H. Martinez, A. Sanchez-Juarez, J. Campos-Alvarez, A. Tiburcio-Silver, M.E. Calixto, J.Thin Solid Films 517 (2009) 2497–2499.
- [15] C. Gao, H. Shen, L. Sun, Applied Surface Science, 257 (2011) 6750-6755.

- [16] M^{lle} Rafiaa Kihal « Préparation par électrodéposition de semi-conducteurs en couche Minces à base d'étain pour des cellules photovoltaïques », mémoire de doctorat, université 8 mai 1945 guelma, 2018.
- [17] J. Chao, Z. Xie, X.B. Duan, Y. Dong, Z. Wang, J. Xu, B. Liang, B. Shan, J. Ye, D. Chen and G. Shen, *Cryst. Eng. Comm*, 14 (2012) 3163.
- [18] Kenza Kamli « Etude et élaboration des composés binaires et ternaires destinés à des Applications photovoltaïques », mémoire de doctorat, université badji mokhtar-annaba ,2017.
- [19] N. Koteeswara Reddy, K.T. Ramakrishna Reddy “Electrical properties of spray pyrolytic tin sulfide films”, *Solid-State Electronics* 49, (2005), 902–906.
- [20] M. Calixto-Rodriguez, H. Martinez, A. Sanchez-Juarez, J. Campos-Alvarez, A. Tiburcio-Silver, M.E. Calixto, *J. Thin Solid Films* 517 (2009) 2497–2499.
- [21] G.H. Yue, D.L. Peng, P.X. Yan, L.S. Wang, W. Wang, X.H. Luo, *J. Alloys and Compounds* 468 (2009) 254–257.
- [22] E. Guneri, C. Ulutas, F. Kirmizigul, G. Altindemir, F. Gode, C. Gumus, *J. Appl Surf Sci* 257 (2010) 1189–1195.
- [23] D. Avellaneda, M.T.S. Nair, P.K. Nair, *J. Electrochem. Soc.* 155(7) (2008) D517–D525.
- [24] T. Sorgenfrei, F. Hofherr, T. Jauß, A. Cröll, *Cryst. Res. Technol.* 48(4) (2013) 193–199.
- [25] Y. Jayasree, U. Chalapathi, P. Uday Bhaskar, V. Sundara Raja “Effect of precursor concentration and bath temperature on the growth of chemical bath deposited tin sulphide thin films”, *Applied Surface Science*. 258, (2012), 2732–2740.
- [26] T.H. Sajeesh, Anita R. Warriar, C. Sudha Kartha, K.P. Vijayakumar, “Optimization of parameters of chemical spray pyrolysis technique to get n and p-type layers of SnS”, *Thin Solid Films* 518, (2010), 4370–4374.
- [27] Biswajit Ghosh, Rupanjali Bhattacharjee, Pushan Banerjee, Subrata Das, “Structural and optoelectronic properties of vacuum evaporated SnS thin films annealed in argon ambient”, *Applied Surface Science* 257, (2011), 3670–3676.
- [28] R. Mariappana, T. Mahalingamb, V. Ponnuswamy, “Preparation and characterization of electrodeposited SnS thin films”, *Optik* 122, (2011), 2216–2219.
- [29] B.G. Jeyaprakash, R. Ashok kumar, K. Kesavan, A. Amalarani, *Journal of American Science* 6(3):22-26, (2010) ISSN: 1545-1003.
- [30] D.L. Greenaway, R. Nitsche, *J. Phys. Chem. Solids* 26, 1445(1965).
- [31] *International Journal of Materials Science and Applications* 2016; 5(5): 188-193. [32] L. S. Price, I. P. Parkin, A. M. E. Hardy and R. J. H. Clark. (1999) *Chem. Mater.* 11, 1792.

- [33] C. D. Lokhande (1990) *J. Phys. D: Appl. Phys.* 23, 1703.
- [34] S. K. Panda, A. Antonakos, E. Liarokapis, S. Bhattacharya and S. Chaudhuri (2007) *Mater. Res. Bull.* 42, 576.
- [35] C. Khélia, K. Boubaker, T. B. Nasrallah, M. Amlouk and S. Belgacem (2009) *J. Alloys Compd.* 461, 477.
- [36] J.-H. Ahn, M.-J. Lee, H. Heo, J.H. Sung, K. Kim, H. Hwang, M.H. Jo, Deterministic Two-Dimensional Polymorphism Growth of Hexagonal n-Type SnS₂ and Orthorhombic p-Type SnS Crystals, *Nano Lett.* 15 (2015) 3703–8. doi: 10.1021/acs.nanolett.5b00079.
- [37] S. Lin, X. Li, H. Pan, H. Chen, X. Li, Y. Li, Numerical analysis of SnS homojunction solar cell, *Superlattices Microstruct.* 91 (2016) 375–382. doi: 10.1016/j.spmi.2016.01.037.

Chapitre-II : Techniques d'élaboration et de caractérisation

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter des généralités sur les couches minces et les différentes méthodes de leur dépôt et les techniques de caractérisation.

II .2. Généralités sur les couches minces :

II.2.1. Définition d'une couche mince :

Par principe, une couche mince d'un matériau donné est un élément de ce matériau dont l'une des dimensions qu'on appelle l'épaisseur, a été fortement réduite, de telle sorte qu'elle varie de quelques nanomètres "nm" à quelques micromètres " μm ". [1] Cette très faible distance entre les deux surfaces limites entraîne une perturbation de la majorité des propriétés physiques. La différence essentielle entre le matériau à l'état massif et à l'état de couches minces est en effet liée au fait que, dans l'état massif, on néglige, généralement, le rôle des limites dans les propriétés, tandis que, dans une couche mince, ce sont au contraire les effets liés aux surfaces limites qui sont prépondérants. Il est assez évident que plus l'épaisseur sera faible et plus cet effet de bi dimensionnalité sera exacerbé, et qu'inversement lorsque l'épaisseur d'une couche mince dépassera un certain seuil l'effet des limites deviendra minime et le matériau retrouvera les propriétés bien connues du matériau massif [2].

II.2.2. Intérêt et caractéristiques des couches minces :

L'intérêt accordé aux couches minces provient essentiellement de l'utilisation économique des matériaux en rapport avec les propriétés physiques et de la simplicité des technologies mise en œuvre pour leur réalisation (élaboration facile, peu coûteuse...) [1]. Une Grande variété de matériaux est utilisée pour produire ces couches minces, on peut citer les Métaux, alliages, oxydes, les polymères... [2].

La seconde caractéristique essentielle d'une couche mince est quelle que soit la procédure employée pour sa fabrication, une couche mince est toujours solidaire d'un substrat sur lequel elle est construite.

Ainsi une couche mince d'un même matériau, de même épaisseur pourra avoir des propriétés Physiques sensiblement différentes selon qu'elle sera déposée sur un substrat isolant amorphe tel le verre, ou un substrat monocristallin de silicium par exemple [1][2].

II.2.3. Mécanismes de croissance des couches minces :

Tous les procédés d'élaboration de films minces se font en trois étapes :

- La production des espèces ioniques, moléculaires, atomiques appropriées.
- Le transport de ces espèces vers le substrat.
- Condensation sur ce même substrat : la nucléation, coalescence puis la croissance.

Les procédés de déposition de couches minces sont illustrés dans la figure suivante :

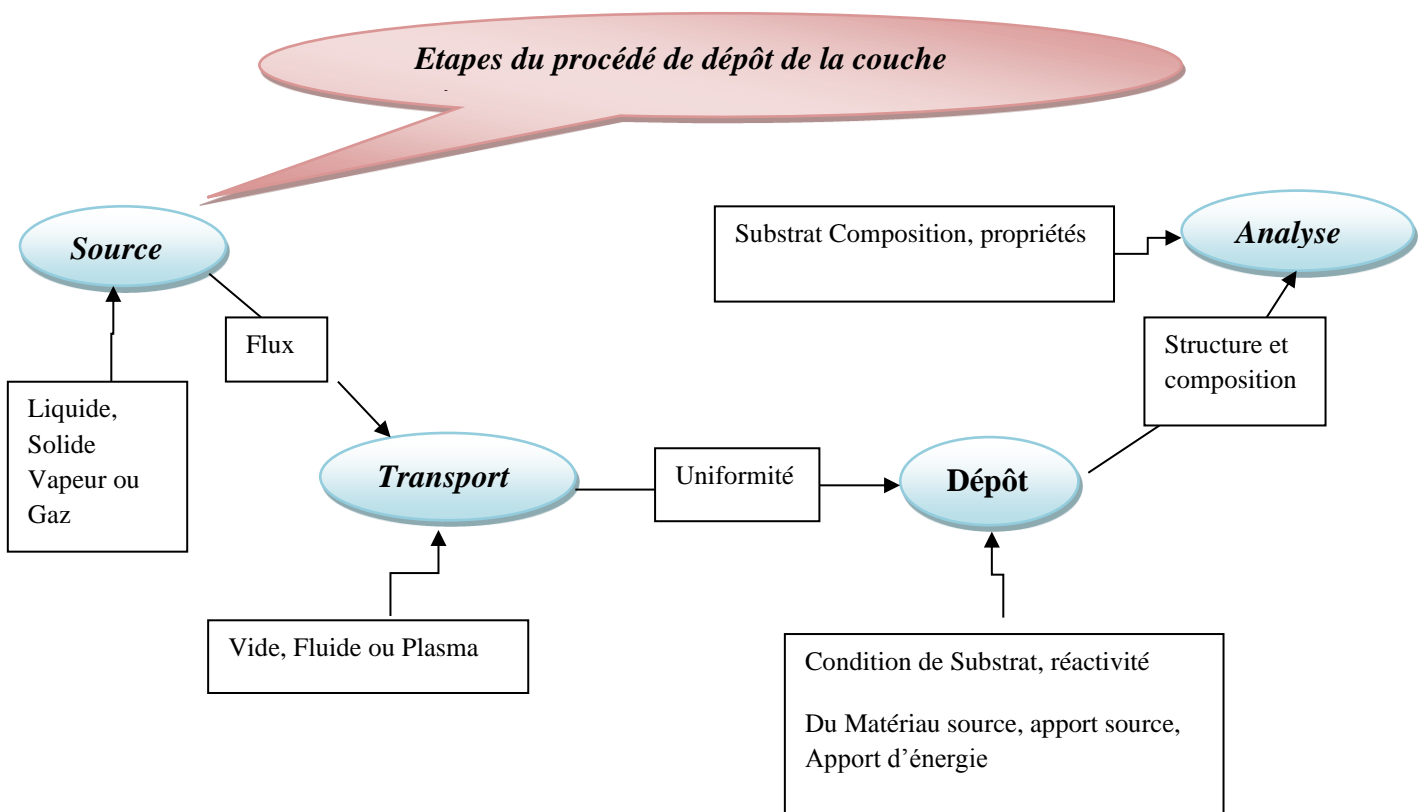


Figure. II.1 : Diagramme des étapes du procédé de fabrication de couches minces.

b) Nucléation :

C'est le phénomène qui accompagne les changements d'état de la matière et qui consiste en l'apparition, au sein d'un milieu donné, de points de transformation à partir desquels se développe une nouvelle structure physique ou chimique. Les espèces pulvérisées arrivant sur le substrat ne sont pas thermodynamiquement en équilibre avec le substrat et se déplacent sur toute la surface de celui-ci. Dans cet état, elles interagissent entre elles et forment ce que l'on appelle de "clusters". [3] Ces "clusters" appelés également nuclei ou îlots, sont instables et tendent à se désorber.