

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la**  
**Recherche Scientifique**



**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**

**FACULTE DES SCIENCES EXACTES**

**DEPARTEMENT DE PHYSIQUE**



**THESE**

Présentée pour l'obtention du diplôme de

**DOCTORAT EN SCIENCES**

Option : Physique

Présenté par:

**SLIMANI Hamza**

**Thème**

**Elaboration, caractérisation et modélisation d'un  
nouveau matériau à base d'un verre-conducteur par  
déposition chimique**

Soutenue le 21 /12 / 2020 devant le Jury :

<b>BEGGAS Azzeddine</b>	<b>MCA</b>	<b>Université d'El Oued</b>	<b>Président</b>
<b>LAOUINI Salah Eddine</b>	<b>MCA</b>	<b>Université d'El Oued</b>	<b>Directeur de thèse</b>
<b>IBRIR Miloud</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université de M'sila</b>	<b>Examineur</b>
<b>ZIDANI Mosbah</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université de Batna</b>	<b>Examineur</b>
<b>BEN HAMIDA Soufiane</b>	<b>MCA</b>	<b>Université d'Ouargla</b>	<b>Examineur</b>
<b>BEN MAYA Omar</b>	<b>MCA</b>	<b>Université d'El Oued</b>	<b>Examineur</b>

**2020-2021**

# SOMMAIRE

## Références

### Chapitre 1: Etat de l'art sur la préparation des couches minces de type TCOs

1-	Introduction .....	7
2-	Généralité sur les oxydes transparents conducteurs (TCOs) .....	7
3-	Propriétés des oxydes transparents conducteurs (TCOs) .....	9
4-	Technologies des oxydes transparents conducteurs (TCOs) .....	11
5-	Structure des bandes d'énergie .....	12
6-	Technologie des couches minces .....	13
7-	Nanosciences .....	15
8-	Matériaux de type TCO .....	17
9-	Nano matériaux de type TCO .....	20
10-	Différents types de semiconducteurs .....	21
10-1-	Semiconducteurs intrinsèques .....	21
10-2-	Semiconducteurs extrinsèques .....	22
11-	Dopage de TCO : .....	22
11-1-	Dopage type N .....	22
11-2-	Dopage type P .....	23
12-	Propriétés électriques des TCOs .....	24
12-1-	Mobilité .....	24

12-2-	Interaction avec les impuretés ionisées .....	24
12-3-	Interaction avec les phonons .....	24
12-3-1-	phonons optiques .....	24
12-3-2-	Phonons acoustiques .....	25
12-4-	Quatre Pointes .....	25
12-4-1-	Conductivité .....	25
12-4-2-	Résistance carrée .....	25
13-	Critères de choie des TCOs .....	27
13-1-	Oxyde d'étain dope fluor .....	27
13-2-	Notions de base sur le SnO <sub>2</sub> .....	28
13-3-	Etudes sur les couches minces de type SnO <sub>2</sub> dopé fluor .....	29
14-	Avantages et inconvénients des TCOs .....	31
15-	Verre .....	32
16-	Conclusion .....	35
	Références .....	36

## Chapitre 2: Procédure de dépôt et des caractérisations des couches minces

1-	Introduction .....	43
2-	Rappels sur les méthodes de déposition des couches minces .....	43
2-1-	La méthode spray pyrolyse .....	43
2-2-	Méthode sol gel .....	47
2-3-	Dépôt en phase vapeur chimique "CVD" .....	49
2-4-	Dépôt en phase vapeur physique (PVD) .....	50
2-4-1-	L'évaporation sous vide .....	51
2-4-2-	La pulvérisation cathodique sous vide .....	52
2-4-3-	Méthodes de pulvérisation cathodique .....	53
3-	Méthodes de caractérisations .....	54
3-1-	Microscope électronique à balayage (MEB).....	54
3-2-	EDX .....	56
3-3-	La diffraction des rayons X (DRX) .....	58
3-3-1-	Principes de la technique .....	60
3-3-2-	Application aux couches minces .....	61
4-	Conclusion .....	62
	Référence .....	63

### Chapitre 3: Elaboration et caractérisation des couches minces de type ZnO/FTO

1-	Introduction .....	67
2-	Zinc .....	67
3-	Oxyde de zinc .....	69
4-	Propriétés d'oxyde de zinc .....	71
5-	Choix les substrats de dépôt du ZnO .....	72
5-1-	Nettoyage .....	72
5-2-	Préparation de la solution (précurseur) .....	72
6-	Propriétés optiques .....	73
7-	Propriétés électrique .....	75
8-	Structure électronique de bande .....	77
9-	Technique de spray pyrolyse .....	81
9-1-	Montage utilisé .....	81
9-2-	Préparation des substrats .....	81
9-3-	Dépôt électrochimique .....	81
9-4-	Procédure de dépôt .....	82
10-	Analyse par diffraction des rayons X .....	82
11-	Etude structurale et morphologique .....	84

12-	Spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDX) .....	87
13-	Nanorods NRs du ZnO .....	89
13-1-1-	Méthode hydrothermale.....	90
13-1-2-	Méthode sonochimique.....	90
13-1-3-	Dépôt électrochimique .....	90
13-1-4-	Spray pyrolyse.....	90
13-2-	Préparation des substrats .....	90
13-3-	Propriétés du ZnO NRs .....	91
13-4-	Conclusion .....	93
14-	Une nouvelle méthode de déterminer graphiquement l'énergie du gap à des courbes de transmittances.....	93
14-1-	Introduction .....	93
14-2-	La discussion.....	94
14-3-	Détermination de l'énergie du gap $E_g$ .....	95
14-3-1-	Modèle de calcul de $E_g$ avec la méthode habituelle (application sur ZnO/FTO)....	96
14-3-2-	Nouveau modèle de calcul $E_g$ (application sur ZnO/FTO).....	97
14-4-	Tableau comparative entre les valeurs des $E_g$ trouvées dans les 2 méthodes.....	99
15-	Energie d'Urbach .....	100
16-	Conclusion .....	103
	Références .....	104

## Chapitre 4: Elaboration et caractérisation des couches minces de type NiO/FTO

1-	Introduction .....	109
2-	Nickel .....	109
3-	Oxyde de nickel .....	112
4-	Propriétés d'oxyde de nickel .....	114
5-	Préparation de NiO/FTO .....	115
5-1-	Nettoyage .....	115
5-2-	Préparation de la solution (précurseur) .....	115
5-3-	Montage utilisé .....	116
5-4-	Procédure de dépôt .....	116
6-	Propriétés optiques .....	117
7-	Propriétés électriques .....	121
8-	Structure électronique de bande .....	122
9-	Diffraction des rayons X (DRX) .....	124
10-	Etude structurale et morphologique .....	126
11-	Spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDX) .....	130
12-	Calcul d'énergie de gap pour NiO/FTO .....	132
12-1-	Calcul d'Eg en se basant sur la courbe $(\alpha h\nu)^{1/2} = f(h\nu)$ .....	132

12-2-	Calcul d'énergie de gap en se basant sur la courbe de transmittance .....	133
12-3-	Tableau comparative entre les valeurs des Eg trouvées dans les 2 méthodes .....	135
13-	Energie d'Urbach .....	136
14-	Conclusion .....	140
	Références .....	141

## **Chapitre 5: Etude comparative entre les couches minces préparées**

1-	Introduction .....	147
2-	Application des oxydes étudiés .....	147
3-	Bilan récupilatif de ZnO/FTO .....	149
4-	Bilan recupilatif de NiO/FTO .....	150
5-	Discussion des résultants .....	152
5-1-	Comparaison des 2 métaux Zn, Ni .....	152
5-2-	Comparaison des 2 oxydes de Zinc et de nickel ZnO, NiO .....	152
5-2-1-	Quelques propriétés générales .....	152
5-2-2-	Propriétés électriques .....	153
5-2-3-	Propriétés optiques .....	154
5-2-4-	DRX, MEB et l'EDX .....	155
5-2-5-	L'énergie de gap $E_g$ avec la méthode classique .....	155
5-2-6-	L'énergie de gap $E_g$ avec la Nouvelle méthode .....	156
5-2-7-	L'énergie d'Urbach $E_u$ .....	157
6-	Conclusion .....	158
	Références .....	159
	[Conclusion générale et perspectives .....	163
	Article et Communication Internationale Complètes .....	166