

Conclusions et Perspectives

Cette thèse se proposait de réaliser un banc de dépôt des couches minces par la méthode dite spray pyrolyse. Pour ce faire, notre travail s'est décomposé en deux points essentiels à la concrétisation de l'objectif :

- ◆ La réalisation d'un banc de dépôt de couches minces au niveau de notre laboratoire.
- ◆ Dépôts et caractérisations de couches minces d'oxyde de zinc conducteur et transparent non dopé élaborées par procédé spray pyrolyse.

Dans la première partie, nous avons montré qu'il est possible de réaliser et de mettre au point un système (banc expérimental) de dépôt de couches minces de ZnO par la technique spray pyrolyse.

Dans la deuxième partie, des couches de ZnO ont été élaborées sur des substrats en verre par l'intermédiaire de notre système qui utilise le procédé spray pyrolyse.

Pour montrer l'efficacité de notre système nous avons donc été amenés à explorer diverses possibilités expérimentales, en vue de l'obtention de couches minces de ZnO de bonnes qualités optoélectroniques. Dans ce but, nous avons testé les deux précurseurs, le nitrate de zinc hydraté à six molécules d'eau et le chlorure de zinc anhydre. Dans tous les cas, nous avons utilisé l'eau distillée comme solvant et l'air comme gaz porteur.

Pour parvenir à l'optimisation de notre système, une étude assez complète de l'influence des conditions de déposition sur les caractéristiques structurales, électriques et optiques des couches a été nécessaire.

- L'influence de la température du substrat.
- L'influence du temps de dépôt.
- L'influence de la molarité de la solution du départ.
- L'influence de type du précurseurs dissous dans l'eau distillé

A partir des résultats obtenus lors des différentes caractérisations menées et des discussions correspondantes, on peut conclure **les conditions de dépôt nécessaires pour obtenir des couches de ZnO optimales en tant que TCO rugueux.**

Les principales conclusions qui ressortent de cette étude expérimentale sont :

- La technique d'élaboration des couches utilisée est économique, simple et adaptée aux conditions techniques locales.
- L'appareillage (le système) de procédé spray pyrolyse construit a donné des résultats satisfaisants.
- Des couches minces de ZnO dont l'épaisseur est inférieure à $1\mu\text{m}$, de faible résistivité électrique ($<10^{-1}\ \Omega\cdot\text{cm}$), d'un gap d'énergie de l'ordre de 3.3 eV et d'une transmission optique dans le visible supérieure à 80% ont été élaborées à des températures de substrat variant entre 350 °c et 600 °c.
- Dans le processus de déposition des couches ZnO par spray pyrolyse, la première phase (~3minutes) peut être considérée comme une phase transitoire. L'épaisseur du film varie linéairement avec la molarité de la solution. La morphologie des films dépend de la nature de la solution de base. L'observation au MEB de la surface des couches ZnO élaborées à partir du nitrate de zinc a révélée l'apparition de lignes particulières (nanotubes) qu'il faut étudier en détail.
- Nous pouvons également constater une corrélation entre les mesures électriques et les caractéristiques structurelles.
- Il apparaît que la transmittance des couches est une fonction de leurs épaisseurs.
- Les variations de valeurs de la résistivité du ZnO résultent de deux paramètres :
 - la stoechiométrie du matériau:
Dans ce cas, ce sont les atomes de zinc en excès qui agissent comme impuretés.
 - Augmentation du degré de la cristallisation:
Cet effet a été attribué à l'augmentation de la vitesse des réactions chimiques (taux de dépôt).
- La température est un paramètre de dépôt qui influence notablement sur la résistivité du matériau. Une température de l'ordre de 480°C est critique dans la variation des propriétés électrique du matériau. Au-delà de cette valeur le substrat peut jouer le rôle de recuit pendant le dépôt.

Enfin, **les différentes perspectives** que l'on peut envisager pour la suite de ce travail :

1- Caractérisations supplémentaires

Quelques mesures supplémentaires pourraient encore être effectuées sur les couches de ZnO déposées lors de ce travail de thèse par exemple :

- Microscope à force atomique (Atomic Force Microscopy, AFM). Cette technique de mesure permet d'obtenir la valeur moyenne rms (Root Mean Square) de la rugosité de surface de ces couches.
- Micrographies MET des couches de ZnO. Le MET permet d'étudier la structure et le mode de croissance des films de ZnO.
- Les mesures d'effet Hall, l'effet Hall mesure également la résistivité mais permet principalement de déterminer la densité et la mobilité des porteurs dans les films. Il devient alors possible de lier les propriétés structurales et électriques.

2- Etendue des variations des paramètres de dépôt :

Tous les paramètres de dépôt étudiés lors de ce travail de thèse ont été variés relativement sur de larges gammes de valeur. Cependant, les résultats observés laissent penser de faire varier ces paramètres sur des plus grandes gammes de valeurs, afin de voir s'il y'a une amélioration significative des propriétés des couches de ZnO.

3- Amélioration du système pour faire le dopage :

Il est possible d'améliorer la technique de dépôt par Spray Pyrolyse développée dans notre laboratoire en augmentant la décomposition et la réactivité des divers composants nécessaires à la croissance du ZnO et à son dopage par d'autres matériaux comme L'Aluminium.