



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا للمناجم والمعادن - عمار العسكري - عنابة
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES ET DE LA METALLURGIE
AMAR LASKRI- ANNABA

Département Science et Génie des Matériaux

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Science et Génie des Matériaux

Spécialité : Traitement de Surface

Thème

Elaboration et caractérisations en couche mince d'oxyde de zinc pour l'application de capteur de gaz

Présenté par :

Kawthar MENNA

Encadré par :

Dr. Mohammed Cherif BENOUDIA

Jury de Soutenance

Mohammed RETIMA

Professeur, ENSMM-Annaba

Président

Louiza BENDJEDDOU

MCB, ENSMM-Annaba

Examineur Principal

Mohammed Cherif BENOUDIA

MCA, ENSMM-Annaba

Encadreur

Septembre 2019

Dédicaces

Avant tous je rends grâce à dieu de m'avoir donné la force et le courage d'achever ce travail.

Je dédie ce modeste travail a :

À mes Parents, pour leur soutien moral tout au long de mes études.

Les mots ne suffisent pas pour vous remercier assez, j'espère seulement que j'ai pu réaliser l'un de vos rêves en poursuivant mes études.

À Mes chers frères : AKRAM ET ABD ANOUR

À mes chères sœurs MEYSSOUNE et NOUR

À ma grande famille

À Tous les étudiants de la promotion

A tous mes amies

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Toutes qui m'ont souhaité le succès et le bonheur Dans ma vie.

Karther

REMERCIEMENTS

Je remercie d'abord **ALLAH** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.

Le travail expérimental présenté dans cette mémoire a été réalisé dans la division corrosion et durabilité des matériaux au sein du Centre de Recherche en Technologie Industrielle (**CRTI**) à Chéraga, Alger. Nous tiendrons à remercier tout particulièrement la direction de CRTI pour nous avoir permis d'effectuer ce stage dans leurs locaux.

J'adresse mon remerciement à **Dr. BENOUDIA Mohamed Cherif**, un maître de conférences A à l'Ecole Nationale des Mines et Métallurgie à Annaba(**ENSMM**) pour nous avoir dirigé dans notre travail.

mes remerciements les plus sincères à Monsieur le **PROFESSEUR RETIMA**, pour nous avoir accepté de présider ce jury.

Que **DR.BENDJEDOU** soit assuré de mes sincère reconnaissance pour avoir accepté d'être le rapporteur de ce travail, et pour l'honneur qu'il nous fait de participer à ce jury.

Nous ne seront terminés sans exprimer nos remerciements les plus vifs à tous nos enseignants d'ENSMM Annaba et à tout le personnel administratif qui nous a supporté pendant les trois années.

Finalement j'exprime mes sincères remerciements à toutes personnes ayant participé de près ou de loin au bon déroulement de ce stage et à la réalisation de ce manuscrit.

Table des matières

Dédicace

Remerciements

Résumé

Tables de matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale **1-2**

Références Bibliographiques **3**

Chapitre 01: Synthèse Bibliographique..... **4-14**

Partie I: Généralités sur l'oxyde de Zinc (ZnO) et leur applications..... **5**

I.Introduction..... 5

II.Propriétés de ZnO (couches minces) 5

II.1. Propriétés structurales (cristallographique) 5

II.2. Propriétés chimiques et catalytiques..... 6

III. Applications de l'oxyde de zinc en couche mince 7

Partie II : Généralités sur les capteurs **8**

I.Capteurs de gaz 8

I.1. Principe de la structure d'un capteur de gaz..... 8

I.2. Constitution d'un capteur à gaz 8

I.3. Caractéristiques métrologiques des capteurs de gaz..... 9

II.Capteurs à base d'oxyde métallique11

III.Capteurs chimiques à ondes acoustiques12

III.1. Définition.....12

III.2. Capteur à onde acoustique de surface SAW13

III.3. Capteurs à onde de volume BAW13

III.4. Les résonateurs à quartz commerciaux13

Références bibliographiques.....15

Chapitre 02: Techniques Expérimentales..... **16-21**

I.Introduction.....17

II.Dépôt humide (micro pipetage).....17

II.1. Description de la technique17

II.2. Montage expérimentale.....18

II.3. Choix du substrat.....18

II.4.	Nettoyage du substrat	19
II.5.	Choix du matériau	19
II.6.	Conditions des dépôts par micropipetage.....	20
II.7.	Préparation de la solution.....	20
II.8.	Réaction thermochimique de solidification ou de cristallisation	20
III.	Les techniques de caractérisation.....	21
III.1.	Microscopie optique	21
III.2.	La microscopie à force atomique (AFM)	21
Références bibliographiques.....		22
<u>Chapitre 01: Synthèse Bibliographique.....</u>		<u>23-31</u>
I.	Introduction.....	24
II.	Caractérisation des films ZnO déposés	24
II.1.	Microscopie optique	24
II.2.	Microscopie à force atomique (AFM)	25
II.3.	Application à la détection des gaz	26
II.3.1.	Réalisation d'un capteur à base ZnO /QCM	26
II.3.2.	Principe de la détection	26
II.3.3.	Démarche expérimentale	27
II.3.4.	Concentration du gaz débité dans le dispositif de détection	27
II.3.5.	Calcul de la concentration du gaz	28
III.	Résultats obtenus et discussion	29
Références bibliographiques.....		32
<u>Conclusion et Perspectives</u>		<u>33-34</u>

Liste des tableaux

Tableau II. 1: Les propriétés physiques et chimiques de méthanol.....	20
--	----

Liste des figures

Figure I. 1: Les trois structures possibles d'oxyde de Zinc :a)-Rocksalt ;b)-Hexagonale (wurtzite) ;c)-Zinc blende [1].	5
Figure I. 2: Structure cristallographique du ZnO (Wurtzite) [3].	6
Figure I. 3: Schéma de principe de la structure d'un capteur.....	8
Figure I. 4: Structure d'un capteur à gaz.	9
Figure I. 5: Les capteurs de gaz de type résistif.	11
Figure I. 6: Schéma de principe d'un capteur chimique.....	12
Figure I. 7: les QCM les plus Utilisé dans le marché respectivement HC49U et HC49S [11]......	13
Figure II. 1: Principe de la technique de micro pipetage.....	17
Figure II. 2: Montage expérimentale réalisé.....	18
Figure II. 3: Les résonateurs à quartz utilisée dans notre expérience	18
Figure II. 4: Photo du composant résonateur quartz après extraction de son boîtier	19
Figure III. 1: Images par microscope optique de la surface du ZnO/QCM déposé à 350°C.	24
Figure III. 2: Images 3D AFM surface du ZnO/QCMdéposer a T= 350°C.	25
Figure III. 3: La rugosité de surface des échantillons de ZnO/QCM déposer a T= 350°C.	25
Figure III. 4: Schéma de principe du barbotage pour contrôlé la variation du Débit d'acétone. 1. Entrée D'air, 2. Sel gemme pour éliminer l'humidité, 3. Sortie du d'air sans humidité, 4. Bocal en verre, 5. Support métallique, 6. Acétone liquide, 7. Sortie de gaz acétone + air, 8. Seringue pour contrôler le volume d'acétone.	27
Figure III. 5: Schéma du banc de détection.	29
Figure III. 6: Banc de test pour la détection des gaz	29
Figure III. 7: Réponse du capteur fabriqué à 50 ppm concentrations d'acétone.	30
Figure III. 8: Réponse du capteur fabriqué à 50 ppm concentrations d'acétone.	31

Introduction Générale

Le ZnO a attiré l'attention de la communauté scientifique en raison des possibilités d'applications dans divers domaines grâce à son inertie chimique, sa non-toxicité, son faible coût de production et en raison des avantages liés aux propriétés de sa surface. L'oxyde de zinc (ZnO) est un semi-conducteur de large gap, transparent, piézoélectrique et présente un ensemble de propriétés qui permettent son utilisation dans certaines applications comme les varistances, optoélectronique, capteurs. Les études sur le ZnO ont prouvé que c'est un matériau excellent pour la détection des gaz toxiques comme NO₂ [1], CH₄ [2] et CO [3]. Plusieurs études se sont concentrées sur les capteurs de température [4] et d'humidité [8]. L'intérêt du ZnO comme capteur de gaz est due à sa propriété chimique spécifique adéquate pour l'adsorption des molécules d'eau [5], pour son grand rapport surface/volume [6] et pour le fait qu'il peut être utilisé dans plusieurs formes et morphologies (nanotube [7], réseau de rides [8] et nanofils [9]).

Dans ce contexte, nous avons choisi l'oxyde de zinc comme matériau de base dans notre travail, en effet, c'est un matériau relativement facile à déposer et surtout il se situe parmi les matériaux les plus intéressants du point de vue économique, technologique et écologique en comparant aux autres matériaux. L'objectif de ce travail consiste à l'élaboration des couches minces d'oxyde de zinc par la méthode de dépôt humide (micropipetage). Les couches élaborées seront caractérisées afin de déterminer la qualité des couches ainsi que ses propriétés.

La démarche suivie dans ce mémoire est la suivante: un premier chapitre divisé en deux parties. Dans la première, on présente une synthèse bibliographique sur les différentes propriétés structurale, électronique, optique, et électrique de l'oxyde de zinc, et leur domaine d'application (capteur de gaz) sous formes de couche mince. La deuxième partie présente une généralité sur les capteurs de gaz. On introduira ainsi le concept de couche mince et on fait appel au capteur de gaz de type SAW et BAW. Le deuxième chapitre est dédié au protocole expérimental et les conditions d'élaboration des couches minces de ZnO par la technique de micropipetage. Le troisième chapitre, regroupe et discute les résultats expérimentaux obtenus relatifs aux échantillons élaborés. Enfin un test de détection et un bilan des travaux réalisés ainsi que les perspectives seront présentés dans la conclusion générale de ce mémoire.

Références Bibliographiques

- [1] Erol, A., Okur, S., Comba, B., Mermer, O. and Arıkan, M.C. 'Humidity sensing properties of ZnO nanoparticles synthesized by sol-gel process', *Sens. Actuators, B*, Vol. 145(2010), pp.174–180.
- [2] Srivastava, R. 'Investigation on temperature sensing of nanostructured zinc oxide synthesized via oxalate route', *J. Sens. Technol.*, Vol. 2(2012), pp.8–12.
- [3] Jin Hyung, J., Junggwon, Y., Kyoungah, C., In-Sung, H., Jong-Heun, L. and Sangsig, K. 'Necked ZnO nanoparticle-based NO₂ sensors with high and fast response *Sens. Actuators, B*, Vol. 140 (2009), pp.412–417.
- [4] Lupan, O., Chow, L. and Chaid, G. 'A single ZnO tetrapod-based sensor', *Sens. Actuators, B*, Vol. 141 (2009), pp.511–517.
- [5] Fu-Shou, T. and Shui-Jinn, W. 'Enhanced sensing performance of relative humidity sensors using laterally grown ZnO nanosheets', *Sens. Actuators, B*, Vol. 193(2014), pp.280–287.
- [6] Qi, Q., Tong, Z., Shujuan, W. and Xuejun, Z. 'Humidity sensing properties of KCl doped ZnO nanofibers with super-rapid response and recovery', *Sens. Actuators, B*, Vol. 137(2009), pp.649–655.
- [7] Polsongkrama, D., Chamninok, P., Pukird, S., Chow, L., Lupan, O., Chai, G., Khallaf, H., Park, S. and Schulte, A. 'Effect of synthesis conditions on the growth of ZnO nanorods via hydrothermal method', *Physica B*, Vol. 403(2008), pp.3713–3717.
- [8] Chien-Yie, T., Kai-Shiung, F., Yu-Wu, W., Chi-Jung, C., Yung-Kuan, T. and Chung-Kwei, L. 'Transparent semiconductor zinc oxide thin films deposited on glass substrates by sol-gel process', *Ceram. Int.*, Vol. 36 (2010), pp.1791–1795.
- [9] Sheng, P., Shou-Jinn, C., Chien-Yuan, L., Meng-Ju, L., Cheng-Liang, H., Yu-Zung, C., Ting-Jen, H. and I-Cherng, C. 'A ZnO nanowire-based humidity sensor', *Superlattices Microstruct.*, Vol. 47(2010).

Chapitre

1

Synthèse Bibliographique

Partie I: Généralités sur l'oxyde de Zinc (ZnO) et leur applications

I. Introduction

La détection d'une espèce chimique ainsi que l'évaluation de sa quantité ou sa concentration ont été l'objet de nombreuses recherches ces dernières années du fait de leurs nombreuses applications dans des domaines très variés tels que les capteurs de gaz.

Dans ce chapitre nous allons exposer en premier lieu une revue sur les propriétés essentielles d'un oxyde de zinc et leur application.

II. Propriétés de ZnO (couches minces)

II.1. Propriétés structurales (cristallographique)

L'oxyde de zinc (ZnO) que l'on trouve dans la nature est connu sous le nom de Zincite. Il se cristallise généralement selon la phase hexagonale compacte B4 (Wurtzite). La structure hexagonale Wurtzite est thermodynamiquement stable à température ambiante [1].

Cependant il peut être synthétisé selon la phase cubique B3 (Blende) lorsqu'il est déposé sur certains substrats de symétrie cubique. L'application d'une grande pression hydrostatique (1015 GPa) au ZnO de structure Wurtzite, le transforme en phase B1 (Rock Salt) Cette dernière est métastable et peut persister à pression atmosphérique.

Dans tout ce travail, nous nous intéresserons uniquement au ZnO de structure Wurtzite.

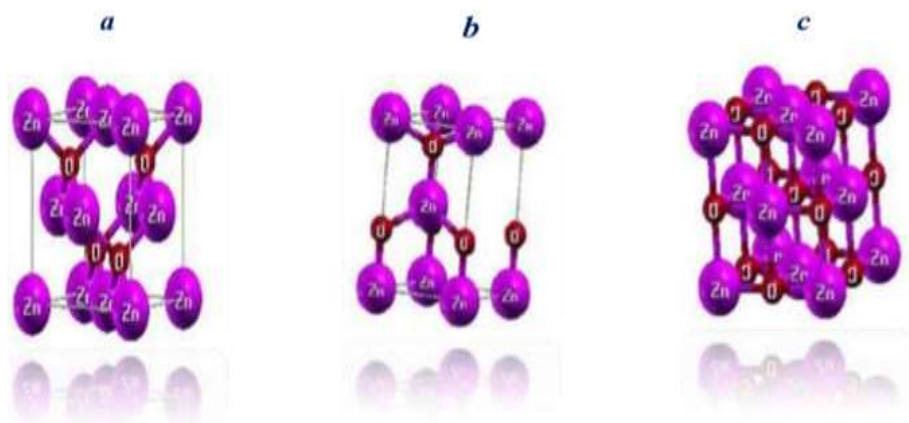


Figure I. 1: Les trois structures possibles d'oxyde de Zinc :a)-Rocksalt ;b)-Hexagonale (wurtzite) ;c)-Zinc blende [1].

Le ZnO de structure hexagonale compacte Würtzite peut être décrit par l'alternance de deux réseaux de type hexagonal compact l'un de Zn^{2+} et l'autre de O^{2-} décalés d'un vecteur $\mu = 0,379 c$, qui correspond à la translation existante entre les deux sous-réseaux. Il en résulte une structure avec un empilement de tétraèdres $\text{Zn}(\text{O})_4$ imbriqués les uns dans les autres. (Les paramètres de la maille primitive du ZnO dans les conditions normales de température et de pression sont donnés par $a = 0,32498 \text{ nm}$ et $c = 0,52066 \text{ nm}$ [2].

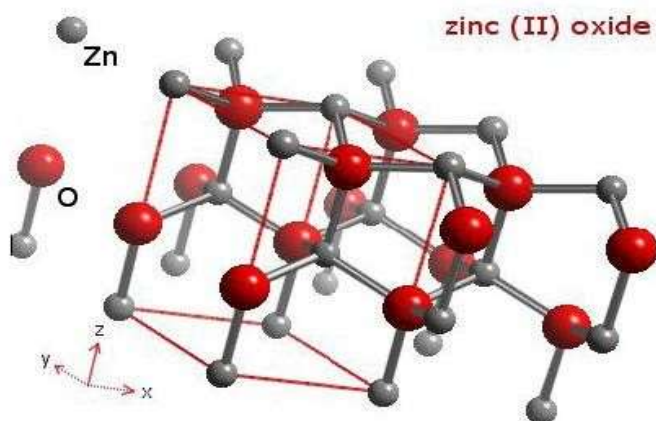


Figure I. 2: Structure cristallographique du ZnO (Würtzite) [3].

Les atomes de zinc et d'oxygène sont situés dans les positions de Wyckoff spéciales 2b du groupe d'espace $P6_3mc$. Zn: $0, 0, 0; 1/3, 2/3, 1/2$ O: $0, 0, \mu; 1/3, 2/3, \mu+1/2$ avec $\mu = 0,375$. La structure Wurtzite contient quatre atomes par maille dont les positions sont : O : $(0, 0, 0); (2/3, 1/3, 1/2)$ et Zn : $(0, 0, 3/8); (2/3, 1/3, 7/8)$. Chaque atome de zinc est entouré de 4 atomes d'oxygène situés au sommet d'un tétraèdre et vice versa figure I.2.

II.2. Propriétés chimiques et catalytiques

L'oxyde de zinc est utilisé en tant que piège et capteur chimique de gaz (H_2S , CO_2 , H_2 , CH_4). En suspension dans l'eau, il peut jouer le rôle de catalyseur photochimique pour un certain nombre de réactions comme l'oxydation de l'oxygène en ozone, l'oxydation de l'ammoniaque en nitrate, la réduction du bleu de méthylène, la synthèse du peroxyde d'hydrogène, ou encore l'oxydation des phénols. Les couches minces de ZnO ont été aussi utilisées pour catalyser la réaction de dépôt de cuivre [4].

Des travaux plus récents étudient de nouvelles mises en forme de ZnO pour les applications comme catalyseurs ou capteurs avec de bonnes propriétés chimiques. Un nouveau matériau poreux a été obtenu à basse température dans un réacteur à cavitation

acoustique à partir de Zn (OH₂). Le processus est basé sur le déclenchement de la réaction entre NH₃ et Zn (OH₂) par activation ultrasonique en milieu aqueux [4,5].

III. Applications de l'oxyde de zinc en couche mince

Grâce à ses propriétés semi-conductrices, piézo-électriques, optiques et catalytiques, l'oxyde de zinc en couches minces de multiples applications. Il occupe une place importante dans l'industrie électronique. En raison de leurs propriétés piézo-électriques, des films de ZnO peuvent être utilisés comme détecteurs mécaniques, ou dans des dispositifs électroniques tels que les redresseurs, les filtres, les résonateurs pour les communications radio et dans les traitements d'image. En particulier, avec le développement des télécommunications, des investigations ont été récemment faites pour leur utilisation dans des dispositifs à onde acoustique de surface; ceci est dû à leur coefficient de couplage électromécanique élevé. Des couches minces d'oxyde de zinc peuvent servir également de capteurs chimiques très sensibles dans des détecteurs de gaz, oxydés ou réduits. Nanto et al. Montrent que des couches minces de ZnO, dopées à l'aluminium, présentent une très grande sensibilité et une excellente sélectivité pour des gaz aminés de type diméthylamine et triéthylamine. Les propriétés optiques de l'oxyde de zinc sont exploitées dans des capteurs intégrés de guides d'ondes optiques. Il peut servir aussi d'électrode transparente dans des dispositifs optoélectroniques (diodes émettant de la lumière), dans des cellules solaires et des photopiles. D'autres travaux indiquent que les couches minces de ZnO présentent des propriétés électrochromées utiles pour la fabrication des fenêtres intelligentes qui modulent la transmission de la lumière en fonction du rayonnement incident. Chen et al. ont montré la possibilité d'obtenir une émission optique laser avec des couches minces de ZnO réalisées par jets moléculaires assistés par plasma et de les appliquer dans les dispositifs photoniques.

Partie II : Généralités sur les capteurs

I. Les capteurs de gaz

I.1. Principe de la structure d'un capteur de gaz

Un capteur est un organe de prélèvement d'informations qui élabore à partir d'une grandeur physique (information entrante) une autre grandeur physique de nature différente (la plupart du temps électrique: tension, courant) (Figure I.3). Cette grandeur, prélevée, est utilisable à des fins de mesure ou de commande. Des substances organiques peuvent être capturées par un capteur chimique. A partir d'une réaction chimique, un capteur chimique peut mesurer les concentrations d'espèces ou molécules organiques ou biologiques en solution ou sous forme gazeuse. Un capteur chimique mesure également le taux d'humidité, de gaz explosifs, de glucose, de pH ou encore d'ions [1-4]. Le système est capable de réagir et de nous avertir de la présence d'un gaz par exemple grâce à la modification d'une ou de plusieurs de ses propriétés aisément mesurables telles que la conductivité en surface, l'absorption spectroscopique etc. Le capteur fait partie de l'instrument de mesure qui n'est autre qu'un appareil autonome disposant d'un affichage ou probablement d'un système de stockage de données (historique et archivage).

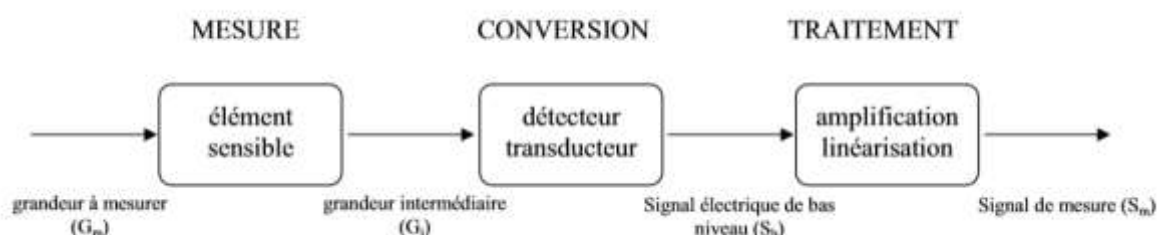


Figure I. 3: Schéma de principe de la structure d'un capteur

I.2. Constitution d'un capteur à gaz

La majorité des capteurs sont composés de 3 parties chacune ayant un rôle bien défini [6] (Figure I.4):

- Corps d'épreuve: C'est un élément qui réagit sélectivement aux variations de la grandeur à mesurer. Son rôle est de transformer cette grandeur en une autre grandeur physique dite mesurable.

- Élément de transduction: C'est un élément lié au corps d'épreuve traduisant ses réactions en une grandeur (électrique) exploitable.
- Système de conditionnement: Son rôle est d'amplifier et de faire un traitement sur le signal électrique.

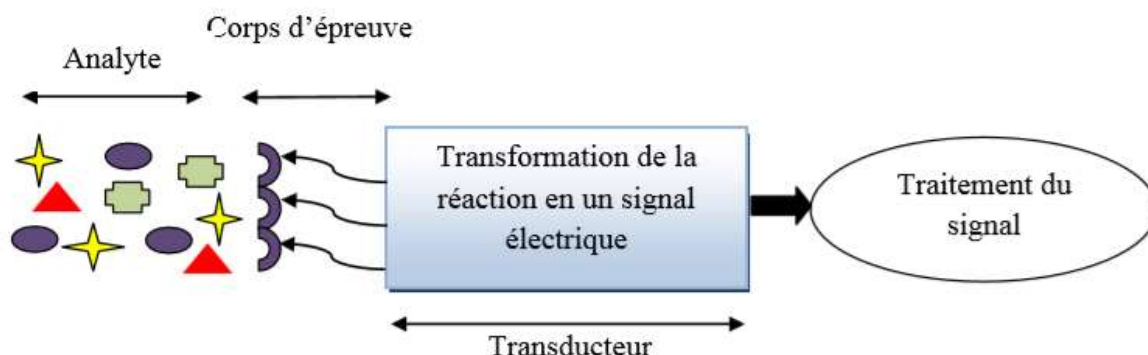


Figure I. 4: Structure d'un capteur à gaz.

I.3. Caractéristiques métrologiques des capteurs de gaz

Le capteur de gaz est l'élément essentiel d'une chaîne de mesure dont le mesurant est la concentration de gaz. Comme pour tout instrument de métrologie, de nombreuses variables peuvent affecter ces caractéristiques. De manière générale on distingue les critères suivants de performances utilisés pour évaluer la qualité d'un capteur [7, 8].

- **La sensibilité**

La sensibilité est définie, pour une concentration de gaz donnée, par la variation relative de conductance (ou résistance).

$$S = \frac{G_{\text{gaz}} - G_{\text{air}}}{G_{\text{air}}} \quad (\text{I.1})$$

Avec G_{gaz} et G_{air} sont les valeurs de conductance du capteur dans la présence d'une concentration d'un gaz donnée et de l'air sec [9].

- **La sélectivité**

Un capteur chimique idéal n'est supposé répondre qu'à l'espèce chimique recherchée. Donc, la sélectivité est définie comme le rapport de la sensibilité (S) d'un gaz sur la sensibilité

d'un autre gaz, pour des concentrations identiques. C'est donc la possibilité de distinguer un gaz dans un mélange [9].

- **La réversibilité**

Elle définit la capacité du matériau à revenir à son état initial lorsqu'on supprime l'excitation gazeuse [9].

- **La stabilité et fidélité**

La notion de stabilité est associée aux problèmes de dérives temporelles. Ces dérives sont détectées par une instabilité de la ligne de base et par la variation de la sensibilité du matériau. Ces dérives peuvent avoir plusieurs origines telles que les variations de condition ambiante, les changements d'état de la surface du capteur ou l'instabilité de cette surface, ou encore externes à la couche sensible telle que l'activation des potentiels appliqués et variation de la température de fonctionnement due aux variations de chauffage. On définit deux types de dérives: les dérives à court terme (fidélité) et les dérives à moyen / long terme. Ces derniers indiquent un vieillissement de la couche sensible [9].

- **Le temps de réponse**

Il exprime le temps nécessaire que met la valeur de sortie du capteur pour se stabiliser lorsque les conditions de mesure varient brutalement d'un état à un autre. Le temps de réponse est pris entre 10% et 90% de la valeur stabilisée. La réponse suit généralement une loi plus ou moins exponentielle avec le temps. Dans le cas des capteurs de gaz, cette valeur dépend essentiellement de la cinétique des réactions chimiques mises en jeu.

- **La reproductibilité**

Elle est liée aux écarts entre les résultats obtenus sur le même gaz dans des laboratoires différents.

- **La durée de vie**

Cette notion est reliée directement à la stabilité et à la qualité de la surface de détection. Elle est l'inquiétude majeure et la question relevée par les industriels et chercheurs.

L'amélioration de ces caractéristiques implique obligatoirement une durée de vie plus longue.

II. Les capteurs à base d'oxyde métallique

L'idée d'utiliser un oxyde métallique comme élément sensible au gaz vient de M. Brattain et M. Barden en 1952 avec des matériaux tels que le germanium. Suite à ces travaux, de nombreuses recherches ont été menées sur les oxydes métalliques pour que ces résultats soient exploités et appliqués à la détection gazeuse. Dans le domaine de la détection gazeuse, les matériaux à base d'oxydes métalliques semi-conducteurs sont les plus utilisés car l'adsorption d'un gaz à la surface de ces oxydes provoque des variations de propriétés électriques. Les capteurs chimiques à base d'oxydes métalliques présentent beaucoup d'avantages. Toutefois, certains points critiques (sélectivité, et stabilité à long terme) restent problématiques et constituent surtout une entrave à leur développement en vue d'une utilisation en atmosphère réelle.

- **Principe de fonctionnement**

Le principe de fonctionnement de ce type de capteurs est basé sur la variation de la conductivité électrique de la couche sensible. Les capteurs de gaz (commerciaux) de type résistif sont composés d'une part, d'un système de chauffage pour permettre une autonomie de fonctionnement à différentes températures et d'un matériau sensible dont le principe de détection repose sur la variation de la résistance engendrée par l'adsorption d'espèces gazeuses à sa surface (Figure I.5). Les oxydes métalliques ont de bonnes conductivités électriques directement mesurables et exploitables sans système d'amplification électronique.

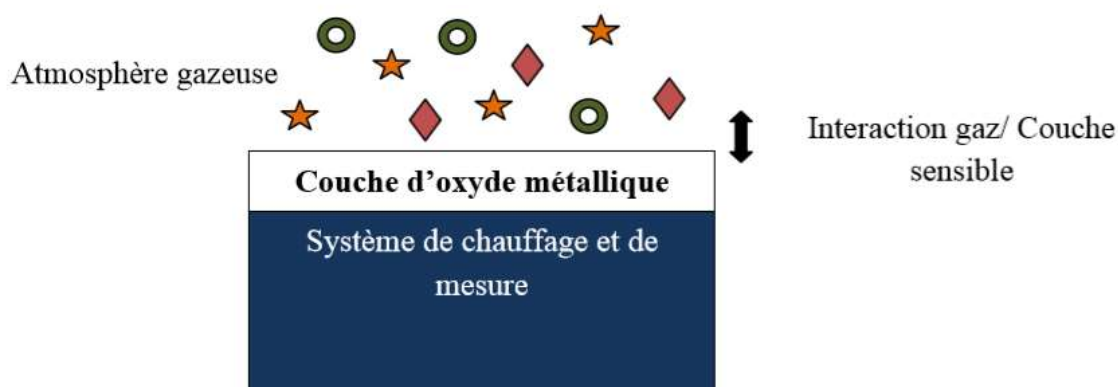


Figure I. 5: Les capteurs de gaz de type résistif.

III. Capteurs chimiques à ondes acoustiques

III.1. Définition

Ils existent plusieurs types de capteur dans notre cas nous allons nous intéresser sur les capteurs à onde acoustiques, ces capteur fonctionne selon le type d'onde soit des ondes de surface (SAW) soit des ondes de volume (BAW) [10].

Un capteur chimique est un dispositif qui permet la détection des espèces chimique en contact avec sa surface. Le principe de fonctionnement de la plupart des capteurs chimiques repose sur une interaction physique ou chimique entre une couche sensible et l'espèce chimique arrivant à sa surface. Ces matériaux sont choisis pour leur spécifique réaction avec une espèce chimique pour assurer ainsi une bonne sélectivité, sensibilité. Cette dernière est souvent optimisée par dépôt du matériau (cas des oxydes métalliques, polymères) [11].

Le capteur à onde acoustique est constitué d'une couche mince ou sensible déposé à sa surface par différentes technique de dépôts, cette couche permet le contact direct avec l'atmosphère gazeux à détecter [12]. Le signal détecté et transformé en un signal simple (résistance, tension, fréquence pour les capteurs à base de transducteur). La plupart des transducteurs à ondes acoustiques utilisent un matériau piézoélectrique pour la génération et la propagation de l'onde.

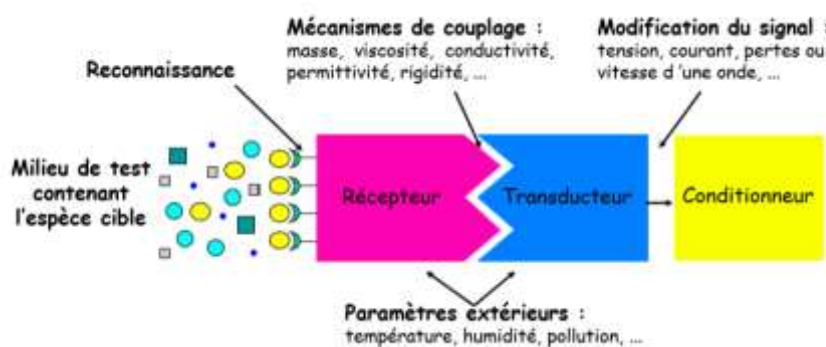


Figure I. 6: Schéma de principe d'un capteur chimique.

Les premiers dispositifs à avoir été mis au point sont des systèmes à onde de volume (BAW pour Bulk Acoustic Wave). Il s'agit des résonateurs à quartz ou microbalance à cristal de quartz (QMB). Les seconds sont des dispositifs à onde de surface (SAW pour Surface Acoustic Wave) [6] que nous allons utiliser dans notre travail.

III.2. Capteur à onde acoustique de surface SAW

Les ondes acoustiques de surface ont été décrites pour la première fois par Lord Rayleigh en 1885 dans sa publication classique [13], les capteurs SAW peuvent être utilisés pour déterminer la présence de molécules spécifiques dans l'environnement [14].

Les dispositifs SAW sont fabriqués par la technique de photolithographie semblable à celle utilisée dans l'industrie des semi-conducteurs.

III.3. Capteurs à onde de volume BAW

Depuis 1959, on sait que le quartz vibrant possède une fréquence de résonance en relation quantitative directe avec leur masse vibrante et qu'un dépôt sur celle-ci l'affecte linéairement. Cette propriété est utilisée dans l'industrie de la microélectronique pour contrôler l'épaisseur des couches métalliques déposées. Dès lors que l'on sait réaliser sur un tel support une structure qui va fixer par adsorption physico-chimique une espèce chimique particulière on dispose d'un capteur de très faible coût et de très grande sensibilité.

III.4. Les résonateurs à quartz commerciaux

Les résonateurs à quartz sont intégrés dans de différents instruments électroniques. Tous les circuits qui nécessitent une fréquence précise contiennent un quartz, qui se présente sous la forme d'un petit boîtier métallique argenté monté dans la Figure I.7.



Figure I. 7: les QCM les plus Utilisé dans le marché respectivement HC49U et HC49S [15].

La conception d'un capteur de gaz à base de QCM, consiste à utiliser une QCM son boîtier (décapé) ensuite déposer une couche sensible sur la surface d'une ou / deux électrodes cette couche sensible qui interagi avec le gaz puis la relier à un circuit oscillateur adéquat, La différence de masse, dû à l'adsorption d'une molécule de gaz à la surface , induit une variation de la fréquence de résonance du quartz proportionnelle à la quantité de molécule adsorbée à sa

surface ; elle peut être mesurée en reliant le circuit oscillateur à un fréquencemètre de précision **[16]**.

Références bibliographiques

- [1] S.MENAKH «Contribution à l'étude des propriétés de films ZnO » mémoire de magister en physique de Semi-conducteurs univ -Mentouri-Constantine (2011).
- [2] C. Kittel, Physique de l'état solide 5e édition. Paris: Dunod Université, Bordas (1983) ISBN 2-04-010611-1.
- [3] J. Jousot, Dubien, Nouveau Traité de Chimie Minérale, Vol. 5, Masson, Cie, Paris, 1962.
- [4] D.Tainoff « Influence Des Défauts Sur Les Propriétés Optiques Et Electroniques De Nanoparticules De ZnO », Thèse Doctorat De L'université Claude Bernard - Lyon 1(2009).
- [5] M.L.Kahn, M.Monge, V.Collière, F.Senocq, A.Maisonnat, B.Chaudret, Adv. Func.Mater. 15, 458 (2005).
- [6] M. de l'Olvera, A. Madonado, R. Asomoza, M. Melendez-Lira, Sol. Energy Mater and Solar Cells 41, 61-71, 2002.
- [7] R.W.G.Wyckoff, Crystal Structures, Vol. 1, INC. New York, 19 (1960).
- [8] S. Maniv, W. D. Westood And E. Colombini, J. Vac. Sci. Technol., 20(2) (1982).
- [9] B.Mansour, « Réalisation D'un Capteur de Gaz », Mémoire de Magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran M. BOUDIAF, (2009).
- [10] Y. Kashiwaba, F. Katahira, K. Haga, T. Sekiguchi, H. Watanabe; J. Crystal Growth 221,431, 2000.
- [11] F. Paraguay, D. W. Estrada, L.D.R. Acosta, N.E. Andrade, M. Miki-Yoshida, Thin Solid Films 350, 192, 1999.
- [12] M .N. Kamal asanan, S. Chandra, Thin Solid Films 288, 112, 1996.
- [13] S. Kuo, W. Chen, F. Lai, C. Cheng, H. Kuo , S. Wang , W. Hsieh , J. Cristal Growth 287 , 78 , 2006. [7] Yang H., Lee J-S., Bae S., Hwang J. H., Curent Applied Physics, 9, 797-801, 2009.
- [15] Z. Y. Xiao, Y. C. Liu, D. X. Zhao, J. Y. Zhang, Y. M. Lu, D. Z. Shen, X. W. Fan, Journal Of Luminescence 122-123 (2007).
- [16] Y.BAKHA « Propriétés Optoélectroniques De L'oxyde de Zinc Préparé Chimiquement, Phénomènes D'adsorption et Application à La Détection des Gaz »Thèse Doctorat Université Des Sciences et de La Technologie d'Oran M. BOUDIAF, (2013).

Chapitre

2

Techniques Expérimentales

I. Introduction

Ce chapitre est consacré à la description des conditions expérimentales selon lesquelles ce travail s'est déroulé. La procédure de dépôt des couches sensibles d'oxyde métallique ZnO par la technique de micropipetage.

Après une étude bibliographique nous avons trouvé une vaste liste des matériaux qui peuvent être utilisés comme couche sensible et qui répondent au principe de détection par gravimétrie. Ces matériaux sont des : polymère, copolymère et des oxydes métalliques, utilisés pour la détection du gaz grâce à leur différentes propriété qui leur permet la sensibilité la sélectivité et la reproductibilité [1]. A cause de l'indisponibilité actuelle de ses matériaux nous avons choisi l'oxyde de zinc comme couche sensible d'après la littérature et qui est disponible pour notre travail. Ce matériau est facile à déposer est peu coûteux possède des caractéristiques énormes et qui font de lui un candidat idéale pour la détection des gaz dans le domaine des vapeurs d'alcool ou l'humidité. Les échantillons étudiés sont des couches d'oxyde de zinc ZnO déposées sur des microbalances à quartz QCM de 6 MHz commerciale de type HC49 dont la méthode utilisée pour l'élaboration est la technique de Micro pipetage.

II. Dépôt humide (micro pipetage)

II.1. Description de la technique

Cette technique repose sur la formation d'une goutte liquide à l'extrémité d'un capillaire de rayon r , ou le principe de la goutte tombante [2], d'où cette goutte va être déposée sur un substrat préalablement chauffé comme illustré dans le schéma synoptique de la technique.

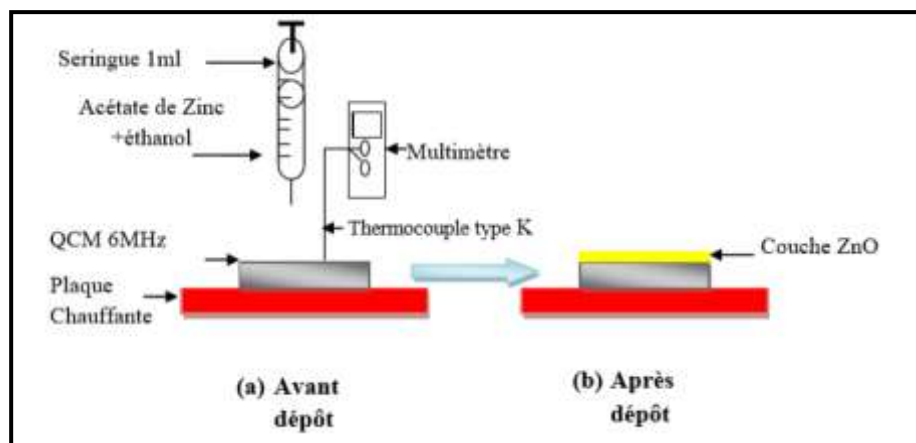


Figure II. 1: Principe de la technique de micro pipetage.

II.2. Montage expérimentale

Tout le système est placé sous une hotte Sorbonne de façon à se protéger des gaz pouvant se dégager pendant les dépôts. Le montage est constitué d' : un système de chauffage, une micropipette digitale et un thermocouple.

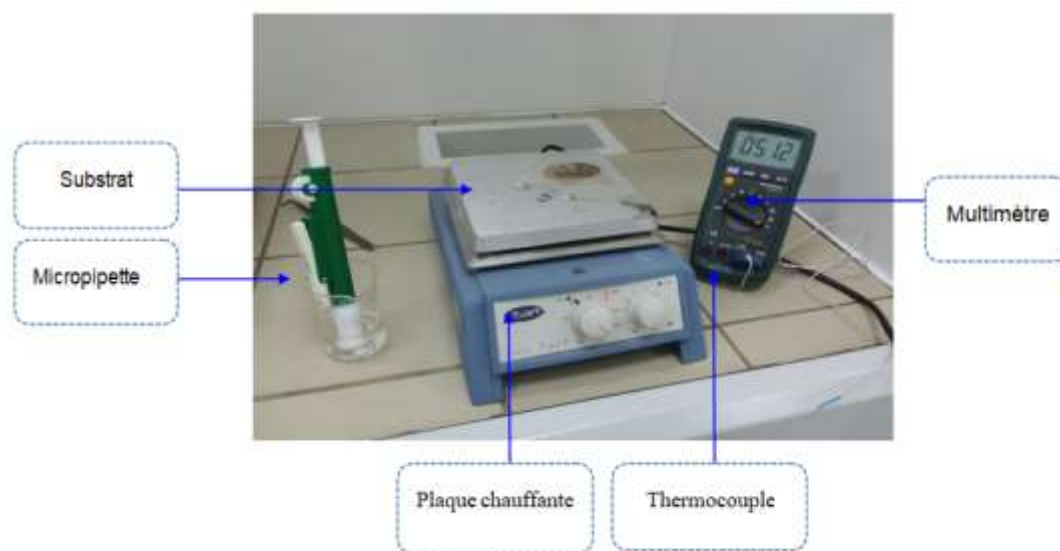


Figure II. 2: Montage expérimental réalisé.

II.3. Choix du substrat

Pour le dépôt des couches de ZnO nous avons opté pour des substrats de QCM des résonateurs à quartz commercial avec une fréquence de résonance de 6MHz montré dans la figure II.3



Figure II. 3: Les résonateurs à quartz utilisés dans notre expérience

Afin de pouvoir déposer sur ces dispositifs on passe au décapage pour arriver à la surface du QCM pour effectuer les dépôts des matériaux que nous avons choisis.



Figure II. 4: Photo du composant résonateur quartz après extraction de son boîtier

II.4. Nettoyage du substrat

La propreté de la surface des substrats est un paramètre important. En effet, certaines impuretés présentes sur le substrat peuvent empêcher ou freiner la croissance des cristaux pendant la phase de dépôt. Ces impuretés peuvent également être piégées dans la couche et modifier ou détériorer ses propriétés. C'est pourquoi l'étape de nettoyage est très importante avant le dépôt [3], dans notre cas nous utilisant un jet d'azote à la surface avant de faire les dépôts car tout autre nettoyage peut endommager notre dispositif.

Le choix du solvant

Le choix du solvant doit être basé sur des paramètres de sorte que celui-ci à une température de vaporisation basse de façon à ce qu'il puisse s'évaporer pendant le dépôt avant d'arriver à la surface du quartz. Ainsi que son pouvoir de dissolution (la polarité et la constante diélectrique...) [4]. Dans cette étude, nous avons choisi le méthanol comme solvant (Tableau II.1).

II.5. Choix du matériau

Pour déposer une couche mince de l'oxyde de zinc (ZnO), sur un substrat de verre nettoyé en utilise la solution de pulvérisation qui contient l'acétate de zinc déshydraté ($(C_2H_3O_2) + 2H_2O$) dans un méthanol.

Tableau II. 1: Les propriétés physiques et chimiques de méthanol.

Nom:	méthanol
Apparence:	liquide incolore (alcool)
La formule moléculaire:	CH ₃ OH
Masse moléculaire:	32,04105 g/mole.
Masse volumique:	0,16 Kg·cm ⁻³ .
Densité:	0,7918g·cm ⁻³
PH	1-2.
Point d'ébullition	64,7°C.
Point de fusion:	-97,8 °C
Conductivité électrique:	10 ⁻⁹ Ω cm ⁻¹ à 25°C

II.6. Conditions des dépôts par micropipetage

- ✓ Matériaux : Acétate de zinc.
- ✓ Type de solvant : Méthanol.
- ✓ Type de substrat : Quartz 6MHz.
- ✓ Température à la surface : 350 °C.
- ✓ Concentration du précurseur : 0,1 mol.l⁻¹.

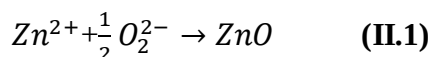
II.7. Préparation de la solution

Les solutions que nous avons utilisées pour les dépôts de nos couches sensibles est : L'acétate de zinc /méthanol (comme solvant), pour obtenir des couches de ZnO.

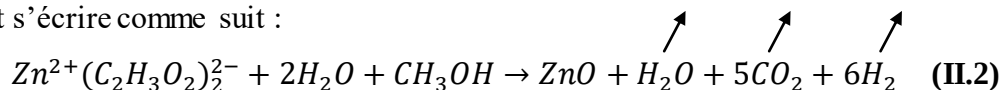
II.8. Réaction thermochimique de solidification ou de cristallisation

Sous l'effet d'un chauffage important, l'agitation moléculaire est beaucoup plus grande que l'attraction intramoléculaire et les molécules ne peuvent plus s'accrocher les unes aux autres et maintenir la forme du liquide [7]. Nous avons constaté que les molécules organiques constituant l'ensemble du précurseur se volatilisent brusquement à la phase gazeuse, laissant derrière elles les ions métalliques Zn⁺² pour l'ensemble de ces ions favorisent l'association respectivement pour les deux types d'oxydes métalliques et cela eu égard à l'électronégativité (anionique et cationique) des ions existants, de telle

façon que les équations de formation du se déroulent à une température voulue suivant les réactions suivantes :



D'où la réaction globale subie par la goutte tombante au niveau du substrat dans les deux cas peut s'écrire comme suit :



III. Les techniques de caractérisation

Nous avons caractérisé nos couches minces par les méthodes suivantes

- La microscopie optique : pour la caractérisation de la surface.
- La microscopie à force atomique (AFM).

III.1. Microscopie optique

Le microscope optique ou microscope photonique est un instrument d'optique muni d'un objectif et d'un oculaire qui permet de grossir l'image d'un objet de petites dimensions (ce qui caractérise sa puissance optique) et de séparer les détails de cette image (et son pouvoir de résolution) afin qu'il soit observable par l'œil humain. Il est utilisé en biologie, pour observer les cellules, les tissus, en pétrographie pour reconnaître les roches, en métallurgie et en métallographie pour examiner la structure d'un métal ou d'un alliage [16]. Il ne faut pas le confondre avec la loupe binoculaire qui n'exige pas des échantillons plats de faible épaisseur, ou réfléchissants, et permet d'observer des pièces naturelles sans préparation en grossissant l'image d'un facteur peu élevé, mais en gardant une vision stéréoscopique propice à l'examen macroscopique révélateur de grains, de criques, de fissures, etc.

III.2. La microscopie à force atomique (AFM)

La AFM a été inventée par Binning, Quate et Gerber en 1986 [5]. Cette technique permet d'obtenir des images tridimensionnelles de la topographie de la surface des échantillons avec la possibilité d'obtenir une résolution à l'échelle atomique. Comme elle permet d'étudier aussi d'autres phénomènes à l'échelle nanométrique indépendamment de la nature des échantillons (biologiques, organiques, minéraux, oxydes), mais à condition que ces surfaces soient relativement fixes au cours de l'analyse.

Références bibliographiques

- [1] H. Gómez, A. Maldonado, R. Castanedo-Pérez, Properties of Al-doped ZnO thin films deposited by a chemical spray process, *Materials Characterization* 58 (2007) 708–714.
- [2] Y.BAKHA, « Propriétés optoélectroniques de l'oxyde de zinc préparé chimiquement, phénomènes d'adsorption et application à la détection des gaz », Thèse Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran M. BOUDIAF, (2013).
- [3] S. Souhir, « L'effet De La Molarité Et De La Température Du Substrat Sur Les Propriétés Des Couches Minces D'oxyde D'étain (SnO₂) Déposées Par Spray Ultrasonique », Mémoire De Magister, (2012).
- [4] M.Alpbaz, A.Bilgesu, O.Tutkun, The measurement of interfacial tension by drop-weight method. *Commun.Fac.Sci. Univ. Ank.Serie B. V. 34*.pp. 103-112 (1988).
- [5] J. N. van Niekerk, F. R. L. Schoening and J. H. Talbot, The crystal structure of zinc acetate dihydrate, Zn (CH₃COO)₂.2H₂O, *ActaCryst.*6, 720-723. (1953)
- [6] G. Binning, C.F. Quate and C. Gerber, "atomic force microscope", *Phys. Rev. Lett.* 56, 930, (1986)

Chapitre

3

Résultats & Discussion

I. Introduction

Ce chapitre sera consacré à la présentation des principaux résultats obtenus de caractérisation des couches, ainsi que le test de faisabilité pour la détection des gaz pour application dans les capteurs de gaz à base fréquence.

II. Caractérisation des films ZnO déposés

Nous verrons les principaux résultats retrouvés durant nos travaux qui ont conduit à la réalisation de notre capteur de gaz. À savoir les performances de l'élément sensible aux gaz. Les résultats de cette étude sont obtenus par différentes caractérisations :

□ Microscopie optique, □ Microscopie à force atomique (AFM) □ Test de détection des gaz.

II.1. Microscopie optique

La figure **III.1** montre les images de microscope optique d'un échantillon élaboré par la technique micropipetage du ZnO/QCM, les images révèlent que les surfaces des dépôts sont uniformes dans toutes les directions.

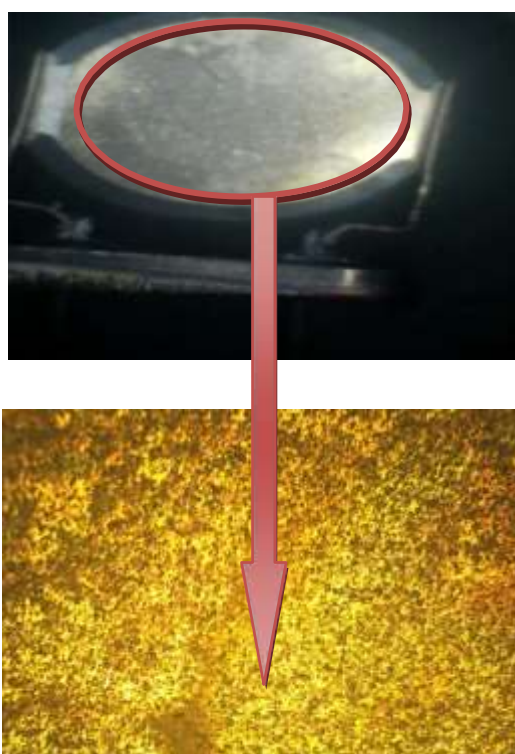


Figure III. 1: Images par microscope optique de la surface du ZnO/QCM déposé à 350°C.

II.2. Microscopie à force atomique (AFM)

Les morphologies de surface des couches minces de ZnO/QCM déposé à 350°C avec 0,1 M, ont été étudiées en utilisant la microscopie à force atomique (AFM). Les images 3D de surface obtenue sont montrées la variation de rugosité de surface de couches minces, les grains peuvent être vus presque partout sur le substrat.

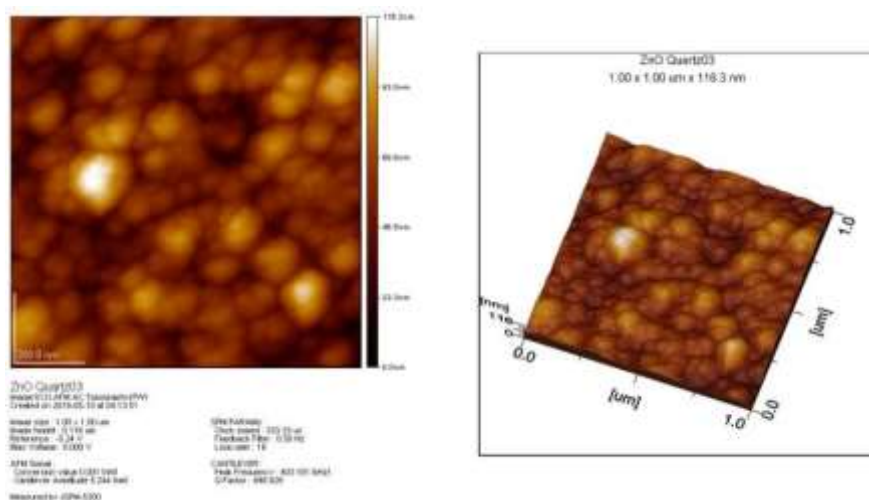


Figure III. 2: Images 3D AFM surface du ZnO/QCM déposé à T= 350°C.

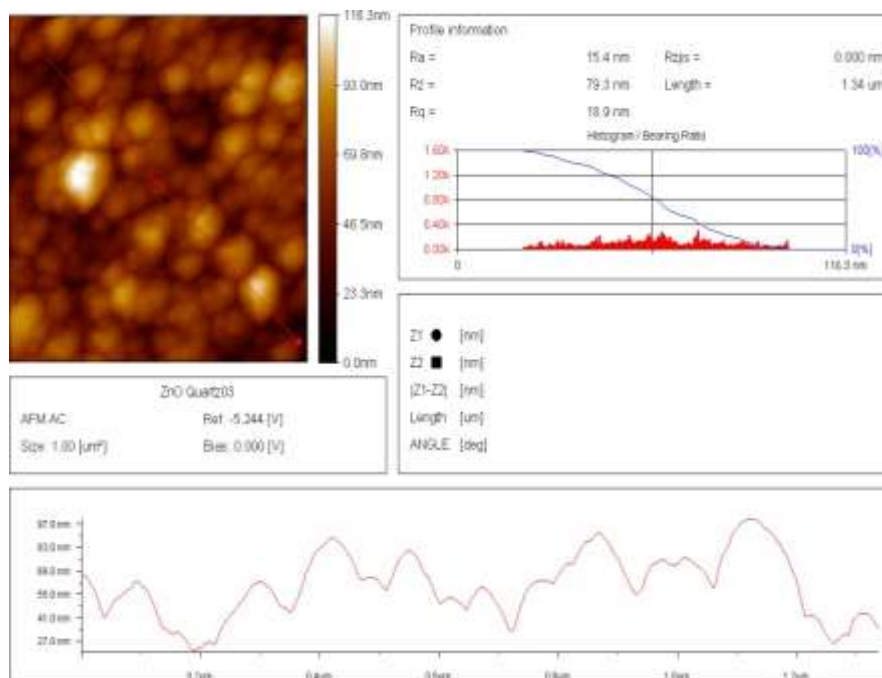


Figure III. 3: La rugosité de surface des échantillons de ZnO/QCM déposé à T= 350°C.

II.3. Application à la détection des gaz

II.3.1. Réalisation d'un capteur à base ZnO /QCM

Il est désormais possible de répondre à la demande croissante de capteurs de gaz pouvant avoir à la même un prix avantageux mais pouvant être hautement sensitifs grâce aux détecteurs de conductivités basés sur des oxydes métalliques de type semi-conducteur. La détermination aisée des composants gazeux dans l'atmosphère, qu'il s'agisse de gaz industriels ou de mélange gazeux tel que des arômes ou des odeurs, offre un large éventail d'applications possibles. Ces applications comprennent la caractérisation de l'atmosphère en ce qui concerne la qualité de l'air et les risques potentiels, le contrôle de procédés d'émission de gaz. Il existe, ce pendant plusieurs applications, notamment pour les véhicules, et les fours automatiques, le contrôle des systèmes de chauffage ou le « chromatographe », un appareil qui indiquera la qualité de l'air [1].

Prévenir les fuites de gaz, détecter des taux de pollution trop élevés, sont autant d'enjeux industriels devenus aujourd'hui très important et depuis une quarantaine d'années, le développement de capteurs sélectives suscite un fort intérêt

Les capteurs que nous proposons d'étudier est à base d'oxyde de zinc déposés sur un QCM de type HC49S par la techniques micropipetage pour détecter les vapeurs, pour le premier essai nous avons choisi la vapeur d'acétone, la température de fonctionnement de ces capteurs est la température ambiante [3].

Le principe de la détection repose sur la variation de la conductivité électrique du matériau en fonction de l'atmosphère gazeuse environnante [2].

II.3.2. Principe de la détection

La microbalance à quartz est constituée d'une lame de quartz taillée sous l'angle cristallographique approprié ; sur les deux faces de cette lame sont déposées des électrodes circulaires entre lesquelles est appliquée une tension alternative. La fréquence de résonance du quartz va être modifiée par le dépôt d'une espèce chimique sur une des électrodes ou les deux électrodes, le décalage relatif de la résonance en fréquence dépend de la masse de ce dépôt suivant la loi de Sauerbrey [4] :

$$\Delta f = -k q f_0^2 \Delta m A \quad (\text{III.1})$$

Où : Δf est le décalage en fréquence (en Hz) associé à une variation de masse donnée Δm

(g), à la surface piézo-électrique, f_0 la fréquence fondamentale du cristal (en MHz), la constante k ($2,26 \cdot 10^6 \text{ cm}^2\text{Hz}^{-1}\text{g}^{-1}$ pour un cristal de quartz). Cette relation ne s'applique qu'à des couches minces. Quand il est recouvert d'une couche adsorbante (couche sensible), ce système est utilisable comme capteur de gaz. Un vaste choix de couches sensibles est disponible (polymère ou oxyde) [5].

II.3.3. Démarche expérimentale

L'objectif de ce travail est l'étude du comportement des couches de ZnO déposé à 350°C , par la technique Micropipetage sur un QCM soumis à un gaz particulier pour voir sa réponse ainsi faire des mesures fréquentielle dans une chambre de mesure. Pour cette raison nous avons élaborés des couches de ZnO d'épaisseur de l'ordre de 700 nm. Pour la production du gaz nous avons fait appel au système de barbotage, ce système permis de produire les vapeurs d'alcool que nous voulons tester sur nos couches avec un contrôle sur la concentration de gaz que nous voulons injecter à la surface.

II.3.4. Concentration du gaz débité dans le dispositif de détection

Nous avons deux recours à une technique développée pour calculer la concentration de la vapeur d'éthanol générée à partir de sa phase liquide sous l'influence d'un flux d'air de débit maintenu durant toute l'opération du barbotage Figure III.4.

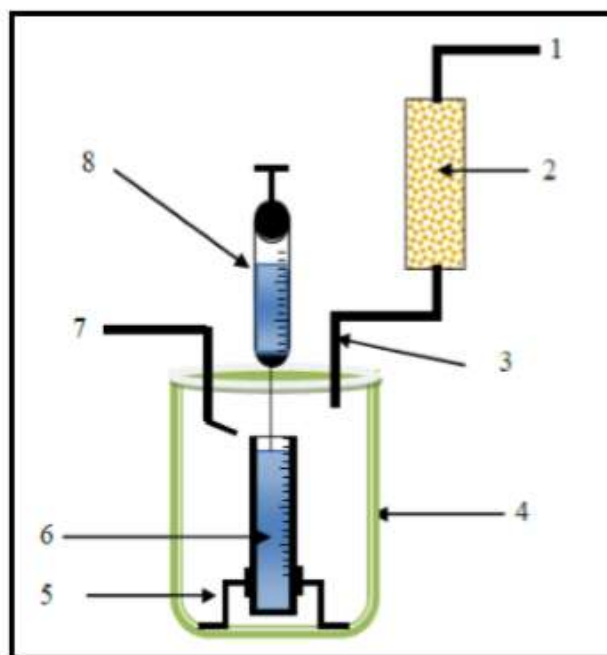


Figure III. 4: Schéma de principe du barbotage pour contrôler la variation du Débit d'acétone. 1. Entrée D'air, 2. Sel gemme pour éliminer l'humidité, 3. Sortie du d'air sans humidité, 4. Bocal en verre, 5. Support métallique, 6. Acétone liquide, 7. Sortie de gaz acétone + air, 8. Seringue pour contrôler le volume d'acétone.

II.3.5. Calcul de la concentration du gaz

A partir de cette technique on peut donc calculer la concentration d'acétone générée par ce système sachant que le débit d'azote est de 10(l/min) maintenue durant toute l'opération du barbotage. Le nombre de moles de C_3H_6O dans un volume V est :

$$n = \frac{D \cdot 1000 \cdot V}{M} \quad (\text{III.2})$$

Avec :

n : nombre de mole, D : Densité de l'acétone, M : masse molaire de l'acétone; m : masse de l'acétone.

Pour calculer la concentration en doit suivre les étapes suivantes :

$$\rho_{\text{acétone}} = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho_{\text{acétone}} \cdot V \quad (\text{III.3})$$

$$n = \frac{\rho \cdot V}{M} \quad (\text{III.4})$$

Donc on a :

$$D_{\text{acétone}} = \frac{\rho_{\text{acétone}}}{\rho_{\text{eau}}} \rightarrow \rho_{\text{acétone}} = D_{\text{acétone}} \cdot \rho_{\text{eau}} \quad (\text{III.5})$$

Avec : $D_{\text{acétone}} = 0.7896$

Si on veut calculer le débit d'éthanol gazeux, alors il faut calculer le volume de l'éthanol gazeux :

$$n = \frac{D_{\text{acétone}} \cdot 1000 \cdot V}{M} \quad (\text{III.6})$$

$$V' = \frac{D_{\text{acétone}} \cdot 1000 \cdot V}{M} \cdot 22.4 \quad (\text{III.7})$$

Le débit de l'éthanol gazeux :

$$Q = \frac{V'}{t} = \frac{D_{\text{acétone}} \cdot 1000 \cdot V}{M \cdot t} \cdot 22.4 \quad (\text{III.8})$$

Le rapport entre le débit d'azote et le débit d'éthanol nous permis de calculer la concentration de l'éthanol dans l'azote qui va être introduit dans le système de barbotage.

$$C = \frac{Q_{\text{acétone}}}{Q_{\text{azote}}} = \frac{D \cdot 1000 \cdot V}{M \cdot t \cdot Q_{\text{azote}}} \cdot 22.4 \quad (\text{III.9})$$

En traduit les valeurs obtenu en partie par million (ppm) on à : pour une concentration donnée $\rightarrow 10^6$.

Une fois nous avons déterminé les concentrations des vapeurs qu'on introduire on passe à la détection dans un banc de test dédié.

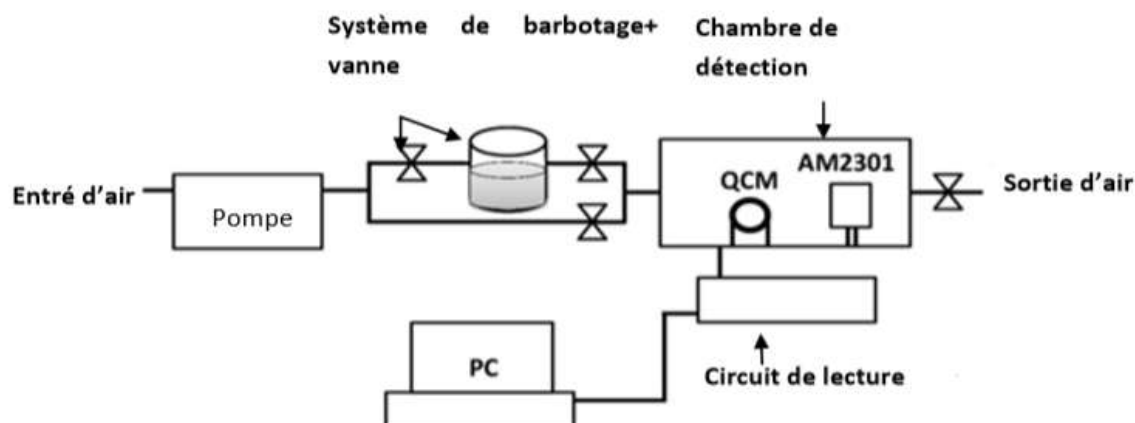


Figure III. 5: Schéma du banc de détection.

Notre système est constitué de : □ Entrée d'air, □ Pompe, □ Système de barbotage, □ Vanne de distribution, □ Chambre de détection, □ Circuit de lecture, □ Sortie d'air.

La figure III.6 montre le banc de test réalisé pour les mesures de la détection des gaz, en premier lieu nous avons utilisé des capteurs commerciaux pour étalonner notre système de mesure (QCM fréquentiel, MQ5 capteur MOX).



Figure III. 6: Banc de test pour la détection des gaz

III. Résultats obtenus et discussion

L'objectif de ce travail est l'étude du comportement d'oxyde de zinc déposé à 350°C par la technique Micro pipetage, faire des mesures fréquentiel dans une chambre de mesure sous gaz. Nous avons remarqué que la fréquence du quartz décapé à un shift par rapport au non décapé mais ce shift est très petit.

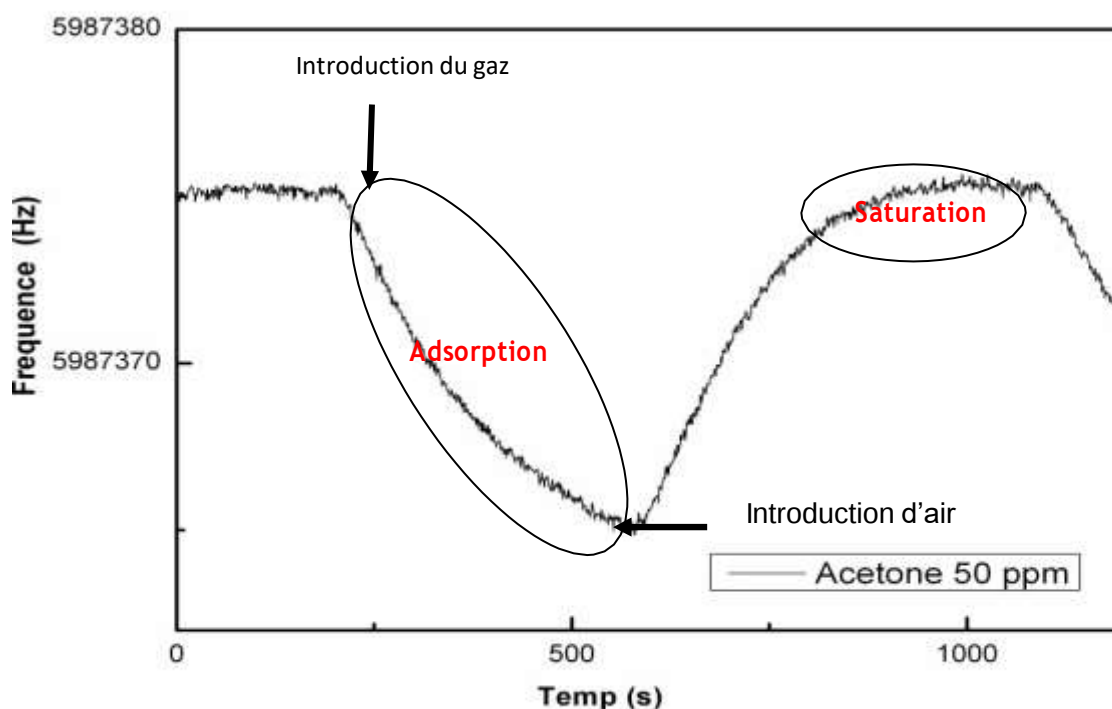


Figure III. 7: Réponse du capteur fabriqué à 50 ppm concentrations d'acétone.

La figure III.7 montre les transitoires de réponse du capteur QCM revêtu de ZnO à l'allumage et à l'extinction de l'acétone gazeux à une concentration de 50 ppm à la température ambiante (25 ° C). Lors de la première mesure du capteur sous air, le capteur a ensuite été exposé à un gaz différent.

Le changement de fréquence de résonance de QCM (f) peut être directement lié au changement de masse (m) dû aux phénomènes d'adsorption des molécules de gaz C_3H_6O sur des films minces de ZnO en utilisant l'équation de Sauerbrey.

Le temps de réponse est le temps nécessaire pour atteindre 90% de la valeur finale du changement de vitesse de la fréquence de résonance du quartz et le temps de récupération est le temps nécessaire pour atteindre une désorption de 90%, sont respectivement données (322 et 350 s).

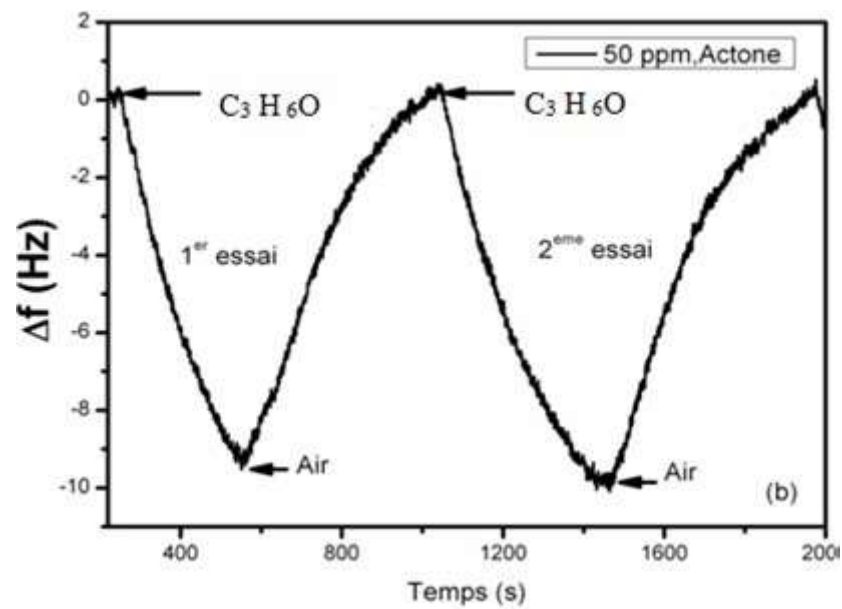


Figure III. 8: Réponse du capteur fabriqué à 50 ppm concentrations d'acétone.

La figure III.8 nous permet de voir la reproductibilité des mesures après plusieurs essais sous la même concentration injecter.

Références bibliographiques

- [1] S.Y. Shu, W. Water and J.T. Liaw, J.Eur.Ceram.Soc1 593, 23(2003).
- [2] J.F. Chang, L. Wang and M.H. Hon, J. Cryst. Growth, 211, 93 (2000).
- [3] Chen T, Liu S -Y, Xie Q ,Detavernier C, Van Meirhaeghe R L, and Qu X- P Appl. Phys.A 95386,(2009).
- [4] Sauerbrey, G. Z. Z. Phys, 206, (1959).
- [5] J.H.He, and Ho C H Appl. Phys. Lett. 91 233105(2007).

Conclusion & Perspectives

L'étude et l'élaboration des couches minces sensibles de ZnO pour les capteurs à ondes acoustiques SAW et BAW, à base de matériaux piézoélectriques, pour une application de détection des gaz domestiques par l'effet gravimétrique. Les couches élaborées par la méthode chimique Micropipetage, subissent des caractérisations morphologiques en utilisant microscope optique et à force atomique qui nous a confirmé que les couches résultantes sont des couches homogènes et uniformes de ZnO à la fin du travail nous avons effectué une mesure fréquentielle pour voir la possibilité des couche de détecter la vapeur d'acétone.

En perspective, nous poursuivrons ce travail comme suit:

- Réaliser des couches mince d'oxyde métallique ;
- Dépôts des couches sur des SAW et BAW ;
- Application à la détection des gaz combustible ;
- Détermination des performances de nos capteurs.