

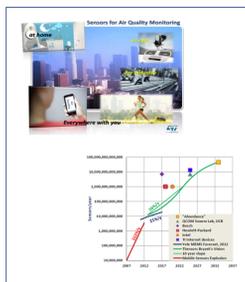
Développement d'un capteur environnemental ultra-basse consommation à base de SnO2 en technologie CMOS FDSOI

Antonio Assaf^a, João Resende^b, Theo Levert^b, Bernard Pelissier^b, Ingrid Canero-Infante^c, Bassem Salem^b, Bertrand Vilquin^c, Abdelkader Souifi^{a,b}.

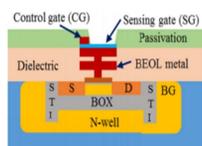
- a) Institut des nanotechnologies de Lyon, Université de Lyon, INSA Lyon, Ecole centrale de Lyon, UCBL, CNRS UMR 5270, Villeurbanne (France)
 b) Laboratoire des Technologies de la Microélectronique, UMR CNRS 5129, CEA-LETI, Minatec, Grenoble (France)
 c) Institut des nanotechnologies de Lyon, Université de Lyon, Ecole centrale de Lyon, INSA Lyon, UCBL, CNRS UMR 5270, Ecully (France)
 • email : antonio.assaf@insa-lyon.fr*

Introduction & Contexte

- Impacts environnementaux liés aux activités industrielles et aux transports [1].
 - Très forte demande de capteurs autonomes pour les objets connectés.
 - L'estimation du besoin annuel capteurs était évaluée en 2013 à un trillion (10¹²) à l'horizon 2022 [2].
- Motivations pour le développement de capteurs de gaz ultra-basse consommation sur CMOS Pour le monitoring de la qualité de l'air en temps.



Concept proposé: associer un matériau sensible aux gaz ciblés avec un transistor à effet de champs en technologie FDSOI



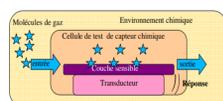
Intérêts de la technologie FDSOI [3,4]:

- Ultra-Basse consommation d'énergie
- Ultra haute sensibilité
- Petite Surface de détection

Défis:

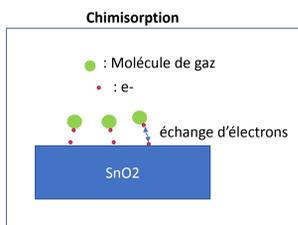
- Optimiser le matériau sensible afin de réduire la température du travail.
- Intégration du matériau sur FDSOI.

Principe de détection

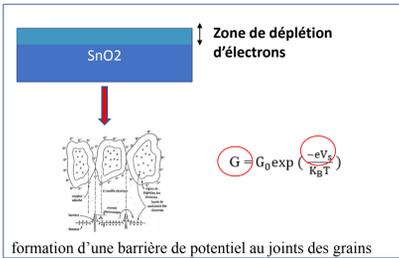


Dispositif qui reçoit un stimulus et le transforme en une grandeur utilisable, signal électrique. [7]

1.Reconnaissance du gaz.

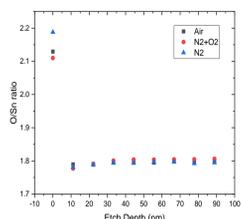


1.Transduction



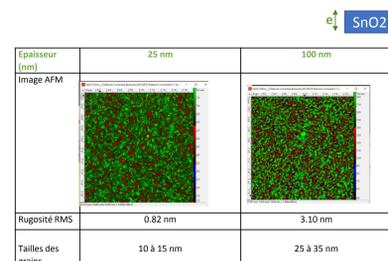
Microstructure

Stœchiométrie: Analyses XPS



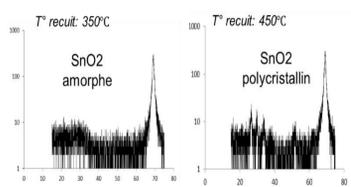
✓ La sous stœchiométrie du SnO2 permet l'adsorption des oxygènes et/ou les molécules de gaz sur les sites vacants.

Tailles des particules + rugosité: Images AFM



- ✓ La réponse du capteur s'améliore lorsque la taille des particules diminue.
- ✓ En augmentant la rugosité la surface d'adsorption augmente

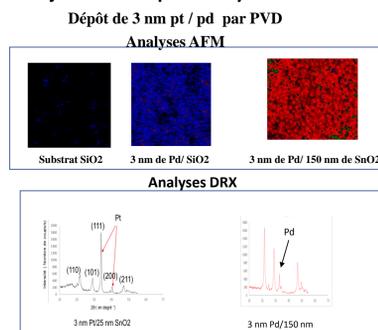
Cristallinité: Analyses DRX



Types de recuits : RTA pour 10 minutes sous vide primaire

✓ L'obtention des film polycristallin à T=450°C.

Ajout métallique: Analyses DRX+ AFM



✓ formation des petits grains Métalliques 1 – 2 nm de (Pt – Pd) en surface

Matériau de détection

Matériau: SnO2

Avantages[5]:

- Forte sensibilité: Répond à 1 ppm de CO.
- Longue durée de vie:

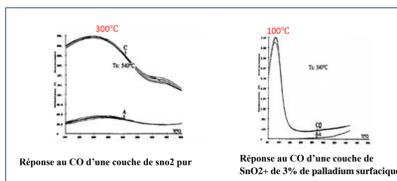
Désavantage:

1. Réponse au gaz dépend de la microstructure du matériau:

- Stœchiométrie
- Taille des grains
- Rugosité.
- Cristallinité

2. Température du travail élevée (250°C – 400°C) [6]:

- Ajout des catalyseurs métalliques: effet Spill-over

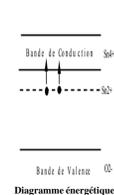


Structure cristallographique[5]:



- Structure quadratique de type rutile.
- Groupe d'espace, P42/mmm.
- Maille élémentaire est composée de : 2 Sn et de 4 O.
- Paramètres de maille : a=b=4,737Å ; c=3,185Å.
- Rsn+=0,071nm;Ro- =0,14nm.

Structure électronique: [5]



- Semi-conducteur de type N présente un écart à la stœchiométrie (SnO2-x avec 0,19<x<0,34) [16]
- la formation d'états donneurs dans la bande interdite localisés proches de la bande de conduction.

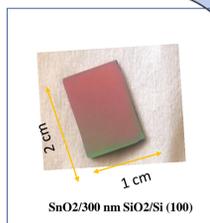
Technique de dépôt

Dépôt SnO2 à température ambiante par PVD:

Substrats Si (001) + 300nm de SiO2

Paramètres étudiés:

- Puissance RF et pression pour le contrôle de la vitesse de dépôt. La vitesse de dépôt est un paramètre qui a une influence sur la morphologie et la cristallinité des couches.
- Durée du dépôt : détermine les épaisseurs des couches et influence leurs rugosités.
- Recuits : les conditions de recuits (durée, température, atmosphère) ont une influence sur la cristallinité, la stœchiométrie et la résistivité.



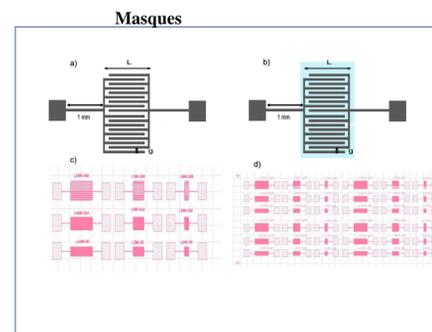
Description des échantillons

- Epaisseurs de SnO2: variant de 25 nm à 300 nm
- Pressions variant de P=5×10⁻³ Pa à P=5×10⁻² Pa
- Puissance RF= 50W, 100 W
- Recuits :
 - Types de recuits :
 - RTA : 10 minutes sous O2 ou (O2 + N2) , vide primaire
 - Four tubulaire : 30 minutes sous air
 - Températures de recuits : 250°C, 350°C et 450°C

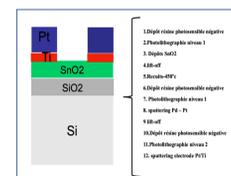


Perspectives

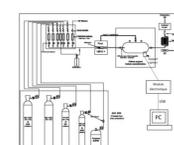
Intégration sur des films SnO2+ catalyseurs sur des dispositifs de type MOX



Procédé



Mesures en ambiances contrôlées (COx et NOx)



Intégration sur des films SnO2+ catalyseurs sur des transistors FDSOI

Références

- J.K. Hart et al. Environmental sensor network: a revolution in the earth system science? Earth Sci. Rev., 2006
- Trillion Sensor Universe, INEMI Spring Member Meeting and Webinar Berkeley, CA, April 2, 2013
- Stephane Monfray, Thomas Skotnicki (2016) UTBB FDSOI: Evolution and opportunities, [Solid-State Electronics](#)
- Jean-Philippe Noel, Olivier Thomas et al. (2011), AUGUST 2011 2473 Multi-VT UTBB FDSOI Device Architectures for Low-Power CMOS Circuit, IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. 58, NO. 8
- Bouthaina Ghaddab (2012) Développement d'un capteur de gaz à base de couche hybride dioxyde d'étain / nanotubes de carbone, Thèse, Hal
- B.Gautheron, Undoped and Pd-doped SnO2 thin films for gas sensors, [Sensors and Actuators B: Chemical](#)
- I. Sayago, E. Terrado, M. Alexandre, M. C. Horrillo, M. J. Fernández, J. Lozano, E. Lafuente, W. K. Maser, A. M. Benito, M. T. Martinez, J. Gutiérrez, E. Muñoz, Novel selective sensors based on carbon nanotube films for hydrogen detection, Sensors and Actuators B, 122 (2007) 75-80.

Conclusion

Nous avons étudié et optimisé les dépôts d'oxydes métalliques SnO2 et des catalyseurs Pt et Pd pour une intégration dans des premiers capteurs de type MOX (structures résistives à contact interdigités).

Les films de SnO2 obtenus sont polycristallins et sous-stœchiométriques en oxygène (rapport O/Sn=1.8). La taille des grains de SnO2 est d'environ 15 à 25 nm. Les catalyseurs métalliques (Pd-Pt) déposés uniformément en surface ont une taille d'environ 1 nm.