

« MicroDispositifs de test en Silicium nanoPoreux pour le Packaging Intelligent »

Institut d'Electronique Fondamentale

Partenaires impliqués

Laboratoire de l'Intégration de Matériau au Système

LIRMM

Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier

Mots clés : Packaging sur tranche, microdispositifs en silicium nanoporeux, microcapteurs de température, pression et humidité, fiabilité du packaging, test intégré

Insertion de microcapteurs environnementaux dans un capot reportable sur le MEMS

Microdispositifs en silicium poreux — Mesure du taux d'humidité à l'intérieur du capot afin de corriger des données du MEMS

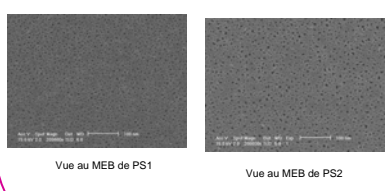
Etude du silicium poreux

Gravure électrochimique de Si dopé n+ (0,003 Ω.cm) dans une solution de HF 25%

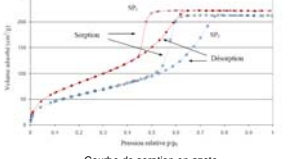
Achievement of PS₁
Achievement of PS₂

PS₁: 13mA/cm²
PS₂: 78 mA/cm²

La porosité et la nanostructure du film poreux dépendent des conditions de gravure et notamment de la porosité



Trois méthodes mises en œuvre afin de déterminer la morphologie du silicium poreux
Mesures de sorption d'azote
Mesures de sorption d'eau
Traitement d'images MEB



Courbe de sorption en azote

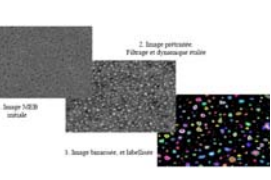
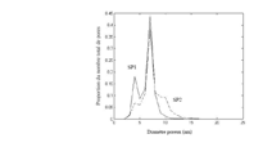
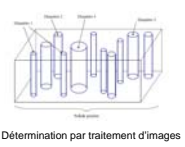
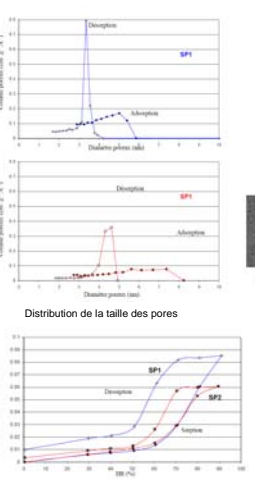
Isotherme de type IV spécifique des matériaux mésoporeux

	SF1	SF2
Aire spécifique (m ² /g)	330	223
Diamètre pores (nm)	4.15	7.16

Tableau 1 : surface spécifique et diamètre moyen des pores selon la théorie de BE

	SF1	SF2
Diamètre moyen BJH (Désoxygène)	9.5	11
Diamètre moyen BJH (Désoxygène)	4.14	8.2

Tableau 2 : diamètre moyen des pores selon la théorie de BJH

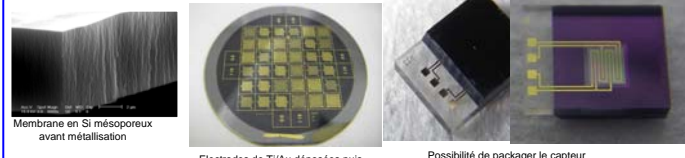


	SF1	SF2
Diamètre pores moyen (nm)	4.2	7.2
TI	5.6	7.5
Aire spécifique (m ² /g)	330	223
Corrélation	0.65	0.45
Porosité	0.55	0.48
Fraction volumique	0.114	0.083

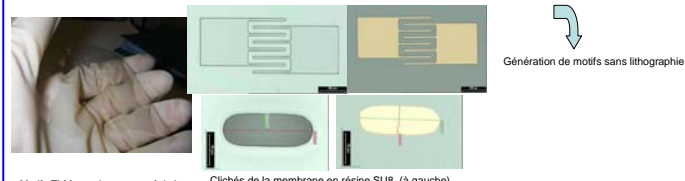
Le diamètre poreux déterminé avec TI est proche de celui déterminé avec la théorie BJH adsorption, considérée dans ce cas comme le plus représentatif parmi les valeurs déterminées par les théories de sorption. Le principal avantage du traitement d'images est qu'il s'agit d'une mesure directe, les résultats ne sont tributaires de modèles mathématiques ; contrairement aux théories de sorption où la forme des courbes n'est pas en mesure de donner une information complète comme pics secondaires présents sur les courbes données par TI.

Microcapteur d'humidité en silicium poreux

* Métallisation du silicium poreux
Technologie de fabrication spécifique en limitant l'exposition aux alcalins



Développement de la technologie de shadow-masking



Motifs TLM pour la mesure résistive

Clichés de la membrane en résine SU8 (à gauche)
Transfert de motifs métalliques (à droite)

Réponse à un échelon d'humidité

La réponse électrique est plus rapide que la prise en eau!

Perturbation de la surface ou des couches juste sous la surface

Caractérisation du capteur packagé : il faut laisser le temps à l'humidité de s'infiltrer jusqu'au capteur (2 jours)

La résistance de contact ne varie pas avec l'humidité dans le cas de SP2. Pour l'échantillon SP1 elle reste constante jusqu'à des taux d'humidité relative de 50%. Au-delà on observe sa décroissance. Ceci peut être dû à un défaut dans le contact et doit être vérifié. Quoiqu'il en soit pour l'application visée on s'intéresse au faible taux d'humidité, dans cette gamme seule la résistance carrée de la couche varie.

$$R(l) = 2R_c + R_{sil} \frac{l}{W}$$

$$R_{sil} = W \frac{\Delta R(l)}{\Delta l} = \frac{\rho}{\epsilon_{sil}}$$

$$R_c = \frac{R(0)}{2}$$

Microcapteur de pression

Deux technologies de jauge Pirani

Pont de silicium polycristallin, membrane de silicium monocristallin

Principe de la jauge Pirani

- utilisation d'une microrésistance chauffante suspendue (FSBM)
- bilan thermique
 - perdes par conduction à travers le solide vers le substrat
 - perdes par radiation (souvent négligeables)
 - perdes par conduction/convection naturelle dans le gaz (dépendent de la pression)
- conductivité thermique des gaz :
 - $\lambda_g(p) = \lambda_0 \frac{p}{p_0}$
 - conductivité nulle pour $p < p_0$
 - conductivité constante (λ_0) pour $p \gg p_0$
- deux techniques de mesure de la pression
 - mesure de la température à puissance constante
 - mesure de la puissance à température constante

Caractéristiques du prototype

- $R_{cc} = 390\Omega$, CTR = 0.138%/°C
- longueur = 1020µm, largeur polysilicium $d_{polysil} = 25\mu m$
- section $S_{polysil} = 104\mu m^2$, surface $S_{sil} = 7850\mu m^2$

Asservissement à température constante ($T_{compens} = 316^\circ C$)

$$R(T) = R_{cc}(1 + CTR(T - T_{compens})) = 560\Omega$$

Modélisation Matlab/simulink

Modélisation analytique

Modélisation par éléments finis

Resistance thermique et constante de temps en fonction de la largeur du polysilicium (p=1 bar)

- augmentation de la résistance thermique
- diminution du temps de réponse

Membrane en silicium monocristallin

Variation de la température d'échauffement de la structure pour différents courants en fonction de la conductivité thermique du gaz (dépendent de la pression)