



Cours pour Doctorants spécialités: Matériaux/Microélectronique

Chapitre3: Microcapteurs

1. Définition:

Un capteur intégré ou microcapteur est un composant réalisé par les techniques de la Microélectronique et qui regroupe sur un substrat de silicium commun le capteur proprement dit, le corps d'épreuve éventuel, des circuits électroniques de conditionnement du signal (figure1).

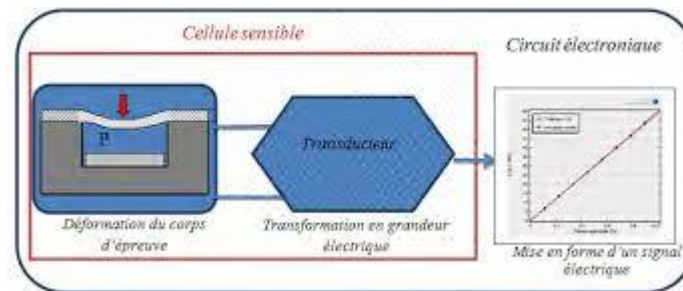


Figure1. Structure générale d'un capteur intégré de pression au Silicium [2]

L'intégration apporte de multiples avantages : miniaturisation, diminution des coûts par la fabrication en grande série, accroissement de la fiabilité par suppression de nombreuses connexions soudées, interchangeabilité améliorée, meilleure protection vis-à-vis des parasites, le signal étant conditionné à sa source.

L'utilisation du silicium impose cependant une limitation de la plage d'emploi de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ environ.

Le capteur proprement dit met généralement à profit la sensibilité du silicium à diverses grandeurs physiques ; cette sensibilité, par ailleurs déjà souvent exploitée pour la réalisation de capteurs isolés, peut être mise en œuvre sous forme de capteurs

résistifs, capacitifs ou au moyen de diodes et de transistors [2].

2. Exemples de Microcapteurs à base de silicium:

-Résistances thermométriques; jauges extensométriques; photocapacités ; plaquettes à effet Hall ; photodiodes et phototransistors ; diodes de détection nucléaire; transistors thermométriques; ISFET; GASFET.

Le capteur peut aussi être réalisé en déposant sur le substrat de silicium un film mince d'un matériau plus approprié que le silicium au mesurande considéré mais compatible avec le processus technologique de fabrication des circuits intégrés: ZnO piézoélectrique, InSb magnétorésistant, polymères hygroscopiques, couple thermoélectrique Bi/Sb.

Lorsque le capteur doit être un capteur composite, le corps d'épreuve est réalisé à partir du substrat de silicium support de l'ensemble du capteur intégré.

L'emploi de corps d'épreuve en silicium est justifié par les propriétés mécaniques excellentes du cristal : domaine élastique étendu, module d'Young comparable à celui de l'acier et limite de fatigue très élevée.

La fabrication des corps d'épreuve est rendue possible grâce aux techniques de micro-usinage chimique.

Le silicium est attaqué par divers produits chimiques, en particulier :

-Le mélange éthylène diamine, pyrocatechol et eau (EDP) ;

-La solution potasse (KOH)-eau.

La zone à attaquer est délimitée par une ouverture faite dans une couche superficielle de SiO₂ qui n'est pas attaquée. La vitesse d'attaque dépend des directions cristallographiques: pour EDP et KOH, elle est respectivement 35 et 400 fois supérieure dans la direction 100 que dans la direction 111. La vitesse d'attaque dépend aussi du dopage : elle est considérablement réduite par un fort dopage de bore ce qui permet d'arrêter l'attaque au niveau voulu.

Les figures 2 représentent la procédure de réalisation d'une poutre et d'un diaphragme par attaque chimique.

Dans ces deux cas, la déformation du corps d'épreuve sous l'action du mesurande (accélération pour la poutre, pression pour le diaphragme) peut être convertie en signal électrique au moyen d'un pont de jauges piézorésistives implantées dans des zones adéquates ou au moyen d'un dépôt de ZnO piézoélectrique subissant une contrainte sous l'action de la déformation du corps d'épreuve (figure 3).

Les circuits électroniques associés au capteur sont réalisés selon les techniques classiques de fabrication des circuits intégrés : ils comportent selon les cas : des circuits de compensation thermique, de linéarisation, d'amplification, de transmission par conversion tension-fréquence, ou tension-courant, des registres de type DTC-Dispositif à Transfert de Charges- pour le stockage et le transfert des informations [4,7].

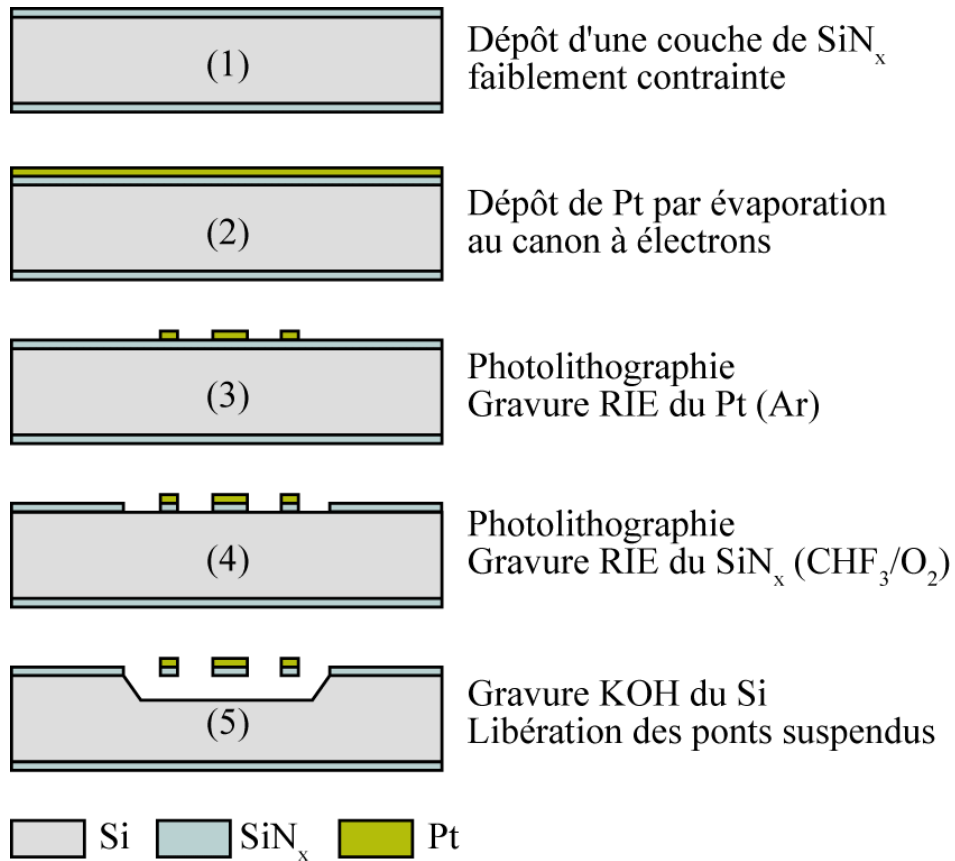


Figure2. Phases successives de la réalisation de corps d'épreuve par attaque chimique Anisotropique [4]

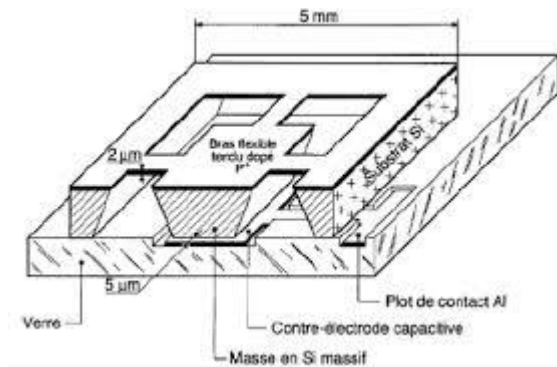


Figure3. Accéléromètre intégré [7]

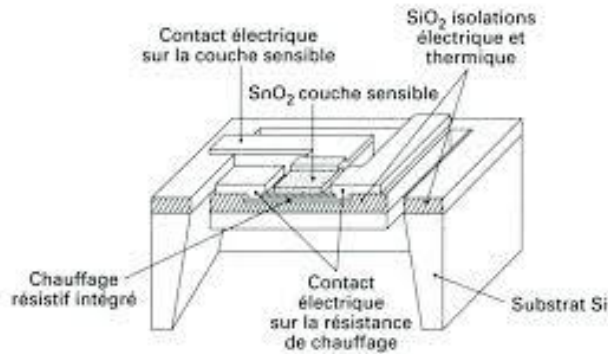


Figure4. Capteur intégré de gaz [5]

Les figures 3 et 4 représentent les structures d'un accéléromètre intégré et d'un Capteur intégré de gaz à base de SnO₂ comme couche sensible.

La réalisation des capteurs intégrés pose, dans certains cas, des problèmes spécifiques délicats dus à la proximité du capteur et de l'électronique associée:

- Les circuits électroniques doivent être découplés vis-à-vis des contraintes exercées sur le capteur par un mesurande de type mécanique ;
- L'encapsulage doit permettre le contact du capteur avec un milieu extérieur souvent hostile (mesures de pH, de composition gazeuse, de débit) tout en protégeant efficacement les composants électroniques [2,5].

Références bibliographiques:

1. Jean-Louis Fanchon, Guide de mécanique, Nathan, 2001 (ISBN 978-2-09-178965), p.427-432.
2. *Capteurs de pesage: Jauges de contrainte ou capteurs à compensation électromagnétique*, mesures.com (lire en ligne [archive]).
3. J.C.Gibson, *The definition, understanding and design of aircraft handling qualities*, Delft University Press, 1997 (lire en ligne [archive]), p.46.
4. G.Amendola, P.Poulichet, L.Sevely, L,Valbin. Les capteurs MEMS, principes de fonctionnement. Techniques de l'Ingénieur.
5. G.Amendola, P.Poulichet, L.Sevely, L,Valbin. Capteurs MEMS, techniques de mesure. Techniques de l'Ingénieur.
6. S.Paineau, P.Andreucci, C.Schaffnit, S.Magaton. Microsystèmes:applications et mise en oeuvre.Techniques de l'ingénieur.
- 7.Y. Kanda, "piézorésistif Effet Silicon," Sens. Actionneurs, vol. A28, non. 2, pp. 83-91, 1991.
8. S. Middelhoek et SA Audet, Silicon Sensors, Delft, Pays-Bas: Delft University Press, 1994.
9. AL Fenêtre, technologie de jauge de contrainte, 2nd ed, Londres, Angleterre: Elsevier Science appliquée, 1992.
10. CS Smith, "Effet piézorésistifs dans Germanium et Silicon," Phys. Rev., vol. 94, no. 1, pp. 42-49, 1954.
11. SM Sze, Semi-conducteur Capteurs, New York: Wiley, 1994.

