



Le saviez-vous? Mesurer la pression absolue à l'aide de cellules piézorésistives

La technique sensorielle applique différentes méthodes pour mesurer la pression. En règle générale, on fait la distinction entre la mesure de pression relative, différentielle et absolue. Le présent article résume les principales informations concernant la mesure de la pression absolue à l'aide des cellules de pression piézorésistives. [1]

Mesure de la pression absolue

Définition : On entend par mesure de la pression absolue une valeur de la pression P_1 par rapport au vide absolu P_0 ($P_0 = 0$ bar).

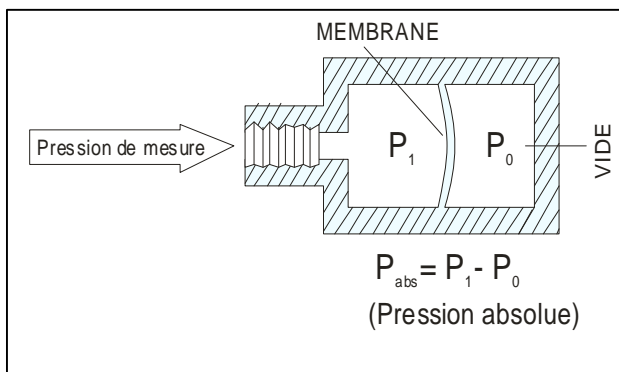


Illustration 1 : Fonctionnement d'un capteur de pression



Illustration 2 : Capteur de pression de pression absolue industrielle (AMSYS Transmetteur U5100 [2])

Cellules de mesure de pression micromécaniques sur substrat de silicium (puce de silicium)

Les dispositifs transducteurs micromécaniques à base de silicium (cf. *illustrations 3, 4 et 5*) étant fabriqués selon les mêmes procédés que les semi-conducteurs, ils répondent donc aux mêmes exigences en terme de fiabilité et rentabilité. Toutes les cellules de pression micromécaniques sur substrat de silicium disposent d'une membrane fine sensible à la pression, obtenue par procédé de gravure anisotrope (cavité) de la puce de silicium. Au cours du procédé semiconducteurs différentes molécules sont implantées dans les cristaux de silicium (dopage local) afin de modifier la conductivité électrique dans ces zones et de leur conférer des propriétés de résistances. Dès que la membrane subit l'effet d'une contrainte, la fine membrane en silicium se déforme changeant ainsi la structure moléculaire du cristal. Des déformations des cristaux, plus fortes dans les zones de résistance, résulte un changement mesurable de la valeur de résistance (effet piézorésistif). La structuration en pont de ces résistances intégrées permet d'obtenir à l'application d'un courant ou d'une tension un signal différentiel de l'ordre du millivolt en fonction de la pression exercée. Ce signal est ensuite traité électroniquement par les circuits amplificateurs d'instrumentation.

Le saviez-vous? Mesurer la pression absolue à l'aide de cellules piézorésistives

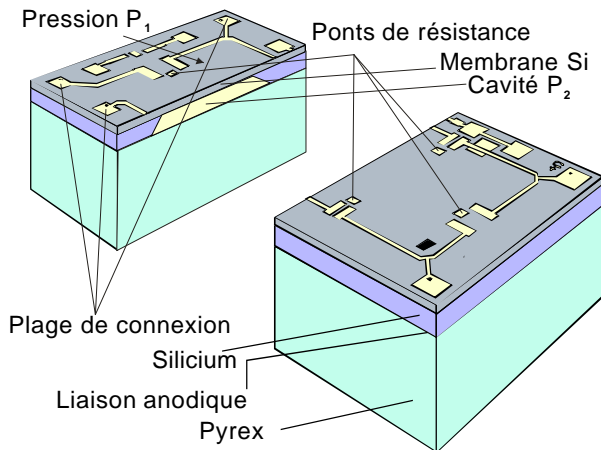


Illustration 3 : Structure type d'une cellule de mesure de la pression absolue en silicium.
P1 = P2 dans la cavité.

Les dimensions des cellules de silicium dépendent de la gamme de pression et du procédé de fabrication. Elles sont d'environ $2 \times 2 \times 0,8 \text{ mm}^3$ pour une plage de mesure d'environ 30 mbar à 30 bar.

Les cellules de pression absolue sont composées d'un socle hermétique en verre (pyrex) (bleu turquoise), du substrat de silicium (bleu) et de la membrane (bleu clair) qui en a été gravée. Indépendamment de la pression à mesurer, l'épaisseur de la membrane est de 10 à 50 μm .

Pour en savoir plus sur la structure des cellules sur substrat de silicium, prière de se rapporter à l'explication de l'illustration 5.

Mesure de la pression absolue à l'aide de capteurs à base de silicium

La mesure de la pression absolue (cf. *Illustration 3*) consiste à enregistrer une pression de mesure P_1 par rapport à une pression de référence dans la cavité (P_2) que la valeur infime permet de négliger par rapport à la pression à mesurer. Dans le cas idéal, P_2 serait égale au vide absolu (donc $P_2 = 0 \text{ bar}$).

Exemple : Une pression absolue de 700 mbar correspond à une pression de mesure de 700 mbar au-dessus du vide absolu et de 313,25 mbar en-dessous de la pression atmosphérique. (Pression atmosphérique = 1013,35 mbar au niveau de la mer par 0°C, latitude 45°) Une pression négative d'une telle valeur (vacuum) est donc perceptible par rapport à la pression atmosphérique.

Par conséquent, le procédé de fabrication des capteurs de pression absolue (*Illustration 4*) doit avoir lieu sous vide. D'une manière plus concrète, cela signifie que la cellule doit être hermétiquement fermée par un socle en verre (substrat de pyrex) en cas de pression négative P_2 . La fermeture a lieu au cours d'un processus électrochimique réalisé sous une forte tension (liaison anodique). Afin de garantir la fiabilité des résultats, la valeur de la pression négative P_2 (pression de référence) doit être maintenue durablement.

Si une pression P_1 est exercée sur sa surface supérieure, la membrane cède en direction de la pression négative plus faible. Par conséquent $P_1 \gg P_2$, il en résulte donc que la membrane se déforme vers la cavité (cf. *Illustration 5*).



Le saviez-vous? Mesurer la pression absolue à l'aide de cellules piézorésistives

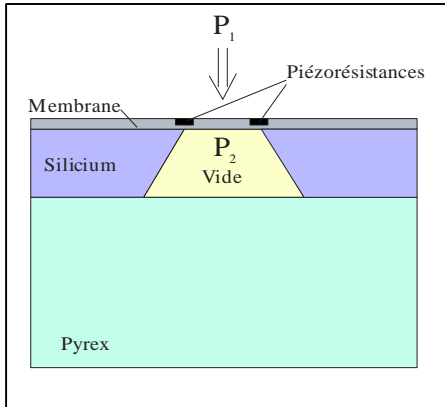


Illustration 4 : Coupe transversale d'une cellule piézorésistive avec résistances implantées utilisée pour mesurer la pression absolue P_1 (L'illustration montre une pression ambiante $P_1 = P_2$, donc au vide)

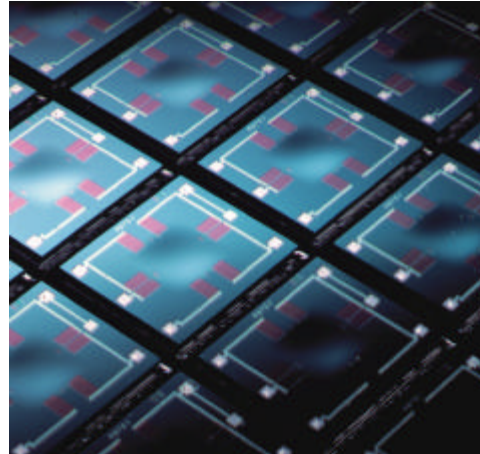


Illustration 5 : Cellules silicium en plaquettes (wafer) pour applications de mesure de la pression absolue par rapport à la pression atmosphérique ambiante = P_1 . $P_1 \gg P_2$

- Explication de l'illustration 5 : Les structures claires que l'on voit sur les surfaces des cellules en silicium correspondent aux pistes conductrices en aluminium reliées aux plages de connexion (carrés clairs) qui servent à brancher les cellules avec le circuit externe. Les surfaces violettes correspondent aux connexions conductrices diffusées reliées aux piézorésistances. Les piézorésistances (non visibles) placées plus en profondeur se situent donc entre les surfaces violettes au bord du renforcement, dans la zone qui subit les plus grandes contraintes mécaniques. Le centre de la cellule affiche la déformation de la membrane (renforcement) causée par la pression atmosphérique P_1 .

Structure du capteur

Le capteur de pression absolue piézorésistif est composé d'une cellule de mesure montée sur un substrat, p.ex.: céramique, du système de traitement des signaux (ASIC) ainsi que d'un boîtier équipé de raccords de pressions et des connexions électriques.

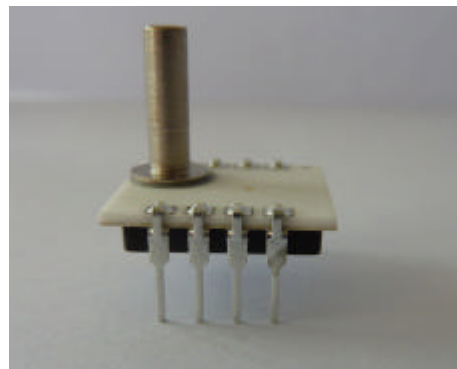
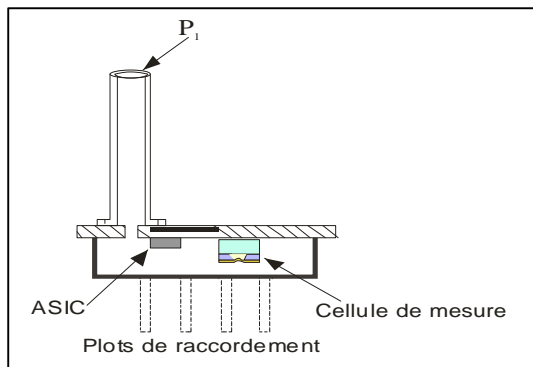


Illustration 6 : Capteur de pression absolue AMS 5812 [3]



Le saviez-vous? Mesurer la pression absolue à l'aide de cellules piézorésistives

Signal de sortie

De l'effet piézorésistif de la cellule monocristalline résulte le signal $V_{OUT} = f(P_1 - P_2)$ proportionnellement à la pression exercée à la sortie des ponts de résistance implantés (*Illustration 4*). S correspond à la sensibilité :

$$V_{OUT} \approx S \cdot (P_1 - P_2)$$

L'amplificateur d'instrumentation du système de conditionnement des signaux (*Illustration 8*) multiplie le signal différentiel par le coefficient g .

La proportionnalité permet de déterminer l'augmentation des caractéristiques de transfert du capteur mais ne donne ni le point zéro ni la valeur de la sortie à pleine échelle. Par conséquent, il va falloir procéder à un calibrage pour déterminer le coefficient de représentation a .

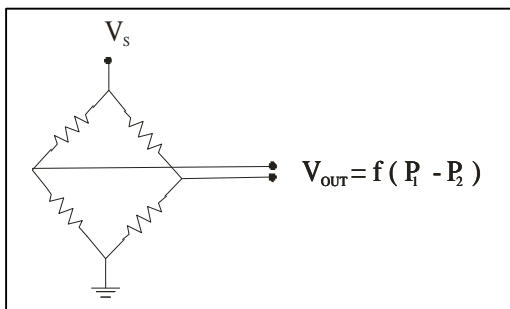


Illustration 7 Pont de Wheatstone

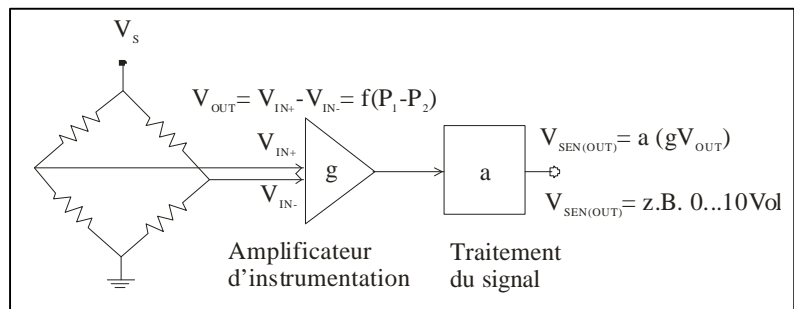


Illustration 8 : Schéma d'un capteur avec circuit de traitement

Point zéro (Offset)

Si $P_1 = P_2$, la tension V_{out} à la sortie du pont de résistance est qualifiée de tension d'offset. Cette règle s'applique sans aucune exception à tous les capteurs de pression. Si, par définition, on mesure la pression absolue par rapport au vide absolu, la pression dans la cavité devrait être égale à P_0 . Cependant, il ne faut pas oublier que la technologie ne permet pas encore d'obtenir une pression de référence de 0 bar dans la cavité. Par conséquent, la pression P_2 qui y règne dans la pratique sera toujours supérieure à 0 bar. Si l'on se réfère à la définition de la pression absolue, une pression $P_2 \neq 0$ bar signifie que le résultat obtenu en offset fausse la mesure. La valeur P_2 , déterminée par un algorithme au moment du calibrage du zéro, est mise à disposition sous forme électronique dans le circuit de traitement des signaux (*Illustration 8*). Pour cela, les courbes caractéristiques de deux pressions différentes, p.ex. nominale et basse, sont enregistrées par les différents capteurs actifs. La droite reliant ces deux points est extrapolée jusqu'au point zéro de la pression. Le point d'intersection de l'axe y en résultant correspond à la tension d'offset à calibrer au point zéro souhaité, p. ex. 0V.



Le saviez-vous? Mesurer la pression absolue à l'aide de cellules piézorésistives

Signal à pleine échelle (plage de sortie)

Le FSO, la plage de variation totale de sortie, se définit comme la différence entre le signal de sortie au moment de la pression maxi et le offset. Pour un signal de sortie de 10 Volt sur un capteur donné et un offset de 0,05 Volt, le FSO est de 9,95 Volt. Le FSO n'est pas à confondre avec la sortie à pleine échelle (FS) qui, elle, correspond au décalage (tension offset) et à la plage de variation totale de sortie qui, pour reprendre l'exemple ci-dessus, s'élève à 10 V. Tout comme le décalage, le signal à pleine échelle doit, lui aussi, être calibré sur la valeur finale de sortie souhaitée, p. ex. 10 Volt.

Pour un capteur de pression absolue, la plage de sortie se réfère toujours au vide absolu.

La détermination de la calibration (tension offset et du signal de la plage de sortie) permet de définir les caractéristiques de transfert du capteur à température ambiante.

Le offset et le signal de la plage de sortie dépendant de la température, ces erreurs doivent être compensées. A cet effet, les erreurs de température du décalage de la tension offset et de la plage de variation totale de sortie sont déterminées pendant la compensation et corrigées de la même manière que le décalage et la plage de variation au niveau du traitement des signaux.

Pour les capteurs ajustés et amplifiés, ces réglages (calibrage et compensation) sont effectués par le fabricant.

Applications

Les capteurs de pression absolue sont particulièrement adaptés aux applications de surveillance de la pression à l'intérieur de systèmes d'installations industrielles où la pression ambiante n'a aucun impact sur la pression du système, p. ex. dans les circuits fermés d'air comprimé. Ce genre de capteurs de pression absolue est couramment utilisé pour mesurer la pression dans les bouteilles de gaz ou les systèmes pneumatiques (compresseurs). Grâce à leur structure relativement simple, ces capteurs se prêtent particulièrement bien à des applications dans de tels systèmes fermés. Contrairement aux capteurs de pression relative, aucun lien supplémentaire entre le capteur et l'environnement n'est nécessaire. Il suffit simplement de connecter les capteurs de pression absolue à l'intérieur des systèmes à mesurer. Ce type de capteurs est également adapté aux applications de la technologie du vide pour surveiller les enceintes (chambres à vide) pendant le processus de vidage par des pompes. En fonction du degré d'étanchéité de la pompe et de l'installation, la qualité de la dépression ne peut être mesurée correctement que jusqu'à hauteur de la pression dans la cavité P_2 .

Une autre application courante des capteurs de pression absolue consiste à déterminer la pression barométrique ambiante entre p.ex. 700 et 1200 mbar [4]. Dans ce cas précis, une dynamique d'affichage optimisée étant nécessaire, le point zéro est fixé à 700 mbar et le signal de pleine échelle à 1200 mbar.



Le saviez-vous? Mesurer la pression absolue à l'aide de cellules piézorésistives

L'équation suivante

$$h = \frac{288,15 \text{ K}}{0,0065 \text{ K/m}} \left[1 - \left(\frac{p}{101.325 \text{ Pa}} \right)^{0,0065 \text{ K/m} \frac{R}{g}} \right]$$

reliant l'altitude géographique h à la pression atmosphérique ambiante p . h peut être calculée en déterminant la pression absolue.

Cette approximation repose sur l'assomption suivante :

- Pression au niveau moyen de la mer = 101325 Pa = 1013,25 mbar
- Température au niveau moyen de la mer = 288,15 K
- Gradient vertical de température = 6,5 K / 1000 mR représente la constante de gaz spécifique $R = R^* / M_0$ ($R = 287,052 \text{ J/K kg}$)
- g représente l'accélération terrestre $g = 9,80620 \text{ m/s}^2$ à la latitude 45.

Afin de pouvoir les intégrer dans des altimètres portables (montres) [6], les fabricants de capteurs de pression barométrique proposent aujourd'hui des capteurs de pression absolue miniaturisés dotés de processeurs 24 bit et d'une résolution de 0,012 mbar (~10cm) [5].

De telles caractéristiques performantes permettent aujourd'hui d'intégrer les capteurs de pression absolue modernes dans des altimètres mobiles pour contrôler l'altitude aussi bien dans des avions, des ballons-sondes et parachutes que dans des modèles d'avions réduits.

Aux rangs des applications les plus récentes de ces capteurs de pression haute résolution figurent les vêtements intelligents et les systèmes de navigation personnelle.

Résumé

La mesure de la pression absolue n'est qu'un moyen de déterminer la pression. Il s'agit de mesurer la pression par rapport au vide absolu. Par conséquent, les valeurs ainsi obtenues sont qualifiées d'absolues. C'est une façon éprouvée de mesurer la pression dans des systèmes fermés sans tenir compte de la pression ambiante extérieure.

Bibliographie

- [1] Informations détaillées sur les capteurs de pression AMSYS : <http://www.amsys.de>
- [2] Fiche technique U5100 : <http://www.amsys.de/products/u5100.htm>
- [3] Fiche technique AMS 5812 : <http://www.amsys.de/products/ams5812.htm>
- [4] Notice d'application : Détermination précise de l'altitude grâce au module de pression MS5607 <http://www.amsys.de/sheets/amsys.de.aan509.pdf>
- [5] Fiche technique MS5803 : <http://www.amsys.de/products/ms5803.htm>
- [6] Fiche technique MS5607 : <http://www.amsys.de/products/ms5607.htm>

Contact

AMSYS GmbH & Co. KG
An der Fahrt 13, D – 55124 Mainz
Internet : <http://www.amsys.de>

Téléphone : +49 (0) 6131/469875 – 0
Téléfax : +49 (0) 6131/469875 – 66
Mail : info@amsys.de