

# Une nouvelle technologie pour les capteurs de pression

par J.-P. DELAPORTE (\*)

*Il aura fallu attendre les règlements anti-pollution américains et japonais, la crise du pétrole et le développement des VLSI pour assister au vrai démarrage de l'électronique automobile. En effet, bientôt, beaucoup de nouvelles automobiles seront équipées de systèmes à microprocesseurs pour le contrôle du moteur, car cela permet non seulement d'améliorer les performances mais encore de réduire la consommation et la pollution par les gaz d'échappement. Ces applications demandent une nouvelle sorte de capteurs à faible coût, précis et hautement fiable pour transformer les informations physiques (pression, position, température) en une donnée électrique assimilable par le microprocesseur.*

*L'article technique qui suit a pour but de décrire la conception et la fabrication d'un capteur de pression au silicium mis au point par Motorola.*

## Piezorésistivité dans le silicium

L'effet utilisé pour la mesure des pressions est la piézorésistivité. Une force appliquée sur un barreau de silicium provoque une modification de la mobilité des porteurs majoritaires. Cela se traduit par un changement en ce point de la résistivité du silicium.

Cette force peut se décomposer selon trois modes principaux : longitudinale ( $T_1$ ) parallèle du courant, transversale ( $R_2$ ) perpendiculaire au courant, et de cisaillement ( $\tau_{12}$ ).

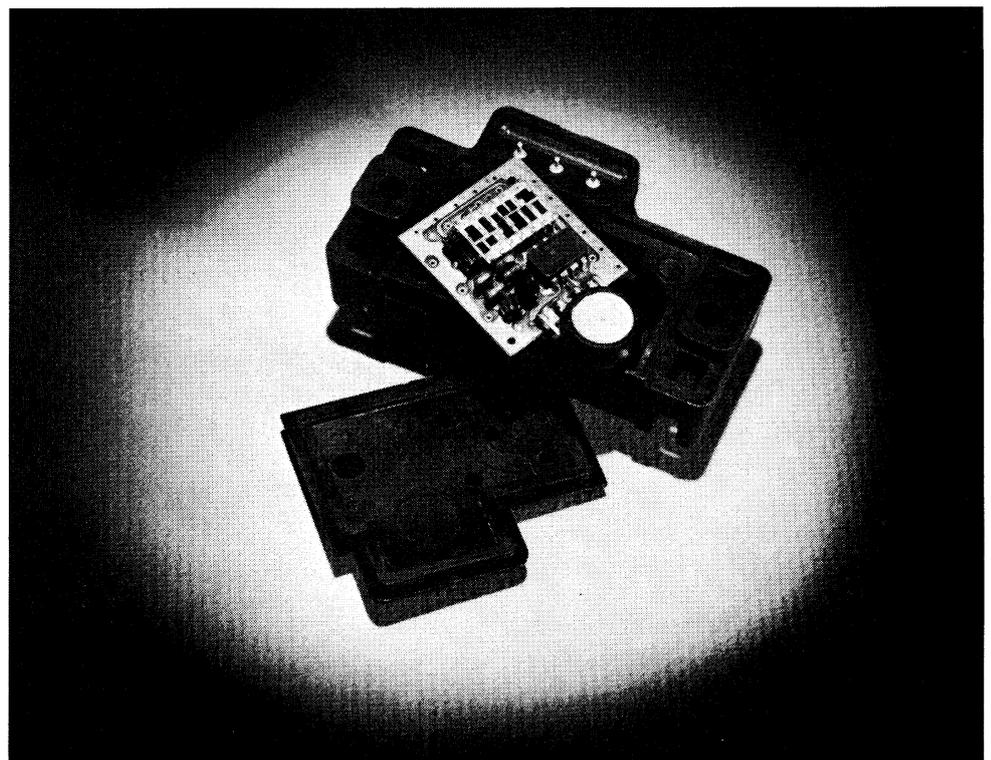
L'effet piezorésistif de l'effort de cisaillement est le plus important. Le champ électrique, qui accompagne ce changement de résistance est perpendiculaire à la direction des force et à celle du courant. Son expression est la suivante :

$$|E_1| = P_0 \pi_{44} \tau_{12} i_1$$

$P_0$  : résistivité naturelle

$i_1$  : courant dans la direction 1  
 $\tau_{12}$  : effort de cisaillement

$\pi_{44}$  : coefficient piézorésistif de cisaillement



(\*) Ingénieur Produit à Motorola semi-conducteurs Toulouse.

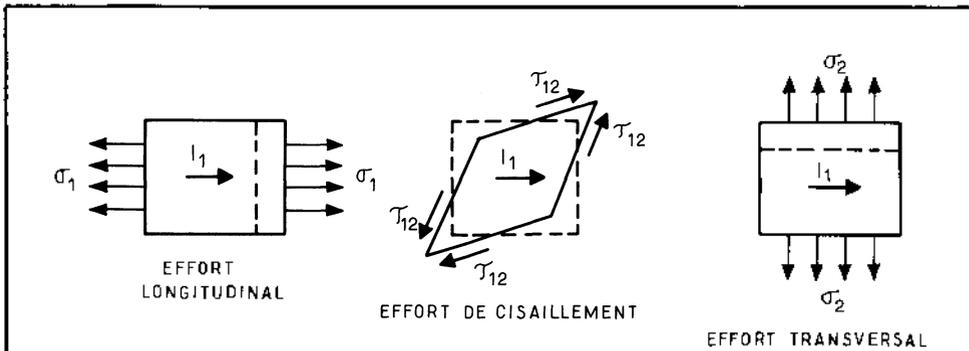


Fig. 1. - Effet piézorésistif dans le silicium.

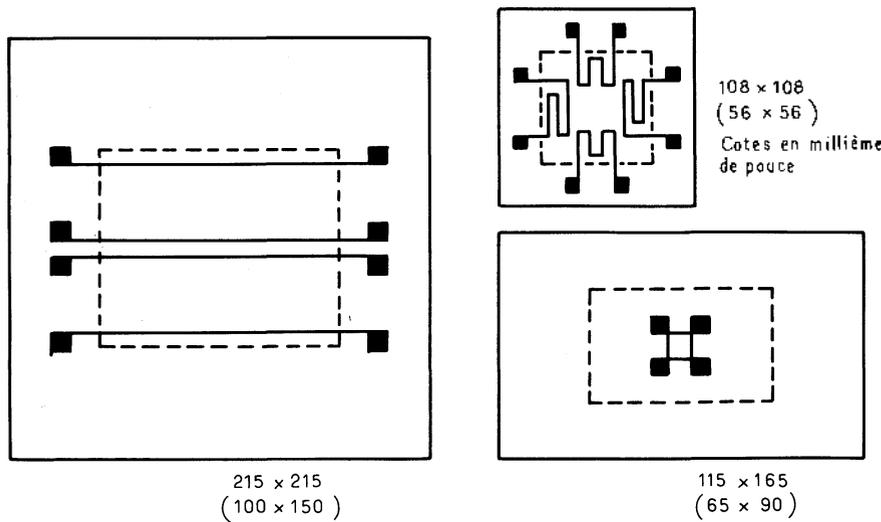


Fig. 2. - Capteurs de pression typique.

La géométrie des éléments sensibles à la pression devra donc être conçue pour favoriser l'effet de cisaillement lorsqu'une pression est appliquée.

Une première approche de la conception des capteurs de pression est la configuration en pont de Wheatstone. Les éléments résistifs sont diffusés ou implantés sur un substrat de silicium et les techniques de fabrication sont classiques pour l'industrie des semi-conducteurs. La figure montre quelques exemples de configuration de circuits actuellement sur le marché.

Pour pénétrer dans le marché industriel et notamment le marché automobile, de tels composants doivent avoir au moins trois qualités essentielles : la fiabilité, la simplicité et le prix.

Alors que les capteurs de pression du type pont de Wheatstone ont prouvé leur fiabilité, ils souffrent d'une non-reproductibilité et nécessitent des schémas de calibration et de compensation en température élaborés.

Bien que le silicium soit naturellement sensible à la température, les

schémas de compensation peuvent être simples afin de conserver un prix bas et une haute fiabilité.

Cela n'est possible que lorsque l'on dispose d'une parfaite reproductibilité d'une pièce à l'autre.

Le coefficient de température des éléments résistifs, par exemple, varie de 200 à 2 500 ppm selon les niveaux de dopage. Mais si ces niveaux varient de plus de 10 ppm d'un bras résistif à l'autre, le circuit de compensation devient très onéreux. Le problème se présente de façon similaire pour l'offset et la compensation en température de l'offset.

C'est pour cette raison que *Motorola* a entrepris une approche complètement différente, visant à obtenir la même sensibilité en utilisant un seul élément résistif.

Une considération géométrique a prévalu pour une large part dans la nouvelle conception ; les différents coefficients piézorésistifs dépendent de la direction du courant et de la nature des forces appliquées.

Les éléments résistifs du pont de Wheatstone sont parallèles ou perpendiculaires au bord du wafer. Ils utilisent ainsi la sensibilité du sili-

cium aux efforts transversaux et longitudinaux. Par contre, un élément résistif faisant un angle de 45° avec le bord du wafer subit un effort de torsion et de cisaillement important au point de contact du diaphragme.

Il faut remarquer que d'un point de vue strictement mécanique, les forces les plus importantes lors de la déformation du diaphragme se situent au milieu des bords du diaphragme. Ces forces sont parallèles au bord du diaphragme et font donc bien un angle de 45° avec l'élément.

La figure 3 montre un capteur piézorésistif utilisant un seul élément résistif. Un champ électrique peut alors être mesuré perpendiculairement à l'axe du courant. Cette conception améliore nettement la reproductibilité en éliminant le nécessaire accord de plusieurs résistances. On utilise les procédés classiques de fabrication des circuits intégrés.

La figure 4 montre une vue en coupe de la puce. Des techniques plus particulières doivent être employées

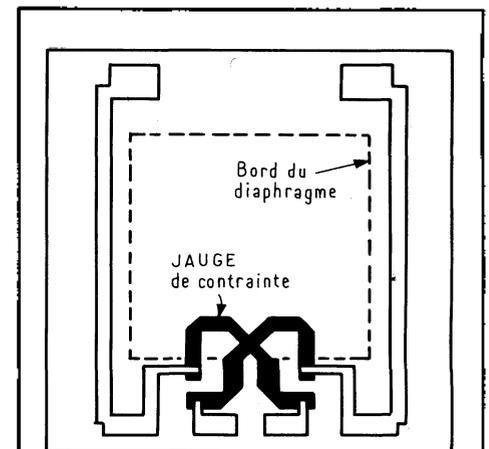
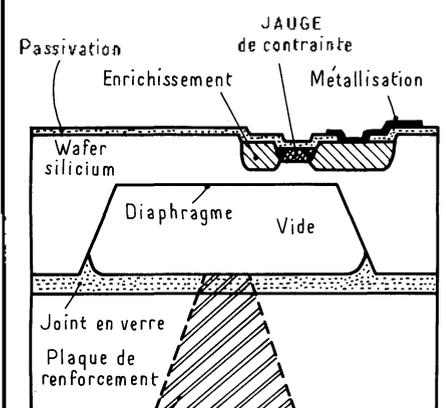


Fig. 3. - Capteur de pression Motorola « X-ducer » utilisant un seul élément résistif.



Evidemment à la demande pour les capteurs différentiels

Fig. 4. - Vue en coupe de la puce du « X-ducer » de Motorola.

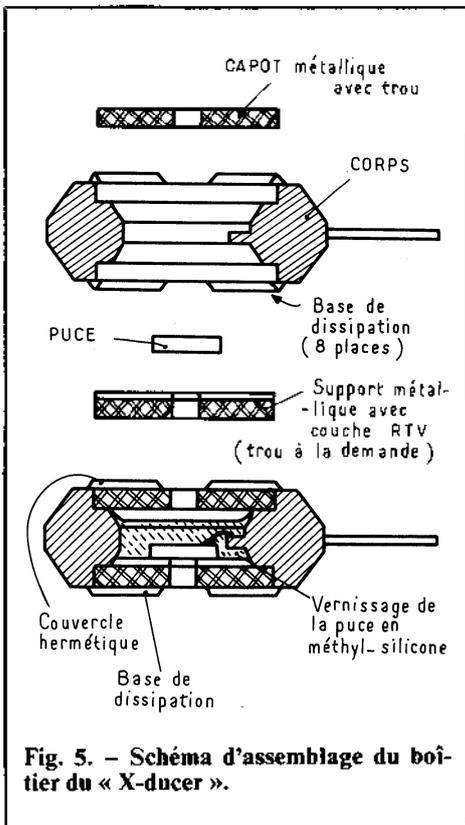


Fig. 5. - Schéma d'assemblage du boîtier du « X-ducer ».

pour la mise en boîtier ainsi que pour les tests.

En effet, il faut à la fois un signal mécanique et un signal électrique pour mesurer la tension de sortie. La conception de ce boîtier est montrée figure 5. Elle a été choisie pour réaliser un assemblage entièrement automatique et rapide.

### Caractéristiques

A ce jour *Motorola* a introduit deux produits :

**Le MPX100A/D :** C'est un capteur de pression donnant une tension de sortie bas niveau pour la gamme de pression 0-100 kPa (0-14PSI). Disponible en version absolue ou différentielle (différence de pression par rapport à une référence). Ce modèle est spécialement prévu pour couvrir les besoins en contrôle de moteurs automobiles.

Les autres caractéristiques importantes sont :

- température de stockage :
- 50 °C à + 150 °C,
- 60 mV pleine échelle à 100 kPa et 3V excitation
- excellente linéarité de  $\pm 0,05\%$  pleine échelle (réduction de la complexité des circuits associés)
- temps de réponse 1ms.

**Le MPX80M :** Ce circuit utilise le capteur MPX100 avec une électronique associée de compensation en température et de calibration de l'OFFSET et d'amplification. Pour

rendre sa mise en application plus simple ce module est disponible en 2 formats :

- Circuit imprimé adapté à une grande variété d'applications industrielles.
- Module complet adapté aux applications sous le capot moteur.

Les caractéristiques principales de ce module sont les suivantes :

- alimentation unique 5 V
- $\pm 1,5\%$  précision pleine échelle de + 10 °C à + 85 °C
- sortie pleine échelle de 4.9 V
- sensibilité typique de 50 mV/kPa.

Pour contrôler la fiabilité de ces produits des cycles pression température puissance ont été effectués. Au bout de 1500 cycles comprenant des passages rapides de - 40 à + 150 °C et de 0 à 80 kPa aucun produit n'a eu une dérive supérieure à  $\pm 1\%$  de la pleine échelle.

De même des essais de choc mécanique allant de 20G à 500G, d'humidité à 85 %, de vapeur d'essence sont effectués sur un échantillonnage représentatif de chaque lot.

### Conclusion

Le marché des capteurs à semiconducteurs devrait être très important et les deux produits décrits sont les premiers d'une série plus vaste.

*Motorola* pense avoir maintenant acquis la connaissance du semiconducteur ainsi que la capacité de fabriquer des circuits intégrés en grosses quantités. Cette nouvelle génération de capteurs de pression fait donc pleinement partie de sa gamme de produits précis, fiables et à faible coût.

J.-P. D.

# Tout pour le câblage !



Europavic