

Brevet N°

84413

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

du 7 octobre 1982

Titre délivré : 13 JUIN 1983

L-2757



Monsieur le Ministre
de l'Économie et des Classes Moyennes
Service de la Propriété Intellectuelle
LUXEMBOURG

Demande de Brevet d'Invention

I. Requête

United Technologies Corporation, 1 Financial Plaza, Hartford
Connecticut 06101, USA représentée par Monsieur Jean Waxweiler
21-25 Allée Scheffer, Luxembourg, agissant en qualité de man-
dataire

dépose(nt) ce sept octobre mil neuf cent quatre-vingt-deux
à 15,00 heures, au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes, à Luxembourg :
1. la présente requête pour l'obtention d'un brevet d'invention concernant :
Transducteur de pression capacitif au silicium lié par voie
électrostatique.

2. la délégation de pouvoir, datée de Hartford le 8 septembre 1982
3. la description en langue française de l'invention en deux exemplaires;
4. 2 planches de dessin, en deux exemplaires;
5. la quittance des taxes versées au Bureau de l'Enregistrement à Luxembourg,
le sept octobre mil neuf cent quatre-vingt-deux

déclare(nt) en assumant la responsabilité de cette déclaration, que l(es) inventeur(s) est (sont) :
Grantham Daniel Harrison, 7 Brook Street, Glastonbury, Connecticut 06033, USA et Swindal James Loyce, 27 Edgerton Street, East
Hampton, Connecticut 06424 USA

revendique(nt) pour la susdite demande de brevet la priorité d'une (des) demande(s) de
(6) brevet d'invention déposée(s) en (7) USA
le 13 octobre 1981 sous le No. 310,597

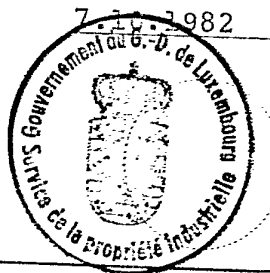
au nom de Grantham Daniel Harrison et Swindal James Loyce
élit(élisent) pour lui (elle) et, si désigné, pour son mandataire, à Luxembourg
Jean Waxweiler, 21-25 Allée Scheffer, Luxembourg

solicite(nt) la délivrance d'un brevet d'invention pour l'objet décrit et représenté dans les
annexes susmentionnées, — avec ajournement de cette délivrance à / mois. (11)
Le mandataire

II. Procès-verbal de Dépôt

La susdite demande de brevet d'invention a été déposée au Ministère de l'Économie et des
Classes Moyennes, Service de la Propriété Intellectuelle à Luxembourg, en date du :

à 15,00 heures



Pr. le Ministre
de l'Économie et des Classes Moyennes,
p.

A 68007

(1) Nom, prénom, firme, adresse — (2) s'il a lieu «représenté par ...» agissant en qualité de mandataire — (3) date du dépôt
en toutes lettres — (4) titre de l'invention — (5) noms et adresses — (6) brevet, certificat d'addition, modèle d'utilité — (7)
pays — (8) date — (9) déposant originaire — (10) adresse — (11) 6, 12 ou 18 mois.

REVENDEICATION DE PRIORITÉ

L-2757

Dépôt de la demande de brevet

en USA

du 13 octobre 1981 sous le numéro 310,597

M E M O I R E D E S C R I P T I F

DEPOSE A L'APPUI D'UNE DEMANDE

DE BREVET D'INVENTION

AU GRAND-DUCHE DE LUXEMBOURG

par:

United Technologies Corporation

pour:

Transducteur de pression capacitif au silicium
lié par voie électrostatique

Transducteur de pression capacitif au silicium lié
par voie électrostatique.

La présente invention concerne des transduc-
teurs de pression capacitifs à cavité constitués de
5 deux organes en silicium réunis l'un à l'autre par un
verre de borosilicate pulvérisé en adoptant une tech-
nique de liaison thermique assistée par un champ élec-
trique.

Un transducteur de pression de type capacitif
10 réalisé pratiquement entièrement en silicium est dé-
crit dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique
N° 3.634.727. Ce dispositif est constitué de deux
disques en silicium creusés en leur centre et enduits
d'une couche d'oxyde isolant, puis réunis l'un à l'au-
15 tre, soit par métallisation des oxydes suivie d'un
brasage, soit simplement au moyen d'un verre à basse
température de fusion. Un dispositif de ce type a un
diamètre de l'ordre de 25,4 mm (1 pouce) et, par inhé-
rence, il présente un rapport relativement élevé entre
20 la capacitance parasite statique non désirée et la ca-
pacitance variable en fonction de la pression.

Tel qu'il est décrit dans le brevet précité,
le procédé de liaison entre les deux disques de sili-
cium est complexe et coûteux. En outre, le dispositif
25 décrit dans ce brevet nécessite le traitement de deux
plaquettes pour réaliser un seul transducteur de pres-
sion capacitif. Evidemment, l'utilisation de trans-
ducteurs de pression au silicium d'un faible coût im-
plique l'obligation d'adopter des techniques de fabri-
30 cation en série pour leur réalisation. Par exemple,
le traitement de deux plaquettes de plus grandes di-
mensions pour fabriquer un nombre important de conden-
sateurs plus petits (de l'ordre d'un demi-centimètre
dans la plus grande dimension) permettrait de réduire
35 sensiblement le coût. Toutefois, l'obtention d'un joint

étanche intégral entre les deux parties de chacun des transducteurs formés sur une plaquette doit être garantie de manière impérative.

Un meilleur procédé pour la formation de joints étanches silicium-sur-silicium consiste à utiliser un verre de borosilicate pulvérisé. Les parties de silicium ainsi revêtues de verre sont attirées l'une vers l'autre par un champ de courant continu créé dans un vide, à une température de l'ordre de 500°C. Ce procédé est décrit dans un exposé technique de la "NASA" B74-10263, janvier 1975, intitulé "Low Temperature Electrostatic Silicon-To-Silicon Seals Using Sputtered Borosilicate Glass".

L'avantage qu'offre l'utilisation du silicium comme matière support pour les transducteurs de pression capacitifs à cavité, réside dans le fait qu'elle permet d'établir un raccordement électrique extérieur avec des plaques de condensateurs intérieures, sans exiger une structure mécanique complexe. Compte tenu de la technologie bien connue des microcircuits pour le traitement du silicium, ainsi que de la technique de liaison assistée par un champ électrique dont il est fait mention dans l'exposé technique précité de la "NASA", l'opportunité de la fabrication en série de transducteurs de pression capacitifs sensibles extrêmement petits d'une manière hautement reproductible devient évidente. Toutefois, lorsqu'il s'agit de transducteurs capacitifs mesurant environ un demi-centimètre dans leurs plus grandes dimensions, la capacitance est très faible, à moins que les deux plaques capacitives soient extrêmement proches l'une de l'autre. On a constaté que la proximité des deux plaques capacitives contrariait l'utilisation d'une liaison assistée par un champ électrique lors de la fabrication de transducteurs de pression capacitifs au silicium extrêmement

petits.

La présente invention a notamment pour objet d'apporter des perfectionnements à des transducteurs de pression capacitifs au silicium extrêmement petits, ainsi qu'aux procédés de fabrication de ces transduc-
5 teurs à l'échelle industrielle, en utilisant la technologie connue des microcircuits et des couches minces.

La présente invention est basée sur la découverte faite par la Demanderesse et selon laquelle les
10 imperfections superficielles présentes dans une ou dans les deux pièces de silicium à assembler moyennant une liaison assistée par un champ électrique établissent des concentrations de champ qui favorisent un amorçage d'arc, lequel donne lieu à un court-circuitage du champ
15 et, partant, à un scellage non uniforme des deux pièces de silicium à la couche de borosilicate située entre elles.

Suivant la présente invention, on prévoit des transducteurs de pression capacitifs comprenant une
20 cavité définie par deux éléments en silicium dopé réunis l'un à l'autre par un verre de borosilicate moyennant un procédé de liaison assistée par un champ électrique, un revêtement de verre de borosilicate étant appliqué pratiquement sur toute la surface de la plaque capacitive d'au moins une de ces pièces de sili-
25 cium. Suivant un aspect de l'invention, un transducteur de pression au silicium-verre de borosilicate-silicium comprend du verre de borosilicate à l'intérieur de la cavité sensible à la pression afin d'obtenir un meilleur diélectrique entre les plaques du condensa-
30 teur. Suivant un autre aspect de la présente invention, le procédé de formation d'un transducteur de pression au silicium en utilisant deux pièces de silicium réunies l'une à l'autre par un verre de borosilicate
35 moyennant une liaison assistée par un champ électrique,

comprend l'étape qui consiste à assurer une isolation diélectrique entre les deux pièces de silicium à l'aide d'un verre de borosilicate, évitant ainsi un court-circuitage du champ au cours du processus de
5 liaison.

L'invention permet de formuler des transducteurs de pression capacitifs silicium-silicium avec un très faible écartement entre les plaques de condensateurs obtenues et ce, sans rencontrer les difficultés
10 que présente une liaison assistée par un champ électrique au cours du procédé de fabrication de ces transducteurs.

Bien que le mécanisme principal avantageux de l'invention ne soit pas actuellement parfaitement compris, on pense qu'il réside dans la meilleure propriété diélectrique du verre de borosilicate (environ 4,2), comparativement à celle du vide (environ 1,0) qui existe entre les deux pièces de silicium. De plus, il semble possible que la haute constante diélectrique du
15 verre de borosilicate appliqué sur la surface de silicium, par exemple, au cours de la dernière étape précédant la liaison assistée par un champ électrique, ait tendance à disperser quelque peu le champ à des surfaces saillantes, réduisant ainsi la concentration du
20 champ en des points saillants localisés.

A la lumière des enseignements qui vont suivre, l'invention peut être mise en oeuvre en adoptant les techniques de traitement de microcircuits et de couches minces qui rentrent parfaitement dans les compétences
25 de l'homme de métier. Les objets, caractéristiques et avantages précités de la présente invention, ainsi que d'autres apparaîtront plus clairement à la lecture de la description détaillée ci-après de formes de réalisation données à titre d'exemple, en se référant aux des-
30 sins annexés dans lesquels :

les figures 1-3 sont des coupes simplifiées en élévation latérale illustrant des exemples de transducteurs de pression capacitifs au silicium-verre-silicium formés par le procédé de la présente invention conformément aux principes de cette dernière; et

les figures 4-8 sont des vues en coupe et en élévation latérale de plaquettes de silicium devant être traitées au cours de la fabrication du transducteur de pression illustré à titre d'exemple en figure 1.

En se référant à présent à la figure 1, un transducteur de pression capacitif au silicium-verre-silicium 10 est constitué d'un substrat en silicium 11 dans lequel est formé un socle circulaire 12, ce substrat 11 comportant une surface inférieure métallique 13 qui peut être constituée de couches minces de nickel et d'or (ainsi qu'on le décrira ci-après plus en détail en se référant aux figures 4-8) permettant une liaison métallique avec les conducteurs électriques qui y sont raccordés. La surface supérieure du socle 12 constitue une plaque d'un condensateur, l'autre plaque de ce dernier étant constituée de la surface inférieure d'une pièce en silicium 14. La surface supérieure de cette pièce en silicium 14 comporte des couches métalliques 15 semblables aux couches 13. Les deux pièces en silicium 11, 14 sont assemblées à l'écart l'une de l'autre par du verre de borosilicate 16 qui est déposé et soumis à une morsure par étapes (comme décrit ci-après), de façon à définir l'écartement désiré entre les surfaces de plaques capacitives formées par les parties 12 et 14, tout en formant un diélectrique 17 en travers du socle 12, évitant ainsi un amorçage d'arc entre celui-ci et la pièce 14 au cours de la liaison assistée par un champ électrique. Lors de la fabrication du transducteur 10, l'ensemble du

traitement topologique est effectué sur une plaquette
comprenant la pièce 12, tandis qu'une plaquette com-
prenant la pièce 14 est pourvue uniquement d'un revête-
ment métallique 15. En outre, la formation de la cou-
che de verre de borosilicate 16, 17 sur l'ensemble de
la pièce en silicium 11, y compris le socle 12, est
obtenue au cours du traitement topologique de la pla-
quette comprenant la pièce en silicium 11. Les revête-
ments métalliques 13, 15 peuvent être déposés après
l'assemblage des deux plaquettes moyennant une liaison assistée par
un champ, en recourant à une pulvérisation haute fréquence ou à une
évaporation résistive ou par faisceau électronique conformément à
des techniques bien connues.

En se référant à présent à la figure 2, un
transducteur de pression quelque peu différent 18 est
constitué d'une pièce de silicium 11a dans laquelle
un creux annulaire 20 est pratiqué par morsure de fa-
çon à définir un socle circulaire 12a sur lequel est
déposé un revêtement de verre de borosilicate 16a qui
définit la séparation entre des plaques de condensa-
teur. Un revêtement supplémentaire de verre de boro-
silicate 16b définit l'écartement entre les pièces en
silicium 11a et 14a, ce revêtement étant soumis à une
morsure pour y définir un trou 22 à travers lequel une
couche mince de métal 24 peut établir un contact avec
le socle 12a. La couche de verre de borosilicate 16c
peut être pulvérisée sur le silicium ou sur le métal
afin d'éviter un amorçage d'arc au cours de la liaison
assistée par un champ électrique suivant l'invention.
Conjointement avec le creux 20 formé par morsure dans
la pièce de silicium 11a, l'utilisation du revêtement
de verre de borosilicate 16a, 16b apporte une amélioration au
contrôle dimensionnel comme décrit et revendiqué dans
une demande de brevet des Etats-Unis d'Amérique dépo-
sée le même jour que la présente aux noms de Swindal

et Grantham et ayant pour titre "SILICON-GLASS-SILICON CAPACITIVE PRESSURE TRANSDUCER".

La figure 3 illustre une autre forme de réalisation de la présente invention telle qu'elle est appliquée à un transducteur 26 du type décrit dans la demande de brevet précitée des Etats-Unis d'Amérique.

Dans cette forme de réalisation, deux plaquettes reçoivent un traitement topologique, une première plaquette 11b comportant un creux 20a formé par morsure pour définir un socle circulaire 12b d'une manière analogue à celle décrite à propos de la pièce de silicium 11a.

D'autre part, sur une autre plaquette comprenant la pièce de silicium 14b, sont appliqués un revêtement de verre de borosilicate pulvérisé 16d façonné pour assurer le contrôle dimensionnel comme décrit dans la demande de brevet précitée, une couche mince de métal 24a destinée à former une plaque capacitive raccordée électriquement à la pièce de silicium 14b, ainsi qu'un revêtement de verre de borosilicate pulvérisé 16e constituant l'isolation diélectrique conformément à la présente invention. La formation du transducteur de pression 26 diffère de celle des transducteurs de pression 10 et 18, étant donné qu'elle nécessite un traitement topologique de deux plaquettes et une mise en coïncidence de ces dernières avant leur assemblage par liaison assistée par un champ électrique. D'autre part, la formation du transducteur de pression 26 est semblable à celle du transducteur de pression 10 du fait que le verre de borosilicate est appliqué intégralement sur la même plaquette.

Les transducteurs 18, 26 peuvent comporter un revêtement métallique sur leurs surfaces extérieures opposées afin de permettre une liaison métallique avec les connexions électriques qui y sont raccordées, lesquelles ne sont toutefois pas représentées pour la sim-

plicité de l'illustration.

Un procédé de formation d'un transducteur capacitif suivant l'invention est illustré dans les figures 4-8. En figure 4, on représente une plaquette 11 en silicium de type N ou de type P qui est dopé à un niveau d'au moins 10^{15} impuretés par cm^3 avec du phosphore, de l'arsenic ou analogues, cette plaquette pouvant avoir une résistivité d'environ $1/3 \text{ ohm-cm}$ et une épaisseur de l'ordre de 300-400 microns. En adoptant des techniques bien connues de masquage, de réserve photographique et de morsure, la plaquette 11 est attaquée pour créer plusieurs socles 12 (un pour chaque dispositif à réaliser dans la plaquette) ayant une hauteur de l'ordre de 6 microns. Le diamètre de chaque socle 12 peut être de l'ordre d'un demi-centimètre. Les socles 12 peuvent être espacés d'une distance d'environ $1/3 \text{ cm}$.

Au cours de l'étape suivante illustrée en figure 5, une couche de verre de borosilicate 29 est pulvérisée sur la plaquette 11 jusqu'à une profondeur de l'ordre de 8 ou 9 microns. Ensuite, au cours de l'étape suivante illustrée en figure 6, le verre de borosilicate 29 est soumis à une morsure, de façon à conserver une structure réticulaire 16 définissant des creux 30 qui entourent chacun des socles 12 de la plaquette 11. Le traitement de morsure illustré en figure 6 est réalisé aisément du fait que le silicium fait office d'arrêt de morsure pour les mordants du verre de borosilicate (par exemple, l'acide fluorhydrique).

Au cours de l'étape illustrée en figure 7, une couche supplémentaire de verre de borosilicate 32 est pulvérisée sur la surface de la plaquette 11 et de la matrice de verre de borosilicate 16 conformément à la présente invention, afin de former un diélectrique

17 sur les socles 12. Etant donné que le contrôle dimensionnel est assuré par la pulvérisation de la couche 29 (figure 5) avec morsure jusqu'au silicium (figure 6), une couche 32 peut être pulvérisée simplement à la dimension souhaitée de l'ordre de 1/2 micron, sans aucune morsure supplémentaire.

La figure 8 illustre les étapes restantes du procédé de formation du transducteur de pression capacitif 10. Moyennant un rodage approprié à une épaisseur désirée, par exemple, de l'ordre de 200 microns, on peut préparer une deuxième plaquette 14, de façon à former un diaphragme flexible. La plaquette 14 est ensuite amenée à proximité de la plaquette 11 (seul un alignement approximatif étant requis), après quoi les deux plaquettes peuvent être chauffées à une température de l'ordre de 500°C dans une chambre à vide dans laquelle est créée une dépression d'environ 10^{-6} Torr, tandis qu'une tension de courant continu de l'ordre de 75-125 volts est appliquée entre la plaquette 14 (+) et la plaquette 11 (-) pendant une période d'environ 5-10 minutes. De façon connue, le champ électrostatique créé a pour effet d'attirer les deux plaquettes l'une vers l'autre à mesure que la chaleur assure l'étanchéité des chambres à vide formées autour de chaque socle 12. Des couches métalliques 13, 15 peuvent être déposées sur les plaquettes 11, 14. Par exemple, en raison de son affinité vis-à-vis du silicium, on peut déposer une première couche de nickel 13a, 15a d'une épaisseur de l'ordre de 500 angströms, suivie d'une deuxième couche d'or 13b, 15b d'une épaisseur d'environ 5.000 angströms, de façon à obtenir une surface appropriée pour la liaison métallique des conducteurs électriques de raccordement. Ensuite, les plaquettes liées 11, 14 peuvent être découpées (par exemple, par sciage) comme indiqué par les lignes en traits

discontinus 38, de façon à former des transducteurs de pression individuels 10 du type illustré en figure 1. Si les couches de métallisation sont constituées d'Al, de Cr ou de Ni seul, elles pourraient
 5 être déposées avant l'étape de liaison. Toutefois, la liaison est obtenue à une température supérieure à la température eutectique de l'or-silicium (le nickel n'isolant pas ces derniers), si bien que l'or doit être déposé après la liaison.

10 On a constaté qu'un transducteur capacitif 10 constitué de silicium monocristallin de type N, dopé avec environ 10^{18} atomes de phosphore par cm^3 , ayant pratiquement les dimensions décrites ci-dessus, avait une capacitance variant entre une valeur nominale à une pression statique absolue de 0 kg/cm^2 et une valeur environ 8% supérieure à la capacitance nominale à une pression absolue d'environ 1,05 kg/cm^2 (15 psia) (pression statique nulle). Evidemment,
 15 les deux plaquettes 11, 14 ne doivent pas nécessairement avoir le même type de conductivité, ni contenir le même dopant, étant donné qu'il n'y a aucune interaction moléculaire entre elles. Un type de verre de borosilicate qui s'est avéré utile dans la fabrication des transducteurs capacitifs décrits ci-dessus est
 20 commercialisé sous la désignation "Corning 7070". Toutefois, d'autres verres peuvent s'avérer utiles, certains exemples de ces verres étant décrits par Guckel et al. dans "Electromechanical Devices Utilizing Thin Si Diaphragms", "Applied Physics Letters",
 25 volume 31, N° 9, 1 novembre 1977.

30 Dans certaines applications de la présente invention, il peut s'avérer souhaitable que le verre de borosilicate recouvre moins d'une surface complète de la cavité sous vide. Dans ce cas, on pourrait prévoir
 35 une étape de morsure supplémentaire (succédant à l'éta-

pe de dépôt de la figure 7) afin d'éliminer le verre de borosilicate se trouvant dans les creux 30 (figure 6) ou le verre de borosilicate qui ne recouvre pas la couche métallique 24a dans la forme de réalisation de la figure 3. Cette remarque est particulièrement vraie lorsque le verre de borosilicate est appliqué sur la pièce de silicium formant la "charnière" relativement mobile d'un dispositif (par exemple, à l'intérieur du creux 20 dans la forme de réalisation de la figure 2 et lorsqu'on envisage une modification dans laquelle le verre de borosilicate est appliqué à la plaquette 11 soumise à un traitement topologique). En tout cas, suivant l'invention, le verre de borosilicate est appliqué entre les parties actives des deux plaques capacitives, étant donné que c'est à cet endroit que le vide diélectrique a la plus petite dimension et que le risque d'amorçage d'arc est le plus grand au cours du procédé de liaison assistée par un champ électrique. Comme on peut le constater en comparant les formes de réalisation des figures 1-3, qu'une ou les deux plaques capacitives soient en fait réalisées en métal ou non, importe peu pour l'utilisation de la présente invention, étant donné que le verre de borosilicate peut être déposé sur une plaque métallique en offrant le même avantage que lorsqu'il est appliqué sur une des plaques en silicium. Il est évident que le verre de borosilicate pourrait être appliqué sur les deux plaques du condensateur, dans tous les cas où il s'avère nécessaire ou souhaitable de procéder de la sorte et ce, sans se départir de l'invention.

De la même manière, bien que l'invention ait été illustrée et décrite en se référant à des formes de réalisation données à titre d'exemple, l'homme de métier comprendra que les modifications, additions ou

omissions précitées, ainsi que d'autres peuvent être envisagées sans se départir de l'esprit et du cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Procédé de formation d'un capteur de pression capacitif moyennant une liaison, assistée par un champ électrique, de deux pièces de silicium séparées par un verre de borosilicate, afin de définir une chambre étanche à la pression comprenant deux surfaces
5 étroitement espacées qui forment les plaques respectives d'un condensateur variable en fonction de la pression, caractérisé en ce qu'il comprend le perfectionnement consistant à déposer une couche mince de verre
10 de borosilicate sur une de ces plaques avant l'application du champ électrostatique, de façon à éviter un amorçage d'arc entre les plaques et le court-circuitage résultant du champ électrostatique au cours du procédé de liaison.

15 2. Transducteur de pression capacitif au silicium-verre-silicium comprenant deux pièces de silicium dont au moins une est façonnée de façon à définir une surface conductive distincte sur une des pièces de silicium à proximité d'une surface conductive disposée sur
20 l'autre pièce, définissant ainsi deux surfaces conductives étroitement espacées formant les plaques d'un condensateur variable en fonction de la pression, caractérisé par le perfectionnement selon lequel une couche mince de verre de borosilicate est appliquée sur
25 une des surfaces précitées.

