



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2004 024 285.2**
(22) Anmeldetag: **15.05.2004**
(43) Offenlegungstag: **01.12.2005**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **15.05.2014**

(51) Int Cl.: **B81B 3/00 (2006.01)**
B81C 1/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
**Nagel, Sabine, 71679, Asperg, DE; Feyh, Ando,
70839, Gerlingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	101 44 847	A1
DE	102 34 165	A1
DE	103 52 001	A1
DE	694 29 381	T2
US	5 567 982	A

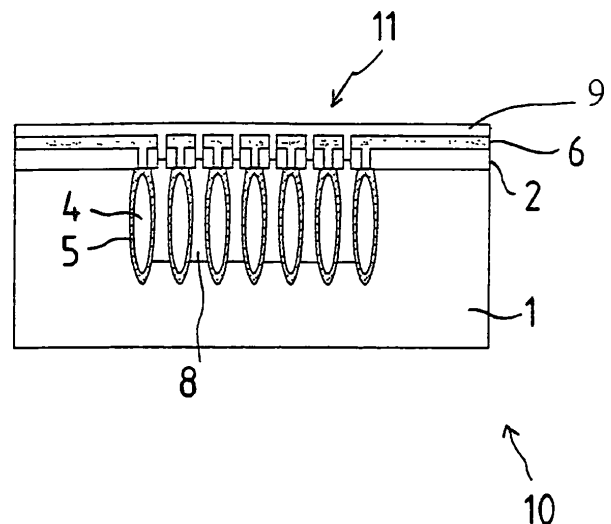
(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines mikrostrukturierten Bauelements**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen eines mikrostrukturierten Bauelementes, mit mindestens folgenden Schritten:

Ausbilden und Strukturieren einer ersten Maskenschicht (2) mit ersten Öffnungen (3) auf einem Substrat (1),
Ätzen von Makroporen (4) in dem Substrat (1) durch die ersten Öffnungen (3),

Ausbilden von Porenwandschichten (5) in dem Substrat (1) um die Makroporen (4) herum,

Ausbilden einer zweiten Maskenschicht (6) auf der ersten Maskenschicht (2) und Strukturieren von zweiten Öffnungen (7), die sich durch die erste Maskenschicht (2) und die zweite Maskenschicht (6) bis zu dem Substrat (1) erstrecken und gegenüber den ersten Öffnungen (3) lateral versetzt sind,
Gasphasenätzen eines Freiraums (8) in dem Substrat (1) durch die zweiten Öffnungen (7) mit einem die Porenwandschichten (5) nicht ätzenden Ätzgas (ClF_3) derartig, dass der Freiraum (8) zumindest eine Porenwandschicht (5) in zumindest deren oberem Bereich umgibt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines mikrostrukturierten Bauelements.

[0002] Mikrostrukturierte Bauelemente werden insbesondere im Automotiv-Bereich, aber auch z. B. in der Medizintechnik und anderen Bereichen in Messanordnungen und Sensoranordnungen verwendet, da sie in großen Stückzahlen und kostengünstig hergestellt werden können und sichere, genaue und reproduzierbare Messungen ermöglichen. Für Gasdetektoren, Strahlungsdetektoren, Druck- oder Masseflusssensoren werden oftmals Bauelemente mit einer thermisch entkoppelten Membran verwendet.

[0003] Die thermisch entkoppelte Membran wird im Allgemeinen durch einen anisotropen Ätzprozess mit Kaliumhydroxid(KOH)-Ätzen hergestellt, wobei ein Wafer von der Rückseite her geätzt wird und der Ätzvorgang bei Ausbilden einer hinreichend dünnen Membran an der Vorderseite des Bauelementes gestoppt wird. Um mit diesem Prozess eine z. B. 1 µm dicke Silizium-Membran herzustellen, müssen bei einer Waferdicke von z. B. 360 µm somit 359 µm geätzt werden. Da der Ätzprozess auch die Seitenwände der im Allgemeinen pyramidenstumpfförmig ausgebildeten Kaverne angreift, ist der notwendige Flächenanteil deutlich größer als die eigentliche Membranfläche. Das Verhältnis der prozesstechnisch erforderlichen Fläche zur tatsächlich benötigten Membranfläche wird mit zunehmender Waferdicke somit immer schlechter.

[0004] Aus der Schrift DE 103 52 001 A1 ist ein Verfahren zu Herstellung eines mikromechanischen Bauelements bekannt, bei dem in einer Opferschicht unterhalb einer Membran ein Hohlraum erzeugt wird, der von Stabilisierungselementen gestützt und umrandet wird.

[0005] Aus der Schrift DE 101 44 847 A1 ist ein ähnliches Vorgehen bekannt, bei dem zunächst Gräben in ein Substrat eingebracht werden, die anschließend mit einem dielektrischen Material verfüllt werden. Durch die Aufbringung einer Membranschicht und das Entfernen des Substratmaterials zwischen diesen als Stützelementen dienenden verfüllten Gräben wird ein abgeschlossener Hohlraum geschaffen.

[0006] Eine weitere Erzeugung eines vergrabenen Hohlraums mittels Stützelementen zeigt die Schrift US 5,567,982 A.

[0007] In der Schrift DE 694 29 381 T2 wird die Erzeugung eines Hohlraums mittels eines Zugangs durch Gräben in der darüber liegenden Deckschicht beschrieben.

[0008] Die Abscheidung einer oxidierbaren Abstandsschicht in einem Graben wird in der Schrift DE 102 34 165 A1 gezeigt.

[0009] Aus Journal of Electrochemical Society, Vol. 140 (1993), S. 2836 bis 2843 und Thin Solid Films, Vol. 297 (1997), S. 13 bis 17 sind Prozesse zum foto-unterstützten elektrochemischen Ätzen in einem verdünnten Flusssäureelektrolyten bekannt, bei denen durch Anpassung der elektrischen Stromdichte eine gezielte Prozessführung zur Ausbildung gewünschter bauchförmiger Porenformen beschrieben ist.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines mikrostrukturierten Bauelements weist gegenüber bekannten Herstellungsverfahren insbesondere den Vorteil auf, dass dünne Membranen ausgebildet werden können, die mechanisch über eine spezifische Struktur aus Makroporen mit geringer Wärmeleitfähigkeit an das Substratmaterial angekoppelt sind.

[0011] Die erfindungsgemäß ausgebildeten Membranen weisen hierbei vorteilhafterweise eine hohe Elastizität und Stabilität auf. Da die Membran nicht durch Ätzen des Substratmaterials ausgebildet wird, sondern durch Auftragen einer oder mehrerer Schichten, kann eine hohe Gleichmäßigkeit in der Dicke der Membran erreicht werden.

[0012] Der Erfindung liegt der Gedanke zu Grunde, die Membran auch außerhalb ihrer seitlichen Anbindungsbereiche von unten her zu stützen, indem während des Herstellungsprozesses in dem Substratmaterial vertikal verlaufende Strukturen ausgebildet werden. Diese Strukturen werden als Porenwandschichten vertikaler Poren in dem Substratmaterial ausgebildet, wobei das die Porenwandschichten außen umgebene Substratmaterial nachfolgend selektiv weggeätzt wird.

[0013] Erfindungsgemäß ist hierbei eine Ausbildung und Strukturierung von der Vorderseite des Wafers, d. h. von oben her, möglich. Die Ausbildung der im Wesentlichen vertikal verlaufenden Poren kann vorteilhafterweise durch fotounterstütztes elektrochemisches Ätzen erfolgen, so dass eine gezielte, schnelle Ausbildung der Poren in einem gewünschten Raster bzw. Muster möglich ist. Die Porenwandschichten können z. B. durch Oxidieren, aber auch Nitridieren der die Poren umgebenden Substratbereiche schnell ausgebildet werden; das nachfolgende selektive Ätzen kann insbesondere durch Gasätzen schnell erfolgen, so dass insgesamt eine schnelle und sichere Herstellung möglich ist.

[0014] Erfindungsgemäß werden Makroporen ausgebildet, die sich – im Unterschied zu im Nanometerbereich ausgebildeten Mikroporen – über eine größeren Länge von mindestens einem Mikrometer erstre-

cken. Makroporen werden hierbei vorteilhafterweise elektrochemisch hergestellt, indem an der Porenspitze eine Gleichgewichtsbedingung zwischen dem Massentransport in dem Elektrolyt und der Ladungszuführung von der Elektrode vorliegt.

[0015] Die Makroporen können z. B. mit einer Tiefe zwischen 50 µm und 300 µm, z. B. um 100 µm hergestellt werden. Hierbei sind lediglich Prozesszeit im Bereich von 10 bis 30 Minuten erforderlich.

[0016] Die Porenform der sich vertikal erstreckenden Makroporen kann gezielt ausgebildet werden. Um die Makroporen beim nachfolgenden Ausbilden der Porenwandschichten vollständig einzuschließen, können sie insbesondere mit einer Ausbauchung ausgebildet werden, die mit an sich bekannten elektrochemischen Ätzverfahren erreicht werden kann.

[0017] Die Porenwandschichten können in einem Si-Substrat aus SiO₂ oder grundsätzlich auch aus Si₃N₄ ausgebildet werden und somit eine hohe Wärmeisolation bzw. einen sehr geringen Wärmeübergang von der Membran an das Substrat ermöglichen. Weiterhin besitzen die erfindungsgemäß ausgebildete Membran und die diese tragenden Strukturen auch gute elastische Eigenschaften und eine hohe Beständigkeit. Die erfindungsgemäßen Bauelemente können daher z. B. in Luftmassensensoren, insbesondere Heißfilm-Luftmassensensoren, verwendet werden, bei denen eine Membranzerstörung durch Partikelbeschuss derzeit sehr problematisch ist. Weiterhin können Sie in Strahlungsdetektoren bzw. Gaskondensatoren, die Gaskonzentrationen durch Absorption von Strahlung, insbesondere IR-Strahlung messen, verwendet werden.

[0018] Durch den verwendeten oberflächenmikromechanischen(OMM)-Prozess wird weniger Substratfläche für die Membran benötigt als bei bekannten, Bulk-mikromechanischen(BMM)-Prozessen. Daher ist eine höhere Integrationsdichte möglich. Weiterhin können auch sehr große Membranen mit hoher Stabilität ausgebildet werden. Da die Ausbildung der Poren und ihrer Porenwandschichten grundsätzlich beliebig gestaltet werden kann, können entsprechend Membranen in gewünschter Größe und Erstreckung und mit gewünschten mechanischen Eigenschaften hergestellt werden.

[0019] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der beiliegenden Zeichnungen an einer Ausführungsform näher erläutert. Die Figuren zeigen das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Bauelementes:

[0020] Fig. 1 den Prozessschritt der Ausbildung und Strukturierung einer ersten Maskenschicht auf einem Substrat;

[0021] Fig. 2 einen nachfolgenden Prozessschritt der Ausbildung von vertikalen Makroporen in dem Substrat;

[0022] Fig. 3 einen nachfolgenden Prozessschritt der Oxidation der Porenwandschichten;

[0023] Fig. 4 einen nachfolgenden Prozessschritt der Ausbildung und Strukturierung einer zweiten Maskenschicht und des Gasphasenätzens eines Freiraums;

[0024] Fig. 5 eine Draufsicht auf den Wafer zur Darstellung der Positionen der Öffnungen der beiden Maskenschichten;

[0025] Fig. 6 das durch nachfolgendes Abscheiden einer Abdeckschicht gebildete erfindungsgemäße Bauelement.

[0026] Auf einem Substrat **1**, vorteilhafterweise einem Wafer **1** aus z. B. n-dotiertem Silizium, wird gemäß Fig. 1 in einem ersten Prozessschritt eine Siliziumnitrid(Si₃N₄)-Schicht **2** ausgebildet; sie kann abgeschieden oder grundsätzlich auch durch Nitridierung des Substrates **1** ausgebildet werden. Sie wird derartig strukturiert, dass eine Gitterstruktur aus z. B. kreisförmigen oder rechteckigen ersten Öffnungen **3** ausgebildet wird.

[0027] In einem nächsten Prozessschritt werden durch fotounterstütztes elektrochemisches Ätzen in einem verdünnten Flusssäureelektrolyten (1 bis 15 Gewichts-% Fluorwasserstoff (HF) mit einem Netzmittel aus z. B. Ethanol- oder Isopropanolanteil) Makroporen **4** ausgebildet, die sich im Wesentlichen vertikal in das Substrat **1** mit einer Tiefe um etwa 100 µm erstrecken; dies kann gemäß den in Journal of Electrochemical Society, Vol. 140 (1993), S. 2836 bis 2843 oder Thin Solid Films, Vol. 297 (1997) S. 13 bis 17 beschriebenen Verfahren erfolgen. Durch eine gezielte Prozessführung, bei der die elektrische Stromdichte angepasst wird, werden die Makroporen **4** bauchförmig, d. h. mit einer Ausbauchung **12** ausgebildet, in der sie einen größeren Querschnitt als in weiter oben oder unten liegenden Bereichen aufweisen. Die Stärke dieser Ausbauchung **12** kann exakt eingestellt werden, da bei dem elektrochemischen Ätzen eine hohe Stromdichte einen großen Porendurchmesser und eine kleine Stromdichte einen kleinen Porendurchmesser zur Folge hat. Die Tiefe der Makroporen **4** kann z. B. in dem Bereich von 50 µm bis 300 µm liegen. Während dieses Prozesses wird gleichzeitig die erste Maskenschicht **2** aus Si₃N₄ angegriffen und etwas abgedünnt.

[0028] Nachfolgend erfolgt gemäß Fig. 3 eine thermische Oxidation der Makroporen **4**. Hierbei verhindert die erste Maskenschicht **2** eine weitere Oxidation der Oberfläche des Substrates **1**, so dass lediglich die

Porenwandschichten **5** der Makroporen **4** im Substrat **1** als SiO₂-Schicht ausgebildet werden. Aufgrund der Volumenvergrößerung bei der Oxidation dehnen sich die SiO₂-Porenwandschichten **5** zum Teil in das Porenvolumen der Makroporen **4** aus. Durch gezielte Abstimmung der ersten Öffnungen **3** und der Dicke der thermischen SiO₂-Porenwandschichten **5** wird erreicht, dass sich die Makroporen **4** – wie in **Fig. 3** gezeigt – durch die Oxidation vollständig schließen, d. h. die jeweilige SiO₂-Porenwandschicht **5** umgibt die betreffende Makropore **4** vollständig und verschließt die jeweilige erste Öffnung **3**.

[0029] Nachfolgend werden gemäß **Fig. 4** eine zweite Maskenschicht **6** auf der ersten Maskenschicht **2** aufgetragen und zweite Öffnungen **7** in der zweiten Maskenschicht **6** und der darunter liegenden ersten Maskenschicht **2** strukturiert. Die zweiten Öffnungen **7** sind hierbei gemäß der Draufsicht der **Fig. 5** in einer zweiten Gitterstruktur angeordnet, die gegenüber der ersten Gitterstruktur der ersten Öffnungen **3** versetzt ist, so dass jede zweite Öffnung **7** jeweils zwischen ersten Öffnungen **3** angeordnet ist.

[0030] Nachfolgend werden die Silizium-Bereiche des Substrates **1** zwischen den SiO₂-Porenwandschichten **5** durch Gasphasenätzen mittels eines Silizium-selektiv ätzendem Ätzgases, z. B. ClF₃, entfernt. Gemäß **Fig. 5** wird somit ein Freiraum **8** in dem Silizium-Substrat **1** zwischen den SiO₂-Porenwandschichten **5** ausgebildet. Vorteilhafterweise erstreckt sich der Freiraum **8** nicht ganz bis zu dem unteren Ende der zapfenförmigen SiO₂-Porenwandschichten **5**, so dass diese an ihrem unteren Ende weiterhin im Substrat **1** verankert sind. Dieser Ätzprozess bietet sehr hohe Ätzraten und ist sehr selektiv bezüglich Silizium, ohne dass die Maskenschichten **2**, **6** aus Siliziumnitrid und die SiO₂-Porenwandschichten **5** angegriffen werden. Alternativ zu ClF₃ können auch andere Silizium-selektiv ätzenden Ätzgase, z. B. XeF₂, verwendet werden.

[0031] Gemäß **Fig. 6** wird in einem nachfolgenden Prozessschritt eine Abdeckschicht **9** aus z. B. Si₃N₄ oder einem anderen Material auf die zweite Maskenschicht **6** aufgetragen, so dass sie die zweiten Öffnungen **7** verschließt.

[0032] Nachfolgend können einzelne Bauelemente **10** durch Vereinzeln, d. h. Zersägen des Wafers, hergestellt werden. Jedes Bauelement **10** weist somit auf:
ein Substrat **1** aus Silizium;
die erste Maskenschicht **2**, die zweite Maskenschicht **6** und die Abdeckschicht **9**, wobei diese drei Schichten in lateral äußeren Bereichen auf dem Substrat **1** ausgebildet sind und in einem lateral mittleren Bereich die Membran **11** bilden, unterhalb von der ein Freiraum **8** in dem Substrat **1** ausgebildet ist, der

nach unten und zu den Seiten hin von dem Substrat **1** umgeben ist;
weiterhin die zapfenförmigen SiO₂-Porenwandschichten **5**, die jeweils eine Makropore **4** umgeben, an ihrem oberen Ende die Membran **11** stützen und an ihrem unteren Ende in dem Substrat **1** verankert sind. Die Membran **11** ist hierbei seitlich neben dem Freiraum **8** verankert und wird zusätzlich von den SiO₂-Porenwandschichten **5** getragen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines mikrostrukturier-ten Bauelementes, mit mindestens folgenden Schritten:

Ausbilden und Strukturieren einer ersten Maskenschicht (**2**) mit ersten Öffnungen (**3**) auf einem Substrat (**1**),

Ätzen von Makroporen (**4**) in dem Substrat (**1**) durch die ersten Öffnungen (**3**),

Ausbilden von Porenwandschichten (**5**) in dem Substrat (**1**) um die Makroporen (**4**) herum,

Ausbilden einer zweiten Maskenschicht (**6**) auf der ersten Maskenschicht (**2**) und Strukturieren von zweiten Öffnungen (**7**), die sich durch die erste Maskenschicht (**2**) und die zweite Maskenschicht (**6**) bis zu dem Substrat (**1**) erstrecken und gegenüber den ersten Öffnungen (**3**) lateral versetzt sind,

Gasphasenätzen eines Freiraums (**8**) in dem Substrat (**1**) durch die zweiten Öffnungen (**7**) mit einem die Porenwandschichten (**5**) nicht ätzenden Ätzgas (ClF₃) derartig, dass der Freiraum (**8**) zumindest eine Porenwandschicht (**5**) in zumindest deren oberem Bereich umgibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Freiraum (**8**) derartig geätzt wird, dass untere Endbereiche der Porenwandschichten (**5**) in dem Substrat (**1**) verbleiben.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Porenwandschichten (**5**) durch Oxidation oder Nitridierung des die Poren (**4**) umgebenden Substratmaterials des Substrates (**1**) ausgebildet werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Porenwandschichten (**5**) derartig ausgebildet werden, dass sie die Poren (**4**) an deren oberen Enden verschließen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Porenwandschichten (**5**) derartig ausgebildet werden, dass sie die ersten Öffnungen (**3**) verschließen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Makroporen (**4**) eine laterale Ausbauchung (**12**) aufweisen.

7. Verfahren nach einem der Anspruch 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Makroporen (4) durch fotounterstütztes elektrochemisches Ätzen ausgebildet werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das fotounterstützte elektrochemische Ätzen in einem verdünnten Flusssäureelektrolyt durchgeführt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten Öffnungen (3) in einer ersten Gitterstruktur und die zweiten Öffnungen (7) in einer gegenüber der ersten Gitterstruktur lateral versetzten zweiten Gitterstruktur ausgebildet werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede zweite Öffnung (7) in lateraler Richtung zwischen mehreren ersten Öffnungen (3) angeordnet ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat (1) aus Silizium besteht und ein Silizium selektiv ätzendes, die Porenwandschichten (5) und Maskenschichten (2, 6) nicht ätzendes Ätzgas durch die zweiten Öffnungen (7) zugeführt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Substrat (1) ein Wafer verwendet wird und nach Auftragen der Abdeckschicht (9) einzelne Bauelemente (10) aus dem Wafer durch Vereinzeln abgetrennt werden.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

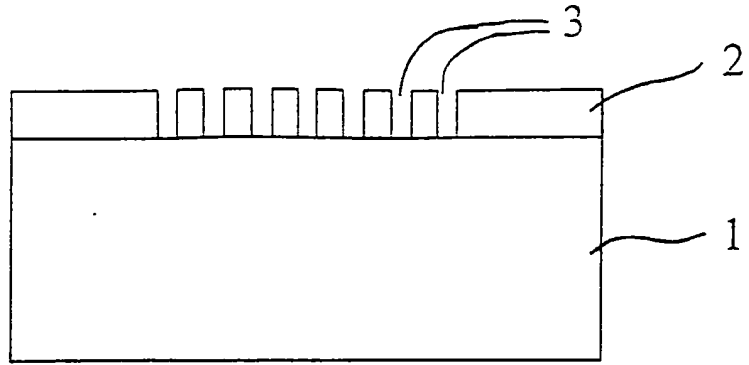


Fig. 2

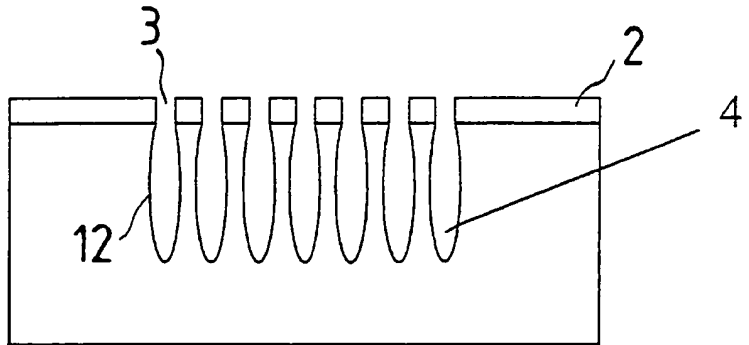


Fig. 3

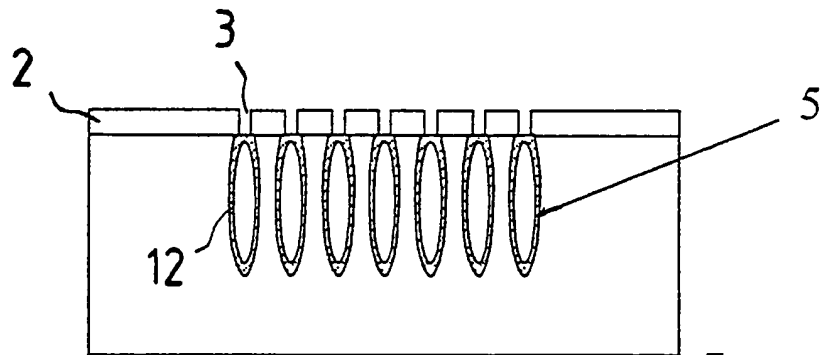


Fig. 4

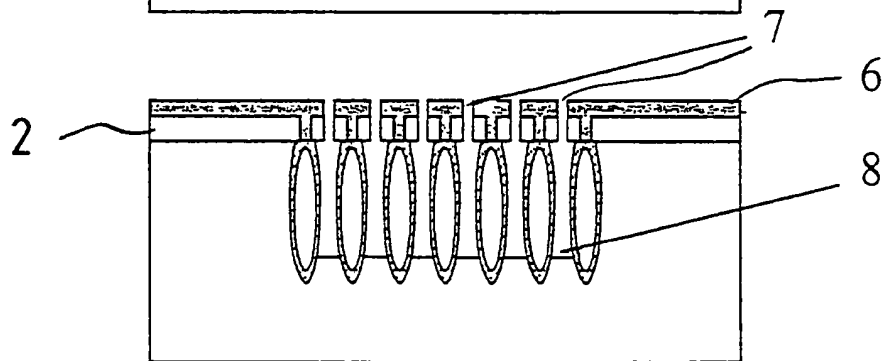


Fig. 5

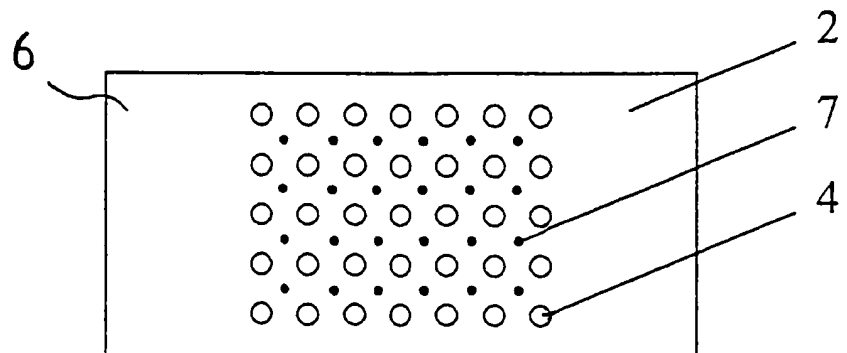


Fig. 6

