

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 9019/2013 (51) Int. Cl.: **C23C 16/40** (2006.01)  
 (86) PCT-Anmeldenummer: PCT/EP13076629 **H01L 21/683** (2006.01)  
 (22) Anmeldetag: 16.12.2013  
 (45) Veröffentlicht am: 15.02.2016

(30) Priorität:  
21.12.2012 DE 102012112989.4 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:  
US 5661333 A  
US 5856229 A  
US 2008309867 A1  
DE 19654791 A1  
DE 19958803 C1

(73) Patentinhaber:  
EV Group E. Thallner GmbH  
4782 St. Florian am Inn (AT)

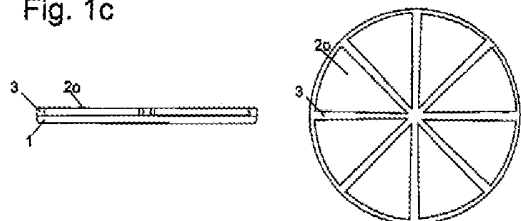
(72) Erfinder:  
Burggraf Jürgen  
4780 Schärding (AT)

### (54) Verfahren zum Aufbringen einer Temporärbondschiicht

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Aufbringen einer Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') auf einen Trägerwafer (1) zum temporären Verbinden mit einem Produktwafer (4) durch Fusionsbonden oder anodisches Bonden mit folgenden Schritten, insbesondere folgendem Ablauf:

- Aufbringen der zum Fusionsbonden oder anodischen Bonden geeigneten Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') auf den Trägerwafer (1) und
- Modifikation der Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') während und/oder nach dem Aufbringen derart, dass die temporäre Verbindung der Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') lösbar ist.

Fig. 1c



## Beschreibung

### VERFAHREN ZUM AUFBRINGEN EINER TEMPORÄRBONDSCHICHT

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Aufbringen einer Temporärbondschicht auf einen Trägerwafer zum temporären Bonden mit einem Produktwafer durch Fusionsbonden oder anodisches Bonden gemäß Anspruch 1.

**[0002]** In der Halbleiterindustrie ist es notwendig, Trägertechnologien zu entwickeln, um Produktwafer fixieren und transportieren sowie bearbeiten zu können. Ein bis heute ungelöstes Problem ist die temporäre Fixierung eines Wafers auf einen Trägerwafer für Hochtemperaturanwendungen. Bei den bekannten Temporärbondingtechnologien werden Materialien verwendet, welche oberhalb einer bestimmten Temperatur ihre Adhäsionskraft zumindest weitgehend verlieren. Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, Verfahren zum Aufbringen einer Temporärbondschicht auf einen Trägerwafer zum temporären Verbinden mit einem Produktwafer zu geben, das für höhere Temperaturen als bisher bekannt einsetzbar ist.

**[0003]** Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben. In den Rahmen der Erfindung fallen auch sämtliche Kombinationen aus zumindest zwei von in der Beschreibung, den Ansprüchen und/oder den Figuren angegebenen Merkmalen. Bei angegebenen Wertebereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart gelten und in beliebiger Kombination beanspruchbar sein.

**[0004]** Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, einerseits ein zum Fusionsbonden oder zum anodischen Bonden geeignetes Material (oder eine Materialkombination) für die Aufbringung der Temporärbondschicht zu verwenden und die Eigenschaft als temporäre Bondschicht zu gewährleisten, indem eine Modifikation der Temporärbondschicht während oder nach dem Aufbringen derart erfolgt, dass eine durch Fusionsbond oder anodischen Bond hergestellte Verbindung mit einem Produktwafer mit entsprechenden, insbesondere radikalen Ablösemitteln wieder lösbar ist. Durch die vorgenannte Maßnahme ist die Verwendung von Trägern bei viel höheren Temperaturen möglich als bisher, so dass auch eine Behandlung der Produktwafer bei viel höheren Temperaturen als im Stand der Technik möglich ist. Der mit der Trägertechnologie zugängliche Temperaturbereich für Bonding/Debonding-Technologien wird somit erheblich erweitert. Somit ist es erfindungsgemäß möglich, Prozessschritte zwischen dem Aufbringen der Temporärbondschicht und dem Ablösen durchzuführen, die bisher nur bei durch Permanentbonds verbundenen Substraten durchführbar waren.

**[0005]** Mit anderen Worten beruht die vorliegende Erfindung darauf, eine Temporärbondschicht, insbesondere eine, vorzugsweise ausschließlich, aus  $\text{SiO}_2$  bestehende Schicht, auf einen Trägerwafer, insbesondere einen Si-Wafer, abzuscheiden. Als Abscheideverfahren kommen erfindungsgemäß insbesondere PVD- und/oder CVD-Prozesse und/oder Solgel-Prozesse und/oder elektrochemische Abscheidung und/oder nasschemische Abscheidung in Frage. Die Temporärbondschicht wird durch eine Strukturierung der Schicht oder durch Änderung der Mikrostruktur der Temporärbondschicht modifiziert und durch die Modifikation wird das spätere Ablösen der Temporärbondschicht vom Produktsubstrat beziehungsweise das spätere Ablösen des Produktsubstrats vom Trägersubstrat ermöglicht.

**[0006]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Modifikation durch Oberflächenbehandlung, insbesondere durch Strukturierung und/oder Änderung der Mikrostruktur der Temporärbondschicht erfolgt.

**[0007]** Bevorzugt erfolgt die Oberflächenbehandlung derart, dass eine Ausbildung von, die Temporärbondschicht parallel zum Trägerwafer durchsetzenden, Kanälen erfolgt. Auf diese Weise kann die Temporärbondschicht mit, insbesondere chemisch, vorzugsweise selektiv auf die Temporärbondschicht, auflösend wirkenden Lösungsmitteln als Ablösemitteln gelöst werden.

**[0008]** In einer weiteren, vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, zur Modifikation der Temporärbondschicht beim Aufbringen der Temporärbondschicht mittels CVD-Verfahren eine Porosität der Temporärbondschicht vorzusehen und in die Poren der Temporärbondschicht durch Beaufschlagung mit einem Gas während des CVD-Verfahrens Gase in die Poren einzuschließen. Die Eigenschaften des eingeschlossenen Gases können dann zum Lösen der Verbindung genutzt werden. Die Porosität kann im Zusammenhang mit den offenbaren Kanälen auch den Zugang des Ablösemittels erleichtern und unterstützen, vor allem wenn es sich um eine offene Porosität handelt. Daher ist auch eine Kombination aus porösem Material und Kanälen denkbar.

**[0009]** Als erfindungsgemäße Gase kommen erfindungsgemäß alle Arten von ein-, zwei- oder mehratomigen Gasen zum Einsatz, mit Vorzug allerdings Helium, Argon, Neon, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Wasserdampf, HCL, Schwefelsäure, Flusssäure, Salpetersäure, Phosphorsäure, alle organischen Säuren.

**[0010]** In einer weiteren Ausführungsform verwendet man einen Trägerwafer aus Glas und eine Temporärbondschicht aus Silizium oder einen Trägerwafer aus Silizium und eine Temporärbondschicht aus Glas.

**[0011]** Das anodische Bonden erfolgt dabei bevorzugt in einem Temperaturbereich zwischen 0°C und 800°C, mit Vorzug zwischen 100°C und 700°C, mit größerem Vorzug zwischen 200°C und 600°C, mit größtem Vorzug zwischen 300°C und 500°C. Der Absolutbetrag der Spannung zwischen Anode und Kathode liegt beim anodischen Bondvorgang insbesondere im Bereich zwischen 0V und 1000V, mit Vorzug zwischen 100V und 900V, mit größerem Vorzug zwischen 200V und 800V, mit größtem Vorzug zwischen 300V und 700V, mit allergrößtem Vorzug zwischen 400V und 600V.

**[0012]** Als weitere, erfindungsgemäße Verfahrensschritte sind insbesondere vorgesehen:

- [0013]** - nach Aufbringung und Modifikation temporäres Bonden mit dem Produktsubstrat mit einer Bondkraft  $F_b$  und/oder
- [0014]** - nach temporärem Bonden Prozessieren des Produktsubstrats und während und/oder nach dem Prozessieren Schwächung des Interface zwischen Temporärbondschicht und Produktsubstrat bzw.

**[0015]** Glassubstrat und Produktsubstrat zum Ablösen des Produktsubstrats.

**[0016]** Die Bondkraft liegt zwischen 0 N und 100000 N, mit Vorzug zwischen 0 N und 10000 N, mit größerem Vorzug zwischen 0 N und 1000 N, mit größtem Vorzug zwischen 0 N und 100 N.

**[0017]** In der bevorzugtesten Ausführungsform einer Temporärbondschicht aus  $\text{SiO}_2$  und einem Trägerwafer aus Silizium erfolgt das Bonden sogar bei Raumtemperatur ohne Krafteinwirkung. Die entstehende kovalente Verbindung zwischen der Si-Oberfläche des Trägerwafers und der  $\text{SiO}_2$  Oberfläche der Temporärbondschicht kann durch eine entsprechende Oberflächenbehandlung vor dem Verbonden verbessert werden. Denkbar für die Oberflächenmodifikation wären Plasmabehandlung, Benetzung mit DI-Wasser (DI=deionisiert) oder chemische Reinigung.

**[0018]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen. Diese zeigen in:

- [0019]** Figuren 1a bis 1f eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens in sechs Verfahrensschritten,
- [0020]** Figuren 2a bis 2f eine zweite erfindungsgemäße Ausführungsform mit sechs Verfahrensschritten und
- [0021]** Figur 3 eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens in schematischer Darstellung.

**[0022]** In den Figuren sind Vorteile und Merkmale der Erfindung mit diese jeweils identifizierenden Bezugszeichen gemäß Ausführungsformen der Erfindung gekennzeichnet, wobei Bauteile beziehungsweise Merkmale mit gleicher und/oder gleichwirkender Funktion mit identischen Bezugszeichen gekennzeichnet sein können.

**[0023]** In einer ersten Ausführungsform der Erfindung wird ein Trägerwafer 1 zuerst mit einer Temporärbondschiicht 2 beschichtet. Bei der Temporärbondschiicht 2 handelt es sich mit Vorzug um  $\text{SiO}_2$ . Die Beschichtung kann durch alle bekannten Beschichtungsmethoden erfolgen, mit Vorzug allerdings durch PVD, CVD oder elektrochemische Abscheidung. Die Dicke der Temporärbondschiicht 2 hängt von unterschiedlichen Parametern ab, liegt allerdings zwischen 1 nm und 1 mm. Die Dicke der Temporärbondschiicht 2 liegt zwischen 1 nm und 1 mm, mit Vorzug zwischen 10 nm und 100  $\mu\text{m}$ , mit größerem Vorzug zwischen 100 nm und 10  $\mu\text{m}$ , mit größtem Vorzug zwischen 1  $\mu\text{m}$  und 5  $\mu\text{m}$ . Die Temporärbondschiicht 2 wird durch Methoden, die dem Fachmann auf dem Gebiet bekannt sind, strukturiert.

**[0024]** In Fig. 1c wird beispielhaft eine strukturierte Temporärbondschiicht 2 mit Kanälen 3 dargestellt. Diese Kanäle 3 können beispielsweise durch bekannte Maskentechniken, Lithographie, Maskierung und späterem Ätzen mit Säuren und/oder Laugen und/oder durch entsprechend geeignete Chemikalien hergestellt werden.

**[0025]** Erfindungsgemäß denkbar ist auch eine direkte Herstellung der strukturierten Temporärbondschiicht 2 mittels Schattenmasken während des Abscheideprozesses. Die Schattenmasken maskieren dabei jene Bereiche, an denen das Material sich während des Abscheideprozesses nicht ablagern soll. Durch die Verwendung von Schattenmasken spart man sich eine anschließende Maskierung und Ätzung der vollflächig aufgetragenen Temporärbondschiicht 2.

**[0026]** Das Ätzen erfolgt insbesondere mit Flusssäure (Hydrogenfluorid, HF) im flüssigen und/oder dampfförmigen Zustand. Besonders in der dampfförmigen Phase erfolgt der Zugang durch die Kanäle 3 und/oder durch die vorhandenen Poren besonders schnell.

**[0027]** Weitere erfindungsgemäß verwendbare Säuren wären Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure, Phosphorsäure, alle organischen Säuren.

**[0028]** Alternativ denkbar wäre auch die Verwendung einer bekannten Mischung aus mehreren Chemikalien, beispielsweise Königswasser, Piranha ( $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ ), eine Mischung aus Flusssäure und Salpetersäure.

**[0029]** Als Ätzmedien dienen auch basische Substanzen, beispielsweise KOH, TMAH (Tetramethylammoniumhydroxid) und/oder EDP (Ethylendiaminpyrocatechol).

**[0030]** Die Ätzrate des  $\text{SiO}_2$  bei Angriff durch eine 44% KOH-Lösung bei ca. 85 °C beträgt ca. 14 Angström/min.

**[0031]** Die Ätzrate des  $\text{SiO}_2$  bei Angriff durch eine 25% TMAH-Lösung bei ca. 80 °C beträgt ca. 2 Angström/min,

**[0032]** Die Ätzrate des  $\text{SiO}_2$  bei Angriff durch eine EDP-Lösung bei ca. 115° C beträgt ca. 2 Angström/min.

**[0033]** Auf Grund der geringen Ätzraten werden daher erfindungsgemäß höhere Konzentration und/oder höhere Betriebstemperaturen beansprucht. Die Verwendete Lösung besitzt eine Konzentration größer 20%, mit Vorzug größer 40%, mit größerem Vorzug größer 60%, mit größtem Vorzug größer 80%, mit allergrößtem Vorzug größer 99%.

**[0034]** Die erfindungsgemäß verwendete Ätztemperatur ist größer als 25°C, mit Vorzug größer als 50°C, mit größerem Vorzug größer als 100°C, mit größtem Vorzug größer als 200°C, mit allergrößtem Vorzug größer als 400°C.

**[0035]** Die Oberfläche 4o eines Produktwafer 4 kann nun mit der Oberfläche 2o der Temporärbondschiicht 2 verbonded werden. Im Gegensatz zum Bonden mit Klebern, bei dem regelmäßig Polymere verwendet werden, erfolgt der Bond hier zwischen der für Hochtemperaturen ausgelegten Temporärbondschiicht 2, mit Vorzug  $\text{SiO}_2$ , und der Oberfläche 4o des Produktwafers 4. Dem Fachmann auf dem Gebiet sind die Fusionsbondingtechnologien und die anodi-

schen Bondtechnologien bekannt. Der Fusionsbond oder der anodische Bond ist so stark, dass die Rückseite 4u bearbeitet werden kann. Beispielhaft wird das Rückdünnen des Produktwafers 4 genannt. Der Fusionsbond findet im Idealfall bei Raumtemperatur ohne Krafteinwirkung, also insbesondere ausschließlich durch einfaches Kontaktieren der Oberfläche der Temporärbondschicht 2 mit der Oberfläche des Trägerwafers 1, statt. Der anodische Bond findet meist in Verbindung mit einer Kraftbeaufschlagung und höheren Temperaturen statt.

**[0036]** Nach der Bearbeitung des Produktwafers 4, kann der Produktwafer 4 wieder von der Temporärbondschicht 2 gelöst werden, indem eine Chemikalie 6 durch die Kanäle 3 eindringt und die Temporärbondschicht 2 auflöst oder zumindest das Interface zwischen der Oberfläche 4o des Produktwafers 4 und der Oberfläche 2o der Temporärbondschicht 2 schwächt (Fig. 1d bis 1f). Die Kanäle 3 dienen dabei vorwiegend dem besseren Zugang der Chemikalie zur Temporärbondschicht 2. Die Chemikalie löst die Temporärbondschicht 2 auf und erlaubt die Trennung des Produktwafers 4 vom Trägerwafer 1. Der Trägerwafer 1 kann wieder verwendet werden. Sollten sich Rückstände der Temporärbondschicht 2 am Trägerwafer 1 befinden, kann der Trägerwafer 1 erfindungsgemäß gereinigt werden.

**[0037]** In einer weiteren Ausführungsform (Fig. 2a-c) wird durch einen Beschichtungsprozess, mit Vorzug ein CVD Beschichtungsprozess, die Temporärbondschicht 2' auf den Trägerwafer 1 aufgebracht. Wird ein CVD Beschichtungsprozess verwendet, besitzt die abgeschiedene Schicht bereits eine entsprechend hohe Porosität. Werden andere Beschichtungsprozesse verwendet, muss erfindungsgemäß eine entsprechende Porosität durch bekannte Prozesse erzeugt werden. In diese Porosität können unterschiedliche Gase eingebracht werden oder werden bereits im Beschichtungsprozess eingeschlossen. Durch einen Fusionsbondprozess wird der Produktwafer 4 mit der Temporärbondschicht 2' verschweißt. Der Produktwafer 3 kann an seiner Rückseite entsprechend prozessiert werden. Durch das Heizen über eine kritische Temperatur  $T_k$  dehnen sich die Gase in der Temporärbondschicht 2' aus. Diese Volumenexpansion führt zu einem zumindest überwiegenden Aufbrechen der Temporärbondschicht 2' und/oder zu einer Schwächung des Interface zwischen der Oberfläche 2o' der Temporärbondschicht 2' und der Oberfläche 4o des Produktsubstrats 4 und zu der Möglichkeit, den Produktwafer 4 vom Trägerwafer 1, genauer von der Temporärbondschicht 2', zu entfernen. Das Ausgasen muss nicht zu einer vollständigen Delaminierung des Interfaces führen. Es genügt erfindungsgemäß, wenn der Ausgasungsprozess zu einer Schwächung des Interfaces (Temporärbondschicht 2') führt und durch einen späteren, insbesondere mechanischen, Trennprozess die beiden Wafer 1, 4 voneinander getrennt werden (Fig. 2d bis 2f). Dementsprechend kann die kritische Temperatur  $T_k$  sehr wohl auch im Temperaturintervall liegen, in welchem der Produktwafer 4 prozessiert wird, sodass die Ausgasung insbesondere während der Prozessierung des Produktwafers 4 erfolgt.

**[0038]** In einer weiteren Ausführungsform (Fig. 3) werden Oberflächen  $R_{ox}$  (X hier: 1, 2 und 3) unterschiedlicher Regionen  $R_x$  (X hier: 1, 2 und 3) einer vollflächig aufgetragenen Temporärbondschicht 2'', mit Vorzug eine  $SiO_2$  Schicht, unterschiedlichen physikalischen und/oder chemischen Prozessen ausgesetzt, sodass der anschließende Fusionsbondprozess zu unterschiedlich starken Bondkräften in den einzelnen Regionen  $R_x$  führt. Beispielhaft aber nicht ausschließend seien hierbei folgende Oberflächenbehandlungen genannt: Plasmaprozesse, Beschichtungsprozesse, Prozesse zur Änderung der Oberflächenrauigkeit.

**[0039]** In einer weiteren Ausführungsform erfolgt das Bonden des Produktsubstrats 4 zu einem Trägerwafer 1, durch ein anodisches Bondverfahren. Dabei führt die Bildung der Siloxan-Verbindung Si-O-Si, hervorgerufen durch Kationen und Anionentransport, zu einer Verschweißung des Produktsubstrats 4 mit dem Trägersubstrat 1 über die Temporärbondschicht 2. In einer ersten Ausführungsform ist das Trägersubstrat 1 ein Glasträgersubstrat 1 und die Temporärbondschicht 2, 2', 2'' besteht zumindest überwiegend, vorzugsweise vollständig, aus Silizium. In einer zweiten Ausführungsform ist das Trägersubstrat 1 ein Siliziumsubstrat 1 und die Temporärbondschicht 2, 2', 2'' besteht zumindest überwiegend, vorzugsweise vollständig, aus Glas. Die Temporärbondschicht 2, 2', 2'' kann gleich vorbehandelt werden wie die  $SiO_2$ -Schicht aus den anderen erfindungsgemäßen Ausführungsformen.

## BEZUGSZEICHENLISTE

1	Trägerwafer
2, 2', 2''	Temporärbondschicht
2o, 2o', 2o''	Oberfläche
3	Kanäle
4	Produktwafer
4o	Oberfläche
4u	Rückseite
6	Lösungsmittel
R <sub>x</sub>	Regionen
R <sub>ox</sub>	Oberflächen

## Patentansprüche

1. Verfahren zum temporären Bonden eines Trägerwafers (1) mit einem Produktwafer (4) durch Aufbringen einer Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') auf den Trägerwafer (1) zum temporären Verbinden mit dem Produktwafer (4) durch Fusionsbonden oder anodisches Bonden mit folgenden Schritten, insbesondere folgendem Ablauf:
  - Aufbringen der zum Fusionsbonden oder anodischen Bonden geeigneten Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') auf den Trägerwafer (1),
  - Modifikation der Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') während und/oder nach dem Aufbringen derart, dass die temporäre Verbindung der Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') lösbar ist, wobei die Modifikation der Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') zu einer Schwächung der Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') führt,
  - Bonden des Produktwafers (4) mit der Temporärbondschiicht (2, 2', 2'').
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Modifikation durch Oberflächenbehandlung, insbesondere durch Strukturierung und/oder Änderung der Mikrostruktur der Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei der das Aufbringen durch CVD- und/oder PVD-Prozesse oder elektrochemische Abscheidung erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 1, bei der die Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') aus SiO<sub>2</sub> besteht.
5. Verfahren nach Anspruch 1, bei der die Modifikation einer Ausbildung von die Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') parallel zum Trägerwafer (1) durchsetzenden Kanälen (3) umfasst.
6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Modifikation der Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') beim Aufbringen der Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') mittels CVD-Verfahren eine Porosität der Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') vorzusehen und in die Poren der Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') durch Beaufschlagung mit einem Gas während des CVD-Verfahrens Gase in die Poren einzuschließen.
7. Verfahren nach Anspruch 1, bei der nach Aufbringung und Modifikation ein temporäres Bonden des Trägerwafers (1) mit dem Produktwafer (4) mit einer Bondkraft F<sub>b</sub> durch Fusionsbonden erfolgt.
8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem nach dem temporären Bonden der Produktwafer (4) prozessiert wird und während und/oder nach dem Prozessieren eine Schwächung der Temporärbondschiicht (2, 2', 2'') zum Ablösen des Produktwafers (4) erfolgt.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

Fig. 1a

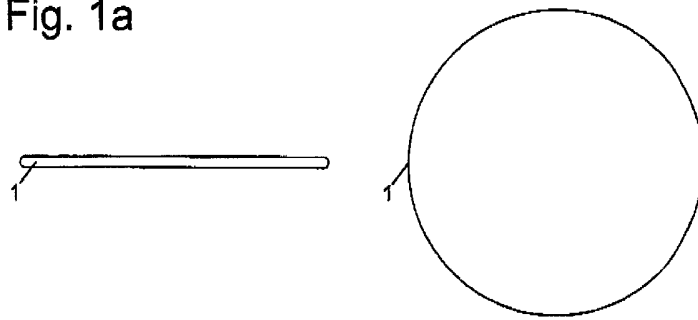


Fig. 1b

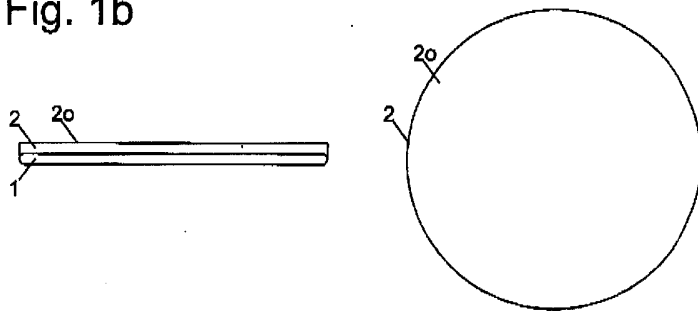


Fig. 1c

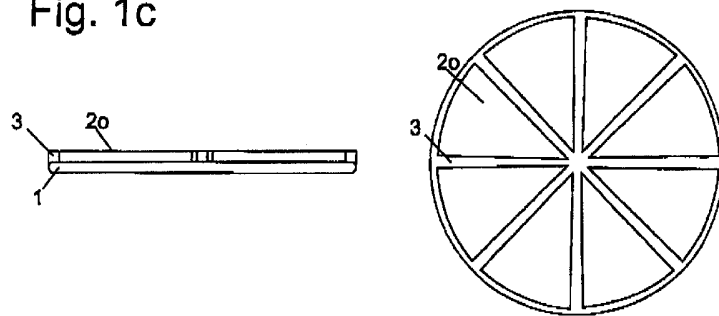


Fig. 1d

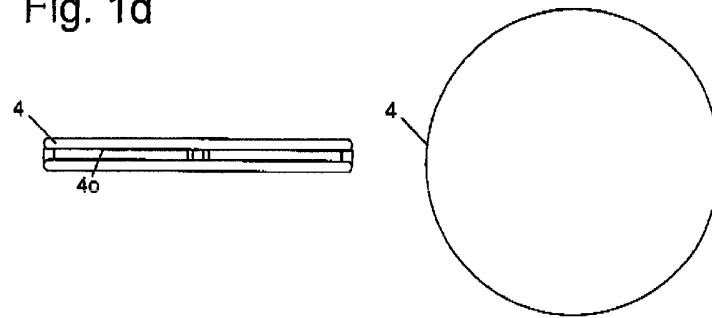


Fig. 1e

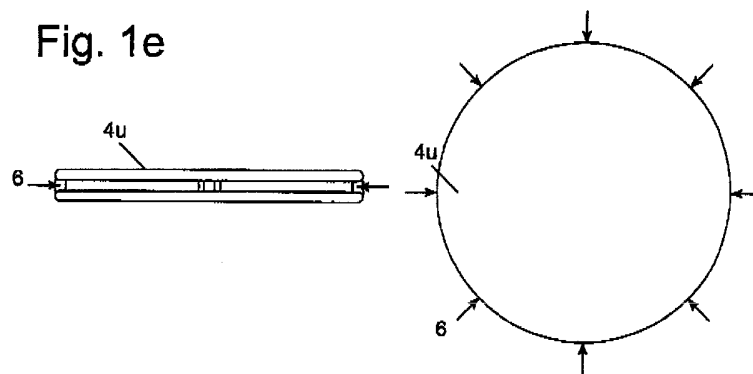


Fig. 1f

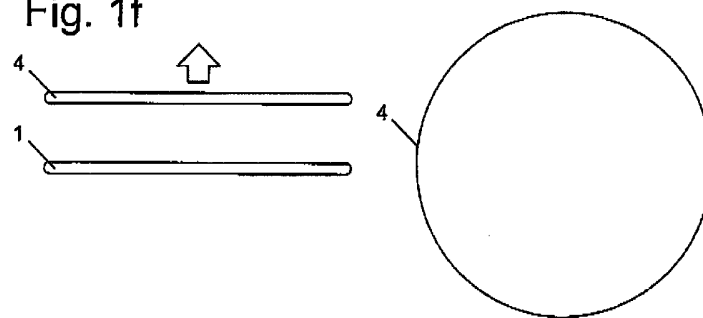


Fig. 2a

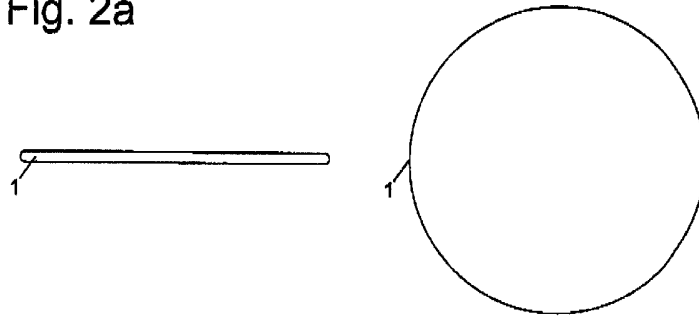


Fig. 2b

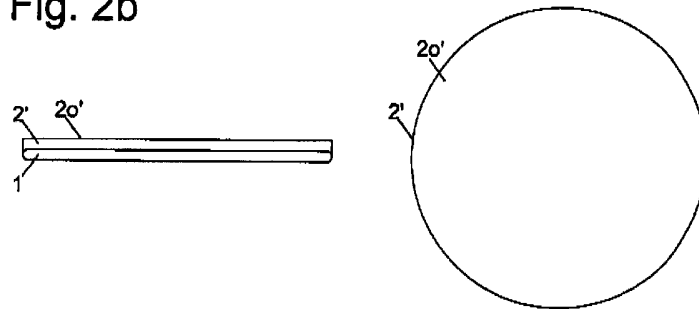


Fig. 2c

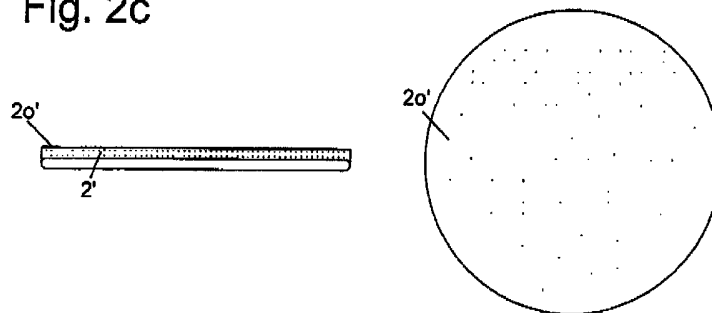


Fig. 2d

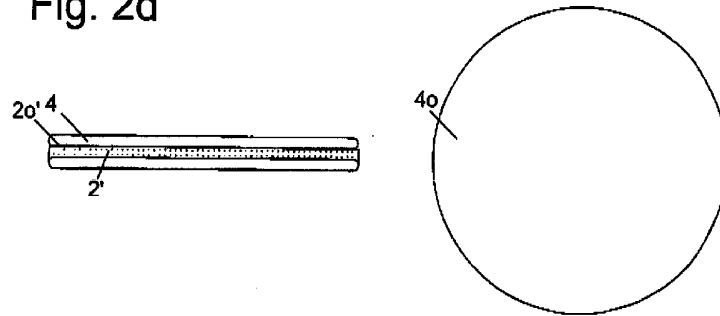


Fig. 2e

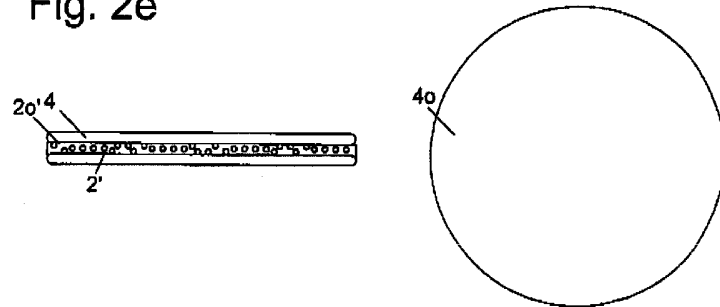


Fig. 2f

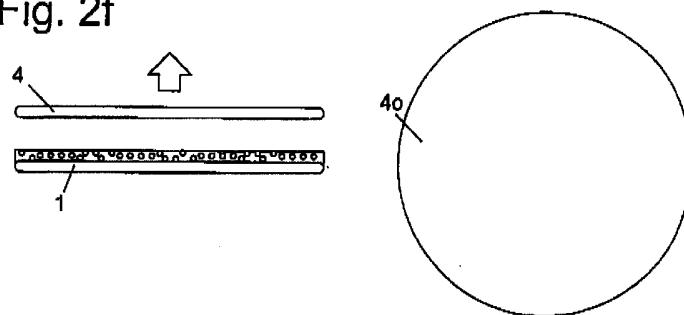


Fig. 3

