



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt



(10) DE 43 18 466 B4 2004.12.09

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: P 43 18 466.9

(22) Anmelddatum: 03.06.1993

(43) Offenlegungstag: 08.12.1994

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 09.12.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: B81C 1/00

G01L 23/10, G01P 15/08, G01H 1/00

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:

Muchow, Joerg, Dipl.-Ing., 72766 Reutlingen, DE;  
Muenzel, Horst, Dipl.-Phys. Dr., 72770 Reutlingen,  
DE; Offenberg, Michael, Dr.-Ing. Dr., 72076  
Tübingen, DE; Waldvogel, Winfried, Dipl.-Phys.  
Dr., 72138 Kirchentellinsfurt, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 40 00 903 C1

DE 40 03 473 A1

US 50 95 401

US 48 93 509

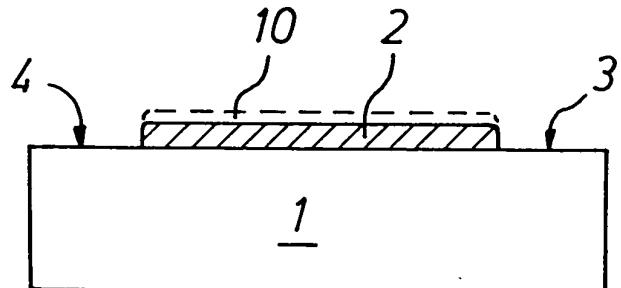
US 43 71 421

WO 92/03 740 A1

ORPANA, M. et. al.: Control of residual stress  
of polysilicon thin films by heavy doping in  
surface micromachining, in: Transducers 91,  
pp. 957-60;

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Sensors**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Sensors (16) mit einem Siliziumsubstrat (1), auf dem eine Siliziumoxidschicht (2) oder eine andere nicht kristalline Schicht aufgebracht und strukturiert wird, und bei dem eine Siliziumschicht (5) auf das Substrat (1) und auf die Siliziumoxidschicht (2) oder die andere nicht kristalline Schicht aufgebracht wird, und die Siliziumschicht (5) als polykristalline Siliziumschicht auf die Siliziumoxidschicht (2) oder auf die andere nicht kristalline Schicht mittels eines Epitaxieprozesses mittelbar oder unmittelbar aufgebracht wird, und durch ein Ätzen der Siliziumoxidschicht (2) oder der anderen nicht kristallinen Schicht ein mikromechanisches Auslenkungsteil aus der polykristallinen Siliziumschicht (5) freigelegt wird.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Sensors.

**[0002]** Aus der DE 40 00 903 C1 ist ein mikromechanischer Sensor als Beschleunigungssensor bekannt, der auf der Basis der Silizium-Mikromechanik hergestellt ist. Der Sensor besteht aus einem Träger aus Siliziumsubstrat mit einer auf das Siliziumsubstrat aufgebrachten Epitaxieschicht aus Silizium, wobei durch einen Ätzprozeß ein Teil der Epitaxieschicht als mikromechanische Auslenkteile in der Form von Zungen freigelegt ist. Eine oder mehrere Zungen sind dazu an einem oder mehreren Stegen aufgehängt und werden bei einer Kraftwirkung auf den Sensor gegenüber der übrigen Sensorstruktur ausgelenkt. Zudem sind Mittel zur Auswertung der Auslenkung vorgesehen. Aus der DE 40 03 473 A1 ist es zudem bekannt, bei der Gestaltung und Anordnung sowie für den Ätzprozeß kristallographische Winkel eines monokristallinen Siliziumwafers zu berücksichtigen.

**[0003]** Als Mittel zur Auswertung der Auslenkung der Zungen sind elektrisch isoliert davon jeweils Elektroden angeordnet, so daß eine kapazitive Änderung zwischen Zunge und Elektrode meßbar ist.

**[0004]** Die Freilegung der Zungen als Bestandteile der Epitaxieschicht erfolgt mit Hilfe einer Rückseitenätzung. Dies stellt gegenüber einem üblichen Bipolarprozess einen zusätzlichen Prozessschritt dar.

**[0005]** Aus der internationalen Patentanmeldung WO 92/03740 A1 ist es bekannt, auf einem Träger aus Siliziumsubstrat eine Schicht aus polykristallinem Silizium auf eine Siliziumoxidschicht mit Kontaktfenstern aufzubringen. Die Siliziumoxidschicht wird durch einen Ätzprozess entfernt, wodurch die polykristalline Siliziumschicht in einem Abstand zum Siliziumsubstrat als Zunge oder als Elektrode auf den in den Kontaktfenstern gebildeten Stützen steht.

**[0006]** Derartige polykristalline Siliziumschichten werden herkömmlich in einem LPCVD-Prozess (engl.: Low Pressure Chemical Vapor Deposition) abgeschieden. Die Abscheiderate von mechanisch spannungsarmem polykristallinem Silizium mittels LPCVD liegt bei ca. 6 nm/min und ist damit im Vergleich zur Abscheiderate epitaktisch abgeschiedenen polykristallinen Siliziums von ca. 1 µm/min sehr gering. Dadurch sind aus Gründen der Prozessökonomie nur relativ dünne LPCVD-Schichten herstellbar, wodurch die Arbeitskapazität, insbesondere eines lateralnen Beschleunigungssensors, durch die entsprechend geringen Schichtdicken der Zungen begrenzt ist. Zudem sind hier zusätzliche Siliziumabscheidungen, verglichen mit einem konventionellen

Bipolarprozess, erforderlich.

**[0007]** Die US 5095401 zeigt ein Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Drucksensors. Hierbei wird ein auf einem Siliziumsubstrat durch lokale Oxidation (engl.: LOCOS) eine Oxidschicht erzeugt. Anschließend wird in einem LPCVD-Prozess eine polykristalline Siliziumschicht aufgebracht. Die polykristalline Siliziumschicht wird anschließend in einem Zonenschmelzverfahren rekristallisiert und somit in eine einkristalline Siliziumschicht umgewandelt. Diese einkristalline Siliziumschicht ist für die Herstellung von CMOS-Schaltungen geeignet.

**Aufgabenstellung**

**[0008]** Das erfindungsgemäß Verfahren zur Herstellung eines Sensors mit den Merkmalen des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, dass die Herstellung des freigelegten Auslenkteils aus polykristallinem Silizium bzw. die mechanisch aktive Schicht ohne zusätzlichen Aufwand im Rahmen eines Bipolar- oder MOS-Prozesses erzeugbar ist, ohne dass zusätzliche Siliziumabscheidungen erforderlich sind. Die Epitaxie ist ein bekannter, spezieller Prozess zur Herstellung einkristalliner Schichten aus Silizium, während erfindungsgemäß polykristallin (über Siliziumoxid) oder anderen nicht kristallinen Schichten abgeschiedene Epitaxieschichten verwendet werden, die im Zuge eines konventionellen Bipolarprozesses aufgebracht werden.

**[0009]** Die Epitaxieabscheiderate ist gegenüber einem LPCVD-Prozeß sehr hoch, so daß erfindungsgemäß relativ dicke Schichten von 10 bis 30 µm realisiert werden können, was die Arbeitskapazität des lateralen Sensors vergrößert.

**[0010]** Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen des im Hauptanspruch angegebenen Verfahrens möglich. Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäß Verfahrens besteht darin, daß das Verfahren universell für verschiedene Designs anwendbar ist, insbesondere sind Anordnungen von einseitig abgestützten Zungen und an Randbereichen abgestützte Platten auch in mehreren Lagen übereinander möglich. Ein weiterer, großer Vorteil besteht darin, daß mit den gleichen Verfahrensschritten ohne wesentlichen Zusatzaufwand auf demselben Träger zusätzlich zum mikromechanischen Sensor integrierte elektronische Schaltungen, insbesondere die Auswertschaltung für die Auslenkung, herstellbar sind. Ebenso ist eine elektrische Isolation des mikromechanischen Sensorteils von übrigen, elektronischen Bauteilen auf demselben Träger zusammen mit den übrigen Herstellungsschritten möglich.

**[0011]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden

Beschreibung näher erläutert.

[0012] Es zeigen

[0013] **Fig. 1a bis Fig. 1d** einen Schnitt eines Sensors in verschiedenen Herstellungsphasen,

[0014] **Fig. 2a bis Fig. 2e** einen Schnitt eines Sensors in Verbindung mit einem Transistor in verschiedenen Herstellungsphasen nach einem Bipolarprozeß,

[0015] **Fig. 3a** eine Draufsicht auf einen Sensor und

[0016] **Fig. 3b** einen Schnitt durch diesen Sensor,

[0017] **Fig. 4** eine Draufsicht auf eine zweite Ausführungsform eines Sensors und

[0018] **Fig. 5** eine Draufsicht auf eine dritte Ausführungsform eines Sensors.

#### Ausführungsbeispiel

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0019] In **Fig. 1** ist ein Träger **1** aus Siliziumsubstrat dargestellt, auf den eine Siliziumoxidschicht **2** aufgebracht ist, wobei um diese Siliziumoxidschicht **2** Kontaktfensteröffnungen **3, 4** zum Siliziumsubstrat **1** hergestellt sind.

[0020] Die Siliziumoxidschicht **2** kann entweder un-dotiert sein oder auch eine Phosphor-, Bor- oder As-Dotierung enthalten. Eine Dotierung führt vorteilhaft zu einem kürzeren Ätzvorgang bei der späteren Entfernung dieser Siliziumoxidschicht **2** oder kann auch zum Dotieren der mechanisch beweglichen Si-Struktur dienen.

[0021] Auf die Oxidschicht können wahlweise noch andere Schichten, wie z.B. Siliziumnitrid oder Poly-Silizium, aufgebracht werden.

[0022] Gemäß **Fig. 1b** wird in einem weiteren Verfahrensschritt eine Epitaxieschicht **5** aus Silizium auf den Träger **1** bzw. die Siliziumoxidschicht **2** und die Kontaktfensteröffnungen **3, 4** abgeschieden. Die Epitaxie ist ein an sich bekannter, spezieller Prozeß zur Herstellung einkristalliner Schichten aus Silizium. Im vorliegenden Prozeß wächst die Epitaxieschicht **5** nur an Abstützbereichen **6, 7** über dem Siliziumsubstrat **1** einkristallin auf. Auf der Siliziumoxidschicht **2** dagegen in einem Bereich **8** entsprechend etwa der Breite des Pfeiles **9** wächst die Epitaxieschicht polykristallin auf (angedeutet durch die Schraffur).

[0023] Der Träger als Siliziumwafer wird bevorzugt in einer Kristallrichtung ausgerichtet. Die Orientierung in der (**100**) Richtung ist technisch bedeutend

für einen MOS- und BICMOS-Prozeß, die Ausrichtung (**111**) für einen Bipolar-Prozeß. Eine Ausrichtung (**110**) ist technisch weniger relevant.

[0024] Um die Qualität der polykristallinen Epitaxieschicht (Bereich **8**) zu verbessern, kann auf die Siliziumoxidschicht **2** vor der Epitaxie eine Poly-Startschicht **10** aufgebracht werden, wie dies in **Fig. 1a** strichliert eingezeichnet ist.

[0025] Spezielle Ausführungsformen des Sensors benötigen unter dem freigeätzten Sensormaterial auf dem Substrat Leitungen oder Gegenelektroden, die durch pn-Übergänge räumlich begrenzt werden. Zur elektrischen Passivierung können vor der Deposition des Opferoxides HF-resistente dielektrische Schichten auf dem Substrat abgeschieden werden (z.B. Nitrid). Diese verhindern hohe Leckströme über die nach dem Opferoxidätzen freiliegenden pn-Übergänge.

[0026] Aus der polykristallinen Epitaxieschicht im Bereich **8** werden die mikromechanischen Auslenkteile freigelegt. Wie in **Fig. 1c** gezeigt, werden dazu in einem Trenchprozeß durch die polykristalline Epitaxieschicht **8** tiefe schmale Ätzgräben, sogenannte Trenches, eingebracht. Dazu ist eine entsprechende Maske, z.B. als Resist, erforderlich. Die Herstellung der Trenches erfolgt mit der Technik des anisotropen Plasmaätzens als Trockenätzprozeß mit hoher Anisotropie. Durch die gezeigten fünf Trenches **11** werden die seitlichen Strukturbegrenzungen von vier zungenförmigen Auslenkteilen **12, 13, 14, 15** herausgeätzt.

[0027] In einem weiteren Verfahrensschritt wird die Siliziumoxidschicht **2** als Opferschicht entfernt. Diese Entfernung wird mit hoher Selektivität gegenüber dem Silizium mit Flußsäure (HF) durchgeführt.

[0028] Wie aus **Fig. 1d** ersichtlich, ist damit ein mikromechanischer Sensor **16** herstellbar mit Auslenkteilen **12, 13, 14, 15** aus polykristallinem Silizium, die im Abstüzbereich an der Verbindung zum Siliziumsubstrat **1** in einkristallines Silizium übergehen. Bei einer Krafteinwirkung auf den Sensor werden diese Auslenkteile **12, 13, 14, 15** gegenüber der weiteren Sensorstruktur, insbesondere dem Siliziumsubstrat **1**, ausgelenkt. Diese Auslenkung kann zu Meßzwecken kapazitiv oder piezoresistiv ausgewertet werden.

[0029] Ersichtlich kann das vorstehend geschilderte Verfahren mehrfach übereinander angewendet werden, durch abwechselndes Aufbringen einer Siliziumoxidschicht **2**, anderer Schichten **10** und einer Epitaxieschicht **5**, so daß nach entsprechenden Ätzprozessen mehrere Lagen von Auslenkten **12, 13, 14, 15** übereinander erreichbar sind. Solche Ausführungen eignen sich insbesondere für kapazitive Be-

schleunigungssensoren.

**[0030]** Die Abscheiderate für die Epitaxieschicht ist relativ hoch, so daß Epitaxieschichtdicken und damit Dicken der Auslenkteile **12, 13, 14, 15** von 10 bis 30 µm Dicke realisierbar sind.

**[0031]** Nach der schematischen Darstellung anhand der **Fig. 1a** bis **Fig. 1d** wird anhand der **Fig. 2a** bis **Fig. 2e** die Herstellung und Ausbildung eines konkreten mikromechanischen Sensors **16** erläutert in Verbindung mit der Integrierbarkeit in einem Bipolarprozeß für einen danebenliegenden Transistor **17**. Dieser Transistor steht beispielhaft für IC-Schaltung, insbesondere einer Auswerteschaltung für die mechanische Auslenkung der Auslenkteile im Sensor **16**.

**[0032]** In **Fig. 2a** ist als Ausgangsteil ein Träger **1** aus p-dotiertem Siliziumsubstrat dargestellt.

**[0033]** In **Fig. 2** ist ein üblicher Prozeßzustand in der Bipolarechnik dargestellt nach einer n<sup>+</sup>-Diffusion (Buried Layer Diffusion) und einer p-Diffusion (untere Isolationsdiffusion). Die im linken Bereich der **Fig. 2b** dargestellten Schichten **2** und **10** entsprechen den Schichten **2** und **10** in **Fig. 1**. Die im rechten Teil dargestellte Siliziumoxidschicht **18** (im rechten Bereich soll der Transistor entstehen) wird für die weiteren Verfahrensschritte entfernt, während die Siliziumschicht **2** mit den dargestellten Kontaktfenstern stehenbleibt. Wie in **Fig. 2c** dargestellt, wird dann über diese Struktur die n-Epitaxieschicht **5** aufgebracht, die über der stehengebliebenen Siliziumoxidschicht **2** im Bereich **8** entsprechend der Abmessung des Pfeiles **9** polykristallin aufwächst.

**[0034]** Entsprechend **Fig. 2d** wird anschließend eine elektrische Isolation durch eine p-Isolationsdiffusion **19** durchgeführt, ebenso wie eine p-Basisdiffusion **20**. Zudem wird eine n<sup>+</sup>-Kollektoranschlußdiffusion **21** und eine n<sup>+</sup>-Emitterdiffusion in bekannter Weise entsprechend dem Bipolarprozeß angebracht. Weiter wird eine obere Siliziumoxidschicht **23** aufgebracht.

**[0035]** In weiteren Verfahrensschritten nach **Fig. 2e** wird zur lateralen Strukturbegrenzung des zungenförmigen Auslenkteils **12** ein Trench **11** eingebracht und zur Freilegung der Unterfläche die Siliziumoxidschicht **2** als Opferschicht mit Flußsäure weggeätzt. Zudem werden Kontaktöffnungen und eine Metallisierung für Anschlüsse am Sensor **16** sowie die Transistoranschlüsse E, B, C am Transistor **17** hergestellt.

**[0036]** Gemäß **Fig. 2e** wurde somit ein mikromechanischer Sensor **16** mit einem zungenförmigen Auslenkteil **12** geschaffen, das bei Krafteinwirkung innerhalb des Luftspalts **24** auslenkbar ist. Über die

Anschlüsse **25** und **26** können Kapazitätsänderungen abgegriffen und ausgewertet werden.

**[0037]** In den **Fig. 3a** und **3b** ist ein Sensor **16** im einzelnen dargestellt, entsprechend einem Herstellungsprozeß gemäß der **Fig. 2a** bis **2e**, linke Seite. **Fig. 3b** zeigt dazu einen entsprechenden Querschnitt entlang einer Schnittlinie **27** aus der Draufsicht nach **Fig. 3a**.

**[0038]** Aus **Fig. 3a** ist ersichtlich, daß mit Hilfe des Trenchprozesses ein Trenchgraben **11** hergestellt wurde, der eine plattenförmige Struktur als Auslenkteil **12** begrenzt, wobei dieses über zwei Stege **28, 29** mit der übrigen Struktur verbunden ist. Der Sensor ist somit bevorzugt für Bewegungen vertikal zur Trägerebene als Beschleunigungssensor einsetzbar.

**[0039]** In einer weiteren Ausführungsform nach **Fig. 4** ist ein plattenförmiges, etwa quadratisches Auslenkelement **30** an den Ecken über vier Stege **31, 32, 33, 34** gehalten. Eine solche Ausführungsform eignet sich insbesondere als kapazitiver Beschleunigungssensor.

**[0040]** Aus einer Draufsicht auf eine dritte Ausführungsform gemäß **Fig. 5** ist zu erkennen, daß mit der vorbeschriebenen Technik auch Ausführungen mit einer Mehrzahl von ggfs. über Leiterbahnen **35** verbundenen Elektroden **36** in einem Sensor realisierbar sind. Gegenüber diesen feststehenden Elektroden **36** bewegt sich eine gemäß dem beschriebenen Verfahren hergestellte freie Siliziummasse **37**. Sie ist ihrerseits mit Elektroden versehen, die zwischen die feststehenden Elektroden **36** ragen.

**[0041]** Die Auslenkung der Masse **37** infolge von Beschleunigung in lateraler Richtung kann somit kapazitiv sensiert werden.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Sensors (**16**) mit einem Siliziumsubstrat (**1**), auf dem eine Siliziumoxidschicht (**2**) oder eine andere nicht kristalline Schicht aufgebracht und strukturiert wird, und bei dem eine Siliziumschicht (**5**) auf das Substrat (**1**) und auf die Siliziumoxidschicht (**2**) oder die andere nicht kristalline Schicht aufgebracht wird, und die Siliziumschicht (**5**) als polykristalline Siliziumschicht auf die Siliziumoxidschicht (**2**) oder auf die andere nicht kristalline Schicht mittels eines Epitaxieprozesses mittelbar oder unmittelbar aufgebracht wird, und durch ein Ätzen der Siliziumoxidschicht (**2**) oder der anderen nicht kristallinen Schicht ein mikromechanisches Auslenkungsteil aus der polykristallinen Siliziumschicht (**5**) freigelegt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die mittelbare Aufbringung derart geschieht, dass vor dem

Aufbringen der polykristallinen Siliziumschicht (**5**) auf die Siliziumoxidschicht (**2**) oder die andere nicht kristalline Schicht eine Poly-Startschicht (**10**) aufgebracht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei mehrere Lagen von Auslenkteilen aus übereinander angeordneten polykristallinen Siliziumschichten (**5**) freigelegt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verfahren mehrfach übereinander angewendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei auf der Siliziumoxidschicht (**2**) andere Schichten (**10**) und die polykristalline Siliziumschicht (**5**) übereinander angeordnet werden.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für die Strukturierung ein Plasmaätzprozeß verwendet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei auf und/oder in dem Substrat (**1**) wenigstens eine elektrische Schaltung (**17**) und/oder elektronische Schaltung (**17**), insbesondere Mittel zur Auswertung der Auslenkung des Sensors (**16**), erzeugt wird.

8. Mikromechanischer Sensor (**16**), hergestellt nach einem Verfahren gemäß wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

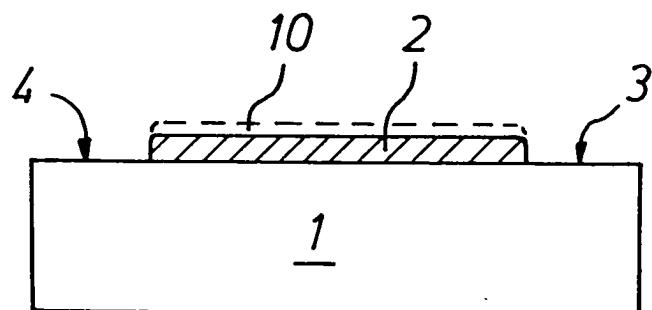
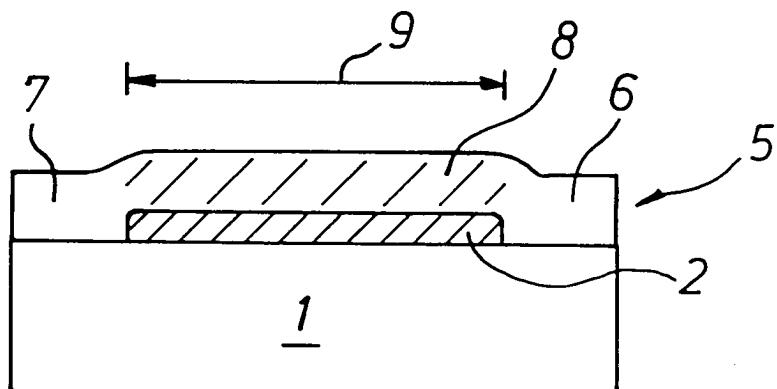
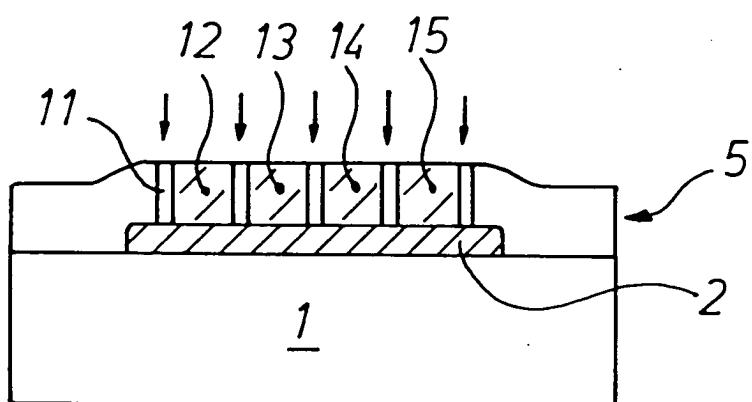
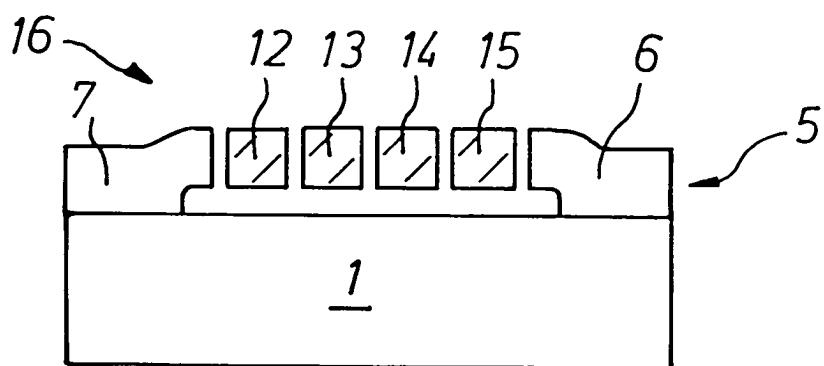
FIG.1aFIG.1bFIG.1cFIG.1d

FIG.2a

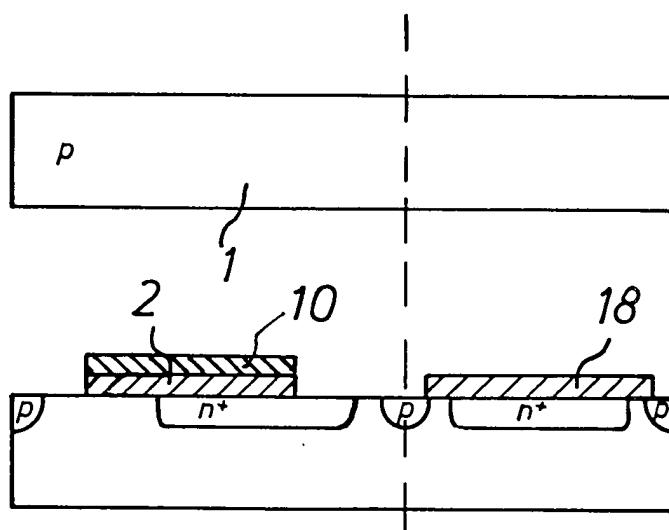


FIG.2b

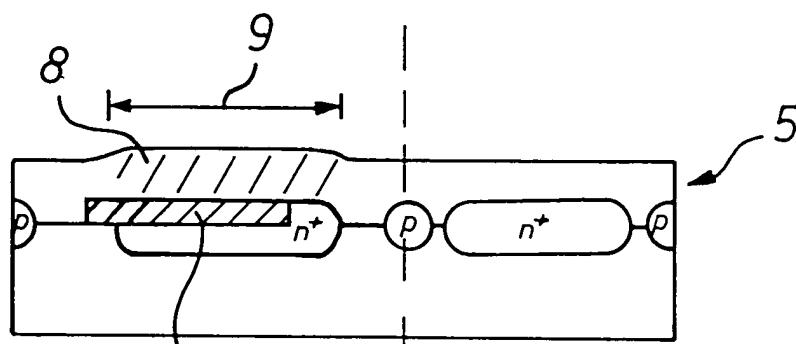


FIG.2c

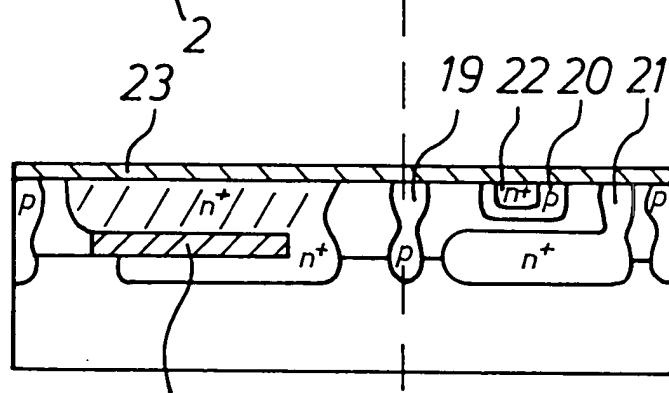


FIG.2d

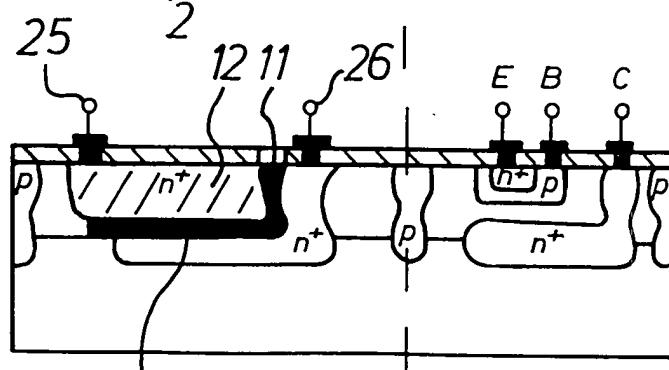


FIG.2e

