

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
19. Februar 2004 (19.02.2004)

PCT

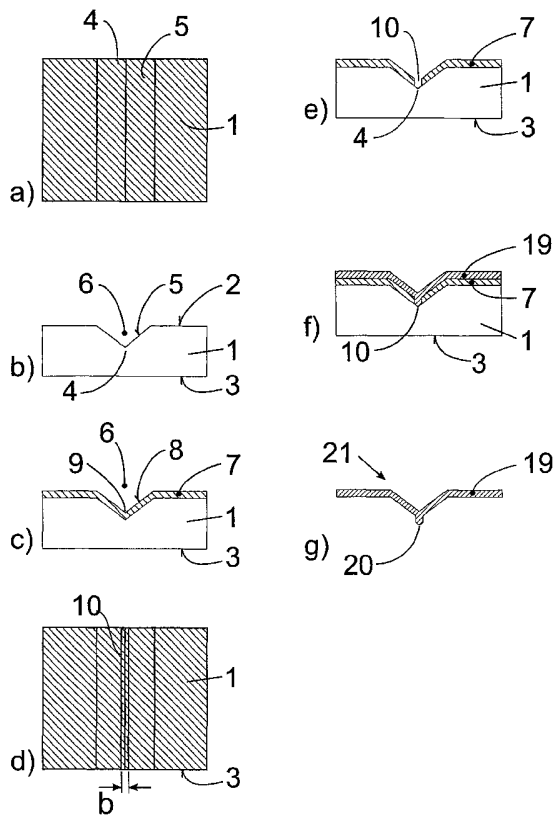
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/015362 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01B 7/34
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002627
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
4. August 2003 (04.08.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
102 36 149.5 5. August 2002 (05.08.2002) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): UNIVERSITÄT KASSEL [DE/DE];  
Mönchebergstrasse 19, 34125 Kassel (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ÖSTERSCHULZE, Egbert [DE/DE]; Korbacherstrasse 28, 34134 Kassel (DE). KASSING, Rainer [DE/DE]; Goldsternweg 44, 34128 Kassel (DE). GEORGIEV, Georgi [BG/DE]; Waranwiesen 12, 34132 Kassel (DE).
- (74) Anwalt: PATENTANWALT R. FRHR. V. SCHORLEMER; Karthäuser Strasse 5A, 34117 Kassel (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A STRUCTURE COMPRISING A NARROW CUTTING EDGE OR TIP AND CANTILEVER BEAM PROVIDED WITH A STRUCTURE OF THIS TYPE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER EINE SCHMALE SCHNEIDE ODER SPITZE AUFWEISENDEN STRUKTUR UND MIT EINER SOLCHEN STRUKTUR VERSEHENER BIEGEBALKEN



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a structure (21) comprising a sharp tip or cutting edge (20). A substrate (1), in particular a semiconductor substrate, is provided on one surface (2) with at least one pointed recess (6) that has a tip section (4) and lateral walls (5) and with a layer (7) that is subsequently applied, at least in the region of the recess (6). The structure (21) is then cast in the region of the recess (6) of the substrate (1). According to the invention, prior to the casting process, the layer (7) is provided with an opening (10) in the region of the tip section (4) by selective etching, said opening increasing the height of the recess (6). The invention also relates to a cantilever beam that is produced according to said method.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer scharfen Spitze oder Schneide (20) aufweisenden Struktur (21) beschrieben. Ein Substrat (1), insbesondere ein Halbleitersubstrat, wird auf einer Oberfläche (2) mit wenigstens einer spitz zulaufenden, einen Spitzenabschnitt (4) und Seitenwände (5) aufweisenden Vertiefung (6) und zumindest im Bereich der Vertiefung (6) mit einer nachträglich aufgebracht Schicht (7) versehen, und die Struktur (21) wird dann durch Abformung des Substrats (1) im Bereich der Vertiefung (6) erhalten. Erfindungsgemäss wird die Schicht (7) vor der Abformung im Bereich des Spitzenabschnitts (4) durch selektives Ätzen mit einer die Höhe der Vertiefung (6) vergrößernden Öffnung (10) versehen. Ausserdem wird ein nach diesem Verfahren hergestellter Biegebalken beschrieben.

WO 2004/015362 A2



**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

- 1 -

Verfahren zur Herstellung einer eine schmale Schneide oder Spitze aufweisenden Struktur und mit einer solchen Struktur versehenen Biegebalken

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer eine scharfe Schneide oder Spitze aufweisenden Struktur, wobei ein Substrat, insbesondere ein Halbleitersubstrat, auf einer Oberfläche mit wenigstens einer spitz zulaufenden, einen Spitzenabschnitt und Seitenwände aufweisenden Vertiefung und zumindest im Bereich der Vertiefung mit einer  
5 nachträglich aufgebrachtten Schicht versehen wird und wobei die Struktur durch Abformung des Substrats im Bereich der Vertiefung erhalten wird. Außerdem betrifft die Erfindung einen mit einer solchen Struktur versehenen Biegebalken.

Zur Herstellung von mechanischen oder mechano/chemischen Gravurwerkzeugen,  
10 Skalpelln, Abtastsonden für die Rastersondenmikroskopie und anderen vergleichbaren Gegenständen werden Strukturen mit ultrafeinen Schneiden oder Spitzen benötigt, die an ihren freien Enden Breiten deutlich unter 1  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise von 100 nm und weniger aufweisen. Dabei sollten die Schneiden bzw. Spitzen außerdem aus einem möglichst harten und gegebenenfalls leitfähigen Material wie z.B. polykristallinem Diamant bestehen und  
15 ein vergleichsweise großes Verhältnis von Höhe zu Breite (nachfolgend kurz als "Aspektverhältnis" bezeichnet) aufweisen.

Die meisten bekannten Verfahren der eingangs bezeichneten Gattung (z. B.

US 5 116 462 A, US 5 221 415 A, US 5 399 232A) gehen zur Herstellung derartiger Strukturen von einem z.B. aus monokristallinem Silicium bestehenden Substrat aus, das in einem ersten Verfahrensschritt mit einer z.B. aus Siliciumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) bestehenden Schicht belegt wird. In einem zweiten Verfahrensschritt wird mittels photolithografischer Verfahren ein Loch bzw. Fenster in der  $\text{SiO}_2$ -Schicht ausgebildet. Anschließend werden unter Anwendung der  $\text{SiO}_2$ -Schicht als Ätzmaske durch einen z.B. mit Kalilauge (KOH) durchgeführten, anisotropen Naßätzschritt Vertiefungen in Form von Gräben oder inversen Pyramiden in der darunter liegenden Oberfläche des Substrats ausgebildet. Wird hierbei von einer (001) - Kristalloberfläche des Substrats ausgegangen, dann entstehen in der Regel Vertiefungen mit (111) - orientierten Seitenwänden. Die Vertiefungen und gegebenenfalls andere Bereiche der Substratoberfläche werden anschließend mit einem geeigneten Material wie z.B. Siliciumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) oder Diamant beschichtet und als Negativformen für einen Abformvorgang benutzt. Die gewünschte, eine scharfe Schneide oder Spitze aufweisende Struktur entsteht in einem letzten Verfahrensschritt dadurch, daß das Substrat und die Maskierungsschicht zumindest im Bereich der Vertiefung entfernt werden. Bekannt ist es dabei auch, daß der Querschnitt der durch Ätzen hergestellten Vertiefung durch nachträgliche Abscheidung einer weiteren, z.B. ebenfalls aus  $\text{SiO}_2$  bestehenden Schicht verkleinert werden kann (US 5 994 160 A), um dadurch noch schärfere Schneiden bzw. Spitzen zu erhalten. Die erhaltenen Strukturen können außerdem durch Kombination der beschriebenen Verfahrensschritte mit weiteren Verfahrensschritten an den einen Enden von Biegebalken (Cantilevern) ausgebildet werden, die an ihren anderen Enden in einem Halteblock eingespannt und insbesondere für die Anwendung in der Rastersondenmikroskopie od. dgl. geeignet sind.

Verfahren dieser Art gehen meistens von Siliciumsubstraten (001) - orientierten Oberflächen aus. Das hat zur Folge, daß die Seitenwände der Vertiefungen (111) - Flächen mit Öffnungswinkeln von ca.  $70,5^\circ$  sind und die erhaltenen Schneiden bzw. Spitzen ein vergleichsweise kleines Aspektverhältnis aufweisen. Die erhaltenen Schneiden bzw. Spitzen können daher z.B. bei ihrer Anwendung zur Abtastung von Oberflächen nicht ausreichend tief in deren Diskontinuitäten eintreten, was eine relativ kleine Auflösung bedingt bzw. eine Abbildung der Oberflächen sogar verhindert.

Zur Vergrößerung des Aspektverhältnisses ist es bekannt (US 6 056 887 A), zunächst eine positiv Form der Schneide bzw. Spitze anzufertigen, indem ein Substrat an einer ausgewählten Stelle seiner Oberfläche mit einer Ätzmaske versehen und dann in mehreren Schritten mit KOH oder einem Plasma-Ätzverfahren geätzt wird, um durch die sich

5 ergebende Unterätzung (undercutting) eine scharfe Schneide oder Spitze auszubilden. Die so erhaltene Positivform wird dann durch eine Vielzahl weiterer Verfahrensschritte zur Herstellung einer Negativform der Struktur benutzt, um schließlich die sich dadurch ergebende Vertiefung zur Abformung der endgültigen, z.B. aus Diamant bestehenden Struktur zu verwenden. Derartige Verfahren sind allerdings technisch aufwendig und

10 daher für die praktische Anwendung zu teuer.

Weiterhin ist es bekannt (DE 199 26 601 A1), zur Herstellung einer Negativform die Oberseite eines Substrats in einem ersten Verfahrensschritt mit einer Vertiefung und daran anschließend mit einer Schicht aus einem geeigneten Material wie z.B. SiO<sub>2</sub> zu versehen,

15 wobei das Beschichtungsverfahren so gesteuert wird, daß in der Vertiefung ein scharfkantiger, jedoch Inhomogenitäten aufweisender Spitzenabschnitt entsteht. Der Spitzenabschnitt wird dann durch einen von der Rückseite des Substrats her erfolgenden, zur Entfernung des Substratmaterials bestimmten Ätzvorgang zumindest teilweise freigelegt und kann danach in einem weiteren Verfahrensschritt durch einen speziell das Schichtmaterial

20 angreifenden Ätzvorgang und unter Ausnutzung der Inhomogenitäten mit einer feinen Öffnung mit im Nanometerbereich liegenden Durchmesser bzw. Breiten versehen werden, wodurch die erhaltene Struktur außer für Cantilever auch für zahlreiche andere Zwecke verwendet werden kann. Allerdings ergeben sich bei Anwendung dieses Verfahrens Probleme im Hinblick auf eine gute Reproduzierbarkeit der Schneiden- bzw. Spitzengeo-

25 metrie, da die Spitzenabschnitte wegen der bekannten Dickenvariationen üblicher Substrate im Bereich von ca. 1 - 10 µm nicht immer gleichzeitig freigelegt werden.

Schließlich ist es bekannt (WO 01/25720 A1), Dimantspitzen nicht durch einen Abformvorgang, sondern durch chemische, nach Art einer Parallel-Projektion erfolgende Ab-

30 scheidung aus der Gasphase (CVD-Abscheidung) auf einem entsprechend strukturierten Substrat auszubilden. Dieses Verfahren ist allerdings technisch aufwendig und führt nicht

zu ausreichend feinen Schneiden bzw. Spitzen.

Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung das technische Problem zugrunde, ein Verfahren der eingangs bezeichneten Gattung zu schaffen, das zu feinen Schneiden bzw.

- 5 Spitzen mit einem vergleichsweise großen Aspektverhältnis führt und mit vergleichsweise geringem technischen Aufwand durchgeführt werden kann. Außerdem soll ein nach diesem Verfahren hergestellter Biegebalken der eingangs bezeichneten Gattung vorgeschlagen werden.

- 10 Die Lösung dieses technischen Problems erfolgt erfindungsgemäß dadurch, daß die Schicht vor der Abformung im Bereich des Spitzenabschnitts durch selektives Ätzen mit einer zur Abformung der Struktur bestimmten, die Höhe der Vertiefung vergrößernden Öffnung versehen wird. Der erfindungsgemäße Biegebalken mit einer schmalen Schneide oder Spitze an einem Ende für einen mikromechanischen Sensor zeichnet sich dadurch
- 15 aus, daß die Schneide oder Spitze nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt ist.

- Die Erfindung bringt den Vorteil mit sich, daß die üblicherweise zur Abformung der Struktur vorgesehene Vertiefung mit Hilfe wenigstens eines einfachen, gut beherrschbaren und von derselben Oberfläche des Substrats her durchführbaren Ätzschritts mit einer
- 20 geringe Breite aufweisenden Verlängerung versehen wird, die beim Abformvorgang zu einem entsprechenden, äußerst schmalen Fortsatz an der üblichen Schneiden- bzw. Spitzenstruktur und damit zu einer beträchtlichen Vergrößerung des Aspektverhältnisses führt.

- 25 Weitere vorteilhafte Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung wird nachfolgend in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen an Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

- 30 Fig. 1a bis 1g schematisch verschiedene Verfahrensschritte bei der Anwendung eines ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand von Draufsichten

- 5 -

auf ein Substrat (Fig. 1a, Fig. 1d) und Querschnitten durch das Substrat bzw. eine fertige Struktur (Fig. 1b, Fig. 1c, Fig. 1e bis Fig. 1g);

Fig. 2 einen schematischen Schnitt durch eine Vorrichtung zur Durchführung eines  
5 Ätzschritts bei Anwendung des Verfahrens nach Fig. 1;

Fig. 3a bis 3c je eine mit einem Rasterelektronenmikroskop hergestellte Abbildung von Substrat- bzw. Strukturquerschnitten in verschiedenen Stufen des Verfahrens nach Fig. 1;

10 Fig. 4a bis 4g schematisch verschiedene Verfahrensschritte bei der Anwendung eines zweiten und dritten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand von Querschnitten durch ein Substrat bzw. eine fertige Struktur;

Fig. 5 einen schematischen Schnitt durch eine Vorrichtung zur Durchführung eines  
15 Ätzschritts bei Anwendung des Verfahrens nach Fig. 4;

Fig. 6a bis 6c je eine mit einem Rasterelektronenmikroskop hergestellte Abbildung eines Substrats bzw. einer fertigen Struktur im Schnitt bzw. unter einem Winkel in verschiedenen Stufen des Verfahrens Fig. 4; und  
20

Fig. 7a bis 7m den Fig. 1 und 4 entsprechende Darstellungen von Verfahrensschritten bei Anwendung von zwei weiteren Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist schematisch in  
25 Fig. 1a bis 1g dargestellt. In einem ersten Verfahrensschritt (Fig. 1a und 1b) wird ein Substrat 1 strukturiert. Das Substrat 1 liegt hier als dünne, im wesentlichen planparallele, einkristalline Siliciumscheibe vor, die eine als (001) - Kristallfläche orientierte Oberseite 2 und eine Unterseite 3 aufweist. Die auf der Oberseite 2 im ersten Verfahrensschritt hergestellte Strukturierung enthält wenigstens eine spitz zulaufende, einen Spitzenabschnitt  
30 4 (Apex) und zwei Seitenwände 5 aufweisende Vertiefung 6. Die Vertiefung 6 wird dadurch hergestellt, daß die Oberseite 2 in an sich bekannter Weise zunächst mit einer

- 6 -

Maskierung versehen wird, die eine rechteckige Öffnung aufweist, und dann durch diese Maskierungsöffnung hindurch beispielsweise mit einer wässrigen Kaliumhydroxid-Lösung (KOH) anisotrop geätzt wird. Bei diesem Ätzvorgang erhalten die Seitenwände 5 eine (111) - Orientierung, und es entsteht eine Vertiefung 6 in Form eines geraden, V-förmigen Grabens mit einem Öffnungswinkel zwischen den Seitenwänden 5 von ca. 70,5°. Gemäß Fig. 1a und 1b erstreckt sich die Vertiefung 6 über die ganze, vorzugsweise jedoch nur über einen Teil der Breite des Substrats 1. Die nicht dargestellte Maskierungsschicht besteht z.B. aus einer zuvor aufgetragenen Siliciumdioxid- ( $\text{SiO}_2$ -) oder Siliciumnitrid- ( $\text{SiN}_x$ -) Schicht.

10

In einem zweiten Verfahrensschritt wird das Substrat 1 auf seiner gesamten strukturierten Oberseite 2 mit einer z.B. ca. 300 nm dicken Schicht 7 aus Siliciumdioxid belegt (Fig. 1c), indem das Substrat 1 bei Temperaturen von z.B. 800 °C bis 1200 °C mit Wasserdampf als Oxidationsmittel thermisch oxidiert oder durch ein CVD-Verfahren (= Chemical Vapor Deposition) z. B. unter Anwendung von Distickstoffoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und Silan ( $\text{SiH}_4$ ) mit  $\text{SiO}_2$  beschichtet wird. Die  $\text{SiO}_2$ -Schicht 7 kann dabei durch Anwendung von Oxidationstemperaturen zwischen ca. 800 °C und 900 °C bei Bedarf mit charakteristischen Inhomogenitäten im Bereich der konvexen oder konkaven Kanten der Grabenstruktur versehen werden (z.B. DE 199 26 601 A1). Die Form der Vertiefung 6 gemäß Fig. 1a und 1b bleibt beim beschriebenen Beschichtungsvorgang im wesentlichen erhalten, so daß auf der Oberseite der Schicht 7 entsprechende V-förmig angeordnete Seitenwände 8 und ein Spitzenabschnitt 9 entstehen. Die im vorhergehenden Verfahrensschritt verwendete Maskierungsschicht kann vor dem Aufbringen der  $\text{SiO}_2$ -Schicht 7 entfernt, aber auch stehen gelassen werden.

25

Das Substrat 1 wird nun von seiner Oberseite 2 her mit einem geeigneten Plasma-Ätzverfahren behandelt, um die Schicht 7 im Bereich des Spitzenabschnitts 9 mit einer durchgehenden Öffnung 10 (Fig. 1d und 1e) zu versehen. Der Plasma-Ätzprozess wird mit Hilfe eines schematisch in Fig. 2 dargestellten, an sich bekannten, kapazitiv gekoppelten Parallel-Platten-Reaktors durchgeführt, der ein Gehäuse 11 mit einer oberen Elektrode 12 und einer unteren Elektrode 14 aufweist, auf die das Substrat 1 aufgelegt wird. Außerdem

30

- 7 -

sind ein Gaseinlaß 15, ein Gasauslaß 16 und ein mit der unteren Elektrode 14 verbundener Hochfrequenzgenerator 17 vorhanden, der hier bei 13,56 MHz mit einer Leistung von ca. 160 W betrieben wird.

- 5 Dem Gaseinlaß 15 werden Argon (Ar) mit 5 sccm und Trifluormethan ( $\text{CHF}_3$ ) mit 4,5 sccm zugeführt. Über den Gasauslaß wird im Gehäuse 11 ein Druck von ca. 75 mTorr aufrecht erhalten. Das sich beim Betrieb der Vorrichtung nach Fig. 2 einstellende Plasma 18 führt zu einer Gleichvorspannung des Substrats 1 von 250 V.
- 10 Im Ausführungsbeispiel beträgt die Ätzdauer 7 min bei einer Dicke der  $\text{SiO}_2$ -Schicht 7 von 300 nm. Dadurch ergibt sich im Bereich des Spitzenabschnitts 9 der Schicht 7 (Fig. 1c) eine bis zum Spitzenabschnitt 4 des Substrats 1 durchgehende, schlitzförmige Öffnung 10 (Fig. 1d und 1e) mit einer über die ganze Länge der Vertiefung 6 im wesentlichen gleich bleibenden Breite  $b$  (Fig. 1d) von ca. 90 nm. Das ist eine Folge davon, daß die genannten
- 15 Ätzgase und Ätzparameter so aufeinander abgestimmt sind, daß innerhalb der  $\text{SiO}_2$ -Schicht 7 gegenüber dem gewählten und für diesen Fall als geeignet erkannten Plasma-Ätzprozess eine ausgeprägte Ätzraten-Winkelverteilung erhalten und die  $\text{SiO}_2$ -Schicht 7 im Bereich ihres Spitzenabschnitts 9 mit einer größeren Ätzrate als im Bereich ihrer Seitenwände 8 geätzt wird.

20

- Im nächsten Verfahrensschritt (Fig. 1f) wird das Material, aus dem die mit einer scharfen Schneide versehene Struktur hergestellt werden soll, in Form einer Schicht 19 und mit einer vorgewählten Dicke auf die Substratoberfläche aufgetragen, wobei das Material auch in die Öffnung 10 eindringt und diese vollständig ausfüllt. Die Dicke der Schicht kann
- 25 z. B. 100 nm bis 100  $\mu\text{m}$  betragen. In einem letzten Verfahrensschritt (Fig. 1g) werden dann das Substrat 1 und die Schicht 7 von der Unterseite 3 her entfernt, wodurch eine mit einer scharfen Schneide 20 versehene Struktur 21 freigelegt wird, die im wesentlichen nur aus dem Material der Schicht 19 besteht oder bei der die Schneide 20 wenigstens teilweise aus dem Substrat 1 herausragt.

30

Als Material für die Schicht 19 wird in besonders bevorzugter Weise Diamant verwendet.

Für die homogene Deposition von Diamant auf dem Substrat 1 können insbesondere zwei Verfahren angewendet werden, nämlich das HFCVD-Verfahren (Hot Filament Chemical Vapor Deposition) oder das MWCVD-Verfahren (MicroWave Chemical Vapor Deposition). Im Ausführungsbeispiel wird das bevorzugte HFCVD-Verfahren angewendet, indem  
5 in einer üblichen CVD-Vorrichtung sieben Wolframfilamente mit einem Durchmesser von je 0,3 mm parallel über dem Substrat 1 aufgespannt und elektrisch auf 2.200 °C erhitzt werden. Werden der CVD-Vorrichtung in der Gasphase bei 25 mTorr und einem auf 850 °C erhitzten, nach Fig. 1e strukturierten Substrat 4,48 sccm Methan (CH<sub>4</sub>) und 550 sccm Wasserstoff (H<sub>2</sub>) zugeführt, dann wächst auf dem Substrat die polykristalline  
10 Diamantschicht 19 auf. Bei Bedarf kann die Schicht 19 durch Zugabe von Trimethylborat in die Gasphase während der Deposition mit Bor dotiert und dadurch leitfähig gemacht werden. Anstelle von Diamant können aber auch Materialien wie z. B. Titanitrid (Ni<sub>3</sub> N<sub>4</sub>), kubisches Bornitrid (c-BN) od. dgl. verwendet werden. Als Abscheidungsverfahren kommen außerdem alle gängigen Verfahren wie z. B. CVD-Abscheidung, thermisches  
15 Verdampfen, galvanische Abscheidung oder Sedimentation in Betracht.

Fig. 3 zeigt in verschiedenen Verfahrensstufen des beschriebenen Verfahrens angefertigte Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen. Fig. 3a läßt die V-Grabenstruktur auf dem Siliciumsubstrat und die darauf aufgebrachte ca. 300 nm dicke SiO<sub>2</sub>-Schicht 7 im Bereich  
20 der Vertiefung 6 erkennen. Fig. 3b zeigt dasselbe Substrat 1, jedoch nach dem Öffnen der SiO<sub>2</sub>-Schicht 7 unter Bildung der Öffnung 10. In Fig. 3c sind die fertige, aus dem Aufwachsen der Diamantschicht 19 entstandene Struktur 21 und die nach der Entfernung des Substrats und der SiO<sub>2</sub>-Schicht 7 frei liegende Schneide 20 sichtbar.

25 Fig. 4 zeigt ein derzeit als am besten empfundenes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens, das eine wesentliche Verlängerung der anhand der Fig. 1 beschriebenen Schneide und damit eine erhebliche Vergrößerung des Aspektverhältnisses ermöglicht. Hierzu werden, ausgehend von dem aus Fig. 1e ersichtlichen Substrat 1, die folgenden weiteren Verfahrensschritte durchgeführt:

30

Im Anschluß an die Herstellung der Öffnung 10 wird die mit ihr versehene SiO<sub>2</sub>-Schicht

7 als Ätzmaske bei einem nachfolgenden Tiefätzschritt angewendet, der dem Zweck dient, die in der SiO<sub>2</sub>-Schicht 7 ausgebildeten Öffnung 10 durch das Substrat 1 hindurch fortzusetzen und zu verlängern. Dadurch wird in diesem Verfahrensschritt (Fig. 4a) ein zur Öffnung 10 hin offener, nutenförmiger Spalt bzw. Kanal 23 im Substrat 1 erhalten, 5 der im wesentlichen dieselbe Breite wie die Öffnung 10 hat.

Das Tiefätzen wird z.B. mit einer induktiv gekoppelten, zum Tiefätzen von Silicium geeigneten Plasma-Ätzvorrichtung durchgeführt, die schematisch in Fig. 5 dargestellt ist. Sie enthält ein Gehäuse 24 mit einem vertikal angeordneten Quarzrohr 25, das an seinem 10 oberen Ende verschlossen ist, jedoch einen Gaseinlaß 26 aufweist. Das Quarzrohr 25 ist außerdem von einer mit Wasser gekühlten HF-Wicklung 27 umwickelt. Das untere, offene Ende des Quarzrohrs 25 ist auf eine Elektrode 28 gerichtet, auf der das zu behandelnde Substrat 1 aufliegt. Der vom Quarzrohr 25 umschlossene und der das Substrat 1 umgebende Raum sind über einen Gasauslaß 29 an eine Hochleistungspumpe angeschlossen. Der 15 Elektrode 24 ist außerdem eine nicht näher dargestellte Kühleinrichtung zugeordnet, um das Substrat 1 beim Betrieb der Vorrichtung auf einer Temperatur von z.B. 10 °C zu halten.

Zur Durchführung der Ätzschritte werden gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel Argon 20 mit ca. 24 sccm, Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) mit ca. 18 sccm und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) mit ca. 30 sccm zugeführt. Dabei wird im Gehäuse 24 über den Gasauslaß 29 ein Druck von 10 mTorr eingestellt. Die Wicklung 27 wird mit einer Frequenz von 13,56 MHz bei 600 W betrieben, wobei eine Gleichvorspannung von 127 V eingestellt wird bzw. sich durch das gebildete Plasma einstellt. Die Substrat-Temperatur wird auf 10 °C gehalten. 25 Die Ätzdauern betragen ca. 2 min.

Alternativ kann eine weitgehend anisotrope Tiefätzung auch durch Anwendung eines an sich bekannten Tiefätzverfahrens erhalten werden, bei dem abwechselnd aufeinander folgende Ätz- und Polymerisationsschritte durchgeführt werden. Die Ätzschritte 30 dienen zur abschnittweisen Ätzung von unterhalb der Öffnung 10 liegenden Zonen des Substrats 1. Dagegen wird während der Polymerisationsschritte ein Polymer auf die durch

die Öffnung 10 definierten lateralen Begrenzungen der sich im Substrat 1 bildenden Struktur aufgebracht, um dadurch Unterätzungen, wie sie bei isotroper Ätzung entstehen würden, weitgehend zu vermeiden. Auch dadurch wird im Verfahrensschritt nach Fig. 4a ein zur Öffnung 10 hin offener, nutenförmiger Spalt bzw. Kanal 23 im Substrat 1  
5 erhalten, der im wesentlichen dieselbe Breite wie die Öffnung 10 hat.

Zur Durchführung der Ätzschritte werden bei Anwendung dieses Verfahrens gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel Argon mit ca. 17,1 sccm, Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) mit ca. 35 sccm und Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) mit ca. 5 sccm zugeführt. Die Wicklung 27 wird mit einer  
10 Frequenz von 13,56 MHz bei 550 W betrieben, wobei sich durch das gebildete Plasma eine Gleichvorspannung von 96 V einstellt. Die Ätzdauern betragen ca. 18 s. Die übrigen Parameter sind wie im zuerst genannten Beispiel.

Zur Durchführung der Polymerisationsschritte werden bei Anwendung derselben Vorrichtung nach Fig. 5  $\text{CHF}_3$  mit 40 sccm und Methan ( $\text{CH}_4$ ) mit 5 sccm zugeführt. Bei  
15 sonst gleichen Parametern wird ein Druck im Gehäuse 24 von 60 mTorr aufrecht erhalten, und die sich bei der Plasmaentwicklung einstellende Gleichvorspannung beträgt ca. 24 V. Die Polymerisationsschritte werden mit einer Dauer von ca. je 8 s durchgeführt.

20 Tiefätzungen dieser Art sind z. B. aus der deutschen Patentschrift DE 42 41 045 C1 bekannt, die zur Vermeidung weiterer Erläuterungen hiermit durch Referenz auf sie zum Gegenstand der vorliegenden Offenbarung gemacht wird.

Ein mit dem beschriebenen Verfahren erhaltener Kanal 23 ist in Fig. 6a anhand einer  
25 Rasterelektronenmikroskop-Abbildung dargestellt.

Im nächsten Verfahrensschritt (Fig. 4b) wird zunächst die Schicht 7 vom Substrat 1 entfernt und dann analog zu Fig. 1f eine der Schicht 19 entsprechende Diamantschicht 30 auf der Substratoberfläche 2 abgeschieden, wodurch das verwendete Material auch in den  
30 Kanal 23 eindringt und diesen vollständig ausfüllt. Abschließend wird analog zu Fig. 1g das Substrat 1 von der Rückseite 3 her entfernt, wodurch eine Struktur 31 freigelegt wird,

die im wesentlichen nur aus der Schicht 30 besteht, jedoch im Vergleich zu Fig. 1g eine wesentlich höhere Schneide 32 aufweist, so daß auch das Verhältnis Höhe/Breite der Schneide 32 entsprechend größer als in Fig. 1f ist. Auch hier kann vorgesehen sein, die Schneide 32 nur teilweise freizulegen, um der Struktur 31 eine erhöhte mechanische

5 Stabilität zu verleihen.

Die Diamant-Struktur 31 und die Schneide 32 sind auch in Rasterelektronenmikroskop-Abbildungen gemäß Fig. 6b und 6c im Schnitt bzw. in einer Perspektive erkennbar. Die Schneide 32 hat danach auf ihrer ganzen Länge eine Breite von ca. 200 nm.

10

Eine noch weitergehende Reduzierung der Schneidenbreite kann dadurch erhalten werden, daß eine sehr dünne Schicht 33, gegebenenfalls nach Entfernung der SiO<sub>2</sub>-Schicht 7, zunächst gemäß Fig. 4d auf die Substratoberfläche aufgebracht oder auf dieser erzeugt wird. Diese Schicht 33 kann im Falle eines Siliciumsubstrats 1 wiederum aus thermisch

15 erzeugtem SiO<sub>2</sub> bestehen. Da eine thermische Oxidation mit einem Volumenzuwachs des oxidierten Siliciums um einen Faktor von 2,25 verbunden ist, ermöglicht das Aufbringen der Schicht 33 auf einfache Weise die Herstellung eines Kanals 34 (Fig. 4d) mit einer im Vergleich zu Fig. 4a deutlich geringeren lichten Breite. In weiteren Verfahrensschritten, die analog zu denen nach Fig. 4b und 4c sind, wird dann zunächst eine den verengten

20 Kanal 34 ausfüllende Diamantschicht 35 auf die freie Oberfläche der Schicht 33 aufgebracht (Fig. 4e), bevor abschließend das Substrat 1 und die Schicht 33 von der Rückseite her entfernt werden, um eine Struktur 36 mit einer extrem dünnen Schneide 37 zu erhalten.

25 Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 7 unterscheidet sich von dem nach Fig. 1 bis 6 nur durch die unterschiedliche Form der Öffnung und der damit hergestellten Strukturen. Analog zu Fig. 1 wird das Substrat 1 an seiner Oberseite zunächst mit einer spitz zulaufenden Vertiefung versehen und dann mit einer SiO<sub>2</sub>-Schicht 7 belegt, die eine entsprechende Vertiefung 39 mit einem Spitzenabschnitt 40 aufweist und von Seiten-

30 wänden 41 begrenzt ist (Fig. 7b). Abweichend von Fig. 1 besitzt die Vertiefung 39 die Form einer inversen, auf der Spitze stehenden Pyramide mit quadratischer Grundfläche,

wie in Fig. 7a aus der Draufsicht erkennbar ist. Handelt es sich bei der Oberfläche des Siliciumsubstrats 1 um eine (001) - Kristallfläche, dann sind alle vier Seitenwände 41 nach Durchführung des ersten Ätzschritts (111) orientiert. Anstatt an nur zwei Seiten ist die Vertiefung 39 somit an vier Seiten begrenzt.

5

Im Spitzenabschnitt 40 der Vertiefung 39 wird in derselben Weise, wie oben anhand der Fig. 1 beschrieben ist, eine Öffnung 42 (Fig. 7c und 7d) ausgebildet, die die Schicht 7 bzw. deren Spitzenabschnitt 40 vollständig durchsetzt. In der Draufsicht nach Fig. 7d ist der Querschnitt dieser Öffnung 42 im wesentlichen quadratisch bei einer Kantenlänge von ca. 150 nm. Durch Abscheidung einer Diamant-Schicht 43 und anschließende Entfernung des Substrats 1 und der SiO<sub>2</sub>-Schicht 7 wird analog zu Fig. 1f und 1g eine Struktur 44 (Fig. 7f) erhalten, die im wesentlichen nur aus der Schicht 43 besteht. Im Unterschied zu Fig. 1g hat diese Schicht 44 allerdings keine Schneide, sondern einen zu einer Spitze 45 reduzierten Fortsatz, wobei die Kantenlänge der im Querschnitt quadratischen Spitze 45 im wesentlichen der Breite der Schneide 20 in Fig. 1g entspricht.

10  
15

In zwei Varianten des anhand der Fig. 7a bis 7f beschriebenen Verfahrens können analog zu Fig. 4a bis 4c bzw. 4d bis 4f die aus Fig. 7g bis 7j bzw. 7k bis 7m ersichtlichen Verfahrensschritte durchgeführt werden. Bei der ersten Variante wird die die Öffnung 42 aufweisende SiO<sub>2</sub>-Schicht 7 analog zu Fig. 1e und 4a als Ätzmaske für einen nachfolgenden Tiefätzprozess verwendet, wobei im darunter liegenden Substrat 1 gemäß Fig. 7g eine schachtartige, die Öffnung 40 verlängernde Grube 46 mit einem dem Querschnitt der Öffnung 40 im wesentlichen entsprechenden Querschnitt entsteht. Nach dem Entfernen der SiO<sub>2</sub>-Schicht 7, Aufbringen einer Diamantschicht 47 und Entfernung des Substrats 1 entsteht eine Struktur 48 mit einer gegenüber Fig. 7f verlängerten, der Form der Grube 46 entsprechenden Spitze 49. Dagegen wird die Substratoberfläche bei der zweiten Variante analog zu Fig. 4d bis 4f vor dem Aufbringen einer Diamant-Schicht 50 (Fig. 7l) noch mit einer Zwischenschicht 51 (Fig. 7k) versehen, um den Innenquerschnitt der nach Fig. 7f hergestellten Grube 46 (Fig. 7g) zu reduzieren. Das Ergebnis ist eine Struktur 52 mit einer sehr scharfen Spitze 53 und einem hohen Aspektverhältnis.

20  
25  
30

Die Ausbildung der anhand der Fig. 1 bis 7 beschriebenen, für das erfindungsgemäße Verfahren notwendigen Graben- bzw. Pyramidenstruktur in Siliciumsubstanzen mit (001) - Kristallflächen ist dem Fachmann allgemein bekannt. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird in diesem Zusammenhang z.B. auf die Druckschriften DE 41 261 51 A1, 5 DE 42 024 47 A1, US 5 116 462 A und US 5 399 232 A verwiesen, die hiermit durch Referenz auf sie zum Gegenstand der vorliegenden Offenbarung gemacht werden. Alternativ ist es aber auch möglich, die Gräben bzw. Gruben auf andere Weise herzustellen, wie z.B. aus US 5 994 160 A bekannt ist, die hiermit durch Referenz auf sie ebenfalls zum Gegenstand der vorliegenden Offenbarung gemacht wird.

10

Die anhand eines mit einer SiO<sub>2</sub>-Schicht bedeckten Siliciumsubstrats beschriebene Erfindung kann in analoger Weise auch mit anderen Substraten, z.B. solchen aus Germanium, Indiumphosphid oder Galliumarsenid und in entsprechender Abwandlung auch mit anderen als SiO<sub>2</sub>-Schichten angewendet werden. Ein Unterschied besteht dabei in Abhängigkeit vom Halbleitermaterial allenfalls in den unterschiedlichen Öffnungswinkeln der 15 Gräben bzw. inversen Pyramiden und/oder wie z.B. bei Anwendung von Galliumarsenid darin, daß nur zweiseitig begrenzte Gräben analog zu Fig. 1b, aber keine inversen, auf vier Seiten begrenzten Pyramidenstrukturen analog zu Fig. 2b herstellbar sind.

20 Weiterhin ist klar, daß u.U. auch andere Strukturierungen möglich und andere als die beschriebenen Plasma-Ätzverfahren zur Herstellung der Öffnungen 10, 42 usw. anwendbar sind. Für die Zwecke der Erfindung bedeutsam ist einerseits, daß ein strukturiertes Substrat, das auch aus einem mehrere Schichten enthaltenden Schichtensystem bestehen könnte, auf wenigstens einer Breitseite und zumindest im Bereich der Strukturen mit einer 25 Schicht belegt wird, die aus einem geeigneten, d.h. eine nutzbare Ätzraten-Winkelverteilung aufweisenden Material bzw. einer Materialzusammensetzung besteht und in einer geeigneten Dicke aufgebracht wird, wobei das Wort "Schicht" auch Schichtsysteme einschließt, die aus mehreren Einzelschichten und/oder Materialzusammensetzungen zusammengesetzt sind. Andererseits geht die Erfindung davon aus, daß zur Herstellung 30 der Öffnungen 10, 33 ein geeignetes Plasma-Ätzverfahren, insbesondere ein reaktives Ionenätzverfahren angewendet wird, bei dem chemische und physikalische Ätzmechanis-

men kombiniert werden. Durch Vorgabe geeigneter Ätzgase und geeigneter Plasmaätzparameter (Druck, Temperatur, eingekoppelte Leistung, Frequenz des Generators, Vorspannung etc.) kann der jeweilige Anteil verstärkt oder geschwächt werden. Dies hat zur Folge, daß die erzielbare Ätzrate der Maskierungsschicht insbesondere von der Orientierung der Oberflächenstrukturen abhängig wird und durch die Variation der oben genannten Plasma-Ätzparameter angepaßt werden kann. Es kann also durch Adaption des Plasma-Ätzprozesses oder durch Variation der Oberflächenstruktur erreicht werden, daß die Ätzrate für die Maskierungsschicht auf den Seitenwänden (z.B. 8 in Fig. 1) deutlich kleiner als diejenige am Apex (z.B. 9 in Fig. 1) ausfällt, da dessen Orientierung und somit die zugehörige Ätzrate verschieden ist. Da außerdem der Apexbereich erfindungsgemäß spitz zulaufend gewählt wird, was auch Vertiefungen in der Form eines auf der Spitze stehenden Kegels od. dgl. einschließt, sind die erhaltenen Öffnungen (z.B. 10 in Fig. 1) extrem klein und gut reproduzierbar. Vorteilhaft ist auch, daß die Öffnungen 10, 42 aus einer großen Struktur (z.B. Fig. 1a, Fig. 7a) zwangsgeführt, d.h. selbstjustierend am spitz zulaufenden Boden (Linie oder Punkt) der jeweiligen Struktur entstehen, wobei auch die Herstellung von bogenförmigen Öffnungen denkbar wären.

Ein weiteres wichtiges Merkmal der Erfindung besteht darin, daß die Öffnungen 10, 42 noch in Anwesenheit des Substrats 1 erzeugt werden und die Schicht 7 daher mit den bereits vorhandenen Öffnungen 10, 42 zur Definition kleinerer Hohlräume 23, 46 im Substrat 1, 41 benutzt werden kann.

Die Erfindung betrifft mit besonderem Vorteil ferner die integrale Ausbildung des beschriebenen Struktur im vorderen Teil eines einseitig eingespannten Biegebalkens, insbesondere eines sog. Cantilevers (z.B. US 5 116 462 A, US 5 399 232 A). Dabei besteht eine vorteilhafte Ausgestaltung der Verwendung darin, daß ein einzelner Biegebalken oder eine Mehrzahl von Biegebalken in einer Matrixanordnung insbesondere in der Rastersondenmikroskopie als Sensorelemente eingesetzt wird. Ein Beispiel hierfür ist anhand einer Struktur 55 in Fig. 4g gezeigt. Diese Struktur 55 unterscheidet sich von der nach Fig. 4f nur dadurch, daß eine Schneide 56 an einem Ende eines Biegebalkens 57 ausgebildet wird, der am anderen Ende entsprechend der üblichen Cantilever-Bauweise in

eine Halterung od. dgl. eingespannt werden kann. Die Dicke des Biegebalkens 57 kann durch Ätzen einer der Struktur nach Fig. 4e ähnlichen Struktur von deren Rückseite her im gewünschten Umfang reduziert werden, um die Schneide 56 zumindest teilweise freizulegen.

5

Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, die auf vielfache Weise abgewandelt werden können. Beispielsweise kann das erfindungsgemäße Verfahren anstatt auf Vertiefungen, die in einer idealen Spitze enden, auch auf Vertiefungen angewendet werden, die einen V-förmigen Graben mit einem plateauförmigen

10 Boden aufweisen oder nach Art eines inversen Pyramidenstumpfs ausgebildet sind, indem z.B. der zur Herstellung der Strukturen durchgeführte Ätzvorgang vor Erreichen der eigentlichen Spitze abgebrochen wird. Der oben und in den Ansprüchen verwendete Ausdruck "spitz zulaufend" soll derartige Plateaiformen einschließen. Werden größere als die beschriebenen kleinen Öffnungen gewünscht, so können die erhaltenen Öffnungen

15 entweder vor oder nach dem Entfernen des Substrats durch einen weiteren Ätzprozess gezielt vergrößert werden. Durch dieses Verfahren lassen sich daher miniaturisierte Öffnungen definierter Größe auf dem ganzen Substrat und durch die nachfolgende Abformung entsprechende Schneiden bzw. Spitzen erzeugen. Weiter können die graben- oder pyramidenförmigen oder andere, z. B. kegelförmige Strukturen im Substrat 1 auch

20 durch andere als die beschriebenen Verfahren hergestellt werden, z.B. mit Hilfe von chemischen oder elektrochemischen Ätzprozessen, Ionenstrahlätzprozessen oder auch durch mechanische Indentation, sowie z. B. mit NaOH, LiOH od. dgl. oder organischen Lösungen anstelle von KOH. Denkbar wäre weiter, mit Hilfe von isotropen Ätzprozessen annähernd halbkugelförmige Vertiefungen herzustellen, die nach dem Abformen mit

25 Diamant od. dgl. zu entsprechend kugelförmigen Spitzen führen, die zur Untersuchung der mechanischen Schichteigenschaften wie z. B. Härte, Elastizitätsmodul, Reibung od. dgl. benutzt werden können. Kugelförmige Spitzen sind hierbei vorteilhaft, da die Auswertung der erhaltenen Daten einfache Spitzenformen voraussetzt. Schließlich versteht sich, daß die verschiedenen Merkmale auch in anderen als den dargestellten und beschriebenen Kom-

30 binationen angewendet werden können.

Ansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer eine scharfe Schneide (20, 32, 37) oder Spitze (45, 49, 53) aufweisenden Struktur (21, 31, 36, 44, 48, 52), wobei ein Substrat (1), insbesondere ein Halbleitersubstrat, auf einer Oberfläche (2) mit wenigstens einer spitz zulaufenden, einen Spitzenabschnitt (4) und Seitenwände (5) aufweisenden Vertiefung (6) und zumindest  
5 im Bereich der Vertiefung (6) mit einer nachträglich aufgebracht Schicht (7) versehen wird und wobei die Struktur (21, 31, 36, 44, 48, 52) durch Abformung des Substrats (1) im Bereich der Vertiefung (6) erhalten wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht (7) vor der Abformung im Bereich des Spitzenabschnitts (4) durch selektives Ätzen mit einer die Höhe der Vertiefung (6) vergrößernden Öffnung (10, 42) versehen wird.

10

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnung (10,42) als ein die Schicht (7) vollständig durchsetzender Durchgang ausgebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (1) vor der  
15 Abformung unter Anwendung der Schicht (7) als Ätzmaske einem Tiefätzschritt unterworfen und dadurch mit einer die Höhe der Vertiefung (6) noch weiter vergrößernden Ausnehmung (23, 46) versehen wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat  
20 (1) Silicium und als Material für die Schicht (7) Siliciumdioxid verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Herstellung der Vertiefung (6) von einer (001) - Fläche des Substrats (1) ausgegangen wird.

25

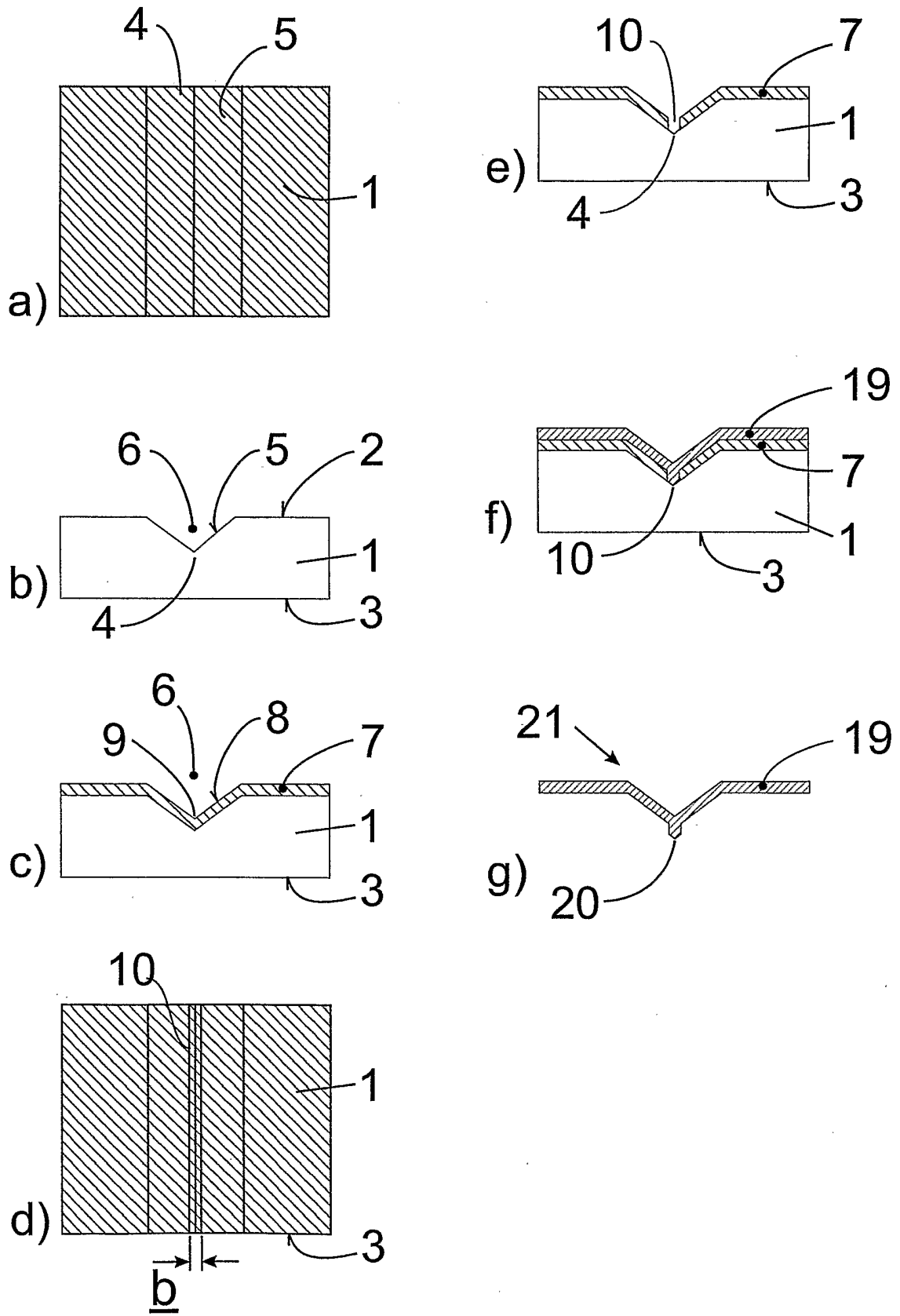
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnung (10, 42) durch ein auf das Material der Schicht (7) abgestimmtes, von der Oberfläche (2) her durchgeführtes Plasma-Ätzverfahren hergestellt wird.

- 17 -

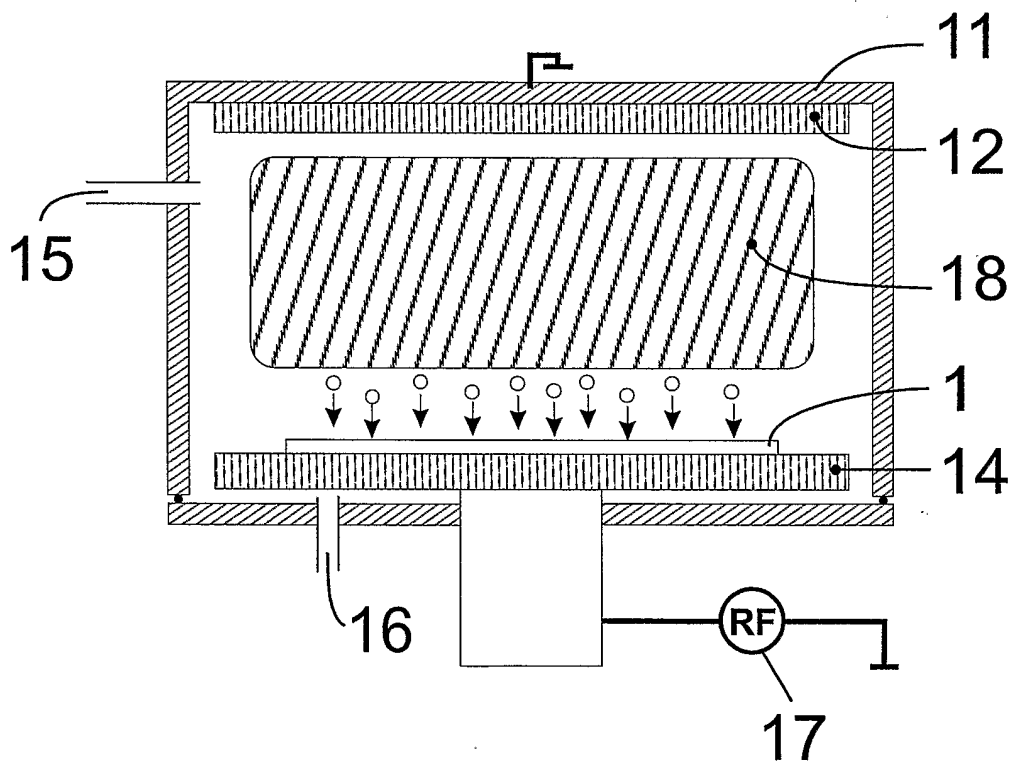
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der Schicht (7), das Ätzmittel und die Ätzparameter so gewählt werden, daß sich im Bereich eines dem Spitzenabschnitt (4) des Substrats (1) aufliegenden Spitzenabschnitts (9) der Schicht (7) eine größere Ätzrate als im Bereich von den Seitenwänden (5) des Substrats (1) aufliegenden Seitenwänden (8) der Schicht (7) ergibt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Vertiefung (6) graben- oder pyramidenförmig ausgebildet wird.
- 10 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Abformung dadurch erfolgt, daß zumindest in der Vertiefung (6) eine Schicht (19, 30, 35, 43, 47, 50) aus Diamant, Titannitrid oder kubischem Bornitrid abgeschieden und die Schneide (20, 32, 37) oder Spitze (45, 49, 53) dann durch Entfernung der Schicht (7) und des Substrats (1) zumindest teilweise freigelegt wird.
- 15
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Struktur (21, 31, 36, 44, 48, 52) an einem Ende eines Biegebalkens ausgebildet wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Struktur (21, 31, 36, 44, 48, 52) zumindest im Bereich der Schneide (20, 32, 37) oder Spitze (45, 49, 53) mit wenigstens einem weiteren Material beschichtet wird.
- 20
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberseite (2) des Substrats (1) unter Anwendung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11 mit einer Mehrzahl von Vertiefungen (6) versehen und zur Abformung einer Struktur mit einer entsprechenden Mehrzahl von Schneiden (20, 32, 37) oder Spitzen (45, 49, 53) verwendet wird.
- 25
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat (1) eine planparallele Scheibe verwendet wird.
- 30

- 18 -

14. Biegebalken mit einer schmalen Schneide (57) oder Spitze an einem Ende für einen mikromechanischen Sensor, dadurch gekennzeichnet, daß die Schneide (57) oder Spitze nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13 hergestellt ist.

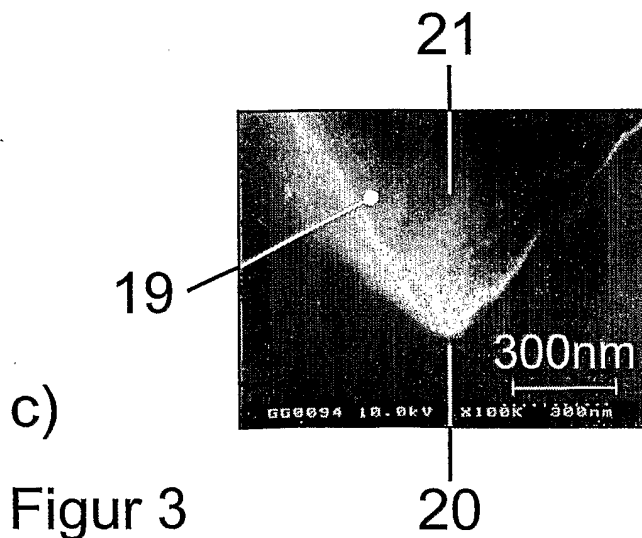
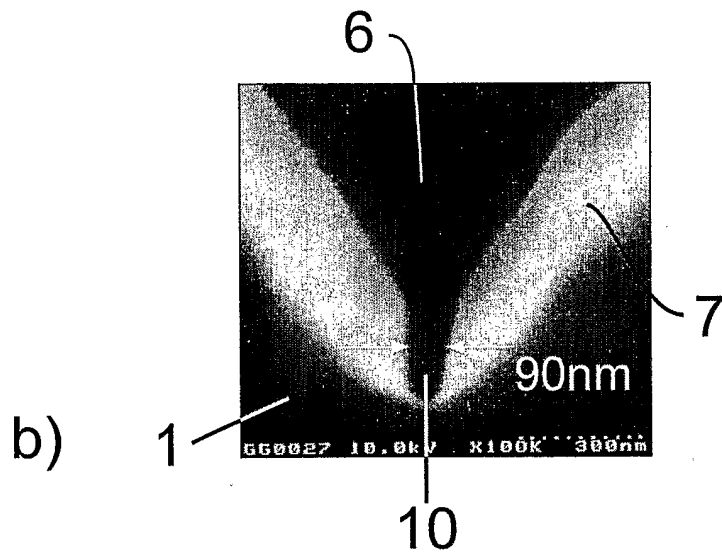
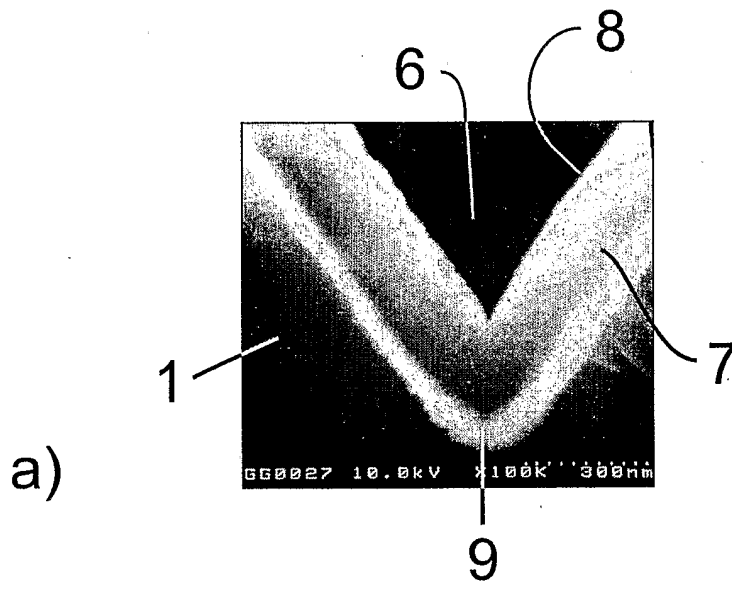


Figur 1

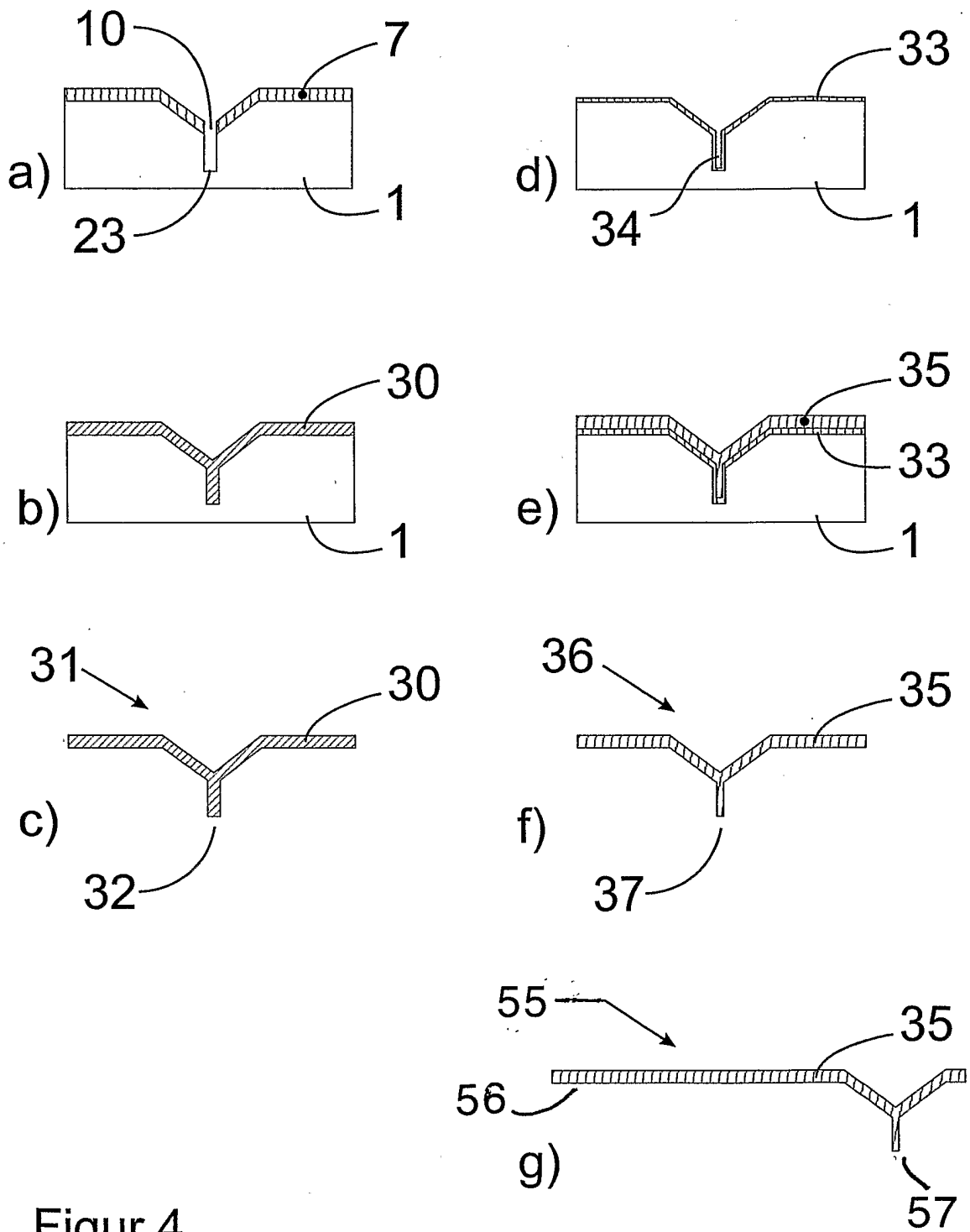


Figur 2

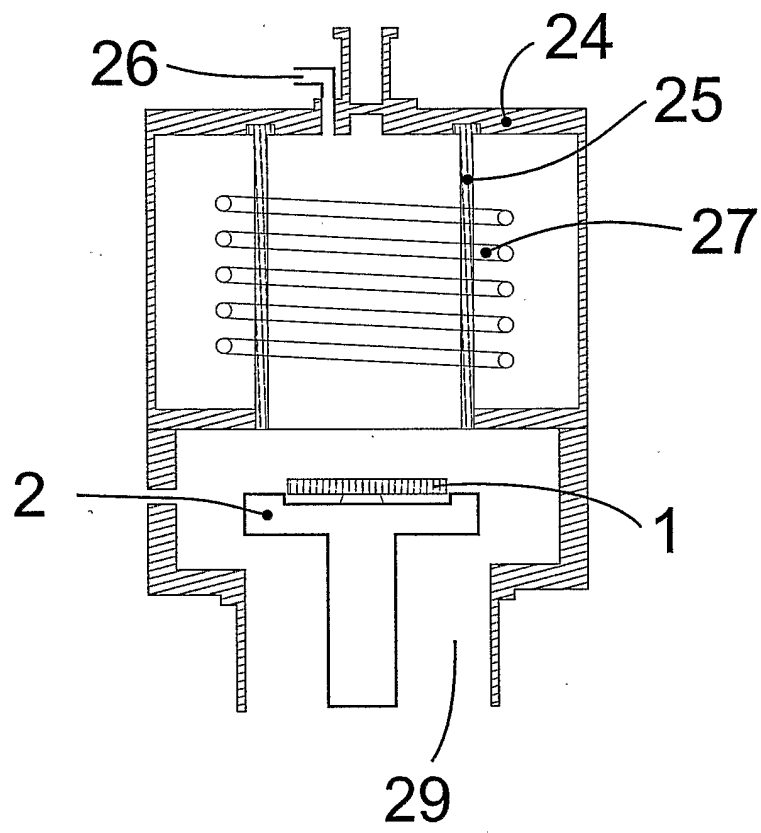
3/7



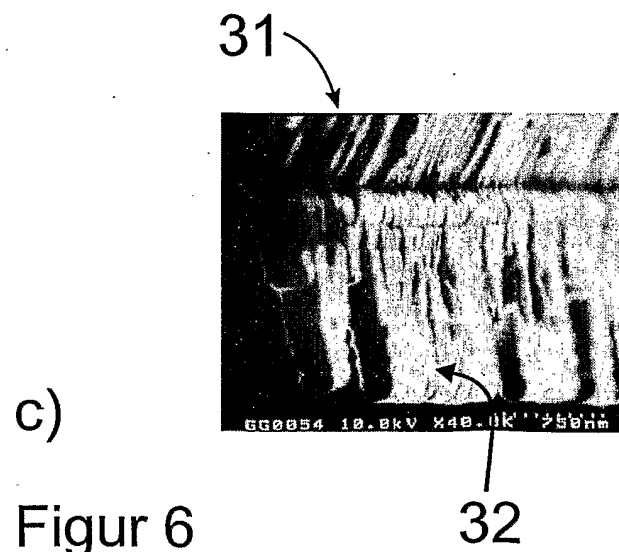
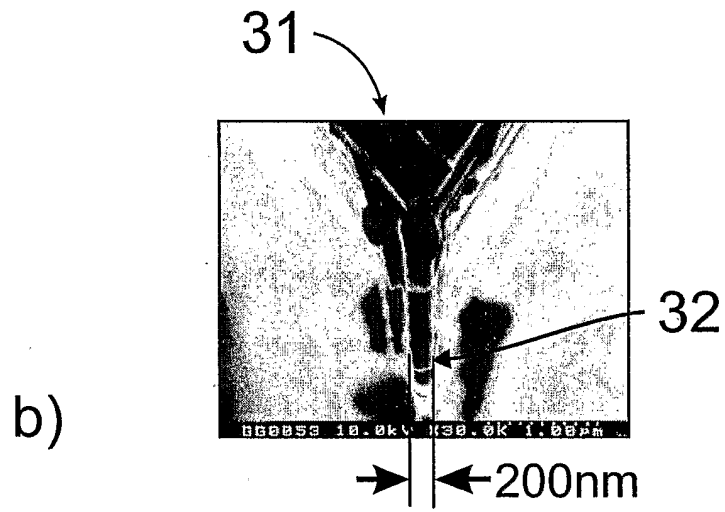
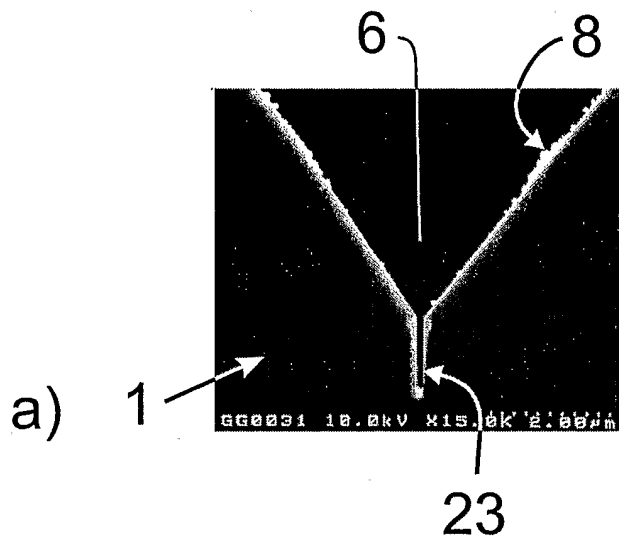
Figur 3



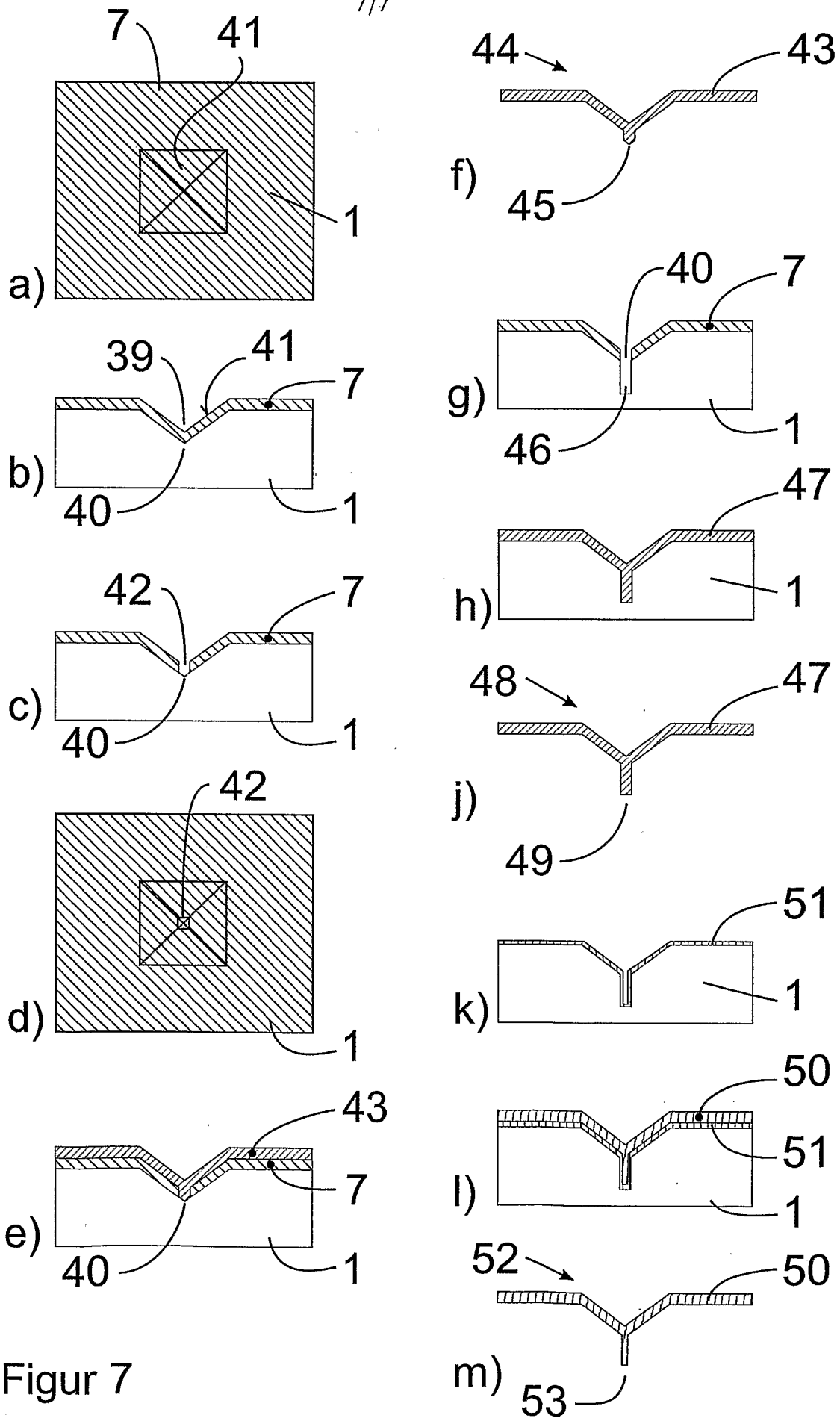
Figur 4



Figur 5



Figur 6



Figur 7