



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 07 149 T2 2007.02.08**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 270 233 B1**

(51) Int Cl.⁸: **B41J 2/16 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 07 149.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 254 048.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **11.06.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.01.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **09.11.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.02.2007**

(30) Unionspriorität:

888975 22.06.2001 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:

**Hewlett-Packard Development Co., L.P., Houston,
Tex., US**

(72) Erfinder:

**Obert, Jeffrey Scott, Corvallis, US; Nikkel, Eric L.,
Philomath, US; Kramer, Kenneth M., Corvallis, US;
Leith, Steven D., Albany, US**

(74) Vertreter:

**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049
Pullach**

(54) Bezeichnung: **Geschlitztes Substrat und Verfahren zum Schneiden**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Schlitzsubstrate, die bei mikrofluidischen Vorrichtungen, wie z. B. Fluidausstoßvorrichtungen, verwendet werden.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Im Allgemeinen verwenden thermisch betätigte Druckköpfe Widerstands- oder Heizelemente, um Fluid- oder Tintenausstoß zu erreichen. Ein repräsentativer thermischer Tintenstrahl Druckkopf weist eine Mehrzahl von Dünnschichtwiderständen auf, die auf einem Halbleitersubstrat vorgesehen sind. Eine obere Schicht definiert Abfeuerungskammern um jeden der Widerstände. Die Ausbreitung eines Stroms oder eines „Abfeuerungssignals“ durch den Widerstand bewirkt, dass Tinte in einer entsprechenden Abfeuerungskammer erwärmt wird und durch eine entsprechende Düse ausgestoßen wird.

[0003] Bei einigen Druckköpfen wird Fluid durch einen Schlitz in dem Substrat zu der Abfeuerungskammer geleitet. Bei einigen Ausführungsbeispielen wird der Schlitz gebildet, während das Substrat Teil eines Waferchips ist. Häufig werden Schlitze in dem Waferchip durch nasschemisches Ätzen des Substrats gebildet, beispielsweise mit Tetramethylammoniumhydroxid (TMAH) oder Kaliumhydroxid (KOH). Die Ätzrate für alkalische Chemikalien unterscheidet sich für unterschiedliche kristalline Ebenen und daher wird die Ätzgeometrie durch die Ausrichtung der kristallinen Ebenen definiert. Beispielsweise führen auf (100) Substraten TMAH-Ätztechniken zu Ätzwinkeln, die eine sehr breite Rückseitenschlitzöffnung bewirken. Die breite Rückseitenöffnung begrenzt, wie nahe zueinander die Schlitze auf dem Chip platziert werden können.

[0004] Während der Verarbeitung wird das Substrat häufig mit Maskierungsfilm oder Schichten beschichtet, die durch die Ätzmittel im Wesentlichen nicht beeinträchtigt werden. Diese Filme oder Schichten werden typischerweise als eine Folge der erweiterten Ätzzeit unterätzt. Aufgrund dessen wird die Ätzzeit häufig sehr sorgfältig überwacht.

[0005] Es wird gewünscht, Schlitze in einen Chip innerhalb bestimmter Abmessungstoleranzen effizient zu ätzen, während die Anzahl von Schlitzen in dem Chip maximiert wird.

Zusammenfassung

[0006] Bei einem Aspekt umfasst ein Verfahren zum Herstellen eines Schlitzsubstrats das Bilden einer Maskierungsschicht über einer ersten Oberfläche ei-

nes Substrats, und das Strukturieren und Ätzen der Maskierungsschicht, um ein Loch durch dieselbe zu bilden. Die erste Schicht wird über der Maskierungsschicht und in dem Loch aufgebracht. Die erste Schicht wird strukturiert und geätzt, um einen Stöpsel in dem Loch zu bilden. Eine zweite Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt, wird fortlaufend geätzt, bis eine Unteroberfläche des Stöpsels im Wesentlichen freigelegt ist und ein Schlitz in dem Substrat im Wesentlichen gebildet ist.

[0007] Viele der zugehörigen Merkmale dieser Erfindung werden leichter offensichtlich, wenn dieselbe durch Bezugnahme auf die folgende detaillierte Beschreibung besser verständlich wird, und in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen betrachtet wird, bei denen gleiche Bezugszeichen gleiche Teile bezeichnen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0008] [Fig. 1](#) stellt eine perspektivische Ansicht eines Ausführungsbeispiels einer Druckkassette der vorliegenden Erfindung dar;

[0009] [Fig. 2A](#) stellt eine Teilunteransicht eines Ausführungsbeispiels des Druckkopfs von [Fig. 1](#) dar, die durch den Abschnitt 2A-2A gezeigt ist;

[0010] [Fig. 2B](#) stellt eine Querschnittsansicht des Druckkopfs von dem Abschnitt 2B-2B von [Fig. 2A](#) dar;

[0011] [Fig. 3](#) stellt ein alternatives Ausführungsbeispiel der Querschnittsansicht von [Fig. 2B](#) dar;

[0012] [Fig. 4](#) stellt ein Prozessflussdiagramm eines Ausführungsbeispiels des Herstellungsprozesses für ein Schlitzsubstrat gemäß der vorliegenden Erfindung dar;

[0013] [Fig. 5](#) stellt eine Querschnittsansicht des Substrats dar, nachdem einer der Schritte in [Fig. 4](#) abgeschlossen ist;

[0014] [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) stellen eine Draufsicht und eine Querschnittsansicht des Substrats bei dem Schritt dar, der dem in [Fig. 5](#) dargestellten Schritt folgt; und

[0015] [Fig. 8](#) bis [Fig. 11](#) stellen Schritte nach dem in [Fig. 7](#) dargestellten Schritt dar.

Detaillierte Beschreibung

[0016] [Fig. 1](#) ist eine perspektivische Ansicht einer Tintenstrahlkassette **10** mit einem Druckkopf **14** eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung. [Fig. 2A](#) stellt eine Teilunteransicht des Druckkopfs durch den Abschnitt 2A-2A von [Fig. 1](#) dar.

Fig. 2B stellt eine Querschnittsansicht des Druckkopfs dar, wo ein Dünnschichtstapel über ein Substrat **102** aufgebracht ist. Eine Schlitzregion **126**, die geneigte Grabenwände **128** aufweist, ist in dem Substrat **102** definiert. Bei einem Ausführungsbeispiel wird der Schlitz **126** unter Verwendung der vorliegenden Erfindung mit einer Abmessungssteuerung innerhalb eines Mikrometers geätzt. Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel ermöglicht es die Verwendung dieses Ausführungsbeispiels, dass eine höhere Dichte von Schlitzen in einem bestimmten Chip geätzt wird.

[0017] Wie es bei dem Ausführungsbeispiel von **Fig. 2A** und **Fig. 2B** gezeigt ist, sind zumindest die folgenden Schichten auf dem Substrat **102** gebildet oder aufgebracht: eine Abdeckungsschicht **104**, eine Widerstandsschicht **107**, eine leitfähige Schicht **108**, eine Passivierungsschicht **110**, eine Kavitationsbarriereschicht **111** und eine Barrierschicht **112**. Der Dünnschichtstapel wird strukturiert und geätzt, um Widerstände der Widerstandsschicht, leitfähige Spuren der leitfähigen Schicht und eine Abfeuerungskammer **130** in der Barrierschicht zu bilden. Bei einem Ausführungsbeispiel definiert die Barrierschicht **112** die Abfeuerungskammer **130** und eine Düsenöffnung **132**, die der Abfeuerungskammer zugeordnet ist, durch die das Fluid ausgestoßen wird. Die Ausbreitung eines Stroms oder eines „Abfeuerungssignals“ durch einen Widerstand bewirkt, dass das Fluid in der Abfeuerungskammer **130** erwärmt wird und durch die Düsenöffnung **132** ausgestoßen wird. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel ist eine Öffnungsschicht (nicht gezeigt) mit den Öffnungen **132** über der Barrierschicht **112** aufgebracht.

[0018] Wie es in **Fig. 2A** und **Fig. 2B** gezeigt ist, sind die geneigten Grabenwände **128** des Schlitzes **126** unter den Reihen von Abfeuerungskammern und ihren entsprechenden Widerständen und Öffnungen des Druckkopfs gebildet. Die Abdeckungsschicht **104** koppelt die Grabenwände **128** an einem schmaleren Schlitzabschnitt, wie es in **Fig. 2A** gezeigt ist.

[0019] Ein Kanal **129** ist als ein Loch oder Fluidzufuhrschlitz durch die Abdeckungsschicht **104** und den Rest des Dünnschichtstapels gebildet. Der Kanal **129** koppelt die Abfeuerungskammer **130** und den Schlitz **126** fluidisch, so dass Fluid über den Kanal **129** durch den Schlitz **126** und in die Abfeuerungskammer **130** fließt. Bei einem Ausführungsbeispiel sind Eingänge in die Kanäle **129** im Wesentlichen rechteckig und im Wesentlichen parallel zueinander entlang der Abdeckungsschicht **104**, wie es in **Fig. 2A** gezeigt ist. Bei einem Ausführungsbeispiel führt jeder Kanal **129** von dem Schlitzsubstrat zu der entsprechenden Abfeuerungskammer **130** durch den Dünnschichtstapel.

[0020] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel, wie es in **Fig. 2A** gezeigt ist, koppeln zumindest zwei der

Kanäle **129** das Schlitzsubstrat fluidisch mit einer einzigen Abfeuerungskammer **130**. Bei diesem Ausführungsbeispiel werden die Kanäle **129** als ein Filter verwendet, so dass, falls ein Teilchen in einem der Kanäle **129** gefangen wird, die Abfeuerungskammer **130** mit Fluid arbeitet, das durch einen anderen der Kanäle **129** geliefert wird, der fluidisch mit dieser Abfeuerungskammer gekoppelt ist.

[0021] Bei einem in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsbeispiel wird der Schlitz **126** gebildet, nachdem der Dünnschichtstapel auf der Vorderseite des Substrats aufgebracht ist. Nachdem die Dünnschichtschichten **104**, **107**, **108**, **110**, **111** gebildet sind, wird eine Vorderseitenschutz- (oder Stöpsel-) Schicht **106** in dem Kanal **129** aufgebracht. Die Schicht **112** wird dann darüber gebildet. Dann wird der Schlitz **126** geätzt, wie es in **Fig. 3** gezeigt ist. Nachdem der Schlitz gebildet ist, wird die Schicht **106** von dem Kanal **129** entfernt, mit einem BOE (gepuffertem Oxid-Ätzen), wie es nachfolgend näher beschrieben ist. Bei einem bestimmten Ausführungsbeispiel wird kein zusätzliches Ätzen des Schlitzes durchgeführt, nachdem der Stöpsel entfernt ist.

[0022] Bei dem mit Bezug auf **Fig. 4** und **Fig. 5** bis **Fig. 11** gezeigten Ausführungsbeispiel ist zumindest eine Schicht auf dem Substrat **102** gebildet, wenn das Substrat geätzt wird und der Schlitz **126** gebildet wird. Der Einfachheit halber ist die zumindest eine Schicht, die auf dem Substrat gebildet ist, als die Abdeckungsschicht **104** gezeigt. Die Schicht **104** maskiert das Substrat **102**, um unbeabsichtigtes Ätzen des Substrats zu verhindern. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf die eine Schicht **104** begrenzt. Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung umfassen das Aufweisen jeder Anzahl und Art von Schicht, die über dem Substrat aufgebracht ist, abhängig von der Anwendung, für die das Schlitzsubstrat zu verwenden ist. Beispiele solcher zusätzlichen Schichten sind hierin beschrieben. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel werden zusätzliche Schichten über dem Substrat aufgebracht, nachdem der Schlitz gebildet ist (und der Vorderseitenschutz **106** entfernt ist).

[0023] Bei dem in dem Flussdiagramm von **Fig. 4** beschriebenen Ausführungsbeispiel ist das Schlitzsubstrat gebildet, wie es in **Fig. 5** bis **Fig. 11** dargestellt ist. Bei einem Ausführungsbeispiel, wie es bei Schritt **200** gezeigt ist, ist eine erste Abdeckungsschicht **104** über einer oberen Oberfläche des Substrats **102** aufgebracht oder aufgewachsen. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Abdeckungsschicht **104** ein FOX (Feldoxid) und das Substrat **102** ist ein Siliziumwafer. Bei einem Schritt **210** wird die FOX-Schicht strukturiert und geätzt, um ein Loch durch die FOX-Schicht **104** und teilweise in das Substrat **102** zu bilden. Das Loch definiert eine Region **122** (siehe **Fig. 5**). Bei einem alternativen Ausführungs-

rungsbeispiel ist die Region **122** das Loch der Abdeckungsschicht **104** und erstreckt sich nicht über die Abdeckungsschicht **104** in das Substrat.

[0024] Wie es in [Fig. 5](#) gezeigt ist und bei Schritt **220** von [Fig. 4](#) beschrieben ist, ist die Vorderseiten-schutz- (FSP-) Schicht **106** über der Abdeckungsschicht **104** und in der Region **122** aufgebracht. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist die FSP-Schicht **106** TEOS (Tetraethylorthosilikat). Bei einem Ausführungsbeispiel ist das Verfahren für die Aufbringung von TEOS CVD. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die FSP-Schicht **106** zumindest entweder Siliziumdioxid, Silan-basiertes Siliziumdioxid, Siliziumnitrid, Feldoxid, Siliziumkarbid und Siliziumoxidnitrid. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel ist das Aufbringungsverfahren PECVD. Bei einem Ausführungsbeispiel neigt sich in dem Bereich der Region **122** eine obere Oberfläche der FSP-Schicht **106** nach unten hin zu dem Substrat **102**.

[0025] Wie es in [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) gezeigt ist und bei Schritt **230** von [Fig. 4](#) beschrieben ist, ist die FSP-Schicht **106** strukturiert und geätzt, um einen Stöpsel in der Region **122** zu bilden. Bei einem Ausführungsbeispiel ist der Stöpsel länglich und erstreckt sich über die Schicht **104**, die im Wesentlichen der Region **122** folgt. Bei den gezeigten Ausführungsbeispiel erstrecken sich Ränder des Stöpsels über die Abdeckungsschicht **104**. [Fig. 6](#) zeigt eine Draufsicht eines Teils des beschichteten Substrats mit den Stöpseln der FSP-Schicht **106** (wo die Fluidzuführkanäle **29** zu bilden sind, während [Fig. 2A](#) die Fluidzuführkanäle **29** von unten darstellt). Bei einem Ausführungsbeispiel sind die Stöpsel im Wesentlichen in zumindest entweder Zeilen oder Spalten ausgerichtet. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel sind die Stöpsel im Wesentlichen nicht mit anderen Stöpseln in dem Substrat ausgerichtet.

[0026] Wie es in [Fig. 8](#) gezeigt ist und bei Schritt **240** von [Fig. 4](#) beschrieben ist, ist eine zweite Abdeckungsschicht **104** auf einer Unteroberfläche (oder Rückseite) des Substrats gegenüber der oberen Oberfläche strukturiert und geätzt. Bei Schritt **240** eines Ausführungsbeispiels entspricht der geätzte Bereich der zweiten Abdeckungsschicht der Region **122** an der Vorderseite des Substrats und ist mit derselben ausgerichtet. Der geätzte Bereich der zweiten Abdeckungsschicht entspricht auch einem Unterbereich des Schlitzes **126**, der bei dem einen Ausführungsbeispiel durch das Substrat zu ätzen ist, und definiert denselben, wie es nachfolgend näher beschrieben ist. Bei einem Ausführungsbeispiel ist die zweite Abdeckungsschicht **104** strukturiert und geätzt, um die Rückseite des Substrats, die der Region **122** gegenüber liegt, freizulegen. Bei einem Ausführungsbeispiel, wo der zu bildende Schlitz im Wesentlichen sich verjüngende Wände aufweist, hat die frei-

gelegte Rückseite des Substrats eine sehr viel größere Querschnittsfläche als die Region **122**.

[0027] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel wird die zweite Abdeckungs- (oder Maskierungs-) Schicht **104** auf der Rückseite des Substrats gebildet, strukturiert und geätzt, mit dem Bilden, Strukturieren und Ätzen der Abdeckungsschicht **104** auf der Vorderseite des Substrats bei den Schritten **200** und **210**. Bei einem Ausführungsbeispiel ist die zweite Abdeckungsschicht vom gleichen Material wie die erste Abdeckungsschicht. Bei alternativen Ausführungsbeispielen sind die erste und zweite Abdeckungsschicht unterschiedliche Materialien und die zweite Abdeckungsschicht ist ein Material, das nachfolgend als ein alternatives Abdeckungsschichtmaterial erörtert wird.

[0028] Wie es bei Schritt **250** von [Fig. 4](#) beschrieben wird, und in [Fig. 8](#) bis [Fig. 10](#) gezeigt ist, wird der Schlitz oder Graben **126** von der Rückseite des Substrats geätzt, beginnend an dem freigelegten Bereich (der Bereich, der durch die zweite Abdeckungsschicht **104** nicht maskiert ist). Bei einem Ausführungsbeispiel wird das Substrat mit TMAH (Tetramethylammoniumhydroxid) geätzt. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel wird das Substrat mit Kaliumhydroxid (KOH) oder einem anderen alkalinen Ätzmittel geätzt. Bei einem Ausführungsbeispiel ist das Substrat ein Siliziumwafer mit <100> Ausrichtung, so dass der Wafer bei einem Winkel von etwa 54,7 Grad mit der Vorder- und Rückseite (obere und untere Oberfläche) des Substrats geätzt wird. Der Schlitz **126** beginnt an dem freigelegten Bereich und erweitert sich als eine im Wesentlichen pyramidenförmige Form (mit Wänden bei einem Winkel von etwa 54,7 Grad), bis eine Spitze der Pyramidenform den Stöpsel der FSP-Schicht **106** erreicht, wie es in [Fig. 8](#) gezeigt ist. Allgemein dehnt sich der Schlitz **126** mit zunehmender Ätzzeit in der Querschnittsfläche in dem Substrat aus.

[0029] Wie es in [Fig. 9](#) gezeigt ist, ist der Wafer mit einem weiteren Schritt von [Fig. 8](#) geätzt. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel beginnt der Schlitz auf das Erreichen des Stöpsels in [Fig. 8](#) hin, sich entlang der FSP-Schicht auszudehnen, zu einer im Wesentlichen abgeschnittenen Pyramidenform. Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Ätzrate entlang der FSP/Substrat-Grenzfläche größer als die Ätzrate des Substrats allein und viel größer als die FSP-Schicht allein. Bei einem Ausführungsbeispiel ist die FSP/Substrat-Grenzflächen-Ätzrate größer als etwa zwei Mal die Ätzrate des Substrats vor dem Durchbruch. Bei einem Ausführungsbeispiel wird dieses schnellere Ätzen entlang dieser FSP/Substrat-Grenzfläche als „Rückätzen“ bezeichnet. Aufgrund dieses „Rückätzens“ wird das Substrat entlang der Grenzfläche geätzt, um Schlitzwände zu bilden, die nicht wesentlich abgewinkelt sind (insbesondere

im Vergleich zu dem Winkel α) in einem oberen Abschnitt des Substrats, wie es bei dem Prozessschritt von [Fig. 9](#) gezeigt ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel dehnen sich die geneigten Wände in dem Unterabschnitt des Substrats in einer Querschnittsfläche während dem Ätzen weiter aus, bleiben aber bei einem Winkel α von etwa 54,7 Grad, während sich dieselben ausdehnen. In der Tat richten sich die nassgeätzten Gräben bei diesem Ausführungsbeispiel schnell mit Rändern der Vorderseitenschutzstrukturen aus. Bei einem Ausführungsbeispiel ätzen die Wände in dem Unterabschnitt des Substrats bei einer schnelleren Rate als die Wände in dem oberen Abschnitt. Außerdem wird bei einem Ausführungsbeispiel die FSP-Schicht **106** ebenfalls geätzt, aber ebenfalls bei einer langsameren Rate als das Substrat geätzt wird.

[0030] Bei [Fig. 10](#) ist der Wafer mit einem weiteren Schritt von [Fig. 9](#) geätzt. Wie es in [Fig. 10](#) gezeigt ist, sind bei dem oberen Abschnitt des Schlitzes die Wände mit einem Winkel α geneigt und in dem unteren Abschnitt des Schlitzes sind die Wände ebenfalls in einem Winkel α geneigt. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel sind zwischen den geneigten Wänden des oberen und unteren Abschnitts Mittelwände, die die im Wesentlichen abgeschnittenen pyramidenartigen Formen koppeln. Bei einem Ausführungsbeispiel sind diese koppelnden Mittelwände im Wesentlichen gerade. In der Tat hielt bei diesem Ausführungsbeispiel die zweite Abdeckungs- (oder Maskierungs-) Schicht **104** die koppelnden Mittelwände sowie die Wände in dem unteren Abschnitt wesentlich davon ab, sich zu der im Wesentlichen pyramidenartigen Form zu erweitern, wie es nachfolgend näher beschrieben ist.

[0031] Beim Bilden des in [Fig. 10](#) gezeigten Schlitzes in dem oberen Abschnitt beginnt das Substrat damit, bei dem Winkel α in der abgeschnittenen Pyramidenform zu ätzen, auf das Freilegen der Abdeckungsschicht an einer Abdeckungs/Substratgrenzfläche hin. Da sich die Querschnittsfläche des Schlitzes am oberen Abschnitt erhöht, dehnen sich die Schlitzwände **128** entlang dem unteren Abschnitt des Substrats ebenfalls aus und neigen dazu, die im Wesentlichen pyramidenartige Form durch den gesamten Schlitz zu bilden. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind die Wände entlang dem Unterabschnitt des Substrats jedoch im Wesentlichen nicht in der Lage, sich weit über die Ränder der zweiten Abdeckungs- (oder Maskierungs-) Schicht **104** hinaus auszudehnen. Bei einem Ausführungsbeispiel hindern die langsame Ätzrate der Maskierungsschicht und eine Tendenz, den Winkel α der Wände an dem unteren Abschnitt beizubehalten, den Schlitz **126** im Wesentlichen daran, sich über die Maskierungsschichtgrenzen hinaus auszudehnen.

[0032] Bei einem Ausführungsbeispiel werden die

zweite Abdeckungsschicht **104**, die FSP-Schicht **106**, und die erste Abdeckungsschicht **104** alle bei einer sehr viel langsameren Rate geätzt als das Substrat. Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Ätzrate entlang der Abdeckungs/Substratgrenzfläche größer als die Ätzrate des Substrats allein und viel größer als die Abdeckungsschicht allein. Bei einem Ausführungsbeispiel wird das Ätzen angehalten, wenn die Form des Schlitzes den erreicht, wie es in [Fig. 10](#) gezeigt ist. Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel wird das Substrat für eine ausreichend lange Periode geätzt, und/oder die zweite Abdeckungs- (oder Maskierungs-) Schicht **104** wird maskiert, so dass der pyramidenförmige Schlitz gebildet wird. Bei einem Ausführungsbeispiel wird die Maskierungsschicht (oder zweite Abdeckungsschicht) strukturiert, um zu verhindern, dass die erste Abdeckungsschicht **104** in unerwünschten Bereichen unterätzt wird.

[0033] Bei einem Ausführungsbeispiel ist der Kanaleingang **129** für das Fluid nicht in der Mitte des Schlitzes **126** (siehe beispielsweise [Fig. 2A](#), [Fig. 2B](#) und [Fig. 6](#)). Das Schlitzsubstrat ist im Wesentlichen gleich gebildet, unabhängig davon, ob der Eingang **129** zentral angeordnet ist oder von der Mitte versetzt ist, aufgrund des „Rückätzens“, das mit Bezug auf [Fig. 9](#) beschrieben ist. Insbesondere in dem Fall, in dem die Rückseitenmaskierungsschicht **104** nicht genau gegenüber dem Stöpsel ausgerichtet ist, und selbst wenn der Winkel des geätzten (100) Substrats berücksichtigt wird, ist das Schlitzsubstrat nach wie vor im Wesentlichen so gebildet, wie es in [Fig. 4](#) bis [Fig. 11](#) gezeigt ist und oben beschrieben ist. In der Tat wird der Stöpsel verwendet, um den Graben mit dem Loch auszurichten, das in der Region **122** der Maskierungsschicht **104** auf der Vorderseite des Substrats gebildet ist. Als eine Folge dieses automatischen Ausrichtens des Grabens mit dem Loch an der Vorderseite entsprechen Abmessungen des Lochs (oder der Öffnung des Kanals **129**) im Wesentlichen den Abmessungen des Stöpsels.

[0034] Nachdem der Schlitz durch das Substrat bricht und Grenzflächen mit der FSP und/oder Abdeckungsschichten gebildet werden, ätzt das Substrat bei einem Ausführungsbeispiel zuerst schnell entlang der FSP/Substratgrenzfläche, dann entlang der Abdeckungs-/Substratgrenzfläche. Jede der benachbarten (und im Wesentlichen parallelen) FSP/Substratgrenzflächen (siehe [Fig. 2A](#) und [Fig. 6](#)) ätzen, um die im Wesentlichen abgeschnittenen pyramidenförmigen Schlitzwände zu bilden. Schließlich, nach dem Ätzen für eine gewisse Zeit, überlappen die pyramidenförmigen Schlitzwände von jeder der FSP/Substratgrenzflächen. Nachdem dieselben überlappen, vereinigen sich die Schlitzwände schnell und dehnen sich zu ihren neuen Grenzen aus, und werden schließlich zu einem großen abgeschnittenen pyramidenförmigen Schlitz **126** (siehe [Fig. 2A](#)). Bei einem Ausführungsbeispiel, während sich die Schlitzwände überlappen und

ausdehnen, werden auch die Abdeckungs/Substratgrenzflächen zwischen den FSP/Substratgrenzflächen schnell geätzt.

[0035] Bei einer bestimmten Einzelheit dieses Ausführungsbeispiels sind die Schlitzwände **128**, während sich die Schlitzverbindungen, und der eine große Schlitz **126** gebildet wird, noch nicht ausgerichtet, aufgrund einer Staffelung der Regionen **122** (siehe [Fig. 6](#)). Jede der Wände **128** des einen großen Schlitzes hat jedoch die Neigung, sich schließlich mit den anderen in dem Substrat auszurichten und dadurch einen Gleichgewichtszustand der abgeschnittenen Pyramidenform zu erreichen. Folglich ätzen die Abdeckungs/Substratgrenzflächen, die die Regionen **122** (oder FSP/Substratgrenzflächen von [Fig. 2A](#)) umgeben, zurück, um die Schlitzwände **128** miteinander auszurichten. Bei diesem Ausführungsbeispiel richten sich die Wände **128** im Wesentlichen miteinander aus, weil die Ätzrate der Abdeckungs/Substratgrenzfläche größer ist als die für das Substrat, insbesondere wenn der Schlitz danach strebt, den Gleichgewichtszustand zu erreichen.

[0036] Bei einem Ausführungsbeispiel ist der Schlitz durch den Wafer für einen Wafer mit einer Dicke von etwa 625 Mikrometer im Wesentlichen innerhalb von 12 Stunden gebildet, und der TMAH-Prozess im Wesentlichen abgeschlossen. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel wird der Schlitz durch den 625-Mikrometer-Wafer im Wesentlichen in 11 1/2 Stunden gebildet. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel wird der Schlitz zwischen etwa 10 1/2 und 12 Stunden gebildet, abhängig von der Größe des Wafers und der Größe des gewünschten Schlitzes. Die Zeit für „Rückätzen“ Siliziumwafer mit niedriger BDD (Roh-Defekt-Dichte) liegt zwischen etwa 1/2 und 1 Stunde.

[0037] Bei einem Ausführungsbeispiel hat die Region **122** eine Breite, die von etwa 40 Mikrometer bis etwa 120 Mikrometer reicht, abhängig von dem verwendeten Substrat und den verwendeten Prozessen. Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Breite der Region **122** etwa 80 bis 110 Mikrometer. Wie es bei Schritt **260** von [Fig. 4](#) beschrieben ist, und bei [Fig. 11](#) dargestellt ist, wird die FSP-Schicht **106** oder der Stöpsel von der Region **122** entfernt. Bei einem Ausführungsbeispiel wird TEOS mit gepuffertem Oxidätzmittel (BOE) entfernt. Das BOE ist eine Mischung aus Fluorwasserstoffsäure und Ammoniumfluorid. Das Ätzmittel ist wässrig und kann jede Mischungsstärke der beiden Hauptbestandteile haben. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die fluorwasserstoffsaure Lösung verdünnt. Bei einem Ausführungsbeispiel ist der BOE-Prozess im Wesentlichen in etwa 10 Minuten abgeschlossen. Der BOE-Prozess kann jedoch auch in lediglich 5 Minuten abgeschlossen sein.

[0038] Bei einem Ausführungsbeispiel ist das Substrat **102** ein monokristalliner Siliziumwafer. Bei einem Ausführungsbeispiel hat der Substratwafer eine niedrige BDD (geringe Anzahl von Störstellen in dem Siliziumkristallgitter). Der Wafer hat etwa 525 Mikrometer Dicke für einen Vier-Zoll-Durchmesser oder etwa 625 Mikrometer Dicke für einen Sechs-Zoll-Durchmesser. Bei einem Ausführungsbeispiel ist das Siliziumsubstrat p-Typ, leicht dotiert auf etwa 0,55 Ohm/cm.

[0039] Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel kann das Anfangssubstrat Glas, ein Halbleitermaterial, eine Metallmatrixzusammensetzung (MMC), eine Keramikmatrixzusammensetzung (CMC), eine Polymermatrixzusammensetzung (PMC) oder ein Sandwich-Si/xMc sein, wobei das x-Füllmaterial nach der Vakuumverarbeitung aus der zusammengesetzten Matrix geätzt wird. Die Abmessungen des Anfangssubstrats können variieren, wie es durch einen Fachmann auf diesem Gebiet bestimmt wird.

[0040] Bei einem Ausführungsbeispiel bedeckt die Schicht **104** das Substrat und dichtet dasselbe ab und liefert dadurch eine Barrierschicht. Alternativ oder zusätzlich isoliert die Abdeckungsschicht **104** das Substrat **102** elektrisch. Die Abdeckungsschicht **104** kann aus einer Vielzahl unterschiedlicher Materialien gebildet sein, wie z. B. Siliziumdioxid, Aluminiumoxid, Siliziumkarbid, Siliziumnitrid, Glas (PSG) und/oder einem elektrisch isolierenden Dielektrikmaterial. Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Abdeckungsschicht **104** eine thermische Barrierschicht. Die Abdeckungsschicht kann unter Verwendung einer Vielzahl von Verfahren gebildet werden, die Fachleuten auf diesem Gebiet bekannt sind, wie z. B. thermisches Aufwachsen der Schicht, Sputtern, Aufdampfen und plasmaunterstützte chemische Aufdampfung (PECVD). Die Dicke der Abdeckungsschicht kann jede gewünschte Dicke sein, die ausreichend ist, um das Substrat abzudecken und abzudichten. Allgemein hat die Abdeckungsschicht eine Dicke von bis zu etwa 1 bis 2 Mikrometer.

[0041] Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Schicht **104** ein phosphordotiertes (n+) Siliziumdioxid-Zwischendielektrik-Isolations-Glasschicht (PSG), die durch PECVD-Techniken aufgebracht ist. Allgemein hat die PSG-Schicht eine Dicke von bis zu etwa 1 bis 2 Mikrometer. Bei einem Ausführungsbeispiel ist diese Schicht etwa 0,5 Mikrometer dick und bildet den Rest der Oxid-Unterschicht des thermischen Tintenstrahlheizelementwiderstands. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel ist der Dickebereich etwa 0,7 bis 0,9 Mikrometer.

[0042] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Abdeckungsschicht **104** Feldoxid (FOX), das thermisch auf dem freigelegten Substrat **102** aufgewachsen wird. Bei einem Ausführungsbeispiel

wächst der Prozess das FOX in das Siliziumsubstrat und bringt dasselbe darauf auf, um eine Gesamttiefe von etwa 1,3 Mikrometer zu bilden. Weil die FOX-Schicht das Silizium von dem Substrat zieht, wird zwischen der FOX-Schicht und dem Substrat eine starke chemische Verbindung hergestellt.

[0043] Bei einem Ausführungsbeispiel wird die Widerstandsschicht **107** gebildet durch Aufbringen von Widerstandsmaterial über der Schicht **104**. Bei einem Ausführungsbeispiel werden Sputter-Aufbringstechniken verwendet, um eine Widerstandsmaterialschicht aus einer Tantal-Aluminiumzusammensetzung aufzubringen. Die Zusammensetzung hat einen Widerstandswert von etwa 30 Ohm/Quadrat. Typischerweise hat die Schicht, die den Widerstand bildet, eine Dicke in dem Bereich von etwa 500 Angström bis 2.000 Angström. Widerstandsschichten mit Dicken außerhalb dieses Bereichs liegen jedoch ebenfalls innerhalb des Schutzbereichs der Erfindung.

[0044] Eine Vielzahl von geeigneten Widerstandsmaterialien sind für Fachleute auf diesem Gebiet bekannt, einschließlich Tantal-Aluminium, Nickel-Chrom, Wolfram-Siliziumnitrid und Titannitrid, die optional mit geeigneten Unreinheiten dotiert sein können, wie z. B. Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoff, um die Widerstandsfähigkeit des Materials einzustellen. Das Widerstandsmaterial kann durch jedes geeignete Verfahren aufgebracht werden, wie z. B. Sputtern und Aufdampfen.

[0045] Bei einem Ausführungsbeispiel ist die leitfähige Schicht **108** gebildet durch Aufbringen von leitfähigem Material über der Widerstandsschicht **107**. Das leitfähige Material ist aus zumindest einem einer Vielzahl unterschiedlicher Materialien gebildet, einschließlich Aluminium, Aluminium mit etwa 1/2 % Kupfer, Kupfer, Gold und Aluminium mit 1/2 % Silizium und kann durch jedes Verfahren, wie z. B. Sputtern und Aufdampfung, aufgebracht werden. Allgemein hat die leitfähige Schicht eine Dicke von bis zu etwa 1 bis 2 Mikrometer. Bei einem Ausführungsbeispiel wird Sputteraufbringung verwendet, um eine Aluminiumschicht auf eine Dicke von etwa 0,5 Mikrometer aufzubringen. Die leitfähige Schicht **108** und die Widerstandsschicht **107** werden strukturiert und geätzt, um Widerstände und leitfähige Spuren zu bilden.

[0046] Wie es bei dem Ausführungsbeispiel von **Fig. 2** gezeigt ist, ist die isolierende Passivierungsschicht **110** über den Widerständen und Leiterbahnen gebildet, um elektrisches Laden des Fluids oder Korrosion der Vorrichtung zu verhindern, in dem Fall, dass ein elektrisch leitfähiges Fluid verwendet wird. Die Passivierungsschicht **110** kann aus jedem geeigneten Material gebildet werden, wie z. B. Siliziumdioxid, Aluminiumoxid, Siliziumkarbid, Siliziumnitrid und

Glas, und durch jedes geeignete Verfahren, wie z. B. Sputtern, Aufdampfung und PECVD. Allgemein hat die Passivierungsschicht eine Dicke von bis zu etwa 1 bis 2 Mikrometer.

[0047] Bei einem Ausführungsbeispiel wird ein PECVD-Prozess verwendet, um eine zusammengesetzte Siliziumnitrid/Siliziumkarbidschicht **110** aufzubringen, damit dieselbe als Komponentenpassivierung dient. Die Passivierungsschicht **110** hat eine Dicke von etwa 0,75 Mikrometern. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel ist die Dicke etwa 0,4 Mikrometer. Die Oberfläche der Struktur wird maskiert und geätzt, um Durchgangslöcher für Metallzwischenverbindungen zu erzeugen.

[0048] Bei einem Ausführungsbeispiel wird die Kavitationsbarriereschicht **111** über der Passivierungsschicht **110** hinzugefügt. Die Kavitationsbarriereschicht **111** trägt dazu bei, die Kraft der zusammenfallenden Antriebsblase zu dissipieren, die beim Auftreten jedes ausgestoßenen Fluidtropfens von der Abfeuerungskammer **130** übrig ist. Allgemein hat die Kavitationsbarriereschicht eine Dicke von bis zu etwa 1 bis 2 Mikrometer. Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Kavitationsbarriereschicht Tantal. Die Tantalsschicht **111** ist etwa 0,6 Mikrometer dick und dient als eine Passivierungs-, Antikavitations- und Haftschicht. Bei einem Ausführungsbeispiel absorbiert die Kavitationsbarriereschicht Energie weg von dem Substrat während der Schlitzbildung. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist Tantal ein festes dehnbare Material, das in der Beta-Phase aufgebracht wird. Die Kernstruktur des Materials ist derart, dass die Schicht die Struktur auch unter Druckspannung setzt. Die Tantalsschicht wird schnell sputter-aufgebracht und hält dadurch die Moleküle in der Schicht in Position. Falls die Tantalsschicht jedoch gehärtet wird, wird die Druckspannung beseitigt.

[0049] Bei einem Ausführungsbeispiel ist die obere (oder Barriere-) Schicht **112** über der Kavitationsbarriereschicht **111** aufgebracht. Bei einem Ausführungsbeispiel hat die Barriereschicht eine Dicke von bis zu etwa 20 Mikrometer. Bei einem Ausführungsbeispiel besteht die Barriereschicht **112** aus einem schnellen Vernetzungspolymer, wie z. B. photobelichtbarem Epoxid (wie z. B. SU8, entwickelt von IBM), photobelichtbarem Polymer oder photoempfindlichem Silikondielektrika, wie z. B. SINR-3010, hergestellt von ShinEtsu™.

[0050] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel besteht die Barriereschicht **112** aus einem organischen Polymerkunststoff, der gegenüber der korrosiven Wirkung von Tinte im Wesentlichen träge ist. Kunststoffpolymere, die für diesen Zweck geeignet sind, umfassen Produkte, die unter dem Warenzeichen VACREL und RISTON von E.I. DuPont de Nemours und Co. aus Wilmington, Del. verkauft werden. Die

Barriereschicht **112** hat eine Dicke von etwa 20 bis 30 Mikrometer. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel ist über der Barriereschicht **112** eine Öffnungsplatte aufgebracht.

Patentansprüche

1. Ein Verfahren zum Herstellen eines Schlitzsubstrats, das folgende Schritte umfasst:
Bilden (**200**) einer Maskierungsschicht (**104**) über eine Vorderseite eines Substrats (**102**);
Strukturieren und Ätzen der Maskierungsschicht, um ein Loch durch dieselbe zu bilden;
Aufbringen (**220**) einer ersten Schicht (**106**) über die Maskierungsschicht und das Loch;
Strukturieren und Ätzen (**230**) der ersten Schicht, um einen Stöpsel in dem Loch zu bilden; und
fortlaufendes Ätzen (**250**) einer Rückseite des Substrats, bis eine Unteroberfläche des Stöpsels im Wesentlichen freigelegt ist und ein Schlitz (**126**) in dem Substrat im Wesentlichen gebildet ist.

2. Ein Verfahren zum Herstellen einer Fluidausstoßvorrichtung (**10, 14**), die folgende Merkmale umfasst:

Bilden (**200**) einer Maskierungsschicht (**104**) über eine erste Oberfläche eines Substrats (**102**);
Strukturieren und Ätzen der Maskierungsschicht, um ein Loch durch dieselbe zu bilden;
Aufbringen (**220**) einer ersten Schicht (**106**) über die Maskierungsschicht und das Loch;
Strukturieren und Ätzen (**230**) der ersten Schicht, um einen Stöpsel in dem Loch zu bilden; und
fortlaufendes Ätzen (**250**) einer zweiten Oberfläche gegenüberliegend zu der ersten Oberfläche des Substrats, bis eine Unteroberfläche des Stöpsels im Wesentlichen freigelegt ist und ein Schlitz (**126**) in dem Substrat im Wesentlichen gebildet ist.

3. Ein Schlitzsubstrat, das folgende Merkmale umfasst:

ein Substrat (**102**) mit einer ersten Oberfläche, einer zweiten gegenüberliegenden Oberfläche und einem Schlitz (**126**), der sich von der zweiten Oberfläche zu der ersten Oberfläche hin erstreckt;
eine Maskierungsschicht (**104**), die über der ersten Oberfläche gebildet ist, wobei die Maskierungsschicht ein Loch durch dieselbe aufweist, das dem Schlitz entspricht; und
einen Stöpsel (**106**), der in dem Loch der Maskierungsschicht gebildet ist und eine Unteroberfläche aufweist, die im Wesentlichen in dem Schlitz freigelegt ist.

4. Das Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, bei dem der Schlitz zumindest entweder mit TMAH, KOH oder anderen alkalischen Ätzmitteln geätzt wird.

5. Das Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, das ferner das Ätzen einer Grenzfläche des Substrats

und des Stöpsels entlang der Unteroberfläche des Stöpsels bei einer ersten Geschwindigkeit umfasst; und das Ätzen einer Grenzfläche des Substrats und der Maskierungsschicht bei einer zweiten Geschwindigkeit, die langsamer ist als die erste Geschwindigkeit.

6. Das Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, das ferner das Verwenden des Stöpsels umfasst, um den Graben mit dem Loch auszurichten, das auf der Vorderseite des Substrats in die Maskierungsschicht geätzt ist.

7. Das Schlitzsubstrat gemäß Anspruch 3, bei dem der Schlitz einen ersten Wandabschnitt benachbart zu dem Stöpsel und einen zweiten Wandabschnitt benachbart zu der zweiten Oberfläche aufweist, wobei sich der erste Wandabschnitt von den zu dem Stöpsel benachbarten Kanten des Stöpsels zu der zweiten Oberfläche hin erstreckt, und der zweite Wandabschnitt im Wesentlichen als eine abgeschnittene Pyramide geformt ist und mit dem ersten Wandabschnitt gekoppelt ist.

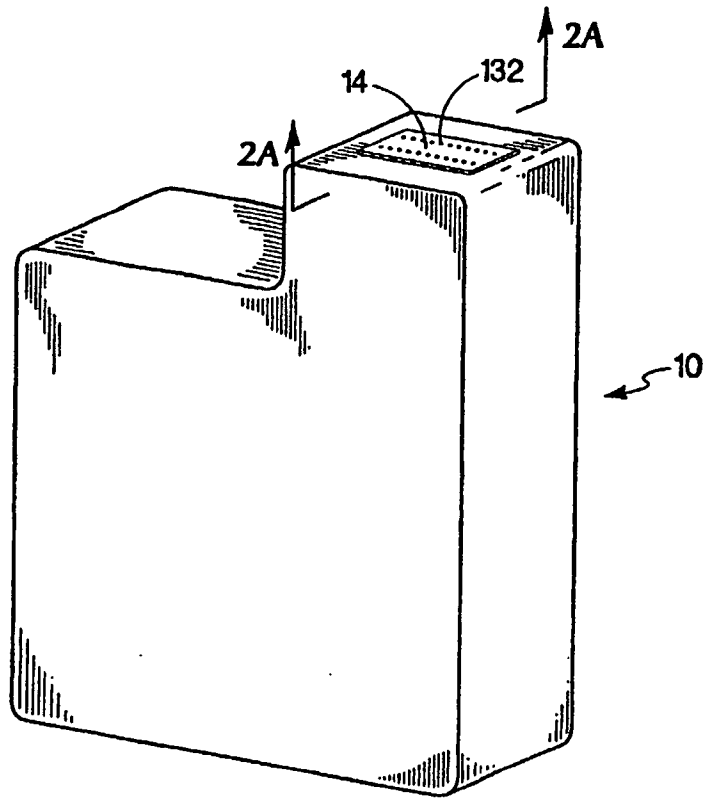
8. Das Schlitzsubstrat gemäß Anspruch 3, bei dem der Schlitz einen ersten Wandabschnitt benachbart zu der ersten Oberfläche, einen zweiten Wandabschnitt und einen dritten Wandabschnitt benachbart zu der zweiten Oberfläche aufweist, wobei der zweite Wandabschnitt zwischen dem ersten und dem dritten Wandabschnitt liegt, wobei der erste und der dritte Wandabschnitt im Wesentlichen als abgeschnittene Pyramiden geformt sind und der zweite Wandabschnitt Wände aufweist, die mit abgeschnittenen Pyramiden gekoppelt sind.

9. Das Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, das ferner Ätzen (**260**) umfasst, um den Stöpsel nach dem Ätzen des Substrats zu entfernen, um den Schlitz im Wesentlichen durch das Substrat zu bilden.

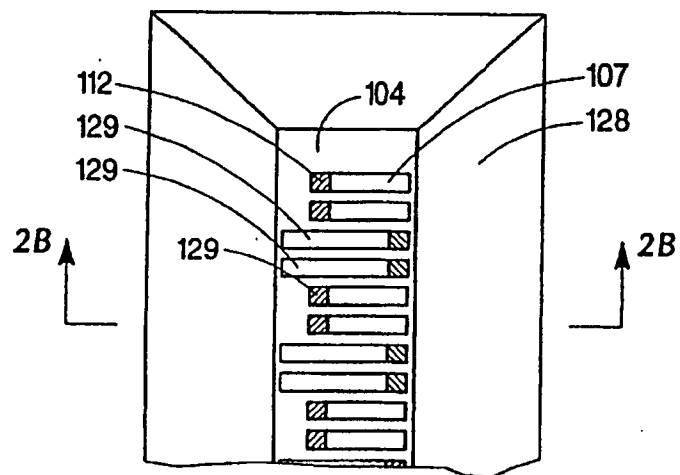
10. Das Verfahren gemäß Anspruch 9, bei dem es mehrere Stöpsel in dem Substrat gibt, wobei das Verfahren ferner das Definieren einer Abfeuerungskammer (**130**) umfasst, die über der Maskierungsschicht gebildet ist, und das Definieren einer Mehrzahl von Löchern durch das Substrat, nach dem Entfernen des Stöpsels, wobei zumindest zwei der Löcher für eine Fluidzuführung in die Abfeuerungskammer in der Lage sind.

11. Das Schlitzsubstrat gemäß Anspruch 3, bei dem die erste Oberfläche oder Vorderseite des Substrats eine Ausnehmung aufweist, wobei der Stöpsel in der Ausnehmung gebildet ist, und die Ausnehmung das Loch und den Schlitz koppelt.

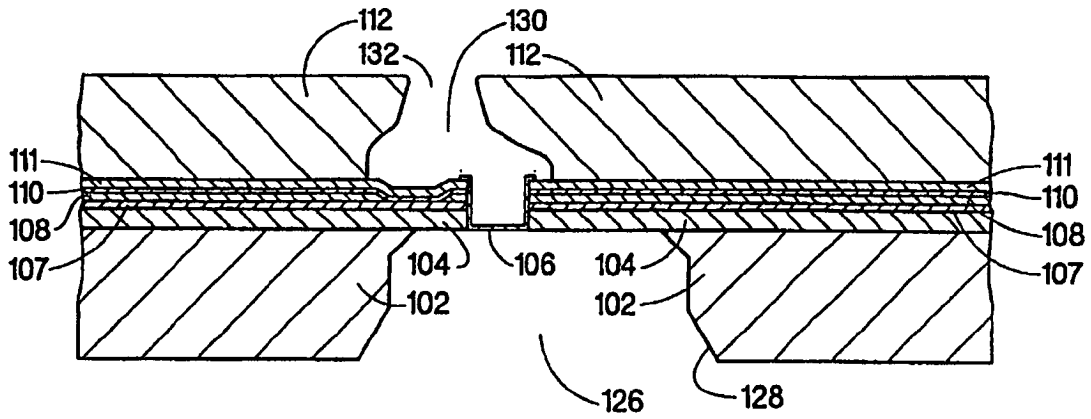
Es folgen 6 Blatt Zeichnungen



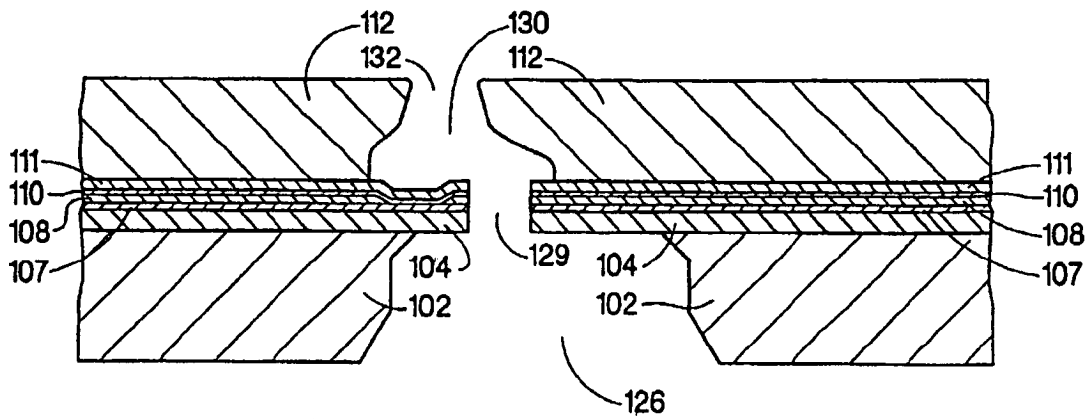
FIGUR 1



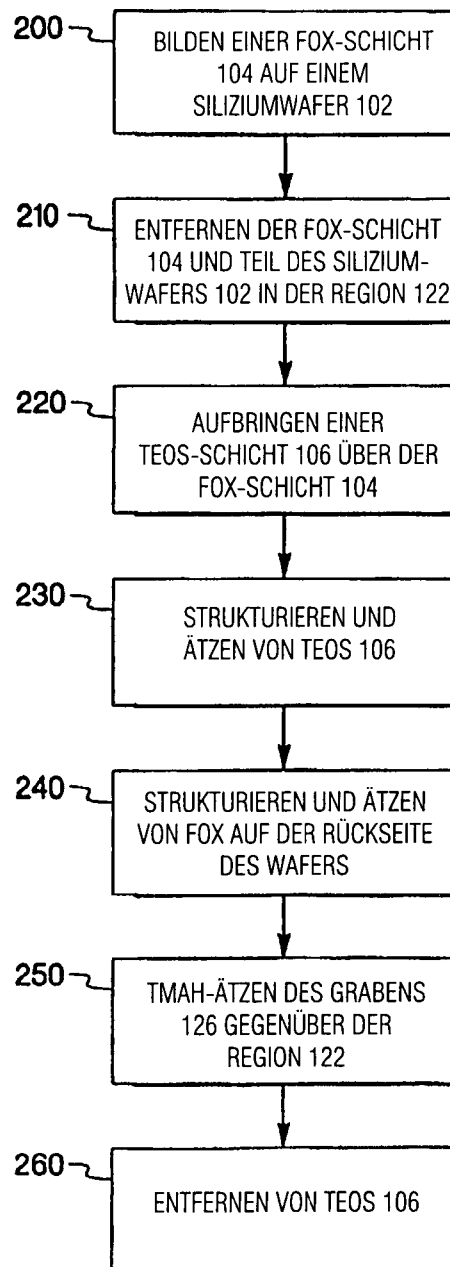
FIGUR 2A



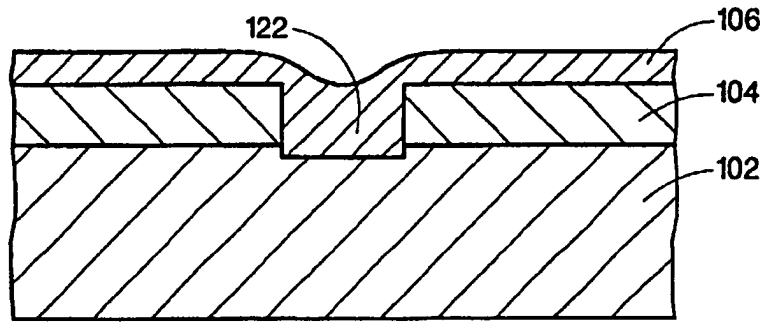
FIGUR 2B



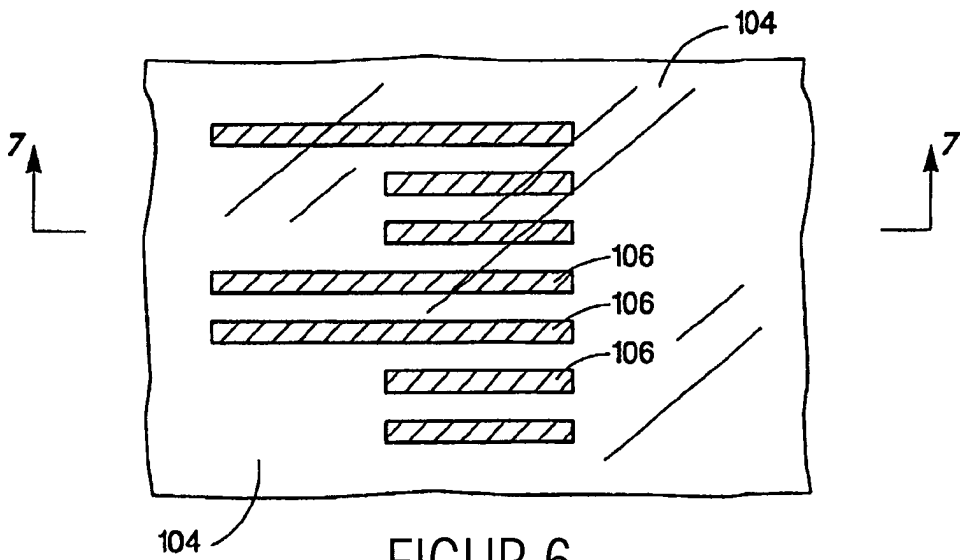
FIGUR 3



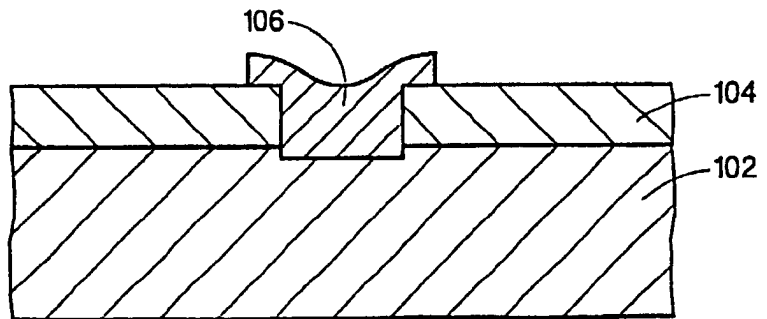
FIGUR 4



FIGUR 5



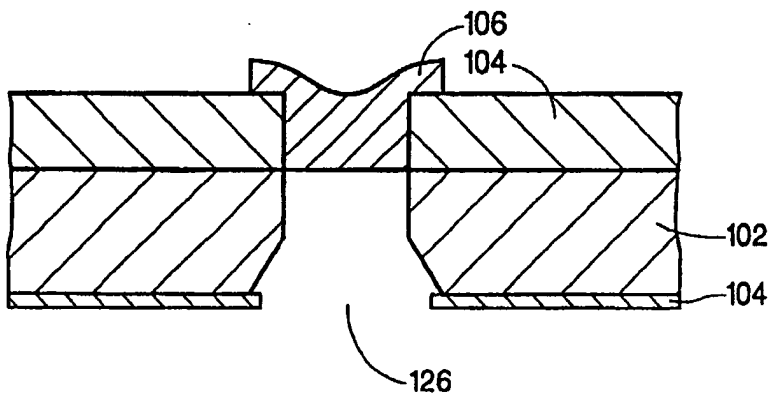
FIGUR 6



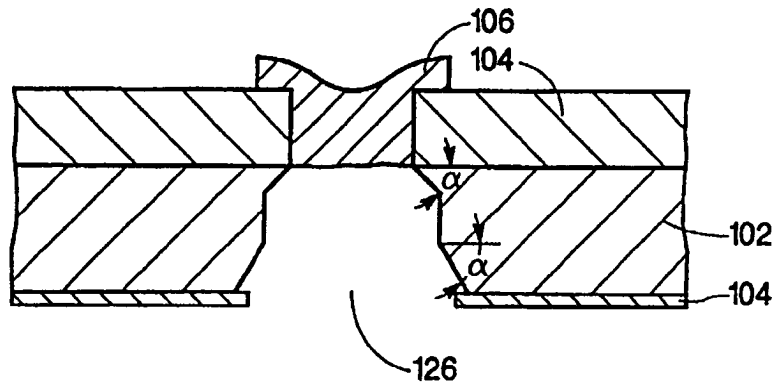
FIGUR 7



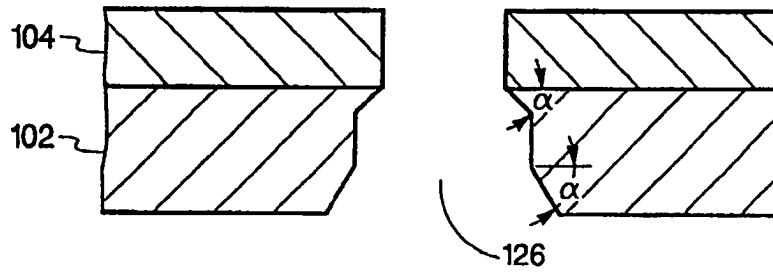
FIGUR 8



FIGUR 9



FIGUR 10



FIGUR 11