



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 17 172 T2** 2007.10.11

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 455 986 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 17 172.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/19752**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 747 939.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/053627**

(86) PCT-Anmeldetag: **21.06.2002**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **03.07.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **15.09.2004**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **27.12.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **11.10.2007**

(51) Int Cl.⁸: **B23K 26/38** (2006.01)
B41J 2/16 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

343476 P	20.12.2001	US
138594	02.05.2002	US

(73) Patentinhaber:

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

(74) Vertreter:

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

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IE, IT, NL

(72) Erfinder:

**CAHILL, David, Celebridge, Co. Kildare, IE;
POLLARD, R., Jeffrey, Corvallis, OR 97333, US;
O'REILLY, John, Declan, Rush, Co. Dublin, IE;
SCOTT, Graeme, Maynooth, Co. Kildare, IE;
McLoughlin, Noel, Celbridge Co. Kildare, IE**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR LASERBEARBEITUNG EINES FLÜSSIGKEITSSCHLITZES**

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

Bezug auf verwandte Anmeldung

[0001] Diese Anmeldung beansprucht den Vorzug der US-Provisional-Anmeldung Nr. 60/343,476, eingereicht am 20. Dezember 2001, und der US-Anmeldung Nr. 10/138,594, eingereicht am 2. Mai 2002.

Gebiet der Erfindung

[0002] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Laserbearbeiten eines Fluidkanals gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1. Die JP-06-079486-A offenbart in Kombination alle Merkmale des Oberbegriffs von Anspruch 1.

Hintergrund der Erfindung

[0003] Verschiedene Tintenstrahldruckanordnungen sind auf dem Gebiet bekannt und umfassen sowohl thermisch betätigte Druckköpfe als auch mechanisch betätigte Druckköpfe. Thermisch betätigte Druckköpfe neigen dazu, Widerstandselemente oder dergleichen zu verwenden, um einen Tintenausstoß zu erreichen, während mechanisch betätigte Druckköpfe dazu neigen, piezoelektrische Wandler oder dergleichen zu verwenden.

[0004] Ein repräsentativer thermischer Tintenstrahldruckkopf weist eine Mehrzahl von Dünnschichtwiderständen auf, die an einem Halbleitersubstrat vorgesehen sind. Eine Öffnung und/oder eine Barrierschicht ist an dem Substrat vorgesehen. Die Öffnung und/oder die Barrierschicht definiert Abfeuerungskammern um jeden der Widerstände herum, eine Öffnung, die jedem Widerstand entspricht, und einen Eintritt in jede Abfeuerungskammer. Eine Betätigung eines Heizwiderstands durch ein „Abfeuersignal“ bewirkt, dass Tinte in der entsprechenden Abfeuerungskammer erwärmt und durch die entsprechende Öffnung hindurch ausgestoßen wird.

[0005] Tinte wird typischerweise an dem Eingang der Abfeuerungskammer durch einen Zufuhrschlitz geliefert, der in dem Halbleitersubstrat gearbeitet ist. Das Substrat weist gewöhnlich eine rechteckige Form auf, wobei der Schlitz longitudinal in demselben angeordnet ist. Widerstände sind häufig in Reihen angeordnet, die an einer oder beiden Seiten des Schlitzes positioniert sind. Die Breite des Druckbands, das durch einen Durchlauf eines Druckkopfs erreicht wird, ist näherungsweise gleich der Länge der Widerstandsreihen, die wiederum näherungsweise gleich der Länge des Schlitzes ist.

[0006] Zufuhrschlitze wurden typischerweise durch ein Sandbohren (auch als Sandstrahlen oder „Sand-schlitz“ bekannt) gebildet. Dieses Verfahren ist ein schneller, relativ einfacher und skalierbarer Prozess.

Das Sandstrahlverfahren ist zum Bilden einer Öffnung in einem Substrat mit einem relativ hohen Grad an Genauigkeit für einfache Schlitzformen in der Lage, während eine wesentliche Beschädigung an umliegenden Komponenten und Materialien im Allgemeinen vermieden wird. Ferner ist dasselbe zum Schneiden von Öffnungen in verschiedenen Substraten, die unterschiedliche Materialien aufweisen, ohne die Erzeugung übermäßiger Wärme in der Lage. Ferner ermöglicht dasselbe verbesserte relative Platzierungsgenauigkeiten während des Herstellungsprozesses.

[0007] Während ein Sandschlitz diese offensichtlichen Vorzüge bietet, ist ein Sandschlitz ebenfalls nachteilig dahingehend, dass dasselbe Mikrorisse in dem Halbleitersubstrat bewirken kann, die die Bruchfestigkeit des Substrats erheblich reduzieren, was in einem erheblichen Dehnungsverlust aufgrund eines gerissenen Halbleiterstücks resultiert. Eine niedrige Bruchfestigkeit begrenzt auch eine Substratlänge, was wiederum eine Druckbandhöhe und Gesamtdruckgeschwindigkeit nachteilig beeinflusst. Zusätzlich bewirkt ein Sandschlitz typischerweise Splitter an dem Substrat an sowohl der Eingangs- als auch der Ausgangsseite des Schlitzes. Normalerweise ist das Splittern zig Mikrometer groß und begrenzt, wie nahe die Abfeuerungskammer an der Kante des Schlitzes platziert sein kann. Gelegentlich ist das Splittern größer und bewirkt einen Dehnungsverlust bei dem Herstellungsprozess. Das Splitterproblem ist vorherrschender, wenn die erwünschte Schlitzlänge sich erhöht und die erwünschte Schlitzbreite sich verringert.

[0008] Zufuhrschlitze können auch durch nasschemisches Ätzen mit beispielsweise alkalischen Ätzmitteln gebildet werden. Derartige Ätztechniken resultieren in Ätzwinkeln, die eine Schlitzöffnung mit sehr breiter Rückseite bewirken. Die breite Rückseitenöffnung begrenzt, wie klein ein spezielles Halbleiterstück an dem Wafer sein könnte, und begrenzt deshalb die Anzahl von Halbleiterstücken pro Wafer (das Trennungsverhältnis). Es ist erwünscht, das Trennungsverhältnis zu maximieren.

Zusammenfassung

[0009] Die Erfindung besteht in einem Verfahren zum Laserbearbeiten eines Fluidkanals gemäß Anspruch 1.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0010] [Fig. 1](#) stellt eine perspektivische Ansicht eines Ausführungsbeispiels eines Druckers der vorliegenden Erfindung dar;

[0011] [Fig. 2](#) stellt eine perspektivische Ansicht eines Ausführungsbeispiels einer Druckkassette der

vorliegenden Erfindung dar;

[0012] [Fig. 3](#) stellt eine perspektivische Ansicht eines Ausführungsbeispiels eines Druckkopfs dar;

[0013] [Fig. 4](#) stellt eine Querschnittsansicht eines Ausführungsbeispiels eines Druckkopfs von [Fig. 2](#) dar;

[0014] [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) stellen eine Drauf- und eine perspektivische Ansicht des Druckkopfs von [Fig. 2](#) dar;

[0015] [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5E](#) stellen Prozessflussdiagramme für mehrere alternative Ausführungsbeispiele des Herstellungsprozesses zum Bilden eines geschlitzten Substrats gemäß der vorliegenden Erfindung dar;

[0016] [Fig. 6A](#) bis [Fig. 6B](#) stellen ein Ausführungsbeispiel von Schritten zum Bilden des geschlitzten Substrats dar, im Profil gezeigt;

[0017] [Fig. 6C](#) stellt ein Ausführungsbeispiel des geschlitzten Substrats dar, das im Profil gezeigt ist und über in [Fig. 6A](#) bis [Fig. 6B](#) gezeigte Schritte gebildet ist;

[0018] [Fig. 6D](#) stellt ein anderes Ausführungsbeispiel des geschlitzten Substrats dar, das in Profil gezeigt ist und über in [Fig. 6A](#) bis [Fig. 6B](#) gezeigte Schritte gebildet ist;

[0019] [Fig. 6E](#) bis [Fig. 6L](#) stellen verschiedene Ausführungsbeispiele von Schlitzprofilen für die vorliegende Erfindung dar;

[0020] [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7F](#) stellen verschiedene Ausführungsbeispiele von Laserstrahlmustern dar, die auf einen Schlitzbereich an Substratoberflächen gerichtet sind, bei einem Bilden des geschlitzten Substrats der vorliegenden Erfindung;

[0021] [Fig. 8A](#) bis [Fig. 8B](#) stellen verschiedene Ausführungsbeispiele optischer Schemata zum Teilen des Laserstrahls dar; und

[0022] [Fig. 9A](#) bis [Fig. 9B](#) stellen ein Ausführungsbeispiel von Schritten dar, um den Laserstrahl in die z-Richtung zu bewegen; und

[0023] [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10B](#) stellen Ausführungsbeispiele dar, die eine Laserstrahlleistung und ein abgetragenes Material für Laserstrahlquerschnitte zeigen.

Detaillierte Beschreibung

[0024] [Fig. 1](#) ist eine perspektivische Ansicht eines Druckers **10** zum Drucken auf Medien **22** mit einer

Druckkassette (oder Ausstoßkassette) **12**. [Fig. 2](#) ist eine perspektivische Ansicht der Kassette **12** mit einem Druckkopf (oder Fluidtropfengenerator oder Fluidausstoßvorrichtung) **14** eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung. Fluid oder Tinte wird aus den Düsen **132** auf die Medien **22** ausgeworfen oder abgefeuert.

[0025] [Fig. 3](#) stellt eine vergrößerte Ansicht eines Ausführungsbeispiels des Druckkopfs **14** in einer perspektivischen Ansicht dar. Der Druckkopf **14** weist bei diesem Ausführungsbeispiel mehrere Merkmale auf, einschließlich einer Kantenstufe **119** für eine Kantenfluidzufuhr zu Widerständen (oder Fluidausstoßvorrichtungen) **61**. Der Druckkopf weist ferner einen Graben **124** auf, der teilweise in die Substratoberfläche gebildet ist. Ein Schlitz (oder Kanal) **126** für eine Schlitzfluidzufuhr zu den Widerständen **61** und/oder eine Reihe von Löchern **127**, die den Widerständen **61** Fluid zuführen, sind ebenfalls an diesem Druckkopf gezeigt, wobei dieselben jeweils durch einen UV-Laserbearbeitungsprozess gebildet sind, wie es hierin beschrieben ist. Der Graben **124** kann ebenfalls durch die UV-Laserbearbeitungsprozesse gebildet sein, die weiter unten beschrieben sind. Bei einem Ausführungsbeispiel gibt es zumindest zwei der beschriebenen Merkmale an dem Druckkopf **14** in [Fig. 3](#). Zum Beispiel sind lediglich die Zuführlöcher **127** und der Schlitz **126** in dem Druckkopf **14** gebildet, wobei bei einem alternativen Ausführungsbeispiel die Kantenstufe und/oder der Graben **124** ebenfalls gebildet sind. Bei einem anderen Beispiel sind die Kantenstufe **119** und der Schlitz **126** in dem Druckkopf **14** gebildet, wobei bei einem alternativen Ausführungsbeispiel der Graben **124** und/oder die Zuführlöcher **127** ebenfalls gebildet sind.

[0026] [Fig. 4](#) stellt eine Querschnittsansicht des Druckkopfs **14** von [Fig. 2](#) dar, wobei der Schlitz **126**, der Schlitz-(oder Seiten-)Wände **123** aufweist, durch ein Substrat **102** hindurch gebildet ist. Die Bildung des Schlitzes durch eine Schlitzregion (oder einen Schlitzbereich) in dem Substrat hindurch ist unten detaillierter beschrieben. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel ist eine höhere Dichte von Schlitzten in einem gegebenen Halbleiterstück geätzt. Zum Beispiel beträgt die Zwischenschlitzbeabstandung oder Beabstandung zwischen benachbarten Schlitzten in dem Halbleiterstück oder Substrat nur 10 Mikrometer. (Bei einem Ausführungsbeispiel ist 10 Mikrometer gerade über zweimal das Ausmaß einer von Wärme beeinflussten Zone für jeden Schlitz, wobei die von Wärme beeinflusste Zone der Bereich entlang der Schlitzwände ist, der durch die Laserbearbeitung beeinflusst ist, die in dieser Anmeldung beschrieben ist.)

[0027] In [Fig. 4](#) ist eine Dünnschicht (oder eine aktive Schicht, ein Dünnschichtstapel, eine elektrisch leitfähige Schicht oder eine Schicht mit Mikroelektro-

nik) **120** dargestellt, die an einer vorderen oder ersten Seite (oder Oberfläche) **121** des Substrats **102** gebildet oder aufgebracht ist. Die erste Seite **121** des Substrats liegt gegenüber einer zweiten Seite (oder Oberfläche) **122** des Substrats **102**. Der Dünnfilmstapel **120** ist zumindest eine Schicht, die an dem Substrat gebildet ist, und maskiert bei einem speziellen Ausführungsbeispiel zumindest einen Abschnitt der ersten Seite **121** des Substrats **102**. Alternativ oder zusätzlich isoliert die Schicht **120** zumindest einen Abschnitt der ersten Seite **121** des Substrats **102** elektrisch.

[0028] Wie es bei dem in [Fig. 4](#) gezeigten Ausführungsbeispiel des Druckkopfs gezeigt ist, umfasst der Dünnfilmstapel **120** eine Abdeckschicht **104**, eine Widerstandsschicht **107**, eine leitfähige Schicht **108**, eine Passivierungsschicht **110**, eine Kavitationsbarriereschicht **111** und eine Barrierschicht **112**, die jeweils über der ersten Seite **121** des Substrats **102** und/oder die vorherige(n) Schicht(en) gebildet oder aufgebracht sind. Bei einem Ausführungsbeispiel ist das Substrat **102** Silizium. Bei verschiedenen Ausführungsbeispielen ist das Substrat eines der folgenden: monokristallines Silizium, polykristallines Silizium, Galliumarsenid, Glas, Silika, Keramik oder ein halbleitendes Material. Die verschiedenen Materialien, die als mögliche Substratmaterialien aufgelistet sind, sind nicht zwangsläufig austauschbar und werden abhängig von der Anwendung ausgewählt, für die dieselben verwendet werden sollen. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind die Dünnfilmschichten strukturiert und geätzt, wie es geeignet ist, um die Widerstände **61** in der Widerstandsschicht, leitfähige Bahnen der leitfähigen Schicht und eine Abfeuerungskammer **130** zu bilden, die zumindest zum Teil durch die Barrierschicht definiert ist. Bei einem speziellen Ausführungsbeispiel definiert die Barrierschicht **112** die Abfeuerungskammer **130**, bei der ein Fluid durch den entsprechenden Widerstand erwärmt wird, und definiert eine Düsenöffnung **132**, durch die das erwärmte Fluid ausgeworfen wird. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel ist eine Öffnungsschicht (nicht gezeigt), die die Öffnungen **132** aufweist, über der Barrierschicht **112** aufgebracht. Ein Beispiel der physischen Anordnung der Barrierschicht und der Dünnfilmunterstruktur ist auf Seite 44 des Hewlett-Packard-Journals vom Februar 1994 dargestellt. Weitere Beispiele von Tintenstrahldruckköpfen sind in dem ebenfalls übertragenen US-Pat. Nr. 4,719,477, dem US-Pat. Nr. 5,317,346 und dem US-Pat. Nr. 6,162,589 dargelegt. Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel ist zumindest eine Schicht oder Dünnfilmschicht auf dem Substrat **102** gebildet oder aufgebracht. Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung umfassen ein Aufweisen irgendeiner Anzahl und irgendeines Typs von Schichten, die über dem Substrat gebildet oder aufgebracht sind (oder gar keine Schichten), abhängig von der Anwendung, für die das geschlitzte Substrat genutzt werden

soll.

[0029] Bei dem in [Fig. 4](#) gezeigten Ausführungsbeispiel ist ein Kanal **129** als ein Loch oder Fluidzufuhrschlitz **129** durch die Schichten (**120**) hindurch gebildet, die auf dem Substrat gebildet sind. Der Kanal **129** koppelt die Abfeuerungskammer **130** und den Schlitz **126** fluidisch, derart, dass Fluid durch den Schlitz **126** und in die Abfeuerungskammer **130** über den Kanal **129** fließt. Bei dem speziellen gezeigten Ausführungsbeispiel befindet sich der Kanaleingang **129** für das Fluid nicht in der Mitte des Schlitzes **126**. Das geschlitzte Substrat ist jedoch, wie es unten beschrieben ist, in beiden Fällen, wenn der Eintritt **129** zentral positioniert ist oder sich weg vom Zentrum befindet, im Wesentlichen gleich gebildet.

[0030] Bei dem in [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) dargestellten Ausführungsbeispiel ist eine Drauf- und eine perspektivische Ansicht des Druckkopfs **14** und des Schlitzes **126** desselben ohne die Barrierschicht **112** (für [Fig. 4A](#)) und ohne den Stapel **120** (für [Fig. 4B](#)) gezeigt. Wie es bei dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 4A](#) gezeigt ist, befinden sich die Widerstände **61** entlang des Schlitzes **126**. Wie es bei dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 4B](#) gezeigt ist, weist die Schlitzwand **123** Streifungen (oder vertikale Linien) **142** und einen rauen Bereich (oder Durchbruchbereich) **144** nahe der Mitte des Schlitzes **126** auf, die durch den Schlitzprozess der vorliegenden Erfindung gebildet sind. Der raue Bereich **144** ist durch einen Durchbruch nahe der Mitte des Schlitzes **126** gebildet. Das Biegemoment ist bei dieser Mittelschlitzposition verglichen mit einer Schlitzoberflächenposition minimiert und deshalb gibt es eine geringere Belastung an dem rauen Durchbruchbereich **144** während einer Verarbeitung. Folglich ist ein Reißen an dem rauen Durchbruchbereich **144** minimiert, und somit durch das ganze Substrat **102** hindurch. Folglich weisen Schlitz, die durch ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung gebildet sind, Splittergrößen entlang der Oberflächen des Substrats von zumindest 3 Mikrometern auf, falls es welche gibt.

[0031] Wie es ebenfalls in [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) gezeigt ist, weist der Schlitz **126** eine Wandkante **146** auf. Bei einem Ausführungsbeispiel beträgt die Rauheit (oder Glätte) der Wandkante **146** entlang der Vorderseite **121** des Substrats etwa 3 Mikrometer und etwa 5 Mikrometer entlang der zweiten Seite **122** des Substrats, obwohl bei dem Ausführungsbeispiel die Rauheit mehr oder weniger sein könnte.

[0032] Bei dem Ausführungsbeispiel, das in dem Flussdiagramm von [Fig. 5A](#) beschrieben ist, wird bei einem Schritt **200** die Dünnfilmschicht oder der Stapel **120** über der ersten Seite **121** des Wafers oder Substrats **102** gebildet, maskiert und strukturiert, um die Ausnehmung **129** zu bilden, wie es in [Fig. 6A](#) gezeigt ist. Bei einem Ausführungsbeispiel (nicht ge-

zeigt) werden zusätzlich eine Hartmaske und/oder eine Schicht aus fotoabbildbarem Material zusätzlich an der Rückseite **122** des Substrats gegenüber der Dünnfilmschicht **120** gebildet. Bei einem Schritt **210** wird die Schlitzbildung unter Verwendung eines UV-Laserstrahls **140** (siehe [Fig. 6A](#)) begonnen, der auf einen Bereich des Substrats gerichtet ist, der geschlitzt werden soll. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist ein Bereich an der zweiten Seite **122** des Substrats der anfängliche Bereich, der dem UV-Laserstrahl ausgesetzt sein soll. Das Substratmaterial in dem Bereich des Substrats, der dem UV-Laserstrahl ausgesetzt wird, wird abgetragen und/oder verdampft, um den Schlitz **126** zu bilden, wie es unten detaillierter beschrieben ist.

[0033] Wie es in [Fig. 6A](#) & [Fig. 6B](#) gezeigt ist, beginnen sich Schutt oder Rückstand **149** von der Laserbearbeitung entlang der Schlitzwände **123** sowie entlang dem unteren Ende des Grabens zu bilden, der in dem Substrat geformt wird. Bei alternativen Ausführungsbeispielen kann der Schutt aus polykristallinem und/oder amorphem Siliziumoxid gebildet sein. Wie es bei dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 6B](#) gezeigt ist, ist am Ende des Schritts **210** das Substrat **102** bis zu einer Tiefe x laserbearbeitet.

[0034] Bei einem Schritt **220** wird der Laserstrahl **140** durch die Ausnehmung in dem Dünnfilmstapel **120** hindurch zu der ersten Seite oder Oberfläche **121** des Substrats hin gerichtet, wie es in [Fig. 6B](#) gezeigt ist. Der Schlitz wird durch ein UV-Laserbearbeiten durch das Substrat hindurch bis zu der Tiefe y abgeschlossen, wobei die Tiefe x größer als die Tiefe y ist, wobei $x + y =$ Substrattiefe. Bei einem ersten Ausführungsbeispiel beträgt y etwa 20 Mikrometer. Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel beträgt x etwa zweimal y . Bei einem dritten Ausführungsbeispiel ist x etwa gleich y . Bei noch einem anderen Ausführungsbeispiel ist y größer x .

[0035] Bei einem Schritt **230** von [Fig. 5A](#) werden die Schritte **210** und **220** für jeden Schlitz **126** in dem Halbleiterstück (oder Substrat) wiederholt. Bei dem hinsichtlich [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) gezeigten und beschriebenen Ausführungsbeispiel wird ein Durchsatz mit dem beschriebenen bidirektionalen Prozess verbessert, weil der Schutt (oder wiederaufgebrachtes Material) **149** bei flacheren anstelle von tieferen Gräben einfacher aus dem bearbeiteten Kanal entkommt. Ferner entkommt bei Ausführungsbeispielen, bei denen x größer y ist, die Mehrheit des Schutts, der den bearbeiteten Kanälen entkommt, aus der Rückseite **122**, wodurch die Größe einer Verunreinigung an der aktiven Schicht (den aktiven Schichten) **120** an der Vorderseite **121** des Substrats begrenzt wird. Bei einem anderen Verfahren wird die UV-Laserätzung zuerst von der ersten Seite **121** aus und dann von der zweiten Seite **122** aus durchgeführt, um sich an dem Durchbruchbereich **144** zu treffen.

[0036] Bei diesem Ausführungsbeispiel wird das Laserbearbeiten durch einen UV-Laserstrahl **140** ([Fig. 6A](#)) geliefert und wird bei einem speziellen Ausführungsbeispiel durch einen diodengepumpten gepulsten Festkörper-UV-Laser geliefert. Bei einem anderen speziellen Ausführungsbeispiel stammt der UV-Laser **140** von einem Xise **200** Laser Machining Tool, das durch Xsil aus Dublin, Irland, hergestellt wird. Eine Laserquelle **139** (in [Fig. 9A](#) und [Fig. 9B](#) gezeigt) verwendet eine Leistung in dem Bereich von etwa 2 bis 100 Watt und genauer gesagt etwa 4,5 Watt. Der Laserstrahl weist eine Wellenlänge von $(1060 \text{ nm})/n$ oder $(1053 \text{ nm})/n$ auf, wobei $n = 2, 3$ oder 4 . Bei einem spezifischen Ausführungsbeispiel beträgt die UV-Wellenlänge weniger als etwa 400 nm, insbesondere etwa 355 nm. Die Pulsbreite des Laserstrahls beträgt etwa 15 ns bei diesem Ausführungsbeispiel und die Wiederholungsrate beträgt etwa 30 kHz. Der Laserstrahl weist einen Durchmesser von etwa 5 bis 100 Mikrometern auf, und bei diesem Ausführungsbeispiel genauer gesagt etwa 30 Mikrometer. Bei einem Ausführungsbeispiel, das hier nicht gezeigt ist, weist das Laserbearbeitungswerkzeug der vorliegenden Erfindung ein Schuttextraktionssystem auf, um den Schutt **149** zu entfernen, der aus dem Laserbearbeiten resultiert.

[0037] Bei einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird das intensive UV-Licht in weniger als etwa 1 Mikrometer der Oberfläche des Materials absorbiert, das abgetragen wird. Weil die Lichtenergie nahe der Oberfläche des Materials so konzentriert ist, erwärmt sich, schmilzt und verdampft das Material schnell. Eine Mischung aus Dampf und geschmolzenen Tröpfchen wird dann schnell weg ausgestoßen. Folglich wird die umgebende Region (oder von Wärme beeinflusste Zone) nicht wesentlich geschmolzen oder anderweitig wesentlich beschädigt, weil der Prozess so schnell geschieht, und es ist nicht genug Zeit, dass sich eine erhebliche Wärme zu den umgebenden Regionen ausbreitet. Eine mehr in die Tiefe gehende Erläuterung des Prozesses ist auf Seiten 131–134 von Laser-Beam Interactions with Materials: Physical Principles and Applications, zweite aktualisierte Ausgabe, 1995, geschrieben von Martin von Allmen & Andreas Blatter, beschrieben.

[0038] Bei dem Laserbearbeitungsprozess der aktuellen Erfindung sind glattere und präzisere Schlitzprofile erreichbar, weil die Laserbearbeitung so örtlich begrenzt ist. Folglich weisen Schlitzprofile, die durch Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung gebildet sind, erneut eine Oberflächenrauheit von höchstens 5 Mikrometern auf. Wenn jedoch die Laserbearbeitung das Substrat durchbricht und der Schlitz **126** gebildet ist, ist es wahrscheinlich, dass der raue Bereich oder raue Punkt **144** nahe dem Durchbruchpunkt ist, wie es bei den Ausführungsbeispielen der Schlitzprofile von [Fig. 6C](#) und [Fig. 6D](#) gezeigt ist. Bei diesen Ausführungsbeispielen ist der

raue Bereich **144** nahe der Mitte des Schlitzes ein wiederaufgebrachtes Material, das durch erwärmte Fragmente bewirkt wird, die aufgrund der Tiefe des Grabens nicht effizient extrahiert wurden. Diese Fragmente schmolzen und verfestigten sich nachfolgend wieder, um den Schutt **149** zu bilden.

[0039] Wie es in [Fig. 5B](#) gezeigt ist, ist ein Schritt **300** ähnlich dem Schritt **200** von [Fig. 5A](#). Schritte **310** und **320** können den Schritten **210** und **220** von [Fig. 5A](#) ähnlich angesehen werden, jedoch sind einige Unterschiede wie folgt. Zuerst wird bei dem Schritt **310** jeder Schlitz an dem Halbleiterstück von der zweiten Seite **122** aus teilweise gebildet. Dann wird jeder teilweise gebildete Schlitz abgeschlossen, wenn der Laserstrahl bei dem Schritt **320** zu der ersten Seite **121** hin gerichtet wird. In anderen Worten ausgedrückt, tritt bei diesem Ausführungsbeispiel keine Wiederholung vorhergehender Schritte auf. Bei einem Ausführungsbeispiel wird ein Strahlteiler verwendet, um Schlitze bei dem Schritt **310** von der zweiten Seite aus teilweise zu bilden, und/oder wird verwendet, um ein Schlitz bei dem Schritt **320** von der ersten Seite aus abzuschließen, wobei der Strahlteiler unten mit Bezug auf [Fig. 8A](#) und [Fig. 8B](#) detaillierter erörtert ist. Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel wird die erste Seite **121** vor der zweiten Seite **122** dem Laserbearbeitungsprozess unterzogen, wodurch die Schritte **310** und **320** umgekehrt werden.

[0040] Wie es in [Fig. 5C](#) gezeigt ist, ist ein Schritt **400** ähnlich dem Schritt **200** von [Fig. 5A](#). Bei einem Schritt **410** werden zwei oder mehr Schlitze an dem Halbleiterstück oder Wafer simultan von der zweiten Seite **122** des Halbleiterstücks aus teilweise gebildet. Bei einem Schritt **420** werden diese zwei oder mehr Schlitze **126** simultan von der Vorderseite **121** aus vollständig gebildet. Die Schritte **410** und **420** werden wiederholt, bis jeder der Schlitze bei einem Schritt **430** gebildet ist. Bei einem Ausführungsbeispiel werden simultan durch eine Verwendung der unten erörterten Strahlteiler zwei oder mehr Schlitze bei dem Schritt **420** gebildet oder bei dem Schritt **410** teilweise gebildet. Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel wird die erste Seite **121** dem Laserbearbeitungsprozess vor der zweiten Seite **122** unterzogen, wodurch die Schritte **410** und **420** umgekehrt werden.

[0041] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel können die Konzepte von [Fig. 5B](#) und [Fig. 5C](#) kombiniert werden, derart, dass zwei oder mehr Schlitze simultan von der zweiten Seite **122** aus teilweise gebildet werden. Dann wird jeder Schlitz an dem Halbleiterstück von der zweiten Seite aus (in Gruppen von zwei oder mehr Schlitzen simultan) teilweise gebildet, bevor irgendwelche der Schlitze von der Vorderseite des Halbleiterstücks aus (in Gruppen von zwei oder mehr Schlitzen simultan) vollständig durch ein Laserbearbeiten gebildet werden. Bei einem alternativen

Ausführungsbeispiel wird die erste Seite **121** dem Laserbearbeitungsprozess vor der zweiten Seite **122** unterzogen.

[0042] Wie es in [Fig. 5D](#) gezeigt ist, sind Schritte **500**, **510** und **520** den Schritten **200**, **210** und **220** von [Fig. 5A](#) ähnlich, mit einigen Unterschieden wie folgt. Der Schlitz wird bei dem Schritt **510** von der zweiten Seite aus laserbearbeitet und dann bei dem Schritt **520** von der ersten Seite des Substrats aus laserbearbeitet. Nachdem der Schlitz von beiden Seiten aus laserbearbeitet ist, ist der Schlitz immer noch nicht vollständig gebildet, dahingehend, dass die Laserbearbeitung das Substrat **102** noch nicht vollständig durchbrochen hat, im Gegensatz dazu, dass derselbe nach dem Schritt **220** vollständig gebildet ist. Bei einem Schritt **530** wird der teilweise gebildete Schlitz erneut von der zweiten Seite aus laserbearbeitet, bis ein Durchbruch auftritt. Bei einem Schritt **540** werden die Schritte **510** bis **530** für jeden Schlitz an dem Halbleiterstück wiederholt. Als eine Alternative zu dem Schritt **540** wird der Schritt **510** für jeden teilweise gebildeten Schlitz an der zweiten Seite durchgeführt, wird dann der Schritt **520** für jeden teilweise gebildeten Schlitz an der ersten Seite durchgeführt und wird dann der Schritt **530** für jeden teilweise gebildeten Schlitz an der zweiten Seite durchgeführt, bis ein Durchbruch auftritt. Bei einem anderen alternativen Ausführungsbeispiel wird die erste Seite teilweise laserbearbeitet, wird dann die zweite Seite teilweise laserbearbeitet und tritt dann ein letztendlicher Durchbruch von der ersten Seite aus auf.

[0043] Wie es in [Fig. 5E](#) gezeigt ist, sind Schritte **600** und **610** dem Schritt **200** und **210** ähnlich, mit einigen Unterschieden wie folgt. Nachdem der Schritt **610** durchgeführt ist, bricht die Laserbearbeitung von der zweiten Seite aus ganz bis zu der ersten Oberfläche des Substrats durch. Bei einem Schritt **620** wird der Schritt **610** für jeden Schlitz **126** wiederholt, der in dem Halbleiterstück gebildet werden soll. Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel, das nicht gezeigt ist, wird die Barrierschicht **112** mit dem Dünnfilmstapel **120** über der ersten Seite **121** des Substrats bei dem Schritt **600** gebildet. Bei einem anderen alternativen Ausführungsbeispiel wird der Schritt **600** durchgeführt, nachdem der Schritt **620** abgeschlossen ist. Bei einem anderen alternativen Ausführungsbeispiel wird die UV-Laserbearbeitung des Schlitzes von der ersten Seite **121** des Substrats aus vollständig durchgeführt.

[0044] [Fig. 6E](#) bis [Fig. 6L](#) stellen verschiedene Ausführungsbeispiele eines Schlitzprofils in einem Substrat **102** dar. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist das Schlitzprofil nicht maßstabsgetreu. Im Allgemeinen ist das Schlitzprofil schmaler als abgebildet. Die Schlitzprofile sind für eine einfache Betrachtung der Unterschiede bei den Schlitzprofilen bei diesen Zeichnungen breiter als allgemein abge-

bildet. Das Substrat **102** ist bei diesen Ausführungsbeispielen als eine aktive Schicht (oder eine Schicht mit Mikroelektronik) **120** an einer ersten Seite des Substrats aufweisend dargestellt. Bei alternativen Ausführungsbeispielen befindet sich die aktive Schicht (befinden sich die aktiven Schichten) **120** an der zweiten Seite des Substrats. Bei jedem dieser gezeigten Ausführungsbeispiele ist das Schlitzprofil durch einen der oben beschriebenen Laserbearbeitungsprozesse gebildet, einschließlich eines bidirektionalen Laserbearbeitungsprozesses.

[0045] [Fig. 6E](#) stellt ein Ausführungsbeispiel des geschlitzten Substrats **102** dar, das gestufte Schlitzwände **128** aufweist. Die Schlitzwände **128** von [Fig. 6E](#) weisen variierende Querschnittsbereiche auf, die sich von der zweiten Oberfläche **122** zu der ersten Oberfläche **121** inkremental verringern. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel gibt es zwei Stufen und drei veränderte Querschnittsbereiche, die drei Schlitzbreiten *a*, *b* und *c* zugeordnet sind. Die Schlitzbreite *a* ist benachbart zu der ersten Oberfläche **121**, die Schlitzbreite *c* ist benachbart zu der zweiten Oberfläche **122** und die Schlitzbreite *b* liegt zwischen *a* und *c*. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel beträgt die Schlitzbreite *a* 210 Mikrometer, beträgt die Schlitzbreite *b* 220 Mikrometer und beträgt die Schlitzbreite *c* 260 Mikrometer. Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel liegt die Schlitzbreite nahe der ersten Oberfläche in einem Bereich von etwa 5 bis 100 Mikrometern und liegt die Schlitzbreite nahe der zweiten Oberfläche in einem Bereich von etwa 100 bis 300 Mikrometern, wobei die Schlitzbreite nahe der zweiten Oberfläche größer als diese der ersten Oberfläche ist. Insbesondere ist die Breite nahe der zweiten Oberfläche zumindest 10 größer als diese der ersten Oberfläche. Zum Beispiel beträgt die Schlitzbreite nahe der zweiten Oberfläche etwa 140 Mikrometer, während die Schlitzbreite nahe der ersten Oberfläche etwa 50 Mikrometer beträgt.

[0046] Bei dem in [Fig. 6E](#) gezeigten Ausführungsbeispiel wird das Schlitzprofil wie folgt gebildet: die Schlitzbreiten *b* und *c* werden von der zweiten Seite **122** aus gebildet, dann wird die Schlitzbreite *a* von der ersten Seite **121** aus gebildet. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel wird jede der Schlitzbreiten nacheinander von der zweiten Seite **122** aus gebildet. Bei einem ersten Ausführungsbeispiel wird die Schlitzbreite *a* gebildet, dann die Schlitzbreite *b*, dann die Schlitzbreite *c*. Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel wird die Schlitzbreite *c* gebildet, dann die Schlitzbreite *b*, dann die Schlitzbreite *a*. Es werden jedoch verschiedene andere Ausführungsbeispiele betrachtet, einschließlich eines Bildens der Schlitzbreite *b*, dann der Schlitzbreite *c*, dann der Schlitzbreite *a*, insbesondere bei einer Verwendung bidirektionaler Laserbearbeitungsprozesse.

[0047] Die gestuften Schlitzwände des in [Fig. 6E](#)

gezeigten Ausführungsbeispiels werden durch Führen des Laserstrahls in einem bestimmten Muster über die bestimmte Seite des Substrats gebildet. [Fig. 7E](#) stellt z. B. ein Ausführungsbeispiel dar, bei dem Laserstrahlen in einem Mehrfachausstechmuster **156** geführt werden, um den Schlitz **126** zu bilden. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind die geführten Laserstrahlen im Wesentlichen konzentrische elliptische Formen: Formen *m*, *n* und *p*, wobei die Form *m* die kleinste elliptische Form ist und die Form *p* die größte elliptische Form ist, wie es in [Fig. 7E](#) gezeigt ist. Bei dem mit Bezug auf [Fig. 6E](#) beschriebenen Ausführungsbeispiel werden die Formen *n* und *p* zuerst geführt, dann wird die Form *m* geführt, wobei die Form *m* der Schlitzbreite *a* entspricht, die Form *n* der Schlitzbreite *b* entspricht und die Form *p* der Schlitzbreite *c* entspricht. Andere Reihenfolgen eines Führens werden bei anderen Ausführungsbeispielen dieser Erfindung betrachtet. Zusätzliche Ausführungsbeispiele von Laserstrahlführungsmustern sind mit Bezug auf [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7F](#) dargestellt und beschrieben.

[0048] [Fig. 6F](#) stellt ein Ausführungsbeispiel des geschlitzten Substrats **102** dar, das im Wesentlichen sich verjüngende und geglättete Schlitzwände **125** aufweist. Die Schlitzwände **125** von [Fig. 6F](#) weisen variierende Querschnittsbereiche auf und verringern sich inkremental von der zweiten Oberfläche **122** zu der ersten Oberfläche **121**. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel verschmälert sich das Schlitzprofil, wenn sich das Schlitzprofil der ersten Oberfläche **121** nähert, und erweitert sich dann etwas zu der ersten Oberfläche **121**. Weil sich bei diesem Ausführungsbeispiel nahe der ersten Oberfläche das Schlitzprofil verschmälert und erweitert, gibt es eine nicht symmetrische Sanduhrform mit Bezug auf die erste und die zweite Oberfläche des Substrats. Die Schlitzbreite benachbart zu der ersten Oberfläche ist als *a* etikettiert. Die Schlitzbreite benachbart zu der zweiten Oberfläche ist als *c* etikettiert. Die Schlitzbreiten *a* und *c* von [Fig. 6F](#) sind den Schlitzbreiten von [Fig. 6E](#) ähnlich.

[0049] Bei einem Ausführungsbeispiel werden die Schlitzwände **125** durch das Verfahren gebildet, das mit Bezug auf [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) beschrieben ist. Wenn das Substrat von der zweiten Seite aus laserbearbeitet wird und dann von der ersten Seite aus laserbearbeitet wird, weist der Durchbruchsbereich des Schlitzes den schmaleren Querschnittsbereich auf, der oben beschrieben und in [Fig. 6F](#) gezeigt ist.

[0050] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel werden die Schlitzwände **125** von [Fig. 6F](#) durch zuerst ein Bilden des Schlitzprofils gebildet, das in [Fig. 6E](#) gezeigt ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel werden dann die gestuften Schlitzwände **128** geglättet, um die sich verjüngenden Wände **125** von [Fig. 6F](#) zu bilden. Verfahren zum Glätten sind detaillierter unten erörtert. Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel

weisen die geglätteten Wände eine leichte Krümmung auf. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel verjüngt sich das Schlitzprofil von der zweiten Oberfläche **122** zu der ersten Oberfläche **121** ohne den schmalen Querschnittsbereich in dem Schlitzprofil.

[0051] [Fig. 6G](#) stellt ein Ausführungsbeispiel des Schlitzprofils dar, das im Wesentlichen eine Form vom Sanduhrtyp aufweist, wobei der sich verschmälernde Abschnitt **144** nahe der Mitte gebildet wird, wenn der Durchbruch in dem Silizium auftritt. Der Schlitz weist sich verjüngende Wände **125** auf, die sich zu der Mitte des Schlitzes hin von sowohl der ersten als auch der zweiten Oberfläche des Substrats **102** aus verjüngen. Dieses Ausführungsbeispiel wird im Allgemeinen mit der bidirektionalen Fluidschlitzbildung gebildet, die oben mit Bezug auf das Flussdiagramm [Fig. 5A](#) beschrieben ist.

[0052] [Fig. 6H](#) stellt ein Ausführungsbeispiel des Schlitzprofils dar, das im Wesentlichen gerade Schlitzwände aufweist. Diese Schlitzwände werden unter Verwendung der unten beschriebenen Glättungsverfahren gebildet. Bei einem Ausführungsbeispiel werden diese Wände durch eines der oben beschriebenen Verfahren gebildet.

[0053] [Fig. 6I](#) stellt ein Ausführungsbeispiel des Schlitzprofils dar, das eine zusammengesetzte Schlitzform aufweist. [Fig. 6I](#) stellt ein Schlitzprofil dar, das eine Form vom Sanduhrtyp mit einer Gegenbohrung in der zweiten Oberfläche aufweist. Das Ausführungsbeispiel des Schlitzprofils von [Fig. 6I](#) weist Wandoberflächen **125** auf, die sich von jeder Substratoberfläche aus verjüngen, sowie Wandoberflächen **128**, die gestuft sind, d. h. orthogonal zu der Richtung des Laserstrahls, wobei die Gegenbohrung gebildet wird. Bei einem Ausführungsbeispiel werden diese Wände **125** und **128** durch zumindest eines der hierin beschriebenen Verfahren gebildet.

[0054] [Fig. 6J](#) stellt ein anderes Ausführungsbeispiel des Schlitzprofils dar, das eine zusammengesetzte Schlitzform aufweist. [Fig. 6J](#) stellt ein Schlitzprofil mit einer Gegenbohrung dar, die eine gestufte Wand **128** aufweist. [Fig. 6J](#) ist ähnlich dem mit Bezug auf [Fig. 6E](#) beschriebenen Ausführungsbeispiel, außer dass [Fig. 6J](#) lediglich eine Stufe in dem Schlitzprofil aufweist. Die Verfahren zum Bilden von Schlitzwänden die hierin beschrieben sind, gelten für dieses aktuelle, in [Fig. 6J](#) gezeigte Ausführungsbeispiel, wenn geeignet.

[0055] [Fig. 6K](#) stellt ein Ausführungsbeispiel des Schlitzprofils dar, das eine zusammengesetzte Schlitzform aufweist. [Fig. 6K](#) stellt ein Schlitzprofil dar, das eine Form vom Sanduhrtyp mit einer versetzten Gegenbohrung aufweist. Das Ausführungsbeispiel des Schlitzprofils von [Fig. 6K](#) weist eine

Schlitzwand mit sich verjüngenden Oberflächen **125**, wie es mit Bezug auf [Fig. 6G](#) gezeigt und beschrieben ist, sowie eine Schlitzwand mit einer gestuften Oberfläche **128** und einer sich verjüngenden Oberfläche **125** auf, wie es mit Bezug auf [Fig. 6I](#) gezeigt und beschrieben ist. Bei einem Ausführungsbeispiel werden diese Wände durch zumindest eines der hierin beschriebenen Verfahren gebildet.

[0056] [Fig. 6L](#) stellt ein anderes Ausführungsbeispiel des Schlitzprofils dar, das eine zusammengesetzte Schlitzform aufweist. [Fig. 6L](#) stellt ein Schlitzprofil mit versetzten Gegenbohrungen dar, die gestufte Wände **128** aufweisen. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel verschieben sich die gestuften Wände an jeder Seite des Schlitzes in die gleiche Richtung, derart, dass der Querschnittsbereich an im Wesentlichen allen Punkten entlang des Schlitzprofils im Wesentlichen gleich bleibt. Bei einem Ausführungsbeispiel werden diese Wände durch zumindest eines der hierin beschriebenen Verfahren gebildet.

[0057] [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7F](#) stellen verschiedene Ausführungsbeispiele von Laserstrahlmustern dar, einschließlich einer Laserstrahlspurbeabstandung. Die Laserstrahlen werden bei dem Bilden der geschlitzten Substrate der vorliegenden Erfindung zu einem Schlitzbereich an entweder der ersten Oberfläche **121** oder der zweiten Oberfläche **122** (oder beiden) hin gerichtet. Die angewandten Laserstrahlmuster bestimmen die Schlitzbereiche und somit die Schlitzformen an den Substratoberflächen. Bei einem speziellen Ausführungsbeispiel wird ein Laserstrahlmuster wiederholt bei dem Bilden des Fluidmerkmals auf das Substrat angewandt. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel werden mehrere Laserstrahlmuster bei dem Bilden des Fluidmerkmals auf das Substrat angewandt. Bei einem ersten Ausführungsbeispiel beträgt der Schlitzbereich an jeder Seite/Oberfläche des Substrats etwa 260 Mikrometer \times 8480 Mikrometer. Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel beträgt der Schlitzbereich an der ersten Oberfläche etwa 210 Mikrometer \times 8480 Mikrometer und an der zweiten Oberfläche etwa 260 Mikrometer \times 8480 Mikrometer. Bei alternativen Ausführungsbeispielen sind die Schlitzbreiten nur 5 bis 10 Mikrometer schmal und 300 Mikrometer breit. Bei spezielleren Ausführungsbeispielen betragen die Schlitzbreiten 30–50 Mikrometer oder 80 Mikrometer, abhängig von der Anwendung des Fluidschlitzes. Bei den meisten Ausführungsbeispielen erhöht ein Aufweisen eines niedrigen Seitenverhältnisses die Laserbearbeitungsgeschwindigkeit aufgrund von einer Schuttstörung, die Merkmalen mit hohem Seitenverhältnis zugeordnet ist. Bei einem speziellen Ausführungsbeispiel, bei dem Schlitzbreiten so schmal wie 5–10 Mikrometer erwünscht sind, ist eine Schuttansammlung entlang der Schlitzwände viel größer als bei Schlitzbreiten von mehr als etwa 80 Mikrometern.

[0058] **Fig. 7A** stellt ein Ausführungsbeispiel dar, bei dem Laserstrahlen in einem Raster oder Serpentinmuster **150** geführt werden, um den Schlitz **126** in dem Druckkopf **14** zu bilden. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel werden die Laserstrahlen beginnend an einem Ende des Schlitzbereichs geführt, dann in die longitudinale Richtung hin und her geführt, bis das gegenüberliegende longitudinale Ende des Schlitzes erreicht ist. Wie es bei diesem Ausführungsbeispiel gezeigt ist, ist die Beabstandung zwischen benachbarten Laserstrahlspuren im Wesentlichen konstant.

[0059] **Fig. 7B** stellt ein Ausführungsbeispiel dar, bei dem Laserstrahlen in einem im Wesentlichen spiralförmigen Muster **152** geführt werden, um den Schlitz **126** zu bilden. Die Laserstrahlen werden beginnend bei der Mitte des Schlitzes geführt und bewegen sich in einem kreisförmigen Muster, das sich graduell größtmäßig erhöht, um die Form des Schlitzes **126** zu bilden. Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel werden die Laserstrahlen beginnend entlang der Kanten der erwünschten Schlitzform und sich größtmäßig graduell verringernd geführt, während sich dieselben in einem im Wesentlichen kreisförmigen Muster bewegen.

[0060] **Fig. 7C** stellt ein Ausführungsbeispiel dar, bei dem Laserstrahlen in einem Ausstechmuster **154** geführt werden, um den Schlitz **126** zu bilden. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel werden die Laserstrahlen entlang der Kanten der erwünschten Schlitzform des Schlitzes **126** geführt.

[0061] **Fig. 7D** stellt ein Ausführungsbeispiel dar, bei dem die Laserstrahlen in einem Ausstechmuster **154**, wie es mit Bezug auf **Fig. 7C** beschrieben und gezeigt ist, sowie dem Rastermuster **150**, wie es mit Bezug auf **Fig. 7A** beschrieben und gezeigt ist, geführt werden, um den Schlitz **126** zu bilden. Es wird entweder das Muster **150** oder **154** zuerst geführt.

[0062] Das Ausführungsbeispiel von **Fig. 7E** zum Bilden eines Schlitzes unter Verwendung des Mehrfachausstechlaserstrahlmusters **156** wurde vorhergehend beschrieben. Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel gibt es eine Mehrzahl von Spuren in dem Ausstechlaserstrahlmuster, wie beispielsweise zwei Spuren oder so viele wie praktisch möglich. Für Ausführungsbeispiele, wie beispielsweise diese, die in **Fig. 6E** gezeigt sind, werden die Laserstrahlspuren sukzessive kleiner (oder größer) und werden aufeinanderfolgende Laserstrahlen zu einer geringeren (oder höheren) Tiefe in dem Substrat gerichtet. Wenn sich die Anzahl von aufeinanderfolgenden Laserstrahlspuren (die in Größe und Tiefe etwas von der letzten variieren) erhöht, werden die Schlitzwände zunehmend glatter.

[0063] **Fig. 7F** stellt ein Ausführungsbeispiel dar,

bei dem Laserstrahlen in einem modifizierten Fenstermuster **158** geführt werden, um den Schlitz **126** zu bilden. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel wird der Laserstrahl in einer geschlossenen Schleife innerhalb der Kanten der erwünschten Schlitzform des Schlitzes **126** geführt. Bei einem ersten Ausführungsbeispiel ist jede aufeinanderfolgende Laserstrahlspur größer als die vorhergehende geschlossene Schleife. Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel ist jede aufeinanderfolgende Laserstrahlspur kleiner als die vorhergehende geschlossene Schleife. Wie es gezeigt ist, wird jedoch die Beabstandung zwischen aufeinanderfolgenden Spuren außer nahe dem Ende des Schlitzes im Wesentlichen konstant beibehalten. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel überlappt sich die geschlossene Schleife jeder aufeinanderfolgenden Laserstrahlspur an jedem Schlitzende. Bei diesem Ausführungsbeispiel gibt es 4 geschlossene Schleifen, die sich an jedem Schlitzende überlappen. Bei alternativen Ausführungsbeispielen gibt es zumindest 2 geschlossene Schleifen.

[0064] Verschiedene Ausführungsbeispiele von Schlitzprofilen, die Stufen, sich verjüngende Wände, glatte Wände und Gegenbohrungen kombinieren, werden bei der vorliegenden Erfindung betrachtet.

[0065] Bei alternativen Ausführungsbeispielen oder Ausführungsbeispielen zusätzlich zu dem Laserstrahlspurmuster werden die gestuften, sich verjüngenden, glatten oder anderweitig variierten Schlitzwände der Ausführungsbeispiele, die in **Fig. 6A** bis **Fig. 6L** gezeigt sind, durch ein Variieren des Laserprozesses, der Spur oder der Laserstrahlquelle gebildet. Es gibt mehrere Verfahren zum Variieren des Laserstrahls oder des Laserprozesses, die bei Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können. Einige der Verfahren umfassen ein Variieren des Laserstrahldurchmessers durch ein Bewegen des Laserstrahlfokus in eine z-Richtung (zu dem Substrat hin oder von demselben weg) und ein Einstellen der UV-Lasermaschine. Zum Beispiel kann der Laserstrahldurchmesser unter Verwendung eines Strahldehners variiert werden. Bei einem speziellen Ausführungsbeispiel ist der Strahldehner (Teleskop) Galileisch, wobei es keinen Fokus gibt, der bei mit hoher Energie gepulsten Lasern zu einem Luftdurchbruch führen kann. Alternativ werden bei niedrigeren Energien Keplersche Teleskope verwendet. Für mehr Informationen über Strahldehner, die bei dieser Erfindung verwendet werden können, siehe <http://www.mellesgriot.com/pdf/002.10-2.12.pdf>. Eine Abtastgeschwindigkeit, eine Pulsbreite, eine Wiederholrate, eine Fokussierlinse, eine Laserleistung, etc. können an der UV-Lasermaschine eingestellt werden, um den Laserstrahl oder Laserprozess zu variieren. Zum Beispiel kann die Laserleistung bei oder nahe einem Oberflächendurchbruch reduziert werden, um eine Beschädigung, einschließlich eines Splitters und Reißens, an der Substratoberfläche zu

minimieren (besonders zum Reduzieren einer Beschädigung an Schlitzkanten in der Oberfläche mit aktiven Schichten). Bei einem anderen Beispiel wird der Laserstrahl defokussiert, um den Schlitz und das Substrat zu reinigen.

[0066] [Fig. 8A](#) bis [Fig. 8B](#) stellen verschiedene Ausführungsbeispiele optischer Schemata zum Teilen des Laserstrahls **140** dar. Bei diesen dargestellten Ausführungsbeispielen kommt der Laserstrahl **140** von der Laserquelle **139**. Der Hochenergiepuls-laserstrahl **140** wird in eine Anzahl von kleinen Strahlen geteilt, derart, dass die Energie jedes kleinen Strahls eine optimale Energie aufweist, und somit eine optimale Ätztiefe. Bei den gezeigten Ausführungsbeispielen werden Erhöhungen einer Laserleistung verwendet, um zwei Strahlen mit optimaleren Bedingungen zu erzeugen. [Fig. 8A](#) stellt ein Teilen des Strahls unter Verwendung herkömmlicher Optiken dar, während [Fig. 8B](#) ein alternatives Ausführungsbeispiel eines Teilens des Strahls unter Verwendung von Beugungsoptiken darstellt. Vorausgesetzt, dass genügend große Optiken verwendet werden, sind Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung auf Strahlen einer jeglichen Größe anwendbar. Bei anderen Ausführungsbeispielen werden mehr als zwei Strahlen oder kleine Strahlen, die die optimale Energie aufweisen, bei der vorliegenden Erfindung betrachtet.

[0067] [Fig. 8A](#) stellt das Ausführungsbeispiel dar, bei dem der Laserstrahl **140** einen 50/50-Strahlteiler **180** trifft, bei dem sich der Strahl in zwei kleine Strahlen aufteilt. Ein erster der kleinen Strahlen läuft in die gleiche Richtung weiter und wird auf ein Erreichen einer ersten Fokussierlinse **184** hin zu dem Druckkopf **14** (oder Substrat) zu einem Laserbearbeiten des Substrats fokussiert. Ein zweiter der kleinen Strahlen wird in eine senkrechte Richtung abgelenkt und der kleine Strahl trifft nachfolgend einen Spiegel **182** und wird zu einer zweiten Fokussierlinse **184** hin abgelenkt, um benachbart zu dem ersten der kleinen Strahlen zu dem Druckkopf (oder Substrat) fokussiert zu werden. Auf diese Weise können zwei Laserstrahlen zwei Schlitze an einem Substrat simultan bearbeiten.

[0068] [Fig. 8B](#) stellt ein Teilen des Strahls unter Verwendung von Beugungsoptiken dar. [Fig. 8B](#) stellt das Ausführungsbeispiel dar, bei dem der Laserstrahl **140** ein Beugungselement **186** trifft, wo der Strahl sich in zwei kleine Strahlen teilt. Jeder der kleinen Strahlen läuft im Wesentlichen in die gleiche Richtung zu dem Substrat hin zu einer Fokussierlinse **184** weiter. Die kleinen Laserstrahlen werden dann zu Schlitzbereichen oder Bereichen, die laserbearbeitet werden sollen, an dem Substrat oder Druckkopf **14** fokussiert. Auf diese alternative Weise können zwei Laserstrahlen zwei Schlitze oder zwei Bereiche an einem Substrat simultan bearbeiten.

[0069] [Fig. 9A](#) bis [Fig. 9B](#) stellen ein Ausführungsbeispiel von Schritten dar, um den Laserstrahlbrennpunkt in die z-Richtung zu bewegen. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird die Laserquelle **139** des Laserstrahls **140** von einer ersten Position relativ zu dem Substrat **102**, in [Fig. 9A](#) gezeigt, zu einer näheren Position relativ zu dem Substrat **102**, in [Fig. 9B](#) gezeigt, bewegt. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel erhöht sich der Abstand zwischen der Laserquelle und dem Substrat, das geätzt wird, wenn der Laserstrahl durch das Substrat hindurch bearbeitet und sich die Ätztiefe erhöht. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel wird folglich der Fokus des Laserstrahls nichtoptimal geändert (aufgrund einer Strahldämpfung) und/oder die Menge an Schutt **149** erhöht sich. Wie es bei dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 9B](#) gezeigt ist, bleibt der Fokus des Laserstrahls im Wesentlichen durchweg gleich, falls die Laserquelle mit der Tiefe der Ätzung bewegt wird. Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel wird der Laserstrahlbrennpunkt bei der sich erhöhenden Tiefe angepasst.

[0070] [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10B](#) stellen Ausführungsbeispiele dar, die eine Laserstrahlleistung oder -intensität über einem Laserstrahlquerschnitt und dem Profil des nachfolgend abgetragenen Materials zeigen. [Fig. 10A](#) ist ein Ausführungsbeispiel, das einen Laserstrahl **700** mit einer Gaußschen Verteilung einer Laserintensität zeigt. In [Fig. 10A](#) ist eine Gauß-Laserleistungs- oder Intensitätskurve **701** über dem Strahlquerschnitt gezeigt. Der Laserstrahl **700** berührt eine Oberfläche **702** des Materials im Wesentlichen innerhalb des Bereichs, der durch die gestrichelten Linien markiert ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel versieht der Laserstrahl **700** das abgetragene Material mit einer gekrümmten Oberfläche **702**. Ein mittlerer Bereich **704** des Materials wird aufgrund der größeren Intensität des Laserstrahls in der Mitte zu einem größeren Ausmaß als Kanten- oder Peripheriebereiche abgetragen. Bei einigen Ausführungsbeispielen ist die gekrümmte Oberfläche **702** eventuell aufgrund der unebenen Topologie nicht optimal.

[0071] [Fig. 10B](#) stellt ein Ausführungsbeispiel eines Laserstrahls mit einer einheitlichen Intensität für die Laserstrahlleistung, oder „Zylinderhut“-Laserstrahlen **800** dar. In [Fig. 10B](#) ist eine Kurve **801** einer einheitlichen Laserleistung oder -intensität über dem Strahlquerschnitt gezeigt. Bei diesem Ausführungsbeispiel berührt der Laserstrahl **800** die Oberfläche **802** im Wesentlichen innerhalb der gestrichelten Linien in [Fig. 10B](#) an einer Oberfläche **804**. Obwohl der Laserstrahl nicht zweckmäßig zu Bereichen benachbart zu der Oberfläche **804** hin gerichtet wird, auch als Kanten- oder Peripheriebereiche **806** bekannt, sind diese Ausführungsbeispiele **806** bei einigen Ausführungsbeispielen beeinflusst. Wie es bei diesem Ausführungsbeispiel gezeigt ist, versieht der Laserstrahl **800**

das abgetragene Material mit einer im Wesentlichen flachen Oberfläche **804** in dem Bereich, den der Laserstrahl **800** direkt berührt, und einer gekrümmten Oberfläche entlang der Peripherie **806**. Aufgrund der einheitlichen Intensität des Laserstrahls im Wesentlichen entlang dem gesamten Querschnitt wird der Bereich **804** im Wesentlichen einheitlich, d. h. flach, abgetragen. Bei einigen Ausführungsbeispielen wird, der Strahl mit einheitlicher Intensität unter Verwendung (a) eines Strahlerweiterungsteleskops, einer Maske und einer Bilderzeugungslinse, (b) optischen Beugungselementen und/oder (c) Strahlhomogenisierereinheiten (wie beispielsweise segmentierte Spiegel) erreicht.

[0072] Es ist deshalb klar, dass diese Erfindung anderweitig praktiziert werden kann, als es spezifisch beschrieben ist. Zum Beispiel ist die vorliegende Erfindung nicht auf thermisch betätigte Druckköpfe begrenzt, sondern kann ferner beispielsweise piezoelektrisch aktivierte Druckköpfe und andere mechanisch betätigte Druckköpfe sowie andere Anwendungen umfassen, die Mikrofluidkanäle durch ein Substrat hindurch aufweisen. Verfahren zum Bilden von Mikrofluidkanälen, die oben beschrieben sind, können auch auf mikroelektromechanische Systeme (MEMS = Micro-Electromechanical Systems) angewandt werden, die Speichervorrichtungen mit atomarer Auflösung, Brennstoffzellen, Sensoren und Anzeigen umfassen. Somit sollten die vorliegenden Ausführungsbeispiele der Erfindung in jeder Hinsicht als den Schutzbereich der Erfindung darstellend und nicht einschränkend betrachtet werden, der durch die beigefügten Ansprüche und nicht die vorhergehende Beschreibung angegeben sein soll. Wenn die Ansprüche „ein“ oder „ein erstes“ Element des Äquivalents derselben rezitieren, sollte klar sein, dass derartige Ansprüche einen Einschluss von einem oder mehreren derartiger Elemente umfassen, wobei zwei oder mehr derartige Elemente weder erforderlich noch ausgeschlossen sind.

Patentansprüche

1. Ein Verfahren zum Laserbearbeiten eines Fluidkanals, das folgende Schritte aufweist:
Richten eines UV-Laserstrahls zu einem Substrat hin, um einen Fluidkanal durch das Substrat zu bilden,
wobei das Substrat eine erste Oberfläche mit einem ersten Kanalbereich und eine gegenüberliegende zweite Oberfläche mit einem zweiten Kanalbereich aufweist,
wobei der Laserstrahl für ein bidirektionales Laserbearbeiten des Fluidkanals zu dem ersten und dem zweiten Kanalbereich hin gerichtet wird,
wobei das bidirektionale Bearbeiten eine Verunreinigung auf die aktiven Schichten begrenzt, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Oberfläche aktive Schichten aufweist und die zweite Oberfläche vor der

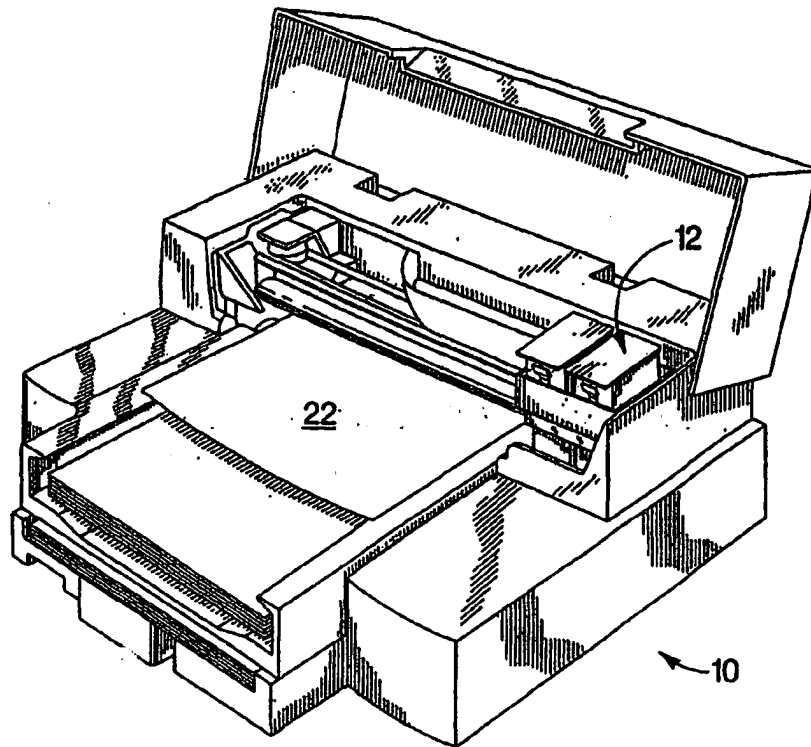
ersten Oberfläche laserbearbeitet wird.

2. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die aktiven Schichten Mikroelektronik sind.

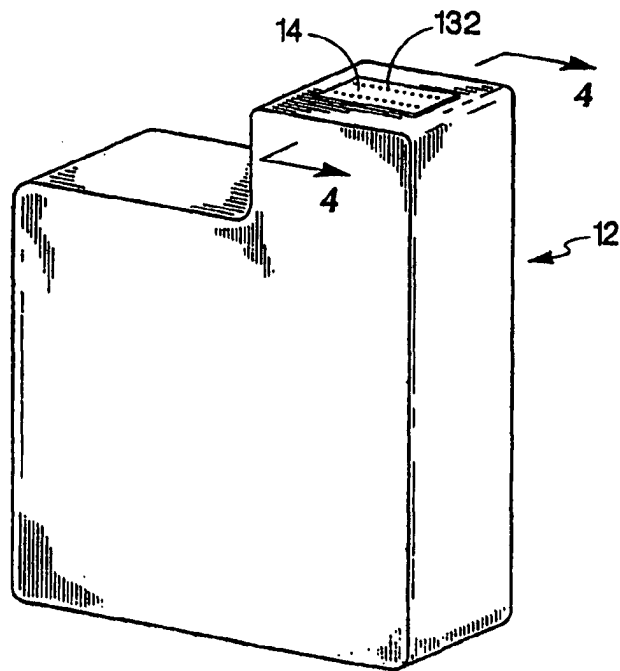
3. Das Verfahren gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei dem ein Großteil des Fluidkanals aus der zweiten Oberfläche laserbearbeitet wird.

Es folgen 14 Blatt Zeichnungen

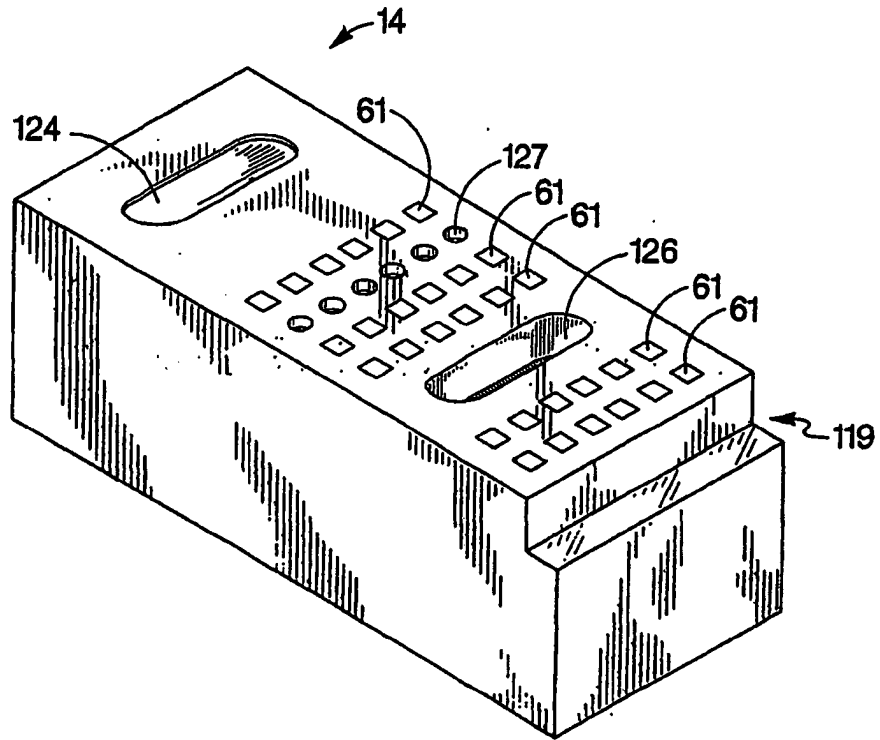
Anhängende Zeichnungen



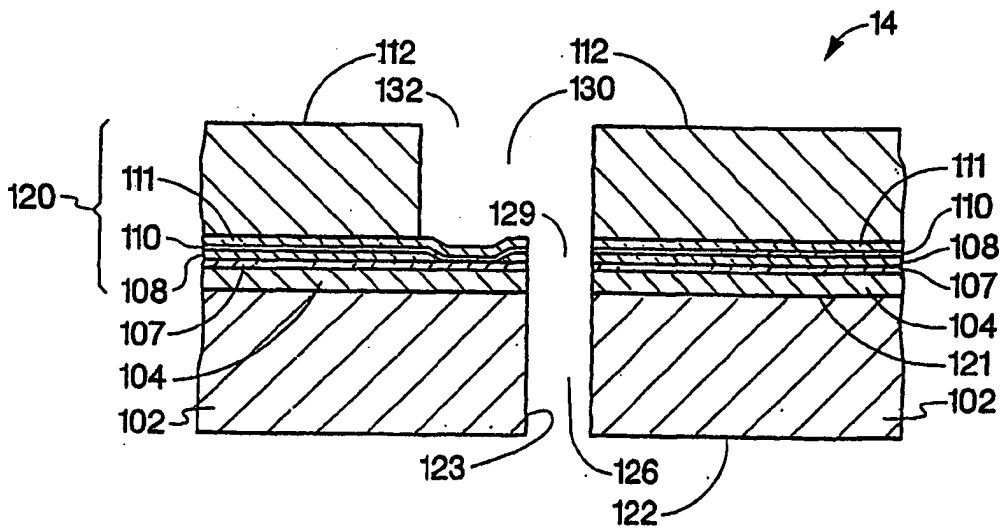
FIGUR 1



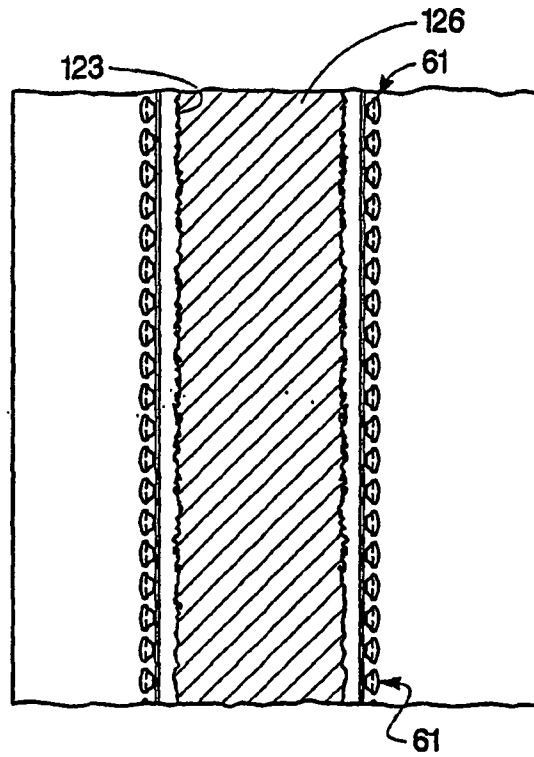
FIGUR 2



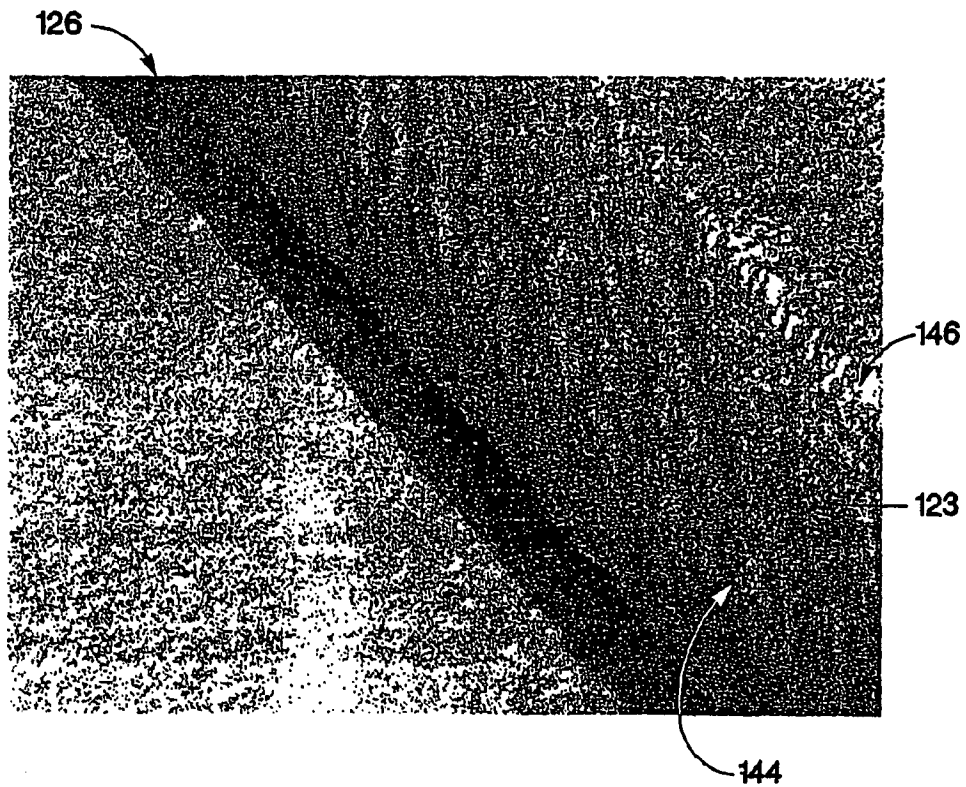
FIGUR 3



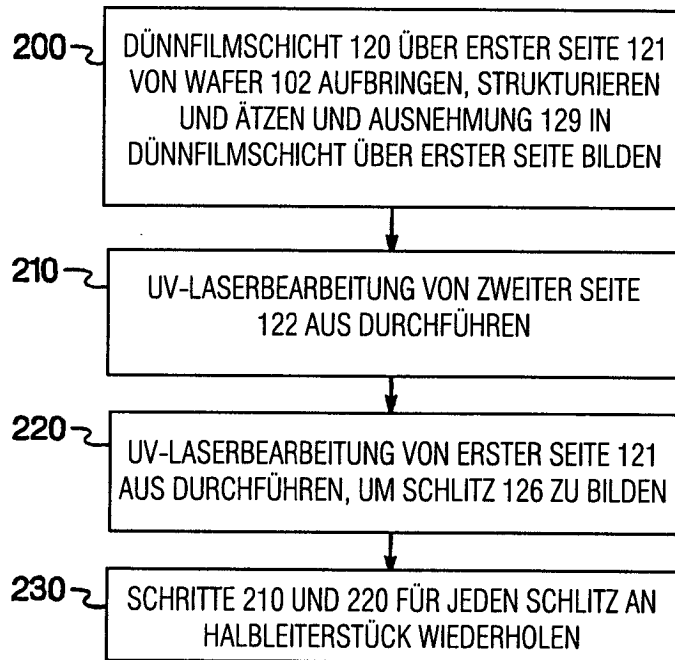
FIGUR 4



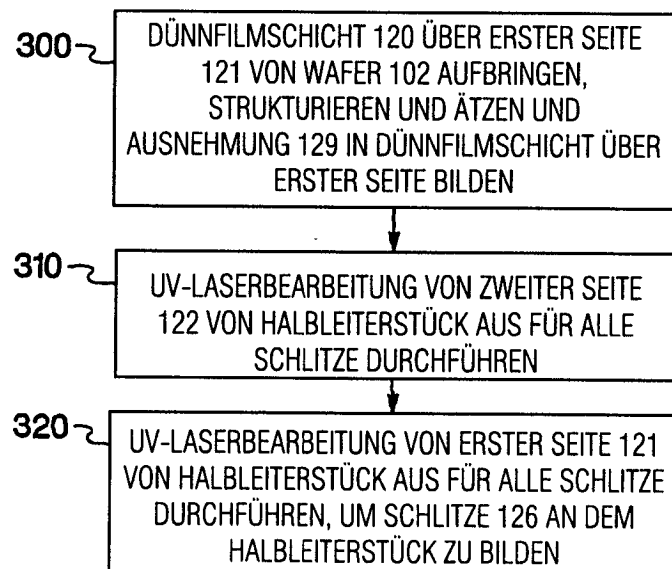
FIGUR 4A



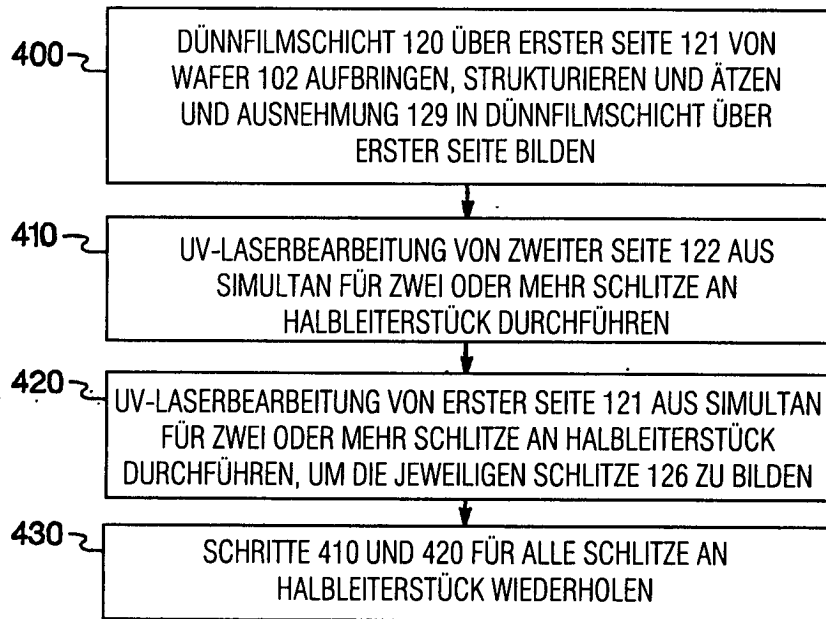
FIGUR 4B



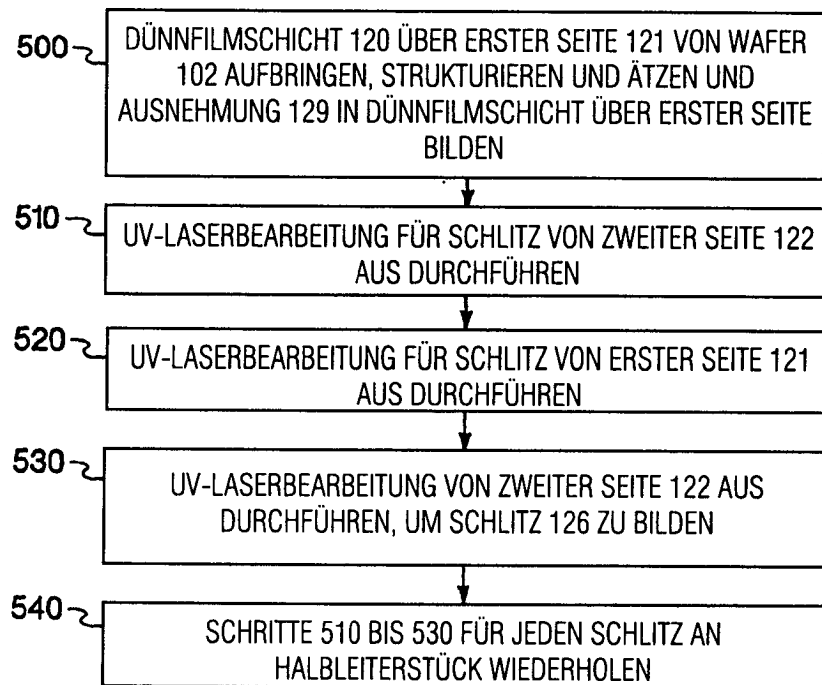
FIGUR 5A



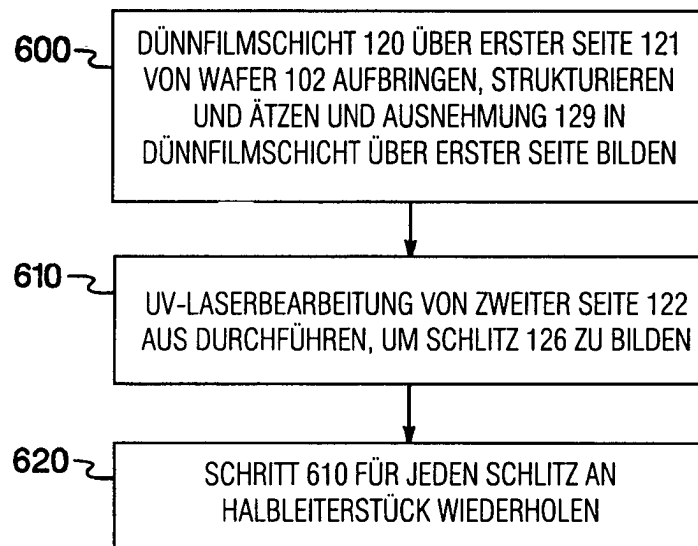
FIGUR 5B



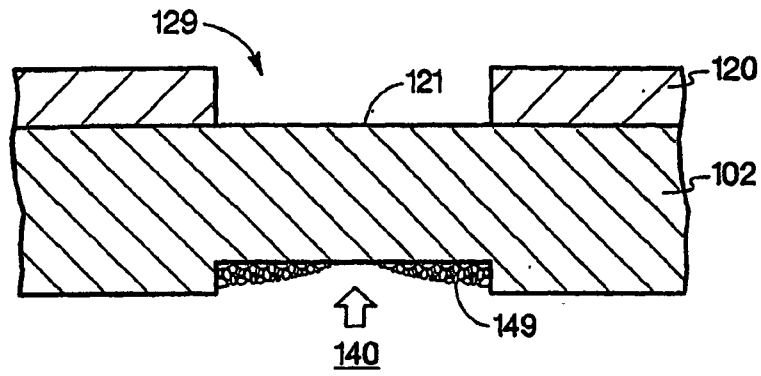
FIGUR 5C



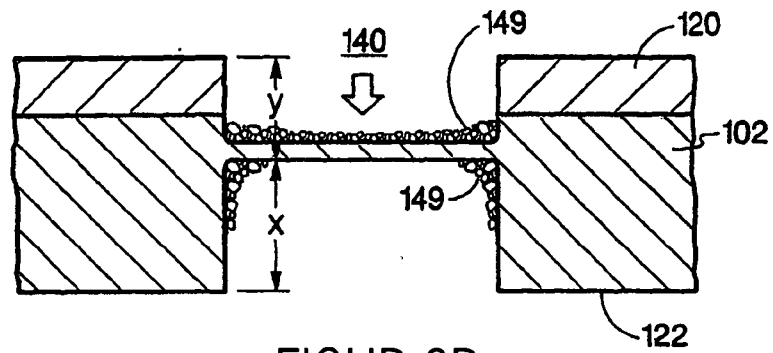
FIGUR 5D



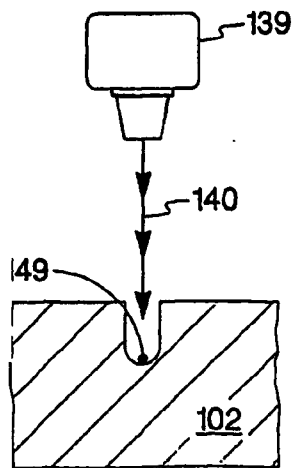
FIGUR 5E



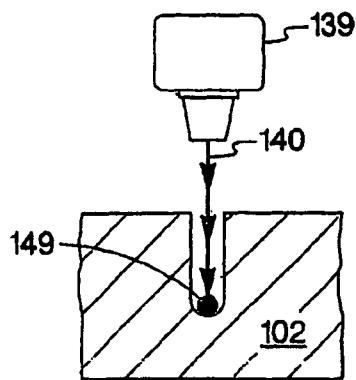
FIGUR 6A



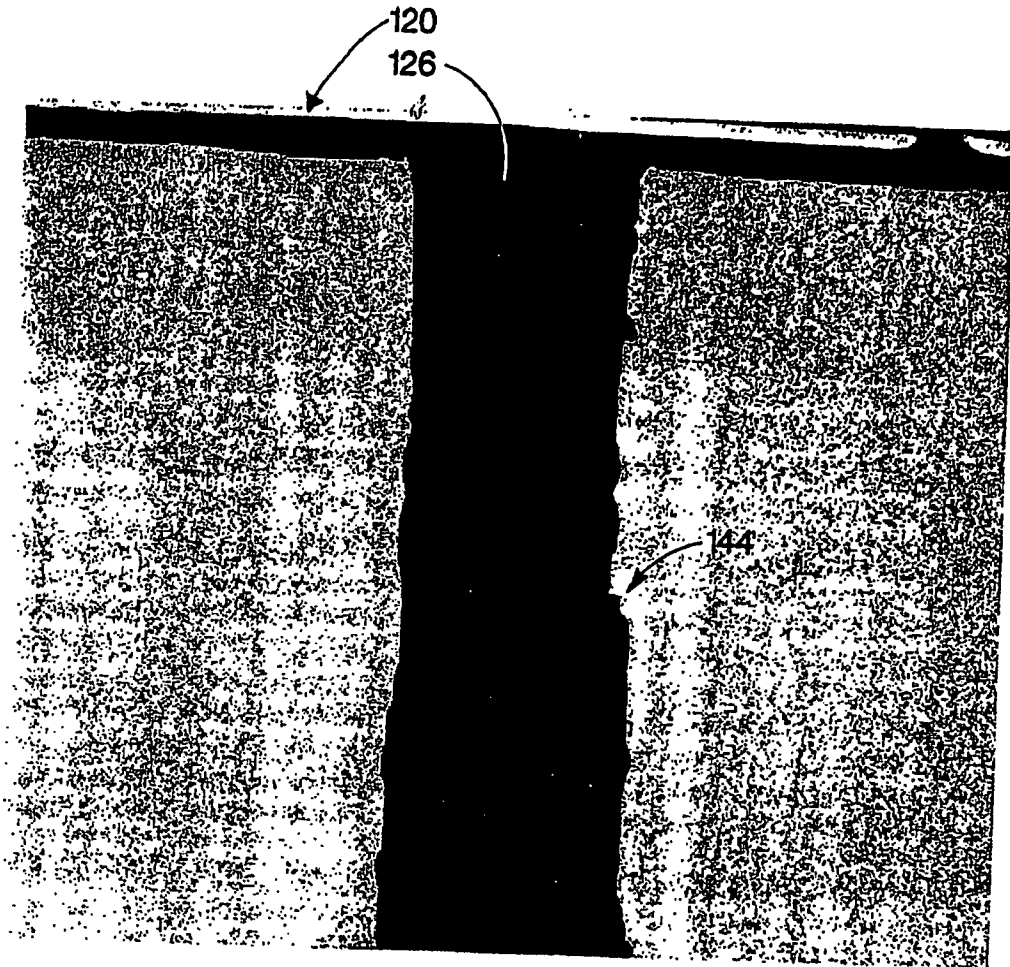
FIGUR 6B



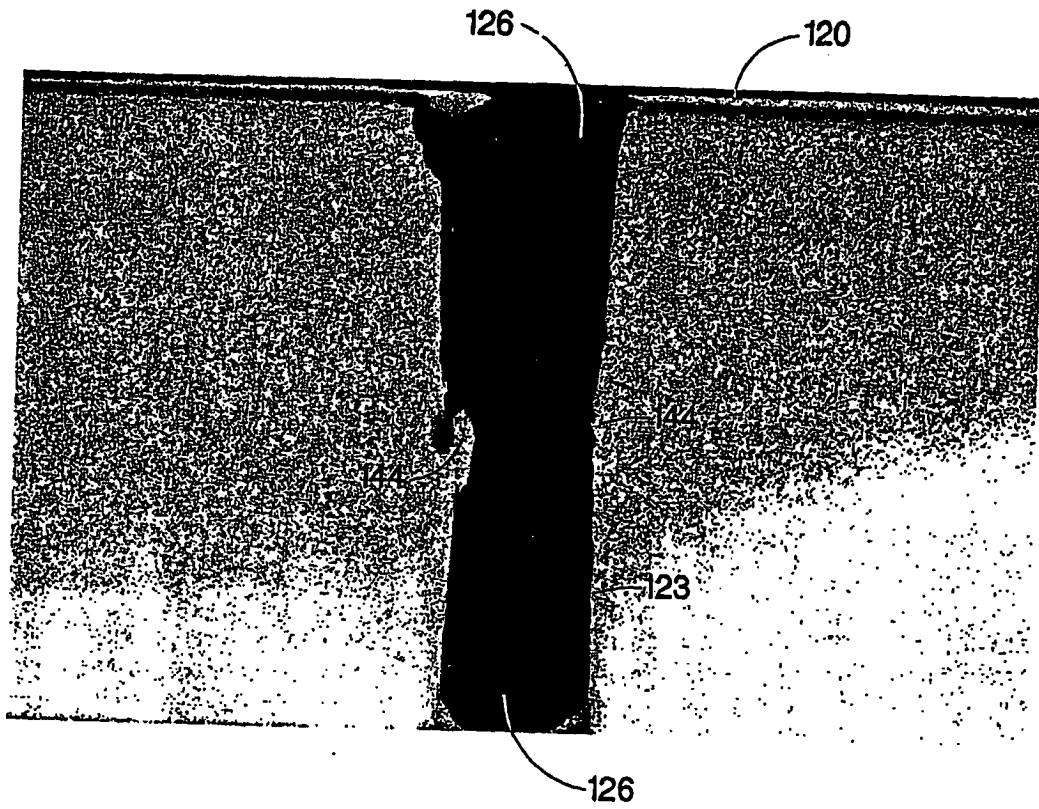
FIGUR 9A



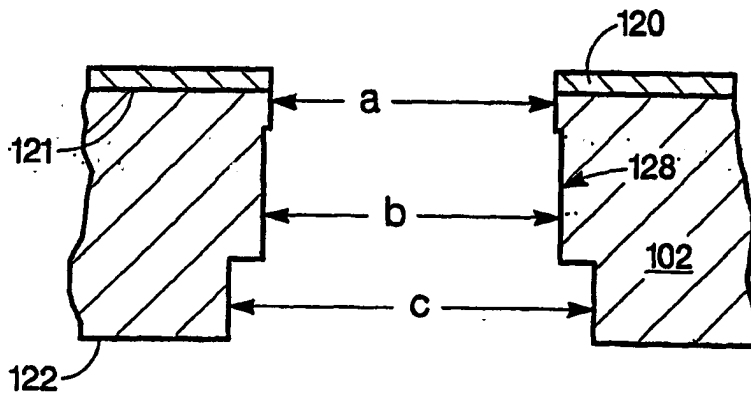
FIGUR 9B



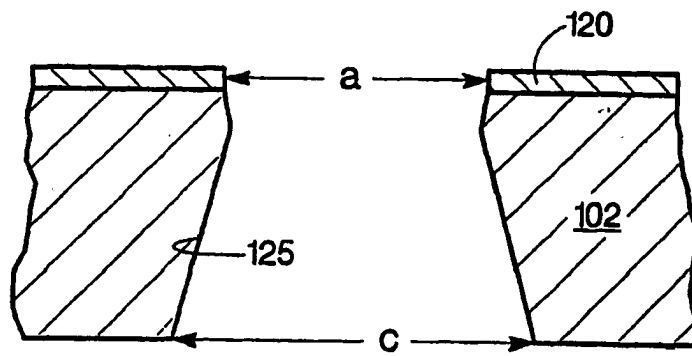
FIGUR 6C



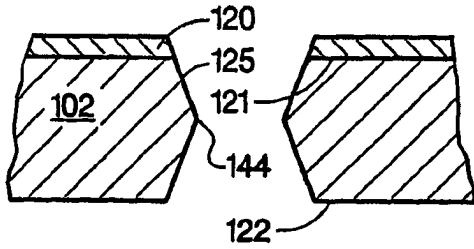
FIGUR 6D



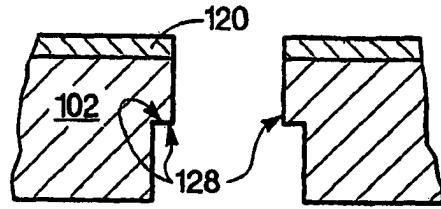
FIGUR 6E



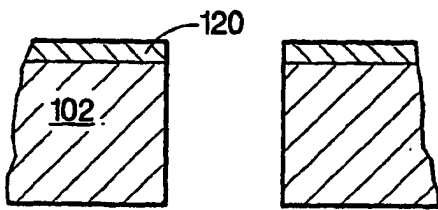
FIGUR 6F



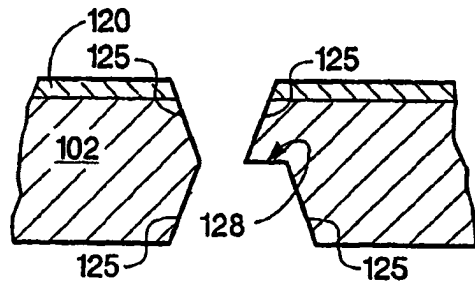
FIGUR 6G



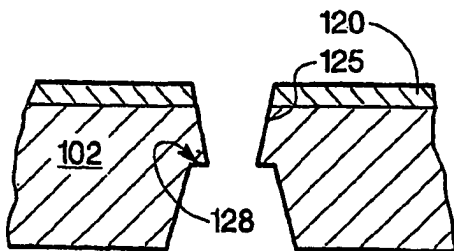
FIGUR 6J



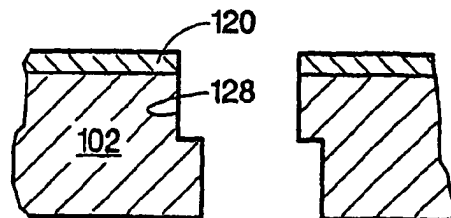
FIGUR 6H



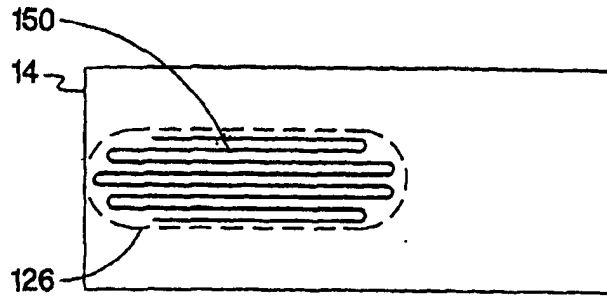
FIGUR 6K



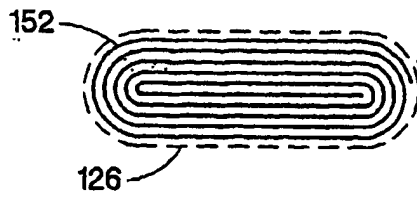
FIGUR 6I



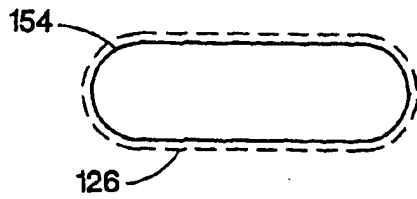
FIGUR 6L



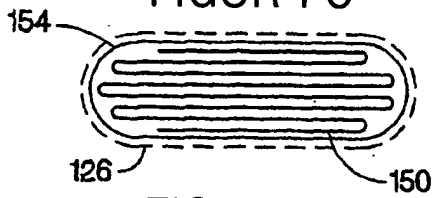
FIGUR 7A



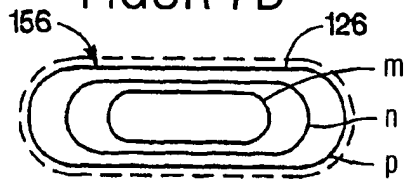
FIGUR 7B



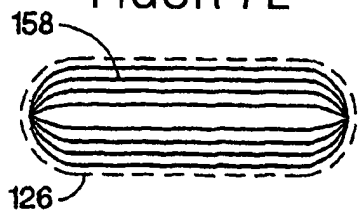
FIGUR 7C



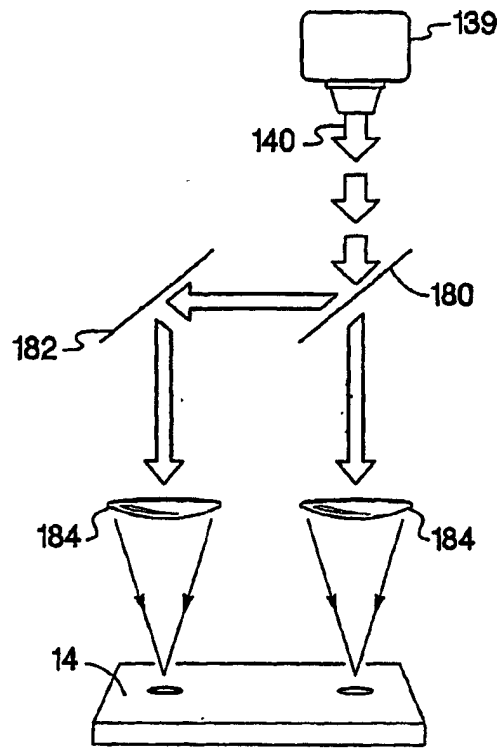
FIGUR 7D



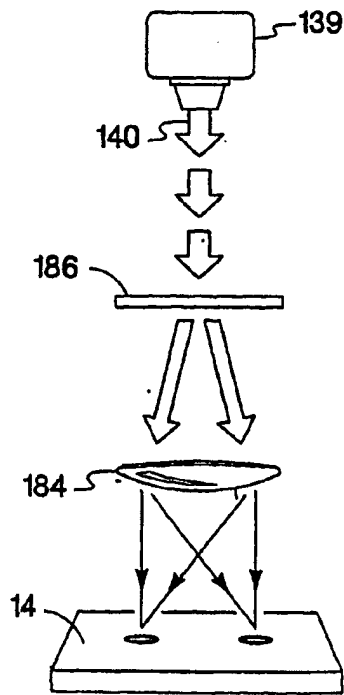
FIGUR 7E



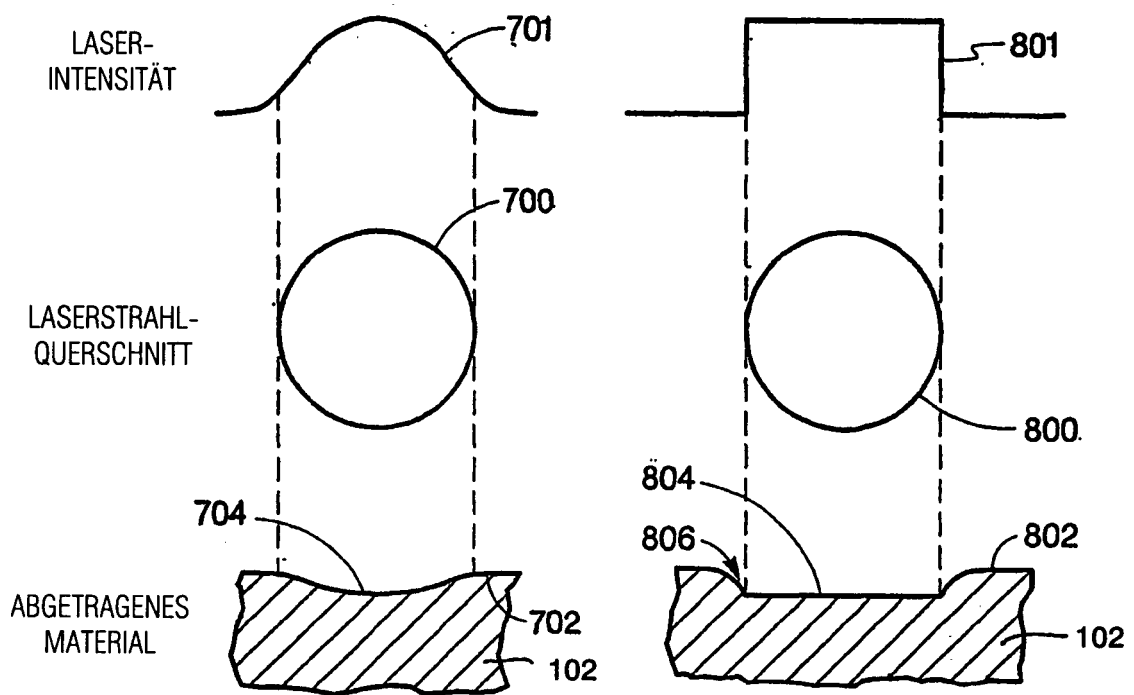
FIGUR 7F



FIGUR 8A



FIGUR 8B



FIGUR 10A

FIGUR 10B