



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 10 460 T2** 2007.12.13

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 331 516 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 10 460.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 250 420.1**

(96) Europäischer Anmeldetag: **23.01.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **30.07.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **20.12.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **13.12.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G03F 1/14** (2006.01)

**G03F 7/00** (2006.01)

**G03F 7/20** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**58744                      23.01.2002                      US**

(73) Patentinhaber:

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

(74) Vertreter:

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

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, GB**

(72) Erfinder:

**Mei, Ping, Palo Alto, CA 94306, US; Taussig, Carl  
P., Redwood City, CA 94061, US; Jeans, Albert H.,  
Mountain View, CA 94043, US**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und deren Maske zur Musterherstellung in einer Polymerschicht**

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

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen von Merkmalen in einer Polymerschicht eines Bauelements bzw. einer Vorrichtung, das bzw. die dahin gehend entworfen ist, Mikrometer- und Submikrometer-Elemente und -Komponenten, z. B. Halbleiter, elektrische, elektromechanische, mikromechanische und optoelektronische Bauelemente zu integrieren. Insbesondere bezieht sie sich auf ein Verfahren und ein System zum Erzeugen von Merkmalen in der Größenordnung von Mikrometern und Submikrometern in dünnen Polymerfilmen während der Schicht-für-Schicht-Herstellung von Mikrometer-Merkmalen enthaltenden Bauelementen und Submikrometer-Merkmalen enthaltenden Bauelementen.

**[0002]** Die vorliegende Erfindung findet bei der Herstellung von vielen Arten moderner elektronischer, elektromagnetischer, mikromechanischer und elektrooptischer Bauelemente Anwendung, die winzige Elemente und Komponenten im Größenbereich von Mikrometern und Submikrometern enthalten. Nachfolgend werden solche Bauelemente als Mikro-Bauelemente und Nano-Bauelemente bezeichnet.

**[0003]** Eine allgemeine Anwendung des Verfahrens und Systems der vorliegenden Erfindung liegt bei der Halbleiterherstellung vor. Während der Halbleiterherstellung wird ein Halbleiterbauelement Schicht für Schicht auf ein Silizium-, Glas- oder Polymersubstrat aufgebracht. Diese Substrate können starr oder flexibel sein. Winzige Merkmale, wie z. B. Signalleitungen und Transistoren, werden unter Verwendung bekannter photolithographischer Methodologien hergestellt. **Fig. 1A–H** stellen das allgemeine Verfahren dar, durch das Mikrometer- und Submikrometer-Merkmale derzeit während der Herstellung eines Halbleiters erzeugt werden. In **Fig. 1A** ist ein rechteckiger Ausschnitt eines Siliziumsubstrats **101** gezeigt. Das Substrat kann eine planarisierte Silizium-, Glas- oder Polymerschicht sein oder kann eine planarisierte Oberfläche eines bereits teilweise hergestellten Halbleiters sein. In **Fig. 1B** ist eine Oxidschicht **102** auf das Substrat **101** gelegt oder an der Oberfläche desselben gewachsen. In **Fig. 1C** ist eine dünne Photoresistschicht **103** auf der Oberseite der Oxidschicht **102** abgelegt.

**[0004]** Eine Photolithographiemaske wird als Nächstes über die Oberfläche des Photoresists platziert, und ultraviolettes Licht ("UV"-Licht) wird durch die Photolithographiemaske auf die Oberfläche der Photoresistschicht **103** gerichtet. Die Photolithographiemaske weist transparente Regionen und opake Regionen auf, die den Entwurf von Merkmalen definieren, die in der Oxidschicht **102** unter der Photoresistschicht **103** hergestellt werden sollen. Die Photolithographiemaske kann entweder eine Positiv-Mas-

ke oder eine Negativ-Maske sein, abhängig davon, ob die Photoresistschicht **103** positiv oder negativ auf die Belichtung mit UV-Strahlung anspricht. Bei den Beispielen, die in **Fig. 1A–H** gezeigt sind, wird das Photoresistmaterial, das UV-Strahlung ausgesetzt wird, chemisch verändert, wodurch das Photoresist qualitativ verschlechtert wird und anfällig für eine Auflösung in Lösungsmitteln wird. Die Photolithographiemaske weist transparente Regionen auf, die Merkmale darstellen, und die UV-Strahlung wird an einer Transmission durch opake, Nichtmerkmalsbereiche der Photolithographiemaske gehindert. Somit werden anschließend an die Transmission von UV-Strahlung durch die Photolithographiemaske auf die Oberfläche der Photoresistschicht Bereiche der Photoresistschicht chemisch verändert, während Nichtmerkmalsbereiche resistent gegenüber einer Auflösung in Lösungsmittel bleiben.

**[0005]** **Fig. 1D** stellt die Photoresistschicht nach der Transmission von UV-Strahlung durch eine Photolithographiemaske auf die Oberfläche der Photoresistschicht dar. Die chemisch veränderten Abschnitte des Photoresists **104** und **105** wurden unterhalb transparenten Regionen der Photolithographiemaske positioniert. Bei einem nächsten Schritt werden die chemisch veränderten Abschnitte der Photoresistschicht **103** dadurch entfernt, dass die Photoresistschicht einem Lösungsmittel ausgesetzt wird. Das Entfernen der chemisch veränderten Photoresistregionen hinterlässt flache Kanäle innerhalb der Photoresistschicht, die am Boden der Kanäle Oxid freilegen. Als Nächstes wird die Oxidschicht **102** unter der Photoresistschicht chemisch geätzt oder durch einen Strahl geladener Partikel geätzt, um Kanäle in der Polymerschicht zu bilden, die den flachen Merkmalskanälen in dem Photoresist entsprechen. Das Ätzverfahren ätzt freigelegtes Oxid, wird aber durch die verbleibenden Photoresistschichten blockiert, die nicht durch UV-Belichtung chemisch verschlechtert wurden. Nach dem Ätzen der Oxidschicht wird das verbleibende Photoresist durch chemische oder mechanische Prozesse entfernt.

**[0006]** **Fig. 1E** zeigt Merkmalskanäle, die durch den oben beschriebenen Ätzschritt in die Oxidschicht geätzt werden. Die Kanäle **106** und **107** entsprechen dem Merkmalsmuster (**104** und **105** in **Fig. 1B**), das in der Photoresistschicht durch Belichtung mit UV-Strahlung erzeugt wird. Angenommen, dass die Merkmale Metallsignalleitungen sind, wird bei einem nächsten Schritt eine Metallschicht **108** auf die Oberfläche der Oxidschicht **102** aufgebracht, wodurch die Merkmalskanäle gefüllt werden und eine zusätzliche Schicht über der Oxidschicht hinzugefügt wird. **Fig. 1F** stellt den rechteckigen Abschnitt des entstehenden Halbleiterbauelements nach der Aufbringung der Metallschicht dar. Als Nächstes wird die Oberfläche des entstehenden Halbleiterbauelements chemisch oder mechanisch planarisiert, um die Metall-

schicht zu entfernen, wodurch in der Oxidschicht eingebettet Metallsignalleitungen hinterlassen werden. **Fig. 1G** stellt die Oxidschicht mit eingebetteten Signalleitungen dar. Abschließend kann eine nachfolgende Polymer-, Polysilizium-, Siliziumoxid- oder eine andere Art einer Schicht auf die Oberseite der Oxidschicht abgelegt werden, zum Erzeugen von zusätzlichen Merkmalen über den Merkmalen, die in der Oxidschicht **102** erzeugt sind. Die Schritte, die in **Fig. 1A** –H dargestellt sind, können mehrere Male wiederholt werden, um ein komplexes, dreidimensionales Merkmalsarray in den Schichten des Halbleiterbauelements zu erzeugen.

**[0007]** Die traditionellen, auf Photolithographie basierenden Merkmalsherstellungsschritte, die in **Fig. 1A**–H dargestellt sind, wurden Jahrzehnte lang verwendet, um immer kleinere und detailliertere Halbleiterbauelemente herzustellen. Die Photolithographie hat jedoch zahlreiche Nachteile. Ein bekannter Nachteil sind die Auflösungseinschränkungen, die durch das Strukturieren von Photoresistschichten unter Verwendung von UV-Strahlung bewirkt werden. Randbeugungseffekte dämpfen die Auflösung von projizierten Mustern, und Randbeugungseffekte werden bedeutender, wenn die Merkmalsgröße abnimmt. Ein weiterer Nachteil von Lithographietechniken im Allgemeinen ist, dass sie viele aufeinander folgende, komplexe Schritte erfordern, um Merkmale innerhalb einer bestimmten Schicht eines Halbleiterbauelements herzustellen. Jeder Schritt kann sorgfältige Ausrichtungsverfahren und teure und zeitaufwändige chemische, mechanische, Aufdampfungs- und auf Ladungsträgerstrahlen basierende Verfahren erfordern, die sowohl das Einrichten von Herstellungseinrichtungen als auch das Erzeugen von fertigen Halbleiterbauelemente sehr kostspielig machen. Ein weiterer Nachteil von Lithographietechniken ist, dass sie eine flache Oberfläche erfordern, so dass die gesamte Oberfläche, auf die Muster einer UV-Strahlung aufgebracht werden, innerhalb einer schmalen Schärfentiefe verbleiben. Somit ist es schwierig, Photolithographietechniken anzuwenden, um Mikrometer- und Submikrometer-Merkmale auf inhärent schwierig zu planarisierenden Oberflächen wie z. B. Kunststofflagen herzustellen.

**[0008]** Das Dokument EP 1001311 offenbart ein Verfahren und ein System, bei dem eine Strukturierungsvorrichtung in mechanischen Kontakt mit einem Polymerschichtabdeckelement gebracht wird, um die Kopplungseffizienz von Licht zu verbessern, das während der optischen Lithographie durch Teile des Bauelements tritt. Das Dokument „Mix and Match of nanoimprint and UV lithography“ ISSN 0277-786X, Proceedings of the SPIE, Bd. 4.343, Seiten 802–809, offenbart Herstellungstechniken, die Nanoabdruckmasken und anschließend UV-Lithographiemasken verwenden. Die US 6292991 offenbart eine Bifokus-Belichtungsmaske.

**[0009]** Um die Merkmalsgrößenbeschränkungen zu überwinden, die photolithographischen Methoden zu eigen sind, entwickeln Halbleiterhersteller weiche Röntgenphotolithographieverfahren und versuchen möglicherweise schließlich, Strahlung mit noch kürzerer Wellenlänge einzusetzen, um Merkmalsgrößen auf Nanometer- und Subnanometerbereiche zu verringern. Diese Kurzwellenlängenstrahlungstechniken sind jedoch noch nicht vollständig kommerzialisiert und sind äußerst teuer, insbesondere im Hinblick auf die Kapitalkosten zum Umrüsten komplexer Halbleiterherstellungseinrichtungen, Maskenerstellung und Maske/Bauelement-Ausrichtung. Halbleiterhersteller stehen jedoch unter dauerhaftem wirtschaftlichem Druck, immer kleinere Merkmalsgrößen herzustellen, um die Dichte von mikroelektronischen Schaltungen in von Halbleiterbauelemente weiter zu erhöhen. Ferner werden viele neuere Anwendungen für Mikrobaulemente und Nanobaulemente entwickelt, die komplexe mikroelektromechanische Systeme umfassen, wie z. B. Sensoren und Miniatursysteme zur chemischen Analyse, Molekularanalysearrays, elektrooptische Bauelemente und andere derartige Produkte neuer Technologien. Entwickler, Hersteller und Benutzer von Halbleiterbauelementen und anderen Typen von Mikrobaulementen und Nanobaulementen erkennen allesamt den Bedarf an Mikrometer- und Submikrometer-Merkmal-Herstellungsmethoden zum wirtschaftlichen Herstellen kleinerer Merkmale und zum entsprechenden Erhöhen der Dichte von Merkmalen in Halbleiterbauelementen und anderen derartigen Bauelementen.

**[0010]** Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren gemäß Anspruch 1 geschaffen. Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Maske gemäß Anspruch 8 geschaffen.

**[0011]** Kleine Merkmale werden direkt aufgeprägt durch Prägen einer zähflüssigen, dünnen Polymeroberfläche mit einem optisch-mechanischen Stempel mit entsprechenden Vorsprüngen oder durch Prägen eines Polymerfilms mit niedriger Viskosität, indem das Polymer mit niedriger Viskosität über eine Kapillarwirkung in Räume zwischen Vorsprüngen gezogen wird. Große Merkmale werden erzeugt durch Belichten der Oberfläche von ausgewählten Bereichen der Polymeroberfläche mit UV-Strahlung, indem UV-Strahlung durch den optisch-mechanischen Stempel transmittiert wird, um das Polymer chemisch zu verändern, wodurch ermöglicht wird, dass entweder mit UV belichtete oder von UV abgeschirmte Bereiche durch Lösungsmittel entfernt werden. Somit liefern beschriebene Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung eine teilweise transparente Prägemaske, die ein rein mechanisches Stempeln für feine Merkmale und eine lithographieartige chemische Polymerbeseitigung für große Merkmale einsetzt.

**[0012]** Eine Anzahl von bevorzugten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung wird nun Bezug nehmend auf die Zeichnungen beschrieben, in denen:

**[0013]** [Fig. 1A–H](#) das allgemeine Verfahren darstellen, anhand derer Mikrometer- und Submikrometer-Merkmale derzeit während der Herstellung eines Halbleiters fabriziert werden.

**[0014]** [Fig. 2A–F](#) die mechanische Musterabdrucktechnik bzw. -prägetechnik darstellen, die verwendet wird, um Merkmale in die Schicht eines entstehenden Mikrobauelements oder Nanobauelements zu prägen.

**[0015]** [Fig. 3](#) ein Problem darstellt, das entstehen kann, wenn ein großes oder breites Eindringen einer mechanischen Musterabdrucksmaske bzw. Musterabdrucksmaske neben einer oder mehreren schmalen Mechanisches-Muster-Prägemasken-Eindringungen angeordnet ist.

**[0016]** [Fig. 4A–D](#) und [Fig. 5A–D](#) ein optisch-mechanisches Muster-Prägen darstellen, das durch zwei unterschiedliche Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung geliefert wird.

**[0017]** [Fig. 6A–D](#) die Herstellung eines Polysilizium-Dünnschichttransistors unter Verwendung einer optisch-mechanischen Musterabdrucksmaske darstellen, die ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung darstellt.

**[0018]** [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) Variationen bei den UV-Blockier-Merkmalen-Eindringmerkmalen einer optisch-mechanischen Musterabdrucksmaske darstellen.

**[0019]** Ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung schafft eine optisch-mechanische Musterabdrucksmaske („OMPIM“; optical mechanical pattern-imprinting mask) zum Prägen von Merkmalen in eine Schicht eines entstehenden Halbleiterbauelements, Mikrobauelements oder Nanobauelements. Das mechanische Musterprägen kann eine höhere Auflösung erzielen oder kann, anders ausgedrückt, häufig kleine Merkmale wirtschaftlicher prägen als derzeit verfügbare Photolithographieverfahren. Ferner kann das mechanische Musterprägen die Anzahl von Schritten bedeutend verringern, die erforderlich sind, um Merkmale auf Schichten eines Mikrobauelements oder Nanobauelements zu strukturieren. Ein Mechanisches-Muster- bzw. Mechanische-Struktur-Prägen wird jedoch wesentlich beschränkt durch Disparitäten bei den Größen von Merkmalen innerhalb einer Schicht, und wird nicht so sehr durch die Größe der Merkmale bis hinunter zu Merkmalsgrößen im Bereich von mehreren zehn Nanometern beschränkt, wie dies bei derzeit verfügbaren Photolitho-

graphieverfahren der Fall ist.

**[0020]** [Fig. 2A–F](#) stellen die mechanische Musterprägetechnik dar, die verwendet wird, um Merkmale in die Schicht eines entstehenden Nanobauelements zu prägen. In [Fig. 2A–F](#) und in nachfolgenden Figuren sind Substrate und Schichten der Klarheit halber im Querschnitt dargestellt. Diese Figuren zeigen nur einen winzigen Abschnitt des Querschnitts eines gesamten entstehenden Mikrobauelements oder Nanobauelements, das viele zehn Millionen Merkmale enthalten kann. [Fig. 2A](#) zeigt ein starres oder flexibles Substrat, auf dem eine nächste merkmalsenthaltende Schicht hergestellt werden soll. Das Substrat kann aus verschiedenen Materialien hergestellt sein, die Glas, Polysilizium, Silizium oder verschiedene Polymere umfassen. Bei einem ersten Schritt wird eine zähflüssige Polymerschicht auf die Oberfläche des Substrats aufgebracht. [Fig. 2B](#) zeigt die Polymerschicht **202**, die auf das Substrat **201** geschichtet ist. Als Nächstes wird eine mechanische Musterabdrucksmaske über der Oberfläche der neu hinzugefügten Polymerschicht positioniert, wie in [Fig. 2C](#) gezeigt ist. Die mechanische Musterabdrucksmaske wird dann in die Polymerschicht gepresst. Es wird darauf hingewiesen, dass das Substrat nicht planar sein muss. Zum Beispiel kann das Substrat wie ein konvexer Außenabschnitt der Oberfläche eines Zylinders geformt sein. In diesem Fall würde die mechanische Musterabdrucksmaske eine entsprechende konkave Oberfläche aufweisen, um zu ermöglichen, dass die gesamte Oberfläche der mechanischen Musterabdrucksmaske gleichzeitig in Kontakt mit der Substratoberfläche platziert wird. Viele andere komplementäre Substrat/Maske-Oberflächenformen sind möglich. [Fig. 2D–F](#) zeigen das Pressen bzw. Drücken der mechanischen Musterabdrucksmaske **203** durch die Polymerschicht **202** und auf das Substrat **201**. Die mechanische Musterabdrucksmaske **203** umfasst Vorsprünge **204–208**, die schmale Mulden und breite Mulden in der Polymerschicht erzeugen, wenn die mechanische Musterabdrucksmaske in die Polymerschicht gepresst wird. Es ist die Absicht des mechanischen Prägeverfahrens, die mechanische Musterabdrucksmaske **203** so nahe wie möglich bei dem Substrat **201** zu pressen, wie in [Fig. 2E](#) gezeigt ist. Wenn die mechanische Musterabdrucksmaske **203** nachfolgend entfernt wird, verbleiben Mulden in der Polymerschicht an Positionen, die den Vorsprüngen **204–207** entsprechen, und eine breite Mulde **213** in der Polymerschicht verbleibt an einer Position, die dem breiten Vorsprung **208** entspricht. Es wird darauf hingewiesen, dass sich, wenn die mechanische Musterabdrucksmaske in [Fig. 2D–F](#) weiter und weiter in die Polymerschicht **201** gepresst wird, die Höhe der Polymerschicht innerhalb breiter Mulden zwischen den Eindringungen erhöht, wenn das Polymer aus seiner Position unterhalb der Eindringungen, insbesondere unterhalb des breiten Vorsprungs **208**, verdrängt wird.

**[0021]** Leider ist es aufgrund von Disparitäten bei Merkmalsgrößen eventuell nicht möglich, die mechanische Musterabdrucksmaske auf eine gewünschte Tiefe in die Polymer-Schicht zu pressen. **Fig. 3** stellt ein Problem dar, das entstehen kann, wenn eine große oder breite Eindringung einer mechanischen Musterabdrucksmaske neben einer oder mehreren schmalen Eindringungen angeordnet ist. Es wird darauf hingewiesen, dass sich das zähflüssige Polymer, das aus seiner Position unterhalb des breiten Vorsprungs **208** verdrängt, fast bis zu der Oberseite der breiten Mulde **214** zwischen dem breiten Vorsprung **208** und dem schmalen Vorsprung **207** hochgedrückt hat. Kein weiteres Polymer kann aus seiner Position unterhalb des breiten Vorsprungs **208** in die breite Mulde **214** verdrängt werden. Ferner, da das Polymer relativ zähflüssig ist, wären viel höhere Drücke erforderlich, um das Polymer lateral in benachbarte breite Mulden oder Regionen zu drängen. Somit muss im Allgemeinen das Volumen des Polymers, das durch eine breite Eindringung verdrängt wird, wie z. B. den Vorsprung **208**, in benachbarten breiten Mulden untergebracht werden, wie z. B. der breiten Mulde **214**.

**[0022]** Angenommen, dass bei dem Beispiel, das in **Fig. 3** gezeigt ist, die Breite **215** des breiten Vorsprungs  $w_1$  ist, die Breite **216** der breiten Mulde links von dem breiten Vorsprung  $w_2$  ist, die Höhe **217** der Eindringungen der mechanischen Musterabdrucksmaske  $h$  ist und die Tiefe **218**, bis zu der die Vorsprünge in die Polymerschicht gedrückt werden,  $d$  ist, und angenommen, dass die Vorsprünge und die breiten Mulden linear sind, mit einer Abmessung  $x$  in einer Richtung senkrecht zu der Ebene von **Fig. 3**, ist das Volumen des Polymers, das durch den breiten Vorsprung **208** verdrängt wird, Folgendes:

$$w_1 dx$$

**[0023]** Das Volumen der breiten Mulde **214** ist:

$$w_2 hx$$

**[0024]** Wie oben erörtert wurde, muss das Volumen der breiten Mulde größer sein als die Hälfte des Volumens des verdrängten Polymers aus dem breiten Vorsprung **208**:

$$1 / 2 w_1 dx < w_2 hx$$

$$w_1 d < 2 w_2 h$$

$$\frac{w_1 d}{h} < 2 w_2$$

**[0025]** Somit, um das Problem zu beheben, das in **Fig. 3** dargestellt ist, könnte entschieden werden,

das Seitenverhältnis

$$\frac{w_1}{h}$$

der mechanischen Musterabdrucksmaske Vorsprünge soweit zu verringern, dass sich das Volumen der breiten Mulden zwischen Vorsprüngen auf eine Größe erhöht, das verdrängte Polymer unterzubringen. Die Seitenverhältnisse für die Vorsprünge von mechanischen Musterabdrucksmasken sind jedoch durch verschiedene mechanische und Fluidfluss-Einschränkungen eingeschränkt. Für Polydimethylsiloxan-Masken („PDMS“-Masken) z. B. müssen die Seitenverhältnisse größer oder gleich 1:3 sein.

**[0026]** Ein anderes Problem bei breiten mechanischen Musterabdrucksvorsprüngen ist, dass die Zeit, die zum Pressen der Maske durch die Polymerschicht zu dem darunter liegenden Substrat benötigt wird, zumindest für einen Teil des Einfügungsprozesses proportional zu dem Quadrat des Verhältnisses der Polymerschichttiefe,  $d$ , zu der Dicke der Polymerschicht zwischen dem Boden des breiten Vorsprungs und der Substratoberfläche  $d_1$  ist, wie folgt:

$$t = \frac{v w_1}{2 P d} \left[ \left( \frac{d}{d_1} \right)^2 - 1 \right]$$

wobei  $v$  = die Viskosität des Polymers,  
 $P$  = Druck, der auf den mechanischen Musterabdrucksstempel ausgeübt wird, und  
 $t$  = Zeit in Sekunden.

**[0027]** Je größer die Breite einer Eindringung, desto größer die Zeit, die dazu benötigt wird, den mechanischen Musterabdrucksmaskenvorsprung bis zu einer gewünschten Tiefe durch die Polymerschicht zu drücken. Es ist möglich, Polymere mit niedriger Zähflüssigkeit zu verwenden, um zu versuchen, die oben erörterten Probleme zu verringern; obwohl jedoch Polymere mit niedriger Zähflüssigkeit leichter verdrängt werden, werden sie auch vorzugsweise mittels Kapillarwirkung in schmale Maskenmulden gezogen, wodurch das Polymer in breiteren Maskenmulden entleert wird.

**[0028]** Alternativ kann ein mechanisches Aufprägen auf Oberflächen ausgeführt werden, die mit einer dünnen Schicht einer Fluid-Polymerlösung niedriger Zähflüssigkeit beschichtet sind. Bei diesen Anwendungen ist ausreichend Polymerlösung vorhanden, um alle Mulden mittels Kapillarwirkung vollständig zu füllen. Der Bedarf jedoch eines effektiven Beseitigens großer Bereiche von ausgehärtetem Polymer deutet weiterhin auf den Bedarf an einer Möglichkeit hin, diese breiten Bereiche anders als die schmalen Bereiche zu behandeln.

**[0029]** Um die oben beschriebenen Probleme zu



überwinden, schafft ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung eine optisch-mechanische Musterabdruckmaske („OMPIM“, optical-mechanical pattern-imprinting mask), die das mechanische Prägen mit einem lithographieartigen, durch UV-Strahlungsbewirkten Aushärten eines Differenz-Polymers und der chemischen Entfernung von nichtgehärtetem Polymer kombiniert. [Fig. 4A–D](#) und [Fig. 5A–D](#) stellen das optisch-mechanische Musterprägen dar, das durch zwei unterschiedliche Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung bereitgestellt wird. [Fig. 4A](#) zeigt ein Substrat **401**, auf das eine UV-aushärtbare Polymerschicht **402**, wie z. B. ein optisches Haftpolymer Norland NOA oder ein 1,6-Hexandiol-Diacrylat gemischt mit Citageigy Irgacure **651** aufgebracht wurde. Die UV-aushärtbare Polymerschicht muss mit schmalen Mulden und breiten Mulden geprägt werden, die Merkmalen entsprechen, die in die UV-aushärtbare Polymerschicht **402** eingebettet werden. Wie in [Fig. 4B](#) gezeigt ist, wird eine OMPIM **403** bis auf die Polymerschicht hinuntergedrückt, wobei Vorsprünge der OMPIM **403** annähernd auf die Oberfläche des Substrats **401** gepresst werden, und wobei verdrängtes Polymer in die breiten Mulden **404–407** zwischen den Merkmalen der OMPIM hochsteigt.

**[0030]** Die OMPIM **403** umfasst zusätzlich zu den Vorsprüngen einen UV-Block **408**, der einem breiten Merkmal entspricht, das in die Polymerschicht eingedrückt werden muss. Die OMPIM ist selbst transparent für UV-Strahlung. Die OMPIM kann aus PDMS, Quarz, Glas oder anderen UV-transparenten Materialien unter Verwendung von Formen, Ätzen, oder Aufbringungstechniken hergestellt werden, um Maskenvorsprünge und andere Maskenmerkmale herzustellen. In [Fig. 4B](#) wurden kleine Merkmale, die OMPIM-Vorsprüngen entsprechen, in die UV-aushärtbare Polymerschicht **102** geprägt, aber ein breites mittleres Merkmal wurde nicht geprägt. Als Nächstes, wie in [Fig. 4C](#) gezeigt ist, wird UV-Strahlung durch die OMPIM auf die Oberfläche der UV-aushärtbaren Polymerschicht **402** transmittiert. Die UV-Strahlung wird durch alle Regionen der OMPIM transmittiert, abgesehen von der Region, die durch die UV-Maske **408** blockiert wird. Eine Belichtung der Maske mit UV-Strahlung führt zum Aushärten dieser Abschnitte der Polymerschicht **410**, die mit UV-Strahlung belichtet werden, die durch die OMPIM transmittiert wird, aber das Polymer **411**, das von einer Belichtung mit UV-Strahlung durch die UV-Maske **408** abgeschirmt wird, bleibt unausgehärtet. Abschließend, wie in [Fig. 4D](#) gezeigt ist, wird die OMPIM entfernt, und das ungehärtete Polymer wird durch Auflösen des ungehärteten Polymers in einem Lösungsmittel von dem Substrat entfernt. Es wird darauf hingewiesen, dass jegliches verbleibende gehärtete Polymer am Boden der schmalen Mulden und der breiten Mulden mittels eines anisotropischen Sauerstoffplasmaätzens entfernt werden kann. Somit wurden sowohl schmale als

auch breite Merkmale in die Polymerschicht **402** geprägt, wobei die schmalen Merkmale rein durch mechanische Merkmale geprägt wurden, und die breiten, muldenartigen Merkmale **412** durch ein photolithographieartiges Verfahren erzeugt wurden, das mittels UV-Strahlung eine chemische Differenz-Stabilität in Regionen der Polymerschicht bewirkt. Es wird darauf hingewiesen, dass Randbrechungseffekte breite Merkmale etwas verzerren können, aber im Allgemeinen unwesentlich für die breiten Merkmale sind, die unter Verwendung der lithographischen Technik hergestellt werden, während das rein mechanische Prägen von kleinen Merkmalen eine Schärfe liefert, die von photolithographischen Techniken, die UV-Strahlen einsetzen, aufgrund von Brechungseffekten nicht erhältlich ist.

**[0031]** Ein Polymer, das daran gehindert wird, durch Belichtung mit UV-Strahlung auszuhärten, das nachfolgend als „Negativ-Polymer“ bezeichnet wird, kann mit einer OMPIM eingesetzt werden, die UV-Blöcke in einer Orientierung aufweist, die zu jener in dem vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispiel entgegengesetzt ist. Dieses abwechselnde OMPIM- und OMPIM-basierte Verfahren ist in [Fig. 5A–D](#) dargestellt. Eine Negativpolymerschicht **502** wird auf die Oberfläche eines Substrats **501** aufgebracht, wie in [Fig. 5A](#) dargestellt ist. Als Nächstes wird eine OMPIM **503** in die Negativpolymerschicht **502** gepresst, wie in [Fig. 5B](#) gezeigt ist. Die OMPIM **503** umfasst UV-blockierende Regionen **504–517** und ist ansonsten UV-durchlässig. UV-Strahlung wird dann durch die OMPIM zu der Negativpolymerschicht transmittiert, wie in [Fig. 5C](#) gezeigt ist. UV-Strahlung wird durch die UV-blockierenden Regionen **504–517** blockiert und gelangt durch die nicht-UV-blockierende Region, um eine Region des Negativpolymers **520**, das der nicht-UV-blockierenden Region zugrunde liegt, zu belichten und chemisch zu verändern. Das nicht mit UV belichtete Polymer kann dann vor dem Loslösen des Stempels thermisch gehärtet werden. Um ein sauberes Loslösen des Stempels zu ermöglichen, sollte die Oberfläche des Stempels keine chemische Affinität zu nicht ausgehärtetem Polymer aufweisen. Wenn das nichtgehärtete Polymer z. B. hydrophil ist, dann sollte die Oberfläche des Stempels hydrophob sein. Das mit UV belichtete Polymer wird durch das Ausüben von Wärme nicht ausgehärtet. Die chemisch veränderte Region des Negativpolymers kann dann nach dem Entfernen der OMPIM mit einem Lösungsmittel wie z. B. Aceton aufgelöst werden, wie in [Fig. 5D](#) gezeigt ist. Wie bei dem vorangehenden Ausführungsbeispiel, das Bezug nehmend auf [Fig. 5A–D](#) beschrieben wurde, wurden schmale Merkmale anhand rein mechanischer Mittel auf die Polymerschicht **502** geprägt, und ein breites, muldenartiges Merkmal **521** wurde mittels photolithographieartiger Techniken hergestellt, indem chemische Differenz-Stabilitäten mittels einer selektiven Belichtung mit UV-Strahlung in die Polymerregion einge-

bracht wurden.

**[0032]** [Fig. 6A](#)–D stellen die Herstellung eines Polysilizium-Dünnschichttransistors unter Verwendung einer OMPIM dar, die ein anderes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung darstellt. [Fig. 6A](#) stellt eine OMPIM **601** mit zwei gestuften Eindringungen **602** und **603** dar, flankiert von zwei UV-blockierenden Regionen **604** und **605**. Die OMPIM wurde in eine UV-aushärtbare Polymerschicht **606** gepresst, die über einer Gate-Metall-Schicht **607**, einer Gate-Isolatorschicht **608**, einer Polysiliziumschicht **609** und einem Substrat **610** aufgebracht ist. Die OMPIM und das darunter liegende UV-aushärtbare Polymer werden mit UV-Strahlung belichtet, um das Polymer zwischen den zwei gestuften Eindringungen **602**–**603** auszuhärten. Das Polymer unter den zwei UV-Blöcken **604** und **605** bleibt unausgehärtet. Die OMPIM wird entfernt, und ungehärtetes Polymer wird in Lösungsmittel aufgelöst, um das gestufte, UV-gehärtete Polymermerkmal **612** zu erzeugen, das in [Fig. 6B](#) gezeigt ist. Es wird darauf hingewiesen, dass das Gate-Metall, das nicht durch das Polymermerkmal **612** geschützt war, in [Fig. 6B](#) anhand eines Verfahrens, das Metall entfernt, das nicht durch UV-gehärtetes Polymer **612** geschützt ist, entfernt wurde. Als Nächstes, wie in [Fig. 6C](#) gezeigt ist, wird eine Innenimplantation mittels eines Ladungsträgerstrahls eingesetzt, um die Polysiliziumschicht **609** zu dotieren. Der Dotierpegel ist am höchsten, oder anders ausgedrückt, eine höhere Konzentration eines Dotiermittels wird erzeugt, wenn die geladenen Ionen so wenige übereinander liegende Schichten wie möglich passieren. Somit ist der Dotierpegel in Bereichen am höchsten, die nicht durch das UV-gehärtete Polymermerkmal **612** abgedeckt sind, und ist direkt unter dem mittleren Abschnitt des UV-gehärteten Polymermerkmals **612** am niedrigsten oder nicht vorhanden, und ist unter den gestuften Abschnitten des UV-härtbaren Polymermerkmals **612** mittel. Die implantierten Ionen werden dann durch thermisches Tempern oder Laser-Tempern aktiviert. Der gestufte Abschnitt des UV-gehärteten Polymers wird als nächstes entfernt, und das Gate-Metall unter diesem Abschnitt wird durch eine Metallätzung entfernt. Abschließend wird die Polymermanschette über dem Gate-Metall entfernt. Das Differenz-Dotieren erzeugt, wie in [Fig. 6D](#) gezeigt ist, vollständig dotierte Polysiliziumschichtregionen **614** und **615**, leicht dotierte Polysiliziumschichtregionen **616** und **617** und eine im Wesentlichen undotierte Polysiliziumschicht **618**. Dieser differentiell dotierte Dünnschichttransistor ist als leicht dotierter Source/Drain-Dünnschichttransistor bekannt. Die niedrigen Dotierpegel in der Nähe der Drain-Region des Transistors reduzieren das elektrische Feld in der Nähe der Drain-Region während des Betriebs. Eine Reduzierung des elektrischen Feldes wiederum verbessert das Transistorverhalten durch Reduzieren eines feldinduzierten Source/Drain-Stromlecks in dem "Aus"-Zustand und durch Reduzieren einer

schnellen Erhöhung des Source/Drain-Stroms, wenn der Zustand in den "Ein"-Zustand geschaltet ist.

**[0033]** [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) stellen Variationen bei den UV-blockierenden Regionen und Eindringungsmerkmalen einer OMPIM dar. Wie in [Fig. 7A](#) gezeigt ist, kann eine UV-blockierende Region an einer Oberfläche der OMPIM **701** fixiert sein, fluchtend mit der Oberfläche der OMPIM **702** implantiert sein oder in die OMPIM **703** eingebettet sein. Die UV-blockierende Region kann entweder auf die obere oder untere Oberfläche der OMPIM geschichtet sein. Die UV-blockierende Region kann aus verschiedenen dünnen Metallfilmen hergestellt sein, kann aber auch aus verschiedenen anderen UV-opaken Materialien hergestellt sein, die Kohleschwarz, opake Polymermaterialien und optische Brechungsfilter umfassen. Wie in [Fig. 7B](#) gezeigt ist, können OMPIM-Vorsprünge, wie z. B. die Vorsprünge **704**–**707**, UV-blockierende Regionen umfassen, und die Vorsprünge können unterschiedliche Längen aufweisen. Dadurch, dass UV-blockierenden Regionen so nahe wie möglich an dem Substrat platziert werden, kann eine höhere Auflösung erhalten werden.

**[0034]** Obwohl die vorliegende Erfindung im Hinblick auf ein bestimmtes Ausführungsbeispiel beschrieben wurde, ist nicht beabsichtigt, dass die Erfindung auf dieses Ausführungsbeispiel beschränkt ist. Modifikationen innerhalb des Schutzbereichs der Erfindung sind für Fachleute offensichtlich. Zum Beispiel können OMPIMs aus einer großen Vielzahl von unterschiedlichen UV-transparenten Materialien hergestellt sein. OMPIMs können auch in Kombination mit anderen physischen Prozessen verwendet werden, um darunter liegende Polymerschichten chemisch zu verändern. Zum Beispiel kann Strahlung mit längerer Wellenlänge eingesetzt werden, wobei in diesem Fall die OMPIM transparent für Strahlung mit längerer Wellenlänge sein muss. Bei anderen Techniken kann die OMPIM relativ transparent für bestimmte geladene Partikel sein, wobei Masken mit geladenen Teilchen auf die OMPIM geschichtet oder in derselben eingebettet sein können. OMPIMs können hergestellt sein, um eine fast grenzenlose Anzahl von Merkmalsstrukturen auf Schichten von Halbleiterbauelementen und anderen elektronischen, elektromechanischen, mechanischen oder elektrooptischen Bauelementen zu prägen, wobei schmale Merkmale mechanisch geprägt werden und breitere Merkmale durch eine selektive, strahlungsinduzierte chemische Veränderung der Schichten, gefolgt von einer lösungsmittelbasierten Beseitigung veränderter Abschnitte der Schichten, erhalten werden. OMPIMs vieler unterschiedlichen Formen und Größen können gemäß den Musterpräganforderungen des bestimmten Bauelements hergestellt werden. Wie oben erörtert wurde, kann eine OMPIM sowohl zum Prägen zähflüssiger Polymerfilme als auch von Polymerfilmen niedriger Zähflüssigkeit verwendet werden, die

mittels Kapillarwirkung in Räume zwischen den Vorsprüngen gezogen werden.

**[0035]** Die vorangehende Beschreibung hat zu Erklärungszwecken eine spezifische Terminologie verwendet, um ein gründliches Verständnis der Erfindung zu fördern. Für Fachleute ist es jedoch offensichtlich, dass spezifische Details nicht erforderlich sind, um die Erfindung auszuführen. Die vorangehenden Beschreibungen von spezifischen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung sind zum Zweck der Veranschaulichung und Beschreibung präsentiert. Sie sollen nicht erschöpfend sein oder die Erfindung auf die präzisen offenbarten Formen beschränken. Offensichtlich sind viele Modifikationen und Variationen im Hinblick auf die obigen Lehren möglich. Die Ausführungsbeispiele werden gezeigt und beschrieben, um die Prinzipien der Erfindung und ihre praktischen Anwendungen bestmöglich zu beschreiben, um es dadurch anderen Fachleuten zu ermöglichen, die Erfindung und verschiedene Ausführungsbeispiele mit verschiedenen Modifikationen, wie sie für die bestimmte gedachte Verwendung geeignet sind, bestmöglich einzusetzen. Der Schutzbereich der Erfindung soll durch die nachfolgenden Ansprüche definiert sein.

### Patentansprüche

1. Ein Verfahren zum Herstellen von Merkmalen in einer Polymerschicht (**402**, **502**) eines Bauelements, das entworfen ist, um Mikrometer- und Submikrometer-Elemente und -Komponenten einzuschließen, wobei das Verfahren durch folgende Schritte gekennzeichnet ist:  
Bereitstellen einer optisch-mechanischen Musterabdrucksmaske (**403**, **503**);  
mechanisches Erzeugen von Submikrometer-Merkmalen innerhalb der Polymerschicht (**402**, **502**) durch Übertragen eines Musters von der optisch-mechanischen Musterabdrucksmaske (**403**, **503**) auf die Polymerschicht (**402**, **502**); und  
Übertragen von Strahlung durch die optisch-mechanische Musterabdrucksmaske (**403**, **503**), um Regionen (**409**, **410**, **520**) des Polymers selektiv der Strahlung auszusetzen, was zu einer unterschiedlichen chemischen Stabilität der bestrahlten Regionen des Polymers (**409**, **410**, **520**) und der nichtbestrahlten Regionen (**411**) des Polymers führt; und  
Entfernen von Regionen (**520**; **411**) des Polymers, die empfänglich für ein chemisches Entfernungungsverfahren sind.

2. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die optisch-mechanische Musterabdrucksmaske Vorsprünge (**204**, **209–213**; **602**, **603**) auf einer Oberfläche umfasst, die in die Polymerschicht (**402**, **502**) gedrückt werden.

3. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die

optisch-mechanische Musterabdrucksmaske Vorsprünge auf einer Oberfläche umfasst, zwischen denen eine Polymerlösung niedriger Viskosität durch Kapillarwirkung gezogen wird, während die optisch-mechanische Musterabdrucksmaske in die Polymerschicht gedrückt wird.

4. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, 2 oder 3, bei dem die optisch-mechanische Musterabdrucksmaske strahlungsblockierende Regionen (**408**; **504–517**) umfasst, um die Bestrahlung von ausgewählten Polymerregionen zu blockieren.

5. Das Verfahren gemäß Anspruch 4, bei dem die Strahlung ultraviolettes Licht ist.

6. Das Verfahren gemäß Anspruch 5, bei dem das Polymer durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht ausgehärtet wird und bei dem die strahlungsblockierenden Regionen (**408**) Nicht-Merkmal-Regionen des Polymers entsprechen.

7. Das Verfahren gemäß Anspruch 5, bei dem das Polymer durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht chemisch destabilisiert wird und bei dem die strahlungsblockierenden Regionen (**504–517**) Merkmalsregionen des Polymers entsprechen.

8. Optisch-mechanische Musterabdrucksmaske (**403**, **503**) zum Herstellen von Merkmalen in einer Polymerschicht eines Bauelements, das entworfen ist, um Mikrometer- und Submikrometer-Elemente und -Komponenten umfassen, wobei die optisch-mechanische Musterabdrucksmaske (**403**, **503**) durch folgende Merkmale gekennzeichnet ist:  
Vorsprünge (**204**, **209–213**, **602**, **603**), die, wenn die optisch-mechanische Musterabdrucksmaske (**403**, **503**) gegen eine Polymerschicht gepresst wird, mechanisch Submikrometer-Merkmale innerhalb der Polymerschicht erzeugen; und  
ausgesparte Bereiche mit einer Transparenz für Strahlung, so dass Regionen der Polymerschicht, die unter den ausgesparten Bereichen liegen, selektiv einer Strahlung ausgesetzt sind, die Abschnitte der optisch-mechanischen Musterabdrucksmaske (**403**, **503**) gelangt, was zu einer unterschiedlichen chemischen Stabilität zwischen Regionen des Polymers, die mit transmittierter Strahlung (**409**, **410**, **520**) bestrahlt werden, und Regionen des Polymers, die nicht mit transmittierter Strahlung (**411**) bestrahlt werden, führt, so dass, nachdem die optisch-mechanische Musterabdrucksmaske (**403**, **503**) gegen die Polymerschicht gedrückt wird und die optisch-mechanische Musterabdrucksmaske (**403**, **503**) einer Strahlung ausgesetzt wird, anschließend Merkmale erzeugt werden, indem ein Polymer, das empfänglich für ein chemisches Entfernungungsverfahren ist, entfernt wird.

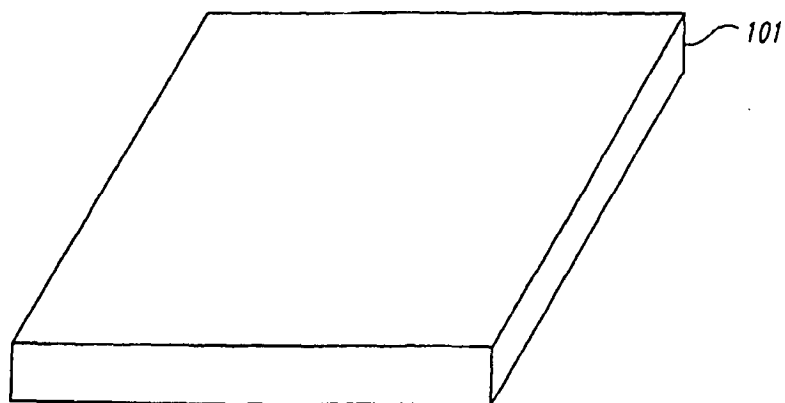
9. Die optisch-mechanische Musterabdrucksmaske



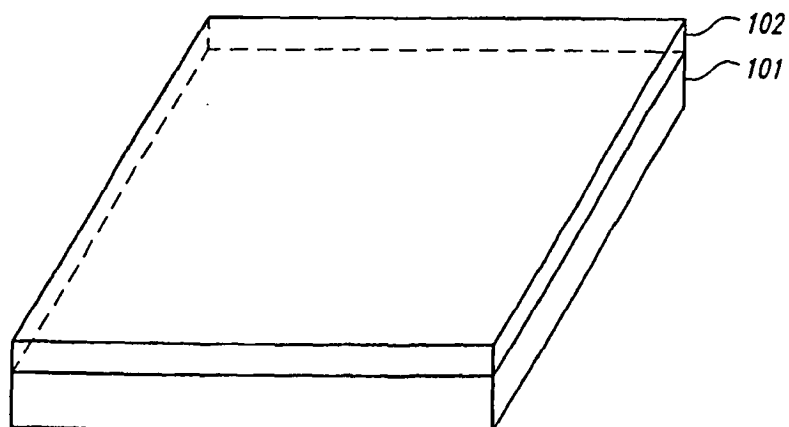
maske (**403**, **503**) gemäß Anspruch 8, bei der die ausgesparten Bereiche Strahlungsblöcke (**408**; **504–508**, **515–517**) umfassen, die eine Transmission einer Strahlung durch die optisch-mechanische Musterabdrucksmaske (**403**, **503**) blockieren, und bei der das Polymer ausgehärtet wird, indem es einer Strahlung ausgesetzt wird.

10. Die optisch-mechanische Musterabdrucksmaske (**503**) gemäß Anspruch 8, bei der die ausgesparten Bereiche (**518**) Strahlung durch die optisch-mechanische Musterabdrucksmaske (**503**) transmittieren, wobei verbleibende Bereiche (**504–517**) der optisch mechanischen Musterabdrucksmaske (**503**) eine Transmission einer Strahlung blockieren und wobei das Polymer destabilisiert wird, indem es einer Strahlung ausgesetzt wird.

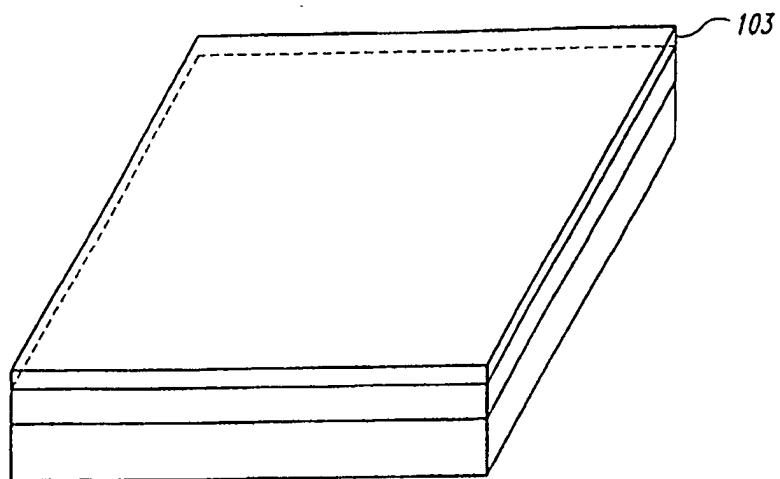
Es folgen 11 Blatt Zeichnungen



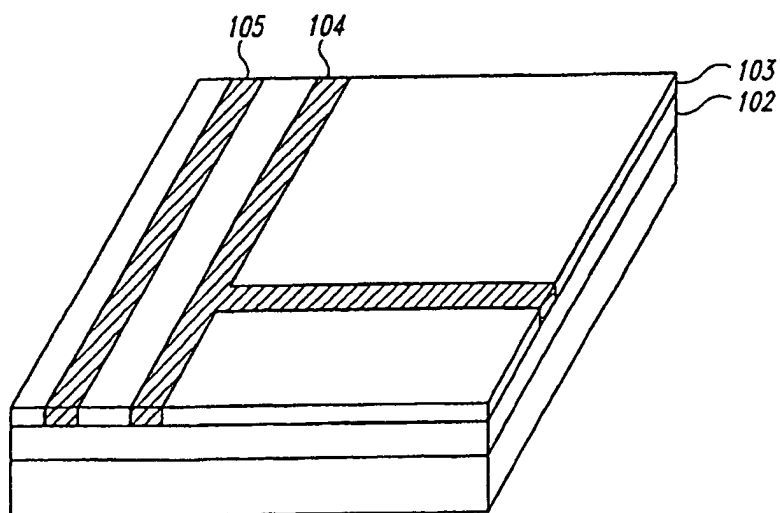
*Fig. 1A*



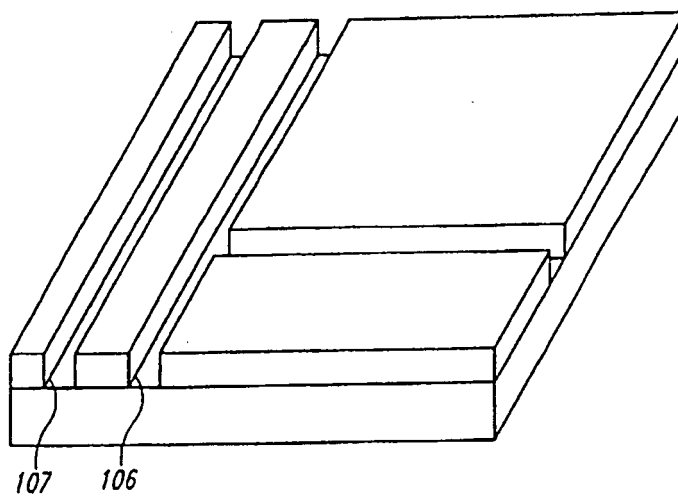
*Fig. 1B*



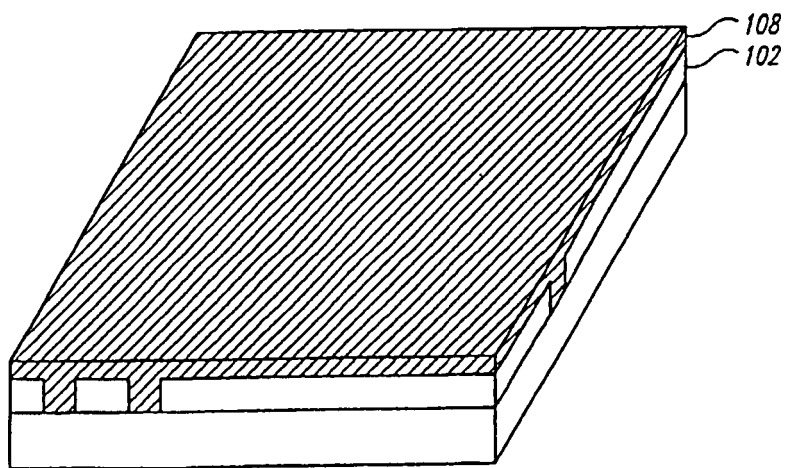
*Fig. 1C*



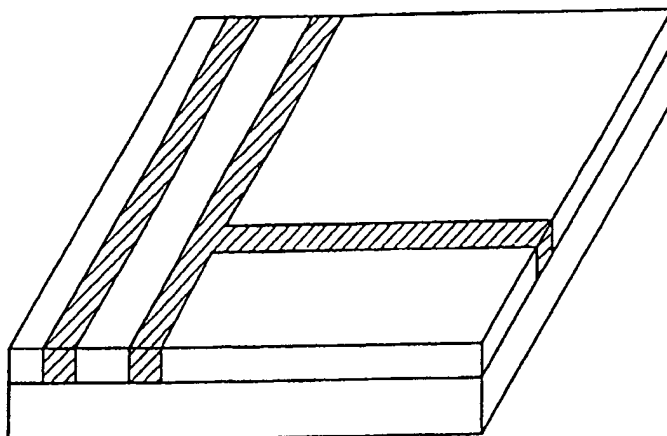
*Fig. 1D*



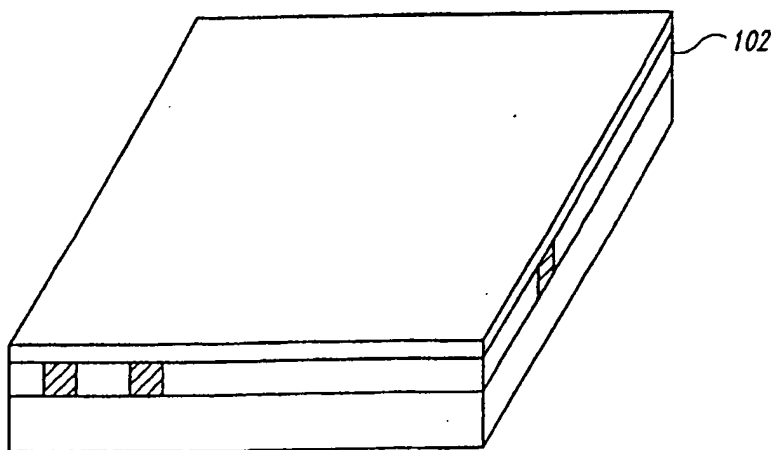
*Fig. 1E*



*Fig. 1F*

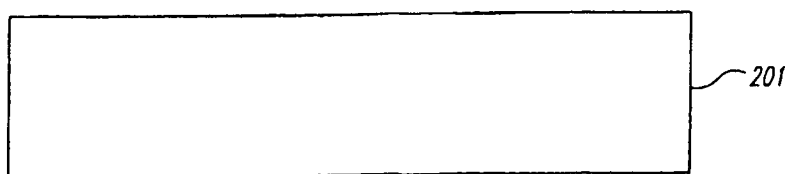


*Fig. 1G*

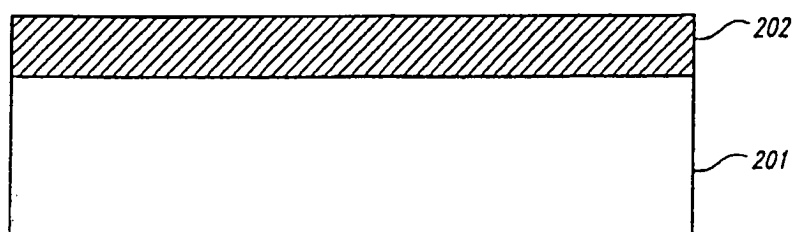


*Fig. 1H*

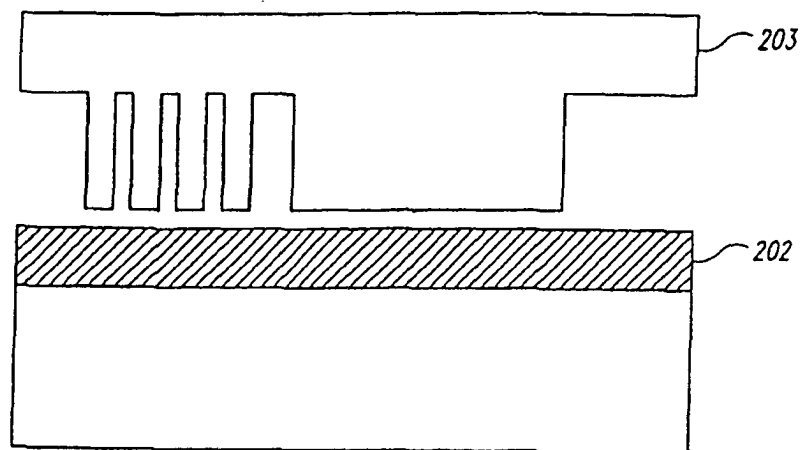




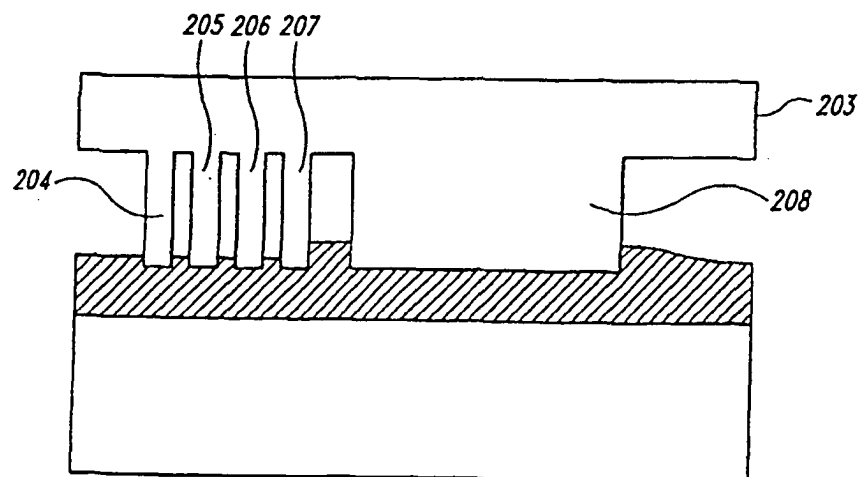
*Fig. 2A*



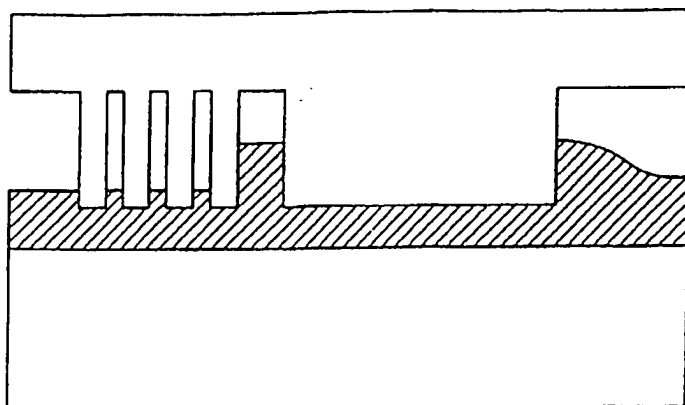
*Fig. 2B*



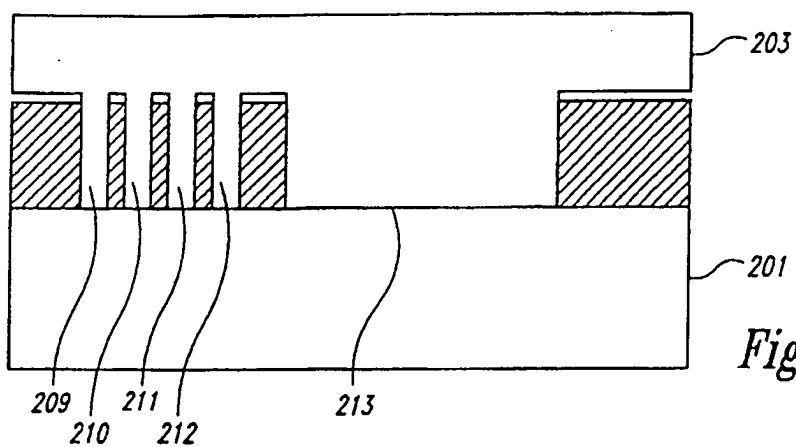
*Fig. 2C*



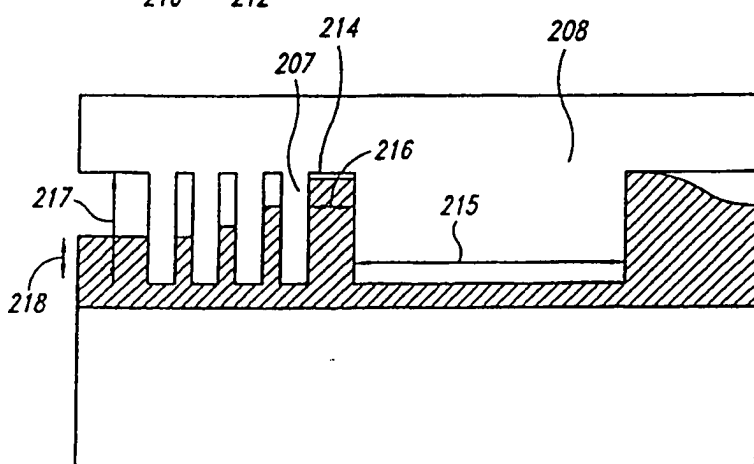
*Fig. 2D*



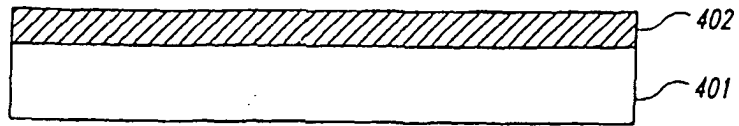
*Fig. 2E*



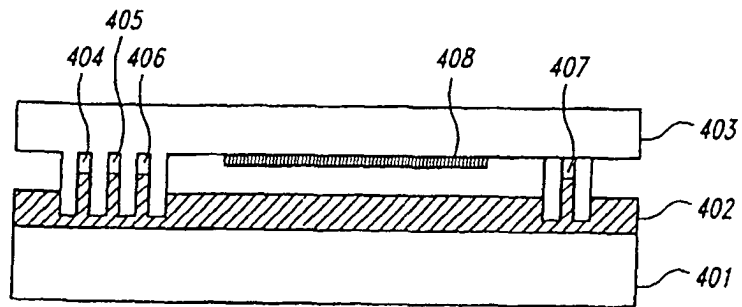
*Fig. 2F*



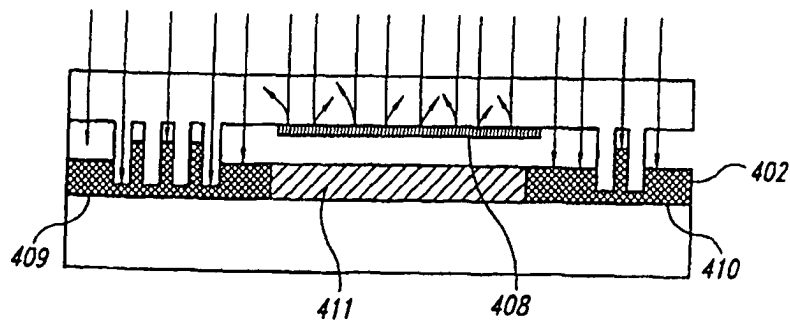
*Fig. 3*



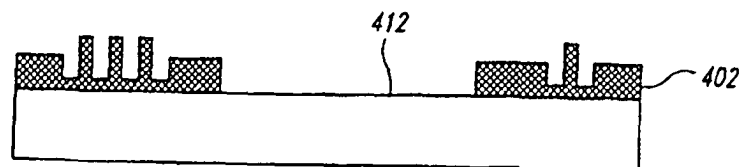
*Fig. 4A*



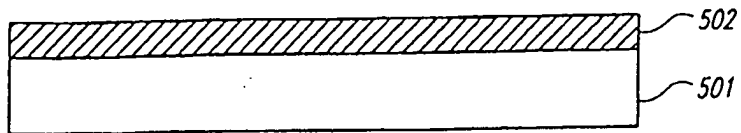
*Fig. 4B*



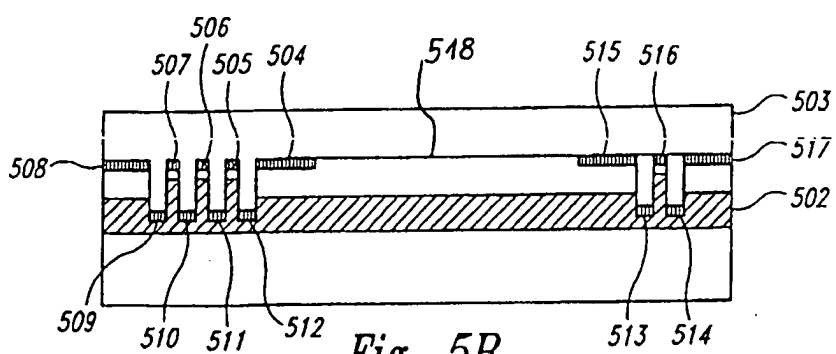
*Fig. 4C*



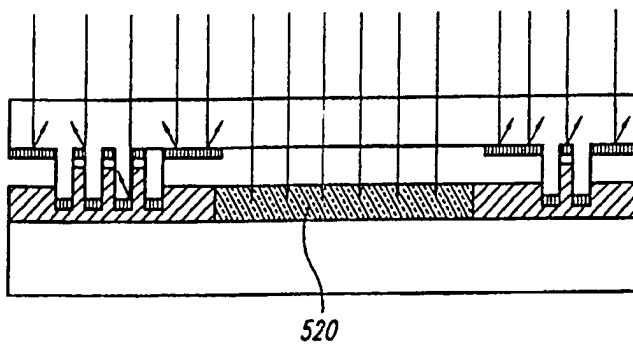
*Fig. 4D*



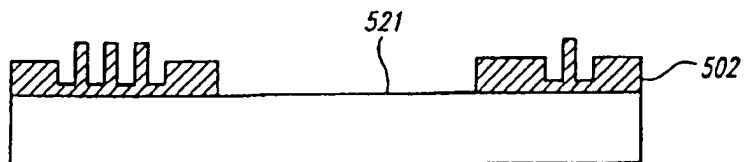
*Fig. 5A*



*Fig. 5B*

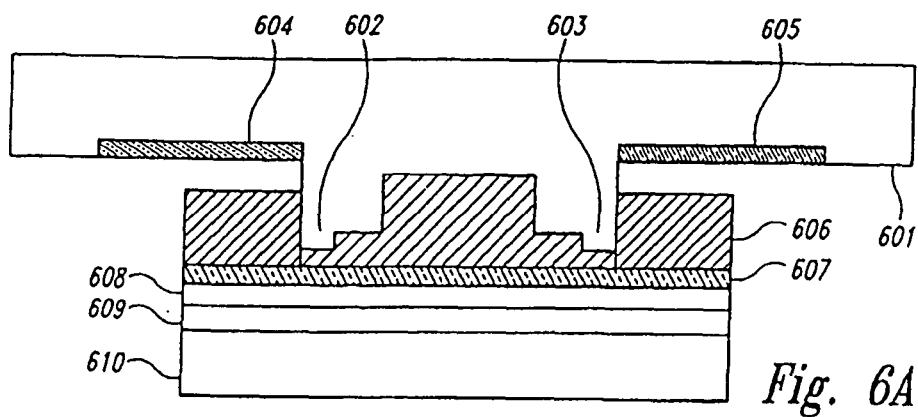


*Fig. 5C*

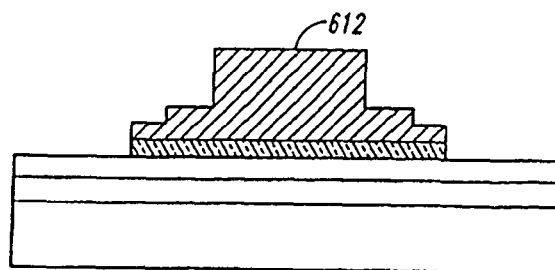


*Fig. 5D*

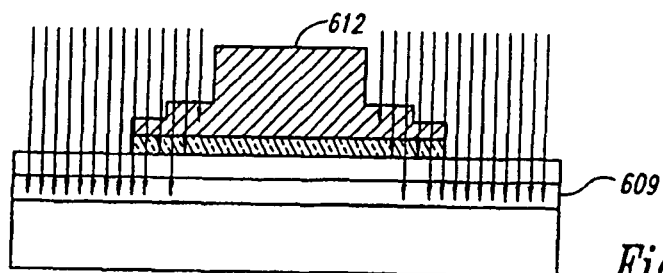




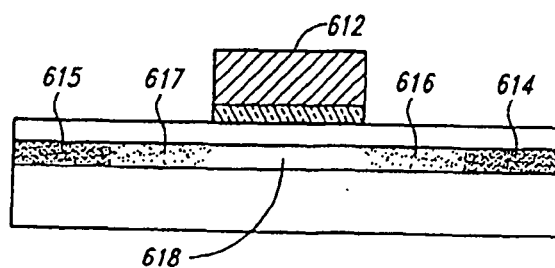
*Fig. 6A*



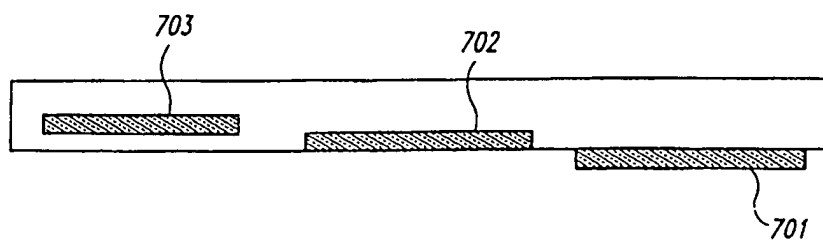
*Fig. 6B*



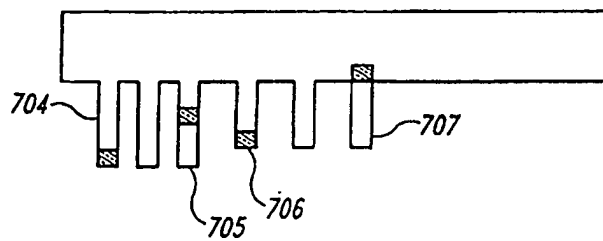
*Fig. 6C*



*Fig. 6D*



*Fig. 7A*



*Fig. 7B*