



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 18 755 T2** 2007.11.15

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 512 048 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G03F 7/00** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 18 755.9**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/15551**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 808 354.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/063815**

(86) PCT-Anmeldetag: **16.05.2002**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **29.07.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.03.2005**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **07.03.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.11.2007**

(30) Unionspriorität:

**291664 P 16.05.2001 US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(73) Patentinhaber:

**Board of Regents, The University of Texas  
System, Austin, Tex., US**

(72) Erfinder:

**WILLSON, C. Grant, Austin, TX 78746-4448, US;  
SREENIVASAN, S.V., Austin, TX 78750-3858, US;  
BONNECAZE, Roger T., Austin, TX 78703-3841, US**

(74) Vertreter:

**Kirschner & Partner, 81479 München**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON STRUKTUREN AUF NANOMASSSTAB IN LICHTAUS-  
HÄRTBAREN ZUSAMMENSETZUNGEN MIT EINEM ELEKTRISCHEN FELD**

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 Erfindung betrifft im Allgemeinen das Gebiet der kostengünstigen, hochauflösenden, einen hohen Durchsatz aufweisenden Lithographie mit der Möglichkeit, Strukturen herzustellen, deren Größe unter 100 nm liegt.

**[0002]** Optische Lithographietechniken werden gegenwärtig verwendet, um mikroelektronische Vorrichtungen herzustellen. Diese Verfahren erreichen jedoch ihre Grenzen in der Auflösung. Lithographie auf Sub-Mikron-Maßstab war ein kritisches Verfahren in der Mikroelektronikindustrie. Die Verwendung der Lithographie auf Sub-Mikron-Maßstab ermöglicht es Herstellern, die erhöhte Nachfrage nach kleineren und dichter gepackten, elektronischen Komponenten auf Chips zu erfüllen. Die feinsten Strukturen, die in der Mikroelektronikindustrie herstellbar sind, sind gegenwärtig in der Größenordnung von 0,13 µm. Es wird erwartet, dass in den kommenden Jahren die Mikroelektronikindustrie sich mit Strukturen befassen wird, die kleiner als 0,05 µm (50 nm) sind. Darüber hinaus gibt es neu auftretende Anwendungsfälle von Lithographie auf Nanometer-Maßstab in den Bereichen der Optoelektronik und der magnetischen Speicherung. Beispielsweise erfordern photonische Kristalle und Magnetspeicher mit hoher Musterdichte in der Größenordnung von Terrabyte pro Quadrat-Inch eine Lithographie im Nanometer-Maßstab.

**[0003]** Um Strukturen unterhalb von 50 µm herzustellen, können optische Lithographietechniken die Verwendung von sehr großen Lichtwellenlängen (beispielsweise 13,2 nm) erfordern. Bei diesen kurzen Wellenlängen sind wenige, wenn überhaupt welche, Materialien optisch transparent und daher müssen die Abbildungssysteme typischerweise unter Verwendung komplizierter Reflexionsoptiken aufgebaut werden, siehe „Getting more from Moore's“, Garry Stix, Scientific American, April 2001. Ferner ist es schwierig, eine Lichtquelle zu erhalten, die bei diesen Lichtwellenlängen eine ausreichende Ausgangsintensität hat. Solche Systeme führen zu extrem komplizierten Ausrüstungen und Verfahren, die unerschwinglich teuer zu sein scheinen. Elektronstrahl-Lithographietechniken mit hoher Auflösung sind, obwohl sie sehr präzise sind, typischerweise zu langsam für kommerzielle Anwendungsfälle mit hohem Volumen.

**[0004]** Eine Lithographietechnik nach dem Stand der Technik ist in der WO 00/21689 von S. Y. Chou und L. Zhuang offenbart. Eine der hauptsächlichen Herausforderungen bei gegenwärtigen Lithographiedrucktechniken ist die Notwendigkeit, einen direkten Kontakt zwischen dem Templet (Master = Vorlage) und dem Substrat herzustellen. Dies kann zu Fehlern, geringen Prozessausbeuten und einer niedrigen Templet-Lebensdauer führen. Zusätzlich hat das

Templet bei dem Lithographiedruck typischerweise die gleiche Größe wie die wesentlichen Strukturen auf dem Substrat (IX) im Vergleich zu den 4X-Masken, die typischerweise bei der optischen Lithographie verwendet werden. Die Kosten der Herstellung des Templets und die Lebensdauer des Templets sind Themen, die den Lithographiedruck unpraktisch machen. Folglich gibt es einen Bedarf für verbesserte Lithographie-Techniken, die die Herausforderungen ansprechen, die mit der optischen Lithographie, der Elektronstrahl-Lithographie und dem Lithographiedruck zur Herstellung sehr hoch auflösender Merkmale verbunden sind.

**[0005]** Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung von Musterstrukturen auf einem Substrat herzustellen, die sehr hoch auflösende Merkmale erzeugen können, und eine Vorrichtung bereitzustellen, um eine Form eines Substrates zur Verwendung in dem Verfahren der Erfindung zu verändern.

**[0006]** Diese Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen charakterisiert.

**[0007]** In einem Ausführungsbeispiel werden Musterstrukturen auf einem Substrat unter Verwendung von Lithographiedruckverfahren erzeugt. Das Verfahren umfasst das Auftragen einer polymerisierbaren Zusammensetzung auf einer Oberfläche des Substrats. Das Substrat kann ein Substrat sein, das zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung verwendet wird. Beispiele von Substraten umfassen, sind jedoch nicht begrenzt auf, Silizium-Wafer, GaAs-Wafer, SiGeC-Wafer oder InP-Wafer. Die polymerisierbare Zusammensetzung kann eine mit ultraviolettem Licht aushärtbare Zusammensetzung sein. Die mit ultraviolettem Licht aushärtbare Zusammensetzung kann ein polymerisierbares Monomeres und ein Fotoinitiator sein. Die Zusammensetzung kann durch Schleudern auf dem Substrat aufgetragen werden.

**[0008]** Nachdem das Substrat mit der polymerisierbaren Zusammensetzung beschichtet ist, wird ein Templet oberhalb der polymerisierbaren Zusammensetzung platziert. Das Templet ist aus einem elektrisch leitfähigen Material hergestellt. Das Templet kann gegenüber sichtbarem und/oder ultraviolettem Licht im Wesentlichen transparent sein. Das Templet kann aus einer Kombination aus einem elektrisch leitfähigem Material gekoppelt mit einem nicht leitfähigem Material hergestellt werden. Sowohl das elektrisch leitfähige Material als auch das nicht leitfähige Material können im Wesentlichen gegenüber Licht transparent sein. Das Templet kann aus Indium-Zinn-Oxid und Quarzglas hergestellt werden. Das Templet umfasst ein Muster von Strukturen. Das Muster von Strukturen ist komplementär zu dem

Muster der Strukturen, die auf dem Substrat hergestellt werden sollen. Wenigstens ein Teil der Strukturen kann eine Merkmalsgröße von weniger als 100 nm haben.

**[0009]** Ein elektrisches Feld wird zwischen dem Templet und dem Substrat angelegt. Das Anlegen des elektrischen Feldes erzeugt eine statische Kraft, die wenigstens einen Teil der polymerisierbaren Zusammensetzung zu dem Templet hin anzieht. Die Teile der polymerisierbaren Zusammensetzung, die zu dem Templet hin gezogen werden, sind komplementär zu dem Muster der Strukturen, die auf dem Templet aufgedruckt sind. In einem Ausführungsbeispiel kommen die Teile der polymerisierbaren Zusammensetzung, die zu dem Templet hin angezogen werden, in Kontakt mit dem Templet, während die restlichen Teile das Templet nicht kontaktieren. Alternativ kommen weder die angezogenen Teile noch die restlichen Teile der polymerisierbaren Zusammensetzung in Kontakt mit dem Templet. Die angezogenen Teile erstrecken sich jedoch zu dem Templet hin, während die nicht angezogenen Teile sich nicht in demselben Maße erstrecken, indem sich die angezogenen Teile zu dem Templet erstrecken.

**[0010]** Die polymerisierbare Zusammensetzung kann unter Verwendung einer geeigneten Aushärtungstechnik polymerisiert werden. Beispielsweise kann die polymerisierbare Zusammensetzung einen Fotoinitiator umfassen und durch Belichtung mit aktivierendem Licht aushärtbar sein, während ein elektrisches Feld an das Templet und das Substrat angelegt wird. Wie es hier verwendet wird, bedeutet „aktivierendes Licht“ ein Licht, das eine chemische Veränderung herbeiführen kann. Aktivierendes Licht kann ultraviolettes Licht (beispielsweise Licht mit einer Wellenlänge zwischen etwa 300 nm bis etwa 400 nm), aktinisches Licht, sichtbares Licht oder Infrarotlicht umfassen. Im Allgemeinen kann jede Lichtwellenlänge, die in der Lage ist, eine chemische Veränderung herbeizuführen, als aktivierend klassifiziert werden. Chemische Veränderungen können in einer Anzahl Formen manifestiert werden. Eine chemische Veränderung kann eine beliebige chemische Reaktion umfassen, die bewirkt, dass eine Polymerisations- oder Vernützungs-Reaktion stattfindet, ist jedoch nicht darauf beschränkt. Das aktivierende Licht kann durch das Templet geschickt werden, bevor es die Zusammensetzung erreicht. Auf diese Weise kann die polymerisierbare Zusammensetzung so ausgehärtet werden, dass Strukturen gebildet werden, die zu den auf dem Templet ausgebildeten Strukturen komplementär sind. Alternativ kann die polymerisierbare Zusammensetzung durch Aufbringen von Wärme auf die Zusammensetzung ausgehärtet werden, während ein elektrisches Feld an das Templet und das Substrat angelegt wird.

**[0011]** Nachdem die polymerisierbare Zusammen-

setzung ausgehärtet ist, können die Strukturen durch Ätzen der ausgehärteten, polymerisierbaren Zusammensetzung weitergehend definiert werden. Die Ätzung kann das Seitenverhältnis der Strukturen verbessern. Eine beliebige der herkömmlicher Weise verwendeten Ätztechniken kann verwendet werden, einschließlich der reaktiven Ionenätzung.

**[0012]** In einem Ausführungsbeispiel kann das Templet weniger als etwa 1 µm von der polymerisierbaren Zusammensetzung positioniert werden. Das Substrat sollte daher eine Ebenheit von weniger als 1 µm, vorzugsweise weniger als etwa 0,25 µm, haben. Wie sie hier verwendet wird, ist die Ebenheit als Abweichung der Wölbung über der Oberfläche des Substrats definiert. Beispielsweise zeigt eine Ebenheit von 1 µm an, dass die Wölbung der Oberfläche um 1 µm oberhalb und/oder unterhalb eines Mittelpunktes variiert, der eine ebene Oberfläche definiert.

**[0013]** Um eine Oberfläche mit einer Ebenheit von weniger als etwa 1 µm zu erreichen, kann das Substrat auf einer Vorrichtung platziert werden, die konfiguriert ist, um die Form des Substrats zu verändern. Die Vorrichtung kann einen Halter umfassen, der konfiguriert ist, um an dem Substrat angekoppelt zu werden und dieses zu lagern. Die Vorrichtung kann auch eine Vielzahl von Druckbeaufschlagungsvorrichtungen umfassen, die mit dem Halter gekoppelt sind. Die Druckbeaufschlagungsvorrichtungen können konfiguriert sein, um eine deformierende Kraft auf den Halter auszuüben, so dass die Form des Halters verändert wird. Das Substrat kann mit dem Halter so gekoppelt sein, dass die Änderungen in der Form des Halters auf das Substrat übertragen werden können. Auf diese Weise kann die Ebenheit des Substrats geändert werden, so dass sie mit der erwünschten Ebenheit konform geht. Die Vorrichtung kann einen programmierbaren Controller umfassen. Der programmierbare Controller kann eine Detektorvorrichtung umfassen, die konfiguriert ist, um die Ebenheit des Substrats zu bestimmen. Der Controller kann ferner konfiguriert sein, um die Druckbeaufschlagungsvorrichtungen zu betätigen, um die Ebenheit des Substrats auf der Basis der festgestellten Ebenheit zu verändern.

**[0014]** Ein Lithographieverfahren mit hohem Durchsatz zum Erzeugen von hoch auflösenden Mustern in einer polymerisierbaren Zusammensetzung unter Verwendung von sorgfältig gesteuerten elektrischen Feldern erfolgt von dem Aushärten der polymerisierbaren Zusammensetzung wird beschrieben. Das Verfahren umfasst die Verwendung eines Temples, das die gewünschten Muster umfasst. Dieses Templet wird in eine nahe Nachbarschaft zu der polymerisierbaren Zusammensetzung auf dem Substrat gebracht. Ein externes elektrisches Feld wird an die Templet-Substrat-Schnittstelle angelegt, während ein gleichförmiger, sorgfältig gesteuerter Spalt zwischen

dem Templet und dem Substrat aufrechterhalten wird. Dies bewirkt, dass die polymerisierbare Zusammensetzung zu den angehobenen Teilen des Templates angezogen wird. Durch eine geeignete Auswahl der verschiedenen Verfahrensparameter, beispielsweise der Viskosität der polymerisierbaren Zusammensetzung, der Größe des elektrischen Feldes und des Abstandes zwischen dem Templet und dem Substrat kann die Auflösung der Strukturen, die in der Flüssigkeit ausgebildet werden, so gesteuert werden, dass sie mit denen des Templates konform sind.

**[0015]** Andere Aufgaben und Vorteile der Erfindung werden beim Lesen der folgenden detaillierten Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen ersichtlich, in denen:

**[0016]** [Fig. 1](#) ein Templet zeigt, das zum Zwecke einer auf einem elektrischen Feld basierenden Lithographie unter Verwendung von UV-aushärtbaren Zusammensetzungen über einem Substrat positioniert ist;

**[0017]** [Fig. 2](#) zeigt ein schematisches Verfahren zur Ausbildung von Nanomaßstab-Strukturen unter Verwendung eines direkten Kontaktes mit einem Templet;

**[0018]** [Fig. 3](#) zeigt ein schematisches Verfahren zur Herstellung von Nanomaßstab-Strukturen unter Verwendung von nicht direktem Kontakt mit einem Templet;

**[0019]** [Fig. 4](#) zeigt einen Substrathalter der konfiguriert ist, um die Ebenheit des Substrats zu ändern; und

**[0020]** [Fig. 5](#) zeigt eine Vorrichtung zur Positionierung eines Templates über einem Substrat.

**[0021]** Während die Erfindung verschiedene Modifikationen und alternativen Formen unterworfen werden kann, werden spezielle Ausführungsbeispiele davon als Beispiel in den Zeichnungen gezeigt und werden hier im Detail beschrieben. Es ist jedoch zu beachten, dass die Zeichnungen und die detaillierte Beschreibung dazu nicht gedacht sind, die Erfindung auf die spezielle, offenbarte Form einzuschränken, sondern dass im Gegenteil die Erfindung alle Modifikationen, Äquivalente und Alternativen umfassen soll, die in den Schutzbereich der vorliegenden Erfindung fallen, wie er durch die beigefügten Ansprüche bestimmt ist.

**[0022]** In letzter Zeit wurden Lithographiedrucktechniken mit UV-aushärtbaren Flüssigkeiten und Polymeren zur Herstellung von Nanomaßstab-Strukturen beschrieben, siehe „Step and Flash Imprint Lithography: An alternative approach to high resolution patterning," M. Colburn, S. Johnson, M. Stewart, S.

Damle, B.J. Choi, T. Bailey, M. Wedlake, T. Michaelson, S.W. Sreenivasan, J. Ekerdt, C.G. Willson, Proc. SPIE Vol. 3676, 379-389, 1999, „Design of Orientation Stages for Step and Flash Imprint Lithography," B.J. Choi, S. Johnson, M. Colburn, S.V. Sreenivasan, C.G. Willson, zu veröffentlichen in J. of Precision Engineering, U.S. Patentanmeldung Nr. 09/266,663 mit dem Titel „Step and Flash Imprint Lithography", an Grant Willson und Matt Colburn, U.S. Patentanmeldung Nr. 09/698,317 mit dem Titel „High Precision Orientation Alignment and Gap Control Stages for Imprint Lithography Processes", an B.J. Choi, S.V. Sreenivasan und Steve Johnson, und „Large area high density quantized magnetic disks fabricated using nanoimprint lithography," W. Wu, B. Cui, X.Y. Sun, W. Zhang, L. Zhunag, und S.Y. Cou., J. Vac Sci Technol B 16 (6) 3825-3829 November-Dezember 1998. Diese Techniken können potentiell erheblich geringere Kosten als optische Lithographietechniken für eine Auflösung von unterhalb 50 nm haben. Die neuerliche Forschung hat auch die Möglichkeit der Anwendung elektrischer Felder und van der Waals-Anziehungskräfte zwischen einem Templet, das eine Topographie besitzt und einem Substrat untersucht, das ein polymeres Material enthält, um Nanomaßstab-Strukturen herzustellen, siehe „Lithographically-induced Self-assembly of Periodic Polymer Micropillar Arrays," Zhuang, J Vac Sci Tech B 17 (6), 3197-3202, 1999 und „Large Area Domain Alignment in Block Copolymer Thin Films Using Electric Fields," P. Mansky, J.DeRouchey, J. Mays, M. Pitsikalis, T. Morkved, H. Jaeger und T. Russell, Macromolecules 13, 4399 S. Y. Chou, L (1998). Diese Forschung bezog sich auf Systeme von Polymermaterial, welches auf Temperaturen aufgeheizt werden kann, die etwas oberhalb ihrer Glasübergangstemperatur liegen. Diese viskosen Polymermaterialien neigen dazu, sehr langsam auf das elektrische Feld zu reagieren (in der Größenordnung von einigen Minuten), wodurch sie für kommerzielle Anwendungsfälle weniger erwünscht sind.

**[0023]** Die hier beschriebenen Ausführungsbeispiele können potentiell lithographisch bemusterte Strukturen schnell herstellen (in einer Zeit von weniger als etwa 1 Sekunde). Die Strukturen können Größenabmessungen von Zehntel nm haben. Die Strukturen können dadurch erzeugt werden, dass eine polymerisierbare Zusammensetzung (beispielsweise eine durch Aufschleudern beschichtete, UV-aushärtbare Flüssigkeit) in der Anwesenheit elektrischer Felder ausgehärtet wird. Das Aushärten der polymerisierbaren Zusammensetzung stellt dann das Muster der Strukturen auf dem Substrat her. Das Muster kann durch Platzieren eines Templates mit einer spezifischen Nanometermaßstab-Topographie bei einem sorgfältig kontrollierten Nanomaßstab-Abstand von der Oberfläche einer dünnen Schicht der Flüssigkeit auf einem Substrat erzeugt werden. Wenn alle oder ein Teil der erwünschten Strukturen sich regelmäßig

wiederholende Muster (beispielsweise ein Feld von Punkten) sind, kann das Muster auf dem Templet erheblich größer sein als die Größe der erwünschten, sich wiederholenden Muster. Das Templet kann unter Verwendung von direkt schreibender Elektronenstrahlolithographie hergestellt werden. Das Templet kann wiederholt in einem Verfahren mit hohem Durchsatz verwendet werden, um Nanostrukturen auf den Substraten zu replizieren. Das Templet kann aus einem leitfähigen Material hergestellt werden, beispielsweise Indium-Zinn-Oxid, das ebenfalls für UV-Licht transparent ist. Das Templet-Herstellungsverfahren ist ähnlich dem von Phasenverschiebungs-Fotomasken für die optische Lithographie; Phasenverschiebungs-Masken erfordern einen Ätzschritt, der eine Topographie auf dem Templet erzeugt.

**[0024]** Die Reproduktion des Musters auf dem Templet kann dadurch erreicht werden, dass ein elektrisches Feld zwischen dem Templet und dem Substrat angelegt wird. Weil die Flüssigkeit und Luft (und Vakuum) unterschiedliche Dielektrizitätskonstanten haben, und weil das elektrische Feld aufgrund der Anwesenheit der Topographie auf dem Templet örtlich variiert, kann eine elektrostatische Kraft erzeugt werden, die Bereiche der Flüssigkeit zu dem Templet hin anzieht. Bei hohen elektrischen Feldstärken kann bewirkt werden, dass die polymerisierbare Zusammensetzung an dem Templet haftet und an gewissen Punkten von dem Substrat abgezogen wird. Diese polymerisierbare Zusammensetzung kann an diesem Ort durch Polymerisation der Zusammensetzung ausgehärtet werden. Das Templet kann mit einem eine niedrige Energie aufweisenden, selbst-zusammengesetzten, einschichtigen Film (beispielsweise fluoriniertes Netzmittel) behandelt werden, um die Trennung des Templates von der polymerisierten Zusammensetzung zu unterstützen.

**[0025]** Es kann möglich sein, das elektrische Feld, das Design der Topographie des Templates und den Nahabstand des Templates zu der Flüssigkeitsoberfläche so zu steuern, dass ein Muster in der polymerisierbaren Zusammensetzung erzeugt wird, welches nicht mit der Oberfläche des Templates in Kontakt kommt. Diese Technik kann die Notwendigkeit einer mechanischen Trennung des Templates von der polymerisierbaren Zusammensetzung eliminieren. Diese Technik kann auch eine mögliche Quelle für Fehler in dem Muster eliminieren. Wenn jedoch ein Kontakt fehlt, kann die Flüssigkeit möglicherweise keine scharfen Strukturen hoher Auflösung bilden, die so gut definiert sind wie in dem Fall eines Kontakts. Dies kann dadurch angesprochen werden, dass als erstes Strukturen in der polymerisierbaren Zusammensetzung erzeugt werden, die bei einem vorgegebenen elektrischen Feld teilweise definiert sind. Danach kann der Spalt zwischen dem Templet und dem Substrat vergrößert werden, während gleichzeitig die

Größe des elektrischen Felds erhöht wird, um die Flüssigkeit „auszuziehen“, um klar definierte Strukturen zu bilden, ohne einen Kontakt zu erfordern.

**[0026]** Die polymerisierbare Zusammensetzung kann auf der Oberseite eines hart gebackenen Resistmaterials abgeschieden werden, was zu einem Zwei-Schichten-Verfahren führt. Solch ein Zwei-Schichten-Verfahren ermöglicht die Ausbildung von Strukturen mit niedrigem Seitenverhältnis und hoher Auflösung unter Verwendung der elektrischen Felder gefolgt von einer anisotropen Ätzung, die zu Strukturen mit hohem Seitenverhältnis und hoher Auflösung führt. Solch ein Zwei-Schichten-Verfahren kann auch verwendet werden, um ein „Metall-Ablöseverfahren“ auszuführen, um ein Metall auf dem Substrat abzuschneiden, so dass das Metall zurückgelassen wird, nachdem die ursprünglich erzeugten Strukturen in den Grabenbereichen abgehoben worden sind.

**[0027]** Durch Verwendung einer polymerisierbaren Zusammensetzung niedriger Viskosität kann die Musterausbildung aufgrund des elektrischen Feldes schnell sein (beispielsweise weniger als etwa 1 Sekunde), und die Struktur kann schnell ausgehärtet werden. Die Vermeidung von Temperaturschwankungen in dem Substrat und der polymerisierbaren Zusammensetzung kann auch eine unerwünschte Musterverzerrung vermeiden, die eine Nanoauflösungs-Ausrichtung von Schicht zu Schicht unpraktisch macht. Zusätzlich ist es, wie oben erwähnt wurde, möglich, ein Muster schnell ohne Kontakt mit dem Templet auszubilden, so dass auf diese Weise Fehler eliminiert werden, die mit Druckverfahren verbunden sind, die einen direkten Kontakt erfordern.

**[0028]** [Fig. 1](#) zeigt ein Templet und Substratdesigns. Das Templet kann aus einem Material ausgebildet sein, das transparent gegenüber aktivierendem Licht ist, um die Aushärtung der polymerisierbaren Zusammensetzung durch Belichtung mit aktivierendem Licht zu gestatten. Das Ausbilden des Templates aus einem transparenten Material kann auch die Verwendung optischer Techniken gestatten, um den Spalt zwischen dem Templet und dem Substrat zu messen und die Überlagerungsmarken zu messen, um eine Überlagerungsausrichtung und Vergrößerungskorrektur während der Ausbildung der Strukturen durchzuführen. Das Templet kann auch thermisch und mechanisch stabil sein, um eine Nanoauflösungs-Musterausbildung bereitzustellen. Das Templet kann auch ein elektrisch leitfähiges Material umfassen, um zu gestatten, dass elektrische Felder an der Templet-Substrat-Schnittstelle erzeugt werden.

**[0029]** In [Fig. 1](#) wurde ein Rohling aus Quarzglas als Basismaterial für das Templet ausgewählt. Indium-Zinn-Oxid (ITa) kann auf dem Quarzglas abgeschieden werden. ITa ist transparent für sichtbares

und UV-Licht und es ist ein leitfähiges Material. ITa kann unter Verwendung von Elektronstrahl-Lithographie hoher Auflösung mit einem Muster versehen werden. Eine Beschichtung mit niedriger Oberflächenenergie (beispielsweise eine Fluorverbindung, die eine selbst-zusammensetzende Monosicht enthält) kann auf dem Templet aufgetragen werden, um die Ablösecharakteristiken zwischen dem Templet und der polymerisierten Zusammensetzung zu verbessern. Das Substrat kann Standard-Wafermaterialien, beispielsweise Si, GaAs, SiGeC und InP, umfassen. Eine UV-aushärtbare Flüssigkeit kann als polymerisierbare Zusammensetzung verwendet werden. Die polymerisierbare Zusammensetzung kann durch Schleudern auf den Wafer aufgetragen werden. Eine wahlweise vorgesehene Transferschicht kann zwischen dem Wafer und der Flüssigkeitsschicht platziert werden. Diese Transferschicht kann für das Zwei-Schicht-Verfahren verwendet werden. Die Materialeigenschaften und Dicke der Transferschicht können so gewählt werden, dass Strukturen mit hohem Seitenverhältnis aus Strukturen mit niedrigem Seitenverhältnis, die in dem ausgehärteten Flüssigkeitsmaterial erzeugt werden, erzeugt werden können. Ein elektrisches Feld kann zwischen dem Templet und dem Substrat dadurch erzeugt werden, dass ITO mit einer Spannungsquelle verbunden wird.

**[0030]** In den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) werden zwei Varianten des oben beschriebenen Verfahrens dargestellt. In jeder Variante wird angenommen, dass ein erwünschter, gleichförmiger Spalt zwischen dem Templet und dem Substrat aufrechterhalten werden kann. Ein elektrisches Feld mit einer gewünschten Größe kann angelegt werden, so dass die polymerisierbare Zusammensetzung zu den angehobenen Abschnitten des Templets hin angezogen wird. In [Fig. 2](#) sind der Spalt und die Größe des Feldes so gewählt, dass die polymerisierbare Zusammensetzung mit dem Templet einen direkten Kontakt macht und daran haftet. Ein UV-Aushärtungsverfahren kann verwendet werden, um die Flüssigkeit in dieser Konfiguration auszuhärten. Sobald die Strukturen ausgebildet worden sind, wird das Templet von dem Substrat entweder durch Vergrößerung des gleichförmigen Spaltes, bis die Trennung erreicht worden ist, oder durch Einleiten einer Ablöse- und Zugbewegung getrennt, wobei das Templet beginnend von einem Rand des Templets aus von dem Substrat abgezogen wird. Es wird davon ausgegangen, dass das Templet vor seinem Einsatz mit einer Monoschicht mit geringer Oberflächenenergie behandelt worden ist, die bei dem Trennschritt hilfreich ist.

**[0031]** In [Fig. 3](#) sind der Spalt und die Feldstärken so gewählt, dass die Flüssigkeit eine Topographie annimmt, die im wesentlichen die gleiche ist wie die des Templets. Diese Topographie kann erreicht werden, ohne einen direkten Kontakt mit dem Templet zu machen. Ein UV-Aushärtungsverfahren kann verwendet

werden, um die Flüssigkeit in dieser Konfiguration auszuhärten. In beiden Verfahren der [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) kann ein nachfolgendes Ätzverfahren verwendet werden, um die restliche Schicht des UV-härtbaren Materials zu entfernen. Eine weitere Ätzung kann auch verwendet werden, wenn eine Transferschicht zwischen dem UV-aushärtbaren Material und dem Wafer vorhanden ist, wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt ist. Wie oben erwähnt wurde, kann eine Transferschicht verwendet werden, um Strukturen mit hohem Seitenverhältnis aus einer Struktur mit niedrigem Seitenverhältnis, die in dem UV-aushärtbaren Material erzeugt wird, zu erhalten.

**[0032]** [Fig. 4](#) zeigt mechanische Vorrichtungen, die die Ebenheit des Substrats erhöhen können. Das Templet kann aus optischem Flachmaterial hoher Qualität aus Quarzglas hergestellt werden, wobei Indium-Zinn-Oxid auf dem Quarzglas abgeschieden ist. Daher hat das Templet typischerweise eine extrem hohe Ebenheit. Die Substrate haben typischerweise eine niedrige Ebenheit. Quellen für Abweichungen in der Ebenheit des Substrates umfassen eine schlechte Endbearbeitung der Rückseite des Wafers, das Vorhandensein bestimmter Verunreinigungen, die zwischen dem Wafer und der Waferhalterung eingeschlossen sind, und Waferverzerrungen, die durch die thermische Verarbeitung des Wafers verursacht wurden. In einem Ausführungsbeispiel kann das Substrat auf einer Halterung montiert werden, deren Oberflächenform durch ein großes Feld piezoelektrischer Betätigungsvorrichtungen verändert werden kann. Die Halterungsdicke kann so sein, dass eine genaue Korrektur in der Oberflächentopographie von bis zu einigen Mikron erreicht werden kann. Das Substrat kann an der Halterung so montiert sein, dass es im wesentlichen mit der Form der Halterung konform ist. Wenn das Substrat erst in die Halterung geladen ist, kann ein Sensorsystem (beispielsweise ein optisches Oberflächentopographie-Meßsystem) verwendet werden, um die obere Oberfläche des Substrats genau zu vermessen. Wenn die Oberflächentopologie bekannt ist, kann das Feld der piezoelektrischen Betätigungsvorrichtungen betätigt werden, um die Topographieabweichungen richtig zu stellen, so dass die obere Oberfläche des Substrats eine Ebenheit von weniger als 1 µm zeigt. Da angenommen wird, dass das Substrat aus einem optisch flachem Material hergestellt ist, führt dies zu einem Templet und einem Substrat, die ebene Oberflächen hoher Qualität haben.

**[0033]** Die mechanische Vorrichtung in [Fig. 5](#) kann verwendet werden, um eine Spaltsteuerung mit hoher Auflösung an der Templet-Substrat-Schnittstelle durchzuführen. Diese Vorrichtung kann zwei Kipp-Freiheitsgrade (um senkrechte Achsen, die auf der Oberfläche des Substrates liegen) und den vertikalen Translations-Freiheitsgrad des Templets steuern. Die Größe des Spaltes zwischen dem Templet



und dem Substrat kann in Realzeit gemessen werden. Diese Realzeitmessungen können verwendet werden, um korrigierende Templetbewegungen zu identifizieren, die um die Kipp-Freiheitsgrade und in vertikalen Verschiebungs-Freiheitsgrad erforderlich sind. Die drei Spaltemessungen können unter Verwendung eines optischen Breitband-Interferometer-Ansatzes erhalten werden, der ähnlich ist zu dem, der zur Messung der Dicken von Dünnschichten und Dünnschichtstapeln verwendet wird. Dieser Ansatz der kapazitiven Abtastung kann zur Messung dieser drei Spalte verwendet werden.

**[0034]** Die Beschreibung soll nur als erläuternd aufgefasst werden, und sie erfolgt zu dem Zweck dem Durchschnittsfachmann die allgemeine Art der Ausführung der Erfindung zu vermitteln. Es ist zu beachten, dass die Formen der Erfindung, die hier gezeigt und beschrieben sind, als gegenwärtig bevorzugte Ausführungsbeispiele genommen werden sollen. Elemente und Materialien können für die hier gezeigten und beschriebenen ausgetauscht werden, Teile und Verfahren können umgekehrt werden, und gewisse Merkmale der Erfindung können unabhängig verwendet werden, wie einem Durchschnittsfachmann nach Erhalt der Beschreibung der Erfindung ersichtlich ist. Änderungen können in den hier beschriebenen Elementen gemacht werden, ohne von dem Schutzzumfang der Erfindung abzuweichen, wie er in den folgenden Ansprüchen definiert ist.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Musterstrukturen auf einem Substrat (1) umfassend:  
Auftragen einer polymerisierbaren Zusammensetzung (2) auf einer Oberfläche des Substrats (1);  
Positionieren eines Templates (3) in der Nähe der polymerisierbaren Zusammensetzung (2), wobei wenigstens ein Teil des Templates (3) elektrisch leitfähig ist;

**dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren ferner die folgenden Schritte aufweist:

Anlegen eines elektrischen Feldes zwischen dem Templet (3) und dem Substrat (1), wobei das angelegte elektrische Feld eine elektrostatische Kraft erzeugt, die einen Teil der polymerisierbaren Zusammensetzung (2) zu dem Templet (3) hin zieht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend das Polymerisieren der polymerisierbaren Zusammensetzung (2).

3. Verfahren nach Anspruch 1, worin die polymerisierbare Zusammensetzung (2) eine Flüssigkeit, vorzugsweise eine Flüssigkeit mit niedriger Viskosität, ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, worin die polymerisierbare Zusammensetzung (2) eine Flüssigkeit mit

niedriger Viskosität ist, und worin die Viskosität der polymerisierbaren Zusammensetzung (2) derart ist, dass ein Muster sich in der polymerisierbaren Zusammensetzung (2) ausbildet, wenn das elektrische Feld in weniger als etwa 1 Sekunde angelegt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend das Polymerisieren der polymerisierbaren Zusammensetzung (2), wobei das elektrische Feld an das elektrisch leitfähige Templet (3) und das Substrat (1) angelegt wird, während die polymerisierbare Zusammensetzung (2) polymerisiert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, worin das Templet (3) und das Substrat (1) gegenüber sichtbarem und ultraviolettem Licht transparent ist.

7. Verfahren nach Anspruch 1, worin das Templet (3) ferner eine Beschichtung mit niedriger Oberflächenenergie aufweist, vorzugsweise eine Fluor enthaltende Beschichtung.

8. Verfahren nach Anspruch 1, worin die polymerisierbare Zusammensetzung (2) eine hitzehärtbare Zusammensetzung oder eine durch Aktivierungslicht aushärtbare Zusammensetzung ist.

9. Verfahren nach Anspruch 1, worin die polymerisierbare Zusammensetzung (2) zu dem Templet (3) hingezogen wird, das Templet (3) jedoch nicht berührt, wenn das elektrische Feld an das Templet (3) und das Substrat (1) angelegt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend das Polymerisieren der polymerisierbaren Zusammensetzung (2) und das Ätzen der polymerisierten, polymerisierbaren Zusammensetzung (2).

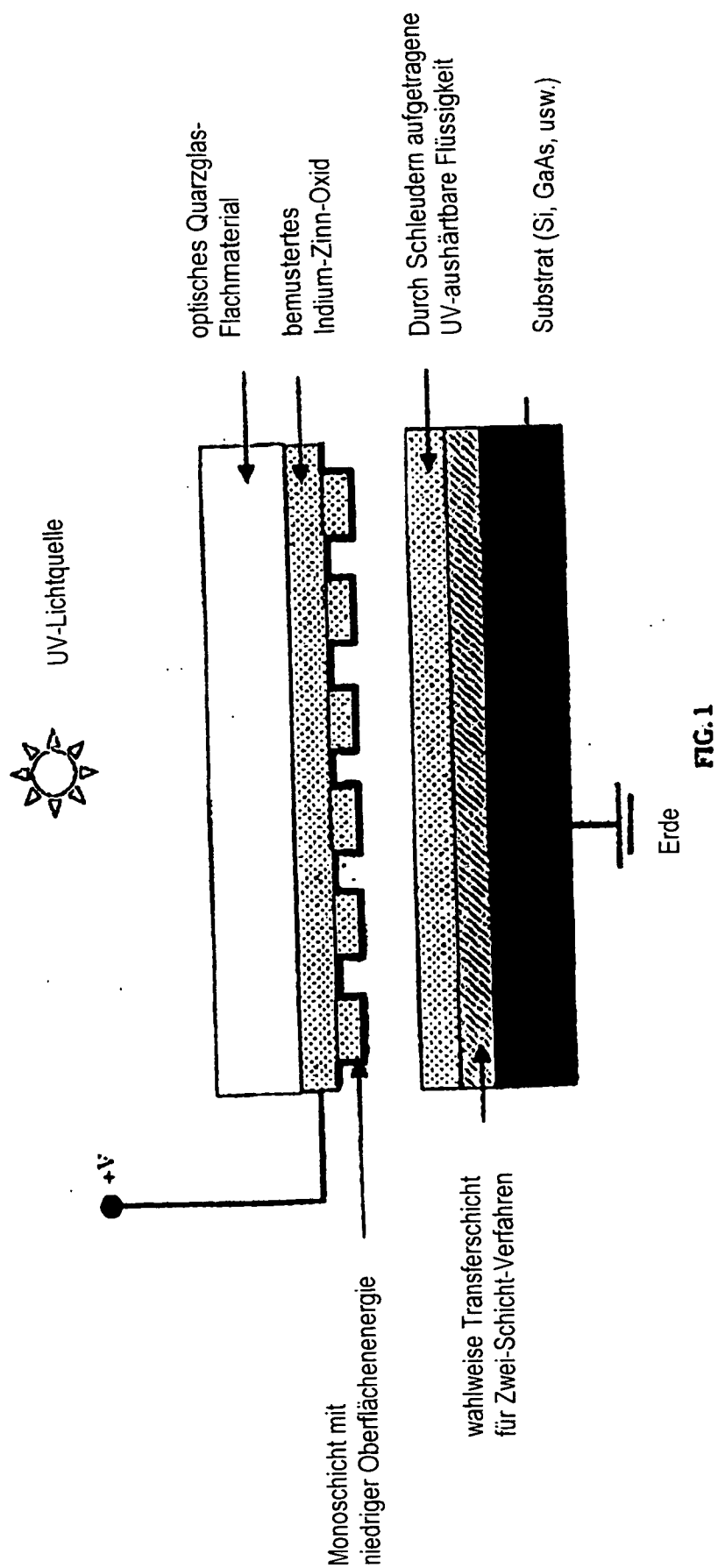
11. Verfahren nach Anspruch 1, worin das Substrat (1) ein Siliziumwafer oder ein GaAs-Wafer oder ein SiGeC-Wafer oder ein InP-Wafer ist.

12. Verfahren nach Anspruch 1, worin das Anlegen des elektrischen Feldes an das Templet (3) und das Substrat (1) bewirkt, dass ein Teil der polymerisierbaren Zusammensetzung (2) mit einem Teil des Templates (3) in Kontakt kommt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 und 8 bis 12, umfassend das Anlegen einer Vielzahl von Kräften an das Substrat (1), so dass die Form des Substrats (1) verändert wird.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





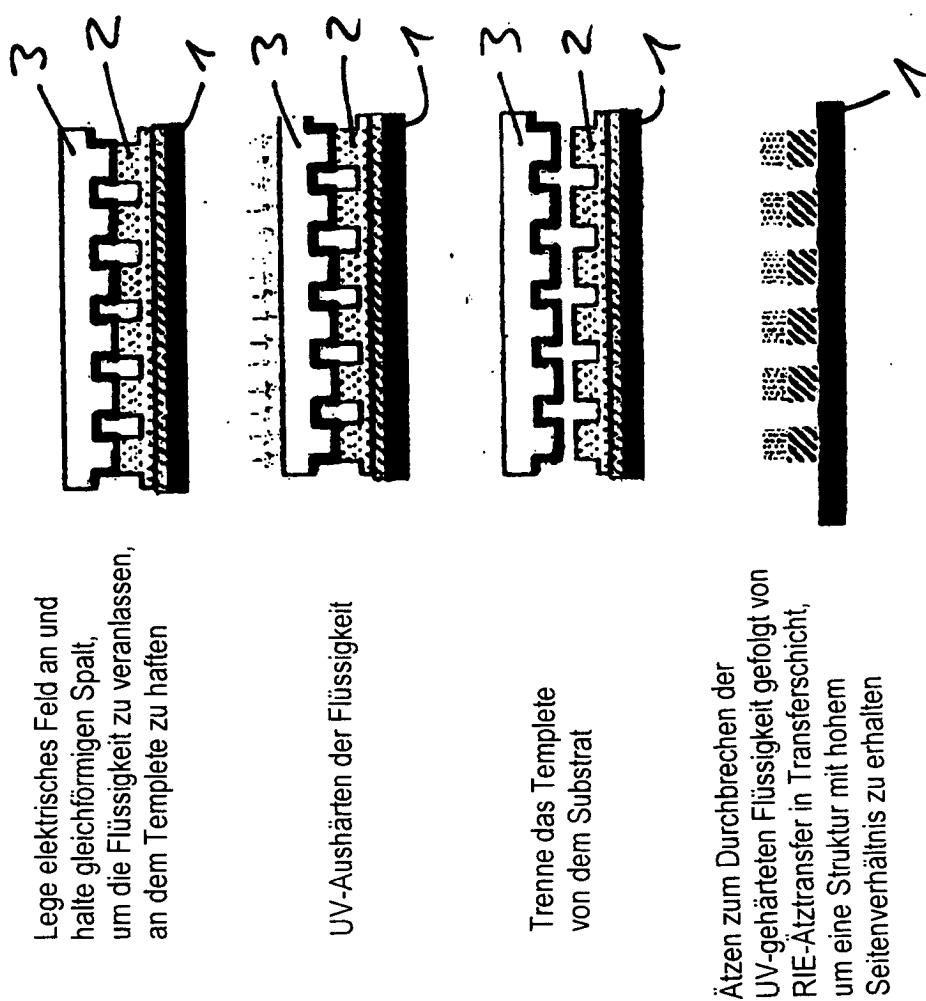
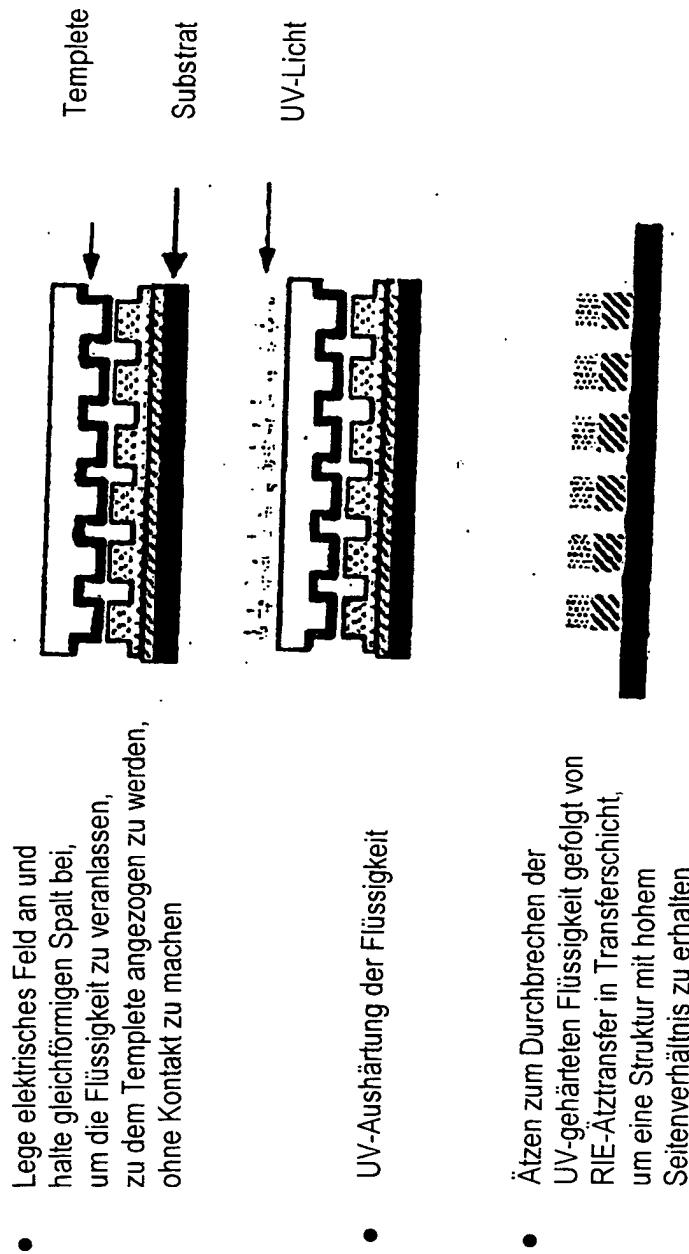


FIG. 2



**FIG. 3**

- Lege elektrisches Feld an und halte gleichförmigen Spalt bei, um die Flüssigkeit zu veranlassen, zu dem Template angezogen zu werden, ohne Kontakt zu machen
- UV-Aushärtung der Flüssigkeit
- Ätzen zum Durchbrechen der UV-gehärteten Flüssigkeit gefolgt von RIE-Ätztransfer in Transferschicht, um eine Struktur mit hohem Seitenverhältnis zu erhalten

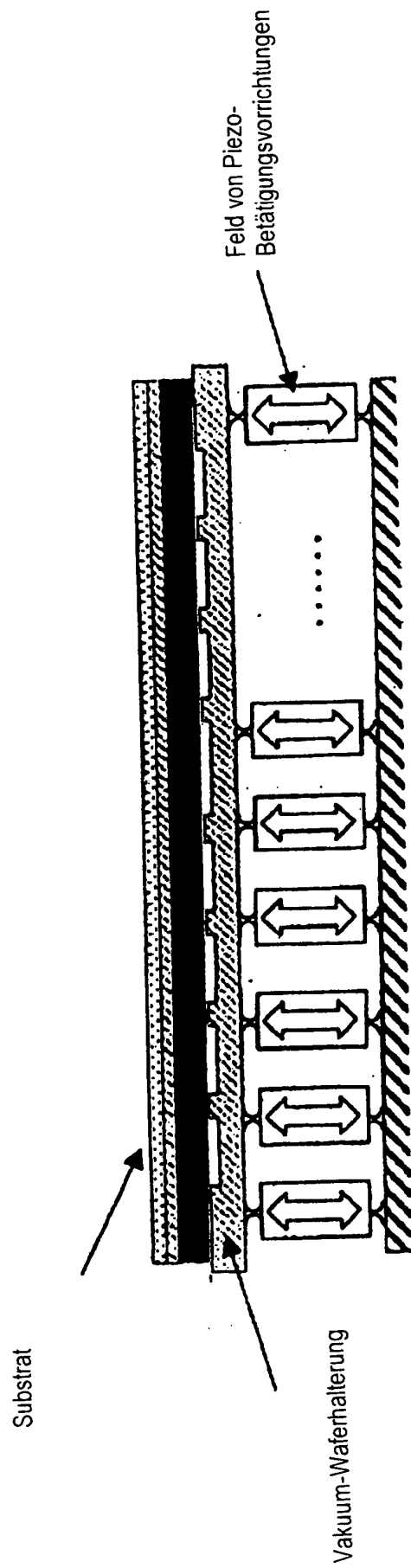


FIG. 4

