



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 006 438 A1** 2009.08.06

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 006 438.6**

(22) Anmeldetag: **28.01.2008**

(43) Offenlegungstag: **06.08.2009**

(51) Int Cl.⁸: **G03F 7/20** (2006.01)
G02B 26/08 (2006.01)

(71) Anmelder:
Carl Zeiss SMT AG, 73447 Oberkochen, DE

(74) Vertreter:
Zeuner & Summerer, Patentanwälte, 80636 München

(72) Erfinder:
Feldmann, Heiko, Dr., 73432 Aalen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

US 65 86 160 B2
US 72 98 453 B2
US 2005/02 59 785 A1

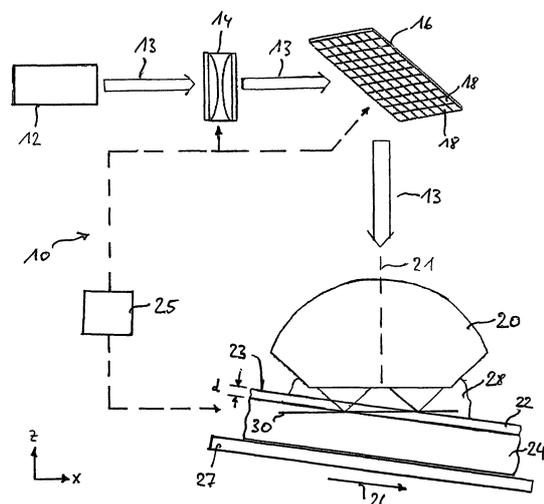
Dumbravescu, N.: "3-D resolution gray-tone lithography". Proc. SPIE Vol.4019, S.570-577 (2000)

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Strukturieren eines strahlungsempfindlichen Materials**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Strukturieren eines strahlungsempfindlichen Materials umfasst die folgenden Schritte: Bereitstellen einer Schicht (22) aus dem strahlungsempfindlichen Material, wobei das strahlungsempfindliche Material derart konfiguriert ist, dass bei Bestrahlung desselben mit einer Schwellenintensität übersteigenden Strahlungsintensität eine charakteristische Eigenschaft des strahlungsempfindlichen Materials verändert wird, Bereitstellen einer dynamischen Maske (16), welche dazu konfiguriert ist, ihre Struktur dynamisch zu verändern, Erzeugen eines ersten Strahlungsmusters (38; 138) mittels der dynamischen Maske (16) der strahlungsempfindlichen Materialschicht (22), derart, dass die Ausdehnung des ersten Strahlungsmusters (38), in der die Strahlungsintensität die Schwellenintensität übersteigt, in der Dickenrichtung der Materialschicht (22) an den einzelnen Punkten der Materialschicht (22) maximal 50% der Dicke der Materialschicht (22) beträgt, sowie Erzeugen eines zweiten Strahlungsmusters (40; 140) mittels der dynamischen Maske in der strahlungsempfindlichen Materialschicht (22).



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Strukturieren eines strahlungsempfindlichen Materials.

[0002] Photonenkristalle, Zwischenverbindingsschichten von Halbleiterbauelementen und mikromechanische Elemente treiben den Bedarf nach dreidimensionaler Strukturierung von Elementen im Bereich der Mikroelektronik. Herkömmlicherweise werden zur Erzeugung dreidimensionaler Strukturen z. B. lithographische Verfahren verwendet, bei denen die Halbleiterelemente Schicht für Schicht unter Verwendung verschiedener Masken erzeugt werden. Dabei wird zunächst ein Photolack, auch Resist genannt, auf einen Träger aufgebracht und mittels einer ersten lithographischen Maske belichtet. Darauf folgt ein chemischer Entwicklungsschritt, bei dem das bei der vorausgehenden Belichtung in dem Photolack erzeugte Beleuchtungsmuster in eine physische Struktur in dem Photolack übertragen wird. Dabei werden entweder belichtete Bereiche aus dem Photolack entfernt oder es bleiben umgekehrt belichtete Bereiche stehen, während die diese umgebenden unbelichteten Bereiche aus dem Photolack entfernt werden. Das Ergebnis ist eine zweidimensional strukturierte Photolackschicht. Um jedoch eine dreidimensionale Strukturierung zu erreichen, müssen die vorgenannten Schritte, nämlich das Auftragen einer Photolackschicht, das Belichten der Schicht sowie die darauffolgende chemische Entwicklung mehrfach mit verschiedenen Lithographiemasken wiederholt werden. Dieses Verfahren ist jedoch sehr aufwendig und damit zeit- und kostenintensiv.

Zugrundeliegende Aufgabe

[0003] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, die vorgenannten Probleme zu lösen und insbesondere ein Verfahren sowie eine Vorrichtung der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, dass eine dreidimensionale Strukturierung eines strahlungsempfindlichen Materials auf eine zeiteffizientere und kostensparendere Weise möglich wird.

Erfindungsgemäße Lösung

[0004] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Verfahren zum Strukturieren eines strahlungsempfindlichen Materials gelöst, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Bereitstellen einer Schicht aus dem strahlungsempfindlichen Material, wobei das strahlungsempfindliche Material derart konfiguriert ist, dass bei Bestrahlung desselben mit einer eine Schwellenintensität übersteigenden Strahlungsintensität eine charakteristische Eigenschaft des strahlungsempfindlichen Materials verändert

wird, Bereitstellen einer dynamischen Maske, welche dazu konfiguriert ist, ihre Struktur dynamisch zu verändern, Erzeugen eines ersten Strahlungsmusters mittels der dynamischen Maske in der strahlungsempfindlichen Materialschicht derart, dass die Ausdehnung des ersten Strahlungsmusters, in der die Strahlungsintensität die Schwellenintensität übersteigt, in der Dickenrichtung der Materialschicht an den einzelnen Punkten der Materialschicht maximal 50% der Dicke der Materialschicht beträgt, sowie Erzeugen eines zweiten Strahlungsmusters mittels der dynamischen Maske in der strahlungsempfindlichen Materialschicht.

[0005] Weiterhin ist die Aufgabe erfindungsgemäß mit einer Vorrichtung zum Strukturieren eines strahlungsempfindlichen Materials gelöst, wobei die Vorrichtung aufweist: eine Halteinrichtung zum Halten einer Schicht aus dem strahlungsempfindlichen Material, welches derart konfiguriert ist, dass bei Bestrahlung desselben mit einer eine Schwellenintensität übersteigenden Strahlungsintensität eine charakteristische Eigenschaft des strahlungsempfindlichen Materials verändert wird, eine dynamische Maske, welche dazu konfiguriert ist, ihre Struktur dynamisch zu verändern, sowie eine Steuerungseinrichtung, welche dazu konfiguriert ist, die Vorrichtung derart zu steuern, dass ein erstes Strahlungsmuster mittels der dynamischen Maske in der strahlungsempfindlichen Materialschicht erzeugt wird, wobei die Ausdehnung des ersten Strahlungsmusters, in der die Strahlungsintensität die Schwellenintensität übersteigt, in der Dickenrichtung der Materialschicht an den einzelnen Punkten der Materialschicht maximal 50% der Dicke der Materialschicht beträgt, sowie dass ein zweites Strahlungsmuster mittels der dynamischen Maske in der strahlungsempfindlichen Materialschicht erzeugt wird.

[0006] Mit anderen Worten wird erfindungsgemäß eine Schicht aus strahlungsempfindlichem Material bereitgestellt. Dieses strahlungsempfindliche Material kann z. B. ein sogenannter Resist bzw. Photolack sein, welcher in einer Ausführungsform eine Schichtdicke von z. B. 10 µm aufweisen kann. Das strahlungsempfindliche Material verändert bei Bestrahlung mit einer elektromagnetischen Strahlung, beispielsweise eines bestimmten Wellenlängenbereichs, beim Übersteigen einer bestimmten Strahlungsintensität eine charakteristische Eigenschaft. Die Veränderung in der charakteristischen Eigenschaft kann darin bestehen, dass das strahlungsempfindliche Material bei der Belichtung derart verändert wird, dass dieses chemisch lösbar wird, so dass es in einem darauffolgenden chemischen Entwicklungsschritt im Gegensatz zu nicht-belichtetem Material abgetragen wird. Ein Beispiel dafür ist positiver Resist. Das strahlungsempfindliche Material kann, wie etwa negativer Resist, auch umgekehrt beschaffen sein, so dass das ausreichend „belichtete“

Material bei dem Entwicklungsschritt gerade nicht abgetragen wird, sondern lediglich das nicht ausreichend belichtete Material.

[0007] Erfindungsgemäß wird mittels einer dynamischen Maske in der strahlungsempfindlichen Materialschicht ein erstes Strahlungsmuster erzeugt. Das erste Strahlungsmuster ist im Wesentlichen eine sich flächig in der Materialschicht erstreckende Strahlungsverteilung, weist jedoch eine Ausdehnung auch in der Dickenrichtung der Materialschicht auf. Die Ausdehnung des Strahlungsmusters in der Dickenrichtung der Materialschicht ist an den einzelnen Punkten der Materialschicht, d. h. an jeweiligen Oberflächenpunkten der Materialschicht in senkrechter Projektion zur Materialschicht, maximal 50% der Dicke der Materialschicht. Dabei wird unter Ausdehnung des Strahlungsmusters die Ausdehnung verstanden, in der die Strahlungsintensität die Schwellenintensität des strahlungsempfindlichen Materials übersteigt.

[0008] Mit anderen Worten weist das Strahlungsmuster eine Tiefenschärfe von maximal 50% des strahlungsempfindlichen Materials auf. Die Maske, mit der das erste Strahlungsmuster erzeugt wird, ist als sogenannte „dynamische Maske“ konfiguriert. Da es sich dabei nicht um eine Maske im herkömmlichen Sinne, d. h. nicht um eine statische Maske, handelt, kann das Strukturierungsverfahren auch als maskenloses Verfahren bezeichnet werden. Die dynamische Maske ist darauf ausgelegt, ihre Struktur dynamisch zu verändern, und kann beispielsweise als Mikrospiegelarray, welches auch als DMD (Digital Micromirror Device) bezeichnet wird, ausgelegt sein.

[0009] Durch das Vorsehen einer derartigen dynamischen Maske können mehrere Strahlungsmuster in dem strahlungsempfindlichen Material nacheinander erzeugt werden, ohne dass ein Maskenwechsel notwendig ist. Damit können die einzelnen Strahlungsmuster in schneller zeitlicher Abfolge erzeugt werden. Weiterhin entfällt die Notwendigkeit etwa eines erneuten Justierens einer weiteren Maske, so dass auch die Ausrichtung der einzelnen Strahlungsmuster zueinander mit einer hohen Genauigkeit erfolgen kann. Dadurch, dass die Ausdehnung des ersten Strahlungsmusters, in der die Strahlungsintensität die Schwellenintensität übersteigt, in der Dickenrichtung der Materialschicht an den einzelnen Punkten maximal 50% der Dicke der Schicht beträgt, ist es möglich, mit dem ersten Strahlungsmuster lediglich einen bestimmten vertikalen Teilbereich des strahlungsempfindlichen Materials bzw. eine Teilschicht desselben zu belichten.

[0010] Durch Erzeugen eines zweiten Strahlungsmusters kann ein anderer vertikaler Bereich der strahlungsempfindlichen Schicht belichtet werden. Damit ist es möglich, Ebene für Ebene der strah-

lungsempfindlichen Schicht zu belichten und dann mit dem Ergebnis eine dreidimensionale Strukturierung des strahlungsempfindlichen Materials zu bewirken. Das heißt, durch das Belichten unterschiedlicher Tiefenschichten in der strahlungsempfindlichen Materialschicht mit unterschiedlichen Strahlungsverteilungen wird es möglich, die strahlungsempfindliche Schicht nicht nur in den zwei Dimensionen ihrer Haupterstreckung, sondern auch in Richtung ihrer Dickenerstreckung mit einer gewünschten Struktur zu versehen. Mit anderen Worten wird die strahlungsempfindliche Schicht virtuell in mehrere aufeinanderliegende Scheiben aufgeteilt, die jeweils separat mit einer eigenen zweidimensionalen Strukturierung versehen werden.

[0011] In einer Ausführungsform nach der Erfindung ist die dynamische Maske als Mikrospiegelarray gestaltet. Wie bereits vorstehend erwähnt, wird ein derartiges Mikrospiegelarray auch als DMD (Digital Micromirror Device) bezeichnet. Ein derartiges Mikrospiegelarray kann beispielsweise 10.000×10.000 Spiegel umfassen, die jeweils eine Fläche von $8 \times 8 \mu\text{m}$ aufweisen. Die Spiegel können einzeln angesteuert werden. Die Mikrospiegel sind beispielsweise auf speziellen Drehzapfen gelagert und werden mittels elektrostatischer Felder verkippt. Die elektrostatischen Felder werden beispielsweise durch Schaltlogiken erzeugt, die sich hinter den Mikrospiegeln befinden. Durch das Verkippen eines Mikrospiegels kann der von diesem Spiegel reflektierte Strahl derart weit abgelenkt werden, dass dieser nicht mehr durch eine nachgeschaltete Projektionsoptik tritt. Dadurch kann durch Ansteuern des Mikrospiegels die Beleuchtung eines von diesem Mikrospiegel beleuchteten Pixels an- bzw. ausgeschaltet werden. Mittels eines Arrays von 10.000×10.000 Mikrospiegeln kann also ein Pixelmuster von 10.000×10.000 Pixeln flexibel umkonfiguriert werden, d. h. das Pixelmuster kann z. B. von dem ersten Strahlungsmuster in das zweite Strahlungsmuster umkonfiguriert werden. Vorteilhafterweise werden die Spiegel in einem Verhältnis von 1:267 bei der Abbildung auf das strahlungsempfindliche Medium verkleinert. Daraus ergibt sich eine Pixelgröße von 30 nm in der Fokusebene und eine Feldgröße von $300 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$. Die vertikale Auflösung bzw. Auflösung in der Dickenrichtung der Materialschicht kann aus einem Strehl-Verhältnis von 80% abgeschätzt werden, was einer RMS-Wellenfrontabweichung von $0,071 \lambda$ entspricht. In einer horizontalen Richtung kann die Auflösung als $0,5 \times \lambda/\text{NA}$ abgeschätzt werden. λ ist die Wellenlänge des zur Bestrahlung des strahlungsempfindlichen Materials verwendeten Lichts und NA die numerische Apertur einer verwendeten Projektionsoptik. Damit können beispielsweise horizontale Auflösungen von 80 nm erreicht werden. Kleinere Fleckgrößen können bei Verwendung von nichtlinearen Resists, speziellen Beleuchtungseinstellungen und bei Verwendung von auflösungsverstärkenden Methoden, wie etwa Pha-

senmasken und dezentrierter Beleuchtung, erzielt werden.

[0012] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung werden die Strahlungsmuster mittels einer Projektionsoptik mit einer numerischen Apertur von mindestens 0,9, insbesondere von mindestens 1,2 projiziert. Mit einer derart hohen numerischen Apertur lässt sich eine verhältnismäßig geringe Tiefenschärfe in der Materialschicht erzielen. Dies ermöglicht die Strukturierung des strahlungsempfindlichen Materials mit hoher Auflösung in der Dickenrichtung der Materialschicht.

[0013] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung wird das erste Strahlungsmuster in einem Bereich der Materialschicht auf eine erste Fokusebene in Bezug auf die Materialschicht fokussiert, und das zweite Strahlungsmuster wird in dem gleichen Bereich auf eine zweite Fokusebene in Bezug auf die Materialschicht fokussiert. Die zweite Fokusebene ist vorteilhafterweise gegenüber der ersten Fokusebene in der Dickenrichtung der Materialschicht versetzt. Mit anderen Worten wird das erste Strahlungsmuster auf eine erste Fokusposition in Bezug auf die Materialschicht, und das zweite Strahlungsmuster auf eine zweite Fokusposition in Bezug auf die Materialschicht fokussiert.

[0014] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung beträgt die Ausdehnung des zweiten Strahlungsmusters, in der die Strahlungsintensität die Schwellenintensität übersteigt, in der Dickenrichtung der Materialschicht an den einzelnen Punkten der Materialschicht ebenfalls maximal 50% der Dicke der Materialschicht. Dies ermöglicht die unabhängige Strukturierung einzelner Schichten innerhalb der Materialschicht mittels der einzelnen Strahlungsmuster.

[0015] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung werden die Strahlungsmuster jeweils erzeugt, indem eine von der dynamischen Maske erzeugte Beleuchtungsverteilung mittels einer Projektionsoptik auf die Materialschicht projiziert wird und die Materialschicht schräg zur Fokusebene der Projektionsoptik verschoben wird. Dabei kann die Rotationsstellung der Materialschicht gegenüber der Fokusebene grundsätzlich unterschiedlich eingestellt sein. Zum Beispiel kann die Materialschicht parallel zur Fokusebene ausgerichtet sein oder auch andere Rotationsstellungen aufweisen, während sie schräg zur Fokusebene verschoben wird. Durch die schräge Verschiebung der Materialschicht wird ein zu belichtender Bereich in zeitlicher Abfolge an unterschiedlichen Fokuspositionen angeordnet. Wird nun die Maske dynamisch in ihrer Struktur verändert und an passenden Zeitpunkten auf die Materialschicht belichtet, so lassen sich auf effiziente und zeitsparende Weise mehrere Strahlungsmuster an unterschiedlichen Positionen innerhalb der Dickenausdehnung

der Materialschicht erzeugen. In einer Ausführungsform beträgt der Winkel zwischen der Verschieberichtung und der Fokusebene $1,9^\circ$.

[0016] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung wird die Materialschicht entlang einer gegenüber der Fokusebene der Projektionsoptik verkippten Ebene verschoben und ist dabei parallel zur verkippten Ebene ausgerichtet. Das heißt, die Materialschicht wird in derjenigen Ebene verschoben, in der sie angeordnet ist. Damit ergibt sich die Möglichkeit, zum gegebenen Zeitpunkt mit einem einzelnen Strahlungsmuster Punkte in unterschiedlichen Tiefenpositionen in Bezug auf die Materialschicht zu belichten. Dies ermöglicht ein besonders effizientes dreidimensionales Strukturieren der Materialschicht, da damit eine parallele Strukturierung ermöglicht wird. Zu einem gegebenen Zeitpunkt können nämlich bereits zuvor in einer ersten Tiefenschicht belichtete Bereiche in einer darübergelegenen zweiten Tiefenschicht strukturiert werden, während Bereiche, die im Verlauf der Verschiebung bzw. der Scan-Bewegung der Materialschicht zu einem späteren Zeitpunkt in der zweiten Tiefenschicht angeordnet werden, zum gleichen Zeitpunkt in der ersten Tiefenschicht strukturiert werden können. In einer Ausführungsform beträgt der Kippwinkel zwischen der Materialschicht und der Fokusebene $1,9^\circ$.

[0017] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung wird nach dem Erzeugen des ersten Strahlungsmusters die Materialschicht in der Dickenrichtung der Materialschicht verschoben und daraufhin das zweite Strahlungsmuster erzeugt. Insbesondere werden die Strahlungsmuster erzeugt, indem die jeweilige von der dynamischen Maske erzeugte Beleuchtungsverteilung mittels einer Projektionsoptik auf die Materialschicht projiziert wird, wobei nach dem Erzeugen des ersten Strahlungsmusters die Materialschicht entlang der optischen Achse der Projektionsoptik verschoben wird und daraufhin das zweite Strahlungsmuster erzeugt wird. Mit diesem Verfahren kann die Materialschicht ebenfalls auf sehr effiziente Weise dreidimensional strukturiert werden. So kann ein Dickenabschnitt der Materialschicht zunächst mit dem ersten Strahlungsmuster belichtet werden und daraufhin ein direkt unter dem belichteten Abschnitt liegender Dickenabschnitt der Materialschicht mittels des zweiten Strahlungsmusters belichtet werden. Daraufhin wird vorteilhafterweise die Materialschicht quer zur optischen Achse soweit verschoben, dass ein bisher unbelichteter Bereich der Materialschicht mit dem nächsten Belichtungsschritt belichtet werden kann.

[0018] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung wird nach der Erzeugung der beiden Strahlungsmuster die Materialschicht quer zur Dickenrichtung der Materialschicht, insbesondere entlang der Fokusebene der Projektionsoptik, verschoben, und

daraufhin werden abermals zwei Strahlungsmuster erzeugt, welche auf unterschiedliche Fokusebenen in Bezug auf die Materialschicht fokussiert sind. Dabei werden vorteilhafterweise parallele zweidimensionale Schnitte in dem zu strukturierenden strahlungsempfindlichen Material erzeugt.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung werden die Strahlungsmuster erzeugt, indem eine jeweilige von der dynamischen Maske erzeugte Beleuchtungsverteilung mittels einer Projektionsoptik auf die Materialschicht projiziert wird, und zwischen den Projektionen der beiden Strahlungsmuster eine Aberration, insbesondere die sphärische Aberration der Projektionsoptik verändert wird. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass beim Erzeugen der einzelnen Strahlungsmuster die elektromagnetische Strahlung durch unterschiedlich dicke Materialschichten dringen muss, d. h. die effektive Dicke der Materialschicht unterschiedlich ist. Dies führt zu Aberrationen, insbesondere dominierend sphärische Aberrationen beim Erzeugen der einzelnen Strahlungsmuster. Gemäß der vorliegenden Ausführungsform nach der Erfindung wird dieser Effekt durch dynamisches Anpassen der Aberration, insbesondere der sphärischen Aberration, kompensiert. Diese Manipulation der sphärischen Aberration kann z. B. mittel beweglicher Linsenelemente in der Projektionsoptik, die insbesondere mittels piezobetriebener z-Manipulationen in ihrer Position verändert werden, bewirkt werden.

[0020] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung ist beim Erzeugen der Strahlungsmuster eine Immersionsflüssigkeit auf dem strahlungsempfindlichen Material angeordnet, wobei der Brechungsindex der Immersionsflüssigkeit mit dem Brechungsindex des strahlungsempfindlichen Materials übereinstimmt. Insbesondere füllt die Immersionsflüssigkeit einen Zwischenraum zwischen der Projektionsoptik und dem strahlungsempfindlichen Material aus. Durch das Vorsehen der Immersionsflüssigkeit, deren Brechungsindex mit dem Brechungsindex des strahlungsempfindlichen Materials übereinstimmt, wird die beugungsbegrenzte Projektion nicht durch die Übergangsfläche zwischen der Immersionsflüssigkeit und dem strahlungsempfindlichen Material beeinflusst.

[0021] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung ist das strahlungsempfindliche Material als nicht-lineares Resist ausgebildet. Vorteilhafterweise ist der nicht-lineare Resist als 2-Photonen-Resist ausgebildet. Derartige Resists akkumulieren die Belichtungsdosis nicht über einen längeren Zeitraum, sondern zeigen eine nicht-lineare Reaktion auf die momentane Intensität. Damit ist es möglich, eine dreidimensionale Strukturierung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren im dynamischen Scan-Betrieb mit hoher Auflösung zu erzielen.

[0022] In einer weiteren Ausführungsform ist beim Erzeugen der Strahlungsmuster eine Platte variierender Dicke aus lichtdurchlässigem Material oberhalb des strahlungsempfindlichen Materials angeordnet, und ein Zwischenraum zwischen dem strahlungsempfindlichen Material und der Platte ist mit einer Immersionsflüssigkeit gefüllt. Die Platte kompensiert die vorstehend angesprochene Veränderung in auftretenden Aberrationen, insbesondere sphärischen Aberrationen. Die Platte kann beispielsweise als Glasplatte ausgebildet sein. Bei einer effektiven Dickenveränderung des Resists zwischen verschiedenen Beleuchtungseinstellungen, d. h. dem z-Abstand zwischen zwei verschiedenen in der Materialschicht erzeugten Strahlungsmustern von +10 µm, sollte die Schicht aus der Immersionsflüssigkeit vorteilhafterweise eine Dickenveränderung von +5100 nm und die Glasplatte eine Dickenveränderung von -14700 nm aufweisen. In diesem Fall ist für die eingestrahlte elektromagnetische Strahlung eine Wellenlänge λ von 193 nm sowie eine numerische Apertur (NA) von 1,2 zu Grunde gelegt. Die Brechzahl beträgt dabei 1,7 für das strahlungsempfindliche Material **22**, 1,43 für die Immersionsflüssigkeit in Gestalt von Wasser und 1,56 für die keilförmige Platte **46** aus SiO₂.

[0023] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung ist die Platte keilförmig gestaltet und der jeweilige Abschnitt des strahlungsempfindlichen Materials zwischen der Fokusebene der Projektionsoptik und der der Platte zugewandten Oberfläche des strahlungsempfindlichen Materials ist ebenfalls keilförmig gestaltet, wobei der von der Platte gebildete Keil und der im strahlungsempfindlichen Material ausgebildete Keils einander entgegengesetzte Orientierung aufweisen. Mit dieser Orientierung lassen sich die auftretenden Apparationen besonders gut kompensieren.

[0024] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung füllt die zwischen der Platte und dem strahlungsempfindlichen Material angeordnete Immersionsflüssigkeit ebenfalls ein keilförmiges Volumen aus, wobei der von der Immersionsflüssigkeit gebildete Keil die gleiche Orientierung wie der von dem jeweiligen Abschnitt des strahlungsempfindlichen Materials gebildete Keil aufweist.

[0025] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung sind die von der Immersionsflüssigkeit abgewandte Oberfläche der Platte und die jeweilige Fokusebene der Strahlungsmuster zueinander parallel.

[0026] In einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung werden die durch die beiden Strahlungsmuster in dem strahlungsempfindlichen Material erzeugten latenten Bilder gleichzeitig mittels eines einzigen chemischen Entwicklungsschrittes entwickelt. Im Gegensatz zu herkömmlichen dreidimensionalen Strukturierungsverfahren, bei denen zunächst eine

erste Resist-Schicht auf einen Wafer aufgebracht wird, daraufhin die Schicht belichtet wird und nach dem Belichtungsschritt eine chemische Entwicklung stattfindet, woraufhin eine weitere Resist-Schicht aufgebracht wird, ist es erfindungsgemäß möglich, die in den einzelnen Tiefenschichten des strahlungsempfindlichen Materials erzeugten latenten Bilder gleichzeitig zu entwickeln.

[0027] Die bezüglich der vorstehend aufgeführten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens angegebenen Merkmale können entsprechend auf die erfindungsgemäße Vorrichtung übertragen werden. Die sich daraus ergebenden Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung sollen von der Offenbarung der Erfindung ausdrücklich umfasst sein. Weiterhin beziehen sich die bezüglich der Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens vorstehend aufgeführten Vorteile damit auch auf die entsprechenden Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0028] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Verfahrens sowie einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Strukturieren eines strahlungsempfindlichen Materials anhand der beigefügten schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

[0029] **Fig. 1** eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Strukturieren eines strahlungsempfindlichen Materials,

[0030] **Fig. 2** einen Abschnitt des mittels der Vorrichtung gemäß **Fig. 1** strukturierten strahlungsempfindlichen Materials in zwei verschiedenen, während eines Belichtungsvorganges eingenommenen Positionen (I) sowie (II),

[0031] **Fig. 3** Beispiele jeweiliger in den beiden Positionen (I) und (II) gemäß **Fig. 2** in dem strahlungsempfindlichen Material erzeugter Strahlungsmuster in Draufsicht auf die strahlungsempfindliche Materialschicht,

[0032] **Fig. 4** eine perspektivische Ansicht einer mittels der in **Fig. 3** gezeigten Strahlungsmusters strukturierten Materialschicht,

[0033] **Fig. 5** einen Ausschnitt einer weiteren Ausführungsform einer Vorrichtung zum Strukturieren eines strahlungsempfindlichen Materials gemäß der Erfindung,

[0034] **Fig. 6** Beispiele jeweiliger in zwei verschiedenen Positionen (I) und (II) in dem strahlungsempfindlichen Material erzeugter Strahlungsmuster in Draufsicht auf die Materialschicht,

[0035] **Fig. 7** eine Schnittansicht des strahlungsempfindlichen Materials während der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Veranschaulichung des Verlaufs der Fokusebene,

[0036] **Fig. 8** ein Diagramm zur Veranschaulichung der Wellenfrontaberration in der Ausgangspupille bei Veränderung der Dicke des strahlungsempfindlichen Materials um einen bestimmten Betrag,

[0037] **Fig. 9** eine Schnittansicht einer erfindungsgemäßen Anordnung verschiedener Schichten über dem strahlungsempfindlichen Material, sowie

[0038] **Fig. 10** ein die Wellenfrontaberration gemäß **Fig. 8** für die Anordnung gemäß **Fig. 9** zeigendes Diagramm.

Detaillierte Beschreibung von Ausführungsbeispielen

[0039] In den nachstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen sind funktionell oder strukturell einander ähnliche Elemente soweit wie möglich mit den gleichen oder ähnlichen Bezugszeichen versehen. Daher sollte zum Verständnis der Merkmale der einzelnen Elemente eines bestimmten Ausführungsbeispiels auf die Beschreibung anderer Ausführungsbeispiele oder die allgemeine Beschreibung der Erfindung Bezug genommen werden.

[0040] **Fig. 1** zeigt eine Ausführungsform **10** einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Strukturieren einer Schicht **22** eines strahlungsempfindlichen Materials. Die strahlungsempfindliche Materialschicht **22** in Gestalt eines in der Mikrolithographie verwendeten Photolacks bzw. sogenannten Resists ist auf der Oberfläche eines Trägers **24** in Gestalt eines Wafers durch Beschichten aufgebracht. Der Träger **24** wird von einer Halteeinrichtung **27** in Gestalt einer Verschiebebühne bzw. einer sogenannten Waferstage gehalten. Die Vorrichtung **10** weist weiterhin eine Steuerungseinrichtung **25** zur Steuerung der Belichtungsabläufe, insbesondere der dynamischen Maske **16** sowie der Halteeinrichtung **27**, auf.

[0041] Die Schicht **22** aus dem strahlungsempfindlichen Material weist eine Dicke d auf. Das strahlungsempfindliche Material ist derart konfiguriert, dass bei Bestrahlung desselben mit einer die Schwellenintensität übersteigenden Strahlungsintensität in einem bestimmten Wellenlängenbereich eine charakteristische Eigenschaft des strahlungsempfindlichen Materials verändert wird. Die dabei veränderte charakteristische Eigenschaft besteht darin, dass das strahlungsempfindliche Material **22** in dem betreffenden Bereich chemisch derart verändert wird, dass in einem nachfolgenden Entwicklungsschritt das strahlungsempfindliche Material **22** herausgelöst werden kann, während das mit einer Strahlungsintensität unterhalb der Schwellenintensität bestrahlte strahlungs-

empfindliche Material unverändert bleibt. Das strahlungsempfindliche Material **22** kann auch auf ein umgekehrtes Verhalten ausgelegt sein, so dass lediglich das mit einer Strahlungsintensität oberhalb der Schwellenintensität bestrahlte Material beim Entwicklungsschritt stehenbleibt, während das Material, das mit einer Strahlungsintensität unterhalb der Schwellenintensität bestrahlt worden ist, herausgelöst wird.

[0042] Die Vorrichtung **10** umfasst zunächst eine Lichtquelle **12** zum Erzeugen elektromagnetischer Strahlung. Die Wellenlänge der von der Lichtquelle **12** erzeugten elektromagnetischen Strahlen kann im sichtbaren Wellenlängenbereich liegen, aber auch im UV-Wellenlängenbereich und beispielsweise eine Wellenlänge von 248 nm oder 193 nm aufweisen. Die von der Lichtquelle **12** erzeugte elektromagnetische Strahlung **13** wird von einer im Strahlengang angeordneten Beleuchtungsoptik auf eine dynamische Maske **16** geleitet. Die dynamische Maske **16** ist als Mikrospiegelarray, auch als DMD (Digital Micromirror Device) bezeichnet, ausgebildet.

[0043] Das Mikrospiegelarray besteht aus einer feldförmigen Anordnung von 10.000 × 10.000 einzelnen Mikrospiegeln **18**, die jeweils eine Spiegelfläche von 8 × 8 µm aufweisen. Die Mikrospiegel **18** sind auf speziellen Drehzapfen gelagert und können einzeln verkippt werden. Die Neigung der Mikrospiegel **18** wird durch elektrostatische Felder verursacht, die von sich hinter den Mikrospiegeln **18** befindenden Schaltlogiken erzeugt werden. Ein einzelner Mikrospiegel **18** bildet einen optischen Schalter, durch Verkippen des Mikrospiegels **18** kann der Lichtstrahl derart weit abgelenkt werden, dass er nicht mehr in den Erfassungsbereich einer nachgeschalteten Projektionsoptik **20** fällt und damit nicht in die Objektebene bzw. Fokusebene **30** der Projektionsoptik **20** abgebildet wird. Jeder einzelne der Mikrospiegel **18** erzeugt ein Pixel eines Strahlungsmusters in der Fokusebene **30**. Durch Verstellen der einzelnen Mikrospiegel **18** können die zugeordneten Pixel an- bzw. abgeschaltet werden.

[0044] Die Projektionsoptik **20** besteht in der Regel aus einer Vielzahl von Linsenelementen. Zur Vereinfachung ist in [Fig. 1](#) lediglich das letzte Linsenelement vor dem Wafer dargestellt. Die Projektionsoptik **20** weist eine hohe numerische Apertur (NA) auf, beispielsweise beträgt die numerische Apertur 1,2. Zwischen der Oberfläche **23** des strahlungsempfindlichen Materials **22** und dem letzten Element der Projektionsoptik **20** ist eine sogenannte Immersionsflüssigkeit **28**, die z. B. Wasser aufweist, angeordnet. In einer Ausführungsform stimmt der Brechungsindex der Immersionsflüssigkeit **28** mit dem Brechungsindex des strahlungsempfindlichen Materials **22** überein. Damit beeinflusst die Position einer Übergangsfläche zwischen der Immersionsflüssigkeit **28** und

dem strahlungsempfindlichen Material **22** nicht die beugungsbegrenzte Projektion. Die Projektionsoptik **20** ist darauf ausgelegt, das von dem Mikrospiegelarray erzeugte Beleuchtungsmuster mit einer Verkleinerung von 1:267 abzubilden, woraus sich eine Pixelgröße von 30 nm mit einer Feldgröße von 300 µm × 300 µm in der Fokusebene **30** ergibt.

[0045] Der Träger **24** in Gestalt eines Wafers und damit auch die auf dem Wafer aufgebrachte strahlungsempfindliche Materialschicht **22** ist gegenüber der Fokusebene **30** der Projektionsoptik **20** um etwa einen Kippwinkel von 1,9° verkippt. Bei der Strukturierung des Materials **22** wird der Träger **24** entlang einer um den gleichen Kippwinkel gegenüber der Fokusebene **30** verkippten Verschieberichtung **26** verschoben. Die strahlungsempfindliche Materialschicht **22** wird damit in der Ebene verschoben, in der sie sich erstreckt.

[0046] [Fig. 2](#) zeigt zwei verschiedene Positionen (I) sowie (II) der strahlungsempfindlichen Materialschicht **22** während der Scan-Bewegung entlang der Verschieberichtung **26**. In der im oberen Bereich der [Fig. 2](#) dargestellten Position (I) wird ein erstes Strahlungsmuster **38** in der Materialschicht **22** erzeugt. Das erste Strahlungsmuster **38** erstreckt sich in einem mit dem Bezugszeichen **32** gekennzeichneten, zu strukturierenden Bereich der Materialschicht **22**. Die Fokusebene **30** der Projektionsoptik **20** befindet sich in diesem Bereich in einem unteren Dickenabschnitt der Materialschicht **22** und wird als erste Fokusebene **30a** in Bezug auf die Materialschicht **22** bezeichnet. Die Ausdehnung des ersten Strahlungsmusters **38**, in der die Strahlungsintensität die Schwellenintensität des strahlungsempfindlichen Materials **22** übersteigt, die auch als Tiefenschärfe **34** bezeichnet wird, ist in [Fig. 2](#) graphisch dargestellt.

[0047] Diese Ausdehnung bzw. Tiefenschärfe **34** beträgt in der Dickenrichtung der Materialschicht an den einzelnen Punkten der Materialschicht, d. h. an senkrecht zur Oberfläche **23** der Materialschicht **22** projizierten Linien, maximal 50% der Dicke *d* der Materialschicht **22**. Die Tiefenschärfe **34** kann aber auch um Größenordnungen kleiner sein als die Dicke *d* der Materialschicht. Die derart begrenzte Tiefenschärfe **34** hat zur Folge, dass die Materialschicht **22** lediglich in einem begrenzten Dickenabschnitt belichtet wird und in vertikaler Richtung daran angrenzende Abschnitte unbelichtet bleiben. Während der Scan-Bewegung entlang der Verschieberichtung **26** verändert sich das Strahlungsmuster sukzessive, je nach vorgegebener gewünschter Strukturierung des Bereichs **32** in vertikaler Richtung.

[0048] Beispielhaft ist im unteren Bereich der [Fig. 2](#) eine mit (II) gekennzeichnete Position dargestellt. In dieser Position ist der zu strukturierende Bereich **32** bereits weiter nach rechts gerückt. Um weiterhin den

zu strukturierenden Bereich **32** zu belichten, wird ein anderer Bereich im Bildfeld der dynamischen Maske **16** beleuchtet. In der Position (II) befindet sich die Fokusebene **30** der Projektionsoptik **20** in einer zweiten Fokusebene **30b** in Bezug auf die Materialschicht **22**. In der Position (II) wird von der dynamischen Maske **16** ein zweites Strahlungsmuster **40** in der zweiten Fokusebene **30b** erzeugt. Die Tiefenschärfe **34** des zweiten Strahlungsmusters **40** beträgt auch maximal 50% der Dicke der Materialschicht **22**. Damit wird in der Position (II) ein über dem in der Position (I) belichteten Dickenabschnitt liegender Dickenabschnitt des zu strukturierenden Bereichs **32** belichtet.

[0049] **Fig. 3** zeigt Beispiele eines ersten Strahlungsmusters **38** sowie eines zweiten Strahlungsmusters **40** in der Fokusebene **30**, d. h. in Draufsicht bei Betrachtung in Richtung der optischen Achse **21** der Projektionsoptik **20**. Die Strahlungsmuster **38** und **40** sind Beispiele für in der Position (I) bzw. der Position (II) gemäß **Fig. 2** in der Materialschicht **22** erzeugte Strahlungsmuster, mittels welcher die in **Fig. 4** gezeigte dreidimensional strukturierten Materialschicht **22** mit einzelnen pyramidenartigen Strukturen hergestellt werden kann. **Fig. 3** zeigt jeweils das mittels der dynamischen Maske **16** ausleuchtbare Feld **36** auf der Materialschicht **22**. Da in der Position (II) der zu strukturierende Bereich **32** gegenüber der Position (I) nach rechts verschoben ist, sind auch die belichteten Strukturen des in der Position (II) erzeugten zweiten Strahlungsmusters **40** gegenüber den belichteten Strukturen des in der Position (I) erzeugten ersten Strahlungsmusters **38** nach rechts verschoben.

[0050] **Fig. 7** zeigt einen weiteren von dem in **Fig. 2** gezeigten Verlauf abweichenden Verlauf der Fokusebene **30** in der strahlungsempfindlichen Materialschicht **22** bei Belichtung mittels der Vorrichtung gemäß **Fig. 1**. Da die Fokusebene **30** in x-Richtung schräg zur Oberfläche **23** der Materialschicht **22** verläuft, ändert sich die effektive Dicke **44**, durch die die elektromagnetische Strahlung **13** bei der Erzeugung der Strahlungsmusters dringt. Eine derartige Änderung der effektiven Dicke führt zu Wellenfrontaberrationen, vornehmlich sphärischen Aberrationen. **Fig. 8** zeigt beispielhaft den Verlauf der Wellenfrontaberrationen in mλ in der Ausgangspupille für eine Resist-Dickenänderung von 769 nm.

[0051] **Fig. 5** zeigt einen Abschnitt einer weiteren Ausführungsform einer Vorrichtung **10** zum Strukturieren eines strahlungsempfindlichen Materials **22**. Die Vorrichtung **10** gemäß **Fig. 5** unterscheidet sich von der Vorrichtung **10** gemäß **Fig. 1** lediglich darin, dass der Träger **24** mit der strahlungsempfindlichen Materialschicht **22** nicht wie in **Fig. 1** schräg zur Fokusebene **30** der Projektionsoptik gescannt wird. Vielmehr wird der Träger **24** mittels der Halteeinrichtung in Gestalt einer Verschiebebühne bzw. Wa-

fer-Stage gemäß dem in **Fig. 5** dargestellten Verschiebemuster **42** verschoben.

[0052] **Fig. 6** zeigt beispielhaft ein erstes Strahlungsmuster **138** und ein zweites Strahlungsmuster zur Strukturierung des in **Fig. 4** dargestellten Objektes. Das in der Ausführungsform gemäß **Fig. 5** veranschaulichte Strukturierungsverfahren läuft wie folgt ab: Zunächst wird das erste Strahlungsmuster **138** in einer mit (I) bezeichneten Position des Trägers **24** in das strahlungsempfindliche Material **22** projiziert. Wie bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 1** ist die Tiefenschärfe **34** des Strahlungsmusters **138** in der Dickenrichtung der Materialschicht **22** auf einen Bruchteil der Dicke d begrenzt. Nach Belichtung des ersten Strahlungsmusters **138** wird die Materialschicht **22** entlang der optischen Achse **21** des Projektionsobjektivs **20**, d. h. in z-Richtung gemäß **Fig. 1**, nach unten verschoben. An dieser Position, welche mit (II) gekennzeichnet ist, wird ein zweites Strahlungsmuster **140**, welches beispielhaft in dem rechten Bereich der **Fig. 6** dargestellt ist, belichtet. Das zweite Strahlungsmuster **140** wird also in einer anderen Tiefenschicht wie das erste Strahlungsmuster **138** erzeugt. In weiteren Ausführungsformen werden entlang vertikaler Scans in Richtung der z-Achse eine Vielzahl von Strahlungsmustern erzeugt. Daraufhin wird der Träger **24** in x-Richtung verschoben, und ein entsprechend gestaltetes weiteres Strahlungsmuster in einem noch nicht belichteten Bereich der Materialschicht erzeugt. Auch hier wird daraufhin der Träger **24** vertikal verschoben und mindestens eine weitere Belichtung ausgeführt.

[0053] Zur Kompensierung der auf die variierende effektive Dicke **44** zurückzuführenden Wellenfrontaberrationen wird in einer Ausführungsform der Vorrichtung **10** zwischen den Projektionen der beiden Strahlungsmuster **138** und **140** die sphärische Aberration der Projektionsoptik **20** verändert. Dazu weist die Projektionsoptik **20** bewegliche Linsenelemente auf, die mittels piezobetriebener z-Manipulatoren bewegt werden.

[0054] **Fig. 9** zeigt eine weitere Ausführungsform zur Kompensierung der Aberrationen. Dazu ist eine im Querschnitt keilförmige Platte **46** aus SiO_2 oberhalb der Materialschicht **22** angeordnet, wobei der Zwischenraum zwischen der Platte **46** und der Materialschicht **22** mit Immersionsflüssigkeit **28** gefüllt ist. Die von der Immersionsflüssigkeit **28** abgewandte Oberfläche **48** der Platte **46** und die Fokusebene **30** sind zueinander parallel.

[0055] Der Abschnitt des strahlungsempfindlichen Materials **22** zwischen der Fokusebene **30** und der der Platte **46** zugewandten Oberfläche **23** ist keilförmig gestaltet. Der von der Platte **46** gebildete Keil und der von dem Abschnitt des im strahlungsempfindlichen Material **22** gebildeten Keils weisen einan-

der entgegengesetzte Orientierung auf. In einer Ausführungsform der in [Fig. 9](#) dargestellten Anordnung wird eine Änderung der effektiven Dicke **44** des strahlungsempfindlichen Materials **22** in x-Richtung um +10.000 nm mit einer Änderung der Dicke der Immersionsflüssigkeit in z-Richtung um +5.100 nm sowie einer gleichzeitigen Veränderung der Dicke der Platte **46** um -14.700 nm kompensiert. Mit dieser Kompensation ergibt sich beispielhaft die in [Fig. 10](#) dargestellte Wellenfrontaberration in der Ausgangspupille. Dabei ist für die eingestrahlte elektromagnetische Strahlung eine Wellenlänge λ von 193 nm sowie eine numerische Apertur (NA) von 1,2 zu Grunde gelegt. Die Brechzahl beträgt dabei 1,7 für das strahlungsempfindliche Material **22**, 1,43 für die Immersionsflüssigkeit in Gestalt von Wasser und 1,56 für die keilförmige Platte **46** aus SiO₂.

Bezugszeichenliste

10	Vorrichtung zum Strukturieren eines strahlungsempfindlichen Materials
12	Lichtquelle
13	Elektromagnetische Strahlung
14	Beleuchtungsoptik
16	Dynamische Maske
18	Mikrospiegel
20	Projektionsoptik
21	Optische Achse
22	Schicht aus strahlungsempfindlichem Material
23	Oberfläche
24	Träger
25	Steuerungseinrichtung
26	Verschieberichtung
27	Halteeinrichtung
28	Immersionsflüssigkeit
30	Fokusebene der Projektionsoptik
30a	Erste Fokusebene in Bezug auf Materialschicht
30b	Zweite Fokusebene in Bezug auf Materialschicht
32	Zu strukturierender Bereich
34	Tiefenschärfe
36	Ausleuchtbares Feld
38	Erstes Strahlungsmuster
40	Zweites Strahlungsmuster
42	Verschiebemuster
44	Effektive Dicke
46	Platte
48	Oberfläche
138	Erstes Strahlungsmuster
140	Zweites Strahlungsmuster

Patentansprüche

1. Verfahren zum Strukturieren eines strahlungsempfindlichen Materials mit den Schritten:
 – Bereitstellen einer Schicht (**22**) aus dem strahlungsempfindlichen Material, wobei das strahlungsemp-

findliche Material derart konfiguriert ist, dass bei Bestrahlung desselben mit einer eine Schwellenintensität übersteigenden Strahlungsintensität eine charakteristische Eigenschaft des strahlungsempfindlichen Materials verändert wird,

– Bereitstellen einer dynamischen Maske (**16**), welche dazu konfiguriert ist, ihre Struktur dynamisch zu verändern,

– Erzeugen eines ersten Strahlungsmusters (**38**; **138**) mittels der dynamischen Maske (**16**) in der strahlungsempfindlichen Materialschicht (**22**) derart, dass die Ausdehnung des ersten Strahlungsmusters (**38**), in der die Strahlungsintensität die Schwellenintensität übersteigt, in der Dickenrichtung der Materialschicht (**22**) an den einzelnen Punkten der Materialschicht (**22**) maximal 50% der Dicke der Materialschicht (**22**) beträgt, sowie

– Erzeugen eines zweiten Strahlungsmusters (**40**; **140**) mittels der dynamischen Maske in der strahlungsempfindlichen Materialschicht (**22**).

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die dynamische Maske (**16**) als Mikrospiegelarray gestaltet ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Strahlungsmuster (**38**, **40**; **138**; **140**) mittels einer Projektionsoptik (**20**) mit einer numerischen Apertur von mindestens 0.9, insbesondere von mindestens 1.2, projiziert werden.

4. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei dem das erste Strahlungsmuster (**38**; **138**) in einem Bereich (**32**) der Materialschicht (**22**) auf eine erste Fokusebene (**30a**) in Bezug auf die Materialschicht (**22**) fokussiert wird und das zweite Strahlungsmuster (**40**; **140**) in dem gleichen Bereich auf eine zweite Fokusebene (**30b**) in Bezug auf die Materialschicht (**22**) fokussiert wird.

5. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei dem die Ausdehnung des zweiten Strahlungsmusters (**40**; **140**), in der die Strahlungsintensität die Schwellenintensität übersteigt, in der Dickenrichtung der Materialschicht an den einzelnen Punkten der Materialschicht ebenfalls maximal 50% der Dicke (d) der Materialschicht (**22**) beträgt.

6. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei dem die Strahlungsmuster (**38**, **40**) jeweils erzeugt werden, indem eine von der dynamischen Maske (**16**) erzeugte Beleuchtungsverteilung mittels einer Projektionsoptik (**20**) auf die Materialschicht (**22**) projiziert wird, und die Materialschicht (**22**) schräg zur Fokusebene (**30**) der Projektionsoptik (**20**) verschoben wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Materialschicht (**22**) entlang einer gegenüber der Fokusebene (**30**) der Projektionsoptik (**20**) verkippten Ebene

verschoben wird und dabei parallel zur verkippten Ebene ausgerichtet ist.

8. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei dem nach dem Erzeugen des ersten Strahlungsmusters (**138**) die Materialschicht in der Dickenrichtung der Materialschicht verschoben wird und daraufhin das zweite Strahlungsmuster (**140**) erzeugt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem nach der Erzeugung der beiden Strahlungsmuster (**138**, **140**) die Materialschicht (**22**) quer zur Dickenrichtung der Materialschicht (**22**) verschoben wird und daraufhin abermals zwei Strahlungsmuster erzeugt werden, welche auf unterschiedliche Fokusebenen in Bezug auf die Materialschicht (**22**) fokussiert sind.

10. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei dem die Strahlungsmuster (**38**, **40**; **138**, **140**) erzeugt werden, indem eine jeweilige von der dynamischen Maske (**16**) erzeugte Beleuchtungsverteilung mittels einer Projektionsoptik (**20**) auf die Materialschicht (**22**) projiziert wird und zwischen den Projektionen der beiden Strahlungsmuster (**22**) eine Aberration der Projektionsoptik (**20**) verändert wird.

11. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei dem beim Erzeugen der Strahlungsmuster (**38**, **40**; **138**, **140**) eine Immersionsflüssigkeit (**28**) auf dem strahlungsempfindlichen Material angeordnet ist, wobei der Brechungsindex der Immersionsflüssigkeit (**28**) mit dem Brechungsindex des strahlungsempfindlichen Materials (**22**) übereinstimmt.

12. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei dem das strahlungsempfindliche Material (**22**) als nichtlinearer Resist ausgebildet ist.

13. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei dem beim Erzeugen der Strahlungsmuster (**38**, **40**) eine Platte (**46**) variierender Dicke aus lichtdurchlässigem Material oberhalb des strahlungsempfindlichen Materials (**22**) angeordnet ist und ein Zwischenraum zwischen dem strahlungsempfindlichen Material (**22**) und der Platte (**46**) mit einer Immersionsflüssigkeit (**28**) gefüllt ist.

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem die Platte (**46**) keilförmig gestaltet ist und der jeweilige Abschnitt des strahlungsempfindlichen Materials (**22**) zwischen der Fokusebene (**30**) der Projektionsoptik (**20**) und der der Platte (**46**) zugewandten Oberfläche (**23**) des strahlungsempfindlichen Materials ebenfalls keilförmig gestaltet ist, wobei der von der Platte (**46**) gebildete Keil und der im strahlungsempfindlichen Material ausgebildete Keil einander entgegengesetzte Orientierung aufweisen.

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem die zwischen der Platte (**46**) und dem strahlungsempfindlichen Material angeordnete Immersionsflüssigkeit (**28**) ebenfalls ein keilförmiges Volumen ausfüllt, wobei der von der Immersionsflüssigkeit (**28**) gebildete Keil die gleiche Orientierung wie der von dem jeweiligen Abschnitt des strahlungsempfindlichen Materials gebildete Keil aufweist.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, bei dem die von der Immersionsflüssigkeit (**28**) abgewandte Oberfläche (**48**) der Platte (**46**) und die Fokusebene (**30**) der Projektionsoptik (**20**) zueinander parallel sind.

17. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei dem die durch die beiden Strahlungsmuster (**38**, **40**; **138**, **140**) in dem strahlungsempfindlichen Material erzeugten latenten Bilder gleichzeitig mittels eines einzigen chemischen Entwicklungsschrittes entwickelt werden.

18. Vorrichtung (**10**) zum Strukturieren eines strahlungsempfindlichen Materials mit:

- einer Halteeinrichtung (**27**) zum Halten einer Schicht (**22**) aus dem strahlungsempfindlichen Material, welches derart konfiguriert ist, dass bei Bestrahlung desselben mit einer Schwellenintensität übersteigenden Strahlungsintensität eine charakteristische Eigenschaft des strahlungsempfindlichen Materials verändert wird,
- einer dynamischen Maske (**16**), welche dazu konfiguriert ist, ihre Struktur dynamisch zu verändern, sowie
- einer Steuerungseinrichtung (**25**), welche dazu konfiguriert ist, die Vorrichtung (**10**) derart zu steuern, dass ein erstes Strahlungsmuster (**38**; **138**) mittels der dynamischen Maske (**16**) in der strahlungsempfindlichen Materialschicht (**22**) erzeugt wird, wobei die Ausdehnung des ersten Strahlungsmusters (**38**; **138**), in der die Strahlungsintensität die Schwellenintensität übersteigt, in der Dickenrichtung der Materialschicht (**22**) an den einzelnen Punkten der Materialschicht (**22**) maximal 50% der Dicke (d) der Materialschicht beträgt, sowie dass ein zweites Strahlungsmuster (**40**; **140**) mittels der dynamischen Maske (**16**) in der strahlungsempfindlichen Materialschicht (**22**) erzeugt wird.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, welche dazu konfiguriert ist das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17 auszuführen.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

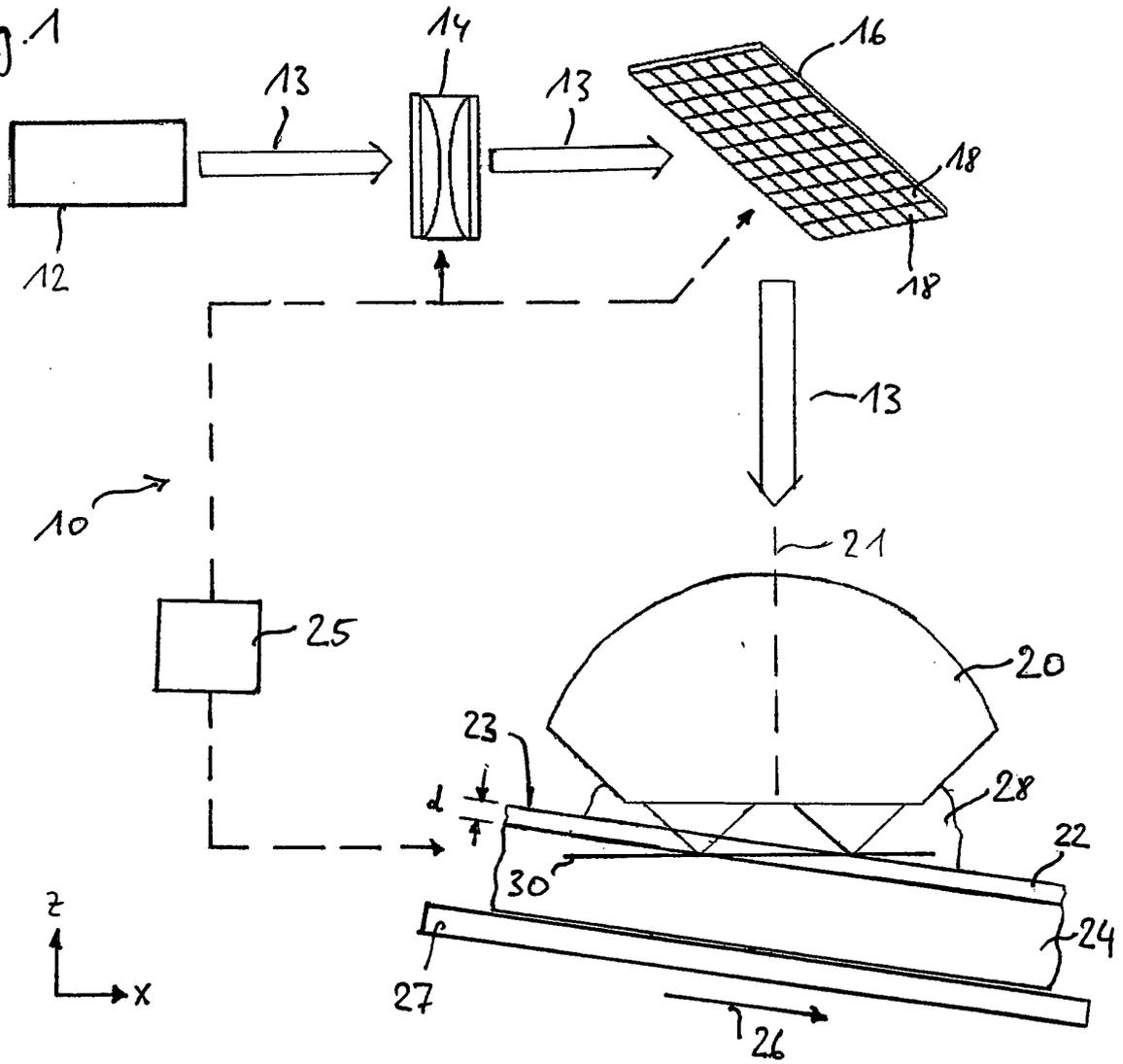
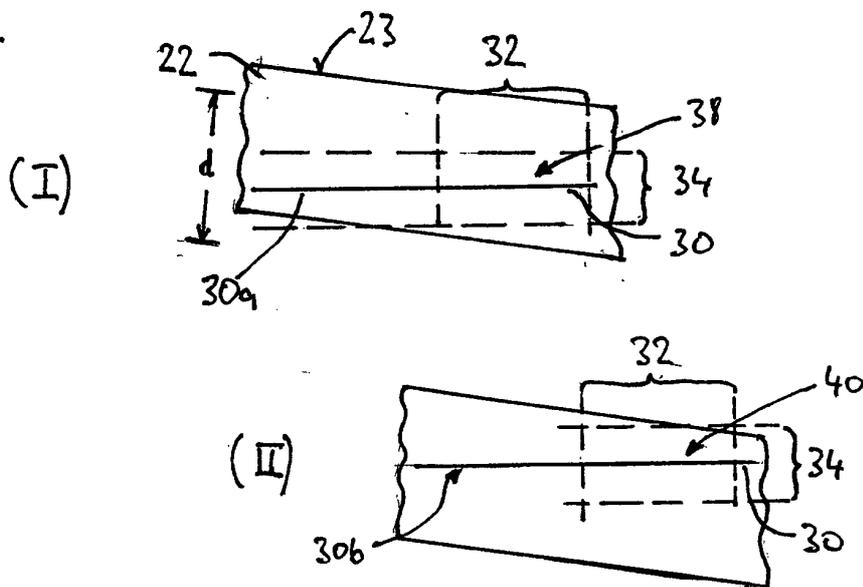


Fig. 2



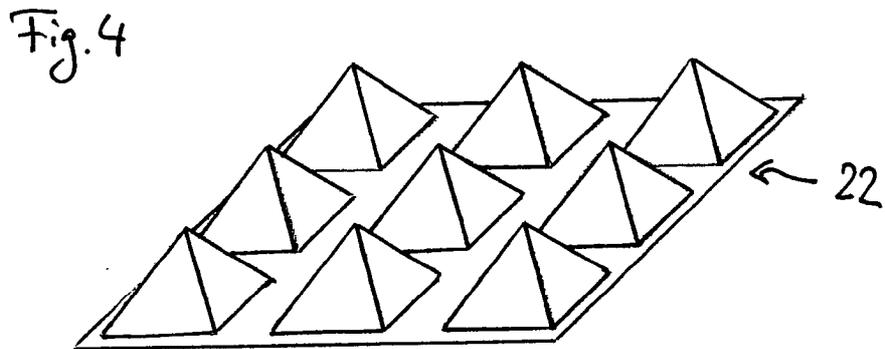
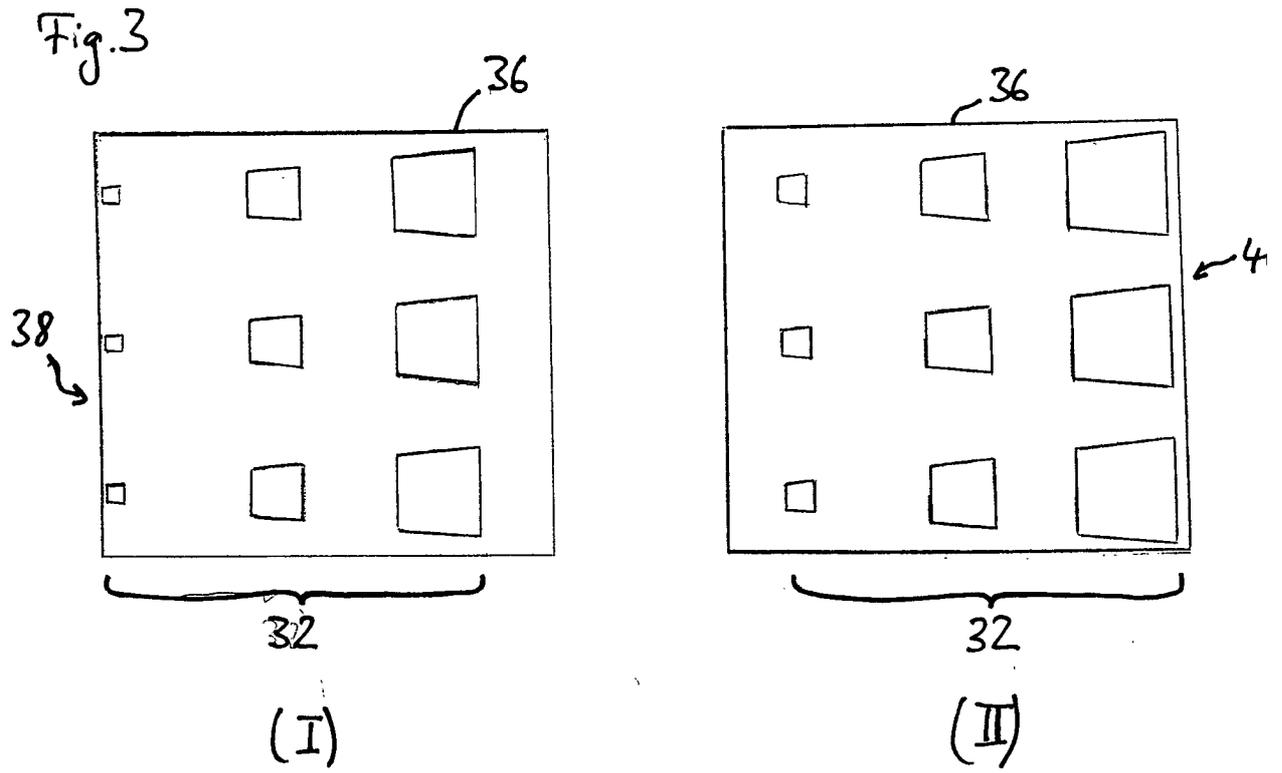


Fig.5

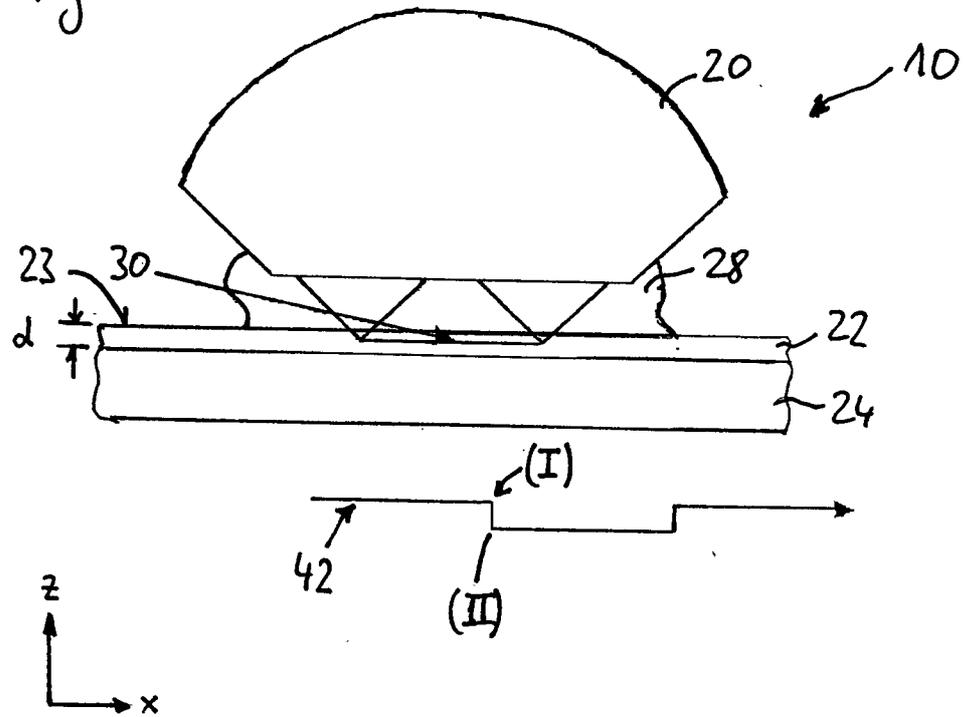


Fig.6

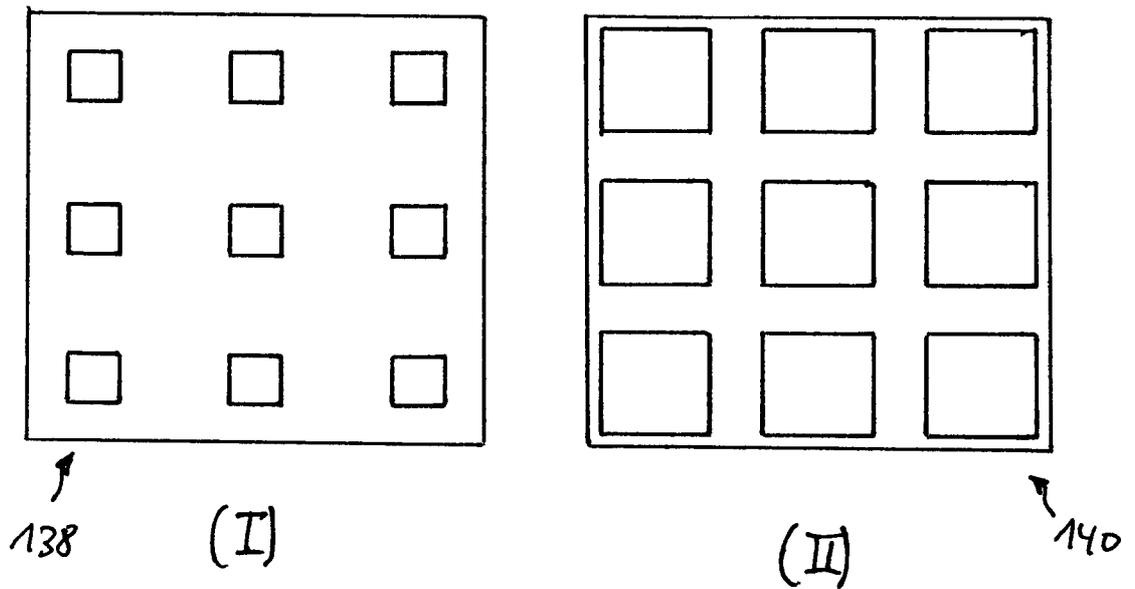


Fig. 7

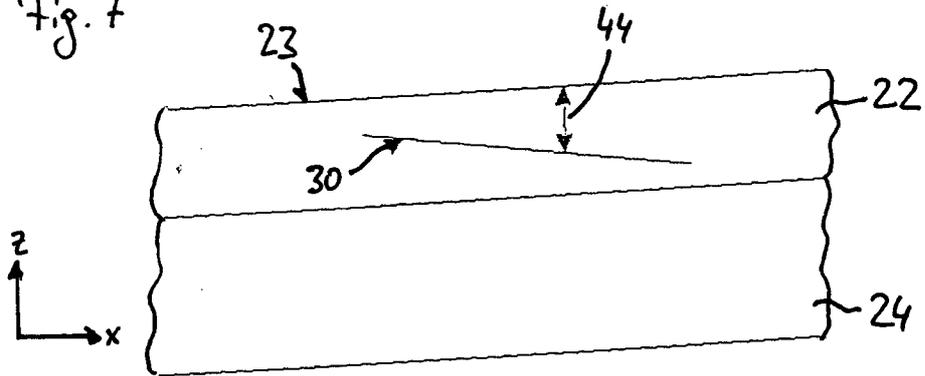


Fig. 8

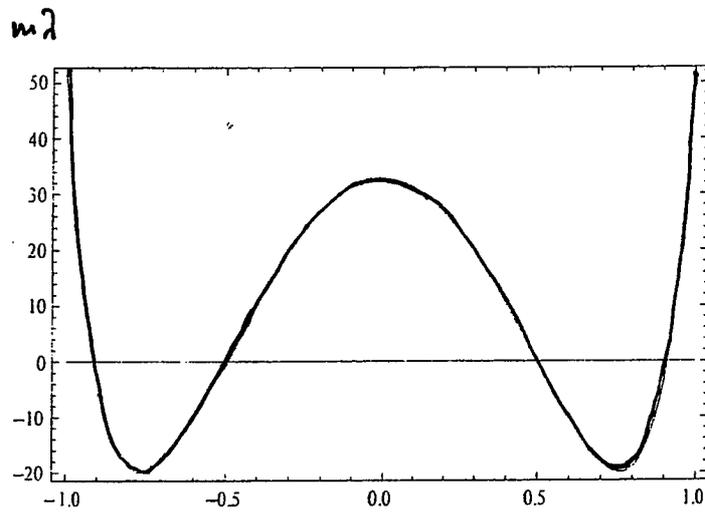


Fig. 9

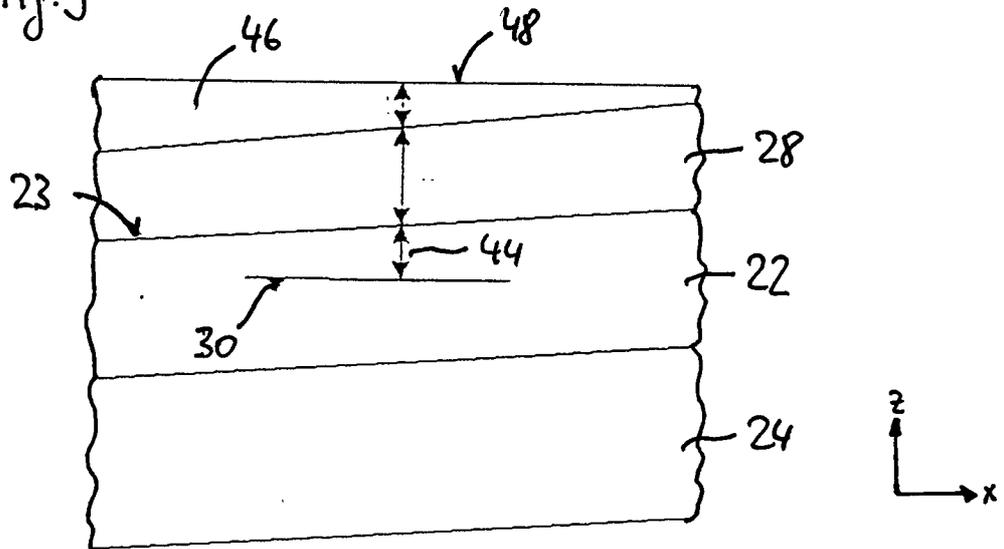


Fig. 10

