



(10) **DE 10 2012 217 769 A1** 2014.04.03

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 217 769.8**

(22) Anmeldetag: **28.09.2012**

(43) Offenlegungstag: **03.04.2014**

(51) Int Cl.: **G03F 7/20 (2006.01)**

**G02B 26/08 (2006.01)**

**G02B 27/28 (2006.01)**

**G02B 5/08 (2006.01)**

**G02B 5/30 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Carl Zeiss SMT GmbH, 73447, Oberkochen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 10 2008 054 844 A1**

(72) Erfinder:

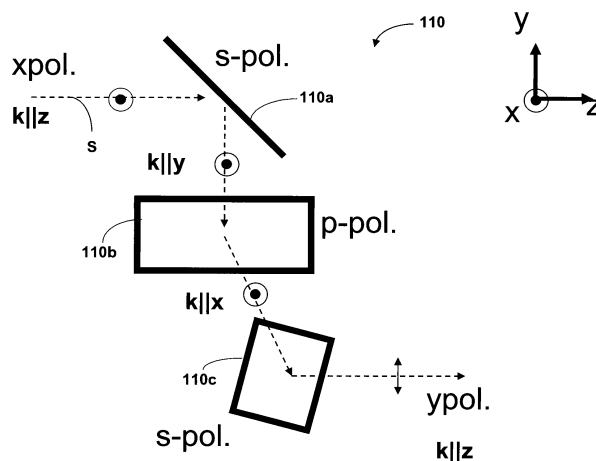
**Sänger, Ingo, 89522, Heidenheim, DE; Schlesener,  
Frank, 73447, Oberkochen, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Optisches System für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage sowie mikrolithographisches Belichtungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein optisches System für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, sowie ein mikrolithographisches Belichtungsverfahren. Ein optisches System für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage umfasst wenigstens eine Spiegelanordnung (200, 400), welche eine Mehrzahl von Spiegelementen (200a, 200b, 200c, ..., 400a, 400b, 400c, ...) aufweist, wobei diese Spiegelemente zur Veränderung einer Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung reflektierten Lichtes unabhängig voneinander verstellbar sind, und eine polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (110, 210, 310, 320, 330), welche in Lichtausbreitungsrichtung nach der Spiegelanordnung (200, 400) angeordnet ist, wobei die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (110, 210, 310, 320, 330) für wenigstens eine Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung (200, 400) reflektierten Lichtes einen auf die Anordnung (110, 210, 310, 320, 330) auftreffenden Lichtstrahl in wenigstens zwei Reflexionen, welche nicht in einer gemeinsamen Ebene erfolgen, reflektiert.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein optisches System für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, sowie ein mikrolithographisches Belichtungsverfahren.

**[0002]** Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlagen werden zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, wie beispielsweise integrierter Schaltkreise oder LCD's, angewendet. Eine solche Projektionsbelichtungsanlage weist eine Beleuchtungseinrichtung und ein Projektionsobjektiv auf. Im Mikrolithographieprozess wird das Bild einer mit Hilfe der Beleuchtungseinrichtung beleuchteten Maske (= Retikel) mittels des Projektionsobjektivs auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes und in der Bildebene des Projektionsobjektivs angeordnetes Substrat (z. B. ein Siliziumwafer) projiziert, um die Maskenstruktur auf die lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

**[0003]** Im Betrieb einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage besteht der Bedarf, definierte Beleuchtungssettings, d. h. Intensitätsverteilungen in einer Pupillenebene der Beleuchtungseinrichtung, gezielt einzustellen. Hierzu ist außer der Verwendung diffraktiver optischer Elemente (sog. genannter DOE's) auch der Einsatz von Spiegelanordnungen, z. B. aus WO 2005/026843 A2, bekannt. Solche Spiegelanordnungen umfassen eine Vielzahl unabhängig voneinander einstellbarer Mikrospiegel.

**[0004]** Es sind ferner verschiedene Ansätze bekannt, in der Beleuchtungseinrichtung zur Optimierung des Abbildungscontrastes gezielt bestimmte Polarisationsverteilungen in der Pupillenebene und/oder im Retikel einzustellen.

**[0005]** Zum Stand der Technik wird beispielsweise auf WO 2005/069081 A2, WO 2005/031467 A2, US 6,191,880 31, US 2007/0146676 A1, WO 2009/034109 A2, WO 2008/019936 A2, WO 2009/100862 A1, DE 10 2008 009 601 A1, DE 10 2004 011 733 A1 und EP 1 306 665 A2 verwiesen.

**[0006]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein optisches System für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage sowie ein mikrolithographisches Belichtungsverfahren bereitzustellen, welche in vergleichsweise einfacher Weise eine flexible Variation der in der Projektionsbelichtungsanlage eingestellten Polarisationsverteilung ermöglichen.

**[0007]** Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

**[0008]** Ein erfindungsgemäßes optisches System für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage umfasst:

- wenigstens eine Spiegelanordnung, welche eine Mehrzahl von Spiegelementen aufweist, wobei diese Spiegelemente zur Veränderung einer Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung reflektierten Lichtes unabhängig voneinander verstellbar sind; und
- einer polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung, welche in Lichtausbreitungsrichtung nach der Spiegelanordnung angeordnet ist;
- wobei die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung für wenigstens eine Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung reflektierten Lichtes einen auf die Anordnung auftreffenden Lichtstrahl in wenigstens zwei Reflexionen, welche nicht in einer gemeinsamen Ebene erfolgen, reflektiert.

**[0009]** Der Erfindung liegt insbesondere das Konzept zugrunde, ausgehend von der Verwendung einer zur Variation der Intensitätsverteilung dienenden Spiegelanordnung mit unabhängig voneinander einstellbaren Spiegelementen über die Einstellung der Intensitätsverteilung hinaus die Möglichkeit zur flexiblen Einstellung unterschiedlicher Polarisationsverteilungen dadurch zu schaffen, dass in einer auf die Spiegelanordnung folgenden polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung eine Mehrzahl von nicht sämtlich in einer gemeinsamen Ebene liegenden Reflexionen stattfindet mit der Folge, dass eine geometrische Polarisationsdrehung erzielt wird.

**[0010]** Diese Polarisationsdrehung ist auf einen für sich bekannten geometrischen Effekt zurückzuführen und wird auch als „Spin-Redirection-Phase“ oder „Berry-Phase“ bezeichnet. Der Effekt ist darauf zurückzuführen, dass für windschiefe Lichtstrahlen, d. h. Strahlen welche die Meridionalebene verlassen, in einem optischen System das Koordinatensystem für einen gegebenen Polarisationszustand von der Eintrittsfläche bis zur Austrittsfläche des optischen Systems gedreht wird. Durch diese Drehung des Koordinatensystems wird ein polarisierter Strahl in seiner Polarisationsvorzugsrichtung ebenfalls gedreht, auch wenn kein optischer Rotator (d. h. insbesondere kein linear doppelbrechendes oder zirkular doppelbrechendes bzw. optisch aktives Element) im System vorliegt und auch keine Polarisationsdrehung aufgrund von s/p-Aufspaltung oder mittels eines Polarisators erfolgt.

**[0011]** Die Erfindung macht sich insbesondere den Umstand zunutze, dass die auf die Spiegelanordnung mit unabhängig voneinander einstellbaren Spiegelementen auftreffenden Lichtstrahlen jeweils auf einen Ort in der Pupillenebene des optischen Systems durch Variation des über die Spiegelemente jeweils eingestellten Umlenkungswinkels auf unterschied-

lichen Strahlwegen entlang der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung lenkbar ist, wobei die jeweils stattfindende geometrische Polarisationsdrehung unterschiedlich ist. Infolgedessen kann auch ohne Vorhandensein (linear oder zirkular) doppelbrechender optischer Elemente im optischen System eine flexible Einstellung der Polarisationsverteilung erfolgen.

**[0012]** Gemäß einer Ausführungsform reflektiert die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung für wenigstens eine Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung reflektierten Lichtes einen auf die Anordnung auftreffenden Lichtstrahl in wenigstens drei Reflexionen, welche nicht sämtlich in einer gemeinsamen Ebene erfolgen.

**[0013]** Gemäß einer Ausführungsform ist wenigstens eine dieser Reflexionen eine Totalreflexion. Insbesondere können sämtliche dieser Reflexionen Totalreflexionen sein. Auf diese Weise kann ein Lichtverlust im Bereich der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung minimiert oder ganz vermieden werden.

**[0014]** Gemäß einer Ausführungsform besteht die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung aus einem für Licht der Arbeitswellenlänge des optischen Systems transmissiven optischen Element. Vorzugsweise weist dieses optische Element keine Doppelbrechung (insbesondere auch keine intrinsische Doppelbrechung sowie auch keine Spannungsdoppelbrechung) auf, damit die stattfindende Polarisationsdrehung ausschließlich und in wohldefinierter Weise in Form der vorstehend beschriebenen geometrischen Polarisationsdrehung besteht. Das optische Element kann insbesondere aus einem optisch amorphen Material, insbesondere Quarzglas ( $\text{SiO}_2$ ), hergestellt sein.

**[0015]** Gemäß einer Ausführungsform weist die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung eine im Wesentlichen stabförmige Geometrie auf.

**[0016]** Gemäß einer Ausführungsform weist die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung eine Lichteintrittsfläche, eine Lichtaustrittsfläche und eine Mehrzahl von Seitenflächen auf, wobei die Reflexionen jeweils an einer dieser Seitenflächen erfolgen. Dabei können auch einige dieser Seitenflächen ein Hohlprofil innerhalb der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung bilden.

**[0017]** Gemäß einer Ausführungsform weist die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung wenigstens zwei Spiegel auf, wobei die Reflexionen jeweils an einem dieser Spiegel erfolgen.

**[0018]** Gemäß einer Ausführungsform weist für die wenigstens eine Winkelverteilung des von der Spie-

gelanordnung reflektierten Lichtes wenigstens ein Lichtstrahl nach der letzten der Reflexionen bzw. bei Verlassen der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung die gleiche Richtung wie beim Auftreffen auf die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung auf.

**[0019]** Gemäß einer Ausführungsform weist das optische System bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung stromaufwärts und stromabwärts der Spiegelanordnung jeweils eine Umlenkeinrichtung auf. Dabei kann insbesondere die stromaufwärts der Spiegelanordnung angeordnete Umlenkeinrichtung durch einen Umlenkspiegel gebildet sein, und die stromabwärts der Spiegelanordnung angeordnete Umlenkeinrichtung kann durch die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung gebildet sein.

**[0020]** Die Erfindung ist nicht auf die Anwendung bei Arbeitswellenlängen im VUV-Bereich (von weniger als 250 nm, insbesondere weniger als 200 nm, weiter insbesondere weniger als 160 nm) beschränkt. Grundsätzlich ist auch eine Realisierung im EUV (d. h. bei Wellenlängen kleiner als 30 nm, insbesondere kleiner als 15 nm) möglich.

**[0021]** Die Erfindung betrifft ferner ein mikrolithographisches Belichtungsverfahren, bei welchem mittels einer Lichtquelle erzeugtes Licht einer Beleuchtungseinrichtung einer Projektionsbelichtungsanlage zur Beleuchtung einer Objektebene eines Projektionsobjektivs zugeführt wird und bei welchem die Objektebene mittels des Projektionsobjektivs in eine Bildebene des Projektionsobjektivs abgebildet wird,

- wobei in der Beleuchtungseinrichtung wenigstens eine Spiegelanordnung, welche eine Mehrzahl von Spiegelementen aufweist, die zur Veränderung einer Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung reflektierten Lichtes unabhängig voneinander verstellbar sind, eingesetzt wird, und

- wobei für wenigstens eine Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung reflektierten Lichtes ein von der Spiegelanordnung reflektierter Lichtstrahl in wenigstens zwei Reflexionen, welche nicht in einer gemeinsamen Ebene erfolgen, reflektiert wird.

**[0022]** Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

**[0023]** Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

**[0024]** Es zeigen:

**[0025]** Fig. 1 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des Funktionsprinzips einer gemäß der Er-

findung eingesetzten polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung;

**[0026]** Fig. 2–Fig. 4 schematische Darstellungen zur Erläuterung weiterer Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung; und

**[0027]** Fig. 5 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des möglichen Aufbaus einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage mit einem erfindungsgemäßen optischen System.

**[0028]** Im Weiteren wird zunächst unter Bezugnahme auf Fig. 5 ein prinzipieller möglicher Aufbau einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage mit einem erfindungsgemäßen optischen System erläutert. Die Projektionsbelichtungsanlage gemäß Fig. 5 weist eine Beleuchtungseinrichtung **10** sowie ein Projektionsobjektiv **20** auf. Die Beleuchtungseinrichtung **10** dient zur Beleuchtung einer Struktur tragenden Maske (Retikel) **30** mit Licht von einer Lichtquelleneinheit **1**, welche beispielsweise einen ArF-Excimerlaser für eine Arbeitswellenlänge von 193 nm sowie eine ein paralleles Lichtbündel erzeugende Strahlformungsoptik umfasst. Generell sind die Beleuchtungseinrichtung **10** sowie das Projektionsobjektiv **20** bevorzugt für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 250 nm, insbesondere weniger als 200 nm, weiter insbesondere weniger als 160 nm, ausgelegt. In weiteren Ausführungsformen können Beleuchtungseinrichtung und Projektionsobjektiv der Projektionsbelichtungsanlage auch für einen Betrieb im EUV, d. h. bei Wellenlängen unterhalb von 30 nm, insbesondere unterhalb von 15 nm, ausgelegt sein.

**[0029]** Gemäß der Erfindung ist Bestandteil der Beleuchtungseinrichtung **10** insbesondere eine Spiegelanordnung **200** sowie eine polarisationsbeeinflussende optische Anordnung **210**, wie im Weiteren unter Bezugnahme auf Fig. 1 ff. näher erläutert wird. Die Spiegelanordnung **200** weist – wie z. B. in Fig. 2 schematisch angedeutet – eine Mehrzahl von Spiegelementen **200a**, **200b**, **200c**, ... auf, die zur Veränderung einer Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung **200** reflektierten Lichtes unabhängig voneinander verstellbar sind. Gemäß Fig. 5 kann eine Ansteuerungseinheit **205** zur Ansteuerung dieser Verstellung über geeignete Aktuatoren vorgesehen sein. Die Spiegelemente **200a**, **200b**, **200c**, ... können jeweils individuell, z. B. in einem Winkelbereich von  $-2^\circ$  bis  $+2^\circ$ , insbesondere  $-5^\circ$  bis  $+5^\circ$ , weiter insbesondere  $-10^\circ$  bis  $+10^\circ$ , verkippbar werden. In Lichtausbreitungsrichtung vor der Spiegelanordnung **200** kann in für sich bekannter Weise eine Mikrolinsenanordnung (nicht dargestellt) vorgesehen sein, welche eine Vielzahl von Mikrolinsen zur gezielten Fokussierung auf die Spiegelemente **200a**, **200b**, **200c**, ... sowie zur Verringerung oder Vermeidung einer Ausleuchtung von „toter Fläche“ und eines Lichtverlusts zwischen den Spiegelementen **200a**, **200b**, **200c**, ... aufweist.

**[0030]** Die Beleuchtungseinrichtung **10** weist eine optische Einheit **11** auf, die u. a. im dargestellten Beispiel einen Umlenkspiegel **12** umfasst. In Lichtausbreitungsrichtung nach der optischen Einheit **11** befindet sich im Strahlengang eine Lichtmischeinrichtung (nicht dargestellt), welche z. B. in für sich bekannter Weise eine zur Erzielung einer Lichtmischung geeignete Anordnung aus mikrooptischen Elementen aufweisen kann, sowie eine Linsengruppe **14**, hinter der sich eine Feldebene mit einem Retikel-Maskierungssystem (REMA) befindet, welches durch ein in Lichtausbreitungsrichtung nachfolgendes REMA-Objektiv **15** auf die Struktur tragende, in einer weiteren Feldebene angeordnete Maske (Retikel) **30** abgebildet wird und dadurch den ausgeleuchteten Bereich auf dem Retikel begrenzt. Die Struktur tragende Maske **30** wird mit dem Projektionsobjektiv **20** auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht versehenes Substrat **40** bzw. einen Wafer abgebildet. Das Projektionsobjektiv **20** kann insbesondere für den Immersionsbetrieb ausgelegt sein. Ferner kann es eine numerische Apertur NA größer als 0.85, insbesondere größer als 1.1, aufweisen.

**[0031]** Fig. 1 dient zunächst zur Erläuterung des Prinzips einer gemäß der Erfindung eingesetzten polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung **110**. Gemäß Fig. 1 weist die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung **110** in einer lediglich beispielhaften Ausführungsform drei Spiegel **110a**, **110b** und **110c** auf, über welche ein von der wie oben beschrieben stromaufwärts hierzu befindlichen (in Fig. 1 nicht dargestellten) Spiegelanordnung auf die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung **110** auftreffender Strahl S drei aufeinanderfolgende Reflexionen erfährt, durch welche im Ergebnis eine geometrische Rotation der Polarisationsrichtung des Strahls S erzielt wird.

**[0032]** Gemäß Fig. 1 wird der Strahl S zunächst an dem ersten Spiegel **110a** bezogen auf das eingezeichnete Koordinatensystem in die negative y-Richtung (d. h. innerhalb der Zeichenebene nach unten) reflektiert, anschließend an dem zweiten Spiegel **110b** in die positive x-Richtung (d. h. senkrecht aus der Zeichenebene heraus) reflektiert, und schließlich an dem dritten Spiegel **110c** in die positive z-Richtung (d. h. innerhalb der Zeichenebene nach rechts) reflektiert, woraufhin der Strahl S beim Verlassen der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung **110** wieder die ursprüngliche Ausbreitungsrichtung besitzt. Die Polarisationsrichtung des Strahls S wurde jedoch infolge der in unterschiedlichen Ebenen erfolgenden Reflexionen geometrisch (und insbesondere ohne Einsatz linearer oder zirkularer Doppelbrechung) gegenüber der Eingangspolarisationsrichtung um  $90^\circ$  (nämlich von ursprünglicher „x-Polarisation“, d. h. einer linearen Polarisation mit entlang der x-Achse verlaufender Schwingungsebene des elektrischen Feldstärkevektors, zu letztendlich erhaltener y-Polari-

sation, d. h. einer linearen Polarisation mit entlang der y-Achse verlaufender Schwingungsebene des elektrischen Feldstärkevektors) gedreht.

**[0033]** Die Erfindung ist nicht auf die in dem vorstehend beschriebenen Beispiel erfolgenden drei Reflexionen beschränkt. Insbesondere ist die Erfindung nicht auf die in **Fig. 1** jeweils eingezeichnete, „reine“ Erzeugung von s- bzw. p-Polarisation beschränkt, so dass in weiteren Ausführungsbeispiele auch andere windschiefe Reflexionen mit jeweils anderen erzielten Ausgangspolarisationen stattfinden können. Ferner müssen nicht sämtliche der innerhalb der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung stattfindenden Reflexionen in unterschiedlichen Ebenen erfolgen (so dass etwa bei insgesamt wenigstens drei Reflexionen auch die erste und die letzte Reflexion in der gleichen Ebene stattfinden können). Des Weiteren können – wie im Folgenden unter Bezugnahme auf **Fig. 2** beschrieben – auch nur zwei Reflexionen innerhalb der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung stattfinden.

**[0034]** Infolge der bei dem Ausführungsbeispiel von **Fig. 1** in der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung **110** ausschließlich eingesetzten reflektiven Elemente ist diese Ausführungsform grundsätzlich auch in einem für den Betrieb im EUV ausgelegten optischen System realisierbar.

**[0035]** In weiteren Ausführungsformen kann die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung – wie im Weiteren unter Bezugnahme auf **Fig. 2** ff. beschrieben – auch aus einem für Licht der jeweiligen Arbeitswellenlänge des optischen Systems transmissiven optischen Element bestehen.

**[0036]** **Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung zur Erläuterung einer weiteren Ausführungsformen der Erfindung. Gemäß **Fig. 2** ist eine bezogen auf die (in z-Richtung im eingezeichneten Koordinatensystem verlaufende) Lichtausbreitungsrichtung nach der die unabhängig voneinander verstellbaren Spiegelelemente **200a**, **200b**, **200c**, ... aufweisenden Spiegelanordnung **200** angeordnete polarisationsbeeinflussende optische Anordnung **210** als Stab ausgebildet und aus einem bei Licht der Arbeitswellenlänge (z. B. ca. 193 nm) transmissiven Material wie Quarzglas ( $\text{SiO}_2$ ), welches zudem möglichst keine Doppelbrechung (d. h. insbesondere auch keine Spannungsdoppelbrechung oder intrinsische Doppelbrechung) aufweist, hergestellt.

**[0037]** Wie in **Fig. 2** angedeutet können Lichtstrahlen, welche durch eine Stirnfläche des die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung **210** bildenden Stabes eintreten, abhängig von dem durch die Spiegelelemente **200a**, **200b**, **200c**, ... eingestellten Umlenkwinkel auf unterschiedlichen Strahlwegen durch den Stab hindurchtreten. Im konkreten Beispiel

kann etwa ein an dem Spiegelement **200c** reflektierter Strahl  $S_1$  ein- und denselben Ort in der Pupillenebene bzw. ein- und denselben Ort auf einem in der Pupillenebene angeordneten optischen Element **240** auf direktem, in **Fig. 2** mit „A“ bezeichnetem Strahlweg (d. h. ohne Reflexion an den Seitenflächen des Stabes) oder auch nach Reflexion an mehreren Seitenflächen des Stabes (im Beispiel der „oberen“ Seitenfläche **210a** und der „vorderen“ Seitenfläche **210b**), z. B. auf dem in **Fig. 2** mit „B“ bezeichneten Strahlweg erreichen. Während bei „direktem“ Strahlweg „A“ – infolge der wie oben beschrieben fehlenden Doppelbrechung im Stabmaterial – keine Beeinflussung des Polarisationsrichtung stattfindet, ergibt sich bei dem im vorstehenden Beispiel gewählten Strahlweg „B“ infolge der an den Seitenflächen **210a**, **210b** stattfindenden „windschiefen“ Reflexionen eine geometrische Polarisationsdrehung.

**[0038]** Dabei wird der über die Spiegelemente **200a**, **200b**, **200c**, ... der Spiegelanordnung **200** eingestellte Eintrittswinkel beim Lichteintritt in den Stab vorzugsweise jeweils so gewählt, dass die vorstehend beschriebenen Reflexionen jeweils Totalreflexionen sind mit der Folge, dass sämtliches in den Stab eintretende Licht im Laufe der stattfindenden Reflexionen unter Vermeidung von Lichtverlust innerhalb dieses Stabes verbleibt und erst nach der letzten Reflexion aus dem Stab austritt. Mit anderen Worten sollte für jeden innerhalb des die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung **210** bildenden transmissiven optischen Elementes auf dessen Seiten- bzw. Grenzflächen auftreffenden Lichtstrahl (mit Ausnahme der Lichtaustrittsfläche) der jeweils geltende, auf die Normale zur reflektierenden Fläche bezogene Grenzwinkel für Totalreflexion erreicht bzw. überschritten werden.

**[0039]** Im Ergebnis kann auch bei dem Ausführungsbeispiel von **Fig. 2** durch Variation des durch die Spiegelemente **200a**, **200b**, **200c**, ... der Spiegelanordnung **200** eingestellten Umlenkwinkels eine flexible Einstellung der in einer Ebene nach der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung **210** erhaltenen Polarisation bewirkt werden.

**[0040]** **Fig. 3a–c** zeigen weitere Ausführungsformen einer in einem erfindungsgemäßen optischen System einsetzbaren polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung. Wie im Ausführungsbeispiel von

**[0041]** **Fig. 2** weist hierbei die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung eine Lichteintrittsfläche, eine Lichtaustrittsfläche und eine Mehrzahl von Seitenflächen auf, wobei die Reflexionen jeweils an einer dieser Seitenflächen erfolgen. Gemäß dem Ausführungsbeispiel von **Fig. 3b** bilden die Seitenflächen **320a–320f** zudem innerhalb der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung **320** ein sechseckförmiges Hohlprofil **325**, wohingegen ge-

mäß dem Ausführungsbeispiel von **Fig. 3c** die Seitenflächen **330a-330d** innerhalb der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung **330** ein quadratisches Hohlprofil **335** bilden.

**[0042]** Wie anhand eines in **Fig. 3a** lediglich beispielhaft angedeuteten Strahlverlaufs angedeutet tritt im Betrieb des optischen Systems Licht jeweils in die (in der x-y-Ebene angeordnete) Stirnfläche des die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung bildenden, schraffiert eingezeichneten transmissiven Elementes ein, wobei über die (in **Fig. 3a-c** nicht eingezeichneten, jedoch analog zu **Fig. 2** ausgebildeten und bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung stromaufwärts des transmissiven Elementes angeordneten) Spiegelemente **200a, 200b, 200c, ...** der Spiegelanordnung **200** unterschiedliche Eintrittswinkel (d. h. unterschiedliche Neigungswinkel zur senkrecht zur Eintrittsfläche verlaufenden z-Achse) eingestellt werden können. Diese Neigungswinkel wiederum haben je nach der speziellen Geometrie des jeweiligen transmissiven optischen Elementes unterschiedliche aufeinanderfolgende Reflexionen an den Seitenflächen (also den Grenzflächen zum jeweils umgebenden optisch dünneren Medium) zur Folge, was wiederum zu unterschiedlichen Werten der letztendlich durch das die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung bildende transmissive optische Elementes bewirkten geometrischen Polarisationsdrehung führt.

**[0043]** Im Betrieb des die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung aufweisenden optischen Systems kann nun für eine bestimmte gewünschte Ausgangspolarisation des auf einen bestimmten Ort in der Pupillenebene auftreffenden Lichtes eine zur Erzeugung dieses Polarisationszustandes mittels geometrischer Polarisationsdrehung geeignete Aufeinanderfolge von Reflexionen sowie die hierzu wiederum geeignete, durch die Spiegelanordnung **200** zu bewirkende Umlenkung z. B. mittels Simulation ermittelt werden, woraufhin die Ansteuerung der Spiegelemente **200a, 200b, 200c, ...** der Spiegelanordnung **200** entsprechend (z. B. über die Ansteuerungseinheit **205**) vorgenommen werden kann.

**[0044]** Im konkreten Beispiel von **Fig. 3a** wird ein über die Stirnfläche **310a** in das transmissive optische Element eintretender Strahl „S“ nacheinander an den Seitenflächen **310b, 310c** und **310d** reflektiert, bevor er durch die Lichtaustrittsfläche austritt.

**[0045]** Analog zu der zuvor unter Bezugnahme auf **Fig. 2** beschriebenen Ausführungsform wird auch gemäß **Fig. 3a-c** der über die Spiegelemente **200a, 200b, 200c, ...** der Spiegelanordnung **200** eingestellte Eintrittswinkel beim Lichteintritt in das jeweilige, die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung bildende transmissive Element vorzugsweise so gewählt, dass die an den Grenzflächen stattfindenden

Reflexionen jeweils Totalreflexionen sind mit der Folge, dass sämtliches in das transmissive Element eintretende Licht im Laufe der stattfindenden Reflexionen unter Vermeidung von Lichtverlust innerhalb dieses Elementes verbleibt und erst nach der letzten Reflexion aus dem Element austritt. Mit anderen Worten sollte auch gemäß **Fig. 3a-c** für jeden innerhalb des betreffenden, die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung bildenden transmissiven optischen Elementes auf dessen Seiten- bzw. Grenzflächen (mit Ausnahme der Lichtaustrittsfläche) auftreffenden Lichtstrahl der jeweils geltende, auf die Normale zur reflektierenden Fläche bezogene Grenzwinkel für Totalreflexion erreicht bzw. überschritten werden.

**[0046]** Je nach der konkreten Geometrie des die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung bildenden transmissiven Elementes (etwa mit den in **Fig. 3b** und **Fig. 3c** dargestellten oder anderen Geometrien) können nun für die jeweiligen, durch die Spiegelemente **200a, 200b, 200c, ...** der Spiegelanordnung **200** eingestellten Eintrittswinkel unterschiedliche aufeinanderfolgende Reflexionen an den Grenzflächen zum jeweils umgebenden optisch dünneren Medium und damit unterschiedliche geometrische Polarisationsdrehungen bereitgestellt werden.

**[0047]** In weiteren Ausführungsformen können die gemäß **Fig. 3a-c** stattfindenden, zur geometrischen Polarisationsdrehung genutzten aufeinanderfolgenden Reflexionen auch dadurch realisiert werden, dass die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung in Abweichung von **Fig. 3a-c** in dem jeweils schraffiert eingezeichneten Bereich materialfrei und mit die Grenzflächen jeweils bildenden reflektierenden Flächen bzw. Spiegeln (die dann gewissermaßen ein Hohlrohr mit beliebigem vorgegebenem Querschnitt begrenzen) ausgestaltet wird. Infolge der Ausgestaltung mit reflektiven Elementen ist diese Ausführungsform dann grundsätzlich analog zu **Fig. 2** auch in einem für den Betrieb im EUV ausgelegten optischen System realisierbar.

**[0048]** Um bei der vorstehend beschriebenen Ausgestaltung mit reflektiven Elementen jeweils ebenfalls einen Lichtverlust zu minimieren, wird vorzugsweise der über die Spiegelemente **200a, 200b, 200c, ...** der Spiegelanordnung **200** eingestellte Eintrittswinkel in die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung so gewählt, dass die an den reflektierenden Flächen der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung stattfindenden Reflexionen möglichst vollständig bzw. bei minimaler s/p-Aufspaltung stattfinden, wozu wiederum die Einfallswinkel auf die betreffenden reflektierenden Flächen möglichst geringe Werte (d. h. unter streifendem Einfall, engl.: „grazing incidence“), z. B. bezogen auf die reflektierende Fläche kleiner als 30°, insbesondere klei-

ner als 20°, weiter insbesondere kleiner als 20°, aufweisen sollten.

**[0049]** Des Weiteren kann auf den betreffenden reflektierenden Flächen zur Minimierung der s/p-Aufspaltung bzw. zur Maximierung der Reflexion im Nutzwinkelbereich in Ausführungsformen der Erfindung eine geeignete Beschichtung vorgesehen sein, welche bei Auslegung des optischen Systems für VUV (z. B. für eine Arbeitswellenlänge kleiner als 250 nm, insbesondere kleiner als 200 nm) in Form einer beliebigen bekannten HR-Schicht, und für eine Arbeitswellenlänge im EUV z. B. als Ruthenium-Beschichtung oder als Molybdän-Silizium-Vielfachschicht ausgestaltet sein kann.

**[0050]** Fig. 4a zeigt eine schematische Darstellung zur Erläuterung einer weiteren möglichen Anwendung der Erfindung in einer Beleuchtungseinrichtung, welche ebenfalls eine Spiegelanordnung 400 mit einer Mehrzahl von unabhängig voneinander verstellbaren Spiegelementen 400a, 400b, 400c, ... aufweist.

**[0051]** Gemäß Fig. 4a ist in Lichtausbreitungsrichtung stromaufwärts sowie stromabwärts der Spiegelanordnung 400 jeweils eine Umlenkeinrichtung 401, 402 vorgesehen, wobei die stromaufwärts der Spiegelanordnung 400 angeordnete Umlenkeinrichtung 401 durch einen Umlenkspiegel gebildet wird, und wobei die stromabwärts der Spiegelanordnung 400 angeordnete Umlenkeinrichtung 402 durch eine polarisationsbeeinflussende optische Anordnung analog zu den unter Bezugnahme auf Fig. 3a–c beschriebenen Ausführungsformen gebildet wird. Beispielhafte Ausgestaltungen einer solchen, zugleich als Umlenkeinrichtung 402 wirkenden polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung sind in Fig. 4b und Fig. 4c schematisch dargestellt. Die in Fig. 4b und Fig. 4c gezeigten Anordnungen 410, 420 übernehmen zum einen die Funktion der im Strahlengang von Fig. 4a vorhandenen Umlenkeinrichtung 402 und zum anderen – insoweit analog zu den Ausgestaltungen von Fig. 3a bis Fig. 3c bzw. Fig. 2 – die Erzeugung des gewünschten (Ausgangs)Polarisationszustandes mittels geometrischer Polarisationsdrehung während der in der betreffenden Anordnung 410, 420 stattfindenden Aufeinanderfolge von Reflexionen. In Fig. 4c ist dabei der Einfachheit halber nur die Strahlumlenkung selbst angedeutet, wobei die geometrische Polarisationsdrehung analog zur obigen Beschreibung des Ausführungsbeispiels von Fig. 2 (unter Ersetzung der Spiegelanordnung 200 durch die in Fig. 4c links eingezeichnete, erste reflektierende Seitenfläche der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung 420) erfolgt.

**[0052]** Unter erneuter Bezugnahme auf Fig. 4a lenkt die stromaufwärts der Spiegelanordnung 400 angeordnete Umlenkeinrichtung 401 das sich zunächst

entlang der optischen Systemachse OA (d. h. in z-Richtung) ausbreitende Beleuchtungslicht mittels Reflexion in Richtung zur Spiegelanordnung 400 ab, woraufhin – nach Reflexion an den Spiegelementen 400a, 400b, 400c, ... der Spiegelanordnung 400 – über eine Reflexion an der zweiten Umlenkeinrichtung 402 (bzw. infolge der Strahlumlenkung durch die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung 410, 420 gemäß Fig. 4b, Fig. 4c) wieder eine Umlenkung in eine Richtung näherungsweise parallel zur optischen Systemachse OA zu den weiteren in der Beleuchtungseinrichtung vorgesehenen Komponenten 403, ... erfolgt.

**[0053]** Die Spiegelemente 400a, 400b, 400c, ... der Spiegelanordnung 400 sind analog zu den Ausführungsformen von Fig. 3a–c über eine Ansteuerungseinheit 405 verstellbar, um durch Variation der Eintrittswinkel unterschiedliche aufeinanderfolgende Reflexionen innerhalb der die zweite Umlenkeinrichtung 402 bildenden polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung bereitzustellen und damit die Möglichkeit zur flexiblen Einstellung unterschiedlicher Polarisationsverteilungen in einer nachfolgenden Ebene, z. B. der Pupillenebene, zu schaffen.

**[0054]** Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen, z. B. durch Kombination und/oder Austausch von Merkmalen einzelner Ausführungsformen. Dementsprechend versteht es sich für den Fachmann, dass derartige Variationen und alternative Ausführungsformen von der vorliegenden Erfindung mit umfasst sind, und die Reichweite der Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

## **ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

### **Zitierte Patentliteratur**

- WO 2005/026843 A2 [0003]
- WO 2005/069081 A2 [0005]
- WO 2005/031467 A2 [0005]
- US 619188031 [0005]
- US 2007/0146676 A1 [0005]
- WO 2009/034109 A2 [0005]
- WO 2008/019936 A2 [0005]
- WO 2009/100862 A1 [0005]
- DE 102008009601 A1 [0005]
- DE 102004011733 A1 [0005]
- EP 1306665 A2 [0005]



**Patentansprüche**

1. Optisches System für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, mit

- wenigstens einer Spiegelanordnung (**200**, **400**), welche eine Mehrzahl von Spiegelementen (**200a**, **200b**, **200c**, ..., **400a**, **400b**, **400c**, ...) aufweist, wobei diese Spiegelemente zur Veränderung einer Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung reflektierten Lichtes unabhängig voneinander verstellbar sind; und
- einer polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung (**110**, **210**, **310**, **320**, **330**), welche in Lichtausbreitungsrichtung nach der Spiegelanordnung (**200**, **400**) angeordnet ist;
- wobei die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (**110**, **210**, **310**, **320**, **330**) für wenigstens eine Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung (**200**, **400**) reflektierten Lichtes einen auf die Anordnung (**110**, **210**, **310**, **320**, **330**) auftreffenden Lichtstrahl in wenigstens zwei Reflexionen, welche nicht in einer gemeinsamen Ebene erfolgen, reflektiert.

2. Optisches System nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (**110**, **210**, **310**, **320**, **330**) für wenigstens eine Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung (**200**, **400**) reflektierten Lichtes einen auf die Anordnung (**110**, **210**, **310**, **320**, **330**) auftreffenden Lichtstrahl in wenigstens drei Reflexionen, welche nicht sämtlich in einer gemeinsamen Ebene erfolgen, reflektiert.

3. Optisches System nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens eine dieser Reflexionen eine Totalreflexion ist.

4. Optisches System nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass sämtliche dieser Reflexionen Totalreflexionen sind.

5. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (**210**, **310**, **320**, **330**) aus einem für Licht der Arbeitswellenlänge des optischen Systems transmissiven optischen Element besteht.

6. Optisches System nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses optische Element keine Doppelbrechung aufweist.

7. Optisches System nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses optische Element aus einem optisch amorphen Material, insbesondere Quarzglas ( $\text{SiO}_2$ ), hergestellt ist.

8. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung

(**210**) eine im Wesentlichen stabförmige Geometrie aufweist.

9. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (**210**, **310**, **320**, **330**) eine Lichteintrittsfläche, eine Lichtaustrittsfläche und eine Mehrzahl von Seitenflächen (**210a**, **201b**, **310a–310d**, **320a–320f**, **330a–330d**) aufweist, wobei die Reflexionen jeweils an einer dieser Seitenflächen (**210a**, **201b**, **310a–310dd**, **320a–320f**, **330a–330d**) erfolgen.

10. Optisches System nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens einige dieser Seitenflächen (**310a–310d**, **320a–320f**, **330a–330d**) ein Hohlprofil innerhalb der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung (**310**, **320**, **330**) bilden.

11. Optisches System nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (**110**) wenigstens zwei Spiegel (**110a**, **110b**, **110c**, ...) aufweist, wobei die Reflexionen jeweils an einem dieser Spiegel (**110a**, **110b**, **110c**, ...) erfolgen.

12. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die wenigstens eine Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung (**200**, **400**) reflektierten Lichtes wenigstens ein Lichtstrahl nach der letzten der Reflexionen und bei Verlassen der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung die gleiche Richtung wie beim Auftreffen auf die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung aufweist.

13. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung stromaufwärts und stromabwärts der Spiegelanordnung (**400**) jeweils eine Umlenkeinrichtung (**401**, **402**) aufweist.

14. Optisches System nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die stromaufwärts der Spiegelanordnung (**400**) angeordnete Umlenkeinrichtung (**401**) durch einen Umlenkspiegel gebildet wird.

15. Optisches System nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die stromabwärts der Spiegelanordnung (**400**) angeordnete Umlenkeinrichtung (**402**) durch die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung gebildet wird.

16. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 250 nm, insbesondere weniger als 200 nm, weiter insbesondere weniger als 160 nm ausgelegt ist.

17. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 30 nm, insbesondere weniger als 15 nm, ausgelegt ist.

18. Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage mit einer Beleuchtungseinrichtung (10) und einem Projektionsobjektiv (20), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beleuchtungseinrichtung (10) ein optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist.

19. Mikrolithographisches Belichtungsverfahren, bei welchem mittels einer Lichtquelle erzeugtes Licht einer Beleuchtungseinrichtung (10) einer Projektionsbelichtungsanlage zur Beleuchtung einer Objektebene eines Projektionsobjektivs (20) zugeführt wird und bei welchem die Objektebene mittels des Projektionsobjektivs (20) in eine Bildebene des Projektionsobjektivs (20) abgebildet wird,

- wobei in der Beleuchtungseinrichtung (10) wenigstens eine Spiegelanordnung (200, 400), welche eine Mehrzahl von Spiegelementen (200a, 200b, 200c, ..., 400a, 400b, 400c, ...) aufweist, die zur Veränderung einer Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung (200, 400) reflektierten Lichtes unabhängig voneinander verstellbar sind, eingesetzt wird; und
- wobei für wenigstens eine Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung (200, 400) reflektierten Lichtes ein von der Spiegelanordnung (200, 400) reflektierter Lichtstrahl in wenigstens zwei Reflexionen, welche nicht in einer gemeinsamen Ebene erfolgen, reflektiert wird.

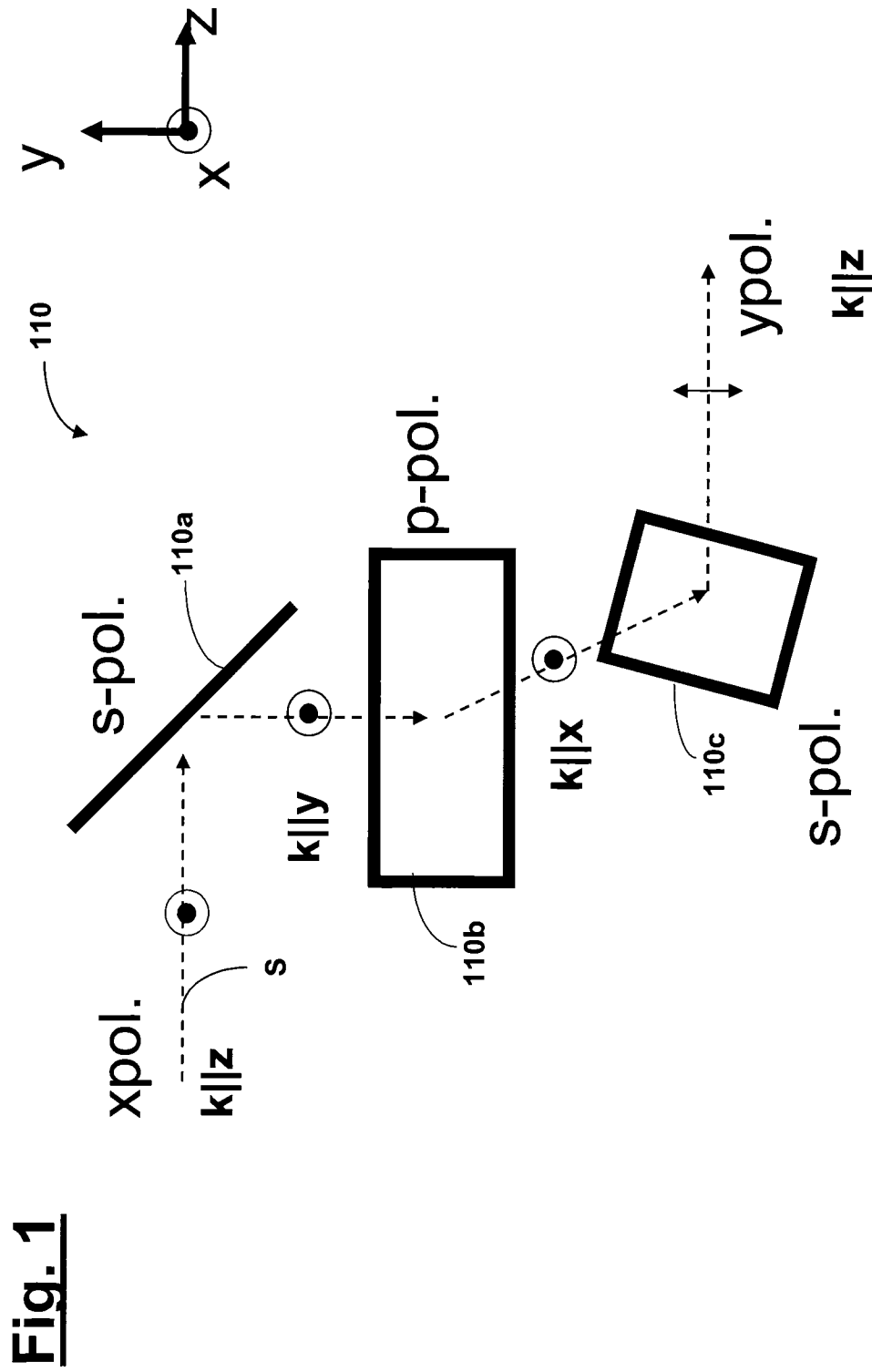
20. Mikrolithographisches Belichtungsverfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (110, 210, 310, 320, 330) für wenigstens eine Winkelverteilung des von der Spiegelanordnung (200, 400) reflektierten Lichtes einen auf die Anordnung (110, 210, 310, 320, 330) auftreffenden Lichtstrahl in wenigstens drei Reflexionen, welche nicht sämtlich in einer gemeinsamen Ebene erfolgen, reflektiert.

21. Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente mit folgenden Schritten:

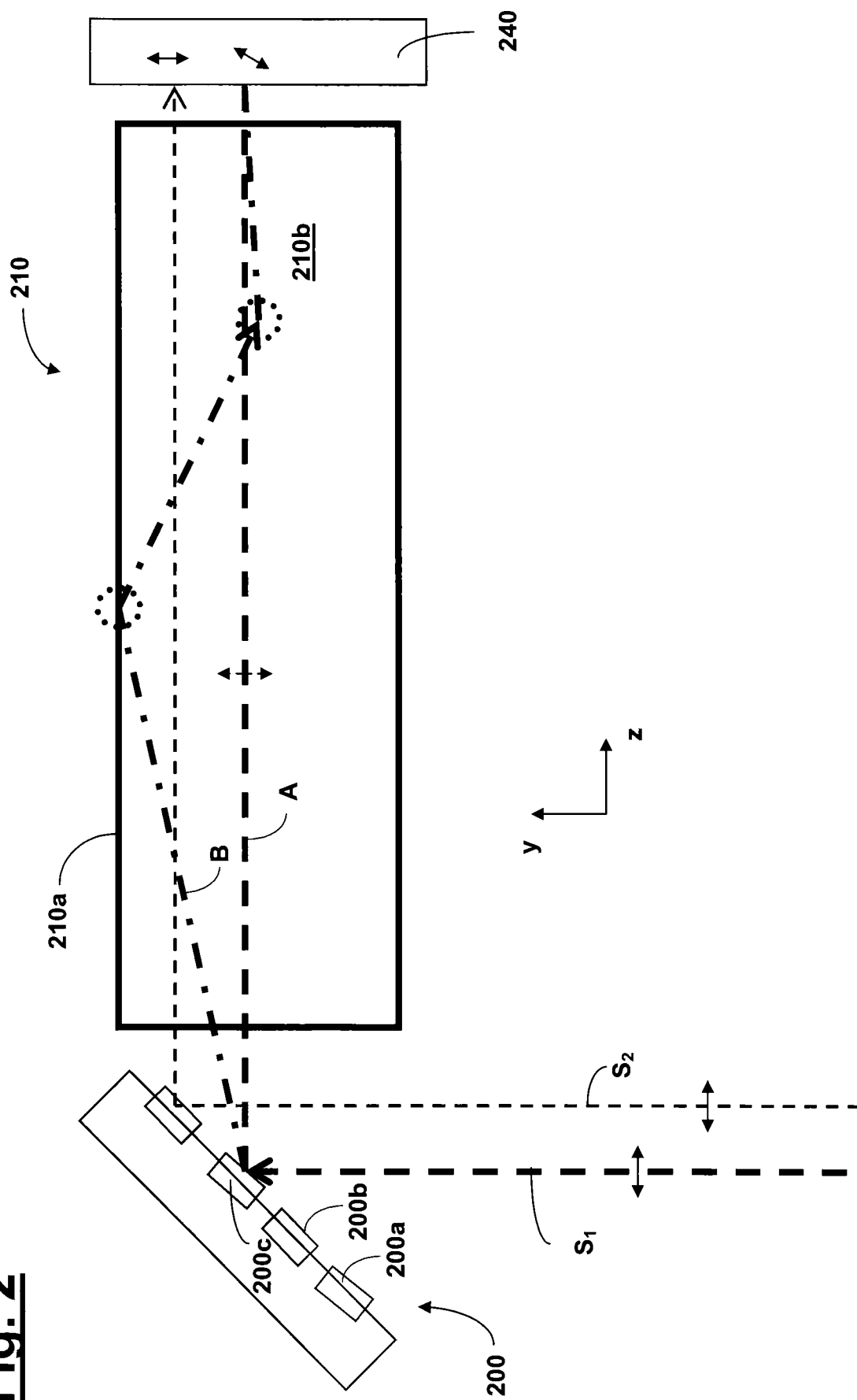
- Bereitstellen eines Substrats (40), auf das zumindest teilweise eine Schicht aus einem lichtempfindlichen Material aufgebracht ist;
- Bereitstellen einer Maske (30), die abzubildende Strukturen aufweist;
- Bereitstellen einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, welche ein optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 17 aufweist; und
- Projizieren wenigstens eines Teils der Maske (30) auf einen Bereich der Schicht mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

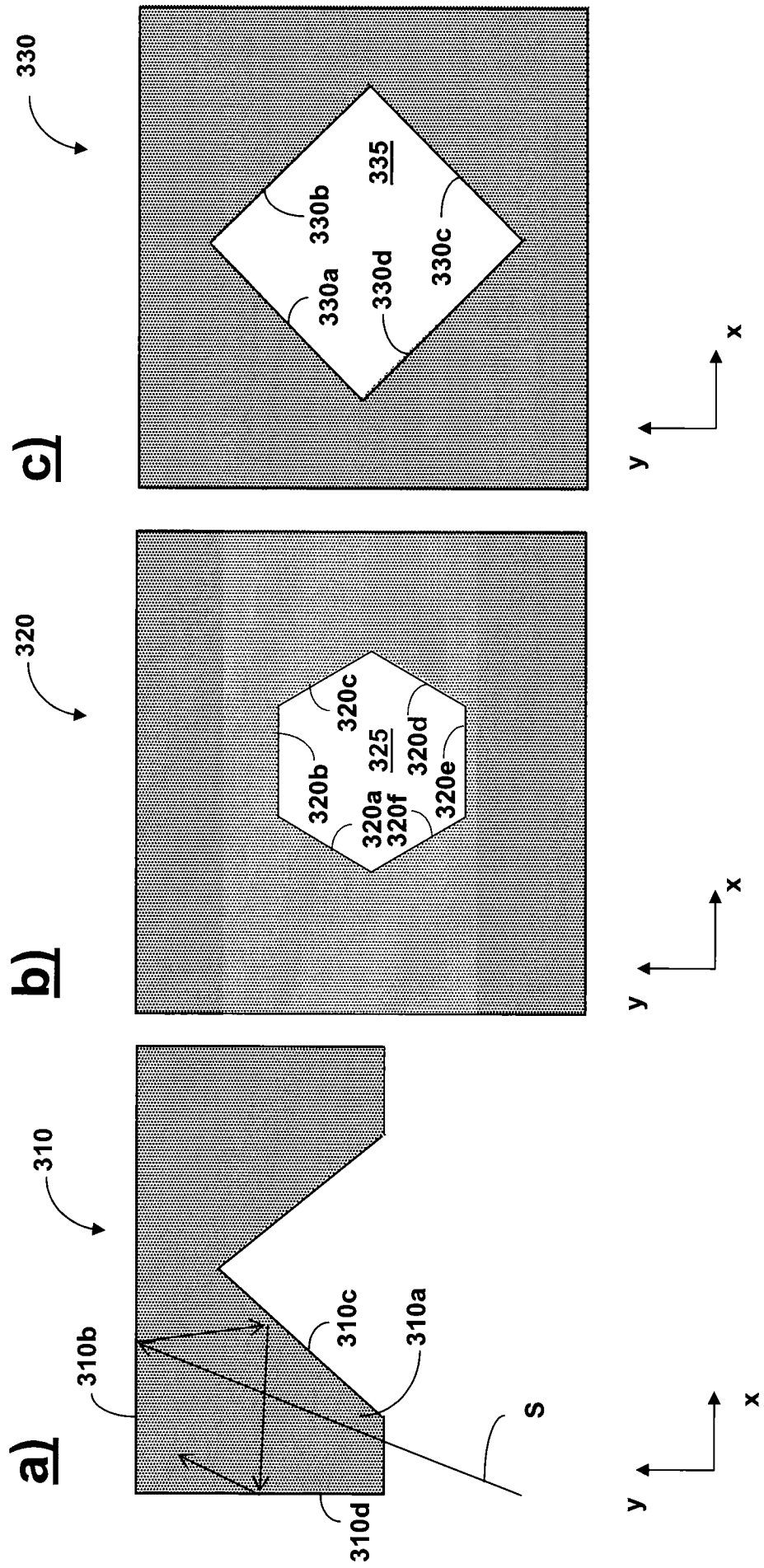
Anhängende Zeichnungen



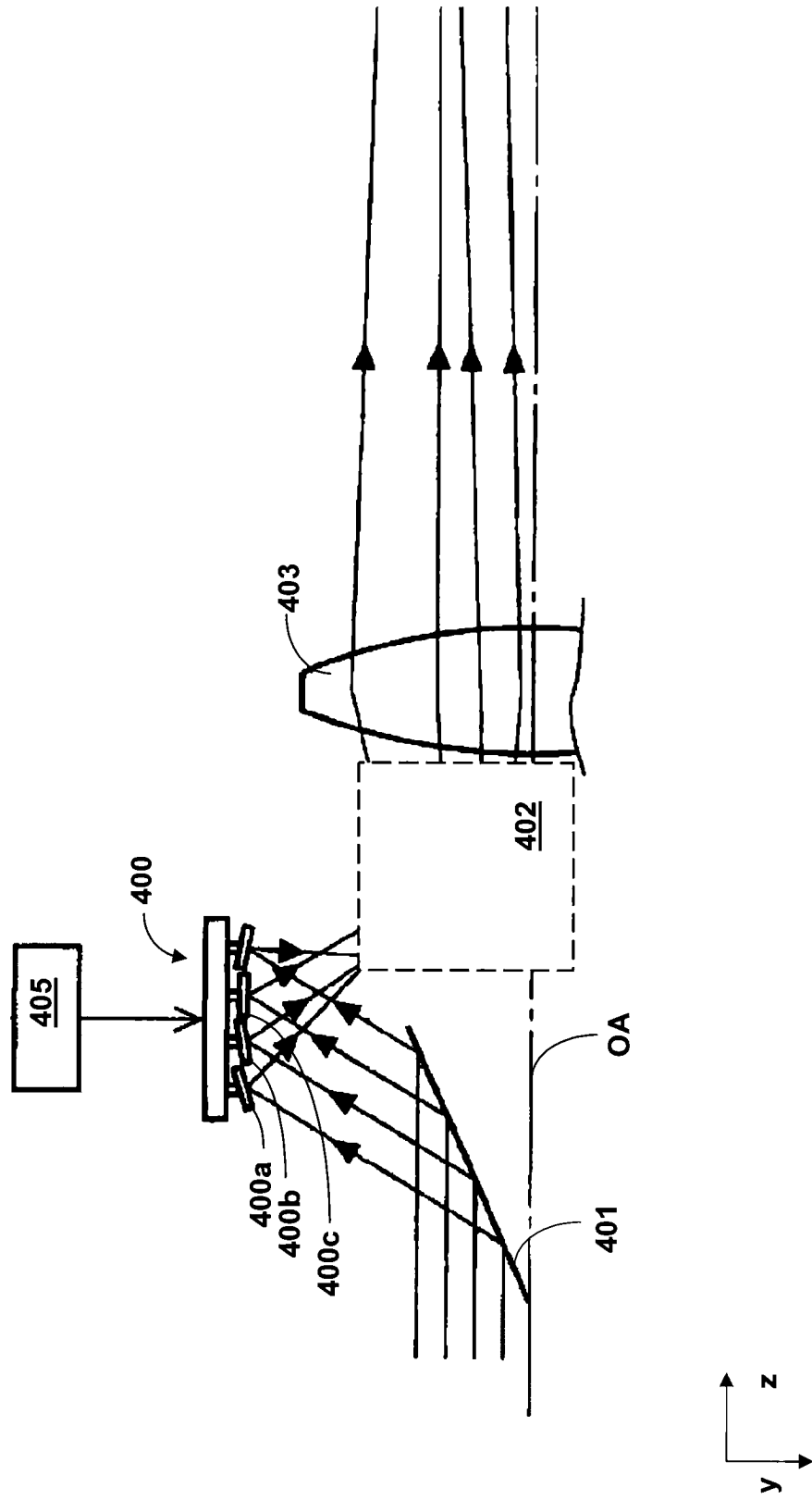
**Fig. 2**



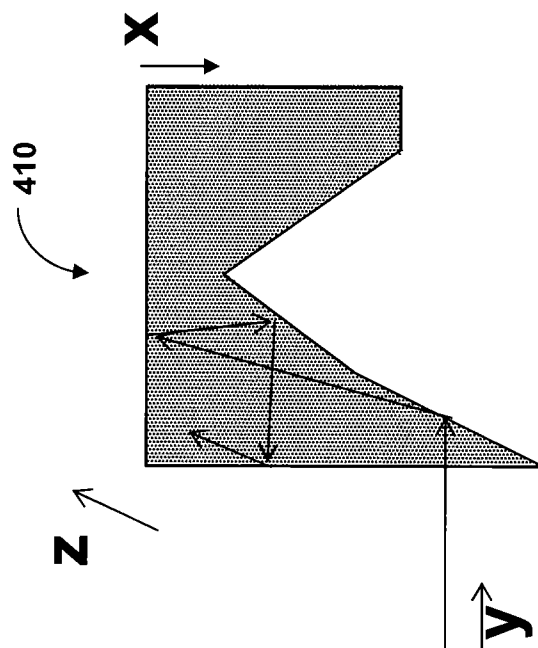
**Fig. 3**



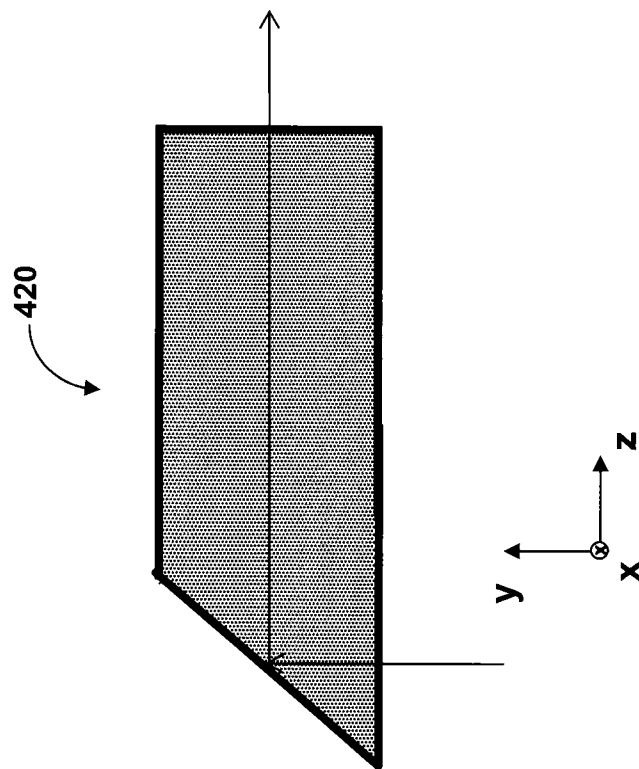
**Fig. 4a**



**Fig. 4b**



**Fig. 4c**



**Fig. 5**

