

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
28. Dezember 2006 (28.12.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2006/136352 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
G03F 7/20 (2006.01) G02B 7/00 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/005855
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
19. Juni 2006 (19.06.2006)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
60/692,080 20. Juni 2005 (20.06.2005) US
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): CARL ZEISS SMT AG [DE/DE]; Rudolf-Eber-Str. 2, 73447 Oberkochen (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KWAN, Yim-Bun, Patrick [GB/DE]; Warthelandstr. 68, 73431 Aalen (DE).
- (74) Anwalt: LORENZ & KOLLEGEN; Alte Ulmer Str. 2, 89522 Heidenheim (DE).

- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

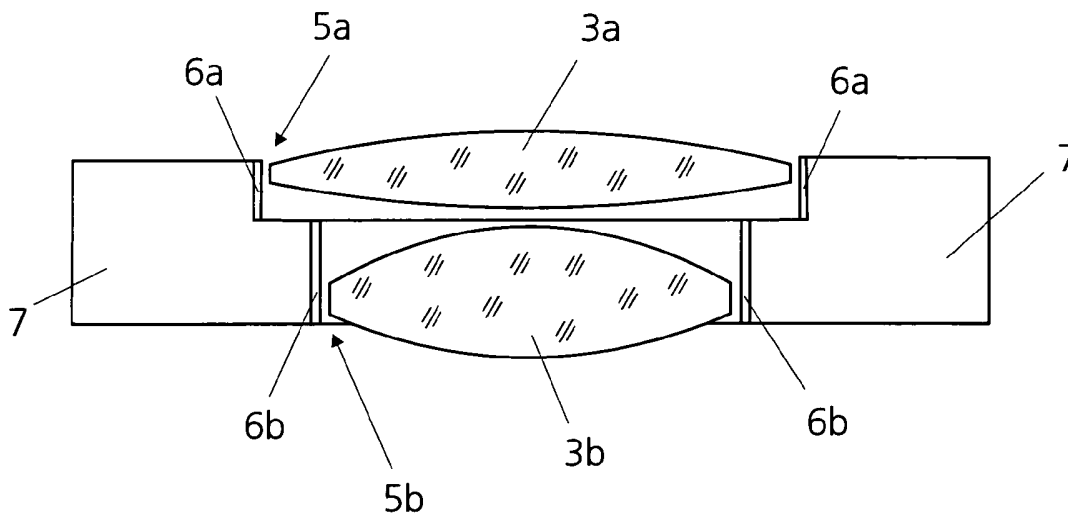
Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LENS COMPRISING SEVERAL OPTICAL ELEMENTS DISPOSED IN A HOUSING

(54) Bezeichnung: OBJEKTIV MIT MEHREREN IN EINEM GEHÄUSE ANGEORDNETEN OPTISCHEN ELEMENTEN



(57) Abstract: The invention relates to a lens comprising several optical elements that are disposed in a lens housing. At least one sensor array encompassing at least one capacitive sensor unit and/or at least one inductive sensor unit is provided for determining the relative position between a first optical element and a second optical element or between a load-bearing structural element of the lens and a second optical element.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Objektiv mit mehreren in einem Objektivgehäuse angeordneten optischen Elementen, wobei zur relativen Positionsbestimmung zwischen einem ersten optischen Element und einem zweiten optischen Element oder zwischen einem lasttragenden Strukturelement des Objektivs und einem zweiten optischen Element wenigstens eine Sensoreinrichtung mit wenigstens einer kapazitiven Sensoreinheit und/oder wenigstens einer induktiven Sensoreinheit vorgesehen ist.

WO 2006/136352 A2



- 
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)
  - hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)
  - Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**Veröffentlicht:**

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Objektiv mit mehreren in einem Gehäuse angeordneten optischen Elementen

5 Die Erfindung betrifft ein Objektiv mit mehreren in einem Gehäuse angeordneten optischen Elementen. Die Erfindung betrifft ebenfalls ein Verfahren zur relativen Positionsbestimmung zwischen einem fest mit einem Objektivgehäuse verbundenen ersten optischen Element und einem austauschbaren Abschlusselement sowie ein Verfahren zur Positionierung eines austauschbaren Abschlusselements in einem derartigen Objektiv.

Bei Projektionsobjektiven, insbesondere für die Mikrolithographie ist es vorteilhaft das Abschlusselement, insbesondere eine  
15 Abschlusslinse oder dergleichen, aufgrund von mit der Zeit auftretenden Verschlechterungen dessen optischer Eigenschaften austauschbar zu gestalten.

Bei der beispielsweise in der WO 99/49504 beschriebenen Immersionslithographie, also der Lithographie, bei der sich zwischen dem Abschlusselement des Objektivs und dem zu belichtenden Wafer ein Immersionsmedium befindet, wird die Notwendigkeit eines austauschbaren Abschlusselements noch verstärkt.

25 Das Abschlusselement ist, insbesondere wenn es beispielsweise aus Kalziumfluorid besteht, sehr empfindlich gegenüber dem teilweise aggressiven Immersionsmedium, sodass ein Schutz desselben erforderlich ist. Dennoch kann es, beispielsweise durch das Zusammenspiel mit weiteren chemischen Zusätzen in dem Immersionsmedium, zur Kontamination des Abschlusselements kommen, so dass  
30 dieses nicht mehr in der Lage ist, seine volle optische Leistung zu bringen und nach einiger Zeit ausgetauscht werden muss. Auch die Kontaminationen aus den Resists auf dem Wafer sowie Kontaminationen aus dem System zum kontinuierlichen Austausch des Immersionsmediums können Ursachen für die Notwendigkeit eines Austauschs sein.

An das Abschlusselement eines Immersionslithographie-Objektivs werden sehr hohe Anforderungen bezüglich der Genauigkeit und der möglichen Toleranzen gestellt, wodurch ein Austausch des Abschlusselements erschwert wird.

5

Da die genaue Position des Abschlusselements, vor allem auch bei Projektionsobjektiven mit hoher numerischer Apertur, einen großen Einfluss auf die Bildqualität des optischen Gesamtsystems hat, erfordert ein derartiger Austauschprozess insbesondere in der Einsatzumgebung eine hohe Positionierungsgenauigkeit (Sub- $\mu$ m-Bereich) in bis zu sechs Freiheitsgraden.

Ein bekannter Ansatz, um derart hohe Genauigkeiten bei der Positionierung zu erreichen, ist beispielsweise die Fassung des Abschlusselements mit einem Aktuatorsystem zur Manipulation des Abschlusselements in bis zu sechs Freiheitsgraden zu versehen, wobei das Abschlusselement erst mit grober Genauigkeit vorjustiert wird und anschließend die Abweichungen mit Hilfe eines Bildqualitätsmesssystems gemessen und korrigiert werden. Ein derartiges Aktuatorsystem bringt jedoch Nachteile hinsichtlich Komplexität und Kosten und vor allem hinsichtlich der Leistung des optischen Systems durch eine verringerte axiale Steifigkeit der Fassung des Abschlusselements, was die Bildqualität negativ beeinflusst, mit sich.

25

Es ist daher wünschenswert, die Anzahl der aktuierten Freiheitsgrade, beispielsweise auf die z-, die rx- und die ry-Richtung, zu beschränken, falls das Abschlusselement mit einer ausreichend hohen Genauigkeit während des Austauschs in der Horizontalebene (x- und y-Richtung, d. h. senkrecht zur Strahlrichtung bzw. zur optischen Achse z) positioniert bzw. angebracht werden kann.

30

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Objektiv und Verfahren der eingangs erwähnten Art zu schaffen, bei welchen eine sehr hohe Genauigkeit bei der Positionierung eines optischen Elements bzw. eines austauschbaren Abschlusselements, insbesondere in x- und y-Richtung senkrecht zur Strahl-

35

richtung bzw. zur optischen Achse ermöglicht wird, wobei auf aufwändige und kostenintensive eingebaute Aktuatorssysteme verzichtet werden kann.

5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Objektiv mit mehreren in einem Objektivgehäuse angeordneten optischen Elementen gelöst, wobei zur relativen Positionsbestimmung zwischen einem ersten optischen Element und einem zweiten optischen Element oder zwischen einem lasttragenden Strukturelement des Objektivs  
10 und einem zweiten optischen Element wenigstens eine Sensoranordnung mit wenigstens einer kapazitiven Sensoreinheit und/oder wenigstens einer induktiven Sensoreinheit vorgesehen ist.

Durch die erfindungsgemäßen Maßnahmen wird in einfacher und vor-  
15 teilhafter sowie kostengünstiger Weise ein Objektiv geschaffen, bei welchem zur relativen Positionsbestimmung zwischen einem ersten optischen Element und einem zweiten optischen Element oder zwischen einem Strukturelement des Objektivs und einem zweiten optischen Element kapazitive und/oder induktive Sensoren  
20 vorgesehen sind. Dieses stationäre und kontaktlose Messsystem ist kostengünstig und sehr genau. Ein aufwändiges eingebautes Aktuatorssystem in fünf Freiheitsgraden wird nicht benötigt, da die Konzentrität bzw. die Ausrichtung in x- und y-Richtung in der Horizontalebene, d. h. senkrecht zur optischen Achse oder  
25 der Strahlrichtung (z-Achse) über zwei zylindrische Referenzflächen ermittelt werden kann. Des Weiteren kann mittels der kapazitiven und/oder induktiven Sensoreinheiten auch eine relative Positionsbestimmung zwischen einem Strukturelement des Objektivs und dem zweiten optischen Element erfolgen. Bei einem Austausch  
30 bzw. bei einer Positionierung des zweiten optischen Elements, insbesondere eines austauschbaren Abschlusselements, kann dies nun im Feld, d.h. in der Einsatzumgebung des Objektivs sehr präzise durchgeführt werden, so dass Genauigkeiten von 1 µm bis 10 nm in x- bzw. y-Richtung erreichbar sind. Eine derartige Genau-  
35 igkeit mittels optischer Sensoren zu erhalten, ist relativ aufwändig und schwierig, da hierzu eine Vermessung entlang des gesamten Umfangs erforderlich wäre.

Die relative Positionsbestimmung kann in x- und y-Richtung in einer horizontalen Ebene senkrecht zur Strahlrichtung, insbesondere senkrecht zur optischen Achse (z-Achse) des Objektivs erfolgen. Ferner ist es möglich die relative Positionsbestimmung in z-Richtung sowie in rx- und ry-Richtung (d. h. Drehung um die x-Achse und y-Achse) vorzunehmen.

Vorteilhaft ist es, wenn das lasttragende Strukturelement des Objektivs das Objektivgehäuse ist.

Dadurch kann auch eine relative Positionsbestimmung direkt zwischen dem Objektivgehäuse und dem zweiten optischen Element durchgeführt werden. Insbesondere kann hierzu das Objektivgehäuse mit Bezugs- oder Referenzflächen versehen sein.

Das Objektiv kann als Projektionsobjektiv für die Mikrolithographie ausgebildet sein.

Erfindungsgemäß kann ferner vorgesehen sein, dass die wenigstens eine Sensoranordnung wenigstens drei kapazitive Sensoreinheiten aufweist.

In einer konstruktiven Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die wenigstens drei kapazitiven Sensoreinheiten in gleichmäßigen Abständen um das erste und/oder das zweite optische Element angeordnet sind.

Das zweite optische Element kann austauschbar ausgebildet sein. Insbesondere kann das zweite optische Element ein austauschbares Abschlusselement des Objektivs sein. Ferner kann das erste optische Element ein dem austauschbaren Abschlusselement in Richtung der optischen Achse des Objektivs nachfolgendes optisches Element sein.

Das erste optische Element kann fest mit dem Objektivgehäuse verbunden sein.

Vorteilhaft ist, wenn eine erste Sensoranordnung und eine zweite Sensoranordnung vorgesehen sind.

5 Die erste Sensoranordnung und die zweite Sensoranordnung können jeweils vier kapazitive Sensoreinheiten aufweisen.

Vorteilhaft ist es ferner, wenn die erste Sensoranordnung relativ zu dem Objektiv ausgerichtet ist, wobei die zweite Sensoranordnung relativ zu der ersten Sensoranordnung in einer fest vorgegebenen oder genau bekannten Position angeordnet ist.

Erfindungsgemäß kann ferner vorgesehen sein, dass die wenigstens eine Sensoranordnung auf einem elektrisch isolierenden Substratring aus einem Material mit geringem Wärmeausdehnungskoeffizienten angeordnet ist.

In Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das Material Glas, Keramik, Quarz oder Glaskeramik, insbesondere Zerodur oder dergleichen ist.

Des weiteren ist ein Verfahren zur relativen Positionsbestimmung zwischen einem fest mit einem Objektivgehäuse verbundenen ersten optischen Element und einem austauschbaren Abschlusselement oder zwischen dem Objektivgehäuse und dem austauschbaren Abschlusselement in einem Objektiv angegeben, wobei

- in einem ersten Schritt die erste Sensoranordnung die Position der ersten und der zweiten Sensoranordnung relativ zu dem ersten optischen Element oder zu dem Objektivgehäuse vermisst, wonach
- in einem zweiten Schritt die zweite Sensoranordnung die Position des Abschlusselements relativ zu der zweiten Sensoranordnung vermisst und wonach
- in einem dritten Schritt aus den Messergebnissen die Position des Abschlusselements relativ zu dem ersten optischen Element oder zu dem Objektivgehäuse bestimmt wird.

Darüber hinaus ist ein Verfahren zur Positionierung eines austauschbaren Abschlusselements in einem Objektiv angegeben, wobei das Abschlusselement mittels einer Positionierungseinrichtung, welche kraftgesteuerte Manipulatoren aufweist, in sechs Freiheitsgraden unter Verwendung einer durch das vorstehend genannte Verfahren ermittelten relativen Position des Abschlusselements zu dem fest mit dem Objektivgehäuse verbundenen ersten optischen Element oder zu dem Objektivgehäuse positioniert wird.

10 Eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem und mit einem erfindungsgemäßen Objektiv zur Herstellung von Halbleiterbauelementen sowie ein Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen unter Verwendung einer solchen Projektionsbelichtungsanlage sind in den Ansprüchen 19 und 20 angegeben.

15 Nachfolgend wird eine Ausführungsform der Erfindung anhand der Zeichnung prinzipmäßig beschrieben.

Es zeigt:

20 Figur 1 eine Prinzipdarstellung eines erfindungsgemäßen Objektivs für die Immersionslithographie;

25 Figur 2 eine prinzipmäßige Schnittansicht mit einer Sensoranordnung, einem Abschlusselement und einem in Strahlrichtung vorletzten optischen Element eines Objektivs für die Immersionslithographie;

30 Figur 3 eine prinzipmäßige Draufsicht auf die Sensoranordnung aus Fig. 2;

Figur 4 eine Prinzipdarstellung einer Sensoranordnung;

35 Figur 5 eine weitere Prinzipdarstellung einer alternativen Ausführungsform einer Sensoranordnung mit drei Sensoreinheiten;

Figur 6 eine prinzipmäßige Schnittansicht mit einer alternativen Sensoranordnung, einem Abschlusselement und einem in Strahlrichtung vorletzten optischen Element eines Objektivs für die Immersionslithographie; und

5

Figur 7 eine vereinfachte perspektivische Ansicht eines Teils der Sensoranordnung aus Fig. 6.

Figur 1 zeigt ein als Lithographieobjektiv 1 ausgebildetes Objekt, welches insbesondere für die Immersionsmikrolithographie geeignet ist, jedoch auch für andere Arten der Lithographie und auch für sonstige Zwecke eingesetzt werden kann. Das Objektiv 1 kann in einer Projektionsbelichtungsanlage zur Herstellung von Halbleiterbauelementen mit einem Beleuchtungssystem als Projektionsobjektiv eingesetzt werden. Da die Immersionslithographie an sich bekannt ist, wird hierin nicht näher auf dieses Verfahren eingegangen. Das Lithographieobjektiv 1 weist ein äußerst schematisch angedeutetes Objektivgehäuse 2 als lasttragendes Strukturelement auf, innerhalb welchem in an sich bekannter Weise mehrere optische Elemente angeordnet sind. In Figur 1 ist lediglich ein erstes, in Strahlrichtung vorletztes optisches Element 3a und ein Abschlusselement 3b als zweites optisches Element dargestellt. Die optischen Elemente 3a, 3b sind jeweils in einer Halterung bzw. Fassung 4a, 4b angeordnet. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist das Abschlusselement 3b austauschbar ausgebildet (nicht näher dargestellt) und das in Strahlrichtung vorletzte optische Element 3a, welches dem Abschlusselement 3b in Richtung der optischen Achse (z-Achse) nachfolgt, fest mit dem Objektivgehäuse 2 verbunden.

30

Zur relativen Positionsbestimmung in x- und y-Richtung, d. h. senkrecht zur Strahlrichtung bzw. zur optischen Achse (z-Achse) zwischen dem in Strahlrichtung vorletzten optischen Element 3a und dem Abschlusselement 3b sind eine erste und eine zweite Sensoranordnung 5a, 5b mit jeweils vier kapazitiven Sensoreinheiten 6a, 6b (siehe Figuren 2 bis 4) vorgesehen. Die Sensoranordnungen 5a, 5b stellen ihre Messdaten weiteren, insbesondere externen

35

Geräten, wie beispielsweise Steuergeräten oder dergleichen zur Verfügung (nicht dargestellt). Bei der Messung können aus der kapazitiven Messtechnik bekannte Mittelungsverfahren zur Eliminierung bzw. Filterung des elektronischen Rauschens verwendet  
5 werden. In weiteren Ausführungsbeispielen könnten auch induktive Sensoreinheiten vorgesehen sein. Es können sowohl statische elektrische / magnetische Felder als auch Wechselfelder eingesetzt werden. Des weiteren könnte in anderen Ausführungsbeispielen auch eine relative Positionsbestimmung zwischen dem Objektivgehäuse 2 als lasttragendem Strukturelement und dem Abschlusselement 3b mit entsprechenden Sensoranordnungen durchgeführt werden (nicht dargestellt). Dazu könnte das Objektivgehäuse 2 mit entsprechenden Referenz- oder Bezugsflächen versehen  
10 sein.

15 Die erste Sensoranordnung 5a ist relativ zu dem Objektiv 1 bzw. dessen Objektivgehäuse 2 oder dem ersten mit dem Objektivgehäuse 2 fest verbundenen optischen Element 3a ausgerichtet, wobei die zweite Sensoranordnung 5b relativ zu der ersten Sensoranordnung  
20 5a in einer fest vorgegebenen oder genau bekannten Position angeordnet ist.

Zur relativen Positionsbestimmung zwischen dem fest mit dem Objektivgehäuse 2 verbundenen ersten optischen Element 3a und dem  
25 austauschbaren Abschlusselement 3b oder zwischen dem Objektivgehäuse 2 als Strukturelement und dem austauschbaren Abschlusselement 3b in dem Objektiv 1 vermisst nun in einem ersten Schritt die erste Sensoranordnung 5a die Position der ersten Sensoranordnung 5a und der zweiten Sensoranordnung 5b relativ zu dem  
30 ersten optischen Element 3a oder in einem weiteren Ausführungsbeispiel zu dem Objektivgehäuse 2, wonach in einem zweiten Schritt die zweite Sensoranordnung 5b die Position des Abschlusselements 3b relativ zu der zweiten Sensoranordnung 5b vermisst und wonach in einem dritten Schritt aus den Messergebnissen die Position des Abschlusselements 3b in x- und y-  
35 Richtung relativ zu dem ersten optischen Element 3a bzw. zu dem Objektivgehäuse 2 bestimmt wird.

Zur genauen Positionierung des austauschbaren Abschlusselements 3b in dem Objektiv 1 bei einem Austausch werden nun die Messergebnisse, welche laufend über die Sensoranordnung 5b ermittelt werden, verwendet. Unter Zuhilfenahme einer schwingungsentkoppelten Positioniereinrichtung, welche kraftgesteuerte Manipulatoren (z. B. Lorentz-Aktuatoren oder dergleichen) aufweist, wird das austauschbare Abschlusselement 3b in sechs Freiheitsgraden nach einer vorherigen Grobjustierung positioniert (nicht dargestellt). Die Messergebnisse können der Positionierungsregelung auch direkt zur Verfügung gestellt werden.

Wie weiter aus Figur 1 ersichtlich, vermessen die Sensoranordnungen 5a, 5b die optischen Elemente 3a, 3b anhand der Fassungen bzw. Halterungen 4a, 4b. In weiteren Ausführungsbeispielen können die optischen Elemente 3a, 3b auch direkt vermessen werden. Die Fassungen bzw. Halterungen 4a, 4b und die Sensoranordnungen 5a, 5b sind in Figur 1 nur äußerst schematisch angedeutet.

Figur 2 zeigt eine weitere stark vereinfacht dargestellte Ausführungsform einer ersten Sensoranordnung 5a und einer zweiten Sensoranordnung 5b, welche eine relative Position in x- und y-Richtung zwischen dem ersten optischen Element 3a und dem Abschlusselement 3b bestimmen. Dazu sind kapazitive Sensoreinheiten 6a und 6b auf einem elektrisch isolierenden Substratring 7 aus einem Material mit geringem Wärmeausdehnungskoeffizienten aufgebracht. Durch die kapazitive (bzw. induktive) Messung erfolgt in vorteilhafter Weise bereits eine Mittelwertbildung aufgrund der flächigen Sensoreinheiten 6a, 6b. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist das Material des Substratrings 7 Zerodur. In weiteren Ausführungsbeispielen könnte als Material auch Glas, Keramik, Quarz oder weitere Glaskeramiken vorgesehen sein. Die Sensoreinheiten 6a, 6b sind vorzugsweise als Goldelektroden auf dem elektrisch isolierenden Substratring 7 durch Aufdampfen aufgebracht.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel könnten die optischen Ele-

mente 3a, 3b auch mit vorzugsweise aufgedampften metallischen Flächen in ihren Umfangsbereichen versehen sein, welche den Sensoreinheiten 6a, 6b zugewandt sind. Insbesondere bei induktiven Sensoren könnten Metallschichten aufgebracht sein, welche wie  
5 Spulen wirken.

In Figur 3 sind die Sensoranordnungen 5a, 5b nochmals in einer Draufsicht dargestellt.

10 Wie aus Figur 3 ersichtlich, weisen die erste Sensoranordnung 5a und die zweite Sensoranordnung 5b jeweils vier in gleichmäßigen Abständen um den Umfang des Substratrings 7 bzw. der optische Elemente 3a, 3b angeordnete Sensoreinheiten 6a, 6b auf. Dadurch können 360° abgedeckt werden. Die optischen Elemente 3a, 3b sind  
15 in Figur 3 nicht dargestellt. Die Lücke zwischen den Referenzflächen der optischen Elemente 3a, 3b und dem inneren Durchmesser des Substratrings 7 kann eingestellt werden, um entsprechende Messauflösungen zu erreichen. Um die Konzentrizitätsabweichungen zwischen Messflächen 6a und 6b des Substratrings 7 zu  
20 kalibrieren, kann in einfacher und vorteilhafter Weise ein Referenzobjekt in den Substratring 7 eingebracht werden, wonach mehrere Messvorgänge mit anschließenden Rotationen des Referenzobjekts um 180° durchgeführt werden. Die halbe Differenz zweier Messungen ergibt die Konzentrizität des Referenzobjekts. Die  
25 Hälfte der Summe zweier Messungen ergibt den Konzentrizitätsfehler des Substratrings 7. Dies kann mehrmals wiederholt werden, um zufällige Messfehler zu eliminieren und einen Kalibrierungswert für zukünftige Messungen zu ermitteln.

30 In Figur 4 ist nochmals die Sensoranordnung 5b mit dem optischen Element 3b und den kapazitiven Sensoreinheiten 6b dargestellt. Bei der kapazitiven Messung werden Genauigkeiten in  $\Delta x$  und  $\Delta y$  von 1  $\mu\text{m}$  bis 10 nm erreicht.

35 In Fig. 5 ist eine weitere Ausführungsform einer Sensoranordnung 5b' mit nur drei kapazitiven Sensoreinheiten 6b' vereinfacht dargestellt. Alternativ könnten auch induktive Sensoreinheiten

vorgesehen sein (in Fig. 5 gestrichelt als Spulen 6b'' dargestellt). Durch die Messung der lediglich drei Kapazitäts- bzw. Induktivitätswerte kann beispielsweise mittels einer Look-up-Tabelle, geeigneter Kalibrationskurven oder dergleichen die Position des optischen Elements bestimmt werden. Die Sensoreinheiten 6b', 6b'' sind vorzugsweise unter jeweils 120° um das optische Element 3b angeordnet, so dass das optische Element 3b in vorteilhafter Weise bei einer mittigen Positionierung im Wesentlichen im Schwerpunkt eines durch die Mittelpunkte der Sensoreinheiten 6b', 6b'' definierten gleichseitigen Dreiecks angeordnet ist. Bei einer anderen Anordnung ergeben sich entsprechend abweichende Kalibrationskurven für die Positionsbestimmung.

Selbstverständlich kann die genaue Positionierung analog zu Fig. 2 auch in z-Richtung sowie in rx- und ry-Richtung (d. h. Drehung um die x-Achse und y-Achse) vorgenommen werden. Eine derartige Anordnung ist ebenfalls stark vereinfacht in Fig. 6 dargestellt. Dazu sind zwischen dem in Strahlrichtung vorletzten optischen Element 3a und dem Abschlusselement 3b eine erste und eine zweite Sensoranordnung 5c, 5d mit jeweils vier kapazitiven Sensoreinheiten 61c bis 64c und 61d bis 64d (für das Abschlusselement 3b siehe auch Figur 7) vorgesehen. Die Positionsbestimmung in z-Richtung ergibt sich vereinfacht aus  $\frac{\bar{C}_{61d} + \bar{C}_{62d} + \bar{C}_{63d} + \bar{C}_{64d}}{4}$ , wobei

$\bar{C}_i$  die Messwerte der zugehörigen Sensoreinheiten 61d bis 64d (beispielsweise in nm) darstellen. Die Positionsbestimmung in rx-Richtung ergibt sich dabei aus  $\frac{\bar{C}_{63d} - \bar{C}_{61d}}{2}$  und in ry-Richtung

aus  $\frac{\bar{C}_{62d} - \bar{C}_{64d}}{2}$ .

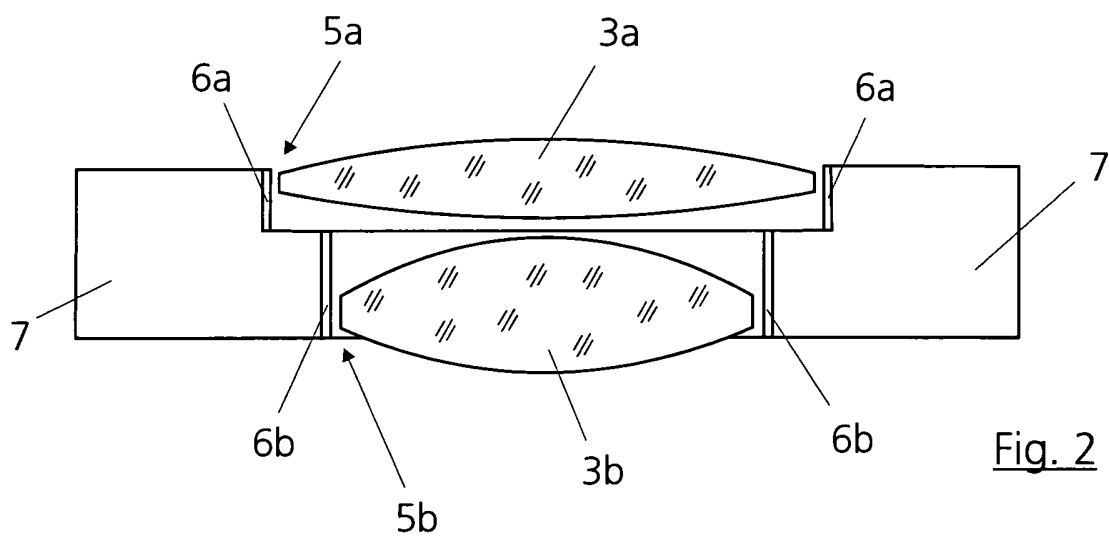
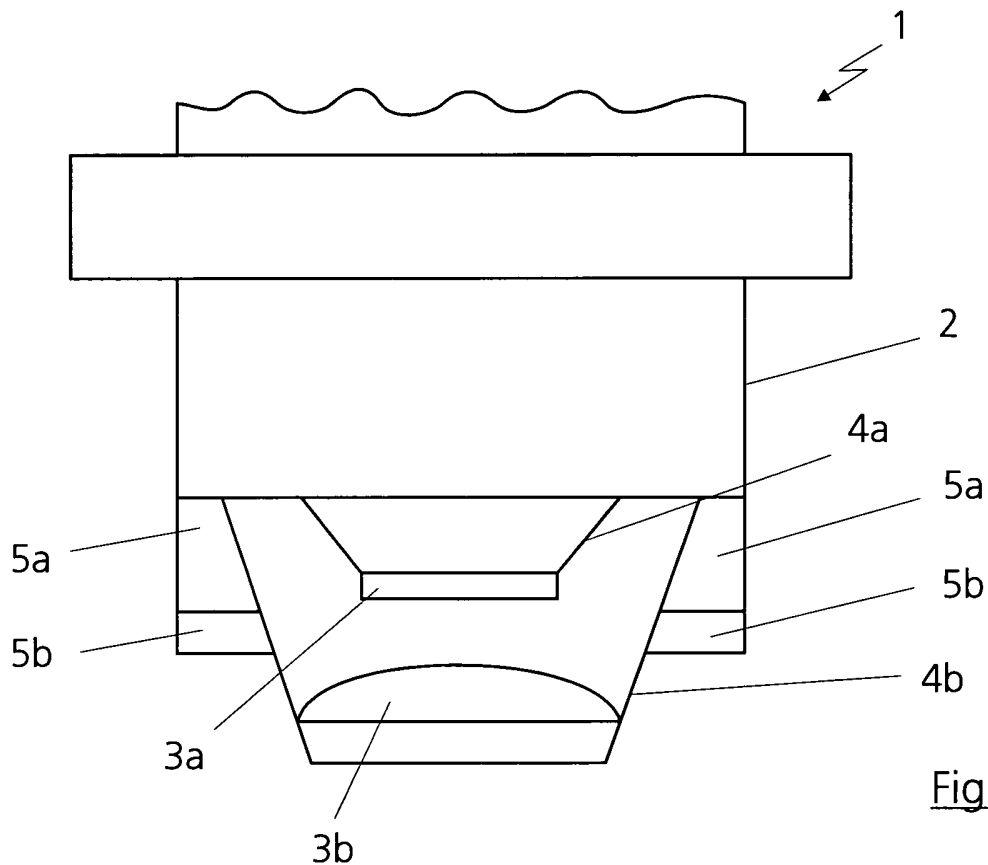
## Patentansprüche:

1. Objektiv mit mehreren in einem Objektivgehäuse angeordneten optischen Elementen, wobei zur relativen Positionsbestimmung  
5 zwischen einem ersten optischen Element und einem zweiten optischen Element oder zwischen einem lasttragenden Strukturelement des Objektivs und einem zweiten optischen Element wenigstens eine Sensoranordnung mit wenigstens einer kapazitiven Sensoreinheit und/oder wenigstens einer induktiven Sensoreinheit vorgesehen ist.  
10
2. Objektiv nach Anspruch 1, wobei die relative Positionsbestimmung in x- und y-Richtung in einer horizontalen Ebene senkrecht zur Strahlrichtung, insbesondere senkrecht zur optischen Achse des Objektivs erfolgt.  
15
3. Objektiv nach Anspruch 1, wobei das lasttragende Strukturelement des Objektivs das Objektivgehäuse ist.
- 20 4. Objektiv nach Anspruch 1, wobei die wenigstens eine Sensoranordnung wenigstens drei kapazitive Sensoreinheiten aufweist.
5. Objektiv nach Anspruch 4, wobei die wenigstens drei kapazitiven Sensoreinheiten in gleichmäßigen Abständen um das erste  
25 und/oder das zweite optische Element angeordnet sind.
6. Objektiv nach Anspruch 1, wobei das zweite optische Element austauschbar ist.
- 30 7. Objektiv nach Anspruch 6, wobei das zweite optische Element ein austauschbares Abschlusselement des Objektivs ist.
8. Objektiv nach Anspruch 7, wobei das erste optische Element ein dem austauschbaren Abschlusselement in Richtung der optischen Achse des Objektivs nachfolgendes optisches Element  
35 ist.

9. Objektiv nach Anspruch 8, wobei das erste optische Element fest mit dem Objektivgehäuse verbunden ist.
10. Objektiv nach Anspruch 9, wobei eine erste Sensoranordnung und eine zweite Sensoranordnung vorgesehen sind.
11. Objektiv nach Anspruch 10, wobei die erste Sensoranordnung und die zweite Sensoranordnung jeweils vier kapazitive Sensoreinheiten aufweisen.
12. Objektiv nach Anspruch 11, wobei die erste Sensoranordnung relativ zu dem Objektiv ausgerichtet ist, wobei die zweite Sensoranordnung relativ zu der ersten Sensoranordnung in einer fest vorgegebenen oder genau bekannten Position angeordnet ist.
13. Objektiv nach Anspruch 1, wobei die wenigstens eine Sensoranordnung auf einem elektrisch isolierenden Substratring aus einem Material mit geringem Wärmeausdehnungskoeffizienten angeordnet ist.
14. Objektiv nach Anspruch 13, wobei das Material Glas, Keramik, Quarz oder Glaskeramik, insbesondere Zerodur oder dergleichen ist.
15. Objektiv nach Anspruch 13, wobei Goldelektroden als Sensoreinheiten auf den elektrisch isolierenden Substratring aufgebracht sind.
16. Objektiv nach Anspruch 1, welches als Projektionsobjektiv für die Mikrolithographie ausgebildet ist.
17. Verfahren zur relativen Positionsbestimmung zwischen einem fest mit einem Objektivgehäuse verbundenen ersten optischen Element und einem austauschbaren Abschlusselement oder zwischen dem Objektivgehäuse und dem austauschbaren Abschlusselement in einem Objektiv gemäß Anspruch 12, wobei

- in einem ersten Schritt die erste Sensoranordnung die Position der ersten und der zweiten Sensoranordnung relativ zu dem ersten optischen Element oder zu dem Objektivgehäuse vermisst, wonach
  - 5 - in einem zweiten Schritt die zweite Sensoranordnung die Position des Abschlusselements relativ zu der zweiten Sensoranordnung vermisst und wonach
  - in einem dritten Schritt aus den Messergebnissen die Position des Abschlusselements relativ zu dem ersten optischen
  - 10 Element oder zu dem Objektivgehäuse bestimmt wird.
18. Verfahren zur Positionierung eines austauschbaren Abschlusselements in einem Objektiv gemäß Anspruch 12, wobei das Abschlusselement mittels einer Positionierungseinrichtung, welche kraftgesteuerte Manipulatoren aufweist, in sechs Freiheitsgraden unter Verwendung einer durch das Verfahren gemäß
- 15 Anspruch 17 ermittelten relativen Position des Abschlusselements zu dem fest mit dem Objektivgehäuse verbundenen ersten optischen Element oder zu dem Objektivgehäuse positioniert
- 20 wird.
19. Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem und mit einem Objektiv nach Anspruch 1 zur Herstellung von Halbleiterbauelementen.
- 25
20. Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen unter Verwendung einer Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch
- 30 19.

1/4



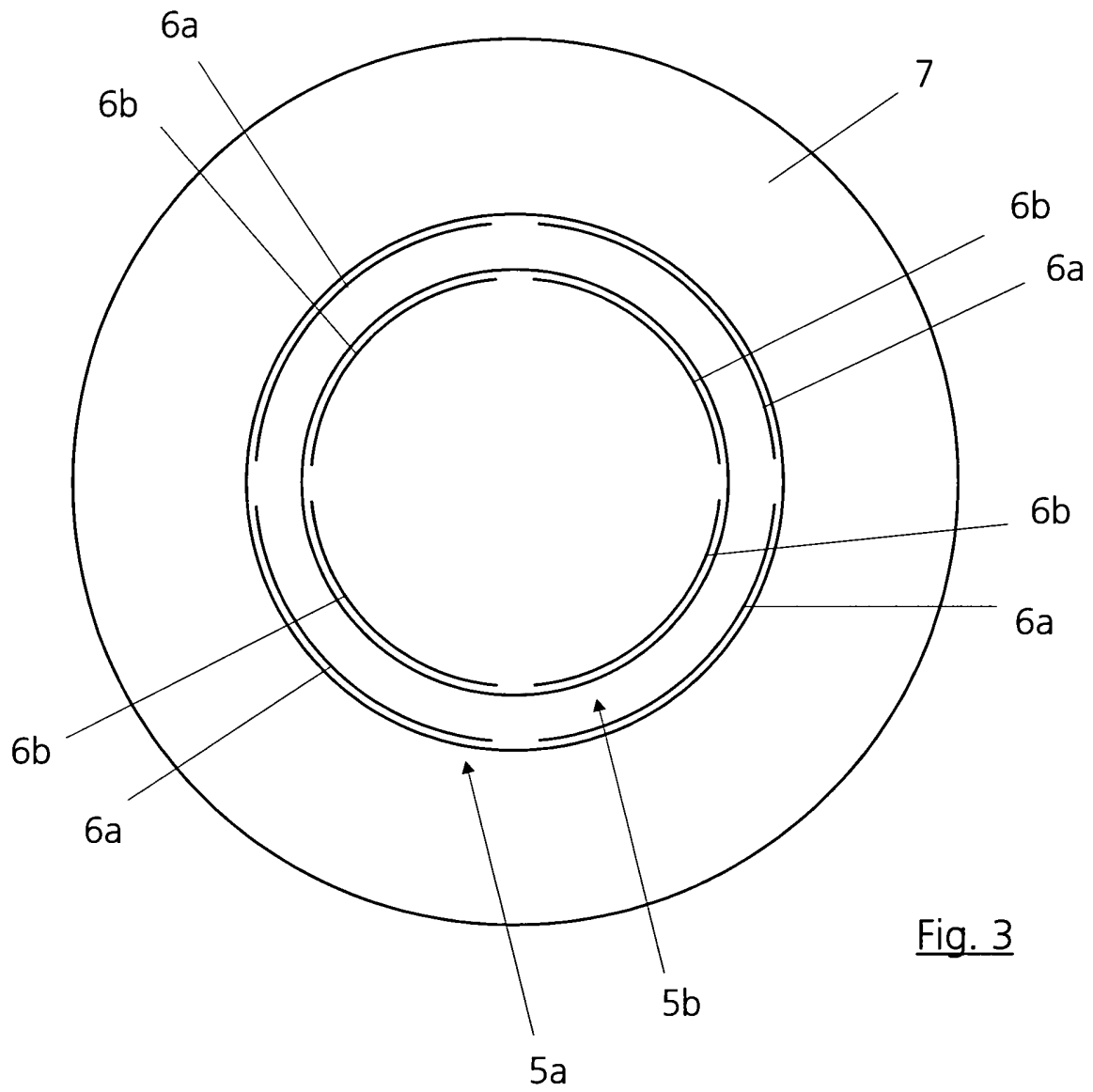


Fig. 3

3/4

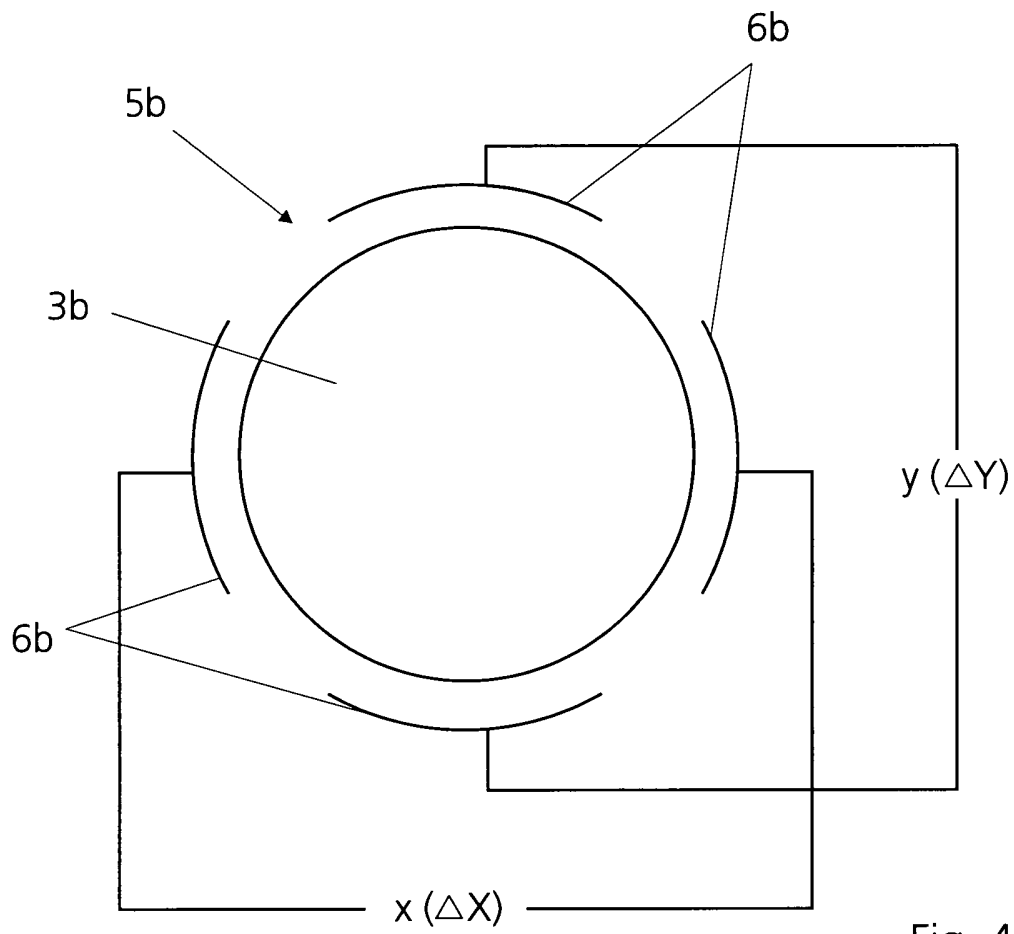


Fig. 4

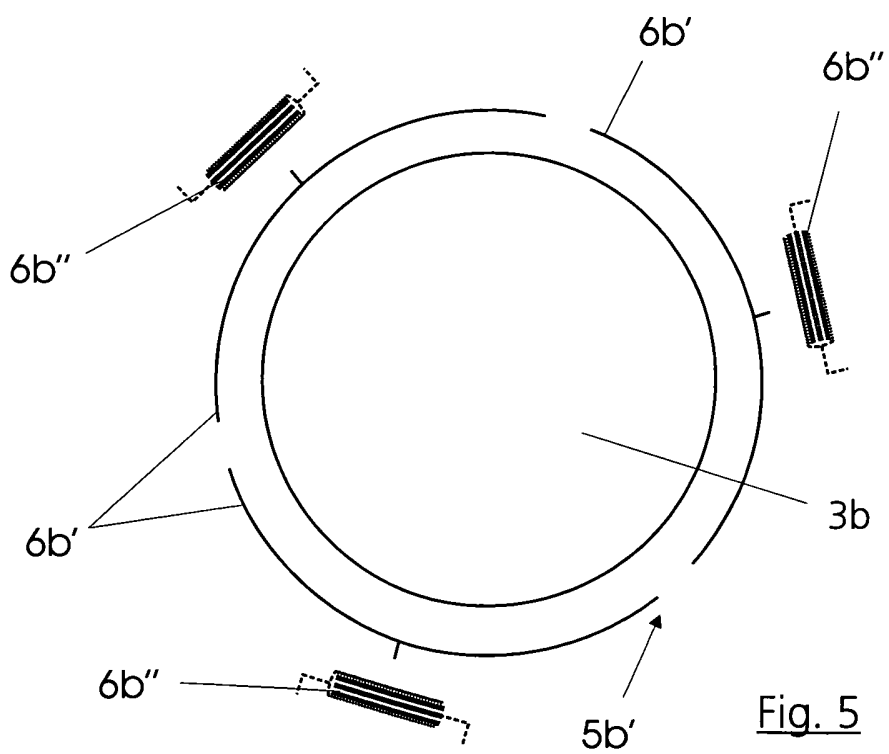


Fig. 5

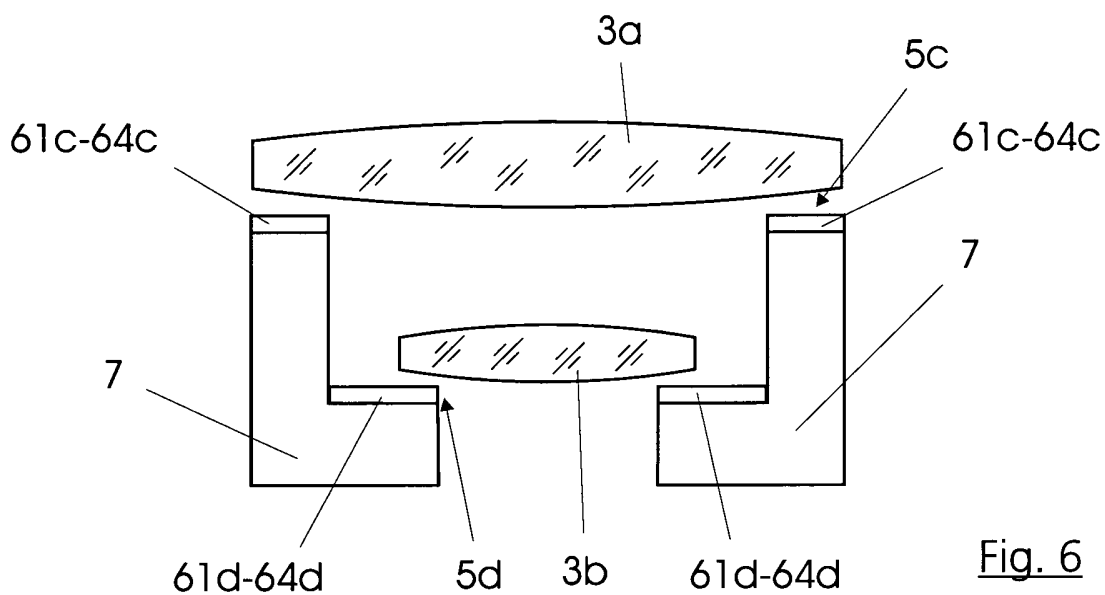


Fig. 6

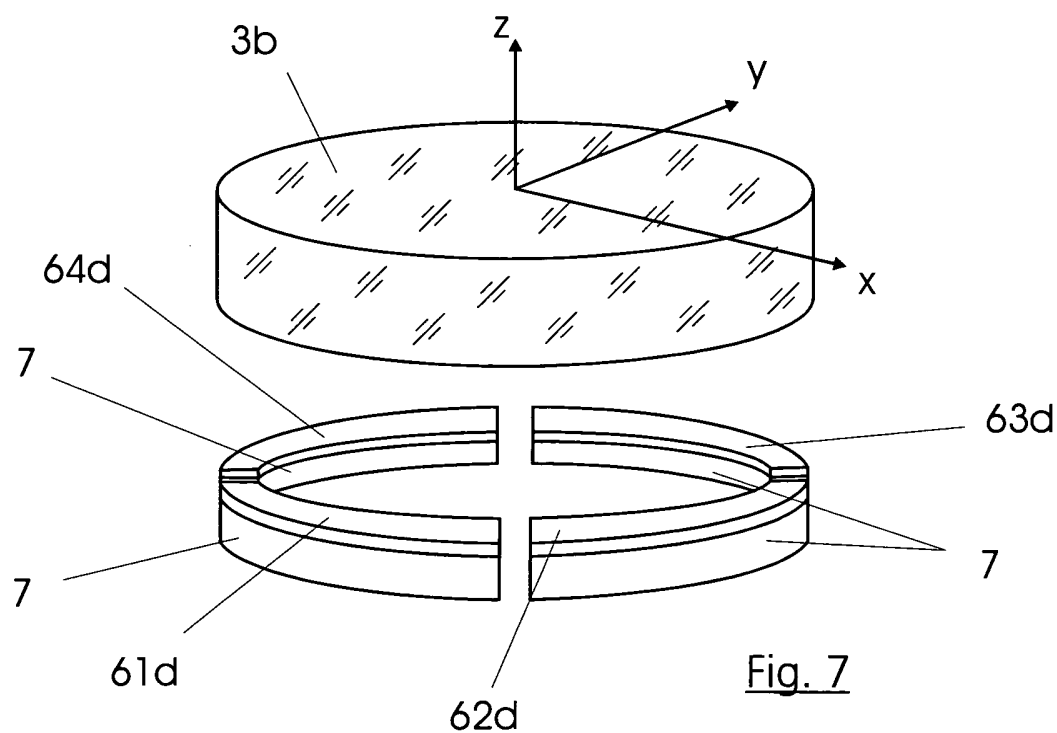


Fig. 7