



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 691 33 544 T2** 2007.09.06

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 992 855 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **691 33 544.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 100 557.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **01.03.1991**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **12.04.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **06.09.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **06.09.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G03F 9/00** (2006.01)  
**G03F 7/20** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**9000503**      **05.03.1990**      **NL**

(73) Patentinhaber:  
**ASML Netherlands B.V., Veldhoven, NL**

(74) Vertreter:  
**WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und  
Rechtsanwälte, 81541 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, FR, GB, IT**

(72) Erfinder:  
**Wittekoek, Stefan, 5503 LA Veldhoven, NL; Van  
den Brink, Marinus Aart, 5503 LA Veldhoven, NL;  
Fahner, Theodorus Aart, 5503 LA Veldhoven, NL**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Projektion eines Maskenmusters auf ein Substrat**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Projizieren eines Maskenmusters auf ein Substrat, wobei die Vorrichtung aufeinanderfolgend umfasst ein Beleuchtungssystem zum Bereitstellen eines Projektionsstrahls, einen Maskentisch, ein Projektionslinsensystem und einen Substrattisch, und die weiterhin umfasst eine Ausrichtungsvorrichtung und eine Vergrößerungseinstellvorrichtung, die zum Ausrichten der Maske und des Substrats relativ zueinander während des Produktionsprojektionsprozesses und zum Einstellen der Vergrößerung, mit der das Maskenmuster auf das Substrat abgebildet wird, verwendet werden, sowie eine Bilderfassungsvorrichtung, die zum Überprüfen einer Maskenabbildung vor einem Produktionsprojektionsprozess verwendet wird, die mittels des Projektionslinsensystems und des Projektionsstrahls gebildet wird, wobei die Bilderfassungsvorrichtung eine Referenzplatte mit wenigstens einer Markierung, auf welcher die Abbildung einer entsprechenden Markierung der Maske gebildet wird, und ein strahlungsempfindliches Erfassungssystem aufweist zum Umwandeln der Projektionsstrahlung, die von wenigstens einer Referenzplattenmarkierung herrührt, in elektrische Signale.

**[0002]** Ein derartiges Verfahren sowie eine Vorrichtung sind in dem US-Patent 4,540,277 beschrieben, das eine Vorrichtung betrifft zum repetierenden und reduzierten Abbilden eines Maskenmusters, z. B. des Musters eines integrierten Schaltkreises (IC) auf lediglich einem Substrat, während das Maskenmuster und das Substrat relativ zueinander zwischen zwei aufeinanderfolgenden Belichtungen bewegt werden, z. B. entlang zweier einander senkrechter Richtungen in einer Ebene parallel zu der Substratebene und der Maskenebene.

**[0003]** Integrierte Schaltkreise werden mittels Diffusions- und Maskierungsverfahren hergestellt. Eine Anzahl von Produktionsmasken mit unterschiedlichen Maskenmustern werden nacheinander auf ein und dieselbe Stelle eines Halbleitersubstrats (Produktionssubstrat) projiziert. Zwischen den aufeinanderfolgenden Projektionen auf die gleichen Stellen muss das Produktionssubstrat den erwünschten physikalischen und chemischen Veränderungen unterzogen werden. Zu diesem Zweck muss das Substrat aus der Vorrichtung entfernt werden, nachdem es mit einem Produktionsmaskenmuster belichtet worden ist, und nachdem es den erwünschten Prozessschritten unterzogen worden ist, muss es erneut an die gleiche Position in die Vorrichtung gebracht werden, um es so mit einem zweiten Produktionsmaskenmuster zu belichten, usw., während sichergestellt sein muss, dass die Bilder des zweiten Produktionsmaskenmusters sowie die im Anschluss folgenden Produktionsmaskenmuster genauestens relativ zu dem Substrat positioniert werden.

**[0004]** Diffusions- und Maskierungsverfahren können ebenso bei der Herstellung anderer Strukturen verwendet werden, die detaillierte Abmessungen in einem Größenbereich von Mikrometer besitzen, z. B. Strukturen integrierter optischer Systeme oder Richt- und Erkennungsmuster magnetischer Domainspeicher sowie Strukturen von Flüssigkristallanzeigefeldern. Bei der Herstellung dieser Strukturen müssen die Bilder der Maskenmuster ebenso genauestens relativ zu dem Substrat ausgerichtet werden.

**[0005]** Im Zusammenhang mit der großen Anzahl elektronischer Bauteile pro Einheit des Oberflächenbereichs des Substrats und der resultierenden kleinen Abmessungen dieser Bauteile werden zunehmend strengere Anforderungen an die Genauigkeit gestellt, mit der integrierte Schaltkreise hergestellt werden. Die Position, an der die aufeinanderfolgenden Produktionsmasken auf das Produktionssubstrat abgebildet werden, muss deshalb immer genauer bestimmt werden. Aufgrund der geringen Tiefenschärfe der Projektionslinse, mit der kleinere Details projiziert werden können, muss ebenso eine genauere Scharfstellung ermöglicht werden.

**[0006]** Um die erwünschte, sehr präzise Positioniergenauigkeit innerhalb einiger zehntel Mikrometer des Bildes des Maskenmusters in Bezug auf das Produktionssubstrat realisieren zu können, umfasst die Projektionsvorrichtung eine Vorrichtung zum Ausrichten des Produktionssubstrats in Bezug auf das Produktionsmaskenmuster. Mit dieser Vorrichtung wird eine in dem Produktionssubstrat vorgesehene Ausrichtungsmarkierung auf eine in der Produktionsmaske vorgesehene Ausrichtungsmarkierung abgebildet. Falls das Abbild der Ausrichtungsmarkierung des Substrats genauestens mit der Ausrichtungsmarkierung der Maske übereinstimmt, so ist das Produktionssubstrat in Bezug auf das Produktionsmaskenmuster korrekt ausgerichtet. Das Hauptelement zum Abbilden der Produktionssubstratmarkierung auf die Produktionsmaskenmarkierung wird durch das Projektionslinsensystem gebildet, mit dem das Produktionsmaskenmuster auf das Produktionssubstrat abgebildet wird.

**[0007]** Dieses Projektionslinsensystem ist für die Wellenlänge des Projektionsstrahles ausgestaltet und optimal korrigiert. Diese Wellenlänge ist so klein wie möglich, so dass kleinstmögliche Details bei der gleichen numerischen Apertur des Projektionslinsensystems projiziert werden können. Bei gegenwärtigen Projektionsvorrichtungen beträgt diese Wellenlänge z. B. 365 nm, mit der Linienbreiten von ungefähr 0,7  $\mu\text{m}$  projiziert werden können. Der Ausrichtungsstrahl, d. h. derjenige Strahl, der in der Ausrichtungsvorrichtung verwendet wird, und demgegenüber der Fotolack auf dem Produktionssubstrat unempfindlich ist, kann keine Veränderung des auf dem Substrat vorgesehenen Fotolacks bewirken und wird

nicht durch den Fotolack abgeschwächt.

**[0008]** Dieser Ausrichtungsstrahl ist beispielsweise ein Helium-Neon-Laserstrahl mit einer Wellenlänge von 633 nm. Obwohl die Wellenlänge des Ausrichtungsstrahles nicht auf das Projektionslinsensystem angepasst ist, können die Ausrichtungsmarkierungen der Produktionsmaske und des Produktionssubstrats auf zufriedenstellende Weise relativ zueinander ausgerichtet werden, falls lediglich ein Korrekturlement, z. B. eine Linse, in den Strahlengang des Ausrichtungsstrahls angeordnet wird.

**[0009]** Da jedoch der Produktionsstrahl und der Ausrichtungsstrahl unterschiedliche Wellenlängen besitzen, bleibt das Problem bestehen, dass Änderungen, z. B., der Umgebungsparameter, beispielsweise der Temperatur, unterschiedliche Auswirkungen auf die Abbildungen haben, welche mit dem Projektionsstrahl bzw. dem Ausrichtungsstrahl gebildet werden. Folglich kann die Ausrichtungsvorrichtung eine zufriedenstellende gegenseitige Ausrichtung der dieser Vorrichtung zugeordneten Ausrichtungsmarkierungen erfassen, während das mittels des Produktionsstrahls gebildete Maskenbild in Bezug auf das Substrat nicht korrekt angeordnet ist. Eine mechanische Verschiebung in der Projektionsvorrichtung, die mit der Ausrichtungsvorrichtung nicht erfasst werden kann, kann ebenso auftreten. Es ist deshalb notwendig, das herkömmliche Ausrichtungssystem periodisch, z. B. einmal oder mehrere Male pro Tag, zu kalibrieren.

**[0010]** Zu diesem Zweck weist die Vorrichtung gemäß dem US-Patent 4,540,277 eine Bilderfassungsvorrichtung auf, die unter anderem die durch den Produktionsstrahl gebildete Abbildung überprüft. Diese Vorrichtung weist eine Referenzplatte auf, die fest mit dem Substrattisch verbunden ist und in der vier strahlungsdurchlässige Schlitze vorhanden sind, und sie ist ferner mit vier strahlungsempfindlichen Detektoren versehen, welche unter den Schlitzen angeordnet und in dem Substrattisch vorgesehen sind. Im Hinblick auf die periodische Inspektion der Projektionsvorrichtung ist eine Test- oder Referenzmaske auf dem Maskentisch vorgesehen, welche Markierungen besitzt, die den Markierungen auf der Referenzplatte entsprechen. Diese Platte wird unter die Referenzmaske und in den Strahlengang des Projektionsstrahls bewegt, und im Anschluss wird der Strahl eingeschaltet, wodurch die vier Markierungen der Referenzmaske auf die vier Markierungen der Referenzplatte abgebildet werden. Die vier Detektoren, welche die durch die Referenzplattenmarkierungen transmittierte Strahlung erhalten, stellen danach Signale bereit, anhand derer der Ausrichtungsgrad der Referenzmaske in Bezug auf die Referenzplatte abgeleitet werden kann. Da die Referenzplatte ebenso mit Ausrichtungsmarkierungen versehen ist, die mit dem herkömmlichen Ausrichtungssystem zusam-

menwirken, kann festgestellt werden, ob der mit Hilfe des Bilderfassungssystems erfasste Ausrichtungsgrad dem von der herkömmlichen Ausrichtungsvorrichtung gemessenen Ausrichtungsgrad entspricht oder nicht. Durch diese Überprüfung kann die zuletzt erwähnte Vorrichtung kalibriert werden.

**[0011]** Das US-Patent 4,540,277 weist ebenso darauf hin, dass ein Vergrößerungsfehler der mit dem Projektionsstrahl gebildeten Abbildung ebenso mittels der Bilderfassungsvorrichtung gemessen werden kann, indem festgestellt wird, ob die Abbildungen der Markierungen der Referenzmaske gleichmäßig die Markierungen der Referenzplatte überdecken. Da das Projektionslinsensystem in der Vorrichtung gemäß dem US-Patent 4,540,277 an der Gegenstandsseite, oder Maskenseite, nicht telezentrisch ausgebildet ist, kann ein Vergrößerungsfehler dadurch eliminiert werden, dass der Abstand zwischen der Maske und dem Projektionslinsensystem angepasst wird.

**[0012]** Die bekannte Bilderfassungsvorrichtung wird in Transmission betrieben, so dass es notwendig ist, die Detektoren in dem Substrattisch vorzusehen. Diese Detektoren erfordern extra Raum, so dass der Substrattisch größer und schwerer sein muss und ebenso über große Weglängen während den Messungen bewegt werden muss. Dies führt zu zusätzlichen Problemen im Hinblick auf Servo-Vorrichtungen und hat einen negativen Einfluss auf die Mess- und Einstellgenauigkeiten.

**[0013]** Die Markierungen der bekannten Bilderfassungsvorrichtung bestehen aus Schlitzen, welche zweidimensional angeordnet sein können, um so Messungen in zwei zu einander senkrechten (X-Y) Richtungen zu ermöglichen. Um die erwünschte Positioniergenauigkeit zu erzielen, müssen die Schlitze sehr schmal sein und folglich ist die auf die Detektoren fallende Strahlungsintensität gering, und das Signal-Rausch-Verhältnis lässt einiges zu wünschen übrig, während sehr strenge Anforderungen im Hinblick auf die Geometrie der Schlitze gestellt werden müssen.

**[0014]** Da lediglich ein Detektor für jede Markierung der Referenzplatte vorhanden ist, so können die X- und Y-Positionen für jede Markierung der Referenzplatte in Bezug auf die zugeordnete Referenzgittermarkierung nicht separat voneinander bestimmt werden, selbst wenn zweidimensionale Schlitze verwendet werden.

**[0015]** Das voranstehend erwähnte Problem, nämlich dass aufgrund der unterschiedlichen Wellenlängen des Ausrichtungsstrahls und des Projektionsstrahls sich eine von dem Ausrichtungsstrahl als korrekt erfasste Ausrichtung nicht notwendigerweise bezüglich des Projektionsstrahls als korrekte Ausrichtung herausstellen muss, wird dann noch verschärft,

wenn mehr elektronische Bauteile pro Einheit des Oberflächenbereichs auf dem Substrat vorzusehen sind. Diese Bauteile müssen dann noch kleinere Abmessungen besitzen, und eine Projektionsvorrichtung ist erforderlich, die repetierend Abbildungen erzeugt, deren Details oder Linienbreiten deutlich kleiner als  $1\ \mu\text{m}$  sind. Das wiederum bedeutet, dass das Auflösungsvermögen des Projektionslinsensystem erhöht werden muss. Es ist bekannt, dass dieses Auflösungsvermögen proportional zu  $NA/\lambda$  ist, wobei  $NA$  gleich der numerischen Apertur des Projektionslinsensystems und  $\lambda$  gleich der Wellenlänge des Projektionsstrahls ist. Die numerische Apertur ist bereits ziemlich hoch, z. B. ist bei bekannten Projektionslinsensystemen  $NA = 0,48$ .

**[0016]** Ein weiterer wichtiger Faktor besteht darin, dass die Tiefenschärfe des Linsensystems, die so groß wie möglich sein sollte, proportional zu  $\lambda/NA^2$  ist, so dass eine Vergrößerung der numerischen Apertur der Tiefenschärfe abträglicher ist als eine Verringerung der Wellenlänge.

**[0017]** Die im Wesentlichen einzig verbleibende Möglichkeit zum Realisieren der erwünschten Abbildung mit Details im Größenbereich von  $0,4\ \mu\text{m}$  mit der erwünschten Tiefenschärfe besteht darin, einen Projektionsstrahl zu verwenden, der eine deutlich kleinere Wellenlänge als bis dato üblich besitzt. Um das Maskenmuster auf das Substrat mittels eines derart kurzwelligen Strahls projizieren zu können, müssen Linsenelemente aus Quarz verwendet werden. Da Quarz sehr stark streut, sollte die verwendete Strahlung eine sehr geringe Wellenlängenbandbreite besitzen. Deshalb müsste eine Strahlungsquelle verwendet werden, die eine große Intensität innerhalb eines schmalen Wellenlängenbandes emittiert. Eine reale Möglichkeit besteht dann in der Verwendung eines Excimer-Lasers, z. B. eines Krypton-Fluorid-Lasers mit einer Wellenlänge von  $248\ \text{nm}$ , eines Argon-Fluorid-Lasers mit einer Wellenlänge von  $193\ \text{nm}$  oder eines Nd-YAG-Lasers, dessen Frequenz vervierfacht ist und der eine Wellenlänge von  $256\ \text{nm}$  besitzt. Ein Projektionsstrahl muss dann verwendet werden, dessen Wellenlänge im Bereich des 2,5- bis 3,2-fachen der Wellenlänge des Ausrichtungsstrahles ist.

**[0018]** Werden Abbildungen mit derart geringen Detailabmessungen gebildet, werden nicht nur die in dem US-Patent 4,540,277 erwähnten Probleme größer, nämlich die Ausrichtung, die Bildrotation, der Vergrößerungsfehler sowie der anamorphotische Abbildungsfehler, sondern es treten ebenso neue Probleme auf, die vorwiegend die Bildqualität des Projektionslinsensystems betreffen.

**[0019]** Obwohl es einen Durchbruch auf dem Gebiet der Projektionssysteme gegeben hat, wodurch die Herstellung von Projektionslinsensystem möglich

wurde, mit denen Linienbreiten im Größenbereich von  $-0,4\ \mu\text{m}$  in einem Bildfeld im Größenbereich von  $25\ \text{mm}$  projiziert werden können, so sind diese Projektionslinsensystem sehr empfindlich gegenüber Schwankungen der Umgebungsparameter, beispielsweise des Luftdruckes sowie der Temperatur. Aufgrund der hohen Dispersion des Linsenmaterials beeinflusst eine Änderung der Wellenlänge des Projektionsstrahls die Bildqualität, d. h. die Position und die Qualität der mit diesem Strahl gebildeten Abbildung. Probleme hinsichtlich Verzerrungen 3. Ordnung, Bildastigmatismus sowie Bildfeldkrümmung können in der Projektionsvorrichtung entstehen. Die neue Generation von Projektionslinsensystemen mit ihrem sehr hohen Auflösungsvermögen und einem relativ großen Bildfeld besitzt eine sehr geringe Tiefenschärfe, so dass Fokussierfehler, die u. a. von der größeren Wellenlängenabhängigkeit des Projektionslinsensystems herrühren, einen erhöhten Einfluss haben. Diese Fehler sollten genauestens erfasst werden, und es wird dann notwendig sein, eine Bildschärfeerfassungsvorrichtung ebenso periodisch zu kalibrieren. Überdies nimmt der Einfluss des mechanischen Drifts mit zunehmend kleiner werdenden Bilddetails zu.

**[0020]** Die vorliegende Erfindung weist eine Vorrichtung zum Projizieren eines Maskenmusters auf ein Substrat auf, wobei die Vorrichtung aufeinanderfolgend aufweist:

- ein Beleuchtungssystem (LA, Ex, IN, CO) zur Bereitstellung eines Projektionsstrahls (PB);
- einen Maskentisch (MT);
- ein Projektionslinsensystem (PL); und
- einen Substrattisch (WT);

und welche weiterhin aufweist

- eine Ausrichtungsvorrichtung ( $AS_1, AS_2$ ) zum gegenseitigen Ausrichten der Maske und des Substrats, und
- eine Bilderfassungsvorrichtung, die zur Überprüfung einer Maskenabbildung verwendet wird, die mittels des Projektionslinsensystems und des Projektionsstrahls erzeugt wird, wobei die Bilderfassungsvorrichtung eine Referenzplatte (RP) mit wenigstens einer durch eine zweidimensionale Gittermarkierung gebildete Markierung ( $P_1-P_3$ ) aufweist, deren Gitterstreifen sich in X- und Y-Richtungen eines Koordinatensystems erstrecken und dessen Z-Achse parallel zur optischen Achse des Projektionslinsensystems ist, auf welchem die Abbildung einer entsprechenden Markierung der Maske gebildet wird, und ein strahlungsempfindliches Erfassungssystem aufweist zur Umwandlung von Strahlung, welche von wenigstens einer Referenzplattenmarkierung ( $P_1-P_3$ ) herrührt, in elektrische Signale, dadurch gekennzeichnet, dass für jede Gittermarkierung vier strahlungsempfindliche Detektoren ( $DE_3-DE_{14}$ ) vorhanden sind, jeweils zum Empfang eines unterschiedlichen von vier Unterstrahlen, welche durch Beugung der Strahlung von der entsprechenden Markierung der Maske durch die

relevante Gittermarkierung gebildet werden, und dass zwischen der Gittermarkierung und jedem der vier Detektoren ein Linsensystem ( $L_3$ – $L_{14}$ ) angeordnet ist, um die Strahlung eines Unterstrahls auf den Detektor zu projizieren, der dem Unterstrahl zugeordnet ist.

**[0021]** Da die Gittermarkierungen zweidimensional sind und ein separater Detektor für jede Dimension, X und Y, einer jeden Gittermarkierung vorhanden ist, können die X- und die Y-Positionen der Abbildung der Markierung der Referenzmaske, die einem solchen Referenzgitter zugeordnet ist, separat gemessen werden.

**[0022]** Unter Verwendung von vier Detektoren pro Gittermarkierung können die Informationen über die Position in X- und Y-Richtung von der in Z-Richtung getrennt werden, und überdies kann der Einfluss von Intensitätsschwankungen des Projektionsstrahls eliminiert werden.

**[0023]** Da jedes Projektionssystem eine Abbildung des zugeordneten Gitters bildet, dessen Bildgröße gleich der strahlungsempfindlichen Oberfläche des zugeordneten Detektors ist, wird erzielt, dass die Strahlung von der Umgebung des Gitters den Detektor nicht erreichen kann, was in Bezug auf das Signal-Rausch-Verhältnis des Messsignals von Vorteil ist.

**[0024]** Im Prinzip kann eine Gittermarkierung in der Referenzplatte zwei Gitterabschnitte aufweisen, wobei die Gitterstreifen bzw. Gitterlinien eines Gitterabschnittes in X-Richtung verlaufen und die des anderen Gitterabschnittes in Y-Richtung verlaufen. Die Vorrichtung ist jedoch vorzugsweise ferner dadurch gekennzeichnet, dass jede Referenzplattengittermarkierung zwei Gitterabschnitte, deren Gitterlinien eine erste Richtung besitzen, und zwei Gitterabschnitte, deren Gitterlinien eine zweite Richtung senkrecht zu der ersten Richtung besitzen, aufweist, und dass die vier Gitterabschnitte symmetrisch um die Mitte des Gittes angeordnet sind.

**[0025]** Da sowohl die X-Gitterabschnitte als auch die Y-Gitterabschnitte spiegelsymmetrisch in Bezug auf Linien angeordnet sind, die unter einem Winkel von  $45^\circ$  zu den Gitterlinien verlaufen, können Messfehler, soweit vorhanden, kompensiert werden.

**[0026]** Eine bevorzugte Ausführungsform der Vorrichtung gemäß der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Periode jeder Gittermarkierung im Wesentlichen gleich dem Auflösungsvermögen des Projektionslinsensystems ist.

**[0027]** Da das Auflösungsvermögen des Projektionslinsensystems, d. h. die Anzahl der Linien pro Millimeter, die dieses System getrennt voneinander ab-

bilden kann, durch die kleinsten Abmessungen in der Produktionsmaske bestimmt ist, so wird realisiert, dass die Messung mit einer Referenzmaske durchgeführt wird, deren Detailabmessungen so zufriedenstellend wie nur möglich denjenigen der Produktionsmasken entsprechen.

**[0028]** Die Vorrichtung gemäß der Erfindung kann weiterhin dadurch gekennzeichnet, dass die Gitterparameter jeder Gittermarkierung an die Position und die numerische Apertur des zugeordneten Linsensystems angepasst sind, so dass eine maximale Strahlungsintensität der relevanten Gittermarkierung von den zugeordneten Detektoren aufgenommen wird.

**[0029]** Die Gitterparameter sind: die Gitterperiode, das Verhältnis zwischen der Gitterlinienbreite und der Gitterperiode, die Tiefe oder Höhe der Gitterlinien und die Form der Gitterlinien.

**[0030]** In Übereinstimmung mit einem weiteren charakteristischen Merkmal der Erfindung sind die Referenzplattengitter gleich Phasengitter. Diese Gitter besitzen allgemein eine bessere Effizienz als Amplitudengitter. Überdies stellt die Geometrie von Phasengitter mehr Möglichkeiten bereit im Hinblick auf die Anpassung an das in Betracht zu ziehende Objekt.

**[0031]** Die Intensität der Strahlung von jeder Referenzplattengittermarkierung zu den zugeordneten Detektoren kann dadurch maximiert werden, dass z. B. die Neigungswinkel der Gitternuten derart gewählt werden, so dass diese Neigungen die Strahlung auf die zugeordneten Detektoren richten.

**[0032]** Das Verhältnis der Breite der Gitternut zur Gitterperiode ist jedoch vorzugsweise derart angepasst, dass diese Aufgabe erfüllt wird.

**[0033]** Eine Projektionsvorrichtung, bei der solch eine Anpassung der Gittermarkierungen realisiert ist, kann weiter dadurch gekennzeichnet, dass die Gitterparameter für zwei unterschiedliche Wellenlängen des Projektionsstrahls optimiert sind.

**[0034]** Falls diese Wellenlängen 248 nm und 365 nm betragen, so ist die Projektionsvorrichtung besonders dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Breite der Gitternut zur Gitterperiode im Wesentlichen gleich  $\frac{1}{4}$  ist, und dass die Gitterperiode ungefähr  $0,84 \mu\text{m}$  beträgt.

**[0035]** Mit solch einer Gittermarkierung kann die Projektionsstrahlung, die eine Wellenlänge von 365 nm oder eine Wellenlänge von 248 nm besitzt, zufriedenstellend auf die Detektoren fokussiert werden, während natürlich unterschiedliche Beugungsordnungen für unterschiedliche Wellenlängen aufgenommen werden.

**[0036]** Die Vorrichtung gemäß der Erfindung ist vorzugsweise dadurch gekennzeichnet, dass die Gittermarkierungen reflektierend sind.

**[0037]** Die Vorrichtung der Erfindung kann im Prinzip ebenso mit Transmissionsgittern realisiert werden, da aber die Verwendung von Transmissionsgittern größere Substrattische erfordert, sind Reflektionsgitter weiterhin bevorzugt, umso mehr, da sie die Möglichkeit bieten, unterschiedliche Projektionsvorrichtungen einander anzupassen.

**[0038]** Eine bevorzugte Ausführungsform, die Reflektionsgitter verwendet, ist vorzugsweise ferner dadurch gekennzeichnet, dass sämtliche Detektoren, die der Bilderfassungsvorrichtung zugeordnet sind, sowie die Linsensysteme, die den Detektoren zugeordnet sind, in einem ringförmigen Halter fixiert sind, der mit dem Projektionslinsensystem verbunden ist.

**[0039]** Die unterschiedlichen Detektoren und Projektionssysteme können dann bereits dadurch ausgerichtet werden, dass sie in den sehr genau hergestellten Halter positioniert werden.

**[0040]** Eine bevorzugte Ausführungsform der Vorrichtung gemäß der Erfindung ist weiter dadurch gekennzeichnet, dass die unterschiedlichen Gruppen zu je vier Detektoren unterschiedlichen Bereichen des Bildfeldes des Projektionslinsensystems zugeordnet werden, wobei die Mittelpunkte dieser Bereiche unterschiedliche Abstände von der Mitte des Bildfeldes besitzen.

**[0041]** Falls diese Bedingung erfüllt ist, kann eine Verzerrung 3. Ordnung der Abbildung, die mittels der Projektionsstrahlung gebildet wird, gemessen werden, und zwar unabhängig von der Positionserfassungsvorrichtung des Substrattisches.

**[0042]** Eine Projektionsvorrichtung, bei der ein ultravioletter Lichtstrahl verwendet wird, ist vorzugsweise weiter dadurch gekennzeichnet, dass jedem Detektor eine Lumineszenzplatte vorausgeht, die die Projektionsstrahlung in Strahlung umwandelt, der gegenüber der Detektor empfindlich ist.

**[0043]** Herkömmliche Detektoren können dann verwendet werden.

**[0044]** Die Projektionsvorrichtung kann ferner dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzplatte durch den Produktionssubstrattisch mit einer Positionserfassungsvorrichtung gekoppelt ist zum Erfassen der Positionen entlang wenigstens zwei einander senkrechter Achsen sowie Drehungen um diese Achsen, und dass die Signalausgänge der Vorrichtung, der Bilderfassungsvorrichtung, der Ausrichtungserfassungsvorrichtung und einer Bildschärfefehlererfassungsvorrichtung mit den Eingängen eine elektro-

nischen Signalbearbeitungsvorrichtung verbunden sind, die Steuersignale zum Korrigieren ein oder mehrerer der folgenden Parameter bereitstellt:

- der Wellenlänge des Projektionsstrahls,
- dem Druck innerhalb des Projektionslinsenhalters,
- den gegenseitigen Abständen zwischen den Linsenelementen des Projektionslinsensystems,
- der Zusammensetzung des Mediums in einem oder mehreren der Abteile des Projektionslinsensystems,
- der Temperatur innerhalb des Projektionslinsensystems,
- der Nullpunktseinstellung der Ausrichtungsvorrichtung,
- der Nullpunktseinstellung der Fokussiervorrichtung,
- der Vergrößerung des Projektionslinsensystems.

**[0045]** Eine solche Projektionsvorrichtung, bei der ein gepulster Laser als Strahlungsquelle verwendet wird, und die mit einer Messvorrichtung für die Wellenlänge des Projektionsstrahls zum Messen der Wellenlänge pro Puls versehen ist, kann dadurch gekennzeichnet sein, dass der Ausgang der Wellenlängenmessvorrichtung mit einem Eingang der elektronischen Signalbearbeitungsvorrichtung verbunden ist.

**[0046]** Folglich kann die Größe der Wellenlänge zum Zeitpunkt der Messung bei der Bearbeitung der Messsignale berücksichtigt werden.

**[0047]** Ausführungsformen der Erfindung werden nun im Detail unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, von denen:

**[0048]** [Fig. 1](#) diagrammatisch eine Ausführungsform einer Vorrichtung zum repetierenden Projizieren eines Maskenmusters auf ein Substrat zeigt,

**[0049]** [Fig. 2](#) eine bekannte Ausrichtungsmarkierung in Form eines zweidimensionalen Gitters zeigt,

**[0050]** [Fig. 3](#) eine doppelte Ausrichtungserfassungsvorrichtung zum Ausrichten einer Produktionsmaske in Bezug auf ein Produktionssubstrat zeigt,

**[0051]** [Fig. 4](#) die Bildschärfefehlererfassungsvorrichtung und die Substrattischpositionserfassungsvorrichtung der Projektionsvorrichtung zeigt, in der eine Referenzplatte und eine Referenzmaske enthalten sind,

**[0052]** [Fig. 5](#) einen Querschnitt einer Projektionsvorrichtung zeigt,

**[0053]** [Fig. 6](#) eine Referenzplatte in Form eines standardmäßigen Substrats zeigt,

[0054] [Fig. 7a](#) eine Ausführungsform einer Referenzplattengittermarkierung in Draufsicht zeigt,

[0055] [Fig. 7b](#) einen Querschnitt eines Abschnitts der Gittermarkierung zeigt,

[0056] [Fig. 8](#) diagrammatisch Referenzplattengittermarkierungen sowie die zugeordneten Detektionssysteme zeigt,

[0057] [Fig. 9](#) Details der strahlungsempfindlichen Detektionssysteme zeigt,

[0058] [Fig. 10](#) einen Querschnitt eines Abschnitts einer weiteren Ausführungsform einer Referenzplattengittermarkierung zeigt,

[0059] [Fig. 11](#) den Synchronisationsschaltkreis der unterschiedlichen Erfassungsvorrichtungen einer Projektionsvorrichtung zeigt, bei der ein gepulster Projektionsstrahl verwendet wird,

[0060] [Fig. 12a](#) und [Fig. 12b](#) einen ringförmigen Halter für die Detektionssysteme der Bilderfassungsvorrichtung zeigen, und

[0061] [Fig. 13](#) ein Schaltkreisdiagramm der unterschiedlichen Servo-Vorrichtungen der Projektionsvorrichtung sowie die Kopplungen zwischen diesen Vorrichtungen zeigt.

[0062] [Fig. 1](#) zeigt diagrammatisch eine bekannte Vorrichtung zum repetierenden Projizieren eines Maskenmusters auf ein Substrat. Die Hauptkomponenten dieser Vorrichtung sind eine Projektionssäule, in der ein zu projizierendes Maskenmuster C angeordnet ist, sowie ein beweglicher Substrattisch WT, mit dem das Substrat in Bezug auf das Maskenmuster C positioniert werden kann.

[0063] Die Projektionssäule enthält ein Beleuchtungssystem, das z. B. einen Laser LA, einen Strahl-aufweiter  $E_x$ , ein Element IN, ebenso als Integrator bezeichnet, der eine homogene Verteilung der Strahlung innerhalb des Projektionsstrahls PB erzeugt, und eine Kondensorlinse CO aufweist. Der Projektionsstrahl PB beleuchtet das in der Maske M vorhandene Maskenmuster C, wobei die Maske auf einem Maskentisch MT angeordnet ist.

[0064] Der durch das Maskenmuster C verlaufende Strahl PB durchläuft ein in der Projektionssäule angeordnetes Projektionslinsensystem PL, das lediglich diagrammatisch gezeigt ist, wobei das System eine Abbildung des Musters C auf dem Substrat W bildet. Das Projektionslinsensystem besitzt, z. B. eine Vergrößerung von  $M = 1/5$ , eine numerische Apertur  $NA = 0,48$  und ein beugungsbegrenztes Bildfeld mit einem Durchmesser von 22 mm.

[0065] Das Substrat W ist auf einem Substrattisch WT angeordnet, der z. B. auf Luftlager gelagert ist. Das Projektionslinsensystem PL sowie der Substrattisch WT sind in einem Gehäuse HO angeordnet, das an seiner unteren Seite durch eine Grundplatte PB aus z. B. Granit und an seiner oberen Seite durch den Maskentisch MT geschlossen ist.

[0066] Wie in [Fig. 1](#) gezeigt ist, besitzt die Maske MA zwei Ausrichtungsmarkierungen  $M_1$  und  $M_2$ . Diese Markierungen bestehen vorzugsweise aus Beugungsgittern, sie können aber alternativ durch andere Markierungen gebildet sein, beispielsweise Quadrate oder Streifen, die optisch von ihrer Umgebung unterscheidbar sind. Die Ausrichtungsmarkierungen sind vorzugsweise zweidimensional, d. h. sie erstrecken sich in zwei zueinander senkrechten Richtungen, die X- und Y-Richtung in [Fig. 1](#). Das Substrat W, z. B. ein Halbleitersubstrat, auf dem eine Anzahl von Abbildungen des Musters C gebildet werden müssen, wobei die Abbildungen seitlich zueinander angeordnet sind, weist eine Vielzahl von Ausrichtungsmarkierungen auf, vorzugsweise ebenso zweidimensionale Beugungsgitter, von denen zwei,  $P_1$  und  $P_2$ , in [Fig. 1](#) gezeigt sind. Die Markierungen  $P_1$  und  $P_2$  befinden sich außerhalb der Bereiche auf dem Produktionssubstrat W, in denen die Abbildungen des Musters C gebildet werden müssen. Vorzugsweise liegen die Gittermarkierungen  $P_1$  und  $P_2$  in Form von Phasengittern sowie die Gittermarkierungen  $M_1$  und  $M_2$  in Form von Amplitudengittern vor.

[0067] [Fig. 2](#) zeigt eine Ausführungsform eines der beiden identischen Substratphasengitter in größerem Maßstab. Ein solches Gitter kann vier Untergitter,  $P_{1,a}$  und  $P_{1,b}$ ,  $P_{1,c}$  und  $P_{1,d}$  aufweisen, von denen zwei,  $P_{1,b}$  und  $P_{1,d}$ , für die Ausrichtung in X-Richtung und die beiden anderen Untergitter,  $P_{1,a}$  und  $P_{1,c}$ , für die Ausrichtung in Y-Richtung verwendet werden. Die beiden Untergitter  $P_{1,b}$  und  $P_{1,c}$  besitzen eine Gitterperiode von, z. B.,  $16 \mu\text{m}$  und die Untergitter  $P_{1,a}$  und  $P_{1,d}$  besitzen eine Gitterperiode von, z. B.,  $17,6 \mu\text{m}$ . Jedes Untergitter kann eine Abmessung von z. B.  $200 \times 200 \mu\text{m}$  besitzen. Eine Ausrichtungsgenauigkeit, die im Prinzip kleiner als  $0,1 \mu\text{m}$  ist, kann mit diesem Gitter und einem geeigneten optischen System erzielt werden. Unterschiedliche Gitterperioden sind ausgewählt worden, um so den Bereich der Ausrichtungsvorrichtung zu erhöhen.

[0068] [Fig. 3](#) zeigt die optischen Elemente der Vorrichtung, die zum Ausrichten einer Produktionsmaske in Bezug auf ein Produktionssubstrat verwendet werden. Die Vorrichtung weist ein doppeltes Ausrichtungserfassungssystem auf, welches zwei separate und identische Ausrichtungssysteme  $AS_1$  und  $AS_2$  aufweist, die symmetrisch in Bezug auf die optische Achse AA' des Projektionslinsensystems PL angeordnet sind. Das Ausrichtungssystem  $AS_1$  ist der Maskenausrichtungsmarkierung  $M_2$  zugeordnet, und

das Ausrichtungssystem  $AS_2$  ist der Maskenausrichtungsmarkierung  $M_1$  zugeordnet. Gleiche Bezugszeichen weisen auf entsprechende Elemente der beiden Ausrichtungssysteme hin, allerdings unterscheiden sich diejenigen des Systems  $AS_2$  von denjenigen des Systems  $AS_1$  durch ihre mit Strichindex versehene Notation.

**[0069]** Der Aufbau des Systems  $AS_1$  sowie die Art und Weise, mit der die relative Position der Maskenmarkierung  $M_2$  zur, z. B., Substratmarkierung  $P_1$  bestimmt wird, wird im Anschluss beschrieben.

**[0070]** Das Ausrichtungssystem  $AS_1$  weist eine Strahlungsquelle **1** auf, z. B. einen Helium-Neon-Laser, die einen Richtstrahl  $b$  emittiert. Dieser Strahl wird durch einen Strahlungsteiler **2** zum Produktionssubstrat  $W$  hin reflektiert. Der Strahlungsteiler kann ein zum Teil transparenter Spiegel oder ein zum Teil transparentes Prisma sein, er ist aber vorzugsweise ein polarisationsempfindliches Strahlungsteilerprisma, dem ein  $\lambda/4$ -Plättchen **3** folgt, wobei  $\lambda$  gleich der Wellenlänge des Strahles  $b$  ist. Das Projektionslinsensystem  $PL$  fokussiert den Strahl  $b$  auf einen kleinen Strahlungspunkt  $V$  mit einem Durchmesser von ungefähr 1 mm des Substrats  $W$ . Dieses Substrat reflektiert einen Teil des Strahls als Strahl  $b_1$  in Richtung der Maske  $MA$ . Der Strahl  $b_1$  durchläuft das Projektionslinsensystem  $PL$ , das den Strahlungspunkt  $V$  auf der Maske abbildet. Bevor das Substrat in der Beleuchtungsvorrichtung angeordnet wird, ist es in einer mit der Vorrichtung gekoppelten Vor-Ausrichtungsstation, z. B. in der in der europäischen Patentanmeldung Nr. 0,164,165 beschriebenen Station, bereits vorher ausgerichtet worden, so dass der Strahlungspunkt  $V$  sich auf der Substratmarkierung  $P_2$  befindet. Diese Markierung wird anschließend durch den Strahl  $b_1$  auf die Maskenmarkierung  $M_2$  abgebildet. Wird nun die Vergrößerung  $M$  des Projektionslinsensystems berücksichtigt, so ist die Abmessung der Maskenmarkierung  $M_2$  auf die der Substratmarkierung  $P_2$  angepasst, so dass das Bild der Markierung  $P_2$  genauestens mit der Markierung  $M_2$  übereinstimmt, wenn die beiden Markierungen gegenseitig zueinander auf korrekte Weise positioniert werden.

**[0071]** Auf seinem Weg zu und von dem Substrat  $W$  hat der Strahl  $b$  und  $b_1$  zweimal das  $\lambda/4$ -Plättchen **3** durchlaufen, dessen optische Achse unter einem Winkel von  $45^\circ$  zur Polarisationsrichtung des linear polarisierten Strahls  $b$  verläuft, der von der Quelle **1** stammt. Der durch das  $\lambda/4$ -Plättchen verlaufende Strahl  $b_1$  besitzt dann eine Polarisationsrichtung, die um  $90^\circ$  in Bezug auf den Strahl  $b$  gedreht ist, so dass der Strahl  $b_1$  durch das Polarisationsteilerprisma **2** verläuft. Die Verwendung des Polarisationsteilerprismas in Kombination mit dem  $\lambda/4$ -Plättchen sieht den Vorteil vor, dass ein minimaler Strahlungsverlust auftritt, wenn der Ausrichtungsstrahl in den Strahlen-

gang des Ausrichtungssystems gekoppelt wird.

**[0072]** Der durch die Ausrichtungsmarkierung  $M_2$  verlaufende Strahl  $b_1$  wird durch ein Prisma **11** reflektiert und durch, z. B. ein weiteres Reflektionsprisma **12** zu einem strahlungsempfindlichen Detektor **13** gerichtet. Dieser Detektor ist beispielsweise eine zusammengesetzte Fotodiode mit, z. B., vier separaten strahlungsempfindlichen Bereichen entsprechend der Anzahl der Untergitter gemäß der [Fig. 2](#). Die Ausgangssignale dieser Detektoren stellen ein Maß für die Übereinstimmung der Markierung  $M_2$  mit der Abbildung der Substratmarkierung  $P_2$  dar. Diese Signale können elektronisch bearbeitet und dazu verwendet werden, um die Maske in Bezug auf das Substrat mittels eines Antriebssystems (nicht gezeigt) zu bewegen, so dass das Bild der Markierung  $P_2$  mit der Markierung  $M_2$  übereinstimmt. Auf diese Weise wird eine automatische Ausrichtungsvorrichtung erhalten.

**[0073]** Ein Strahlungsteiler **14** in Form von, z. B., einem teilweise transparenten Prisma kann zwischen dem Prisma **11** und dem Detektor **13** angeordnet sein, wobei der Strahlungsteiler einen Teil des Strahles  $b_1$  in einen Strahl  $b_2$  aufteilt.

**[0074]** Der Teilstrahl  $b_2$  fällt dann über, z. B., zwei Linsen **15** und **16** auf eine Fernsehkamera **17**, die mit einem Monitor (nicht gezeigt) gekoppelt ist, auf dem die Ausrichtungsmarkierungen  $P_2$  und  $M_2$  für eine Bedienperson der Beleuchtungsvorrichtung sichtbar sind. Diese Bedienperson kann sich im Anschluss darüber vergewissern, ob die beiden Markierungen aufeinander fallen, und falls notwendig, kann sie das Substrat  $W$  mittels Betätigungselementen so bewegen, dass eine Übereinstimmung der Markierungen bewirkt wird.

**[0075]** Analog zu den voranstehend beschriebenen Markierungen  $M_2$  und  $P_2$  können die Markierungen  $M_1$  und  $P_2$  bzw. die Markierungen  $M_1$  und  $P_1$  relativ zueinander ausgerichtet werden. Das Ausrichtungssystem  $AS_2$  wird für die beiden zuletzt genannten Ausrichtungen verwendet.

**[0076]** Hinsichtlich weiterer Details über die Ausrichtungsprozedur mittels der Ausrichtungssysteme wird auf das US-Patent Nr. 4,778,275 verwiesen. Wie bereits in diesem Patent beschrieben worden ist, stehen die Ausrichtungssysteme  $AS_1$  und  $AS_2$  betriebsmäßig in sehr enger Beziehung zu einem extrem genauen zweidimensionalen Bewegungsmesssystem, das die Bewegung des Substrats relativ zu der Maske während der Ausrichtungsprozedur misst. Die Positionen und die relativen Abstände zwischen den Ausrichtungsmarkierungen  $P_1$  und  $P_2$ ,  $M_1$  und  $M_2$  können anschließend in ein Koordinatensystem eingetragen werden, das von dem Bewegungsmesssystem bestimmt wird. Dieses Bewegungsmesssystem, das durch  $IF$  in [Fig. 1](#) bezeichnet ist, ist, z. B., ein Interfe-

rometersystem, das in dem US-Patent Nr. 4,251,160 beschrieben ist.

**[0077]** Da das Projektionslinsensystem PL für die Wellenlänge des Projektionsstrahls PB ausgestaltet ist, die im Hinblick auf das erwünschte große Auflösungsvermögen so klein wie möglich sein muss und deshalb sich deutlich von der des Ausrichtungsstrahls unterscheiden kann, können Abweichungen auftreten, wenn dieses System PL verwendet wird, um die Ausrichtungsmarkierungen  $P_1$ ,  $P_2$  und  $M_1$ ,  $M_2$  aufeinander abzubilden. Die Substratausrichtungsmarkierungen  $P_1$ ,  $P_2$  werden dann nicht in die Ebene des Maskenmusters abgebildet, in der sich die Maskenausrichtungsmarkierungen befinden, sondern werden um einen bestimmten Abstand hiervon abgebildet, wobei der Abstand von dem Wellenlängenunterschied des Projektionsstrahls und des Ausrichtungsstrahls und von dem Unterschied der Brechungsindizes des Materials der Projektionslinsenelemente bei den beiden Wellenlängen abhängt. Falls der Projektionsstrahl eine Wellenlänge von, z. B., 248 nm und der Ausrichtungsstrahl eine Wellenlänge von 633 nm besitzt, kann dieser Abstand bis zu 2 m betragen. Aufgrund dieses Wellenlängenunterschieds wird überdies eine Substratausrichtungsmarkierung auf eine Maskenausrichtungsmarkierung mit einer Vergrößerung abgebildet, die von der erwünschten Vergrößerung abweicht, während die Abweichung mit zunehmendem Wellenlängenunterschied zunimmt.

**[0078]** Um diese Abweichungen zu korrigieren, kann die Projektionssäule PL eine extra Linse oder Korrekturlinse **25** enthalten. Im Gegensatz zu dem, was in [Fig. 3](#) gezeigt ist, wird der Ausrichtungsstrahl nicht in die Vorrichtung an einer Position oberhalb der Projektionslinse eingekoppelt, sondern durch ein Fenster in dem Linsenhalter und mittels eines reflektierenden Elements, beispielsweise eines Keils, und zwar unterhalb und nahe der Korrekturlinse. Die Korrekturlinse ist in einer Höhe in der Projektionssäule angeordnet, so dass die Teilstrahlen der verschiedenen Beugungsordnungen des Ausrichtungsstrahls, die durch eine Substratausrichtungsmarkierung gebildet werden, hinreichend voneinander in der Ebene der Korrekturlinse getrennt sind, um so diese Teilstrahlen getrennt voneinander zu beeinflussen, während diese Korrekturlinse einen vernachlässigbaren Einfluss auf den Projektionsstrahl und auf die hierdurch gebildete Maskenabbildung hat. Die Korrekturlinse befindet sich vorzugsweise in der hinteren Brennebene des Projektionslinsensystems. Falls dieses System an der Substratseite telezentrisch ausgebildet ist, stimmt diese Brennebene mit der Ebene des Austritts dieses Systems überein. Wie in [Fig. 3](#) gezeigt ist, falls sich die Korrekturlinse **25** in einer Ebene **24** befindet, in der die Hauptstrahlen des Ausrichtungsstrahls  $b$  und  $b'$  einander schneiden, so kann diese Linse gleichzeitig für die Korrektur der

beiden Ausrichtungsstrahlen verwendet werden.

**[0079]** Die Korrekturlinse besitzt eine derartige Brechkraft, dass sie die Richtungen der Teilstrahlen, die in 1. Ordnung durch ein Gitter gebeugt werden, so ändert, dass die Hauptstrahlen dieser Strahlen in der Ebene der Maskenausrichtungsmarkierung  $M_2$  einander kreuzen. Überdies besitzt die Korrekturlinse einen derart geringen Durchmesser, dass die Teilstrahlen höherer Ordnung, die durch die Markierung  $P_2$  unter einem größeren Winkel als die Teilstrahlen 1. Ordnung gebeugt werden, nicht durch diese Linse verlaufen. Des Weiteren ist ein Element bei der Korrekturlinse angeordnet, wobei dieses Element verhindert, dass die Teilstrahlen  $b(0)$ ,  $b'(0)$  nullter Ordnung durch die Korrekturlinse verlaufen. Dieses Element kann in Form des Keils vorliegen, der dazu verwendet wird, den Ausrichtungsstrahl in das Projektionslinsensystem zu koppeln. Durch diese Maßnahmen wird erreicht, dass lediglich die Teilstrahlen 1. Ordnung zum Abbilden des Gitters  $P_2$  auf das Gitter  $M_2$  abgebildet werden, so dass einige zusätzliche Vorteile erhalten werden.

**[0080]** Indem der Teilstrahl 0. Ordnung unterdrückt wird, kann der Bildkontrast von  $P_2$  deutlich erhöht werden. Da die Teilstrahlen 2. und höherer Ordnung unterdrückt werden, haben Unregelmäßigkeiten des Gitters  $P_2$  keinen Einfluss auf das Ausrichtungssignal. Werden lediglich Teilstrahlen 1. Ordnung verwendet, wird sozusagen die 2. harmonische Welle des Gitters  $P_2$  projiziert, das bedeutet mit Ausnahme der Vergrößerung  $M$  des Projektionslinsensystems PL besitzt das Bild von  $P_2$  eine Periode, die halb so groß ist wie die des Gitters  $P_2$ . Falls sichergestellt wird, dass die Gitterperiode des Gitters  $M_2$  gleich der des Bildes von  $P_2$  ist, d. h. gleich dem  $m/2$ -fachen der Gitterperiode des Gitters  $P_2$ , so ist die Genauigkeit, mit der die Gitter  $M_2$  und  $P_2$  ausgerichtet werden, doppelt so groß wie in dem Fall, bei dem der gesamte Strahl  $b$  für die Projektion verwendet wird.

**[0081]** Nachdem das System  $AS_1$  beschrieben worden ist, das für die Ausrichtung der Maskenausrichtungsmarkierung  $M_2$  in Bezug auf eine Substratausrichtungsmarkierung verwendet wird, bedarf das System  $AS_2$ , mit dem die Maskenausrichtungsmarkierung  $M_1$  in Bezug auf eine Substratausrichtungsmarkierung ausgerichtet wird, keiner weiteren Erklärung. Das System  $AS_2$  weist ähnliche Elemente auf und dessen Funktionsweise ist gleich der des Systems  $AS_1$ . Wie bereits in [Fig. 3](#) gezeigt ist, ist die Korrekturlinse **25** in beiden Systemen  $AS_1$  und  $AS_2$  enthalten. Die Projektionsvorrichtung kann anstelle einer doppelten Ausrichtungsvorrichtung alternativ eine einzelne, wie z. B. in dem US-Patent Nr. 4,251,160 beschriebene Ausrichtungsvorrichtung aufweisen.

**[0082]** Die Projektionsvorrichtung ist ebenso mit ei-

ner Bildschärfe-Servo-Vorrichtung versehen, die eine Bildschärfefehlererfassungsvorrichtung aufweist, um während des repetierenden Abbildens einer Produktionsmaske auf ein Produktionssubstrat eine Abweichung zwischen der Bildebene des Projektionslinsensystems und der Ebene des Produktionssubstrats zu erfassen. Falls eine solche Abweichung auftritt, kann die Scharfstellung mittels des von der Bildschärfefehlererfassungsvorrichtung bereitgestellten Signals korrigiert werden, indem z. B. die Projektionslinse entlang ihrer optischen Achse verschoben wird.

**[0083]** Diese Bildschärfefehlererfassungsvorrichtung FD ist diagrammatisch in [Fig. 4](#) gezeigt. Diese Figur zeigt ebenso die Referenzplatte RP der Bilderfassungsvorrichtung sowie die Positionserfassungsvorrichtung für den Substrattisch, die z. B. aus zwei Teilen  $IF_1$  und  $IF_2$  besteht.

**[0084]** Die Bildschärfefehlererfassungsvorrichtung FD weist eine Strahlungsquelle, z. B. einen Diodenlaser DL auf, der einen Fokussierstrahl  $b_f$  und ein Prisma  $PR_1$  bereitstellt, das diesen Strahl auf einen Punkt der Referenzplatte RP reflektiert, an dem die optische Achse des Projektionslinsensystems diese Platte kreuzt. Der Einfachheit halber ist lediglich der Hauptstrahl dieses Strahles gezeigt. Eine Linse  $L_1$ , die zwischen dem Diodenlaser DL und dem Prisma  $PR_1$  angeordnet ist, fokussiert den Strahl auf einen Strahlungspunkt der Referenzplatte. Der Strahl  $b_r$ , der von der Referenzplatte reflektiert wird, wird durch ein zweites Prisma  $PR_2$  auf einen strahlungsempfindlichen Detektor DE reflektiert. Eine Linse  $L_2$  zwischen dem Prisma  $PR_2$  und dem Detektor bildet den Strahlungspunkt, der auf der Referenzplatte gebildet wird, auf den Detektor DE ab. Falls der Abstand in Z-Richtung zwischen dem Projektionslinsensystem und der Referenzplatte sich ändert, verschiebt sich der auf dem Detektor DE abgebildete Strahlungspunkt in seiner eigenen Ebene. Da der Detektor ein positionsempfindlicher Detektor ist oder zwei getrennte Detektionselemente aufweist, kann die Bewegung des Strahlungspunktes und der dazu entsprechende Bildschärfefehler bestimmt werden. Die so erhaltene Information kann dazu verwendet werden, um, z. B., die Z-Position des Substrattisches WT mittels einer in [Fig. 5](#) diagrammatisch gezeigten bekannten Parallelogrammkonstruktion zu korrigieren. Die verschiedenen Elemente der Bildschärfefehlererfassungsvorrichtung sind in zwei, z. B., zylindrisch ausgebildeten Haltern angeordnet, die fest mit dem Halter des Projektionslinsensystems verbunden sind.

**[0085]** Wie in dem US-Patent 4,356,392 beschrieben ist, kann ein Reflektor, der sicherstellt, dass der Fokussierstrahl ein zweites Mal von der Referenzplatte reflektiert wird, bevor er auf einen Detektor trifft, an der Position des Detektors DE angeordnet sein. Diese bevorzugte Ausführungsform der

Bildschärfefehlererfassungsvorrichtung besitzt den Vorteil, dass die Messung des Bildschärfefehlers nicht durch eine Neigung der Referenzplatte oder des Produktionssubstrats oder durch unterschiedliche lokale Reflektionen dieses Substrats beeinflusst wird.

**[0086]** Um die X- und Y-Positionen des Substrattisches sehr genau zu bestimmen, weist die Projektionsvorrichtung ein zusammengesetztes Interferometersystem auf, das, z. B., aus zwei Teilen besteht. Der Teil  $IF_1$  emittiert einen oder mehrere Strahlen in Y-Richtung zu einer reflektierenden Seitenfläche des Substrattisches und empfängt ebenso die reflektierten Strahlen. Die X-Position des Tisches kann dadurch bestimmt werden. Analog dazu kann die Y-Position des Substrattisches mittels des Interferometersystems  $IF_2$  erfasst werden. Das Interferometersystem kann, wie in dem US-Patent 4,251,160 beschrieben ist, implementiert werden und operiert anschließend mit zwei Strahlen. Anstelle dieses sogenannten Zwei-Achsen-Interferometersystems kann ein Drei-Achsen-System, wie in dem US-Patent 4,737,823 beschrieben ist, oder ein Mehr-Achsen-System verwendet werden.

**[0087]** Die Positionen sowie die relativen Abstände zwischen den Ausrichtungsmarkierungen  $P_1$  und  $P_2$  sowie  $M_1$  und  $M_2$  können während des Ausrichtungsvorganges in einem Koordinatensystem, das von dem Interferometersystem festgelegt wird, eingetragen werden, indem die Substrattischpositionserfassungsvorrichtung, oder das Interferometersystem, verwendet wird. Es ist dann nicht notwendig, auf den Rahmen der Projektionsvorrichtung oder auf ein Bauteil dieses Rahmens Bezug zu nehmen, so dass Abweichungen des Rahmen aufgrund von, z. B., Temperaturschwankungen, mechanischem Schlupf und dergleichen keinen Einfluss auf die Messungen haben.

**[0088]** Zum besseren Verständnis ist die Projektionsvorrichtung nochmals in [Fig. 5](#) dargestellt, dieses mal allerdings im Querschnitt. Das Beleuchtungssystem besitzt einen geringfügig anderen Aufbau als in [Fig. 1](#) und weist einen Laser LA auf, z. B. einen Krypton-Fluorid-Laser, ein Linsensystem LO, einen Reflektor RE sowie eine Kondensorlinse CO. Das Beleuchtungssystem weist ein bekanntes System LWC auf, das diagrammatisch gezeigt ist und mit dem die Wellenlänge der Laserstrahlung überprüft werden kann. Das System LWC ist in dem Artikel "Design Principals for an Illumination System using an Excimer Laser as a Light Source" in SPIE Vol. 1138 (1989), Seiten 121 ff. beschrieben.

**[0089]** Die doppelte Ausrichtungserfassungsvorrichtung ist mittels eines einfallenden Strahls  $b$  sowie der beiden austretenden Ausrichtungsstrahlen  $b_1$  und  $b_1'$  und durch die Elemente **25**, **13**, **13'**, **22** und **22'** angedeutet. Wie in dem US-Patent 4,778,275 beschrie-

ben ist, können Vergrößerungsfehler, mit denen eine Maske auf ein Substrat abgebildet wird, mittels der doppelten Ausrichtungserfassungsvorrichtung bestimmt werden. Diese Messung des Vergrößerungsfehlers wird jedoch nicht bei der Wellenlänge des Projektionsstrahls durchgeführt, sondern bei der Wellenlänge der Ausrichtungsstrahlen. Falls ein großer Unterschied zwischen beiden Wellenlängen besteht, muss der Vergrößerungsfehler ebenso mittels der Bilderfassungsvorrichtung bestimmt werden.

**[0090]** [Fig. 5](#) zeigt ferner eine Bildschärfefehlererfassungsvorrichtung mit Linsen  $L_1$  und  $L_2$  sowie einem Retroreflektor RR, der einen Fokussierstrahl  $b_f$  auf sich selbst reflektiert, welcher von links eintritt und ein erstes Mal von einem Produktionssubstrat oder einer Referenzplatte reflektiert wird. Der reflektierte Strahl  $b_f$  wird von dem teilweise transparenten Prisma PR<sub>1</sub> zu dem Detektor DE reflektiert.

**[0091]** [Fig. 5](#) zeigt ebenso einen Abschnitt der Bilderfassungsvorrichtung, nämlich zwei Detektionssysteme, die einer Referenzplattengittermarkierung zugeordnet sind und von denen jedes eine Projektionslinse  $L_3$ ,  $L_4$  sowie einen Detektor DT<sub>3</sub>, DT<sub>4</sub> aufweist. Ein Strahlabschnitt PB<sub>1</sub>, der einen Teil des Projektionsstrahls PB bildet, zeigt an, wie ein Teil der Maske, z. B. eine Maskenmarkierung, auf die Referenzplatte abgebildet wird.

**[0092]** Der Strahl IF<sub>6</sub> zeigt an, dass die Vorrichtung ebenso mit einer Substrattischpositionserfassungsvorrichtung versehen ist.

**[0093]** PS und TS betreffen einen Drucksensor sowie einen Temperatursensor.

**[0094]** Die in [Fig. 4](#) gezeigte Referenzplatte RP kann ein fixiertes Teil des Maskentisches WT sein. Vorzugsweise ist diese Platte ein separates Element, das stationär mit dem Tisch WT bei der Benutzung in der Projektionsvorrichtung verbunden ist und auf diese Weise mit der Substrattischpositionserfassungsvorrichtung gekoppelt ist. Nachdem die Bilderfassungsprozedur in einer ersten Projektionsvorrichtung abgeschlossen worden ist, kann diese Platte in einer zweiten Projektionsvorrichtung vorgesehen werden, um die Bilderfassungsprozedur ebenso in dieser Vorrichtung, und im Anschluss in einer dritten Projektionsvorrichtung und so weiter durchführen zu können. Auf diese Weise ist es möglich, eine ganze Reihe von Projektionsvorrichtungen mittels der gleichen Referenz einzustellen und diese daher sehr genau aufeinander abzustimmen, wobei die Projektionsvorrichtungen, z. B., dazu verwendet werden, um nacheinander Belichtungen einer Reihe von Produktionssubstraten durchzuführen, allerdings jedes Mal mit unterschiedlichen Produktionsmasken.

**[0095]** Die Referenzplatte ist aus einem sehr stabili-

len Material hergestellt, beispielsweise Quarz oder Glas, deren Abmessungen im Wesentlichen nicht von den Umgebungsparametern, wie z. B. der Temperatur, der Feuchtigkeit, etc. beeinflusst werden. Es wird im Anschluss sichergestellt, dass sich die Positionen sowie die relativen Abstände zwischen den Plattenmarkierungen nicht verändern.

**[0096]** Wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist, kann die Referenzplatte PR eine kleine Oberfläche aufweisen, die geringfügig größer als das Bildfeld des Projektionslinsensystems ist. Es ist jedoch alternativ möglich, die Referenzplatte auf ein sogenanntes Standardsubstrat („holy wafer“) zu vergrößern, das für die Anpassung an unterschiedliche Projektionsvorrichtungen verwendet wird. Die Art und Weise, mit der diese Anpassung mit einem holy wafer ausgeführt wird, ist unter anderem in dem Artikel "Matching Management of Multiple Wafer Steppers using a Stable Standard and a Matching Simulator" in SPIE, Vol. 1087, San Jose USA, Februar 1989, beschrieben. Werden die Bilderfassungsvorrichtung sowie die extensive Referenzplatte verwendet, kann das gegenseitige Anpassen an unterschiedliche Projektionsvorrichtungen deutlich schneller ausgeführt werden, da es nicht notwendig ist, auf dem Standardsubstrat einen Fotolack vorzusehen, diesen Fotolack zu entwickeln und ihn wiederum zu entfernen.

**[0097]** [Fig. 4](#) zeigt, wie das Standardsubstrat, oder die extensive Referenzplatte SW, in der Projektionsvorrichtung vorgesehen werden kann. [Fig. 6](#) zeigt das Standardsubstrat in Draufsicht. Dieses Substrat ist in eine Vielzahl von Bereiche SWa unterteilt, von denen nur einige in vergrößertem Maßstab in [Fig. 6](#) gezeigt sind. In Wirklichkeit kann die Anzahl der Bereiche SWa auf dem Standardsubstrat gleich der Anzahl, z. B. 27, von ICs sein, die auf dem Produktionssubstrat gebildet werden müssen. Jeder Bereich SWa weist drei Gittermarkierungen P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub> und P<sub>5</sub> analog zu den Markierungen in der Referenzplatte RP auf. Das Standardsubstrat kann eine Anzahl zusätzlicher Markierungen P<sub>8</sub>, P<sub>9</sub>, P<sub>10</sub>, P<sub>11</sub>, P<sub>12</sub>, P<sub>13</sub> zum Ausrichten des gesamten Substrats aufweisen. Überdies können eine Anzahl von Markierungen PS, die kreuzförmig entlang der X- und Y-Achsen angeordnet sind, vorhanden sein, welche verwendet werden, um die Ebenheit der Spiegel an den Seiten des Substrattisches BT zu messen.

**[0098]** Bei der Ausführungsform der [Fig. 4](#) besitzt die Referenzplatte RP drei Markierungen P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub> und P<sub>5</sub>, die den drei Markierungen M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> und M<sub>5</sub> einer Produktionsmaske oder einer Referenzmaske entsprechen, die in der Projektionsvorrichtung bei der Bilderfassungsprozedur vorgesehen sind. Bei dieser Prozedur wird der Projektionsstrahl PB eingeschaltet, wobei der Strahl die Referenzmaske beleuchtet. Diese Maske wird von einem Projektionslinsensystem PL auf einen Referenzplattenabschnitt (SWa in

**Fig. 6)** abgebildet, dessen Abmessungen denjenigen der Abschnitte eines Produktionssubstrats entsprechen, die in aufeinanderfolgenden Schritten während der Produktionsbeleuchtungsprozedur beleuchtet werden. Die Markierungen  $M_3$ ,  $M_4$  und  $M_5$  werden jeweils auf die Markierungen  $P_3$ ,  $P_4$  und  $P_5$  abgebildet.

**[0099]** Erfindungsgemäß entsprechen die Markierungen  $P_3$ ,  $P_4$  und  $P_5$  Phasengittern und die Markierungen  $M_3$ ,  $M_4$  und  $M_5$  Amplitudengittern, wobei das Verhältnis der Gitterperioden der Gitter  $M_3$ ,  $M_4$  und  $M_5$  einerseits und die der Gitter  $P_3$ ,  $P_4$  und  $P_5$  andererseits gleich der Vergrößerung, z. B.  $1/5$ , des Projektionslinsensystems ist.

**[0100]** **Fig. 7a** zeigt eines der Referenzplattengitter  $P_3$  in Draufsicht. Prinzipiell weist dieses Gitter zwei Abschnitte auf, dessen Gitterlinien in X-Richtung bzw. in Y-Richtung verlaufen. Das entsprechende Gitter  $M_3$  in der Referenzmaske besitzt natürlich die gleiche Geometrie. Die Gitter  $P_3$  und  $M_3$  weisen vorzugsweise vier Gitterabschnitte auf, für das Gitter  $P_3$  sind dies  $P_{3,1}$ ,  $P_{2,2}$ ,  $P_{3,3}$  und  $P_{3,4}$ , die symmetrisch um die Mitte CE des Gitters  $P_3$  angeordnet sind. Messfehler, soweit sie vorhanden sind, können dadurch minimiert werden.

**[0101]** **Fig. 7b** zeigt in einem Querschnitt einen Teil des Gitterabschnitts  $P_{3,2}$  mit Gitterlinien GS und Zwischenlinien GSI. Dieses Gitter besitzt eine Periode  $P_i$ . Die Höhe  $h$  der Gitterlinien beträgt vorzugsweise  $\lambda/4$ , wobei  $\lambda$  gleich der Wellenlänge des Projektionsstrahls ist, um so einen maximalen Kontrast in den Gitterabbildungen zu erhalten. Bei einer Gittermarkierung, die für zwei Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  geeignet ist, besitzt die Höhe  $h$  einen Wert zwischen  $\frac{1}{4}\lambda_1$  und  $\frac{1}{4}\lambda_2$ . Die Gitter  $P_4$  und  $P_5$  besitzen die gleiche Form, wie sie in den **Fig. 5a** und **5b** gezeigt ist, sowie die gleiche Gitterperiode, Gitterlinienbreite und Gitterlinienhöhe wie das Gitter  $P_3$ .

**[0102]** Die auf die Gitter  $P_3$ ,  $P_4$  und  $P_5$  auftreffenden Projektionsstrahlenabschnitte sind bereits in eine Anzahl Beugungsordnungen durch die Maskengitter  $M_3$ ,  $M_4$  und  $M_5$  unterteilt worden. Die Reflektionsgitter  $P_3$ ,  $P_4$  und  $P_5$  wiederum unterteilen jeden Strahl unterschiedlicher Ordnung in weitere Teilstrahlen. Diese weiteren Unterteilungen werden sowohl in X-Richtung als auch in Y-Richtung bewirkt. Sämtliche Kombinationsordnungen  $(a, b)_x$ ,  $(a, b)_y$ , die ungleich  $(0, 0)$  sind, wobei  $a$  der Ordnung eines Maskengitters und  $b$  gleich der Ordnung eines Referenzplattengitters entspricht, weisen Informationen über den Ausrichtungsgrad in X-Richtung bzw. in Y-Richtung des zugeordneten Referenzplattengitters in Bezug auf das entsprechende Referenzmaskengitter sowie Informationen über eine Abweichung der Z-Position des Referenzplattengitters in Bezug auf die ideale Brennebene auf. Erfindungsgemäß gibt es ein separates Erfassungssystem für jeden Gitterabschnitt. Die

zwölf Erfassungssysteme sind in **Fig. 8** gezeigt, wobei die Figur die Gitter  $P_3$ ,  $P_4$  und  $P_5$  in Draufsicht zeigt. Diese Gitter befinden sich vorzugsweise am Rand des Bildfeldes des Projektionslinsensystems, wobei die Kante durch die gestrichelte Linie BL bezeichnet ist, da so die Bildvergrößerung sowie die Bildrotation optimal gemessen werden können.

**[0103]** Des Weiteren zeigt die **Fig. 8** zwei Gittermarkierungen  $P_6$  und  $P_7$  zum Zwecke der Ausrichtung, wobei die Markierungen dazu verwendet werden, einen Bereich eines Produktionssubstrats auszurichten, auf dem ein Maskenbild abgebildet wird. Die Detektionssysteme sind durch  $DE_3 \dots$  bis  $DE_{14}$  bezeichnet, wobei die Detektionssysteme  $DE_3$ ,  $DE_4$ ,  $DE_5$  und  $DE_6$  dem Gitter  $P_3$  zugeordnet sind und dazu verwendet werden, die jeweils in  $+X$ -,  $-X$ -,  $+Y$ -, und  $-Y$ -Richtung abgelenkte Strahlung aufzunehmen. Analog sind die Detektionssysteme  $DE_7, \dots, DE_{10}$  dem Gitter  $P_4$  sowie die Detektionssysteme  $D_{11} \dots D_{14}$  dem Gitter  $P_5$  zugeordnet.

**[0104]** **Fig. 9** zeigt die beiden Detektionssysteme, die einem Gitter, z. B. dem Gitter  $P_3$ , in einer Richtung, beispielsweise der X-Richtung, zugeordnet sind. Die beiden Detektionssysteme in der anderen Richtung, der Y-Richtung, und die vier Detektionssysteme für jedes der beiden anderen Gitter sind identisch zu denjenigen der **Fig. 9**. Erfindungsgemäß weisen die Detektionssysteme nicht nur strahlungsempfindliche Detektoren, z. B. Fotodioden  $DT_3$  und  $DT_4$ , sondern ebenso Linsensysteme  $L_3$  und  $L_4$ , die durch ein einzelnes Linsenelement der Einfachheit halber dargestellt sind. Eine Blendenplatte  $DF_3$  bzw.  $DF_4$  ist vor einem Detektor angeordnet. Es ist sichergestellt worden, dass die Abbildung des Gitters  $P_3$ , die von der Linse  $L_3$  gebildet wird, die strahlungsempfindliche Oberfläche des Detektors  $DT_3$  genauestens überdeckt. Die Blendenplatte  $DF_3$  stellt sicher, dass die Strahlung von der Umgebung des Gitters nicht den Detektor  $DT_3$  erreicht. Dies wird dadurch erzielt, dass das Ausgangssignal des Detektors  $DT_3$  ein zufriedenstellendes Signal-Rausch-Verhältnis besitzt. Dieses Detektionsverfahren unterscheidet sich von demjenigen, das in den Bilderfassungsvorrichtungen verwendet wird, welche in den Artikeln beschrieben sind: SPIE, Vol. 633, „Optical Microlithography“ (1986), Seiten 106–112 sowie SPIE, Vol. 922, „Laser Microlithography“ (1988), Seiten 366–375, bei denen Strahlung durch die Referenzplatte diffus gestreut wird und in denen ein Detektor diejenige Strahlung aufnimmt, die von dem gesamten Bildfeld des Projektionslinsensystems stammt.

**[0105]** Der Winkel  $\beta$  zwischen der Ebene der Referenzplatte und dem Hauptstrahl des Strahls  $b_3$ , der von dem Detektor  $DT_3$  eingefangen wird, wird über den zur Verfügung stehenden Raum zwischen der Projektionslinse und dem Substrattisch bestimmt. Bei einer Ausführungsform der Bilderfassungsvorrich-

tung liegt dieser Winkel im Bereich von  $12^\circ$ . Die Apertur ( $\sin\alpha$ ) des Strahls  $b_3$  beträgt ungefähr 0,05. Die Linse  $L_3$  besitzt eine Vergrößerung von ungefähr  $\frac{1}{4}$  und eine Brennweite von ungefähr 10 mm sowie einen Durchmesser von ungefähr 5 mm. Der Abstand  $D_1$  zwischen der Mitte des Gittes  $P_3$  und der ersten Hauptebene der Linse  $L_3$  beträgt ungefähr 50 mm, und der Abstand  $D_2$  zwischen der zweiten Hauptebene der Linse und dem Detektor beträgt ungefähr 12,5 mm.

**[0106]** Die Teilstrahlen unterschiedlicher Beugungsordnungen, die von dem reflektierenden Gitter  $P_3$  gebildet werden, verlassen das Gitter unter verschiedenen Winkeln zur Normalen der Gitterebene, wobei ein größerer Ablenkungswinkel einer höheren Beugungsordnung zugeordnet ist.

**[0107]** Da das Detektionssystem  $DE_3$  eine kleine Apertur besitzt, muss sichergestellt werden, dass eine maximal mögliche Strahlungsintensität innerhalb eines Winkels von zwischen  $(\beta - \frac{1}{2}\alpha)$  und  $(\beta + \frac{1}{2}\alpha)$  reflektiert wird. Dadurch kann mehr als eine Kombinationsordnung in das Detektionssystem eintreten. Die Strahlungsintensität auf den Detektor  $DT_3$  kann durch eine geeignete Auswahl der Gitterparameter maximiert werden, während die Wellenlänge des Projektionsstrahls berücksichtigt wird. Diese Gitterparameter sind:

die Gitterperiode  $P_i$ ,  
das Verhältnis  $W_i/P_i$ ,  
die Tiefe oder Höhe  $h$  der Gitterlinien  $GS$ ,  
sowie die Form der Gitterlinien.

**[0108]** Eine Anpassung der Form der Gitterlinien kann bedeuten, dass die Wände dieser Linien unter solch einem Winkel  $\gamma$  geneigt werden, dass diese Wände die Strahlung unter einem Winkel  $\beta$  oder einem Winkel, der sich dem Winkel  $\beta$  nähert, reflektieren, wie in [Fig. 10](#) gezeigt ist. Anstelle von, oder in Kombination mit, der Steilheit der Wände der Gitterlinien können andere Gitterparameter derart ausgewählt werden, dass gewisse Kombinationsordnungen unter einem Winkel  $\beta$  gebeugt werden, während die Intensität in diesen Ordnungen auf Kosten der Intensität der anderen Ordnungen verstärkt wird.

**[0109]** Einer der anderen Gitterparameter, der ebenso den Winkel bestimmt, unter dem die Strahlung gebeugt wird, ist die Gitterperiode: je kleiner die Gitterperiode ist, desto größer sind die Winkel zwischen der Normalen der Gitterebene und den Hauptstrahlen der unterschiedlichen Beugungsordnungen. Erfindungsgemäß ist die Gitterperiode auf die Größe der Details (Linienbreiten) der Abbildung angepasst, die von dem Projektionslinsensystem während der Produktionsbeleuchtung projiziert werden muss. Da die unterschiedlichen Abbildungsparameter nun mittels Referenzobjekten, die größtenteils den Produktionsobjekten entsprechen, bestimmt sind, so sind die

se Messungen sehr genau und zuverlässig. Ist die Gitterperiode mittels der voranstehend erwähnten Anpassung bestimmt werden, kann die erwünschte Beugung unter dem Winkel  $\beta$  durch geeignete Auswahl der anderen Gitterparameter realisiert werden. Bei einer Ausführungsform der Bilderfassungsvorrichtung, bei der der Winkel  $\beta$  ungefähr  $12^\circ$  beträgt und die Linse  $L_3$  eine Brennweite von ungefähr 10 mm und eine Apertur von ungefähr 0,05 besitzt, weist das Gitter geradlinige Gitterlinien mit einer Periode  $P_i$  von ungefähr  $0,84 \mu\text{m}$  und einer Gitterlinienbreite von ungefähr  $0,21 \mu\text{m}$  auf. Dieses Gitter besitzt den Vorteil, dass es sowohl bei einer Wellenlänge von 365 nm als auch einer Wellenlänge von 248 nm des Projektionsstrahls verwendet werden kann. Bei einer Wellenlänge von 365 nm erreicht die Strahlung, die entlang der (+1, +1) und (0, +2) Ordnungen gebeugt wird, den Detektor. Bei einer Wellenlänge von 248 nm ist es diejenige Strahlung, die entlang der (0, +3), (-1, +4), (+1, +2), (0, +4) und (+1, +3) Ordnungen gebeugt wird.

**[0110]** Insbesondere, wenn sehr kurzwellige Strahlung, wie z. B. tiefvioletten Strahlung mit einer Wellenlänge von 248 nm verwendet wird, sind bekannte strahlungsempfindliche Detektoren, beispielsweise Fotodioden, nicht besonders zur Verwendung in der Bilderfassungsvorrichtung geeignet. Detektoren, die gegenüber dieser Art von Strahlung besonders empfindlich sind und die eine geringe Empfindlichkeit besitzen, sollten dann verwendet werden. Erfindungsgemäß ist eine lumineszierende Platte  $LP_3$ ,  $LP_4$  in jedem Detektionssystem  $DE_3$ ,  $DE_4$ , etc., angeordnet, wobei die Platte die kurzwellige Projektionsstrahlung in langwellige Strahlung umwandelt, auf die herkömmliche Detektoren ansprechen.

**[0111]** Ein weiterer Aspekt der kurzwelligen Projektionsstrahlung liegt darin, dass sie von einem gepulsten Laser, beispielsweise einem Krypton-Fluorid-Laser bereitgestellt wird, so dass im Hinblick auf die Zuverlässigkeit sichergestellt werden muss, dass diese Messungen lediglich während der kurzen Strahlungsimpulse, die eine Pulsdauer von beispielsweise 20 ms haben, stattfindet. Erfindungsgemäß wird eine elektronische Synchronisation der Projektionslaserimpulse sowie der Messungen in der Projektionsvorrichtung bereitgestellt. [Fig. 11](#) zeigt das Prinzip dieser Synchronisation. Das Bezugszeichen TB weist auf einen Bus hin, dem eine Reihe von Impulsen PU während der Bilderfassungsprozedur zugeführt werden. Diese Impulse werden dem Laser LA zugeführt, um diesen Laser anzusteuern, so dass er kurze Strahlungsimpulse zur Referenzplatte RP auf dem Substrattisch über das Projektionslinsensystem PL und die Referenzmaske sendet. Die mit  $\lambda$  markierte Linie zeigt an, dass die von der Wellenlängenmessvorrichtung, die mit dem Laser gekoppelt ist, gemessenen Werte einem Speicher  $ME_3$  eines Computers zugeführt und dort gespeichert werden, wobei der

Computer sämtliche Messsignale bearbeitet. Nachdem die Anzahl der Impulse pro Zeiteinheit in der Vorrichtung PD verdoppelt worden ist, werden diese Impulse der Substrattischpositionserfassungsvorrichtung IF zugeführt, um so sicher zu stellen, dass lediglich die Positionen und Ausrichtungen, die während der Impulsperioden gemessen werden, einem zweiten Speicher  $ME_1$  des Computers zugeführt und dort gespeichert werden. Die Vorrichtung IF kann sowohl die X-, Y- und Z-Positionen des Substrattisches und der Referenzplatte auf diesem Tisch sowie ihre Drehung um die Z-Achse bestimmen. Die Z-Position kann jedoch ebenso von einer Bildschärfefehlerfassungsvorrichtung FD bereitgestellt werden, der die Impulse  $PU'$  zugeführt werden, so dass die Z-Werte, die während der Impulsperioden gemessen werden, einem Speicher  $ME_4$  des Computers zugeführt und dort gespeichert werden. Die Signale der Bilderfassungsvorrichtung IS, die die Detektionssysteme  $DE_3 \dots DE_{14}$  aufweist, werden einem impulsgesteuerten Abtast- und Halte-Schaltkreis SA zugeführt, so dass die Signale von der Vorrichtung IS einem Speicher des Zentralcomputers lediglich während der Impulsperioden zugeführt und dort gespeichert werden.

**[0112]** Bei den verwendeten Pulsfrequenzen und Pulsperioden sollten DC- anstelle von AC-gekoppelten Verstärkern für die Signalbearbeitung verwendet werden. Um das Signal-Rausch-Verhältnis zu erhöhen, wird die Laserstrahlung vorzugsweise ebenso während der Zeitintervalle zwischen den Impulsen  $PU$  gemessen, und die Messwerte während der Impulsperioden werden mit denjenigen während der Zeitintervalle zwischen den Impulsen verglichen.

**[0113]** Da Signale lediglich während der Impulsperioden bei der Bilderfassungsprozedur empfangen werden, wenn die Referenzplattenmarkierungen bewegt werden, um so die optimalen Ausrichtungspositionen zu bestimmen, sind die erhaltenen Signale unabhängig von den Ungenauigkeiten der X-, Y-, Z-,  $\phi_2$ -Detektionsvorrichtungen sowie den Servo-Systemen.

**[0114]** Die von diesen Vorrichtungen bereitgestellten Signale weisen Informationen über die X-, Y- und Z-Positionen der drei Referenzplattenmarkierungen und der drei Maskenmarkierungen auf, so dass zwölf Freiheitsgrade insgesamt gemessen werden können.

**[0115]** Da sämtliche Detektionsvorrichtungen gleichzeitig auf der gleichen Referenzplatte messen, besteht eine Kopplung dieser Vorrichtungen untereinander.

**[0116]** Die Detektionssysteme  $DE_3 \dots DE_{14}$  sind vorzugsweise in einem ringförmigen Halter HOD angeordnet, der mit dem unteren Teil des Projektionslinsensystems PL verbunden ist, wie in [Fig. 12a](#) gezeigt

ist. [Fig. 12b](#) zeigt einen Querschnitt dieses Halters.

**[0117]** Der Halter kann ein massiver Korpus sein, in dem Vertiefungen  $V_3 \dots V_{14}$  an genau bestimmten Positionen vorhanden sind, die eine genau bestimmte Form und Größe besitzen. Falls die Detektionssysteme in diesen Halter eingeführt werden, sind sie bereits größtenteils ausgerichtet und müssen nicht korrigiert oder zumindest nur geringfügig beim Zusammenbau der Projektionsvorrichtung korrigiert werden.

**[0118]** Werden drei zweidimensionale Gittermarkierungen auf der Referenzplatte und auf der Maske und vier Detektoren für jede Gittermarkierung verwendet, können prinzipiell zwölf Vorrichtungsparameter oder Freiheitsgrade gemessen werden. In der Praxis sind neun Parameter in der Projektionsvorrichtung von Bedeutung, so dass eine bestimmte Redundanz bei den Messungen vorhanden ist. Die Parameter, die gemessen werden, sind die Position einer Abbildung, die von dem Projektionslinsensystem mit der Projektionsstrahlung in X-, Y- und Z-Richtung gebildet wird, sowie die Drehung dieser Abbildung um die X-, Y- und Z-Achse. Diese Positionen und Drehungen werden in Bezug auf den Substrattisch gemessen, während die von der Substrattischpositionserfassungsvorrichtung festgelegten Systemkoordinaten eine Referenz für die Bilderfassungsvorrichtung bilden. Die Drehung um die Z-Achse entspricht der Drehung der Abbildung um ihre eigene Ebene. Die Drehungen um die X-Achse und die Y-Achse stellen die Neigung der Abbildung entlang der Y-Achse bzw. der X-Achse dar.

**[0119]** Die Informationen über die Neigung der mit dem Projektionslicht gebildeten Abbildung, wobei die Informationen von der Bilderfassungsvorrichtung bereitgestellt werden, können dazu verwendet werden, eine Neigungserfassungsvorrichtung zu kalibrieren, die in neueren Generationen von Projektionsvorrichtungen einzubauen ist, wobei die Vorrichtung mit einer Strahlung arbeitet, die sich von der Projektionsstrahlung unterscheidet, und wobei deren Funktionsweise auf dem Prinzip eines Autokollimators basiert.

**[0120]** Zusätzlich zur Information über die Position, die Drehung sowie die Neigung der Abbildung stellt die Bilderfassungsvorrichtung ebenso Informationen über die Änderungen der Bildqualität, insbesondere der Vergrößerung, des Astigmatismus sowie über Verzerrungen 3. Ordnung bereit, die aufgrund von Schwankungen der Wellenlänge des Projektionsstrahls sowie Schwankungen der Umgebungsparameter auftreten, wie beispielsweise des Luftdruckes, der Temperatur und dergleichen. Überdies kann die Feldkrümmung von dem Astigmatismus abgeleitet werden, da Änderungen des Astigmatismus und die Feldkrümmung, die aufgrund von sich verändernden Umgebungsparametern auftreten, eine feste Beziehung zueinander besitzen.

**[0121]** Das Signal des Detektor  $DE_3$  weist nicht nur Informationen über die X-Position der Abbildung der Maskenmarkierung  $M_3$  in Bezug auf die Referenzplattenmarkierung  $P_3$  auf, sondern ebenso Informationen über die Z-Position dieser Abbildung. Keine unabhängigen X- und Z-Positionssignale können mit dem einzelnen Detektor  $DE_3$  erhalten werden. Da in dem Signal des Detektors  $DT_4$  der Teil, der von der Z-Position abhängig ist (oder der Teil, der von der X-Position abhängig ist), ein unterschiedliches Vorzeichen zu diesem Teil in dem Signal des Detektors  $DT_3$  hat, während der Teil, der von der X-Position abhängig ist (oder der Teil, der von der Z-Position abhängig ist), in den beiden Signalen das gleiche Vorzeichen haben, kann eine unabhängige Information über die X-Position (oder Z-Position) durch Addieren der beiden Detektorsignale erhalten werden, und eine unabhängige Information über die Z-Position (oder X-Position) kann durch Subtrahieren der beiden Detektorsignale erhalten werden. Um die X-Position der Abbildung der Maskenmarkierung  $M_3$  zu bestimmen, wird die Referenzplatte in X-Richtung bei konstantem Z bewegt, und die Strahlungsintensität auf dem Detektor  $DE_3$  wird als Funktion der Bewegung gemessen. Indem die Phase der Intensitäts-Bewegungs-Kurve, die so erhalten wird, mit einer Referenzkurve verglichen wird, wird die X-Position erhalten. Um die Fokussierposition (Z-Position) zu bestimmen, wird die Referenzplatte in Z-Richtung bei konstantem X bewegt, und die Intensität wird wiederum als Funktion der Bewegung gemessen. Die so erhaltene Intensitäts-Bewegungs-Kurve wird ebenso wiederum mit einer Referenz verglichen, und anhand des Vergleichs wird die Z-Position,  $Z_{3,x}$ , erhalten.  $Z_{3,x}$  sieht Informationen über den Bildschärfefehler an der Stelle der Markierung  $P_3$  in X-Richtung vor. Analog kann das Positionssignal  $Y_3$  und das Bildschärfefehlersignal  $Z_{3,x}$  aus den Signalen der Detektoren  $DE_5$  und  $DE_6$  erhalten werden. Die X- und Y-Positionen der Abbildung der Maskenmarkierung  $M_3$  als auch die Bildschärfefehler in X- und Y-Richtung an der Stelle der Referenzplattenmarkierung  $P_3$  und daher ebenso der Astigmatismus der Abbildung sind sodann bekannt.

**[0122]** Auf die gleiche Weise können die Positionssignale  $X_4$  und  $Y_4$  und die Bildschärfefehlersignale  $Z_{4,x}$  und  $Z_{4,y}$  von den Signalen der Detektoren  $DE_7$ ,  $DE_8$ ,  $DE_9$  und  $DE_{10}$  erhalten werden, die der Referenzplattenmarkierung  $P_4$  zugeordnet sind, während die Positionssignale  $X_5$  und  $Y_5$  und die Bildschärfefehlersignale  $Z_{5,x}$  und  $Z_{5,y}$  von den Signalen der Detektoren  $DE_{11}$ ,  $DE_{12}$ ,  $DE_{13}$  und  $D_{14}$ , die der Markierung  $P_5$  zugeordnet sind, abgeleitet werden können. Da die X-, Y- und Z-Positionen der drei Markierungen in der Abbildung sodann bekannt sind, sind ebenso die X-, Y- und Z-Positionen  $P_{T,x}$ ,  $P_{T,y}$  und  $P_{T,z}$  der Gesamtabbildung, die von dem Projektionslinsensystem mit der Projektionsstrahlung gebildet wird, bekannt.

**[0123]** Es wird darauf hingewiesen, dass  $P_{T,x}$ ,  $P_{T,y}$  und  $P_{T,z}$  prinzipiell ebenso lediglich anhand der Signale der vier Detektoren, z. B.  $DE_3$ ,  $DE_4$ ,  $DE_5$  und  $DE_6$ , die einer Gittermarkierung zugeordnet sind, z. B.  $P_3$ , bestimmt werden können. Diese Detektoren sehen ebenso Informationen über den Astigmatismus  $AS_T$  der gesamten Abbildung vor. Diese Positionsinformationen sind nicht so genau wie die Information, die erhalten werden, wenn drei Markierungen gemessen werden, allerdings ist sie unter diesen Umständen auf zufriedenstellende Weise verwendbar.

**[0124]** Wenn die Positionen der Abbildungen der drei Maskenmarkierungen in Bezug auf die zugeordneten Referenzplattenmarkierungen bekannt sind, kann die Neigung der Bildebene  $\phi_x$  und  $\phi_y$ , d. h. die Ebene durch die drei Abbildungen der Maskenmarkierungen, um die X- und Y-Achsen durch Vergleich der drei Bildpositionen in X- bzw. Y-Richtung bestimmt werden.

**[0125]** Eine Drehung des Projektionsbildes um die Z-Achse führt zu einander gegengesetzten Veränderungen der X- und Y-Positionen der verschiedenen Maskenmarkierungsbilder. Die Bilddrehung kann deshalb dadurch bestimmt werden, dass die X- und Y-Positionen der Maskenmarkierungsbilder verglichen werden.

**[0126]** Im Falle eines Vergrößerungsfehlers ME in jeweils der X- und Y-Richtung wird das Bild einer ersten Maskenmarkierung, z. B.  $M_3$ , im entgegengesetzten Sinn in X-Richtung bzw. in Y-Richtung in Bezug auf die Abbildung einer zweiten Maskenmarkierung, z. B.  $M_4$ , bewegt. Der Vergrößerungsfehler kann dadurch bestimmt werden, dass diese Positionsveränderungen in X- und Y-Richtung verglichen werden.

**[0127]** Die Verzerrung, oder radiale Verzerrung D3, 3. Ordnung kann dadurch bestimmt werden, dass sämtliche Positionsinformationen der drei Markierungen bestimmt werden, falls die drei Referenzplattenmarkierungen sich in unterschiedlichen Abständen von der optischen Achse des Projektionslinsensystems PL befinden. Falls die Markierungen in gleichen Abständen von der optischen Achse angeordnet sind, kann die Verzerrung 3. Ordnung dadurch bestimmt werden, dass die Informationen der Substratpositionserfassungsvorrichtung als Referenz verwendet werden.

**[0128]** Es wird darauf hingewiesen, dass bereits voranstehend gezeigt worden ist, dass die neun relevanten Parameter  $X_T$ ,  $Y_T$ ,  $Z_T$ ,  $\phi_x$ ,  $\phi_y$ ,  $\phi_z$ , ME, AS und  $D_3$  in der Tat gemessen werden können. Das Bearbeiten der Detektorsignale kann auf unterschiedliche Art und Weise in der Praxis durchgeführt werden, und zwar unter Verwendung eines zentralen Computers, der die Detektorsignale mit Referenzwerten ver-

gleich. Sogenannte Kurvenanpassungsprozeduren werden vorzugsweise anschließend verwendet, indem die gemessenen Signalkurven mit den in dem Computer gespeicherten Referenzkurven verglichen werden. Das Ergebnis dieses Vergleichs ergibt Steuersignale für die verschiedenen Servo-Vorrichtungen der Projektionsvorrichtung. Es ist sodann nicht mehr notwendig, dass sämtliche Parameter, die die Projektionsqualität beeinflussen, d. h. die Umgebungsparameter, die Wellenlänge des Projektionsstrahls, der mechanische Drift, etc., genauestens bekannt sein müssen, vielmehr kann der Computer anhand der Detektorsignale feststellen, dass die von dem Projektionsliniensystem gebildete Abbildung nicht korrekt ist, und er kann im Anschluss Justiersignale für die verschiedenen Servo-Vorrichtungen sowie Steuersignale für die Vorrichtungparameter, beispielsweise die Wellenlänge, den Gasdruck und die Temperatur in der Projektionslinse, etc., mit Hilfe eines Modells erzeugen, bei dem sämtliche Parameter, die einen Einfluss haben, enthalten sind, so dass die Position und die Qualität des projizierten Bildes optimiert werden kann.

**[0129]** Verglichen mit den bekannten Bilderfassungsvorrichtungen sieht die Erfassungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, unter anderem, die folgenden Vorteile vor:

**[0130]** – Indem an drei unterschiedlichen Punkten des Bildfeldes sowie gleichzeitig in X- und Y-Richtung gemessen wird, ist die Messzeit um einen Faktor 6 verringert, und die Genauigkeit der Parameter, beispielsweise die X- und Y-Position und der Astigmatismus, die mehrere Male gemessen werden, ist durch Mittelung verbessert und die Messungen dieser Parameter, wie z. B. die Bildrotation, die Vergrößerung und die Verzerrung 3. Ordnung, wobei die Messungen an einer Anzahl von Punkten in dem Bildfeld durchgeführt werden müssen, werden nicht von Ungenauigkeiten der Substrattischpositionserfassungsvorrichtung, der Wellenlängenmessvorrichtung sowie der Bildschärfefehlererfassungsvorrichtung beeinflusst.

– Da jede Gittermarkierung der Referenzplatte genauestens auf die zugeordneten Detektoren abgebildet wird, wird die gesamte Strahlung, die in die korrekte Richtung gebeugt wird, aufgenommen, während Strahlung von der Umgebung eines solchen Gitters nicht aufgenommen wird, so dass das Signal-Rausch-Verhältnis besser ist als in Erfassungsvorrichtungen, bei denen diffus gestreute Strahlung verwendet wird, und überdies es möglich ist, gleichzeitig eine Vielzahl von Gittern zu messen, da jeder Detektor lediglich die Strahlung von dem zugeordneten Gitter erhält.

– Da zwei Detektoren für jede Gittermarkierung und für jede Richtung X und Y vorgesehen sind und eine kohärente Detektion durchgeführt wird, kann der Einfluss von Intensitätsschwankungen

des Projektionsstrahls auf die Messungen vernachlässigt werden.

**[0131]** Ein weiterer wichtiger Vorteil der erfindungsgemäßen Bilderfassungsvorrichtung besteht darin, dass es nicht nur möglich ist, schneller, sondern ebenso genauer zu messen und zu korrigieren. In einer Projektionsvorrichtung mit einem Projektionsstrahl, dessen Wellenlänge im fernen Ultraviolettbereich liegt, z. B. 248 nm, sollte es möglich sein, Instabilitäten im Bereich von 5 nm in X- und Y-Richtung sowie Instabilitäten im Bereich von 50 nm in Z-Richtung zu messen. In einer Projektionsvorrichtung, in der die beeinflussenden Parameter selbst gemessen und mit Referenzwerten verglichen werden, müsste die Temperatur, die Wellenlänge, die Z-Position der Maske sowie der Luftdruck mit einer Genauigkeit von 0,015°K, 0,5 pm, 0,15 µm bzw. 0,5 mbar gemessen werden können. Falls diese Messgenauigkeiten überhaupt zu erzielen möglich sind, sollten sehr fortschrittliche Messverfahren zu diesem Zweck eingesetzt werden. Überdies sollten die gemessenen Werte in Abberationen des Projektionsliniensystems umgewandelt werden, wobei überdies erforderlich ist, dass keine Inhomogenitäten in diesem System auftreten. Überdies ist der mechanische Drift in der Projektionsvorrichtung dann noch nicht berücksichtigt worden.

**[0132]** **Fig. 13** zeigt ein Diagramm der Servo-Vorrichtungen sowie ihrer Kopplungen, die in der Projektionsvorrichtung verwendet werden. Die einzelnen Verbindungsleitungen zwischen den unterschiedlichen Vorrichtungen, die durch Kästchen angedeutet sind, sind ebenso in bekannten Projektionsvorrichtungen vorhanden. Diese Kästchen stellen dar:

LA,	die Strahlungsquelle, z. B. einen Laser,
LWC,	eine die Laserwellenlänge steuernde Vorrichtung,
ILS,	das Beleuchtungssystem,
MA,	den Maskentisch,
MAZ,	eine Vorrichtung, die die Z-Position des Maskentisches überprüft,
PL,	die Projektionslinse,
PLTC,	eine Vorrichtung, die die Temperatur der Projektionslinse steuert,
ALI,	die mit der Ausrichtungsstrahlung gebildete Abbildung,
IF,	die Substrattischpositionserfassungsvorrichtung,
FD,	die Fokus- bzw. Bildschärfefassungsvorrichtung,
AS <sub>1</sub> (AS <sub>2</sub> ),	die einzelne (oder doppelte) Ausrichtungsvorrichtung.

**[0133]** Die zusätzlichen Untersysteme, die in der Projektionsvorrichtung angeordnet und durch gestrichelte Linien angedeutet sind, sind:

ELI, die mit Hilfe der Projektionsstrahlung gebildete Abbildung,  
 IS, die Bilderfassungsvorrichtung, und  
 IC die Bildkalibriervorrichtung, oder der Computer.

**[0134]** Die doppelten Verbindungsleitungen deuten auf zusätzliche Signale hin, die bearbeitet werden, wenn die Bilderfassungsvorrichtung verwendet wird.

**[0135]** Diese Signale sind:

- die Signale der Substrattischpositionserfassungsvorrichtung IF, der Wellenlängenüberwachungsvorrichtung LWC sowie der Bildschärfefehlererfassungsvorrichtung FD, wobei die Signale der Bilderfassungsvorrichtung zugeführt werden.
- die Bildinformationen der Abbildung, die mit Hilfe der Projektionsstrahlung gebildet wird.
- Signale der Bildkalibriervorrichtung, die zugeführt werden:  
 der die Laserwellenlänge steuernden Vorrichtung LWC  
 der die Maskenhöhe überprüfenden Vorrichtung MAZ  
 der Steuervorrichtung für die Projektionslinsentemperatur PLTC  
 der Bildschärfefehlererfassungsvorrichtung, und  
 der Ausrichtungsvorrichtung AS<sub>1</sub> (AS<sub>2</sub>).

**[0136]** Die Projektionsvorrichtung kann ein oder mehrere der Vorrichtungen aufweisen:  
 eine Vorrichtung (PLPC) zum Steuern des Drucks in dem Projektionslinsensystem,  
 eine Vorrichtung (PLGM) zum Steuern der Zusammensetzung des Mediums in dem Projektionslinsensystem,  
 eine Vorrichtung (PLDC) zum Steuern der relativen Abstände zwischen den Linsenelementen.

**[0137]** Die Vorrichtungen PLPC, PLGM und PLDC werden von der Vorrichtung IC analog zu der Vorrichtung PLTC gesteuert. 9032

### Patentansprüche

1. Eine Vorrichtung zur Projektion eines Maskenmusters auf ein Substrat, wobei die Vorrichtung aufeinander folgend aufweist:  
 ein Beleuchtungssystem (LA, Ex, IN, CO) zur Lieferung eines Projektionsstrahls (PB);  
 einen Maskentisch (MT);  
 ein Projektionslinsensystem (PL); und  
 einen Substrattisch (WT);  
 und welche weiterhin aufweist:  
 eine Ausrichtungsvorrichtung (AS<sub>1</sub>, AS<sub>2</sub>) zur Ausrichtung der Maske und des Substrats bezüglich einander; und  
 eine Abbildungserkennungsvorrichtung, die zur Überprüfung eines Maskenbildes verwendet wird, welches mittels des Projektionslinsensystems und

des Projektionsstrahls erzeugt wird, wobei die Abbildungserkennungsvorrichtung eine Referenzplatte (RP) mit wenigstens einer Markierung (P<sub>1</sub>-P<sub>3</sub>), gebildet durch eine zweidimensionale Gittermarkierung aufweist, deren Gitterstreifen sich in X- und Y-Richtungen eines Koordinatensystems erstrecken, dessen Z-Achse parallel zur optischen Achse des Projektionslinsensystems ist, auf welchem das Bild einer entsprechenden Markierung der Maske gebildet wird, und ein strahlungsempfindliches Erkennungssystem zur Umwandlung von Strahlung, welche von wenigstens einer Referenzplattenmarkierung (P<sub>1</sub>-P<sub>3</sub>) herrührt, in elektrische Signale, **dadurch gekennzeichnet**, dass für jede Gittermarkierung vier strahlungsempfindliche Detektoren (DE<sub>3</sub>-DE<sub>14</sub>) vorhanden sind, jeweils zum Empfang eines unterschiedlichen von vier Unterstrahlen, welche durch Beugung der Strahlung von der entsprechenden Markierung der Maske durch die relevante Gittermarkierung gebildet werden, und dass zwischen der Gittermarkierung und jedem der vier Detektoren ein Linsensystem (L<sub>3</sub>-L<sub>14</sub>) angeordnet ist, um die Strahlung eines Unterstrahls auf den Detektor zu projizieren, der dem Unterstrahl zugeordnet ist.

2. Eine Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei jede Referenzplatten-Gittermarkierung (P<sub>1</sub>-P<sub>3</sub>) zwei Gitterabschnitte (P<sub>n,1</sub>; P<sub>n,4</sub>) aufweist, deren Gitterstreifen eine erste Richtung haben und zwei Gitterabschnitte (P<sub>n,2</sub>; P<sub>n,3</sub>) aufweist, deren Gitterstreifen eine zweite Richtung senkrecht zur ersten Richtung haben, wobei die vier Gitterabschnitte symmetrisch um den Mittelpunkt (CE) des Gitters liegen.

3. Eine Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Periode einer jeden Gittermarkierung (P<sub>1</sub>-P<sub>3</sub>) im wesentlichen gleich der Auflösungsleistung des Projektionslinsensystems (PL) ist.

4. Eine Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei die Gitterparameter einer jeden Gittermarkierung (P<sub>1</sub>-P<sub>3</sub>) an Position und numerische Apertur des zugehörigen Linsensystems (L<sub>3</sub>-L<sub>14</sub>) angepasst sind, so dass eine maximale Strahlungsgröße der relevanten Gittermarkierung von den zugehörigen Detektoren aufgenommen wird.

5. Eine Vorrichtung nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, wobei die Referenzplattengitter (P<sub>1</sub>-P<sub>3</sub>) Phasengitter sind.

6. Eine Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gitterparameter für zwei unterschiedliche Wellenlängen des Projektionsstrahls optimiert sind.

7. Eine Vorrichtung nach Anspruch 6, geeignet zur Verwendung mit einer Projektionsstrahlwellenlänge von 365 nm und 248 nm, wobei das Verhältnis zwischen der Gittervertiefungsbreite und der Gitter-

periode im wesentlichen  $1/4$  beträgt und die Gitterperiode annähernd  $0,84 \mu\text{m}$  beträgt.

8. Eine Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gittermarkierungen reflektierend sind.

9. Eine Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei alle Detektoren ( $\text{DE}_3\text{--DE}_{14}$ ), welche der Abbildungserkennungsvorrichtung zugeordnet sind, sowie die Linsensysteme ( $\text{L}_3\text{--L}_{14}$ ), welche den Detektoren zugeordnet sind, in einem ringförmigen Halter (HOD) befestigt sind, der mit dem Projektionslinsensystem (PL) verbunden ist.

10. Eine Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die unterschiedlichen Sätze von vier Detektoren unterschiedlichen Bereichen in dem Abbildungsfeld des Projektionslinsensystems zugeordnet sind, wobei die Mitten der Bereiche an unterschiedlichen Abständen zur Mitte des Abbildungsfeldes liegen.

11. Eine Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei jedem Detektor ( $\text{DE}_3\text{--DE}_{14}$ ) eine Lumineszenzplatte ( $\text{LP}_3\text{--LP}_{14}$ ) vorhergeht, welche die Projektionsstrahlung in Strahlung wandelt, für welche der Detektor empfindlich ist.

12. Eine Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Referenzplatte (RP) mittels des Substrattisches (WT) mit einer Positionserkennungsvorrichtung ( $\text{IF}_1\text{--IF}_2$ ) verbunden ist, zur Erkennung von Positionen entlang wenigstens zweier zueinander senkrechten Achsen und Drehungen um die Achsen, wobei die Signalausgänge der Positionserkennungsvorrichtung, der Abbildungserkennungsvorrichtung (**13**), der Ausrichtungserkennungsvorrichtung und einer Fokuserkennungsvorrichtung (FD) mit den Eingängen einer elektronischen Signalverarbeitungsvorrichtung (IS, IC) verbunden sind, welche Steuersignale liefert zur Korrektur eines oder mehrerer der folgenden Parameter:

- Wellenlänge des Projektionsstrahls;
- Druck innerhalb des Projektionslinsensystems (PL);
- gegenseitige Abstände zwischen den Linsenelementen des Projektionslinsensystems (PL);
- Zusammensetzung des Mediums in einem oder mehreren der Abteile des Projektionslinsensystems (PL);
- Temperatur innerhalb des Projektionslinsensystems (PL);
- Nullpunktseinstellung der Ausrichtungsvorrichtung ( $\text{AS}_1, \text{AS}_2$ );
- Nullpunktseinstellung der Fokussierungsvorrichtung;
- Vergrößerung des Projektionslinsensystems (PL).

13. Eine Vorrichtung nach Anspruch 12, wobei

das Beleuchtungssystem eine Strahlungsquelle aufweist, welche von einem gepulsten Laser gebildet wird, und eine Projektionsstrahlwellenlängen-Messvorrichtung (LWC) aufweist, wobei der Ausgang der Messvorrichtung mit einem Eingang der elektronischen Signalverarbeitungsvorrichtung verbunden ist.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

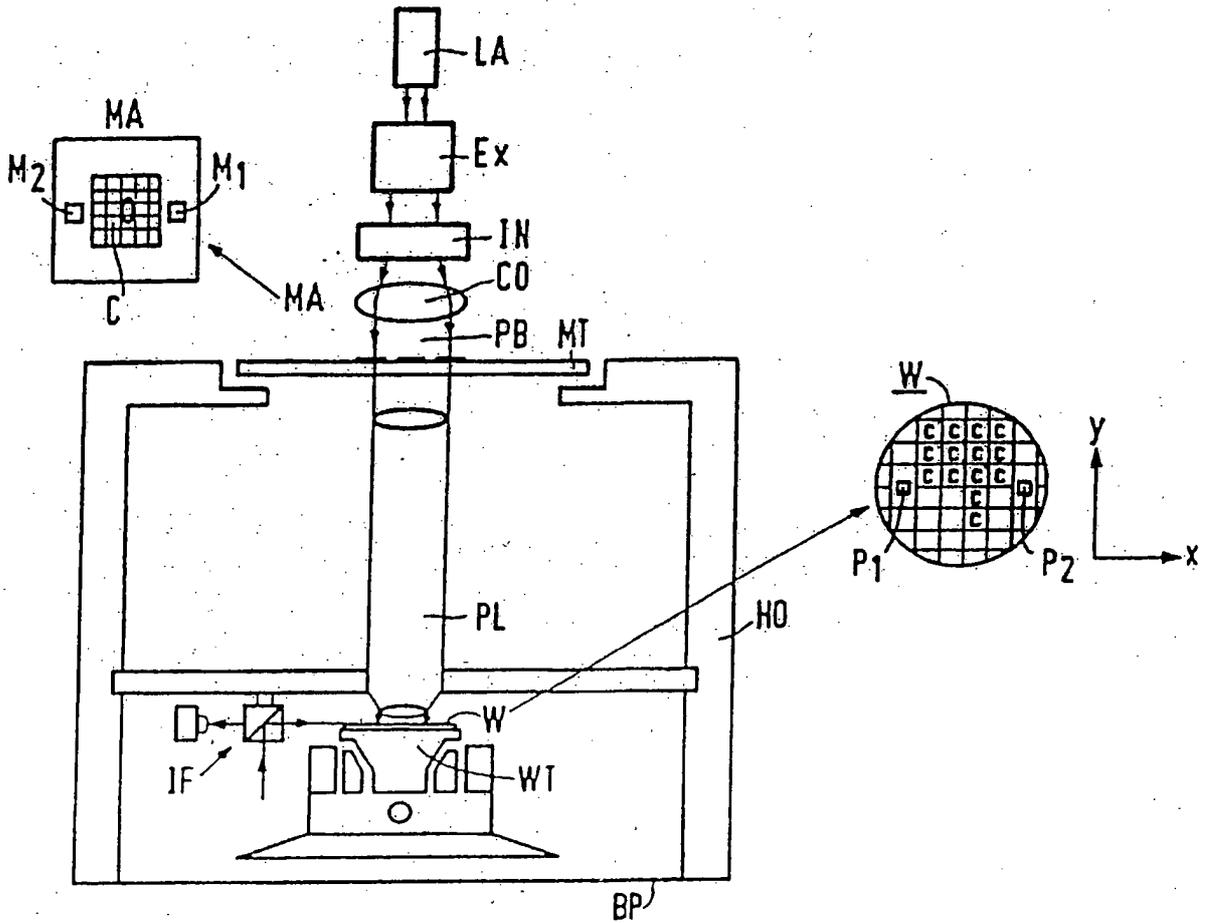


FIG.1

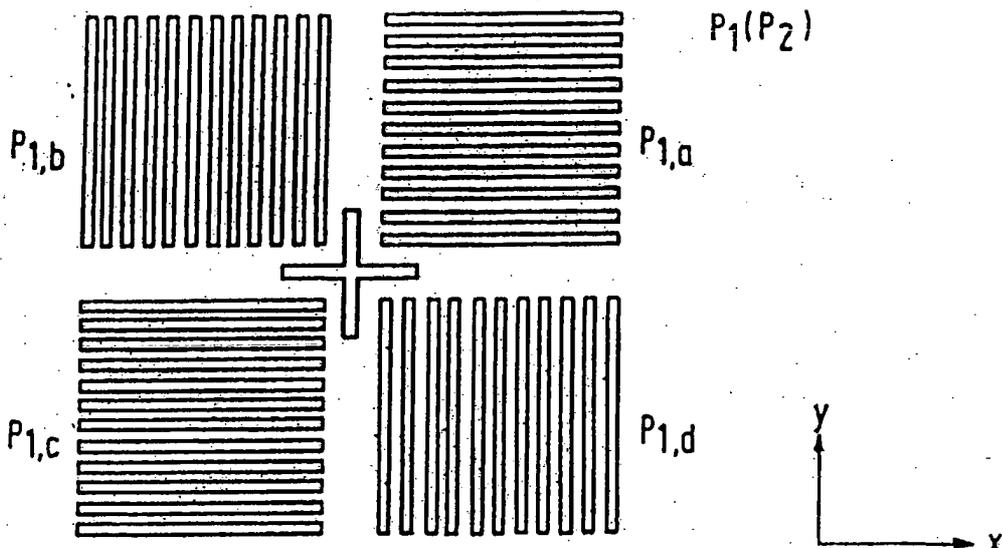


FIG.2

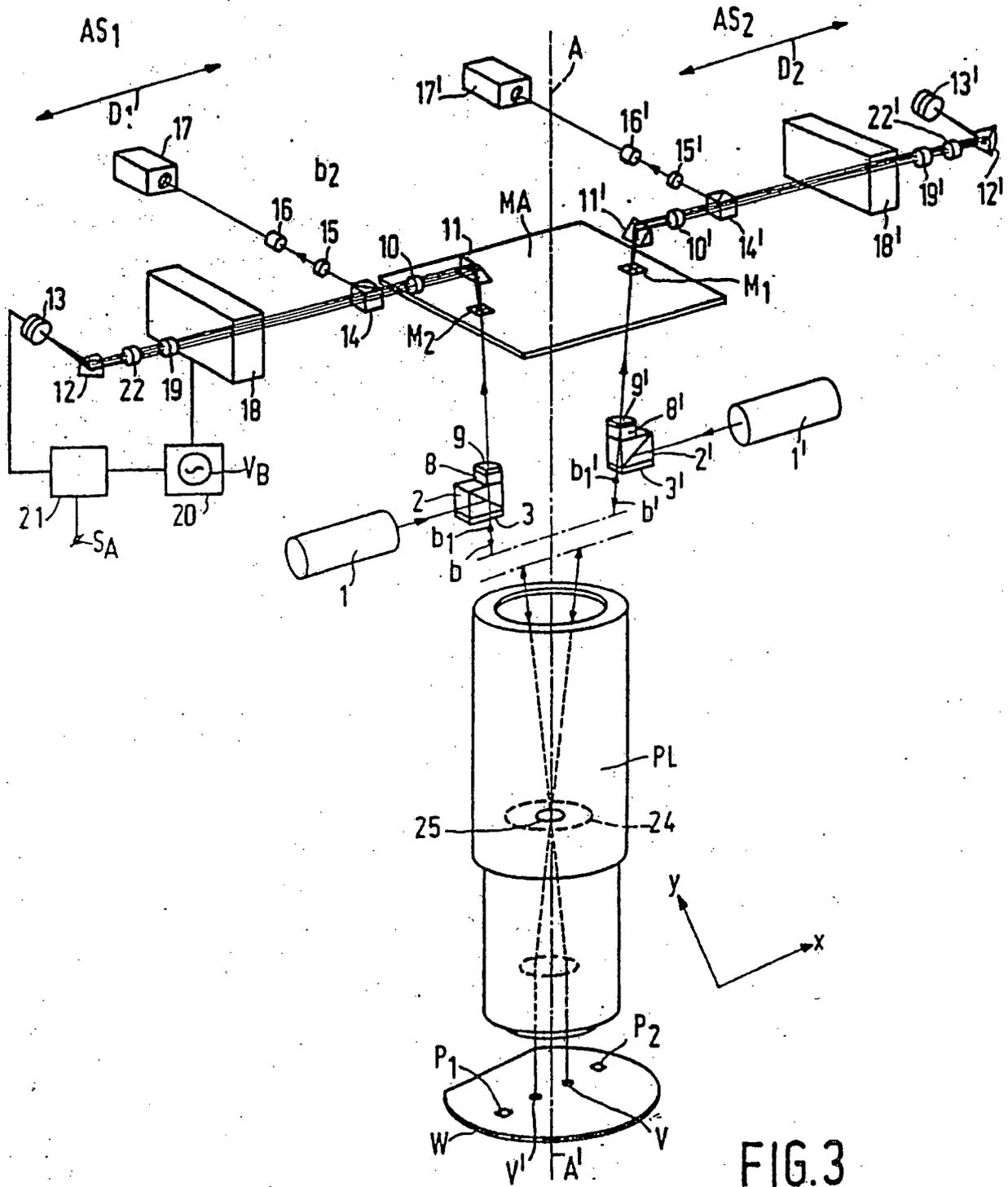


FIG.3

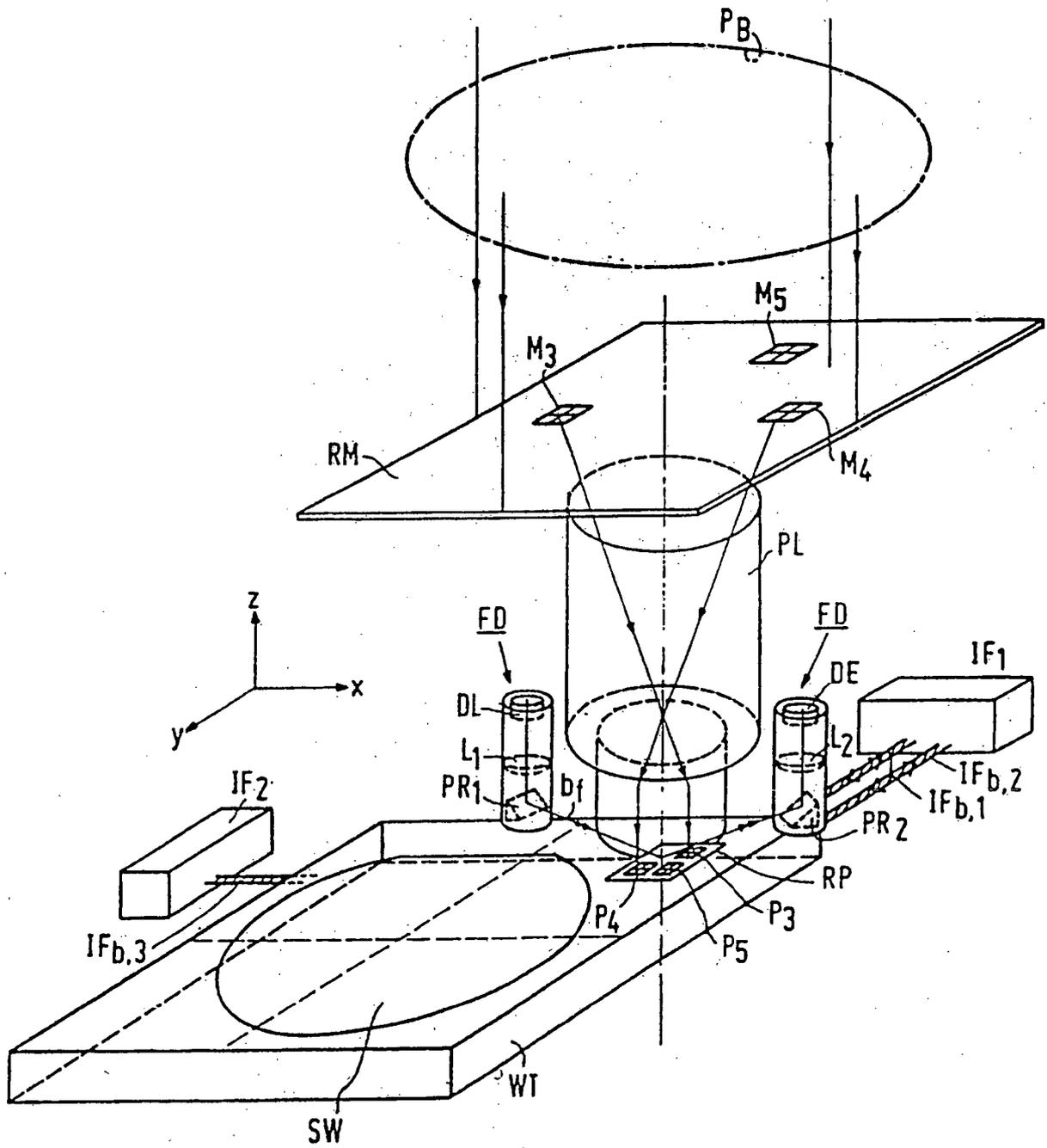


FIG.4

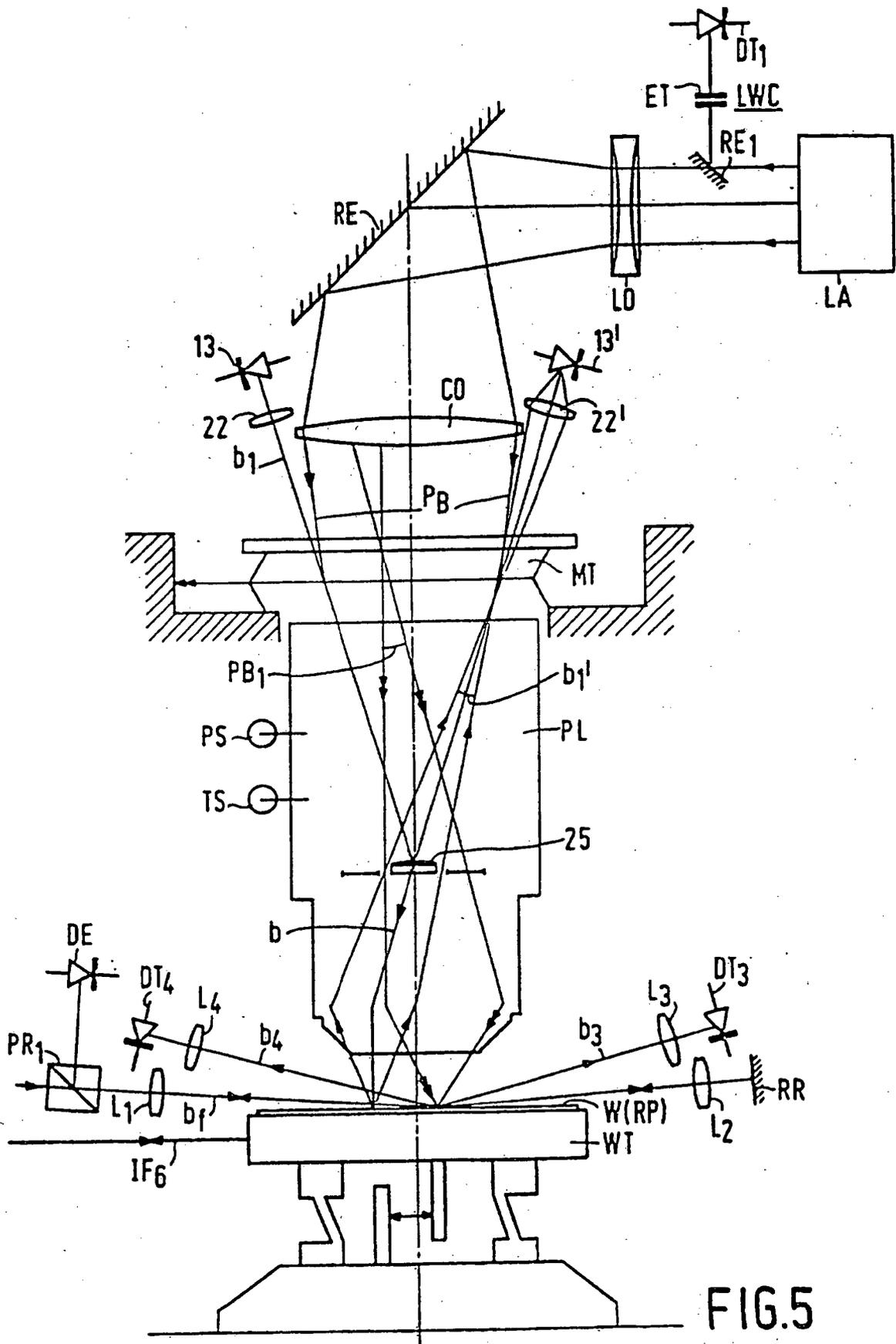


FIG.5

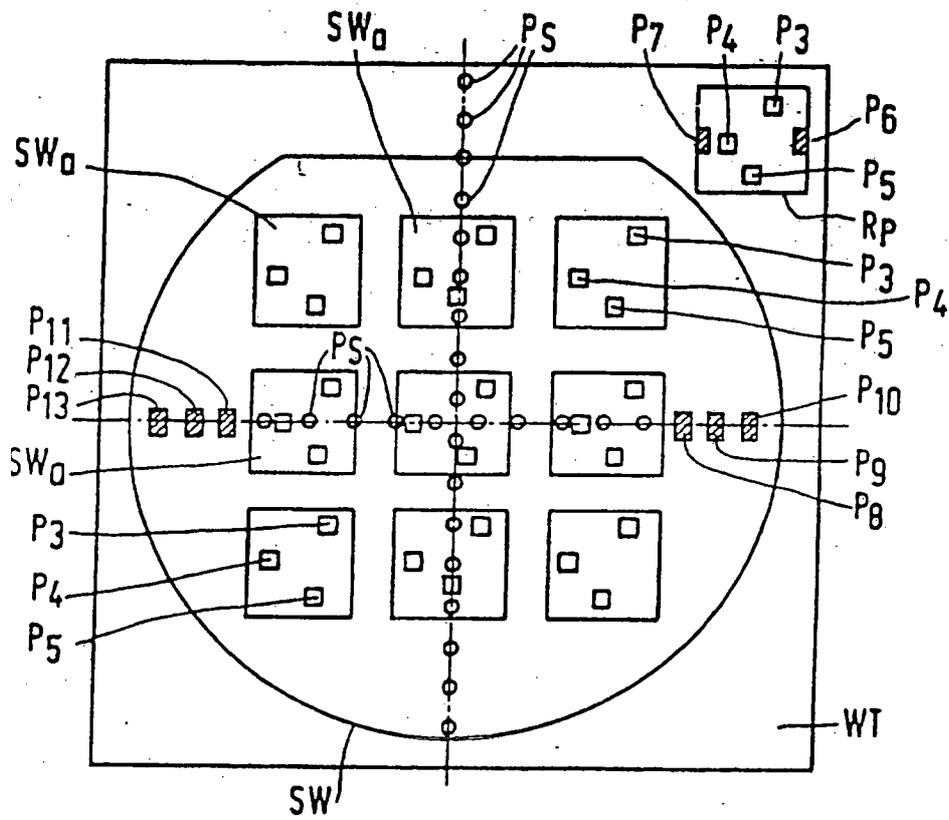


FIG.6

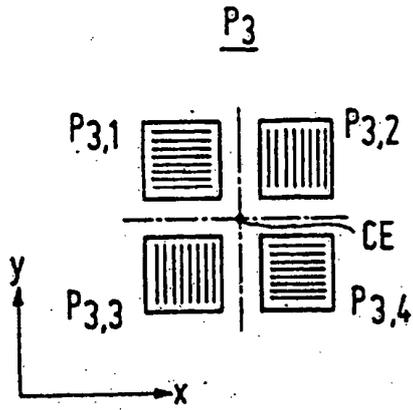


FIG. 7a

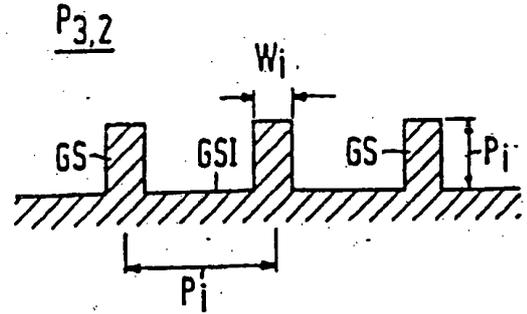


FIG. 7b

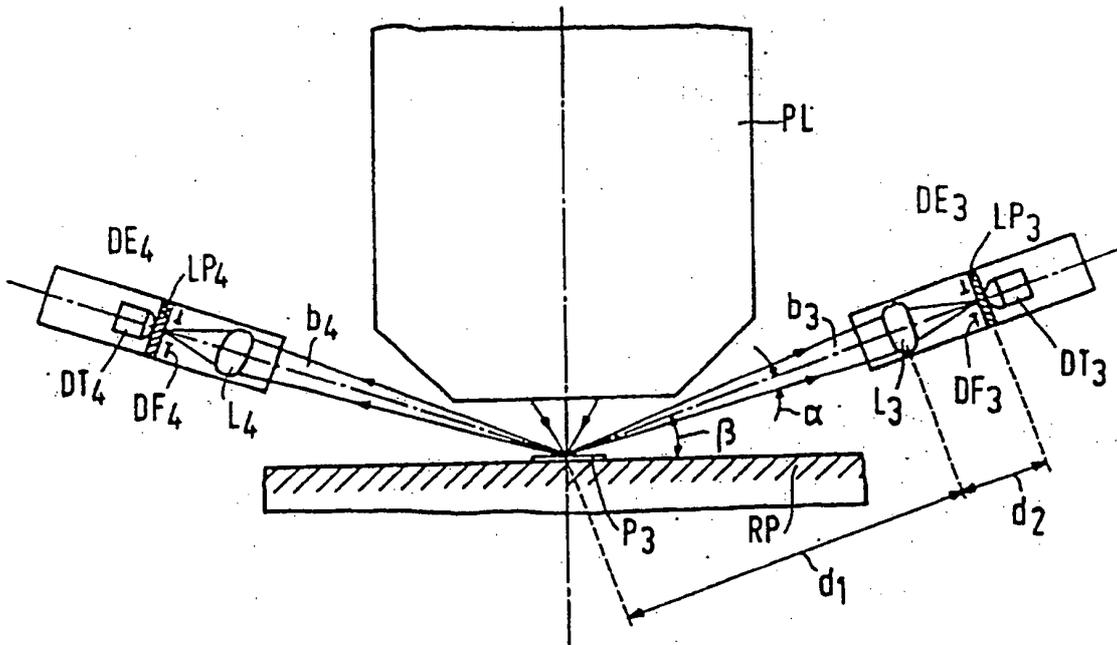


FIG. 9

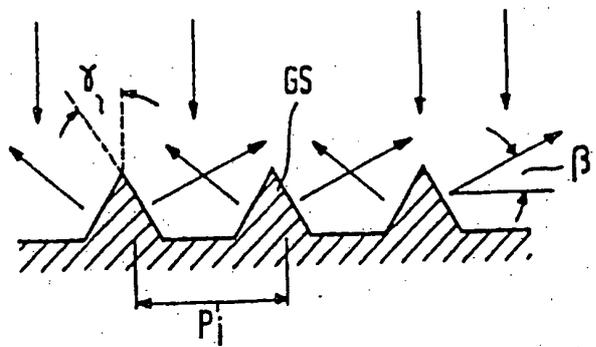


FIG. 10

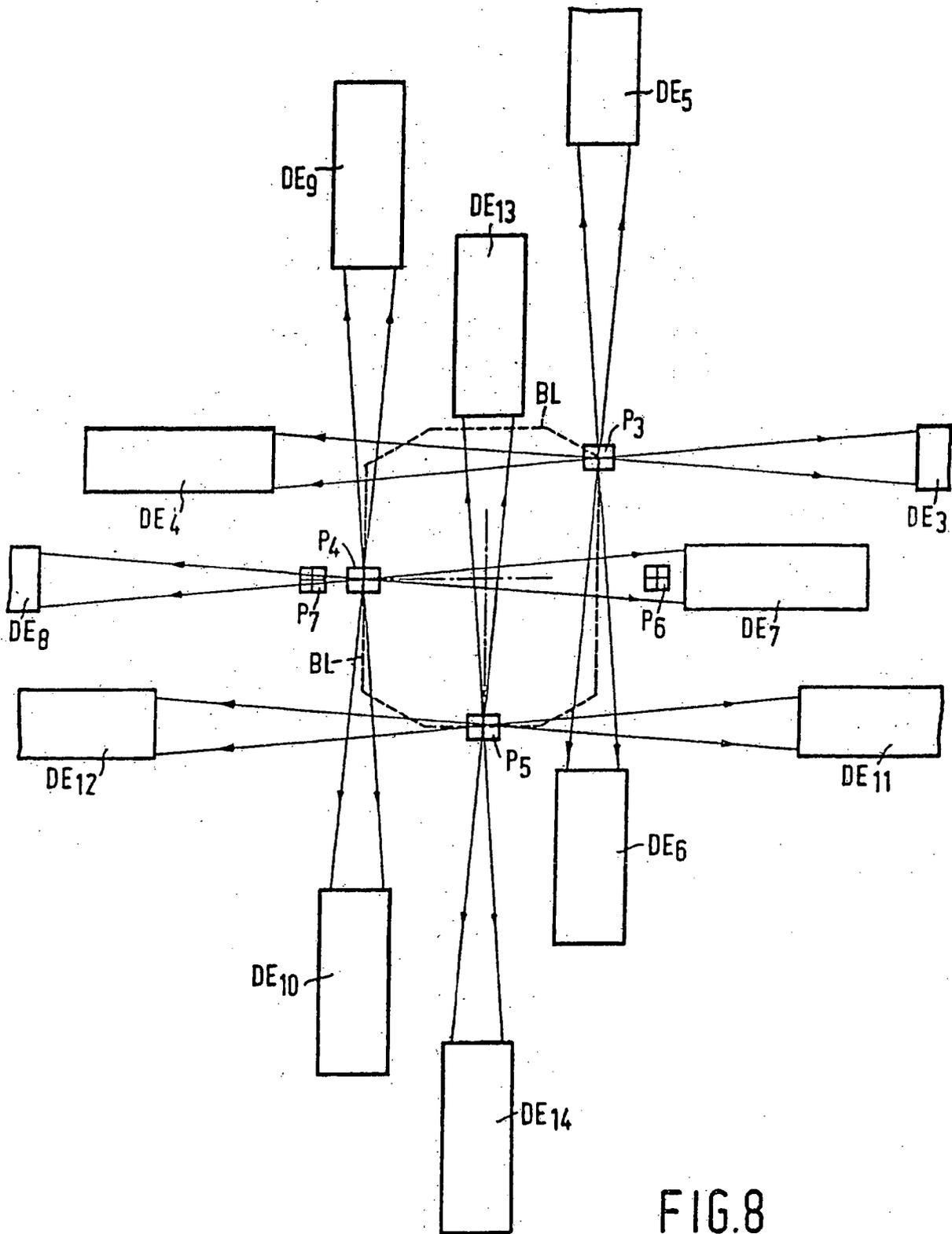


FIG.8

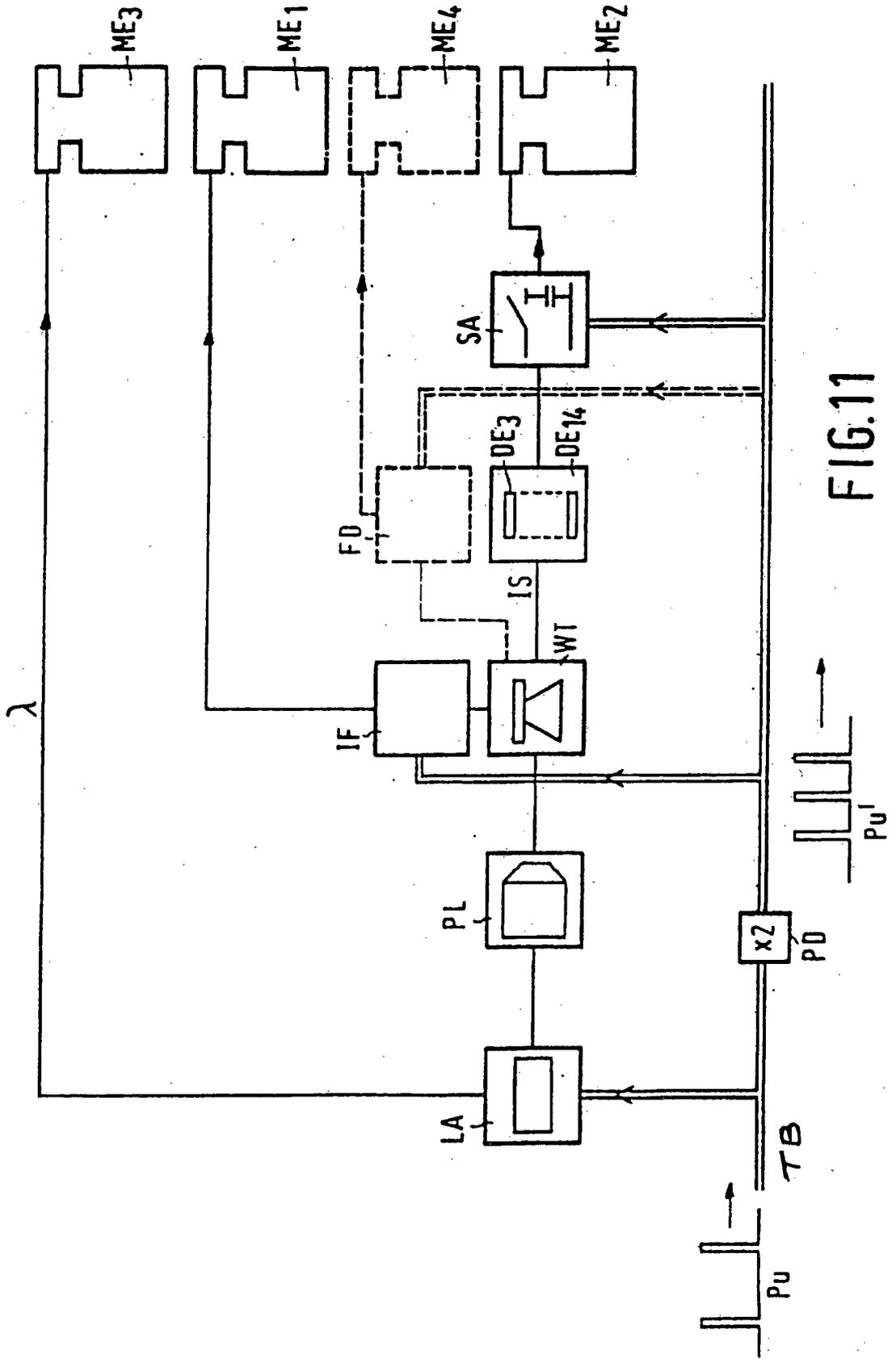


FIG.11

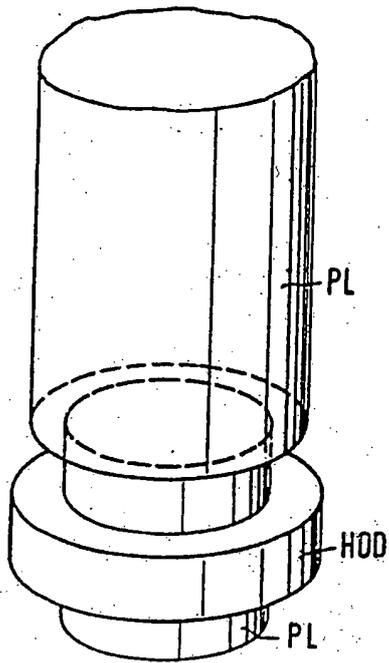


FIG. 12a

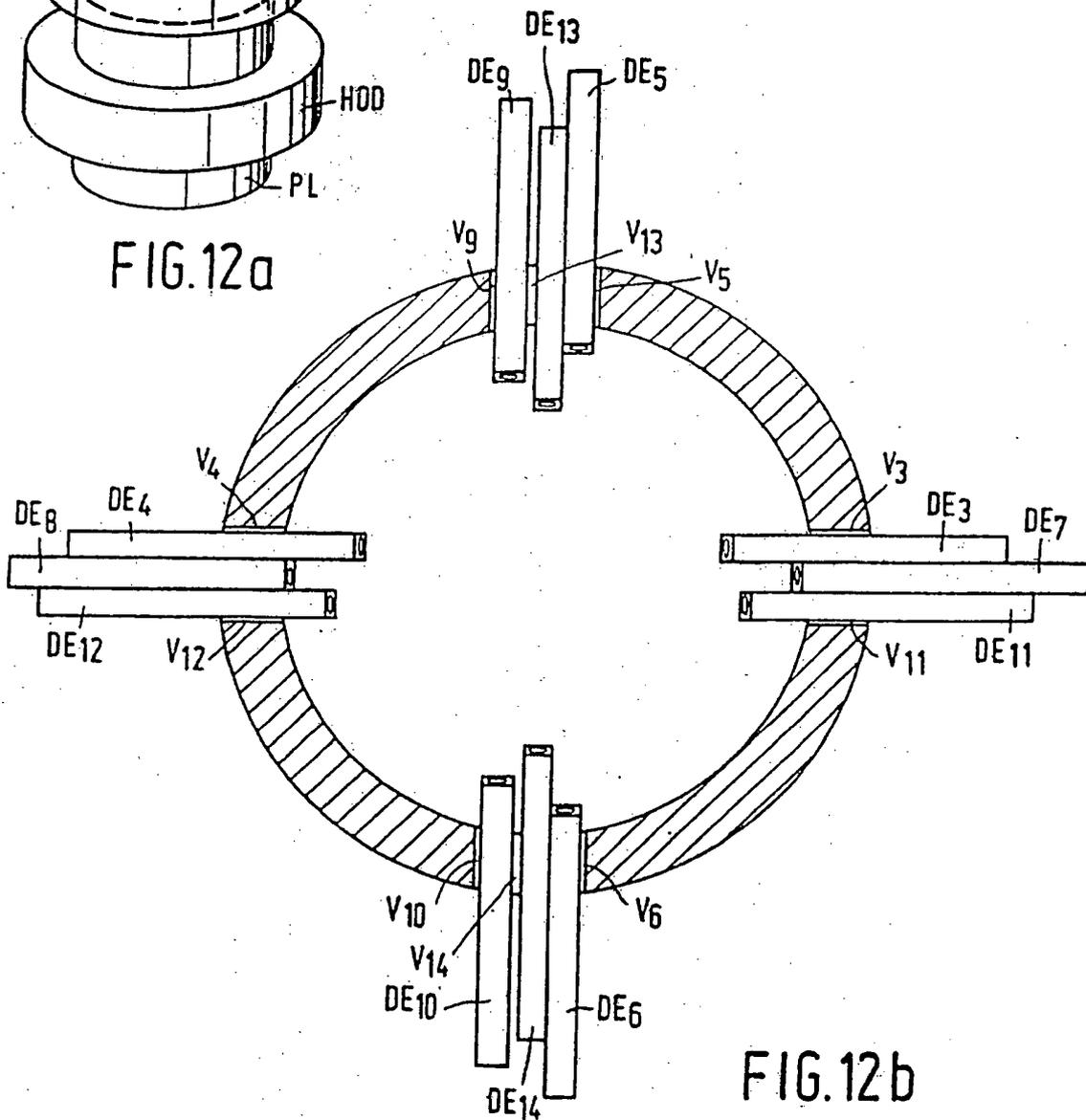


FIG. 12b

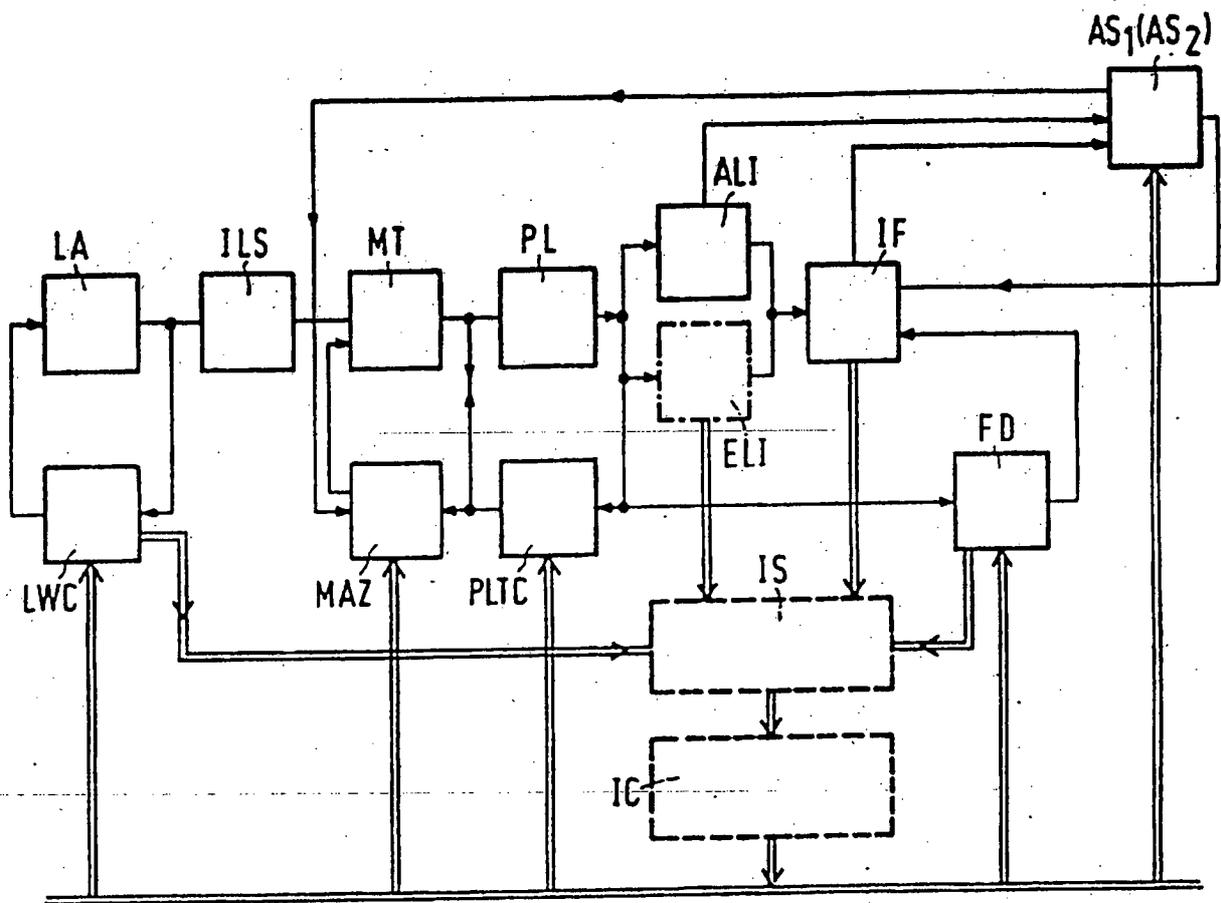


FIG.13