(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 695 31 854 T2** 2004.08.19

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 721 608 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 31 854.3**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB95/00592**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 925 089.5**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 96/004592**
(86) PCT-Anmeldetag: **28.07.1995**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **15.02.1996**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **17.07.1996**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **01.10.2003**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **19.08.2004**

(51) Int Cl.[7]: **G03F 9/00**

(30) Unionspriorität:

94202240	**02.08.1994**	**EP**
95200399	**20.02.1995**	**EP**

(73) Patentinhaber:
Koninklijke Philips Electronics N.V., Eindhoven, NL

(74) Vertreter:
Meyer, M., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 52076 Aachen

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(72) Erfinder:
DIRKSEN, Peter, NL-5621 BA Eindhoven, NL; VAN DER WERF, Evert, Jan, NL-5621 BA Eindhoven, NL

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR WIEDERHOLTEN ABBILDUNG EINES MASKENMUSTERS AUF EINEM 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 vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur wiederholten Abbildung eines Maskenmusters, vorgesehen in einem Maskentisch, auf einem Substrat, vorgesehen in einem Substrattisch, mit Hilfe eines Projektionsbündels, wobei dieses Verfahren die nachfolgenden Verfahrensschritte umfasst:

– das Anbringen einer Maske mit wenigstens einer Testmarkierung in dem Maskentisch, wobei diese Testmaskierung eine periodische Struktur von Streifen hat, die sich mit zwischenliegenden Streifen abwechseln, die für die Strahlung des Projektionsbündels nicht transparent sind;

– das Anbringen eines Substrats mit einer strahlungsempfindlichen Schicht in dem Substrattisch (WT);

– das Projizieren des Bildes wenigstens einer Testmarkierung der Maske in der strahlungsempfindlichen Schicht mit Hilfe des Projektionsbündels und eines Projektionssystems;

– das Detektieren des genannten Bildes mit Hilfe einer Ausrichteinrichtung zum Ausrichten einer Ausrichtmarkierung einer Maske gegenüber einer Ausrichtmarkierung eines Substrats;

– das Einstellen wenigstens eines Parameters, der die Qualität und die Position des Maskenmusterbildes beeinflusst, mit Hilfe des Ausgangssignals der Testmarkierungsbilddetektionsanordnung und

– das wiederholte Abbilden einer Produktionsmaske an aufeinander folgenden verschiedenen Stellen auf einem Produktionssubstrat.

[0002] Die vorliegende Erfindung bezieht sich ebenfalls auf eine Testmaske, die insbesondere geeignet zur Verwendung bei dem Verfahren und bei der Anordnung zur wiederholten Abbildung eines Maskenmusters, vorgesehen in einer Maske, auf einem Substrat, womit das Verfahren durchgeführt werden kann.

[0003] Das Projektionsbündel kann durch ein Bündel optischer Strahlung, beispielsweise tiefe UV-Strahlung, gebildet werden, die beispielsweise in einer optischen lithographischen Einrichtung verwendet wird zur wiederholten Abbildung eines IC-Maskenmusters auf einem Substrat entsprechend dem Schrittprinzip oder entsprechend dem Schritt-und-Abtastprinzip. In dem Schrittverfahren wird ein IC-Maskenmuster auf dem Substrat abgebildet, und zwar in einem ersten IC-Gebiet, danach wird das Substrat gegenüber dem Maskenmuster verlagert, bis ein zweites IC-Gebiet des Substrats sich unterhalb des Maskenmusters befindet und dieses Muster ein zweites Mal abgebildet wird, daraufhin wird das Substrat wieder verlagert usw., bis ein Bild des Maskenmusters in allen IC-Gebieten des Substrats gebildet worden ist. In dem Schritt-und-Abtastverfahren wird das IC-Maskenmuster nicht in einem Blitz abgebildet, sondern dabei wird ein schmales Projektionsbündel verwendet, das jeweils einen Teil des Musters entsprechend dem Bündeldurchmesser, projiziert und das Maskenmuster sowie das Substrat werden gegenüber diesem Bündel verlagert bis dieses Bündel das komplette IC-Muster abgetastet hat und ein komplettes Bild des IC-Musters in einem ersten IC-Gebiet des Substrats erzeugt worden ist. Daraufhin wird das Substrat verlagert, bis ein zweites IC-Gebiet unter dem Maskenmuster liegt und der Prozess der Abbildung durch Abtastung wiederholt wird, usw.

[0004] Das Projektionsbündel kann nicht nur ein optisches Bündel sein, sondern auch ein Bündel mit geladenen Teilchen, wie ein Elektronenbündel oder ein Ionenbündel, mit dem eine Abbildung eines Maskenmusters in einer Schicht gebildet werden kann, und zwar mit Hilfe eines geeigneten Projektionssystems und wobei ein derartiges Bündel Änderungen der Brechzahl in dieser Schicht verursacht, oder chemische Änderungen, die in optisch detektierbare Änderungen umgewandelt werden können.

[0005] Aus dem Obenstehenden dürfte es einleuchten, dass das Projektionssystem ein optisches Linsensystem sein kann, aber auch ein System, wie ein elektronisches Linsensystem, das zur Abbildung mit Hilfe eines Strahles mit geladenen Teilchen benutzt wird.

[0006] Ein derartiges Verfahren und eine optische Einrichtung zur wiederholten Abbildung eines IC-Maskenmusters auf IC-Produktionssubstraten sind bekannt, und zwar aus dem Artikel: "In-process Image Detecting Technique for Determination of Overlay, and Image Quality for ASM-L Waferstepper" in : "Spie" Heft 1674 "Optical/Laser Microlithography V (1992)". Wie in diesem Artikel beschrieben, kann in der Einrichtung eine Testmaske vorgesehen sein und auf einem Testsubstrat oder einem Produktionssubstrat abgebildet werden, bevor mit dem Produktionsprojektionsprozess angefangen wird, d. h. vor der Bildung von Produktionsmaskenmustern auf Produktionssubstraten. Die Projektionsbündelstrahlung, die via die Maske auf den auf dem Substrat vorgesehenen Photoresist trifft, verursacht eine optisch detektierbare Änderung in dieser Schicht, vorwiegend eine Änderung der Brechzahl, entsprechend einem Muster, das dem Muster der Maske entspricht. Dieses Muster in dem Photoresist, der noch nicht entwickelt worden ist, wird auch als latentes Bild bezeichnet. Dieses latente Bild kann für mehrere Zwecke benutzt werden, insbesondere für eine allgemeine Ausrichtung der Maske gegenüber dem Substrat und zur Kontrolle kritischer Liniendicken in der Maskenmusterabbildung, der Vergrößerung, der Strahlungsenergiemenge, der Fokussierung des Projektionsbündels auf den Photoresist und Variationen in dem Bild durch u. a. eine Temperaturschwankung. Statt auf einem Testsubstrat können latente Abbildungen auf alternative Weise auch auf einem Produktionssubstrat gebildet werden, wobei die Anzahl IC-Muster, die auf

dem Substrat gebildet werden können, um die Anzahl auf diesem Substrat für Kontrollzwecke geforinter latenter Bilder reduziert wird.

[0007] Der Vorteil der Latentbilddetektion ist, dass die genannte Ausrichtung und die Überprüfungen in der Einrichtung selber durchgeführt werden können und dass es nicht länger notwendig ist, wie bisher, das Substrat mit der Testmaskenabbildung aus der Einrichtung zu entfernen, es zu entwickeln und es mit Hilfe beispielsweise eines abtastenden Elektronenmikroskops zu kontrollieren, was zeitaufwendig ist, wobei in dieser betreffenden zeit die Einrichtung nicht verwendet werden kann.

[0008] Der genannte Artikel in Spie Vol. 1674 konzentriert sich auf die Determinierung der optimalen Fokussierung, indem die Ausrichteinrichtung der Projektionseinrichtung zum Detektieren der latenten Abbildung benutzt wird. Diese Ausrichteinrichtung ist vorhanden in der Einrichtung zum Detektieren des Ausmaßes, in dem eine Maske gegenüber einem Substrat ausgerichtet ist. Diese Einrichtung benutzt die Ausrichtmarkierungen in dem Substrat und benutzt wenigstens eine Ausrichtmarkierung in der Maske, die aufeinander abgebildet werden und ein Ausrichtsignal ergeben, durch das die Lage des Substrats gegenüber der Maske derart korrigiert werden kann, dass die Maske und das Substrat immer einwandfrei gegenüber einander ausgerichtet sind.

[0009] Dem genannten Artikel in Spie Vol. 1674 liegt die Ausrichteinrichtung zugrunde, in der die Ausrichtmarkierungen die Form optischer Gitter haben und wobei nur die Strahlung eines in den ersten Beugungsgrößen gebeugten Ausrichtbündels detektiert wird. Die Ausrichtgitter haben Gitterperioden, die größer sind als die Auflösungsleistung des Projektionslinsensystems. Mit diesen Gittern kann ein genaues Ausrichtsignal erhalten werden. Das optische System zum Abbilden dieser Ausrichtgitter aufeinander hat eine relativ große Fokustiefe und ist dadurch relativ unempfindlich für Fokusfehler, so dass die Ausrichteinrichtung primär ungeeignet ist zum Detektieren von Fokusfehlern.

[0010] Entsprechend dem Artikel in Spie vol. 1674 ist es möglich, mit der Ausrichteinrichtung einen Fokusfehler zu detektieren, wenn ein latentes Bild einer Testmarkierung in dem Photoresist gebildet wird, wobei diese Testmarkierung eine Basisstruktur hat, die derjenigen der Ausrichtmarkierung entspricht, wobei aber die Streifen in eine Anzahl Hilfsstreifen aufgeteilt werden, die für die Projektionsbündelstrahlung wechselweise durchlässig und nicht durchlässig sind. Die Streifenstruktur hat eine Periode, die von der Größenordnung des Auflösungsvermögens des Projektionslinsensystemsfst, so dass die Struktur des latenten Bildes der Tastmarkierung und folglich die Amplitude des Signals der Ausrichteinrichtung abhängig ist von dem Ausmaß, in dem das Projektionsbündel auf den Photoresist fokussiert ist. Dieses Signal kann zum Detektieren von Fokusfehlern benutzt werden. Der Vorteil der Verwendung dieser Testmarkierung ist, dass es nicht notwendig ist, eine einzelne Latentbild-Detektionseinrichtung in die Projektionseinrichtung einzubauen. Das auf diese Weise erhaltene Fokusfehlersignal hat aber eine relativ kleine Amplitude, während die Signalkurve eine relativ flache Variation hat, so dass es schwer ist, den Fokusfehler mit einer ausreichenden Genauigkeit zu ermitteln. Weiterhin ist bei diesem und bei anderen bekannten Verfahren der Latentbilddetektion, wodurch Änderungen der Amplitude des Detektionssignals ermittelt werden, das Messergebnis abhängig ist von Schwankungen des Reflexionskoeffizienten des Substrats plus Photoresist und von Variationen in der Dicke des Photoresists, wobei diese Variationen zu Variationen der Strahlungsenergie, absorbiert durch den Photoresist, und folglich zu Variationen des Brechzahlrpofils in dem Photoresist führen.

[0011] Es ist nun u. a. eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Testmarkierungsbilddetektionsverfahren u. a. für eine Fokusmessung in einer lithographischen Projektionseinrichtung zu schaffen, das die obengenannten Nachteile nicht aufweist und ein zuverlässiges und genaues Signal liefert, während die Vorteile des Verfahrens nach dem Artikel Spie vol. 1674 beibehalten werden.

[0012] Das neue Verfahren ist nicht nur geeignet zur Detektion von Latentbildern, sondern kann ebenfalls mit großem Vorteil zur Untersuchung entwickelter Bilder angewandt werden, die durch ihre Entwicklung, in Phasenstrukturen umgewandelt worden sind. Detektion entwickelter Bilder ist insbesondere wichtig, wenn Photoresists verwendet werden, die insbesondere geeignet sind für Strahlung mit einer Wellenlänge in dem weiten ITV-Bereich und mit der IC-Maskenbilder mit sehr geringen Linienbreiten in der Größenordnung von 0,25 µm, verwirklicht werden können.

[0013] Dazu weist das Verfahren nach der vorliegenden Erfindung das Kennzeichen auf, dass eine asymmetrische Testmarkierung verwendet wird, deren Streifen teilweise für die Projektionsbündelstrahlung transparent sind und teilweise aus einer Anzahl Hilfsstreifen bestehen, die für die Projektionsbündelstrahlung abwechselnd transparent und nicht transparent sind, und dass die Testmarkierungsbilddetektion aus einer ersten Detektion, die das Testmarkierungsbild gegenüber einer Maskenmarkierung ausrichtet, und einer nachfolgenden Detektion einer Änderung in der Asymmetrie des Testmarkierungsbildes besteht, verursacht durch einen zu messenden Parameter und von der Ausrichteinrichtung als eine Verschiebung des Testmarkierungsbildes betrachtet.

[0014] Das Testmarkierungsgebiet kann ein latentes Bild, d. h. ein nicht entwickeltes Bild, und ein Bild sein, das entwickelt ist und durch diese Entwicklung eine Phasenstruktur erhalten hat. Es kann aber auch ein Bild sein, das nachdem es projiziert worden ist, erhitzt wird, so dass über chemische Reaktionen ein latentes Bild erzeugt wird, d. h. ein Bild das optische Weglängen in einem Detektionsbündel verursacht.

Dieses letztere Bild wird als PEB ("Post-Exposure Baking") Bild bezeichnet.

[0015] Dieses Verfahren, es wird die Tatsache benutzt, dass, wenn zwei symmetrische Ausrichtmarkierungen gegenüber einander ausgerichtet werden, die Ausrichteinrichtung bestätigt, dass die Mitte einer dieser Markierungen mit der Mitte der zweiten Markierung zusammenfällt, während, wenn eine symmetrische Testmarkierung gegenüber einer Ausrichtmarkierung ausgerichtet wird, die genannte Einrichtung angibt, dass die Mitte dieser Testmarkierung gegenüber der Mitte, oder dem Schwerpunkt der Ausrichtmarkierung verschoben wird.

[0016] Weiterhin liegt dem Verfahren nach der vorliegenden Erfindung die Erkenntnis zugrunde, dass dadurch, dass der nicht lineare Effekt des Photoresists benutzt wird, d. h. die Quantität des aktivierten Materials dieses Resists nimmt nicht linear mit der Quantität der eingefangenen Strahlung zu und dass durch Überbelichtung des Photoresists die genannte Verschiebung des Schwerpunktes u. a. von der Fokussierung des Projektionssystems abhängig sein wird. Wenn das Projektionssystem gegenüber der Ebene des Photoresists defokussiert wird, würde der Kontrast des in dieser Ebene gebildeten Luftbildes beim Fehlen dieses Resists reduziert werden. Für das in dem Photoresist gebildete latente Bild hat eine Defokussierung das Ergebnis, dass die Brechzahl von Teilen der zweiten Teilstreifen mit der Brechzahl der ersten Teilstreifen und des genannten zentralen Teils besser übereinstimmt. Durch die Überbelichtung des bei der Fokusdetektion angebrachten Photoresists verschwindet die Brechzahldifferenz sogar für einige Teile. Bei zunehmender Defokussierung werden die genannten Teile größer sein und das latente Bild wird weniger asymmetrisch sein und eher die Form einer symmetrischen Ausrichtmarkierung annehmen.

[0017] Im Allgemeinen ist die Variation Δ proportional zu $n_o(1 – e^{E/Eo})$, wobei n_o die Ausgangsbrechzahl ist, wobei E die aktuelle Beleuchtungsdosis ist und wobei Eo ein bestimmter Schwellenwert für die Beleuchtungsdosis ist. Für Überbelichtung gilt: E > Eo; denn die Brechzahl ändert sich nicht länger linear mit E.

[0018] Auch das entwickelte Bild einer asymmetrischen Testmarkierung wird allmählich symmetrisch, wenn das Bild immer mehr defokussiert. Dies gilt ebenfalls für ein asymmetrisches PEB-Bild.

[0019] Wenn die Ausrichteinrichtung das Testmarkierungsbild sieht, wird eine Änderung der Asymmetrie darin, beispielsweise verursacht durch einen Fokusfehler, als eine Verschiebung des Bildes gegenüber einem Bezugswert interpretiert. Dieser Bezugswert wird dadurch erhalten, dass bevor das Testmarkierungsbild detektiert wird, beispielsweise das Substrat und die Maske gegenüber einander mit Hilfe der (globalen) Ausrichtmarkierungen genau ausgerichtet werden, wobei diese Ausrichtmarkierungen bereits in der Maske und in dem Substrat vorhanden sind, und dadurch, dass daraufhin das Testmarkierungsbild in Richtung des Ausrichtbündels verschoben wird, und zwar mit Hilfe derselben Ausrichteinrichtung unter einer genauen Verlagerungsmessung und unter Ansteuerung mit Hilfe eines Mehrachsen-Iriterferometersystems, das in der Proj ektionseinrichtung zur Ermittlung der gegenseitigen Bewegungen des Substrattisches und des Maskentisches bereits vorhanden ist. Durch einen Vergleich der detektierten Lage des Testmarkierungsbildes mit dem genannten Bezugswert, erfordert die aktuelle Verlagerung des Testmarkierungsbildes durch einen Fokusfehler den Effekt eines Null-Versatzes des Ausrichtsignals. Dieser Null-Versatz ist maximal bei der einwandfreien Fokussierung und minimal bei einer ausreichend großen Defokussierung. Auf diese Weise wird während der Projektion eine Defokussierung in eine deutliche Verschiebung des latenten Bildes umgesetzt und nicht länger in eine Änderung der Intensität des Ausrichtbündels, wie in der in dem genannten Artikel in Spie vol. beschriebenen Einrichtung. Da die Fokusdetektion nun hohe Beleuchtungsmengen benutzt, und der Photoresist während der Projektion gesättigt wird, ist die gemessene Verschiebung und folglich die Fokusdetektion unempfindlich für Variationen der Reflexionskoeffizienten von Substrat und Photoresist und für Variationen der Dicke des Photoresists.

[0020] Eine erste Ausführungsform des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung weist weiterhin das Kennzeichen auf, dass das in dem Photoresist gebildete latente Bild mit Hilfe der Ausrichteinrichtung detektiert wird, nachdem die Testmarkierung in dem genannten Photoresist abgebildet worden ist.

[0021] Dies bietet die Möglichkeit einer schnellen Messung von beispielsweise Fokusfehlern.

[0022] Eine zweite Ausführungsform des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung weist das Kennzeichen auf, dass das Substrat von dem Substrattisch entfernt wird, danach entwickelt und dann wieder auf den Substrattisch gelegt wird, nachdem die Testmarkierung in dem Photoresist abgebildet worden ist, wonach das entwickelte Testmarkierungsbild mit Hilfe der Ausrichteinrichtung detektiert wird.

[0023] Auf diese Weise können Detektorsignale mit großen Amplituden erhalten werden.

[0024] Die beiden Ausführungsformen bieten den Vorteil, dass die Testmarkierungsbilder in derselben Einrichtung gemessen werden, mit der die Bilder geformt worden sind, und dass die Messung im Vergleich mit der Verwendung eines optischen oder eines elektronischen Mikroskops schneller durchgeführt werden kann.

[0025] Eine Ausführungsform des Verfahrens, bei dem ein besserer Bezugswert für das Testmarkierungsbildsignal erhalten wird, weist das Kennzeichen auf, dass eine doppelte Markierung verwendet wird, die aus der genannten Testmarkierung und einer assoziierten Ausrichtmarkierung besteht, deren periodische Struktur unverteilter Streifen und zwischenlie-

gender Streifen der der Testmarkierung entspricht, und dass die genannte Ausrichtmarkierung zum Ausrichten der Testmarkierung verwendet wird.

[0026] Da die als Bezugswert verwendete Ausrichtmarkierung in der Nähe der Testmarkierung liegt, wird der Bezugswert wesentlich zuverlässiger sein als wenn dieser von einer Ausrichtmarkierung hergeleitet wird, die in einem größeren Abstand von der Testmarkierung entfernt ist.

[0027] In der Ausrichteinrichtung werden vorzugsweise Ausrichtmarkierungen verwendet, die eine Anzahl linearer Gitter enthalten, sowie ein Detektor, der in eine entsprechende Anzahl Teile aufgeteilt ist. Wenn die Gitterstreifen eines der Gitter senkrecht auf denen des anderen Gitters stehen, kann die Ausrichtung in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen ermittelt werden. Um imstande zu sein, diese bevorzugte Ausführungsform der Ausrichteinrichtung zu verwenden, benutzt ein weiteres charakteristisches Merkmal des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung eine Testmarkierung mit einer Anzahl Teile, während die Richtung der Streifen und der zwischenliegenden Streifen eines Teils senkrecht auf der Richtung der Streifen und der zwischenliegenden Streifen eines anderen Teils steht.

[0028] Wenn das Testmarkierungsbild nur zum Durchführen einer begrenzten Anzahl Messungen benutzt wird, beispielsweise der Messung der optimalen Fokussierung und/oder der Beleuchtungsdosis, kann das Verfahren nach der vorliegenden Erfindung weiterhin das Kennzeichen aufweisen, dass eine Produktionsmaske verwendet wird, die mit wenigstens einer Testmarkierung versehen ist.

[0029] Eine begrenzte Anzahl Testmarkierungen kann auf einer Produktionsmaske vorgesehen werden, beispielsweise nahe bei den Ausrichtmarkierungen, die sowieso vorhanden sind, so dass es nicht notwendig ist, eine separate Testmarkierung zu verwenden.

[0030] Zum Erhalten eines großen Freiheitsgrades in der Wahl der Positionen der Testmarkierungsbilder auf dem Substrat und folglich in den Messmöglichkeiten, weist das Verfahren nach der vorliegenden Erfindung weiterhin das Kennzeichen auf, dass eine Testmaske verwendet wird, die mit wenigstens einer Testmarkierung versehen ist.

[0031] Nach der Durchführung von Messungen an und/oder mit Hilfe von Testmarkierungsbildern, wird diese Testmaske durch eine Produktionsmaske ersetzt.

[0032] Eine weitere Ausführungsform des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung weist weiterhin das Kennzeichen auf, dass eine Anzahl Bilder von wenigstens einer Testmarkierung in dem Photoresist gebildet wird, jeweils mit einer anderen Fokussierung des Projektionssystems, dass der Photoresist während vieler Bilder der Testmarkierung überbelichtet wird und dass die optimale Fokussierung des Projektionssystems aus den Signalen ermittelt wird, die erhalten werden, wenn jedes der genannten Bilder mit Hilfe der Ausrichteinrichtung detektiert wird.

[0033] Mit der auf diese Art und Weise erhaltenen Information kann der optimale Fokus für die vorwiegenden Umstände eingestellt werden, bevor ein Projektionsmaskenmuster auf ein Produktionssubstrat projiziert wird, wobei u. a. berücksichtigt wird, dass der Entwicklungsprozess dennoch durchgeführt werden soll.

[0034] Diese Ausführungsform kann weiterhin das Kennzeichen aufweisen, dass das optimale Fokussierungssignal, erhalten durch die Testmarkierungsbilddetektion, mit einem Fokusmesssignal verglichen wird, erhalten mit Hilfe einer einzelnen Fokusmesseinrichtung und verwendet zum Kalibrieren der letztgenannten Einrichtung.

[0035] Die einzelne Fokusmesseinrichtung kann gebildet werden, wie in dem US Patent 4.356.392 beschrieben. In dieser Einrichtung wird ein Fokusmessbündel um das Projektionslinsensystem herum schräg auf das Substrat gerichtet und das an dem Substrat reflektierte Bündel wird von einem für die Lage empfindlichen Fokusdetektor empfangen. Der Abstand zwischen dem Substrat und dem Projektionslinsensystem, mit dem die Fokusmesseinrichtung verbunden ist, kann aus der Lage des Punktes des Hauptbündels des reflektierten Fokusmessbündels an dem Detektor ermittelt werden. Diese Fokusmesseinrichtung wird benutzt zum Messen des genannten Abstandes während des Produktionsprojektionsprozesses und zum Korrigieren etwaiger Fokusfehler unter Bezugnahme des Messergebnisses. Andere bekannte Einrichtungen, wie beispielsweise diejenigen, die in US Patent 5.191.200 beschrieben worden sind, können auf alternative Weise für die Fokusmesseinrichtung verwendet werden.

[0036] Eine andere Ausführungsform des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung weist weiterhin das Kennzeichen auf, dass in dem Photoresist ein einziges Bild von wenigstens einer Testmarkierung gebildet wird, wobei eine bestimmte Beleuchtungsdosis verwendet wird, dass der mit dieser Beleuchtungsdosis assoziierte und durch die Asymmetrie in dem ausgerichteten Testmarkierungsbild bestimmte Ausrichtsignalversatz ermittelt wird, und dass bei weiteren Messungen überprüft wird, ob dieser Versatz beibehalten wird.

[0037] Vor dieser Messung kann die beste Beleuchtungsdosis für diese Kombination einer Projektionseinrichtung und eines bestimmten Photoresists bestätigt werden. Dies kann beispielsweise auf eine herkömmliche Art und Weise dadurch effektuiert werden, dass in dem Photoresist eine Anzahl Maskenmusterbilder gemacht werden, jeweils unter Verwendung einer anderen Beleuchtungsdosis, dass danach das Substrat mit dem Photoresist aus der Projektionseinrichtung entfernt und entwickelt wird, und dass zum Schluss die einzelnen Bilder in einem abtastenden elektronischen Mikroskop betrachtet werden um sicher zu sein, welche Beleuchtungsdosis die besten Resultate ergeben. Die auf diese An und Weise er-

mittelte optimale Beleuchtungsdosis ist die "bestimmte" Beleuchtungsdosis, die bei dem letztgenannten Verfahren verwendet wird.

[0038] Unter Beleuchtungsdosis wird in diesem Zusammenhang die gesamte Strahlungsenergie verstanden, die von dem Substrat aufgenommen wird, wenn ein einziges Bild gebildet wird. Diese Energie kann auf eine gepulste Weise zugeführt werden.

[0039] Es hat sich herausgestellt, dass es sogar, wenn keine Überbelichtung zur Darstellung einer Testmarkierung in dem Photoresist angewandt wird, dennoch einen ausreichend großen nicht linearen Effekt in dieser Schicht gibt, während bei Variation der Beleuchtungsdosis solche deutliche Verlagerungen, beispielsweise einige mit je m Joule/cm^2 des Testmarkierungsbildes auftreten, dass diese mit einer ausreichend großen Genauigkeit mit Hilfe der Ausrichteinrichtung gemessen werden können. Auf diese Weise kann die Beleuchtungsdosis auf einige m Joules genau eingestellt werden.

[0040] Wenn das durch Testmarkierungsbilddetektion erhaltene und mit der optimalen Beleuchtungsdosis assoziierte Signal dazu neigt, unzuverlässig zu werden, weil dieses Signal zu klein wird, kann die Messung um bestimmende Ausrichtsignaloffsets für verschiedene Beleuchtungsmengen erweitert werden und es können assoziierte Ausrichtsignaloffsets gemacht und gespeichert werden, welcher Tisch in einer späteren Stufe benutzt werden kann zum Befestigen und möglicherweise Korrigieren der wirklich verwendeten Beleuchtungsdosis.

[0041] In den genannten Beleuchtungsdosisoffsetmessungen werden Beleuchtungsmengen zwischen 100 und 300 mJ/cm^2 verwendet.

[0042] Eine bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung weist das Kennzeichen auf, dass eine Testmaske verwendet wird, in der eine Anzahl Testmarkierungen vorgesehen ist, dass die genannte Testmaske eine Anzahl Male in verschiedenen Gebieten des Photoresists abgebildet wird, jeweils mit einer anderen Fokussierung des Projektionssystems, dass die optimale Fokussierung für jede Testmarkierung aus den Signalen ermittelt wird, die erhalten werden, wenn jedes Bild detektiert wird, das mit der genannten Testmarkierung assoziiert ist, und zwar mit Hilfe der Ausrichteinrichtung, und dass optische Eigenschaften des Projektionslinsensystems durch einen Vergleich der optimalen Fokussierungswerte für die verschiedenen Testmarkierungen ermittelt werden.

[0043] Auf diese Weise können mehrere Parameter des Projektionssystems, wie Feldkrümmung und Astigmatismus, Verzerrung und Neigung ermittelt werden. Das Projektionssystem kann mit Hilfe der Ergebnisse dieser Messungen korrigiert werden.

[0044] Eine weitere Ausführungsform des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung weist das Kennzeichen auf, dass eine Anzahl Bilder mit gleichen Fokussierungswerten wenigstens einer Testmarkierung in verschiedenen Gebieten des Photoresists gebildet wird und dass die Signale, erhalten, wenn die gebildeten Bilder detektiert werden, mit Hilfe der Ausrichteinrichtung miteinander verglichen werden.

[0045] Das Substrat kann beispielsweise über die Testmaske auf eine ähnliche An und Weise beleuchtet werden, wie die in der Praxis üblich ist zum Beleuchten eines Produktionssubstrats über eine Produktionsmaske, d. h. in allen Gebieten des Substrats, wo eine IC gebildet werden soll, wird ein Testmarkierungsbild gemacht. Daraufhin kann durch Detektion der latenten Bilder in den verschiedenen Gebieten das Verhalten der Projektionseinrichtung über die ganze Substratfläche, wie das Verhalten des Substrattisches, relativ schnell ermittelt werden. Auf diese Weise kann die Schräge oder die Unebenheit in dem Substrat plus Photoresist ermittelt werden. Die auf diese An und Weise erhaltene Information kann in einer späteren Stufe benutzt werden, wenn die einzelnen IC-Gebiete eines Produktionssubstrats über eine Produktionsmaske beleuchtet werden.

[0046] Bei dieser Ausführungsform des Verfahrens reicht es eine einzige Testmarkierung in den verschiedenen IC-Gebieten des Photoresists abzubilden, während gewährleistet wird, dass die Fokussierung für jedes Bild dieselbe ist. Eine genauere Messung ist möglich, wenn diese Ausführungsform weiterhin das Kennzeichen aufweist, dass eine Anzahl Bilder der Testmarkierung j eweils mit einer anderen Fokussierung in jedem der genannten Gebiete des Photoresists gebildet wird, dass die optimale Fokussierung für jedes der genannten Gebiete bestimmt wird und dass die genannten optimalen Fokussierungswerte miteinander verglichen werden.

[0047] Die vorliegende Erfindung bezieht sich ebenfalls auf eine neue Testmaske zur Verwendung bei dem oben beschriebenen Verfahren. Diese Testmaske, die mit wenigstens einer Testmarkierung und wenigstens einer Ausrichtmarkierung versehen ist, wobei die Ausrichtmarkierung eine periodische Struktur von Streifen hat, die für das Projektionsbündel transparent sind und sich abwechseln mit undurchlässigen zwischenliegenden Streifen, weist das Kennzeichen auf, dass die Testmarkierung eine ähnliche Struktur hat mit derselben Periode wie die der Ausrichtmarkierung, und dass die Streifen der Testmarkierung teilweise transparent sind für das Projektionsbündel und teilweise aus Hilfsstreifen bestehen, die abwechselnd transparent und undurchlässig für diese Strahlung sind.

[0048] Die genannte Ausrichtmarkierung kann durch die globale Ausrichtmarkierung gebildet werden, die ebenfalls in einer Produktionsmaske außerhalb des zum Ausrichten der Maske gegenüber dem Substrat zu projizierenden IC-Musters vorhanden ist. Durch Verwendung dieser Ausrichtmarkierung und der sehr genauen Interferometereinrichtung zur Verlagerung des Substrattisches kann die Testmarkierung in dem ausgerichteten Zustand in das Messbündel der Ausrichteinrichtung eingeführt werden.

[0049] Eine genauere Ausrichtung und eine schnellere Detektion der Testmarkierung kann aber verwirklicht werden, wenn die Testmaske weiterhin das Kennzeichen aufweist, dass die Ausrichtmarkierung von dem genannten Typ in der Nähe jeder Testmarkierung vorgesehen wird.

[0050] Eine bevorzugte Ausführungsform der Testmaske weit weiterhin das Kennzeichen auf, dass sie nebst einer Testmarkierung in der Mitte eine Testmarkierung in wenigstens den vier Ecken aufweist.

[0051] Mit einer derartigen Testmaske können die optischen Qualitäten des Projektionslinsensystems über das ganze Feld ermittelt werden, beispielsweise eine etwaige Neigung des Bildfeldes.

[0052] Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Testmaske weiterhin das Kennzeichen auf, dass jede Testmarke ein Gitter ist mit einer priodischen Struktur in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen.

[0053] Mit einer derartigen Testmaske kann das Verhalten des Projektionslinsensystems in der Projektionseinrichtung schnell in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen ermittelt werden, so kann beispielsweise der Astigmatismus dieses Systems gemessen werden.

[0054] Das Testmarkierungsgitter mit einer zweidimensionalen peiodischen Struktur kann durch ein Schachbrettgitter gebildet werden, das aus übereinander liegenden und nebeneinander liegenden Blöcken besteht, die abwechselnd durchlässig für Strahlung und nicht durchlässig für Strahlung sind. Ein derartiges Schachbrettgitter kann asymmetrisch gemacht werden, indem jeder durchlässige Block in einem nicht durchlässigen Teil und einen Teil aufgeteilt wird, der aus Hilfsstreifen besteht, die wechselweise durchlässig und nicht durchlässig für Strahlung sind.

[0055] Eine bevorzugte Ausführungsform der zweidimensionalen Testmarkierung weist aber das Kennzeichen auf, dass diese durch ein Gitter gebildet wird, das Gitterteile aufweist, in denen die Richtung der Gitterstreifen des einen Teils senkrecht auf die Richtung der Gitterstreifen des anderen Teils steht.

[0056] Die Testmaske nach der vorliegenden Erfindung kann weiterhin das Kennzeichen aufweisen, dass die Streifen jeder Testmarkierung drei transparente und drei undurchlässige Hilfsstreifen aufweisen.

[0057] Es hat sich herausgestellt, dass mit einer derartigen Testmaske für eine herkömmliche Ausführungsform des Projektionslinsensystems optimale Messergebnisse erreicht werden können.

[0058] Die Testmaske kann weiterhin das Kennzeichen aufweisen, dass die Teilstreifen einer Testmarkierung dieselbe Richtung haben wie die undurchlässigen zwischenliegenden Streifen der genannten Testmarkierung.

[0059] Die obengenannten Parameter des Projektionslinsensystems, wie Feldkrümmung, Astigmatismus, Verzerrung und Neigung können mit Hilfe dieser Testmarkierung ermittelt werden.

[0060] Auf alternative Weise kann die Testmaske weiterhin das Kennzeichen aufweisen, dass die Richtung der Hilfsstreifen einer Testmarkierung sich in einem scharfen Winkel zu der Richtung der undurchlässigen zwischenliegenden Streifen der genannten Testmarkierung erstreckt.

[0061] Der genannte Winkel ist beispielsweise 45°. Nebst den genannten Parametern kann der Astigmatismus ebenfalls in einem Winkel von 45° ermittelt werden, d. h. die Differenz zwischen den in den zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen gebildeten Brennpunkten, die sich in einem Winkel von 45° zu der X- und der Y-Richtung der Einrichtung erstrecken.

[0062] Die Testmarkierung nach der vorliegenden Erfindung kann weiterhin das Kennzeichen aufweisen, dass die Streifen breiter sind als die zwischenliegenden Streifen.

[0063] Durch die zweite, gröbere Asymmetrie, die in der Testmarkierung aufgebaut ist, wird der Effekt der ersten Asymmetrie, die durch die Aufteilung in Hilfsstreifen gegeben worden ist, verstärkt.

[0064] Die Testmarkierung kann aus vier gleich großen Teilen bestehen, die in einem Quadrat gegliedert sind. Eine andere Ausführungsform dieser Testmarkierung weist weiterhin das Kennzeichen auf, dass sie eine längliche Form hat und aus zwei Teilen besteht, wobei die Gitterstreifen des einen Teils senkrecht auf denen des anderen Teils stehen, und dass sie eine derartige Breite hat, dass sie in ein Zwischengebiet auf dem Substrat passt, das zwischen zwei Gebieten liegt, in denen ein Produktionsmaskenmuster abgebildet werden soll.

[0065] Das genannte zwischenliegende Gebiet wird auch als Schreibzeile bezeichnet. Die Anzahl IC-Gebiete auf dem Substrat kann beibehalten werden, wenn diese Testmarkierung verwendet wird, so dass die Testmarkierung durchaus geeignet ist zur Verwendung in Kombination mit einem Produktionssubstrat.

[0066] Nach einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung kann die Testmaske weiterhin das Kennzeichen aufweisen, dass die Testmarkierung eine gleiche Struktur und eine gleiche Periode hat wie die Ausrichtmarkierung, und dass die Testmarkierungsstreifen aus einem ersten transparenten Teil und einem zweiten undurchlässigen Teil bestehen, in dem transparente Submicrongebiete vorgesehen sind, wobei der genannte zweite Teil als Graufilter wirksam ist.

[0067] Die Submicrongebiete haben beispielsweise Abmessungen in der Größenordnung von 0,2 μm und können durch das Projektionslinsensystem nicht einzeln abgebildet werden, so dass diese Gebiete als graue Punkte in dem Photoresist projiziert werden. Es hat sich herausgestellt, dass diese Testmarkierung durchaus geeignet ist für Messungen von Beleuchtungsmengen. Wie nachher noch näher erläutert wird, ist das Bild dieser Testmarkierung maximal asymmetrisch bei einer niedrigen Beleuchtungsdosis

und dieses Bild wird immer symmetrischer bei einer zunehmenden Beleuchtungsdosis. Die Beleuchtungsdosis kann dann mit Hilfe der Ausrichteinrichtung gemessen werden, weil die Änderung der Symmetrie in einem deutlichen Offset des Testmarkierungsbildes gegenüber der Ausrichtmarkierung manifest wird.

[0068] Die Messung der Beleuchtungsdosis mit Hilfe der speziellen Testmarkierung kann an einem latenten Bild, dem PEB-Bild, oder an dem entwickelten Bild dieser Testmarkierung durchgeführt werden. Weiterhin kann die Breite der Streifen in dieser speziellen Testmarkierung ebenfalls derart gewählt werden, dass sie größer ist als die der zwischenliegenden Streifen, so dass wieder ein verbesserter asymmetrischer Effekt erhalten wird.

[0069] Die vorliegende Erfindung bezieht sich ebenfalls auf eine Einrichtung zur wiederholten Abbildung eines Maskenmusters auf einem Substrat, das mit einem Photoresist versehen ist, wobei diese Einrichtung nacheinander die nachfolgenden Elemente umfasst: ein Beleuchtungssystem zum Liefern eines Projektionsbündels, einen Maskentisch, ein Projektionslinsensystem und einen Substrattisch und ist weiterhin mit einer Ausrichteinrichtung zum Ausrichten einer Maske gegenüber einem Substrat versehen, sowie mit einer Testmarkierungsbilddetektionseinrichtung, die durch die Ausrichteinrichtung gebildet ist. Nach der vorliegenden Erfindung weist diese Einrichtung das Kennzeichen auf, dass die Testmarkierungsbilddetektionseinrichtung dazu vorgesehen ist, während jedes Testmarkierungsbilddetektionszyklus das Bild einer Testmarkierung und einer in einem bestimmten Abstand davon liegenden assoziierten Ausrichtmarkierung zu detektieren, und dass sie mit Mitteln versehen ist zum Ermitteln der Differenz zwischen den bemerkten ausgerichteten Positionen der zwei Markierungen.

[0070] Die genannten Mittel können durch elektronische Signalverarbeitungs- und -steuermittel gebildet werden, die zunächst ermitteln, dass das Bild einer Ausrichtmarkierung assoziiert mit der Testmarkierung gegenüber dieser Ausrichtmarkierung in der Maske ausgerichtet worden ist, danach den Positionierungsmittel des Substrattisches ein Steuersignal liefern, wodurch das Substrat über einen Abstand verlagert wird, der dem Abstand zwischen den Mitten der Bilder der Testmarkierung und der assoziierten Ausrichtmarkierung entspricht und zum Schluss die Differenz zwischen den bei der Detektion der genannten zwei Bilder erhaltenen Detektionssignalen ermittelt. Diese Differenz ist der oben genannte Offset des Ausrichtsignals.

[0071] Der Projektionseinrichtung, bei der das Verfahren nach der vorliegenden Erfindung angewandt wird, liegt die Erkenntnis zugrunde, dass nicht alle einzelnen Parameter, welche die Abbildungsqualität bestimmen genau bekannt sein soll, sondern dass die Bildqualität und die Bildlage als Ganzes bekannt sein soll und dass mit einer gemessenen Abweichung dieser Qualität und Lage die Messsignale simultan in einem Computer und über ein Modell verarbeitet werden können, das alle Parameter und deren gegenseitigen Beziehungen enthält, wie zum Bilden von Steuersignalen zum Korrigieren eines oder mehrerer Einrichtungsparameter derart, dass das Bild die gewünschte Qualität und Lage erfordert.

[0072] Über die Testmarkierungsbilddetektionseinrichtung werden die herkömmliche Fokusdetektionseinrichtung, die Ausrichteinrichtung und die Substrattischlagendetektionseinrichtung miteinander gekoppelt, so dass ein integriertes Messsystem erhalten wird, mit dem alle relevanten Parameter gemessen werden können.

[0073] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im vorliegenden Fall näher beschrieben. Es zeigen:

[0074] **Fig.** 1 eine schematische Ausführungsform einer Einrichtung zur wiederholten Abbildung eines Maskenmusters auf einem Substrat,

[0075] **Fig.** 2 eine Ausführungsform einer bekannten zweidimensionalen Ausrichtmarkierung zur Verwendung in einer derartigen Einrichtung,

[0076] **Fig.** 3 eine bekannte Ausführungsform einer Ausrichteinrichtung für eine derartige Einrichtung,

[0077] **Fig.** 4 eine bekannte Ausführungsform einer Fokusfehlerdetektionseinrichtung und einer Substrattischlagendetektionseinrichtung für diese Einrichtung,

[0078] **Fig.** 5 einen Schnitt durch die Projektionseinrichtung,

[0079] **Fig.** 6 eine Ausführungsform einer asymmetrischen Testmarkierung nach der vorliegenden Erfindung,

[0080] **Fig.** 7a und 7b die Variation des Latentbilddetektionssignals als eine Funktion der Defokussierung für zwei Richtungen,

[0081] **Fig.** 8a und 8b Signale, die erhalten werden, wenn ein Echtbild- bzw. ein Latentbild, gebildet in einem Photorisist, der Testmarkierung nach der vorliegenden Erfindung abgetastet wird,

[0082] **Fig.** 9 eine erste Ausführungsform einer Testmaske,

[0083] **Fig.** 10 die Variation des Latentbilddetektionssignals als eine Funktion der Defokussierung für verschiedene Beleuchtungsmengen,

[0084] **Fig.** 11 die Variation der besten Fokussierung mit der Beleuchtungsdosis,

[0085] **Fig.** 12 das Latentbilddetektionssignal als eine Funktion der Beleuchtungsdosis für zwei verschiedene Photoresists,

[0086] **Fig.** 13 und 14 zwei weitere Ausführungsformen einer Testmaske nach der vorliegenden Erfindung,

[0087] **Fig.** 15 und 16 die Brennebene und die astigmatische Ebene eines Projektionslinsensystems, gemessen mit Hilfe der Latentbilddetektion,

[0088] **Fig.** 17 die Verzerrung eines derartigen Systems,

[0089] **Fig.** 18 eine Testmarkierung und eine asso-

ziierte Bezugsmarkierung mit einer entgegengesetzten Symmetrie, und

[0090] **Fig.** 19 ein Diagramm der verschiedenen Testeinrichtungen der Projektionseinrichtung und der Verbindungen zwischen diesen Einrichtungen,

[0091] **Fig.** 20 eine Ausführungsform der Testmarkierung, mit der Astigmatismus bei einem Winkel zu der X- und Y-Richtung gemessen werden kann,

[0092] **Fig.** 21 die Kombination dieser Testmarkierung und einer Bezugsmarkierung mit einer gespiegelten Streifenstruktur,

[0093] **Fig.** 22 eine Testmarkierung, deren Streifen breiter sind als die zwischenliegenden Streifen,

[0094] **Fig.** 23 eine Testmarkierung, die dazu geeignet ist, in die Schreibleitung einer IC projiziert zu werden,

[0095] **Fig.** 24 eine Ausrichtmarkierung, die insbesondere geeignet ist zum Messen von Beleuchtungsmengen, und

[0096] **Fig.** 25 den Offset der Mitte des Testmarkierungsbildes als eine Funktion der Beleuchtungsdosis für zwei verschiedene Testmarkierungen.

[0097] **Fig.** 1 zeigt schematisch eine bekannte Ausführungsform einer Einrichtung zur wiederholten Abbildung eines Maskenmusters auf einem Substrat nach dem Schrittprinzip. Die Hauptelemente dieser Einrichtung sind eine Projektionssäule, worin ein abzubildendes Maskenmuster C vorgesehen ist, und ein verlagerbarer Substrattisch WT, mit dem das Substrat gegenüber dem Maskenmuster C positioniert werden kann.

[0098] Die Projektionssäule enthält ein Beleuchtungssystem, das beispielsweise einen Laser LA, einen Bündeldehner E_x, ein Element IN, das auch als Integrator bezeichnet wird, der eine homogene Verteilung von Strahlung innerhalb der Projektionsbündels PB verwirklicht, und eine Kondensorlinse CO umfasst. Das Projektionsbündel PB beleuchtet das Maskenmuster C, das in der Maske MA vorhanden ist, wobei diese Maske auf einem Maskentisch MT vorgesehen ist.

[0099] Das Bündel PB, das durch das Maskenmuster C hindurch geht, durchquert ein Projektionslinsensystem PL, das in der Projektionssäule vorgesehen und nur schematisch dargestellt ist, wobei dieses Projektionslinsensystem Bilder des Musters C auf dem Substrat W erzeugt. Das Projektionslinsensystem hat beispielsweise eine Vergrößerung M = 1/5, oder M = 1/4, eine numerische Apertur NA = 0,6 und ein brechungsbeschränktes Bildfeld mit einem Durchmesser von 22 mm.

[0100] Das Substrat W ist auf einem Substrattisch WT vorgesehen, der beispielsweise durch Luftlager unterstützt wird. Das Projektionslinsensystem PL und der Substrattisch WT sind in einem Gehäuse HO untergebracht, dessen untere Seite durch eine Basisplatte BP aus beispielsweise Granit, abgeschlossen ist und dessen obere Seite durch den Maskentisch MT abgeschlossen ist.

[0101] Wie in **Fig.** 1 dargestellt, umfasst die Maske MA beispielsweise zwei Ausrichtmarkierungen M_1 und M_2. Diese Markierungen bestehen vorzugsweise aus Brechungsgittern, aber können auch durch andere Markierungen mit einer symmetrischen Struktur gebildet werden. Die Ausrichtmarkierungen sind vorzugsweise zweidimensional, d. h. deren Gitterstreifen erstrecken sich in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen, den Richtungen X und Y in **Fig.** 1. Das Substrat W, beispielsweise ein Halbleitersubstrat, auf dem das Muster C einige Male nebeneinander abgebildet werden soll, umfasst eine Anzahl Ausrichtmarkierungen, vorzugsweise wieder zweidimensionale Brechungsgitter, von denen zwei Stück, P_1 und P_2, dargestellt in **Fig.** 1. Die Markierungen P_1 und P_2 liegen außerhalb der Gebiete des Produktionssubstrats W, auf dem die Bilder des Musters C gebildet werden müssen. Die Gittermarkierungen P_1 und P_2 werden vorzugsweise als Phasengitter gebildet und die Gittermarkierungen M_1 und M_2 werden vorzugsweise als Amplitudengitter gebildet.

[0102] **Fig.** 2 zeigt eine Ausführungsform eines der zwei identischen Substratphasengitter in einem größeren Maßstab. Ein derartiges Gitter umfasst vier Teilgitter $P_{1,a}$, $P_{1,b}$, $P_{1,c}$ und $P_{1,d}$, von denen zwei Stück $P_{1,b}$ und $P_{1,d}$ zum Ausrichten in der X-Richtung und die zwei anderen, $P_{1,a}$ und $P_{1,c}$, zum Ausrichten in der Y-Richtung benutzt werden. Die zwei Teilgitter $P_{1,b}$ und $P_{1,c}$ haben eine Gitterperiode von beispielsweise 16 µm und die Teilgitter $P_{1,a}$ und $P_{1,d}$ haben eine Gitterperiode von beispielsweise 17,6 µm. Jedes Teilgitter kann eine Größe von beispielsweise 200 × 200 µm haben. Mit diesem Gitter und mit einem geeigneten optischen System kann eine Ausrichtgenauigkeit erzielt werden, die im Grunde besser ist als 0,1 µm. Es sind verschiedene Gitterperioden gewählt werden, damit der Fangbereich der Ausrichteinrichtung gesteigert wird.

[0103] **Fig.** 3 zeigt die optischen Elemente der Einrichtung, die zum Ausrichten einer Produktionsmaske gegenüber einem Produktionssubstrat verwendet werden. Die Einrichtung umfasst ein doppeltes Ausrichtdetektionssystem, das aus zwei einzelnen und identischen Ausrichtsystemen AS_1 und AS_2 besteht, die symmetrisch gegenüber der optischen Achse AA' des Projektionslinsensystems PL vorgesehen sind. Das Ausrichtsystem AS_1 ist mit der Maskenausrichtmarkierung M_2 und das Ausrichtsystem AS_2 ist mit der Maskenausrichtmarkierung M_1 assoziiert. Die entsprechenden Elemente der zwei Ausrichtsysteme werden durch dasselbe Bezugszeichen angegeben, während die des Systems AS_2 von denen des Systems AS_1 durch ein Bezugszeichen mit einem Akzent angegeben werden.

[0104] Die Struktur dieses Systems AS_1 wird nun nachstehend beschrieben, sowie die Art und Weise, wie die gegenseitige Lage der Maskenmarkierung M_2 und beispielsweise der Substratmarkierung P_1 mit Hilfe dieses Systems ermittelt wird.

[0105] Das Ausrichtsystem AS_1 umfasst eine Strahlungsquelle **1**, beispielsweise einen Helium-Neon-La-

ser, der ein Ausrichtbündel b ausstrahlt. Dieses Bündel wird in Richtung des Substrats W durch einen Spalter **2** reflektiert. Der Bündelspalter kann aus einem halbtransparenten Spiegel oder einem halbtransparenten Prisma bestehen, aber vorzugsweise wird er durch ein für Polarisation empfindliches Teilungsprisma gebildet, dem eine λ/4-Platte **3** folgt, wobei λ die Wellenlänge des Bündels b ist. Das Projektionslinsensystem PL fokussiert das Bündel b zu einem kleinen Punkt V mit einem Durchmesser in der Größenordnung von 1 mm auf dem Substrat W. Dieses Substrat reflektiert einen Teil des Bündels als Bündel B_1 in Richtung der Maske MA. Das Bündel b_1 geht durch das Projektionslinsensystem PL hindurch, wobei dieses System den Strahlungspunkt V auf der Maske abbildet. Bevor das Substrat in der Beleuchtungseinrichtung wird es in einer Vorausrichtstation, die mit der Einrichtung gekoppelt ist, beispielsweise der Station, wie diese in der Europäischen Patentanmeldung 0.164.165 beschrieben worden ist, vorausgerichtet, so dass der Strahlungspunkt V auf der Substratmarkierung P_2 liegt. Diese Markierung wird danach durch das Bündel b_1 auf der Mnaskenmarkierung M_2 abgebildet. Unter Berücksichtigung der Vergrößerung M des Projektionslinsensystems wird die Abmessung der Maskenmarkierung M_2 an die der Substratmarkierung P_2 angepasst, so dass das Bild der Markierung P_2 mit der Markierung M_2 genau zusammenfällt, wenn die zwei Markierungen einwandfrei zueinander positioniert sind.

[0106] Auf dem Weg zu und von dem Substrat W hat das Bündel b und b_1 zweimal die λ/4-Platte durchlaufen, deren optische Achse in einem Winkel von 45° zu der Richtung der Polarisation des von der Quelle **1** emittierten linear polarisierten Bündels b liegt. Das Bündel b_1, das durch die λ/4-Platte geht, hat eine Polarisationsrichtung, die gegenüber dem Bündel b um 90° gedreht ist, so dass das Bündel b_1 durch das Polarisationsverteilungsprisma **2** durchschnitten wird. Die Verwendung des Polarisationsverteilungsprismas in Kombination mit der λ/4-Platte schafft den Vorteil eines minimalen Strahlungsverlustes, wenn das Ausrichtbündel in den Strahlungsweg des Ausrichtsystems gekoppelt wird.

[0107] Das durch die Ausrichtmarkierung M_2 hindurch gegangene Bündel b_1 wird durch ein Prisma **11** reflektiert und in Richtung eines für Strahlung empfindlichen Detektors **13** gerichtet, beispielsweise durch ein weiteres reflektierendes Prisma **12**. Dieser Detektor ist beispielsweise eine zusammengesetzte Photodiode mit beispielsweise vier einzelnen für Strahlung empfindlichen Gebieten entsprechend der Anzahl Teilgitter nach **Fig.** 2. Die Ausgangssignale dieser Detektoren sind ein Maß der Koinzidenz der Markierung M_2 mit der Abbildung der Substratmarkierung P_2. Diese Signale können elektronisch verarbeitet und zum Verlagern der Maske gegenüber dem Substrat mit Hilfe (nicht dargestellter) Antriebssysteme, so dass die Abbildung der Markierung P_2 mit der Markierung M_2 zusammenfällt. Auf diese An und Weise wird eine Automatische Ausrichteinrichtung erhalten.

[0108] Ein Bündelspalter **14** in Form beispielsweise eines teilweise durchlässigen Prismas kann zwischen dem Prisma **11** und dem Detektor **13** vorgesehen werden, wobei dieses Prisma einen Teil des Bündels b_1 als Bündel b_2 spaltet. Das abgespaltete Bündel b_2 trifft danach über beispielsweise zwei Linsen **15** und **16** auf eine Fernsehkamera **17**, die mit einem (nicht dargestellten) Monitor gekoppelt ist, in dem die Ausrichtmarkierungen P_2 und M_2 für einen Benutzer der Projektionseinrichtung sichtbar sind. Dieser Benutzer kann sich dann vergewissern, ob die zwei Markierungen zusammentreffen und kann das Substrat W mit Hilfe von Manipulatoren verlagern, um dafür zu sorgen, dass die Markierungen zusammentreffen.

[0109] Auf ähnliche Weise wie oben für die Markierungen M_2 und P_2 beschrieben worden ist, können auch die Markierungen M_1 und P_2 und die Markierungen M_1 und P_1 gegenüber einander ausgerichtet werden. Das Ausrichtsystem AS_2 wird für die zwei letztgenannten Ausrichtungen verwendet.

[0110] Für Einzelheiten über die Ausrichtprozedur mit Hilfe der Ausrichtsysteme sei auf das US Patent 4.778, 275 verwiesen. Wie ebenfalls in diesem Patent beschrieben, arbeiten die Ausrichtsysteme AS_1 und AS_2 mit einem extrem genauen zweidimensionalen Verlagerungssystem zum Messen der Verlagerung des Substrats gegenüber der Maske während der Ausrichtprozedur sehr eng zusammen. Danach können die Positionen und die gegenseitigen Abstände zwischen den Ausrichtmarkierungen P_1 und P_2, M_1 und M_2 in einem durch das Verlagerungmmessystem bestimmten Koordinatensystem festgelegt werden. Das durch IF in **Fig.** 1 bezeichnete Verlagerungsmesssystem ist beispielsweise ein Iriterferometersystem, das in dem US Patent 4.251.160 beschrieben worden ist.

[0111] Da das Projektionslinsensystem PL für die Wellenlänge des Projektionsbündels PB entworfen worden ist, das im Zusammenhang mit der gewünschten großen Auflösungsleistung möglichst klein sein soll, und folglich von dem des Ausrichtbündels wesentlich abweichen kann, können bei der Anwendung dieses Systems PL zum Abbilden der Ausrichtmarkierungen P_1, P_2 und M_1, M_2 aufeinander Abweichungen auftreten. Danach können die Substratausrichtmarkierungen P_1, P_2 nicht in der Ebene des Maskenmusters abgebildet werden, in der die Maskenausrichtmarkierungen liegen, sondern in einem bestimmten Abstand davon, wobei dieser Abstand abhängig ist von der Differenz zwischen den Wellenlängen des Projektionsbündels und dem Ausrichtbündel und von der Differenz ziwschen den Brechzahlen des Materials der Projektionslinsenelemente für die zwei Wellenlängen. Wenn das Projektionsbündel eine Wellenlänge von beispielsweise 248 nm hat und das Ausrichtbündel hat eine Wellenlänge von 633 nm, kann dieser Abstand 2 m betragen. Weiterhin wird durch diese genannte Wellenlängendifferenz

eine Substratausrichtmarkierungen auf einer Maskenausrichtmarkierung mit einer Vergrößerung abgebildet, die von der gewünschten Vergrößerung abweicht, wobei diese Abweichung mit einer zunehmenden Wellenlängendifferenz zunimmt.

[0112] Zum Korrigieren der genannten Abweichungen kann eine zusätzliche oder eine korrigierende Linse in der Projektionssäule PL vorgesehen werden. Im Gegensatz zu dem, was in **Fig.** 3 dargestellt ist, wird das Ausrichtbündel dann nicht über der Projektionslinse in die Einrichtung eingekoppelt, sondern durch ein Fenster in der Linsenhalterung und mit Hilfe eines reflektierenden Elementes als ein Keil unter und in der Nähe der Korrekturlinse. Die Korrekturlinse ist in einer derartigen Höhe in der Projektionssäule vorgesehen, dass die Teilbündel der verschiedenen Brechungsgrößen des Ausrichtbündels in der Ebene der Korrekturlinse, wobei diese Teilbündel durch eine Substratausrichtmarkierung gebildet werden, ausreichend getrennt sind, damit es ermöglicht wird, dass diese Teilbündel einzeln beeinflusst werden, und andererseits hat diese Korrekturlinse einen vernachlässigbaren Einfluss auf das Projektionsbündel und auf die damit gebildete Maskenabbildung. Die Projektionslinse liegt vorzugsweise in der hinteren Brennebene des Projektionslinsensystems. Wenn dieses System telezentrisch auf der Substratseite ist, fällt diese Brennebene mit der Ebene der Ausgangspupille dieses Systems zusammen. Wenn, wie in **Fig.** 3 dargestellt, die Korrekturlinse **25** sich in einer Ebene **24** befindet, wo die Hauptstrahlen der Ausrichtbündel b und b' einander schneiden, kann diese Linse gleichzeitig zum Korrigieren der zwei Ausrichtbündel verwendet werden.

[0113] Die Korrekturlinse hat eine derartige Leistung, dass sie die Richtung der in erster Ordnung gebrochenen Teilbündel derart durch ein Gitter ändert, dass die Hauptstrahlen dieser Bündel einander in der Ebene der Maskenausrichtmarkierung M_2 schneiden. Weiterhin hat die Korrekturlinse einen derart kleinen Durchmesser, dass die Teilbündel höherer Ordnung, die in größeren Winkeln als die Teilbündel erster Ordnung durch die Markierung P_2 abgelenkt werden, nicht durch diese Linse hindurch gehen. Die Korrekturlinse umfasst weiterhin ein Element, das vermeidet, dass die Teilbündel nullter Ordnung b(0), b'(0) durch die Korrekturlinse hindurch gehen. Dieses Element kann durch den genannten Keil gebildet werden, der verwendet wird zum Koppeln des Ausrichtbündels in das Projektionslinsensystem. Durch die genannten Maßnahmen wird erreicht, dass nur die Teilbündel erster Ordnung zum Abbilden des Gitters P_2 auf dem Gitter M_2 benutzt werden, so dass einige zusätzliche Vorteile erhalten werden.

[0114] Durch Unterdrückung des Teilbündels nullter Ordnung kann der Kontrast in der Abbildung von P_2 wesentlich gesteigert werden. Dies macht die Ausrichteinrichtung besonders geeignet für die nachher noch zu beschreibende Latentbilddetektion, weil Latentbilder an sich einen relativ geringen Kontrast haben. Da die Teilbündel zweiter Ordnung und höherer Ordnung unterdrückt werden, haben Unregelmäßigkeiten in dem Gitter P_2 überhaupt keinen Einfluss auf das Ausrichtsignal. Wenn nur die Teilbilder erster Ordnung benutzt werden, wird gleichsam die zweite Harmonische des Gitters P_2 abgebildet. Mit anderen Worten nebst der Verstärkung M des Projektionslinsensystems PL hat das Bild von P_2 eine Periode, welche die Hälfte des Gitters P_2 ist. Wenn gewährleistet wird, dass die Gitterperiode des Gitters M_2 der des Bildes von P_2 entspricht, d. h. der m/2-fachen Gitterperiode des Gitters P_2 entspricht, ist die Genauigkeit, mit der die Gitter M_2 und P_2 ausgerichtet werden, zweimal größer als in der Situation, in der das volle Bündel n zur Abbildung benutzt wird.

[0115] Nach der Beschreibung des Systems AS_1, das zum Ausrichten der Maskenausrichtmarkierung M_2 gegenüber einer Substratausrichtmarkierung verwendet wird, braucht das System AS_2, mit dem die Maskenausrichtmarkierung M_1 gegenüber einer Substratausrichtmarkierung ausgerichtet wird, keine weitere Erläuterung. Das System AS_2 umfasst ähnliche Elemente und arbeitet auf dieselbe Art und Weise wie das System AS_1. Wie bereits in **Fig.** 3 dargestellt, haben die Systeme AS_1 und AS_2 gemeinsam die Korrekturlinse **25**. Statt einer doppelten Ausrichteinrichtung kann die Projektionseinrichtung auf alternative Weise eine einzige Ausrichteinrichtung enthalten, wie beispielsweise in dem US Patent 4.351.160 beschrieben.

[0116] Die Projektionseinrichtung ist weiterhin mit einer Fokussiereinrichtung versehen, die eine Fokusfehlerdetektionseinrichtung aufweist zum bei der wiederholten Abbildung einer Produktionsmaske auf einem Produktionssubstrat Detektieren einer Abweichung zwischen der Bildebene des Projektionslinsensystems und der Ebene des Produktionssubstrats. Wenn eine derartige Abweichung auftritt, kann die Fokussierung mit Hilfe des von der Fokusfehlerdetektionseinrichtung gelieferten Signals beispielsweise durch Verlagerung der Projektionslinse längs der optischen Achse, korrigiert werden.

[0117] Diese Fokusfehlerdetektionseinrichtung FD ist in **Fig.** 4 schematisch dargestellt. Diese Figur zeigt ebenfalls die Positionsdetektionseinrichtung, die aus zwei Teilen IF_1 und IF_2 für den Substrattisch besteht.

[0118] Die Fokusfehlerdetektionseinrichtung FD umfasst eine Strahlungsquelle, beispielsweise einen Diodenlaser DL, der ein fokussierendes Bündel b_f liefert, und ein Prisma PR_1, das dieses Bündel in Richtung eines Punktes auf dem Substrat W reflektiert, der mit einem Photoresist bedeckt ist, wobei an diesem Punkt die optische Achse des Projektionslinsensystems diese Platte schneidet. Der Einfachheit halber ist nur der Hauptstrahl dieses Bündels dargestellt. Der Kürze wegen wird nachstehend die Kombination des Substrats und des Photoresists als Substrat bezeichnet. Eine Linse L_1, vorgesehen zwischen dem Diodenlaser DL und dem Prisma PR_1, fokussiert das Bündel zu einem Strahlungspunkt auf dem Sub-

strat. Das an dem Substrat reflektierte Bündel b_f wird durch ein zweites Prisma PR_2 in Richtung eines für Strahlung empfindlichen Detektors DE reflektiert. Eine Linse L_2 zwischen dem Prisma PR_2 und dem Detektor bildet den am Substrat geformten Punkt auf dem Detektor DE ab. Wenn der Abstand in der Z-Richtung zwischen dem Projektionslinsensystem und dem Substrat geändert wird, verlagert sich der am Detektor DE geformte Strahlungspunkt in der Detektorebene. Da der Detektor ein für die Lage empfindlicher Detektor ist oder aus zwei einzelnen Detektionselementen besteht, kann die Verlagerung des Strahlungspunktes und der entsprechende Fokusfehler ermittelt werden. Die auf diese Weise erhaltene Information kann zum Korrigieren beispielsweise der Z-Position des Substrattisches WT mit Hilfe einer bekannten, in **Fig.** 5 schematisch dargestellten Parallelogrammkonstruktion benutzt werden. Die verschiedenen Elemente der Fokusfehlerdetektionseinrichtung sind in zwei, beispielsweise zylinderförmigen Halterungen untergebracht, die ortsfest an der Halterung des Projektionslinsensystems befestigt sind.

[0119] Wie in dem US Patent 4. 256.392 beschrieben, kann an der Stelle des Detektors DE ein Reflektor vorgesehen sein, wobei dieser Reflektor gewährleistet, dass das Fokussierungsbündel ein zweites Mal an dem Substrat reflektiert wird, bevor es auf den Detektor trifft. Diese bevorzugte Ausführungsform der Fokusfehlerdetektionseinrichtung hat den Vorteil, dass die Fokusfehlermessung nicht durch die Neigung des Substrats oder durch örtliche Reflexionsdifferenzen dieses Substrats beeinflusst wird. Die Fokusfehlerdetektionseinrichtung kann ebenfalls implementiert werden, wie in dem US Patent 5.191.200 beschrieben und arbeitet dann mit einem Bündel mit einem breiten Wellenlängenband, wobei dieses Bündel über das Substrat auf einem zweiten Gitter ein erstes Gitter abbildet.

[0120] Zwecks einer sehr genauen Ermittlung der X- und der Y-Position des Substrattisches ist die Projektionseinrichtung mit einem zusammengesetzten Interferometersystem versehen, das aus beispielsweise zwei Teilen besteht. Der Teil IF, emittiert ein oder mehrere Bündel in die Y-Richtung zu einer reflektierenden Seitenfläche des Substrattisches und empfängt ebenfalls die reflektierten Bündel. Die X-Position des Tisches kann dadurch ermittelt werden. Auf ähnliche Weise kann die Y-Position des Substrattisches mit Hilfe des Interferometerteils IF_2 detektiert werden. Das Interferometersystem kann implementiert werden, wie in dem US Patent 4. 251.160 beschrieben und arbeitet dann mit zwei Bündeln. Statt dieses Doppelachsen-Interferometersystems kann auf alternative Weise ein dreiachsiges System, wie in dem US Patent 4.737.823 beschrieben, oder ein vielachsiges System, wie in der Europäischen Patentanmeldung 0 294 400 beschrieben, verwendet werden.

[0121] Durch Verwendung der Substrattischlagendetektionseinrichtung oder des Interferometersystems können die Positionen und die gegenseitigen Abstände der Ausrichtmarkierungen P_1 und P_2 und M_1 und M_2 beim Ausrichten in einem Koordinatensystem, definiert durch das Interferometersystem, festgelegt werden. Dann ist es nicht notwendig, auf den Rahmen der Proj ektionseinrichtung oder auf einen Teil dieses Rahmens hinzuweisen, so dass Variationen in diesem Rahmen beispielsweise durch Temperaturschwankungen, durch mechanisches Kriechen und dergleichen überhaupt keinen Einfluss auf die Messungen haben.

[0122] Für eine bessere Erkenntnis der Projektionseinrichtung ist diese Einrichtung abermals in **Fig.** 5 dargestellt, nun aber im Schnitt. Das Beleuchtungssystem hat eine etwas andere Struktur als in **Fig.** 1 und umfasst einen Laser LA, beispielsweise einen Krypton-Fluoridlaser, ein Linsensystem LO, einen Reflektor RE und eine Kondensorlinse CO. Das Beleuchtungssystem ist mit einem bekannten, schematisch dargestellten System LWC versehen, mit dem die Wellenlänge der Laserstrahlung geprüft werden kann. Das System LWC ist in dem Artikel: "Design Principles for an Illumination System using an Excimer as a Light Source" in "SPIE" Heft 1138 (1989) Seiten 121 usw.

[0123] Der Vollständigkeit halber zeigt **Fig.** 5 ebenfalls die Doppelausrichtdetektionseinrichtung, die durch das eintreffende Bündel b und die zwei ausgehenden Ausrichtbündel b_1 und b'_1 sowie durch die Elemente **25**, **13**, **13'**, **22** und **22'**.

[0124] **Fig.** 5 zeigt weiterhin eine Fokusfehlerdetektionseinrichtung mit Linsen L_1 und L_2 und mit einem Retroreflektor RE, der längs sich selbst ein fokussierendes Bündel b_1 reflektiert, das von links eintrifft und ein erstes Mal an einem Produktionssubstrat oder an einem Testsubstrat reflektiert wird. Das reflektierte Bündel b_1 wird an dem teilweise durchlässigen Prisma PR_1 in Richtung des Detektors DE reflektiert.

[0125] Das Bündel IF_b, das von dem Block ff herrührt, zeigt schematisch, dass die Einrichtung mit einer interferometrischen Substrattischlagendetektionseinrichtung versehen ist.

[0126] Die Bezugszeichen PS und TS bezeichnen einen Drucksensor bzw. einen Temperatirsensor.

[0127] Damit man imstande ist, die Einstellungen der Einrichtung und die Qualität des Projektionslinsensystems zu messen, ist eine Maske mit wenigstens einer Testmarkierung in der Projektionseinrichtung vorgesehen und diese Markierung wird in dem Photoresist abgebildet, wie dies in **Fig.** 4 dargestellt ist. Die Maske kann eine einzelne Testmaske TM sein. Die Testmarkierung kann aber auch auf einer Produktionsmaske außerhalb des Maskenmusters C vorgesehen sein. In **Fig.** 4 ist durch das Beispiel vorausgesetzt worden, dass diese Maske drei Testmarkierungen M_3, M_4, M_5. Wenn die Testmaske von dem Projektionsbündel beleuchtet wird. werden Testmarkierungsbilder M'_3, M'_4 und M'_5 in dem Photoresist des Substrats gebildet. Diese Bilder liegen in einem Ge-

biet A_{IC} des Substrats, das ein Gebiet bedeckt, in dem eine einzige IC während des Produktionsprojektionsprozesses gebildet wird. Wenn die Testmarkierungsmuster in dem Photoresist wiedergegeben werden, werden entsprechende Muster von Streifen, die abwechseln eine höhere und eine niedrigere Brechzahl haben, erzeugt. Ein derartiges Muster verhält sich wie ein Phasengitter, ähnlich wie ein Ausrichtgitter P_1, P_2 und kann mit Hilfe der Ausrichteinrichtungen detektiert werden, wenn die Testmarkierung dasselbe Muster hat wie eine Maskenausrichtmarkierung M_1, M_2.

[0128] Nach der vorliegenden Erfindung hat eine Testmarkierung M_3 ein Muster, wie in **Fig.** 6 dargestellt. Dieses symmetrische Muster weicht von dem der Ausrichtmarkierung darin ab (siehe **Fig.** 2), dass die transparenten Streifen **35** weiter verteilt sind. Ein Teil der Streifen, beispielsweise die Hälfte von 36, ist transparent und die andere Hälfte besteht aus undurchlässigen Teilstreifen **37**, die mit transparenten Teilstreifen **38** sich abwechseln, wie bei TM in **Fig.** 6 dargestellt. Zum Vergleich ist der gleichförmige Teil einer Ausrichtmarkierung ebenfalls bei AM in dieser Figur dargestellt. Die Periode PE_2 der Teilstreifen **37** und **38** ist wesentlich kleiner als die Periode PE_1 der Ausrichtmarkierung und vorzugsweise etwa gleich anderthalb Male der Auflösung des Projektionslinsensystems. Statt der Hälfte kann ein anderer Teil der Streifen **35** auf alternative Weise aufgeteilt sein. Die Wahl der Anzahl Teilstreifen und deren Breite ist abhängig von dem Projektionslinsensystem, das gemessen werden soll.

[0129] Alle Streifen **35** einer Testmarkierung sind selbstverständlich in einer Art und Weise, wie in **Fig.** 6 dargestellt, aufgeteilt. Wenn Messungen in nur einer Richtung erforderlich sind, kann diese Testmarkierung ein lineares Gitter sein, wie der Gitterteil $P_{1,d}$ in **Fig.** 6. Wenn die Testmarkierung zwei lineare Gitter aufweist, wie die Gitterteile $P_{1,a}$ und $P_{1,d}$ in **Fig.** 6 zum Messen in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen, werden die Streifen der zwei Gitter aufgeteilt. Wenn eine Testmarkierung mit vier Gitterteilen $P_{1,a}$, $P_{1,b}$, $P_{1,c}$ und $P_{1,d}$ verwendet wird, werden die Streifen aller Gitterteile aufgeteilt.

[0130] Wegen der kleinen Periode können die Teilstreifen nicht einzeln von der Ausrichteinrichtung detektiert werden. Diese Einrichtung ist imstande, und hat sogar die Aufgabe, die Position einer Substratausrichtmarkierung gegenüber einer Maskenausrichtmarkierung festzulegen. Wenn die Substratausrichtmarkierung und die Maskenausrichtmarkierung die gleiche periodische Struktur haben, wobei die Vergrößerung des Projektionslinsensystems und das etwaige Vorhandensein einer Blende erster Ordnung berücksichtigt wird, und wenn sie einwandfrei gegenüber einander ausgerichtet werden, ist das von dem Ausrichtdetektor **13**, **13'** in **Fig.** 3 gelieferte Signal beispielsweise minimal. Wenn eine Substratmarkierung, wie das Latentbild der Maskentestmarkierung nach **Fig.** 6 eine asymmetrische Struktur hat, passt diese Markierung nicht länger zu der Maskenmarkierung, so dass das Ausrichtsignal nicht länger minimal ist, sogar wenn diese Substratmarkierung gegenüber der Maskenmarkierung einwandfrei ausgerichtet ist. Die Asymmetrie in dem Latentbild wird durch die Ausrichteinrichtung als eine Verschiebung dieses Bildes gegenüber dem Bezugswert, d. h. einer Ausrichtmarkierung, interpretiert. Wegen der Asymmetrie erfährt das Ausrichtsignal, oder das Latentbilddetektionssignal eine Null-Verlagerung, was im Allgemeinen als Offset bezeichnet wird. Der nicht lineare Charakter des Photoresists wird dann benutzt. Durch Überbelichtung des Resists wenn die asymmetrische Testmarkierung abgebildet wird, werden die Bilder der Teilstreifen **37** in **Fig.** 6 verbreitert und die der Teilstreifen **38** werden verengt, so dass das gesamte Gebiet des Latentbildes der Testmarkierung M_3, das eine andere Brechzahl erfordert, vergrößert wird und die Asymmetrie oder die Verlagerung des Schwerpunktes in dem Latentbild noch größer sein wird.

[0131] Es hat sich herausgestellt, dass das Ausmaß der Asymmetrie in dem Latentbild von dem Ausmaß, in dem das Projektionsbündel befriedigend auf Substrat + Photoresist fokussiert wird, sowie von der Beleuchtungsdosis abhängig ist. Die maximale Asymmetrie und folglich der maximale Offset in dem Ausrichtsignal, das auf diese Weise das Latentbilddetektionssignal ist, tritt auf, wenn das Projektionsbündel scharf fokussiert wird. Wenn das Projektionsbündel defokussiert wird, werden die Bilder der aufgeteilten Streifen **35** der Testmarkierung vager werden, d. h. diese Bilder erfordern weniger Kontrast und höhere Frequenzen verschwinden. Wenn die Defokussierung zunimmt, wird das Latentbild der Testmarkierung symmetrischer, so dass der Offset in dem Ausrichtsignal verschwindet.

[0132] Die **Fig.** 7a und 7b zeigen die Variation dieses Offsets, d. h. die des Latentbilddetektionssignals, als eine Funktion der Fokussierung Δz für die Streifen des Latentbildes, die sich in der X-Richtung bzw. in der Y-Richtung erstrecken. Die Defokussierung Δz ist in um auf der horizontalen Achse aufgetragen und der Offset des Ausrichtsignals, d. h. das Fokusfehlersignal ist in nm auf der vertikalen Achse aufgetragen. Die dargestellten Kurven werden durch wiederholte Abbildung derselben Testmarkierung in dem Photoresist erhalten, und zwar jeweils mit einer anderen Fokussierung des Projektionslinsensystems. Diese Kurven gehören zu Latentbildern auf der optischen Achse des Projektionslinsensystems. Die Kurven haben eine Taktform und die Signale haben einen Extremwert, der für das dargestellte Beispiel für die X-Richtung auf 600 nm liegt und für die Y-Richtung auf 690 nm liegt. Ein negativer Wert für den Offset oder das Latentbilddetektionssignal AOS bedeutet, dass das Substrat zu nahe an dem Projektionslinsensystem liegt und ein positiver Wert bedeutet, dass der Abstand zwischen diesem System und dem Substrat zu groß ist.

[0133] Der Effekt der Abbildung der asymmetri-

schen Testmarkierung in einem Photoresist kann anhand der **Fig.** 8a und 8b erläutert werden, die sich auf das in Luft gebildete Bild oder Luftbild beziehen, und auf das in dem Photoresist gebildetes Bild, oder Latentbild. In **Fig.** 8a ist das berechnete Signal S(x) dargestellt, wobei dieses Signal erhalten wird, wenn ein Streifen **35** nach **Fig.** 6 für zwei Fokuswerte abgetastet wird: $\Delta z = 0$, Kurve **40**, $\Delta z = 2$ µm, Kurve **41**. Es zeigt sich, dass bei Defokussierung die Symmetrie des Luftbildes sich nicht ändert, so dass dieses Bild nicht geeignet ist zum Messen eines Fokusfehlers auf Basis der Symmetrievariation. **Fig.** 8b zeigt das berechnete Signal S(x), das erhalten wird, wenn das in dem Photoresist gebildete Latentbild für dieselben Fokuswerte abgetastet wird. Die Kurve **42** gilt für $\Delta z = 0$ und die Kurve **43** gilt $\Delta z = 2$ µm. Nun gibt es deutlich eine Variation. Bei $\Delta z = 0$ ist das Signal und folglich das Latentbild asymmetrisch. Bei $\Delta z = 2$ µm ist das Signal nahezu symmetrisch. Es hat sich versuchsweise herausgestellt, dass der Offset zwischen dem Luftbild und dem Latentbild etwa 300 nm beträgt bei einer Defokussierung von $\Delta z = 2$ µm, ein Offset, der auf einfache Weise mit Hilfe der Ausrichteinrichtung beobachtet werden kann.

[0134] Bei der Herstellung von ICs mit einer Vielzahl von Elementen sollte das Projektionsbündel eine sehr kurze Wellenlänge haben, beispielsweise in der Größenordnung von 240 nm. Strahlung mit einer derartigen Wellenlänge wird als tiefe UV-Strahlung bezeichnet. Spezielle Photoresists, bekannt als tiefe-UV-Resists, sind für diese Strahlung entwickelt worden und sie haben eine andere Zusammensetzung als die mehr herkömmlichen Photoresists, die für Projektionsbündelstrahlung mit größeren Wellenlängen, beispielsweise 365 nm, verwendet werden. Zum Erhalten eines befriedigenden Latentbildes in einem tiefen-UV-Resist, wird ein derartiger Photoresist vorzugsweise erhitzt, nachdem er beleuchtet worden ist, so dass die gewünschten Brechzahldifferenzen, und folglich optischen Streckenlängendifferenzen in dem Photoresist erzeugt werden. Dieser Prozess ist bekannt als "Post-Exposure Baking" (PEB) und das erhaltene Bild ist als PEB-Bild bekannt. Es dürfte einleuchten, dass das Verfahren nach der vorliegenden Erfindung ebenfalls für ein derartiges PEB-Bild angewandt werden kann.

[0135] Die vorliegende Erfindung kann ebenfalls angewandt werden für entwickelte Testmarkierungen, die dadurch erhalten werden, dass das Substrat nach der Beleuchtung aus der Projektionseinrichtung entfernt wird, dass es entwickelt wird, so dass die Beleuchtungsindexvariationen in ein Höhenprofil, und folglich in eine Phasenstruktur umgewandelt werden, und dass es daraufhin wieder in die Einrichtung gegeben wird, wonach das Testmarkierungsbild detektiert und untersucht werden kann. Der Vorteil wird dann beibehalten, dass ein Testmarkierungsbild in derselben Einrichtung gemessen wird, wie die, in der dieses Bild gebildet worden ist. Dies ist ein schnellerer Prozess als der herkömmliche Messprozess, mit beispielsweise einem optischen Mikroskop oder einem Elektronenmiskroskop. Wenn entwickelte Testmarkierungsbilder gemessen werden, werden Detektorsignale erhalten, die größere Amplituden haben als die Signale, die erhalten werden, wenn latente Testmarkierungsbilder gemessen werden. Das Messen entwickelter Testmarkierungsbilder ist besonders wichtig, wenn tiefe-UV-Resists verwendet werden.

[0136] Bevor die Asymmetrie in dem Testmarkierungsbild detektiert werden kann, muss dieses Bild zunächst einwandfrei in die Ausrichteinrichtung eingegeben werden, folglich es muss ausgerichtet werden. Wenn die Position der Testmarkierung in der Maske bekannt ist, können die globalen Ausrichtmarkierungen M_1, M_2 und P_1, P_2 in der Maske bzw. in dem Substrat für diese Ausrichtung verwendet werden. Nachdem die Maske und das Substrat mit Hilfe dieser Markierungen und auf die An und Weise, wie anhand der **Fig.** 3 beschrieben worden ist, gegenüber einander ausgerichtet worden sind, wird die Testmarkierung in dem Photoresist abgebildet. Daraufhin wird der Substrattisch unter Ansteuerung des sehr genauen Interferometersystems derart verlagert, dass das erzeugte Testmarkierungsbild, latent oder entwickelt, in dem ausgerichteten Zustand unter eine globale Ausrichtmarkierung der Maske gelegt wird.

[0137] Zum Ausrichten aber eines beispielsweise latenten Bildes einer Testmarkierung wird vorzugsweise eine zusätzliche Ausrichtmarkierung verwendet, die mit der Testmarkierung assoziiert ist, wobei diese zusätzliche Markierung nahe bei der Testmarkierung in einer Testmaske liegt. Diese Ausrichtmarkierung wird gleichzeitig mit der Testmarkierung abgebildet, so dass nicht nur ein latentes Bild der Testmarkierung, sondern auch ein latentes Bild der Ausrichtmarkierung oder eine latente Ausrichtmarkierung in dem Photoresist gebildet wird. Nachdem die latente Ausrichtmarkierung gegenüber der assoziierten zusätzlichen Ausrichtmarkierung in der Maske ausgerichtet worden ist, braucht der Substrattisch nur über einen geringen Abstand in der Größenordnung von 1 mm verlagert zu werden um das latente Bild der Testmarkierung einwandfrei gegenüber die genannte zusätzliche Ausrichtmarkierung zu positionieren. Diese Prozedur kann selbstverständlich auch mit entwickelten, oder PEB-Testmarkierungen und Ausrichtmarkierungen durchgeführt werden.

[0138] **Fig.** 9 zeigt eine Testmaske TMA, die mit einer zusätzlichen Ausrichtmarkierung AM in der unmittelbaren Nähe einer Testmarkierung TM versehen ist. Diese Markierungen sind beispielsweise in der Mitte CE der Maske vorgesehen.

[0139] Diese Testmarkierung kann beispielsweise zum Ermitteln der besten Fokussierung des Projektionslinsensystems verwendet werden, indem die Markierung einige Male in dem Photoresist abgebildet wird, jeweils mit einer anderen Fokussierung, und dadurch, dass ermittelt wird, bei welcher Fokussierung eine maximale Asymmetrie in dem latenten Bild gespürt wird.

[0140] Das Ergebnis dieser Fokusmessung kann benutzt werden zum Einstellen des Brennpunktes des Projektionslinsensystems bevor ein Produktionsprojektionsprozess gestartet wird, oder zu bestimmten Kalibierzeitpunkten in einem derartigen Prozess. Während des Produktionsprojektionsprozesses kann der Brennpunkt aber variieren, insbesondere in den neuen Projektionslinsensystemen, die eine große Auflösungskraft und ein relativ großes Bildfeld haben. Mit diesen Projektionslinsensystemen ist es möglich, Linienbreiten in der Größenordnung von –0,4 μm in einem Bildfeld in der Größenordnung von 25 mm abzubilden, aber diese Projektionslinsensysteme sind sehr empfindlich für Variationen der Umgebungsparameter wie Luftdruck und Temperatur und zeigen Hitze-Effekte beim Start eines Projektionsprozesses. Durch die hohe Dispersion des Linsenmaterials beeinflusst eine Variation der Wellenlänge des Projektionsbündels weiterhin die Abbildungsqualität, d. h. die Position und die Qualität des mit diesem Bündel erzeugten Bildes. Probleme mit Distorsion, Feldastigmatismus und Feldkrümmung können in der Projektionseinrichtung entstehen. Die Projektionslinsensysteme der neuen Generation mit der sehr hohen Auflösungskraft und einem relativ großen Bildfeld haben eine sehr geringe Brenntiefe, so dass Fokusfehler, u. a. durch die größere Wellenlängenabhängigkeit des Projektionslinsensystems einen immer größeren Einfluss haben. Diese Fehler sollen sehr genau detektiert werden.

[0141] Dazu umfasst die Projektionseinrichtung eine Fokusfehlerdetektionseinrichtung FD, wie anhand der **Fig.** 4 und 5 beschrieben. Da die Strahlungsstrecke, die von dem Fokusmessbündel b_f bedeckt wird, anders ist als die des Projektionsbündels und da diese Bündel Wellenlängen haben, die wesentlich abweichen, haben Variationen von beispielsweise Umgebungsparametern einen unterschiedlichen Effekt auf die mit dem Projektionsbündel bzw. dem Fokusmessbündel erzeugte Bilder. Folglich kann eine befriedigende Fokussierung mit der Fokusfehlerdetektionseinrichtung gemessen werden, während das Bild der mit Hilfe des Projektionsbündels erzeugten Maske nicht scharf ist. Weiterhin kann diese Einrichtung, insbesondere wenn ein schmalbandiges Fokusmessbündel in einer Fokusfehlerdetektionseinrichtung verwendet wird, verschiedene Fokusfehlersignal bei derselben Fokussierung aber bei einer anderen Dicke des Photoresists liefern. Eine mechanische Trift in der Proj ektionseinrichtung, die nicht mit Hilfe der Fokusdetektionseinrichtung detektiert werden kann, kann ebenfalls auftreten. Deswegen ist es notwendig, die Fokusfehlerdetektionseinrichtung periodisch, beispielsweise einmal oder mehre Male am Tag, zu kalibrieren.

[0142] Das Ergebnis der Fokusmessungen an Testmarkierungsbildern kann für diese Kalibrierung benutzt werden. Dazu wird die Fokusfehlerdetektionseirirchtung ebenfalls für Messungen während der Messung jedes Testmarkierungsbildes verwendet. Die Ergebnisse dieser Messungen werden in einem Speicher gespeichert. Nachdem festgestellt worden ist, welches Testmarkierungsbild das schärfste ist, wird nachgeschlagen, welcher Fokuswert für dieses Bild von der Fokusfehlerdetektionseinrichtung gemessen wurde. Wenn dieser Wert dem mit Hilfe der Testmarkierungsbilddetektionseinrichtung gemessenen Wert nicht entspricht, kann der Nullpunkt der Fokusfehlerdetektionseinrichtung angepasst werden.

[0143] Der Kontrast des Testmarkierungsbildes, das aus einer Anzahl Streifen besteht und in dem Photoresist gebildet worden ist, wobei diese Testmarkierung als Gitter vorausgesetzt werden kann, ist abhängig von der Menge an Strahlungsenergie, absorbiert von dem Photoresist bei einer bestimmten Dicke dieses Resistes und verwendet zum Aktivieren dieses Resistes. Die diesem Resist zugeführte Energiemenge ist linear abhängig von der Strahlungsleitung der Quelle LA (**Fig.** 1 und 5) und von dem Zeitintervall, in dem ein Verschluss, der in der Projektionseinrichtung vorhanden ist, offen ist. Die von dem Photoresist absorbierte Energiemenge ist abhängig von dem Reflexionskoeffizienten der oberen Fläche des Photoresists. Je höher dieser Reflexionskoeffizient, umso weniger Energie zur Aktivierung des photoaktiven Anteils in diesem Resist verfügbar ist. Die optische Dicke dieses Resistes, d. h. das Produkt aus der geometrischen Dicke und der Brechzahl bestimmt ebenfalls den Reflexionskoeffizienten. Damit man imstande ist, mit Hilfe der Projektionseinrichtung befriedigende Bilder des Maskenmusters zu machen, ist es notwendig, die Beleuchtungsdosis und folglich die von dem Photoresist absorbierte Energiemenge auf befriedigende An und Weise einzustellen und periodisch zu messen.

[0144] Die **Fig.** 10, 11 und 12 zeigen, dass das von einem latenten Bild erhaltene Fokusfehlersignal und die davon hergeleiteten Signale unabhängig von der Beleuchtungsdosis sind, aber das Detektionssignal selber und folglich der Offset des Ausrichtsignal von dieser Dosis abhängig ist. **Fig.** 10 zeigt die Variation dieses Offsets AO als eine Funktion der Defokussierung Δz für verschiedene Beleuchtungsdoses. Bei einer zunehmenden Beleuchtungsdosis behalten die glockenförmigen Kurven im Wesentlichen ihre Form; die Minima werden etwas tiefer werden und der Pegel der Kurven wird höher sein. Es ist wichtig, dass die gemessene Fokussierung, für die ein maximaler Offset in dem Ausrichtsignal auftritt, d. h. die gemessene beste Fokussierung ist im Wesentlichen unabhängig von der Beleuchtungsdosis. Folglich sind die mittels der Latentbilddetektion von Parametern, wie der besten Fokussierung, der Feldkrümmung und dem Feldastigmatismus, erhaltenen Werte im Wesentlichen unabhängig von der Beleuchtungsdosis.

[0145] Um dies zu erläutern zeigt **Fig.** 11 die besten Fokussierungswerte LBF, aufgetragen auf der horizontalen Achse und assoziiert mit verschiedenen Beleuchtungsdoses EXD. Die gezogene Linie, die durch die am besten passende Kurve erhalten worden ist,

hat nur eine geringfügige Neigung von weniger als 0,2 mm/m Jouje. Innerhalb der angewandten Messgenauigkeit sind die anderen Parameter nicht abhängig von der Beleuchtungsdosis.

[0146] Da die Fokusmessung mit Hilfe der Latentbilddetektion nach der vorliegenden Erfindung unabhängig ist von der dem Photoresist zugeführten Energie, kann gefolgert werden, dass diese Messung ebenfalls abhängig ist von Variationen in der Dicke des Photoresists und von örtlichen Variationen in dem Reflexionskoeffizienten des Substrats oder der darauf vorgesehenen Prozessdeckschichten.

[0147] Andererseits ist bei einer festen Fokussierung der Offset AO in dem Ausrichtsignal abhängig von der Beleuchtungsdosis, wie in **Fig.** 12 dargestellt. Die Kurven **50** und **51** aus dieser Figur für zwei verschiedene Typen Photoresist werden dadurch erhalten, dass die Beleuchtungsdosis jeweils mit einem Wert Δ_{EXD} = 10 mJ/cm^2 bei der besten Fokussierung.

[0148] Die Tatsache, dass für jede Beleuchtungsdosis ein bestimmter Wert des Latentbilddetektgionssignals AOS, und folglich ein bestimmter Wert des Offsets AO des Ausrichtsignals mit jeder Beleuchtungsdosis assoziiert ist, kann benutzt werden zur regelmäßigen Messung und möglicherweise zur Korrektur der Beleuchtungsdosis während eines Produktionsprozesses. Dazu wird eine auf die herkömmliche Art und Weise erhaltene optimale Beleuchtungsdosis benutzt als Basis bei der Erzeugung von Testbildern eines Maskenmusters mit verschiedenen Beleuchtungsdoses in einem Photoresist, bei der Entwicklung dieses Resists und bei der Betrachtung der Bilder mit Hilfe eines SEMs. Mit Hilfe einer Kurve, wie in **Fig.** 12 dargestellt, kann man feststellen, welcher Offset AO des Ausrichtsignals damit assoziiert ist. Während des Produktionsprojektionsprozesses kann zu regelmäßigen Zeitpunkten geprüft werden, ob dieser Offset tatsächlich erreicht wird. Sollte dies nicht der Fall sein, so kann die Beleuchtungsdosis auf bekannte Art und Weise angepasst werden.

[0149] Damit man eine zuverlässige Messung der Beleuchtungsdosis hat, insbesondere wenn die Latentbilddetektionssignale schwach sind, kann eine Tabelle mit verschiedenen Beleuchtungsdoses und assoziierten Linienbreiten in den Bildern gemacht und in der Signalverarbeitungseinheit der Projektionseinrichtung gespeichert werden, und zwar aus den Daten, die bei der herkömmlichen Testbildmessung mit Hilfe des SEMs erhalten worden sind. Wenn eine derartige Tabelle verfügbar ist, kann eine Beleuchtungsdosis einem aus einer Latentbilddetektion erhaltenen Offsetwert zugeordnet werden und die Abweichung gegenüber der gewünschten Beleuchtungsdosis kann dann ermittelt werden. Die oben beschriebenen Messungen der Beleuchtungsdosis können ebenfalls mit entwickelten oder PEB-Testmarkierungsbildern durchgeführt werden.

[0150] Dadurch, dass eine mit der Testmarkierung assoziierte zusätzliche Ausrichtmarkierung verwendet wird, kann die bekannte Ausrichteinrichtung kalibriert werden. Dazu wird festgestellt, ob das bei der Ausrichtung beispielsweise des latenten Bildes der zusätzlichen Ausrichtmarkierung gegenüber dieser Ausrichtmarkierung erhaltene Signal dem bei der Ausrichtung einer Maskenausrichtmarkierung (M_1, M_2) gegenüber einer Substratausrichtmarkierung (P_1, P_2) erhaltenen Signal entspricht. Sollte dies nicht der Fall sein, so kann dem letztgenannten Signal ein Offset gegeben werden, und zwar entsprechend der gefundenen Differenz.

[0151] Auf gleiche Weise wie in dem genannten Artikel in "Spie", Heft 1674 "Optical/Laser Microlithography" 1992, Seiten 594–608, beschrieben, kann eine etwaige Verzerrung in dem Proj ektionslinsensystem mit Hilfe einer mit einer asymmetrischen Testmarkierung assoziierten zusätzlichen symmetrischen Ausrichtmarkierung gemessen werden.

[0152] Für diese und für andere Messungen können Testmarkierungen und Aus richtmarkierungen, vorgesehen in einer Produktionsmaske, verwendet werden, wobei diese Markierungen an derartigen Stellen vorgesehen sind, dass sie in Substratgebieten abgebildet werden, die als Schreiblinien zwischen IC-Gebieten bekannt sind. Beim Abbilden der Markierungen ist beispielsweise das IC-Muster in der Maske bedeckt.

[0153] Wie aus einem Vergleich der **Fig.** 7a und 7b deutlich ist, sind die Extremwerte der Kurven, die den Ausrichtsignaloffset als eine Funktion der Defokussierung darstellen, gegenüber einander etwas verschoben. Dies wird verursacht durch den Astigmatismus des Projektionslinsensystems. Messungen, die zunächst gemeint sind zur Feststellung der besten Fokussierung, können auf diese Weise auch eine Angabe über den Astigmatismus des Projektionslinsensystems herbeiführen.

[0154] In den bisher beschriebenen Messungen wird eine Testmarkierung verwendet, die eine Anzahl Male in demselben IC-Gebiet oder in verschiedenen IC-Gebieten abgebildet wird, und zwar zum Bestimmen beispielsweise der besten Fokussierung. Vorzugsweise aber wird eine Testmarkierung verwendet, wobei zusätzlich zu oder anstelle von einer Testmarkierung in der Mitte, wenigstens drei Testmarkierungen außerhalb der Mitte vorgesehen sind. **Fig.** 13 zeigt eine Maske mit einer Testmarkierung TM_1 in der Mitte und vier Testmarkierungen TM_2–TM_5, an je einer der Ecken, sowie die zusätzlichen Ausrichtmarkierungen, assoziiert mit diesen Testmarkierungen.

[0155] Durch wiederholtes Abbilden einer derartigen Maske mit drei oder fünf Testmarkierungen in dem Photoresist in verschiedenen IC-Gebieten, jeweils mit einer anderen Fokussierung, und durch Feststellung der besten Fokussierung für jede der Testmarkierungen und durch einen Vergleich derselben miteinander, können Daten über die Qualität des Projektionslinsensystems erhalten werden, und zwar auf die An und Weise, wie im US Patent 5.144.363 beschrieben, das eine Projektionseinrichtung mit einer Bilddetektionseinrichtung eines anderen Typs be-

schreibt. So kann beispielsweise die Neigung des mit der Projektionsstrahlung erzeugten Bildes ermittelt werden. Diese Information kann zur Kalibrierung einer Neigungsdetektionseinrichtung benutzt werden, die in eine Projektionseinrichtung einer neuen Generation eingebaut werden soll, wobei diese Detektionseinrichtungen mit einer Differenz von der Projektionsstrahlung arbeiten und auf dem Autokollimationsprinzip basieren. Zusätzlich zu der Information über die genannte Neigung kann auch Information über die Vergrößerung, den Astigmatismus und die Verzerrung dritter Ordnung erhalten werden.

[0156] Ein wichtiger Teil dieser Verzerrung ist die radiale Verzerrung, d. h. die Differenz zwischen der Vergrößerung, gemessen in einer radialen Richtung, in der Mitte des Bildfeldes und der an einer anderen Stelle des Bildfeldes.

[0157] **Fig.** 14 zeigt eine Ausführungsform einer Testmaske mit einer Vielzahl, und zwar einundvierzig, Testmarkierungen und assoziierten zusätzlichen Ausrichtmarkierungen, wobei jedes Paar durch ein einziges Bezugszeichen angegeben ist: 100–140. Die Linie 150 in **Fig.** 14 stellt das Feld des Projektionslinsensystems dar, wobei dieses Feld beispielsweise 14 × 14 mm^2 ist. Wenn weitere Paare einer Ausrichtmarkierung und einer Testmarkierung an den durch Punkte in **Fig.** 14 angegebenen Stellen vorgesehen sind, wird eine Testmaske mit hundertzwanzig Paaren mit Markierungen erhalten, was für eine bestehende Projektionseinrichtung geeignet ist, in der ein spezielles Programm verwendet wird, das an eine bestehende Ausrichtmaske angepasst ist, die eine Vielzahl Ausrichtmarkierungen hat. Die Testmaske nach **Fig.** 14 hat dieselbe Anzahl Testmarkierungen wie die bestehende Ausrichtmaske Ausrichtmarkierungen hat. Der Vorteil der Testmarkierungen nach **Fig.** 14 ist, dass eine Anzahl Projektionslinsenparameter, wie Neigung und Feldkrümmung dadurch ermittelt werden können.

[0158] Das Testmarkierungsmuster nach **Fig.** 14 wird einige Male, beispielsweise 29 Mal in dem Photoresist abgebildet, jeweils in einem anderen IC-Gebiet, in dem die Fokussierung sich jeweils ändert, beispielsweise 0,2 µm zwischen Z = –2,8 und Z = +2,8 µm, wonach die beispielsweise latenten Bilder aller Markierungen gemessen werden, d. h. deren ausgerichtete Positionen werden mit Hilfe der Substrattischpositionsdetektionseinrichtung festgelegt und gespeichert. Auf diese Weise werden 41 × 29 × 2 = 2378 Ausrichtpositionen festgelegt.

[0159] Da Bilder der Testmarkierungen in einer Vielzahl von beispielsweise neunundzwanzig Gebieten des Substrats erzeugt werden, wird während der Detektion ein Mittelwertbestimmungvorgang durchgeführt, so dass die Messungen nicht durch Abweichungen des Substrats, wie Unebenheiten, beeinflusst werden.

[0160] Die genannten Defokussierungsschritte brauchen nicht gleich groß zu sein. Vorzugsweise werden diese Schritte kleiner, je nachdem dem Extremwert in beispielsweise **Fig.** 7a und 7b angenähert wird, so dass es möglich ist, genauer zu messen und die beste Kurvendeckung besser möglich wird. Das Prinzip der variierenden Schrittgröße kann ebenfalls angewandt werden, wenn die Beleuchtungsdoses ermittelt werden.

[0161] Es sei bemerkt, dass die in den **Fig.** 7a und 7b dargestellten Kurven für die Markierung **100** auf der optischen Achse gelten. Ähnliche Information kann für alle anderen Markierungspaare **101**–**104** erhalten werden. Aus der gesamten Information können zwei Brennflächen für die X- und die Y-Richtung hergeleitet werden. Wenn das Projektionslinsensystem Astigmatismus aufweist, sind die Brennflächen FS_x, FS_y verschieden. Eine mittlere Brennfläche FS_M kann dann entsprechend der nachfolgenden Gleichung hergeleitet werden:

$$FS_M = 0{,}5\ (FS_x + FS_y)$$

[0162] Eine derartige Fläche ist in **Fig.** 15 dargestellt, während **Fig.** 16 den assoziierten Astigmatismus $AST = FS_x – FS_y$ zeigt. Für die spezifische Projektionslinse, für welche die Messung durchgeführt worden ist, beträgt der maximale Astigmatismus etwa 390 nm und tritt längs der X-Achse auf, für X = 6,5 mm.

[0163] Wenn die Brennflächen FS_x und FS_y bekannt sind, kann das Substrat während des Produktionsprojektionsprozesses derart manipuliert werden, dass die örtliche Substratfläche möglichst befriedigend auf die örtliche Brennfläche passt. Dazu sind die IC-Gebiete auf dem Substrat kleiner als das Bildfeld des Projektionslinsensystems, so dass ein gewisser Manövrierraum für die IC-Gebiete übrig gelassen ist.

[0164] Eine Brennfläche ist die Sammlung bester Brennpunkte innerhalb des Pro jektionslinsenbildfeldes, mit anderen Worten, die Punkte, für die der maximale Offset in dem Ausrichtsignal auftritt.

[0165] **Fig.** 17 zeigt das Ergebnis einer bekannten, mit der Testmaske nach **Fig.** 14 durchgeführten Verzerrungsmessung. Dazu werden die Ausrichtdaten der zusätzlichen Ausrichtmarkierungen für die beste Fokussierung verwendet. Die örtliche Verzerrung des Projektionslinsensystemsist die Differenz zwischen der Position, an der die Markierung wirklich abgebildet ist und der Position, an der die Markierung abgebildet werden sollte, wenn die Vergrößerung des Projektionslinsensystems einwandfrei wäre, unabhängig von der Polarisatorsition in dem Bildfeld. **Fig.** 17 zeigt das Ergebnis, erhalten nach zwischenliegenden Vorgängen der Verzerrungsmessungen, wobei Fehler in der Maske in Form von Vektoren, 200 – 240, nicht berücksichtigt worden sind. Eine Vektorlänge von 2,8 mm stellt eine Verzerrung von etwa 100 nm dar. Per Definition ist die Verzerrung an der optischen Achse, Position **200**, Null. Für das gemessene Projektionslinsensystem beträgt die größte Verzerrung etwa 170 nm für den Vektor **203**.

[0166] Die Bilddetektion einer asymmetrischen Testmarkierung kann auch zum Messen von Unebenheiten des Substrats samt Photoresist und folglich zum Durchführen einer An von Höhenmessung angewandt werden. Dazu wird beispielsweise die Testmarkierung, möglicherweise zusammen mit einer assoziierten zusätzlichen Ausrichtmarkierung, einige Male abgebildet, jeweils mit einer anderen Fokussierung, und zwar in einem IC-Gebiet und dieses Mehrfachbild wird in einer Anzahl IC-Gebiete, verteilt über das ganze Substrat, wiederholt. Mittels der Latentbilddetektion wird die beste Fokussierung für jedes IC-Gebiet bestimmt. Durch einen Vergleich dieser Einstellungen für die verschiedenen Gebiete miteinander, können Unebenheiten des Substrats gefunden werden.

[0167] Einer der Vorteile der Latentbilddetektion ist, dass die Bilder in der Einrichtung gemessen werden, in der diese Bilder erzeugt worden sind. Dieser Vorteil wird beibehalten, wenn das Substrat samt Photoresist entwickelt wird, nachdem Bilder der Testmarkierung darin erzeugt worden sind, und danach wieder in die Einrichtung gegeben wird zum Messen der dann entwickelten Bilder mit Hilfe der Ausrichteinrichtung. Dieser Prozess ist schneller als der herkömmliche Messprozess mit Hilfe eines SEMs und liefert Detektorsignale mit größeren Amplituden als die Signale aus rein latenten Bildern.

[0168] Die Bezugsmarkierung für eine Testmarkierung kann nicht nur eine symmetrische zusätzliche Ausrichtmarkierung sein, wie oben beschrieben, sondern auch eine asymmetrische Markierung, deren Asymmetrie gegenüber der Testmarkierung steht. **Fig.** 18 zeugt schematisch eine derartige Bezugsmarkierung RM und die assoziierte Testmarkierung TM. Bei der Bilddetektion wird jede dieser Markierungen zunächst gegenüber einer symmetrischen Ausrichtmarkierung, beispielsweise einer globalen Ausrichtmarkierung, ausgerichtet und danach wird der Offset in dem Ausrichtsignal für jede Markierung ermittelt. Dadurch, dass die Detektorsignale der zwei asymmetrischen Markierungen voneinander subtrahiert werden, wird ein Signal erhalten, dessen Variation wegen der Asymmetrie in der Markierung im Grunde zweimal größer ist als wenn nur die Testmarkierung asymmetrisch ist.

[0169] Durch Detektion von Bildern der beschriebenen asymmetrischen Testmarkierungen wird nicht nur Information über die Position, die Drehung und die Neigung des latenten Bildes, sondern es kann auch Information über die Variationen in der Abbildungsqualität, insbesondere der Vergrößerung, dem Astigmatismus, der Verzerrung und der Feldkrümmung, verursacht durch die Variationen in der Wellenlänge des Projektionsbündels und durch Variationen der Umgebungsparameter, wie Luftdruck, Temperatur und dergleichen, erhalten werden. Es ist dann nicht notwendig, dass alle Parameter, welche die Bildqualität beeinflussen, d. h. die Umgebungsparameter, die Wellenlänge des Projektionsbündels, die mechanische Trift usw. bekannt sind, aber der in der Projektionseinrichtung vorgesehene Computer kann mit Hilfe der Detektorsignale feststellen, dass das von dem Projektionslinsensystem erzeugte Bild nicht einwandfrei ist und dann Einstellsignale für die jeweiligen Servoeinrichtungen und Steuersignale für die Einrichtungsparameter, wie Wellenlänge, Gasdruck und Temperatur in der Projektionslinse usw. erzeugen, und zwar über ein Modell, in dem alle beeinflussenden Parameter eingeschlossen sind, so dass die Position und die Qualität des projizierten Bildes optimal sein wird.

[0170] Die Testmarkierungsbilddetektionseinrichtung schafft die Möglichkeit einer genauen Messung und Korrektur. In einer Projektionseinrichtung mit einem Projektionsbündel, dessen Wellenlänge in dem weiten UV-Bereich, beispielsweise 248 nm, liegt, sollte es möglich sein, Unstabilitäten in der X- und in der Y-Richtung in der Größenordnung von 5 nm und Unstabilitäten in der Z-Richtung in der Größenordnung von 50 nm zu messen. In einer Projektionseinrichtung, in der die beeinflussenden Parameter selber gemessen und mit Bezugswerten verglichen werden sollen, sollen die Temperatur, die Wellenlänge, die Z-Position der Maske und der Luftdruck gemessen werden, und zwar mit einer Genauigkeit von 0,015°K, 0,5 nm, 0,15 μm bzw. 0,5 mbar. Wenn es überhaupt möglich ist, diese Messgenauigkeiten zu erzielen, sollen dazu sehr aufwendige Messtechniken angewandt werden. Weiterhin sollen die Messwerte für Aberrationen des Projektionslinsensystems umgewandelt werden mit der zusätzlichen Anforderung, dass keine Inhomogenitäten in diesem System auftreten sollen. Weiterhin ist die mechanische Trift in der Projektionseinrichtung nicht berücksichtigt worden.

[0171] **Fig.** 19 zeigt ein Diagramm der Servoeinrichtungen und deren Verbindungen in der Projektionseinrichtung. Die einzelnen Verbindungsleitungen zwischen den durch Blöcke angegebenen verschiedenen Einrichtungen sind auch in bekannten Projektionseinrichtungen vorhanden. Diese Blöcke sind:

LA, die Strahlungsquelle, beispielsweise ein Laser,

LWC, eine Laserwellenlänge-Steuereinrichtung,

ILS, das Beleuchtungssystem,

MT, der Maskentisch,

MAZ, eine Einrichtung zur Prüfung der Z-Position des Maskentisches,

PL, die Projektionslinse,

PLTC, eine Einrichtung, welche die Temperatur der Projektionslinse steuert,

ALI, das mit Hilfe von Ausrichtstrahlung erzeugte Bild,

IF, die Substrattischpositionsdetektionseinrichtung,

FD, die Fokusfehlerdetektionseinrichtung,

AS_1(AS_2), die einzelne (oder doppelte) Ausrichteinrichtung.

[0172] Die mit gestrichelten Linien angegebenen Subsysteme sind als zusätzliche Systeme in der Projektionseinrichtung angegeben.

ELI, das mit Hilfe der Projektionsstrahlung erzeugte latente Bild,
IS, die Latentbilddetektionseinrichtung, und
IC, die Bildkalibriereinrichtung, oder der Computer.

[0173] Die doppelten Verbindungslinien stellen die zusätzlichen Signale dar, die verarbeitet werden, wenn die Latentbilddetektionseinrichtung verwendet wird.

[0174] Diese sind:

– die Signale der Substrattischpositionsdetektionseinrichtung IF, der Wellenlängensteuereinrichtung LWC und der Fokusfehlerdetektionseinrichtung FD, die der Bilddetektionseinrichtung zugeführt werden,
– die Bildinformation des mit Projektionslicht erzeugten Bildes,
– Signale der Bildkalibriereinrichtung, die den nachfolgenden Elementen zugeführt werden:

der Laserwellenlängensteuereinrichtung LWC,
der Maskenhöhensteuereinrichtung MAZ,
der Projektionslinsentemperatursteuereinrichtung PLTC,
der Fokusfehlerdetektionseinrichtung, und
der Ausrichteinrichtung AS_1(AS_2).

[0175] Die Projektionseinrichtung kann eine oder mehrere der nachfolgenden Einrichtungen umfassen:

– eine Einrichtung (PLPC) zur Steuerung des Drucks in dem Projektionslinsensystem,
– eine Einrichtung (PLGM) zur Steuerung der Zusammensetzung des Mediums in dem Projektionslinsensystem,
– eine Einrichtung (PLDC) zur Steuerung der gegenseitigen Abstände zwischen den Linsenelementen.

[0176] Die Einrichtungen PLPC, PLPG und PLDC werden aus der Einrichtung IC gesteuert, und zwar auf entsprechende Art und Weise wie die Einrichtung PLTC.

[0177] **Fig.** 20 zeigt eine weitere Ausführungsform einer eindimensionalen Testmarkierung mit Streifen **305** und zwischenliegenden Streifen **300**, wobei die Streifen **305** wieder in einen Teil **306**, der für die Projektionsbündelstrahlung transparent ist, und einen Teil aufgeteilt wird, der aus eine Aufeinanderfolge von durchlässigen Teilstreifen **307** und nicht durchlässigen Teilstreifen **308** besteht. Diese Ausführungsform weicht von der aus **Fig.** 6 darin ab, dass die Richtung der Teilstreifen **307** und **308** sich in einem scharfen Winkel, beispielsweise in einem Winkel von 45° gegenüber der Richtung des Streifenteils **306** erstreckt. Zusätzlich zu Messungen der genannten Projektionslinsenparameter eignet sich diese Testmarkierung durchaus zum Messen von Astigmatismus bei einem scharfen Winkel, beispielsweise einem Winkel von 45°, gegenüber der X- und der Y-Richtung.

[0178] Die Testmarkierung in **Fig.** 20 kann in Kombination mit einer zusätzlichen Ausrichtmarkierung verwendet werden, die eine gespiegelte asymmetrische Struktur hat, ähnlich wie die Kombination nach **Fig.** 18. **Fig.** 21 zeigt die neue Kombination, wobei TM die Testmarkierung ist und wobei Rückkopplungsmittel die Bezugsmarkierung oder eine zusätzliche Ausrichtmarkierung ist.

[0179] **Fig.** 22 zeigt eine weitere Ausführungsform der Testmarkierung, die von der einen, oben genannten darin abwicht, dass die Streifen **325** eine größere Breite W1 haben als die Breite W2 der undurchlässigen zwischenliegenden Streifen **320**. Die auf diese Weise erhaltene Testmarkierung hat eine extra gröbere Asymmetrie, die den Effekt der Asymmetrie, verursacht durch die Teilstreifen **327** und **328** noch verstärkt.

[0180] **Fig.** 23 zeigt eine Ausführungsform einer zweidimensionalen Testmarkierung **329**, die sich insbesondere dazu eignet, in der Schreibzeile eines Substrats abgebildet zu werden. Diese Markierung besteht aus einem Teil **330**, dessen Streifen **331** sich in der X-Richtung erstrecken, und einem Teil **335**, dessen Streifen sich in der Y-Richtung erstrecken. Wie in den Einsätzen dargestellt, bestehen die Streifen **331** auch hier wieder aus einem transparenten Teil **332** und transparenten Teilstreifen **333**, die sich mit undurchlässigen Teilstreifen **334** abwechseln, während die Streifen **336** aus einem transparenten Teil **337** und transparenten Teilstreifen **338** bestehen, die sich mit undurchlässigen Teilstreifen **339** abwechseln. Die Testmarkierung ist beispielsweise 220 µm lang und 80 µm breit. In einer Projektion mit einer 5fachen Reduktion ist das Testmarkierungsbild 40 µm lang und 10 µm breit, so dass dieses Bild auf befriedigende Weise in eine Schreibzeile passt.

[0181] **Fig.** 24 zeigt eine Ausführungsform einer Testmarkierung **340**, die sich insbesondere zur Messung von Beleuchtungsdoses eignet. Diese Markierung umfasst beispielsweise vier Gitter **340**–**344**. Die Streifen **345** jedes Gitters bestehen aus einem transparenten Teil **347** und einem Teil **348**, der eine Vielzahl transparenter Submicrongebiete **349** auf einem undurchlässigen Untergrund hat. Die Submicrongebiete, die Abmessungen in der Größenordnung von beispielsweise 0,2 µm haben, können nicht einzeln durch das Projektionslinsensystem abgebildet werden und bilden gemeinsam ein Graufilter, das beispielsweise 30% der eintreffenden Strahlung durchlässt.

[0182] Bei der Projektion der Streifen **245** in den Photoresist werden streifenförmige Gebiete **350** erzeugt, dessen linker Teil eine höhere Intensität empfängt als der rechte Teil. Der Schwerpunkt, angegeben durch den Pfeil **351**, der Intensitätsverteilung in den Bildstreifen **350** wird gegenüber dem Schwerpunkt, angegeben durch den Pfeil **361** der Bilder **360** der Streifen **355** einer Bezugsmarkierung RM nach links verschoben. Wenn die Beleuchtungsdosis gesteigert wird, nimmt die durch den Streifenteil **348** zu dem Photoresist durchgelassene Strahlungsmenge

zu, während der Teil des Photoresists, der über den Streifenteil **347** beleuchtet worden ist, gesättigt ist, so dass der Schwerpunkt der Intensitätsverteilung nach rechts verschiebt. Bei einer ausreichend großen Beleuchtungsdosis wird der Schwerpunkt in der Mitte der Bildstreifen 350 liegen, was mit Hilfe des Pfeiles **352** angegeben ist. Da die Menge der Beleuchtungsdosis in eine Position des Schwerpunktes der Energieverteilung innerhalb der Streifenbilder umgewandelt wird, können Beleuchtungsdoses auch mit Hilfe der Ausrichteinrichtung der Projektionseinrichtung gemessen werden.

[0183] Statt der aus vier Teilen bestehenden Testmarkierung **340** aus **Fig.** 24 kann auf alternative Weise eine Testmarkierung mit zwei Gittern verwendet werden, deren Gitterstreifen sich in X- bzw. in der Y-Richtung erstrecken, oder für die Messung der Beleuchtungsdosis kann eine Testmarkierung mit nur einem einzigen Gitter verwendet werden. Diese Messung kann mit latenten Bildern, PEB-Bildern oder entwickelten Bildern durchgeführt werden. Die Streifen **345** haben eine Breite, die der Breite der zwischenliegenden Streifen **346** entspricht oder größer ist als diese Breite. Weiterhin können die Streifen der Bezugsmarkierung, die in Kombination mit der speziellen Testmarkierung zur Messung der Beleuchtungsdosis verwendet wird, ebenfalls ein Graugebiet enthalten, das aus den Submicrongebieten besteht, in denen die Struktur der Streifen der Bezugsmarkierung das Bild ist, das µm die Y-Achse des Bildes der Streifen der Testmarkierung gespiegelt ist, und zwar zum Erhalten eines stärkeren Signals entsprechend der anhand der **Fig.** 18 beschriebenen Situation. Die Submicrongebiete können nicht nur die quadratische Form aus **Fig.** 24 haben, sondern auch andere Formen, wie eine dreieckige Form oder eine Kreisform, oder sie können aus sehr dünnen Linien bestehen.

[0184] **Fig.** 25 zeigt den Offset AO (in nm) der Bildmitte, als eine Funktion der Beleuchtungs- oder der Belichtungsdosis EXD in mJ/cm^2 für eine Testmarkierung, deren Streifen **345** ebenso breit sind wie die zwischenliegenden Streifen **346**, Kurve **370**, und für eine Testmarkierung, deren Streifen um etwa 25% breiter sind als die zwischenliegenden Streifen, Kurve **371**.

[0185] Es hat sich herausgestellt, dass die Messung der Beleuchtungsdosis durch Fokusfehler, die nicht zu groß sind, nahezu nicht beeinflusst wird.

[0186] Die vorliegende Erfindung ist anhand der Verwendung bei einer Einrichtung zur wiederholten Abbildung und/oder Abtastung eines Maskerimusters auf einem Substrat zum Herstellen integrierter Schaltungen (ICs) beschrieben worden. Eine derartige Einrichtung kann auf alternative Weise zur Herstellung integrierter optischer Systeme oder planarer optischer Systeme, Führungs- und Detektionsmuster für magnetische Domänenspeicher oder eine Struktur von Flüssigkristall-Wiedergabeanordnungen verwendet werden. Obschon die vorliegende Erfindung primär für diese Einrichtungen gemeint ist, ist sie nicht darauf beschränkt. Sie kann im Allgemeinen bei optischer Mess- und Inspektionseinrichtungen angewandt werden, wobei die Qualität eines Abbildungslinsensystems sehr genau bestimmt werden soll.

Patentansprüche

1. Verfahren zur wiederholten Abbildung eines Maskenmusters (C), vorgesehen in einem Maskentisch (MT), auf einem Substrat (W), vorgesehen in einem Substrattisch (WT), mit Hilfe eines Projektionsbündels (PB), wobei dieses Verfahren die nachfolgenden Verfahrensschritte umfasst:
– das Anbringen einer Maske (MA) mit wenigstens einer Testmarkierung (M_3, M_4, M_5, TM) in dem Maskentisch, wobei diese Testmaskierung eine periodische Struktur von Streifen (**35**) hat, die sich mit zwischenliegenden Streifen (**30**) abwechseln, die für die Strahlung des Projektionsbündels nicht transparent sind;
– das Anbringen eines Substrats (W) mit einer strahlungsempfindlichen Schicht in dem Substrattisch (WT);
– das Projizieren des Bildes (M'_3, M'_4, M'_5) wenigstens einer Testmarkierung der Maske in der strahlungsempfindlichen Schicht mit Hilfe des Projektionsbündels (PB) und eines Projektionssystems (PL);
– das Detektieren des genannten Bildes mit Hilfe einer Testmarkierungsbilddetektionsanordnung, die eine Ausrichteinrichtung (AS_1, AS_2) benutzt, die ursprünglich gemeint ist zum Ausrichten einer Ausrichtmarkierung (M_1, M_2) einer Maske gegenüber einer Ausrichtmarkierung (P_1, P_2) eines Substrats;
– das Einstellen wenigstens eines Parameters, der die Qualität und die Position des Maskenmusterbildes beeinflusst, mit Hilfe des Ausgangssignals der Testmarkierungsbilddetektionsanordnung und
– das wiederholte Abbilden einer Produktionsmaske an aufeinander folgenden verschiedenen Stellen auf einem Produktionssubstrat,
dadurch gekennzeichnet, dass eine asymmetrische Testmarkierung (TM) verwendet wird, deren Streifen (**35**) teilweise für die Projektionsbündelstrahlung (PB) transparent sind und teilweise aus einer Anzahl Hilfsstreifen (**37**, **38**) bestehen, die für die Projektionsbündelstrahlung abwechselnd transparent und nicht transparent sind, und dass die Testmarkierungsbilddetektion aus einer ersten Detektion, die das Testmarkierungsbild gegenüber einer Maskenmarkierung (M_1, M_2) ausrichtet, und einer nachfolgenden Detektion einer Änderung in der Asymmetrie des Testmarkierungsbildes besteht, verursacht durch einen zu messenden Parameter und von der Ausrichteinrichtung (AS1, AS2) als eine Verschiebung des Testmarkierungsbildes betrachtet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das durch Abbildung der Testmarkierung (TM) in der strahlungsempfindlichen Schicht gebildete latente Bild, mit Hilfe der Ausrichteinrichtung (AS_1, AS_2) detektiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass nachdem die Testmarkiering (TM) in der strahlungsempfindlichen Schicht abgebildet worden ist, das Substrat (W) aus dem Substrattisch (WT) entfernt wird, daraufhin entwickelt und danach wieder auf den Substrattisch gelegt wird, wonach das entwickelte Testmarkierungsbild mit Hilfe der Ausrichteinrichtung (AS_1, AS_2) detektiert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine doppelte Markierung (M_3, M_4, M_5) verwendet wird, die aus der genannten Testmarkierung (TM) und einer zugeordneten Ausrichtmarkierung(AM) besteht, deren periodische Struktur ungeteilter Streifen und Zwischenstreifen derjenigen der Testmarkierung (TM) entspricht, und dass die genannte Ausrichtmarkierung (AM) zum Ausrichten der Testmarkierung (TM) verwendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine Testmarkierung (TM; M_3, M_4, M_5; **340**) mit einer Anzahl Teile (P_{1a}, P_{1b}, P_{1c}, P_{1d}, **342**) verwendet wird, während die Richtung der Streifen (**35**) und der zwischenliegenden Streifen (**30**) eines Teils senkrecht auf der Richtung der Streifen und der zwischenliegenden Streifen eines anderen Teils steht.

6. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Produktionsmaske (MA) verwendet wird, die mit wenigstens einer Testmarkierung (TM) versehen ist.

7. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Testmaske (TMA) verwendet wird, die mit wenigstens einer Testmarkierung (TM; TM_1–TM_5) versehen ist (**Fig.** 9, 11).

8. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Anzahl Bilder wenigstens einer Testmarkierung (TM) in der strahlungsempfindlichen Schicht gebildet wird, jeweils mit einer anderen Fokussierung des Projektionssystems (PL), dass die strahlungsempfindliche Schicht während mehrfacher Abbildung der Testmarkierung überexponiert wird, und dass die optimale Fokussierung des Projektionssystems (PL) aus den Signalen ermittelt wird, die erhalten werden, wenn jedes der genannten Bilder der Ausrichteinrichtung (AS_1; AS_2) detektiert wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das optimale Fokussierungssignal, erhalten durch die Testmarkierungsbilddetektion, mit einem Fokusmesssignal verglichen wird, erhalten mit Hilfe einer einzelnen Fokusmesseinrichtung (FD) und verwendet zum Kalibrieren der letztgenannten Einrichtung (**Fig.** 4).

10. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Bild wenigstens einer Testmarkierung (TM; TM_1–TM_5) in der strahlungsempfindlichen Schicht gebildet wird, und zwar unter Verwendung einer bestimmten Beleuchtungsdosis, dass der Ausrichtsignalversatz, der mit dieser Beleuchtungsdosis assoziiert ist und durch die Asymmetrie in dem ausgerichteten Testmarkierungsbild ermittelt wird, und dass bei weiteren Messungen überprüft wird, ob dieser Versatz beibehalten wird.

11. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Testmaske (TMA) verwendet wird, in der eine Anzahl Testmarkierungen (TM_1 – TM_5; **100**– **140**) vorgesehen ist, dass die genannte Testmaske eine Anzahl Male in verschiedenen Gebieten der strahlungsempfindlichen Schicht abgebildet wird, jeweils mit einer anderen Fokussierung des Projektionssystems (PL), dass die optimale Fokussierung für jede Testmarkierung aus den Signalen ermittelt wird, die erhalten werden, wenn jedes Bild detektiert wird, das mit der genannten Testmarkierung assoziiert ist, und zwar mit Hilfe der Ausrichteinrichtung (AS_1; AS_2), und dass optische Eigenschaften des Projektionslinsensystems (PL) durch einen Vergleich der optimalen Fokussierungswerte für die verschiedenen Testmarkierungen (TM_1–TM_5; **100**–**140**) ermittelt werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Anzahl Bilder mit gleichen Fokussierungswerten wenigstens einer Testmarkierung (TM; TM_1–TM_5) in verschiedenen Gebieten der strahlungsempfindlichen Schicht gebildet wird und dass die Signale, erhalten, wenn die gebildeten Bilder detektiert werden, mit Hilfe der Ausrichteinrichtung (AS_1; AS_2) miteinander verglichen werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass eine Anzahl Bilder der Testmarkierung (TM; TM_1–TM_5), jeweils mit einer anderen Fokussierung in jedem der genannten gebiete gebildet wird, dass der optimale Fokussierungswert für jedes der genannten Gebiete bestimmt wird und dass die genannten optimalen Fokussierungswerte miteinander verglichen werden.

14. Testmaske (TMA) zur Verwendung bei dem Verfahren nach Anspruch 1, versehen mit wenigstens einer Testmarkierung (TM) und einer zugeordneten Ausrichtmarkierung (AM), vorgesehen in einem definierten Abstrand voneinander, wobei die Ausrichtung (AM) eine periodische Struktur von Streifen hat, die für die Projektionsbündelstrahlung (PB) transparent sind und sich abwechseln mit lichtundurchlässigen zwischenliegenden Streifen, dadurch gekennzeichnet, dass die Testmarkierung (TM) eine asymmetrische Markierung ist und eine periodische Struktur sich abwechselnder Streifen und Zwischenstreifen hat mit derselben Periode wie die (PE_1) der Ausrichtmarkierung und dass die Streifen (**35**) der

Testmarkierung teilweise transparent sind für die Projektionsbündelstrahlung und teilweise aus Hilfsstreifen (**37**, **38**) bestehen, die abwechselnd transparent und nicht transparent für die genannte Strahlung sind.

15. Testmaske nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass eine einzelne Ausrichtmarkierung (AM; AM_1–AM_5) des genannten Typs in der Nähe jeder Testmarkierung (TM; TM_1–TM_5) vorgesehen ist.

16. Testmaske nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass nebst einer Testmarkierung (TM_1) in der Mitte, die Maske ebenfalls eine Testmarkierung (TM_2–TM_5) in wenigstens den vier Ecken aufweist.

17. Testmaske nach Anspruch 14, 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass jede Testmarkierung (TM; TM_1–TM_5) ein Gitter ist mit einer periodischen Struktur in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen (x, y).

18. Testmaske nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass jede Testmarkierung (TM; **340**) ein Gitter ist, das eine Anzahl Teile (**341**, **342**) aufweist, in denen die Richtung der Gitterstreifen des einen Teils senkrecht auf der Richtung der Gitterstreifen eines zweiten Teils stehen.

19. Testmaske nach Anspruch 14, 15, 16, 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Streifen (**35**) jeder Testmarkierung (TM; TM_1 – TM_5; **100**–**140**) drei transparente und drei nicht transparente Hilfsstreifen aufweisen (**Fig.** 18).

20. Testmaske nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Hilfsstreifen (**37**, **38**; **327**, **328**; **331** – 334) einer Testmarkierung (TM) dieselbe Richtung haben wie die undurchsichtigen zwischenliegenden Streifen (**30**) der genannten Testmarke.

21. Testmaske nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Richtung der Hilfsstreifen (**307**, **308**) einer Testmarkierung (TM) sich in einem scharfen Winkel gegenüber der Richtung der undurchsichtigen Zwischenstreifen (**30**) der genannten Testmarkierung erstrecken (**Fig.** 20, 21).

22. Testmaske nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Streifen (**325**) breiter sind als die Zwischenstreifen (**320**) (**Fig.** 22).

23. Testmaske nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Testmarkierung (**329**) eine längliche Form hat und aus zwei Teilen (**330**, **335**) besteht, wobei die Gitterstreifen (**331**) des einen teils (**330**) senkrecht auf denen (**336**) des anderen Teils (**335**) stehen und dass die Testmarkierung eine derartige Breite hat, dass deren Abbildung in ein Zwischengebiet auf dem Substrat (W) passt, das zwischen zwei Gebieten liegt, in denen ein Produktionsmaskenmuster (C) abgebildet werden soll.

24. Testmaske zur Anwendung bei dem Verfahren nach Anspruch 1, mit wenigstens einer asymmetrischen Testmarkierung (**340**) und einer zugeordneten Ausrichtmarkierung (AM), vorgesehen in einem definierten Abstand voneinander, wobei die Ausrichtmarkierung (AM) eine periodische Struktur von Streifen hat, die transparent sind für die Projektionsbündelstrahlung und sich mit undurchsichtigen Zwischenstreifen abwechseln, dadurch gekennzeichnet, dass die Testmarkierung (**340**) eine asymmetrische Markierung ist und eine periodische Struktur abwechselnder Streifen und Zwischenstreifen mit derselben Periode wie die (PE_1) der Ausrichtmarkierung hat und dass die Testmarkierungsstreifen (**345**) aus einem ersten, transparenten Teil (**347**) und einem nicht transparenten Teil (**348**) bestehen, in dem transparente Submicrometergebiete (**349**) vorgesehen sind, wobei der genannte zweite Teil (**348**) als Graufilter wirksam ist.

25. Anordnung zum Durchführen des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einer ersten Betriebsart und einer zweiten Betriebsart, wobei die erste Betriebsart eine Testmode Zum Ermitteln der Qualität einer Abbildung einer Testmarkierung (TM) und wobei die zweite Mode eine Produktionsmode ist zum Abbilden einer Produktionsmaske auf einem Produktionssubstrat, wobei diese Anordnung die nachfolgenden Elemente umfasst:
– ein Beleuchtungssystem (LA, EX, IN, CO), das ein Projektionsbündel (PB) zum Beleuchten einer Maske liefert;
– einen Maskentisch (MT) zum Unterbringen einer Maske (MA);
– einen Substrattisch (WT) zum Unterbringen eines Substrats (W);
– ein Projektionslinsensystem (PL), das zwischen dem Maskentisch (MT) und dem Substrattisch (WT) vorgesehen ist;
– eine Positionsdetektionsanordnung (IF; IF_1, IF_2), die mit dem Substrattisch gekoppelt ist zum Detektieren von Positionen längs wenigstens zwei senkrecht aufeinander stehender Achsen (x, y);
– eine Ausrichteinrichtung (AS_1, AS_2) zum Ausrichten einer Maske (MA) gegenüber einem Substrat (W), und
– eine Testmarkierungsabbildungsdetektionsanordnung zum Detektieren einer Abbildung einer Testmarkierung, projiziert auf das Substrat, wobei diese Anordnung die Ausrichteinrichtung aufweist,
dadurch gekennzeichnet, dass die Testmarkierungsabbildungsdetektionsanordnung ebenfalls die Positionsdetektionsanordnung (IF; IF_1, IF_2) aufweist zur genauen Verlagerung des Substrats (W) aus einer

ersten Lage, worin eine Ausrichtmarkierung (MA), die mit der Testmarkierung (TM) assoziiert ist, ausgerichtet wird, in eine zweite Lage, worin die Testmarkierung (TM) ausgerichtet wird, und Mittel, die mit der Ausrichteinrichtung gekoppelt sind um während der Testmode die Differenz zwischen den Ausrichtsignalen zu ermitteln, die für die genannte erste und zweite Lage erhalten worden sind.

26. Anordnung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionsdetektionsanordnung (IF; IF_1, IF_2) ebenfalls Drehungen um die genannten Achsen (x, y) detektiert und dass die Signale der Positionsdetektionsanordnung, einer Bilddetektionsanordnung (IS), der Ausrichteinrichtung (AS_1, AS_2) und einer Fokusfehlerdetektionsanordnung (FD) mit den Eingängen einer elektronischen Signalverarbeitungsanordnung (IC) verbunden sind, die Steuersignale liefert zum Korrigieren eines oder mehrere der nachfolgenden Parameter:
– die Wellenlänge des Projektionsbündels (PB);
– den Druck innerhalb einer Halterung für das Projektionslinsensystem (PL);
– den Abstand untereinander zwischen Linsenelementen des Projektionslinsensystems (PL);
– die Zusammensetzung eines Mittels in einem oder mehreren Abteilen der Projektionslinsenhalterung;
– die Temperatur innerhalb der Projektionslinsenhalterung;
– die Nulleinstellung der Ausrichteinrichtung (AS_1, AS_2);
– die Nulleinstellung der Fokusfehlerdetektionsanordnung (FD), und
– die Vergrößerung des Projektionslinsensystems (PL).

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

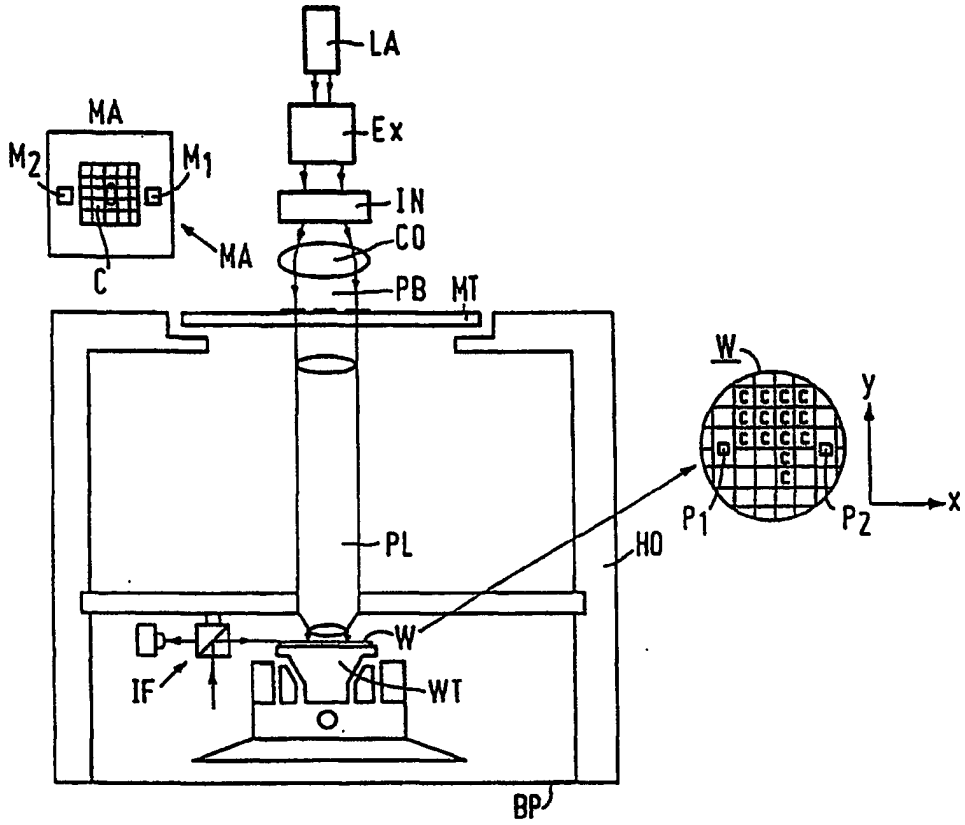


FIG.1

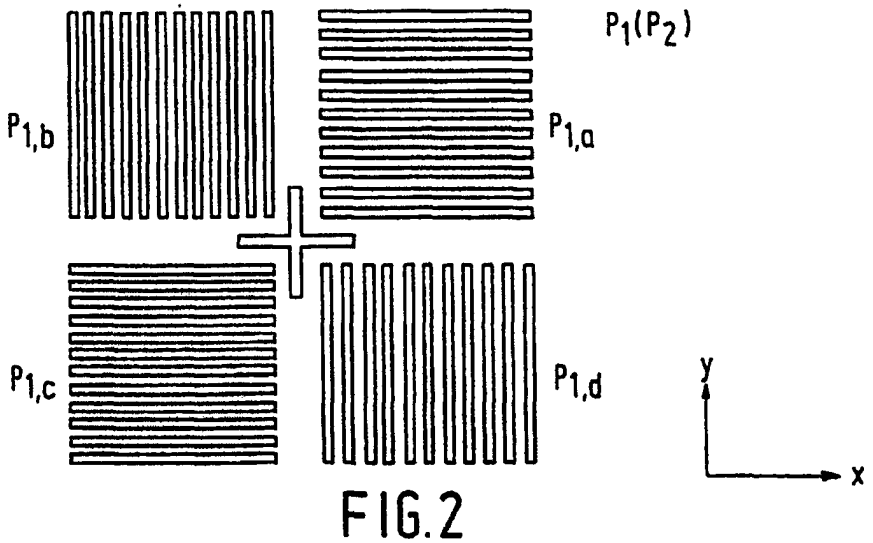


FIG.2

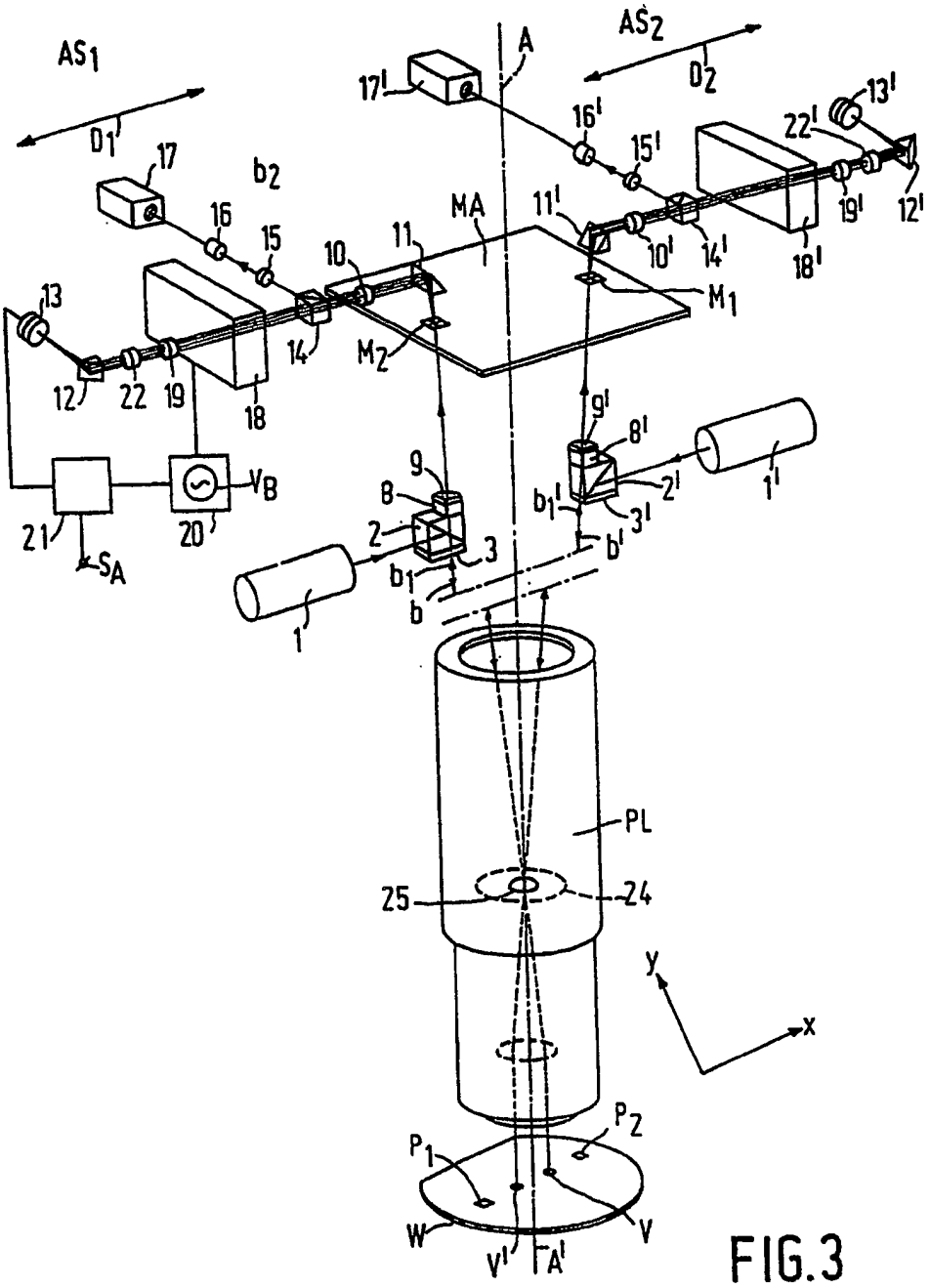

AS1
D1'
17
b2
16
15
10
11
MA
13
12
22
19
18
14
M2
17'
A
AS2
D2'
16'
15'
11'
10'
14'
18'
22'
13'
19'
12'
M1
g'
8'
2'
1'
b1'
3'
b'
9
8
2
3
b1
b
1
21
20
VB
SA
PL
25
24
y
x
P1
P2
W
V
V'
A'

FIG.3

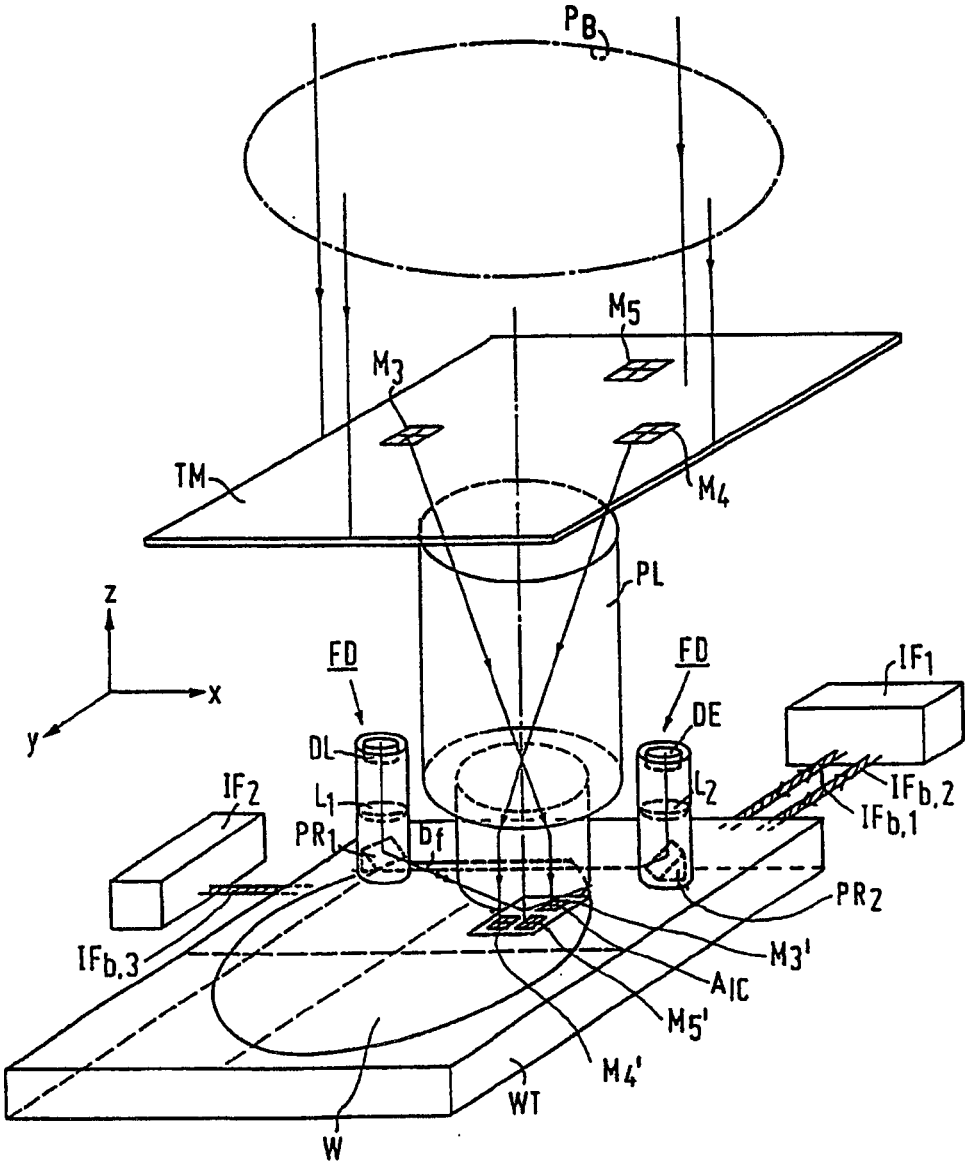

PB
M5
M3
TM
M4
PL
z
x
y
FD
FD
IF1
DE
DL
L1
L2
IF2
IFb,2
IFb,1
PR1
Df
PR2
IFb,3
M3'
AIC
M5'
M4'
WT
W

FIG.4

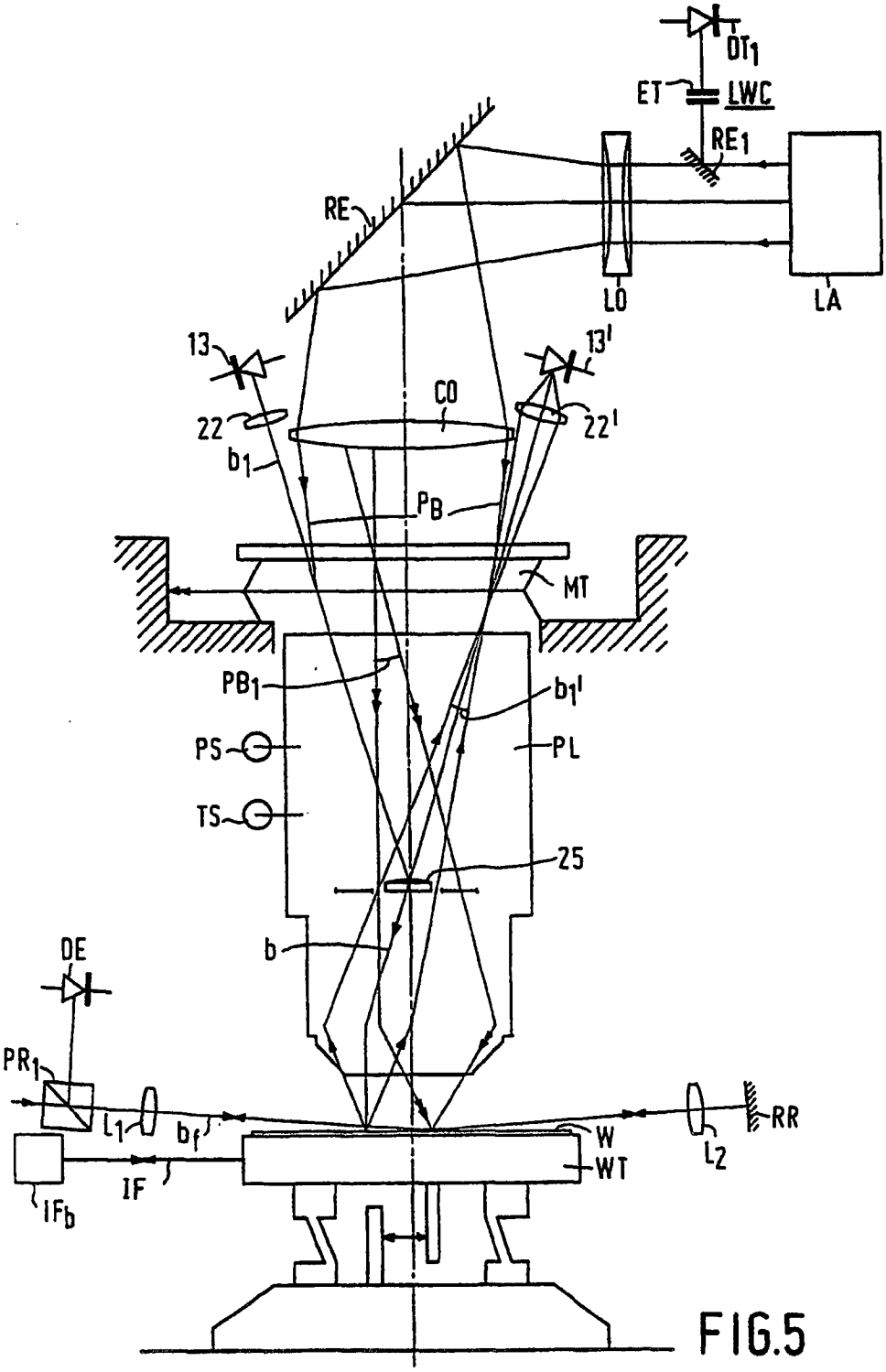

DT1
ET
LWC
RE1
RE
LO
LA
13
13'
CO
22
22'
b1
PB
MT
PB1
b1'
PS
PL
TS
25
b
DE
PR1
L1
bf
W
WT
L2
RR
IF
IFb

FIG.5

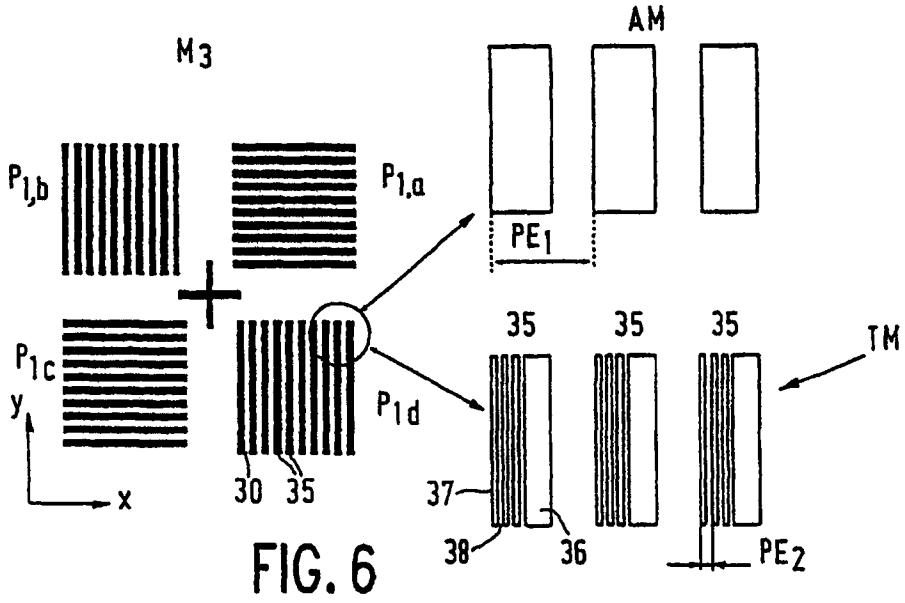


FIG. 6

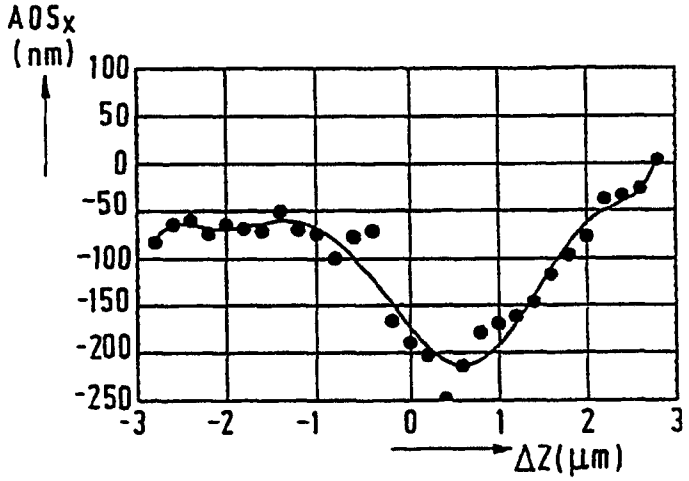


FIG. 7a

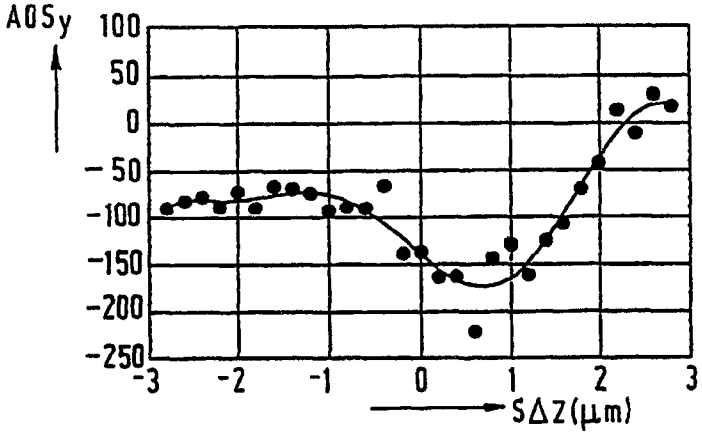


FIG. 7b

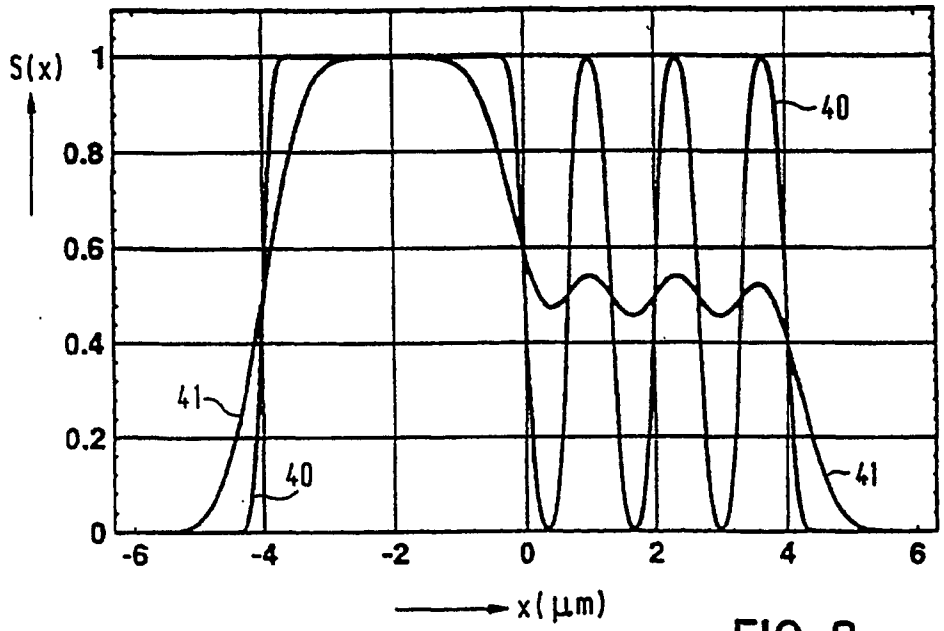

S(x)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-6
-4
-2
0
2
4
6
x(µm)
40
41
40
41

FIG. 8a

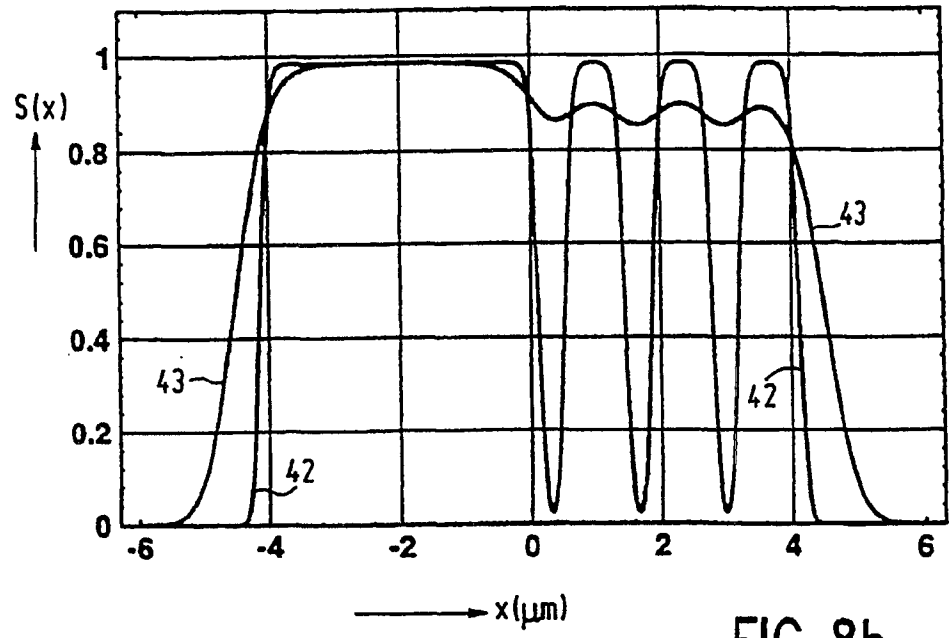

S(x)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-6
-4
-2
0
2
4
6
x(µm)
43
43
42
42

FIG. 8b

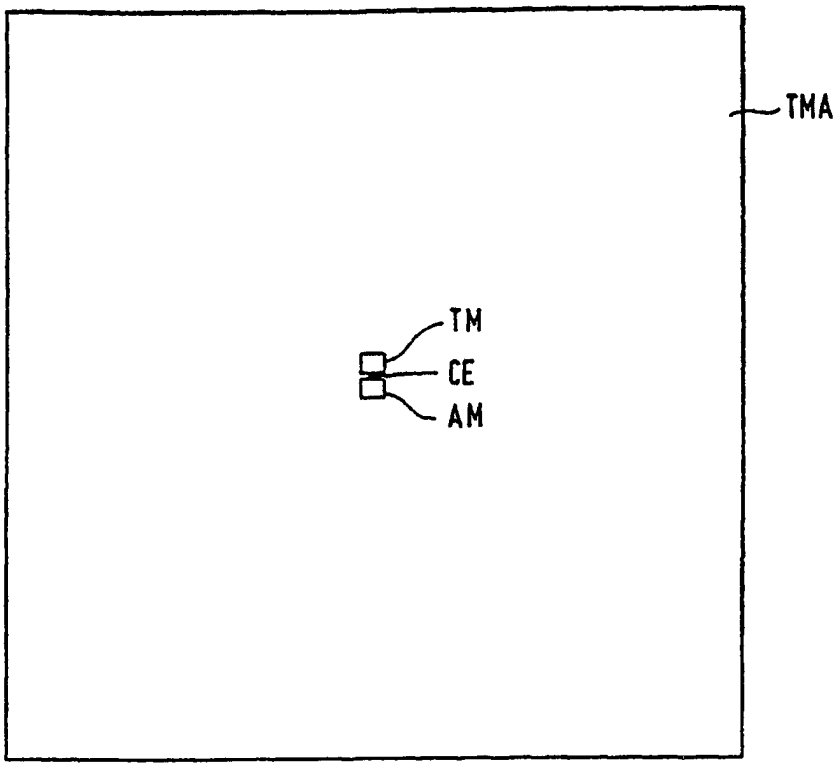

TMA
TM
CE
AM

FIG. 9

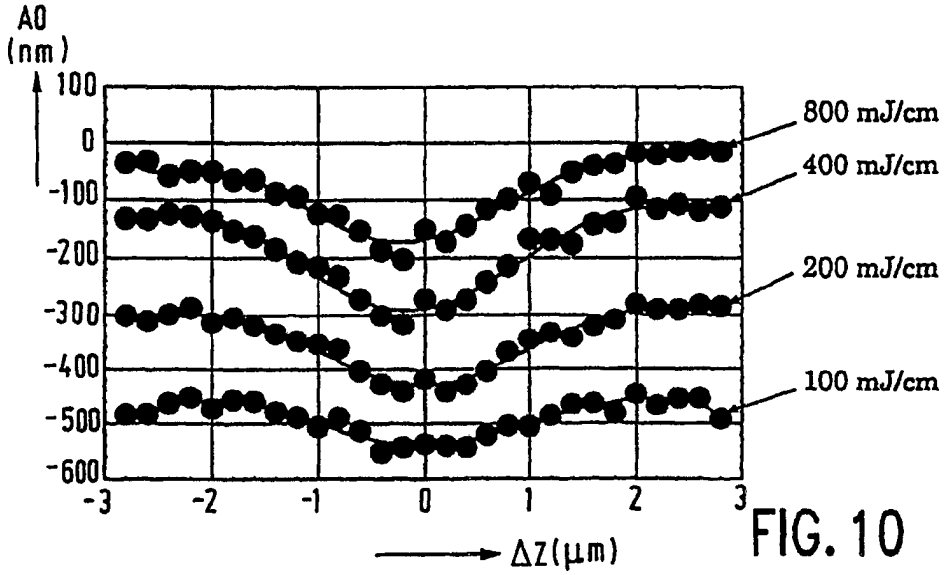

AO
(nm)
100
0
-100
-200
-300
-400
-500
-600
-3
-2
-1
0
1
2
3
ΔZ(μm)
800 mJ/cm
400 mJ/cm
200 mJ/cm
100 mJ/cm

FIG. 10

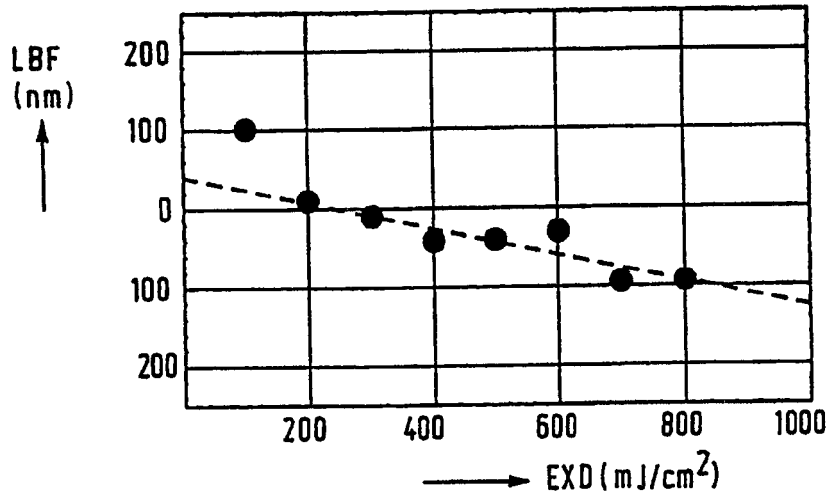

LBF
(nm)
200
100
0
100
200
200
400
600
800
1000
EXD (mJ/cm2)

FIG. 11

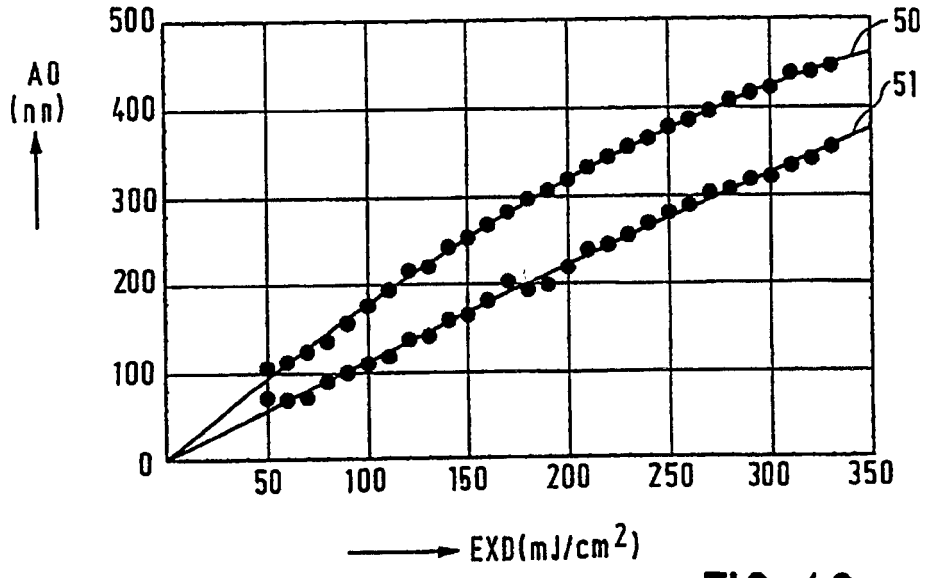

AO
(nn)
500
400
300
200
100
0
50
100
150
200
250
300
350
EXD(mJ/cm2)
50
51

FIG. 12

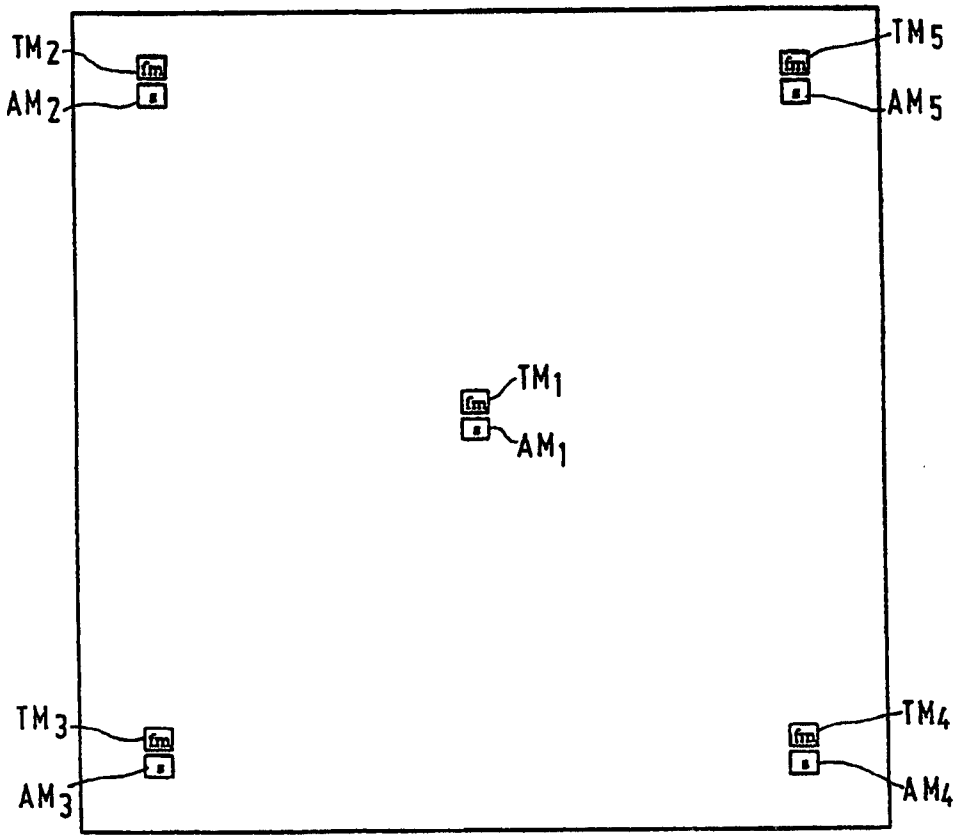


FIG. 13

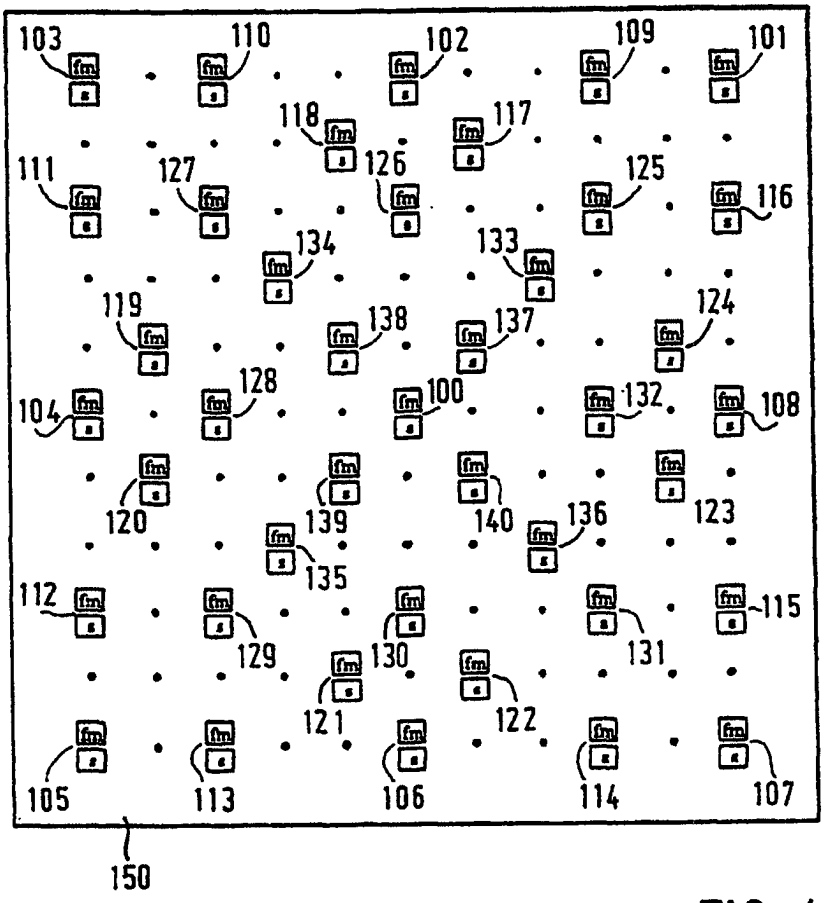

103
110
102
109
101
118
117
111
127
126
125
116
134
133
119
138
137
124
128
104
100
132
108
120
139
140
136
123
135
112
115
129
130
131
121
122
105
113
106
114
107
150

FIG. 14

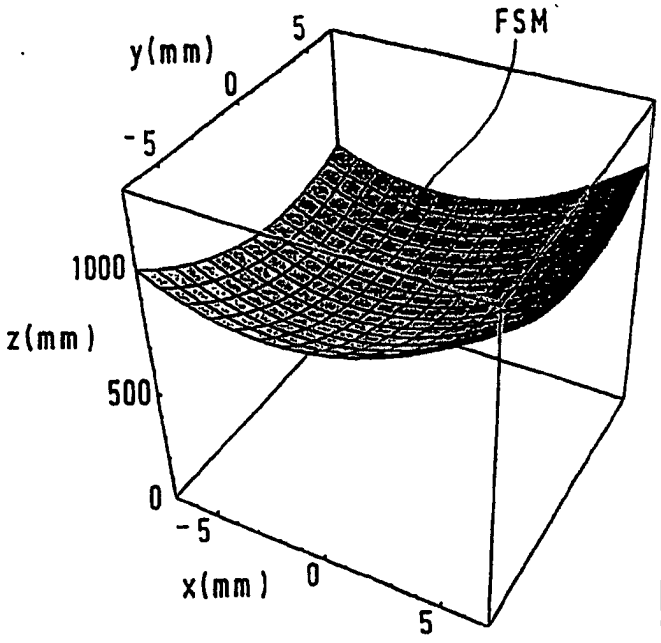

FSM
y(mm)
5
0
-5
1000
z(mm)
500
0
-5
0
5
x(mm)

FIG. 15

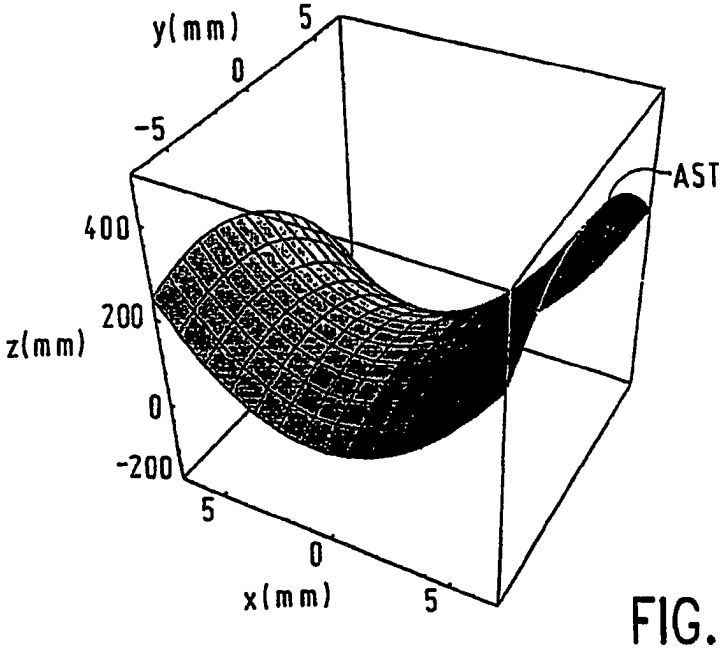

y(mm)
5
0
-5
AST
400
200
z(mm)
0
-200
5
0
5
x(mm)

FIG. 16

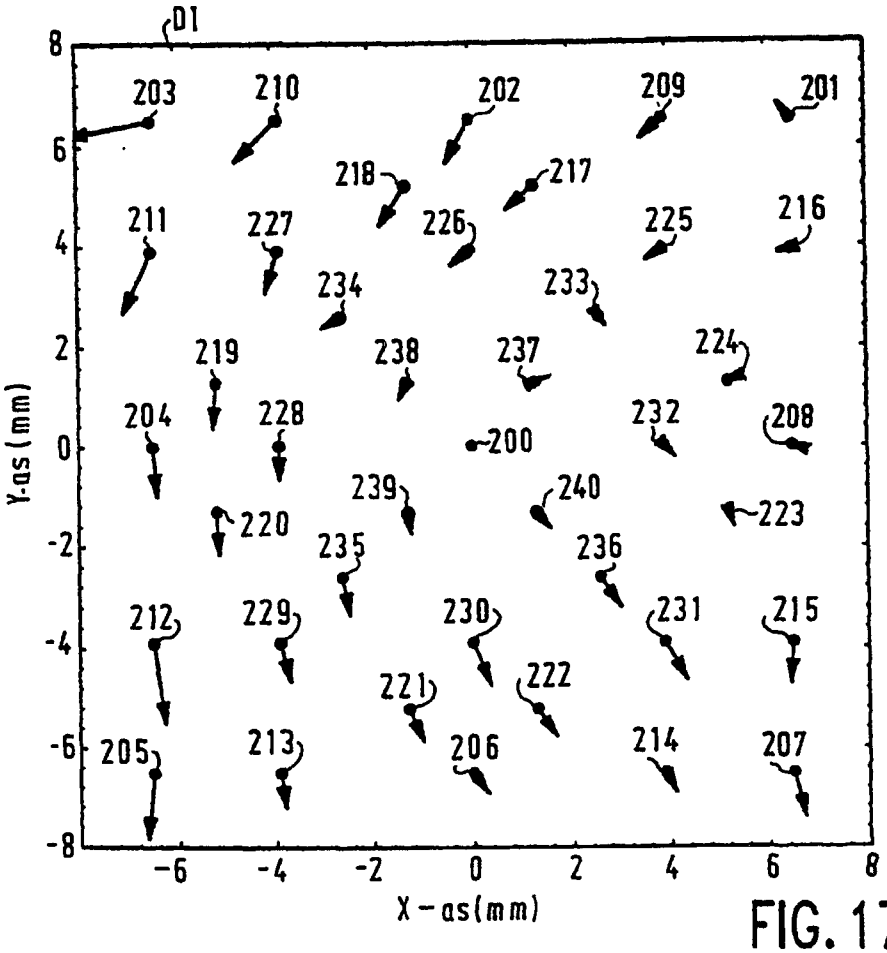

01
203
210
202
209
201
218
217
211
227
226
225
216
234
233
219
238
237
224
204
228
232
208
200
239
240
220
223
235
236
212
229
230
231
215
221
222
205
213
206
214
207
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
Y-as (mm)
X-as(mm)

FIG. 17

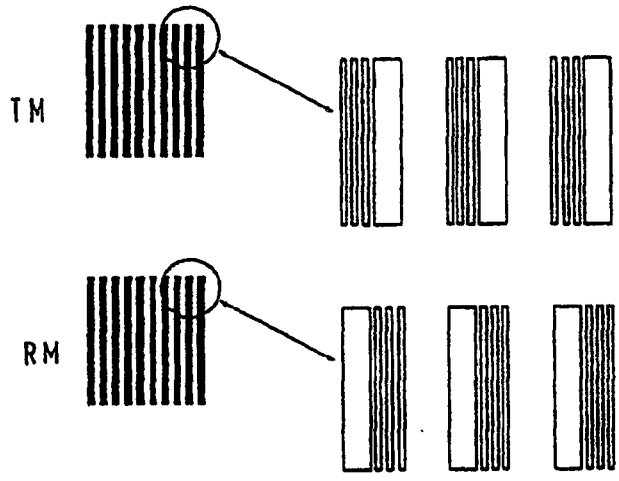

TM
RM

FIG. 18

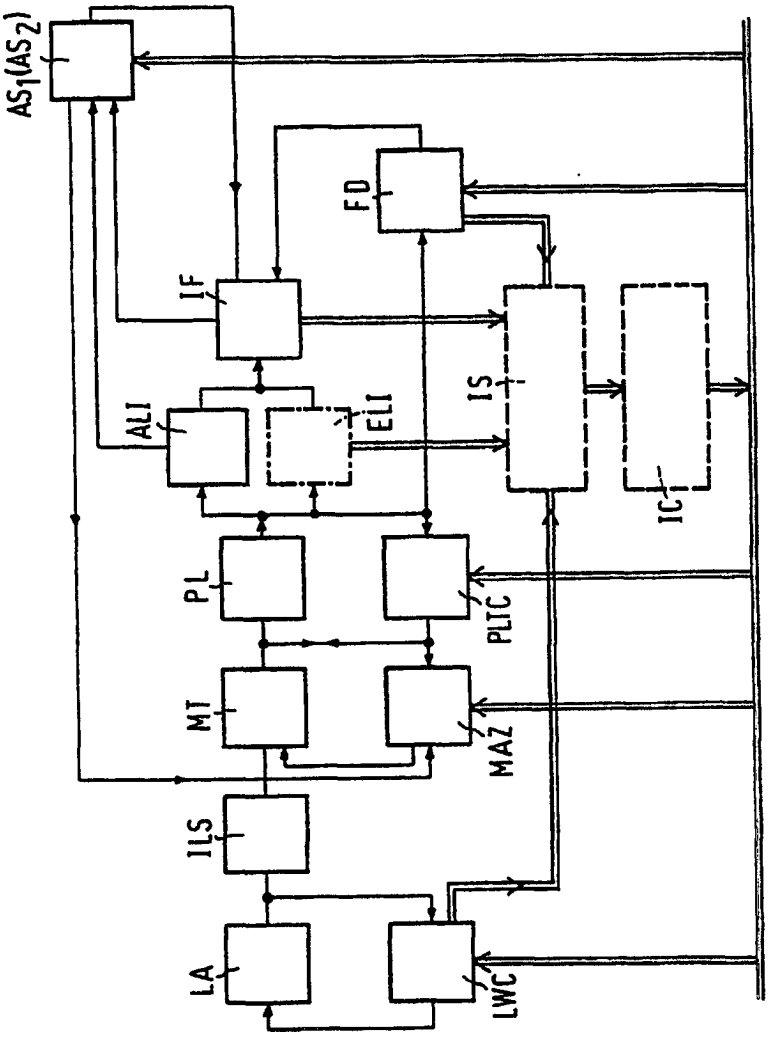


FIG. 19

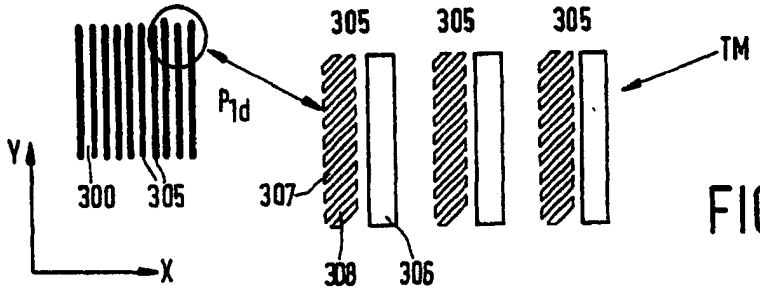


FIG.20

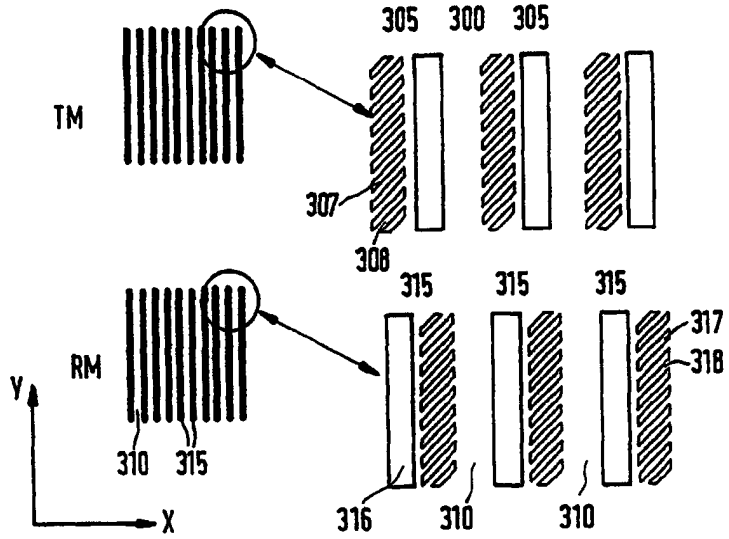


FIG.21

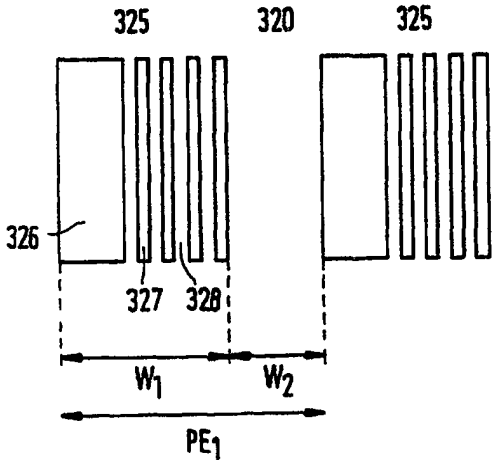


FIG.22

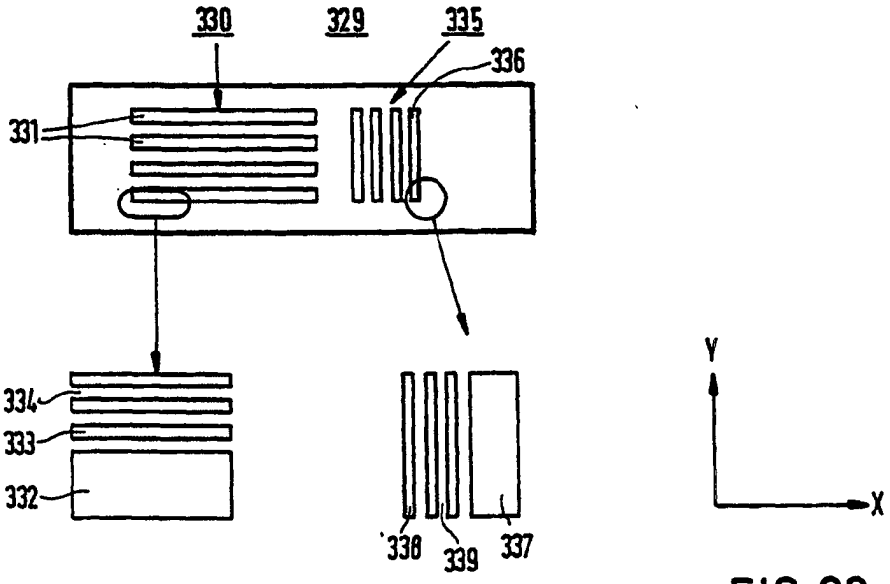

330
329
335
336
331
334
333
332
338
339
337
Y
X

FIG. 23

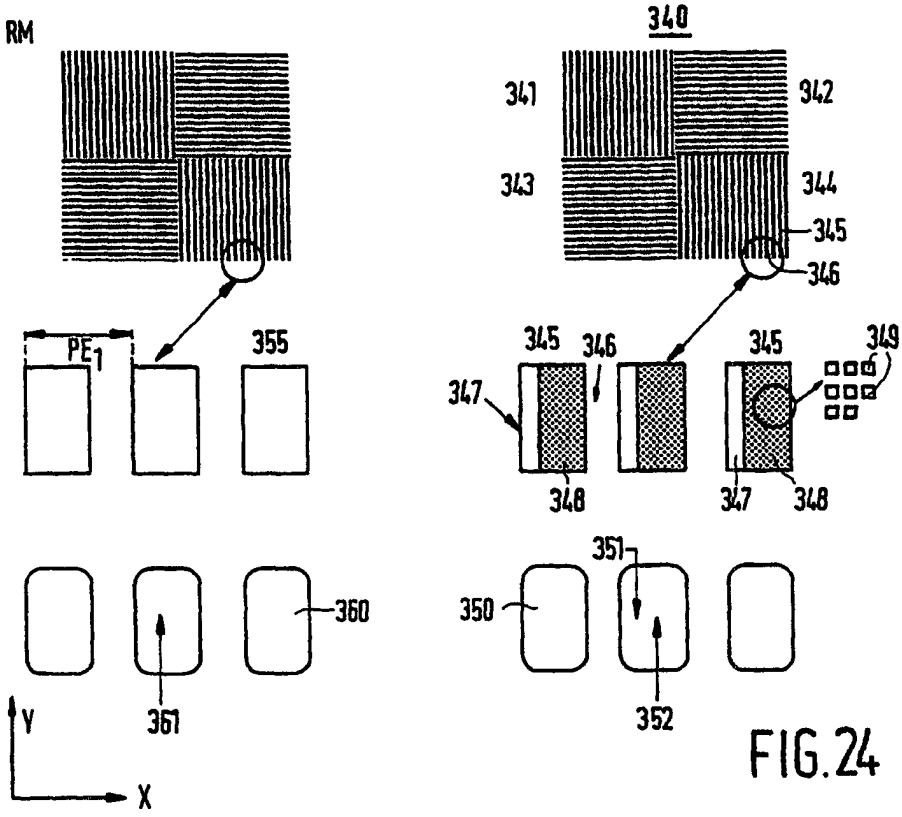

RM
PE1
355
360
361
Y
X
340
341
342
343
344
345
346
345
346
345
349
347
348
347
348
351
350
352

FIG. 24

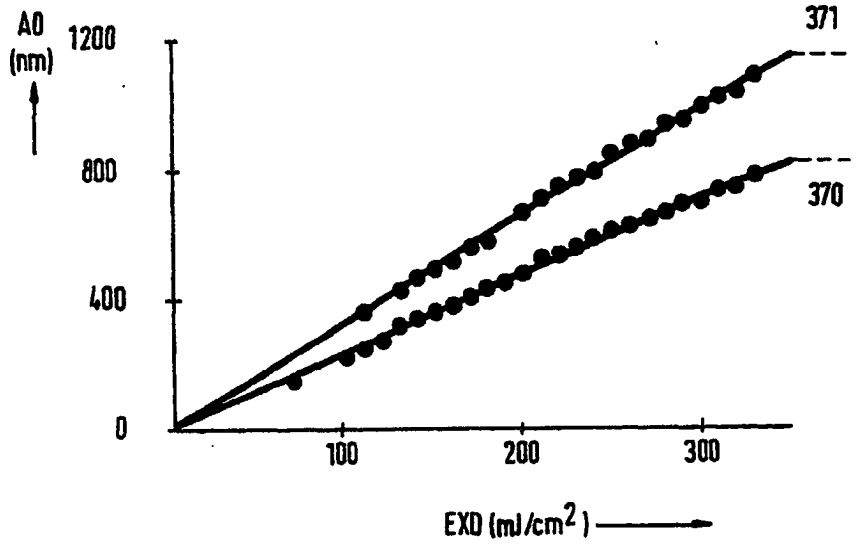


FIG. 25