



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 17 491 T2 2004.06.17**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 906 590 B1**

(51) Int Cl.⁷: **G03F 9/00**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 17 491.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB98/00261**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 903 246.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 98/039689**

(86) PCT-Anmeldetag: **02.03.1998**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **11.09.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **07.04.1999**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **27.08.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.06.2004**

(30) Unionspriorität:
97200682 07.03.1997 EP

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

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

(72) Erfinder:
BORNEBROEK, Frank, NL-5656 AA Eindhoven, NL

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

(54) Bezeichnung: **LITHOGRAPHISCHES BELICHTUNGSGERÄT MIT EINER AUSSERHALB DER BELICHTUNGS-
ACHSE LIEGENDEN AUSRICHTUNGSVORRICHTUNG**

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

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein lithographisches Belichtungsgerät mit einer Strahlungsquelle zum Abgeben eines Projektionsstrahls, einem Maskenhalter, einem Substrathalter und einem Projektionssystem, das zwischen dem Maskenhalter und dem Substrathalter angeordnet ist, wobei das Gerät ferner ein Ausrichtungssystem zum endgültigen Ausrichten eines Substrats, das sich in dem Substrathalter befindet, bezüglich einer Maske aufweist, die sich in dem Maskenhalter befindet, wobei das Ausrichtungssystem eine außerachsige Ausrichtungseinheit zum Ausrichten einer Ausrichtungsmarkierung, die sich auf einem Substrat befindet, gegenüber einem Bezug enthält.

[0002] Endgültige Ausrichtung ist so zu verstehen, dass, obwohl in dem ersten Beispiel die Ausrichtungseinheit verwendet wird, um ein Substrat gegenüber einem Bezug auszurichten, das Ergebnis dieses Ausrichtungsschritts in Kombination mit anderen Messungen zum Ausrichten des Substrats gegenüber der Maske verwendet wird.

[0003] Das lithographische Belichtungsgerät ist eine wesentliche Komponente bei der Herstellung von integrierten Schaltungen oder IC's mittels Diffusions- und Maskentechniken. Mit der Hilfe dieses Gerätes wird eine Anzahl von Masken mit verschiedenen Maskenmustern nacheinander an derselben Position auf einem Halbleitersubstrat abgebildet. Das Substrat muss den gewünschten physikalischen und chemischen Änderungen zwischen den aufeinanderfolgenden Abbildungen an derselben Position unterworfen werden. Zu diesem Zweck muss das Substrat aus dem Gerät entfernt werden, nachdem es mit einem Maskenmuster belichtet worden ist, und nach Ausführung der gewünschten Bearbeitungsschritte muss das Substrat wieder in dieselbe Position eingesetzt werden, um mit einem zweiten Maskenmuster belichtet zu werden, und so weiter, während sichergestellt werden muss, dass die Abbildungen des zweiten Maskenmusters und der nachfolgenden Maskenmuster exakt gegenüber dem Substrat positioniert werden. Zu diesem Zweck ist das lithographische Belichtungsgerät mit einem optischen Ausrichtungssystem versehen, mit dem Ausrichtungsmarkierungen auf dem Substrat gegenüber Ausrichtungsmarkierungen auf der Maske ausgerichtet werden.

[0004] Ein lithographisches Gerät kann nicht nur zur Herstellung von IC's verwendet werden, sondern auch zur Herstellung von anderen Strukturen mit detaillierten Abmessungen in der Größenordnung von 1 µm. Beispiele sind Strukturen von integrierten oder vollständigen optischen Systemen oder Führungs- und Erfassungsmuster magnetischer Domain-Speicher und Strukturen von Flüssigkristall-Display-Feldern. Auch bei der Herstellung dieser Strukturen müssen Abbildungen von Maskenmustern sehr genau gegenüber einem Substrat ausgerichtet werden.

[0005] Das lithographische Belichtungsgerät kann

ein Schrittgerät oder ein Schritt- und Abtastgerät sein. In einem Schrittgerät wird das Maskenmuster in einem Durchgang auf einem IC-Bereich des Substrats abgebildet. Danach wird das Substrat gegenüber der Maske auf solche Weise bewegt, dass ein nachfolgender IC-Bereich unter dem Maskenmuster und dem Projektionslinsensystem angeordnet wird, und das Maskenmuster wird auf den nächsten IC-Bereich abgebildet. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis alle IC-Bereiche des Substrats mit einer Maskenmusterabbildung versehen sind. In einem Schritt- und Abtastgerät erfolgt auch der oben erwähnte Schrittvorgang, jedoch wird das Maskenmuster nicht in einem Durchgang abgebildet sondern über Abtastbewegung. Während der Abbildung des Maskenmusters wird das Substrat synchron mit der Maske gegenüber dem Projektionssystem und dem Projektionsstrahl bewegt, wobei die Vergrößerung des Projektionsystems in Betracht gezogen wird. Eine Folge von benachbarten Teilabbildungen von nacheinander belichteten Teilen des Maskenmusters wird von einem IC-Bereich abgebildet. Nachdem das Maskenmuster vollständig in einem IC-Bereich abgebildet ist, wird ein Schritt zu einem folgenden IC-Bereich durchgeführt. Ein möglicher Abtastvorgang ist in dem Artikel „Sub-micron 1 : 1 Optical Litho-graphie“ von D. A. Markle in dem Magazin „Semiconductors International“ vom Mai 1986, Seiten 137–142 beschrieben.

[0006] US-PS 5,243,195 offenbart ein optisches lithographisches Belichtungsgerät, das mit einem Ausrichtungssystem versehen und zur Herstellung von IC's bestimmt ist. Dieses Ausrichtungssystem enthält eine außerachsige Ausrichtungseinheit zum Ausrichten einer Substratausrichtungsmarkierung gegenüber dieser Ausrichtungseinheit. Außerdem enthält dieses Ausrichtungssystem eine zweite Ausrichtungseinheit zum Ausrichten einer Substratmarkierung gegenüber einer Maskenmarke über die Projektionslinse (TTL). Die Ausrichtung über die Projektionslinse (Ausrichtung auf der Achse) ist die häufigste Methode der gegenwärtigen Generation optischer lithographischer Belichtungsgeräte und hat den Vorteil, dass das Substrat und die Maske direkt zueinander und damit sehr genau ausgerichtet werden können. Wenn die außerachsige Ausrichtungsmethode verwendet wird, muss ein Basislinienversatz berücksichtigt werden, wie dies in der US-PS 5,243,195 beschrieben ist.

[0007] Die aufachsige Ausrichtungsmethode hat bisher zur vollen Zufriedenstellung gearbeitet, jedoch wird erwartet, dass diese Ausrichtungsmethode hinsichtlich Zuverlässigkeit und Genauigkeit Probleme bereiten kann, wenn neue Technologien bei der IC-Herstellung verwendet werden und wenn die detaillierten Größen- oder Linienbreiten des IC-Musters abnehmen.

[0008] In Verbindung mit der zunehmenden Anzahl elektronischer Komponenten pro Einheit der Fläche des Substrats und der resultierenden Abmessungen dieser Komponenten werden zunehmen striktere An-

forderungen an die Genauigkeit gestellt, mit der integrierte Schaltungen hergestellt sind. Die Positionen, an denen die aufeinanderfolgenden Masken auf dem Substrat abgebildet werden, müssen daher immer genauer fixiert werden. Bei der Herstellung von neuen Generationen von IC's mit kleineren Linienbreiten muss die Ausrichtungsgenauigkeit verbessert werden, oder in anderen Worten muss es möglich sein, kleinere Abweichungen zu erfassen, so dass das Auflösungsvermögen des Ausrichtungssystems vergrößert werden muss. Andererseits müssen auch striktere Anforderungen an die Ebenheit des Substrats wegen der erforderlichen höheren numerischen Apertur (NA) des Projektionslinsensystems im Falle verringerter Linienbreiten gestellt werden. Die Brennweite dieses Systems nimmt ab, wenn die NA zunimmt. Da einige Abbildungsfeldkrümmung an dem gewünschten relativ großen Abbildungsfeld des Projektionslinsensystems auftritt, bleibt kaum Raum übrig für Unebenheiten des Substrats. Um die gewünschte Ebenheit des Substrats zu erhalten, ist vorgeschlagen worden, dieses Substrat mittels chemischer mechanischer Polierung (CMP) zwischen zwei aufeinanderfolgenden Belichtungen mit verschiedenen Maskenmustern in dem Belichtungsgerät zu polieren. Dieser Poliervorgang beeinträchtigt jedoch die Genauigkeit der aufachsigen Ausrichtungsmethode. Bei dieser Methode wird ein Gitter als eine Substratausrichtungsmarkierung verwendet, und die Substrahlen, die in der ersten Ordnung von diesem Gitter gebeugt werden, werden zur Abbildung der Substratmarkierung auf der Maskenmarkierung verwendet. Bei diesem Vorgang wird angenommen, dass das Substrat korrekt gegenüber der Maske ausgerichtet ist, wenn der Schwerpunkt der Substratgittermarkierung gegenüber dem Schwerpunkt der Maskenausrichtungsmarkierung ausgerichtet ist. In diesem Fall ist angenommen worden, dass der Schwerpunkt für jede Gittermarkierung mit der geometrischen Mitte des Gitters zusammenfällt. Dieser CMP-Prozess macht jedoch die Substratgittermarkierung asymmetrisch, so dass diese Ausrichtungsmethode nicht mehr zuverlässig ist.

[0009] Außerdem wird der Herstellungsprozess für PCs der neuen Generation immer komplizierter. Die Anzahl der Prozessschritte und die Anzahl der Prozessschichten auf dem Substrat nehmen immer weiter zu. Einige dieser Schichten führen auch zu Asymmetrien in der Substratgittermarke und damit zu Ausrichtungsfehlern.

[0010] Wenn zudem die bekannte aufachsige Ausrichtungsmethode verwendet wird, müssen strikte Anforderungen an die Tiefe der Gitternuten der Substratmarke gestellt werden, die ein Phasengitter ist.

[0011] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Ausrichtungssystem für ein lithografisches Belichtungsgerät anzugeben, bei dem der Einfluss der Effekte auf das Ausrichtungssignal erheblich verringert ist und das genauer und zuverlässiger als bekannte Ausrichtungssysteme ist. Zu die-

sem Zweck ist das erfindungsgemäße System dadurch gekennzeichnet, dass die Ausrichtungsmarkierung eine diffraktive Markierung ist und dass die Ausrichtungseinheit in der Lage ist, eine Anzahl von wenigstens drei Substrahlen getrennt zu erfassen, die von der diffraktiven Markierung in unterschiedlichen Beugungsordnungen, die höher als 0 sind, gebeugt sind, wobei jeder Substrahl eine Angabe über die Position der Substratmarkierung gegenüber dem Bezug enthält.

[0012] Die Verwendung der Ausrichtungseinheit in der Weise, dass sich getrennt wenigstens drei Substrahlen mit unterschiedlichen Beugungsordnungen erfasst, bedeutet nicht, dass drei oder mehr Substrahlen gleichzeitig erfasst werden müssen, sondern sie bedeutet, dass die Ausrichtungseinheit die Möglichkeit vorsieht, alle diese Substrahlen getrennt zu erfassen. In der Praxis können die Substrahlen erfasst werden oder nicht, und gleichzeitig oder nicht.

[0013] Eine diffraktive Markierung ist eine Marke, die einen Strahl einer elektromagnetischen Strahlung in eine Anzahl von Substrahlen mit verschiedenen Beugungsstrahlen aufspaltet. Eine solche Markierung kann durch ein Beugungsgitter oder durch ein anderes Diffraktionselement gebildet werden.

[0014] Die Erfindung basiert auf der Erkenntnis, dass eine bessere Verwendung der Eigenschaften einer diffraktiven Ausrichtungsmarkierung erfolgen kann, wenn diese Marke nicht länger in Kombination mit einer aufachsigen Ausrichtungseinrichtung verwendet wird, sondern in Kombination mit einer außerachsigen Ausrichtungseinheit. Wie in der US-PS 4,251,160 beschrieben, wird eine Abbildung des Substratgitters mit einer Periode, die die Hälfte der Periode des Substratgitters selbst ist, in einer aufachsigen Ausrichtungseinheit erhalten, in der ein Diffraktionsgitter als eine Substratausrichtungsmarkierung verwendet wird, und in der nur Substrahlen erster Ordnungen des Substratgitters verwendet werden, um diese Markierung auf einer entsprechenden Gitterausrichtungsmarkierung abzubilden. Folglich ist die Ausrichtungsgenauigkeit zweimal so groß wie in dem Fall, in dem auch der Substrahl einer Nullordnung und Substrahlen höherer Ordnung gemeinsam für diese Abbildung verwendet würden. In der Ausrichtungseinheit, die in der US-PS 4,251,160 beschrieben ist, werden Substrahlen erster Ordnung durch eine Ordnungsblende ausgewählt, die in die Projektionslinse eingebaut ist. Eine solche Blende kompliziert den Aufbau der Projektionslinse beträchtlich, die sowieso schon kompliziert ist, und das Vorsehen der Projektionslinse mit einer Ordnungsblende, die auch höhere Ordnungen, d. h. Ordnungen über 1 passieren läßt, ist nicht sehr gut möglich. Durch Vorsehen einer diffraktiven Ausrichtungsmarkierung in einer außerachsigen Ausrichtungseinheit wird ein größeres Freiheitsmaß erzeugt, um Substrahlen höherer Ordnung dieser Ausrichtungsmarkierung auszuwählen. Der Umstand, dass das Auflösungsvermögen der Ausrichtungseinheit verbessert

ist, wenn eine höhere Ordnung ausgewählt wird, kann dann zum Vorteil verwendet werden.

[0015] Die Erfindung basiert auch auf der Erkenntnis, dass Substrahlen höherer Ordnung durch Keile von einer Gittermarke bestimmt werden, statt ihres Zentrums und dass im Vergleich zu dem Zentrum diese Keile bei dem CMP-Prozeß weniger verletzlich sind oder bei anderen Maßnahmen, die die Asymmetrie des Gitters beeinflussen. Durch Verwendung von Substrahlen höherer Ordnung wird nicht nur das Problem der asymmetrischen Ausrichtungsgitter beseitigt, sondern die Genauigkeit der Ausrichtungseinheit wird ebenfalls verbessert.

[0016] Aus der US-PS 4,828,392 ist es bekannt, eine Vielzahl von Substrahlen höherer Ordnung von der Substratmarkierung zu benutzen, um ein Substrat mit einer asymmetrischen Ausrichtungsmarkierung auszurichten. Jedoch ist die asymmetrische Markierung eine Markierung, deren Gitternuten bezüglich der Mittellinie dieser Nuten asymmetrisch ist. Jedoch wird eine Ordnungsblende verwendet, die in das Projektionslinsensystem eingebaut sein muss, und sie muss mit einer großen Anzahl von Öffnungen versehen sein. Die Qualität der Abbildung des eigentlichen Maskenmusters auf dem Substrat ist hierdurch zweifellos beeinträchtigt.

[0017] US-PS 5,477,057 beschreibt eine außerachsige Ausrichtungseinheit für ein lithografisches Abtastgerät. Ein getrennter Ausrichtungssensorkopf zum Ausrichten einer Substratmarkierung gegenüber einem Gerätebezug ist nahe dem Projektionslinsensystem gegenüber diesem angeordnet. Der Grund für die Benutzung einer außerachsigen Ausrichtungseinheit ist der Wunsch, eine Breitbandausrichtungsstrahlung zu verwenden, die durch ein monochromatisches Projektionslinsensystem nicht adäquat übertragen werden kann. Das Patent beschreibt nicht eine diffraktive Ausrichtungsmarke oder Benutzungszustände einer Mehrzahl von Substrahlen höherer Ordnung während der Ausrichtung.

[0018] US-PS 4,870,452 beschreibt eine außerachsige Ausrichtungseinheit für das Substrat, wobei bei planparallele Platte zwischen dem Projektionslinsensystem und dem Substrat angeordnet ist. Diese Platte ist vollständig transparent für den Projektionsstrahl, hat aber einen unterschiedlichen Reflexions- und Transmissionskoeffizienten für den Ausrichtungsstrahl. Diese Platte muss sicherstellen, dass der Ausrichtungsstrahl in einem spitzen Winkel zu der Substratausrichtungsmarkierung einfällt und nach der Reflektion in einem vorgegebenen Winkel auf das Erfassungssystem durch diese Markierung gerichtet wird. Die Substratmarke kann beispielsweise eine Gittermarke sein, und getrennte Detektoren können für die Substrahlen vorgesehen sein, die durch diese Marke mit unterschiedlichen Beugungsordnungen gebildet werden. Jedoch werden nur Substrahlen der 0-Ordnung, der 1-Ordnung und der 2-Ordnung für die Erfassung benutzt. Es ist nicht klar, warum neben den Substrahlen der 1-Ordnung auch

diejenigen der 0-Ordnung und der 2-Ordnung verwendet werden. In der Praxis wird bevorzugt, zwischen dem Projektionslinsensystem und dem Substrat nicht eine planparallele Platte anzuordnen, und es ist zweifelhaft, ob diese Platte die verschiedenen Ordnungen in einem ausreichenden Maße trennen kann.

[0019] Eine bevorzugte Ausführungsform des Belichtungsgerätes gemäß der Erfindung ist ferner dadurch gekennzeichnet, dass der Bezug aus einer Struktur einer Anzahl getrennter Bezugselemente besteht, die gleich der Anzahl der verwendeten Beugungsordnungen sind und dieselbe Form wie die Substratausrichtungsmarkierung haben, und dass ein separater Detektor mit jedem dieser Elemente verbunden ist, um den Substrahl, der von der Substratmarkierung kommt, und von dem relevanten diffraktiven Bezugselement verläuft, in ein elektrisches Signal umzuwandeln.

[0020] Die Vorrichtung kann außerdem dadurch gekennzeichnet sein, dass die Bezugselemente Gitter sind.

[0021] Die Ausrichtungserfassung basiert dann auf einem Gitter-zu-Gitter-Bild, das sich in der Vergangenheit als zuverlässig erwiesen hat.

[0022] Um zu erreichen, dass die Substrahlen der verschiedenen Beugungsordnungen in einer gut getrennten Weise erfaßt werden können, ohne dass die Ausrichtungseinheit zu groß wird, ist das Gerät außerdem bevorzugt dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlenbahn zwischen der Substratmarkierung und den Bezugselementen nacheinander ein erstes Linsensystem, eine Struktur von Ablenkungselementen, die in den Bahnen der Substrahlen von dem ersten Linsensystem angeordnet sind, um den getrennten Substrahlen unterschiedliche Richtungen zu geben und ein zweites Linsensystem angeordnet sind, das sich hinter den Ablenkungselementen befindet, um die Substrahlen auf die zugehörigen diffraktiven Bezugselemente zu konzentrieren.

[0023] Diese Ausführungsform ist bevorzugt dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen der Ebene der Substratmarkierung und dem ersten Linsensystem gleich ist der Brennweite des ersten Linsensystems, dass der Abstand zwischen dem zweiten Linsensystem und der Ebene der Bezugselemente gleich ist der Brennweite des zweiten Linsensystems, und dass der Abstand zwischen dem ersten Linsensystem und dem zweiten Linsensystem gleich ist der Summe der Brennweiten des ersten Linsensystems und des zweiten Linsensystems.

[0024] Die beiden Linsensysteme bilden dann ein telezentrisches Linsensystem, und die axiale Position der Struktur der Ablenkungselemente ist nicht mehr kritisch.

[0025] Das Gerät ist ferner vorzugsweise dadurch gekennzeichnet, dass die Struktur der Ablenkungselemente ein Paar Ablenkungselemente für jede Beugungsordnung enthält, um die Substrahlen dieser Beugungsordnung mit entgegengesetzten Beu-

gungsordnungszeichen abzulenken, so dass das zweite Linsensystem diese Substrahlen auf ein zugehöriges Bezugsselement konvergiert.

[0026] Dann werden sowohl die Plusgrade als auch die Minusgrade der Substratmarkierung verwendet, um diese Markierung auf den Bezugsselementen abzubilden, und eine optimale Benutzung der verfügbaren Ausrichtungsstrahlung erfolgt.

[0027] Einige Ausführungsformen der Struktur der Ablenkungselemente sind möglich. Eine erste Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Anzahl diskreter optischer Keile enthält, deren Anzahl gleich der Anzahl der Substrahlen ist.

[0028] Diese Keile können als getrennte Elemente hergestellt und dann an einer gemeinsamen transparenten Trägerplatte befestigt werden. Bevorzugt werden die diskreten Keile in einem Prozessschritt durch eine Replikationstechnik hergestellt, die auf dem Gebiet der Optik bekannt ist. Ein Negativ der gesamten Struktur der Keile in einer Form wird dann in eine Schicht aus Kunststoff, beispielsweise UV-härtbares Material gedruckt, das sich beispielsweise auf einer Quarzplatte befindet.

[0029] Strenge Anforderungen sind an die gegenseitige Genauigkeit beispielsweise der Neigung der Keifläche der zwei Keile gestellt, die verwendet werden, um Substrahlen der + Ordnung und – Ordnung derselben Beugungsordnung abzulenken. Diese Anforderungen können leichter in einer zweiten Ausführungsform der Struktur der Ablenkungselemente erfüllt werden, die dadurch gekennzeichnet ist, dass sie eine Anzahl von keilförmigen transparenten Platten enthält, die hintereinander in der Bahn der Substrahlen angeordnet sind und verschiedene Keilwinkel und eine Anzahl von Öffnungen zum Durchgang nicht-abgelenkter Strahlung haben, wobei die Anzahl der Öffnungen und ihre Positionen so sind, dass mit einer Kombination von n -Platten 2^n Beugungsordnungen in verschiedenen Richtungen auf eine binäre Weise abgelenkt werden können.

[0030] Diese Keile haben den Vorteil, dass sie relativ leicht mit der gewünschten Genauigkeit hergestellt werden können.

[0031] Die Substratausrichtungsmarkierung kann ein lineares Gitter sein. Wenn ein solches Gitter geschaffen wird, kann die gewünschte Verteilung der Strahlung in den verschiedenen Beugungsordnungen berücksichtigt werden.

[0032] Um in der Lage zu sein, in zwei zueinander senkrechten Richtungen auszurichten, ist das Gerät ferner dadurch gekennzeichnet, dass die Substratmarkierung zwei Gitterabschnitte enthält, wobei die Richtung der Gitterstreifen des ersten Gitterabschnitts senkrecht zu der Richtung der Gitterstreifen des zweiten Gitterabschnitts verläuft, wobei die Struktur der Ablenkungselemente eine zweidimensionale Struktur ist und der Bezug ein zweidimensionaler Bezug ist.

[0033] Das Gerät ist ferner bevorzugt dadurch gekennzeichnet, dass die außerachsige Ausrichtungs-

einheit zwei Strahlungsquellen enthält, die Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen abgeben, sowie einen Strahlteiler, der zwei Strahlen auf ihrer Bahn zu der Substratmarke kombiniert und die von dieser Marke reflektierten Strahlen teilt, wobei eine getrennte Struktur von Ablenkungselementen und Bezugsselementen für jede dieser Strahlen vorhanden ist. Es ist dann nicht erforderlich, strikte Anforderungen an die Nuttiefe der Substratmarke zu stellen.

[0034] Eine praktische Ausführungsform des Gerätes ist ferner dadurch gekennzeichnet, dass eine zweite außerachsige Ausrichtungseinheit vorhanden ist, und dass die zuerst erwähnte Ausrichtungseinheit und die zweite Ausrichtungseinheit diametral bezüglich des Projektionssystems angeordnet sind.

[0035] Das außerachsige Ausrichtungssystem kann auch verwendet werden, um eine weitere Ausrichtungsmarkierung auf den Substrathalter gegenüber dem Bezug auszurichten. Dann kann die Ausrichtung der Substratmarke gegenüber der Substrathaltermarke bestimmt werden.

[0036] Um in der Lage zu sein, die endgültige Ausrichtung des Maskenmusters gegenüber dem Substrat zu realisieren, ist das Gerät ferner dadurch gekennzeichnet, dass das Ausrichtungssystem außerdem eine aufachsige Ausrichtungseinheit enthält, um den Substrathalter gegenüber dem Maskenmuster auszurichten.

[0037] Die aufachsige Ausrichtungseinheit kann von der Art sein, die eine Strahlungsquelle enthält, die einen Strahl mit einer Wellenlänge aussendet, die verschieden ist von derjenigen des Projektionsstrahles, sie kann aber auch anders ausgebildet sein durch einen Bildsensor, der mit der Projektionsstrahlung arbeitet.

[0038] Die Erfindung kann auch in einem lithographischen Gerät verwendet werden, das eine Projektionsstation zum Projizieren eines Maskenmusters auf ein erstes Substrat und eine Messstation zum Messen der Position eines zweiten Substrats enthält. Eine Ausführungsform eines solchen Gerätes, das zwei Substratstufen hat, die sich zwischen der Messstation und der Projektionsstation befinden, ist in der US-A 4,861,162 gezeigt. Ein solches Gerät hat den Vorteil, dass sein Durchgang, d. h. die Anzahl der Wafers, die in einer Stunde bearbeitet werden, erheblich größer ist als bei einem vergleichbaren Gerät mit nur einer Projektionsstation und ohne Messstation.

[0039] Ein lithographisches Dualstationsbelichtungsgerät, in dem die Erfindung verwendet ist, ist dadurch gekennzeichnet, dass die Messstation eine außerachsige Ausrichtungseinheit enthält, wie sie oben beschrieben ist.

[0040] Diese und weitere Aspekte der Erfindung sind ersichtlich und werden mit Bezug auf die nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen erläutert.

[0041] In den Zeichnungen zeigen:

[0042] **Fig. 1** eine Ausführungsform eines Schritt- und -Abtastprojektionsgerätes mit den ver-

schiedenen Meßsystemen;

[0043] **Fig. 2** eine Ausführungsform einer Substratausrichtungsmarkierung;

[0044] **Fig. 3** eine Ausführungsform einer Doppelausrichtungseinheit zum gegenseitigen Ausrichten einer Maskenmarkierung und einer Substratmarkierung;

[0045] **Fig. 4** eine Ausführungsform einer außerachsigen Ausrichtungseinheit gemäß der Erfindung;

[0046] **Fig. 5** eine Platte mit Bezugsgittern, die in dieser Ausführungsform verwendet werden;

[0047] **Fig. 6** die Ablenkung durch Keilelemente in dieser Ausführungsform;

[0048] **Fig. 7** eine bevorzugte Anordnung des ersten und des zweiten Linsensystems in der Ausrichtungseinheit;

[0049] **Fig. 8** eine Folge von keilförmigen Platten, die als Struktur von Ablenkungselementen in einer zweiten Ausführungsform der Ausrichtungseinheit verwendet wird;

[0050] **Fig. 9** zeigt, wie diese Folge einen Substrahl ablenkt;

[0051] **Fig. 10** die Positionen der Substrahlen in der Ebene dieser Platte in einer Ausführungsform der Ausrichtungseinheit, bei der eine Ausrichtungsstrahlung mit zwei Wellenlängen verwendet wird.

[0052] **Fig. 11** eine Ausführungsform der Ausrichtungseinheit, in der zwei Wellenlängen verwendet werden;

[0053] **Fig. 12** einen bevorzugten Strahlteiler zur Verwendung in dieser Ausführungsform;

[0054] **Fig. 13** die Position der Ausrichtungseinheit bezüglich der Projektionslinse und dem Substrat und

[0055] **Fig. 14** die Positionen der Subeinheiten einer doppelten Ausrichtungseinheit bezüglich einer Bildsensoreinheit und eine Fokussierungs- und Ausrichtungseinheit des Belichtungsgerätes.

[0056] Zum besseren Verständnis der vorliegenden Erfindung wird zunächst ein bekanntes optisches lithographisches Belichtungsgerät beschrieben, das mit einer auf der Achse liegenden Ausrichtungseinheit und anderen Meßsystemen versehen ist.

[0057] **Fig. 1** zeigt schematisch die optischen Elemente einer Ausführungsform zum Schritt- und Abtast-Abbilden eines Maskenmusters auf einem Substrat. Dieses Gerät enthält als Hauptbestandteil eine Projektionssäule, die ein Projektionssystem PL enthält. Oberhalb dieses Systems befindet sich ein Maskenhalter MH für eine Maske MA, in dem sich das Maskenmuster C befindet, das abgebildet wird. Der Maskenhalter ist Teil einer Maskenstufe MT. Eine Substratstufe WT ist unterhalb des Projektionslinsensystems PL angeordnet. Dieser Tisch enthält einen Substrathalter WH für ein Substrat W, das mit einer photosensitiven Schicht versehen ist. Das Maskenmuster C muss mehrere Male in die photosensitive Schicht abgebildet werden, jedes Mal in einem anderen Bereich, einem IC-Bereich W_d . Der Substrattisch ist in der X- und Y-Richtung bewegbar, so dass nach Abbildung des Maskenmusters in einem ersten

IC-Bereich ein nachfolgender IC-Bereich unter dem Maskenmuster positioniert werden kann.

[0058] Das Gerät enthält ferner ein Beleuchtungssystem, das mit einer Strahlungsquelle LA versehen ist, beispielsweise einem Krypton-Fluorid-Excimer-Laser oder einer Mercury-Lampe, ein Linsensystem LS, einen Spiegel RE und eine Kondensorlinse CO. Der Projektionsstrahl PB, der von dem Beleuchtungssystem ausgesandt wird, beleuchtet das Maskenmuster C. Dieses Muster wird durch das Projektionslinsensystem PL auf einen IC-Bereich des Substrats B abgebildet. Das Projektionslinsensystem hat beispielsweise eine Vergrößerung $M = 1/4$, eine numerische Apertur $NA = 0,6$ und ein Diffraktionsbegrenztes Abbildungsfeld mit einem Durchmesser von 22 mm.

[0059] Das Gerät enthält ferner eine Anzahl von Meßsystemen, nämlich ein System zum Ausrichten der Maske MA und des Substrats W aufeinander in der XY-Ebene, ein Interferometersystem zum Bestimmen der Position und der Ausrichtung des Substrathalters und damit des Substrats, ein Fokusfehlererfassungssystem zum Bestimmen einer Differenz zwischen der fokalen oder Bildebene des Projektionslinsensystems PL und der Oberfläche des Substrats W. Diese Meßsysteme sind Teil von Servosystemen, die elektronische Signalverarbeitung, Steuerungschaltungen und Antriebe oder Aktuatoren haben, mit denen die Position und Ausrichtung des Substrats und die Fokussierung entsprechend den Signalen korrigiert werden können, die von den Meßsystemen geliefert werden.

[0060] Das Ausrichtungssystem benutzt zwei Ausrichtungsmarken M_1 und M_2 in der Maske MA, die in dem oberen rechten Teil der **Fig. 1** gezeigt ist. Wie in **Fig. 2** gezeigt ist, bestehen diese Marken bevorzugt aus Diffraktionsgittern, aber sie können auch alternativ durch andere Markierungen wie Quadrate oder Streifen gebildet sein, die optisch von ihren Umgebungen unterscheidbar sind. Die Ausrichtungsmarken sind bevorzugt zweidimensional, d. h. sie erstrecken sich in zwei zueinander senkrechten Richtungen, die X- und Y-Richtung in **Fig. 1**. Das Substrat W, beispielsweise ein Halbleitersubstrat, hat wenigstens zwei Ausrichtungsmarken, bevorzugt ebenfalls zweidimensionale Diffraktionsgitter, von denen zwei, P_1 und P_2 , in **Fig. 1** gezeigt sind. Die Markierungen P_1 und P_2 befinden sich außerhalb der IC-Bereiche auf dem Substrat W. Die Gittermarken P_1 und P_2 sind bevorzugt als Phasengitter verwirklicht, und die Gittermarken M_1 und M_2 sind bevorzugt als Amplitudengitter verwirklicht.

[0061] **Fig. 1** zeigt eine spezielle Ausführungsform einer auf der Achse liegenden Ausrichtungseinheit, nämlich eine doppelte Ausrichtungseinheit, bei der zwei Ausrichtungsstrahlen b und b' verwendet werden, um die Substratausrichtungsmarke P_2 auf die Maskenausrichtungsmarke M_2 und die Substratausrichtungsmarke P_1 auf die Maskenausrichtungsmarke M_1 auszurichten.

[0062] Der Strahl b wird von einem reflektierenden Element **30**, beispielsweise einem Spiegel, zu der reflektierenden Fläche **27** eines Prismas **26** reflektiert. Die Fläche **27** reflektiert den Strahl b zu der Substratausrichtungsmarke P_2 , die einen Teil der Strahlung als Strahl b_1 zu der zugehörigen Maskenmarke M sendet, wo ein Bild der Marke P_2 gebildet wird. Oberhalb der Marke M_2 befindet sich ein reflektierendes Element **11**, beispielsweise ein Prisma, das die Strahlung, die die Marke M_2 passiert hat, zu dem strahlungssensitiven Detektor **13** richtet.

[0063] Der zweite Ausrichtungsstrahl b' wird von einem Spiegel **31** zu einem Reflektor **29** in dem Projektionslinsensystem PL reflektiert. Dieser Reflektor sendet den Strahl b' zu einer zweiten reflektierenden Fläche **29** des Prismas **26**, wobei die Fläche den Strahl b' auf die Substratausrichtungsmarke P_1 richtet. Diese Marke reflektiert einen Teil der Strahlung des Strahls b' als Strahl b'_1 zu der Maskenausrichtungsmarke M_1 , wo ein Bild der Marke P_1 geformt wird. Die Strahlung des Strahls b'_1 , die durch die Marke M_1 verläuft, wird von einem Reflektor **11'** zu einem strahlungssensitiven Detektor **13'** gerichtet.

[0064] **Fig. 2** zeigt eine Ausführungsform einer von zwei identischen Substratmarken in der Form von Phasengittern in einem vergrößerten Maßstab. Solch ein Gitter kann aus vier Untergittern $P_{1,a}$, $P_{1,b}$, $P_{1,c}$ und $P_{1,d}$ bestehen, von denen zwei $P_{1,b}$ und $P_{1,d}$ zur Ausrichtung in der X-Richtung und die beiden anderen $P_{1,a}$ und $P_{1,c}$ zur Ausrichtung in der Y-Richtung dienen. Die beiden Untergitter $P_{1,b}$ und $P_{1,c}$ haben eine Gitterperiode von beispielsweise $16 \mu\text{m}$, und die Subgitter $P_{1,a}$ und $P_{1,d}$ haben eine Gitterperiode von beispielsweise $17,6 \mu\text{m}$. Jedes Untergitter kann eine Abmessung von beispielsweise $200 \times 200 \mu\text{m}$ haben. Eine Ausrichtungsgenauigkeit, die im Prinzip kleiner als $0,1 \mu\text{m}$ ist, kann mit dieser Gittermarke und einem geeigneten optischen System erhalten werden. Durch Auswahl verschiedener Gitterperioden kann der Einfangbereich der Ausrichtungseinheit vergrößert werden. Dieser Bereich beträgt beispielsweise $40 \mu\text{m}$.

[0065] **Fig. 3** zeigt die optischen Elemente einer geringfügig modifizierten Ausrichtungseinheit in näheren Einzelheiten. Die doppelte Ausrichtungseinheit enthält zwei getrennte und identische Ausrichtungssysteme AS_1 und AS_2 , die symmetrisch bezüglich der optischen Achse AA' des Projektionslinsensystems PL positioniert sind. Das Ausrichtungssystem AS_1 ist der Maskenausrichtungsmarke M_2 zugeordnet, während das Ausrichtungssystem AS_2 der Maskenausrichtungsmarke M_1 zugeordnet ist. Die entsprechenden Elemente der zwei Ausrichtungssysteme sind mit denselben Bezugszeichen bezeichnet, wobei diejenigen des Systems AS_2 mit einem Strich versehen sind, um sie von denjenigen des Systems AS_1 zu unterscheiden.

[0066] Die Struktur des Systems AS_1 wird nun beschrieben sowie die Art und Weise, in der die gegenseitige Position der Maskenmarke M_2 und beispiels-

weise der Substratmarke P_2 mit diesem System bestimmt wird.

[0067] Das Ausrichtungssystem AS_1 enthält eine Strahlungsquelle **1**, beispielsweise einen Helium-Neon-Laser, der einen Ausrichtungsstrahl b aussendet. Dieser Strahl wird von einem Strahlteiler **2** zu dem Substrat b reflektiert. Der Strahlteiler kann aus einem semitransparenten Spiegel oder einem semitransparenten Prisma bestehen, ist jedoch bevorzugt ein polarisationssensitiv teilendes Prisma **2** vor einer $\lambda/4$ Platte **3**, wobei λ die Wellenlänge des Strahls b ist. Das Projektionslinsensystem PL fokussiert den Strahl b zu einem kleinen Strahlungspunkt V mit einem Durchmesser in der Größenordnung von 1 mm auf das Substrat W . Dieses Substrat reflektiert einen Teil des Strahls als Strahl b_1 zu der Maske MA . Der Strahl b_1 durchquert das Projektionslinsensystem PL , das den Strahlungspunkt V auf der Maske abbildet. Bevor das Substrat in dem Belichtungsgerät angeordnet wird, ist es in einer Vorausrichtungsstation, die mit dem Gerät gekoppelt ist, vorausgerichtet worden, beispielsweise in der Station, die in der europäischen Patentanmeldung $0\ 164\ 165$ beschrieben ist, so dass der Strahlungspunkt V auf der Substratmarke P_2 positioniert ist. Diese Marke wird dann auf der Maskenmarke M_2 durch den Strahl b_1 abgebildet. Unter Berücksichtigung der Vergrößerung M des Projektionslinsensystems wird die Abmessung der Maskenmarke M_2 an diejenige der Substratmarke P_2 angepasst, so dass das Bild der Marke P_2 genau mit der Marke M_2 übereinstimmt, wenn die zwei Marken zueinander korrekt positioniert sind.

[0068] Auf ihrer Bahn zu und von dem Substrat W haben die Strahlen b und b_1 die $\lambda/4$ Platte dreimal durchquert, deren optische Achse in einem Winkel von 45° zu der Richtung der Polarisation des linear polarisierten Strahls b , der von der Quelle **1** kommt, verläuft. Der Strahl b_1 , der durch die $\lambda/4$ Platte verläuft, hat dann eine Polarisationsrichtung, die um 90° gegenüber dem Strahl b gedreht ist, so dass der Strahl b_1 das Polarisationsplittingprisma passiert. Die Verwendung des Polarisationsplittingprismas in Kombination mit der $\lambda/4$ Platte hat den Vorteil eines minimalen Strahlungsverlustes, wenn der Ausrichtungsstrahl in die Strahlungsbahn des Ausrichtungssystems eingegeben wird.

[0069] Der Strahl b_1 , der die Ausrichtungsmarke M_2 passiert hat, wird von einem Prisma **11** reflektiert und beispielsweise von einem weiteren reflektierenden Prisma **12** zu einem strahlungssensitiven Detektor **13** gerichtet. Dieser Detektor ist beispielsweise eine zusammengesetzte Photodiode, die beispielsweise vier getrennte strahlungssensitive Bereiche in Übereinstimmung mit der Anzahl von Untergittern gemäß **Fig. 2** hat. Die Ausgangssignale der Detektorbereiche sind ein Maß der Koinzidenz der Marke M_2 mit der Abbildung der Substratmarke P_2 . Diese Signale können elektronisch verarbeitet und benutzt werden, um die Maske und das Substrat zueinander mit Hilfe von Antriebssystemen (nicht dargestellt) zu bewe-

gen, so dass die Abbildung der Marke P mit der Marke M zusammenfällt. Auf diese Weise wird ein automatisches Ausrichtungssystem erhalten.

[0070] Ein Strahlteiler **14** beispielsweise in der Form eines transparenten Prismas, das einen Teil des Strahls b_1 als Strahl b_2 abspaltet, kann zwischen dem Prisma **11** und dem Detektor **13** angeordnet sein. Der Trennstrahl fällt beispielsweise über zwei Linsen **15** und **16** auf eine Fernsehkamera **17**, die mit einem Monitor (nicht dargestellt) gekoppelt ist, auf dem die Ausrichtungsmarken P_2 und M_2 für eine Bedienungsperson des Belichtungsgerätes sichtbar sind. Diese Bedienungsperson kann dann überprüfen, ob die zwei Marken sich decken, und das Substrat W mittels Manipulatoren bewegen, damit sich die Marken decken.

[0071] Analog zur Beschreibung der Marken M_2 und P_2 können die Marken M_1 und P_2 und die Marken M_1 und P_1 aufeinander ausgerichtet werden. Das Ausrichtungssystem AS_2 wird für die zuletzt erwähnten zwei Ausrichtungen verwendet.

[0072] Hinsichtlich weiterer Einzelheiten der Konstruktion und des Ausrichtungsvorgangs der doppelten Ausrichtungseinheit wird auf das US-Patent 4,778,275 Bezug genommen.

[0073] Die Ausführungsform der aufachsigen Ausrichtungseinheit gemäß **Fig. 1** ist insbesondere für ein Gerät geeignet, in dem ein Projektionsstrahl PB mit einer kurzen Wellenlänge von beispielsweise 248 nm und ein Ausrichtungsstrahl mit einer beträchtlich längeren Wellenlänge von beispielsweise 633 nm verwendet werden.

[0074] Da das Projektionslinsensystem für die Wellenlänge des Projektionsstrahls PB entwickelt ist, treten Differenzen auf, wenn dieses System PL zur Abbildung der Ausrichtungsmarken P_1 , P_2 und M_1 und M_2 aufeinander mittels des Ausrichtungsstrahls verwendet wird. Beispielsweise werden Substratausrichtungsmarken nicht in der Ebene des Maskenmusters liegen, in der die Maskenausrichtungsmarken liegen, sondern sie werden in einem vorgegebenen Abstand davon abgebildet, der von der Differenz zwischen der Wellenlänge des Projektionsstrahls und des Ausrichtungsstrahls und der Differenz zwischen den Brechungsindizes des Materials der Projektionslinsenelemente für die zwei Wellenlängen abhängt. Wenn der Projektionsstrahl beispielsweise eine Wellenlänge von 248 nm hat und der Ausrichtungsstrahl eine Wellenlänge von 633 nm, kann dieser Abstand 2 m betragen. Wegen der Wellenlängendifferenz wird zudem eine Substratausrichtungsmarke auf einer Maskenausrichtungsmarke mit einer Vergrößerung abgebildet, die von der gewünschten Vergrößerung abweicht und mit zunehmender Wellenlängendifferenz ansteigt.

[0075] Um diese Differenzen zu korrigieren enthält das Projektionslinsensystem PL eine zusätzliche Linse, eine Korrekturlinse **25**. Die Korrekturlinse ist in einer solchen Höhe in der Projektionslinse angeordnet, dass einerseits in der Ebene der Korrekturlinse die

Substrahlen der verschiedenen Beugungsordnungen des Ausrichtungsstrahls, die von einer Substratausrichtungsmarke stammen und durch die erzeugt werden, ausreichend getrennt sind, um zu ermöglichen, diese Substrahlen getrennt zu beeinflussen, und andererseits hat die Korrekturlinse einen vernachlässigbaren Einfluss auf den Projektionsstrahl und das damit geformte Maskenmusterbild. Die Korrekturlinse ist bevorzugt in der Fourier-Ebene des Projektionslinsensystems angeordnet. Wenn, wie **Fig. 3** zeigt, die Korrekturlinse **25** in einer Ebene angeordnet ist, in der die Hauptstrahlen der Ausrichtungsstrahlen b und b' sich einander schneiden, dann kann diese Linse zur Korrektur beider Ausrichtungsstrahlen verwendet werden.

[0076] Falls gewünscht, kann ein Keil oder ein anderes Ablenkungselement wie ein Diffraktionselement in der Bahn des Ausrichtungsstrahls (Strahlen) nahe einer Ausrichtungsmarke angeordnet werden. Mit einem solchen Ablenkungselement, das in **Fig. 3** nicht gezeigt ist, können Ausrichtungsfehler aus unbeabsichtigten Phasendifferenzen innerhalb der ausgewählten Ausrichtungstrahlabschnitte, die von dem Detektor **13** oder **13'** erhalten werden, verhindert werden, wobei die Phasendifferenzen auftreten können, wenn diese Symmetrieachse der Ausrichtungstrahlabschnitte, die von einer Substratausrichtungsmarke kommen, nicht senkrecht zu der Maskenebene liegt, so dass falsche Reflektionen innerhalb dieser Platte auftreten können. Eine Ausrichtungseinheit, die mit einem solchen Ablenkungselement versehen ist, ist in der europäischen Patentanmeldung 0 467 445 beschrieben.

[0077] Zusätzlich zu den globalen Ausrichtungsmarken P_1 und P_2 , die in **Fig. 1** gezeigt sind und zum Ausrichten des gesamten Substrats gegenüber der Maske verwendet werden, was als globale Ausrichtung bezeichnet wird, kann das Substrat mit weiteren Ausrichtungsmarken pro IC-Bereich versehen werden, so dass jeder IC-Bereich getrennt bezüglich des Maskenmusters ausgerichtet werden kann. Die Maske kann auch mehr als zwei Ausrichtungsmarken enthalten, wobei die weiteren Ausrichtungsmarken beispielsweise zum Messen der Rotation der Maske um die Z-Achse verwendet werden kann, so dass diese Rotation berichtigt werden kann.

[0078] Das Projektionsgerät enthält ferner ein Fokussierfehlererfassungssystem zum Bestimmen einer Abweichung zwischen der fokalen Ebene des Projektionslinsensystems PL und der Fläche des Substrats W, so dass diese Abweichung korrigiert werden kann, beispielsweise durch Bewegen des Projektionslinsensystems entlang seiner Achse der Z-Achse. Dieses System kann durch die Elemente **40**, **41**, **42**, **43**, **44**, **45** und **46** gebildet sein, die in einem Halter (nicht dargestellt) angeordnet sind, der fest mit dem Projektionslinsensystem verbunden ist. Das Bezugszeichen **40** bezeichnet eine Strahlungsquelle beispielsweise einen Diodenlaser, der einen Fokussierungsstrahl b_3 aussendet. Dieser Strahl wird in einem klei-

nen Winkel auf das Substrat durch ein reflektierendes Prisma **42** gerichtet. Der von dem Substrat reflektierte Strahl wird zu einem Retroreflektor **44** durch das Prisma **43** gerichtet. Das Element **44** reflektiert den Strahl in sich selbst, so dass der Strahl (b_3') noch einmal dieselbe Bahn über Reflexionen an dem Prisma **43**, dem Substrat W und dem Prisma **42** durchläuft.

[0079] Der Strahl b_3' erreicht ein strahlungssensitives Erfassungssystem **46** über ein teilweise reflektierendes Element **41** und ein reflektierendes Element **45**. Dieses Erfassungssystem besteht beispielsweise aus einem positionsabhängigen Detektor oder aus zwei getrennten Detektoren. Die Position des Strahlungspunktes, der von dem Strahl b_3' auf diesem System geformt wird, hängt von dem Ausmaß ab, in dem die fokale Ebene des Projektionslinsensystems mit der Ebene des Substrats B zusammenfällt. Für eine genauere Beschreibung des Fokusfehlererfassungssystems wird auf das US-Patent 4,356,392 Bezug genommen.

[0080] Zur genauen Bestimmung der X- und Y-Position des Substrathalters ist ein Stufenprojektionsgerät mit einem mehrachsigen Interferometersystem vorgezogen. Das US-Patent 4,251,160 beschreibt ein System mit zwei Messachsen, und das US-Patent 4,737,823 beschreibt ein System mit drei Messachsen. In **Fig. 1** ist ein Interferometersystem schematisch mittels der Elemente **50**, **51**, **52**, **53** und **54** gezeigt, wobei nur eine Messachse, die X-Achse, gezeigt ist. Ein Strahl b_4 , der von einer Strahlenquelle **50** in Form eines Lasers ausgesandt ist, wird von einem Strahlteiler **51** in einen gemessenen Strahl $b_{4,m}$ und einen Referenzstrahl $b_{4,r}$ geteilt. Der Messstrahl erreicht eine reflektierende Seitenfläche **54** des Substrathalters WH, und der reflektierte Messstrahl wird durch den Strahlteiler **51** mit dem Referenzstrahl kombiniert, der von einem stationären Retroreflektor **52**, beispielsweise einem Eckkubus, reflektiert wird. Die Intensität des kombinierten Strahles wird mit einem Detektor **53** gemessen, und die Verlagerung, in diesem Fall in der X-Richtung des Substrathalters WH kann aus dem Ausgangssignal dieses Detektors abgeleitet werden, und eine gegenwärtige Position dieses Halters kann bestimmt werden.

[0081] Wie in **Fig. 1** gezeigt ist, werden die Interferometersignale, der Einfachheit halber dargestellt durch ein Signal S_{33} , und die Signale S_{13} und S'_{13} der doppelten Ausrichtungseinheit einer signalverarbeitenden Einheit SPU zugeführt, beispielsweise einem Mikrocomputer, der die Signale zu Kontrollsignalen SAC für einen Aktuator AC verarbeitet, mit dem der Substrathalter in der XY-Ebene über den Substratisch WT bewegt wird.

[0082] Bei einem Interferometersystem, das nicht nur die X-Meßachse gemäß **Fig. 1** hat, sondern auch eine Y-Meßachse und möglicherweise eine dritte Messachse, können die Positionen und die gegenseitigen Abstände zwischen den Ausrichtungsmarken P_1 , P_2 und M_1 , M_2 in einem Koordinatensystem fixiert werden, das durch das stationäre Interferome-

tersystem während der anfänglichen oder globalen Ausrichtung der Marke und des Substrats zueinander definiert werden. Dieses Interferometersystem wird auch benutzt, um den Substratisch sehr genau zu bewegen, was für ein Stufenprojektionsgerät erforderlich ist, damit dieses sehr genau von einem ersten IC-Bereich zu einem zweiten IC-Bereich fortschreiten kann.

[0083] Wenn, wie in **Fig. 1** gezeigt, das Projektionsgerät ein Schritt-und-Abtast-Gerät ist, bei dem die Maske und das Substrat synchron während der Projektion des Maskenmusters in einen IC-Bereich bewegt werden müssen, muss die Maske auch in einer Richtung, der Abtastrichtung bewegt werden. Unter Berücksichtigung der Vergrößerung M des Projektionslinsensystems muss diese Bewegung synchron mit der korrespondierenden Bewegung des Substrats erfolgen. Dann müssen die Maske und das Substrat zueinander still stehen während der Projektion, und beide müssen gegenüber dem Projektionslinsensystem und dem Projektionsstrahl bewegt werden. Um die Bewegung der Maske zu messen, muss das Gerät mit einem zweiten Interferometersystem versehen sein. Dieses Interferometersystem enthält die Elemente **60**, **61**, **62**, **63** und **64**, die eine gleiche Funktion wie die Elemente **50**, **51**, **52**, **53** und **54** haben. Die Signale von dem Maskeninterferometersystem, der Einfachheit halber dargestellt durch ein Signal S_{63} in **Fig. 1**, werden der signalverarbeitenden Einheit SPU zugeführt, in der diese Signale mit den entsprechenden Signalen von dem Signalinterferometersystem verglichen werden. Es kann dann überprüft werden, ob die Maske und das Substrat zueinander die korrekte Position haben und/oder sich synchron bewegen.

[0084] Wenn die Positionen in der X-Y-Richtung der Maske durch X_r , Y_r und diejenigen des Substrats X_w , Y_w und die Rotation um die Z-Achse durch $\phi_{z,r}$ und $\phi_{z,w}$ angegeben sind, müssen die folgenden Bedingungen erfüllt sein, wenn die Maske und das Substrat korrekt zueinander positioniert sind:

$$X_x - M \cdot X_r = 0 \quad (1)$$

$$Y_w - M \cdot Y_r = 0 \quad (2)$$

$$\phi_{z,w} - \phi_{z,r} = 0 \quad (3)$$

wobei M die Vergrößerung des Projektionslinsensystems ist. Es ist angenommen worden, dass die Maske und das Substrat sich in entgegengesetzten Richtungen bewegen. Wenn diese Elemente in derselben Richtung bewegt werden, sollte das Minuszeichen vor M in den obigen Gleichungen durch ein Pluszeichen ersetzt werden.

[0085] Um festzustellen, ob diese Bedingungen zutreffen, ist es ausreichend, dass beide Interferometersysteme für das Substrat und für die Maske drei Messachsen haben.

[0086] Das Substratinterferometersystem hat je-

doch bevorzugt fünf Messachsen. Dann können nicht nur XW, YW und $\phi_{Z,W}$, sondern auch $\phi_{X,W}$ und $\phi_{Y,W}$, d. h. das Kippen um die X-Achse und die X-Achse gemessen werden.

[0087] Um solche Neigungen der Maske messen zu können, kann ein Maskeninterferometersystem mit fünf Achsen verwendet werden, oder eine Kombination eines Interferometersystems mit drei Achsen zum Bestimmen von X_r , Y_r und $\phi_{Z,r}$ sowie andere Sensoren wie kapazitive Sensoren für die $\phi_{X,r}$ und $\phi_{Y,r}$ -Messungen.

[0088] Wenn $X_W, T_W, \phi_{Z,W}, \phi_{Y,W}$ und $X_r, Y_r, \phi_{Z,r}, \phi_{X,r}, \phi_{Y,r}$ und, mit der Hilfe des Fokusfehlererfassungssystems Z_W und Z_r , d. h. die Positionen entlang der Z-Achse des Substrats und der Maske gemessen werden können, kann festgestellt werden, ob nicht nur die Bedingungen (1), (2) und (3) zutreffen, sondern auch die Bedingungen

$$M^2 \times Z_W - Z_r = 0 \quad (4)$$

$$M \cdot \phi_{X,W} - \phi_{X,r} = 0 \quad (5)$$

$$M \cdot \phi_{Y,W} - \phi_{Y,r} = 0 \quad (6)$$

[0089] Die aufachsige Ausrichtungseinheit, die mit Bezug auf **Fig. 3** beschrieben ist, zum gegenseitigen Ausrichten einer Maskenausrichtungsmarke und einer Substratausrichtungsmarke hat sich als sehr geeignet sowohl für Schrittprojektionsgeräte als auch Schritt- und Abtastprojektionsgeräte herausgestellt, mit denen Bilder erzeugt werden mit Linienbreiten bis zu einem vorgegebenen Minimalwert. Es wird jedoch erwartet, dass die Verwendung von neuen Technologien bei der IC-Herstellung und abnehmende Linienbreiten in den Abbildungen zu Problemen führen, soweit die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der bekannten Ausrichtungseinheit betroffen sind. Wenn die Linienbreite reduziert wird, muss die Ausrichtungsgenauigkeit verbessert werden. Wenn der CMP-Prozess verwendet wird, um in der Zwischenzeit das Substrat abzuflachen, werden Asymmetrien in die Substratgittermarke eingeführt, so dass der Ausrichtungsvorgang, bei der die Substrahlen ersten Grades verwendet werden, unzuverlässig wird. Wenn außerdem eine Ausrichtungsstrahl verwendet wird, der eine Wellenlänge hat, müssen strikte Erfordernisse an die Tiefe der Gitternuten in der Ausrichtungsmarke gestellt werden, wobei diese Erfordernisse nur mit zunehmenden Schwierigkeiten erfüllt werden können.

[0090] Alle diese Probleme können gelöst werden, indem eine außerachsige Ausrichtungseinheit zum Ausrichten der Substratmarke verwendet wird und indem Substrahlen höherer Ordnung bei der Ausrichtung verwendet werden, d. h. Substrahlen mit einer Beugungsordnung, die größer als 1 ist. Da die Ausrichtung der Substratmarke nicht mehr durch das Projektionslinsensystem erfolgt, gibt es eine größere Freiheit, mehr Substrahlen zu verwenden, insbesondere Substrahlen höherer Ordnung. Da das Auflö-

sungsvermögen der Ausrichtungseinheit mit einer erhöhten Ordnungszahl der Substrahlen wächst, kann die Genauigkeit der Ausrichtung beträchtlich verbessert werden. Da vor allem die Substrahlen höherer Ordnung bzw. Grades durch die Ränder der Substratgittermarke bestimmt werden und, im Vergleich mit der Mitte dieser Gitter, diese Ränder durch den CMP-Prozess und andere Messungen, die Symmetrie des Gitters beeinträchtigen, weniger beeinflusst werden, ist das Problem der Asymmetrie in der Gittermarke weitgehend eliminiert. Außerdem ist es möglich, Ausrichtungsstrahlung mit mehr als einer Wellenlänge zu benutzen, so dass die Erfordernisse hinsichtlich der Tiefe der Gitternuten beträchtlich verringert sind. Wie nachfolgend erläutert wird, werden die Beugungsordnungen voneinander durch optische Elemente in einer Ausrichtungseinheit gemäß der Erfindung getrennt, nicht jedoch durch elektronische Mittel und/oder zugehörige Software. Infolgedessen ist es nicht nötig, Signalamplituden zu messen, sondern die Phasenmessungen können verwendet werden, die bei diesen Techniken üblicher sind.

[0091] **Fig. 4** zeigt ein Schaltdiagramm der neuen außerachsigen Ausrichtungseinheit. Die Substratmarke in der Form eines Gitters ist mit P_1 bezeichnet. Ein paralleler Ausrichtungsstrahl b mit einer Wellenlänge λ , der auf dieses Gitter fällt, wird in eine Anzahl von Substrahlen geteilt, die sich in unterschiedlichen Winkeln a_n (nicht dargestellt) zu der Normalen zu dem Gitter erstrecken, wobei die Winkel durch die bekannte Gitterformel bestimmt sind:

$$\sin a = N \cdot \lambda / P \quad (7)$$

wobei N die Beugungsordnungszahl und P die Gitterperiode sind. Die Bahn der Substrahlen, die von dem Gitter reflektiert sind, enthält ein Linsensystem L , das die verschiedenen Richtungen der Substrahlen in unterschiedliche Positionen u_n dieser Substrahlen in einer Ebene **73** richtet:

$$u_n = f_1 \cdot a_n \quad (8)$$

wobei f_1 die Brennweite des Linsensystems L_1 ist.

[0092] In dieser Ebene sind Mittel vorgesehen, um die verschiedenen Substrahlen weiter zu trennen. Zu diesem Zweck kann eine Platte in dieser Ebene angeordnet sein, die mit Deflektionselementen beispielsweise in Form von Keilen **80-86** versehen ist. In **Fig. 4** ist die Keilplatte durch WEP bezeichnet. Die Keile sind beispielsweise an der Rückseite der Platte vorgesehen. Ein Prisma **72** kann dann an der Vorderseite der Platte angeordnet sein, mit dem ein Ausrichtungsstrahl, der von der Strahlungsquelle **70**, beispielsweise He-Ne-Laser kommt, in die Ausrichtungseinheit gekoppelt werden kann. Dieses Prisma kann auch den 0-Ordnungs-Substrahl daran hindern, die Detektoren zu erreichen. Die Anzahl der Keile entspricht der Anzahl der zu verwendenden Substrahlen. In der dargestellten Ausführungsform sind

sechs Keile pro Dimension für die Plusordnungen vorgesehen, so dass die Substrahlen verwendet werden können bis zu der 7-Ordnung für die Ausrichtung. Alle Keile haben einen verschiedenen Keilwinkel, so dass eine optimale Trennung der verschiedenen Substrahlen erhalten wird.

[0093] Ein zweites Linsensystem L_2 ist hinter der Keilplatte angeordnet. Dieses Linsensystem bildet die Marke P_1 in der Ebene der Referenzplatte RGP ab. Ohne die Keilplatte würden alle Substrahlen in der Referenzebene überlagert. Da die verschiedenen Substrahlen durch die Keilplatte in verschiedenen Winkeln abgelenkt werden, erreichen die Abbildungen, die durch die Substrahlen gebildet werden, verschiedene Positionen in der Referenzebene. Diese Positionen X_n sind gegeben durch:

$$X_n = f_2 \times y_n \quad (9)$$

wobei f_2 die Brennweite des Linsensystems L_2 und y_n der Winkel ist, in dem ein Substrahl von der Keilplatte abgelenkt wird.

[0094] An diesen Positionen können Referenzgitter G_{90} – G_{96} vorgesehen sein, wie **Fig. 5** zeigt. Ein getrennter Detektor **90–96** ist hinter jedem dieser Referenzgitter angeordnet. Das Ausgangssignal jedes Detektors hängt ab von dem Ausmaß, in dem die Abbildung des Substratgitters P_1 mit dem relevanten Referenzgitter zusammenfällt. Somit kann das Ausmaß der Ausrichtung des Substratgitters und damit des Substrats mit jedem Detektor **90–96** gemessen werden. Jedoch ist die Genauigkeit, mit der die Messung erfolgt, abhängig von der Gradzahl bzw. Ordnungszahl des verwendeten Substrahls; wenn diese Ordnungszahl größer ist, ist die Genauigkeit größer. In **Fig. 5** ist zur Vereinfachung angenommen, dass alle Referenzgitter G_{90} – G_{96} dieselbe Gitterperiode haben. Tatsächlich ist die Gitterperiode jedes Gitters an die Gradzahl des zugehörigen Substrahls angepasst. Wenn die Ordnungszahl größer ist, ist die Gitterperiode kleiner, und ein kleinerer Ausrichtungsfehler kann ermittelt werden.

[0095] Bisher ist nur ein Satz von Beugungsordnungen berücksichtigt worden. Wie bekannt, bildet eine Beugungsordnung zusätzlich zu +1, +2, +3 etc. Ordnungs-substrahlen auch Substrahlen der Beugungsordnungen -1, -2, -3 etc. Die Substrahlen der Plusordnungen und der Minusordnungen können verwendet werden, um das Gitterbild zu erzeugen, d. h. ein erstes Bild der Gittermarke ist gebildet durch die gemeinsamen Substrahlen der +1 und -1 Ordnung, ein zweites Bild ist gebildet durch gemeinsame Substrahlen der +2 und -2 Ordnung usw. Für die Substrahlen der +1 Ordnung und der -1 Ordnung müssen keine Keile verwendet werden, sondern planparallele Platten, die Bahnlängendifferenzen kompensieren, können an den Positionen dieser Substrahlen in der Ebene der Keilplatte vorgesehen sein. Somit sind sechs Keile, sowohl für die Plusordnungen und für die Minusordnungen, erforderlich für die Ordnungen

2 bis 7.

[0096] **Fig. 6** zeigt klarer das Funktionieren der Keile der Ausführungsform der **Fig. 4**. In der schematischen **Fig. 6** sind das erste Linsensystem L_1 und das zweite Linsensystem L_2 durch Wellenlinien dargestellt. Zur Klarheit sind nur die Substrahlen der ersten Ordnungen $b(+1)$ und $b(-1)$, die Substrahlen der siebten Ordnung $b(+7)$ und $b(-7)$ und die Substrahlen einer anderen Ordnung $b(+i)$ und $b(-i)$, beispielsweise der vierten Ordnung, gezeigt. Wie **Fig. 6** darstellt, sind die Keilwinkel, d. h. der Winkel, den die geneigte Fläche des Keils mit der ebenen Fläche der Keilplatte WEP einschließt, der Keile **80** und **80'** so, dass die Substrahlen $b(+7)$ und $b(-7)$ in parallelen Richtungen abgelenkt und durch das zweite Linsensystem auf ein Referenzgitter G_{96} konvergiert werden. Außerdem sind die Substrahlen $b(+i)$ und $b(-i)$ durch die zugehörigen Keile **82** und **82'** in parallelen Richtungen abgelenkt und auf ein Referenzgitter G_{91} konvergiert. Die Substrahlen erster Ordnung werden nicht abgelenkt und durch das zweite Linsensystem auf ein Referenzgitter G_{93} konvergiert. Durch Verwendung der Plusordnungen und der Minusordnungen jeder Beugungsordnung wird ein genaues Bild der Substratgittermarke P_1 auf dem zugehörigen Referenzgitter geformt und die verfügbare Strahlung wird maximal genutzt.

[0097] Detektoren **91**, **93** und **96** sind jeweils hinter den Bezugsgittern G_{91} , G_{93} und G_{96} gezeigt.

[0098] **Fig. 7** zeigt die bevorzugten Positionen der Linsensysteme L_1 und L_2 bezüglich der Ebene der Marke P_1 und der Referenzgitterplatte RGP, sowie die Brennweiten dieser Linsensysteme. Das erste Linsensystem L_1 hat eine Brennweite f_1 und dieses System ist einem Abstand f_1 von der Ebene der Marke P_1 angeordnet. Das Linsensystem L_1 lenkt die Hauptstrahlen der Unterstrahlen in Richtungen parallel zu der optischen Achse OO' . Der Abstand zwischen dem ersten Linsensystem L_1 und dem zweiten Linsensystem ist gleich $f_1 + f_2$, wobei f_2 die Brennweite des zweiten Linsensystems L_2 ist. Die Referenzgitterplatte ist in einem Abstand f_2 von dem zweiten Linsensystem angeordnet. Wie in der Bahn zwischen den zwei Linsensystemen sind die Hauptstrahlen der Unterstrahlen parallel zu der optischen Achse OO' , und die Position der Keilplatte ist nicht kritisch.

[0099] Damit in der Ausführungsform der **Fig. 4** die Plus- und Minusordnungssubstrahlen derselben Beugungsordnung so abgelenkt werden, dass sie korrekt von dem zweiten Linsensystem auf das zugehörige Referenzgitter überlagert werden können, sind strikte Anforderungen an die Qualität der zwei zugehörigen Keile zu stellen. Diese Qualitätsanforderungen beziehen sich auf die Qualität der geneigten Flächen der Keile und die Keilwinkel.

[0100] Um diese Erfordernisse zu verringern und die Toleranzen der Ausrichtungseinheit zu entlasten, wird bevorzugt die Struktur der Ablenkungselemente verwendet, die in **Fig. 8** gezeigt ist. Anstelle eines einzelnen Keiles für jeden Substrahl wird eine Anzahl

von beispielsweise drei Keilplatten **190**, **191**, **192** verwendet, die für alle Substrahlen gemeinsam sind. **Fig. 8** zeigt eine perspektivische Ansicht und **Fig. 9** eine Seitenansicht der Keilplatten. Der Keilwinkel, d. h. der Winkel zwischen der oberen Fläche und der unteren Fläche einer Platte, für die Platte **192** der Winkel zwischen der Fläche **192a** und der Fläche **192b**, ist für diese drei Platten unterschiedlich. Eine der Platten, beispielsweise Platte **190**, hat einen Keilwinkel, der entgegengesetzt ist zu denjenigen der anderen Platten. Die Platten sind mit einer Anzahl von Öffnungen **200** versehen, von denen nur ein paar in **Fig. 8** gezeigt sind. Diese Öffnungen sind an Positionen vorgesehen, an denen Substrahlen auf die relevante Platte fallen. Jedoch ist nicht an jeder derartigen Position eine Öffnung vorhanden. Wenn ein Substrahl auf eine Öffnung in einer Platte fällt, wird er von dieser Platte nicht abgelenkt.

[0101] Auf seinem Weg durch die Platten wird ein Substrahl 0,1 oder 2 Öffnungen antreffen. Nur die Substrahlen erster Ordnung treffen auf null Öffnungen und werden durch keine der Platten abgelenkt. In **Fig. 9** ist die Bahn durch die Platten von einem der Substrahlen gezeigt. Dieser Substrahl wird von der ersten Platte **190** nach rechts abgelenkt. Danach wird dieser Substrahl über einen kleineren Winkel nach links abgelenkt. Schließlich verläuft der Substrahl durch eine Öffnung **200** in der Platte **192**, so dass keine weitere Ablenkung auftritt. Für jeden der Substrahlen ist die Anzahl der Öffnungen und der Grad der Platte, in dem sich eine solche Öffnung befindet, verschieden von denjenigen der anderen Substrahlen, so dass die Substrahlen alle in verschiedenen Richtungen abgelenkt werden. Es ist klar, dass bei einer Kombination von drei Platten $2^3 = 8$ verschiedene Ablenkungsrichtungen realisiert werden können. Da ein Paar der Substrahlen derselben Beugungsordnung durch dieselben Keilplatten abgelenkt wird, ist die Gefahr minimiert, dass diese Substrahlen nicht in parallelen Richtungen abgelenkt werden.

[0102] In der Ausführungsform der **Fig. 4** und **5** sind Substrahlen einer Ordnungszahl von 1 bis 7 verwendet, so dass sieben Bezugsgitter G_{90} – G_{96} für die Ausrichtung in der X-Richtung erforderlich sind. Für die Ausrichtung in der Y-Richtung können auch sieben Substrahlen zusammen mit sieben weiteren Referenzgittern G_{98} – G_{104} verwendet werden, wie **Fig. 5** zeigt. Eine zweite Folge von zwölf Keilen wird dann an der Keilplatte in der X-Richtung bei der Ausführungsform der **Fig. 4** angeordnet. Bei der Ausführungsform der **Fig. 8** wird dann eine zweite Serie von drei Keilplatten in der Bahn der Substrahlen vor oder hinter der ersten Serie von Keilplatten angeordnet, wobei die zweite Serie von Platten die Substrahlen in Y-Richtungen ablenkt. Die Substratmarke kann die in **Fig. 2** gezeigte Marke sein. Für die Substrahlen erster Ordnung kann ein ähnliches Bezugsgitter mit vier Gitterabschnitten verwendet werden, von denen zwei eine Gitterperiode von $8,0 \mu\text{m}$ hat, während die zwei anderen Gitterabschnitte eine Periode von $8,8 \mu\text{m}$

haben, wie **Fig. 5** zeigt. Die anderen Bezugsgitter haben nur eine Gitterperiode, die der relevanten Beugungsordnung der Gitterabschnitte mit einer Periode von $16 \mu\text{m}$ des Substratgitters P_1 entspricht. Der Eingangsbereich von $44 \mu\text{m}$, der mit der Gittermarke P_1 von **Fig. 2** verbunden ist, wird dann beibehalten.

[0103] Bei der Ausführungsform der **Fig. 4** und **5** werden die Substrahlen, die die höchste Ordnungszahl haben, von den Ablenkungselementen durch den größten Winkel abgelenkt. Dies ist jedoch nicht erforderlich. Unter Umständen kann diese Ordnung modifiziert werden, beispielsweise zum Minimieren optischer Abweichungen in den Gitterbildern. Dies kann auch der Grund dafür sein, warum die Substrahlen mit einer ansteigenden Ordnungszahl von den Keilen abwechselnd in einen positiven und einen negativen Winkel abgelenkt werden, wie **Fig. 6** zeigt.

[0104] Die minimale Anzahl von Beugungsgraden, die zu erfassen sind, um auf ausreichend genaue Weise bei einer vorgegebenen Asymmetrie der Substratmarke P ausrichten zu können, kann mit Hilfe einer Computersimulation bestimmt werden. Solche Simulationen haben erwiesen, dass beispielsweise ein Ausrichtungsfehler von 150 nm , der auftritt, wenn ein Substrahl erster Ordnung verwendet wird, auf 20 nm verringert werden kann, wenn ein Substrahl fünfter Ordnung verwendet wird.

[0105] Im Prinzip kann die maximale Anzahl von Ordnungen, die erfaßt werden kann, durch die minimale Intensität bestimmt werden, die noch erfaßbar ist, und durch die numerische Apertur des Linsensystems L_1 , L_2 . Bekanntlich nimmt die Intensität des Substrahls, der von einem Diffraktionsgitter gebildet wird, schnell ab, mit der Zunahme der Ordnungszahl dieses Substrahls; die Intensität eines Substrahls ist umgekehrt proportional zu dem Quadrat der Ordnungszahl dieses Substrahls. Für einen Substrahl siebter Ordnung ist somit die Intensität etwa $1/50$ von derjenigen eines Substrahls erster Ordnung. Der Intensitätsverlust in Folge der Reflektionen, die ein Ausrichtungsstrahl erfährt, wenn er die außerachsige Ausrichtungseinheit durchläuft, ist jedoch beträchtlich kleiner, als wenn er eine aufachsige Ausrichtungseinheit durchquert. Bei der letzteren Einheit trifft der Ausrichtungsstrahl beispielsweise etwa 100 Flächen, an denen Reflektionsverluste auftreten können, und bei der erstgenannten Einheit trifft er beispielsweise zwanzig solcher Flächen. Wenn der Gesamtreflektionsverlust ein Faktor von vier in der außerachsigen Ausrichtungseinheit ist, kann ein Ausrichtungssubstrahl siebter Ordnung soviel Intensität haben wie ein Ausrichtungsstrahl erster Ordnung in der aufachsigen Ausrichtungseinheit.

[0106] Die numerische Apertur NA_n , die das optische System L_1 , L_2 haben muss, um einen Substrahl mit einer Beugungsordnung von N passieren zu lassen ist gegeben durch:

$$NA_n = \sin(N \times \lambda/p) \quad (10)$$

[0107] Für einen Substrahl siebter Ordnung und eine Substratgittermarke mit einer Gitterperiode $P = 16 \mu\text{m}$ und eine Wellenlänge $\lambda = 544 \text{ nm}$ ist die gewünschte numerische Apertur etwa 0,24, was eine sehr akzeptable Zahl ist.

[0108] Um ein ausreichend stabiles System zu garantieren, sind die verschiedenen Referenzgitter auf einer einzigen Platte RGP vorgesehen, die vorzugsweise aus Quarz besteht. Die Dimensionen dieser Platte und damit das Bildfeld des zweiten Linsensystems sind durch die Dimension d_1 der Referenzgitter und ihren jeweiligen Abstand d_2 bestimmt. Dieser Abstand und diese Dimension betragen beispielsweise beide 0,2 nm, so dass die Dimensionen d_x und d_y in der X- und Y-Richtung der Platte RGP 2,8 mm sind und der gewünschte Felddurchmesser etwa 3 mm beträgt.

[0109] Die einzelnen Keile der Ausführungsform der **Fig. 4** können aus Glas oder Quarz bestehen und an einer Quarzplatte befestigt sein. Diese Struktur hat eine hohe Stabilität. Die Keile können aus einem transparenten synthetischen Material bestehen, beispielsweise einem UV-härtbaren Kunststoff. In diesem Fall ist es bevorzugt, eine Replikationstechnik zu verwenden, die in der Optik bekannt ist, um die gesamte Keilstruktur mittels einer Form in einem Durchgang in einer dünnen Schicht dieses Materials zu drucken, wobei die Schicht beispielsweise auf ein Quarzsubstrat aufgebracht wird. Wie bereits bemerkt, werden anstelle getrennter Keile bevorzugt Keilplatten mit Öffnungen verwendet. Anstelle der getrennten Keile oder Keilplatten können alternativ andere Ablenkungselemente verwendet werden, wie Diffraktionsgitter, von denen nur ein Grad verwendet wird. Außerdem ist es möglich, Ablenkungsstrukturen zu verwenden, die durch Muster von Brechungsindexvariationen in dem Material einer Platte gebildet sind, wobei die Muster beispielsweise durch Ionenimplantation vorgesehen sind.

[0110] Damit nicht zu strenge Anforderungen an die Nuttiefe der Substratmarke gestellt werden müssen, werden bevorzugt Ausrichtungsstrahlen mit zwei Wellenlängen verwendet, beispielsweise 633 nm und 532 nm. Es kann der Umstand genutzt werden, dass die Winkel, in denen das Ausrichtungsgitter die Substrahlen ablenkt, und die Positionen, die diese Strahlen in der rückwärtigen Fokalebene des Linsensystems L_1 einnehmen, von der Wellenlängen abhängen, wie aus den Gleichungen (7) und (8) ersichtlich ist. Im Prinzip können die Ordnungen der verschiedenen Wellenlängen voneinander unterschieden werden. Ohne weitere Messungen kann jedoch eine gegebene Ordnung, beispielsweise die zweite Ordnung der ersten Wellenlänge (633 nm) beispielsweise zwischen die zweite und die dritte Ordnung der zweiten Wellenlänge (532 nm) kommen. Um die Ordnungen der verschiedenen Wellenlängen besser voneinander zu trennen, kann sichergestellt werden, dass die Strahlen mit den verschiedenen Wellenlängen in verschiedenen Winkeln auf das Substratgitter P_1 fallen.

In dem Fall, in dem sieben Diffraktionsordnungen verwendet werden, wird dann die in **Fig. 10** dargestellte Situation in der hinteren Fokalebene des Linsensystems L_1 erzeugt. Dort gibt es ein erstes kreuzförmiges Muster von Positionen **110** bis **137** für die verschiedenen Ordnungen der ersten Wellenlänge und ein zweites kreuzförmiges Muster von Positionen **138** bis **165** für die verschiedenen Ordnungen der zweiten Wellenlänge. Wie durch den Doppelpfeil in der Mitte der **Fig. 10** gezeigt ist, sind diese Muster zueinander versetzt, wegen der verschiedenen Einfallswinkel der Ausrichtungsstrahlen mit den verschiedenen Wellenlängen. Diese Winkel sollten so klein wie möglich gehalten werden, um Ausrichtungsfehler zu verhindern, die durch Defokussierungseffekte auftreten können. Wenn zwei Wellenlängen verwendet werden, muss die Platte mit den Ablenkungselementen natürlich an die Situation angepaßt werden, wie **Fig. 10** zeigt, was u. a. bedeutet, dass anstelle von vierundzwanzig gesonderten Keilen achtundvierzig Keile verwendet werden müssen, oder dass anstelle von sechs keilförmigen Platten zwölf solcher Platten benutzt werden müssen.

[0111] Eine bessere Alternative zum Ausrichten mit zwei Wellenlängen ist in **Fig. 11** dargestellt. In dieser Figur bezeichnet das Bezugszeichen **160** einen polarisationssensitiven Strahlteiler. Dieser Strahlteiler empfängt einen ersten Ausrichtungsstrahl b mit einer ersten Wellenlänge λ_1 , z. B. 633 nm, von einem He-Ne Laser, mit einer ersten Polarisationsrichtung und leitet diesen Strahl zu der Substratausrichtungsmarke P_1 . Auf diesen Strahlteiler fällt auch ein zweiter Ausrichtungsstrahl b_2 , der eine zweite Wellenlänge λ_2 , beispielsweise 532 nm hat, und von einem YAG-Laser vor einem Frequenzverdoppler kommt. Der Strahl b_5 hat eine Polarisationsrichtung, die senkrecht ist zu derjenigen des Strahles b , so dass der Strahl b_5 zu der Substratmarke P_1 reflektiert wird. Es ist sichergestellt worden, dass die Hauptstrahlen der Strahlen b und b_5 durch den Strahlteiler zusammenfallen, so dass diese Strahlen als ein Strahl zu der Marke P_1 gelangen. Nach Reflektion durch die Marke werden die Strahlen b und b_5 von dem Strahlteiler erneut geteilt. Eine getrennte Ausrichtungseinheit **170**, **180** ist für jeden dieser Strahlen vorhanden. Jede dieser Einheiten gibt einen Ausrichtungsstrahl ab und empfängt über den Strahlteiler die Unterstrahlen der verschiedenen Diffraktionsordnungen von der Substratmarke. In jeder dieser Einheiten werden Abbildungen der Substratmarke auf verschiedenen Referenzgittern und mit verschiedenen Substrahlen geformt, wie mit Bezug auf **Fig. 4** beschrieben ist. Zu diesem Zweck ist jede Einheit mit einem Linsensystem L_1 , L_2 (L_1' , L_2'), einer Keilplatte WET (WET') oder einer Serie von keilförmigen Platten, wie in **Fig. 8** gezeigt, einer Platte mit Referenzgittern RGP (RGP'), einer Anzahl von Detektoren **90** bis **96** (**90'**–**96'**) und einer Strahlungsquelle **70** (**70'**) versehen, deren Strahl in das System über ein Kopplungsprisma **72** (**72'**) gekoppelt wird.

[0112] **Fig. 12** zeigt einen Teil einer Ausführungsform der Ausrichtungseinheit, bei der eine spezielle und bevorzugte Art des Strahlteilers **160** verwendet wird. Dieser Strahlteiler enthält ein polarisationssensitives Strahlteilerprisma **210**, eine Viertelwellenplatte **211** und einen Reflektor **212**. Die Strahlen b_{10} und b_{11} , die verschiedene Wellenlängen haben und von nicht dargestellten Quellen kommen, sind mit dicken Linien angezeigt, und die Strahlen, die von der Gittermarkierung P_1 reflektiert werden, durch dünne Linien. Die Strahlen b_{10} und b_{11} haben dieselbe Polarisationsrichtung. Der erste Strahl b_{10} wird von einem Reflektor **215** zu der polarisationssensitiven Strahlteilerschicht **213** in dem Prisma **210** reflektiert. Diese Schicht reflektiert den Strahl b_{10} zu der Gittermarkierung P_1 . Die Strahlung, die von der Gittermarke reflektiert und in Substrahlen verschiedener Beugungsordnungen aufgeteilt ist, wird durch einen einzigen Strahl b_{15} dargestellt. Der Strahl b_{15} wird durch die Schicht **213** zu der zugehörigen Struktur von Ablenkungselementen und Detektoren reflektiert, die in **Fig. 12** nicht gezeigt sind.

[0113] Der zweite Strahl b_{11} wird von dem Reflektor **216** zu der strahlteilenden Schicht **213** reflektiert, die den Strahl zu der Viertelwellenplatte **211** reflektiert. Nachdem der Strahl b_{11} diese Platte passiert hat, wird er von der reflektierenden Schicht **212** an der Rückseite dieser Platte reflektiert, so dass er ein zweites Mal die Platte **211** passiert. Der Strahl b_{12} , der die Platte **211** verlässt, hat eine Polarisationsrichtung, die über 90° gegenüber der Polarisationsrichtung des ursprünglichen Strahls b_{11} gedreht ist. Der Strahl b_{12} kann die Strahlteilerschicht **213** passieren und erreicht die Gittermarke P_1 . Die Strahlung, die von dieser Marke reflektiert wird, ist ebenfalls durch einen einzigen Strahl b_{16} angezeigt. Dieser Strahl passiert zuerst die strahlteilende Schicht **213**, durchquert dann zweimal die Viertelwellenplatte **211** und wird schließlich von der Schicht **213** zu der zugehörigen Struktur von Keilen und Detektoren reflektiert, die in **Fig. 12** nicht gezeigt sind. Nur zu Klarheit geschieht es, dass in **Fig. 12** die reflektierten Strahlen b_{16} und b_{17} als räumlich getrennte Strahlen dargestellt sind; in der Praxis fallen diese Strahlen zusammen. Dasselbe trifft für die Strahlen b_{10} und b_{11} an der Position der Marke P_1 zu.

[0114] Bei den Ausführungsformen der **Fig. 11** und **12** ist das erste Linsensystem L_1 bevorzugt zwischen dem Strahlteiler **216** und der Gittermarke P_1 angeordnet, wie **Fig. 12** zeigt. Dies hat den zusätzlichen Vorteil, dass nur ein solches Linsensystem erforderlich ist für die zwei Strahlen verschiedener Wellenlängen. Für die reflektierten Strahlen bleibt ein getrenntes zweites Linsensystem L_2 , das **Fig. 12** nicht zeigt, erforderlich.

[0115] Bei den verschiedenen oben beschriebenen Ausführungsformen sind die Detektoren direkt hinter den Bezugsgittern angeordnet. In der Praxis jedoch kann hinter den Bezugsgittern ein Bündel von abbildenden Fasern angeordnet sein, die jedes der Refe-

renzgitter und das überlagerte Bild der Substratgittermarke auf einem Detektor an einer entfernten Stelle abbilden, die hinsichtlich der Konstruktion des gesamten Gerätes geeigneter ist sowie bezüglich der Leistung dieses Gerätes. Beispielsweise kann ein Übersprechen zwischen den Abbildungen, die von den Substrahlen der verschiedenen Beugungsordnungen gebildet werden, verringert werden, und Wärme, die durch Signalverstärker und elektronische Prozessoren erzeugt wird, kann von der Ausrichtungseinheit und dem Gerät ferngehalten werden. Außerdem können die Strahlungsquellen an Stellen angeordnet werden, die entfernt von der Ausrichtungseinheit sind, und ihre Strahlung kann durch ein Beleuchtungsbündel von Fasern zu der Einheit geführt werden. Auf diese Weise kann die Wärme, die von den Strahlungsquellen erzeugt wird, von der Ausrichtungseinheit und dem Projektionsgerät ferngehalten werden.

[0116] Zwischen dem Prisma **216** und dem zweiten Linsensystem L_2 für einen der Strahlen b_{15} und b_{17} kann ein teilweise durchlässiger Reflektor angeordnet werden, um einen Teil dieses Strahles zu einer Kamera aufzuteilen, die zusammen mit einem Monitor ein sichtbares Bild der Substratmarke für eine Bedienungsperson des Gerätes bereitstellt.

[0117] Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Verwendung der verschiedenen Detektorsignale. Ein Anfang kann bei der Ausrichtung mittels der Substrahlen erster Ordnung gemacht werden, indem die Signale der Detektoren, die diesen Substrahlen zugeordnet sind, verarbeitet werden. Danach können die Signale der Detektoren, die den Substrahlen zweiter Ordnung zugeordnet sind, zur feineren Ausrichtung verwendet werden, anschließend können die Signale der Detektoren, die den Substrahlen der dritten Ordnung zugeordnet sind, für eine noch genauere Ausrichtung verwendet werden, usw. Dies kann solange weitergehen, wie die verwendeten Substrahlen noch eine ausreichende Intensität haben, um auf zuverlässige Weise erfaßt zu werden.

[0118] Eine andere Möglichkeit basiert auf der Erkenntnis, dass die Intensität von bestimmten Beugungsordnungen zu Lasten anderer Beugungsordnungen erhöht wird, wenn vorgegebene Prozessschichten auf dem Substrat vorhanden sind. In diesem Fall kann eine direkte Wahl der bevorzugten Ordnungen für die Ausrichtung erfolgen. Unter Umständen können diese Möglichkeiten aus kombiniert werden.

[0119] Es ist auch möglich, die Ausrichtungseinheit zu kalibrieren, bevor eine Charge von Substraten mit einem Maskenmuster beleuchtet wird, oder zu Beginn eines Produktionstages. Für eine Anzahl von Positionen der Substratmarke werden die Detektorsignale für jeden der Beugungsordnungen gemessen. Die Resultate dieser Messungen werden in Diagrammen oder Tabellen aufgenommen, die für jede Position der Substratmarke den Wert des Detektorsignals für jede Beugungsordnung zeigen. Während der Be-

leuchtung der Substrate kann die Ausrichtungsmessung erfolgen, indem nur die relativ großen Detektorsignale der niedrigen Beugungsordnungen gemessen werden, beispielsweise der ersten drei Ordnungen. Durch Interpolation kann der entsprechende Wert für eine höhere Beugungsordnung, beispielsweise die siebte Ordnung bestimmt werden. Auf diese Weise ist es möglich, Ausrichtungsfehler mit hoher Auflösung und großer Signalamplitude zu bestimmen.

[0120] Bisher ist nur die Ausrichtung des Substrats bezüglich einer Gerätereferenz in der Form von Referenzgittern beschrieben worden. Mit derselben Ausrichtungseinheit kann auch die Position des Substrathalters oder Tisches bestimmt werden. Zu diesem Zweck wird dieser Halter oder Tisch mit einer Ausrichtungsmarke versehen, die der Substratausrichtungsmarke gleicht. Die Position der Substrathaltermarke bezüglich dem Bezug in der Ausrichtungseinheit wird bestimmt. Die Position der Substratmarke bezüglich der Substrathaltermarke ist dann bekannt. Um die gegenseitige Position des Maskenmusters und des Substrats bestimmen zu können, ist eine weitere Messung erforderlich, nämlich die der Position des Maskenmusters gegenüber dem Substrathalter oder Tisch. Für diese Messung kann die aufachsige Ausrichtungseinheit verwendet werden, die mit Bezug auf die **Fig. 1, 2 und 3** beschrieben ist, mit der die Maskenmarken gegenüber Marken des Substrathalters ausgerichtet werden. Nicht nur die doppelte Ausrichtungseinheit, die **Fig. 3** zeigt, sondern auch eine einfache Ausrichtungseinheit ist verwendbar, die in dem US-Patent 4,251,160 beschrieben ist. [0121] Eine weitere Möglichkeit der Ausrichtung des Maskenmusters gegenüber dem Substrattisch ist die Verwendung der Bildsensoreinheit, die beispielsweise in dem US-Patent 4,540,277 beschrieben ist. In solch einer Einheit wird eine Maskenausrichtungsmarke bzw. Markierung mittels Projektionsstrahlung auf einer zugehörigen und durchlässigen Referenzmarke in dem Substrattisch abgebildet. In diesem Tisch kann ein Detektor hinter der Referenzmarke angeordnet sein, um die Strahlung, die die Referenzmarke passiert, in ein elektrisches Signal umzuwandeln. In dem ersten Fall ist diese Bildsensoreinheit dazu bestimmt, beispielsweise eine aufachsige Ausrichtungseinheit zu kalibrieren, die mit Ausrichtungsstrahlung mit einer Wellenlänge arbeitet, die erheblich verschieden ist von derjenigen der Projektionsstrahlung, oder zum Überprüfen der Bildqualität der Abbildung, die von dem Projektionslinsensystem ausgebildet wird, und zum Messen von Verzerrungen und Abweichungen, die auftreten können, aber sie ist auch sehr gut geeignet zum Ausrichten des Maskenmusters gegenüber dem Substrattisch. Anstelle der Transmissionsbildsensoreinheit, die in dem US-Patent 4,540,277 beschrieben ist, kann eine Bildsensoreinheit, die mit Reflexion arbeitet, zum Ausrichten einer Maskenmarke gegenüber einer Substrattischmarke verwendet werden. Solch eine Einheit, die in

dem US-Patent 5,144,363 beschrieben ist, arbeitet mit einer reflektierenden Marke auf dem Tisch und enthält eine relativ große Anzahl von Detektoren, die die Marke in verschiedenen Winkeln beobachten und zusammen mit den zugehörigen optischen Systemen in einer Sensorplatte vorgesehen sind, die sich zwischen dem Projektionslinsensystem und dem Substrattisch befindet.

[0122] Die außerachsige Ausrichtungseinheit gemäß der Erfindung muss auch in diesem Raum vorgesehen sein. Diese Einheit muss so nah wie möglich zu der Mitte des Substrattischs angeordnet werden und erfordert einen Bauraum, der konisch ist, mit einer Apertur von beispielsweise 0,3. In der Praxis entspricht die Länge des Y-Schlittens des Substrattischs im wesentlichen dem Radius des Substrats, für das das Projektionsgerät gestaltet ist, beispielsweise 102 mm für ein 8-Inch-Substrat, so dass wenig Raum zur Ausbildung der Ausrichtungseinheit in dieser Richtung vorhanden ist. Der X-Schlitten des Substrattischs ist jedoch beispielsweise 25 mm länger als der Y-Schlitten, so dass eine Ausrichtungseinheit, die ein 8-Inch-Substrat handhaben kann, in einem Abstand von 25 mm von der optischen Achse des Projektionslinsensystems angeordnet werden kann. Dies ist sehr schematisch in **Fig. 13** gezeigt, die einen Teil des Projektionslinsensystems PL und seine optische Achse OO' zeigt. Der gestrichelte Abschnitt zwischen dem Projektionslinsensystem PL und dem Substrat W zeigt den Raum, der von dem Projektionsstrahl PB eingenommen wird, und die Pfeile b zeigen Substrahlen der Ausrichtungsstrahlen an.

[0123] Der Ausrichtungsstrahl fällt auf das Substrat in einem Abstand dx von der Achse OO', wobei dieser Abstand somit beispielsweise 25 mm beträgt. Der Bezug CS bezeichnet die kritische Position für den verfügbaren Bauraum. An dieser Position ist der Durchmesser des Konus, in dem die Substrahlen mit verschiedenen Beugungsordnungen sich befinden, gleich dem Abstand zu dem Substrat, multipliziert mit dem zweifachen Wert der numerischen Apertur. Für eine numerische Apertur von 0,25 und einem Wert von 32 mm für diesen Abstand beträgt der Durchmesser und damit der erforderliche vertikale Raum an der Stelle von CS 16 mm. Dies ist eine vernünftige Anforderung in der Praxis. Jedoch kann dieser vertikale Raum nicht vollständig zu Verfügung stehen. In diesem Fall können zwei außerachsige Ausrichtungseinheiten verwendet werden, die diametral zueinander angeordnet sind und jeweils einen Teil des Substrats abdecken.

[0124] **Fig. 14** zeigt die Messpunkte bzw. Messflecken dieser zwei außerachsigen Ausrichtungseinheiten, bezeichnet mit OAS1 und OAS2. Diese schematische Figur zeigt das Substrat, sowohl in einer zentralen Position, bezeichnet durch W, als auch an zwei Positionen, die mit W' und W'' bezeichnet sind, die innerhalb des Bereichs der Flecken OAS1 und OAS2 liegen. Die gepunkteten Bereiche bezeichnen diese Bereiche des Substrats, die sich innerhalb des Be-

reichs der außerachsigen Ausrichtungseinheiten befinden. Es ist offensichtlich, dass der weiße zentrale Streifen und der linke obere Teil sowie der rechte untere Teil des Substrats nicht innerhalb des Bereichs der Einheiten OAS1 und OAS2 liegen, so dass die Substratmarken, die mit diesen Einheiten zusammenwirken, außerhalb der weißen Bereiche und innerhalb der gepunkteten Bereiche des Substrats vorgesehen sein müssen. Zum Zwecke der Ausrichtung zeigt **Fig. 14** auch die verschiedenen Zweige einer reflektierenden Bildsensoreinheit für die +X und -X-Richtungen (IS + X, IS - X) und für die +Y und -Y-Richtungen (IS + y, IS - Y) und die Komponenten einer Fokus- und Leveleinheit, die durch LS - Q, LS + Q, LS + P und LS - P bezeichnet sind. Solche eine Einheit ist in dem US-Patent 5,191,200 beschrieben und dient zur Messung eines Fokusfehlers und damit einer Abweichung zwischen der Bildebene des Projektionslinsensystems und der Ebene der fotosensitiven Schicht auf dem Substrat und zur Messung einer globalen oder lokalen Neigung des Substrats.

[0125] Wenn der reflektierende Bildsensor IS oder sein Teil IS - Y bei der Ausführungsform der **Fig. 14** weggelassen wird, wird es möglich, die außerachsige Ausrichtungseinheit anzuordnen, so dass ein Messfleck dichter an der Achse des Projektionssystems angeordnet ist, beispielsweise in einem Abstand von 65 mm, wie durch den gestrichelten Kreis OAS-3 in **Fig. 14** angezeigt ist. Dann ist der Bereich einer einzigen außerachsigen Ausrichtungseinheit hinreichend, um einen ganzen Wafer abzudecken und nur eine solche Einheit ist erforderlich.

[0126] Die oben erwähnten Werte für die verschiedenen Parameter sind nur als Beispiele angegeben und zum Zweck der Orientierung. Diese Werte können für verschiedene Geräte sehr unterschiedlich sein.

[0127] Wie oben beschrieben ist die außerachsige Ausrichtungseinheit in der Projektionssäule angeordnet, die den Maskenhalter, das Projektionssystem und dem Substrathalter bei einem lithographischen Belichtungsgerät enthält. Mit dem zunehmenden Bedarf nach größeren IC's mit kleineren Details und damit mit mehr elektronischen Komponenten wird der Ausrichtungsvorgang immer zeitaufwändiger. Der Durchlauf dieser Geräte nimmt daher ohne zusätzliche Messungen ab. Es ist bereits vorgeschlagen worden, einem solchen Gerät eine getrennte Messstation hinzuzufügen. In dieser Station wird die Position eines Substrats beispielsweise in der X-, Y- und Z-Richtung gemessen, bevor der Wafer in die Projektionssäule oder Projektionsstation eingebracht wird. In der Messstation können Substratmarkierungen gegenüber Ausrichtungsmarkierungen an dem Substrathalter oder Tisch ausgerichtet werden. Nachdem das Substrat zusammen mit dem Halter in dem Projektionssystem angeordnet ist, muss nur eine Maskenausrichtungsmarke gegenüber der Substrathaltermarke ausgerichtet werden, was nur wenig Zeit erfordert. Da in dem Gerät, das eine getrennte Meßsta-

tion und Projektionsstation hat, während der Belichtung eines ersten Substrats in der Projektionsstation ein zweites Substrat in der Messstation gemessen wird, ist der Durchgang dieses Gerätes erheblich größer als bei einem Gerät ohne getrennte Messstation. Die Ausrichtungseinheit, die in der Messstation zum Ausrichten einer Substratmarke gegenüber einer Substrathaltermarke verwendet wird, ist bevorzugt ein außerachsiges Ausrichtungssystem, das oben beschrieben ist.

[0128] Die Erfindung ist mit Bezug auf ihre Verwendung in einem Gerät zum Schritt-und-Abtast-Abilden eines Maskenmusters auf einem Substrat zur Herstellen von IC's beschrieben, aber dies bedeutet nicht, dass sie hierauf beschränkt ist. Die Erfindung kann alternativ in einem Gerät zur Herstellung von integrierten oder vollständigen optischen Systemen, Führungs- und Erfassungsmustern für magnetische Domainspeicher oder Flüssigkristalldisplayfelder verwendet werden. Das Belichtungsgerät kann nicht nur ein optisches Gerät sein, in dem der Projektionsstrahl ein Strahl elektromagnetischer Strahlung und das Projektionssystem ein optisches Projektionslinsensystem ist, sondern auch ein Gerät, in dem der Projektionsstrahl ein Ladungspartikelstrahl ist, wie ein Elektronenstrahl, ein Ionenstrahl oder ein Röntgenstrahl, in dem ein zugehöriges Projektionssystem, beispielsweise ein elektronisches Linsensystem verwendet wird. Allgemein kann die Erfindung in Abbildungssystemen verwendet werden, in denen Abbildungen mit sehr kleinen Details ausgebildet werden.

Patentansprüche

1. Lithographisches Belichtungsgerät mit einer Strahlungsquelle (LA) zum Abgeben eines Projektionsstrahls, einem Maskenhalter (MH), einem Substrathalter (WH) und einem Projektionssystem (PL) zwischen dem Maskenhalter und dem Substrathalter, wobei das Gerät ferner ein Ausrichtungssystem enthält zum endgültigen Ausrichten eines Substrats, das sich in dem Substrathalter befindet, gegenüber einer Maske, die sich in dem Maskenhalter befindet, wobei das Ausrichtungssystem eine außerachsige Ausrichtungseinheit (OAS) zum Ausrichten einer Ausrichtungsmarke, die sich auf dem Substrat befindet, gegenüber einem Bezug enthält, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausrichtungsmarke eine diffraktive Marke ist und dass die Ausrichtungseinheit (OAS) in der Lage ist, getrennt eine Anzahl von wenigstens drei Sub-Strahlen zu erfassen, die von der Ausrichtungsmarke in verschiedenen Diffraktionsgraden, die höher als 0 sind, gebrochen sind, wobei jeder Sub-Strahl Informationen über die Position der Ausrichtungsmarke gegenüber dem Bezug (RGP) enthält.

2. Lithographisches Belichtungsgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Bezug (RGP)

eine Struktur einer Anzahl von getrennten Bezugselementen enthält, die gleich ist der Anzahl der verwendeten Diffraktionsgrade, und die dieselbe Form wie die Ausrichtungsmarke haben, und dass ein getrennter Detektor (**90–96**) mit jedem dieser Bezugselemente verbunden ist, um einen Sub-Strahl, der von der Ausrichtungsmarke kommt und von dem einen der Bezugselemente verläuft, in ein elektrisches Signal umzuwandeln.

3. Lithographisches Belichtungsgerät nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Bezugselemente Gitter sind.

4. Lithographisches Belichtungsgerät nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsbahn zwischen der Ausrichtungsmarke und den Bezugselementen nacheinander ein erstes Linsensystem (L_1) eine Struktur von Ablenkungselementen (**80.86**), die in den Bahnen der Sub-Strahlen von dem ersten Linsensystem angeordnet sind, um den getrennten Sub-Strahlen verschiedene Richtungen zu geben, und zweites Linsensystem (L_2) enthält, das hinter den Ablenkungselementen angeordnet ist, um die Sub-Strahlen auf die zugehörigen Bezugselemente zu konzentrieren.

5. Lithographisches Belichtungsgerät nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen dem ersten Linsensystem (L_1) und der Ebene der Ausrichtungsmarke gleich der Brennweite des ersten Linsensystems ist, dass der Abstand zwischen dem zweiten Linsensystem (L_2) und der Ebene der Bezugselemente gleich der Brennweite des zweiten Linsensystems ist und dass der Abstand zwischen dem ersten Linsensystem und dem zweiten Linsensystem gleich der Summe der Brennweiten des ersten Linsensystems und des zweiten Linsensystems ist.

6. Lithographisches Belichtungsgerät nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Struktur der Ablenkungselemente (**80–86**) ein Paar von Ablenkungselementen für jeden Diffraktionsgrad enthält, um die Sub-Strahlen dieses Diffraktionsgrades mit entgegengesetzten Diffraktionsgradzeichen abzulenken, so dass das zweite Linsensystem (L_2) diese Sub-Strahlen auf ein zugehöriges Bezugselement konvergiert.

7. Lithographisches Belichtungsgerät nach Anspruch 4, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Struktur der Ablenkungselemente (**80–86**) eine Anzahl gesonderter optischer Keile enthält, deren Anzahl gleich der Anzahl der Sub-Strahlen ist.

8. Lithographisches Belichtungsgerät nach Anspruch 4, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Struktur der Ablenkungselemente eine Anzahl transparenter keilförmiger Platten (**190–192**) enthält, die hintereinander in der Bahn der Sub-Strahlen angeordnet sind und verschiedene Keilwinkel und eine Anzahl von Öffnungen (**200**) haben, um Strahlung ohne Ablenkung passieren zu lassen, wobei die Anzahl der Öffnungen und deren Positionen so sind, dass mit der Kombination von n -Platten 2^n Diffraktionsgrade in verschiedene Richtungen in einer binären Weise abgelenkt werden können.

9. Lithographisches Belichtungsgerät nach jedem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausrichtungsmarke ein lineares Gitter ist.

10. Lithographisches Belichtungsgerät nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausrichtungsmarke zwei Gitterabschnitte enthält, in denen die Richtung der Gitterstreifen des ersten Abschnitts senkrecht zu den Gitterstreifen des zweiten Abschnitts verläuft, wobei die Struktur der Ablenkungselemente eine zweidimensionale Struktur ist und der Bezug ein zweidimensionaler Bezug ist.

11. Lithographisches Belichtungsgerät nach jedem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die außerachsige Ausrichtungseinheit (OAS) zwei Strahlungsquellen (**70, 70'**) enthält, die Ausrichtungsstrahlen verschiedener Wellenlängen liefern, sowie einen Strahlteiler (**160**) zum Kombinieren von zwei Ausrichtungsstrahlen auf ihrer Bahn zu der Ausrichtungsmarke und zum Teilen der von der Marke reflektierten Strahlen, und dass eine getrennte Struktur von Ablenkungselementen und Bezugselementen für jeden dieser Strahlen vorhanden ist.

12. Lithographisches Belichtungsgerät nach jedem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine zweite außerachsige Ausrichtungseinheit (OAS2) vorhanden ist und dass die erste Ausrichtungseinheit und die zweite Ausrichtungseinheit diametral bezüglich des Belichtungssystems angeordnet sind.

13. Lithographisches Belichtungsgerät nach jedem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausrichtungssystem ferner eine auf der Achse liegende Ausrichtungseinheit (AS_1, AS_2) zum Ausrichten des Substrats bezüglich des Maskenmusters enthält.

14. Lithographisches Belichtungsgerät nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die auf der Achse lie-

gende Ausrichtungseinheit (AS_1 , AS_2) eine Strahlungsquelle (**17**, **17'**) enthält, die einen Strahl mit einer Wellenlänge abgibt, die verschieden ist von derjenigen des Projektionsstrahls.

15. Lithographisches Belichtungsgerät nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die auf der Achse liegende Ausrichtungseinheit durch einen Bildsensor (IS-X, IS-Y) gebildet ist, der mit Projektionsstrahlung arbeitet.

16. Lithographisches Belichtungsgerät mit einer Belichtungsstation zum Projizieren eines Maskenmusters auf ein erstes Substrat und einer Messstation zum Messen der Position eines zweiten Substrats, dadurch gekennzeichnet, dass die Messstation eine außerachsige Ausrichtungseinheit nach jedem der Ansprüche 1 bis 12 enthält.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

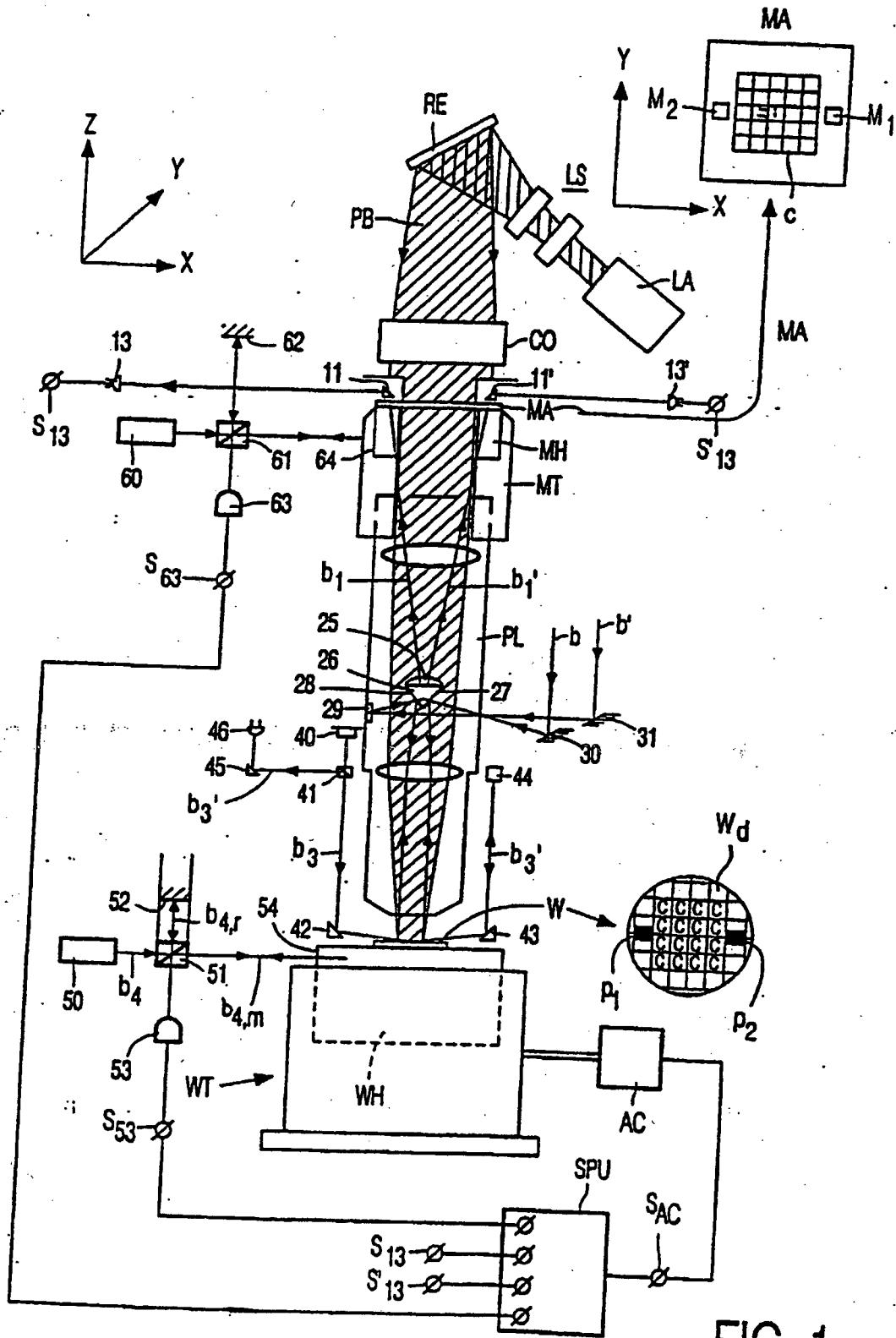


FIG. 1

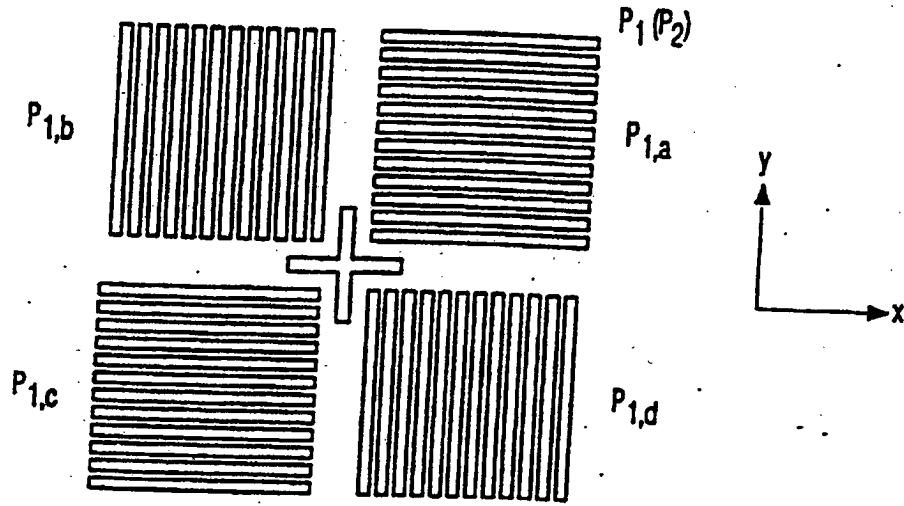


FIG. 2

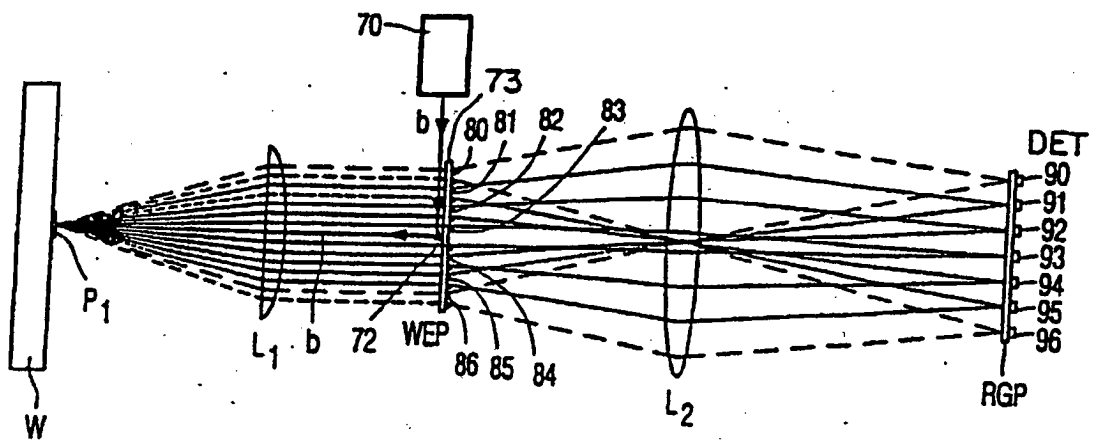


FIG. 4

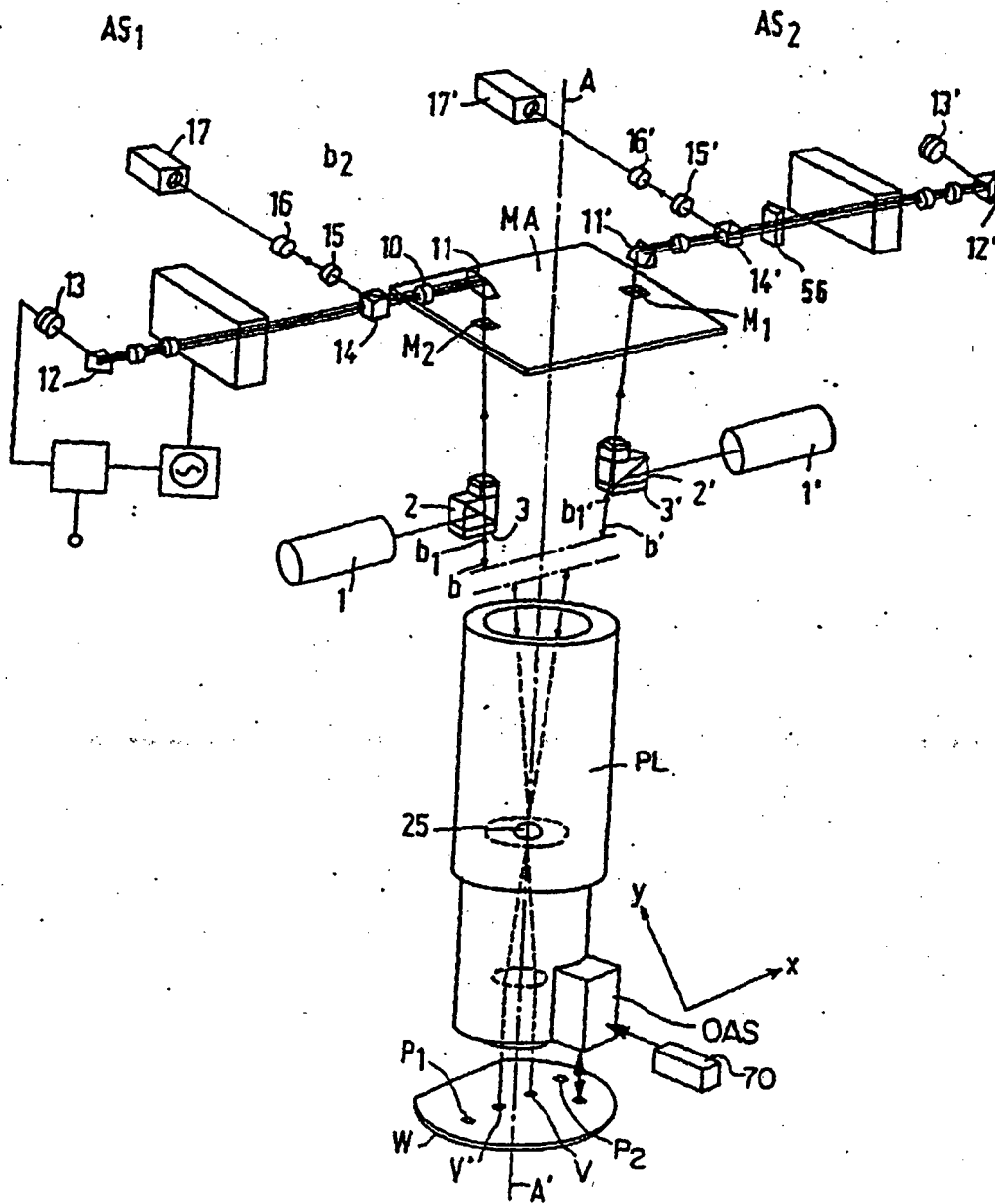


FIG. 3

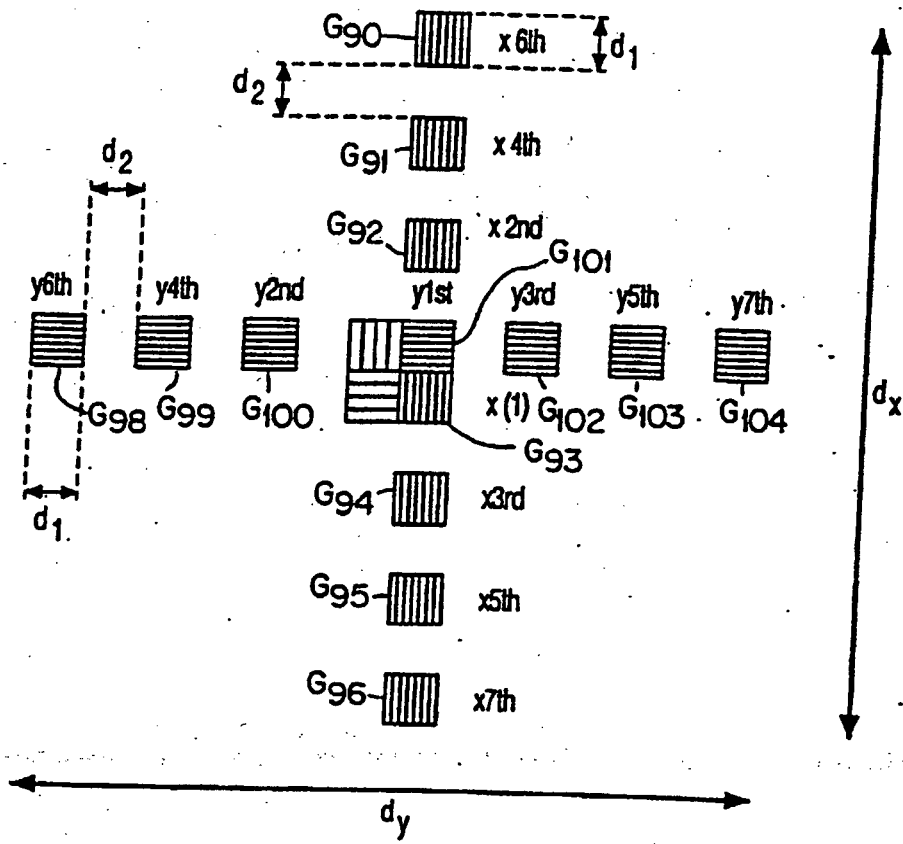


FIG. 5

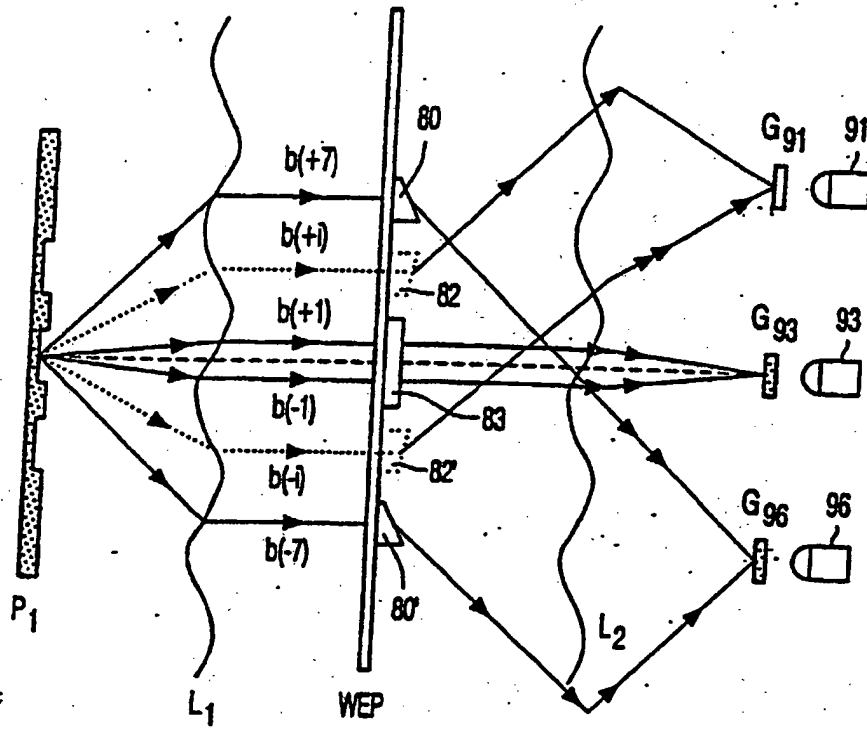


FIG. 6

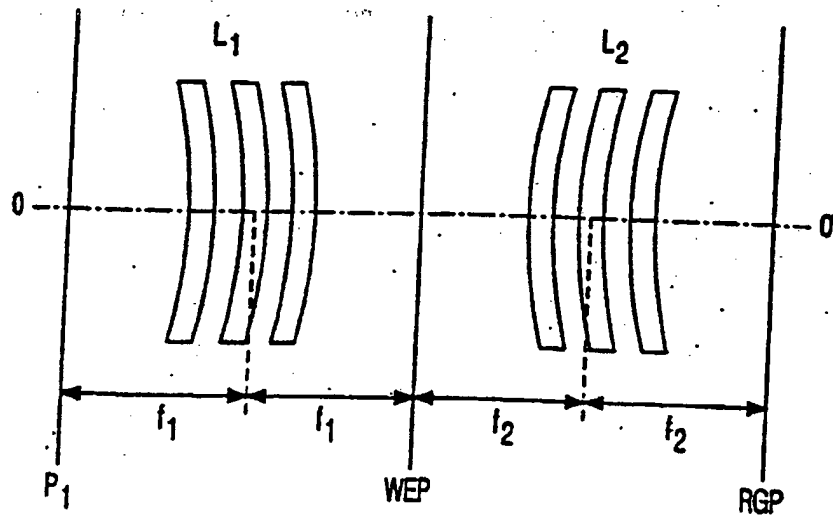


FIG. 7

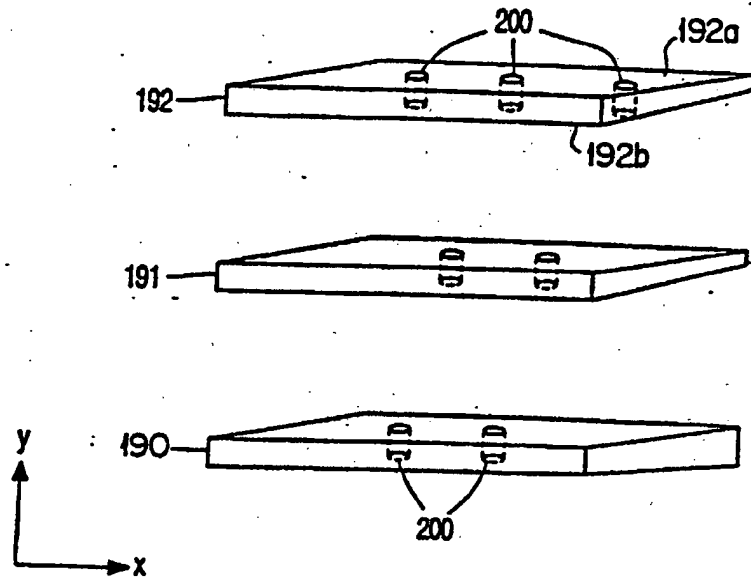


FIG. 8

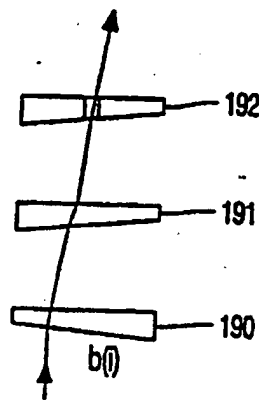


FIG. 9

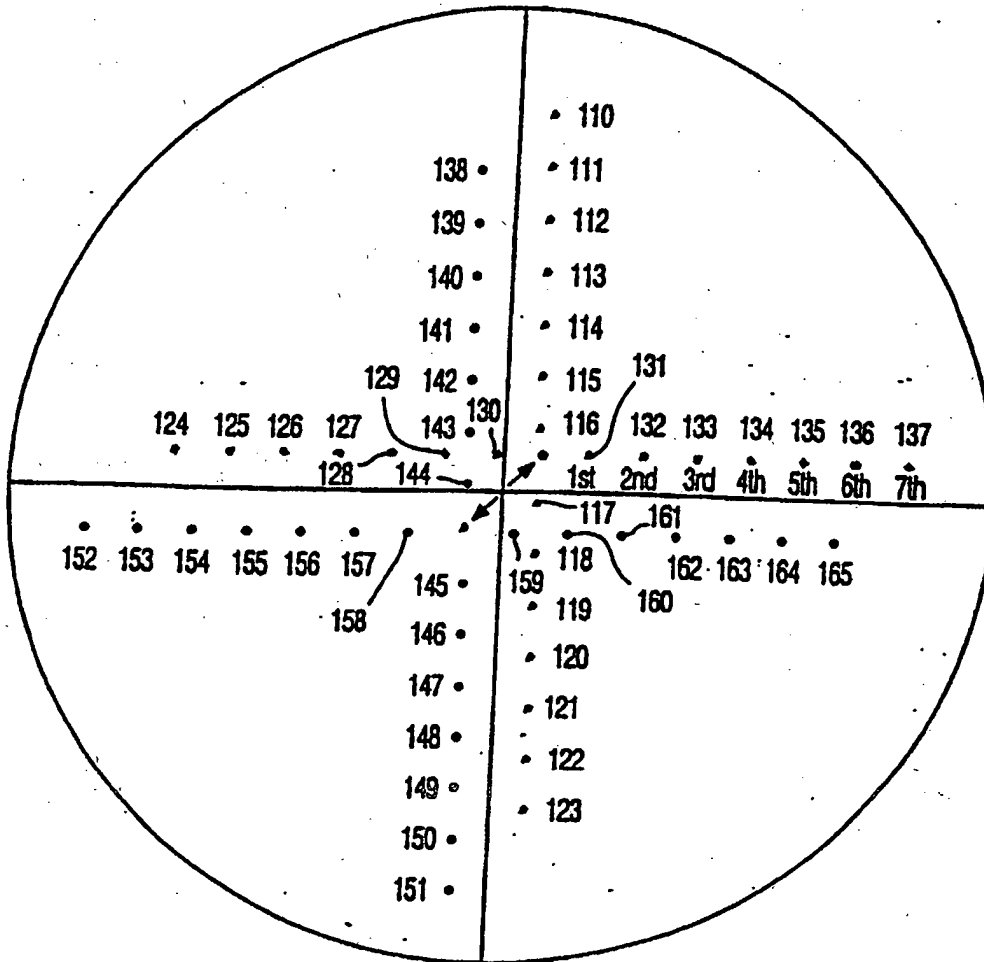


FIG. 10

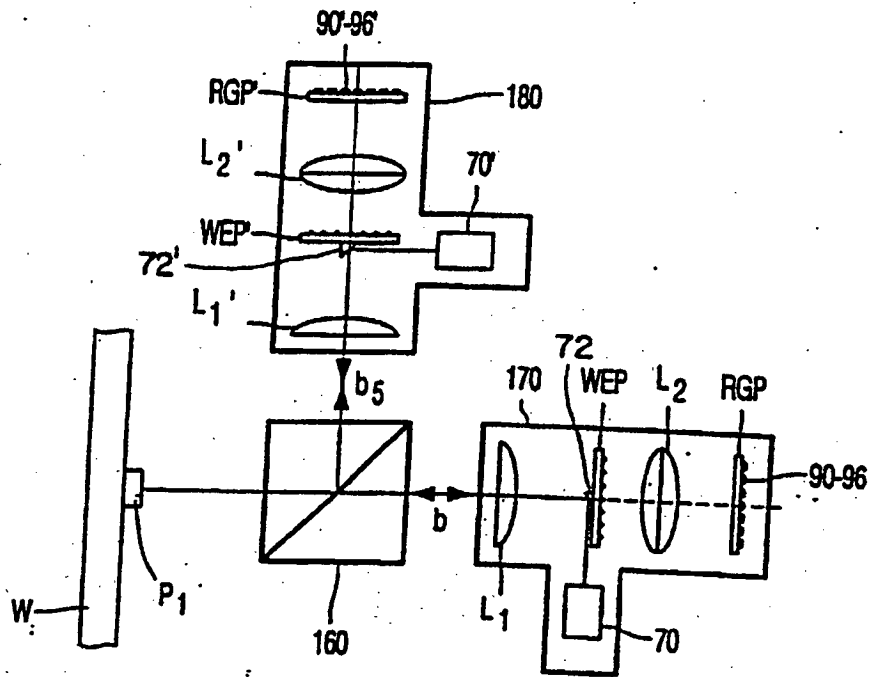


FIG. 11

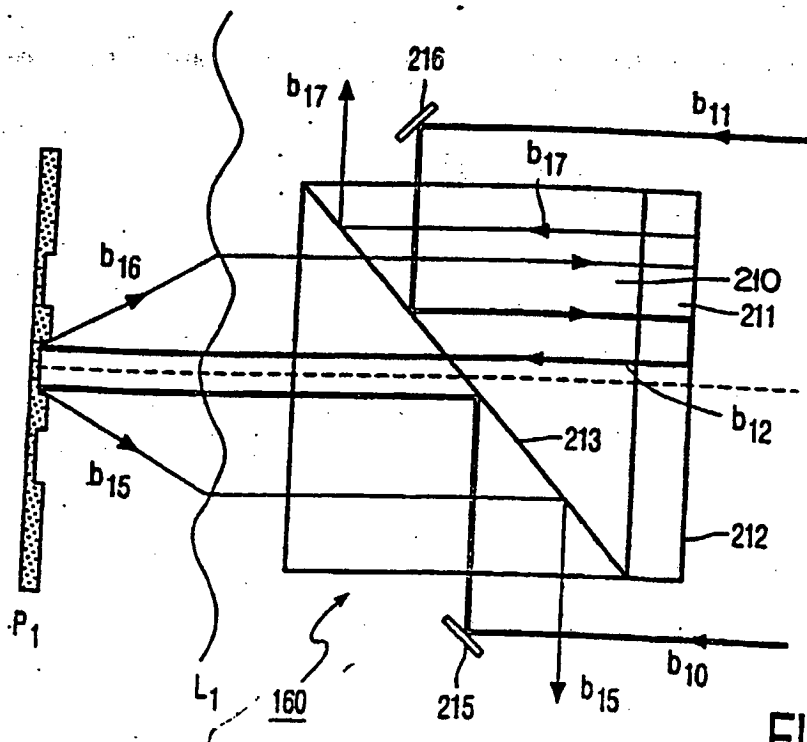


FIG. 12

