



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 28 126 T2 2005.01.20**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 851 304 B1**

(51) Int Cl.⁷: **G03F 7/20**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 28 126.4**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 310 579.4**

(96) Europäischer Anmeldetag: **24.12.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **01.07.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **17.03.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.01.2005**

(30) Unionspriorität:

35774696 28.12.1996 JP

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, GB, NL

(73) Patentinhaber:

Canon K.K., Tokio/Tokyo, JP

(72) Erfinder:

Suzuki, Akiyoshi, Ohta-ku, Tokyo, JP

(74) Vertreter:

**Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner GbR, 80336
München**

(54) Bezeichnung: **Projektionsbelichtungsapparat und Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung**

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 einen Projektionsbelichtungsapparat und ein denselben verwendendes Vorrichtungsherstellungsverfahren. Beispielsweise ist die Erfindung beim Herstellen von Halbleitervorrichtungen wie ICs oder LSIs, Bildaufnahmevorrichtungen wie CCDs, Anzeigevorrichtungen wie Flüssigkristallpaneelen oder anderen Vorrichtungen wie magnetischen Köpfen in geeigneter Weise anwendbar auf einen lithographischen Prozeß, wobei ein auf einer Maske oder einem Reticle bzw. Fadenkreuz gebildetes Muster gedruckt wird oder auf einem Wafer durch ein optisches Projektionssystem auf scannende Weise gedruckt wird, wobei Vorrichtungen von hoher Dichte hergestellt werden.

[0002] Die vorliegende Erfindung ist insbesondere in geeigneter Weise auf einen Fall anwendbar, wo ein Reticle bzw. Fadenkreuz und ein Siliziumwafer bzw. eine Siliziumscheibe präzise miteinander registriert (ausgerichtet) sind und ein elektronisches Muster auf der Oberfläche des Reticle mittels Projektionsbelichtung oder mittels scannender Projektionsbelichtung auf der Waferoberfläche gedruckt wird.

[0003] Zum Herstellen von Halbleitervorrichtungen oder Flüssigkristallpaneelen wird beispielsweise auf der Basis der Photolithographie ein Projektionsbelichtungsapparat (als „Stepper“ bezeichnet) verwendet, durch den ein auf der Oberfläche eines Reticle gebildetes Muster übertragen wird mittels Belichtung durch ein optisches Projektionssystem auf ein photoempfindliches Substrat, wie ein Wafer oder eine Glasplatte, welches eine Photoresist- bzw. Photolackbeschichtung aufweist.

[0004] Neuere Halbleitertechnologie hat hinsichtlich der Miniaturisierung beträchtliche Fortschritte gemacht, wobei eine Auflösung für die Linienbreite von 0.25 Mikrometer oder enger nunmehr in der Diskussion ist. Eine bedeutende Technik dafür ist die optische Belichtungstechnik, die durch einen Stepper repräsentiert sein könnte. Im allgemeinen umfaßt die Performance bzw. Güte eines Projektionsobjektivs (optisches Projektionssystem), welche ein Index für die Performance bzw. Güte eines optischen Belichtungsprozesses sein kann, drei Aspekte, das heißt, eine Verengung der Wellenlänge, eine Vergrößerung des Bildfelds und eine Vergrößerung der numerischen Apertur (NA). Bezüglich der Bandbreitenverengung wurde die Entwicklung der Lithographie, welche das Licht des ArF-Excimer-Lasers nutzt, in weitem Umfang als Technologie der nächsten Generation in Angriff genommen.

[0005] Für die optische Belichtungstechnik gibt es einen Faktor, daß die gleiche optische Performance bzw. Güte kontinuierlich gehalten werden sollte. Im Falle der Lithographie, welche den ArF-Excimerlaser

nutzt, gibt es Absorption von Licht durch ein verwendbares Glasmaterial und es ist bekannt, daß die optische Performance bzw. Güte eines optischen Projektionssystems aufgrund einer derartigen Lichtabsorption veränderlich ist. Die Absorption von Licht ist schon bekannt, sogar in dem Fall der Lithographie, die beispielsweise das Licht einer i-Linie nutzt. Da ein Stepper, der einen ArF-Excimerlaser aufweist, eine verminderte Tiefenschärfe eines optischen Projektionssystems aufweist, sollte die optische Performance bzw. Güte noch präziser als zuvor kontrolliert bzw. gesteuert werden. Von derart zu kontrollierender bzw. steuernder optischer Performance gibt es Aberrationen eines optischen Projektionssystems. Diejenigen von diesen Aberrationen, welche am schwierigsten zu korrigieren sind, sind der axiale (axiale) Astigmatismus, die Bildfeldkrümmung und die Verzeichnung dritter Ordnung (kubisch) oder höherer Ordnung. Ferner kann die Korrektur einer rotationsasymmetrischen Vergrößerung eines Objekts selbst ein zusätzlich zu lösendes Problem sein.

[0006] Der axiale Astigmatismus wird nachstehend unter Bezugnahme auf ein Beispiel erläutert werden. Zur Erweiterung einer zu belichtenden Zone auf der Waferoberfläche wurde die Entwicklung eines Projektionsbelichtungsapparats vom Scan-Typ (als „Scanner“ bezeichnet) kürzlich in weitem Umfang gemacht, wobei eine Beleuchtungszone von schlitzzartiger Form definiert wird und wobei ein Reticle und ein Wafer relativ zu der Schlitzform scannend bewegt werden und zwar gleichzeitig zueinander. Wenn ein derart schlitzzartiges Belichtungslicht verwendet wird, kann, da die Form des Schlitzes nicht rotationssymmetrisch ist, die Absorption von Licht durch das Glasmaterial eine asymmetrische thermische Verteilung bezüglich der optischen Achse verursachen, was zu Astigmatismus (axialer Astigmatismus) des optischen Projektionssystems führen kann.

[0007] Als nächstes wird die rotationsasymmetrische Vergrößerung erläutert werden. Als ein Faktor, der für die optische Belichtungstechnik zur Herstellung von Halbleitervorrichtungen zusätzlich zur Verbesserung des Auflösungsvermögens erforderlich ist, gibt es die Registrierungs- bzw. Lagegenauigkeits-(Ausrichtungs-) Präzision für Muster, die in mehreren Schichten aufeinander zu überlagern sind.

[0008] Ein häufig verwendeter Ausrichtungsprozeß ist einer, der als „globales Ausrichtungsverfahren“ bezeichnet wird. Fehler in einer derart globalen Ausrichtungsprozedur können im allgemeinen in zwei klassifiziert werden, das bedeutet, eine Zwischenschuß-Komponente (ein Fehler zwischen zwei Schüssen) und eine Intraschuß-Komponente (ein Fehler innerhalb eines Schusses). Aufgrund der kürzlichen Erweiterung der Bildfeldgröße ist nunmehr ein zu berücksichtigendes Problem, wie der Fehler der Intraschuß-Komponente zu reduzieren ist. Für ei-

nen tatsächlichen Wafer tritt eine asymmetrische Verzeichnung in Abhängigkeit von dem angenommenen bzw. gewählten Prozeß auf.

[0009] Beispielsweise bedeutet dies, daß, falls für eine Bildfeldgröße von 22 mm ein Fehler von 2 ppm im Sinne der Vergrößerung als eine Komponente auftritt, welche asymmetrisch ist und nicht korrigierbar ist, es einen Fehler von $22 \text{ mm} \times 1 \text{ ppm} = 44 \text{ nm}$ gibt. Für eine Auflösungsperformance von 0.25 Mikrometer Linienbreite weist ein derartiger Fehler einen Wert von ungefähr $1/5\times$ auf. Von dem Standpunkt eines Registrierungsbudgets ist ein derartiger Wert deutlich außerhalb der Toleranz. Demgemäß ist das Reduzieren der Intraschuß-Komponente ein wichtiges Problem, das bei optischen Belichtungsapparaten zu lösen ist.

[0010] Hinsichtlich der Verzeichnung gibt es bekannte Maßnahmen, um die Vergrößerung und die Verzeichnung dritter Ordnung zu steuern bzw. kontrollieren. Ein Beispiel besteht darin, daß mehrere Elemente innerhalb eines optischen Projektionssystems entlang der Richtung der optischen Achse verschoben werden oder der Druck eines Gases, das dichtend zwischen optischen Elementen vorgesehen ist, geändert wird. Da die Vergrößerung eine fundamentale Größe eines optischen Systems ist, kann sie ohne Änderung der anderen Aberrationen geändert werden. Hinsichtlich der Korrektur der Verzeichnung dritter Ordnung besteht jedoch ein Problem von Änderungen bei einer Aberration, die von der Verschiebung herrührt, oder ein Problem eines kleinen Justierungsbereichs. Demgemäß muß die Korrektur auch in dem Anfangsstadium des Entwurfs in Betracht gezogen werden. Insbesondere wird bei der Berücksichtigung der Verwendung von verschiedenen Abbildungsverfahren wie beispielsweise des modifizierten Beleuchtungsverfahrens und der Phasenverschiebungsmaske ein Problem der Anpassung der Verzeichnung bei diesen Abbildungsverfahren auftreten. Es ist somit wichtig, die Verzeichnung dritter Ordnung ohne zusätzliche Last zum Entwurf zu kontrollieren bzw. steuern.

[0011] Die Verzeichnung höherer Ordnung wird nunmehr erläutert werden. In einem Projektionsbelichtungsapparat vom Scan-Typ kann ein asymmetrischer Vergrößerungsunterschied wie beispielsweise ein Vergrößerungsunterschied zwischen X- und Y-Achsen, welche sich in senkrecht zu der optischen Achse verlaufenden Richtungen erstrecken, durch das Scannen korrigiert werden. Ebenso kann hinsichtlich der Scan-Richtung die Verzeichnung aufgrund des Mittelungseffekts, der von dem Scannen herrührt, gemittelt werden. Beispielsweise ist, falls der Schlitz in der X-Richtung verlängert ist und der Scan entlang der Y-Richtung durchgeführt wird, das Ergebnis des Scannens, daß die Vergrößerung in Y-Richtung justiert werden kann durch Steuern des

Gleichlaufs des Scans und daß die optische Verzeichnung beispielsweise der dritten Ordnung oder fünften Ordnung auf einen kleinen Wert heruntergedrückt werden kann aufgrund des Mittelungseffekts innerhalb des Schlitzes. Hinsichtlich der X-Richtung gibt es jedoch keinen Mittelungseffekt. Es ist demgemäß notwendig, die Verzeichnung mit hoher Genauigkeit zu steuern bzw. kontrollieren.

[0012] Die offengelegte Japanische Patentanmeldung, Offenlegungsnummer 183190/1995, zeigt einen Projektionsbelichtungsapparat, wobei eine rotationsasymmetrische optische Eigenschaft, die in einem optischen Projektionssystem verbleibt, zum Projizieren eines Musters einer Maske auf einen Wafer bezüglich einer optischen Achse des optischen Projektionssystems justierbar gemacht wird.

[0013] In der Anordnung der vorgenannten offengelegten Japanischen Patentanmeldung, Offenlegungsnummer 183190/1995, wenn eine zylindrische Linse, die eine rotationsasymmetrische Brechkraft aufweist, angetrieben wird, erzeugt sie Variationen in mehreren Aberrationen. Demgemäß ist es schwierig, nur eine Aberration zu korrigieren, welche gerade zu korrigieren ist.

[0014] Das United-States-Patent Nr. 5 392 119 offenbart ein optisches Projektionssystem zum Projizieren eines Musters einer Maske auf einem Substrat. Zumindest ein primärer Bilddefekt der Seidel-Aberration wird gemessen und danach werden Korrekturplatten in dem System montiert, um die Strahlkonvergenz und den Fokus auf das ideale Bild zu korrigieren. Die Korrekturplatten können transparente asphärische Elemente sein, die zu Paaren angeordnet sind.

[0015] Die Japanische Patentanmeldung Nr. 6-326000 offenbart einen Belichtungsapparat, in dem ein Bilderzeugungssystem ein Bild eines Musters auf einer photoempfindlichen Schicht erzeugt, und ein Detektionssystem detektiert eine sphärische Aberration des Bilderzeugungssystems. Die detektierte sphärische Aberration wird justiert oder kontrolliert, indem korrektive Elemente verwendet werden, die in der Form optischer Keile sein können, die gegenüberliegend zueinander angeordnet sind, um in Kombination eine parallele flache Platte vorzusehen. Alternativ können rotationsymmetrische asphärische Elemente verwendet werden, um die sphärische Aberration zu kontrollieren.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0016] Es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung, einen verbesserten Projektionsbelichtungsapparat und/oder ein Vorrichtungsherstellungsverfahren unter Verwendung desselben bereitzustellen, wobei ein Muster einer Maske auf ein Substrat projiziert wird,

so daß das Substrat zu dem Maskenmuster entwickelt wird.

[0017] Die Erfindung ist durch die Ansprüche 1, 16 definiert.

[0018] In einer bevorzugten Anordnung sind die asphärischen Elemente angeordnet, um in entgegengesetzten Richtungen entlang der orthogonal zu der optischen Achse verlaufenden Richtung und um den gleichen Betrag zu verschieben, um die Positionsbeziehung zwischen den asphärischen Oberflächen zu ändern.

[0019] Die optischen Eigenschaften, auf die hier Bezug genommen wurde, können beispielsweise einen axialen Astigmatismus, eine Bildfeldkrümmung, eine Vergrößerung und eine Verzeichnung umfassen. Wenn mehrere Sätze gepaarter asphärischer Oberflächenelemente, wie sie vorstehend beschrieben wurden und welche ihre relative Position veränderlich ausgebildet haben, in Kombination verwendet werden, können verschiedene optische Eigenschaften verändert sein, so daß die Justierung von verschiedenen optischen Eigenschaften sichergestellt sein kann.

[0020] Diese und andere Ziele, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden noch näher ersichtlich werden bei Berücksichtigung der nachfolgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0021] Fig. 1 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0022] Fig. 2 ist eine vergrößerte Ansicht eines Abschnitts von Fig. 1.

[0023] Fig. 3 ist eine vergrößerte Ansicht eines Abschnitts von Fig. 1.

[0024] Fig. 4 ist eine schematische Ansicht einer modifizierten Form eines Abschnitts von Fig. 1.

[0025] Fig. 5 ist eine schematische Ansicht einer modifizierten Form eines Abschnitts von Fig. 1.

[0026] Fig. 6 ist eine schematische Ansicht einer modifizierten Form eines Abschnitts von Fig. 1.

[0027] Fig. 7 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0028] Fig. 8 ist eine schematische Ansicht optischer Mittel, welche in einem Projektionsbelichtungsapparat gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden können.

[0029] Fig. 9 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0030] Fig. 10 ist eine vergrößerte Ansicht eines Abschnitts von Fig. 9.

[0031] Fig. 11 ist eine vergrößerte Ansicht eines Abschnitts von Fig. 9.

[0032] Fig. 12 ist eine schematische Ansicht einer modifizierten Form eines Abschnitts von Fig. 9.

[0033] Fig. 13 ist eine schematische Ansicht einer modifizierten Form eines Abschnitts von Fig. 9.

[0034] Fig. 14 ist eine schematische Ansicht einer modifizierten Form eines Abschnitts von Fig. 9.

[0035] Fig. 15 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0036] Fig. 16 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0037] Fig. 17 ist eine vergrößerte Ansicht eines Abschnitts von Fig. 16.

[0038] Fig. 18 ist eine vergrößerte Ansicht eines Abschnitts von Fig. 16.

[0039] Fig. 19 ist eine schematische Ansicht einer modifizierten Form eines Abschnitts von Fig. 16.

[0040] Fig. 20 ist eine schematische Ansicht einer modifizierten Form eines Abschnitts von Fig. 16.

[0041] Fig. 21 ist eine schematische Ansicht einer modifizierten Form eines Abschnitts von Fig. 16.

[0042] Fig. 22 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer siebten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0043] Fig. 23 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer achten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0044] Fig. 24 ist eine vergrößerte Ansicht eines Abschnitts von Fig. 23.

[0045] Fig. 25 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer neunten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0046] Fig. 26 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer zehnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0047] Fig. 27 ist eine vergrößerte Ansicht eines Abschnitts von Fig. 26.

[0048] Fig. 28 ist eine vergrößerte Ansicht eines Abschnitts von Fig. 26.

[0049] Fig. 29 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer elften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0050] Fig. 30 ist ein Flußdiagramm von Halbleitervorrichtungsherstellungsprozessen.

[0051] Fig. 31 ist ein Flußdiagramm zur Erläuterung von Einzelheiten des Halbleitervorrichtungsherstellungsverfahrens.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0052] Fig. 1 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform wird die Erfindung auf einen Projektionsbelichtungsapparat vom herkömmlichen Steppertyp oder Scan-Typ angewandt.

[0053] In der Zeichnung ist mit 4 ein Belichtungsbeleuchtungssystem zum Beleuchten eines ersten Objekts 1 bezeichnet, das ein auf ein zweites Objekt zu projizierendes Muster aufweist. Das Belichtungsbeleuchtungssystem 4 kann einen ArF-Excimerlaser (193 nm Wellenlänge) oder einen KrF-Excimerlaser (248 nm Wellenlänge) aufweisen, oder es kann alternativ eine Lampe aufweisen, die Licht der g-Linie (436 nm Wellenlänge) oder i-Linie (365 nm Wellenlänge) vorsieht. Ebenso kann das Beleuchtungssystem ein bekanntes optisches System aufweisen.

[0054] Mit 1 ist ein Reticle oder eine Maske als das erste Objekt bezeichnet. Mit 2 ist ein optisches Projektionssystem vom Brechungstyp oder des katadioptrischen Systems bezeichnet. Es dient dazu, ein Schaltungsmuster des Reticle 1, wie es durch das Belichtungsbeleuchtungssystem 4 beleuchtet ist, auf

einen Wafer (zweites Objekt) 3 zu projizieren, der das zu belichtende Substrat ist.

[0055] Mit T1 ist ein optisches Mittel bezeichnet, das eine Funktion zum Kontrollieren bzw. Steuern des axialen Astigmatismus aufweist. Es umfaßt zwei optische Elemente 11 und 12, welche asphärische Oberflächen aufweisen und aus Silika oder Fluorit hergestellt sind, wie später zu beschreiben sein wird. Das optische Mittel T1 ist angrenzend an eine Pupille des optischen Projektionssystems 2 angeordnet. Mit 5 ist ein Wafer-Halter zum Halten des Wafers 3 bezeichnet und mit 6 ist ein Wafer-Tisch bezeichnet, auf dem der Wafer-Halter 5 montiert ist. Der Wafer-Tisch 6 erzeugt beispielsweise X-, Y- und Z-Antriebe als auch einen θ -Antrieb und einen Neigungs- bzw. Kippwinkeltrieb wie in dem Stand der Technik bekannt ist.

[0056] Mit 7 ist ein Interferenzspiegel bezeichnet und er wird verwendet zum Überwachen der Position des Wafer-Tisches 6 durch ein Interferometer (nicht dargestellt). Auf der Basis von Signalen, die durch die Kombination des Interferenzspiegels 7 und des nicht dargestellten Interferometers erzeugt werden, kontrolliert bzw. steuert ein Wafertischantriebssteuerungssystem (nicht dargestellt) das Positionieren des Wafers 3, so daß er bei einer vorbestimmten Position positioniert wird. Danach wird der Projektionsbelichtungsprozeß durchgeführt.

[0057] In dieser Ausführungsform sind das optische Mittel T1 und das optische Projektionssystem 2 Komponenten eines Projektionssystems zum Projizieren des Musters der Maske 1 auf dem Substrat 3 und dies wird auf die anderen Ausführungsformen, die später zu beschreiben sind, angewendet werden.

[0058] Wenn die Ausführungsform auf einen Stepper vom Scan-Typ (Projektionsbelichtungsapparat) angewendet wird, werden ein Reticle-Tisch (nicht dargestellt), auf dem das Reticle 1 angeordnet ist, als auch der Wafer-Tisch 6 in einer senkrecht zu der optischen Achse des optischen Projektionssystems 2 verlaufenden Richtung bei einem gegenseitigen Geschwindigkeitsverhältnis bewegt, das der Abbildungsvergrößerung des optischen Projektionssystems 2 entspricht, wobei eine Scan-Belichtung durchgeführt wird.

[0059] Der Stepper dieser Ausführungsform unterscheidet sich von einem herkömmlichen Stepper oder scanartigen Stepper in der Hinsicht, daß das optische Mittel T1 und das Antriebsmittel dafür (nicht dargestellt) entlang des Projektionslichtwegs vorgehen sind. Der verbleibende Abschnitt weist im wesentlichen die gleiche Struktur auf.

[0060] Im allgemeinen ist in einem optischen Projektionssystem, das einen ArF-Excimerlaser (193 nm

Wellenlänge) als eine Belichtungslichtquelle aufweist, da die Wellenlänge des Lichts von dem ArF-Excimerlaser innerhalb eines kurzen Wellenlängenbereichs ist, die Auswahl von verwendbarem Glasmaterial begrenzt. Gegenwärtig sind nur Silika (SiO_2) und Fluorit (CaF_2) verwendbar.

[0061] Jedoch stellt für einen derart kurzen Wellenlängenbereich auch Silika ein Problem hinsichtlich der Transmissivität dar. Es absorbiert Belichtungslicht, das eine thermische Änderung (Änderung in der optischen Eigenschaft) und somit eine Änderung in der Abbildungsqualität bzw. -performance hervorruft. Die Situation kann ähnlich wie ein Fall sein, wo eine thermische Änderung durch die Verwendung der i-Linie (365 nm Wellenlänge) als Belichtungslicht hervorgerufen wird. Obgleich mehrere Arten von Glasmaterialien für die Korrektur der chromatischen Aberration in dem Falle der i-Linie verwendbar sind, beinhalten derartige Glasmaterialien Materialien niedriger Transmissivität.

[0062] Aus diesem oben angegebenen Grund kann sich ein Problem der thermischen Aberration auch in dem Fall der i-Linie ergeben. Für ein optisches Projektionssystem unter Verwendung eines ArF-Excimerlasers ist die Situation strikt aufgrund einer Abnahme der Tiefenschärfe, die der Mustermminiaturisierung zuschreibbar ist.

[0063] Ein Glasmaterial eines Projektionssystems kann Aberrationsänderungen in Reaktion auf die Absorption des Belichtungslichts verursachen. Unter diesen Aberrationen, die hier zu erzeugen sind, ist eine der Aberrationen, die schwierig zu korrigieren ist, der axiale Astigmatismus, der eine Aberration von rotationsasymmetrischer Komponente ist. Solch ein axialer Astigmatismus kann als eine Folge des Lichtdurchgangs durch das Projektionssystem, was rotationsasymmetrisch ist, erzeugt werden. Ein derartige Rotationsasymmetrie auf das Projektionssystem kann hervorgehoben sein, wenn in dem Fall eines optischen Scan-Systems die Schnittform des Beleuchtungslichts eine verlängerte schlitzzartige Form aufweist, so daß das Licht der schlitzzartigen Form in das optische Projektionssystem **2** eintritt.

[0064] Im allgemeinen liegen die Länge des Schlitzes entlang seiner Längserstreckungsrichtung und die Länge (Breite) davon entlang seiner in der Breite verlaufenden Richtung bei einem Verhältnis von ungefähr **5** und es gibt innerhalb des Projektionssystems eine rotationsasymmetrische Verteilung (thermische Verteilung), welche hervorgehoben ist im Vergleich zu dem Fall eines Steppers. Davon herrührende Aberrationen umfassen einen auf der Achse und außerhalb der Achse erzeugten axialen Astigmatismus.

[0065] Im allgemeinen sind optische Systeme unter

einer Annahme konzipiert, daß die optischen Eigenschaften symmetrisch (rotationssymmetrisch) bezüglich der optischen Achse sind. Somit ist es außerhalb der Voraussage, daß die optische Eigenschaft sich rotationsasymmetrisch ändert aufgrund der Absorption von Belichtungslicht, wobei deren Wirkung auf den axialen Abschnitt Anwendung findet.

[0066] Gemäß den Erfindern der vorliegenden Erfindung wurde herausgefunden, daß der axiale Astigmatismus aufgrund der Belichtung größtenteils in dem Anfangsstadium erzeugt wird und daß mit der Wiederholung des Belichtungsprozesses der Astigmatismusbetrag kleiner wird aufgrund der Diffusion der absorbierten Wärme.

[0067] Wie gewöhnlich ist in einem Projektionssystem zur Halbleitervorrichtungsherstellung der Betrag des axialen Astigmatismus, der durch Absorption von Belichtungslicht durch ein Glasmaterial erzeugt wird, klein. Jedoch kann er mit abnehmender Tiefenschärfe bezüglich einer weiteren Miniaturisierung eines Musters (abnehmende Linienbreite auf die Größenordnung eines halben Mikrometers oder eines viertel Mikrometers) nicht außer Acht gelassen werden.

[0068] Die Erfinder haben herausgefunden, daß er korrigiert werden kann, indem ein optisches Element vom Transmissionstyp mit einzigartiger Funktion eingeführt wird, da der Betrag des axialen Astigmatismus von einer kleinen Größenordnung von 0.2 bis 0.3 Mikrometer ist.

[0069] In einer spezifischen Struktur eines Projektionssystems gemäß dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind ein oder mehr optische Mittel, wobei jedes zumindest ein Paar optischer Elemente mit asphärischen Oberflächen aufweist, entlang des Lichtwegs eines optischen Projektionssystems angeordnet und zwar in der Weise, daß die asphärischen Oberflächen der optischen Elemente gegenüberliegend zueinander angeordnet sind. Die gepaarten optischen Elemente können lateral in einer senkrecht zu der optischen Achse verlaufenden Richtung verschoben werden, so daß deren relative Position bezüglich der senkrechten Richtung geändert wird, um dabei den axialen Astigmatismus zu justieren und zu korrigieren. Das optische Mittel, das zwei optische Elemente mit asphärischen Oberflächen aufweist, dient dazu, eine rotationsasymmetrische Brechkraft entsprechend dem Verschiebungsbetrag zu erzeugen und dies ermöglicht die Änderung und die Korrektur des axialen Astigmatismus des optischen Projektionssystems.

[0070] In dieser Ausführungsform wurde der Tatsache besondere Beachtung gezollt, daß der Betrag des axialen Astigmatismus, der von der Absorption von Belichtungslicht herrührt, klein ist, wobei eine effektive Korrektur durchgeführt wird durch Verwen-

ung eines optischen Mittels, das nur einen kleinen asphärischen Betrag aufweist. Ferner kann, da der absolute Wert des asphärischen Betrags des optischen Mittels dieser Ausführungsform klein ist, nur der axiale Astigmatismus korrigiert werden, ohne die anderen optischen Eigenschaften gegensätzlich zu beeinflussen. In dieser Hinsicht ist es ein gutes Aberrationskorrekturmittel.

[0071] Eine spezifische Struktur des optischen Mittels gemäß dieser Ausführungsform zur Korrektur von axialem Astigmatismus wird nunmehr erläutert werden. Das optische Mittel gemäß dieser Ausführungsform weist ein Merkmal auf, daß es gepaarte (zwei pro Paar) optische Elemente verwendet, und, wenn zwei optische Elemente als eine Einheit betrachtet werden, sind sie so angeordnet, daß eine kleine Brechkraft erzeugt wird und ebenso, daß die Brechkraft fein bzw. genau geändert werden kann.

[0072] Der Projektionsbelichtungsapparat gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wie in **Fig. 1** veranschaulicht ist, verwendet ein derartiges optisches Mittel, wie beschrieben wurde, um dabei den axialen Astigmatismus des optischen Projektionssystems zu korrigieren.

[0073] Als nächstes wird die Struktur des in der ersten Ausführungsform von **Fig. 1** verwendeten optischen Mittels T1 erläutert werden. **Fig. 2** ist eine Schnittansicht eines Hauptabschnitts des optischen Mittels T1, das eine Funktion zur Kontrolle bzw. Steuerung des axialen Astigmatismus gemäß der vorliegenden Ausführungsform aufweist.

[0074] In **Fig. 2** weisen zwei optische Elemente **11** und **12**, die gegenüberliegend zueinander angeordnet sind, flache Außenflächen **11a** und **12a** auf. Die gegenüberliegenden Oberflächen **11b** und **12b** von diesen sind asphärische Oberflächen von derselben Form. Sie liegen einander gegenüber, so daß, wenn sie Seite an Seite in Kontakt sind, diese Oberflächen in engen Kontakt miteinander kommen. Jedoch können die Oberflächen **11b** und **12b** asphärische Oberflächen von unterschiedlichen Formen sein.

[0075] In **Fig. 2** ist mit A eine optische Achse bezeichnet. Hier sind die X- und Y-Achsen so gelegt, daß sie sich senkrecht zu der optischen Achse erstrecken, wobei die asphärische Oberfläche des optischen Elements **11** mit $f_a(x, y)$ bezeichnet ist, während die asphärische Oberfläche des optischen Elements **12**, das dem optischen Element **11** gegenüberliegt, mit $f_b(x, y)$ bezeichnet ist. Falls die Verschiebungsrichtung die X-Richtung ist, sind die asphärischen Oberflächenformen von diesen durch die nachfolgenden Gleichungen gegeben, welche unterschiedlich in einem konstanten Term sind, das heißt:

$$f_a(x, y) = ax^3 + bx^2 + cx + d_1$$

$$f_b(x, y) = ax^3 + bx^2 + cx + d_2 \quad (1a)$$

[0076] Der Grund, daß die obigen Gleichungen nur x betreffen, besteht darin, daß die relative Position der zwei optischen Elemente **11** und **12** nur hinsichtlich der X-Richtung änderbar ist, um eine optische Brechkraft (Brennweite) nur in der X-Richtung zu kontrollieren bzw. steuern. Da die optische Brechkraft durch laterale Verschiebung der Elemente in X-Richtung erzeugt wird, werden Terme bis zur kubischen oder dritten Ordnung für x verwendet.

[0077] In dem Anfangsstadium können die asphärische Oberflächenform $f_a(x, y)$ des optischen Elements **11** und die asphärische Oberflächenform $f_b(x, y)$ des optischen Elements **12** vollständig aneinander angepaßt werden und demgemäß weist das optische Mittel T1, das die optischen Elemente **11** und **12** aufweist, keine optische Brechkraft auf und es fungiert nur als eine parallele flache Platte. Der Abstand zwischen den optischen Elementen **11** und **12** in der Richtung der optischen Achse A kann vorzugsweise so klein wie möglich gemacht werden und es kann typischerweise ungefähr 100 Mikrometer betragen. Hier wird ein Fall betrachtet, wo das optische Element **11** in X-Richtung um eine Distanz Δ verschoben wird. Die hier erzeugten Einflüsse sind, falls a, b und c Konstanten sind, wie folgt:

$$f_a(x+\Delta, y) - f_b(x, y) = 3a\Delta x^2 + 2b\Delta x + c\Delta + (d_1 - d_2) + 3a\Delta^2 + b\Delta^2 + a\Delta^3 \quad (2a)$$

[0078] Hier kann ein Term höherer Ordnung von Δ außer Acht gelassen werden, da die Wirkung davon klein ist, und für ein besseres Verständnis der Wirkung der Ausführungsform wird angenommen, daß:

$$b = c = 0 \quad (3a)$$

[0079] Folglich kann Gleichung (2a) vereinfacht werden und sie kann als untenstehende Gleichung (4a) neu geschrieben werden:

$$f_a(x+\Delta, y) - f_b(x, y) = 3a\Delta x^2 + (d_1 - d_2) \quad (4a)$$

[0080] Es ist wichtig in dieser Ausführungsform, daß die Gleichung (4a) einen Term x^2 beinhaltet. Somit sehen als eine Folge der lateralen Verschiebung des Betrags Δ die optischen Elemente **11** und **12** ein optisches System vor, das eine optische Brechkraft nur in X-Richtung aufweist, und zusätzlich kann die Brechkraft wie gewünscht mit dem Betrag der lateralen Verschiebung Δ geändert werden.

[0081] Die Prozedur zum Erzeugen einer lateralen Verschiebung, um eine Abweichung vorzusehen, entspricht gerade dem Differenzieren. Aus diesem Grund wird der Term dritter Ordnung als die Form der asphärischen Oberfläche umfaßt und die Komponente zweiter Ordnung, die eine optische Brechkraft auf-

grund des Differenzierungseffekts vorsieht, wird gesetzt. Dies ist die Funktion der optischen Elemente **11** und **12**.

[0082] Während in dieser Ausführungsform eine Beziehung $b = c = 0$ in Gleichung (3a) zur Vereinfachung vorausgesetzt wird, entspricht der Term $2b\Delta x$ in Gleichung (2a) dem Verschiebungsbetrag. Da der Betrag Δ zu dem Zweck der Brechkraftkontrolle bzw. -steuerung gegeben oder bekannt ist, kann die Korrektur bezüglich des Verschiebungsbetrags Δ gemacht werden. Der Fall, wo die Verschiebung ein Problem darstellt, insbesondere falls $b \neq 0$ ist, ist mit einer Ausrichtungsprozedur befaßt. Für eine globale Ausrichtungsprozedur kann ein derartiges Problem gelöst werden, indem der Tisch kontrolliert bzw. gesteuert wird, so daß die Verschiebung, welche durch Änderung der relativen Position der gepaarten optischen Elemente wie der Elemente **11** und **12** zu bewirken ist, invers korrigiert wird.

[0083] Ferner gibt es, wenn ein geeigneter Wert dem Term der Konstante c gegeben wird, einen Vorteil, daß hinsichtlich einer flachen Ebene die absoluten Werte von Abweichungen der asphärischen Oberflächen, wie sie durch $f_a(x, y)$ und $f_b(x, y)$ dargestellt sind, kleiner gemacht werden können. Demgemäß können, in Abhängigkeit von dem Wert der Konstanten a , die Konstanten b und c nicht auf Null gesetzt werden und eher können bestimmte Werte ihnen gegeben werden. Praktisch kann die Konstante b auf Null gesetzt werden, während ein Wert von entgegengesetztem Zeichen zur Konstante a der Konstante c gegeben werden kann.

[0084] Jedoch gibt es hinsichtlich der Korrektur auf der Basis des Werts c , da er praktisch mit der Neigung des Einfallslichts während einer Messung durch das Interferometer korrigiert werden kann, kein Problem, auch wenn $c = 0$ gesetzt wird.

[0085] Im allgemeinen ist der absolute Wert des asphärischen Betrags zum Korrigieren eines geringwertigen Astigmatismus von ungefähr 0.2 bis 0.3 Mikrometer sehr klein. Während er von den Positionen der angeordneten optischen Elemente **11** und **12** abhängt, kann der effektive Betrag in der Praxis eine Zahl von mehreren im Sinne von Newtonschen Ringen sein. Gemäß einem typischen Beispiel, falls der Betrag, der als Brechkraftkomponente zu erzeugen ist, **1** Mikrometer ist und der Linsen- bzw. Objektivdurchmesser gleich 200 mm ist und der Verschiebungsbetrag Δ gleich 5 mm ist, folgt dann aus Gleichung (4a), daß:

$$3a \times 5 \times 100 \times 100 = 0.001$$

[0086] Demgemäß wird $a = 6.7 \times 10^{-9}$ erhalten.

[0087] Der Wert 100 zeigt den Radius (der Durch-

messer ist 200 mm). Falls $b = c = 0$ ist, wird der asphärische Betrag mit Gleichung (1a) sein:

$$6.7 \times 10^{-9} \times 100 \times 100 \times 100 = 6.7 \times 10^{-3}$$

[0088] Dies bedeutet, daß die optischen Elemente **11** und **12** einen asphärischen Betrag von ± 6.7 Mikrometer aufweisen.

[0089] Um den Betrag der tatsächlichen Abweichung von einer flachen Ebene zu reduzieren, kann der Term der Konstanten c dazu addiert werden. Da der Wert der Konstanten c , womit ein Wert von 6.7 Mikrometer bezüglich 100 mm bestimmt wird, 6.7×10^{-5} beträgt, können die Konstanten a und c mit entgegengesetzten Vorzeichen gesetzt werden und $c = 6.7 \times 10^{-5}$ kann gesetzt werden. Danach kann die Abweichung des asphärischen Betrags von einer flachen Ebene bis auf ± 2.6 Mikrometer reduziert werden.

[0090] Fig. 2 zeigt eine asphärische Oberflächenform, wenn die Konstante c gleich Null ist, und Fig. 3 zeigt die Form entlang des Schnitts $y=0$, da der oben beschriebene Wert in die Konstante c eingesetzt wird. Da die asphärischen Oberflächen innerhalb des Durchmesserbereichs von 200 mm sich langsam ändernde Formen aufweisen und zusätzlich die optischen Elemente **11** und **12** sich gegenseitig ergänzende Formen aufweisen, kann die Erzeugung von anderen Aberrationen, die von einer Änderung der relativen Position der optischen Elemente **11** und **12** herrühren, auf einen kleinen Betrag heruntergedrückt werden, welcher außer Acht gelassen werden kann. Somit ist nur eine Feinkorrektur des axialen Astigmatismus sichergestellt.

[0091] Jedoch kann es Fälle geben, wobei eine sehr kleine Änderung bei anderen optischen Eigenschaften auftritt wie beispielsweise bei dem Fokus bzw. der Brennweite oder der Vergrößerung, welche in gewünschter Weise korrigiert werden kann. In einem derartigen Fall kann die Korrektur hinsichtlich dieser optischen Eigenschaften durchgeführt werden.

[0092] Das Korrigieren des axialen Astigmatismus durch Verwendung eines asphärischen Oberflächenmittels und dessen Kontrollieren bzw. Steuern durch kontinuierliches Ändern des asphärischen Oberflächenbetrags ist ein einzigartiges Konzept und diese Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann zu einer Verbesserung der Funktion eines Projektionsbelichtungsapparats zur Herstellung von Halbleitervorrichtungen beitragen.

[0093] Ferner kann, da der Betrag des axialen Astigmatismus, der zu steuern bzw. kontrollieren ist, klein ist, die zu verwendende asphärische Oberfläche klein gemacht werden, wie durch Verwendung eines Interferometers gemessen werden kann. Dies ist

ein anderes Merkmal der vorliegenden Erfindung.

[0094] Da in dieser Ausführungsform ein erwünschter axialer Astigmatismus erzeugt werden kann auf der Basis einer Abweichung zwischen zwei lateral verschobenen asphärischen Oberflächen, kann der asphärische Betrag des optischen Elements **11** oder **12** selbst ein Wert sein, der um eine Stelle größer als der Betrag der lateralen Abweichung ist. In dem oben beschriebenen Beispiel wird ein asphärischer Betrag von 6.7 Mikrometer benötigt, um einen Wert von 1 Mikrometer als die Wirkung der lateralen Verschiebung vorzusehen. Mit der Optimierung der Neigung bzw. Verkippung kann zusätzlich dazu der Wert auf ± 2.6 Mikrometer reduziert werden, welcher innerhalb des Bereichs einer Hochpräzisionsmessung des Interferometers liegt. Zur Herstellung einer asphärischen Oberfläche ist es wichtig, zu überprüfen, ob die Oberfläche exakt zu einer gewünschten Form ausgebildet wird, jedoch sind mit der Präzision, wie sie in dieser Ausführungsform erforderlich ist, herkömmliche Techniken anwendbar, um das gewünschte Resultat zu erzielen.

[0095] Ebenso ist eine weitere Reduktion des asphärischen Betrags erreichbar, indem der Korrekturbetrag reduziert wird (Reduzieren des dynamischen Bereichs) oder indem der Verschiebungsbetrag vergrößert wird.

[0096] Ferner wird in dieser Ausführungsform eine Korrektur der asymmetrischen optischen Brechkraft erreicht, indem ein optisches Element mit brechender Funktion verwendet wird. Somit liefert die vorliegende Ausführungsform einen großen Vorteil sowohl für den Brechungstyp als auch für den katadioptrischen Typ, welche in einem Projektionsbelichtungsapparat verwendet werden.

[0097] Die Richtung, in welcher der axiale Astigmatismus erzeugt wird, weist eine enge Beziehung zu der Richtungswirkung des Schlitzes in dem Fall eines Steppers vom Scan-Typ auf, wo die Belichtung mit schlitzzartigem Licht durchgeführt wird. Somit wird die beschriebene X-Richtung, da sie eine optische Brechkraft aufweist, die zu steuern bzw. kontrollieren ist, gesetzt, um mit der Längserstreckungsrichtung oder der in der Breite verlaufenden Richtung des Schlitzes registriert bzw. zusammengepaßt zu werden. Praktisch kann sie in Registrierung bzw. genauer Zusammenpassung mit der Richtung der Außenform des Reticle **1** gesetzt bzw. eingestellt werden, das eine quadratische Form aufweist, wie in **Fig. 1** dargestellt ist.

[0098] Diese Einstellung ist ebenso für die Aberration (Belichtungsaberration) wirksam, die beim Belichtungsprozeß in einem Stepper zu erzeugen ist. Während diese Ausführungsform unter Bezugnahme auf einen Stepper vom Scan-Typ zur Vereinfachung der

Erläuterung des axialen Astigmatismus beschrieben wurde, gibt es Fälle, wo bei der Verwendung von herkömmlichen Steppern, falls das Muster eines Reticle eine Richtungswirkung aufweist, Beugungslicht rotationsasymmetrisch verteilt ist, so daß ein axialer Astigmatismus erzeugt wird. Aus der Eigenschaft von CAD bei der Konzeption eines Schaltungsmusters weist das Schaltungsmuster eines Reticle gewöhnlich eine Kante auf, die parallel zu der Außenform des Reticle ist. Falls die X-Richtung parallel zu der Außenform des Reticle eingestellt wird, wird die Richtung, in der die Belichtungsaberration erzeugt wird, mit der X-Richtung registriert bzw. zur Deckung gebracht. Somit kann die Erzeugung einer Aberration unterdrückt werden.

[0099] Ein Antriebsmechanismus, der dazu dient, die Positionsbeziehung der asphärischen Oberflächen der optischen Elemente **11** und **12** zu ändern und zu justieren, kann betätigt werden in Übereinstimmung mit der Eigenschaft des axialen Astigmatismus, welche zuvor in einer zentralen Verarbeitungseinheit des Projektionsbelichtungsapparats gespeichert werden kann. Der Antriebsbetrag (Korrekturbetrag) kann berechnet und gesteuert bzw. kontrolliert werden in Übereinstimmung mit der Eigenschaft des axialen Astigmatismus, welche in dem Apparat auf der Basis von Experimenten oder Simulationen gespeichert worden ist, und durch Verwendung beispielsweise eines Belichtungsbetrags, eines Reticle-Musterverhältnisses und einer Belichtungsenergie. Alternativ kann ohne eine Berechnung, die auf der Eigenschaft des Systems basiert, die gespeichert wurde, der Antriebsbetrag gesteuert werden, während die Eigenschaft des optischen Projektionssystems überwacht wird. Der Betrag des erzeugten axialen Astigmatismus weist eine Korrelation mit der Brennweitenänderung aufgrund des Belichtungsprozesses auf und während der Überwachung des Betrags der Brennweitenänderung aufgrund der Belichtung und dessen Umwandlung in den Korrekturbetrag kann der Antriebsbetrag für die optischen Elemente **11** und **12** berechnet werden.

[0100] Selbstverständlich kann der Betrag des axialen Astigmatismus direkt gemessen werden und der gemessene Wert kann auf den Antriebsbetrag zurückgeführt werden zur Änderung der relativen Position der optischen Elemente **11** und **12**.

[0101] Da der Betrag des erzeugten axialen Astigmatismus (Belichtungsaberration) sich mit der Zeit ändert, kann sich der Antriebsbetrag für die optischen Elemente **11** und **12** mit der Zeit ändern.

[0102] Während in dieser Ausführungsform eines der optischen Elemente lateral in der X-Richtung verschoben wird, kann als eine Alternative eines um δ in X-Richtung bewegt werden und das andere kann um $-\delta$ in der X-Richtung bewegt werden. **Fig. 4** zeigt ein

derartiges Beispiel. Das bedeutet, da

$$fa(x+\delta, y)-fb(x-\delta, y) = 2a(3\delta x^2+\delta^3)+4b\delta x+2c\delta+d_1-d_2,$$

wie das vorhergehende Beispiel, $b = c = 0$ angenommen wird und die Wirkung des Terms höherer Ordnung von δ wird außer Acht gelassen. Dann ist,

$$fa(x+\delta, y)-fb(x-\delta, y) \doteq 6ax^2\delta+d_1-d_2$$

[0103] Somit wird, falls der Verschiebungsbetrag $\Delta = 6$ ist, der Betrag der Brechkraftänderung verzweifacht. Alternativ kann, um dieselbe Brechkraftänderung zu erzielen, der Wert des Koeffizienten (Konstante) a halbiert werden. Dies führt zur Halbierung des asphärischen Oberflächenbetrags und das erleichtert somit die Evaluierung der Form. Ferner kann der Verschiebungsbetrag halbiert werden, um dieselbe Brechkraftänderung zu erzielen. Dies ist sehr vorteilhaft im Raum des Antriebsystems oder für die Positionierungsgenauigkeit.

[0104] Während die vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf ein System beschrieben wurde, wo eine Oberfläche eines optischen Elements asphärisch ist, können beide Oberflächen des optischen Elements asphärisch sein. **Fig. 5** zeigt ein derartiges Beispiel. Hier sind, falls die Dicke der optischen Elemente **11** und **12** dünn ist, die vorteilhaften Wirkungen, die oben beschrieben wurden, einfach akkumuliert. Demgemäß kann, falls die asphärische Oberfläche dieselbe Form aufweist, der Wert des Koeffizienten a auf die Hälfte reduziert werden, um dieselbe Änderung der optischen Brechkraft zu erzielen. Ebenso kann nur ein optisches Element bewegt werden oder alternativ können beide optischen Elemente in entgegengesetzten Richtungen bewegt werden.

[0105] Mehrere Sätze von gepaarten optischen Elementen können mit ähnlich vorteilhaften Wirkungen verwendet werden. **Fig. 6** zeigt ein derartiges Beispiel.

[0106] **Fig. 7** ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform ist das optische Mittel T1 entlang des Lichtwegs zwischen dem optischen Projektionssystem **2** und dem Wafer **3** angeordnet. Somit unterscheidet sich die Einfügungsposition des optischen Mittels T1 in dem Lichtweg von der ersten Ausführungsform von **Fig. 1**. Der verbleibende Abschnitt weist im wesentlichen dieselbe Struktur auf.

[0107] In dieser Ausführungsform ist eine Kombination optischer Elemente mit asphärischen Oberflächen, wie vorstehend beschrieben wurde, zwischen dem optischen Projektionssystem **2** und dem Wafer **3** zwischengeordnet und der axiale Astigmatismus wird mit lateraler Verschiebung von diesen korrigiert. Die

Funktion der optischen Elemente ist im wesentlichen die gleiche wie jene der ersten Ausführungsform, jedoch kann das in dieser Ausführungsform verwendete optische Mittel an einer geeigneten Position angeordnet werden, die anders als die an die Pupille des optischen Projektionssystems **2** angrenzende Position ist.

[0108] Das optische Mittel T1 kann vorzugsweise entweder an einer Position, die an die Pupillenebene des optischen Projektionssystems **2** angrenzt, oder einer Position zwischen dem optischen Projektionssystem **2** und dem Wafer **3** oder einer Position zwischen dem optischen Projektionssystem **2** und dem Reticle **1** angeordnet sein, da an diesen Positionen die Unabhängigkeit der Aberrationskontrolle bzw. Aberrationssteuerung relativ hoch ist, was bevorzugt zu steuern bzw. kontrollieren ist. Jedoch kann das optische Mittel an jeder Stelle angeordnet sein, die anders als diese ist.

[0109] **Fig. 8** ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts des optischen Mittels T13, welches in einem optischen Projektionsbelichtungsapparat gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann, wobei das optische Mittel in Schnitten entlang der X- und Y-Richtungen veranschaulicht ist. Mit Ausnahme des optischen Mittels T13 weist der Projektionsbelichtungsapparat dieser Ausführungsform im wesentlichen dieselbe Struktur wie jener der in **Fig. 1** oder **7** dargestellten Ausführungsform.

[0110] Das optische Mittel T13 dieser Ausführungsform weist drei optische Elemente **21**, **22** und **23** auf. In den oben beschriebenen Ausführungsformen wird eine Korrektur der optischen Brechkraft nur in einer Richtung durchgeführt, da die Richtung, in welcher der Astigmatismus erzeugt wird, eine Beziehung zu der Längserstreckungsrichtung des Schlitzes oder zu der Scan-Richtung aufweist. Jedoch gibt es Fälle, wo nicht nur die Erzeugung des axialen Astigmatismus sondern auch die Erzeugung einer Bildfeldkrümmung nicht außer Acht gelassen werden kann. Die vorliegende Erfindung berücksichtigt einen solchen Fall.

[0111] Das optische Mittel T13, das in **Fig. 8** dargestellt ist, weist dieselbe optische Brechkraftänderungsfunktion nicht nur hinsichtlich der X-Richtung, sondern auch hinsichtlich der senkrecht zu der X-Richtung verlaufenden Y-Richtung auf. Die optischen Brechkraften in diesen X- und Y-Richtungen können unabhängig voneinander gesteuert bzw. kontrolliert werden und damit können sowohl der axiale Astigmatismus als auch die Bildfeldkrümmung korrigiert werden.

[0112] In **Fig. 8** ist die obere Oberfläche **21a** des optischen Elements **21** flach, während die untere Oberfläche **21b** des optischen Elements **21** und die obere

Oberfläche des optischen Elements **22** asphärische Oberflächen sind, die einander gegenüberliegen. In dem sie gegenseitig in Y-Richtung verschoben werden, kann die optische Brechkraft in Y-Richtung vorgehen und somit geändert werden. Das Prinzip der optischen Brechkraftkontrolle bzw. -steuerung in Y-Richtung ist dasselbe wie unter Bezugnahme auf Gleichungen (1a) bis (4a) beschrieben wurde, wobei der Parameter x durch y ersetzt wird. In diesem Beispiel sind ein Reticle und ein optisches Projektionssystem über dem optischen Element **21** angeordnet gemäß Ansicht in der Zeichnung und ein Wafer ist unterhalb angeordnet.

[0113] Ferner sind die untere Oberfläche **22b** des optischen Elements **22** und die obere Oberfläche **23a** des optischen Elements **23** sphärische Oberflächen, die einander gegenüberliegend angeordnet sind. In dem sie gegenseitig in X-Richtung verschoben werden, wird die optische Brechkraft in X-Richtung vorgehen. Das Prinzip der optischen Brechkraftkontrolle bzw. -steuerung in X-Richtung ist im wesentlichen dasselbe wie unter Bezugnahme auf Gleichungen (1a) – (4a) erläutert wurde. Die Unterseite **23b** des optischen Elements **23** ist flach. Zwei Arten von sphärischen Oberflächen, welche die optischen Elemente **21** und **22** (oder die optischen Elemente **22** und **23**) bilden, können dieselben Parameter a , b und c oder verschiedene Parameter aufweisen. Der Verschiebungsbetrag kann in Übereinstimmung mit Gleichung (2a) zur Berechnung der Brechkraft kontrolliert bzw. gesteuert werden.

[0114] Mit der Anordnung, wie sie so in **Fig. 8** dargestellt ist, können optische Brechkräfte in den X- und Y-Richtungen unabhängig kontrolliert bzw. gesteuert werden. Wenn in X- und Y-Richtungen zu erzeugende optische Brechkräfte von demselben Betrag sind, wird die Bildfeldkrümmung korrigiert. Wenn sie von unterschiedlichen Beträgen sind, werden die Bildfeldkrümmung und der axiale Astigmatismus korrigiert. Wenn die optische Brechkraft nur in einer Richtung von den X- und Y-Richtungen erzeugt wird, wird der axiale Astigmatismus korrigiert.

[0115] In dem Beispiel von **Fig. 8**, wird die obere Oberfläche **22a** des optischen Elements **22** für die Kontrolle bzw. Steuerung in Y-Richtung verwendet, während die untere Oberfläche **22b** davon für die Kontrolle bzw. Steuerung in X-Richtung verwendet wird. Jedoch kann das optische Element **22** in zwei aufgeteilt werden, das heißt, in obere und untere Komponenten, so daß die Kontrolle bzw. Steuerung in X-Richtung und die Kontrolle bzw. Steuerung in Y-Richtung vollständig getrennt werden können. Hinsichtlich der Antriebskontrolle bzw. Antriebssteuerung der relativen Positionsbeziehung der optischen Elemente **21** – **23** kann diese im wesentlichen auf dieselbe Weise durchgeführt werden, wie erläutert wurde. Sie kann auf der Basis der Berechnung an-

hand der Eigenschaft des Systems gemacht werden, was zuvor gespeichert worden ist, oder auf der Basis von tatsächlich gemessenen Daten. Obgleich die Antriebsart ein wenig kompliziert ist, da der Gegenstand der Kontrolle bzw. Steuerung von eindimensional nach zweidimensional geändert wird, ist das Prinzip im Grunde genommen dasselbe und eine doppelte Erläuterung wird hier weggelassen werden.

[0116] In den ersten bis dritten Ausführungsformen, die vorstehend beschrieben wurden, kann sich, wenn die Korrektur des axialen Astigmatismus oder der Bildfeldkrümmung durchgeführt wurde, der Einstellwert der besten Brennweite sehr leicht ändern. Da jedoch der Betrag einer derartigen Änderung auf der Basis des Antriebsbetrags des asphärischen optischen Oberflächenelements berechnet oder bestimmt werden kann, kann der Betrag der Brennweitenänderung innerhalb der CPU des Projektionsbelichtungsapparats zur Kontrolle bzw. Steuerung der Waferoberflächenposition bezüglich der optischen Achsenrichtung reflektiert werden. Hinsichtlich der anderen optischen Performance wie der Vergrößerung kann ebenso der Einfluß auf eine derartige optische Performance auf der Basis des Antriebsbetrags der asphärischen Oberfläche in ähnlicher Weise berechnet werden. Somit kann sie leicht korrigiert werden.

[0117] Wenn ein axialer Astigmatismus erzeugt wird, kann ein asymmetrischer Vergrößerungsfehler erzeugt werden. Jedoch kann eine derart rotationsasymmetrische Vergrößerung (eine Vergrößerungsdifferenz zwischen der Scan-Richtung und der Schlitzlängserstreckungsrichtung) bei einem Stepper vom Scan-Typ leicht korrigiert werden, es wirft kein Problem auf.

[0118] Ferner kann bei einem gewöhnlichen Stepper eine später zu beschreibende Korrekturfunktion für die asymmetrische Vergrößerung hinzugefügt werden.

[0119] **Fig. 9** ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform kann die Erfindung auf einen Stepper herkömmlichen Typs oder einen Stepper vom Scan-Typ angewandt werden.

[0120] In der Zeichnung ist mit **4** ein Belichtungsbeleuchtungssystem zum Beleuchten eines ersten Objekts **1** bezeichnet. Das Belichtungsbeleuchtungssystem **4** kann einen Rf-Excimerlaser (193 nm Wellenlänge) oder einen KrF-Excimerlaser (248 nm Wellenlänge) aufweisen oder es kann alternativ eine Lampe aufweisen, die Licht einer g-Linie (436 nm Wellenlänge) oder i-Linie (365 nm Wellenlänge) vorsieht. Ebenso kann das Beleuchtungssystem ein be-

kanntes optisches System aufweisen.

[0121] Mit **1** ist ein Reticle als das erste Objekt bezeichnet. Mit **2** ist ein optisches Projektionssystem vom Brechungstyp oder des katadioptrischen Systems bezeichnet. Es dient dazu, ein Schaltungsmuster des Reticle **1**, wie es durch das Belichtungsbeleuchtungssystem **4** beleuchtet wird, auf einen Wafer (zweites Objekt) **3**, welcher das zu belichtende Substrat ist, zu projizieren.

[0122] Mit T2 ist ein optisches Mittel bezeichnet, das eine Funktion zum Kontrollieren bzw. Steuern der Vergrößerung aufweist, welche symmetrisch oder rotationsasymmetrisch bezüglich der optischen Achse ist. Es umfaßt zwei optische Elemente **31** und **32**, die asphärische Oberflächen aufweisen, die später zu beschreiben sind. Das optische Mittel T2 ist entlang des Lichtwegs zwischen dem Reticle **1** und dem optischen Projektionssystem **2** angeordnet. Mit **5** ist ein Waferhalter zum Halten des Wafers **3** bezeichnet und mit **6** ist ein Wafertisch bezeichnet, auf dem der Waferhalter **5** befestigt ist. Der Wafertisch **6** erzeugt beispielsweise X-, Y- und Z-Antriebe als auch einen θ -Antrieb und einen Neigungs- bzw. Kippwinkel-Antrieb.

[0123] Mit **7** ist ein Interferenzspiegel bezeichnet und dieser wird zum Überwachen der Position des Wafertischs **7** durch ein Interferometer (nicht dargestellt) verwendet. Auf der Basis von Signalen, die durch die Kombination des Interferenzspiegels **7** und des Interferometers (nicht dargestellt) erzeugt werden, steuert ein Wafertischantriebssteuerungssystem (nicht dargestellt) die Positionierung des Wafers **3**, so daß er an einer vorbestimmten Position positioniert wird. Danach wird der Projektionsbelichtungsprozeß durchgeführt.

[0124] Wenn die Ausführungsform auf einen Stepper vom Scan-Typ angewendet wird, werden ein Reticle-Tisch (nicht dargestellt), auf dem das Reticle **1** angeordnet ist, als auch der Wafertisch **6** in einer Richtung bewegt, die senkrecht zu der optischen Achse des optischen Projektionssystems **2** verläuft bei einem gegenseitigen Geschwindigkeitsverhältnis, das der Abbildungsvergrößerung des optischen Projektionssystems **2** entspricht, wobei eine Scan-Belichtung durchgeführt wird.

[0125] Der Stepper dieser Ausführungsform unterscheidet sich von einem herkömmlichen Stepper oder einem Stepper vom Scan-Typ in der Hinsicht, daß das optische Mittel T2 entlang des Lichtwegs vorgesehen ist. Der verbleibende Abschnitt weist im wesentlichen dieselbe Struktur auf.

[0126] Im allgemeinen gibt es beispielsweise zur Kontrolle bzw. Steuerung der Abbildungsvergrößerung eines Projektionssystems ein Verfahren, bei

dem ein optisches Element innerhalb des Projektionssystems entlang der optischen Achsenrichtung verschoben wird, und ein Verfahren, bei dem der Druck eines geschlossenen Raums in einem Abschnitt des Projektionssystems gesteuert bzw. kontrolliert wird. Jedes dieser Verfahren kann auf diese Ausführungsform anwendbar sein.

[0127] Jedoch dienen diese Verfahren dazu, die Vergrößerung, die rotationssymmetrisch bezüglich der optischen Achse ist, zu steuern bzw. kontrollieren. Sie dienen nicht dazu, eine anamorphotische Vergrößerung zu korrigieren, das heißt, Vergrößerungen bezüglich zweier Achsen X und Y (welche senkrecht zu der optischen Achse und welche ferner orthogonal zueinander sind) zu verschiedenen Werten zu kontrollieren bzw. steuern.

[0128] Es wurde bestätigt, daß während der praktischen Herstellung von Halbleitervorrichtungen eine anamorphotische Vergrößerung in dem Wafer selbst erzeugt wird. Für komplizierte Halbleitervorrichtungen umfaßt die Prozedur mehr als zwanzig Waferprozesse und während einer derartigen Prozedur werden Hochtemperaturprozesse wie die Filmbildung bzw. die Dünnschichtausbildung und die Diffusion wiederholt. Andererseits wird vor derartigen Hochtemperaturprozessen eine Mustererzeugung durch Belichten durchgeführt. Muster, die in diesen Prozessen für eine Halbleitervorrichtung zu formen sind, sind nicht notwendigerweise isotrop. Beispielsweise kann es für einen Zuleitungsdrahtprozeß („lead wire process“) nur lineare Muster aufweisen. Somit kann ein Muster eine besondere Richtungswirkung aufweisen.

[0129] Eine derartige Richtungswirkung kann der Tatsache zugeordnet werden, daß das CAD beim Entwurf einer Halbleitervorrichtung auf X-Y-Koordinaten basiert oder daß, da die Halbleitervorrichtung selbst wiederholte Muster benötigt, die Linien, welche das Muster bilden, in einer besonderen Richtung vorgesehen sind. Auch wenn eine Produkthalbleitervorrichtung gerade Zahlen von linearen Elementen, die sich in X- und Y-Richtungen erstrecken, während der Prozesse, die bei der Herstellung zwischengeordnet sind, umfassen, kann eine signifikante Richtungswirkung auftreten. Eine Verlängerung in dem nach der Mustererzeugung durchzuführenden Hochtemperaturprozeß zeigt selbstverständlich eine spezifische Anisotropie entsprechend der Richtungswirkung des Musters. Dies ist der Hintergrund dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0130] Eine Verlängerung eines Wafers mit Anisotropie kann bestimmt werden, indem eine Ausrichtungsdetektionsfunktion eines Positionsdetektionssensors einer Projektionsbelichtungsanordnung verwendet wird. Zur Detektion der Verlängerung kann in dem Ausrichtungsprozeß eine spezifische Ausrich-

tungsmarke, die auf der Waferseite vorgesehen wurde, gelesen werden, indem ein Positionsdetektor des Projektionsbelichtungsapparats verwendet wird.

[0131] Zur Detektion der Anisotropie eines Wafers sind bekannte Ausrichtungsverfahren wie das globale Ausrichtungsverfahren und das Chip-um-Chip-Ausrichtungsverfahren („die-by-die alignment method“) anwendbar. Für den globalen Ausrichtungsprozeß entspricht die Berechnungsprozedur der Verlängerung eines Wafers als Ganzes der Verlängerung jedes Schusses und kann vorzugsweise verwendet werden.

[0132] Gemäß den von den Erfindern durchgeführten Analysen wurde herausgefunden, daß der Betrag der Anisotropie eines Wafers, der tatsächlich durch Wärme erzeugt wird, sehr klein ist. Die Durchschnittsverlängerung eines Wafers, das heißt, die Durchschnittsverlängerung in X- und Y-Richtungen reicht bis zu ungefähr 10 ppm. Darunter ist, während es von dem Prozeß abhängt, das Verhältnis der Anisotropie ungefähr 10% bis 20% maximal und es beträgt ungefähr 2 ppm. Somit ist bei Berücksichtigung eines später zu beschreibenden optischen Systems und von anderen Fehlerfaktoren zur Korrektur der asymmetrischen Vergrößerung des Wafers selbst ein Wert bis zu ungefähr 5 ppm zu kontrollieren bzw. regeln.

[0133] Der Betrag der anisotropen Verlängerung von ungefähr 2 ppm, welcher eine asymmetrische Komponente (Vergrößerung) des Wafers induziert, wurde nicht als ein Problem betrachtet. Jedoch wird er mit der Erweiterung der Bildfeldgröße und Miniaturisierung der Linienbreite ein Problem.

[0134] Nunmehr wird eine spezifische Struktur des optischen Mittels zur Korrektur der Anisotropie (Verlängerung) eines Wafers in dieser Ausführungsform erläutert werden. In dieser Ausführungsform wird ein optisches Mittel mit gepaarten optischen Elementen verwendet, um zu dem optischen Projektionssystem eine anisotrope Abbildungsvergrößerung, welche rotationsymmetrisch oder rotationsasymmetrisch ist, zu erzeugen.

[0135] Der optische Projektionsbelichtungsapparat der vierten Ausführungsform, welcher in **Fig. 9** dargestellt ist, verwendet das optische Mittel T2, um die Abbildungsvergrößerung zu korrigieren, die rotationsasymmetrisch bezüglich der optischen Achse ist. Insbesondere ist in dieser Ausführungsform das optische Mittel T2, das zwei optische Elemente mit asphärischen Oberflächen aufweist, an einer Position des optischen Projektionssystems **2** zwischengeordnet, die dem Reticle **1** am nächsten ist, oder an einer Position, die dieser äquivalent ist. Die Positionsbeziehung dieser optischen Elemente bezüglich einer

Richtung, die senkrecht zu der optischen Achse verläuft, wird geändert und justiert, um dabei die Vergrößerung zu korrigieren, die rotationsasymmetrisch bezüglich der optischen Achse ist.

[0136] Ferner werden in dieser Ausführungsform zwei Richtungen, durch welche die Vergrößerung unabhängig kontrolliert bzw. gesteuert werden kann, eingestellt in genauer Zusammenpassung mit X- und Y-Richtungen, welche beim CAD-Entwurf eines Halbleitervorrichtungsmusters verwendet werden, durch welche die Kontrolle bzw. Steuerung des optischen Systems, das an die asymmetrische Variation der Vergrößerung angepaßt ist, die während der praktischen Halbleitervorrichtungsherstellung zu erzeugen ist, erleichtert wird.

[0137] Die Struktur des optischen Mittels T2 der vierten Ausführungsform von **Fig. 9** wird beschrieben. **Fig. 10** ist eine schematische und geschnittene Ansicht eines Hauptabschnitts des optischen Mittels T2, welches in der vierten Ausführungsform verwendet wird, und welches eine Funktion zum Vorsehen einer gewünschten Vergrößerung aufweist, die rotationsasymmetrisch bezüglich der optischen Achse ist. In der Zeichnung weisen zwei optische Elemente **31** und **32**, welche einander gegenüberliegend angeordnet sind, flache Außenseitenflächen **31a** und **32a** auf, und ihre gegenüberliegenden Flächen **31b** und **32b** weisen dieselbe asphärische Form auf, so daß, wenn die Elemente in Kontakt zueinander sind, diese Flächen in engem Kontakt miteinander sein können.

[0138] In der Zeichnung sind die X- und Y-Achsen so gelegt, daß sie senkrecht zu der optischen Achse A verlaufen, und die asphärische Form des optischen Elements **31** ist mit $f_a(x, y)$ bezeichnet, während die asphärische Form des optischen Elements **32**, das dem Element **31** gegenüberliegt, mit $f_b(x, y)$ bezeichnet ist. Danach können die asphärischen Formen dieser Oberflächen durch dieselben kubischen Gleichungen wie nachfolgend angegeben werden, welche lediglich hinsichtlich eines konstanten Terms verschieden sind. Das bedeutet:

$$f_a(x, y) = ax^3 + bx^2 + cx + d_1$$

$$f_b(x, y) = ax^3 + bx^2 + cx + d_2 \quad (1b)$$

[0139] Der Grund dafür, daß die Gleichung (1b) nicht einen Term y umfaßt, besteht darin, daß die optische Brechkraft (endliche lokale Länge) auf das optische System nur bezüglich der X-Richtung angewandt wird. Die optischen Elemente **31** und **32** werden verwendet, um eine Verschiebung ihrer relativen Position in X-Richtung zuzulassen, und damit eine derartige laterale Verschiebung eine optische Brechkraft in dem optischen Mittel T2 erzeugt, werden hinsichtlich der asphärischen Form die Terme bis zur kubischen oder dritten Ordnung verwendet.

[0140] In dem Anfangsstadium können die asphärische Oberflächenform $f_a(x, y)$ und die asphärische Oberflächenform $f_b(x, y)$ vollständig aneinander angepaßt werden und demgemäß weist das optische Mittel T2, das die optischen Elemente **31** und **32** aufweist, keine optische Brechkraft auf und es fungiert lediglich als eine parallele flache Platte. Der Abstand zwischen den optischen Elementen **31** und **32** in der optischen Achsenrichtung A kann vorzugsweise so klein wie möglich gemacht werden und er kann typischerweise ungefähr 100 Mikrometer betragen.

[0141] Hier wird ein Fall betrachtet, wo das optische Element **31** in X-Richtung um einen Abstand Δ verschoben wird. Die hier produzierten Einflüsse sind, falls a, b und c Konstanten sind, wie folgt:

$$f_a(x+\Delta, y) - f_b(x, y) = 3a\Delta x^2 + 2b\Delta x + c\Delta + (d_1 - d_2) + 3a\Delta^2 x + b\Delta^2 + a\Delta^3 \quad (2b)$$

[0142] Hier kann ein Term höherer Ordnung von Δ außer Acht gelassen werden, da der Verschiebungsbetrag klein ist und es wird angenommen, daß $b = c = 0 \dots (3b)$

[0143] Folglich kann Gleichung (2b) vereinfacht werden und es folgt, daß:

$$f_a(x+\Delta, y) - f_b(x, y) = 3a\Delta x^2 + (d_1 - d_2) \quad (4b)$$

[0144] Es ist wichtig in dieser Ausführungsform, daß Gleichung (4b) einen Term x^2 beinhaltet. Somit sehen als Folge der lateralen Verschiebung des Betrags Δ die optischen Elemente **31** und **32** ein optisches System vor, das eine optische Brechkraft nur in X-Richtung aufweist, und zusätzlich kann die Brechkraft wie gewünscht mit dem Betrag der lateralen Verschiebung Δ geändert werden.

[0145] Die Prozedur zum Erzeugen einer lateralen Verschiebung, um eine Abweichung vorzusehen, entspricht gerade dem Differenzieren. Aus diesem Grund ist der Term dritter Ordnung für die Form der asphärischen Oberfläche beinhaltet und eine Komponente zweiter Ordnung, welche eine optische Brechkraft aufgrund des Differenzierungseffekts vorzieht, wird gesetzt. Dies ist die Funktion der optischen Elemente **31** und **32**.

[0146] In dieser Ausführungsform wird eine Beziehung $b = c = 0$ in Gleichung (3b) zur Vereinfachung angenommen. Ferner entspricht der Term $2b\Delta x$ in Gleichung (2b) dem Verschiebungsbetrag. Da der Betrag Δ zum Zwecke der Brechkraftsteuerung gegeben oder bekannt ist, kann die Korrektur hinsichtlich des Verschiebungsbetrags Δ durchgeführt werden. Der Fall, wo die Verschiebung ein Problem aufwirft, insbesondere wenn $b \neq 0$ ist, wird mit der Ausrichtungsprozedur berücksichtigt. Ein derartiges Problem kann gelöst werden, indem der Tisch kontrolliert bzw.

gesteuert wird, so daß die Verschiebung, welche durch Ändern der relativen Position der gepaarten optischen Elemente **31** und **32** hervorzurufen ist, invers korrigiert wird.

[0147] Ferner gibt es, wenn ein geeigneter Wert dem Term der Konstanten c mitgegeben wird, einen Vorteil, daß die absoluten Werte der Abweichungen der asphärischen Oberflächen bezüglich einer flachen Ebene kleiner gemacht werden können. Praktisch kann die Konstante b auf Null gesetzt werden, um den Wert des asphärischen Betrags zu reduzieren, während ein Wert von entgegengesetztem Vorzeichen zur Konstante a der Konstanten c mitgegeben werden kann. Ferner kann aus demselben Grund, wie beschrieben wurde, $c = 0$ gesetzt werden.

[0148] Im allgemeinen ist der absolute Wert des asphärischen Betrags, der zur Korrektur eines kleinen Vergrößerungswerts von ungefähr 2 ppm erforderlich ist, sehr klein. Während er von den Positionen der angeordneten optischen Elemente **31** und **32** abhängt, kann in der Praxis der effektive Betrag eine Anzahl von einigen im Sinne von Newtonschen Ringen betragen. Gemäß einem typischen Beispiel, falls der als optische Brechkraft zu erzeugende Betrag **1** Mikrometer beträgt und der Linsendurchmesser 200 mm beträgt und der Verschiebungsbetrag Δ gleich 5 mm ist, folgt dann aus Gleichung (4b), daß:

$$3a \times 5 \times 100 \times 100 = 0.001$$

[0149] Demgemäß wird $a = 6.7 \times 10^{-9}$ erhalten. Der Wert 100 zeigt den Radius (der Durchmesser beträgt 200 mm). Falls $b = c = 0$ ist, wird der asphärische Betrag mit Gleichung (1b) sein:

$$6.7 \times 10^{-9} \times 100 \times 100 \times 100 = 6.7 \times 10^{-3}$$

[0150] Dies bedeutet, daß die optischen Elemente **31** und **32** einen asphärischen Betrag von ± 6.7 Mikrometer aufweisen.

[0151] Um den Betrag der tatsächlichen Abweichung von einer flachen Ebene zu reduzieren, kann der Term der Konstanten c zu diesem dazu addiert werden. Da der Wert der Konstanten c, womit ein Wert von 6.7 Mikrometer bezüglich 100 mm bestimmt wurde, 6.7×10^{-5} ist, können die Konstanten a und c mit entgegengesetzten Vorzeichen gesetzt werden und $c = -6.7 \times 10^{-5}$ kann gesetzt werden. Dann kann die Abweichung des asphärischen Betrags von einer flachen Ebene auf bis zu ± 2.6 Mikrometer reduziert werden.

[0152] Fig. 10 zeigt eine asphärische Oberflächenform, wenn die Konstante c Null ist, und Fig. 11 zeigt die Form, wenn der vorgenannte Wert in die Konstante c substituiert wird. Da die asphärischen Oberflächen innerhalb des Durchmesserbereichs von 200

mm langsam sich ändernde Formen aufweisen und zusätzlich die optischen Elemente **31** und **32** sich gegenseitig ergänzende Formen aufweisen, ist die Erzeugung der Aberration, die von einer Änderung in der relativen Position der optischen Elemente **31** und **32** herrührt, nicht substantiell maßgeblich für die andere optische Performance. Somit ist eine Feinkorrektur nur von der Vergrößerung sichergestellt.

[0153] Während in dieser Ausführungsform eines der optischen Elemente lateral in X-Richtung verschoben wird, kann als eine Alternative eines um δ in X-Richtung bewegt werden und das andere kann um $-\delta$ in der X-Richtung bewegt werden. **Fig. 12** zeigt ein derartiges Beispiel. Das bedeutet, da

$$fa(x+\delta, y)-fb(x-\delta, y) = 2a(3\delta x^2+\delta^3)+4b\delta x+2c\delta+d_1-d_2,$$

wie das vorhergehende Beispiel, $b = c = 0$ vorausgesetzt wird und die Wirkung des Terms höherer Ordnung von δ außer Acht gelassen wird. Dann ist

$$fa(x+\delta, y)-fb(x-\delta, y) \approx 6ax^2\delta+d_1-d_2$$

[0154] Somit wird, falls der Verschiebungsbetrag $\Delta = \delta$ ist, der Betrag der optischen Brechkraftänderung verdoppelt. Alternativ kann, um dieselbe Brechkraftänderung zu erhalten, der Wert des Koeffizienten (Konstante) a halbiert werden. Dies führt zur Halbierung des asphärischen Oberflächenbetrags und es erleichtert somit die Evaluierung der Form. Ferner kann der Verschiebungsbetrag halbiert werden, um dieselbe Brechkraftänderung zu erhalten. Dies ist sehr vorteilhaft im Raum des Antriebssystems oder für die Positionierungspräzision.

[0155] Praktischerweise wird in dieser Ausführungsform aufgrund des Effekts, daß die relative Abweichung verdoppelt wird wegen der Verschiebung in positiven und negativen Richtungen, der asphärische Betrag auf die Hälfte reduziert.

[0156] Die vorliegende Ausführungsform wurde beschrieben unter Bezugnahme auf ein System, wobei eine Oberfläche eines optischen Elements asphärisch ist. Jedoch können beide Oberflächen des optischen Elements asphärisch sein. **Fig. 13** zeigt ein derartiges Beispiel. Hier werden, falls die Dicke der optischen Elemente **31** und **32** dünn ist, die vorteilhaften Effekte bzw. Wirkungen, die zuvor beschrieben wurden, einfach akkumuliert. Demgemäß kann, falls die asphärische Oberfläche dieselbe Form aufweist, der Wert des Koeffizienten a auf die Hälfte reduziert werden, um dieselbe Änderung in der optischen Brechkraft zu erzielen. Ebenso kann nur ein optisches Element bewegt werden oder alternativ können beide optischen Elemente in entgegengesetzten Richtungen bewegt werden.

[0157] Mehrere Sätze von gepaarten optischen Ele-

menten können mit ähnlich vorteilhaften Effekten bzw. Wirkungen verwendet werden. **Fig. 14** zeigt ein derartiges Beispiel.

[0158] Die Differenz in der Vergrößerung zwischen X- und Y-Richtungen kann nicht nur dem Wafer-Prozeß, sondern auch der Verzeichnungsanpassung zwischen verschiedenen Belichtungsapparaten, der Verzeichnungsanpassung zwischen verschiedenen Belichtungsbetriebsarten und einem Fehler bei der Herstellung eines Reticle zugeschrieben werden. Der Betrag der asymmetrischen (anisotropen) Korrektur der Vergrößerung kann in der Größenordnung von wenigen ppm liegen. Der Betrag der Korrektur kann beispielsweise mittels eines Operateurs in den Belichtungsapparat eingegeben werden und die Datenparameter können eingestellt werden. Danach kann die relative Position der optischen Elemente **31** und **32** durch einen Antriebsmechanismus (nicht dargestellt) und entsprechend den eingestellten bzw. gesetzten Parametern justiert werden, wobei die Einstellung des Apparats durchgeführt wird. Die Parametereinstellung kann durch direkte Eingabe an den Belichtungsapparat auf der Basis einer automatischen Messung durchgeführt werden.

[0159] Da das CAD des Schaltungsentwurfs einer Halbleitervorrichtung auf einem X-Y-Koordinatensystem beruht, können die X- und Y-Richtungen, auf die vorstehend Bezug genommen wurde und die senkrecht zur optischen Achse verlaufen, vorzugsweise in genauer Registrierung bzw. Zusammenpassung mit den X- und Y-Richtungen des CADs eingestellt werden.

[0160] Im allgemeinen entsprechen die X- und Y-Richtungen den Richtungen der Endflächen eines Reticle. Somit entsprechen die X- und Y-Richtungen der optischen Elemente **31** und **32** den Richtungen der Endflächen (longitudinale und laterale Seiten) des Reticle. Diese X- und Y-Richtungen entsprechen X- und Y-Richtungen, entlang welchen der Tisch **6** bewegbar ist, so daß es der X-Vergrößerung und Y-Vergrößerung entspricht, welche bei der globalen Ausrichtungsprozedur erforderlich sind.

[0161] Die Intraschußkomponente bei der globalen Ausrichtung wird unter der Annahme korrigiert, daß, wie beschrieben, die Wafer-Verlängerung der Schußverlängerung entspricht. Diese Annahme basiert auf der Tatsache, daß die Verlängerungsrate eines Wafers als Ganzes innerhalb des Wafers konstant ist, das heißt, daß eine gute Linearität aufrechterhalten wird. Es wurde bestätigt, daß ein gutes Korrekturergebnis erzielbar ist.

[0162] Praktisch kann bei der globalen Ausrichtung, falls eine Verlängerung von s ppm in X-Richtung und t ppm in Y-Richtung beobachtet wird, die Komponente t ppm korrigiert werden durch symmetrische Ver-

größerungskorrekturmittel des optischen Projektionsystems (bekannt bei dem Stand der Technik), während das optische Element **31** bezüglich der X-Richtung angetrieben werden kann, um (s-t) ppm zu korrigieren. Alternativ kann die Komponente s ppm korrigiert werden durch symmetrische Vergrößerungskorrekturmittel des optischen Projektionsystems, während das optische Element **31** bezüglich der X-Richtung bewegt werden kann, um (t-s) ppm zu korrigieren.

[0163] Die rotationsasymmetrische Vergrößerung wird in dieser Ausführungsform kontrolliert bzw. gesteuert, indem optische Elemente mit asphärischen Oberflächen verwendet werden und indem die Positionen der optischen Elemente geändert werden. Somit trägt es, wenn diese Ausführungsform in einen Projektionsbelichtungsapparat inkorporiert wird, zu einer Verbesserung der Funktion des Apparats bei.

[0164] Da in dieser Ausführungsform eine gewünschte optische Performance bzw. Güte auf der Basis einer Abweichung zwischen zwei asphärischen Oberflächen, die lateral verschoben werden, erzeugt werden kann, kann der asphärische Betrag des optischen Elements **31** oder **32** selbst ein Wert sein, der um einen Zähler größer als der Betrag der lateralen Abweichung ist. In dem vorstehend beschriebenen Beispiel ist ein asphärischer Betrag von 6.7 Mikrometer erforderlich, um einen Wert von 1 Mikrometer als den Effekt der lateralen Verschiebung vorzusehen. Mit der Optimierung der Neigung bzw. Verkipfung kann zusätzlich dazu der Wert auf ± 2.6 Mikrometer reduziert werden, welcher innerhalb des Bereichs einer hochgenauen Interferometermessung ist. Zur Herstellung einer asphärischen Oberfläche ist es wichtig, zu überprüfen, ob die Oberfläche exakt zu einer gewünschten Form geformt wird, jedoch mit der Genauigkeit bzw. Präzision, wie sie in dieser Ausführungsform erforderlich ist, sind herkömmliche Techniken anwendbar, um das gewünschte Resultat zu erzielen.

[0165] Das Signal zum Antreiben der optischen Elemente mit asphärischen Oberflächen kann in Reaktion auf einen gemessenen Wert eines Wafers angelegt werden, wie beschrieben wurde, oder es kann durch einen Operateur zugeführt werden. In dem letzteren Fall wird ein Signal sofort an den Antriebsmechanismus von einer CPU angelegt, welche den Belichtungsapparat als Ganzes kontrolliert bzw. steuert, um die Korrektur durchzuführen. In dem Fall der globalen Ausrichtung wird, nachdem die Messung ausgeführt wurde und der Korrekturbetrag berechnet wurde und vor dem Start des Belichtungsvorgangs, das Signal an den Antriebsmechanismus angelegt.

[0166] Fig. 15 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform

ist ein optisches Mittel T2, welches eine Funktion zur Korrektur der Vergrößerung aufweist, die rotationsasymmetrisch bezüglich der optischen Achse ist, entlang des Lichtwegs zwischen einem optischen Projektionssystem **2** und einem Wafer **3** angeordnet. Im Vergleich zu der vierten Ausführungsform von Fig. 9 unterscheidet sich davon die Position des in dem Lichtweg zwischengeordneten optischen Mittels T2. Der verbleibende Abschnitt weist im wesentlichen dieselbe Struktur auf.

[0167] Während ein Paar von optischen Elementen mit asphärischer Oberfläche an der gewünschten Position angeordnet sein kann, gibt es Fälle, wobei in Abhängigkeit von der Position der Einsetzung der Korrekturbereich der Vergrößerung begrenzt ist. Somit sollte die Position der Einsetzung unter Berücksichtigung davon bestimmt werden.

[0168] In den vierten und fünften Ausführungsformen, die vorstehend beschrieben wurden, kann eine Vergrößerung (Komponente), welche rotationsasymmetrisch bezüglich der optischen Achse des Projektionssystems ist, wie eine von dem Halbleiterprozeß herrührende Verlängerung, eine Verzeichnungsanpassung zwischen verschiedenen Apparaten, ein Reticleherstellungsfehler und dergleichen, justiert werden. Demgemäß kann die Überlagerungspräzision („overlay precision“) signifikant verbessert werden.

[0169] Ferner ist der Betrag der Korrektur der Vergrößerung variabel und somit können verschiedene Änderungen erfüllt werden. Zusätzlich kann, da der sphärische Oberflächenbetrag klein ist, nur die Vergrößerung kontrolliert bzw. gesteuert werden, ohne daß ein substantieller Einfluß auf die andere optische Performance ausgeübt wird.

[0170] Fig. 16 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform wird die Erfindung auf einen Projektionsbelichtungsapparat des herkömmlichen Steppertyps oder Scan-Typs angewandt.

[0171] In der Zeichnung ist mit **4** ein Belichtungsbeleuchtungssystem zum Beleuchten eines ersten Objekts **1** bezeichnet. Das Belichtungsbeleuchtungssystem **4** kann einen ArF-Excimerlaser (193 nm Wellenlänge) oder einen KrF-Excimerlaser (248 nm Wellenlänge) aufweisen, oder alternativ kann es eine Lampe aufweisen, welche Licht einer g-Linie (436 nm Wellenlänge) oder i-Linie (365 nm Wellenlänge) vorst. Ebenso kann das Beleuchtungssystem ein bekanntes optisches System aufweisen.

[0172] Mit **1** ist ein Reticle oder eine Maske als das erste Objekt bezeichnet. Mit **2** ist ein optisches Pro-

jektionssystem vom Brechungstyp oder des katadioptrischen Systems bezeichnet. Es dient dazu, ein Schaltungsmuster des Reticle **1**, wie es durch das Belichtungsbeleuchtungssystem **4** beleuchtet wird, auf einen Wafer (zweites Objekt) **3** zu projizieren, welcher das zu belichtende Substrat ist.

[0173] Mit T3 ist ein optisches Mittel bezeichnet, das eine Funktion zum Kontrollieren bzw. Steuern der Bildfeldkrümmung aufweist. Es umfaßt zwei optische Elemente **41** und **42**, welche asphärische Oberflächen aufweisen, die später zu beschreiben sind. Das optische Mittel T3 ist angrenzend an eine Pupille des optischen Projektionssystems **2** angeordnet. Mit **5** ist ein Waferhalter zum Halten des Wafers **3** bezeichnet und mit **6** ist ein Wafer-Tisch bezeichnet, auf dem der Waferhalter **5** befestigt ist. Der Wafer-Tisch **6** erzeugt beispielsweise X-, Y- und Z-Antriebe als auch einen θ -Antrieb und einen Neigungs- bzw. Kippwinkelantrieb, wie in dem Stand der Technik bekannt ist.

[0174] Mit **7** ist ein Interferenzspiegel bezeichnet und er wird dazu verwendet, um die Position des Wafer-Tisches **7** durch ein Interferometer (nicht dargestellt) zu überwachen. Auf der Basis von Signalen, die durch die Kombination des Interferenzspiegels **7** und des Interferometers (nicht dargestellt) erzeugt werden, kontrolliert bzw. steuert ein Wafertischantriebssteuerungssystem (nicht dargestellt) die Positionierung des Wafers **3**, so daß er an einer vorbestimmten Position positioniert wird. Danach wird der Projektionsbelichtungsprozeß durchgeführt.

[0175] Wenn die Ausführungsform auf einen Stepper vom Scan-Typ angewandt wird, werden ein Reticle-Tisch (nicht dargestellt), auf welchem das Reticle **1** positioniert ist, als auch der Wafer-Tisch **6** in einer senkrecht zu der optischen Achse des optischen Projektionssystems **2** verlaufenden Richtung bei einem gegenseitigen Geschwindigkeitsverhältnis bewegt, das der Abbildungsvergrößerung des optischen Projektionssystems **2** entspricht, wobei eine Scan-Belichtung durchgeführt wird.

[0176] Der Stepper dieser Ausführungsform unterscheidet sich von einem herkömmlichen Stepper oder einem Stepper vom Scan-Typ in der Hinsicht, daß das optische Mittel T3 entlang des Projektionslichtwegs vorgesehen ist. Der verbleibende Abschnitt weist im wesentlichen dieselbe Struktur auf.

[0177] Im allgemeinen ist in einem optischen Projektionssystem, das einen ArF-Excimerlaser (193 nm Wellenlänge) als eine Belichtungslichtquelle aufweist, da die Wellenlänge des Lichts von dem ArF-Excimerlaser innerhalb eines kurzen Wellenlängenbereichs ist, die Auswahl eines verwendbaren Glasmaterials beschränkt. Gegenwärtig sind nur Silika (SiO₂) und Fluorit (CaF₂) verwendbar.

[0178] Jedoch wirft für einen derart kurzen Wellenlängenbereich auch Silika ein Problem hinsichtlich der Transmissivität auf. Es absorbiert Belichtungslicht, was eine thermische Änderung (Änderung in der optischen Eigenschaft) und somit eine Änderung bei der Abbildungsgüte hervorruft. Die Situation kann ähnlich zu einem Fall sein, wo eine thermische Änderung durch Verwendung einer i-Linie (365 nm Wellenlänge) als Belichtungslicht verursacht wird. Obgleich mehrere Arten von Glasmaterialien zur Korrektur der chromatischen Aberration in dem Falle der i-Linie verwendbar sind, beinhalten derartige Glasmaterialien Materialien niedriger Transmissivität bzw. Durchlässigkeit.

[0179] Wegen des vorgenannten Grundes kann sich ein Problem der thermischen Aberration auch in dem Fall der i-Linie stellen. Für ein optisches Projektionssystem unter Verwendung eines ArF-Excimerlasers ist jedoch die Situation strikt aufgrund einer Abnahme der Tiefenschärfe, was der Miniaturisierung des Musters zuschreibbar ist.

[0180] Ein Glasmaterial eines Projektionssystems kann Aberrationsänderungen in Reaktion auf die Absorption des Belichtungslichts verursachen. Es gibt viele hier erzeugte Aberrationen wie beispielsweise die sphärische Aberration, die Koma, der Astigmatismus und die Bildfeldkrümmung. Unter diesen ist eine der Aberrationen, welche schwierig zu korrigieren sind, die Bildfeldkrümmung. Obgleich der Betrag der Bildfeldkrümmung praktisch sehr klein ist, wirft er ein Problem auf, da die Tiefenschärfe beträchtlich verringert wurde in Reaktion auf die Miniaturisierung des zu druckenden Musters.

[0181] Die Erfinder haben dies herausgefunden, da der Betrag der Bildfeldkrümmung von einer Größenordnung von 0.2 – 0.3 Mikrometer ist, so daß der Betrag der Korrektur klein ist, und daß die Krümmung korrigiert werden kann durch die Einführung eines optischen Elements vom Transmissionstyp, das eine einzigartige Funktion aufweist.

[0182] In einer spezifischen Struktur dieser Ausführungsform ist das optische Mittel, welches ein Paar optischer Elemente mit asphärischen Oberflächen aufweist, entlang des Lichtwegs eines Projektionssystems angeordnet und die Bildfeldkrümmung wird korrigiert, indem die relative Position dieser optischen Elemente bezüglich einer senkrecht zu der optischen Achse verlaufenden Richtung geändert wird.

[0183] Die zwei optischen Elemente mit asphärischen Oberflächen können eine variable optische Brechkraft aufweisen, wenn sie kombiniert sind, wobei dies erzielt wird, indem sie gegenseitig und lateral verschoben werden. Als Folge einer derart lateralen Verschiebung wird die Petzval-Summe des ganzen optischen Systems geändert, wodurch die Bildfeld-

krümmung kontrolliert bzw. gesteuert wird. In dieser Ausführungsform wurde der Tatsache besondere Beachtung gewidmet, daß eine Änderung der Bildfeldkrümmung, die von der Absorption des Belichtungslichts herrührt, klein ist und die effektive Bildfeldkrümmungssteuerung bzw. -kontrolle durchgeführt wird, indem optische Elemente verwendet werden, die nur einen kleinen asphärischen Oberflächenbetrag aufweisen.

[0184] Da der absolute Wert des asphärischen Betrags des optischen Mittels klein ist, ist eine Korrektur von lediglich der Bildfeldkrümmung erzielbar ohne die andere optische Performance nachteilig zu beeinflussen. Dies ist als Aberrationskorrektur sehr bevorzugt.

[0185] Eine spezifische Struktur des optischen Mittels zur Korrektur der Bildfeldkrümmung gemäß dieser Ausführungsform wird erläutert werden. Diese Ausführungsform verwendet ein optisches Mittel, welches zwei optische Elemente mit asphärischen Oberflächen aufweist und sie sind derart angeordnet, daß, wenn sie als eine Einheit betrachtet werden, eine kleine optische Brechkraft vorgesehen wird und eine derartige optische Brechkraft variabel gemacht wird. Um ein optisches Mittel von variabler optischer Brechkraft vorzusehen, kann ein Mittel zur Steuerung der optischen Brechkraft auf der Basis lateraler Verschiebung, wie dies in der veröffentlichten Japanischen Patentanmeldung, Veröffentlichungsnummer 10034/1968, offenbart ist, verwendet werden.

[0186] Der Projektionsbelichtungsapparat der sechsten Ausführungsform, der in **Fig. 16** dargestellt ist, ist ein Beispiel, wobei ein derartiges optisches Mittel verwendet wird, um die Bildfeldkrümmung eines Projektionssystems zu korrigieren.

[0187] Als nächstes wird die Struktur des optischen Mittels T3, welches in der sechsten Ausführungsform von **Fig. 16** verwendet wird, erläutert werden. **Fig. 17** ist eine Schnittansicht eines Hauptabschnitts des optischen Mittels T3 mit einer Funktion zur Kontrolle bzw. Steuerung der Bildfeldkrümmung gemäß der vorliegenden Ausführungsform.

[0188] In **Fig. 17** weisen zwei optische Elemente **41** und **42**, die gegenüberliegend zueinander angeordnet sind, flache Außenseitenflächen **41a** und **42a** auf. Deren gegenüberliegende Oberflächen **41b** und **42b** sind asphärische Oberflächen von derselben Form.

[0189] Hier sind X- und Y-Achsen so gelegt, daß sie sich senkrecht zu der optischen Achse A erstrecken, und die asphärische Oberfläche des optischen Elements **41** ist mit $f_a(x, y)$ bezeichnet, während die asphärische Oberfläche des optischen Elements **42**, welches dem optischen Element **41** gegenüberliegt, mit $f_b(x, y)$ bezeichnet ist. Falls die Verschiebungs-

richtung die X-Richtung ist, sind die asphärischen Oberflächenformen von ihnen durch die nachfolgenden Gleichungen gegeben, welche unterschiedlich in einem konstanten Term sind, das heißt:

$$f_a(x, y) = a(3xy^2 + x^3) + b(2xy + x^2) + cx + d_1$$

$$f_b(x, y) = a(3xy^2 + x^3) + b(2xy + x^2) + cx + d_2 \quad (1c)$$

[0190] Der Grund dafür, daß die Gleichung (1c) nicht symmetrisch bezüglich x und y ist, besteht darin, daß die optischen Elemente **41** und **42** angeordnet sind, um eine relative Verschiebung in X-Richtung zu erzeugen. Zum Erzeugen einer optischen Brechkraft aufgrund der lateralen Verschiebung in X-Richtung, bezüglich x, werden Terme bis zur kubischen oder dritten Ordnung verwendet.

[0191] In dem Anfangsstadium können die asphärische Oberflächenform $f_a(x, y)$ und die asphärische Oberflächenform $f_b(x, y)$ vollständig aneinander angepaßt werden und demgemäß weisen die optischen Elemente **41** und **42** keine optische Brechkraft auf und sie fungieren in einer Einheit lediglich als eine parallel flache Platte. Der Abstand zwischen den optischen Elementen **41** und **42** kann vorzugsweise so klein wie möglich gemacht werden und typischerweise kann er beispielsweise ungefähr 100 Mikrometer betragen. Hier wird ein Fall betrachtet, wo das optische Element **41** in X-Richtung um eine Distanz Δ verschoben wird. Die hier produzierten Einflüsse sind, falls a, b und c Konstanten sind, wie folgt:

$$f_a(x + \Delta, y) - f_b(x, y) = 3a\Delta(x^2 + y^2) + 2b\Delta(x + y) + c\Delta + (d_1 - d_2) + 3a\Delta^2 + b\Delta^2 + a\Delta^3 \quad (2c)$$

[0192] Hier können Terme höherer Ordnung von Δ außer Acht gelassen werden, da der Betrag der Verschiebung klein ist, und zum besseren Verständnis der Wirkung von dieser Ausführungsform wird angenommen, daß:

$$b = c = 0 \quad (3c)$$

[0193] Folglich kann Gleichung (2c) vereinfacht werden und sie kann wie folgt umgeschrieben werden:

$$f_a(x + \Delta, y) - f_b(x, y) = 3a\Delta(x^2 + y^2) + (d_1 - d_2) \quad (4c)$$

[0194] Es ist wichtig in dieser Ausführungsform, daß Gleichung (4c) einen Term $(x^2 + y^2)$ beinhaltet. Somit sehen als ein Ergebnis der lateralen Verschiebung des Betrags Δ die optischen Elemente **41** und **42** ein optisches System vor, das eine optische Brechkraft aufweist, welche rotationssymmetrisch bezüglich der optischen Achse ist und zusätzlich kann die Brechkraft wie gewünscht mit dem Betrag der lateralen Verschiebung Δ geändert werden.

[0195] Die Prozedur zum Erzeugen einer lateralen Verschiebung, um eine Abweichung vorzusehen, entspricht gerade dem Differenzieren. Aus diesem Grund ist der Term dritter Ordnung als die Form der asphärischen Oberfläche beinhaltet und eine Komponente zweiter Ordnung, welche eine optische Brechkraft aufgrund des Differenzierungseffekts vorsieht, wird eingestellt. Dies ist die Funktion der optischen Elemente **41** und **42**.

[0196] Während in dieser Ausführungsform eine Beziehung $b = c = 0$ in Gleichung (3c) der Einfachheit wegen angenommen wird, entspricht der Term $2b\Delta(x+y)$ in Gleichung (2c) dem Betrag der Verschiebung. Da, auch falls $b \neq 0$ ist, der Betrag Δ zu dem Zweck der Brechkraftkontrolle bzw. -steuerung gegeben oder bekannt ist, kann eine Korrektur bezüglich des Verschiebungsbetrags Δ durchgeführt werden. Der Fall, wo die Verschiebung ein Problem in spezifischer Weise aufwirft, ist mit einer Ausrichtungsprozedur befaßt. Für eine globale Ausrichtungsprozedur kann ein derartiges Problem gelöst werden, indem der Tisch gesteuert wird, so daß die Verschiebung, welche durch Ändern der relativen Position der gepaarten optischen Elemente **41** und **42** zu verursachen ist, invers korrigiert wird.

[0197] Ferner gibt es, wenn ein geeigneter Wert dem Term der Konstanten c mitgegeben wird, einen Vorteil, daß die absoluten Werte der Abweichungen, bezüglich einer flachen Ebene, der asphärischen Oberflächen, wie sie mit $f_a(x, y)$ und $f_b(x, y)$ dargestellt sind, kleiner gemacht werden können. Demgemäß können in Abhängigkeit von dem Wert der Konstanten a die Konstanten b und c nicht auf Null gesetzt werden und bestimmte Werte können ihnen eher mitgegeben werden. Praktisch kann die Konstante b auf Null gesetzt werden, während ein Wert von entgegengesetztem Vorzeichen zur Konstanten a der Konstanten c mitgegeben werden kann.

[0198] Der absolute Wert des asphärischen Betrags kann hinsichtlich der Messung eher als hinsichtlich der maschinellen Bearbeitung ein Problem darstellen. Da der Effekt der Konstanten c annulliert werden kann, indem das Meßstrahl geneigt bzw. verkippt wird, kann eine Beziehung $c = 0$ gesetzt werden.

[0199] Im allgemeinen ist der absolute Wert des asphärischen Betrags, der zum Korrigieren einer kleinstwertigen Bildfeldkrümmung von ungefähr 0.2 bis 0.3 Mikrometer erforderlich ist, sehr klein. Während er von den Positionen der positionierten optischen Elemente **41** und **42** abhängt, kann der effektive Betrag in der Praxis eine Zahl von einigen im Sinne von Newtonschen Ringen sein. Gemäß einem typischen Beispiel, falls der als Brechkraftkomponente zu erzeugende Betrag **1** Mikrometer ist und der Linsendurchmesser gleich 200 mm ist und der Verschiebungsbetrag Δ gleich 5 mm ist, folgt dann aus Gleichung (4a), daß:

chung (4a), daß:

$$3a \times 5 \times 100 \times 100 = 0.001$$

Demgemäß wird $a = 6.7 \times 10^{-9}$ erhalten.

[0200] Der Wert 100 zeigt den Radius (der Durchmesser ist 200 mm). Falls $b = c = 0$ ist, wird der asphärische Betrag entlang eines Schnitts $y = 0$ gemäß Gleichung (1c) sein:

$$6.7 \times 10^{-9} \times 100 \times 100 \times 100 = 6.7 \times 10^{-3}$$

[0201] Dies bedeutet, daß die optischen Elemente **41** und **42** einen asphärischen Betrag von ± 6.7 Mikrometer aufweisen.

[0202] Um den Betrag der tatsächlichen Abweichung von einer flachen Ebene zu reduzieren, kann der Term der Konstanten c zu diesem dazu addiert werden. Da der Wert der Konstanten c , womit ein Wert von 6.7 Mikrometer bestimmt wird, bezüglich 100 mm gleich 6.7×10^{-5} ist, können die Konstanten a und c mit entgegengesetzten Vorzeichen gesetzt werden und $c = -6.7 \times 10^{-5}$ kann gesetzt werden. Dann kann die Abweichung des asphärischen Betrags in dem Schnitt $y = 0$ von einer flachen Ebene auf bis zu ± 2.6 Mikrometer reduziert werden.

[0203] Fig. 17 zeigt eine asphärische Oberflächenform, wenn die Konstante c gleich Null ist, und Fig. 18 zeigt die Form entlang des Schnitts $y = 0$, wenn der oben beschriebene Wert in die Konstante c eingesetzt wird. Da innerhalb des Durchmesserbereichs von 200 mm die asphärischen Oberflächen langsam sich ändernde Formen aufweisen und zusätzlich die optischen Elemente **41** und **42** sich gegenseitig ergänzende Formen aufweisen, übt die Erzeugung der Aberration, die von einer Änderung der relativen Position der optischen Elemente **41** und **42** herrührt, keinen substantiellen Einfluß auf die andere optische Performance aus. Zusätzlich wird eine Feinkorrektur von nur der Bildfeldkrümmung sichergestellt. In einigen Fällen kann eine leichte Korrektur für die anderen optischen Eigenschaften notwendig sein, jedoch als Ganzes des optischen Projektionsystems kann gesagt werden, daß es keine Änderung in der Performance gibt.

[0204] Das Kontrollieren bzw. Steuern einer Änderung der Bildfeldkrümmung durch Verwendung eines asphärischen Oberflächenmittels, indem der Betrag der Korrektur variabel gemacht wird, ist ein einzigartiges Konzept und diese Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann zu der Verbesserung der Funktion eines Projektionsbelichtungsapparats zur Herstellung von Halbleitervorrichtungen beitragen.

[0205] Ferner kann, da der Betrag der zu kontrollierenden bzw. steuernden Bildfeldkrümmung klein ist,

die zu verwendende asphärische Oberfläche klein gemacht werden, wie durch Verwendung eines Interferometers gemessen werden kann. Lies ist ein anderes Merkmal der vorliegenden Erfindung.

[0206] Da in dieser Ausführungsform eine erwünschte optische Eigenschaft auf der Basis einer Abweichung zwischen zwei lateral verschobenen asphärischen Oberflächen erzeugt werden kann, kann der asphärische Betrag des optischen Elements **41** oder **42** selbst ein Wert sein, der um eine Stelle größer als der Wert der lateralen Abweichung ist. In dem vorstehend beschriebenen Beispiel ist ein asphärischer Betrag von 6.7 Mikrometer erforderlich, um einen Wert von 1 Mikrometer als den Effekt der lateralen Verschiebung vorzusehen. Mit der Optimierung der Neigung bzw. Verkippung kann zusätzlich dazu der Wert auf ± 2.6 Mikrometer reduziert werden, was innerhalb des Bereichs der hochpräzisen Interferometermessung ist. Zur Herstellung einer asphärischen Oberfläche ist es wichtig, zu überprüfen, ob die Oberfläche exakt zu einer gewünschten Form geformt wird, jedoch sind mit der Präzision, wie sie in dieser Ausführungsform erforderlich ist, herkömmliche Techniken anwendbar, um das gewünschte Resultat zu erzielen.

[0207] Ferner beruht in dieser Ausführungsform eine Justierung der optischen Brechkraft auf der Verwendung eines optischen Elements, das eine brechende Funktion aufweist. Somit liefert die vorliegende Erfindung einen großen Vorteil sowohl für den Brechungstyp als auch für den katadioptrischen Typ, welche in einem Projektionsbelichtungsapparat verwendet werden.

[0208] Ein Antriebsmechanismus (nicht dargestellt), welcher zur Änderung und Justierung der Positionsbeziehung der asphärischen Oberflächen der optischen Elemente **41** und **42** dient, kann in Übereinstimmung mit der Eigenschaft der Bildfeldkrümmung, welche zuvor in einer zentralen Verarbeitungseinheit des Projektionsbelichtungsapparats gespeichert werden kann, betätigt werden. Der Antriebsbetrag (Korrekturbetrag) kann berechnet und kontrolliert bzw. gesteuert werden in Übereinstimmung mit der Eigenschaft des Belichtungsbildfelds (Krümmung), welche in dem Apparat auf der Basis von Experimenten oder Simulationen und durch Verwendung beispielsweise des Belichtungsbetrags, des Reticlemusterverhältnisses und der Belichtungsenergie gespeichert worden ist. Alternativ kann ohne Berechnung, die auf der Eigenschaft des Systems basiert, die gespeichert wurde, der Antriebsbetrag kontrolliert bzw. gesteuert werden, während die Eigenschaft des optischen Projektionssystems überwacht wird. Der Betrag der erzeugten Bildfeldkrümmung, die von der Belichtung herrührt, weist eine Korrelation mit der Fokus- bzw. Brennweitenänderung aufgrund des Belichtungsprozesses auf und während die Fokus- bzw. Brennwei-

tenposition oder der Betrag der Fokusänderung aufgrund der Belichtung überwacht wird und er in den Bildfeldkrümmungsbetrag konvertiert wird, kann der Antriebsbetrag berechnet werden.

[0209] Selbstverständlich kann der Betrag der Feldkrümmung direkt gemessen werden und der gemessene Wert kann zu dem Antriebsbetrag zurückgeführt werden, um die relative Position der optischen Elemente **41** und **42** zu hindern.

[0210] Während in der sechsten Ausführungsform eines der optischen Elemente lateral in X-Richtung verschoben wird, kann als eine Alternative eines der Elemente um δ in X-Richtung bewegt werden und das andere um $-\delta$ in der X-Richtung bewegt werden. **Fig. 19** zeigt ein derartiges Beispiel. Das heißt, da

$$fa(x+\delta, y)-fb(x-\delta, y) \\ =2a[(3\delta(x^2+y^2)+\delta^3)+2b\delta(2y^2+1)+2c\delta+d_1-d_2,$$

falls, wie das vorhergehende Beispiel, $b = c = 0$, und $|\delta| \neq 0$ angenommen werden, dann ist:

$$fa(x+\delta, y)-fb(x-\delta, y) \approx 6a\delta(x^2+y^2)+d_1-d_2$$

[0211] Somit wird, falls $\Delta = \delta$ ist, der Betrag der optischen Brechkraftänderung verzweifacht. Alternativ kann, um dieselbe Brechkraftänderung zu erzielen, der Wert des Koeffizienten (Konstante) a halbiert werden. Dies führt zur Halbierung des asphärischen Oberflächenbetrags und es erleichtert somit die Evaluierung der Form. Ferner kann der Verschiebungsbetrag halbiert werden, um dieselbe Brechkraftänderung zu erzielen. Dies ist sehr vorteilhaft im Raum des Antriebssystems oder für die Positionierungspräzision.

[0212] Während die sechste Ausführungsform unter Bezugnahme auf ein System beschrieben wurde, wobei eine Oberfläche eines optischen Elements asphärisch ist, können beide Oberflächen des optischen Elements asphärisch sein. **Fig. 20** zeigt ein derartiges Beispiel. Hier sind, falls die Dicke der optischen Elemente **41** und **42** dünn ist, die vorteilhaften Wirkungen, die vorstehend beschrieben wurden, einfach akkumuliert. Demgemäß kann, falls die asphärische Oberfläche dieselbe Form aufweist, der Wert des Koeffizienten a auf die Hälfte reduziert werden, um dieselbe Änderung in der optischen Brechkraft zu erzielen. Ebenso kann nur ein optisches Element bewegt werden oder alternativ können beide optischen Elemente in entgegengesetzten Richtungen bewegt werden.

[0213] Mehrere Sätze von gepaarten optischen Elementen können mit ähnlich vorteilhaften Wirkungen verwendet werden. **Fig. 21** zeigt ein derartiges Beispiel.

[0214] Fig. 22 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts einer siebten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform ist das optische Mittel T3 entlang des Lichtwegs zwischen dem optischen Projektionssystem 2 und dem Wafer 3 angeordnet. Somit unterscheidet sich die Einfügungsposition des optischen Mittels T3 in dem Lichtweg von der sechsten Ausführungsform von Fig. 16. Der verbleibende Abschnitt weist im wesentlichen dieselbe Struktur auf.

[0215] In dieser Ausführungsform ist eine Kombination optischer Elemente mit asphärischen Oberflächen, wie sie zuvor beschrieben wurden, zwischen dem optischen Projektionssystem 2 und dem Wafer 3 zwischengeordnet und mit der lateralen Verschiebung von diesen wird die Feldkrümmung korrigiert. Die Funktion der optischen Elemente ist im wesentlichen dieselbe wie jene der sechsten Ausführungsform. Wie in der vorliegenden Ausführungsform kann das optische Mittel an einer geeigneten Position angeordnet sein, die anders als eine an die Pupille des optischen Projektionssystems 2 angrenzende Position ist.

[0216] Das optische Mittel T3 kann vorzugsweise entweder an einer Position, die an die Pupillenebene des optischen Projektionssystems 2 angrenzt, oder einer Position zwischen dem optischen Projektionssystem 2 und dem Wafer 3 oder einer Position zwischen dem optischen Projektionssystem 2 und dem Reticle 1 angeordnet sein, da an diesen Positionen die Unabhängigkeit der Aberrationssteuerung relativ hoch ist, was bevorzugt zu steuern ist.

[0217] In den sechsten und siebten Ausführungsformen, die vorstehend beschrieben wurden, kann sich, wenn die Korrektur der Bildfeldkrümmung durchgeführt wurde, der eingestellte bzw. gesetzte Wert der besten Brennweite sehr geringfügig ändern. Da jedoch der Betrag einer derartigen Änderung auf der Basis des Betrags des Antriebs des asphärischen optischen Oberflächenelements berechnet oder bestimmt werden kann, kann der Betrag der Fokus- bzw. Brennweitenänderung innerhalb der CPU des Projektionsbelichtungsapparats zur Kontrolle bzw. Steuerung der Waferoberflächenposition bezüglich der optischen Achsenrichtung reflektiert werden. Was die andere optische Performance wie die Vergrößerung betrifft, kann der Einfluß auf eine derartige optische Performance ebenso auf der Basis des Antriebsbetrags der asphärischen Oberfläche in ähnlicher Weise berechnet werden. Somit kann sie leicht korrigiert werden.

[0218] In dieser Ausführungsform ist der Betrag der erzeugten Bildfeldkrümmung variabel, so daß er verschiedene Änderungen erfüllt. Ebenso ist der verwendete sphärische Betrag sehr klein und nur die Bildfeldkrümmung kann kontrolliert bzw. gesteuert

werden, ohne die andere optische Performance nachteilig zu beeinflussen.

[0219] In der vorliegenden Erfindung können von dem optischen Mittels T1 mit einer Funktion zum Steuern des axialen Astigmatismus, dem optischen Mittel T2 mit einer Funktion zum Steuern der rotationsasymmetrischen Vergrößerung und dem optischen Mittel T3 mit einer Funktion zum Steuern der Bildfeldkrümmung zumindest zwei ausgewählt werden. Sie können getrennt oder in einer integralen Struktur angeordnet verwendet werden und können entlang des Lichtwegs (wo das optische Mittel T13 der dritten Ausführungsform von Fig. 8 den ausgewählten optischen Mitteln T1 und T3 entspricht) angeordnet sein, um dabei von dem axialen Astigmatismus, von der asymmetrischen Vergrößerung und von der Bildfeldkrümmung zwei oder drei zu korrigieren.

[0220] Fig. 23 zeigt eine achte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und dies ist ein Beispiel, wo bei einem gewöhnlichen Stepper oder einem Stepper vom Scan-Typ zur Herstellung von Halbleitervorrichtungen ein Paar optischer Elemente mit asphärischen Oberflächen zwischen einem optischen Projektionssystem und einem Reticle angeordnet ist und zwar zur Korrektur der Verzeichnung kubischer oder dritter Ordnung. Hier umfaßt die Verzeichnung dritter Ordnung eine Vergrößerungskomponente und eine Verzeichnungskomponente mit einer Eigenschaft dritter Ordnung, die als tonnenförmig oder spindelförmig bezeichnet wird.

[0221] Was die Verzeichnung betrifft, sind Maßnahmen bekannt, um die Vergrößerung und die Verzeichnung dritter Ordnung zu steuern. Ein Beispiel besteht darin, daß mehrere Elemente innerhalb eines optischen Projektionssystems entlang der optischen Achsenrichtung angeordnet werden oder der Druck eines dichtend zwischen optischen Elementen vorgesehenen Gases geändert wird. Da die Vergrößerung eine grundlegende Größe eines optischen Systems ist, kann sie ohne Änderung der anderen Aberrationen geändert werden. Was die Korrektur der Verzeichnung dritter Ordnung betrifft, gibt es jedoch ein Problem der Änderungen in der Aberration, die von einer Versetzung bzw. Verstellung herrührt, oder ein Problem eines kleinen Justierungsbereichs. Somit muß eine Korrektur auch in dem Anfangsstadium des Entwurfs in Betracht gezogen werden. Insbesondere wird bei Betrachtung der Verwendung von verschiedenen Abbildungsverfahren wie beispielsweise dem modifizierten Beleuchtungsverfahren und der Phasenverschiebungsmaske, ein Problem der Verzeichnungsanpassung bei diesen Abbildungsverfahren auftreten. Es ist demgemäß wichtig, die Verzeichnung dritter Ordnung ohne zusätzliche Last für den Entwurf zu steuern.

[0222] In dieser Ausführungsform wird die Verzeich-

nung dritter Ordnung korrigiert und gesteuert bzw. kontrolliert mit minimaler Beschränkung des Entwurfs, während die Wirkung auf die andere optische Performance auf ein Minimum reduziert wird.

[0223] Diese Ausführungsform wird auf einen Belichtungsapparat vom Scan-Typ (Stepper) angewandt und ein Paar von optischen Elementen mit asphärischen Oberflächen ist an einer Position innerhalb eines optischen Projektionssystems angeordnet und zwar einem Reticle am nächsten angeordnet. Zumindest eines dieser optischen Elemente wird in einer senkrecht zu der optischen Achse verlaufenden Richtung verschoben, um die relative Position der optischen Elemente zu justieren, wobei die Verzeichnung dritter Ordnung des optischen Projektionssystems bezüglich einer senkrecht zu der Scan-Richtung verlaufenden Richtung korrigiert wird.

[0224] In dieser Ausführungsform wird die Richtung der lateralen Verschiebung mit der senkrecht zu der Scan-Richtung verlaufenden Richtung registriert bzw. zur Deckung gebracht bzw. genau zusammengepaßt, wobei die Korrektur der Verzeichnung dritter Ordnung, die in dem Belichtungsapparat vom Scan-Typ zu erzeugen ist, korrigiert werden kann.

[0225] Das optische Projektionssystem, auf das diese Ausführungsform angewandt wird, kann entweder vom Brechungstyp oder katadioptrischen Typ sein. Ebenso ist das optische Projektionssystem mit einem Mittel zum Steuern der Vergrößerung versehen.

[0226] In dem Fall des Belichtungsapparats vom Scan-Typ kann eine Differenz bei der Vergrößerung zwischen X- und Y-Richtungen leicht korrigiert werden, indem das Geschwindigkeitsverhältnis des Reticle und des Wafers, welche im Gleichlauf miteinander bewegt werden, justiert wird. Somit kann die Korrektur der Verzeichnung dritter Ordnung bezüglich der senkrecht zu der Scan-Richtung verlaufenden Richtung durchgeführt werden, indem zwei optische Elemente mit asphärischen Oberflächen verwendet werden. In dieser Ausführungsform kann die Verzeichnung dritter Ordnung wie gewünscht kontrolliert bzw. gesteuert werden, so daß eine erhöhte Anpassungsgenauigkeit bzw. Anpassungspräzision sichergestellt ist. Für die Vergrößerungskomponente, welche optisch leicht korrigiert werden kann, kann jedes bekannte Verfahren wie das Bewegen eines Elements des optischen Projektionssystems entlang der optischen Achsenrichtung oder das Kontrollieren bzw. Steuern des Drucks innerhalb des optischen Systems in dieser Ausführungsform verwendet werden. Zur Korrektur der Verzeichnungskomponente dritter Ordnung wird das optische Mittel verwendet.

[0227] Fig. 23 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Belichtungsapparats vom Scan-Typ, wobei mit **1** ein Reticle bezeichnet ist und

mit **2** ein optisches Projektionssystem bezeichnet ist. Mit **3** ist ein Wafer bezeichnet und mit **4** ist ein optisches Beleuchtungssystem bezeichnet. Mit **5** ist ein Wafer-Halter bezeichnet und mit **7** ist ein zur Laserinterferometermessung befestigter Spiegel für die Kontrolle bzw. Steuerung des Tisches bezeichnet. Der Belichtungsapparat ist vom Scan-Typ und das Reticle und der Wafer werden auf scannende Weise im Gleichlauf miteinander bewegt, wobei ein Muster des Reticle auf den Wafer übertragen wird. Die Struktur von Fig. 23 ist im wesentlichen dieselbe wie jene eines herkömmlichen Steppers oder eines Steppers vom Scan-Typ mit Ausnahme der Bereitstellung eines optischen Mittels T4 (**51** und **52**). Fig. 24 zeigt Einzelheiten von diesem. Optische Elemente **51** und **52** sind gegenüberliegend voneinander angeordnet und die Außenseitenflächen von ihnen sind flach. Die gegenüberliegenden Flächen dieser optischen Elemente sind sphärische Oberflächen von derselben Form.

[0228] Hier sind die X- und Y-Achsen so gelegt, daß sie sich senkrecht zu der optischen Achse A erstrecken, während die Y-Richtung so gelegt ist, daß sie mit der Scan-Richtung des Belichtungsapparats registriert ist bzw. genau zusammenpaßt. Die asphärische Oberfläche des optischen Elements **51** ist mit $f_a(x, y)$ bezeichnet, während die asphärische Oberfläche des optischen Elements **52**, welches dem optischen Element **51** gegenüberliegt, mit $f_b(x, y)$ bezeichnet ist. Dann sind die asphärischen Oberflächenformen von ihnen durch dieselben Gleichungen fünfter Ordnung gegeben, welche sich in einem konstanten Term unterscheiden, was bedeutet:

$$f_a(x, y) = ax^5 + b1$$

$$f_b(x, y) = ax^5 + b2 \quad (1d)$$

[0229] Der Grund dafür, daß die obigen Gleichungen keinen Term von y aufweisen, besteht darin, die optische Eigenschaft nur in der Richtung (X-Richtung) gegeben ist, die senkrecht zu der Scan-Richtung (Y-Richtung) verläuft. Was die Y-Richtung betrifft, entlang welcher das Scannen durchgeführt wird, wird die Verzeichnung höherer Ordnung aufgehoben wegen der Mittelung, die von dem Scan herrührt. Somit wird eine Kontrolle bzw. Steuerung der Verzeichnung dritter Ordnung lediglich bezüglich der X-Richtung durchgeführt. Die optischen Elemente **51** und **52** werden dazu verwendet, eine Verschiebung der relativen Position in X-Richtung zuzulassen. Da eine derart laterale Verschiebung eine Verzeichnung dritter Ordnung erzeugt, was die Form der asphärischen Oberfläche betrifft, ist ein Term fünfter Ordnung notwendig.

[0230] In dem Anfangsstadium können die asphärische Oberflächenform $f_a(x, y)$ und die asphärische Oberflächenform $f_b(x, y)$ vollständig aneinander an-

gepaßt werden und demgemäß weisen die optischen Elemente **51** und **52** keine optische Brechkraft auf und sie fungieren nur als eine parallele flache Platte. Der Abstand zwischen den optischen Elementen **51** und **52** kann vorzugsweise so klein wie möglich gehalten werden und er kann typischerweise ungefähr 100 Mikrometer betragen. Hier wird ein Fall betrachtet, wo nur das optische Element **51** in X-Richtung um eine Distanz Δ verschoben wird. Die hier erzeugten Einflüsse sind wie folgt:

$$f_a(x+\Delta, y) - f_b(x, y) = 5a\Delta x^4 + 10a\Delta^2 x^3 + 10a\Delta^3 x^2 + 5a\Delta^4 x + (b_1 - b_2) \quad (2d)$$

[0231] Hier kann ein Term höherer Ordnung von Δ außer Acht gelassen werden, da der Betrag der Verschiebung klein ist. Dann kann die Gleichung (2) vereinfacht werden und es folgt, daß:

$$f_a(x+\Delta, y) - f_b(x, y) = 5a\Delta x^4 + (b_1 - b_2) \quad (3d)$$

[0232] Es ist wichtig in dieser Ausführungsform, daß die Gleichung (3d) einen Term x^4 beinhaltet. Somit sehen als ein Resultat der lateralen Verschiebung des Betrags Δ die optischen Elemente **51** und **52** ein optisches System vor, das eine Eigenschaft vierter Ordnung nur in der X-Richtung aufweist, und zusätzlich kann die Eigenschaft wie gewünscht mit dem Betrag der lateralen Verschiebung Δ geändert werden.

[0233] Die Prozedur der Erzeugung einer lateralen Verschiebung, um eine Abweichung vorzusehen, entspricht gerade dem Differenzieren. Aus diesem Grund ist ein Term siebter Ordnung als die Form der asphärischen Oberfläche beinhaltet und eine Komponente vierter Ordnung, welche eine optische Brechkraft aufgrund der Wirkung des Differenzierens vorsieht, wird gesetzt. Dies ist die Funktion der optischen Elemente **51** und **52**.

[0234] Im allgemeinen ist der absolute Wert des asphärischen Betrags, der zur Korrektur einer kleinen Verzeichnung für die oben beschriebene Anpassung erforderlich ist, sehr klein. Gemäß einem typischen Beispiel, falls der asphärische Betrag zum Erzeugen der gewünschten Verzeichnung 1 Mikrometer beträgt, während der Linsendurchmesser gleich 200 mm ist und der Verschiebungsbetrag Δ gleich 5 mm ist, folgt dann aus Gleichung (3d), daß:

$$5a \times 5 \times 10^{-8} = 0.001$$

Demgemäß wird $a = 4.00 \times 10^{-13}$ erhalten.

[0235] Der Wert 100 zeigt den Radius (der Durchmesser ist 200 mm). Somit wird anhand Gleichung (1d) der asphärische Betrag sein:

$$4.0 \times 10^{-13} \times 10^{-10} = 4.007 \times 10^{-3}$$

[0236] Dies bedeutet, daß die optischen Elemente **51** und **52** einen asphärischen Betrag von ± 4.00 Mikrometer aufweisen.

[0237] Um den Betrag der tatsächlichen Abweichung von einer flachen Ebene zu reduzieren, kann ein Term von cx , welcher der Term erster Ordnung von x ist, zu diesem dazu addiert werden. Da der Wert von c , womit ein Wert von 4.00 Mikrometer bezüglich 100 mm bestimmt wird, 4.0×10^{-5} beträgt, können die Konstanten a und c mit entgegengesetzten Vorzeichen gesetzt werden und $c = -2.86 \times 10^{-5}$ kann gesetzt werden. Dann kann die Abweichung des asphärischen Betrags von einer flachen Ebene bis auf ± 2.14 Mikrometer reduziert werden. Da die asphärischen Oberflächen innerhalb des Durchmesserbereichs von 200 mm langsam sich ändernde Formen aufweisen und zusätzlich die optischen Elemente **51** und **52** sich gegenseitig ergänzende Formen aufweisen, übt die Erzeugung der Aberration, die von einer Änderung der relativen Position der optischen Elemente **51** und **52** herrührt, keinen substantiellen Einfluß auf die andere Eigenschaft aus. Somit kann nur die Verzeichnung dritter Ordnung korrigiert werden.

[0238] In dieser Ausführungsform ist die Richtung der Korrektur der Verzeichnung dritter Ordnung senkrecht zu der Scan-Richtung des Belichtungsapparats. Jedoch kann, da der Korrekturbetrag klein ist und ein absoluter Wert der Verschiebung geeignet gewählt werden kann, die zu verwendende asphärische Oberfläche klein sein, wie durch Verwendung eines Interferometers gemessen werden kann. In dieser Ausführungsform kann eine gewünschte optische Eigenschaft erzeugt werden durch den Betrag der Verschiebung von zwei asphärischen Oberflächen und demgemäß ist der ursprüngliche asphärische Betrag, das heißt, der asphärische Betrag des optischen Elements **51** oder **52** an sich, größer als jener, der schließlich zu erzielen ist. In dem oben beschriebenen Beispiel ist eine asphärische Oberfläche von 4.00 Mikrometer für jedes der optischen Elemente erforderlich, um einen asphärischen Betrag von 1 Mikrometer zu erzielen. Wenn eine Neigungs- bzw. Verkippungsoptimierung zusätzlich dazu durchgeführt wird, kann der Betrag auf 2.14 Mikrometer reduziert werden, welcher innerhalb des Bereichs einer Hochpräzisionsmessung eines Interferometers ausreichend ist. Bei der Herstellung einer asphärischen Oberfläche ist es wichtig, daß eine Produktoberfläche exakt eine gewünschte Oberflächenform aufweist. Jedoch können, da der in dieser Ausführungsform erforderliche asphärische Betrag derart ist, wie beschrieben wurde, herkömmliche Techniken zufriedenstellend angewandt werden. Falls eine weitere Reduktion des Betrags erwünscht ist, kann der Verschiebungsbetrag von 5 mm vergrößert werden.

[0239] Eine Betätigung von zumindest einem der asphärischen optischen Oberflächenelemente kann

geändert werden in Übereinstimmung mit einer Folge, welche zuvor in dem Apparat gespeichert werden kann, oder sie kann auf der Basis eines tatsächlich gemessenen Werts eines Wafers durchgeführt werden. Beispielsweise kann, falls die Verzeichnung dritter Ordnung sich mit verschiedenen Beleuchtungsbetriebsarten oder verschiedenen numerischen Aperturen ändert, der Betrag der Änderung zuvor gespeichert werden und die laterale Verschiebung der asphärischen optischen Oberflächenelemente kann in Reaktion auf die Änderung der Beleuchtungsbetriebsart oder der numerischen Apertur gemacht werden. Bei einer derartigen Gelegenheit kann die Vergrößerungskomponente gleichzeitig korrigiert werden, indem irgendwelche bekannten Mittel verwendet werden.

[0240] Anstelle von einer derart vorbereitenden Einstellung kann ein Reticle, mit dem eine Verzeichnungsmessung erzielbar ist, verwendet werden, um die Verzeichnung innerhalb des Bildfelds zu analysieren, und die Vergrößerungskomponente und die Verzeichnungskomponente dritter Ordnung können auf der Basis des resultierenden Werts korrigiert werden. Bei einer derartigen Gelegenheit kann eine Messung automatisch innerhalb des Apparats durchgeführt werden oder sie kann in dem Offline-Betrieb durchgeführt werden, wobei einmal ein Bild eines Reticle auf einen Wafer gedruckt wird und eine Messung dazu gemacht wird.

[0241] Fig. 25 zeigt einen Halbleiterbelichtungsapparat gemäß einer neunten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Dieser unterscheidet sich von der achten Ausführungsform darin, daß zwei optische Elemente **51** und **52**, die das optische Mittel T4 zur Kontrolle bzw. Steuerung der Verzeichnung dritter Ordnung bilden, zwischen einem Wafer und einem optischen Projektionssystem vorgesehen sind. Der verbleibende Abschnitt weist im wesentlichen dieselbe Struktur und Funktion wie bei der achten Ausführungsform auf.

[0242] In den oben beschriebenen achten und neunten Ausführungsformen wird nur eines der zwei asphärischen optischen Oberflächenelemente, die gegenüberliegend zueinander angeordnet sind, bewegt, um eine gewünschte optische Eigenschaft zu erzielen. Jedoch ist die relative Bewegung der gegenüberliegenden optischen Elemente nicht darauf beschränkt. Beispielsweise kann das obere optische Element **51** nach rechts um Δ bewegt werden, während das untere optische Element **52** nach links um Δ bewegt werden kann.

[0243] Ferner wird in den oben beschriebenen Beispielen die Verzeichnungskorrektur dritter Ordnung nur bezüglich einer senkrecht zu der Scan-Richtung verlaufenden Richtung durchgeführt. Jedoch kann, wo die Schlitzbreite in der Scan-Richtung vergrößert

ist oder die Erfindung auf einen Stepper anzuwenden ist, die Form der asphärischen Oberfläche wie folgt ausgebildet werden:

$$g_a(x, y) = a(x^5 + 5x^4y) + b_1$$

$$g_b(x, y) = a(x^5 + 5x^4y) + b_2 \quad (4d)$$

[0244] In dem Anfangsstadium können die asphärische Oberflächenform $g_a(x, y)$ und die asphärische Oberflächenform $g_b(x, y)$ vollständig aneinander angepaßt werden und demgemäß weisen die optischen Elemente **51** und **52** keine optische Brechkraft auf und sie fungieren in einer Einheit nur als eine parallele flache Platte. Der Abstand zwischen den optischen Elementen **51** und **52** kann vorzugsweise so klein wie möglich gehalten werden und typischerweise kann er beispielsweise ungefähr 100 Mikrometer betragen. Hier wird ein Fall betrachtet, wo das optische Element **51** in X-Richtung um eine Distanz Δ verschoben wird. Der hier erzeugte Einfluß ist, falls der Effekt des Terms höherer Ordnung von Δ außer Acht gelassen wird, da er klein ist, wie folgt:

$$g_a(x+\Delta, y) - g_b(x, y) = 5a\Delta(x^4 + y^4) + (b_1 - b_2) \quad (5d)$$

[0245] Es ist wichtig in dieser Ausführungsform, daß die Gleichung (5d) einen Term $(x^4 + y^4)$ beinhaltet. Somit sehen als eine Folge der lateralen Verschiebung des Betrags Δ die optischen Elemente **51** und **52** ein optisches System vor, das eine Eigenschaft vierter Ordnung aufweist, welche rotationssymmetrisch bezüglich der optischen Achse ist und zusätzlich kann diese Eigenschaft wie gewünscht mit dem Betrag der lateralen Verschiebung Δ geändert werden.

[0246] Die Prozedur zum Erzeugen einer lateralen Verschiebung, um eine Abweichung vorzusehen, entspricht gerade dem Differenzieren. Aus diesem Grund ist ein Term siebter Ordnung als die Form der asphärischen Oberfläche beinhaltet und eine Komponente vierter Ordnung ist aufgrund des Differenzierungseffekts vorgesehen. Dies ist die Funktion der optischen Elemente **51** und **52**.

[0247] Auf diese Weise kann die Verzeichnung dritter Ordnung wie gewünscht kontrolliert bzw. gesteuert werden. Was die Position der optischen Elemente **51** und **52** betrifft, können sie zwischen einem Reticle und einem optischen Projektionssystem wie in der vorhergehenden Ausführungsform angeordnet sein oder alternativ können sie zwischen dem optischen Projektionssystem und einem Wafer angeordnet sein. Ferner können sie, falls gewünscht, innerhalb des optischen Projektionssystems vorgesehen werden.

[0248] Fig. 26 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts eines Projektionsbelichtungsapparats gemäß einer zehnten Ausführungsform der vor-

liegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform wird die Erfindung auf einen Projektionsbelichtungsapparat vom herkömmlichen Steppertyp oder Scan-Typ angewandt.

[0249] In der Zeichnung ist mit **4** ein Belichtungsbeleuchtungssystem zum Beleuchten eines Reticle (erstes Objekt) **1** bezeichnet. Das Belichtungsbeleuchtungssystem **4** weist eine bekannte Struktur auf, welche als eine Lichtquelle einen ArF-Excimerlaser (193 nm Wellenlänge) oder einen KrF-Excimerlaser (248 nm Wellenlänge) aufweisen kann oder sie kann alternativ eine Lampe aufweisen, die Licht einer g-Linie (436 nm Wellenlänge) oder i-Linie (365 nm Wellenlänge) vorsieht. Ebenso kann das Beleuchtungssystem ein bekanntes optische System aufweisen.

[0250] Mit **1** ist ein Reticle bezeichnet und mit **2** ist ein optisches Projektionssystem vom Brechungstyp oder des katadioptrischen Systems bezeichnet. Es dient dazu, ein Schaltungsmuster des Reticle **1**, wie es durch das Belichtungsbeleuchtungssystem **4** beleuchtet wird, auf einen Wafer (zweites Objekt) **3**, welcher das zu belichtende Substrat ist, zu projizieren.

[0251] Mit T5 ist ein optisches Mittel bezeichnet, das eine Funktion zum Kontrollieren bzw. Steuern einer Verzeichnung höherer Ordnung aufweist. Es umfaßt zwei optische Elemente **61** und **62**, welche asphärische Oberflächen aufweisen, die später zu beschreiben sind. Zumindest eines der optischen Elemente **61** und **62** kann in einer senkrecht zu der optischen Achse verlaufenden Richtung verschoben werden, um die relative Position der Elemente **61** und **62** zu ändern, um dabei die Verzeichnung höherer Ordnung bezüglich dieser Richtung zu korrigieren. Das optische Mittel T5 ist zwischen dem Reticle **1** und dem optischen Projektionssystem **2** angeordnet. Mit **5** ist ein Wafer-Halter zum Halten des Wafers **3** bezeichnet und mit **6** ist ein Wafer-Tisch bezeichnet, auf welchem der Wafer-Halter **5** befestigt ist. Der Wafer-Tisch **6** erzeugt beispielsweise X-, Y- und Z-Antriebe als auch einen θ -Antrieb und einen Neigungs- bzw. Kippwinkelantrieb, wie bei dem Stand der Technik bekannt ist.

[0252] Mit **7** ist ein Interferenzspiegel bezeichnet und er wird zum Überwachen der Position des Wafer-Tisches **6** durch ein Interferometer (nicht dargestellt) verwendet. Auf der Basis von Signalen, die durch die Kombination des Interferenzspiegels **7** und des Interferometers (nicht dargestellt) erzeugt werden, steuert ein Wafertischantriebssteuerungssystem (nicht dargestellt) die Positionierung des Wafers **3**, so daß er an einer vorbestimmten Position positioniert wird. Dann wird der Projektionsbelichtungsprozeß durchgeführt.

[0253] Wenn die Ausführungsform auf einen Projektionsbelichtungsapparat vom Scan-Typ angewandt wird, werden ein Reticle-Tisch (nicht dargestellt), auf dem das Reticle **1** positioniert ist, als auch der Wafer-Tisch **6** in einer senkrecht zu der optischen Achse A des optischen Projektionssystems **2** verlaufenden Richtung bewegt bei einem gegenseitigen Geschwindigkeitsverhältnis, das der Abbildungsvergrößerung des optischen Projektionssystems **2** entspricht, wobei eine Scanbelichtung durchgeführt wird.

[0254] Der Apparat dieser Ausführungsform unterscheidet sich von einem herkömmlichen Stepper oder einem Stepper vom Scan-Typ in der Hinsicht, daß das optische Mittel T5 entlang des Projektionslichtwegs vorgesehen ist. Der verbleibende Abschnitt weist im wesentlichen dieselbe Struktur auf.

[0255] In der Ausführungsform von **Fig. 26** ist das optische Mittel T5, welches gepaarte optische Elemente mit asphärischen Oberflächen aufweist, zur Verzeichnungskorrektur höherer Ordnung zwischen dem optischen Projektionssystem **2** und dem Reticle **1** angeordnet.

[0256] Hier bezieht sich die Verzeichnung höherer Ordnung auf Verzeichnungskomponenten von Ordnungen, die nicht niedriger als von vierter Ordnung sind, wobei die Vergrößerungskomponente und Komponenten bis zu Eigenschaften dritter Ordnung (tonnenförmig oder spindelförmig) bezüglich des Bildhöhenwerts ausgeschlossen sind.

[0257] Das optische Projektionssystem, auf welches die vorliegende Ausführungsform angewendet wird, kann vom Brechungstyp oder katadioptrischen Typ sein. Das optische Projektionssystem weist eine Funktion zum Steuern der Vergrößerung und der Verzeichnung dritter Ordnung auf. Steuerungsmittel für die Vergrößerung und die Verzeichnung dritter Ordnung können von bekanntem Typ sein, wie beispielsweise ein Verfahren, wobei ein optisches Element wie eine Linse eines optischen Projektionssystems entlang der optischen Achsenrichtung bewegt wird, oder ein Verfahren, wobei der Druck eines Raums in einem Abschnitt eines optischen Projektionssystem kontrolliert bzw. geregelt wird. Jedes dieser Verfahren ist auf diese Ausführungsform anwendbar. Jedoch sind diese Verfahren nur wirksam zum Steuern der Vergrößerung und Verzeichnung niedriger Ordnung, wie eine Verzeichnung bis zu der dritten Ordnung. Sie sind nicht wirksam, um eine Verzeichnung höherer Ordnung zu kontrollieren bzw. steuern.

[0258] Wenn Abbildungsverfahren wie das modifizierte Beleuchtungsverfahren und das Phasenverschiebungsmaskenverfahren in Kombination verwendet werden, stellt sich das Problem der Anpassung bei der Verzeichnung zwischen diesen Abbildungsverfahren. Anpassungsfehler sind hauptsächlich

lich einem Herstellungsfehler eines optischen Systems zuschreibbar.

[0259] Gemäß den von den Erfindern durchgeführten Analysen von einem derartigem Anpassungsfehler wurde herausgefunden, daß, falls die Vergrößerung und die Verzeichnung dritter Ordnung korrigiert werden, die Hauptkomponenten eines derartigen Fehlers die Verzeichnung höherer Ordnung und die Vergrößerungsdifferenz in orthogonalen X- und Y-Richtungen sind. In dem Fall des Belichtungsapparats vom Scan-Typ kann die Vergrößerungsdifferenz in den zwei orthogonalen Richtungen leicht korrigiert werden, indem das Geschwindigkeitsverhältnis während des synchronen Scans justiert wird. Jedoch ist das Justieren einer Komponente höherer Ordnung mit einem herkömmlichen optischen System schwierig zu erzielen. Dies ist durch die Tatsache begründet, daß, sogar falls ein optisches Element in der optischen Achsenrichtung bewegt wird oder falls der Druck in dem Raum innerhalb des optischen Projektionssystems kontrolliert bzw. geregelt bzw. gesteuert wird, das Resultat nur darin besteht, daß Verzeichnungen bis hinauf zu der dritten Ordnung geändert werden und im wesentlichen keine Änderung in den Verzeichnungen höherer Ordnung auftritt, deren Ordnungen nicht niedriger als von fünfter Ordnung sind.

[0260] Jedoch wird sich, wenn ein Abbildungsverfahren wie das modifizierte Beleuchtungsverfahren oder das Phasenverschiebungsmaskenverfahren verwendet werden, um die Tiefenschärfe zu vergrößern oder der Auflösung von feineren Mustern zu entsprechen, der Wert der Verzeichnung höherer Ordnung mit der Zahl des verwendeten Abbildungsverfahrens ändern. Somit ist die Kontrolle bzw. Steuerung des Werts höherer Ordnung, wie gewünscht, sehr wichtig hinsichtlich der Erhöhung des Anpassungspräzision.

[0261] In der zehnten Ausführungsform kann die Verzeichnung höherer Ordnung, deren Betrag der Erzeugung schwierig mit einem herkömmlichen optischen Projektionssystem zu kontrollieren bzw. steuern war, wie gewünscht kontrolliert bzw. gesteuert werden durch Verwendung von optischen Elementen mit asphärischen Oberflächen, durch welche die Anpassungspräzision signifikant verbessert werden kann.

[0262] Zu diesem Zweck können in dieser Ausführungsform zur Kontrolle bzw. Steuerung der Vergrößerungskomponente und der Verzeichnung dritter Ordnung bekannte Mittel verwendet werden, wie beispielsweise die Bewegung optischer Elemente eines optischen Projektionssystems in der optischen Achsenrichtung, die Bewegung eines Reticle in der optischen Achsenrichtung oder die Druckregelung innerhalb des optischen Systems. Für die Verzeichnung höherer Ordnung wird das optische Mittel T5 verwen-

det, um dieselbe zu korrigieren.

[0263] Als nächstes wird die spezifische Struktur des optischen Mittels T5 zum Erzeugen und Kontrollieren bzw. Steuern der Verzeichnung höherer Ordnung erläutert werden.

[0264] In dieser Ausführungsform wird das optische Mittel T5, das gepaarte optische Elemente mit asphärischen Oberflächen aufweist, verwendet, um eine Verzeichnung höherer Ordnung in dem optischen Projektionssystem **2** zu erzeugen. Für ein derartiges optisches Mittel kann ein bekanntes optisches Mittel, wie es in der veröffentlichten Japanischen Patentanmeldung, Veröffentlichungsnummer 10034/1968, offenbart ist, verwendet werden.

[0265] Fig. 29 ist eine schematische Ansicht eines Hauptabschnitts des optischen Mittels T5 dieser Ausführungsform. Das optische Mittel T5 dieser Ausführungsform weist optische Elemente **61** und **62** auf, die einander gegenüberliegen. Die Außenseitenflächen der optischen Elemente **61** und **62** sind flach, während gegenüberliegende Flächen der optischen Elemente **61** und **62** asphärisch sind, wobei sie dieselbe Form aufweisen.

[0266] Hier sind die X- und Y-Achsen so gelegt, daß sie sich senkrecht zu der optischen Achse A erstrecken, während die Y-Richtung so gelegt ist, daß sie mit der Scan-Richtung des Belichtungsapparats registriert ist bzw. genau zusammenpaßt. Die asphärische Oberfläche des optischen Elements **61** ist mit $f_a(x, y)$ bezeichnet, während die asphärische Oberfläche des optischen Elements **62**, das dem optischen Element **61** gegenüberliegt, mit $f_b(x, y)$ bezeichnet ist. Dann sind deren asphärische Oberflächenformen durch dieselben Gleichungen gegeben, welche sich nur in einem konstanten Term unterscheiden, das heißt:

$$f_a(x, y) = ax^7 + b1$$

$$f_b(x, y) = ax^7 + b2 \quad (1e)$$

[0267] Der Grund dafür, daß die obigen Gleichungen keinen Term von y aufweisen, besteht darin, daß das optische Mittel T5 eine optische Eigenschaft in dem optischen Projektionssystem nur bezüglich der Richtung (X-Richtung) erzeugt, die senkrecht zu der Scan-Richtung (Y-Richtung) ist. Was die Y-Richtung betrifft, entlang welcher das Scannen durchgeführt wird, wird die Verzeichnung höherer Ordnung aufgehoben wegen des Mittelungseffekts, der von dem Scan herrührt. Somit wird die Kontrolle bzw. Steuerung der Verzeichnung höherer Ordnung nur bezüglich der X-Richtung durchgeführt. Die optischen Elemente **61** und **62** werden verwendet, um eine Verschiebung der relativen Position in X-Richtung zuzulassen. Da eine derartige laterale Verschiebung eine

Verzeichnung höherer Ordnung erzeugt, was die Form der asphärischen Oberfläche betrifft, ist ein Term von x erforderlich, der nicht niedriger als von siebter Ordnung ist.

[0268] In dem Anfangsstadium können die asphärische Oberflächenform $f_a(x, y)$ und die asphärische Oberflächenform $f_b(x, y)$ vollständig aneinander angepaßt werden und demgemäß weisen die optischen Elemente **61** und **62** keine optische Brechkraft auf und sie fungieren nur als eine parallele flache Platte. Der Abstand zwischen den optischen Elementen **61** und **62** kann vorzugsweise so klein wie möglich gehalten werden und er kann typischerweise ungefähr 100 Mikrometer betragen. Hier wird ein Fall betrachtet, wo nur das optische Element **61** in X -Richtung um eine Distanz Δ verschoben wird. Die hier erzeugten Einflüsse sind wie folgt:

$$f_a(x+\Delta, y) - f_b(x, y) = 7a\Delta x^6 + 21a\Delta^2 x^5 + 35a\Delta^3 x^4 + 35a\Delta^4 x^3 + 21a\Delta^5 x^2 + 7a\Delta^6 x + \Delta^7 + (b_1 - b_2) \quad (2e)$$

[0269] Hier kann ein Term höherer Ordnung von Δ außer Acht gelassen werden, da der Betrag der Verschiebung klein ist. Dann kann Gleichung (2e) vereinfacht werden und es folgt, daß:

$$f_a(x+\Delta, y) - f_b(x, y) = 7a\Delta x^5 + (b_1 - b_2) \quad (3e)$$

[0270] Es ist wichtig in dieser Ausführungsform, daß Gleichung (3e) einen Term x^6 beinhaltet. Somit sehen als eine Folge der lateralen Verschiebung des Betrags Δ die optischen Elemente **61** und **62** ein optisches System vor, das eine Eigenschaft sechster Ordnung nur in X -Richtung aufweist, und zusätzlich kann die Eigenschaft, wie gewünscht, mit dem Betrag der lateralen Verschiebung Δ geändert werden.

[0271] Die Prozedur zum Erzeugen einer lateralen Verschiebung, um ein Abweichung vorzusehen, entspricht gerade dem Differenzieren. Aus diesem Grund ist ein Term siebter Ordnung als die Form der asphärischen Oberfläche beinhaltet und eine Komponente sechster Ordnung, welche von dem Effekt des Differenzierens herrührt, wird gesetzt. Dies ist die Funktion der optischen Elemente **61** und **62**.

[0272] Im allgemeinen ist der absolute Wert des asphärischen Betrags, welcher zum Korrigieren einer kleinen Verzeichnung für die oben genannte Anpassung erforderlich ist, sehr klein. Gemäß einem typischen Beispiel, falls der asphärische Betrag zum Erzeugen einer gewünschten Verzeichnung 1 Mikrometer beträgt, während der Linsendurchmesser 200 mm beträgt und der Verschiebungsbetrag Δ gleich 5 mm ist, folgt dann aus Gleichung (3e), daß:

$$7a \times 5 \times 10^{-12} = 0.001$$

Demgemäß wird $a = 2.86 \times 10^{-17}$ erhalten.

[0273] Der Wert 100 zeigt den Radius (der Durchmesser ist 200 mm). Somit wird anhand Gleichung (1e) der asphärische Betrag sein:

$$2.86 \times 10^{-17} \times 10^{-14} = 2.86 \times 10^{-3}$$

[0274] Dies bedeutet, daß die optischen Elemente **61** und **62** ursprünglich einen asphärischen Betrag von ± 2.86 Mikrometer aufweisen.

[0275] Um den Betrag der tatsächlichen Abweichung von einer flachen Ebene zu reduzieren, kann ein Term von cx , welcher der Term erster Ordnung von x ist, zu diesem dazu addiert werden. Da der Wert von c , womit ein Wert von 2.86 Mikrometer bezüglich 100 mm bestimmt wird, gleich 2.86×10^{-5} ist, können die Konstanten a und c mit entgegengesetzten Vorzeichen gesetzt werden und $c = -2.86 \times 10^{-5}$ kann gesetzt werden. Dann kann die Abweichung des asphärischen Betrags von einer flachen Ebene auf bis zu ± 1.77 Mikrometer reduziert werden.

[0276] Fig. 27 zeigt die asphärischen Oberflächenformen, wenn c gleich Null ist, während Fig. 28 die Formen zeigt, wenn der oben beschriebene Wert in c eingesetzt wird. Da die asphärischen Oberflächen innerhalb des Durchmesserbereichs von 200 mm sich langsam ändernde Formen aufweisen und zusätzlich die optischen Elemente **61** und **62** sich gegenseitig ergänzende Formen aufweisen, übt die Erzeugung der Aberration, die von einer Änderung bei der relativen Position der optischen Elemente **61** und **62** herrührt, keinen substantiellen Einfluß auf die andere optische Eigenschaft aus. Somit kann nur die Verzeichnung höherer Ordnung korrigiert werden.

[0277] In dieser Ausführungsform ist die Richtung der Korrektur der Verzeichnung höherer Ordnung senkrecht zu der Scan-Richtung des Belichtungsapparats. Jedoch kann, da der Betrag der Korrektur klein ist und ein absoluter Wert der Verschiebung geeignet gewählt werden kann, die zu verwendende asphärische Oberfläche klein sein, wie durch Verwendung eines Interferometers gemessen werden kann.

[0278] In dieser Ausführungsform kann eine gewünschte optische Eigenschaft erzeugt werden durch den Verschiebungsbetrag der zwei asphärischen Oberflächen und demgemäß ist der ursprüngliche asphärische Betrag, das heißt, der asphärische Betrag des optischen Elements **61** oder **62** an sich, größer als jener, welcher schließlich zu erzielen ist. In dem vorstehend beschriebenen Beispiel ist eine asphärische Oberfläche von 2.86 Mikrometer für jedes der optischen Elemente erforderlich, um einen asphärischen Betrag von 1 Mikrometer zu erreichen. Wenn die Neigungs- bzw. Verkippungsoptimierung zusätzlich dazu gemacht wird, kann der Betrag auf

1.77 Mikrometer reduziert werden, welcher innerhalb des Bereichs einer Hochpräzisionsmessung eines Interferometers ausreichend ist.

[0279] Bei der Herstellung einer asphärischen Oberfläche ist es wichtig, daß eine Produkt-Oberfläche exakt eine gewünschte Oberflächenform aufweist. Jedoch können, da der in dieser Ausführungsform notwendige asphärische Betrag so ist, wie beschrieben wurde, herkömmliche Techniken zufriedenstellend angewandt werden. Falls eine weitere Reduktion des Betrags erwünscht ist, kann der Verschiebungsbetrag von 5 mm vergrößert werden.

[0280] Eine Betätigung der asphärischen optischen Oberflächenelemente kann geändert werden in Übereinstimmung mit einer Folge (Daten), welche zuvor in dem Apparat gespeichert werden können, oder sie kann auf der Basis eines tatsächlich gemessenen Werts eines Wafers durchgeführt werden. Beispielsweise kann, falls sich die Verzeichnung höherer Ordnung mit verschiedenen Beleuchtungsbetriebsarten oder verschiedenen numerischen Aperturen ändert, der Betrag der Änderung zuvor gespeichert werden und eine laterale Verschiebung der asphärischen optischen Oberflächenelemente kann in Reaktion der Änderung der Beleuchtungsbetriebsart oder der numerischen Apertur durchgeführt werden. Bei einer derartigen Gelegenheit kann die Vergrößerungskomponente und die Verzeichnung niedriger Ordnung, wie die Verzeichnung dritter Ordnung, gleichzeitig korrigiert werden, indem jedes bekannte Mittel verwendet wird.

[0281] Anstelle einer derart vorbereitenden Einstellung kann ein Reticle, mit welchem eine Verzeichnungsmessung erzielbar ist, verwendet werden, um die Verzeichnung innerhalb des Bildfelds zu analysieren und die Vergrößerungskomponente und die Verzeichnungskomponenten bis hinauf zu höheren Ordnungen können auf der Basis des resultierenden Werts korrigiert werden. Bei einer derartigen Gelegenheit kann eine Messung automatisch innerhalb des Apparats durchgeführt werden oder sie kann im Offline-Betrieb durchgeführt werden, wobei einmal ein Bild eines Reticle auf einem Wafer gedruckt wird und eine Messung dazu gemacht wird.

[0282] Fig. 29 zeigt einen Hauptabschnitt eines Halbleiterbelichtungsapparats gemäß einer elften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Diese unterscheidet sich von der zehnten Ausführungsform darin, daß das optische Mittel T5 zwischen einem Wafer **23** und einem optischen Projektionssystem **2** vorgesehen ist. Der verbleibende Abschnitt weist im wesentlichen dieselbe Struktur und Funktion wie bei der zehnten Ausführungsform auf.

[0283] In den vorstehend beschriebenen zehnten und elften Ausführungsformen wird nur eines der

zwei asphärischen optischen Oberflächenelemente, die einander gegenüberliegend angeordnet sind, bewegt, um eine gewünschte optische Eigenschaft zu erzielen. Jedoch ist die relative Bewegung der gegenüberliegenden optischen Elemente nicht darauf beschränkt. Beispielsweise kann das obere optische Element **61** nach rechts um Δ bewegt werden, während das untere optische Element **62** nach links um Δ bewegt werden kann.

[0284] In diesen Ausführungsformen wurden Verzeichnungen bis hinauf zu Verzeichnungen fünfter Ordnung berücksichtigt. Falls Verzeichnungen, die noch höher sind als diese, zu berücksichtigen sind, können Terme höherer Ordnung, wie ein Term neunter Ordnung oder höher, als die Form der asphärischen Oberfläche umfasst sein.

[0285] In den vorstehend beschriebenen zehnten und elften Ausführungsformen kann eine Verzeichnung höherer Ordnung, welche auf herkömmliche Weise nicht korrigiert werden konnte, variabel innerhalb des Projektionsbelichtungsapparats korrigiert werden. Folglich kann eine Variation der Verzeichnung, die von Änderungen bei der Beleuchtungsbetriebsart oder der numerischen Apertur oder beispielsweise einer Verzeichnungsanpassung zwischen verschiedenen Apparaten herrührt, variabel justiert werden. Somit kann die Überlagerungsgenauigkeit bei der Herstellung von Vorrichtungen wie Halbleitervorrichtungen signifikant verbessert werden.

[0286] Da eine Verzeichnung höherer Ordnung variabel vorgesehen ist, ist es möglich, unterschiedlichen Änderungen zu entsprechen. Ferner ist, da der erforderliche asphärische Betrag klein ist, die Wirkung auf die andere optische Eigenschaft klein.

[0287] In den zehnten und elften Ausführungsformen ist die Richtung, in welcher eine Verzeichnung höherer Ordnung erzeugt wird, senkrecht zu der Scan-Richtung des Belichtungsapparats vom Scan-Typ. Da die Verzeichnungskorrektur bezüglich der Richtung, in welcher es keinen Mittelungseffekt des Scans gibt, gemacht werden kann, wird die Balance des Systems als ein Ganzes verbessert. Somit kann ebenso die gesamte Ausrichtungspräzision verbessert werden.

[0288] Ferner wird in den vorstehend beschriebenen Beispielen die Verzeichnungskorrektur höherer Ordnung nur bezüglich einer senkrecht zu der Scan-Richtung verlaufenden Richtung durchgeführt. Jedoch kann, wo die Schlitzbreite in der Scan-Richtung vergrößert ist oder die Erfindung auf einen Stepper anzuwenden ist, die Form der asphärischen Oberfläche wie folgt ausgebildet sein:

$$ga(x, y) = a(x^7 + 7x^6y) + b1$$

$$gb(x, y) = a(x^7 + 7x^6y) + b2 \quad (4e)$$

[0289] In dem Anfangsstadium können die asphärische Oberflächenform $ga(x, y)$ und die asphärische Oberflächenform $gb(x, y)$ vollständig aneinander angepaßt werden und demgemäß weisen die optischen Elemente **61** und **62** keine optische Brechkraft auf und sie fungieren in einer Einheit nur als eine parallele flache Platte. Der Abstand zwischen den optischen Elementen **61** und **62** kann vorzugsweise so klein wie möglich gehalten werden und typischerweise beträgt er beispielsweise ungefähr 100 Mikrometer. Hier wird ein Fall betrachtet, wo das optische Element **61** in X-Richtung um eine Distanz Δ verschoben wird. Der hier produzierte Einfluß ist, falls der Effekt eines Terms höherer Ordnung von Δ außer Acht gelassen wird, da er klein ist, wie folgt:

$$ga(x+\Delta, y) - gb(x, y) = 7a\Delta x^6 + y^6 + (b1 - b2) \quad (5e)$$

[0290] Es ist wichtig in dieser Ausführungsform, daß die Gleichung (5e) einen Term $(x^6 + y^6)$ beinhaltet. Somit sehen als eine Folge der lateralen Verschiebung des Betrags Δ die optischen Elemente **61** und **62** ein optisches System vor, das eine Eigenschaft sechster Ordnung aufweist, welche rotationssymmetrisch bezüglich der optischen Achse ist, und zusätzlich kann die Eigenschaft wie gewünscht mit dem Betrag der lateralen Verschiebung Δ geändert werden.

[0291] Die Prozedur zum Erzeugen einer lateralen Verschiebung, um ein Abweichung vorzusehen, entspricht gerade dem Differenzieren. Aus diesem Grund ist ein Term siebter Ordnung als die Form der asphärischen Oberfläche beinhaltet und eine Komponente siebter Ordnung ist aufgrund des Differenzierungseffekts vorgesehen. Dies ist die Funktion der optischen Elemente **61** und **62**.

[0292] Auf diese Weise kann die Verzeichnung höherer Ordnung wie gewünscht kontrolliert bzw. gesteuert werden. Was die Position der optischen Elemente **61** und **62** betrifft, können sie zwischen einem Reticle und einem optischen Projektionssystem wie in der vorhergehenden Ausführungsform angeordnet sein oder alternativ können sie zwischen dem optischen Projektionssystem und einem Wafer angeordnet sein. Ferner können sie, falls gewünscht, innerhalb des optischen Projektionssystems vorgesehen sein.

[0293] Als nächstes wird eine Ausführungsform des Halbleitervorrichtungsherstellungsverfahrens, welches einen Projektionsbelichtungsapparat wie vorstehend beschrieben verwendet, erläutert werden.

[0294] Fig. 30 ist ein Flußdiagramm einer Prozedur zur Herstellung von Mikrovorrichtungen, wie Halblei-

ter-Chips (z.B. ICs oder LSIs), oder von Flüssigkristallpaneelen, beispielsweise CCDs. Ein Schritt **1** ist ein Design-Prozeß bzw. Entwurfsprozeß zum Designen bzw. Entwerfen einer Schaltung einer Halbleitervorrichtung. Ein Schritt **2** ist ein Prozeß zum Herstellen einer Maske auf der Basis des Schaltungsmusterdessigns. Ein Schritt **3** ist ein Prozeß zum Vorbereiten eines Wafers, indem ein Material wie Silizium verwendet wird. Ein Schritt **4** ist ein Wafer-Prozeß, der als Vorprozeß bezeichnet wird, wobei durch Verwendung der so vorbereiteten Maske und des Wafers Schaltungen praktisch auf dem Wafer durch Lithographie gebildet werden. Ein darauf folgender Schritt **5** ist ein Zusammensetzungsprozeß, welcher als Nachprozeß bezeichnet wird, wobei der Wafer, der mittels des Schritts **4** verarbeitet wurde, in Halbleiter-Chips geformt wird. Dieser Schritt umfaßt einen Zusammensetzungs- (Zerteilungs- und Verbindungs-) Prozeß und einen Gehäusungs- (Chipversiegelungs-) Prozeß. Ein Schritt **6** ist ein Überprüfungsschritt, wobei eine Funktionsprüfung, eine Haltbarkeitsprüfung und so weiter für die Halbleitervorrichtungen, die durch den Schritt **5** vorgesehen sind, ausgeführt werden. Mit diesen Prozessen werden die Halbleitervorrichtungen fertiggestellt und sie werden versandt (Schritt **7**).

[0295] Fig. 31 ist ein Flußdiagramm, das Einzelheiten des Wafer-Prozesses zeigt. Ein Schritt **11** ist ein Oxidationsprozeß zum Oxidieren der Oberfläche eines Wafers. Ein Schritt **12** ist ein CVD-Prozeß zum Bilden eines isolierenden Films auf der Waferoberfläche. Ein Schritt **13** ist ein Elektrodenbildungsprozeß zum Bilden bzw. Formen von Elektroden auf dem Wafer mittels Bedampfen bzw. Dampfdruckabscheidung. Ein Schritt **14** ist ein Ionenimplantationsprozeß zum Implantieren von Ionen in dem Wafer. Ein Schritt **15** ist ein Resist- bzw. Abdecklack-Prozeß zum Auftragen eines Resists bzw. Abdecklacks (photoempfindliches Material) auf den Wafer. Ein Schritt **16** ist ein Belichtungsprozeß zum Drucken des Schaltungsmusters der Maske auf dem Wafer mittels Belichtung durch den vorstehend beschriebenen Belichtungsapparat. Ein Schritt **17** ist ein Entwicklungsprozeß zum Entwickeln des belichteten Wafers. Ein Schritt **18** ist ein Ätzprozeß zum Entfernen von Abschnitten, die anders als das entwickelte Resistbild sind. Ein Schritt **19** ist ein Resist- bzw. Schutzlacktrennungsprozeß zum Abtrennen des Resist- bzw. Schutzlack-Materials, das auf dem Wafer verbleibt, nachdem es dem Ätzprozeß unterzogen wurde. Durch Wiederholung dieser Prozesse werden die Schaltungsmuster überlagernd auf dem Wafer gebildet.

[0296] Mit diesen Prozessen können Mikrovorrichtungen hoher Dichte hergestellt werden.

[0297] In Übereinstimmung mit den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, wie sie vorstehend beschrieben worden sind, ist für Änderungen der op-

tischen Eigenschaften eines optischen Projektionsystems aufgrund der Absorption von Belichtungslicht wie des axialen Astigmatismus, der Bildfeldkrümmung oder zur asymmetrischen Vergrößerung oder Verzeichnung eines Wafers selbst, was in Waferprozessen zu erzeugen ist, ein optisches Mittel vorgesehen, welches zumindest zwei optische Elemente mit asphärischen Oberflächen aufweist, welche für zumindest eine der vorstehend erwähnten Variationen geeignet gesetzt werden. Dies korrigiert auf effektive Weise die berücksichtigte Variation bzw. Schwankung, wobei der entgegenwirkende Effekt auf die andere optische Eigenschaft auf ein Minimum gehalten wird. Somit sieht die vorliegende Erfindung einen Projektionsbelichtungsapparat und/oder ein Vorrichtungsherstellungsverfahren vor, womit Muster hoher Auflösung leicht gefertigt werden.

[0298] Ferner können mit diesen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eine Verzeichnungsanpassung zwischen verschiedenen Apparaten oder ein Fehler des Reticlemusters korrigiert werden durch Verwendung optischer Mittel mit gepaarten optischen Elementen mit geeignet gesetzten asphärischen Oberflächen, wobei dies durchgeführt wird, indem Vergrößerungen unabhängig in X- und Y-Richtungen kontrolliert bzw. gesteuert werden.

[0299] Während die Erfindung unter Bezugnahme auf die hierin offenbarten Strukturen beschrieben wurde, ist sie nicht auf die aufgestellten Einzelheiten beschränkt und diese Anmeldung ist dazu bestimmt, derartige Modifikationen oder Änderungen abzudecken, wie sie innerhalb des Schutzbereichs der nachfolgenden Ansprüche kommen.

Patentansprüche

1. Projektionsbelichtungsapparat zum Übertragen eines Musters einer Maske (1) auf ein Substrat (3), wobei der Apparat folgendes aufweist: einen Maskenträger; einen Substratträger (6); und ein optisches Projektionssystem (2) zum Projizieren eines Musters einer von dem Maskenträger gehaltenen Maske (2) auf ein von dem Substratträger gehaltenes Substrat (3), wobei das optische Projektionssystem (2) eine Vielzahl asphärischer Elemente (11, 12) aufweist, wobei zumindest eines davon in einer orthogonal zu der optischen Achse (A) des optischen Projektionssystems (2) verlaufenden Richtung (x) verschiebbar ist, wobei die asphärischen Elemente (11, 12) ihre asphärischen Oberflächen aufweisen, die gegenüberliegend zueinander und nahe zueinander angeordnet sind, wobei die asphärischen Oberflächen Formen aufweisen, welche miteinander gepaart sein würden, falls sie in einer besonderen Positionsbeziehung angeordnet sind; wobei die asphärischen Elemente (11, 12) asphärische Oberflächenformen (11b, 12b) aufweisen, welche

derart bestimmt sind, daß eine optische Eigenschaft der asphärischen Elemente (11, 12) sich als eine Einheit ändern würde mit einer Änderung in der Positionsbeziehung zwischen den asphärischen Oberflächen der asphärischen Elemente (11, 12) bezüglich der orthogonalen Richtung (x); gekennzeichnet durch:

Mittel zum genauen Steuern einer optischen Eigenschaft des optischen Projektionssystems (2) durch Verschieben von zumindest einem der asphärischen Elemente (11, 12) in der orthogonal zu der optischen Achse (A) verlaufenden Richtung (x) von einer ersten Position in dem Lichtweg des optischen Projektionssystems (2) zu einer zweiten Position in dem Lichtweg.

2. Projektionsbelichtungsapparat nach Anspruch 1, wobei die asphärischen Elemente (11, 12) angeordnet sind, um in entgegengesetzten Richtungen entlang der orthogonal zu der optischen Achse (A) verlaufenden Richtung (x) und um den gleichen Betrag zu verschieben, um die Positionsbeziehung zwischen den asphärischen Oberflächen zu ändern.

3. Projektionsbelichtungsapparat nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die optische Eigenschaft des optischen Projektionssystems (2) einen axialen Astigmatismus aufweist.

4. Projektionsbelichtungsapparat nach Anspruch 3, wobei die Formen der asphärischen Oberflächen der asphärischen Oberflächenelemente (11, 12) die Gleichungen erfüllen:

$$fa(x,y)=ax^3+bx^2+cx+d_1$$

$$fb(x,y)=ax^3+bx^2+cx+d_2$$

in welchen die x- und y-Achsen sich senkrecht zu der optischen Achse (A) erstrecken, wobei die asphärische Oberfläche von einem optischen Element mit $fa(x,y)$ bezeichnet ist, während die optische Oberfläche eines gegenüberliegenden optischen Elements mit $fb(x,y)$ bezeichnet ist, wobei die Verschiebungsrichtung die x-Richtung ist und a, b, c, d_1 und d_2 Konstanten sind.

5. Projektionsbelichtungsapparat nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die optische Eigenschaft des optischen Projektionssystems (2) eine Bildfeldkrümmung aufweist.

6. Projektionsbelichtungsapparat nach Anspruch 5, wobei die Formen der asphärischen Oberflächen der asphärischen Oberflächenelemente (11, 12) die Gleichungen erfüllen:

$$fa(x,y)=a(3xy^2+x^3)+b(2xy+x^2)+cx+d_1$$

$$fb(x,y)=a(3xy^2+x^3)+b(2xy+x^2)+cx+d_2$$

in welchen die x- und y-Achsen sich senkrecht zu der optischen Achse (A) erstrecken, wobei die asphärische Oberfläche von einem optischen Element mit $fa(x,y)$ bezeichnet ist, während die asphärische Oberfläche eines gegenüberliegenden optischen Elements mit $fb(x,y)$ bezeichnet ist, wobei die Verschiebungsrichtung die x-Richtung ist und a, b, c, d_1 und d_2 Konstanten sind, und wobei die optische Eigenschaft des optischen Projektionssystems (2) eine Bildfeldkrümmung bezüglich der x-Richtung beinhaltet.

7. Projektionsbelichtungssystem nach Anspruch 6, ferner umfassend ein anderes Paar transparenter asphärischer Elemente, welche ihre asphärischen Oberflächen nahe zueinander angeordnet aufweisen und welche Formen aufweisen, die miteinander zu paaren sind, wenn sie in einer vorbestimmten Positionsbeziehung zueinander angeordnet sind, wobei sich die Positionsbeziehung zwischen den asphärischen Oberflächen des anderen Paares von transparenten asphärischen Elementen ändert, wenn sie sich in entgegengesetzten Richtungen entlang einer orthogonal zu der optischen Achse (A) und zu der X-Richtung verlaufenden Y-Richtung um den gleichen Betrag bewegen, um dabei eine Änderung in der Bildfeldkrümmung des optischen Projektionssystems bezüglich der Y-Richtung zu bewirken.

8. Projektionsbelichtungsapparat nach Anspruch 7, wobei die jeweiligen Sätze von asphärischen Oberflächenelementen die Bildfeldkrümmung und den axialen Astigmatismus des Apparats justieren.

9. Projektionsbelichtungsapparat nach Anspruch 7, wobei die jeweiligen Sätze von asphärischen Oberflächenelementen ein gemeinsames Element mit asphärischen Oberflächen auf dessen gegenüberliegenden Seiten einschliessen.

10. Projektionsbelichtungsapparat nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die optische Eigenschaft des optischen Projektionssystems (2) eine Projektionsvergrößerung beinhaltet.

11. Projektionsbelichtungsapparat nach Anspruch 10, wobei die Formen der asphärischen Oberflächen der asphärischen Oberflächenelemente (11, 12) die Gleichungen erfüllen:

$$fa(x,y)=ax^3+bx^2+cx+d_1$$

$$fb(x,y)=ax^3+bx^2+cx+d_2$$

in welchen die x- und y-Achsen sich senkrecht zu der optischen Achse (A) erstrecken, wobei die asphäri-

sche Oberfläche von einem optischen Element mit $fa(x,y)$ bezeichnet ist, während die asphärische Oberfläche eines gegenüberliegenden optischen Elements mit $fb(x,y)$ bezeichnet ist, wobei die Verschiebungsrichtung die x-Richtung ist und a, b, c, d_1 , d_2 Konstanten sind, und wobei die optische Eigenschaft des optischen Projektionssystems (2) eine Projektionsvergrößerung bezüglich der x-Richtung beinhaltet.

12. Projektionsbelichtungsapparat nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die optische Eigenschaft des optischen Projektionssystems (2) eine Verzeichnung beinhaltet.

13. Projektionsbelichtungsapparat nach Anspruch 12, wobei die Formen der asphärischen Oberflächen der asphärischen Oberflächenelemente (11, 12) die Gleichungen erfüllen:

$$ga(x,y)=a(x^5+5x^4y)+b_1$$

$$gb(x,y)=a(x^5+5x^4y)+b_2$$

in welchen die x- und y-Achsen sich senkrecht zu der optischen Achse (A) erstrecken, wobei die asphärische Oberfläche von einem optischen Element mit $ga(x,y)$ bezeichnet ist, während die asphärische Oberfläche eines gegenüberliegenden optischen Elements mit $gb(x,y)$ bezeichnet ist, wobei die Verschiebungsrichtung die x-Richtung ist und a, b_1 und b_2 Konstanten sind.

14. Projektionsbelichtungsapparat nach Anspruch 12, wobei die Formen der asphärischen Oberflächen der asphärischen Oberflächenelemente (11, 12) die Gleichungen erfüllen:

$$ga(x,y)=a(x^7+7x^6y)+b_1$$

$$gb(x,y)=a(x^7+7x^6y)+b_2$$

in welchen die x- und y-Achsen sich senkrecht zu der optischen Achse (A) erstrecken, wobei die asphärische Oberfläche von einem optischen Element mit $ga(x,y)$ bezeichnet ist, während die asphärische Oberfläche eines gegenüberliegenden optischen Elements mit $gb(x,y)$ bezeichnet ist, wobei die Verschiebungsrichtung die x-Richtung ist und a, b_1 und b_2 Konstanten sind.

15. Projektionsbelichtungsapparat nach einem der Ansprüche 4, 6, 11, 13 oder 14, wobei der Projektionsbelichtungsapparat eine Projektionsbelichtung mit einem Scan der Maske (1) und des Substrats (3) durchführt und wobei die Richtung von x senkrecht zu einer Richtung des Scans verläuft.

16. Vorrichtungsherstellungsverfahren, welches die folgenden Schritte aufweist:

- (a) Zuführen einer Maske (1), welche ein Vorrichtungsmuster aufweist, und eines Wafers (3) zu einem Projektionsbelichtungsapparat nach einem der Ansprüche 1 bis 15;
- (b) Justieren einer optischen Eigenschaft des optischen Projektionsbelichtungssystems (2) des Projektionsbelichtungsapparats;
- (c) Projizieren, nach der Justierung, eines Bilds des Vorrichtungsmusters der Maske (1) auf den Wafer durch Verwendung des optischen Projektionssystems, um das Vorrichtungsmuster auf den Wafer zu übertragen; und
- (d) Herstellen einer Vorrichtung aus dem belichteten Wafer.

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei der Schritt (d) einen Zusammensetzungsprozeß des Zertheilens und Verbindens und einen Gehäusungsprozeß des Chipversiegeln einschließt.

Es folgen 20 Blatt Zeichnungen

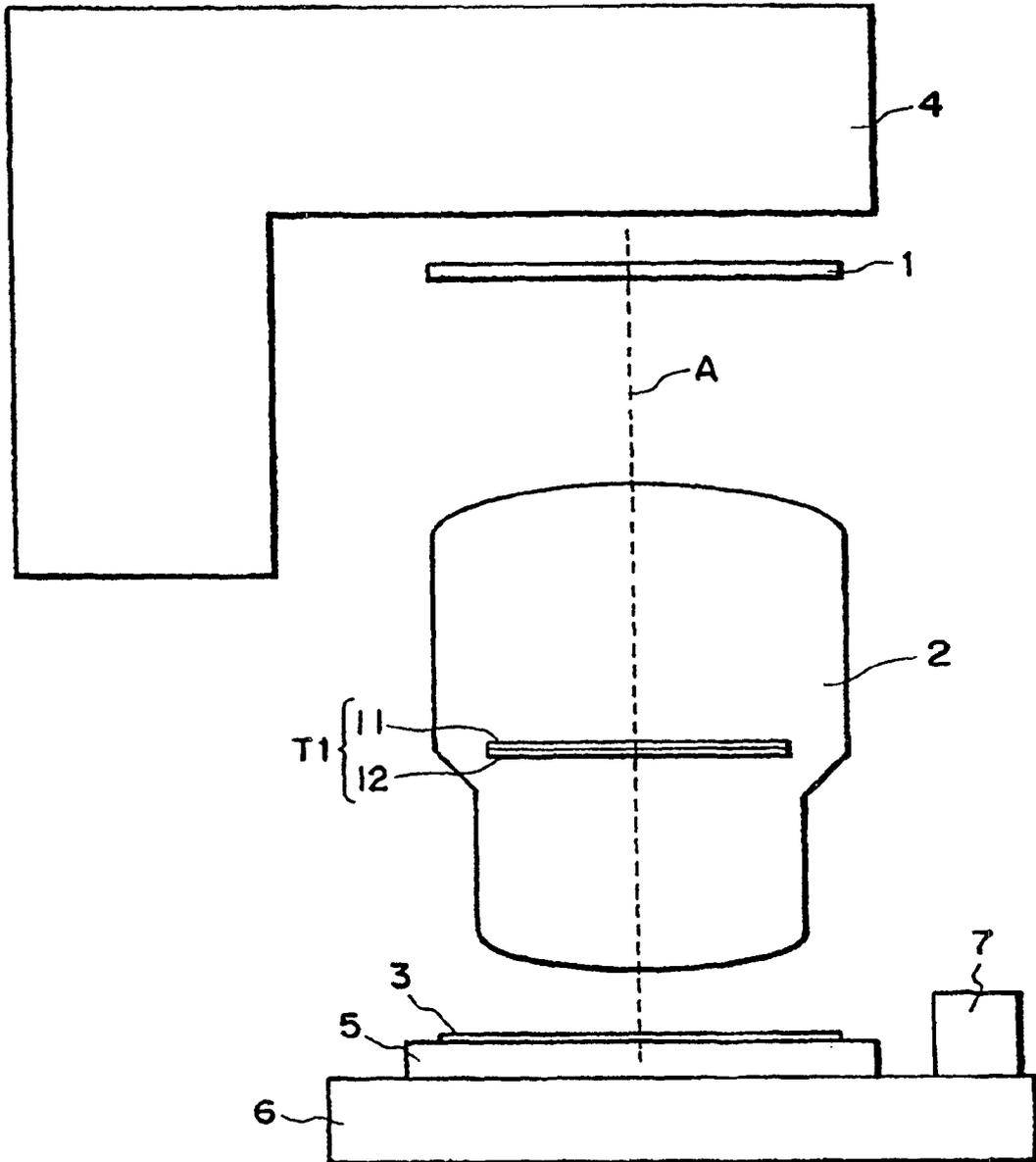


FIG. 1

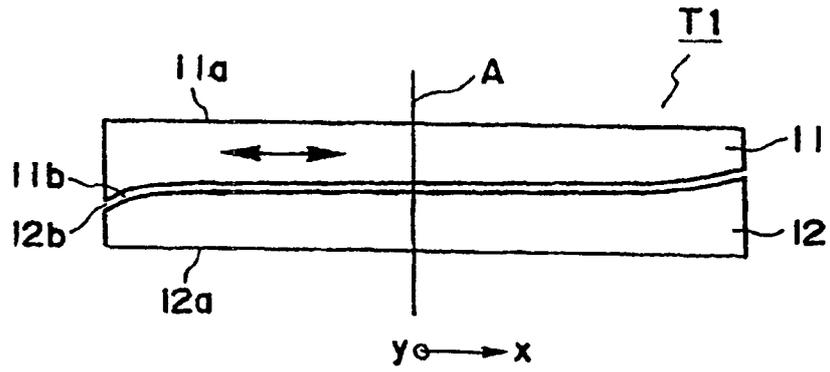


FIG. 2

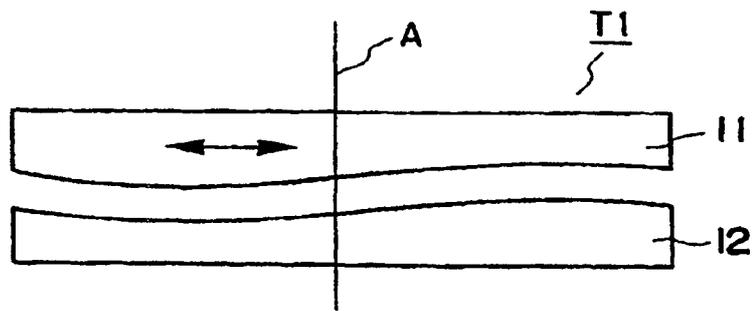


FIG. 3

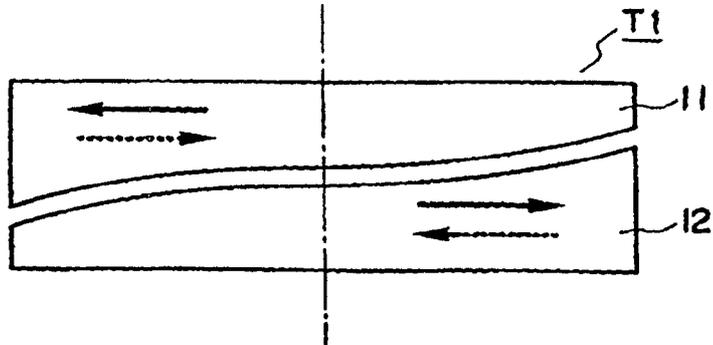


FIG. 4

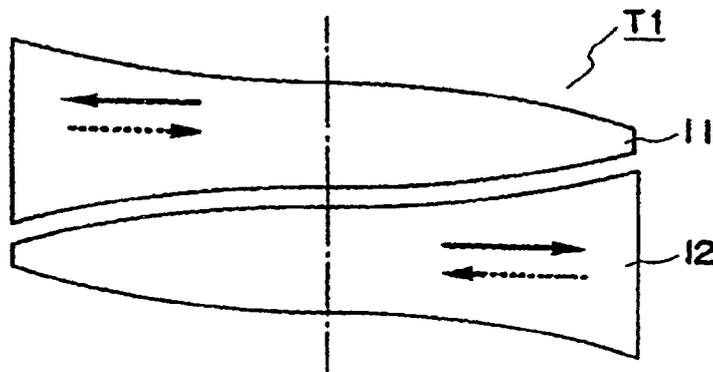


FIG. 5

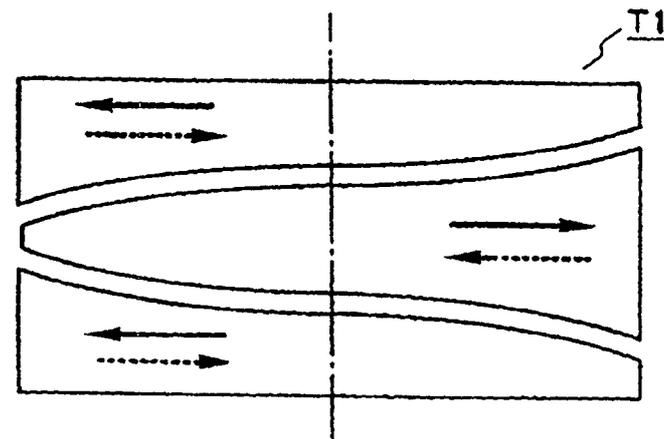


FIG. 6

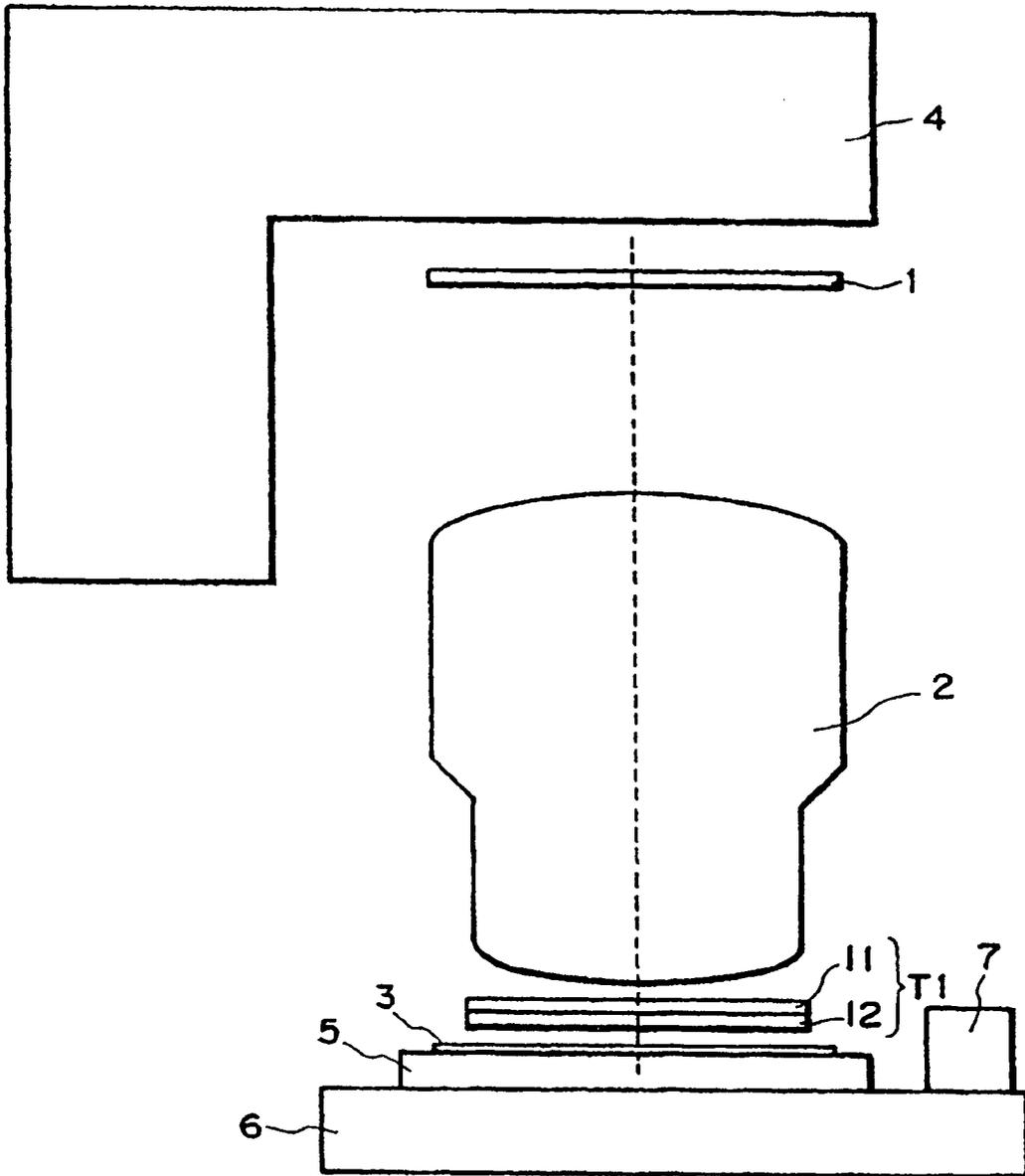


FIG. 7

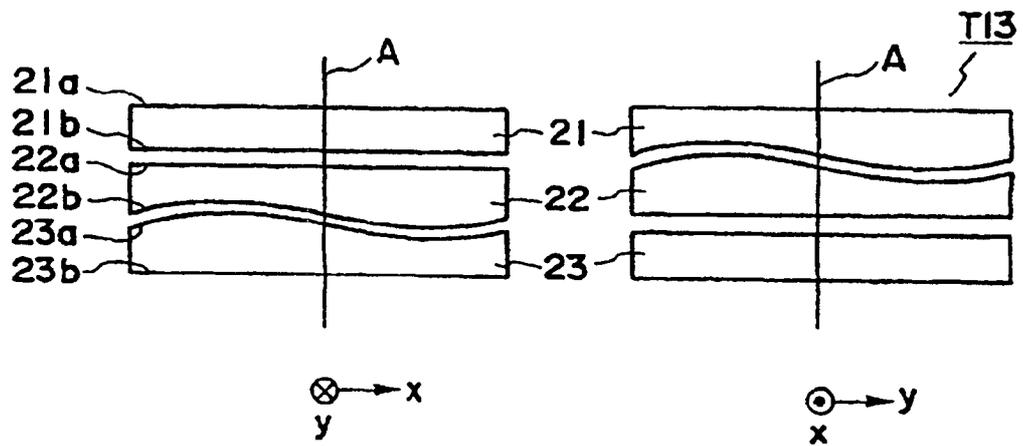


FIG. 8

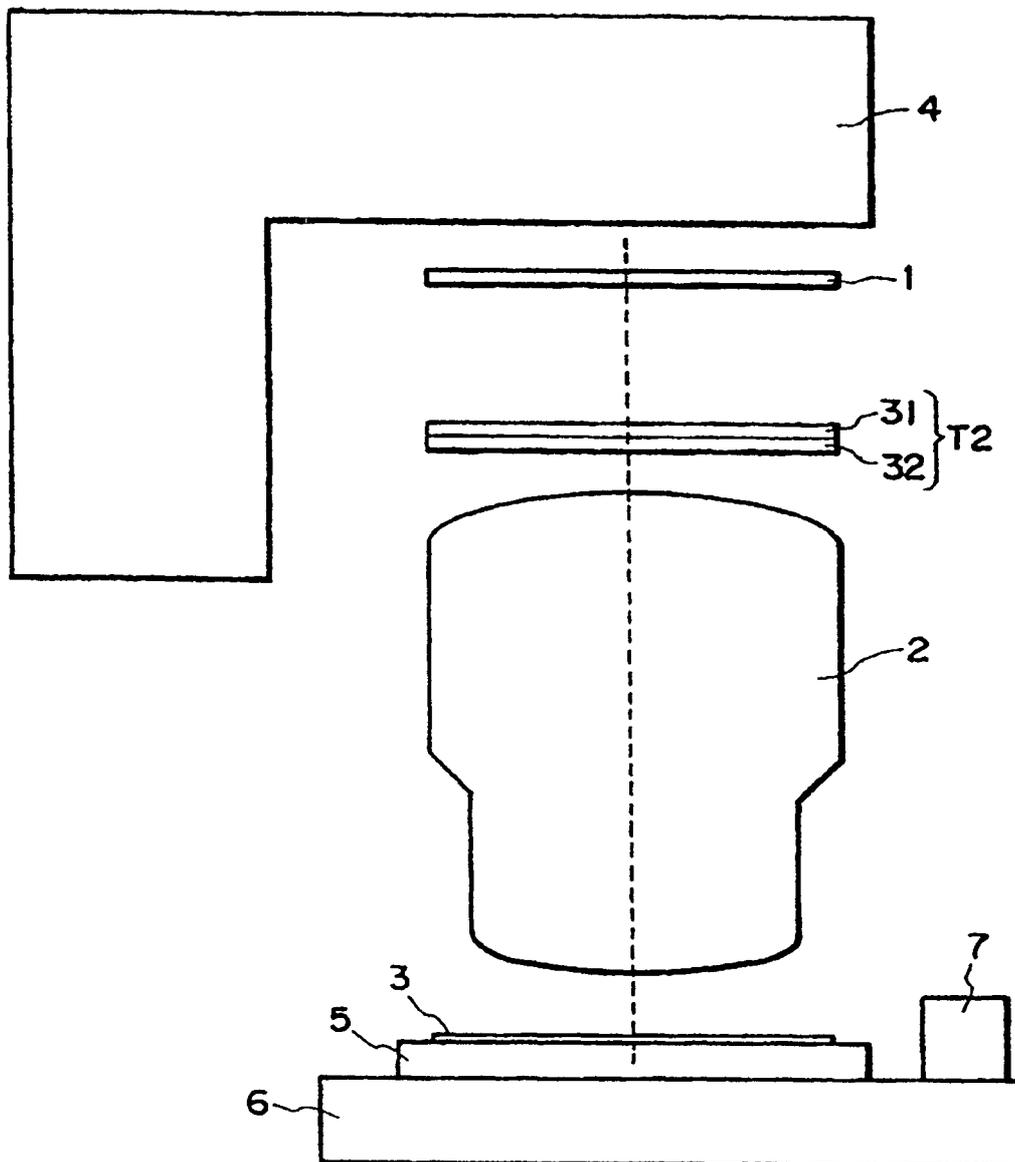


FIG. 9

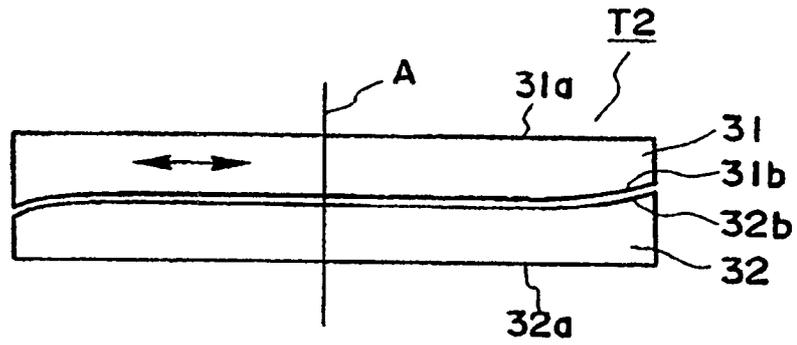


FIG. 10

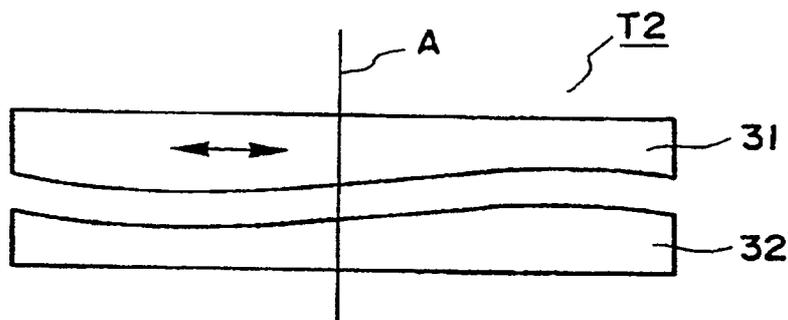


FIG. 11

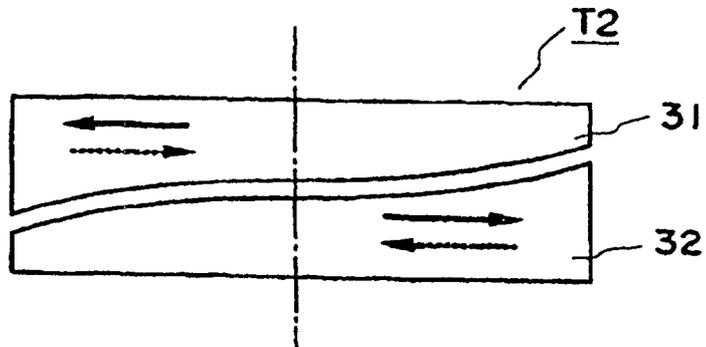


FIG. 12

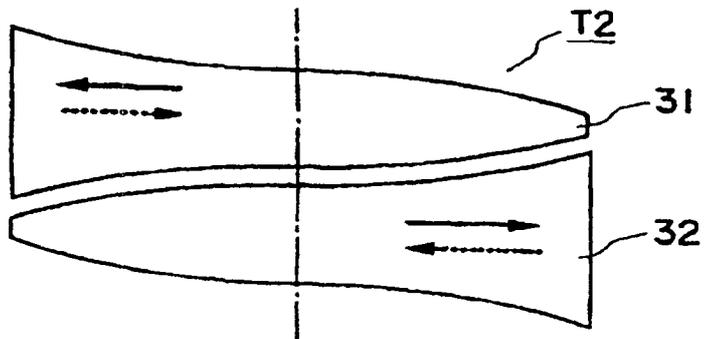


FIG. 13

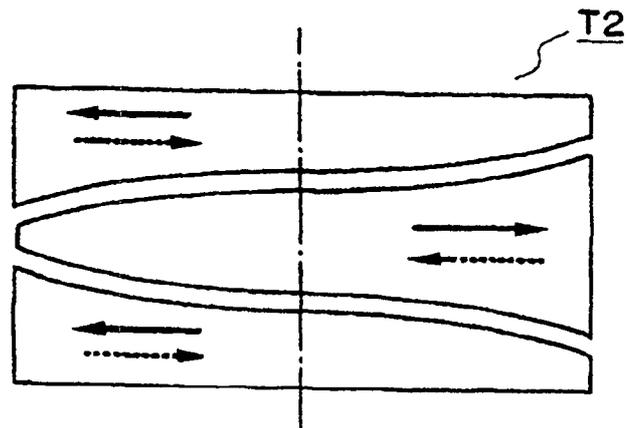


FIG. 14

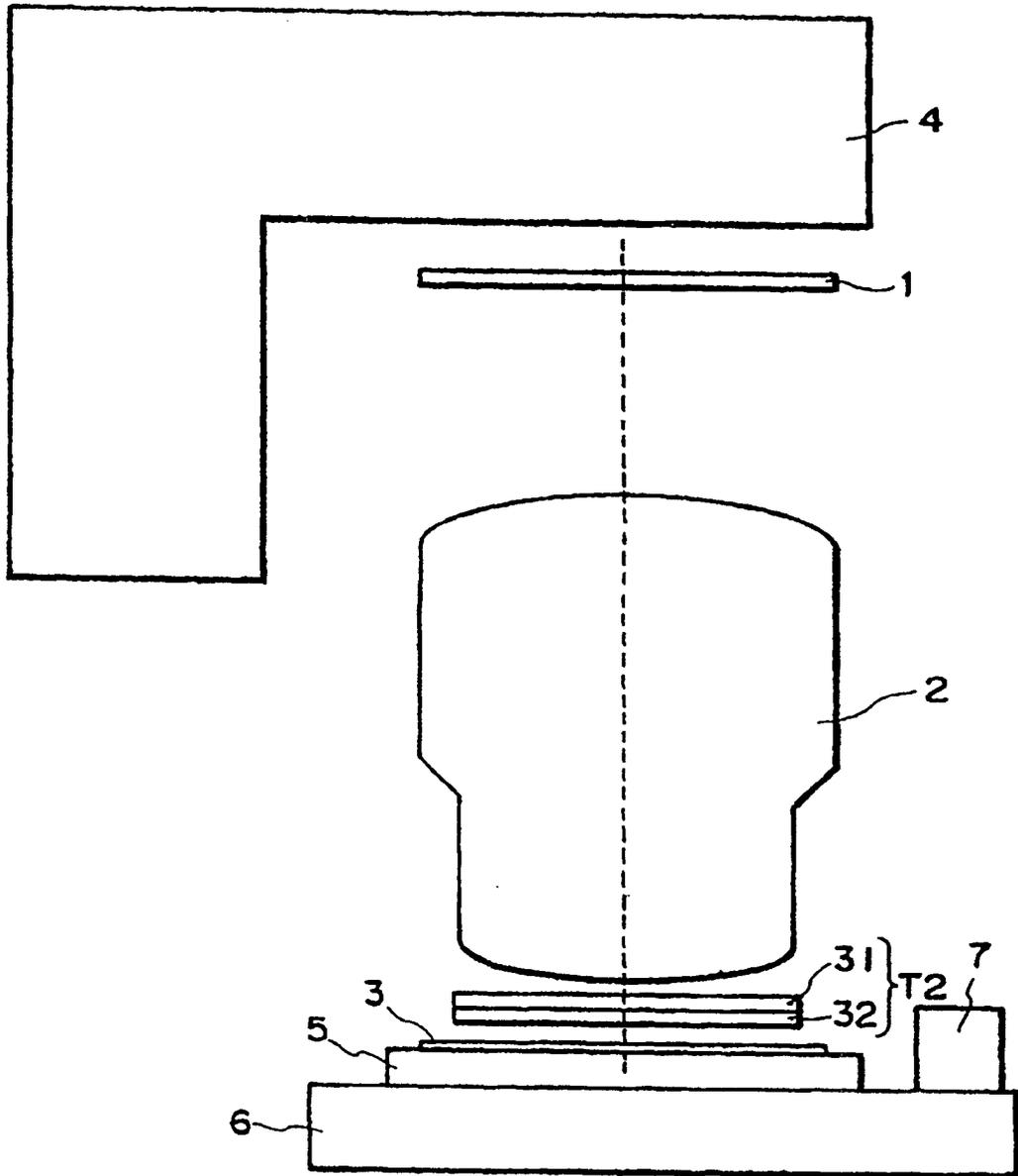


FIG. 15

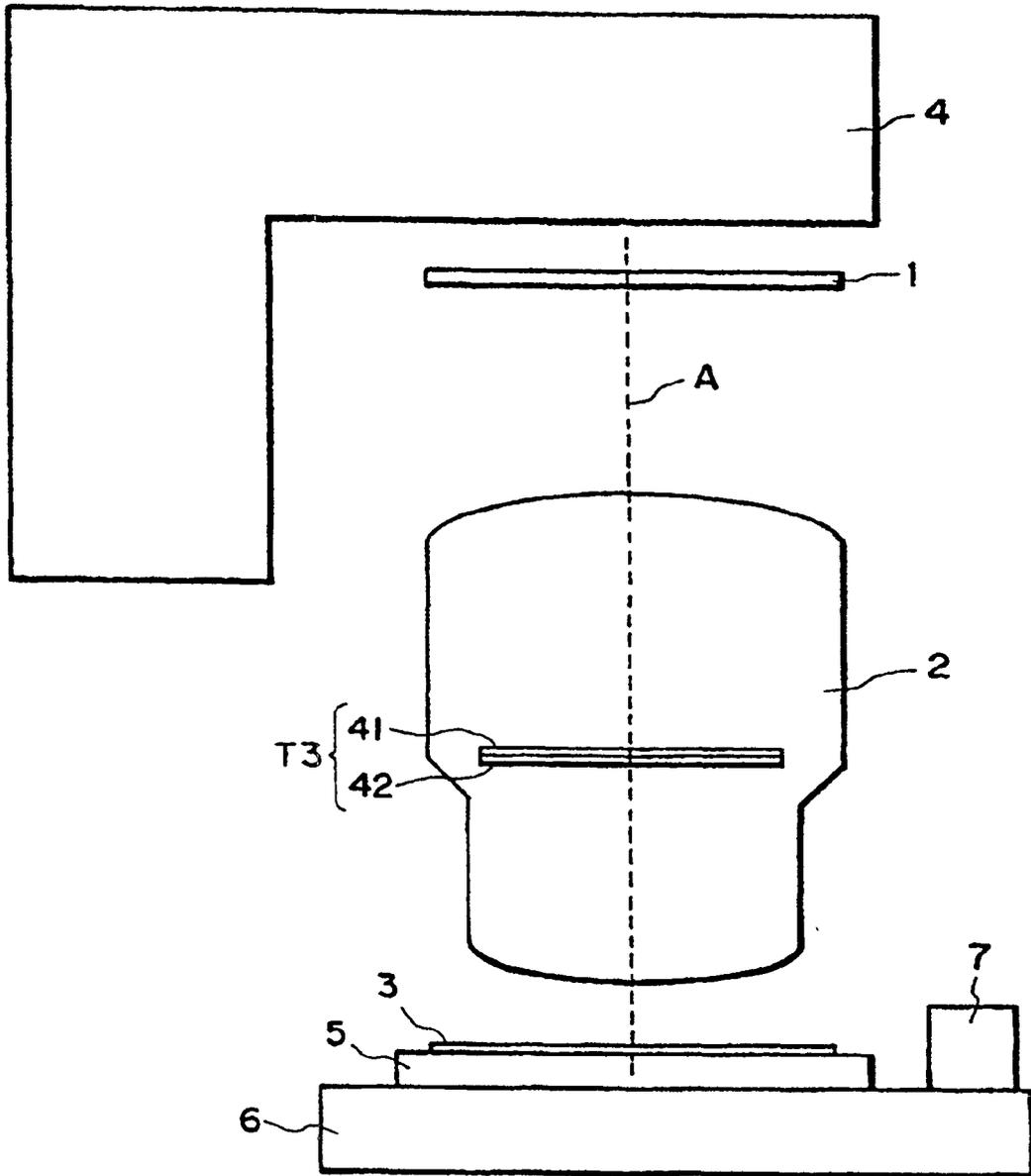


FIG. 16

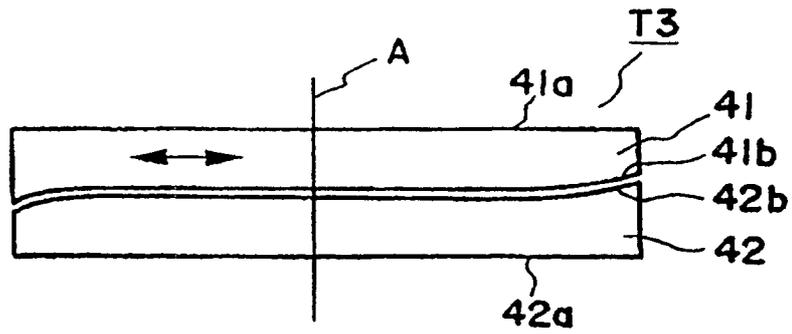


FIG. 17

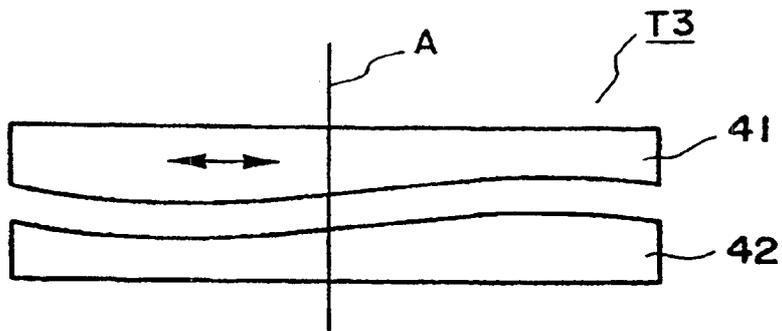


FIG. 18

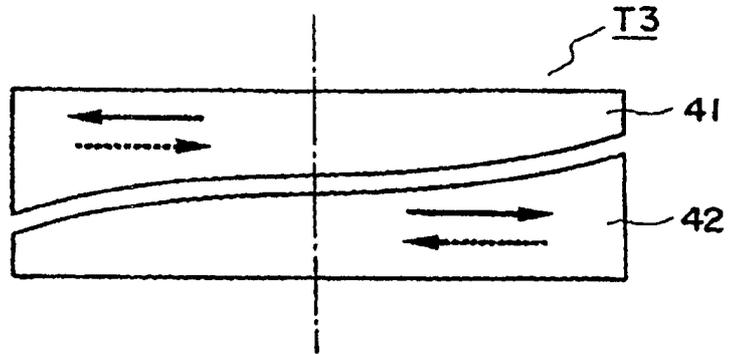


FIG. 19

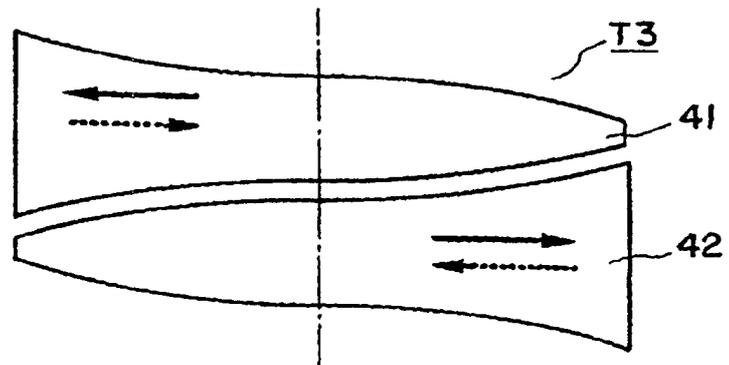


FIG. 20

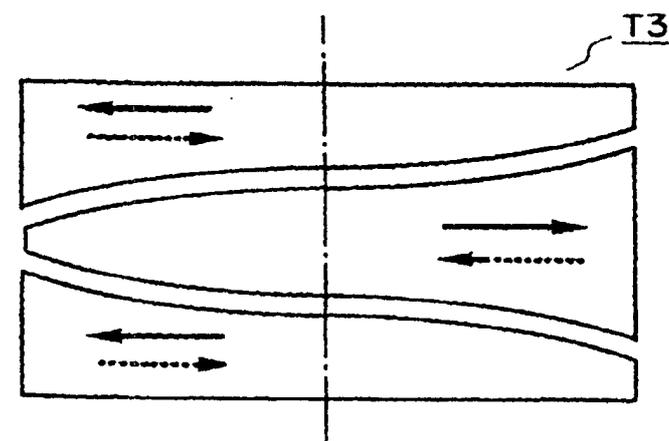


FIG. 21

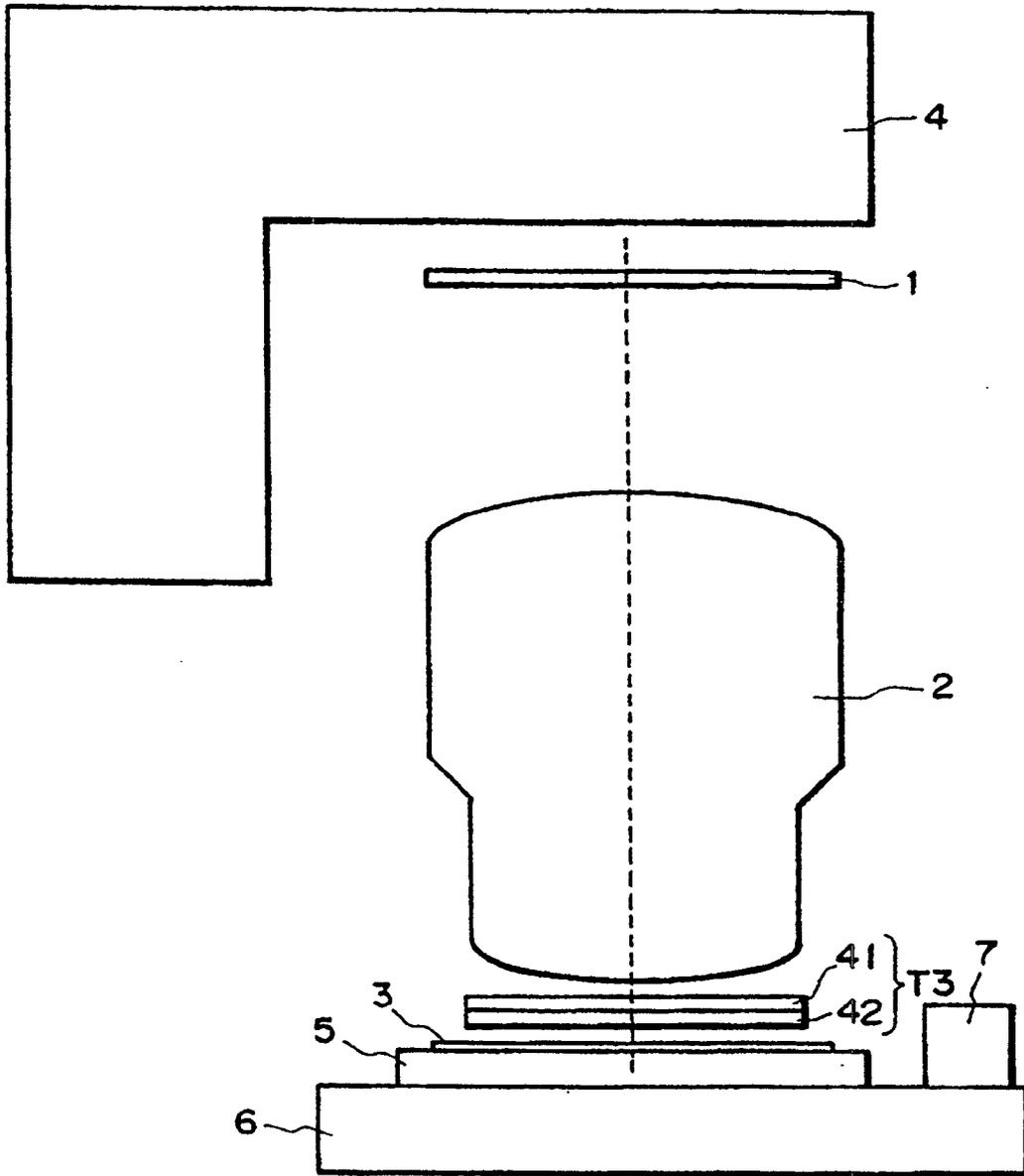


FIG. 22

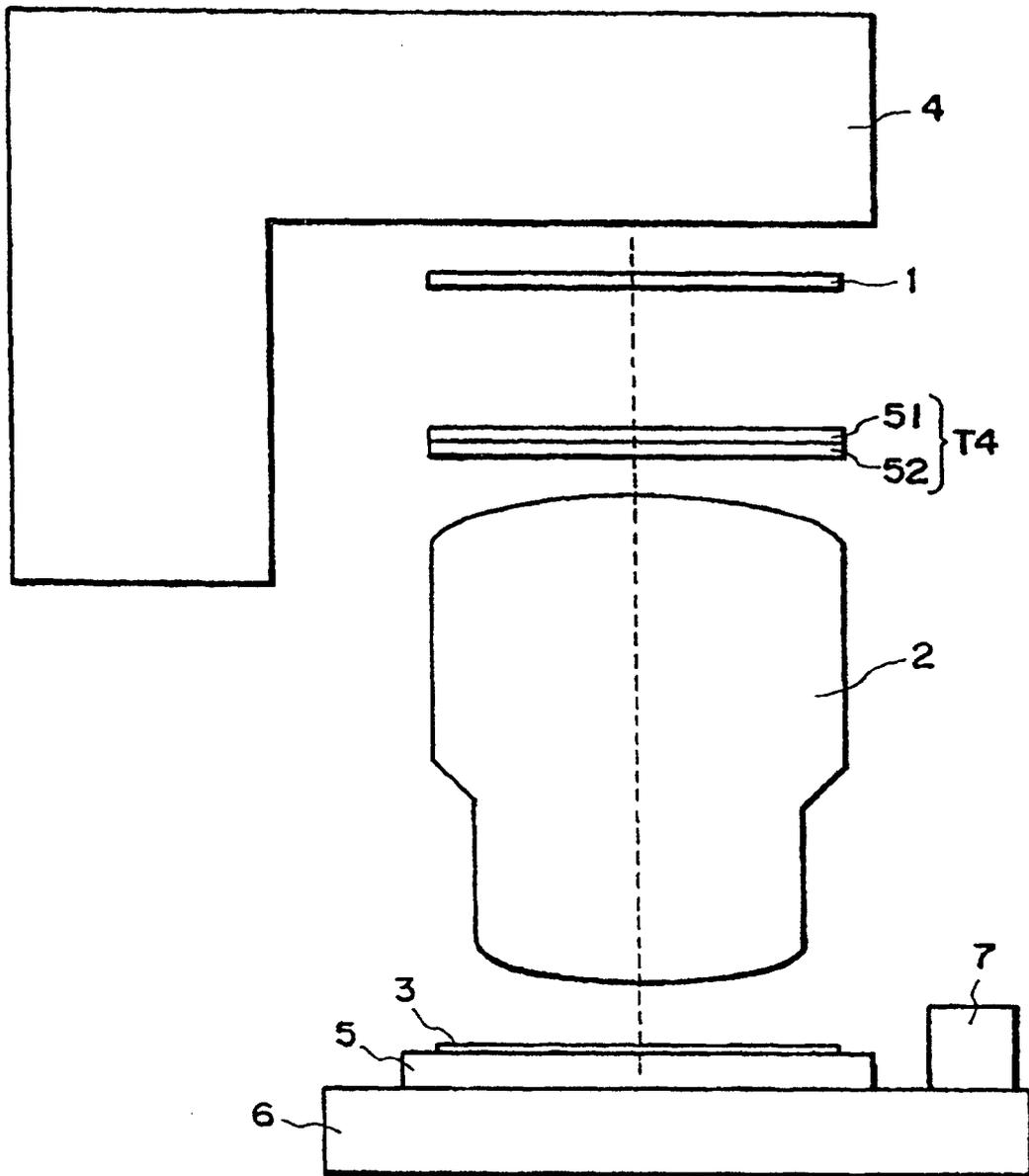


FIG. 23

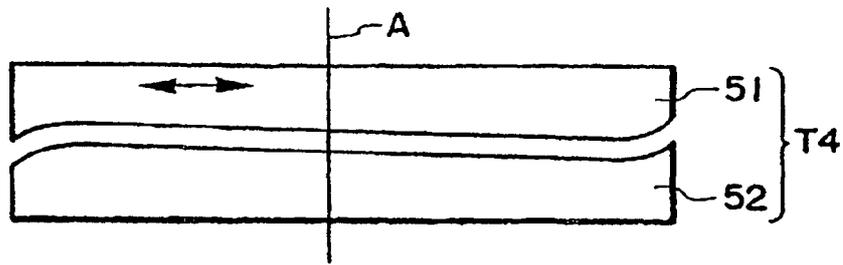


FIG. 24

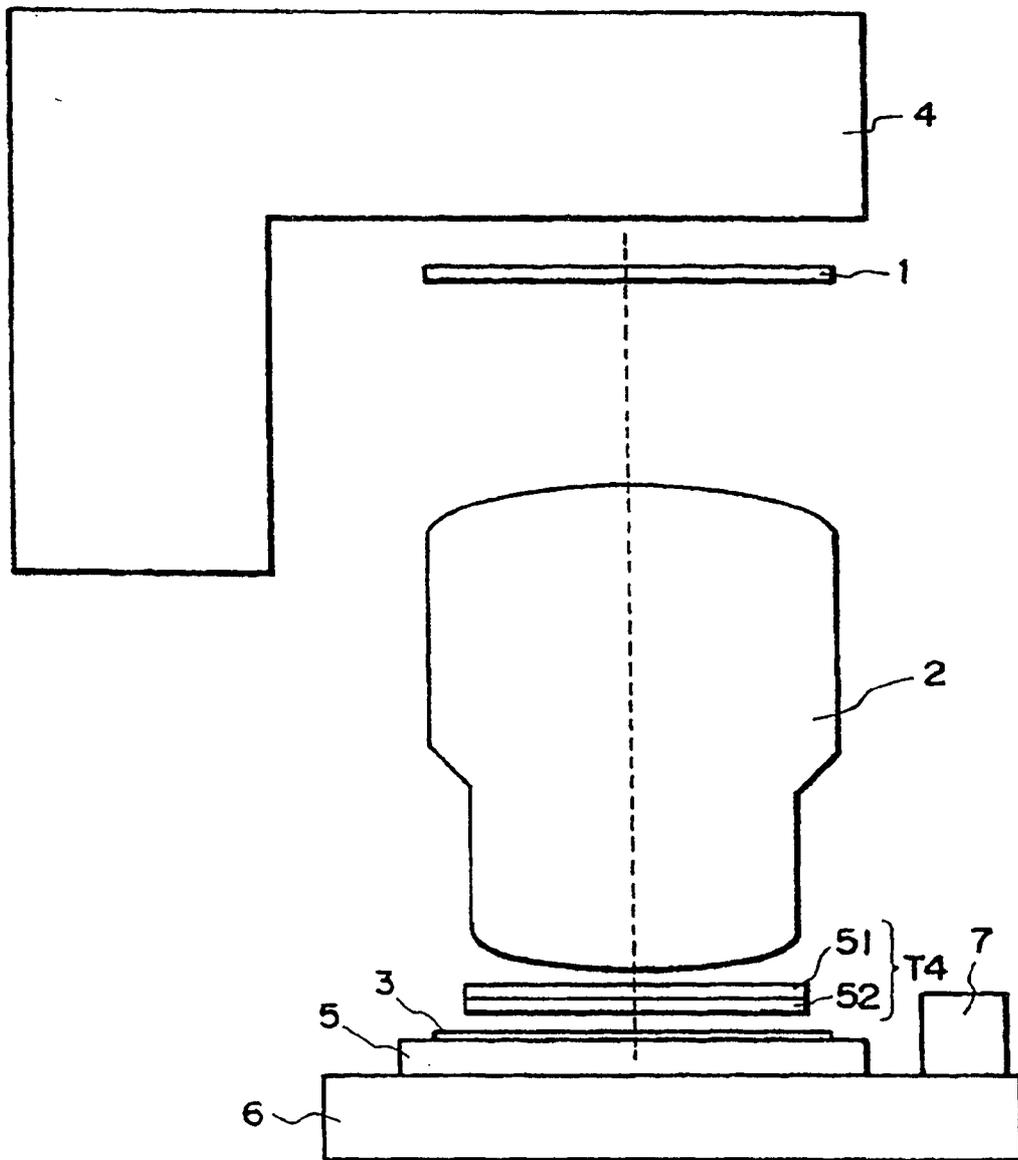


FIG. 25

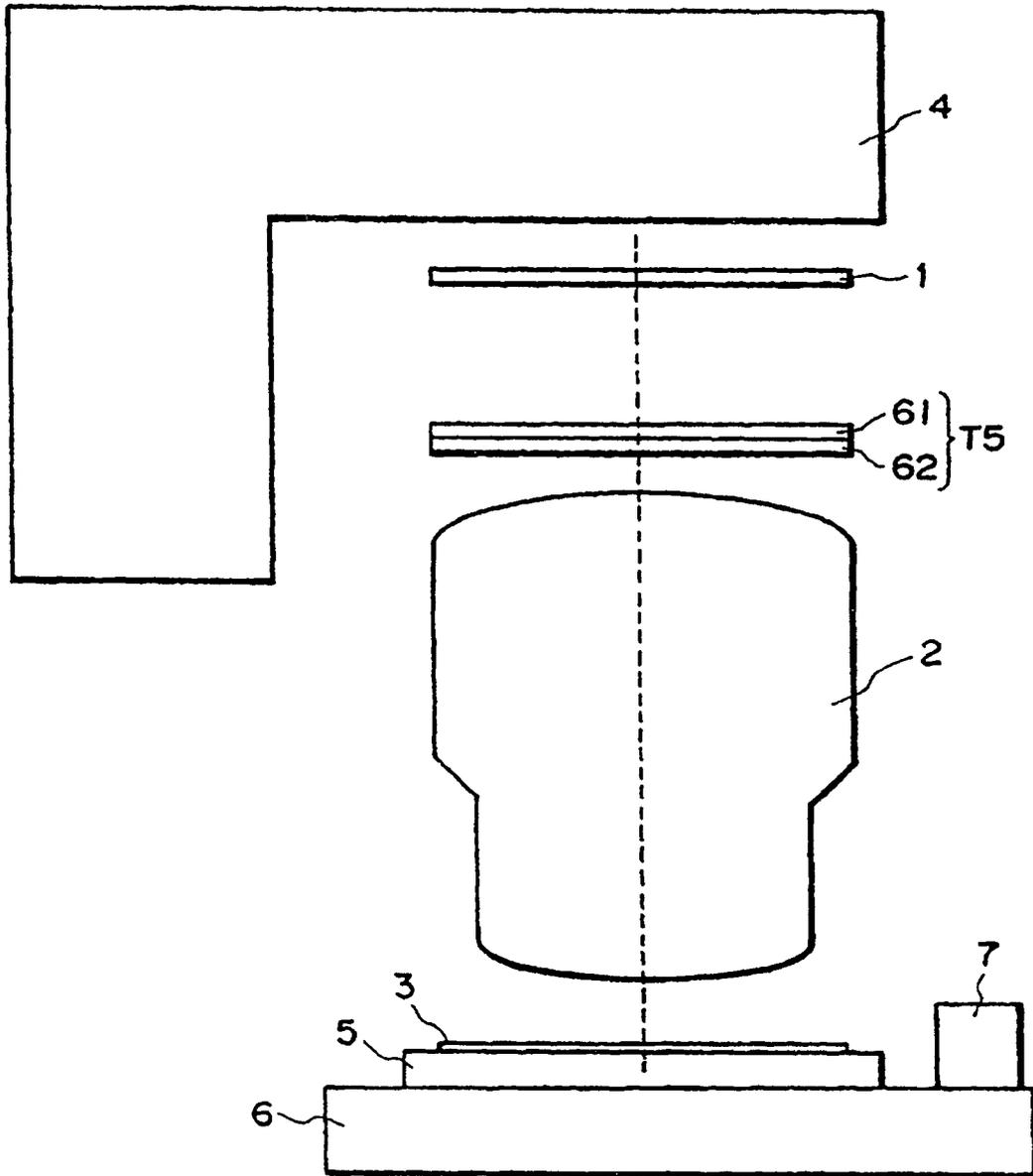


FIG. 26

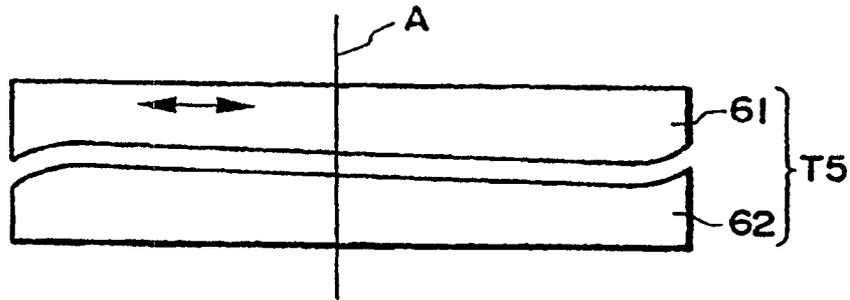


FIG. 27

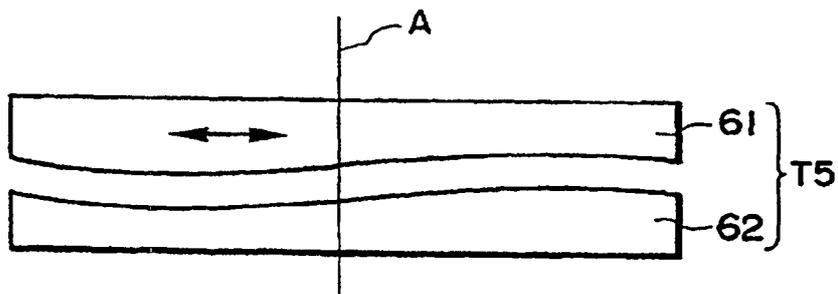


FIG. 28

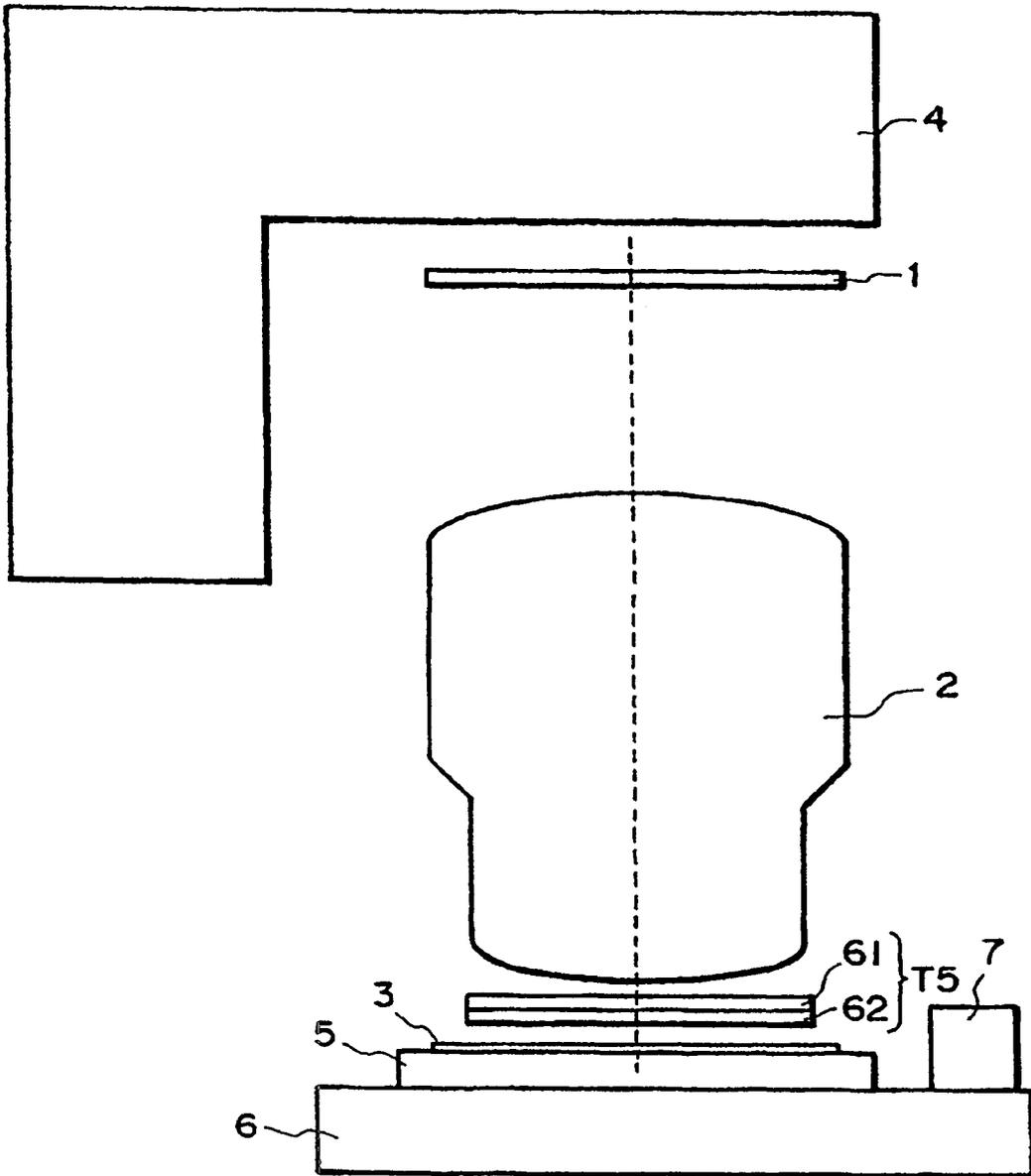


FIG. 29

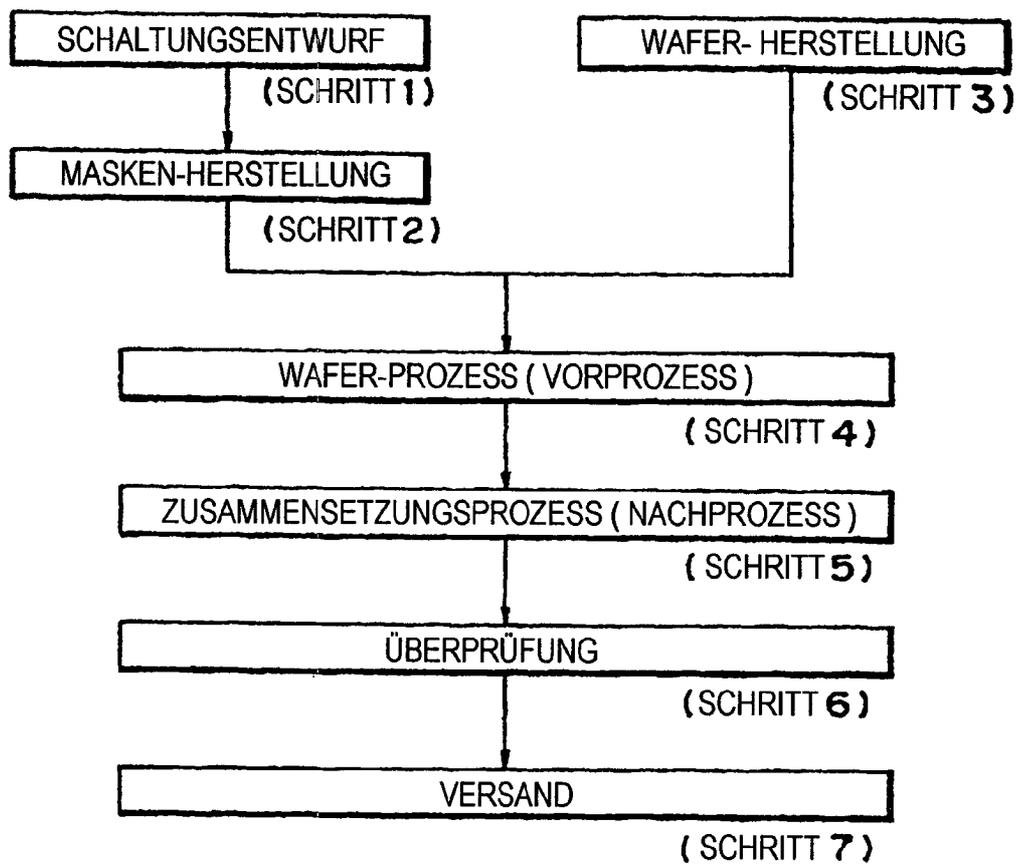


FIG. 30

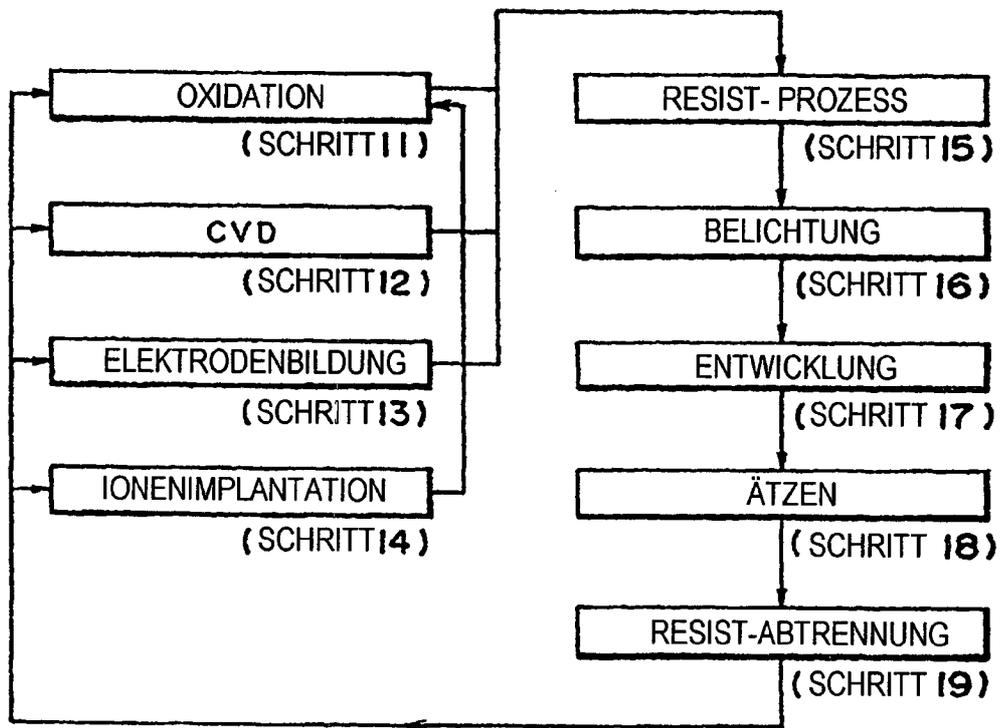


FIG. 31