



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 01 691 T2** 2004.02.12

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 069 448 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 01 691.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 305 938.3**

(96) Europäischer Anmeldetag: **13.07.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **17.01.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **19.03.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.02.2004**

(51) Int Cl.⁷: **G02B 17/08**
G03F 7/20

(30) Unionspriorität:

19946799 13.07.1999 JP

(73) Patentinhaber:

Nikon Corp., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:

**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80538 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, NL

(72) Erfinder:

**Suenaga, Yutaka, Tokyo, JP; Miyashita, Tomohiro,
Tokyo, JP; Yamaguchi, Kotaro, Tokyo, JP**

(54) Bezeichnung: **Katadioptrisches optisches System und Projektionsbelichtungsvorrichtung mit einem solchen System**

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**HINTERGRUND DER ERFINDUNG****Erfindungsgebiet**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein katadioptrisches optisches System und eine mit dem katadioptrischen optischen System ausgestattete Projektionsbelichtungsanordnung, die sich für den Einsatz bei der Herstellung in einem fotolithografischen Prozess eignet, z. B. bei der Herstellung einer Halbleitervorrichtung oder einer Flüssigkristallanzeigevorrichtung. Konkret betrifft die Erfindung ein katadioptrisches optisches System, das sich für eine Scan-Projektionsbelichtungsanordnung eignet.

Dazugehöriger Stand der Technik

[0002] In einem fotolithografischen Prozess zur Herstellung von Halbleitergeräten und dergleichen wird eine Projektionsbelichtungsanordnung verwendet, mit der ein auf einer Fotomaske oder einer Zwischenmaske (nachfolgend gemeinsam als eine „Zwischenmaske“ bezeichnet) ausgebildetes Musterbild mit Hilfe eines optischen Projektionssystems auf einen mit einem Fotoresist oder dergleichen beschichteten Wafer, eine solche Glasplatte usw. projiziert und dort belichtet wird. Mit der Verbesserung der Integration der Halbleitervorrichtungen und dergleichen ist auch der Bedarf an einem optischen Projektionssystem mit höherer Auflösung, das bei der Projektionsbelichtungsanordnung zum Einsatz kommt, entstanden. Um einen derartigen Bedarf zu decken, war es notwendig, die Wellenlänge des Beleuchtungslichtes zu verkürzen und die numerische Apertur (nachstehend als „NA“ bezeichnet) des optischen Projektionssystems zu vergrößern. Im Hinblick auf die Wellenlänge des Beleuchtungslichtes wird konkret KrF-Excimer-Laserlicht verwendet ($\lambda = 248 \text{ nm}$), welches die g-Linie ($\lambda = 436 \text{ nm}$), die i-Linie ($\lambda = 365 \text{ nm}$) und weitere ersetzt. Künftig wird wahrscheinlich ArF-Excimer-Laserlicht ($\lambda = 193 \text{ nm}$) sowie F_2 -Laserlicht ($\lambda = 157 \text{ nm}$) verwendet.

[0003] Da jedoch die Wellenlänge des Beleuchtungslichtes kürzer wird, können infolge der Lichtabsorption weniger Arten von Glasmaterialien praktisch zum Einsatz kommen. Wenn das optische Projektionssystem ausschließlich mit einem Brechungssystem ausgestattet ist, d. h. nur mit optischen Elementen und ohne einen reflektierenden Spiegel mit Brechungsvermögen (ein konkaver oder konvexer Spiegel), kann deshalb eine chromatische Aberration nicht korrigiert werden. Aufgrund der extrem hohen Anforderungen an die optische Leistung des optischen Projektionssystems sollten die verschiedenen Arten von Aberrationen auf ein Niveau korrigiert werden, an dem fast keine Aberration mehr vorhanden ist. Zum Korrigieren der verschiedenen Arten von Aberrationen auf die gewünschte optische Leistung eines optischen Brechungs-Projektionssystems, das aus Linsenelementen besteht (siehe z. B. die ungeprüfte japanische Patentoffenlegung Hei Nr. 5-173065) sind 18 oder mehr Linsenelemente erforderlich, und es ist schwierig, eine Lichtabsorption zu unterdrücken und einen Anstieg der Herstellungskosten zu vermeiden. Darüber hinaus kann bei Verwendung von extremem ultraviolettem Licht mit einer Wellenlänge von 200 nm oder weniger die optische Leistung z. B. durch die Lichtabsorption im Glasmaterial und auf einem Antireflexionsfilm auf der Linsenoberfläche beeinträchtigt werden.

[0004] Wenngleich die Oszillationsbandbreite der Laserlichtquellen mit einer Oszillationswellenlänge von 200 nm oder weniger bereits erheblich eingegrenzt wurde, so hat die Bandbreite immer noch einen bestimmten Wellenlängenbereich. Folglich muss zum Projizieren und Belichten eines Musters mit gutem Kontrast die Korrektur der chromatischen Aberration in der Größenordnung von pm (Pikometer) liegen. Bei dem optischen System, das in der oben erwähnten ungeprüften japanischen Patentoffenlegung Hei Nr. 5-173065 offen gelegt ist, handelt es sich um ein Brechungs-Linsensystem, das aus einer einzigen Art Glasmaterial besteht, und seine chromatische Aberration ist zu groß, als dass es mit einer Lichtquelle verwendet werden könnte, die einen Wellenlängenbereich aufweist.

[0005] Andererseits ruft ein optisches Reflexionssystem unter Ausnutzung der Brechkraft eines konkaven Spiegels und dergleichen keine chromatische Aberration hervor und erzeugt im Hinblick auf die Petzval-Summe einen Anteil mit entgegen gesetztem Vorzeichen bei einem Linsenelement. Im Ergebnis dessen kann ein so genanntes katadioptrisches optisches System (nachstehend als „katadioptrisches optisches System“ bezeichnet), welches ein katoptrisches optisches und ein dioptrisches optisches System miteinander kombiniert, die chromatische Aberration sowie verschiedene andere Aberrationen auf ein Niveau korrigieren, bei dem fast keine Aberration vorliegt, ohne dabei die Anzahl von Linsen zu erhöhen. Folglich handelt es sich bei einem katadioptrischen optischen System um ein optisches System mit wenigstens einem Linsenelement und wenigstens einem reflektierenden Spiegel mit Brechkraft. Wenn jedoch ein konkaver Spiegel auf der optischen Achse eines optischen Projektionssystems einer Projektionsbelichtungsanordnung eingebaut ist, wird von der Zwischenmaske auf den konkaven Spiegel fallendes Licht zur Zwischenmaske hin reflektiert. Im Hinblick auf dieses Problem sind zahlreiche Verfahren zum Trennen des optischen Weges von Licht, das auf einen konkaven Spiegel auftrifft, von dem optischen Weg von Licht, das von dem konkaven Spiegel reflektiert wird, sowie

zum Lenken des reflektierten Lichtes von dem konkaven Spiegel in die Richtung des Wafers vorgeschlagen worden, d. h. verschiedene Verfahren zur Umsetzung eines optischen Projektionssystems mit Hilfe eines katadioptrischen optischen Systems.

[0006] Wenn demgegenüber ein Strahlenteiler verwendet wird, wie dies in dem optischen System der Fall ist, das in der ungeprüften japanischen Patentoffenlegung Hei Nr. 5-281469 beschrieben ist, ist es schwierig, großformatiges Glasmaterial zur Herstellung des optischen Systems zu befestigen. Darüber hinaus wird im Falle des optischen Systems, das in der ungeprüften japanischen Patentanmeldung Hei Nr. 5-51718 offen gelegt ist, ein Klappspiegel für den optischen Weg (Klappspiegel) oder ein Strahlenteiler benötigt, weiterhin ist zur Herstellung des optischen Systems eine Vielzahl von Linsentuben notwendig, was zu Problemen beispielsweise bei der Herstellung oder Justierung optischer Elemente führt. Ein Lichtstrahl trifft schräg auf einen planen reflektierenden Spiegel (Klappspiegel) auf, um die Richtung des optischen Weges in einem katadioptrischen optischen System wie benötigt zu ändern. Dementsprechend ist eine extrem hohe Oberflächengenauigkeit des Spiegels erforderlich, was Schwierigkeiten bei der Herstellung des Spiegels mit sich bringt. Darüber hinaus wird der Spiegel schnell durch Vibrationen beeinträchtigt.

[0007] Wenn ein Trennverfahren für den optischen Weg zum Einsatz kommt, wie es in dem USA-Patent Nr. 5,717,518 verwendet wird, können die optischen Elemente, die ein optisches System bilden, sämtlich auf einer einzigen optischen Achse angeordnet werden. Dadurch kann das optische System mit hoher Genauigkeit hergestellt werden, wobei ein Justierverfahren für optische Elemente zum Einsatz kommt, das konventionell bei der Herstellung eines optischen Projektionssystems verwendet wird. Allerdings ist bei dem System ein zentraler Lichtabschirmabschnitt erforderlich, um den sich entlang der optischen Achse ausbreitenden Lichtstrahl abzuschirmen, woraus sich eine Kontrastverschlechterung eines Musters mit bestimmter Frequenz ergibt.

[0008] Da es schwierig ist, einem Antireflexionsfilm mit ausreichender optischer Leistung im extremen ultravioletten Wellenlängenbereich zu erzeugen, muss die Anzahl optischer Elemente, die ein optisches System bilden, soweit wie möglich verringert werden.

[0009] Wie aus dem Obigen abgeleitet werden kann, wird es bevorzugt, wenn zum Belichten eines Musters mit einer Linienstärke von 0,18 μm oder weniger ein optisches System geschaffen wird, welches ein gutes chromatisches Aberrationskorrekturvermögen selbst dann aufweist, wenn eine Lichtquelle mit einer Wellenlänge von 200 nm oder weniger zum Einsatz kommt, z. B. ein ArF- oder F_2 -Laser, wenn keine zentrale Lichtabschirmung zur Anwendung kommt, eine hohe numerische Apertur von 0,6 NA oder mehr gewährleistet und die Anzahl von brechenden und reflektierenden Komponenten soweit wie möglich reduziert.

[0010] EP 0 779 528 A betrifft ein optisches Projektions-Reduktionssystem mit einem ersten Spiegelpaar, einem Feldspiegelpaar, das Licht von dem ersten Spiegelpaar empfängt, und einem dritten Spiegelpaar, welches Licht von dem Feldspiegelpaar empfängt, wodurch ein Zwischenbild erneut abgebildet wird und auf einer Bildebene ein endgültiges Bild entsteht.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0011] Die vorliegenden Erfindung entstand angesichts der obigen Probleme, und die Aufgabe der Erfindung besteht in der Schaffung eines katadioptrischen optischen Systems, bei dem die chromatische Aberration im extremen ultravioletten Wellenlängenbereich gut korrigiert wird, konkret im Wellenlängenbereich von 200 nm oder weniger, und bei dem eine NA (0,6 oder mehr) gewährleistet wird, die für eine hohe Auflösung benötigt wird, und wobei die Anzahl der brechenden und reflektierenden Komponenten soweit wie möglich verringert wird, und in der Schaffung eines Projektionsbelichtungsgerätes, das mit dem optischen System ausgestattet ist.

[0012] Die vorliegende Erfindung erzeugt ein katadioptrisches optisches System gemäß Anspruch 1.

[0013] Weiterhin schafft die Erfindung eine Projektionsbelichtungsvorrichtung gemäß Anspruch 9.

[0014] Bevorzugte Merkmale sind in den abhängigen Patentansprüchen dargelegt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0015] **Fig. 1** ist eine Ansicht, die schematisch die Konfiguration einer Projektionsbelichtungsvorrichtung veranschaulicht, die mit einem katadioptrischen optischen Projektionssystem versehen ist, auf das die vorliegende Erfindung angewandt wird.

[0016] **Fig. 2** ist eine Ansicht, die eine Linsenkonfiguration eines katadioptrischen optischen Systems gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

[0017] **Fig. 3** ist eine Ansicht, die die Queraberrationen des katadioptrischen optischen Systems nach der ersten Ausführungsform zeigt.

[0018] **Fig. 4** ist eine Ansicht, die eine Linsenkonfiguration eines katadioptrischen optischen Systems nach einer zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform zeigt.

[0019] **Fig. 5** ist eine Ansicht, die die Queraberrationen des katadioptrischen optischen Systems nach der

zweiten Ausführungsform zeigt.

[0020] **Fig. 6** ist eine Ansicht, die die Linsenkonfiguration eines katadioptrischen optischen Systems nach einer dritten erfindungsgemäßen Ausführungsform zeigt.

[0021] **Fig. 7** ist eine Ansicht, die die Queraberrationen des katadioptrischen optischen Systems nach der dritten Ausführungsform zeigt.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0022] Nachfolgend wird das katadioptrische optische System nach einer erfindungsgemäßen Ausführungsform anhand der beiliegenden Zeichnungen beschrieben. Bei dem System handelt es sich um ein katadioptrisches optisches System, das mit einem ersten katadioptrischen optischen Bilderzeugungssystem G1 zum Ausbilden eines Zwischenbildes **11** auf einer ersten Fläche **3** und mit einem zweiten optischen Brechungs-Belichtungssystem G2 zum telezentrischen Ausbilden des fertigen Bildes der ersten Fläche **3** auf einer zweiten Fläche **9** (Waferoberfläche, d. h. die endgültige Bildebene) auf der Basis von Licht von dem Zwischenbild ausgestattet ist. Das erste optische System G1 weist eine Linsengruppe auf, die wenigstens ein positives Linsenelement, eine erste reflektierende Fläche M1, die Licht reflektiert, welches durch die Linsengruppe hindurch tritt und im Wesentlichen parallel ausgerichtet ist, und eine zweite reflektierende Fläche M2, mit der Licht zu dem zweiten optischen Bilderzeugungssystem G2 gerichtet wird, das von der ersten reflektierenden Fläche M1 reflektiert wurde, wobei wenigstens eine von der ersten und der zweiten reflektierenden Fläche eine konkave reflektierende Fläche ist. Weiterhin verfügt das zweite optische Bilderzeugungssystem G2 über eine Aperturblende AS, alle optischen Elemente des katadioptrischen optischen Systems sind auf einer einzigen linearen optischen Achse AX angeordnet, die erste Fläche **3** und die zweite Fläche **9** sind ebene Flächen, die weitgehend parallel zueinander verlaufen, und eine Austrittspupille des katadioptrischen optischen Systems ist weitgehend kreisförmig.

[0023] Ein geeignet aufgebautes katadioptrisches optisches System erreicht man, indem der effektiven projizierten Fläche eine ringförmige Form verliehen wird und indem eine gegenseitige Beeinträchtigung der optischen Elemente durch geeignete Positionierung der ersten und der zweiten reflektierenden Fläche M1 und M2 verhindert wird.

[0024] Darüber hinaus wird bei der vorliegenden Erfindung die folgende Bedingung vorzugsweise erfüllt:

$$(1) \quad 0,04 < |f_{M1}|/L < 0,4$$

wobei f_{M1} eine Brennweite der konkaven reflektierenden Fläche der ersten oder der zweiten reflektierenden Fläche ist und L der Abstand zwischen der optischen Achse AX von der ersten Fläche **3** zur zweiten Fläche **9** ist. Die Bedingung (1) definiert einen angemessenen Brechkraftbereich der konkaven reflektierenden Fläche.

[0025] Die positive Petzval-Summe, die von den Brechungslinsen erzeugt wird, wird um die negative Petzval-Summe korrigiert, die durch den konkaven Spiegel entsteht. Wenn die Brechkraft über dem oberen Grenzwert der Bedingung (1) liegt, kann die positive Petzval-Summe, die von den Brechungslinsen erzeugt wird, nicht ausreichend korrigiert werden, und die Ebenheit des Bildes verschlechtert sich. Wenn demgegenüber die Brechkraft unter dem unteren Grenzwert der Bedingung (1) liegt, wird die Petzval-Summe zu stark korrigiert, und die Ebenheit des Bildes verschlechtert sich genauso.

[0026] Darüber hinaus wird bei der vorliegenden Erfindung vorzugsweise die folgende Bedingung erfüllt:

$$(2) \quad 0,6 < |\beta_{M1}| < 20$$

wobei β_{M1} eine Vergrößerung der konkaven reflektierenden Fläche der ersten oder zweiten reflektierenden Fläche darstellt. Die Bedingung (2) definiert einen angemessenen Vergrößerungsbereich des konkaven reflektierenden Spiegels. Wenn die Vergrößerung über dem oberen Grenzwert der Bedingung (2) oder unter dem unteren Grenzwert der Bedingung (2) liegt, wird die Symmetrie des ersten Bilderzeugungssystems G1 stark beeinträchtigt, es entsteht ein großer Asymmetriefehler und die Bildqualität verschlechtert sich.

[0027] Zudem wird bei der vorliegenden Erfindung die folgende Bedingung vorzugsweise erfüllt:

$$(3) \quad 0,3 < |\beta_1| < 1,8$$

[0028] Wobei β_1 die Vergrößerung des ersten optischen Bilderzeugungssystems G1 ist. Die Bedingung (3)

definiert einen angemessenen Vergrößerungsbereich des ersten optischen Bilderzeugungssystems G1. Wenn die Vergrößerung über dem oberen Grenzwert der Bedingung (3) oder unter dem unteren Grenzwert der Bedingung (3) liegt, bricht das Gleichgewicht der Brechkräfte zusammen, wodurch eine Verzerrungs-Aberration (Verzerrung) und ein Asymmetriefehler entstehen und die Belichtungsleistung abnimmt.

[0029] Bei der vorliegenden Erfindung ist es weiterhin günstig, wenn das erste optische Bilderzeugungssystem G1 einen Lichtstrahl aufweist, der eine Ebene P1, die senkrecht zur optischen Achse AX verläuft, wenigstens dreimal kreuzt. Licht von der ersten Fläche 3 tritt nach der Brechung durch die erste Linsengruppe L1 durch die Ebene P1 (zum ersten Mal) hindurch zur reflektierenden Fläche M1 und tritt erneut durch die Ebene P1 hindurch (das zweite Mal), nachdem es von der Fläche reflektiert wurde, und gelangt zur reflektierenden Fläche M2. Nachdem das Licht von der reflektierenden Fläche M2 reflektiert wurde, tritt es erneut durch die Ebene P1 (das dritte Mal) und bildet das Zwischenbild 11. Indem die effektive projizierte Fläche ringförmig gestaltet wird, können darüber hinaus das Licht und die optischen Elemente, wie beispielsweise die reflektierenden Flächen M1 und M2, so positioniert werden, dass es zu keiner physischen Interferenz zwischen ihnen kommt.

[0030] Wie bereits erwähnt, ist das katadioptrische optische System auf der Seite der zweiten Fläche 9 (Waferoberflächen-seite) telezentrisch, bevorzugt wird es jedoch, wenn das optische System weiterhin auch auf der ersten Fläche 3 (Zwischenmaskenoberfläche) telezentrisch ist.

[0031] Nachstehend werden anhand der beigefügten Zeichnungen erfindungsgemäße Ausführungsformen beschrieben.

[0032] **Fig. 1** ist eine Zeichnung, die schematisch den Gesamtaufbau einer Projektionsbelichtungsvorrichtung zeigt, die mit einem optischen Projektionssystem nach einer erfindungsgemäßen Ausführungsform versehen ist. Es sei angemerkt, dass in **Fig. 1** eine Z-Achse parallel zur optischen Achse AX des optischen Projektionssystems 8 eingestellt ist, welches das optische Projektionsbelichtungssystem bildet, eine X-Achse parallel zur Ebene der Zeichnung von **Fig. 1** eingestellt ist und eine Y-Achse senkrecht zur Zeichnungsebene eingestellt ist, wobei die X- und die Y-Achse senkrecht zur optischen Achse AX verlaufen. Zudem befindet sich eine Zwischenmaske 3 als Originalprojektionsplatte, auf der ein vorgegebenes Schaltmuster ausgebildet wird, auf der Objektebene des optischen Projektionssystems 8, und auf der Bildebene des optischen Projektionssystems 8 befindet sich ein Wafer 9 als Substrat, das mit einem Fotoresist beschichtet ist.

[0033] Von der Lichtquelle 1 emittiertes Licht leuchtet durch das optische Belichtungssystem 2 die Zwischenmaske gleichmäßig aus, auf der das vorgegebene Muster ausgebildet wird. Auf dem optischen Weg von der Lichtquelle 1 zu dem optischen Beleuchtungssystem 2 sind je nach Bedarf ein oder mehrere Klappspiegel zum Ändern der Richtung des optischen Weges angeordnet.

[0034] Darüber hinaus sei angemerkt, dass das optische Beleuchtungssystem 2 optische Systeme umfasst, wie beispielsweise einen optischen Integrator, der z. B. aus einer Fliegenaugenlinse oder aus einem internen Reflexionsintegrator besteht, um eine ebene Lichtquelle auszubilden, die eine vorgegebene Größe und Form hat; eine variable Sehfeldblende (Zwischenmaskenblende) zum Festlegen der Größe und Form einer Beleuchtungsfläche auf der Zwischenmaske 3 und ein optisches Belichtungssystem mit Sehfeldblende zum Projizieren des Bildes von dieser Sehfeldblende auf der Zwischenmaske. Es sei zudem angeführt, dass als optisches System von der Lichtquelle 1 zur Sehfeldblende das in dem USA-Patent Nr. 5,345,292 offen gelegte optische Beleuchtungssystem zum Einsatz kommen kann.

[0035] Die Zwischenmaske 3 wird mit Hilfe des Zwischenmaskenhalters 4 parallel zur XY-Ebene auf der Zwischenmaskenstufe 5 gehalten. Auf der Zwischenmaske 3 ist ein Muster ausgebildet, das übertragen werden soll, und die gesamte Fläche des Musters wird mit Licht aus dem optischen Beleuchtungssystem 2 beleuchtet. Die Zwischenmaskenstufe 5 ist so konfiguriert, dass sie mit Hilfe eines nicht abgebildeten Antriebssystems zweidimensional entlang einer Zwischenmaskenebene (d. h. der XY-Ebene) bewegt werden kann, und dass die Koordinatenposition der Stufe mittels Interferometer 7 unter zu Hilfenahme des Bewegungsspiegels 6 für die Zwischenmaske gemessen und gesteuert wird.

[0036] Das Licht von dem Muster, das auf der Zwischenmaske 3 ausgebildet ist, erzeugt über das optische Projektionssystem 8 ein Masken-Musterbild auf dem Wafer, bei dem es sich um ein lichtempfindliches Substrat handelt. Das optische Projektionssystem 8 verfügt in der Nähe seiner Pupille über eine variable Aperturblende AS (siehe **Fig. 2**) und ist im Wesentlichen sowohl auf der Zwischenmaskenseite 3 als auch auf der Seite des Wafers 9 telezentrisch.

[0037] Der Wafer 9 wird von einem Waferhalter 10 auf einer Waferstufe 11 parallel zur XY-Ebene gehalten. Folglich wird auf einer Belichtungsfläche, die im Wesentlichen der beleuchteten Fläche auf der Zwischenmaske 3 entspricht, das Bildmuster ausgebildet.

[0038] Die Waferstufe 11 ist so konfiguriert, dass sie mit Hilfe eines nicht abgebildeten Antriebssystems zweidimensional entlang einer Waferebene (d. h. der XY-Ebene) bewegt werden kann und dass die Koordinatenposition der Stufe mittels Interferometer 13 unter zu Hilfenahme des Bewegungsspiegels 12 für den Wafer gemessen und gesteuert wird.

[0039] Wie oben beschrieben, sind der Sehfeldbereich auf der Maske 3 (Beleuchtungsfläche) und die Projek-

tionsfläche (Belichtungsfläche) auf dem Wafer **9**, die beide von dem optischen Projektionssystem **8** definiert werden, rechteckige Flächen mit einer kurzen Seite entlang der X-Achse. Das Ausrichten der Maske **3** und des Wafers **9** erfolgt mit Hilfe des Antriebssystems und der Interferometer (**7,13**), und der Wafer **9** wird durch Verwendung eines nicht abgebildeten Autofokus-/Autonivelliersystems, auf der Bildfläche des optischen Projektionssystems positioniert. Weiterhin wird durch das synchrone Bewegen (Scannen) der Maskenstufe **5** und der Waferstufe **11** und dementsprechend der Maske **3** und des Wafers **9** entlang der kurzen Seite der rechteckigen Belichtungs- und Beleuchtungsflächen, d. h. entlang der X-Richtung, das Muster der Maske durch Scannen auf eine Fläche des Wafers **9** aufgebracht, deren Breite identisch zu der Länge der Belichtungsfläche auf der langen Seite ist und deren Länge genauso groß ist wie die Scan(bewegungs)länge des Wafers **9**.

[0040] Es sei angemerkt, dass auf dem gesamten optischen Weg zwischen der Lichtquelle **1** und dem Wafer **9** eine inerte Gasatmosphäre vorliegt, z. B. Stickstoff- oder Heliumgas, in der das Belichtungslicht ein wenig absorbiert wird.

(Erste Ausführungsform)

[0041] **Fig. 2** ist eine Zeichnung, die eine Linsenkonfiguration eines katadioptrischen optischen Systems nach einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform zeigt. Das System ist ein katadioptrisches optisches System, das ein erstes katadioptrisches optisches Bilderzeugungssystem **G1** zum Ausbilden eines Zwischenbildes **11** einer Zwischenmaske (erste Fläche) **3** und ein zweites optisches Brechungs-Bilderzeugungssystem **G2** zum telezentrischen Ausbilden des fertigen Bildes der Zwischenmaskenoberfläche **3** auf einem Wafer (zweite Fläche) **9** ausgehend von dem Licht des Zwischenbildes **11** umfasst.

[0042] Das erste optische Bilderzeugungssystem **G1** verfügt über eine Linsengruppe **L1** mit wenigstens einem positiven Linsenelement, eine erste reflektierende Fläche **M1**, die Licht reflektiert, welches durch die Linsengruppe **L1** hindurch getreten ist, und eine zweite reflektierende Fläche **M2**, mit der von der ersten reflektierenden Fläche **M1** reflektiertes Licht zu dem zweiten optischen Bilderzeugungssystem **G2** gelenkt wird, wobei wenigstens eine von der ersten und der zweiten reflektierenden Fläche eine konkave reflektierende Fläche ist und das zweite optische Abbildungssystem **G2** eine Aperturblende AS aufweist. Weiterhin befinden sich alle optischen Elemente des katadioptrischen optischen Systems auf einer einzigen linearen optischen Achse AX, die Zwischenmaskenoberfläche **3** und die Waferoberfläche **9** sind ebene Flächen, die im Wesentlichen parallel zueinander sind, und eine Austrittspupille des katadioptrischen optischen Systems ist im Wesentlichen kreisförmig.

[0043] In Tabelle 1 sind Werte von Einzelpositionen des optischen Projektionssystems nach der ersten Ausführungsform aufgelistet. In Tabelle 1 geben Ziffern in der äußerst linken Spalte die Reihenfolge von Linsenoberflächen von der Zwischenmaske **3** (erste Objektebene) aus an, r ist der Kurvenradius der Linsenoberfläche, d ist der Abstand der Linsenoberfläche zu der nächsten Linsenoberfläche, β ist die Gesamtvergrößerung des katadioptrischen optischen Systems, NA ist die numerische Apertur auf der Waferseite (die zweite Flächenseite) und λ ist die standardmäßige Wellenlänge. Es sei angemerkt, dass der Brechungsindex des Glases, das in der ersten Ausführungsform verwendet wird, identisch mit jenem aus der zweiten Ausführungsform ist.

[0044] Weiterhin steht ASP in den linken Daten für eine asphärische Fläche. Bei jeder Ausführungsform kann eine asphärische Fläche durch die folgende mathematische Formel ausgedrückt werden:

$$Z = (y^2/r)/[1 + \{1 - (1 + k) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}] + A \cdot y^4 + B \cdot y^6 + C \cdot y^8 + D \cdot y^{10} + E \cdot y^{12} + F \cdot y^{14}$$

wobei Y die Höhe in der Richtung senkrecht zur optischen Achse ist, Z der Verschiebungsbetrag (Durchbiegungsbetrag) von der Tangentialebene am Scheitel der asphärischen Fläche zu einer Position der asphärischen Fläche auf einer Höhe Y entlang der Richtung der optischen Achse ist, r der Kurvenradius am Scheitel ist, k ein konischer Koeffizient ist und A ~ F asphärische Koeffizienten der n-ten Ordnung sind.

[0045] Es sei angemerkt, dass bei allen Werten der Einzelpositionen der nachfolgenden Ausführungsformen ähnliche Referenzcodes wie jene aus der vorliegenden Ausführungsform verwendet werden. Als ein Beispiel einer Maßeinheit für den Kurvenradius r und den Linsenoberflächenabstand d in den Werten der Einzelpositionen aus sämtlichen Ausführungsformen kann mm verwendet werden.

[Tabelle 1]

$$|\beta| = 1/4$$

NA = 0,75

 $\lambda = 193,3 \text{ nm}$

Nr.	r	d	Glasmaterial
1:	-211,97583	30,000000	SiO2
2:	-354,80161	35,347349	
3:	-8888,21083	38,000000	SiO2
4:	-227,79960	0,944905	
5:	303,84978	27,415767	SiO2

ASP:

 $\kappa = 0,000000$ $A = +0,743561 \times 10^{-8} \quad B = -0,230589 \times 10^{-12}$ $C = -0,115168 \times 10^{-17} \quad D = -0,753145 \times 10^{-22}$

6:	237634,15996	30,000000	
7:	∞ (plan)	214,776416	
8:	-348,87932	12,000000	SiO2
9:	4267,07121	5,579827	
10:	-362,24910	-5,579827	(Reflektierende Fläche)

ASP:

 $\kappa = 3,260270$ $A = +0,859110 \times 10^{-8} \quad B = +0,351935 \times 10^{-12}$ $C = -0,100064 \times 10^{-15} \quad D = +0,318170 \times 10^{-19}$ $E = -0,489883 \times 10^{-2311}$

11:	4267,07087	-12,000000	SiO2
12:	-348,87932	-214,776416	
13:	642,80918	246,776416	(Reflektierende Fläche)

ASP:

 $\kappa = 1,840470$ $A = 0,198825 \times 10^{-5} \quad B = 0,556479 \times 10^{-13}$ $C = 0,597091 \times 10^{-18} \quad D = 0,492729 \times 10^{-22}$ $E = 0,103460 \times 10^{-26}$

14:	208,71115	33,000000	SiO2
15:	-2529,72930	257,546203	
16:	-1810,41832	14,500000	SiO2

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = -0,885983 \times 10^{-7} \quad B = -0.200044 \times 10^{-11}$$

$$C = -0,570861 \times 10^{-16} \quad D = +0,456578 \times 10^{-22}$$

$$E = -0,493085 \times 10^{-25}$$

17:	851,98207	220,408225	
18:	15200,59096	30,000000	SiO2
19:	-268,76515	0,200000	
20:	434,96005	36,013163	CaF2

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = 0,161380 \times 10^{-7} \quad B = +0,153066 \times 10^{-12}$$

$$C = +0,108604 \times 10^{-17} \quad D = +0,319975 \times 10^{-21}$$

$$E = 0,101080 \times 10^{-25}$$

21:	-345,83883	10,489902	
22:	-215,91874	20,000000	SiO2
23:	-619,95152	0,200000	
24:	415,08345	40,000000	SiO2
25:	-1275,90912	26,288090	
26:	324,91386	35,000000	SiO2
27:	-740,00769	5,214992	

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = +0,138330 \times 10^{-7} \quad B = +0,194125 \times 10^{-12}$$

$$C = -0,258860 \times 10^{-18} \quad D = -0,196062 \times 10^{-22}$$

$$E = +0,363539 \times 10^{-26}$$

28:	140,91060	34,000000	SiO2
29:	1406,88948	0,500000	
30:	355,40083	17,506069	SiO2
31:	98,27403	1,561573	
32:	105,27944	75,940555	SiO2
33:	1597,37798	12,920542	

(Brechungsindex vom Glasmaterial)

$$\lambda = 193,3 \text{ nm} + 0,48 \text{ pm} \quad \lambda = 193,3 \text{ nm} \quad \lambda = 193,3 \text{ nm} - 0,48 \text{ pm}$$

SiO2	1,56032536	1,5603261	1,56032685
CaF2	1,50145434	1,5014548	1,50145526

(Bedingungsentsprechungswert)

- (1) $|fM1| = 181,1246/1350 = 0,13417$
 (2) $|\beta M1| = |-1,21007| = 1,21007$
 (3) $|\beta 1| = |-1,1454| = 1,1454$

[0046] **Fig. 3** zeigt Queraberrationen (Asymmetriefehler) des katadioptrischen optischen Systems nach der Ausführungsform in meridionaler (tangentialer) und sagittaler Richtung. In jedem Diagramm gibt Y die Bildhöhe an, eine durchgezogene Linie gibt die standardmäßige Wellenlänge an ($\lambda = 193,3$ nm), die gepunktete Linie gibt an $\lambda = 193,3$ nm + 0,48 pm und eine Linie mit abwechselnd langen und kurzen Strichen gibt an $\lambda = 193,3$ nm – 0,48 pm (selbiges gilt für die zweite Ausführungsform). Bei allen verschiedenen Aberrationsdiagrammen der nachfolgenden Ausführungsformen werden im Übrigen ähnliche Referenzcodes wie jene der vorliegenden Ausführungsform verwendet. Wie aus den Aberrationsdiagrammen deutlich hervorgeht, werden die Aberrationen trotz der beidseitigen Telezentrität auf der gesamten Belichtungsfläche in dem katadioptrischen optischen System der vorliegenden Ausführungsform gleichmäßig korrigiert, während gleichzeitig eine Verschlechterung der Bilderzeugungsleistung infolge der Lichtabsorption durch die verwendeten Glasmaterialien verhindert wird.

(Zweite Ausführungsform)

[0047] **Fig. 4** ist eine Zeichnung, die eine Linsenkonfiguration eines katadioptrischen optischen Systems nach einer zweiten Ausführungsform darstellt.

[Tabelle 2]

$$|\beta| = 1/6$$

$$NA = 0,75$$

$$\lambda = 193,3 \text{ nm}$$

Nr.	r	d	Glasmaterial
1:	521,54601	23,000000	SiO2
2:	-191794,5079 0	0,944905	
3:	194,28987	30,000000	SiO2

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = -0,155326 \times 10^{-8}$$

$$B = -0,140791 \times 10^{-12}$$

$$C = +0,176234 \times 10^{-17} \quad D = -0,155625 \times 10^{-21}$$

4:	452,66236	300,000000	
5:	-589,38426	12,000000	SiO2
6:	1106,79674	5,000000	
7:	-482,64964	-5,000000	(Reflektierende Fläche)

ASP:

$$\kappa = 7,430564$$

$$A = +0,199000 \times 10^{-8} \quad B = -0,957889 \times 10^{-12}$$

$$C = -0,122172 \times 10^{-15} \quad D = +0,305937 \times 10^{-19}$$

$$E = -0,126279 \times 10^{-22}$$

8:	1106,79671	-12,000000	SiO2
9:	-589,38426	-273,707398	
10:	455,39924	477,535323	(Reflektierende Fläche)

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = +0,434199 \times 10^{-9} \quad B = +0,327908 \times 10^{-14}$$

$$C = +0,360429 \times 10^{-19} \quad D = -0,622589 \times 10^{-24}$$

> 11:	300,69546	29,000000	SiO2
12:	-3836,44237	191,527911	
13:	-4996,75666	15,000000	SiO2

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = -0,601871 \times 10^{-7} \quad B = -0,111865 \times 10^{-11}$$

$$C = -0,177478 \times 10^{-16} \quad D = +0,104425 \times 10^{-23}$$

$$E = -0,236872 \times 10^{-25}$$

14:	1631,22452	164,229823	
15:	761,43970	32,000000	SiO2
16:	-416,24467	7,787594	
17:	385,90210	43,198650	CaF2

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = -0,127289 \times 10^{-7} \quad B = +0,112712 \times 10^{-12}$$

$$C = -0,237720 \times 10^{-18} \quad D = +0,283035 \times 10^{-21}$$

$$E = -0,177785 \times 10^{-25}$$

18:	-325,55463	16,575364	
19:	-220,30976	20,000000	SiO2
20:	-755,61144	9,063759	
21:	359,10784	37,871908	SiO2
22:	-1575,91947	1,464560	
23:	235,63612	32,000000	SiO2
24:	-2200,62013	1,000000	

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = +0,198616 \times 10^{-7} \quad B = -0,109623 \times 10^{-12}$$

$$C = 0,106669 \times 10^{-16} \quad D = -0,466071 \times 10^{-21}$$

$$E = 0,853932 \times 10^{-26}$$

25:	159,89570	33,600000	SiO2
26:	2158,79385	0,000000	
27:	406,09986	9,500000	SiO2
28:	68,76384	4,196119	
29:	70,58705	75,473363	SiO2
30:	2340,17874	9,379567	

(Bedingungsentsprechungswert)

$$(1) |fM1| = -241,3248/1339,26 = 0,18019$$

$$(2) |\beta M1| = |-12.51| = 12,51$$

$$(3) |\beta 1| = |-0,6135| = 0,6135$$

[0048] **Fig. 5** zeigt Queraberrationsdiagramme des katadioptrischen optischen Systems nach der zweiten Ausführungsform. Wie aus den Aberrationsdiagrammen deutlich wird, werden die Aberrationen auf der gesamten Belichtungsfläche gleichmäßig korrigiert.

(Dritte Ausführungsform)

[0049] **Fig. 6** ist eine Zeichnung, die eine Linsenkonfiguration eines katadioptrischen optischen Systems nach einer dritten erfindungsgemäßen Ausführungsform zeigt. Das System ist ein katadioptrisches optisches System, das ein erstes katadioptrisches optisches Bilderzeugungssystem **G1** zum Ausbilden eines Zwischenbildes **11** einer Zwischenmaske (erste Fläche) **3** und ein zweites optisches Brechungs-Bilderzeugungssystem **G2** zum telezentrischen Ausbilden des fertigen Bildes der Zwischenmaskenoberfläche **3** auf einem Wafer (zweite Fläche) **9** ausgehend von dem Licht des Zwischenbildes **11** umfasst.

[0050] Das erste optische Bilderzeugungssystem **G1** verfügt über eine Linsengruppe **L1** mit wenigstens einem positiven Linsenelement, eine erste reflektierende Fläche **M1**, die Licht reflektiert, welches durch die Linsengruppe **L1** hindurch getreten ist, und eine zweite reflektierende Fläche **M2**, mit der von der ersten reflektie-

renden Fläche **M1** reflektiertes Licht zu dem zweiten optischen Bilderzeugungssystem **G2** gelenkt wird, wobei wenigstens eine von der ersten und der zweiten reflektierenden Fläche eine konkave reflektierende Fläche ist und das zweite optische Abbildungssystem **G2** eine Aperturblende **AS** aufweist. Weiterhin befinden sich alle optischen Elemente des katadioptrischen optischen Systems auf einer einzigen linearen optischen Achse AX, die Zwischenmaskenoberfläche **3** und die Waferoberfläche **9** sind ebene Flächen, die im Wesentlichen parallel zueinander sind, und eine Austrittspupille des katadioptrischen optischen Systems ist im Wesentlichen kreisförmig.

[0051] In Tabelle 3 sind Werte von Einzelpositionen des optischen Projektionssystems nach der dritten Ausführungsform aufgelistet. Es sei angemerkt, dass die Referenzcodes in Tabelle 3 in gleicher Weise definiert sind wie in **Fig. 1**. Die asphärische Oberfläche ASP kann durch die oben beschriebene mathematische Formel ausgedrückt werden.

[Tabelle 3]

$$|\beta| = \frac{1}{4}$$

$$NA = 0,75$$

$$\lambda = 193,3 \text{ nm}$$

Nr.	r	d	Glasmaterial
1:	314,69351	28,000000	CaF2
2:	-934,65900	37,000000	

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = -0,229218 \times 10^{-7} \quad B = +0,947150 \times 10^{-12}$$

$$C = -0,128922 \times 10^{-16} \quad D = -0,190103 \times 10^{-20}$$

$$F = -0,386976 \times 10^{-25}$$

3:	-639,17571	23,000000	CaF2
----	------------	-----------	------

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = -0,108326 \times 10^{-7} \quad B = +0,924937 \times 10^{-12}$$

$$C = -0,326453 \times 10^{-16} \quad D = -0,342966 \times 10^{-20}$$

$$E = +0,132323 \times 10^{-25}$$

4:	-318,93314	245,763430	
5:	-108,60441	10,000000	CaF2

ASP:

$$\kappa = 0,495309$$

$$A = 0,486675 \times 10^{-7} \quad B = -0,492347 \times 10^{-11}$$

$$C = -0,606490 \times 10^{-16} \quad D = 0,180500 \times 10^{-18}$$

$$E = 0,766603 \times 10^{-23} \quad F = 0,138880 \times 10^{-26}$$

6:	-2160,76276	14,249561	
7:	-165,34978	-14,249561	(Reflektierende Fläche)

ASP:

$$\kappa = 1,132286$$

$$A = +0,201000 \times 10^{-7} \quad B = +0,102160 \times 10^{-11}$$

$$C = -0,209696 \times 10^{-16} \quad D = +0,126536 \times 10^{-19}$$

$$E = +0,429651 \times 10^{-24} \quad F = -0,160033 \times 10^{-29}$$

8:	-2160,76276	-10,000000	CaF2
9:	-108,60441	-245,763430	

ASP:

$$\kappa = 0,495309$$

$$A = +0,486675 \times 10^{-7} \quad B = +0,49 \ 23 \ 47 \times 10^{-11}$$

$$C = -0,60649 \ 0 \times 10^{-16} \quad D = +0,180500 \times 10^{-18}$$

$$E = -0,766603 \times 10^{-23} \quad F = +0,138880 \times 10^{-26}$$

10:	-318,93314	-23,000000	CaF2
11:	-639,17869	-4,391997	

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = -0,108326 \times 10^{-7} \quad B = +0,924936 \times 10^{-12}$$

$$C = -0,326453 \times 10^{-16} \quad D = -0,342966 \times 10^{-20}$$

$$E = +0,132323 \times 10^{-25}$$

12:	-1183,44883	4,391997	(Reflektierende Fläche)
-----	-------------	----------	-------------------------

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = -0,183262 \times 10^{-10}$$

$$B = -0,246349 \times 10^{-12}$$

$$C = +0,147599 \times 10^{-16}$$

$$D = +0,182045 \times 10^{-20}$$

$$E = -0,115790 \times 10^{-25}$$

13:	-639,17869	23,000000	CaF2
-----	------------	-----------	------

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = -0,108326 \times 10^{-7}$$

$$B = +0,924936 \times 10^{-12}$$

$$C = -0,326453 \times 10^{-16}$$

$$D = 0,342966 \times 10^{-20}$$

$$E = +0,132323 \times 10^{-25}$$

14:	-318,93314	300,763420	
-----	------------	------------	--

15:	756,86009	41,000000	CaF2
-----	-----------	-----------	------

16:	-412,30872	15,942705	
-----	------------	-----------	--

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = +0,361860 \times 10^{-8}$$

$$B = +0,893121 \times 10^{-14}$$

$$C = +0,135118 \times 10^{-18}$$

$$D = -0,735265 \times 10^{-23}$$

$$E = +0,151108 \times 10^{-27}$$

17:	382,45831	36,000000	CaF2
-----	-----------	-----------	------

18:	2411,92028	120,195566	
-----	------------	------------	--

19:	203,57233	23,670903	CaF2
-----	-----------	-----------	------

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = -0,666118 \times 10^{-8}$$

$$B = -0,225767 \times 10^{-12}$$

$$C = -0,790187 \times 10^{-19}$$

$$D = -0,460596 \times 10^{-21}$$

$$E = 0,2100563 \times 10^{-25}$$

$$F = -0,570908 \times 10^{-30}$$

20:	174,15615	417,834922	
-----	-----------	------------	--

21:	164,52297	20,000000	CaF2
-----	-----------	-----------	------

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = +0,153241 \times 10^{-7}$$

$$B = +0,610531 \times 10^{-12}$$

$$C = +0,252256 \times 10^{-15}$$

$$D = -0,150451 \times 10^{-20}$$

$$E = +0,326670 \times 10^{-23}$$

$$F = -0,132886 \times 10^{-27}$$

22:	746,82563	20,284156	
23:	93,58470	23,000000	CaF2

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = -0,267761 \times 10^{-7}$$

$$B = +0,970828 \times 10^{-12}$$

$$C = +0,117557 \times 10^{-15}$$

$$D = +0,718106 \times 10^{-19}$$

$$E = -0,162733 \times 10^{-22}$$

$$F = +0,586684 \times 10^{-26}$$

24:	256,99945	21,338588	
-----	-----------	-----------	--

25:	-129,21983	16,000000	CaF2
-----	------------	-----------	------

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = -0,588690 \times 10^{-8}$$

$$B = 0,461959 \times 10^{-12}$$

$$C = 0,130813 \times 10^{-14}$$

$$D = -0,849445 \times 10^{-19}$$

$$E = -0,123125 \times 10^{-22}$$

$$F = +0,290566 \times 10^{-26}$$

26:	-219,48522	1,000000	
-----	------------	----------	--

27:	102,75126	19,500000	CaF2
-----	-----------	-----------	------

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = -0,862905 \times 10^{-7}$$

$$B = -0,119006 \times 10^{-10}$$

$$C = -0,124879 \times 10^{-14}$$

$$D = -0,367913 \times 10^{-18}$$

$$E = -0,451018 \times 10^{-22}$$

$$F = +0,110726 \times 10^{-26}$$

28:	593,36680	1,000000	
-----	-----------	----------	--

29:	83,17946	18,815833	CaF2
-----	----------	-----------	------

ASP:

$$\kappa = 0,111409$$

$$A = -0,393239 \times 10^{-7}$$

$$B = -0,723984 \times 10^{-11}$$

$$C = -0,679503 \times 10^{-14}$$

$$D = -0,115217 \times 10^{-17}$$

$$E = -0,763652 \times 10^{-22}$$

$$F = +0,381047 \times 10^{-26}$$

30:	197,09247	1,000000	
-----	-----------	----------	--

31:	110,23581	43,599536	CaF2
-----	-----------	-----------	------

ASP:

$$\kappa = 0,000000$$

$$A = +0,850436 \times 10^{-9}$$

$$B = +0,126341 \times 10^{-10}$$

$$C = +0,168625 \times 10^{-13}$$

$$D = +0,782396 \times 10^{-17}$$

$$E = -0,233726 \times 10^{-20}$$

$$F = +0,333624 \times 10^{-24}$$

32: ∞ (plan) 9,100000

(Brechungsindex vom Glasmaterial)

	$\lambda = 157,6 \text{ nm} + 1,29 \text{ pm}$	$\lambda = 157,6 \text{ nm}$	$\lambda = 157,6 \text{ nm} - 1,29 \text{ pm}$
CaF ₂	1,55999383	1,56	1,56000617

(Bedingungsentsprechungswert)

(1) $|fM1| = 82,6749/1350 = 0,06124$

(2) $|\beta M1| = |-0,96128| = 0,96128$

(3) $|\beta 1| = |-1,4453| = 1,4453$

[0052] **Fig. 6** zeigt Queraberrationsdiagramme des katadioptrischen optischen Systems nach der dritten Ausführungsform. In jedem Diagramm gibt Y die Bildhöhe an, eine durchgezogene Linie gibt die standardmäßige Wellenlänge an ($\lambda = 157,6 \text{ nm}$), die gepunktete Linie gibt an $\lambda = 157,6 \text{ nm} + 1,29 \text{ pm}$ und eine Linie mit abwechselnd langen und kurzen Strichen gibt an: $157,6 \text{ nm} - 1,29 \text{ pm}$. Wie aus den Aberrationsdiagrammen deutlich wird, werden die Aberrationen auf der gesamten Belichtungsfläche gleichmäßig korrigiert.

[0053] Mittlerweile werden die oben erwähnten Ausführungsformen bei einer Scan-Projektionsbelichtungsvorrichtung angewandt, die das Schritt-Scan-Verfahren (Abtastverfahren) nutzt, wobei eine Maske und ein Wafer synchron in einem Geschwindigkeitsverhältnis gescannt werden, das der Belichtungsvergrößerung β entspricht, wobei jeder abgebildete Bereich auf einem Wafer unter Verwendung einer Belichtungsfläche in Form eines kreisförmigen Bogens belichtet wird (eine Form, die teilweise aus einem Ring herausgeschnitten wurde). Wenn jedoch das Belichtungsfeld z. B. die Größe eines Quadrats von $5 \times 5 \text{ mm}$ aufweist, können die oben erwähnten Ausführungsformen auch auf eine Schritt-Wiederholungs-Projektionsbelichtungsvorrichtung angewandt werden, bei der nach der Übertragung des Maskenmusterbildes auf eine belichtete Fläche eines Wafers bei einer einmaligen Belichtung ein Prozess wiederholt wird, bei dem das Maskenmusterbild durch das wiederholte zweidimensionale Bewegen des Wafers auf einem nächsten belichteten Bereich belichtet wird. Es ist festzustellen, dass durch das Schritt-Scan-Verfahren eine gute Bilderzeugungsleistung lediglich in einem schlitzenartigen Belichtungsbereich benötigt wird (eine Form, die sich in einer vorgegebenen Richtung erstreckt, z. B. ein langes Rechteck, ein Trapezoid, ein langes Hexagon, ein kreisförmiger Bogen, etc.). Ein größerer belichteter Bereich auf einem Wafer kann somit belichtet werden, ohne dass das optische Projektionssystem eine erhebliche Größe aufweist.

[0054] Bei den oben erwähnten Ausführungsformen wird die Erfindung bei einer Projektionsbelichtungsvorrichtung für die Herstellung von Halbleitervorrichtungen eingesetzt. Neben den Projektionsbelichtungsvorrichtungen für die Herstellung von Halbleitervorrichtungen kann die Erfindung aber z. B. auch bei einer Belichtungsvorrichtung Anwendung finden, die ein Anzeigemuster auf eine Glasplatte überträgt, die zur Herstellung von Anzeigevorrichtungen, wie z. B. Flüssigkristall-Anzeigevorrichtungen, verwendet wird, sowie bei einer Belichtungsvorrichtung, die ein Anzeigemuster auf einen Keramikwafer überträgt; der zur Herstellung von Dünnfilm-Magnetköpfen verwendet wird, und bei einer Belichtungsvorrichtung zur Herstellung von Bildaufnahmeeinrichtungen (CCD, usw.). Darüber hinaus kann die Erfindung bei einer Belichtungsvorrichtung zum Einsatz kommen, die zwecks Herstellung einer Zwischenmaske oder einer Maske ein Schaltmuster auf ein Glassubstrat oder einen Siliciumwafer überträgt.

[0055] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die oben erwähnten Ausführungsformen begrenzt, und es liegt auf der Hand, dass sie auf verschiedenste Art und Weise abgewandelt werden kann, ohne vom Schutzzumfang der Patentansprüche abzuweichen. Wie oben beschrieben worden ist, kann die vorliegende Erfindung ein katadioptrisches optisches System schaffen, bei dem die chromatische Aberration im extrem ultravioletten Wellenlängenbereich, insbesondere sogar im Wellenlängenbereich von 200 nm oder weniger, gut korrigiert wird, ein für eine hohe Auflösung erforderlicher NA-Wert ($0,6$ oder mehr) gewährleistet wird und die Anzahl brechender und reflektierender Komponenten so weit wie möglich verringert ist. Darüber hinaus kann das Belichtungslicht effektiv eingesetzt werden, da die Lichtabsorption gering ist, was auf die geringe Anzahl reflektierender Elemente usw. zurückzuführen ist. Zudem hat die mit dem oben erwähnten katadioptrischen optischen System ausgestattete erfindungsgemäße Projektionsbelichtungsvorrichtung den Vorteil, dass feine Maskenmuster genau übertragen werden können.

Patentansprüche

1. Katadioptrisches optisches System, das umfasst:

ein katadioptrisches optisches System (**G1**), das ein Linsenelement (**L1**), eine erste reflektierende Fläche (**M1**) und eine zweite reflektierende Fläche (**M2**) enthält, die Licht reflektiert, das von der ersten reflektierenden Fläche (**M1**) kommt, wobei wenigstens die erste oder die zweite reflektierende Fläche (**M1**, **M2**) eine konkave reflektierende Fläche ist, um ein Zwischenbild (**I1**) von einer ersten planen Fläche (**3**) zu erzeugen; und ein brechendes optisches System (**G2**) zum Erzeugen eines zweiten Bildes von Licht, das direkt von der zweiten reflektierenden Fläche (**M2**) oder von dem Zwischenbild (**I1**) kommt, auf einer zweiten ebenen Fläche (**9**), die im Wesentlichen parallel zu der ersten planen Fläche (**3**) ist, wobei die erste plane Fläche (**3**), alle optischen Elemente des katadioptrischen optischen Systems (**G1**) und des beugenden optischen Systems (**G2**) sowie die zweite plane Fläche (**9**) auf einer einzelnen linearen optischen Achse (**AX**) angeordnet sind; wobei die erste reflektierende Fläche (**M1**) einen Aperturabschnitt an einer Position außerhalb der Achse hat, so dass das von der zweiten reflektierenden Fläche (**M2**) reflektierte Licht in der Richtung des brechenden optischen Systems (**G2**) hindurchtreten kann, und die zweite reflektierende Fläche (**M2**) eine Apertur außerhalb der Achse hat, um das Licht von der ersten planen Fläche (**3**) in der Richtung der ersten reflektierenden Fläche (**M1**) hindurchtreten zu lassen.

2. Katadioptrisches optisches System nach Anspruch 1, wobei das Linsenelement (**L1**) wenigstens eine Positivlinse enthält und das beugende optische System (**G2**) eine Aperturblende (**AS**) enthält.

3. Katadioptrisches optisches System nach Anspruch 1, wobei eine Austrittspupille des katadioptrischen optischen Systems im Wesentlichen kreisförmig ist.

4. Katadioptrisches optisches System nach Anspruch 1, wobei die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0.04 < |fM1|/L < 0.4$$

wobei $fM1$ eine Brennweite der konkaven reflektierenden Fläche der ersten oder zweiten reflektierenden Fläche (**M1**, **M2**) ist und L ein Abstand von der ersten Fläche zu der zweiten Fläche entlang der optischen Achse ist.

5. Katadioptrisches optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0,6 < \beta M1 < 20$$

wobei $\beta M1$ eine Vergrößerung der konkaven reflektierenden Fläche der ersten oder zweiten reflektierenden Fläche (**M1**, **M2**) ist.

6. Katadioptrisches optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0.3 < |\beta 1| < 1.8$$

wobei $\beta 1$ eine Vergrößerung des katadioptrischen optischen Systems (**G1**) ist.

7. Katadioptrisches optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das katadioptrische optische System beidseitige Telezentrität einschließt.

8. Katadioptrisches optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das brechende optische System (**G2**) zwei Arten von Glasmaterial enthält.

9. Projektions-Belichtungsvorrichtung zum Projizieren eines vorgegebenen Musters auf eine Maske auf einem fotoempfindlichen Substrat,
die ein katadioptrisches optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zum Projizieren des vorgegebenen Musters auf das fotoempfindliche Substrat **(9)** umfasst.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

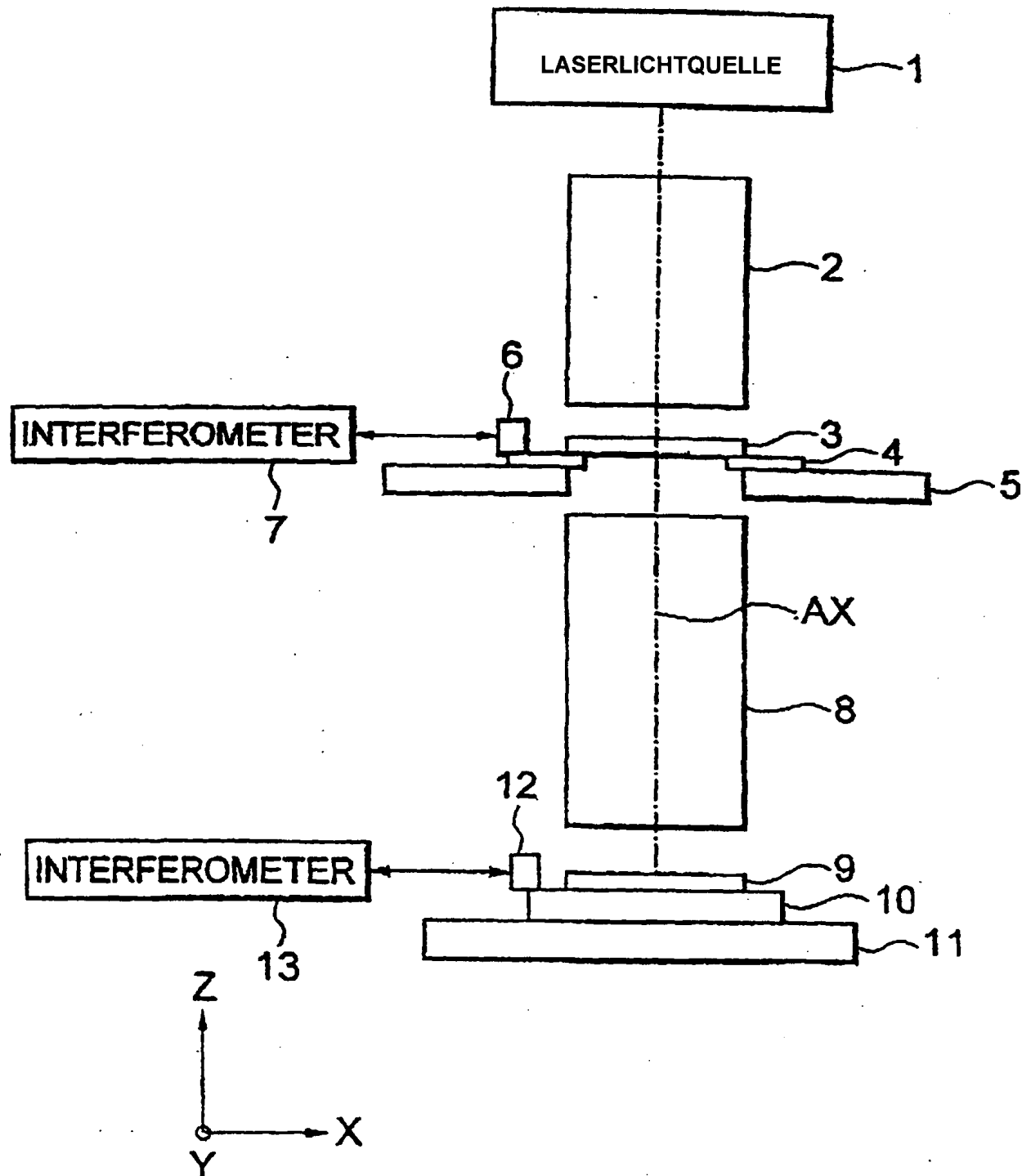


FIG. 2

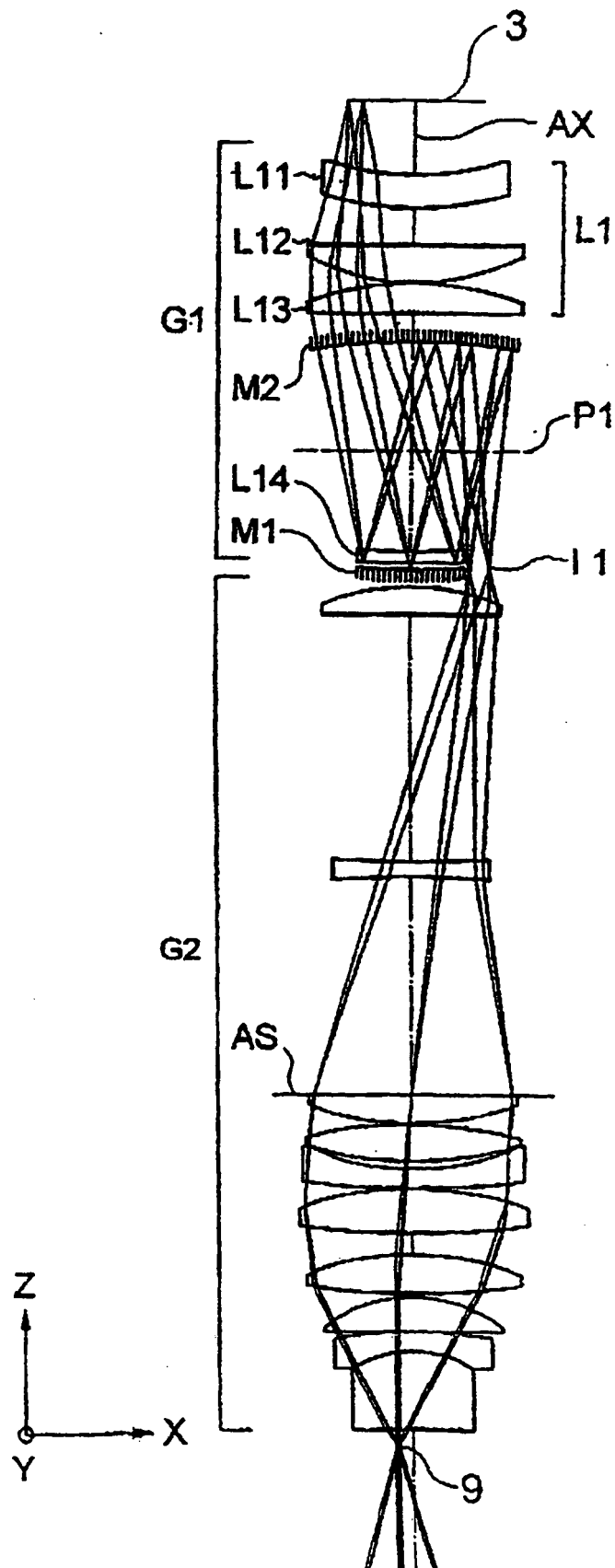


FIG. 3

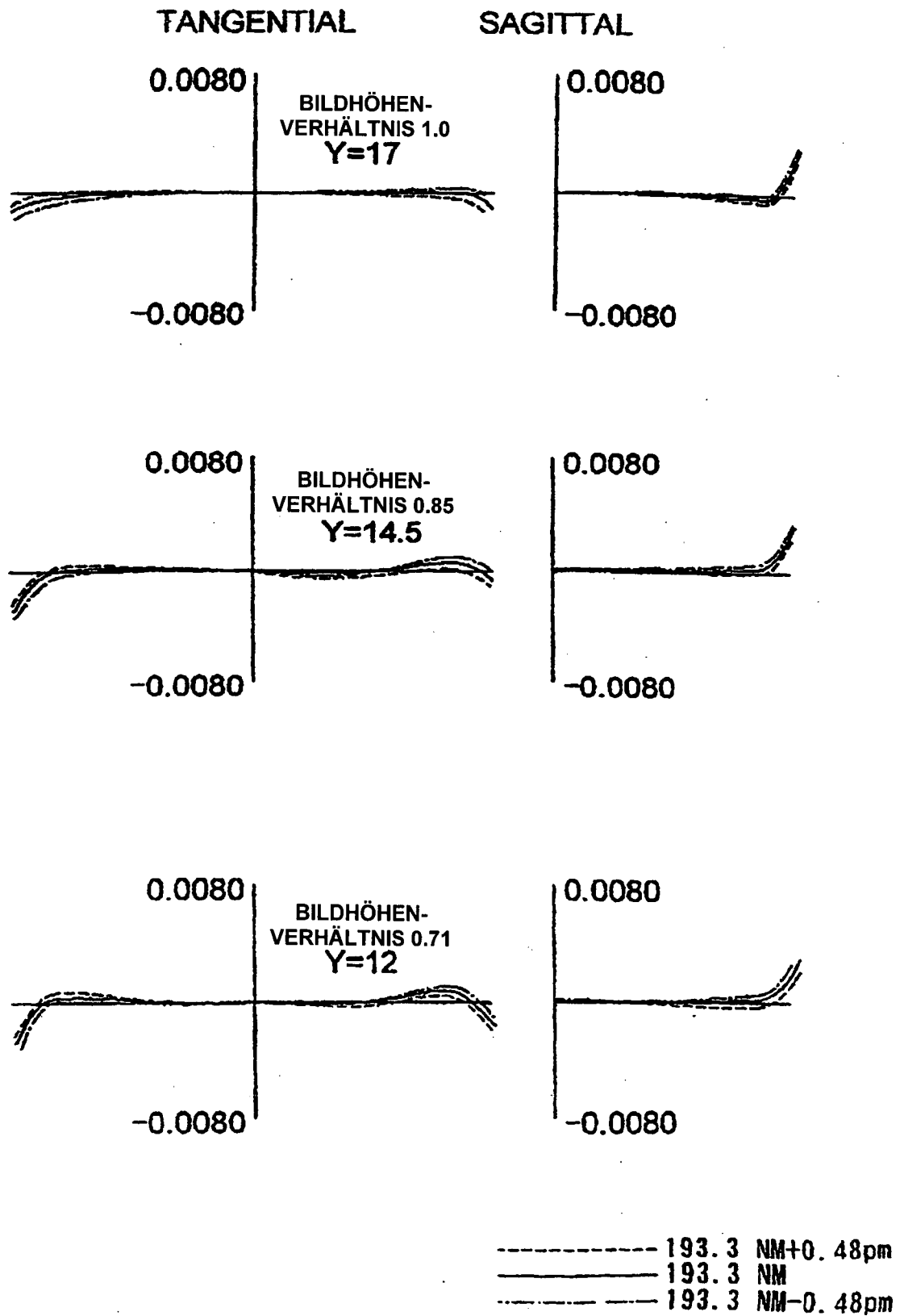


FIG. 4

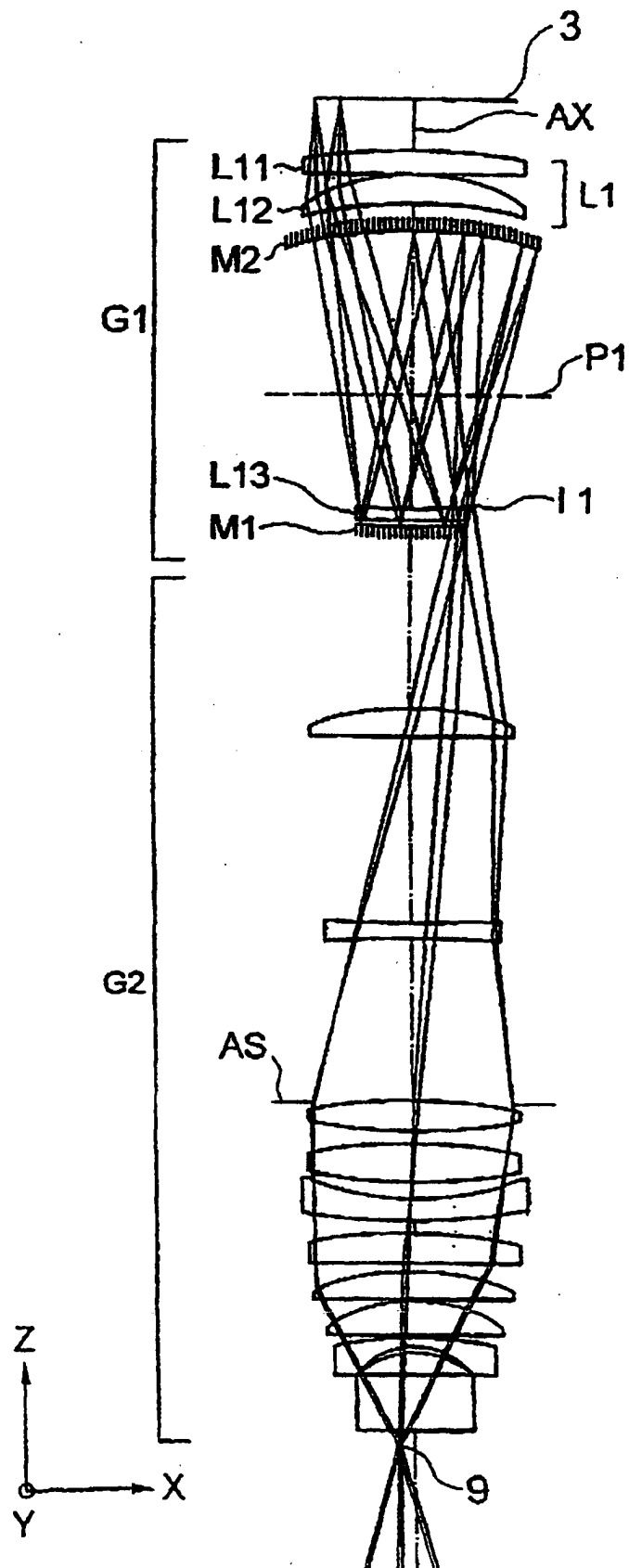


FIG. 5

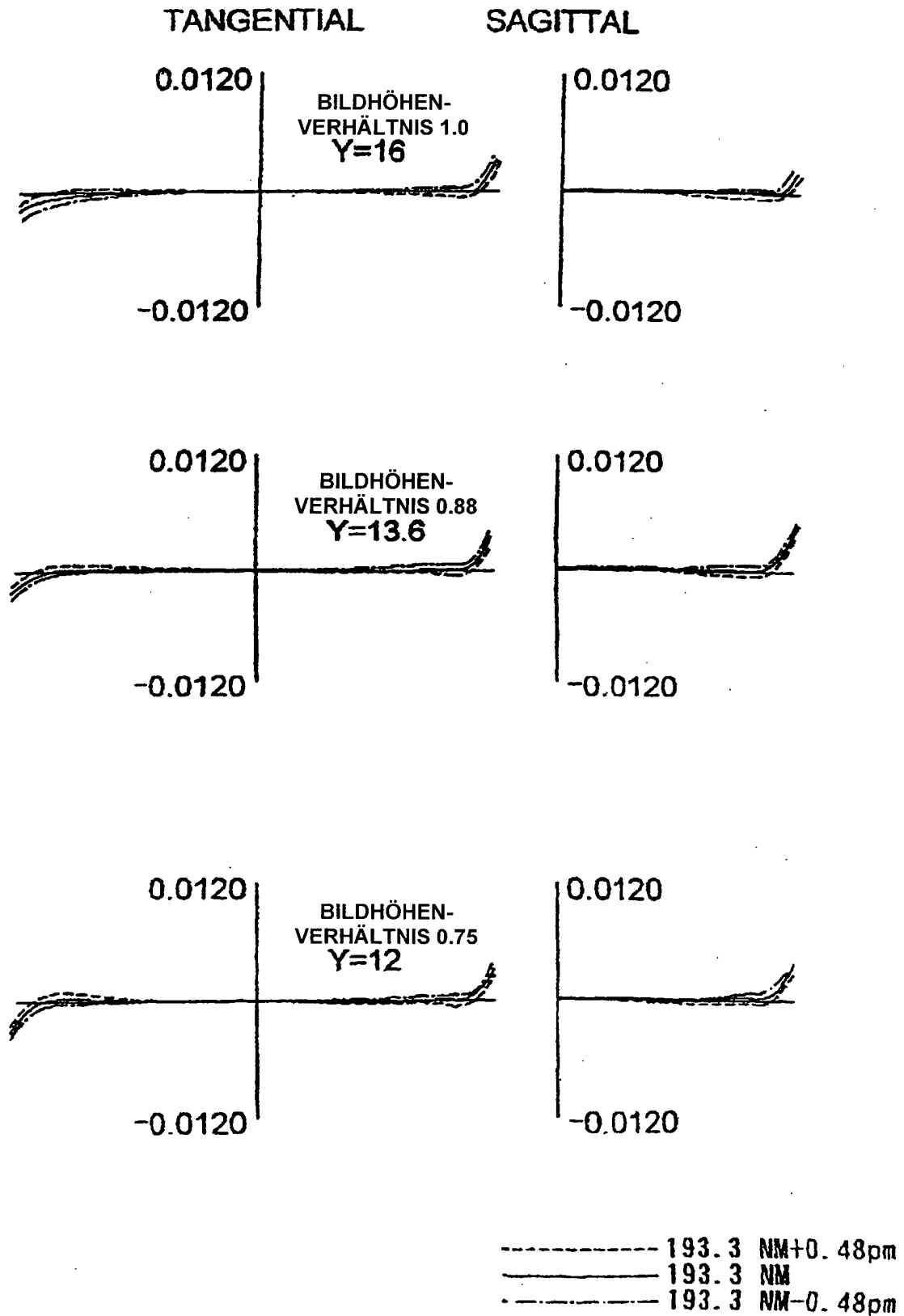


FIG. 6

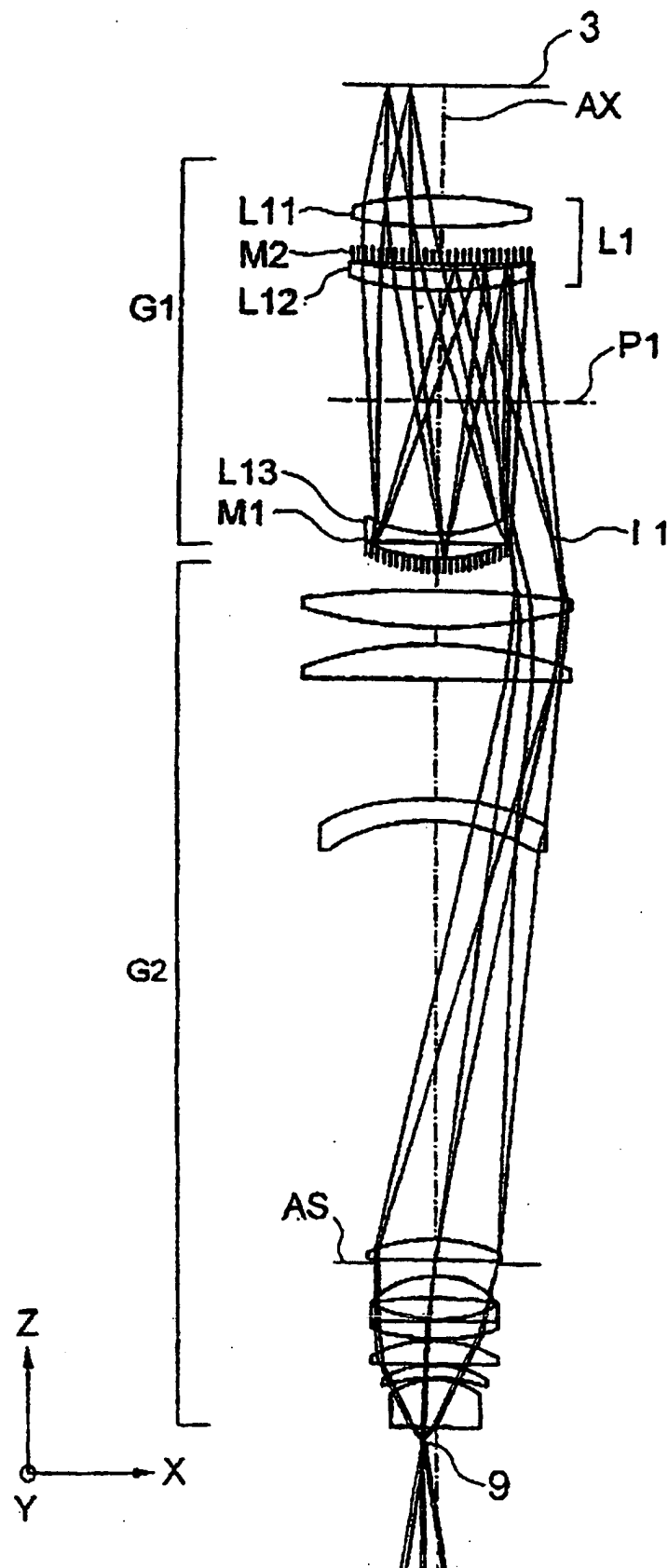


FIG. 7

