



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 24 658 T2** 2005.07.07

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 869 382 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 24 658.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 106 068.4**

(96) Europäischer Anmeldetag: **02.04.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **07.10.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **23.06.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **07.07.2005**

(51) Int Cl.7: **G02B 13/00**
G02B 9/12

(30) Unionspriorität:
10250497 03.04.1997 JP

(73) Patentinhaber:
Nikon Corp., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, NL

(72) Erfinder:
Kudo, Shintaro, Chiyoda-ku, Tokyo, JP

(54) Bezeichnung: **Optisches System für Projektion**

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

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein optisches Projektionssystem und insbesondere auf ein brechungsverminderndes optisches Projektionssystem zum optischen Projizieren auf Halbleiter-Wafer in einer Belichtungseinrichtung bei großer Auflösung, wobei vorzugsweise eine Kompensation für sowohl chromatische Aberrationen als auch andere monochromatische Aberrationen gleichzeitig erreicht werden.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Bei der Herstellung integrierter Schaltungen wird eine höhere Auflösung für die Belichtungsübertragung von Schaltungsmustern benötigt. Da die Auflösung bekanntermaßen umgekehrt proportional zu den Belichtungswellenlängen ist, wurden die Belichtungswellenlängen kurzweiliger gemacht. In den letzten Jahren haben KrF-Excimer-Laser (248 nm) und ArF-Excimer-Laser (193 nm) Aufmerksamkeit erregt bezüglich einer Verwendung als Belichtungslichtquelle. Aufgrund der Beschränkungen hinsichtlich Durchlässigkeit ist die Zusammensetzung der Glasmaterialien, die in den Bereichen der oszillierten Wellenlängen verwendet werden, für die obigen Ultraviolett-Laser begrenzt. Auch ist die Dispersion bzw. Streuung des Brechungsindex bzw. der Brechzahl eines Glasmaterials in dem oszillierten Wellenlängenbereich für den ArF-Laser größer als für den KrF-Laser. Eine solche Abnahme der Abbildungsleistung aufgrund chromatischer Aberrationen wird bemerkbar. Um das obige Problem zu lösen, wurden verschiedene Verfahren vorgeschlagen, wobei ein Verfahren, das Verengen des Bandes des Spektrums in dem Laser umfasste, so dass dieser eine fast monochromatische Lichtquelle war, und wobei ein anderes Verfahren eine Kompensation für chromatische Aberrationen in dem optischen Projektionssystem umfasste.

[0003] Um jedoch eine komplette Kompensation für chromatische Aberrationen über einen breiten Spektralbereich für eine gegebene Laser-Beleuchtungsquelle vorzusehen, ist es wesentlich, eine Fluorit-Linse mit einer starken positiven Brechkraft und eine Quarz-Linse mit einer starken negativen Brechkraft zu kombinieren. Da die oben genannten Glasmaterialien hinsichtlich der Dispersion bzw. Streuung ihres Brechungsindex eine extrem kleine Differenz untereinander besitzen, beschränkt dies die vollständige Kompensation für chromatische Aberrationen und macht die Kompensation anderer monochromatischer Aberrationen extrem schwierig, was wiederum verhindert, dass die Projektionslinsen eine verbesserte Abbildleistung besitzen. Auch ergibt sich eine enge Toleranz hinsichtlich Zentrierung und der Zusammenbau wird schwierig.

[0004] Die vorliegende Erfindung sieht ein optisches Projektionssystem vor, bei dem sowohl Probleme hinsichtlich teilweiser Kompensation chromatischer Aberrationen als auch hinsichtlich Kompensation anderer monochromatischer Aberrationen gleichzeitig gehandhabt werden können. Daher kann der Spektralbereich der Laser-Lichtquelle zur Belichtung weiter angesetzt bzw. eingestellt werden, so dass der Durchsatz verbessert wird.

Zusammenfassung der Erfindung

[0005] Um die obigen Probleme zu lösen, weist ein optisches Projektionssystem Folgendes auf:
 eine erste Linsengruppe G1 mit einer positiven Brechkraft;
 eine zweite Linsengruppe G2 mit einer negativen Brechkraft; und
 eine dritte Linsengruppe G3 mit einer positiven Brechkraft;
 wobei jede der Linsengruppen Linsenelemente besitzt, die aus Glasmaterialien aufgebaut sind, die ausgewählt sind, aus der Gruppe, die aus Fluorit bzw. Flussspat und Quarz besteht; und
 wobei die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$|L/f| < 2 \quad (1)$$

$$0,7 \leq f_3/f_{3C} \leq 2,8 \quad (2)$$

wobei

L: Abstand zwischen einer Objektebene und einer Bildebene

f: Brennweite des Gesamtssystems

f₃: Brennweite der dritten Linsengruppe G3

f_{3C}: zusammengesetzte Brennweite der Fluorit-Linsenelemente, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

- [0006] [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung, die eine Belichtungsvorrichtung zeigt, welche ein optisches Projektionssystem der vorliegenden Erfindung umfasst;
- [0007] [Fig. 2](#) zeigt eine Linienstruktur des Ausführungsbeispiels 1 des optischen Projektionssystems der vorliegenden Erfindung;
- [0008] [Fig. 3](#) sind Figuren, die sphärische Aberrationen, Astigmatismus und Verzerrung für das Ausführungsbeispiel 1 zeigen;
- [0009] [Fig. 4](#) sind Figuren, die seitliche bzw. laterale Aberrationen im Ausführungsbeispiel 1 zeigen;
- [0010] [Fig. 5](#) zeigt die Linienstruktur für das Ausführungsbeispiel 2 des optischen Projektionssystems der vorliegenden Erfindung;
- [0011] [Fig. 6](#) sind Figuren, die sphärische Aberrationen, Astigmatismus und Verzerrung für das Ausführungsbeispiel 2 zeigen;
- [0012] [Fig. 7](#) sind Figuren, die seitliche bzw. laterale Aberrationen im Ausführungsbeispiel 2 zeigen;
- [0013] [Fig. 8](#) zeigt die Linienstruktur für das Ausführungsbeispiel 3 des optischen Projektionssystems der vorliegenden Erfindung;
- [0014] [Fig. 9](#) sind Figuren, die sphärische Aberrationen, Astigmatismus und Verzerrungen für das Ausführungsbeispiel 3 zeigen
- [0015] [Fig. 10](#) sind Figuren, die seitliche bzw. laterale Aberrationen für das Ausführungsbeispiel 3 zeigen;
- [0016] [Fig. 11](#) zeigt die Linienstruktur für das Ausführungsbeispiel 4 des optischen Projektionssystems der vorliegenden Erfindung;
- [0017] [Fig. 12](#) sind Figuren, die sphärische Aberrationen, Astigmatismus und Verzerrungen für das Ausführungsbeispiel 4 zeigen.
- [0018] Und [Fig. 13](#) sind Figuren, die seitliche bzw. laterale Aberrationen für das Ausführungsbeispiel 4 zeigen.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

[0019] Um eine Kompensation für sowohl chromatische als auch monochromatische Aberrationen gleichzeitig zu erreichen, muss das optische Projektionssystem zunächst ausreichend kompensiert sein hinsichtlich monochromatischer Aberrationen. Daher weist das optische Projektionssystem der vorliegenden Erfindung vom Objektivende her gesehen Folgendes auf:
 eine erste Linsengruppe G1 mit einer positiven Brechkraft;
 eine zweite Linsengruppe G2 mit einer negativen Brechkraft; und
 eine dritte Linsengruppe G3 mit einer positiven Brechkraft;
 wobei jede der Linsengruppen Linsenelemente besitzt, die aus Glasmaterialien aufgebaut sind, die aus der Gruppe ausgewählt sind, welche Fluorit bzw. Flussspat und Quarz enthält.

[0020] Zusätzlich sollte das optische Projektionssystem die folgenden Bedingungen erfüllen:

$$|L/f| < 2 \quad (1)$$

$$0,7 \leq f_3/f_{3C} \leq 2,8 \quad (2)$$

wobei

L: Abstand zwischen einer Objektebene und einer Bildebene

f: Brennweite des Gesamtssystems

f₃: Brennweite der dritten Linsengruppe G3

f_{3C} : zusammengesetzte Brennweite der Fluorit-Linsenelemente, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind.

[0021] Diese Anordnung der Linsengruppen in der Reihenfolge positive/negative/positive Brechkraft gestattet es, dass das optische System an beiden Enden telezentrisch ist, d. h. telezentrisch hinsichtlich sowohl des Objektivendes als auch des Bildendes. Gleichzeitig kann die Petzval-Summe, die sich im wesentlichen auf eine „Bildplanarität“ bezieht, um eine hohe Auflösung über einen weiten Bereich von Belichtungsflächen zu erreichen, effektiv kompensiert werden. Der Grund für die Verwendung eines optischen Systems, das am Bildende und am Objektivende telezentrisch ist, besteht darin, dieses optische System weniger anfällig zu machen durch Fluktuation hinsichtlich der Vergrößerung aufgrund von Fehlern in der Richtung der optischen Achse während der Belichtung, sowie weniger anfälliger zu machen hinsichtlich Verzerrungen von Silicium-Wafern in der Bildebene oder hinsichtlich Verzerrungen der Maske an der Objektebene.

[0022] Die obige Gleichung (1) ist eine Bedingung zur Beibehaltung der Telezentrität. Wenn der obere Grenzwert der Bedingung überschritten wird, ist es schwierig, eine ausgezeichnete Telezentrität beizubehalten, so dass sich übermäßige Auswirkungen von Fokussierfehlern ergeben.

[0023] Um chromatische Aberrationen effektiv zu kompensieren, wird gemäß der vorliegenden Erfindung bevorzugt, die Fluorit-Linsenelemente in der dritten Linsengruppe mit positiver Brechkraft derart anzuordnen, dass die obige Gleichung (2) erfüllt ist. Da ein Reziprok der Brennweite die Brechkraft ausdrückt, definiert die Gleichung (2) einen angemessenen Bereich für die Verhältnisse der zusammengesetzten Brechkraft von nur Fluorit-Linsenelementen in der dritten Linsengruppe G3 zu der Brechkraft der dritten Linsengruppe (insgesamt).

[0024] Nachfolgend wird der Grund für die Definition der Leistung der Fluorit-Linsenelemente mit positiver Brechkraft im Verhältnis zu der Brechkraft der dritten Linsengruppe erklärt durch Verwendung eines Aberrationskoeffizienten für axiale chromatische Aberration AX_i , wie in der folgenden Gleichung gezeigt ist:

$$AX_i = Q_i \cdot h_i^2 \cdot [\delta n_i / n_i - \delta n_{i-1} / n_{i-1}] \quad (A)$$

wobei:

Q_i : unveränderliche Abbesche Zahl in der i-ten Ebene

h_i : achsparallele Strahlhöhe in der i-ten Ebene

n_i : Brechungsindex bei der Wellenlänge, die eine Referenz ist für die Kompensation chromatischer Aberrationen des Mediums, das der i-ten Ebene folgt

δn_i : Differenz zwischen dem Brechungsindex am Ende der kurzen Wellenlänge und dem Brechungsindex am Ende der langen Wellenlänge, und zwar für das Medium, das der i-ten Oberfläche folgt, d. h. Dispersion bzw. Streuung.

[0025] Der Aberrationskoeffizient für chromatische Aberrationen AX_i wird häufig für jede der Oberflächen in einem optischen System als ein Mittel verwendet, um die Struktur des Auftretens und der Kompensation von chromatischen Aberrationen zu verstehen. Wie in der Gleichung (A) gezeigt ist, ist der Beitrag jeder der Oberflächen zu axialen chromatischen Aberrationen proportional zur Streuung eines Glasmaterials; er ist auch proportional zum Quadrat seiner achsparallelen bzw. paraxialen Strahlhöhe. Um chromatische Aberration wirksam zu kompensieren, wird daher bevorzugt, eine Fluorit-Linse auf der Seite niedriger Streuung als Linsenelement mit positiver Brechkraft zu verwenden, und zwar angeordnet an einer hohen Position in der achsparallelen bzw. paraxialen Strahlhöhe zum Verhindern des Auftretens chromatischer Aberration.

[0026] Da die numerische Blende „NA“ am Bildende in einem reduzierenden optischen Projektionssystem größer ist, ist die achsparallele bzw. paraxiale Strahlhöhe in der dritten Linsengruppe G3, die am Bildende ist, höher als in der ersten Linsengruppe, die am Objektivende ist. Somit beabsichtigt die vorliegende Erfindung, sich auf die Brechkraftverhältnisse der Fluorit-Linsenelemente in der dritten Linsengruppe zu konzentrieren, um eine effektive Kompensation chromatischer Aberrationen zu erreichen.

[0027] In der Gleichung (2) ist der obere Grenzwert größer als 1. Wenn ein Parameter der Gleichung (2) größer als 1 ist, zeigt dies an, dass die zusammengesetzte Brechkraft der Fluorit-Linsenelemente größer ist als die Brechkraft der dritten Linsengruppe; d. h. die dritte Linsengruppe weist Quarz-Linsenelemente mit negativer Brechkraft auf.

[0028] Die zweite Linsengruppe G2 mit negativer Brechkraft besitzt eine Struktur, so dass die achsparallele

Strahlhöhe gering ist, was praktisch ist für eine Kompensation der Petzval-Summe. Jedoch ist der Beitrag zur Kompensation chromatischer Aberrationen durch die Quarz-Linsenelemente mit negativer Brechkraft in der zweiten Linsengruppe G2 weniger wirksam. Daher werden durch Verwendung der achsparallelen Strahlhöhe die Fluorit-Linsenelemente mit positiver Brechkraft innerhalb der dritten Linsengruppe G3 derart angeordnet, dass das Auftreten chromatischer Aberrationen verhindert wird und gleichzeitig werden die Quarz-Linsenelemente mit negativer Brechkraft innerhalb der dritten Linsengruppe G3 derart angeordnet, dass chromatische Aberrationen effektiv kompensiert werden.

[0029] Wenn die positive Brechkraft der Fluorit-Linsenelemente zu stark wird, so dass der obere Grenzwert der Gleichung (2) überschritten wird, dann wird die entsprechende negative Brechkraft der Quarz-Linsenelemente zu stark. Wenn dies der Fall ist, wird das Auftreten von sphärischen und Koma- bzw. Asymmetriefehler-Aberrationen höherer Ordnung bemerkbar aufgrund der Effekte jeder der Brechungsoberflächen mit starker Krümmung. Infolge dessen ist es schwierig, verschiedene monochromatische Aberrationen zu kompensieren.

[0030] Wenn andererseits die positive Brechkraft der Fluorit-Linsenelemente zu klein wird, so dass der untere Grenzwert der Gleichung (2) unterschritten wird, wird das Auftreten chromatischer Aberration durch die Quarz-Linsenelemente mit positiver Brechkraft bemerkbar und eine Kompensation chromatischer Aberration durch die Quarz-Linsenelemente mit negativer Brechkraft wird ungenügend, was eine unvollständige Kompensation der chromatischen Aberration ergibt.

[0031] Es wurde daraus geschlossen, dass die zusammengesetzte Brechkraft der Fluorit-Linsenelemente in der dritten Linsengruppe vorzugsweise innerhalb des Bereichs sein sollte, der durch die Gleichung (2) definiert ist.

[0032] Die zusammengesetzte Brennweite der Fluorit-Linsenelemente in der dritten Linsengruppe f_{3c} gemäß Gleichung (2) ist durch die nachfolgende Gleichung (B) definiert:

$$\begin{aligned} 1 / f_{3c} &= \sum_{3c} [h_k / h_{3max} \cdot 1 / f_k] \\ &= 1 / h_{3max} \sum_{3c} h_k / f_k \end{aligned} \quad (B)$$

wobei:

h_{3max} : Maximalwert der achsparallelen Strahlhöhe an der dritten Linsengruppe G3

f_k : Brennweite jedes der Linsenelemente

h_k : Durchschnittliche Höhe achsparalleler Strahlen an den Vorder- und Rückseiten jedes der Linsenelemente

\sum_{3c} : Summe aller Fluorit-Linsenelemente, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind.

[0033] In einem optischen Projektionssystem gemäß der vorliegenden Erfindung sind Differenzen der achsparallelen Strahlhöhen jeder der Linsenelemente relativ groß, so dass das optische System nicht als ein kontaktierendes System mit dünnen Linsen angesehen werden kann. Infolgedessen kann die zusammengesetzte Leistung der Fluorit-Linsenelemente nicht durch einfache Addition der Leistungen bzw. Brechkräfte jeder der Fluorit-Linsenelemente gezeigt werden, das heißt durch Addition der Reziproke der Brennweiten jeder der Linsenelemente $1/f_k$. Um die zusammengesetzte Leistung bzw. Brechkraft anzuzeigen, müssen stattdessen, wie in Gleichung (B) gezeigt ist, die Leistungen bzw. Brechkräfte jeder der Linsenelemente addiert werden, nachdem sie gewichtet wurden durch Verhältnisse der achsparallelen Strahlhöhen h_k jedes Linsenelements innerhalb der dritten Linsengruppe G3.

[0034] Ferner wird bevorzugt, dass die nachfolgende Gleichung (3) erfüllt ist, um die zusammengesetzte Leistung bzw. Brechkraft der Fluorit-Linsenelemente in der dritten Linsengruppe G3 zu konstruieren, um die Gleichung (2) zu erfüllen.

$$0,8 \leq h_{3cmax} / h_{3max} \quad (3)$$

wobei

h_{3max} : Maximalwert der achsparallelen Strahlhöhe aller Fluorit-Linsenelemente, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind.

[0035] Da Fluorit einen geringeren Brechungsindex bzw. eine niedrigere Brechzahl besitzt als Quarz, erfordert Fluorit eine größere Krümmung als Quarz, um eine Linse mit der gleichen Brechkraft zu konstruieren. In-

folgedessen ist das Auftreten von Aberrationen signifikanter. Durch Anordnen der Fluorit-Linsenelemente an einer höheren achsparallelen Strahlhöhe, so dass die Gleichung (3) erfüllt ist, wird der Gewichtungskoeffizient $h_k/h_{3\max}$ größer, wie in Gleichung (B) gezeigt ist, so dass die Krümmung mit kleinerer Brechkraft $1/f_k$ kleiner eingestellt werden kann. Das heißt, durch Verwenden der Positionierung, die durch Gleichung (3) definiert ist, kann das Auftreten chromatischer Aberrationen effektiv gesteuert werden, und das Auftreten monochromatischer Aberrationen kann verhindert werden.

[0036] Wenn der Maximalwert der achsparallelen Strahlhöhe der Fluorit-Linsenelemente $h_{3\max}$ zu niedrig wird, so dass der untere Grenzwert der Gleichung (3) unterschritten wird, ist es schwierig, die Komponenten höherer Ordnung der monochromatischen Aberrationen, wie beispielsweise sphärische Aberrationen und Koma-Aberrationen zu kompensieren, während chromatische Aberrationen kompensiert werden. Das heißt, es wird schwierig eine Kompensation von monochromatischen Aberrationen und eine Kompensation chromatischer Aberrationen gleichzeitig zu erreichen.

[0037] In Übereinstimmung mit der Praxis der vorliegenden Erfindung wird auch bevorzugt, dass die nachfolgende Gleichung (4) erfüllt ist.

$$0,8 \leq h_{3Q\max}/h_{3\max} \quad (4)$$

wobei:

$h_{3Q\max}$: Maximalwert der achsparallelen Strahlhöhe aller Quarz-Linsenelemente, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind.

[0038] Durch Erfüllen der Gleichung (4) wird der Maximalwert der achsparallelen Strahlhöhe $h_{3\max}$ in der dritten Linsengruppe G3 relativ kleiner, und der Gewichtungskoeffizient der Gleichung (B) $h_k/h_{3\max}$ wird größer; infolgedessen kann die Krümmung der Fluorit-Linsenelemente kleiner eingestellt werden durch Vermindern der Leistung bzw. Brechkraft $1/f_k$.

[0039] Wenn jedoch der Maximalwert der achsparallelen Strahlhöhe der Quarz-Linsenelemente zu niedrig wird, so dass der untere Grenzwert der Gleichung (4) unterschritten wird, wird es schwierig, Komponenten höherer Ordnung der chromatischen Aberrationen wie beispielsweise sphärische Aberrationen und Koma-Aberrationen zu kompensieren, während chromatische Aberrationen kompensiert werden. Das heißt, es wird schwierig, eine Kompensation monochromatischer Aberrationen und eine Kompensation chromatischer Aberrationen gleichzeitig zu erreichen.

[0040] Ein optisches Projektionssystem mit verminderten Projektionskräften kann so strukturiert bzw. aufgebaut werden, dass die achsparallele Strahlhöhe der dritten Linsengruppe höher ist als diejenigen der ersten und zweiten Linsengruppe G1 und G2. In diesem Fall wird die Leistung bzw. Brechkraft der dritten Linsengruppe G3 im Wesentlichen in Bezug stehen auf das Auftreten von Komponenten höherer Ordnung von sphärischen Aberrationen oder Koma-Aberrationen, und zwar verglichen mit den anderen Linsengruppen. Für diesen Fall wird bevorzugt, dass die folgende Bedingung erfüllt wird mit Bezug auf die Leistung bzw. Brechkraft der dritten Linsengruppe G3.

$$0,07 \leq f_3/L \leq 0,15 \quad (5)$$

[0041] Wenn die positive Leistung bzw. Brechkraft der dritten Linsengruppe G3 zu stark wird, so dass der untere Grenzwert der Gleichung (5) unterschritten wird, treten sphärische Aberrationen oder Koma-Aberrationen höherer Ordnung in der dritten Linsengruppe G3 auf, so dass es schwierig ist Aberrationen durch andere Linsengruppen zu kompensieren. Wenn andererseits die Leistung bzw. Brechkraft der dritten Linsengruppe zu schwach wird, so dass der obere Grenzwert der Gleichung (5) überschritten wird, ist eine Kompensation für sphärische und Koma-Aberrationen einfach, aber die zweiten Linsengruppe G2 kann keine starke negative Leistung bzw. Brechkraft vorsehen. Daher wird es schwierig die Petzval-Summe ausreichend zu kompensieren.

[0042] Um bei der vorliegenden Erfindung das Auftreten von sphärischen und Koma-Aberrationen höherer Ordnung zu verhindern, wird bevorzugt, dass die folgende Gleichung erfüllt wird:

$$0,15 \leq f_{3C\max}/L \leq 1 \quad (6)$$

wobei:

f_{3Cmax} : Brennweite eines Fluorit-Linsenelements, welches derart angeordnet ist, dass seine achsparallele Strahlhöhe am höchsten ist unter allen Fluorit-Elementen mit positiver Leistung bzw. Brechkraft, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind.

[0043] Wenn die Leistung bzw. Brechkraft der Fluorit-Linsenelemente, die auf einer hohen achsparallelen Strahlhöhe angeordnet sind, zu stark wird, so dass der untere Grenzwert der Gleichung (6) unterschritten wird, werden Komponenten sphärischer Aberrationen höherer Ordnung in verstärktem Maße erzeugt, so dass eine ausreichende Kompensation sphärischer Aberrationen verhindert wird.

[0044] Wenn andererseits die Leistung bzw. Brechkraft der Fluorit-Linsenelemente, die auf einer hohen achsparallelen Strahlhöhe angeordnet sind, zu schwach wird, so dass der obere Grenzwert der Gleichung (6) überschritten wird, dann wird die Leistung bzw. Brechkraft der anderen Fluorit-Linsenelemente, die auf einer niedrigen achsparallelen Strahlhöhe angeordnet sind für eine Kompensation chromatischer Aberrationen, zu stark, und Komponenten von Koma-Aberrationen höherer Ordnung werden in großem Maße erzeugt. Infolgedessen ist es schwierig, Koma-Aberrationen ausreichend zu kompensieren.

[0045] Auch sind die Quarz-Linsenelemente, die auf einer hohen achsparallelen Strahlhöhe angeordnet sind und eine negative Brechkraft besitzen, wichtig für eine Kompensation chromatischer Aberrationen. Jedoch muss die Leistung bzw. Brechkraft der Quarz-Linsen innerhalb eines gegebenen Bereichs eingestellt werden, um eine Kompensation monochromatischer Aberrationen und eine Kompensation chromatischer Aberrationen gleichzeitig zu erreichen. Bei der vorliegenden Erfindung wird daher bevorzugt, dass die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0,2 \leq |f_{3Qmax}/L| \leq 1 \quad (7)$$

wobei:

f_{3Qmax} : Brennweite eines Quarz-Linsenelements, das derart angeordnet ist, dass seine achsparallele Strahlhöhe unter allen Quarz-Linsen mit negativer Leistung bzw. Brechkraft, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind, am höchsten ist.

[0046] Wenn die Leistung bzw. Brechkraft der Quarz-Linsenelemente, die auf einer hohen achsparallelen Strahlhöhe angeordnet sind und eine negative Brechkraft besitzen, zu stark wird, ist dies für eine Kompensation chromatischer Aberrationen praktisch. Jedoch werden Komponenten sphärischer Aberrationen höherer Ordnung überkompensiert, so dass die Abbildungsleistung verschlechtert wird.

[0047] Wenn andererseits die Leistung bzw. Brechkraft der Quarz-Linsenelemente, die auf einer hohen achsparallelen Strahlhöhe angeordnet sind und eine negative Leistung bzw. Brechkraft besitzen, zu schwach wird, können sphärische Aberrationen höherer Ordnung nicht ausreichend kompensiert werden, und gleichzeitig ist es schwierig, chromatische Aberrationen zu kompensieren.

[0048] Wenn eine Kompensation von sowohl monochromatischen als auch chromatischen Aberrationen gleichzeitig mit einer geringeren Anzahl von Fluorit-Linsenelementen erreicht werden soll, ist es notwendig, die Effizienz bei der Kompensation chromatischer Aberrationen zu erhöhen durch Vorsehen einer Struktur, so dass der Durchschnitt der achsparallelen Strahlhöhen jeder der Fluorit-Linsenelemente f_{3Cave} hoch wird, während das Auftreten monochromatischer Aberrationen verhindert wird. Dazu sollte die Krümmung der Fluorit-Linsenelemente so klein wie möglich gemacht werden, das heißt mit kleinen Brechkraften. Dies wird vorzugsweise erreicht durch Erfüllung der nachfolgenden Gleichung (8), insbesondere, wenn eine Kompensation chromatischer Aberrationen erreicht werden soll mit einer kleineren Anzahl von Fluorit-Linsenelementen:

$$0,8 \leq h_{3Cave}/h_{3max} \quad (8)$$

wobei:

h_{3Cave} : Durchschnitt der achsparallelen Strahlhöhen aller Fluorit-Linsenelemente, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind.

[0049] Wenn die durchschnittliche achsparallele Strahlhöhe der Fluorit-Linsenelemente h_{3Cave} zu gering wird, so dass der untere Grenzwert der Gleichung (8) unterschritten wird, wird die Fähigkeit der Fluorit-Linsenelemente zum Verhindern des Auftretens chromatischer Aberrationen signifikant verschlechtert, und es ist schwierig, sphärische und Koma-Aberrationen zu kompensieren, wenn chromatische Aberrationen unnatürlich kompensiert werden. Infolgedessen ist es schwierig eine Kompensation von sowohl chromatischen als auch

monochromatischen Aberrationen gleichzeitig zu erreichen.

[0050] Um auch chromatische Aberrationen über einen weiten Bereich von Wellenlängen zu kompensieren, ist es notwendig zusätzlich Fluorit-Linsenelemente in der ersten Linsengruppe zu verwenden. In diesem Fall wird bevorzugt, dass die nachfolgende Gleichung (9) erfüllt ist.

$$0,7 \leq f_1/f_{1c} \leq 2,5 \quad (9)$$

wobei:

f_1 : Brennweite der Linsengruppe G1

f_{1c} : Zusammengesetzte Brennweite der Fluorit-Linsenelemente, die in der Linsengruppe G1 umfasst sind.

[0051] Und auch:

$$\begin{aligned} 1 / f_{1c} &\equiv \sum_{1c} [h_k / h_{1max} \cdot 1 / f_k] \\ &= 1 / h_{1max} \cdot \sum_{1c} h_k / f_k \end{aligned}$$

wobei:

h_{1max} : Maximalwert der achsparallelen Strahlhöhe der ersten Linsengruppe G1

\sum_{1c} : Summe aller Fluorit-Linsenelemente, die in der ersten Linsengruppe G1 umfasst sind.

[0052] Wenn die positive Leistung bzw. Brechkraft der Fluorit-Linsenelemente in der ersten Linsengruppe G1 zu groß wird, so dass der obere Grenzwert der Gleichung (9) überschritten wird, treten Komponenten höherer Ordnung von Koma-Aberrationen und Feldkrümmung in großem Maße auf, so dass es schwierig ist, Kompensationen für sowohl chromatische als auch monochromatische Aberrationen gleichzeitig zu erreichen.

[0053] Wenn andererseits die positive Brechkraft der Fluorit-Linsenelemente in der ersten Linsengruppe G1 zu schwach wird, so dass der untere Grenzwert der Gleichung (9) unterschritten wird, können chromatische Aberrationen, die von den Quarz-Linsenelementen mit positiver Brechkraft in der ersten Linsengruppe G1 hervorgerufen wurden, nicht vollständig kompensiert werden, so dass es nicht möglich ist, chromatische Aberrationen entsprechend einem weiten Bereich von Wellenlängen ausreichend zu kompensieren.

[0054] Die Erfindung wird am besten verstanden mit Bezug auf die [Fig. 1](#) bis [Fig. 13](#), jedes der Ausführungsbeispiele repräsentiert eine Anwendung des optischen Projektionssystems der vorliegenden Erfindung auf eine Belichtungseinrichtung, wie sie in [Fig. 1](#) gezeigt ist. In [Fig. 1](#) wird das Retikel bzw. die Maske R (das erste Objekt), auf dem bzw. der ein gegebenes Schaltungsmuster gebildet ist, als ein Maskensubstrat auf der Objektivenebene eines optischen Projektionssystem PL der vorliegenden Erfindung angeordnet. Ein Wafer W (das zweite Objekt) als ein Substrat wird auf der Bildebene des optischen Projektionssystem PL angeordnet.

[0055] Die Maske R wird auf einer Maskenbühne RS gehalten und der Wafer W wird auf einer Waferbühne WS gehalten.

[0056] Eine Beleuchtungseinrichtung IS, die die Maske R durch das Kohler-Beleuchtungsverfahren gleichförmig beleuchtet, ist oberhalb der Maske R angeordnet. Das optische Projektionssystem PL ist auch an dem Objektivende telezentrisch; daher wird eine Abbildung einer Lichtquelle in der Beleuchtungseinrichtung IS an der Blende AS des optischen Projektionssystem PL gebildet. Das Bild des Musters auf der Maske R wird durch das optische Projektionssystem auf den Wafer W belichtet (übertragen).

[0057] Die [Fig. 2](#), [Fig. 5](#), [Fig. 8](#) und [Fig. 11](#) zeigen Linsenstrukturen für die Ausführungsbeispiele 1 bis 4 des optischen Projektionssystem der vorliegenden Erfindung. Jedem der verschiedenen Linsenstrukturausführungsbeispiele des optischen Projektionssystem der vorliegenden Erfindung ist folgendes gemeinsam, und zwar in der Reihenfolge von der Seite der Maske als dem ersten Objekt:
eine erste Linsengruppe G1 mit einer positiven Brechkraft;
eine zweite Linsengruppe G2 mit einer negativen Brechkraft; und
eine dritte Linsengruppe G3 mit einer positiven Brechkraft.

[0058] Die Linsengruppen sollten im Wesentlichen telezentrisch sein, sowohl an dem Objektivende (der Seite der Maske R) als auch an dem Bildende (der Seite des Wafers W).

[0059] In allen Ausführungsbeispielen wird ein Excimer-Laser als Lichtquelle innerhalb der Beleuchtungseinrichtung IS verwendet, um Lichtstrahlen mit einer Belichtungs-Mittel-Wellenlänge λ von 193,4 nm vorzusehen.

[0060] In dem brechenden optischen Projektionssystem des in [Fig. 2](#) gezeigten Ausführungsbeispiels 1, ist NA an der Bildebene 0,6, die Projektionsvergrößerung β ist $\frac{1}{4}$ und der Durchmesser des Belichtungsbereichs am Bildende ist 30,6. Auch werden chromatische Aberrationen kompensiert durch Berücksichtigung von ± 1 pm des Spektralbereichs. Die erste Linsengruppe G1 weist 14 Linsenelemente L11 bis L114 auf, die aus Quarz bestehen. Die zweite Linsengruppe G2 weist vier Linsenelemente L21 bis L24 auf, die aus Quarz bestehen. Die dritte Linsengruppe G3 weist 11 Linsenelemente L1 bis L311 auf, wobei sechs der Linsenelemente in der Gruppe 3 aus Fluorit bestehen und die anderen fünf aus Quarz bestehen.

[0061] Bei dem brechenden optischen Projektionssystem des in [Fig. 5](#) gezeigten Ausführungsbeispiels 2 ist NA an dem Bildende 0,6, die Projektionsvergrößerung β ist ein $\frac{1}{4}$ und der Durchmesser des Belichtungsbereichs an der Bildebene ist 30,6. Auch werden chromatische Aberrationen kompensiert durch Berücksichtigung von ± 1 pm des Spektralbereichs. Die erste Linsengruppe G1 weist 14 Linsenelemente L11 bis L114 auf, die aus Quarz bestehen. Die zweite Linsengruppe G2 weist vier Linsenelemente L21 bis L24 auf, die aus Quarz bestehen. Die dritte Linsengruppe G3 weist 11 Linsenelemente L31 bis L311 auf, wobei nur die Linsenelemente L31, L33 und L38 aus Fluorit bestehen, und die verbleibenden acht Linsenelemente aus Quarz bestehen. Daher besitzt dieses Ausführungsbeispiel eine größere Notwendigkeit die Bedingung der Gleichung (8) zu erfüllen.

[0062] Bei dem brechenden optischen Projektionssystem des in [Fig. 8](#) gezeigten Ausführungsbeispiels 3 ist NA am Bildende 0,6, die Projektionsvergrößerung β ist $\frac{1}{4}$ und der Durchmesser des Belichtungsbereichs an dem Bildende ist 26,8. Auch werden chromatische Aberrationen kompensiert durch Berücksichtigung von ± 1 pm des Spektralbereichs. Die erste Linsengruppe G1 weist 15 Linsenelemente L11 bis L115 auf, wobei die letzten zwei Linsenelemente L114 und L115 aus Fluorit bestehen und die verbleibenden 13 Linsenelemente aus Quarz bestehen. Die zweite Linsengruppe G2 weist vier Linsenelemente L21 bis L24 auf, die aus Quarz bestehen. Die dritte Linsengruppe G3 weist 10 Linsenelemente 31 bis L310 auf, wobei fünf der Linsenelemente aus Fluorit bestehen und die anderen fünf Linsenelemente aus Quarz bestehen. Dieses Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von den Ausführungsbeispielen 1 und 2 dadurch, dass die erste Linsengruppe G1 Fluorit-Linsenelemente aufweist.

[0063] Bei den Ausführungsbeispielen 1 bis 3 werden Kompensationen von sowohl chromatischen Aberrationen als auch Koma-Aberrationen erreicht durch Anordnen eines bikonvexen Fluorit-Linsenelements L33 und eines meniskus-förmigen Quarz-Linsenelements L34, dessen konkave Oberfläche zum Objektivende hinweist, benachbart zueinander an einer Position mit hoher achsparalleler Strahlhöhe in der dritten Linsengruppe G3.

[0064] [Fig. 3](#) zeigt sphärische Aberrationen, Astigmatismus und Verzerrung des Ausführungsbeispiels 1. [Fig. 4](#) zeigt laterale bzw. seitliche Aberrationen des Ausführungsbeispiels 1. In ähnlicher Weise zeigen die [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) verschiedene Aberrationen des Ausführungsbeispiels 2. [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) zeigen verschiedene Aberrationen des Ausführungsbeispiels 3. [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#) zeigen verschiedene Aberrationen für das Ausführungsbeispiel 4. In den Figuren, die Astigmatismus zeigen, bedeutet M eine Meridionalbildebene, und S bedeutet eine Sagittalbildebene.

[0065] Wie aus jeder der Figuren offenbar ist, weist jedes der Ausführungsbeispiel eine erforderliche Linsenstruktur auf, die die Bedingungen (1) bis (9) erfüllt, so dass eine feine Abbildleistung erhalten wird.

[0066] Obwohl in allen obigen Ausführungsbeispielen ein Excimer-Laser als Belichtungslichtquelle bei 193,4 nm verwendet wird, ist ferner offensichtlich, dass die Erfindung nicht auf eine Excimer-Laser-Lichtquelle bei 193,4 nm oder irgendeine gegebene Excimer-Laser-Lichtquelle beschränkt ist. Diesbezüglich kann eine Ultraviolett-Lichtquelle, wie beispielsweise ein Excimer-Laser, der Lichtstrahlen bei 248,4 nm liefert, verwendet werden, oder es könnten eine Quecksilber-Bogenlampe, die eine g-Linie (436 nm) oder eine i-Linie (365 nm) liefert, oder sogar andere Lichtquellen außerhalb des ultravioletten Bereichs verwendet werden.

[0067] In dem brechenden optischen Projektionssystem des in [Fig. 11](#) gezeigten Ausführungsbeispiels 4 ist NA am Bildende 0,6, die Projektionsvergrößerung β ist $\frac{1}{4}$, und der Durchmesser des Belichtungsbereichs am Bildende ist 30,6. Auch werden chromatische Aberrationen kompensiert durch Berücksichtigung von ± 100 pm des Spektralbereichs. Die erste Linsengruppe G1 weist 14 Linsenelemente L11 bis L114 auf, wobei die letzten vier Linsenelemente L111 bis L114 aus Fluorit bestehen und die anderen Linsenelemente aus Quarz bestehen. Die zweite Linsengruppe G2 weist 7 Linsenelemente L21 bis L27 auf, wobei zwei der Linsenelemente L22 und

L25 aus Fluorit bestehen und die restlichen Linsenelemente aus Quarz bestehen. Die dritte Linsengruppe G3 weist 15 Linsenelemente L31 bis L315 auf, wobei 10 der Linsenelemente aus Fluorit bestehen und die anderen fünf Linsenelemente aus Quarz bestehen.

[0068] Bei diesem Ausführungsbeispiel werden chromatische Aberrationen kompensiert durch Berücksichtigung von ± 100 pm des Spektralbereichs. Eine Dispersion oder Streuung entsprechend einem Bereich von ± 100 pm ist ungefähr 100 mal größer die Dispersion bzw. Streuung entsprechend einem Bereich von ± 1 pm. Daher werden Fluorit-Linsenelemente in der ersten Linsengruppe G1 als auch in der zweiten Linsengruppe G2 angeordnet. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel werden Kompensationen für sowohl chromatische Aberrationen als auch Koma-Aberrationen erreicht durch eine Struktur, in der: das bikonvexe Fluorit-Linsenelement L33 und das meniskus-förmige Quarz-Linsenelement L34 mit einer konkaven Oberfläche zu dem Objektivende hin benachbart zueinander an einer Position mit hoher achsparalleler Strahlhöhe in der dritten Linsengruppe G3 angeordnet sind; und das bikonkave Quarz-Linsenelement L36 zwischen den bikonvexen Fluorit-Linsenelementen L35 und L37 angeordnet ist.

[0069] Verschiedene bezeichnende Werte der Ausführungsbeispiele 1 bis 4 sind in den Tabellen 1 bis 4 gezeigt. In den Tabellen bedeutet: die erste Spalte die Nummer jeder Linsenoberfläche in der Reihenfolge von dem Objektivende (der Seite der Maske); die zweite Spalte r einen Krümmungsradius jeder Linse; die dritte Spalte d einen Abstand zwischen Linsenoberflächen; die vierte Spalte das Material jeder Linse; und die fünfte Spalte die Elementnummern jeder Linse.

[0070] Die Brechzahlen bzw. Brechungsindizes n von Quarz (SiO_2) und Fluorit (CaF_2) entsprechend einer Belichtungswellenlänge von 193,4 nm sind:

SiO_2 : $n = 1,56019$

CaF_2 : $n = 1,50138$

[0071] Auch sind ein Dispersionswert bei der Belichtungswellenlänge von 193,4 nm mit einem Spektralbereich von ± 1 pm

$$v(\pm 1 \text{ pm}) = (n - 1)/\delta n(\pm 1 \text{ pm})$$

und ein Dispersionswert mit einem Spektralwert von (± 100 pm)

$$v(\pm 100 \text{ pm}) = (n - 1)/\delta n(\pm 100 \text{ pm})$$

von Quarz (SiO_2) und Fluorit (CaF_2):

SiO_2 : $v(\pm 1 \text{ pm}) = 175060$

$v(\pm 100 \text{ pm}) = 1776$

CaF_2 : $v(\pm 1 \text{ pm}) = 250690$

$v(\pm 100 \text{ pm}) = 2545$

[0072] Auch sind die Parameter für jede der Bedingungen (1) bis (9) für jedes der Ausführungsbeispiele in Tabelle 5 gezeigt.

Tabelle 1

	r	d		
0	(Maske)	88.563400		
1	-291.35363	73.000000	SiO ₂	L ₁₁
2	-275.27636	0.500000		
3	480.01519	24.000000	SiO ₂	L ₁₂
4	-618.65478	0.500000		
5	214.89558	25.500000	SiO ₂	L ₁₃
6	3089.97605	0.500000		
7	177.49323	23.544537	SiO ₂	L ₁₄
8	101.56031	15.912587		
9	208.30038	21.300000	SiO ₂	L ₁₅
10	-836.08898	0.500000		
11	700.00000	19.095104	SiO ₂	L ₁₆
12	108.03348	23.338460		
13	-309.96962	15.382167	SiO ₂	L ₁₇

14	234.69175	21.216782		
15	-162.16136	15.448042	SiO ₂	L ₁₈
16	956.86947	60.284514		
17	-2137.69687	26.416153	SiO ₂	L ₁₉
18	-188.00000	13.000000		
19	-131.30000	34.711647	SiO ₂	L ₁₁₀
20	-240.61303	0.500000		
21	-6627.29844	26.520978	SiO ₂	L ₁₁₁
22	-337.81795	0.500000		
23	757.15974	29.000000	SiO ₂	L ₁₁₂
24	-513.00000	0.500000		
25	403.00000	28.000000	SiO ₂	L ₁₁₃
26	-2209.19099	0.500000		
27	217.54212	41.573943	SiO ₂	L ₁₁₄
28	-3600.00000	0.500000		
29	3788.06971	30.453059	SiO ₂	L ₂₁
30	154.05985	11.669230		
31	258.71144	16.443006	SiO ₂	L ₂₂
32	152.03153	35.149248		
33	-215.38561	14.321328	SiO ₂	L ₂₃
34	367.44653	28.000000		
35	(Blende)	25.342046		
36	-150.70652	13.629325	SiO ₂	L ₂₄
37	8355.78260	0.500000		
38	4600.00000	32.000000	CaF ₂	L ₃₁
39	-176.69990	0.500000		
40	-2887.58688	21.000000	SiO ₂	L ₃₂
41	-338.62181	0.500000		
42	419.32560	38.720628	CaF ₂	L ₃₃
43	-342.21997	90.17132		
44	-233.57362	21.000000	SiO ₂	L ₃₄
45	-1103.12332	0.5000000		

46	520.00000	26.000000	CaF ₂	L ₃₅
47	-1118.98353	0.500000		
48	395.37562	27.500000	SiO ₂	L ₃₆
49	-2538.47741	0.500000		
50	262.51253	27.500000	CaF ₂	L ₃₇
51	1300.00000	0.500000		
52	133.90538	42.963984	CaF ₂	L ₃₈
53	864.11488	1.158603		
54	1228.69680	21.100763	SiO ₂	L ₃₉
55	953.98148	6.365035		
56	108.11671	39.251047	CaF ₂	L ₃₁₀
57	-3500.00000	0.530420		
58	-2962.27096	63.550033	SiO ₂	L ₃₁₁
59	510.49529	14.426921		
60	(Wafer)			

Tabelle 2

	r	d		
0	(Maske)	87.809583		
1	-362.32686	73.000000	SiO ₂	L ₁₁
2	-309.51040	0.500000		
3	391.00320	24.000000	SiO ₂	L ₁₂
4	-721.38993	0.500000		
5	227.13393	25.500000	SiO ₂	L ₁₃
6	5705.55505	0.500000		
7	192.49202	19.470434	SiO ₂	L ₁₄
8	103.23979	15.912587		
9	216.43156	21.300000	SiO ₂	L ₁₅
10	-626.30729	0.500000		
11	700.00000	19.095104	SiO ₂	L ₁₆
12	116.08921	23.338460		
13	-253.52781	15.382167	SiO ₂	L ₁₇
14	238.54927	21.216782		

15	-157.82490	15.448042	SiO ₂	L ₁₈
16	742.64342	58.810956		
17	-3922.38675	26.416153	SiO ₂	L ₁₉
18	-188.00000	13.696393		
19	-131.30000	34.304033	SiO ₂	L ₁₁₀
20	-234.31195	0.500000		
21	-3481.76680	26.520978	SiO ₂	L ₁₁₁
22	-324.33350	0.500000		
23	772.98524	29.000000	SiO ₂	L ₁₁₂
24	-513.00000	0.500000		
25	403.00000	28.000000	SiO ₂	L ₁₁₃
26	-2036.40977	0.500000		
27	220.05778	42.629600	SiO ₂	L ₁₁₄
28	-3600.00000	0.500000		
29	-3785.46147	31.537549	SiO ₂	L ₂₁
30	150.37555	11.669230		
31	246.26737	16.443006	SiO ₂	L ₂₂
32	156.76128	40.146907		
33	-207.62202	14.321328	SiO ₂	L ₂₃
34	368.72637	29.000000		
35	(Blende)	21.698779		
36	-148.87213	14.010068	SiO ₂	L ₂₄
37	9053.85035	0.500000		
38	4600.00000	32.000000	CaF ₂	L ₃₁
39	-178.53029	0.500000		
40	-1783.59259	21.000000	SiO ₂	L ₃₂
41	-318.03867	0.500000		
42	412.11180	38.720628	CaF ₂	L ₃₃
43	-337.09142	9.729076		
44	-231.04745	21.000000	SiO ₂	L ₃₄
45	-1072.64383	0.500000		
46	620.00000	26.000000	SiO ₂	L ₃₅

47	-1083.02216	0.500000		
48	378.86703	27.500000	SiO ₂	L ₃₆
49	-4093.90236	0.500000		
50	268.72335	27.500000	SiO ₂	L ₃₇
51	1000.00000	0.500000		
52	137.71322	42.963984	CaF ₂	L ₃₈
53	752.18201	2.379423		
54	1127.95978	22.281076	SiO ₂	L ₃₉
55	103.84447	6.365035		
56	121.81745	39.251047	SiO ₂	L ₃₁₀
57	-3500.00000	0.530420		
58	-3215.04047	60.256455	SiO ₂	L ₃₁₁
59	493.36069	14.427099		
60	(Wafer)			

Tabelle 3

	r	d		
0	(Maske)	103.390978		
1	-453.18731	17.000000	SiO ₂	L ₁₁
2	370.52697	13.613089		
3	710.84358	26.000000	SiO ₂	L ₁₂
4	-350.78200	1.000000		
5	367.53957	28.000000	SiO ₂	L ₁₃
6	-567.47540	1.000000		
7	289.50734	29.000000	SiO ₂	L ₁₄
8	-899.09021	1.000000		
9	199.45895	23.000000	SiO ₂	L ₁₅
10	103.61200	15.764153		
11	188.56105	25.800000	SiO ₂	L ₁₆
12	-547.20881	4.242446		
13	3000.00000	16.616840	SiO ₂	L ₁₇
14	118.18165	21.762847		
15	-336.11504	15.000000	SiO ₂	L ₁₈

16	161.39927	25.871656		
17	-120.57109	15.000000	SiO ₂	L ₁₉
18	∞	33.995810		
19	-2985.44349	36.979230	SiO ₂	L ₁₁₀
20	-150.10550	11.683590		
21	-122.25791	28.000000	SiO ₂	L ₁₁₁
22	-204.99200	1.000000		
23	∞	29.240000	SiO ₂	L ₁₁₂
24	-312.57215	1.000000		
25	965.45342	27.000000	SiO ₂	L ₁₁₃
26	-643.40298	1.000000		
27	258.67450	39.000000	CaF ₂	L ₁₁₄
28	-2967.14698	1.000000		
29	246.35328	35.600000	CaF ₂	L ₁₁₅
30	-2970.04481	1.000000		
31	∞	24.000000	SiO ₂	L ₂₁
32	157.63171	10.667015		
33	234.15227	17.000000	SiO ₂	L ₂₂
34	157.66180	32.592494		
35	-200.72428	15.000000	SiO ₂	L ₂₃
36	432.89447	37.939196		
37	(Blende)	24.400000		
38	-175.71116	17.000000	SiO ₂	L ₂₄
39	-2985.98357	1.000000		
40	-2985.99700	35.500000	CaF ₂	L ₃₁
41	-189.63629	1.000000		
42	-3000.00000	24.400000	SiO ₂	L ₃₂
43	-350.29744	1.000000		
44	362.38815	46.500000	CaF ₂	L ₃₃
45	-361.31567	10.870000		
46	-251.97148	23.000000	SiO ₂	L ₃₄
47	-662.28158	1.000000		

48	238.98700	38.100000	CaF ₂	L ₃₅
49	1994.63265	1.000000		
50	211.51173	33.400000	CaF ₂	L ₃₆
51	720.00000	1.000000		
52	129.92966	46.000000	CaF ₂	L ₃₇
53	669.85166	2.783304		
54	970.74182	19.986222	SiO ₂	L ₃₈
55	78.2021	6.273142		
56	86.12755	32.522737	SiO ₂	L ₃₉
57	230.00000	2.862480		
58	232.22064	44.183443	SiO ₂	L ₃₁₀
59	350.03691	19.466219		
60	(Wafer)			

Tabelle 4

	r	d		
0	(Maske)	64.520598		
1	-235.90617	53.784690	SiO ₂	L ₁₁
2	-270.16209	0.500000		
3	1127.68810	23.000000	SiO ₂	L ₁₂
4	-458.14547	0.367730		
5	309.41543	24.901540	SiO ₂	L ₁₃
6	-1621.84734	0.500000		
7	214.91745	45.302946	SiO ₂	L ₁₄
8	125.60336	11.179000		
9	197.70102	22.419900	SiO ₂	L ₁₅
10	673.74044	0.000000		
11	452.71985	17.000000	SiO ₂	L ₁₆
12	114.80732	19.500000		
13	-353.2711	16.000000	SiO ₂	L ₁₇
14	174.94617	23.520550		
15	-160.93746	16.280830	SiO ₂	L ₁₈
16	1343.01697	25.994827		

17	-246.69033	22.509494	SiO ₂	L ₁₉
18	-154.78807	11.564785		
19	-127.42035	45.572168	SiO ₂	L ₁₁₀
20	-182.19878	0.500000		
21	-1134.00789	26.000000	CaF ₂	L ₁₁₁
22	248.33375	0.500000		
23	782.76783	27.000000	CaF ₂	L ₁₁₂
24	-438.84333	0.500000		
25	267.38925	27.500000	CaF ₂	L ₁₁₃
26	-5093.23484	0.500000		
27	244.65801	32.000000	CaF ₂	L ₁₁₄
28	1588.21390	0.500000		
29	1628.15704	21.963457	SiO ₂	L ₂₁
30	266.08836	2.000000		
31	279.13822	26.251010	CaF ₂	L ₂₂
32	1381.05415	0.500000		
33	1027.40289	16.000000	SiO ₂	L ₂₃
34	133.99485	30.000000		
35	-228.39309	13.000000	SiO ₂	L ₂₄
36	169.83955	0.500000		
37	159.15726	35.000000	CaF ₂	L ₂₅
38	-143.16000	0.500000		
39	-144.77183	13.000000	SiO ₂	L ₂₆
40	409.94567	35.800000		
41	(Blende)	23.593530		
42	-135.57463	14.318428	SiO ₂	L ₂₇
43	-16818.16789	0.367730		
44	60950.20145	31.000000	CaF ₂	L ₃₁
45	-159.57823	0.367730		
46	-1506.50081	20.151610	CaF ₂	L ₃₂
47	-398.40906	0.367730		
48	761.40374	39.000000	CaF ₂	L ₃₃

49	-208.34770	4.500000	
50	-192.33440	20.000000	SiO ₂ L ₃₄
51	-407.53523	0.000000	
52	431.18425	43.000000	CaF ₂ L ₃₅
53	-390.96789	1.000000	
54	-383.12423	21.000000	SiO ₂ L ₃₆
55	331.78052	0.500000	
56	303.35407	34.000000	CaF ₂ L ₃₇
57	-1111.68345	0.367730	
58	282.13377	28.500000	CaF ₂ L ₃₈
59	2418.86602	0.367730	
60	210.27525	28.000000	CaF ₂ L ₃₉
61	623.76444	0.367730	
62	143.38374	38.685210	CaF ₂ L ₃₁₀
63	3343.33158	1.103190	
64	31337.12818	20.000000	SiO ₂ L ₃₁₁
65	96.43594	4.500000	
66	107.06192	28.000000	CaF ₂ L ₃₁₂
67 _i	-856.93233	0.500000	
68	896.03322	18.000000	SiO ₂ L ₃₁₃
69	79.31691	1.500000	
70	81.33364	21.000000	CaF ₂ L ₃₁₄
71	-375.43232	0.500000	
72	-385.00000	34.811128	SiO ₂ L ₃₁₅
73	646.31465	15.330000	
74	(Wafer)		

Tabelle 5

Ausführungsbeispiel Nr.	1	2	3	4
(1) $ L/f $	1.3770	1.4058	1.1736	1.2924
(2) f_3/f_{3C}	1.3127	0.7908	1.1233	2.3275
(3) h_{3Cmax}/h_{3max}	0.9995	0.9994	0.9920	0.9857
(4) h_{3Qmax}/h_{3max}	0.9934	0.9924	0.9655	0.9902
(5) f_3/L	0.0868	0.0871	0.0913	0.0915
(6) f_{3Cmax}/L	0.3148	0.3103	0.3030	0.3277
(7) $ f_{3Qmax}/L $	0.4406	0.4384	0.6058	0.5207
(8) h_{3Cave}/h_{3max}	0.8338	0.8862	0.8728	0.7869
(9) f_1/f_{1C}	-	-	1.0074	1.6897

Patentansprüche

1. Optisches Projektionssystem, das von einer Objektebene aus gesehen nacheinander Folgendes aufweist:

eine erste Linsengruppe G1 mit einer positiven Brechkraft;

eine zweite Linsengruppe G2 mit einer negativen Brechkraft; und

eine dritte Linsengruppe G3 mit einer positiven Brechkraft;

wobei jede der Linsengruppen Linsenelemente besitzt, die aus Glasmaterialien aufgebaut sind, die ausgewählt sind aus der Gruppe, die aus Fluorit bzw. Flussspat und Quarz besteht;

dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Linsengruppe G3 Linsenelemente aufweist, die aus Fluorit bestehen; und

wobei die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$|L/f| < 2$$

$$0,7 \leq f_3/f_{3C} \leq 2,8$$

wobei:

L: Abstand zwischen der Objektebene und der entsprechenden Bildebene

f: Brennweite des Gesamtsystems

f_3 : Brennweite der dritten Linsengruppe G3

f_{3C} : zusammengesetzte Brennweite der Fluorit-Linsenelemente, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind, und

wobei die zusammengesetzte Brennweite der Fluorit-Linsenelemente der dritten Linsengruppe f_{3C} definiert ist durch die folgende Gleichung:

$$1/f_{3C} = 1/h_{3max} \cdot \sum_{3C} h_k/f_k$$

wobei:

h_{3max} : Maximalwert der achsenparallelen Strahlhöhe an der dritten Linsengruppe G3

f_k : Brennweite jeder der Linsenelemente

h_k : durchschnittliche Höhe der achsenparallelen Strahlen an den Vorder- und Rückseiten jedes Linsenelements

\sum_{3C} : Summe aller Fluorit-Linsenelemente, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind.

2. Optisches Projektionssystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das System die folgende Bedingung erfüllt:

$$0,8 \leq h_{3Cmax}/h_{3max}$$

wobei:

h_{3Cmax} : Maximalwert der achsenparallelen Strahlhöhe aller Fluorit-Linsenelemente, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind.

3. Optisches Projektionssystem gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das System die folgende Bedingung erfüllt:

$$0,8 \leq h_{3Qmax}/h_{3max}$$

wobei:

h_{3Qmax} : Maximalwert der achsenparallelen Strahlhöhe aller Quarz-Linsenelemente, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind.

4. Optisches Projektionssystem gemäß Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das System ferner die folgende Bedingung erfüllt:

$$0,07 \leq f_3/L \leq 0,15.$$

5. Optisches Projektionssystem gemäß Anspruch 1, 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass das System ferner die folgende Bedingung erfüllt:

$$0,15 \leq f_{3Cmax}/L \leq 1$$

wobei:

f_{3Cmax} : Brennweite eines Fluorit-Linsenelements, das derart angeordnet ist, dass seine achsenparallele Strahlhöhe die höchste ist unter allen Fluorit-Linsenelementen mit positiver Brechkraft, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind.

6. Optisches Projektionssystem gemäß Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass das System ferner die folgende Bedingung erfüllt:

$$0,2 \leq |f_{3Qmax}/L| \leq 1$$

wobei:

f_{3Qmax} : Brennweite eines Quarz-Linsenelements, das derart angeordnet ist, dass seine achsenparallele Strahlhöhe die höchste ist unter allen Quarz-Linsenelementen mit negativer Brechkraft, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind.

7. Optisches Projektionssystem gemäß Anspruch 1, 2, 3, 4, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das System ferner die folgende Bedingung erfüllt:

$$0,8 \leq h_{3Cave}/h_{3max}$$

wobei:

h_{3Cave} : Durchschnitt der achsenparallelen Strahlhöhe aller Fluorit-Linsenelemente, die in der dritten Linsengruppe G3 umfasst sind.

8. Optisches Projektionssystem gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Linsengruppe G1 Fluorit-Linsenelemente umfasst; und wobei das optische Projektionssystem die folgende Bedingung erfüllt:

$$0,7 \leq f_1/f_{1C} \leq 2,5$$

wobei:

f_1 : Brennweite der ersten Linsengruppe G1

f_{1C} : zusammengesetzte Brennweite der Fluorit-Linsenelemente, die in der ersten Linsengruppe G1 umfasst sind,

und auch:

$$1/f_{1C} \equiv 1/h_{1\max} \cdot \sum_{1C} h_k / f_k$$

wobei:

$h_{1\max}$: Maximalwert der achsenparallelen Strahlhöhe der ersten Linsengruppe G3

\sum_{1C} : Summe aller Fluorit-Linsenelemente, die in der ersten Linsengruppe G1 umfasst sind.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

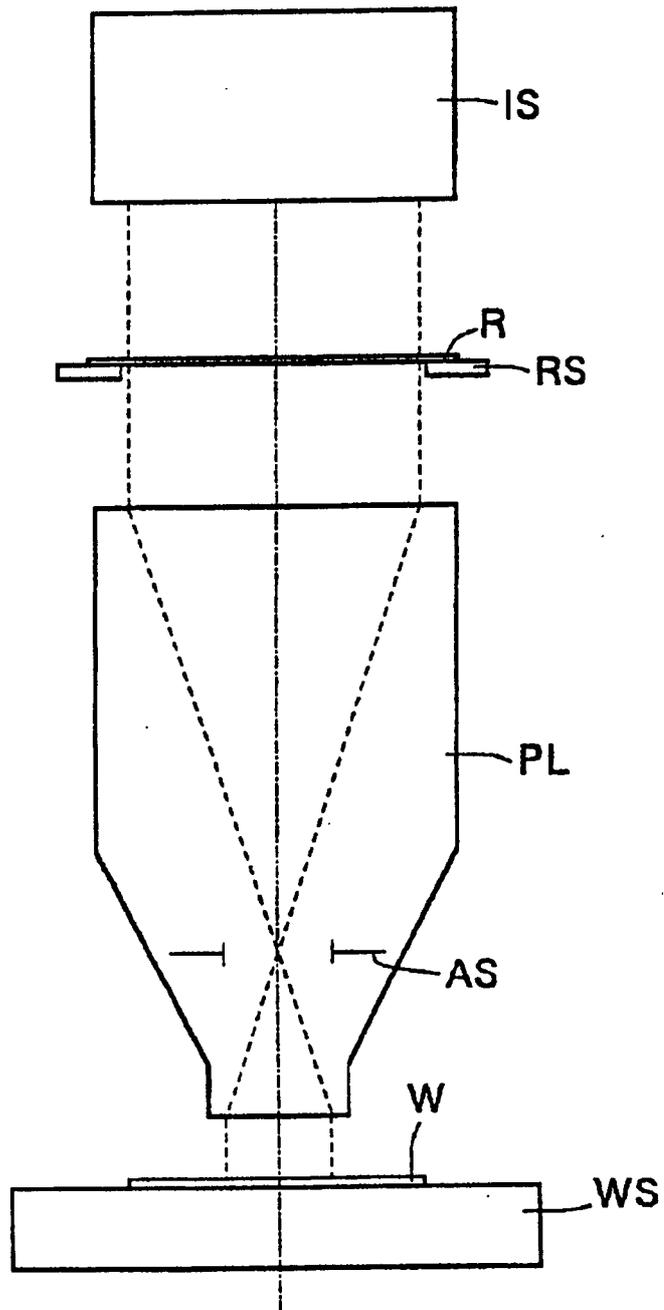


FIG. 2

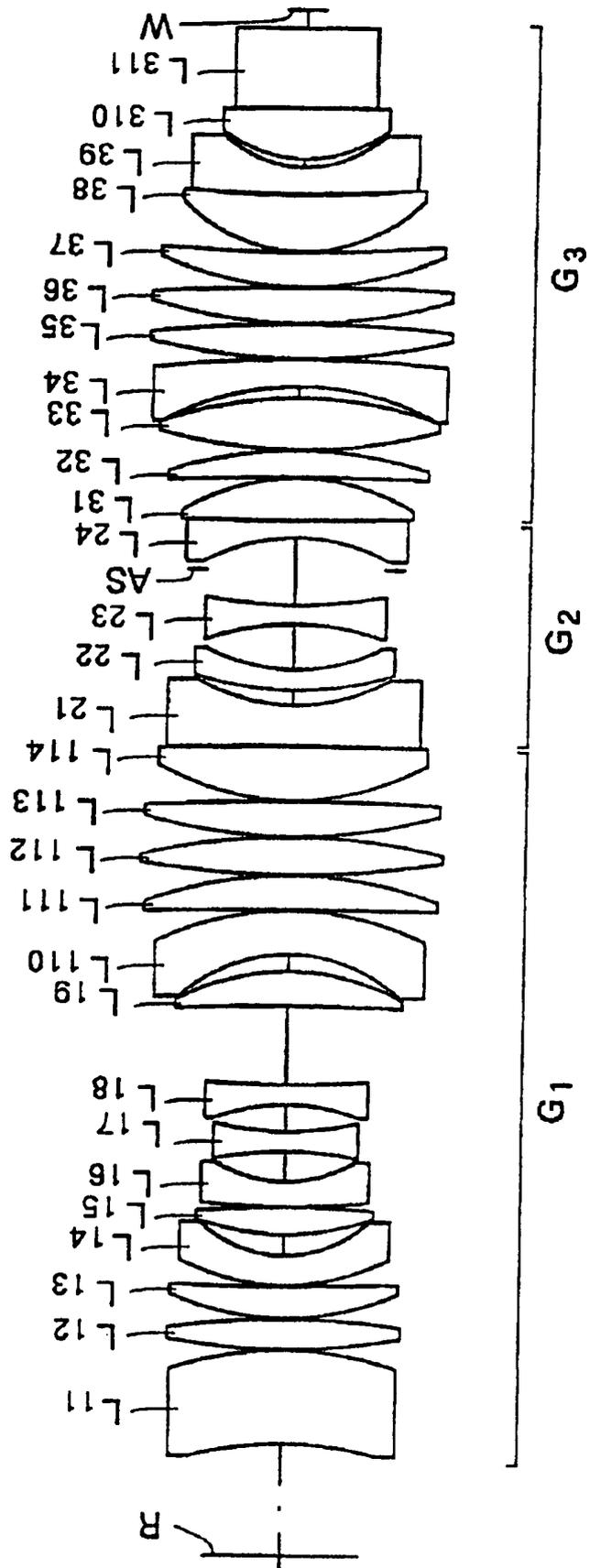


FIG. 3

· - - - - 193.401 nm
 ———— 193.400 nm
 - · - · - 193.399 nm

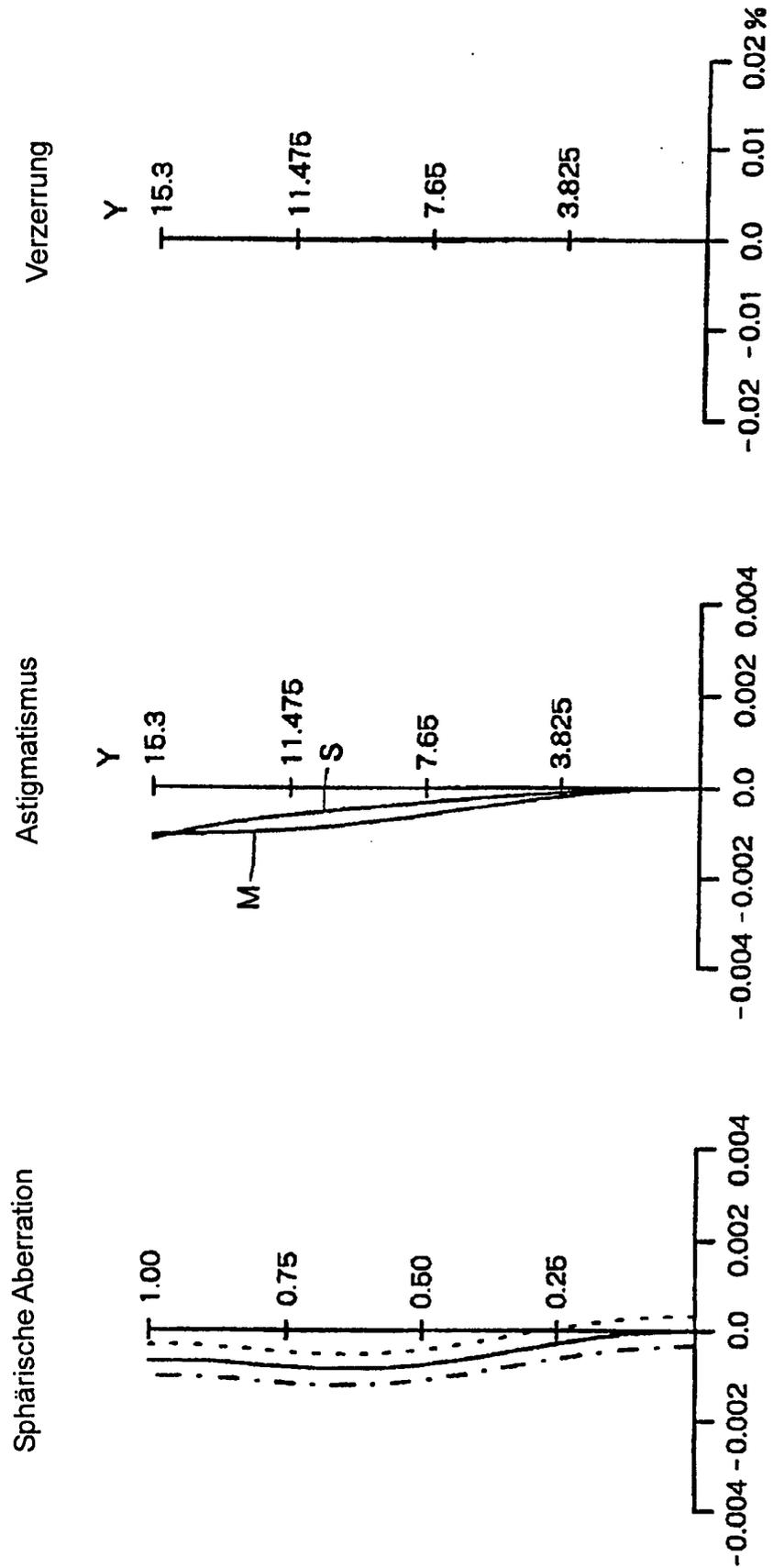


FIG. 4

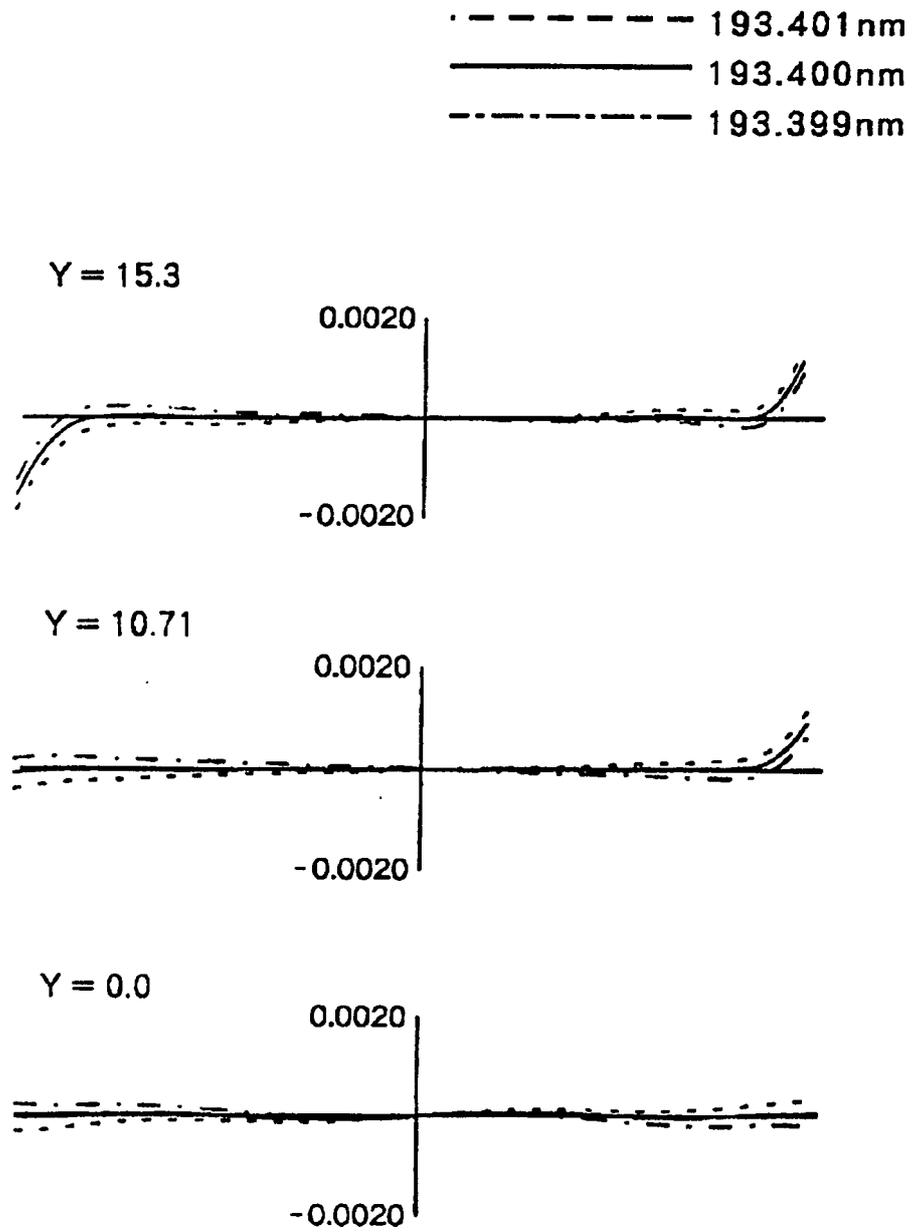


FIG. 5

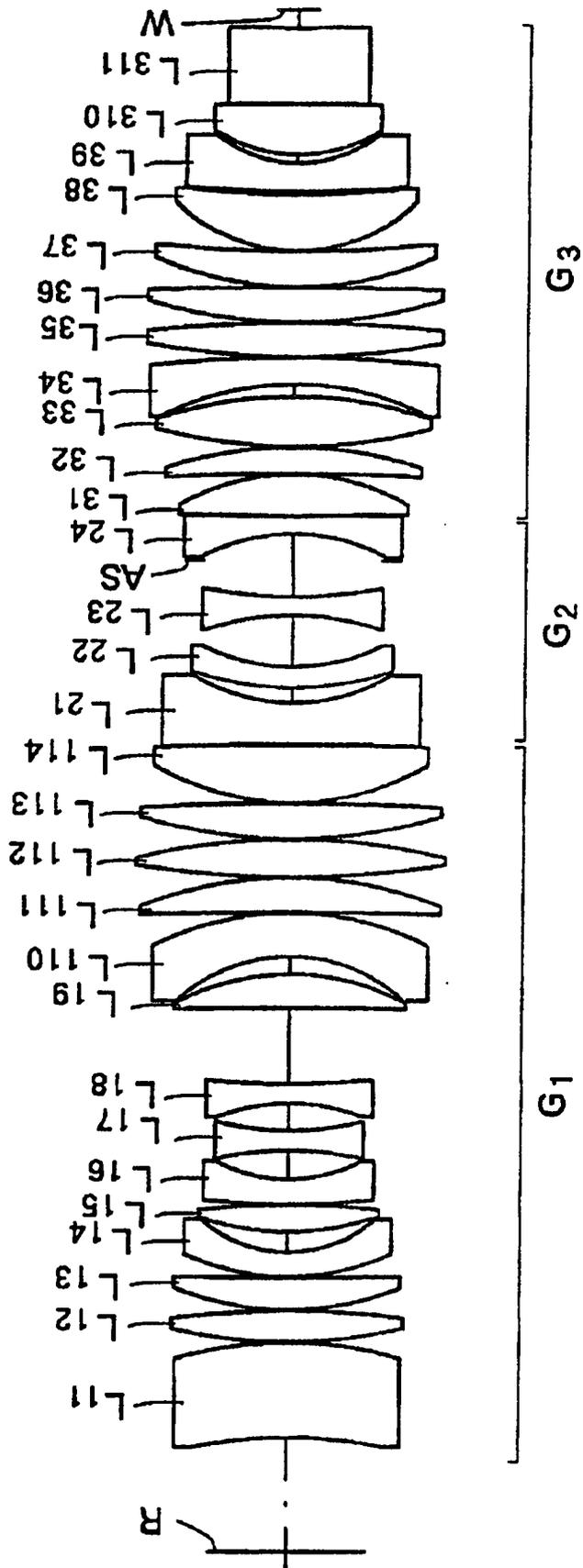


FIG. 6

······ 193.401 nm
 ———— 193.400 nm
 - - - - 193.399 nm

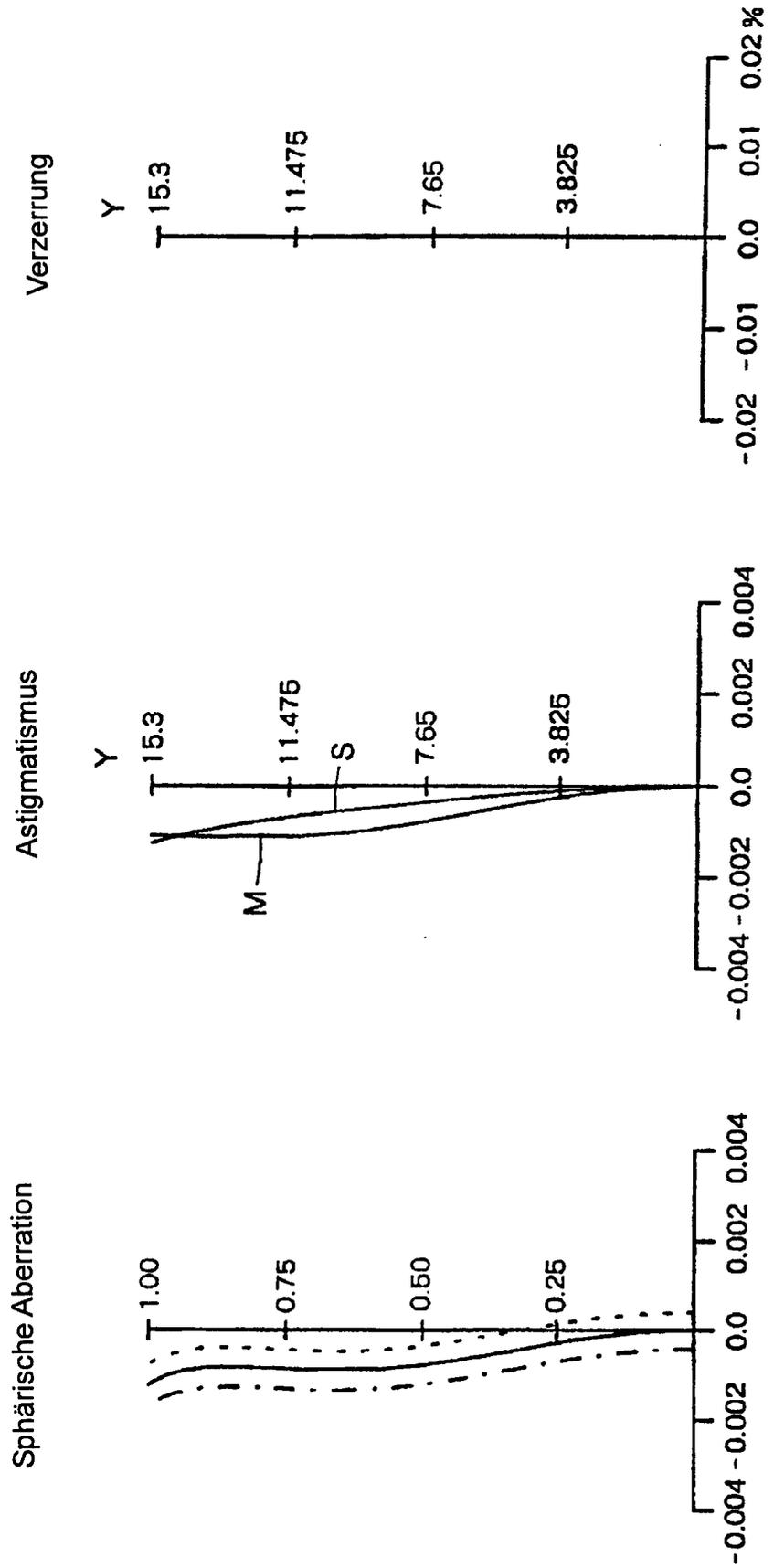


FIG. 7

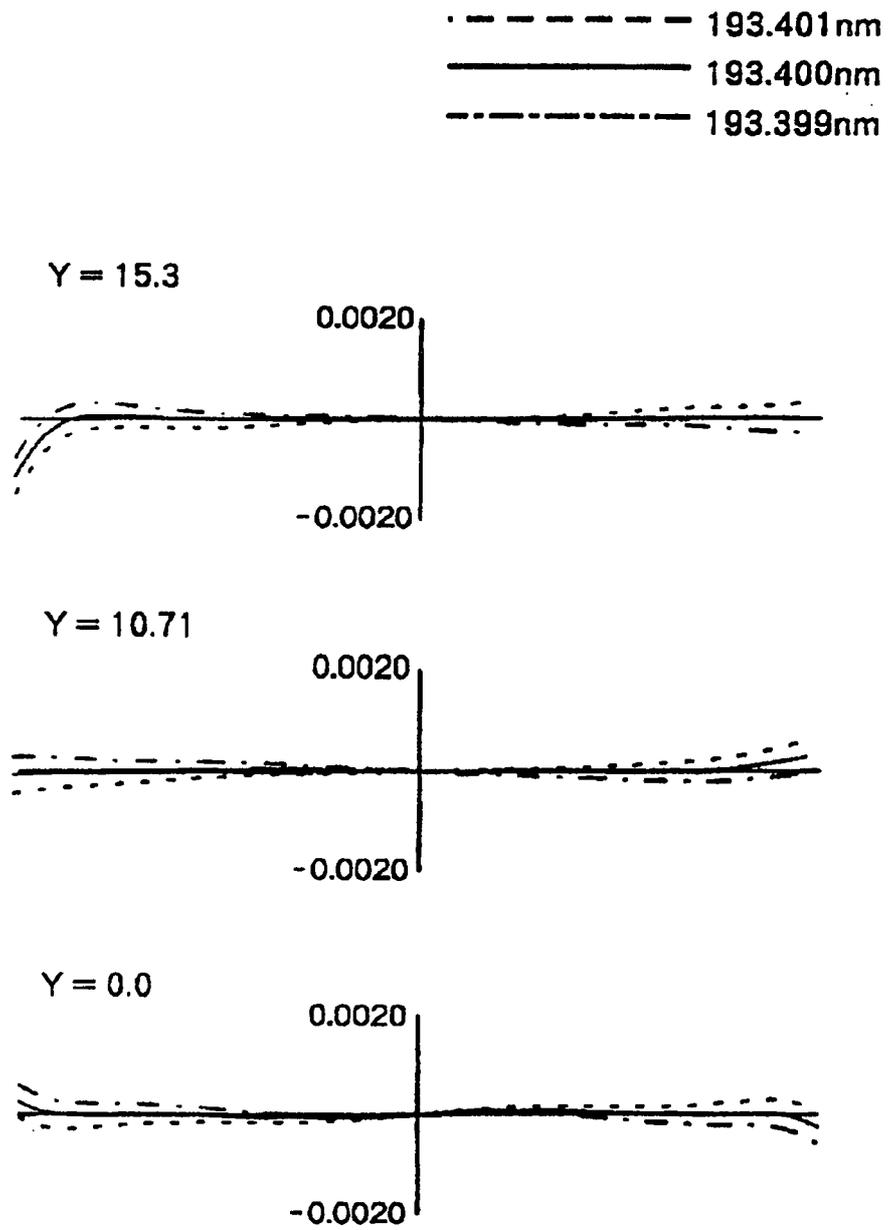


FIG. 8

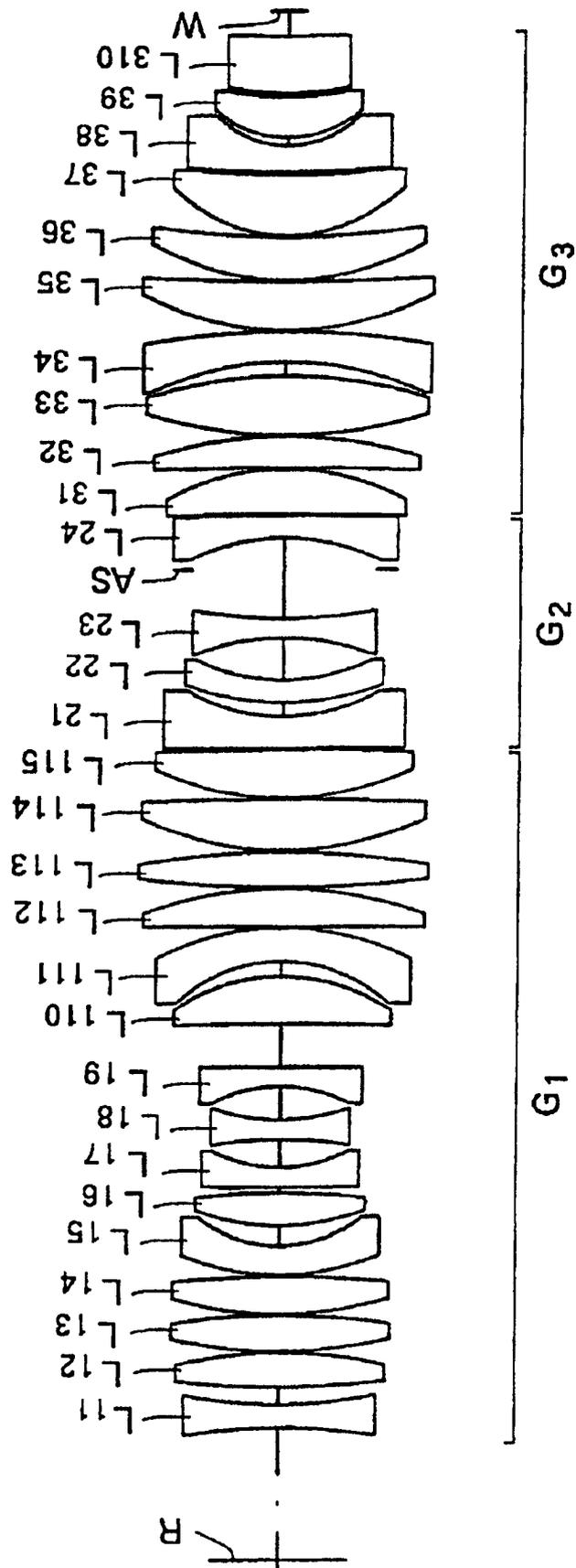


FIG. 9

- - - - - 193.401 nm
 _____ 193.400 nm
 - · - · - · 193.399 nm

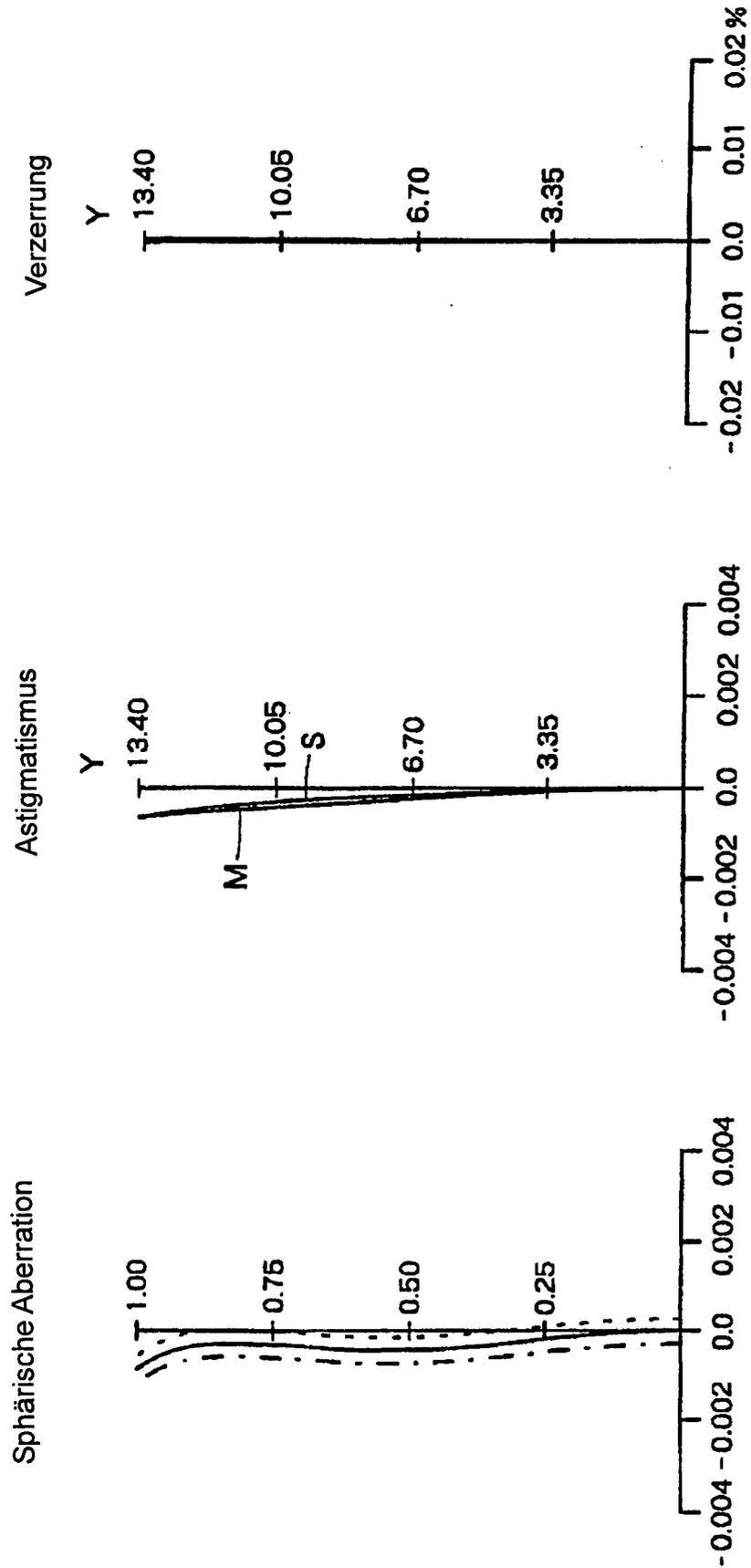


FIG. 10

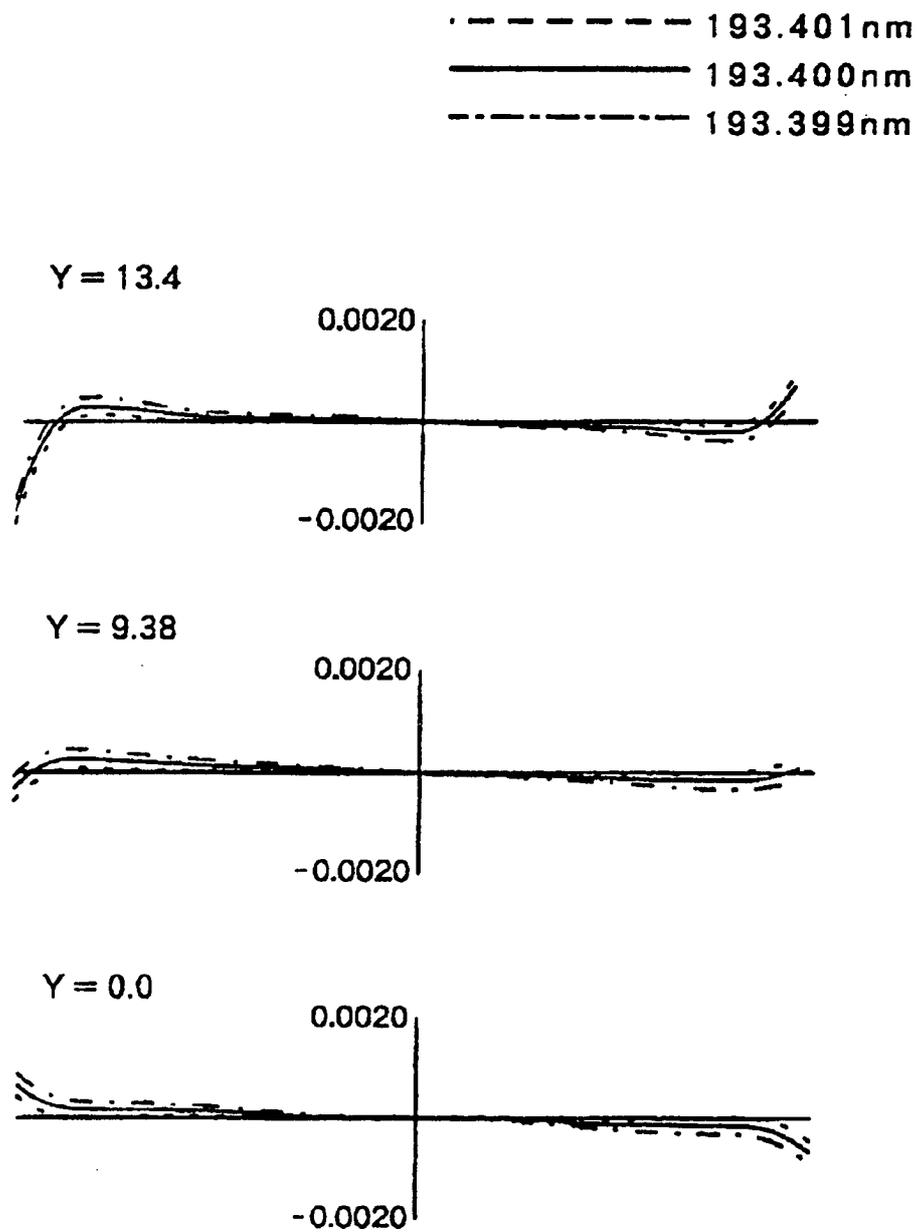


FIG. 11

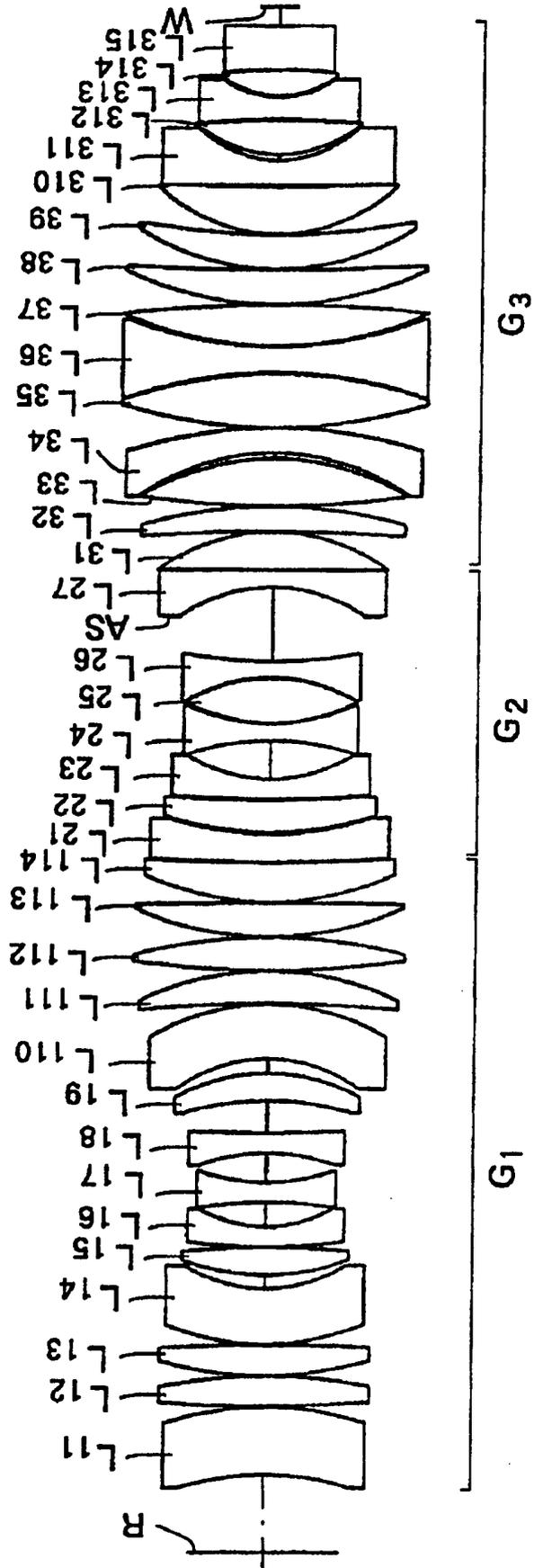


FIG. 12

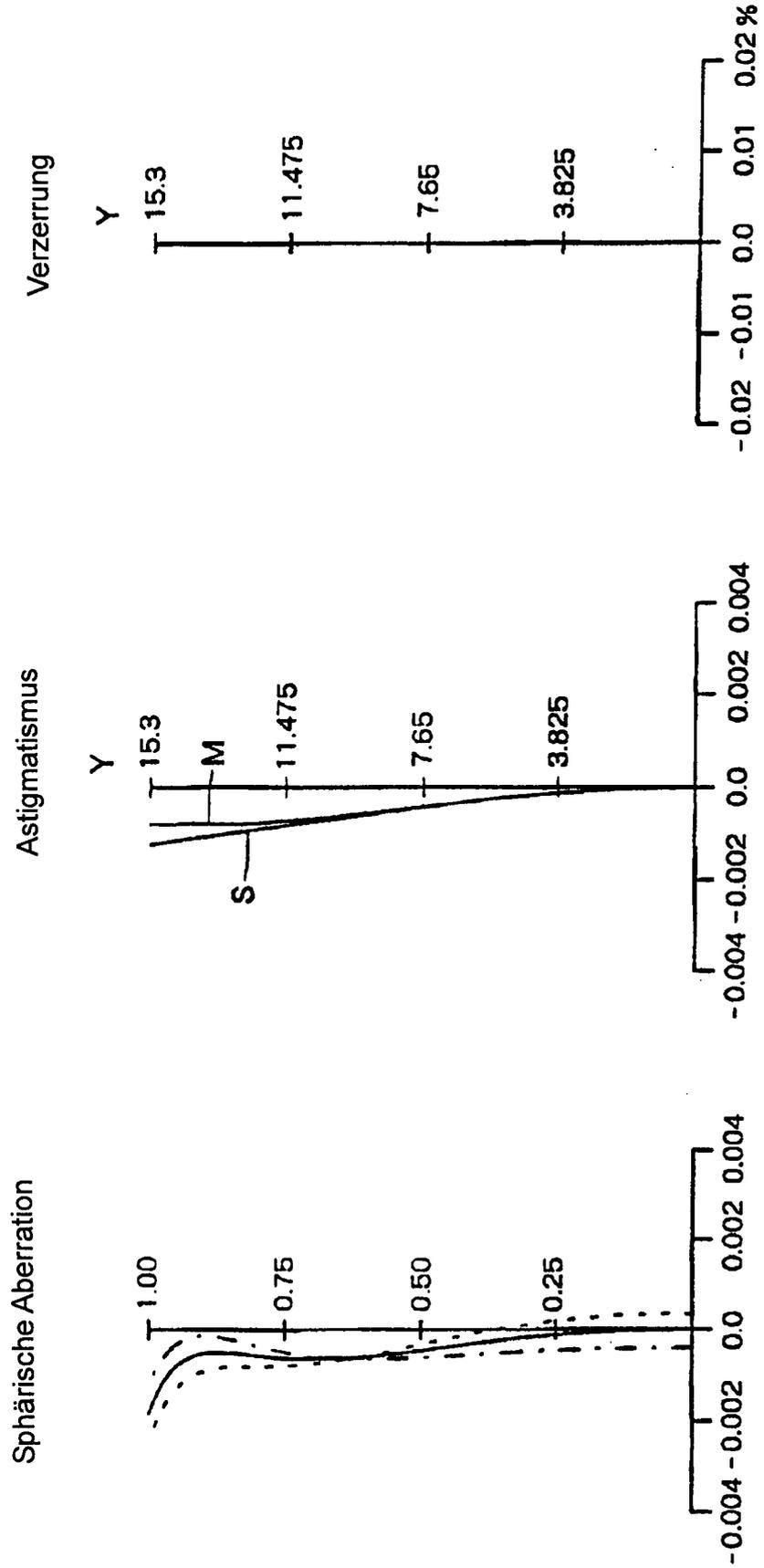


FIG. 13

