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

(10) **DE 699 23 880 T2** 2005.12.29

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 964 284 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 23 880.3**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 111 441.4**
(96) Europäischer Anmeldetag: **11.06.1999**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **15.12.1999**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **02.03.2005**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **29.12.2005**

(51) Int Cl.[7]: **G02B 26/12**
H04N 1/113

(30) Unionspriorität:
18169998 12.06.1998 JP

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:
Canon K.K., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:
Dr. Weser & Kollegen, 81245 München

(72) Erfinder:
Toyoda, Koji, Ohta-ku, Tokyo, JP

(54) Bezeichnung: **Optisches Abtastgerät und optisches Mehrstrahlabtastgerät**

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

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft eine optische Abtastvorrichtung und insbesondere eine optische Mehrstrahlenabtastvorrichtung. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Vorrichtung, die sich in geeigneter Weise für einen Laserstrahldrucker, eine digitale Kopiermaschine und dergleichen einsetzen läßt, in der ein von einer Lichtquelleneinrichtung abgegebener Lichtstrahl durch einen Lichtdeflektor, beispielsweise einen drehbaren Polygonspiegel, auf eine als Aufzeichnungsträgerfläche abzutastende Oberfläche geleitet wird und der Lichtstrahl abtastend über die Abtastfläche geführt wird, um dadurch Information, beispielsweise Zeichen, aufzuzeichnen.

Einschlägiger Stand der Technik

[0002] In einer herkömmlichen optischen Abtastvorrichtung, die in einem Laserstrahldrucker, einem digitalen Kopiergerät und dergleichen eingesetzt wird, wird ein von einer Lichtquelleneinrichtung emittierter Lichtstrahl von einer Ablenkeinrichtung abgelenkt, und das abgelenkte Licht bildet einen Fleck auf einer photoempfindichen Trommeloberfläche, die eine Abtastfläche bildet, wobei die Erzeugung des Flecks über eine optische Abtasteinrichtung erfolgt, um dadurch den Lichtstrahl abtastend über die Abtastfläche zu leiten.

[0003] In jüngerer Zeit wurde im Hinblick auf Forderungen, Kosten und Baugröße zu verringern, eine optische Abtasteinrichtung unter Einsatz einer Kunststofflinse aus Kunststoffmaterial als optische Abtasteinrichtung in einer optischen Abtastvorrichtung dieser Art eingesetzt. Allerdings ändert sich der Brechungsindex der Kunststofflinse mit Änderungen in der Einsatzumgebung (insbesondere Temperaturänderung). Aus diesem Grund kommt es in einer optischen Abtastvorrichtung, die von einer Kunststofflinse Gebrauch macht, zu Fokusänderungen, Vergrößerungsänderungen und dergleichen in der Hauptabtastrichtung, bedingt durch Änderungen in der Umgebung.

[0004] Um dieses Problem zu lösen, wird in der optischen Abtastvorrichtung gemäß der japanischen Patentanmeldungs-Offenlegungsschrift Nr. 10-68903 ein optisches Beugungselement auf der Linsenoberfläche ausgebildet, um Fokusänderungen, Vergrößerungsänderungen und dergleichen in der Hauptabtastrichtung aufgrund von Temperaturänderungen der optischen Abtastvorrichtung zu korrigieren unter Nutzung von Brechkraft- und Beugungsänderungen der optischen Abtastvorrichtung sowie Wellenlängenschwankungen in dem Halbleiterlaser, der die Lichtquelleneinrichtung bildet.

[0005] Fig. 1 ist eine Schnittansicht (Hauptabtastquerschnitt) des Hauptteils der optischen Abtastvorrichtung gemäß der obigen Druckschrift in Hauptabtastrichtung. Nach Fig. 1 wird ein von einer durch einen Halbleiterlaser gebildeten Lichtquelleneinrichtung **11** emittierter Lichtstrahl durch eine Kollimatorlinse **12** in ein im wesentlichen kollimiertes Lichtstrahlbündel umgewandelt. Dieses im wesentlichen kollimierte Lichtstrahlbündel wird von einer Aperturblende **13** zu einer optimalen Strahlform gebracht und trifft auf eine Zylinderlinse **14**. Die Zylinderlinse **14** besitzt Brechkraft in Nebenabtastrichtung oder Hilfsabtastrichtung und bildet ein Lichtstrahlbild, welches in der Hauptabtastrichtung in der Nähe einer Ablenkfläche **15a** des Lichtdeflektors **15**, gebildet durch einen drehbaren Polygonspiegel oder dergleichen, in die Länge gezogen ist. Im vorliegenden Fall ist die Hauptabtastrichtung eine Richtung parallel zur Ablenkungs-Abtastrichtung, während die Nebenabtastrichtung oder Hilfsabtastrichtung eine zu der Ablenkungs-Abtastrichtung rechtwinklig verlaufende Richtung ist. Dies gilt für die nachfolgende Beschreibung. Der Lichtstrahl wird von dem Lichtdeflektor **15** bei einer gleichmäßigen Winkelgeschwindigkeit reflektiert/abgelenkt, um auf einer photoempfindlichen Trommeloberfläche (Aufzeichnungsträgerfläche) **17**, die eine Abtastfläche bildet, über eine fθ-Linse 16, die eine Einzelelementlinse als optische Abtastvorrichtung mit einer fθ-Kennlinie ist, einen Fleck zu bilden. Dieser Lichtstrahl wird abtastend mit gleichmäßiger Geschwindigkeit über die photoempfindliche Trommeloberfläche **17** geführt.

[0006] Gemäß der genannten Druckschrift wird ein optisches Beugungselement **18** auf derjenigen Oberfläche der fθ-Linse 16 gebildet, die sich auf der Seite der Abtastfläche **17** befindet, um Fokusänderungen, Vergrößerungsänderungen und dergleichen in Hauptabtastrichtung zu korrigieren, wie diese Änderungen einhergehen können mit Schwankungen in der Temperatur der optischen Abtastvorrichtung, wozu Brechkraft- und Beugungsänderungen der optischen Abtasteinrichtung **16** sowie Wellenlängenschwankungen in dem als Lichtquelleneinrichtung fungierenden Halbleiterlaser **11** genutzt werden.

[0007] Gemäß der Druckschrift ist, weil als optische Abtasteinrichtung eine Einzelelementlinse verwendet

wird, der Freiheitsgrad für die Aberrationskorrektur gering. Dies führt zu Schwierigkeiten, die Forderung zu erfüllen, daß die Auflösung erhöht wird. Fig. 2 zeigt die Koma eines Vollpupillen-Lichtstrahls in der Hauptabtastrichtung in der optischen Abtastvorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform der in diesem Fall als Beispiel dienenden Druckschrift. In Fig. 2 ist auf der Abszisse die Bildhöhe (Einheit: mm) dargestellt, auf der Ordinate ist die Koma (Einheit: Wellenlänge λ) dargestellt. In diesem Fall wird als Koma-Aberration der Wert verwendet, den man erhält durch Dividieren der Differenz zwischen ± Vollpupillen-Wellenfrontaberrationen im Hauptabtast-Querschnitt durch 2, wobei die asymmetrische Komponente dieses Werts ausgewertet wird. Im vorliegenden Fall ist der Fleckdurchmesser in Hauptabtastrichtung auf 80 μm eingestellt. Wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, tritt eine Koma von etwa 0,12 λ in der Mitte der Bildhöhe auf.

[0008] Wenn eine Koma von 0,1 λ oder mehr auftritt, wird im allgemeinen die Ausbildung von Seitenkeulen in Hauptabtastrichtung auffällig. Im Ergebnis kann man keine geeignete Fleckform erreichen, was negativen Einfluß auf das gedrückte Bild hat. Wenn der Fleckdurchmesser zur Steigerung der Auflösung verkleinert wird, nimmt die Koma abrupt zu, was die Fleckform stört.

[0009] Wenn außerdem der Fleckdurchmesser zusätzlich in Nebenabtastrichtung zur Steigerung der Auflösung reduziert wird, wird das Auftreten der Wellenfrontaberration erkennbar, was die Fleckform stört. Um eine Kipplage in einer optischen Abtasteinrichtung zu korrigieren, wird im allgemeinen ein Lichtstrahl vorübergehend in Nebenabtastrichtung nahe der Ablenkfläche einer Ablenkeinrichtung abgebildet, damit die Ablenkfläche und die Abtastfläche zueinander konjugiert sind. Da die Brechkraft in Nebenabtastrichtung größer als in Hauptabtastrichtung ist, ändert sich daher der Fokus bei Umgebungsschwankungen deutlich. Wird die Fleckform verkleinert, um die Auflösung zu steigern, nimmt die Tiefenschärfe ab. Als Konsequenz ändert sich der Fleckdurchmesser in Nebenabtastrichtung deutlich bei einer Änderung des Brennpunkts.

[0010] Um dem Erfordernis nachzukommen, die Arbeitsgeschwindigkeit zu steigern, wurden zahlreiche und unterschiedliche optische Mehrstrahlenabtastvorrichtungen zum Abtasten einer Abtastfläche mit mehreren Lichtstrahlen vorgeschlagen.

[0011] Wenn allerdings die jeweiligen Lichtstrahlen sich in der Wellenlänge voneinander unterscheiden, kommt es aufgrund der Tatsache, daß sich die fθ-Kennlinie wellenlängenabhängig ändert, zu einer chromatischen Aberration bei der Vergrößerung (Vergrößerungs-Farbfehler). Aus diesem Grund schwankt der Abtasthub auf der Abtastfläche abhängig von den jeweiligen Lichtstrahlen. Selbst wenn aus diesem Grund die Startpositionen der einzelnen Lichtstrahlen bei einem Schreibvorgang miteinander ausgerichtet werden, unterscheiden sich die Endpositionen bei einem Schreibvorgang voneinander, was zu Jitter in dem erzeugten Bild führt.

[0012] Im Hinblick auf die Verarbeitbarkeit eines optischen Beugungselements wird dieses vorzugsweise auf einer ebenen Fläche ausgebildet. Da in diesem Fall allerdings der Freiheitsgrad bei der Aberrationskorrektur abnimmt, ist es schwierig, eine gute optische Leistung zu erzielen. Diese Anordnung hat starken Einfluß auf die Teil-Vergrößerung oder fθ-Kennlinie, die unter Einsatz einer asphärischen Form passen korrigiert werden kann. Als Konsequenz steigt beispielsweise die Anzahl der verwendeten Linsen ebenso wie die Linsengröße.

[0013] Die GB-A-2 315 563 zeigt einen Abtasten (Scanner) mit einer Lichtquelle, einem holographischen Beugungs-Deflektor zum Ablenken eines von der Lichtquelle emittierten Lichtstrahls, und eine optische Abtasteinrichtung mit einem Spiegel und einer diffraktiven-refraktiven Linse zwischen dem Deflektor und einer Bildebene.

[0014] EP-A-0 827 004 zeigt eine optische Abtastvorrichtung mit einer Lichtquelle, einem Deflektor zum Ablenken eines von der Lichtquelle abgegebenen Lichtstrahls, und einem optischen Element, mit dem der von dem Deflektor abgelenkte Lichtstrahl auf eine abzutastende Oberfläche gelenkt wird. Das optische Element enthält ein Beugungselement und ein Brechungselement, wobei das Beugungselement auf einer gekrümmten Fläche des Brechungselements vorgesehen ist.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0015] Erstes Ziel der Erfindung ist die Schaffung einer kompakten optischen Abtastvorrichtung, die widerstandsfähig gegenüber Fokusänderungen aufgrund von Umgebungsschwankungen (Temperaturänderungen) und in der Lage ist, bei einfacher Ausgestaltung einen hochauflösenden Druck zu liefern, indem auf einer gekrümmten Fläche von mindestens einem von mehreren optischen Elementen, die eine optische Abtasteinrichtung bilden, ein optisches Beugungselement ausgebildet wird.

[0016] Das zweite Ziel der Erfindung ist die Schaffung einer kompakten Mehrstrahlenabtastvorrichtung, die widerstandsfähig gegenüber Fokusänderungen aufgrund von Umgebungsschwankungen (Temperaturänderungen) und außerdem in der Lage ist, mit einer einfachen Ausgestaltung einen hochauflösenden Druck zu liefern, indem auf einer gekrümmten Fläche von mindestens einem von mehreren optischen Elementen, die eine optische Abtasteinrichtung bilden, ein optisches Beugungselement ausgebildet wird.

[0017] Erreicht werden diese Ziele durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1. Bevorzugte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0018] Fig. 1 ist eine Schnittansicht (Hauptabtastquerschnitt) des Hauptbestandteils einer herkömmlichen optischen Abtastvorrichtung, betrachtet in Hauptabtastrichtung;

[0019] Fig. 2 ist eine graphische Darstellung der Koma in Hauptabtastrichtung bei der herkömmlichen optischen Abtastvorrichtung;

[0020] Fig. 3 ist eine Schnittansicht (Hauptabtastquerschnitt) des Hauptbestandteils des ersten Beispiels in Hauptabtastrichtung;

[0021] Fig. 4 ist eine graphische Darstellung, welche den Phasenbetrag des Beugungssystems des ersten optischen Elements des ersten Beispiels veranschaulicht;

[0022] Fig. 5 ist eine graphische Darstellung, die die Gitterkonstante des Beugungsgitters des ersten optischen Elements des ersten Beispiels darstellt;

[0023] Fig. 6 ist eine graphische Darstellung, welche die Beugungskraft des ersten optischen Elements des ersten Beispiels in der Hauptabtastrichtung darstellt;

[0024] Fig. 7 ist eine graphische Darstellung, die die Beugungskraft des ersten optischen Elements des ersten Beispiels in der Nebenabtastrichtung darstellt;

[0025] Fig. 8 ist eine graphische Darstellung der Feldkrümmung in Hauptabtastrichtung vor und nach einem Temperaturanstieg bei dem ersten Beispiel;

[0026] Fig. 9 ist eine graphische Darstellung, die die Feldkrümmung in Nebenabtastrichtung vor und nach einem Temperaturanstieg bei dem ersten Bespiel veranschaulicht;

[0027] Fig. 10 ist eine graphische Darstellung der Verzerrung (fθ-Kennlinie) und der Abweichung der Bildhöhe für das erste Beispiel;

[0028] Fig. 11 ist eine graphische Darstellung, die die Koma in Hauptabtastrichtung bei dem ersten Beispiel veranschaulicht;

[0029] Fig. 12 ist eine Ansicht der Form eines Beugungsgitters;

[0030] Fig. 13 ist eine Schnittansicht (Hauptabtastquerschnitt) des Hauptbestandteils des zweiten Beispiels in Hauptabtastrichtung;

[0031] Fig. 14 ist eine graphische Darstellung des Phasenbetrags des Beugungssystems des zweiten optischen Elements des zweiten Beispiels;

[0032] Fig. 15 ist eine graphische Darstellung, welche die Gitterkonstante des Beugungsgitters des zweiten optischen Elements des zweiten Beispiels veranschaulicht;

[0033] Fig. 16 ist eine graphische Darstellung der Beugungskraft bei dem zweiten optischen Element des zweiten Beispiels in Hauptabtastrichtung;

[0034] Fig. 17 ist eine graphische Darstellung der Beugungsleistung des zweiten optischen Elements des zweiten Beispiels in Nebenabtastrichtung;

[0035] Fig. 18 ist eine graphische Darstellung der Feldkrümmung in Hauptabtastrichtung vor und nach einem Temperaturanstieg bei dem zweiten Beispiel;

[0036] Fig. 19 ist eine graphische Darstellung der Feldkrümmung in Nebenabtastrichtung vor und nach einem Temperaturanstieg bei dem zweiten Beispiel;

[0037] Fig. 20 ist eine graphische Darstellung der Verzerrung (fθ-Kennlinie) und der Abweichung der Bildhöhe bei dem zweiten Beispiel;

[0038] Fig. 21 ist eine graphische Darstellung der Koma in Hauptabtastrichtung für das zweite Beispiel;

[0039] Fig. 22 ist eine Schnittansicht (Hauptabtastquerschnitt) des Hauptbestandteils einer Ausführungsform der Erfindung in Hauptabtastrichtung;

[0040] Fig. 23 ist eine graphische Darstellung des Phasenbetrags des Beugungssystems des zweiten optischen Elements der Ausführungsform der Erfindung;

[0041] Fig. 24 ist eine graphische Darstellung der Gitterkonstanten des Beugungsgitters des zweiten optischen Elements der Ausführungsform der Erfindung;

[0042] Fig. 25 ist eine Darstellung der Beugungsleistung des zweiten optischen Elements der Ausführungsform der Erfindung in Hauptabtastrichtung;

[0043] Fig. 26 ist eine graphische Darstellung der Beugungsleistung des ersten optischen Elements der Ausführungsform der Erfindung in Nebenabtastrichtung;

[0044] Fig. 27 ist eine graphische Darstellung der Feldkrümmung in Hauptabtastrichtung vor und nach einem Temperaturanstieg bei der Ausführungsform der Erfindung;

[0045] Fig. 28 ist eine graphische Darstellung der Feldkrümmung in Nebenabtastrichtung vor und nach einem Temperaturanstieg bei der Ausführungsform der Erfindung;

[0046] Fig. 29 ist eine graphische Darstellung der Verzerrung (fθ-Kennlinie) und der Abweichung der Bildhöhe bei der Ausführungsform der Erfindung;

[0047] Fig. 30 ist eine graphische Darstellung des Vergrößerungsfarbfehlers bei der Ausführungsform der Erfindung; und

[0048] Fig. 31 ist eine graphische Darstellung für die Koma in der Hauptabtastrichtung der Ausführungsform der Erfindung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0049] Fig. 3 ist eine Schnittansicht (Hauptabtast-Schnittansicht) des Hauptbestandteils einer optischen Abtastvorrichtung gemäß dem ersten Beispiel für die Hauptabtastrichtung.

[0050] Gemäß Fig. 3 wird beispielsweise ein Halbleiterlaser als Lichtquelleneinrichtung **1** verwendet. Eine Kollimatorlinse **2** wandelt einen divergenten, von der Lichtquelleneinrichtung **1** emittierten Lichtstrahl in einen konvergenten Lichtstrahl um. Eine Aperturblende **3** bildet den aus der Kollimatorlinse **2** austretenden Lichtstrahl in eine optimale Strahlbündelform um. Eine Zylinderlinse **4** besitzt eine vorbestimmte Kraft (Brechkraft) in Nebenabtastrichtung rechtwinklig zur Zeichnungsoberfläche und bildet den aus der Aperturblende **3** austretenden Lichtstrahl zu einem Bild um (ein sich längs in Hauptabtastquerschnitt erstreckendes lineares Bild), welches innerhalb des Nebenabtastquerschnitts nahe einer Stelle oberhalb einer Ablenkfläche **5a** eine Ablenkeinrichtung (die weiter unten beschrieben wird). Die Ablenkeinrichtung **5** dient als Lichtdeflektor. Als Ablenkeinrichtung **5** wird zum Bespiel ein drehender Polygonspiegel verwendet, der von einer (nicht dargestellten) Antriebseinrichtung, beispielsweise einem Motor, mit konstanter Drehzahl in Pfeilrichtung A gedreht wird.

[0051] Eine optische Abtasteinrichtung **6** besitzt eine fθ-Kennlinie und enthält ein erstes und ein zweites optisches Element (ein fθ-Linsensystem) **6a** und **6b**. Das erste optische Element **6a** besitzt eine erste Oberfläche (Einfallfläche) **6a1** und eine zweite Oberfläche (Austrittsfläche) **6a2**, die beide sphärische Oberflächen mit po-

sitiver (konvexer) Brechkraft in Richtung der Seite der Abtastfläche sind. Ein optisches Beugungselement **8** (ein diffraktives Element) ist auf der zweiten Oberfläche **6a2** ausgebildet, so daß die auf dem Beugungssystem basierenden Kräfte unterschiedlich positive (konvexe) Kräfte in Hauptabtastrichtung und in Nebenabtastrichtung aufweisen. Das zweite optische Element **6b** ist eine Zerrlinse mit unterschiedlichen positiven (konvexen) Brechkräften in Hauptabtastrichtung und Nebenabtastrichtung. Sowohl eine erste Oberfläche (die Einfallsfläche) **6b1** als auch eine zweite Oberfläche (Austrittsfläche) **6b2** sind torische Flächen. In der Hauptabtastrichtung sind sowohl die erste als auch die zweite Oberfläche **6b1** und **6b2** asphärisch. In Nebenabtastrichtung ändern sowohl die erste als auch die zweite Oberfläche **6b1** und **6b2** den Krümmungsradius mit zunehmender Entfernung von der optischen Achse. Sowohl das erste als auch das zweite optische Element **6a** und **6b** bestehen aus Kunststoff. Die optische Abtasteinrichtung **6** besitzt eine Kipp- oder Neigungskorrekturfunktion, implementiert durch Einstellen der Ablenkfläche **5a** und einer Abtastfläche **7** in optisch konjugierter Weise zueinander, betrachtet in Nebenabtastrichtung. Eine Abtastfläche **7** ist eine photoempfindliche Trommeloberfläche (Aufzeichnungsträgerfläche).

[0052] Bei diesem Beispiel wird der von der Lichtquelleneinrichtung **1** emittierte divergente Lichtstrahl von der Kollimatorlinse **2** zu einem konvergierenden Lichtstrahl umgewandelt. Dann wird der Lichtstrahl von der Aperturblende **3** in eine Soll-Strahlform gebracht und trifft auf die Zylinderlinse **4**. Der auf die Zylinderlinse **4** treffende Lichtstrahl verläßt diese ohne Änderung in Hauptabtastrichtungs-Querschnitt. Andererseits konvergiert der Lichtstrahl innerhalb der Nebenabtastrichtung unter Bildung eines im wesentlichen linearen Bildes (ein lineares Bild, welches in Hauptabtastrichtung länglich ist) auf der Ablenkfläche **5a** der Ablenkfläche **5**. Der von der Ablenkoberfläche **5a** der Ablenkeinrichtung **5** reflektierte/abgelenkte Lichtstrahl bildet auf der photoempfindlichen Trommeloberfläche **7** aufgrund der optischen Abtasteinrichtung **6** einen Fleck. Durch Drehen der Ablenkeinrichtung **5** in Pfeilrichtung A tastet dieser Lichtstrahl die photoempfindliche Trommeloberfläche **7** bei konstanter Geschwindigkeit in Pfeilrichtung B (Hauptabtastrichtung) ab. Durch diesen Vorgang wird auf der als Aufzeichnungsträger fungierenden photoempfindlichen Trommeloberfläche **7** ein Bild aufgezeichnet.

[0053] Die Formen der Brechungs- und Beugungssysteme des ersten und des zweiten optischen Elements **6a** und **6b** als optische Abtasteinrichtung **6** dieser Ausführungsform lassen sich folgendermaßen ausdrücken, vorausgesetzt, daß der Schnitt zwischen jeder Fläche des optischen Elements und der optischen Achse als Ursprung betrachtet wird, während die Richtung der optischen Achse, die Richtung rechtwinklig zur optischen Achse innerhalb des Hauptabtastquerschnitts und die Richtung senkrecht zur optischen Achse innerhalb des Nebenabtastquerschnitts der X-Achse, der Y-Achse bzw. der Z-Achse entsprechen.

(1) Das Brechsystem in Hauptabtastrichtung: eine asphärische Form, ausgedrückt als eine Funktion bis hin zu einer Funktion zehnter Ordnung:

$$X = \frac{Y^2/R}{1 + (1 - (1 + K)(Y/R)^2)^{1/2}} + B_4 Y^4 + B_6 Y^6$$

$$+ B_8 Y^8 + B_{10} Y^{10}$$

wobei R der Krümmungsradius und k, B_4, B_6, B_8 und B_{10} asphärische Koeffizienten sind (wenn der Koeffizient mit an einem Koeffizienten der Index „u" angehängt ist, bedeutet dies die Laserseite bezüglich der optischen Achse, während bei Anbringung eines Index „l" an einem Koeffizienten dies die entgegengesetzte Seite zu der Laserseite bezüglich der optischen Achse bedeutet),
in Nebenabtastrichtung: eine sphärische Form, deren Krümmungsradius sich kontinuierlich in Richtung der Y-Achse ändert:

$$r' = r(1 + D_2 Y^2 + D_4 Y^4 + D_6 Y^6 + D_8 Y^8 + D_{10} y^{10})$$

wobei r der Krümmungsradius und D_2, D_4, D_6, D_8 und D_{10} asphärische Koeffizienten sind (wenn der Koeffizient mit an einem Koeffizienten der Index „u" angehängt ist, bedeutet dies die Laserseite bezüglich der optischen Achse, während bei Anbringung eines Index „l" an einem Koeffizienten dies die entgegengesetzte Seite zu der Laserseite bezüglich der optischen Achse bedeutet).
(2) Das Beugungssystem: eine Beugungsfläche, ausgedrückt durch eine Phasenfunktion eines Potenzpolynoms bis hin zu einem Polynom zehnter Ordnung für Y und Z:

$$W = C_1 Y + C_2 Y^2 + C_3 Y^3 + C_4 Y^4 + C_5 Y^5 + C_6 y^6 + C_7 Y^7 + C_8 Y^8 + C_9 Y^9 + C_{10} y^{10} + E_1 Z^2 + E_2 Y Z^2 + E_3 Y^2 Z^2 + E_4 Y^3 Z^2 + E_5 Y^4 Z^2 + E_6 Y^5 Z^2 + E_7 Y^6 Z^2 + E_8 Y^7 Z^2 + E_9 Y^8 Z^2$$

wobei C_1 bis C_{10} und E, bis E_9 Phasenkoeffizienten sind.

[0054] Tabelle 1 zeigt eine optische Konfiguration der ersten Ausführungsform. Tabelle 2 zeigt die asphärischen Koeffizienten des Brechungssystems und die Phasenkoeffizienten des Beugungssystems.

[0055] In diesem Fall bedeutet θ1 den Winkel, der definiert wird durch die optische Achse der optischen Systeme vor bzw. hinter der Ablenkeinrichtung; θmax ist der Winkel, der definiert wird durch einen Lichtstrahl und die optische Achse der optischen Abtasteinrichtung, wenn der Lichtstrahl die äußerste außerachsige Stelle abtastet; f bedeutet die Konstante mit Y = fθ, wobei Y die Bildhöhe und θ der Abtastwinkel ist.

[0056] Jede der Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6 und Fig. 7 zeigt den Zustand des optischen Beugungselements **8** an der zweiten Oberfläche **6a2** des ersten optischen Elements **6a**. Bezugnehmend auf jede Zeichnung bedeutet die Abszisse die y-Koordinate auf dem optischen Beugungselement B. Fig. 4 zeigt den Phasenbetrag (Einheit: λ) innerhalb des Hauptabtastquerschnitts. Fig. 5 zeigt die Gitterkonstante (Einheit: μm) des Beugungsgitters für Beugungslicht erster Ordnung innerhalb des Hauptabtastquerschnitts. Fig. 6 zeigt die Brechkraft in Hauptabtastrichtung. Fig. 7 zeigt die Brechkraft in Nebenabtastrichtung.

Tabelle 1

Verwendete Wellenlänge	λ(nm)	780
Brechungsindex des ersten optischen Elements	n1	1,5242
Brechungsindex des zweiten optischen Elements	n2	1,5242
Winkel zwischen optischen Achsen optischer Systeme vor und nach Ablenkeinrichtung	θ1 (Grad)	90
Maximaler Abtastwinkel auf einer Seite	θmax (Grad)	45
Abstand zwischen Ablenkfläche und erstem optischen Element	d1(mm)	25,00
Mittlere Dicke des ersten optischen Elements	d2(mm)	5,60
Abstand zwischen erstem und zweitem optischen Element	d3(mm)	5,40
Mittlere Dicke des zweiten optischen Elements	d4(mm)	8,00
Abstand zwischen zweitem optischen Element und Abtastfläche	d5(mm)	113,50
fθ-Koeffizient	f	136
Ablenkeinrichtung (drehender Polygonspiegel)	ϕ 20, 4 Flächen	

Tabelle 2

	Form des Brechungssystems			
	Erstes optisches Element		Zweites optisches Element	
	Erste Oberfläche	Zweite Oberfläche	Erste Oberfläche	Zweite Oberfläche
R	-63,66	-69,19	49,35	65,22
Ku	0	0	-1,18E+01	-2,32E+01
B4u	0	0	-1,17E-06	-2,01E-06
B6u	0	0	2,85E-10	5,39E-10
B8u	0	0	-1,72E-13	-2,18E-13
B10u	0	0	3,21E-17	1,83E-17
K1	0	0	-1,18E+01	-2,32E+01
B41	0	0	-1,17E-06	-2,01E-06
B61	0	0	2,85E-10	5,39E-10
B81	0	0	-1,72E-13	-2,18E-13
B101	0	0	3,21E-17	1,83E-17
r	-63,66	-69,19	-79,67	-18,22
D2u	0	0	4,88E-03	1,34E-03
D4u	0	0	1,09E-05	-1,17E-06
D6u	0	0	-2,12E-08	-6,20E-10
D8u	0	0	-1,75E-11	1,36E-12
D10u	0	0	2,60E-14	-4,62E-16
D21	0	0	4,88-03	1,34E-03
D41	0	0	1,09E-05	-1,17E-06
D61	0	0	-2,12E-08	-6,20E-10
D81	0	0	-1,75E-11	1,36E-12
D101	0	0	2,60E-15	-4,62E-16

	Form des Brechungssystems			
	Erstes optisches Element		Zweites optisches Element	
	Erste Oberfläche	Zweite Oberfläche	Erste Oberfläche	Zweite Oberfläche
C1	0	0	0	0
C2	0	-8,91E-04	0	0
C3	0	0	0	0
C4	0	0	0	0
C5	0	0	0	0
C6	0	0	0	0
C7	0	0	0	0
C8	0	0	0	0
C9	0	0	0	0
C10	0	0	0	0
E1	0	-7,81E-03	0	0
E2	-0	0	0	0
E3	0	0	0	0
E4	0	0	0	0
E5	0	0	0	0
E6	0	0	0	0
E7	0	0	0	0
E8	0	0	0	0
E9	0	0	0	0

[0057] Wie aus den Fig. 6 und Fig. 7 ersichtlich ist, werden bei diesem Beispiel die Brechkräfte der Brechungssysteme auf angestrebte positive (konvexe) Brechkräfte sowohl in Haupt- als auch in Nebenabtastrichtung eingestellt. Durch Einstellen der Brechkräfte des Brechungssystems auf angestrebte positive (konvexe) Brechkräfte läßt sich eine Brennpunktverschiebung (eine Aberrationsschwankung) aufgrund einer Änderung des Brechungsindex des Linsenmaterials der optischen Abtasteinrichtung **6**, die durch Umgebungsschwankungen bedingt sind, korrigieren durch Ändern der Beugungskraft aufgrund von Schwankungen in der Wellenlänge der Lichtquelleneinrichtung **1**. Insbesondere gilt: wenn die Temperatur ansteigt, nimmt der Brechungsindex des Kunststoffs ab, und damit bewegt sich der Brennpunkt weg von der optischen Abtasteinrichtung **6**. Da nun aber die Wellenlänge der Lichtquelleneinrichtung **1** als Lichtquelleneinrichtung sich zu der Seite längerer Wellen verschiebt, nimmt die positive (konvexe) Brechkraft des Brechungssystems zu aufgrund der Änderung des Brennpunkts in Richtung der optischen Abtasteinrichtung **6**. Als Folge heben sich die Brennpunktänderungen einander innerhalb der gesamten optischen Abtastvorrichtung auf, so daß ein Temperaturkompensationseffekt erzielt wird.

[0058] Fig. 8 zeigt die Feldkrümmung in Hauptabtastrichtung vor und nach einem Anstieg der Temperatur bei diesem Beispiel. Fig. 9 zeigt die Feldkrümmung in Nebenabtastrichtung vor und nach dem Temperaturanstieg bei dieser Ausführungsform. Fig. 10 zeigt die Verzeichnung (fθ-Kennlinie) und die Abweichung der Bildhöhe dieser Ausführungsform. Bezugnehmend auf die beiden Fig. 8 und Fig. 9 bedeutet die gestrichelte Linie die

Feldkrümmung bei Zimmertemperatur von 25°C, die ausgezogene Linie bedeutet die Feldkrümmung bei einem Temperaturanstieg von 25°C auf 50°C. In diesem Fall wird ein Brechungsindex n* des ersten und des zweiten optischen Elements **6a** und **6b** sowie eine Wellenlänge λ* der Lichtquelleneinrichtung **1** folgendermaßen eingestellt:
n* = 1,5221
λ* = 786,4 nm.

[0059] Wie aus Fig. 8 und Fig. 9 ersichtlich ist, werden die Brennpunktverschiebungen sowohl in Haupt- als auch in Nebenabtastrichtung passend korrigiert.

[0060] Da bei diesem Beispiel die optische Abtasteinrichtung **6** aus zwei Linsen gebildet ist, läßt sich die Koma in Hauptabtastrichtung passend korrigieren. Fig. 11 zeigt die Koma (Einheit: Wellenlänge λ; Abszisse: Bildhöhe) eines Vollpupillen-Lichtstrahls bei jeder Bildhöhe bei einem Fleckdurchmesser von 80 μm. Bei der mittleren Bildhöhe, wo die Aberration zu einem Maximum ansteigt, beträgt die Aberration etwa 0,06 λ. Der Fleckdurchmesser läßt sich daher weiter reduzieren.

[0061] Darüber hinaus ist bei diesem Beispiel das optische Beugungselement **8** an der zweiten Oberfläche **6a2** als Austrittsseite des ersten optischen Elements **6a** ausgebildet. Diese Anordnung zielt darauf ab, den Einfallwinkel (der Winkel θi in Fig. 12) in bezug auf das optische Beugungselement (die optische Beugungsfläche) innerhalb des Hauptabtastquerschnitts niedrig zu halten. Wenn beispielsweise der Einfallwinkel zunimmt, nehmen die gebeugten Lichtkomponenten anderer Ordnungen als der verwendeten Ordnung in der Intensität zu, was zu einer Verringerung des Beugungswirkungsgrads ebenso führt wie zu Schwierigkeiten wie beispielsweise Flimmern aufgrund von gebeugten Lichtkomponenten anderer Ordnungen als der genutzten Ordnung. Derartige Schwierigkeiten lassen sich verringern, indem man eine optische Beugungsfläche auf der zweiten Oberfläche **6a2** ausbildet.

[0062] Bei diesem Beispiel ist das in Fig. 12 gezeigte Beugungsgitter ein geflammtes Beugungsgitter, gebildet durch ein abgestuftes Beugungsgitter. Wenn P die Gitterkonstante, h die Gitterhöhe und n der Brechungsindex in Fig. 12 sind, so gilt

$$h = \lambda/(n - 1)$$

[0063] Das bei diesem Beispiel verwendete gebeugte Licht ist das Licht erster Ordnung. Wenn allerdings das Licht zweiter Ordnung verwendet wird, kann man die Gitterkonstante P und die Höhe h ohne Änderung der Brechkraft verdoppeln.

[0064] Wie oben beschrieben wurde, kann bei diesem Beispiel eine kompakte optische Vorrichtung, die beständig gegenüber Änderungen im Fokus durch Umweltänderungen (Temperaturschwankungen) ist und einen hochauflösenden Druck mit einer einfachen Anordnung liefern kann, dadurch erhalten werden, daß man das optische Beugungselement **8** auf der Oberfläche des ersten optischen Elements **8a** des ersten und des zweiten optischen Elements **6a** und **6b** ausbildet, welche die optische Abtasteinrichtung **6** bilden.

[0065] Bei diesem Beispiel wird das optische Beugungselement **8** auf der zweiten Oberfläche **6a2** des ersten optischen Elements **6a** derart ausgebildet, daß die Brechkräfte aufgrund des Beugungssystems unterschiedliche positive (konvexe) Brechkräfte in Hauptabtastrichtung und in Nebenabtastrichtung sind. Allerdings können ein optisches Beugungselement mit positiver Brechkraft in Hauptabtastrichtung und ein optisches Beugungselement mit positiver Brechkraft in Nebenabtastrichtung auf der Oberfläche des ersten optischen Elements **6a** bzw. der Oberfläche des zweiten optischen Elements **6b** gebildet werden. Alternativ kann eine zu der obigen Anordnung umgekehrte Ausgestaltung verwendet werden (das heißt: ein optisches Beugungselement mit positiver Brechkraft in Nebenabtastrichtung ist auf dem ersten optischen Element **6a** gebildet, während ein optisches Beugungselement mit positiver Brechkraft in Hauptabtastrichtung auf dem zweiten optischen Element **6b** gebildet ist).

[0066] Fig. 13 ist eine Schnittansicht (Hauptabtastquerschnitt) des Hauptbestandteils der optischen Abtastvorrichtung des zweiten Beispiels in der Hauptabtastrichtung. Gleiche Bezugszeichen in Fig. 13 bezeichnen gleiche Teile wie in Fig. 3.

[0067] Dieses Beispiel unterscheidet sich von dem ersten Beispiel dadurch, daß ein optisches Beugungselement auf der Oberfläche des zweiten optischen Elements gebildet ist. Die übrige Anordnung und die optischen Effekte des zweiten Beispiels sind nahezu die gleichen wie bei dem ersten Beispiel, so daß ähnliche Wirkungs-

weisen erhalten werden.

[0068] Bezugnehmend auf Fig. 13 besitzt eine optische Abtasteinrichtung **26** eine fθ-Kennlinie und das erste und das zweite optische Element (fθ-Linsensystem) **26a** und **26b**. Das erste optische Element **26a** besitzt eine erste Oberfläche (Einfallfläche) **26a1** und eine zweite Oberfläche (Austrittsfläche) **26a2**, die beide sphärische Flächen mit positiver (konvexer) Brechkraft in Richtung der Seite der Abtastfläche sind. Das zweite optische Element **26b** ist eine Zerrlinse mit verschiedenen positiven (konvexen) Brechkräften in Hauptabtastrichtung und in Nebenabtastrichtung. Sowohl die erste Fläche (Einfallfläche) **26b1** als auch die zweite (Austrittsfläche) **26b2** sind torische Flächen. In der Hauptabtastrichtung sind sowohl die erste als auch die zweite Fläche **26b1** und **26b2** asphärisch. In der Nebenabtastrichtung ändern sich die beiden Flächen **26b1** und **26b2** kontinuierlich in ihrem Krümmungsradius mit zunehmendem Abstand von der optischen Achse. Auf der zweiten Fläche **26b1** ist ein optisches Beugungselement **28** derart ausgebildet, daß die Brechkräfte basierend auf dem Beugungssystem unterschiedliche positive (konvexe) Kräfte in Hauptabtastrichtung und in Nebenabtastrichtung werden. Sowohl das erste als auch das zweite optische Element **26a** und **26b** bestehen aus Kunststoff. Die optische Abtasteinrichtung **26** besitzt eine Neigungskorrekturfunktion, implementiert durch Einstellen einer Ablenkfläche **5a** und einer Abtastfläche **7** in optisch zueinander konjugierter Weise innerhalb des Nebenabtastquerschnitts.

[0069] Tabelle 3 zeigt eine optische Konfiguration der zweiten Ausführungsform. Tabelle 4 zeigt die asphärischen Koeffizienten des Brechungssystems und die Phasenkoeffizienten des Beugungssystems. Sämtliche Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16 und Fig. 17 zeigen den Zustand des optischen Beugungselements **28** an der zweiten Oberfläche **26b2** des zweiten optischen Elements **26b**. Bezugnehmend auf jede Zeichnung bedeutet die Abszisse die Y-Achsenkoordinate auf dem optischen Beugungselement **28**. Fig. 14 zeigt den Phasenbetrag (Einheit: λ) innerhalb des Hauptabtastquerschnitts. Fig. 15 zeigt die Gitterkonstante (Einheit: μm) des Beugungsgitters mit dem Beugungslicht erster Ordnung innerhalb des Hauptabtastquerschnitts. Fig. 16 zeigt die Brechkraft in Hauptabtastrichtung. Fig. 17 zeigt die Brechkraft in Nebenabtastrichtung.

Tabelle 3

Verwendete Wellenlänge	λ(nm)	780
Brechungsindex des ersten optischen Elements	n1	1,5242
Brechungsindex des zweiten optischen Elements	n2	1,5242
Winkel zwischen optischen Achsen optischer Systeme vor und nach Ablenkeinrichtung	θ1 (Grad)	90
Maximaler Abtastwinkel auf einer Seite	θmax (Grad)	45
Abstand zwischen Ablenkfläche und erstem optischen Element	d1(mm)	25,00
Mittlere Dicke des ersten optischen Elements	d2(mm)	5,60
Abstand zwischen erstem und zweitem optischen Element	d3(mm)	5,40
Mittlere Dicke des zweiten optischen Elements	d4(mm)	8,00
Abstand zwischen zweitem optischen Element und Abtastfläche	d5(mm)	113,50
fθ-Koeffizient	f	136
Ablenkeinrichtung (drehender Polygonspiegel)	ϕ 20, 4 Flächen	

Tabelle 4

	Form des Brechungssystems			
	Erstes optisches Element		Zweites optisches Element	
	Erste Oberfläche	Zweite Oberfläche	Erste Oberfläche	Zweite Oberfläche
R	-126,80	-118,75	50,98	61,86
Ku	0	0	-1,32E+01	-1,94E+01
B4u	0	0	-1,62E-06	-1,84E-06
B6u	0	0	6,14E-10	6,32E-10
B8u	0	0	-1,18E-13	-1,76E-13
B10u	0	0	2,75E-17	4,39E-17
K1	0	0	-1,32E+01	-1,94E+01
B41	0	0	-1,62E-06	-1,84E-06
B61	0	0	6,14E-10	6,32E-10
B81	0	0	-1,18E-13	-1,76E-13
B101	0	0	2,75E-17	4,39E-17
r	-126,80	-118,75	-18,67	-13,46
D2u	0	0	5,06E-03	2,27E-03
D4u	0	0	6,54E-06	-8,35E-07
D6u	0	0	2,80E-09	-4,22E-10
D8u	0	0	-1,12E-11	6,97E-13
D10u	0	0	1,20E-14	-2,15E-16
D21	0	0	5,06E-03	2,27E-03
D41	0	0	6,54E-06	-8,35E-07
D61	0	0	2,80E-09	-4,22E-10
D81	0	0	-1,12E-11	6,97E-13
D101	0	0	1,20E-14	-2,15E-16

	Form des Brechungssystems			
	Erstes optisches Element		Zweites optisches Element	
	Erste Oberfläche	Zweite Oberfläche	Erste Oberfläche	Zweite Oberfläche
C1	0	0	0	0
C2	0	0	0	-1,01E-03
C3	0	0	0	0
C4	0	0	0	-2,14E-08
C5	0	0	0	0
C6	0	0	0	0
C7	0	0	0	0
C8	0	0	0	0
C9	0	0	0	0
C10	0	0	0	0
E1	0	0	0	-6,59E-03
E2	-0	0	0	0
E3	0	0	0	3,86E-07
E4	0	0	0	0
E5	0	0	0	0
E6	0	0	0	0
E7	0	0	0	0
E8	0	0	0	0
E9	0	0	0	0

[0070] Wie aus den Fig. 16 und Fig. 17 ersichtlich ist, werden bei diesem Beispiel die Brechkräfte des Beugungssystems auf angestrebte positive (konvexe) Kräfte sowohl in Hauptabtastrichtung als auch in Nebenabtastrichtung eingestellt.

[0071] Bei diesem Beispiel heben sich wie beim ersten Beispiel die Brennpunktänderungen im gesamten optischen Abtastsystem auf, so daß ein Temperaturkompensationseffekt erreicht wird. Darüber hinaus besitzt diese Vorrichtung einen asphärischen Einfluß in Hauptabtastrichtung und trägt bei zur Aberrationskorrektur, indem die Brechkraft von einem Punkt auf der Achse in Richtung seitlich der Achse in Nebenabtastrichtung variiert wird.

[0072] Fig. 18 zeigt die Feldkrümmung in Hauptabtastrichtung vor und nach einem Temperaturanstieg bei diesem Beispiel. Fig. 19 zeigt die Feldkrümmung in Nebenabtastrichtung vor und nach dem Temperaturanstieg bei diesem Beispiel. Fig. 20 zeigt die Verzeichnung (fθ-Kennlinie) und die Abweichung der Bildhöhe dieser Ausführungsform.

[0073] Bezugnehmend auf die beiden Fig. 18 und Fig. 19 bedeutet die gestrichelte Linie die Feldkrümmung bei Zimmertemperatur von 25°C, und die ausgezogene Linie bedeutet die Feldkrümmung, wenn die Temperatur von 25°C auf 50°C ansteigt. In diesem Fall werden ein Brechungsindex n* des ersten und des zweiten op-

tischen Elements **26a** und **26b** und eine Wellenlänge λ* der Lichtquelleneinrichtung **1** folgendermaßen eingestellt:
n* = 1,5221
λ* = 786,4 nm.

[0074] Wie aus Fig. 18 und Fig. 19 entnehmbar ist, sind die Brennpunktverschiebungen sowohl in Hauptabtastrichtung als auch in Nebenabtastrichtung passend korrigiert.

[0075] Da bei diesem Beispiel die optische Abtasteinrichtung **26** aus zwei Linsen gebildet ist, läßt sich die Koma in der Hauptabtastrichtung passend korrigieren. Fig. 21 zeigt die Koma (Einheit: Wellenlänge λ; Abszisse: Bildhöhe) eines Vollpupillen-Lichtstrahls bei jeder Bildhöhe bei einem Fleckdurchmesser von 80 μm. Bei der mittleren Bildhöhe, bei die Aberration auf den Maximalwert ansteigt, beträgt die Aberration etwa 0,07 λ. Der Fleckdurchmesser läßt sich deshalb weiter verkleinern.

[0076] Darüber hinaus ist bei diesem Beispiel das optische Beugungselement **28** auf der zweiten Oberfläche **26a2** als Austrittsseite des ersten optischen Elements **26b** ausgebildet. Durch Ausbilden des optischen Beugungselements auf der zweiten Oberfläche lassen sich Schwierigkeiten verringern halten, die zurückzuführen sind auf Beugungslichtkomponenten anderer Ordnungen als der genutzten Ordnung.

[0077] Bei diesem Beispiel ist das in Fig. 12 gezeigte Beugungsgitter ein geflammtes Beugungsgitter mit Sägezahnform. Allerdings kann man auch ein binäres Beugungsgitter verwenden, welches durch ein abgestuftes Gitter gebildet wird. Wenn P die Gitterkonstante, h die Gitterhöhe und n der Brechungsindex in Fig. 12 sind, so gilt

$$h = \lambda/(n - 1)$$

[0078] Das bei diesem Beispiel genutzte Beugungslicht ist das Licht erster Ordnung. Wenn allerdings Licht zweiter Ordnung verwendet wird, können die Gitterkonstante P und die Höhe h ohne Änderung der Brechkraft verdoppelt werden.

[0079] Wie oben beschrieben, kann eine kompakte optische Abtasteinrichtung, die widerstandsfähig ist gegenüber Brennpunktänderungen aufgrund von Umgebungsänderungen (Temperaturänderungen), und die sich für hochauflösenden Druck bei einfacher Ausgestaltung eignet, dadurch erhalten werden, daß man das optische Beugungselement **28** auf der Oberfläche des zweiten optischen Elements **26b** von dem ersten und dem zweiten optischen Element **26a**, **26b**, welche die optische Abtasteinrichtung **26** bilden, ausbildet.

[0080] Fig. 22 ist eine Schnittansicht (Hauptabtastquerschnitt) des Hauptbestandteils einer optischen Abtastvorrichtung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in Hauptabtastrichtung. Gleiche Bezugszeichen in Fig. 22 bezeichnen gleiche Teile wie in Fig. 3.

[0081] Bezugnehmend auf Fig. 22, besitzt die Lichtquelleneinrichtung **21** eine Mehrzahl von lichtemittierenden Einheiten (bei dieser Ausführungsform eine erste und eine zweite lichtemittierende Einheit). Beispielhaft wird ein Mehrfach-Halbleiterlaser als Lichtquelleneinrichtung **21** verwndet. Die optische Abtasteinrichtung **26** besitzt eine fθ-Kennlinie und das erste und das zweite optische Element (fθ-Linsensystem) **36a** und **36b**. Das erste optische Element **36a** besitzt eine erste Oberfläche (Einfallfläche) **36a1** und eine zweite Oberfläche (Austrittsfläche) **36a2**, die beide sphärische Oberflächen mit positiver (konvexer) Brechkraft in Richtung der Seite der Abtastfläche sind. Auf der zweiten Oberfläche **36a2** ist ein optisches Beugungselement **38** gebildet, so daß die Brechkraft basierend auf dem Beugungssystem zu einer positiven (konvexen) Brechkraft in Nebenabtastrichtung wird. Das zweite optische Element **36b** ist eine Zerrlinse mit unterschiedlicher positiver (konvexer) Brechkraft in Haupt- bzw. Nebenabtastrichtung. Sowohl eine erste Oberfläche (die Einfallfläche) **36b1** als auch eine zweite (die Austrittsfläche) **36b2** sind torische Flächen. In der Hauptabtastrichtung sind die erste und die zweite Fläche **36b1** und **36b2** asphärisch. In der Nebenabtastrichtung ändern die erste und die zweite Fläche **36b1** und **36b2** kontinuierlich ihren Krümmungsradius mit zunehmendem Abstand von der optischen Achse. Ein optisches Beugungselement **39** wird auf der zweiten Oberfläche **36b2** derart gebildet, daß die Brechkraft entsprechend dem Beugungssystem zu einer positiven (konvexen) Brechkraft in der Hauptabtastrichtung wird. Sowohl das erste als auch das zweite optische Element **36a** und **36b** bestehen aus Kunststoff. Die optische Abtasteinrichtung **36** besitzt eine Neigungskorrekturfunktion, die dadurch implementiert ist, daß eine Ablenkfläche **5a** und eine Abtastfläche **7** zueinander optisch konjugiert im Nebenabtastquerschnitt angeordnet sind.

[0082] Bei dieser Ausführungsform werden mehrere divergente Laserstrahlen, die von dem Mehrfach-Halb-

leiterlaser **21** abgestrahlt werden, von einer Kollimatorlinse **2** in konvergente Lichtstrahlen umgewandelt. Diese Lichtstrahlen werden dann von einer Aperturblende **3** in gewünschte Strahlformen umgeformt und treffen auf eine Zylinderlinse **4**, die dort auftreffenden Lichtstrahlen verlassen die Zylinderlinse **4** ohne Änderung im Hauptabtastquerschnitt. Allerdings konvergieren die Lichtstrahlen im Nebenabtastquerschnitt und bilden im wesentlichen lineare Bilder (lineare Bilder, die in Hauptabtastrichtung länglich sind) auf der Ablenkfläche **5a** der Ablenkeinrichtung **5**. Die von der Ablenkfläche **5a** der Ablenkeinrichtung **5** reflektierend abgelenkten Lichtstrahlen bilden Flecken oder Punkte auf der photoempfindlichen Trommeloberfläche **7** über eine optische Abtasteinrichtung **36**. Durch Drehen der Ablenkeinrichtung **5** in Pfeilrichtung A werden die Lichtstrahlen abtastend über die photoempfindliche Trommeloberfläche **7** mit konstanter Geschwindigkeit in Pfeilrichtung B geführt (Hauptabtastrichtung). Durch diesen Vorgang wird auf der als Aufzeichnungsträger fungierenden photoempfindlichen Trommeloberfläche **7** ein Bild aufgezeichnet.

[0083] Tabelle 5 zeigt eine optische Konfiguration dieser Ausführungsform. Tabelle 6 zeigt die asphärischen Koeffizienten des Beugungssystems und die Phasenkoeffizienten des Brechungssystems. Jede der Fig. 23, Fig. 24 und Fig. 25 zeigt den Zustand des optischen Beugungselements **39** an der zweiten Oberfläche **36b2** des zweiten optischen Elements **36b**. Fig. 26 zeigt den Zustand des optischen Beugungselements an der zweiten Oberfläche **36a2** des ersten optischen Elements **36a**. In jeder Zeichnung entspricht die Abszisse der Y-Koordinate auf dem optischen Beugungselement. Fig. 23 zeigt den Phasenbetrag (Einheit: λ) innerhalb des Hauptabtastquerschnitts. Fig. 24 zeigt die Gitterkonstante (Einheit: μm) des Beugungsgitters mit dem Beugungslicht erster Ordnung im Hauptabtastquerschnitt. Fig. 25 zeigt die Brechkraft in Hauptabtastrichtung. Fig. 26 zeigt die Brechkraft in Nebenabtastrichtung.

Tabelle 5

Verwendete Wellenlänge	λ(nm)	780
Brechungsindex des ersten optischen Elements	n1	1,5242
Brechungsindex des zweiten optischen Elements	n2	1,5242
Winkel zwischen optischen Achsen optischer Systeme vor und nach Ablenkeinrichtung	θ1 (Grad)	90
Maximaler Abtastwinkel auf einer Seite	θmax (Grad)	45
Abstand zwischen Ablenkfläche und erstem optischen Element	d1(mm)	25,00
Mittlere Dicke des ersten optischen Elements	d2(mm)	5,60
Abstand zwischen erstem und zweitem optischen Element	d3(mm)	5,40
Mittlere Dicke des zweiten optischen Elements	d4(mm)	8,00
Abstand zwischen zweitem optischen Element und Abtastfläche	d5(mm)	113,50
fθ-Koeffizient	f	136
Ablenkeinrichtung (drehender Polygonspiegel)	ϕ 20, 4 Flächen	

Tabelle 6

	Form des Brechungssystems			
	Erstes optisches Element		Zweites optisches Element	
	Erste Oberfläche	Zweite Oberfläche	Erste Oberfläche	Zweite Oberfläche
R	-78,80	-69,51	51,72	72,08
Ku	0	0	-1,09E+01	-2,41E+01
B4u	0	0	-1,44E-06	-1,99E-06
B6u	0	0	4,78E-10	4,46E-10
B8u	0	0	-2,96E-14	-4,12E-14
B10u	0	0	5,67E-18	1,97E-17
K1	0	0	-1,09E+01	-2,41E+01
B41	0	0	-1,44E-06	-1,99E-06
B61	0	0	4,78E-10	4,46E-10
B81	0	0	-2,96E-14	-4,12E-14
B101	0	0	5,67E-18	1,97E-17
r	-78,80	-69,51	-80,65	-18,63
D2u	0	0	4,70E-03	1,42E-03
D4u	0	0	2,24E-05	-1,16E-06
D6u	0	0	-4,17E-08	-6,86E-10
D8u	0	0	-1,07E-11	1,36E-12
D10u	0	0	2,85E-14	-4,43E-16
D21	0	0	4,70E-03	1,42E-03
D41	0	0	2,24E-05	-1,16E-06
D61	0	0	-4,17E-08	-6,86E-10
D81	0	0	-1,07E-11	1,36E-12
D101	0	0	2,85E-14	-4,43E-16

	Form des Brechungssystems			
	Erstes optisches Element		Zweites optisches Element	
	Erste Oberfläche	Zweite Oberfläche	Erste Oberfläche	Zweite Oberfläche
C1	0	0	0	0
C2	0	0	0	-7,46E-05
C3	0	0	0	0
C4	0	0	0	0
C5	0	0	0	0
C6	0	0	0	0
C7	0	0	0	0
C8	0	0	0	0
C9	0	0	0	0
C10	0	0	0	0
E1	0	-7,69E-03	0	0
E2	-0	0	0	0
E3	0	0	0	0
E4	0	0	0	0
E5	0	0	0	0
E6	0	0	0	0
E7	0	0	0	0
E8	0	0	0	0
E9	0	0	0	0

[0084] Wie aus Fig. 26 ersichtlich ist, wird bei dieser Ausführungsform die Brechkraft des Beugungssystems auf eine gewünschte positive (konvexe) Brechkraft in Nebenabtastrichtung eingestellt.

[0085] Durch Einstellen der Brechkraft des Beugungssystems auf die gewünschte positive (konvexe) Brechkraft läßt sich eine Fokusverschiebung (eine Aberrationsschwankung), die hervorgerufen wird durch eine Änderung des Brechungsindex des Linsenmaterials der optischen Abtasteinrichtung **36** aufgrund von Umgebungsschwankungen, Korrigieren durch eine Änderung der Beugungskraft, bedingt durch Änderungen in der Wellenlänge der Lichtquelleneinrichtung **21**. Insbesondere dann, wenn die Temperatur ansteigt, nimmt der Brechungsindex des Kunststoffs ab, und folglich bewegt sich der Brennpunkt von der optischen Abtasteinrichtung **36** fort. Da nun aber die Wellenlänge der Lichtquelleneinrichtung **21** als Lichtquelleneinrichtung sich zu längeren Wellen hin verschiebt, nimmt die positive (konvexe) Brechkraft des Beugungssystems zu, was den Brennpunkt in Richtung der optischen Abtasteinrichtung **36** verlagert. Als Konsequenz heben sich die Brennpunktänderungen einander innerhalb der gesamten optischen Abtasteinrichtung auf, wodurch ein Temperaturkompensationseffekt erreicht wird.

[0086] Fig. 27 zeigt die Feldkrümmung in Hauptabtastrichtung vor und nach einem Temperaturanstieg bei dieser Ausführungsform. Fig. 28 zeigt die Feldkrümmung in Nebenabtastrichtung vor und nach dem Temperaturanstieg bei dieser Ausführungsform. Fig. 29 zeigt die Verzeichnung (fθ-Kennlinie) und die Abweichung der

Bildhöhe dieser Ausführungsform. Bezugnehmend auf jede der Fig. 27 und Fig. 28 bedeutet die gestrichelte Linie die Feldkrümmung bei Zimmertemperatur von 25°C, die ausgezogene Linie bedeutet die Feldkrümmung, wenn die Temperatur von 25°C auf 50°C ansteigt. In diesem Fall wird ein Brechungsindex n* des ersten und des zweiten optischen Elements **36a** und **36b** sowie eine Wellenlänge λ* der Lichtquelleneinrichtung **1** folgendermaßen eingestellt:
n* = 1,5221
λ* = 786,4 nm.

[0087] Wie aus den Fig. 27 und Fig. 28 ersichtlich ist, wird die Brennpunktverschiebung in Nebenabtastrichtung passend korrigiert.

[0088] Wie aus Fig. 25 ersichtlich ist, wird zur richtigen Korrektur der chromatischen Vergrößerungsaberration die Brechkraft des Beugungssystems in gewünschter Weise auf eine schwache positive (konvexe) Brechkraft in Hauptabtastrichtung eingestellt. Fig. 30 zeigt die chromatische Vergrößerungsaberration dieser Ausführungsform. In Fig. 30 entspricht die Abszisse der Bildhöhe, die Ordinate entspricht der Bildhöhendifferenz. Wenn in einer optischen Mehrstrahlen-Abtastvorrichtung beispielsweise von einer Lichtquelleneinrichtung, die eine erste und eine zweite lichtemittierende Einheit besitzt, emittierte Lichtstrahlen sich in der Wellenlänge unterscheiden, so kommt es in den jeweiligen Lichtstrahlen zu einer Bildhöhendifferenz, zu einer chromatischen Vergrößerungsaberration und dergleichen. Um diese chromatische Aberration (Farbfehler) zu korrigieren, wird die Brechkraft des Beugungssystems auf eine schwache positive (konvexe) Brechkraft eingestellt. In diesem Fall wird ein Brechungsindex n** des ersten und des zweiten optischen Elements **36a** und **36b** bezüglich der zweiten lichtemittierenden Einheit und eine Wellenlänge λ** der zweiten lichtemittierenden Einheit folgendermaßen eingestellt:
n** = 1,5240
λ** = 790,0 nm.

[0089] Wie aus der Fig. 30 entnehmbar ist, beträgt die gesamte Abtastbreitendifferenz bei der Wellenlänge jeder lichtemittierenden Einheit, das heißt der Jitter-Betrag, 1 μm oder weniger, und folglich wird der Vergrößerungsfarbfehler passend korrigiert.

[0090] Da bei dieser Ausführungsform die optische Abtasteinrichtung **36** aus zwei Linsen gebildet wird, läßt sich die Koma in Hauptabtastrichtung passend korrigieren. Fig. 31 zeigt die Koma (Einheit: Wellenlänge λ; Abszisse: Bildhöhe) eines Vollpupillen-Lichtstrahls bei jeder Bildhöhe bei einem Fleckdurchmesser von 80 μm. Bei der mittleren Bildhöhe, bei die Aberration auf den Maximalwert ansteigt, beträgt die Aberration etwa 0,06 λ. Der Fleckdurchmesser läßt sich daher weiter verkleinern.

[0091] Darüber hinaus ist bei dieser Ausführungsform das optische Beugungselement **39** mit einer Brechkraft in Hauptabtastrichtung auf der zweiten Oberfläche **36b2** als Austrittsseite des zweiten optischen Elements **36b** ausgebildet. Diese Ausgestaltung zielt darauf ab, den Einfallwinkel (der Winkel θi in Fig. 12) auf einen niedrigen Wert bezüglich des optischen Beugungselements (der optischen Beugungsfläche) innerhalb des Hauptabtastquerschnitts zu drücken. Wenn zum Beispiel der Einfallwinkel zunimmt, steigen die Beugungslichtkomponenten von anderen Ordnungen als der genutzten Ordnung in ihrer Intensität an, was zu einer Verringerung der Beugungseffizienz und zu Schwierigkeiten wie zum Beispiel Flimmern aufgrund von Beugungslichtkomponenten anderer als der genutzten Ordnung führt. Solche Schwierigkeiten lassen sich abmildern, indem auf der zweiten Oberfläche **36b2** eine optische Beugungsfläche gebildet wird.

[0092] Bei dieser Ausführungsform ist das in Fig. 12 gezeigte Beugungsgitter ein geflammtes Beugungsgitter in Sägezahnform. Allerdings kann man auch ein binäres Beugungsgitter in Form eines abgestuften Gitters verwenden. Wenn P die Gitterkonstante, h die Gitterhöhe und n der Brechungsindex in Fig. 12 sind, so gilt

$$h = \lambda/(n - 1)$$

[0093] Das bei dieser Ausführungsform verwendete Beugungslicht ist das Licht erster Ordnung. Wenn allerdings das Licht zweiter Ordnung genutzt wird, lassen sich die Gitterkonstante P und die Höhe h ohne Änderung der Brechkraft verdoppeln.

[0094] Wie oben beschrieben wurde, läßt sich durch diese Ausführungsform eine kompakte optische Mehrstrahlenabtastvorrichtung schaffen, die gegenüber Brennpunktänderungen aufgrund von Umgebungsschwankungen (Temperaturänderungen) widerstandsfähig ist und ein hochauflösenden Druck mit einfacher Anordnung gestattet, indem die optischen Beugungselemente auf beiden Oberfläche des ersten und des zweiten op-

tischen Elements **36a** und **36b** gebildet werden, welche die optische Abtasteinrichtung **36** ausmachen.

[0095] Bei dieser Ausführungsform sind die beiden optischen Beugungselemente **38** und **39** mit unterschiedlicher positiver Brechkraft in Hauptabtastrichtung und in Nebenabtastrichtung auf den Oberflächen des ersten und des zweiten optischen Elements **36a** und **36b** ausgebildet. Wie bei der ersten und der zweiten Ausführungsform allerdings kann ein optisches Beugungselement auch lediglich auf einer der Oberflächen von dem ersten und dem zweiten optischen Element gebildet werden.

[0096] Jede Ausführungsform steht als Beispiel für ein optisches Konvergenzsystem zum Umwandeln eines von der Lichtquelleneinrichtung emittierten Lichtstrahls in einen Lichtstrahl, der im Hauptabtastquerschnitt konvergiert, um diesen Strahl über die Ablenkeinrichtung abzulenken. Wie aus dem oben Gesagten entnehmbar ist, kann die vorliegende Erfindung allerdings auch Anwendung finden bei einem paralleloptischen System zum Umwandeln eines von einer Lichtquelleneinrichtung emittierten Lichtstrahls zu einem Lichtstrahl, der im Hauptabtastquerschnitt kollimiert ist und der über die Ablenkeinrichtung abgelenkt wird.

[0097] Erfindungsgemäß wird gemäß obiger Beschreibung in der optischen Abtastvorrichtung das optische Beugungselement auf der gekrümmten Oberfläche von zumindest einem der mehreren optischen Elemente gebildet, welche die optische Abtasteinrichtung darstellen, um auf diese Weise eine kompakte optische Abtastvorrichtung zu realisieren, die widerstandsfähig ist gegenüber Brennpunktänderungen, die ihrerseits zurückzuführen sind auf Umgebungsschwankungen (Temperaturänderungen, wobei die Vorrichtung sich für einen hochauflösenden Druck mit einfacher Vorrichtungsausgestaltung eignet.

[0098] Darüber hinaus wird gemäß obiger Beschreibung durch die Erfindung in einer optischen Mehrstrahlen-Abtastvorrichtung das optische Beugungselement auf der gekrümmten Fläche von mindestens einem den mehreren optischen Elemente gebildet, welche die optische Abtasteinrichtung darstellen, so daß eine kompakte optische Mehrstrahlen-Abtastvorrichtung realisiert wird, die widerstandsfähig ist gegenüber Brennpunktänderungen aufgrund von Umgebungsschwankungen (Temperaturänderungen, und die mit einer einfachen Anordnung einen hochauflösenden Druck implementieren kann.

Patentansprüche

1. Optische Mehrstrahlenabtastvorrichtung, umfassend:
eine Lichtquelleneinrichtung (**21**) mit mehreren lichtemittierenden Einheiten;
eine Ablenkeinrichtung (**5**) zum Ablenken von mehreren von der Lichtquelleneinrichtung emittierten Lichtstrahlen; und
eine optische Abtasteinrichtung (**36**) zum Erzeugen von Flecken der mehreren, von der Ablenkeinrichtung abgelenkten Lichtstrahlen auf einer abzutastenden Fläche (**7**),
dadurch gekennzeichnet, daß die optische Abtasteinrichtung (**36**) mehrere optische Elemente (**36a**, **36b**) aufweist, und auf einer gekrümmten Oberfläche (**36a2**, **36b2**) von mindestens einem (**36a**, **36b**) der optischen Elemente ein optisches Beugungselement gebildet ist,
wobei die mehreren lichtemittierenden Einheiten Licht verschiedener Wellenlängen emittieren und das optische Beugungselement eine Schwankung des Farbfehlers in der optischen Abtasteinrichtung (**36**) kompensiert, der verursacht wird durch eine Differenz der Schwingungswellenlängen der Lichtquelleneinrichtung (**21**).

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das optische Beugungselement auf derjenigen Fläche (**36a2**, **36b2**) des optischen Elements (**36a**, **36b**) gebildet ist, welches auf der Seite der abgetasteten Fläche (**7**) gelegen ist.

3. Laserstrahldrucker mit einer optischen Abtastvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2.

Es folgen 23 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

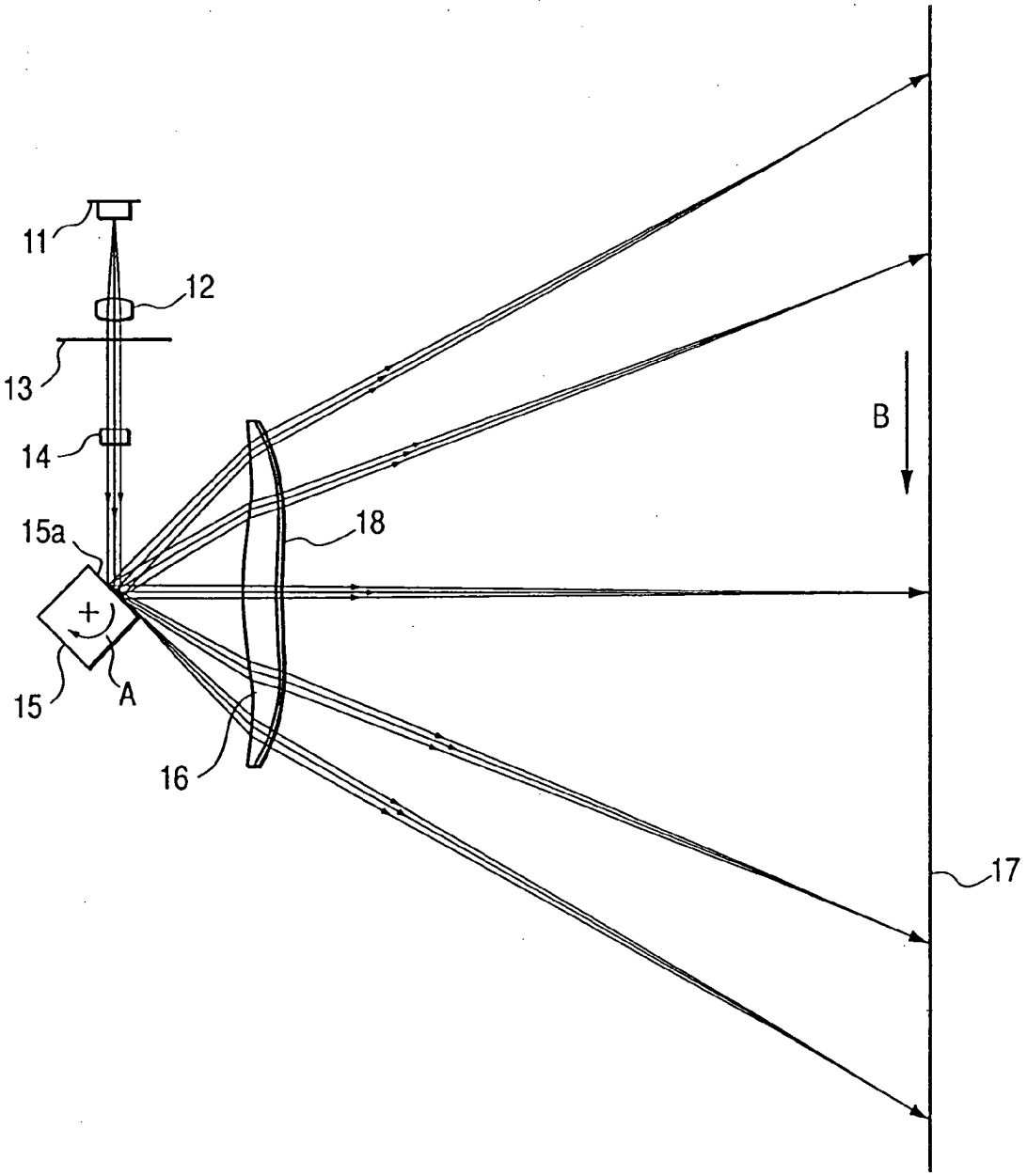


FIG. 2

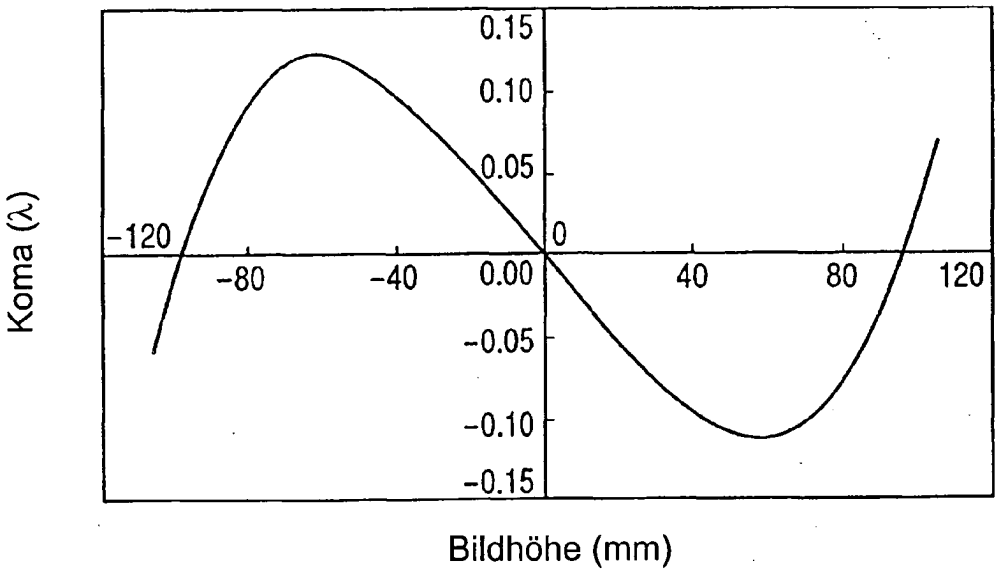

0.15
0.10
0.05
0
-0.05
-0.10
-0.15
-120
-80
-40
0.00
40
80
120
Koma (λ)
Bildhöhe (mm)

FIG. 3

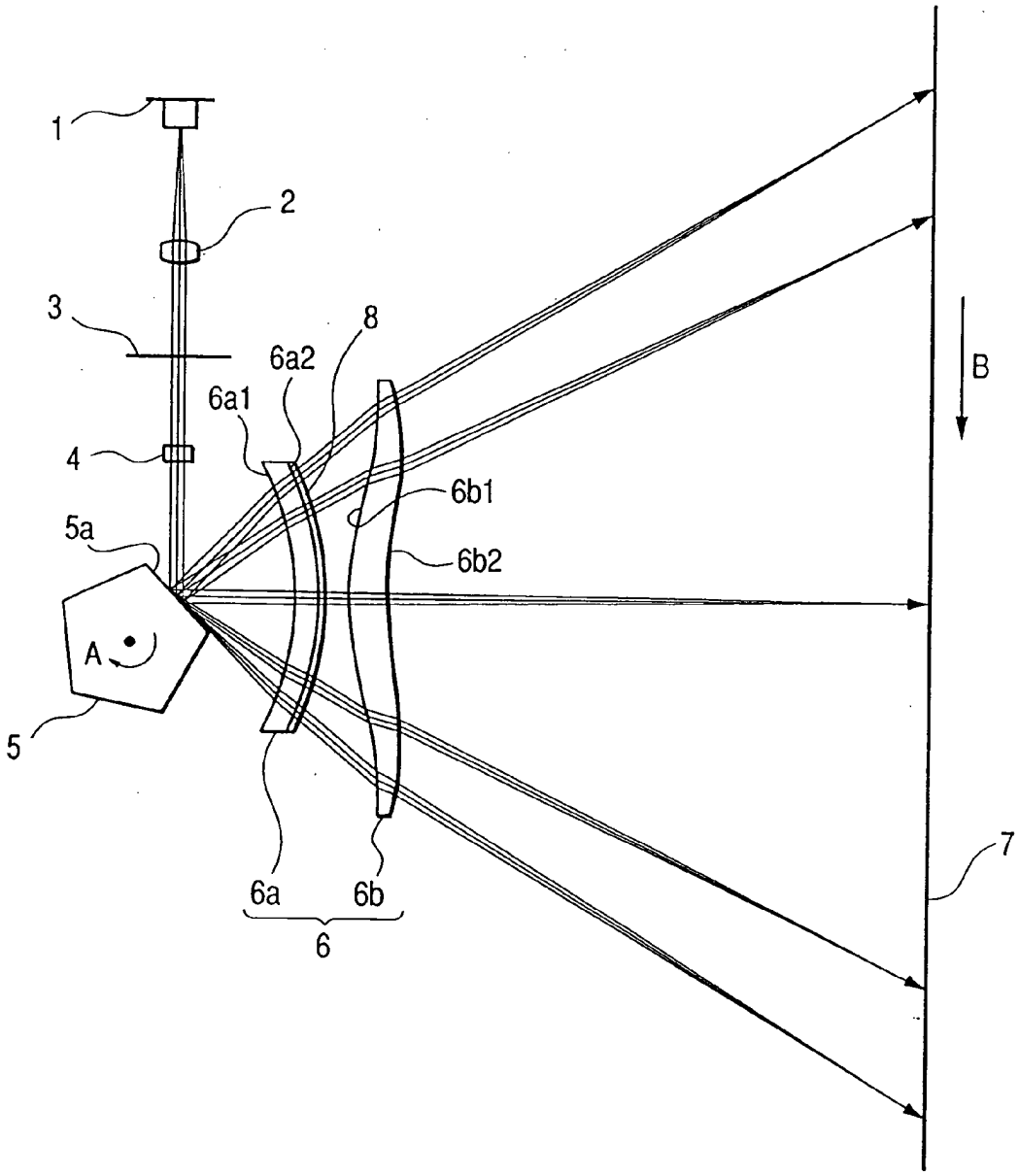


FIG. 4

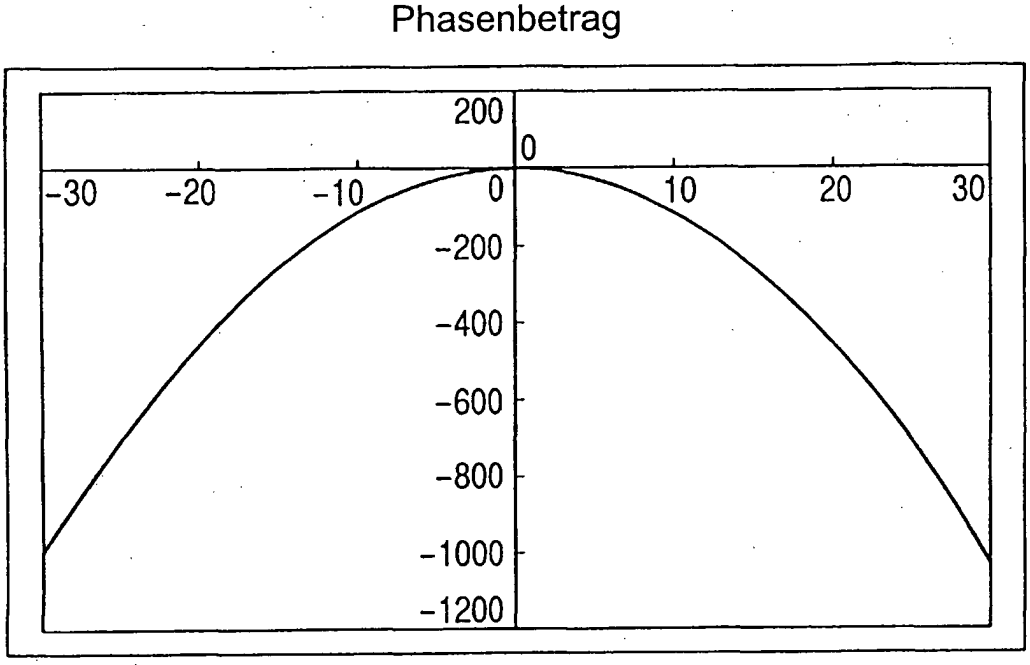

Phasenbetrag
200
0
-30
-20
-10
0
10
20
30
-200
-400
-600
-800
-1000
-1200

FIG. 5

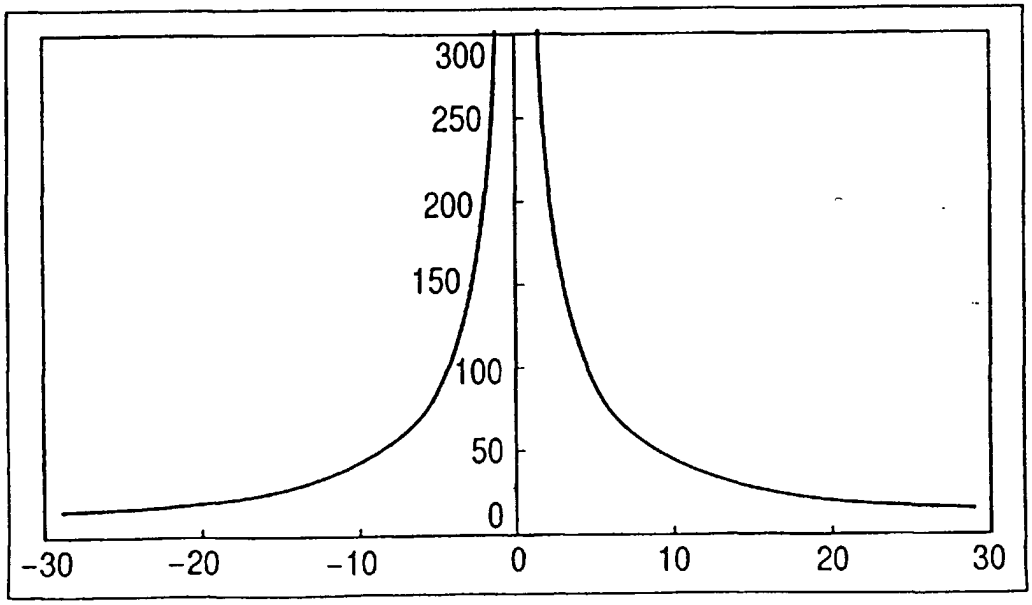

Gitterkonstante
300
250
200
150
100
50
0
-30
-20
-10
0
10
20
30

FIG. 6

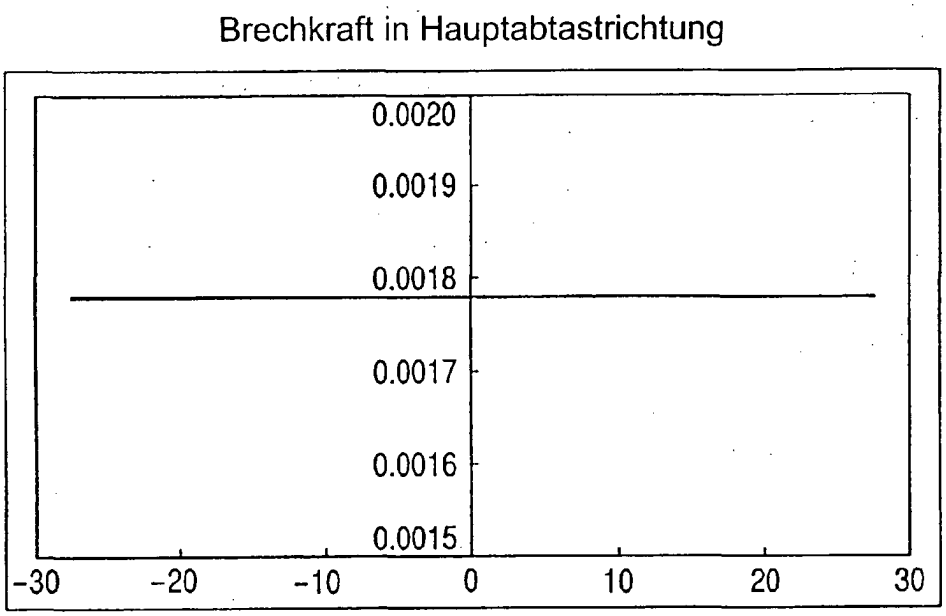

Brechkraft in Hauptabtastrichtung
0.0020
0.0019
0.0018
0.0017
0.0016
0.0015
-30
-20
-10
0
10
20
30

FIG. 7

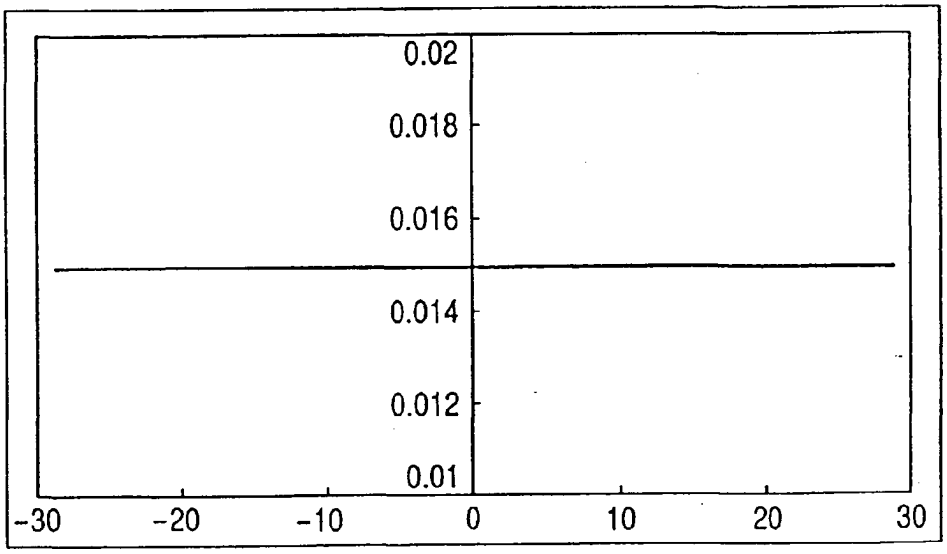

Brechkraft in Nebenabtastrichtung
0.02
0.018
0.016
0.014
0.012
0.01
-30
-20
-10
0
10
20
30

FIG. 8

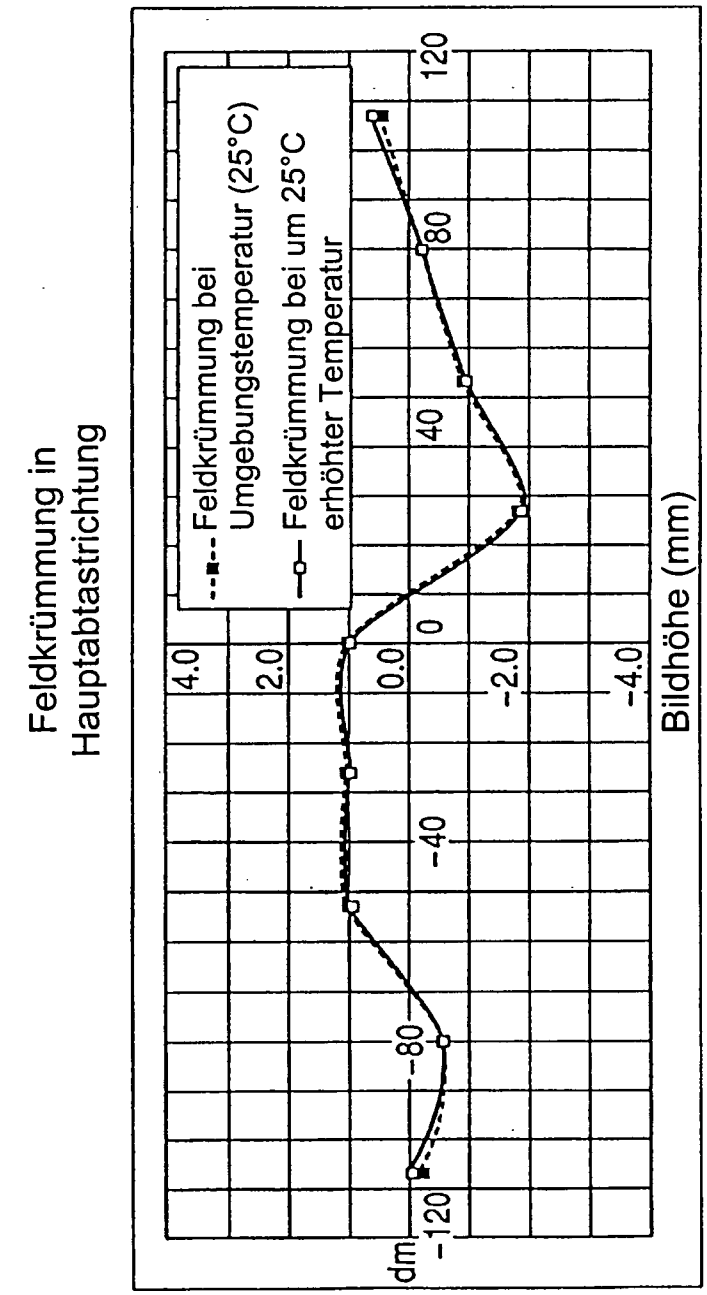

Feldkrümmung in Hauptabtastrichtung
Feldkrümmung bei Umgebungstemperatur (25°C)
Feldkrümmung bei um 25°C erhöhter Temperatur
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
120
80
40
0
-40
-80
-120
dm
Bildhöhe (mm)

FIG. 9

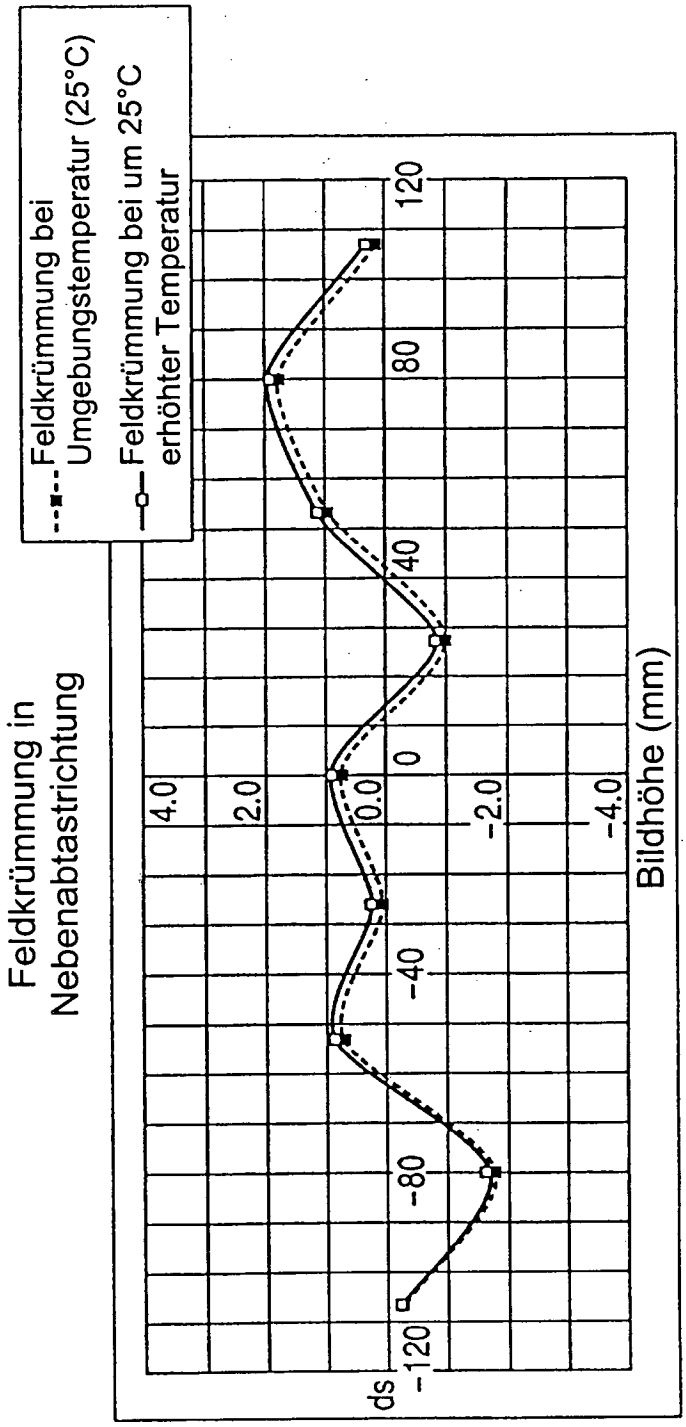

Feldkrümmung bei Umgebungstemperatur (25°C)
Feldkrümmung bei um 25°C erhöhter Temperatur
Feldkrümmung in Nebenabtastrichtung
Bildhöhe (mm)
ds
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
120
80
40
0
-40
-80
-120

FIG. 10

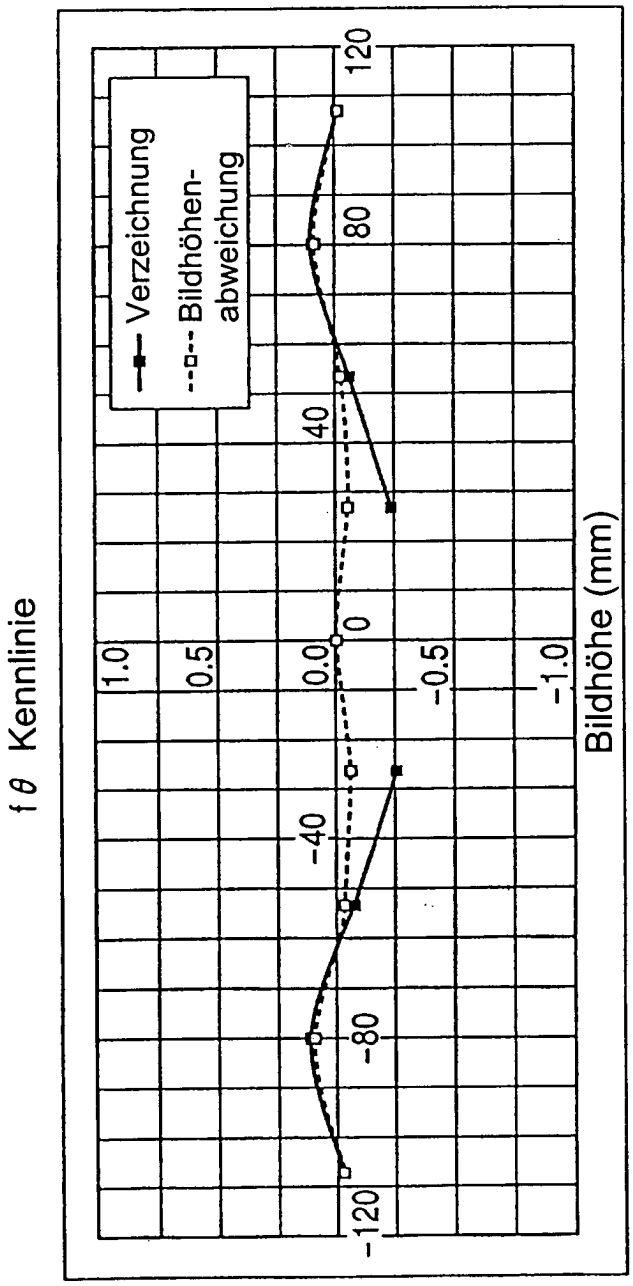

fθ Kennlinie
Verzeichnung
Bildhöhen-abweichung
Bildhöhe (mm)
120
80
40
0
-40
-80
-120
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0

FIG. 11

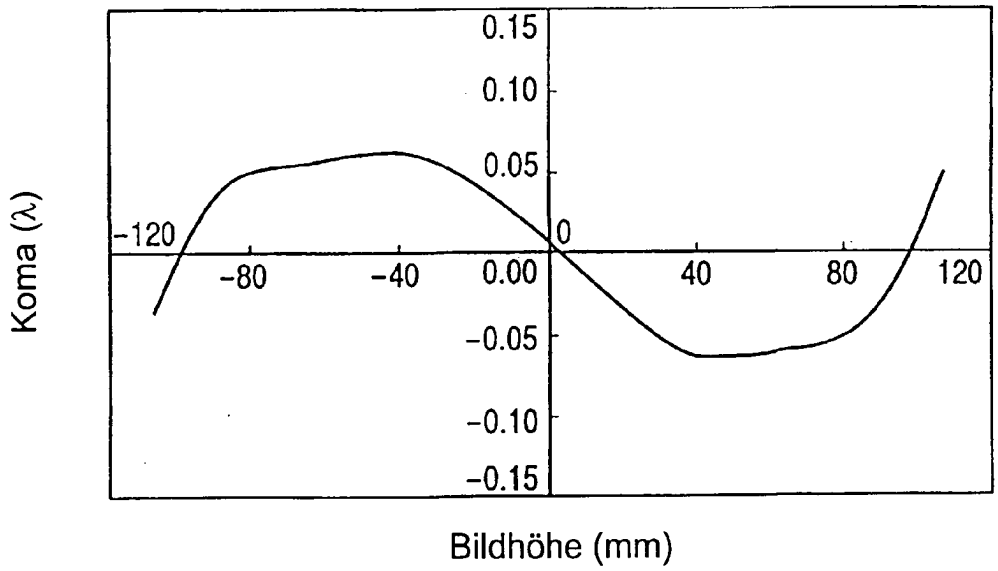

0.15
0.10
0.05
-120
0
-80
-40
0.00
40
80
120
-0.05
-0.10
-0.15
Koma (λ)
Bildhöhe (mm)

FIG. 12

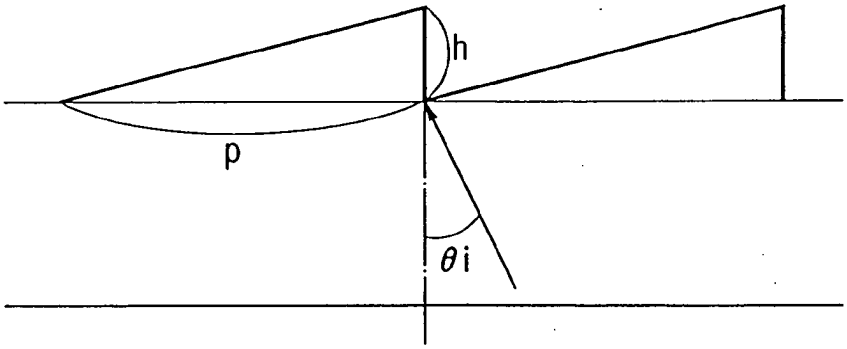


FIG. 13

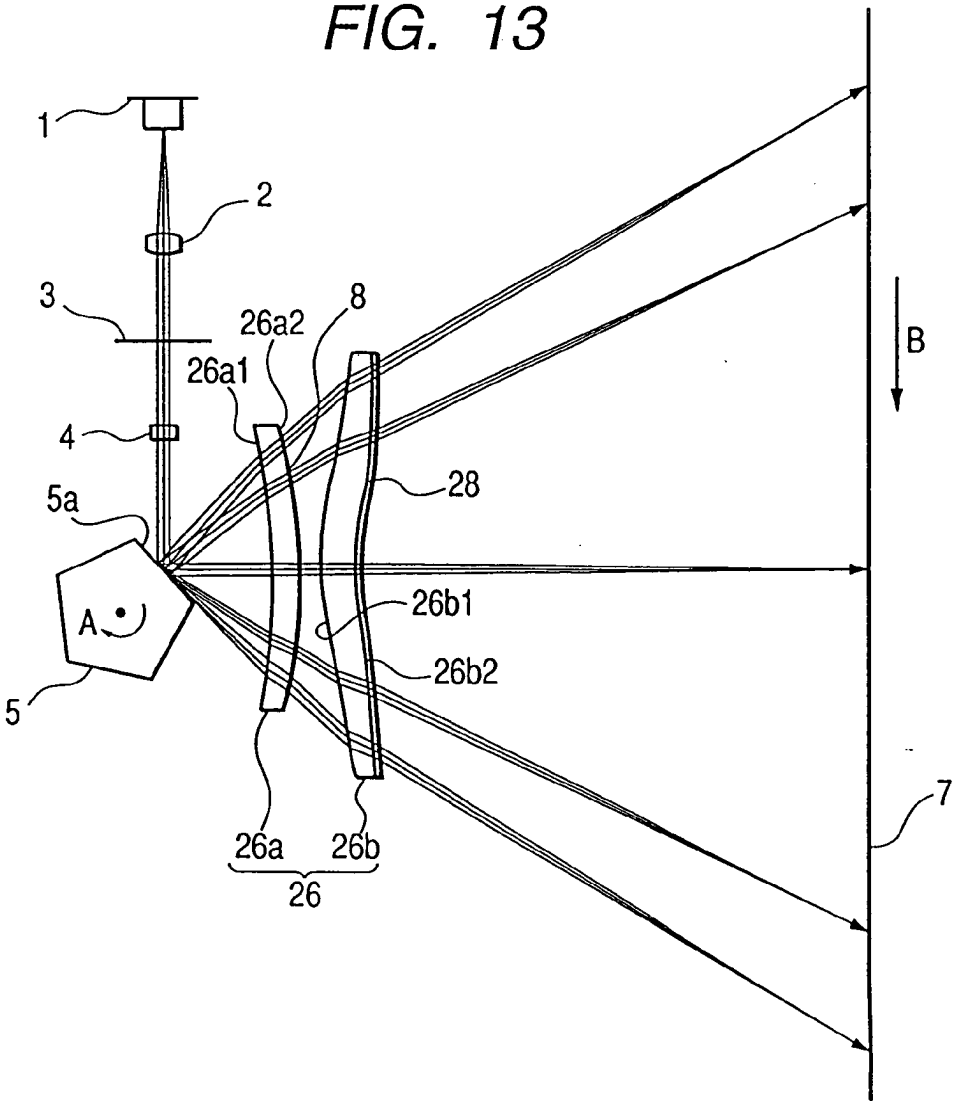


FIG. 14

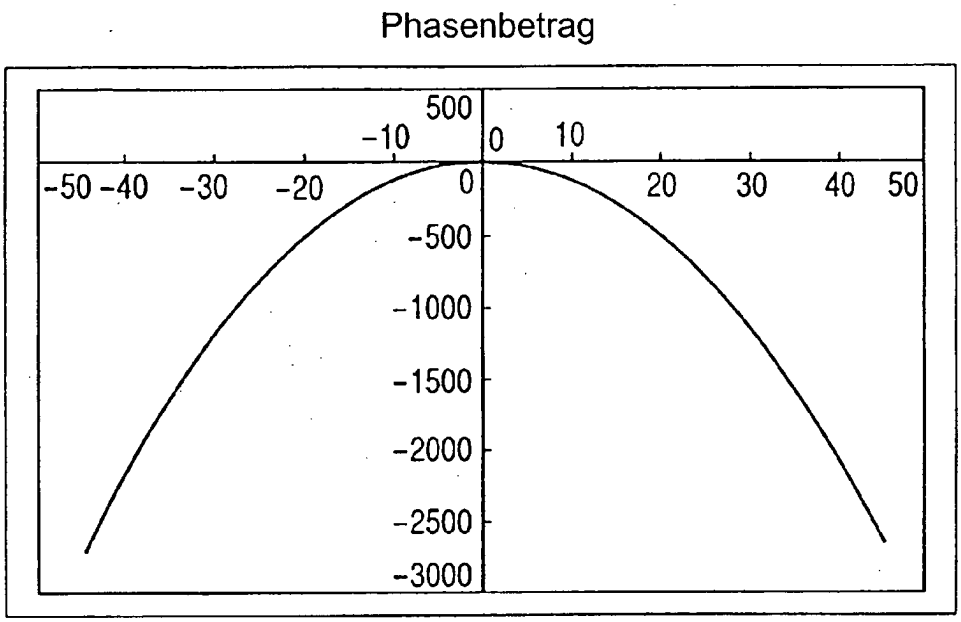

Phasenbetrag
500
-10
0
10
-50 -40 -30 -20
0
20 30 40 50
-500
-1000
-1500
-2000
-2500
-3000

FIG. 15

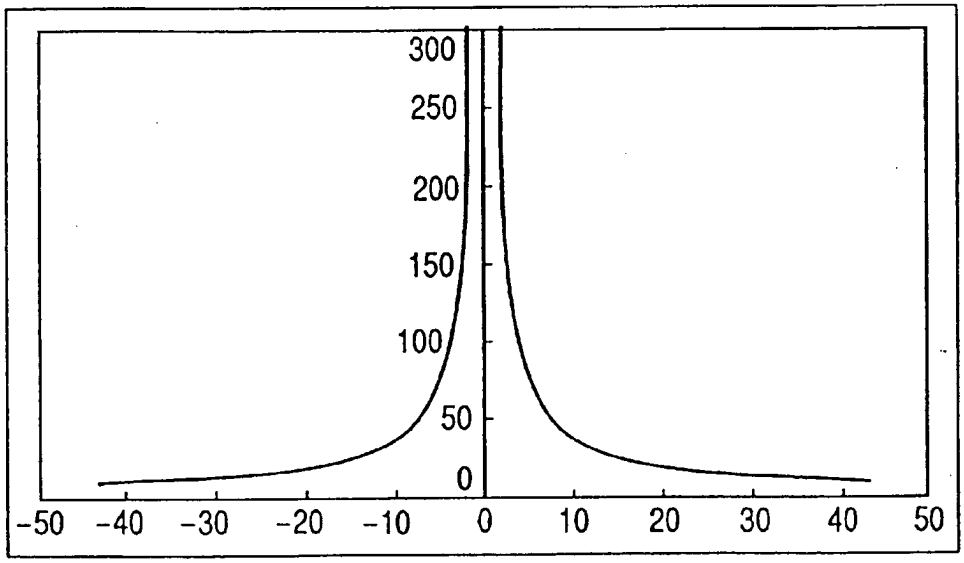

Gitterkonstante
300
250
200
150
100
50
0
-50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50

FIG. 16

Brechkraft in Hauptabtastrichtung

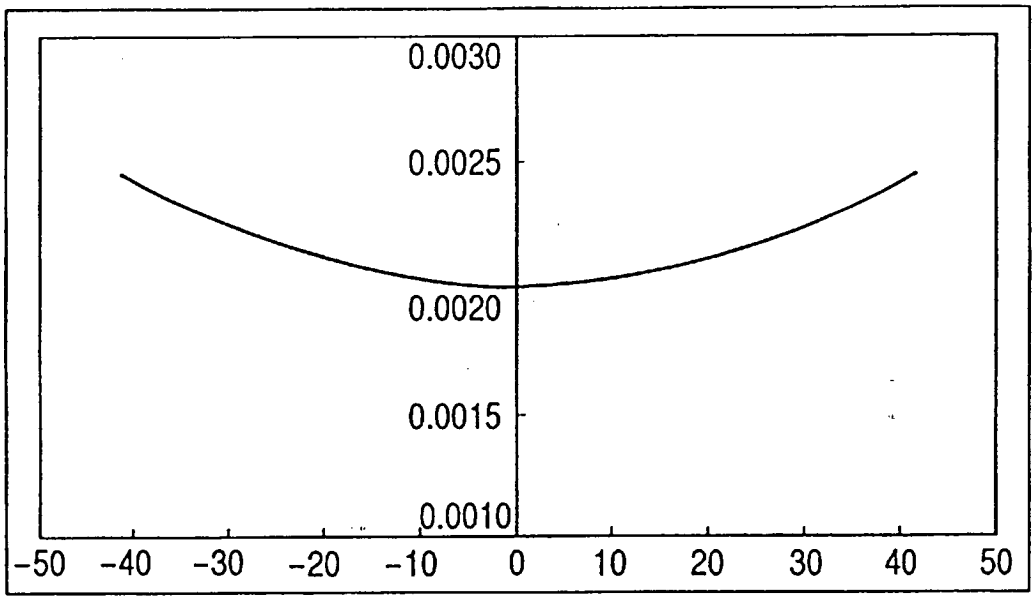


FIG. 17

Brechkraft in Nebenabtastrichtung

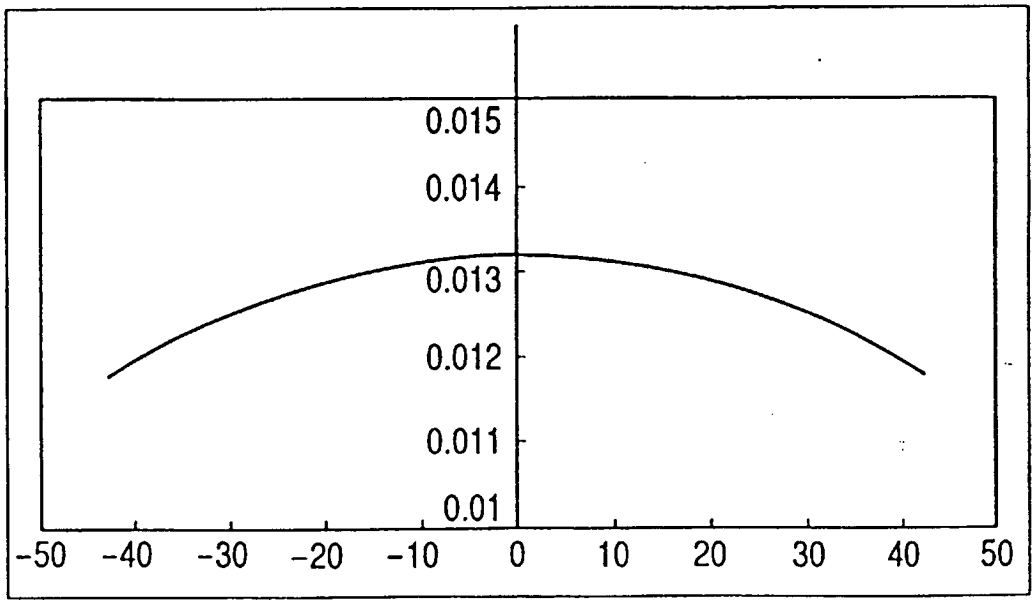


FIG. 18

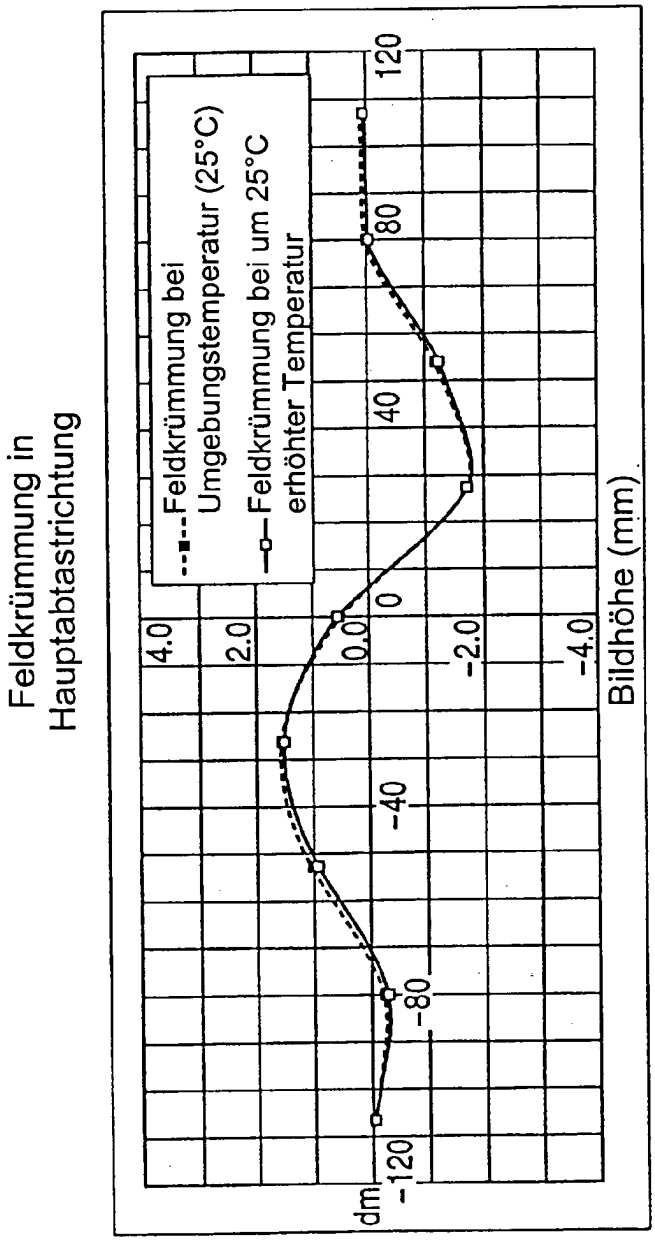

Feldkrümmung in Hauptabtastrichtung
Feldkrümmung bei Umgebungstemperatur (25°C)
Feldkrümmung bei um 25°C erhöhter Temperatur
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
dm
120
80
40
0
-40
-80
-120
Bildhöhe (mm)

FIG. 19

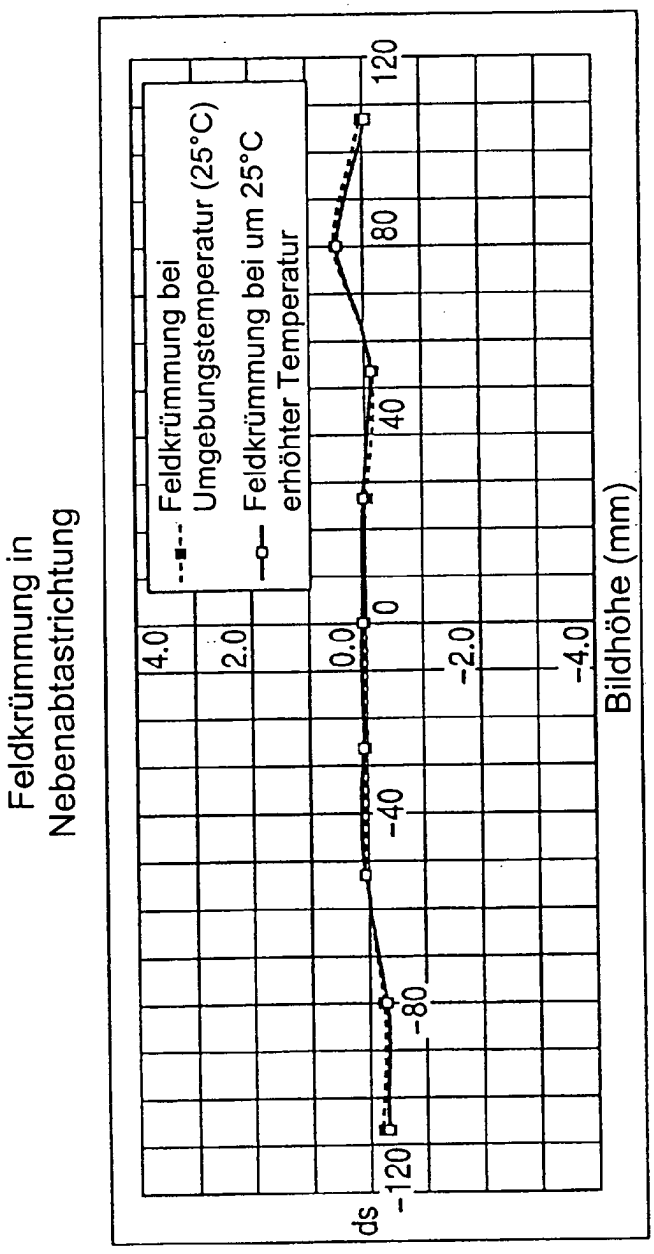

Feldkrümmung in Nebenabtastrichtung
Feldkrümmung bei Umgebungstemperatur (25°C)
Feldkrümmung bei um 25°C erhöhter Temperatur
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
ds
-120
-80
-40
0
40
80
120
Bildhöhe (mm)

FIG. 20

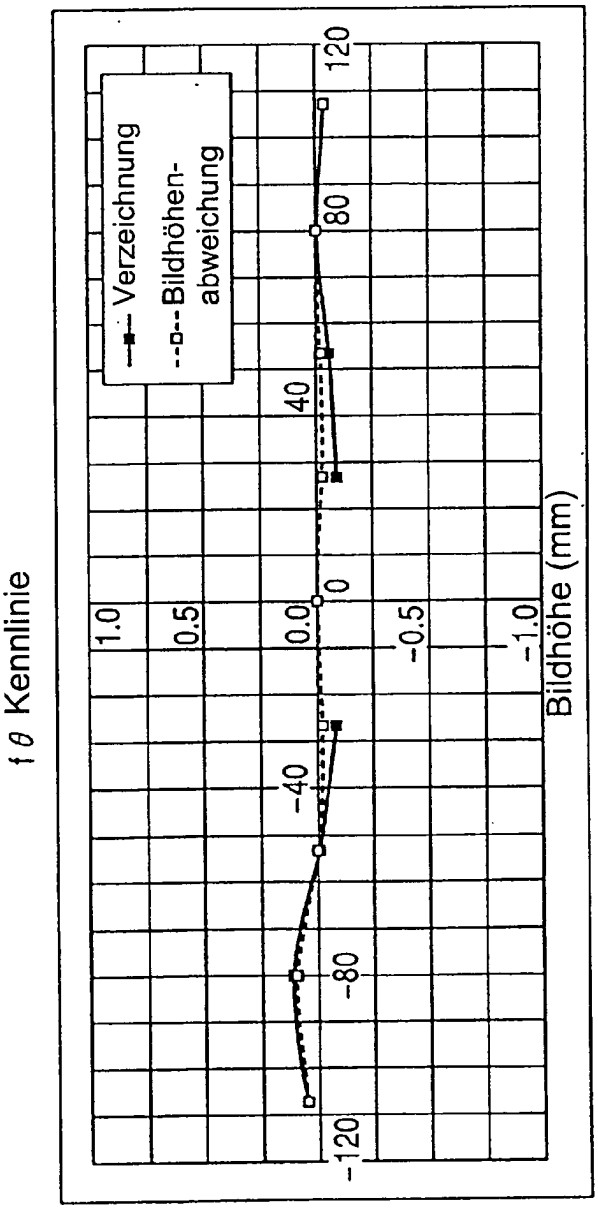

fθ Kennlinie
Verzeichnung
Bildhöhen-abweichung
Bildhöhe (mm)
120
80
40
0
-40
-80
-120
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0

FIG. 21

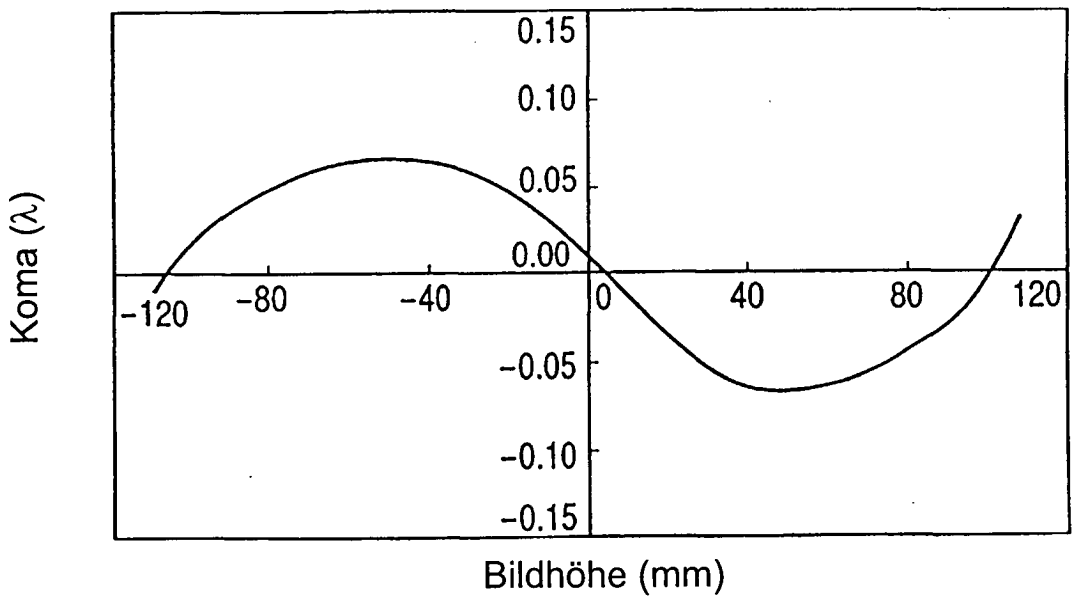

0.15
0.10
0.05
0.00
-0.05
-0.10
-0.15
-120
-80
-40
0
40
80
120
Koma (λ)
Bildhöhe (mm)

FIG. 22

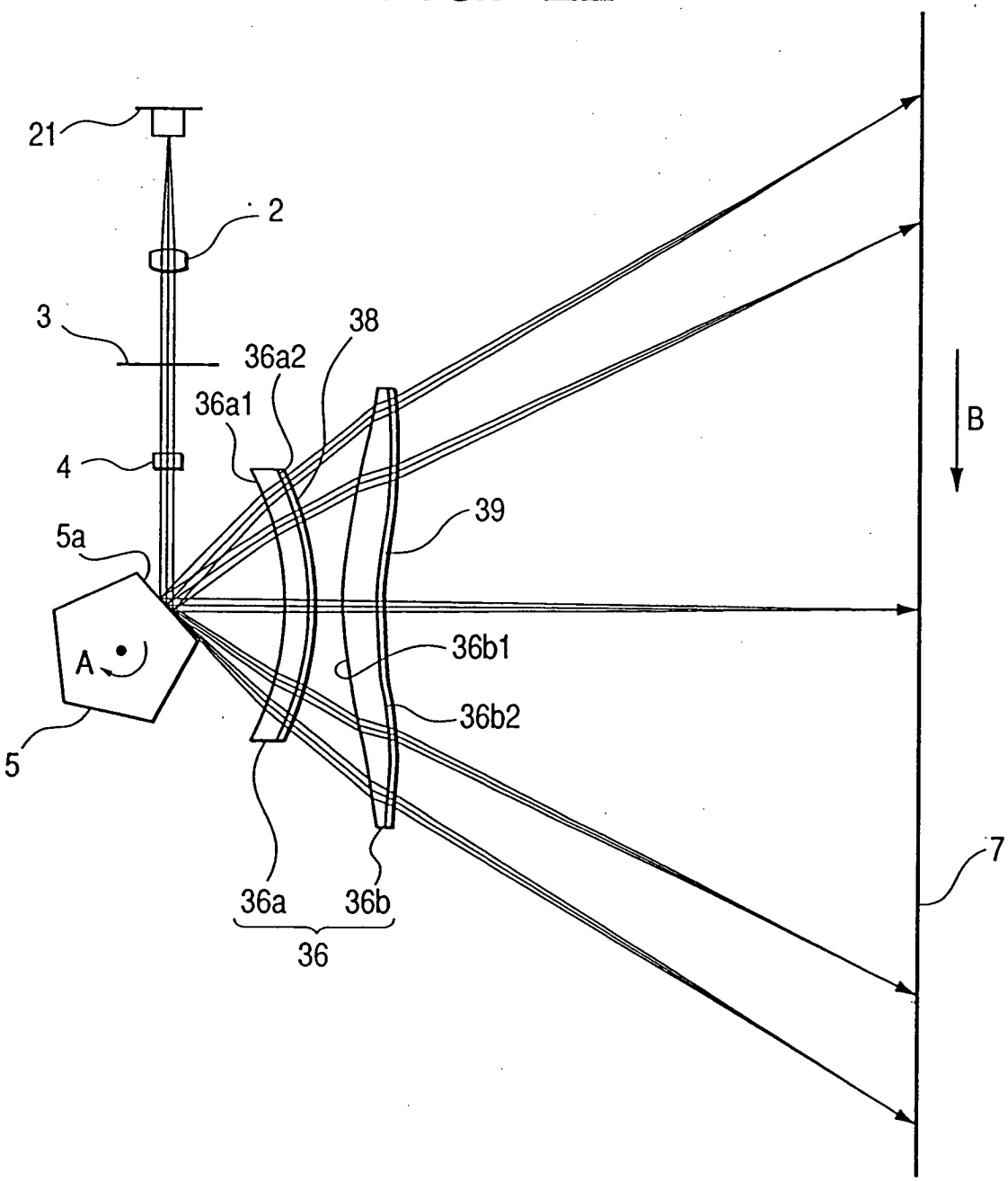


FIG. 23

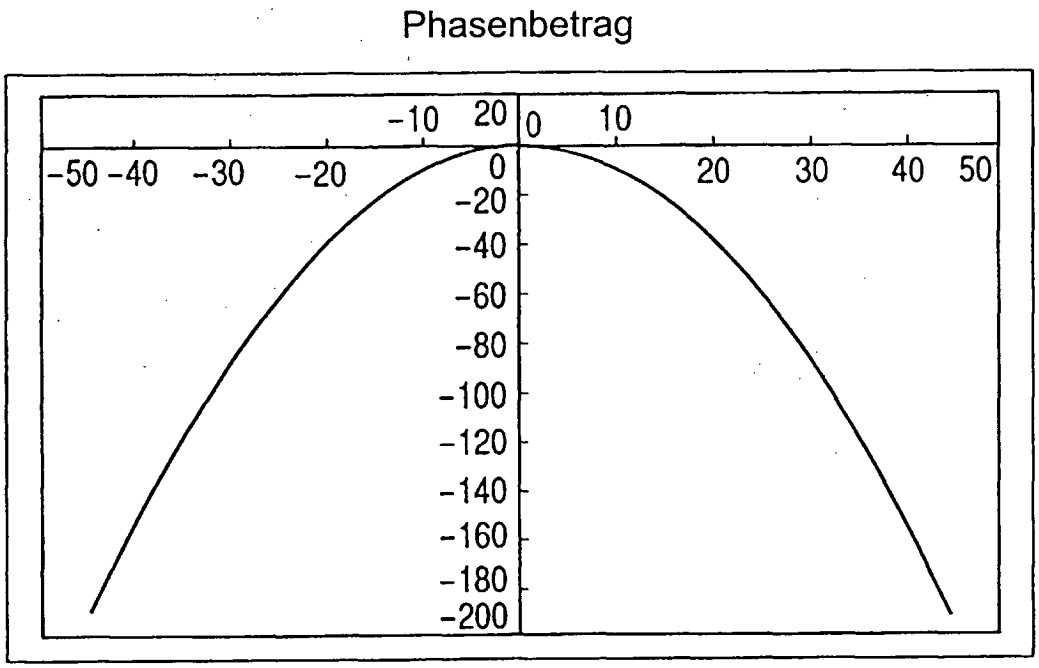

Phasenbetrag
-10
20
0
10
-50
-40
-30
-20
0
20
30
40
50
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200

FIG. 24

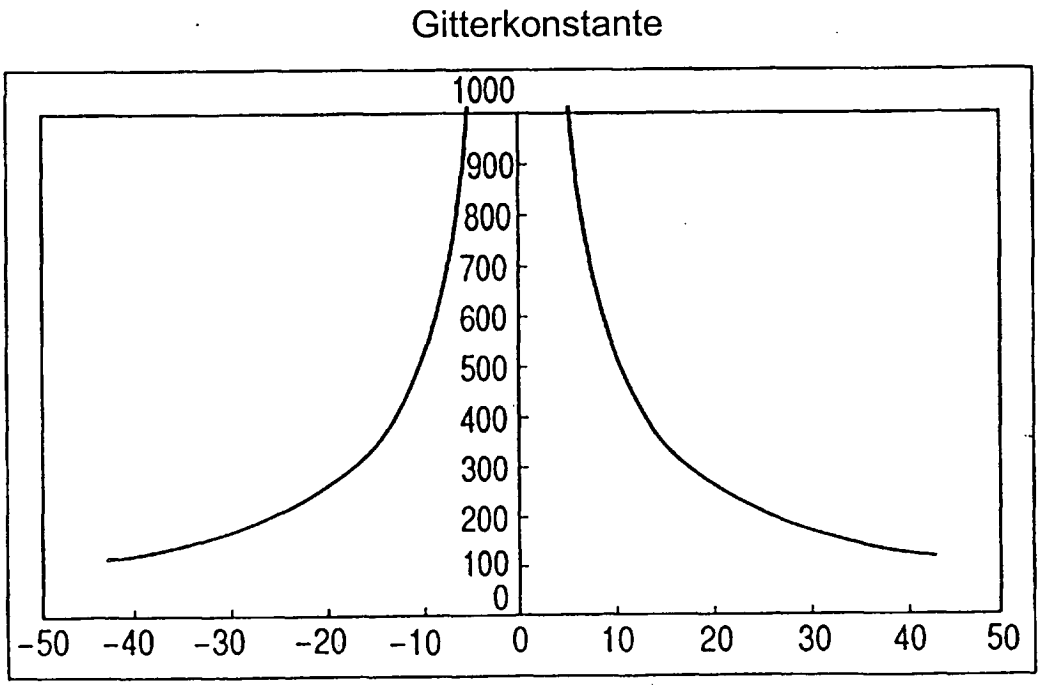

Gitterkonstante
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
-50
-40
-30
-20
-10
0
10
20
30
40
50

FIG. 25

Brechkraft in Hauptabtastrichtung
(zweite Oberfläche des zweiten optischen Elements)

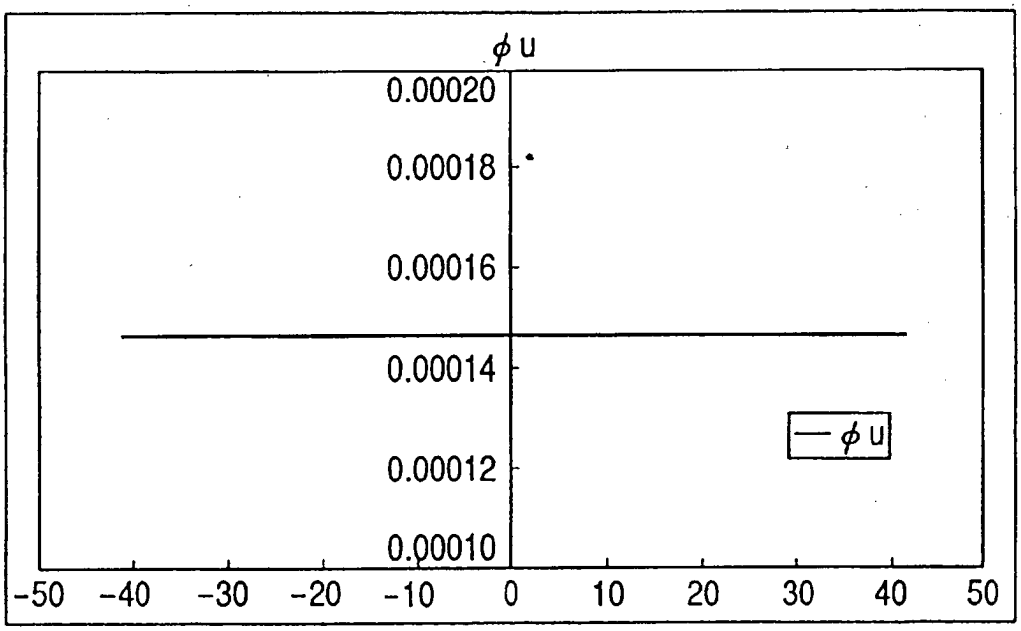


FIG. 26

Brechkraft in Nebenabtastrichtung
(zweite Oberfläche des ersten optischen Elements)

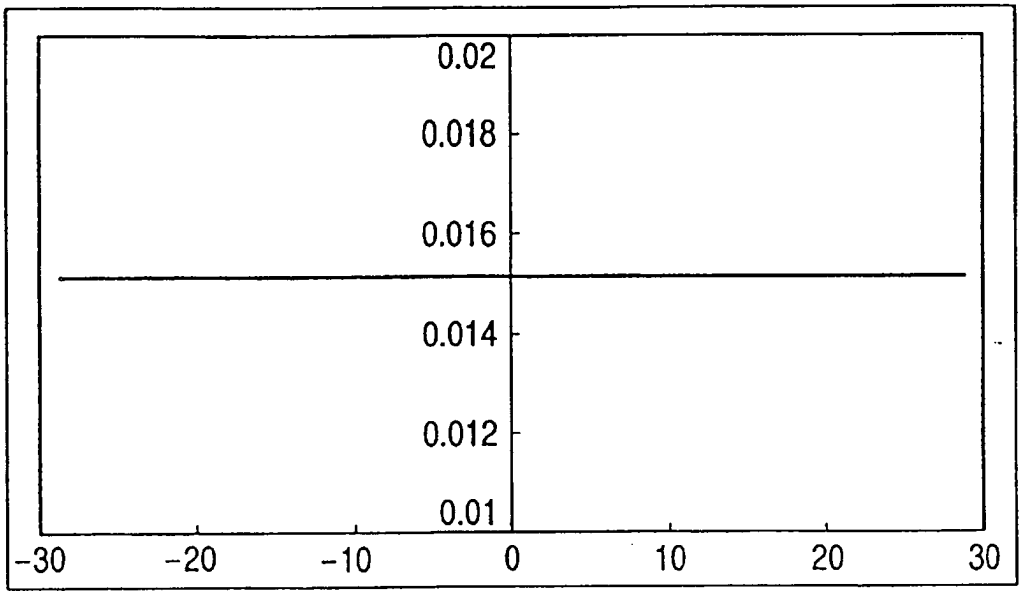


FIG. 27

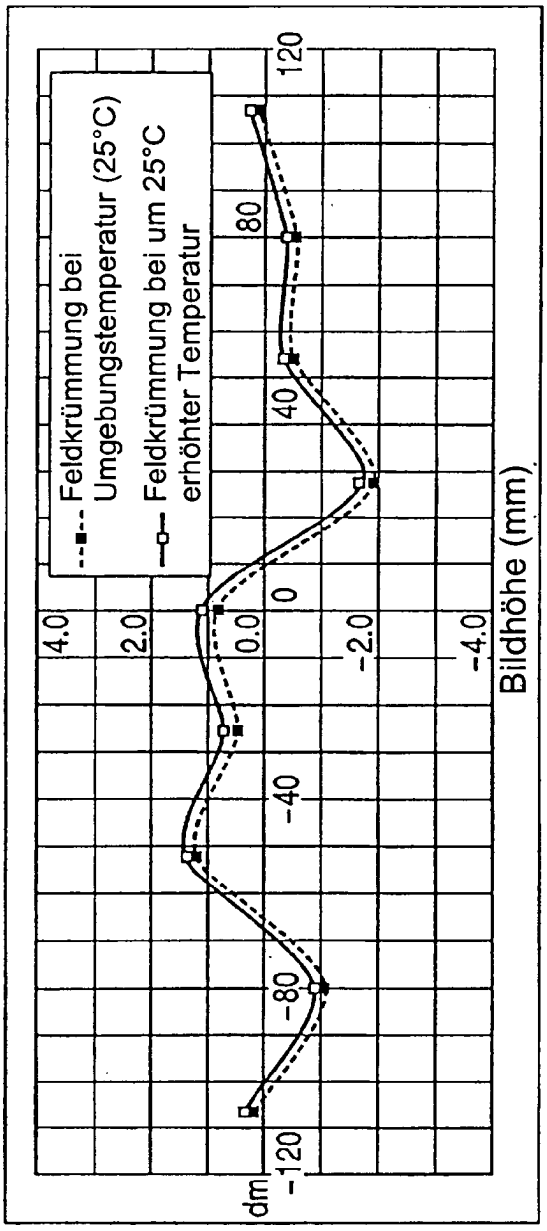

Feldkrümmung in Hauptabtastrichtung
Feldkrümmung bei Umgebungstemperatur (25°C)
Feldkrümmung bei um 25°C erhöhter Temperatur
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
120
80
40
0
-40
-80
-120
dm
Bildhöhe (mm)

FIG. 28

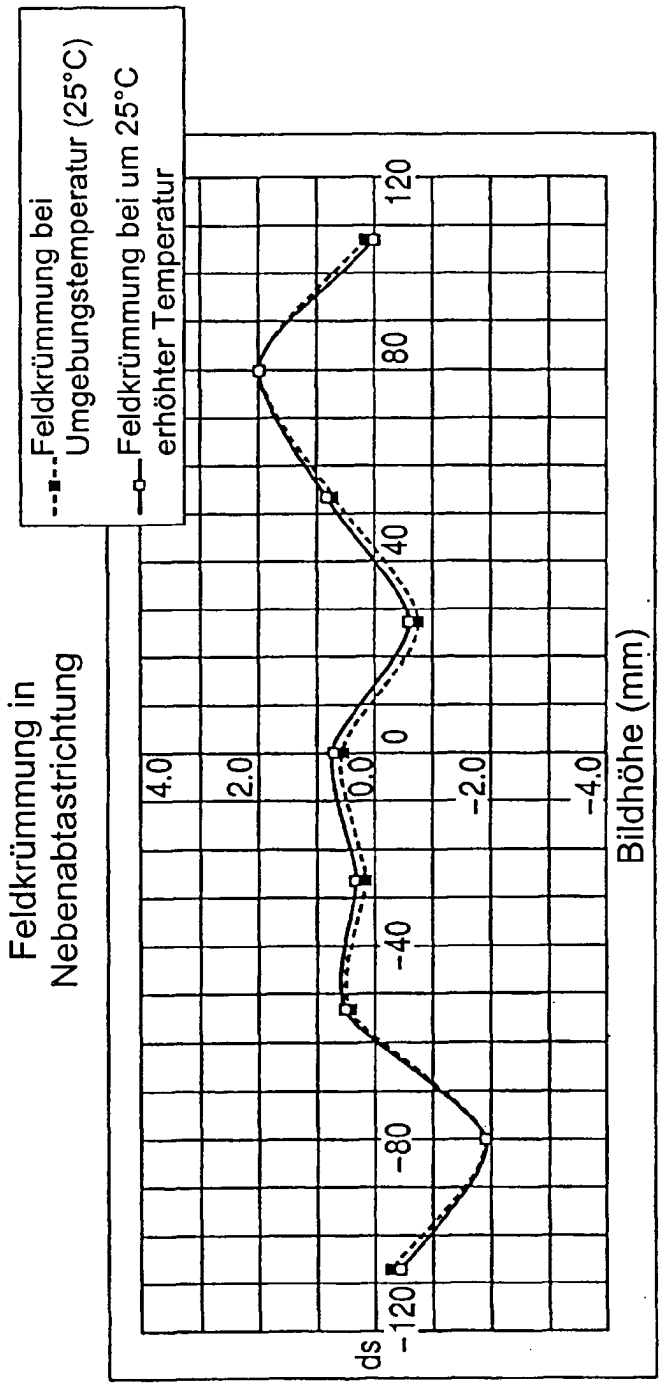

Feldkrümmung bei Umgebungstemperatur (25°C)
Feldkrümmung bei um 25°C erhöhter Temperatur
Feldkrümmung in Nebenabtastrichtung
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
ds
120
80
40
0
-40
-80
-120
Bildhöhe (mm)

FIG. 29

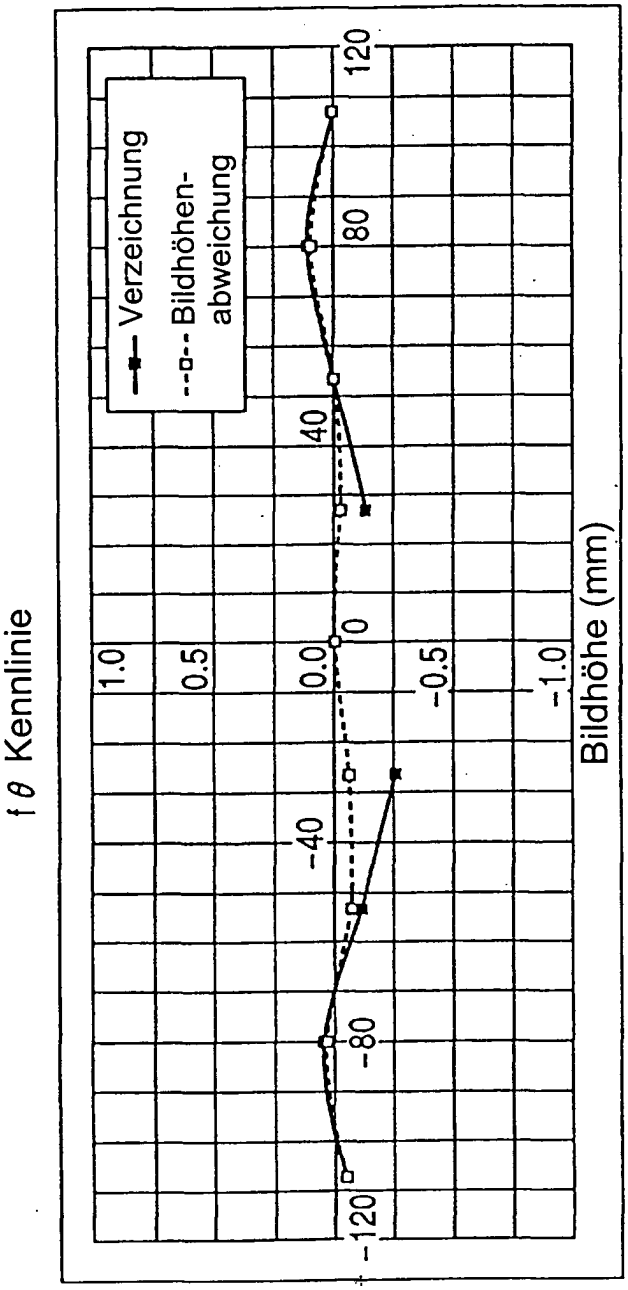

fθ Kennlinie
Verzeichnung
Bildhöhen-abweichung
120
80
40
0
-40
-80
-120
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
Bildhöhe (mm)

FIG. 30

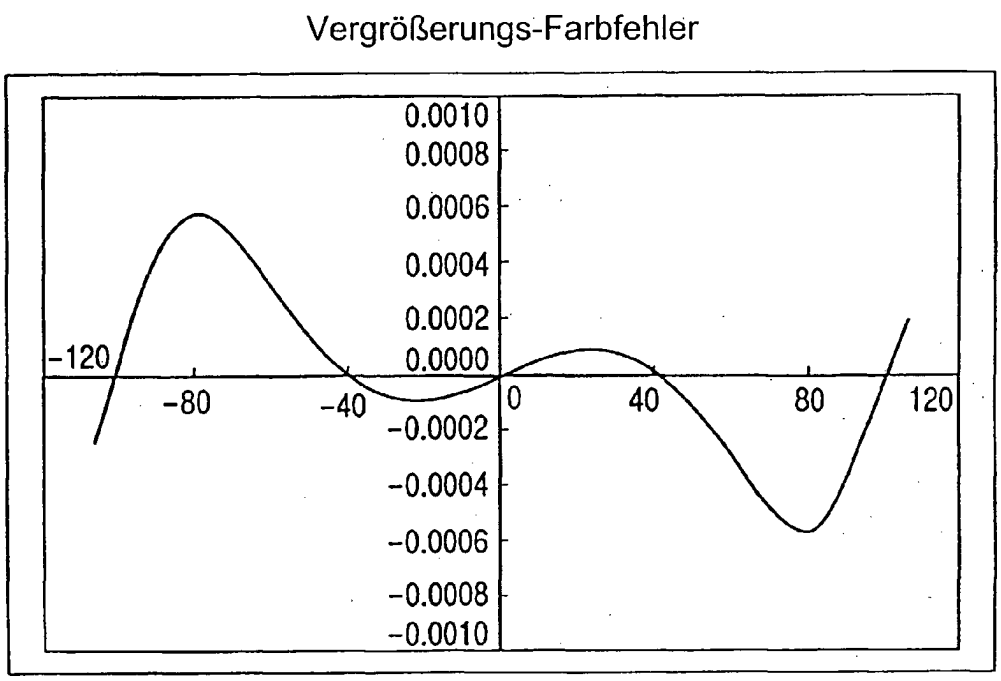
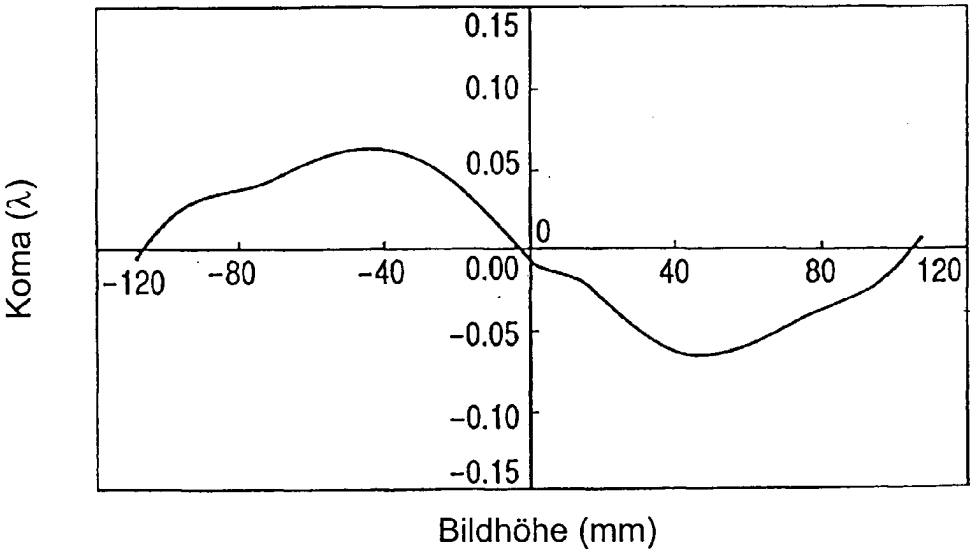

Vergrößerungs-Farbfehler
0.0010
0.0008
0.0006
0.0004
0.0002
0.0000
-0.0002
-0.0004
-0.0006
-0.0008
-0.0010
-120
-80
-40
0
40
80
120

FIG. 31


Koma (λ)
0.15
0.10
0.05
0
-0.05
-0.10
-0.15
-120
-80
-40
0.00
40
80
120
Bildhöhe (mm)