



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 29 665 T2 2008.04.17**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 237 308 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 29 665.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 120 725.5**

(96) Europäischer Anmeldetag: **05.09.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.09.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **01.08.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.04.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H04B 10/18 (2006.01)**  
**G02B 6/34 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**2001058947 02.03.2001 JP**

(73) Patentinhaber:  
**Fujitsu Ltd., Kawasaki, Kanagawa, JP**

(74) Vertreter:  
**HOFFMANN & EITLE, 81925 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:  
**Mitamura, Nobuaki, Kita-ku, Sapporo-shi,  
Hokkaido 060-0807, JP; Kawahata, Yuichi,  
Kawasaki-shi, Kanagawa 211-8588, JP**

(54) Bezeichnung: **Apparat zur Verstellung der Wellenlängendispersion und deren Steigung**

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 vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum Vorsehen von Wellenlängendispersion zum Kompensieren der Wellenlängendispersion, die in einem Optikkfaserübertragungsnetz akkumuliert ist.

Beschreibung des Standes der Technik

**[0002]** In dem herkömmlichen Faseroptik-Kommunikationssystem zum Übertragen von Information durch ein optisches System überträgt ein Sender einen Impuls zu einem Empfänger durch eine optische Faser. Die Wellenlängendispersion einer optischen Faser verschlechtert jedoch die Qualität eines Signals eines Systems.

**[0003]** Um genauer zu sein, hängt als ein Ergebnis von Wellenlängendispersion die Übertragungsgeschwindigkeit eines Signals einer optischen Faser von der Wellenlänge des Signals ab. Falls z.B. ein Impuls mit einer langen Wellenlänge (z.B. der Impuls der Wellenlänge, die einen Impuls roter Farbe anzeigt) bei einer höheren Geschwindigkeit als ein Impuls mit einer kurzen Wellenlänge (z.B. der Impuls der Wellenlänge, die einen Impuls blauer Farbe anzeigt) übertragen wird, ist das normale Dispersion. Falls andererseits ein Impuls mit einer kurzen Wellenlänge (z.B. der Impuls der Wellenlänge, die einen Impuls blauer Farbe anzeigt) bei einer höheren Geschwindigkeit als ein Impuls mit einer langen Wellenlänge (z.B. der Impuls der Wellenlänge, die einen Impuls roter Farbe anzeigt) übertragen wird, dann ist es anomale Dispersion.

**[0004]** Wenn ein Impuls rote und blaue Impulse enthält und von einem Sender übertragen wird, wird der Impuls, wenn er durch eine optische Faser übertragen wird, in einen roten Impuls und einen blauen Impuls geteilt, die durch einen Fotodetektor in unterschiedlichen Zeitpunkten empfangen werden. Falls ein roter Impuls bei einer höheren Geschwindigkeit als ein blauer Impuls übertragen wird, ist es normale Dispersion.

**[0005]** Falls es kontinuierliche Wellenlängenkomponenten von blau zu rot als ein anderes Beispiel von Impulsübertragung gibt, wird ein Impuls in einer optischen Faser erweitert und durch Wellenlängendispersion verzerrt, da eine rote Komponente und eine blaue Komponente in unterschiedlichen Geschwindigkeiten übertragen werden. Da alle Impulse eine endliche Wellenlängenerweiterung enthalten, tritt derartige Wellenlängendispersion in dem Faseroptik-Kommunikationssystem häufig auf.

**[0006]** Deshalb ist das für das Faseroptik-Kommunikationssystem notwendig, Wellenlängendispersion zu kompensieren, um eine höhere Übertragungskapazität zu erhalten.

**[0007]** Um die Wellenlängendispersion zu kompensieren, erfordert das Faseroptik-Kommunikationssystem eine Umkehrdispersionseinrichtung. Normalerweise sieht eine Umkehrdispersionseinrichtung Umkehrdispersion für einen Impuls vor, um die Dispersion aufzuheben, die durch Übertragung durch eine optische Faser generiert wird.

**[0008]** Es gibt mehrere Einrichtungen, die als eine Umkehrdispersionseinrichtung verwendet werden können. Z.B. hat eine Dispersionskompensationsfaser ein spezifisches eingeteiltes Indexprofil, wobei sie dadurch als eine Umkehrdispersionseinrichtung funktioniert und die Umkehrdispersion zum Aufheben der Dispersion vorsieht, die durch die optische Faser generiert wird. Die Dispersionskompensationsfaser ist jedoch in den Produktionskosten aufwändig, und muss ausreichend lang sein, um die Wellenlängendispersion erfolgreich zu kompensieren. Wenn z.B. eine optische Faser 100km lang ist, ist die Dispersionskompensationsfaser ungefähr 20 bis 30km. Deshalb gibt es ein Problem von großem Verlust und Größe.

**[0009]** [Fig. 1](#) zeigt das Chirpfasergitter, das als eine Umkehrdispersionseinrichtung verwendet wird, um die chromatische Dispersion zu kompensieren.

**[0010]** Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, wird ein Strahl durch eine optische Faser übertragen, in der Wellenlänge dispergiert und dann für einen Eingangsport **48** eines optischen Zirkulators **50** bereitgestellt. Der optische Zirkulator **50** stellt den Strahl für ein Chirpfasergitter **52** bereit. Das Chirpfasergitter **52** gibt den Strahl zu dem optischen Zirkulator **50** derart zurück, dass die unterschiedlichen Wellenlängenkomponenten durch das Kanalfasergitter in unterschiedlichen Abständen reflektiert werden können, unterschiedliche Wellenlängenkomponenten unterschiedliche Abstände zurücklegen können und die Wellenlängendispersion kompensiert werden kann. Z.B. kann das Chirpfasergitter **52** derart gestaltet sein, dass eine lange Wellenlängenkomponente in einem langen Abstand reflektiert werden kann, und einen längeren Abstand als eine kurze Wellenlänge zurücklegt. Dann stellt der optische Zirkulator **50** den reflektierten Strahl einem Ausgangsport **54** von dem Chirpfasergitter **52** bereit. Deshalb kann das Chirpfasergitter **52** einem Impuls Umkehrdispersion hinzufügen.

**[0011]** Das Chirpfasergitter **52** hat jedoch ein sehr schmales Band für einen reflektierten Impuls. Deshalb kann ein ausreichendes Wellenlängenband nicht erhalten werden, um den Strahl zu kompensieren, der eine Zahl von Wellenlängen enthält, wie etwa

ein Wellenlängenmultiplexlicht. Es kann eine Zahl von Chirpfasergittern für ein Wellenlängenmultiplexsignal kaskadiert werden. Das resultierende System wird jedoch teuer. Das Chirpfasergitter, das durch Einbeziehung eines Zirkulators erhalten wird, ist für ein Einzelwellenlängen-Faseroptik-Kommunikationssystem etc. geeignet.

[0012] [Fig. 2](#) und 3 zeigen das herkömmliche Beugungsgitter, das verwendet wird, um Wellenlängendispersion zu generieren.

[0013] Wie in [Fig. 2](#) gezeigt, hat ein Beugungsgitter **56** eine Gitteroberfläche **58**. Parallele Strahlen **60** mit unterschiedlichen Wellenlängen werden in die Gitteroberfläche **58** eingegeben. Die Strahlen werden durch jede Stufe der Gitteroberfläche **58** reflektiert, und interferieren miteinander. Als ein Ergebnis werden Strahlen **62**, **64** und **66** mit unterschiedlichen Wellenlängen in unterschiedlichen Winkeln von dem Beugungsgitter **56** ausgegeben. Das Beugungsgitter kann in dem räumlichen Gitterpaarfeld verwendet werden, das später beschrieben wird, um die Wellenlängendispersion zu kompensieren.

[0014] [Fig. 3A](#) zeigt ein räumliches Gitterpaarfeld, das als eine Umkehrdispersionseinrichtung verwendet wird, um Wellenlängendispersion zu kompensieren.

[0015] Wie in [Fig. 3A](#) gezeigt, wird ein Strahl **67** von einem ersten Beugungsgitter **68** gebeugt, und wird ein Strahl **69** für eine kurze Wellenlänge und ein Strahl **70** für eine lange Wellenlänge. Diese Strahlen **67** und **70** werden durch ein zweites Beugungsgitter **71** gebeugt, und bewegen sich in der gleichen Richtung. Wie in [Fig. 3A](#) gezeigt, legen die Wellenlängenkomponten mit unterschiedlichen Wellenlängen unterschiedliche Abstände zurück, wobei dadurch die Wellenlängendispersion kompensiert wird. Eine lange Wellenlänge (wie etwa der Strahl **70** etc.) legt einen längeren Abstand als eine kurze Wellenlänge zurück. Deshalb zeigt das räumliche Gitterpaarfeld, das in [Fig. 3A](#) gezeigt wird, anomale Dispersion an.

[0016] [Fig. 3B](#) zeigt ein anderes räumliches Gitterpaarfeld, das als eine Umkehrdispersionseinrichtung verwendet wird, um chromatische Dispersion zu kompensieren.

[0017] Wie in [Fig. 3B](#) gezeigt, sind Linsen **72** und **74** zwischen den ersten und zweiten Beugungsgittern **68** und **71** positioniert. Eine lange Wellenlänge (wie etwa der Strahl **70**) legt einen kürzeren Abstand zurück als eine kurze Wellenlänge (wie etwa der Strahl **69**). Deshalb zeigt das räumliche Gitterpaarfeld, das in [Fig. 3B](#) gezeigt wird, normale Dispersion an.

[0018] Das räumliche Gitterpaarfeld, wie in [Fig. 3A](#)

und [Fig. 3B](#) gezeigt, wird normalerweise verwendet, um die Dispersion unter Verwendung eines Laserresonators zu steuern. Ein tatsächliches räumliches Gitterpaarfeld kann jedoch nicht ausreichende Dispersion bereitstellen, um einen relativ großen Betrag chromatischer Dispersion zu kompensieren, die durch das Faseroptik-Kommunikationssystem generiert wird. Um genauer zu sein, ist die Winkeldispersion, die durch ein Beugungsgitter generiert wird, normalerweise sehr klein, d.h. ungefähr  $0,05^\circ/\text{nm}$ . Um die Wellenlängendispersion zu kompensieren, die in dem Faseroptik-Kommunikationssystem generiert wird, müssen deshalb das erste und zweite Beugungsgitter **68** und **71** weit voneinander getrennt sein. Entsprechend ist ein derartiges räumliches Gitterpaarfeld überhaupt nicht praktisch.

[0019] [Fig. 4](#) zeigt die herkömmliche Technologie einer Umkehrdispersionseinrichtung, die ein VIPA verwendet.

[0020] In der oben erwähnten herkömmlichen Technologie, in den Patentanmeldungen Nr. 10-534450 und 11-513133, wird das "Virtually Imaged Phased Array", wie in [Fig. 4](#) gezeigt, d.h. die Einrichtung, die den Abschnitt enthält, der als VIPA bezeichnet wird, als eine Umkehrdispersionseinrichtung vorgeschlagen. Das VIPA überträgt von dem VIPA die Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen, die räumlich unterschieden sind. Diese Einrichtung enthält eine optische Rückgabereinrichtung **2** zum Generieren vielfacher Reflexion in dem VIPA.

[0021] Die oben erwähnte Einrichtung kann realisiert werden, indem sie eine Einrichtung enthält, die das VIPA **1** zum Empfangen des eingegebenen Strahls einer Wellenlänge in dem Bereich kontinuierlicher Wellenlängen enthält, und einen entsprechenden ausgegebenen Strahl kontinuierlich generiert. Der ausgegebene Strahl kann von dem ausgegebenen Strahl einer unterschiedlichen Wellenlänge in dem Bereich der kontinuierlichen Wellenlängen räumlich unterschieden sein (z.B. Bewegung in unterschiedlichen Richtungen). Falls der ausgegebene Strahl in einem Vorwärtswinkel unterschieden werden kann, erweist sich, dass die Einrichtung Winkeldispersion bereitstellt.

[0022] Des weiteren wird die oben erwähnte Einrichtung realisiert, indem sie das VIPA **1** und die optische Rückgabereinrichtung **2** enthält. Das VIPA enthält einen Übertragungsbereich und ein transparentes Element. Durch Bewegung durch den Übertragungsbereich kann ein Strahl eingegeben werden von und ausgegeben werden zu dem VIPA **1**. Ein transparentes Element **3** hat die ersten und zweiten Oberflächen. Die zweite Oberfläche ist reflektierend, und gibt einen Teil eines eingegebenen Strahls weiter. Der eingegebene Strahl passiert den Übertragungsbereich. Dann wird er durch das VIPA **1** emp-

fangen, und wird viele Male zwischen den ersten und zweiten Oberflächen des transparenten Elementes reflektiert. Eine Vielzahl der übertragenen Strahlen interferieren miteinander, und es wird ein ausgegebener Strahl **4** generiert. Der eingegebene Strahl hat eine Wellenlänge in dem Bereich kontinuierlicher Wellenlängen, und der ausgegebene Strahl kann von dem Strahl einer anderen Wellenlänge in dem Bereich der kontinuierlichen Wellenlängen räumlich unterschieden sein. Die optische Rückabeeinrichtung **2** kann den ausgegebenen Strahl in der vollständig entgegengesetzten Richtung zu der zweiten Oberfläche zurückgeben, ihn durch die zweite Oberfläche weitergeben und ihn in das VIPA **1** eingegeben. Der ausgegebene Strahl wird in dem VIPA **1** vielfach reflektiert, und zu einem Eingangspfad durch den Übertragungsbereich des VIPA **1** ausgegeben.

**[0023]** Des weiteren kann die oben erwähnte Einrichtung realisiert werden, indem sie eine Einrichtung umfasst, die ein VIPA zum Generieren einer Vielzahl von ausgegebenen Strahlen mit den gleichen Wellenlängen wie der eingegebene Strahl und mit unterschiedlichen Interferenzordnungen enthält. Die Einrichtung enthält auch eine optische Rückabeeinrichtung zum Rückgeben eines ausgegebenen Strahls in einer Interferenzordnung zu dem VIPA, und Nicht-Rückgeben anderer ausgegebener Strahlen. Somit wird nur der Strahl entsprechend einer Interferenzordnung zu dem VIPA zurückgegeben.

**[0024]** Außerdem kann die oben erwähnte Einrichtung realisiert werden, indem sie ein VIPA, eine optische Rückabeeinrichtung und eine Linse **5** enthält. Das VIPA empfängt einen eingegebenen Strahl, und generiert einen entsprechenden ausgegebenen Strahl, der von dem VIPA übertragen wird. Die optische Rückabeeinrichtung empfängt den ausgegebenen Strahl von dem VIPA, und gibt ihn zu dem VIPA zurück. Die Linse ist derart positioniert, dass: (a) der ausgegebene Strahl von der optischen Rückabeeinrichtung zu dem VIPA durch Passieren durch die Linse von dem VIPA und Sammeln in der optischen Rückabeeinrichtung durch die Linse zurückgegeben werden kann; (b) der ausgegebene Strahl von der optischen Rückabeeinrichtung zu dem VIPA zurückgegeben werden kann, indem er von der optischen Rückabeeinrichtung zu der Linse, und dann zu dem VIPA durch die Linse gerichtet wird; und (c) sich der ausgegebene Strahl von dem VIPA zu der Linse parallel zu und in der entgegengesetzten Richtung des ausgegebenen Strahls bewegen kann, der von der Linse zu dem VIPA zurückgegeben wird. Des weiteren überlappt sich der ausgegebene Strahl von dem VIPA zu der Linse nicht mit dem ausgegebenen Strahl, der von der Linse zu dem VIPA zurückgegeben wird.

**[0025]** Des weiteren kann die oben erwähnte Einrichtung realisiert werden, indem sie die Einrichtung

mit einem VIPA, einem Spiegel **6** und einer Linse enthält. Das VIPA empfängt einen eingegebenen Strahl, und generiert einen ausgegebenen Strahl, der sich von einem entsprechenden VIPA bewegt. Die Linse sammelt den ausgegebenen Strahl in dem Spiegel, und der Spiegel reflektiert den ausgegebenen Strahl, der reflektierte Strahl wird zu dem VIPA durch die Linse zurückgegeben. Der Spiegel ist derart ausgebildet, dass die Einrichtung konstante Wellenlängendispersion durchführen kann.

**[0026]** Wie oben beschrieben, hat das VIPA die Funktion zum Durchführen von Winkeldispersion als Beugungsgitter, und kann Wellenlängendispersion kompensieren. Es ist besonders durch große Winkeldispersion gekennzeichnet, und stellt leicht eine praktische Umkehrdispersionseinrichtung bereit. Es erfordert jedoch spezifische Bedingungen einer praktischen Umkehrdispersionseinrichtung zur Verwendung in einem Wellenlängenmultiplex-Übertragungssystem.

**[0027]** [Fig. 5](#) zeigt die Wellenlängendispersion einer optischen Faser, die normalerweise zur praktischen Verwendung gebracht wird.

**[0028]** Die Wellenlängendispersion einer optischen Faser, die normalerweise zur praktischen Verwendung gebracht wird, ist nicht mit einer Wellenlänge konstant, wie in [Fig. 5](#) gezeigt, sondern hat normalerweise eine kleine positive Neigung (je größer die Wellenlänge, desto wird größer der positive Wert, den die Wellenlängendispersion anzeigt). Z.B. ist in einer üblichen Einzelmodusfaser (SMF) die Wellenlängendispersion pro 1km ungefähr +17ps/nm, während die Wellenlängendispersionsneigung 0,06 ps/nm<sup>2</sup> anzeigt. Wenn eine erforderliche Wellenlängenbandbreite z.B. 35nm ist, ändert sich die Wellenlängendispersion ungefähr +2ps/nm. Eine derartige Neigung von Wellenlängendispersion kann als eine Wellenlängendispersionsneigung oder Wellenlängendispersion zweiter Ordnung bezeichnet werden. Die Wellenlängendispersionsneigung ist nicht immer positiv (je länger die Wellenlänge ist, desto größer ist die Wellenlängendispersion), eine Wellenlängendispersionsneigung kann aber derart generiert werden, dass sie in einer Wellenlängenausdehnung negativ sein kann, die länger als die Nulldispersionswellenlänge in einer Dispersionsverschiebungsfaser ist, wobei die Nulldispersionswellenlänge zu dem Wellenlängenband von 1,5µm durch Ändern der Struktur der Faser verschoben ist.

**[0029]** Des weiteren ist die Wellenlängendispersionsgrafik, die in [Fig. 5](#) gezeigt wird, nicht tatsächlich linear, und die Neigung von Wellenlängendispersion (Wellenlängendispersionsneigung) ist nicht genau konstant, aber die Wellenlängendispersion dritter Ordnung verursacht selten Probleme bei einer Übertragungsgeschwindigkeit von ungefähr 40 Gb/s, und

kann ignoriert werden.

**[0030]** Bei Betrachtung der tatsächlichen Wellenlängendispersion der Übertragungsleitung einer optischen Faser hängen die Wellenlängendispersion und eine Wellenlängendispersionsneigung pro Einheitslänge von dem Typ der optischen Faser ab, wie in [Fig. 5](#) gezeigt, und die tatsächliche Wellenlängendispersion und Wellenlängendispersionsneigung hängen von der Länge (Übertragungsabstand) einer optischen Faser ab. Falls die Wellenlängendispersion der tatsächlichen Optikfaser-Übertragungsleitung durch eine Umkehrdispersionseinrichtung kompensiert wird, wird gewünscht, dass eine Wellenlängendispersion etwas variabel sein kann, da der Typ und der Übertragungsabstand einer optischen Faser stark von der Periode abhängen, in der die optische Faser installiert ist, und der Situation des Standorts der installierten optischen Faser.

**[0031]** In der Wellenlängenmultiplexübertragung ist nur die Kompensation der Wellenlängendispersion nicht ausreichend, sondern eine Wellenlängendispersionsneigung wird ein Problem. Obwohl die Dispersion für die Wellenlänge eines Signalkanals kompensiert werden kann, kann die Wellenlängendispersion mit unterschiedlichen Wellenlängen von Signalkanälen nicht vollständig kompensiert werden, falls die Wellenlängendispersion einer Umkehrdispersionskomponente konstant ist. Deshalb wird gewünscht, dass die Umkehrdispersionseinrichtung für die Wellenlängenmultiplexübertragung eine Wellenlängendispersionsneigung hat. Da es verschiedene Übertragungsabstände gibt, wie oben beschrieben, ändert sich des weiteren die Wellenlängendispersionsneigung in Proportion zu der Länge mit der Wellenlängendispersion, wird auch gewünscht, dass die Wellenlängendispersionsneigung etwas variabel ist. Der Wert einer Wellenlängendispersionsneigung, die bereitzustellen ist, hängt des weiteren nicht einfach von dem Wert der Wellenlängendispersion ab, da, falls sich der Typ einer optischen Faser ändert, sich nicht nur die Wellenlängendispersion, sondern auch die Wellenlängendispersionsneigung ändert, wie in [Fig. 5](#) klar gezeigt wird. D.h. in der Wellenlängenmultiplexübertragung ist es äußerst wünschenswert, dass die Wellenlängendispersion und die Wellenlängendispersionsneigung unabhängig variabel sein können, wenn die Wellenlängendispersion einer Optikfaser-Übertragungsleitung durch eine Umkehrdispersionseinrichtung kompensiert wird.

**[0032]** Das Verfahren, damit die Wellenlängendispersion und die Wellenlängendispersionsneigung unabhängig variieren, wird durch die oben erwähnten Patentanmeldungen Nr. 10-534450 und 11-513133 nicht klar beschrieben. Des weiteren wird es nicht durch die herkömmlichen Umkehrdispersionseinrichtungen realisiert.

**[0033]** Zuerst kann bei einer Dispersionskompensationsfaser ein Indexprofil, das eine Umkehrdispersionsneigung enthält, gestaltet werden. Eine Änderung ihres Wertes erfordert jedoch verschiedene Indexprofile und Längen, und ist keine praktische Operation. Wie oben beschrieben, gibt es außerdem das Problem, dass das Verfahren teuer ist, einen großen Verlust und eine große Größe hat.

**[0034]** Des weiteren erfordert das Chirpfasergitter auch verschiedene Indexprofile und Längen, obwohl es eine Umkehrdispersionseinrichtung durch Optimieren des Designs des Chirpens des Chirpfasergitters vorsehen kann. Deshalb ist es auch kein praktisches Verfahren. Und obwohl sich die Wellenlängendispersion und die Wellenlängendispersionsneigung durch Änderung der Temperatur ändern, hängt der Wert der Wellenlängendispersionsneigung einfach von dem Wert der Wellenlängendispersion ab. Als ein Ergebnis können die Wellenlängendispersion und die Wellenlängendispersionsneigung nicht unabhängig variiert werden. Außerdem kann ein ausreichendes Wellenlängenband, um den Strahl zu kompensieren, der eine große Zahl von Wellenlängen enthält, wie etwa einen Wellenlängenmultiplexstrahl, nicht erhalten werden.

**[0035]** In dem herkömmlichen Beugungsgitter ist es möglich, die Wellenlängendispersion und die Wellenlängendispersionsneigung zu einem gewissen Ausmaß durch geeignetes Anordnen des Beugungsgitters unabhängig zu variieren. Wie oben beschrieben, kann jedoch ausreichend große Dispersion nicht realisiert werden, um einen relativ großen Betrag chromatischer Dispersion zu kompensieren, die in dem Optikfaser-Kommunikationssystem in einer praktischen Größe generiert wird. Deshalb kann ein praktisches Verfahren nicht realisiert werden.

**[0036]** WO-A-01/50177 wurde am 13. Dezember 2000 eingereicht, wobei Prioritätsdaten vom 15. Dezember 1999, 23. Mai 2000 und 4. Dezember 2000 beansprucht werden, und wurde am 12. Juli 2001 veröffentlicht. Sie offenbart einen VIPA-Generator, der ein Licht erzeugt, das sich von dem VIPA-Generator bewegt, und einen Spiegel, der das Licht zurück zu dem Generator reflektiert. In einigen Ausführungsformen wird eine Winkeldispersionskomponente, wie etwa ein Beugungsgitter vom Übertragungstyp, ein Beugungsgitter vom Reflexionstyp oder ein holografisches Gitter, zwischen dem VIPA und dem Spiegel positioniert.

**[0037]** WO-A-99/09448 offenbart eine Vorrichtung, die "entgegengesetzte Dispersion" zu Licht hinzufügt, um chromatische Dispersion des Lichts zu kompensieren, die durch seine Bewegung durch eine optische Faser verursacht wird. Die Vorrichtung enthält ein Virtually Imaged Phased Array (VIPA), und eine Lichtrückgabereinrichtung. Das VIPA stellt dem Licht

Winkeldispersion bereit, und die Lichtrückgabeeinrichtung gibt das Licht zurück zu dem VIPA, um es vielfachen Reflexionen innerhalb des VIPA zu unterziehen. Die Lichtrückgabeeinrichtung ist typischerweise ein Spiegel. In diesem Fall kann der Spiegel so geformt sein, dass die Vorrichtung dem Licht eine konstante Dispersion hinzufügt. Außerdem kann eine Linse so positioniert sein, dass (a) sich das Licht von dem VIPA zu der Linse bewegt und durch die Linse zu der Lichtrückgabeeinrichtung fokussiert wird, (b) das Licht von der Lichtrückgabeeinrichtung zu der Linse zurückkehrt und dann, wobei es durch die Linse gelenkt wird, parallel mit dem zurückgegebenen Licht ist, das sich von der Linse zu dem VIPA bewegt.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0038]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine Vorrichtung zum Bereitstellen von Wellenlängendispersion zu unterschiedlichen Wellenlängen von Licht in einem Strahl vorgesehen, der viele Wellenlängen umfasst, wie in Anspruch 1 dargelegt.

**[0039]** Optionale Merkmale werden in den anderen Ansprüchen dargelegt.

**[0040]** Eine Ausführungsform der Erfindung sieht vor eine Vorrichtung zum Generieren beliebiger Wellenlängendispersion und Wellenlängendispersionsneigung, und gleichzeitigen Durchführen von Dispersionskompensation in einem Vielfachwellenlängenbereich von vielen Kanälen in der Wellenlängendispersion und Wellenlängendispersionsneigung, die in einer optischen Faser praktisch akkumuliert wird.

**[0041]** Gemäß einer Ausführungsform können Wellenlängendispersion und eine Wellenlängendispersionsneigung unabhängig gesteuert werden, und können für ein optisches Signal bereitgestellt werden. Deshalb kann ein effektiver Wellenlängendispersionskompensator bereitgestellt werden, wenn optische Kommunikationen hoher Geschwindigkeit unter Verwendung einer optischen Faser realisiert werden.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0042]** [Fig. 1](#) zeigt das Chirpgitter zur Verwendung als eine Gegendispersionseinheit zum Kompensieren chromatischer Dispersion;

**[0043]** [Fig. 2](#) zeigt das herkömmliche Beugungsgitter;

**[0044]** [Fig. 3A](#) zeigt ein räumliches Gitterpaarfeld, das anomale Dispersion generiert;

**[0045]** [Fig. 3B](#) zeigt ein räumliches Gitterpaarfeld, das normale Dispersion generiert;

**[0046]** [Fig. 4](#) zeigt die Vorrichtung zum Generieren

von Wellenlängendispersion unter Verwendung eines VIPA;

**[0047]** [Fig. 5](#) zeigt Wellenlängendispersion und eine Wellenlängendispersionsneigung abhängig von dem Typ einer Faser;

**[0048]** [Fig. 6](#) zeigt das VIPA;

**[0049]** [Fig. 7](#) zeigt detailliert das VIPA in [Fig. 6](#) gezeigte VIPA;

**[0050]** [Fig. 8](#) zeigt eine Querschnittsansicht entlang der Linie IX-IX des VIPA 1, das in [Fig. 6](#) gezeigt wird;

**[0051]** [Fig. 9](#) zeigt die Interferenz zwischen den reflektierten Strahlen durch das VIPA;

**[0052]** [Fig. 10](#) zeigt eine Querschnittsansicht entlang der Linie IX-IX des VIPA 1, das in [Fig. 6](#) gezeigt wird, um den Neigungswinkel eines eingegebenen Strahls zu bestimmen;

**[0053]** [Fig. 11A](#), [Fig. 11B](#), [Fig. 11C](#) und [Fig. 11D](#) zeigen das Verfahren zum Erzeugen des VIPA;

**[0054]** [Fig. 12](#) zeigt die Vorrichtung, die das VIPA als eine Winkeldispersionseinheit zum Generieren chromatischer Dispersion verwendet;

**[0055]** [Fig. 13](#) zeigt detailliert die Operation der in [Fig. 12](#) gezeigten Vorrichtung;

**[0056]** [Fig. 14](#) zeigt die verschiedenen Ordnungen der Interferenz des VIPA;

**[0057]** [Fig. 15](#) zeigt die chromatische Dispersion von mehreren Kanälen eines Wellenlängenmultiplexstrahls;

**[0058]** [Fig. 16A](#) und [Fig. 16B](#) sind Seitenansichten der Vorrichtung, die das VIPA verwendet, um einen Strahl zu dispergieren;

**[0059]** [Fig. 17](#) zeigt den Winkel eines ausgegebenen Lichtstroms des VIPA für die Wellenlänge des Lichtstroms;

**[0060]** [Fig. 18](#) zeigt Winkeldispersion des VIPA für die Wellenlänge des Lichtstroms;

**[0061]** [Fig. 19](#) zeigt die Effekte verschiedener Spiegeltypen der Vorrichtung, die das VIPA verwendet;

**[0062]** [Fig. 20](#) zeigt die chromatische Dispersion für eine Wellenlänge der Vorrichtung, die das VIPA verwendet, für jeden von verschiedenen Spiegeltypen;

**[0063]** [Fig. 21](#) zeigt den Effekt des Spiegels der Vorrichtung, die das VIPA 1 verwendet;

[0064] [Fig. 22](#) zeigt konstante chromatische Dispersion der Vorrichtung, die das VIPA 1 verwendet;

[0065] [Fig. 23](#) ist eine Schnittansicht eines Spiegels für die Vorrichtung, die das VIPA 1 verwendet;

[0066] [Fig. 24](#) zeigt die dreidimensionale Form eines Spiegels der Vorrichtung, die das VIPA 1 verwendet;

[0067] [Fig. 25](#) ist eine Schnittansicht des Spiegels in der Vorrichtung, die das VIPA 1 verwendet;

[0068] [Fig. 26](#) zeigt die Konfiguration, die das Prinzip zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung zeigt;

[0069] [Fig. 27A](#) ist eine Seitenansicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0070] [Fig. 27B](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0071] [Fig. 28A](#) und [Fig. 28B](#) sind Draufsichten eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0072] [Fig. 29](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0073] [Fig. 30](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0074] [Fig. 31](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0075] [Fig. 32](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0076] [Fig. 33](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0077] [Fig. 34](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0078] [Fig. 35](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0079] [Fig. 36](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0080] [Fig. 37](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0081] [Fig. 38](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0082] [Fig. 39](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0083] [Fig. 40](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0084] [Fig. 41](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0085] [Fig. 42](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

[0086] [Fig. 43](#) ist eine Draufsicht eines Teils der Vorrichtung zum unabhängigen Variieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

#### Hintergrund

[0087] In den angefügten Zeichnungen sind den gleichen Funktionen die gleichen Bezugszeichen zugewiesen.

[0088] [Fig. 6](#) zeigt ein Virtually Imaged Phased Array (VIPA).

[0089] Die Worte "Virtually Imaged Phased Array" und "VIPA" können hierin nachstehend einander ersetzen.

[0090] In [Fig. 6](#) ist es wünschenswert, dass ein VIPA **76** eine dünne Glasplatte ist. Ein eingegebener Strahl **77** wird in einer Linse **78** durch eine Linse **80**, wie etwa eine halbzylindrische Linse etc., gesammelt, und der eingegebene Strahl **77** erreicht dadurch das VIPA **76**. Die Linie **78** wird hierin nachstehend als eine Fokusslinie **78** bezeichnet. Der eingegebene Strahl **77** wird von der Fokusslinie **78** radial übertragen, und durch das VIPA **76** empfangen. Dann gibt das VIPA **76** einen Lichtstrom **82** paralleler Strahlen aus. Der Ausgangswinkel des Lichtstroms **82** ändert sich mit der Länge des eingegebenen Strahls **77**. Wenn z.B. die Wellenlänge des eingegebenen Strahls  $\lambda_1$  ist, gibt das VIPA **76** den Lichtstrom **82a** mit der Wellenlänge von  $\lambda_1$  in einer spezifizierten Richtung aus. Wenn die Wellenlänge des eingegebenen Strahls  $\lambda_2$  ist, gibt das VIPA **76** den Lichtstrom **82a** mit der Wellenlänge von  $\lambda_2$  in einer spezifizierten Richtung aus. Deshalb generiert das VIPA **76** den Lichtstrom **82a** und **82b**, die räumlich voneinander unterschieden werden können.

[0091] [Fig. 7](#) zeigt detailliert das VIPA **76** zur Verwendung in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0092] In [Fig. 7](#) umfasst das VIPA **76** eine Platte **120**, die z.B. aus Glas hergestellt ist, und hat reflektierende Filme **122** und **124** auf der Oberfläche. Es wird gewünscht, dass der reflektierende Film **122** einen Reflexionsgrad von 95% oder höher hat, muss aber bis zu 100% sein. Es wird gewünscht, dass der reflektierende Film **124** den Reflexionsgrad von ungefähr 100% hat. Es wird auch gewünscht, dass ein Strahlungsfenster **126** auf der Platte **120** ausgebildet ist, und einen Reflexionsgrad von ungefähr 0% hat. Der eingegebene Strahl **77** wird durch die Linse **80** auf der Fokusslinie **78** durch das Strahlungsfenster **126** derart gesammelt, dass vielfache Reflexion zwischen den reflektierenden Filmen **122** und **124** generiert werden kann. Die Fokusslinie **78** wird gewünscht,

auf der Platte **120** zu sein, auf der der reflektierende Film **122** angebracht ist. Somit wird die Fokusslinie **78** gewünscht, in der Platte **120** positioniert zu sein, auf der der reflektierende Film **122** angebracht ist. Somit ist die Fokusslinie **78** eine Linie zum Sammeln von Strahlen in dem reflektierenden Film **122** durch das Strahlungsfenster **126**. Die Breite der Fokusslinie **78**, die durch die Linse **80** gesammelt wird, wird auch als Strahlentaille des eingegebenen Strahls **77** bezeichnet.

[0093] Gemäß der in [Fig. 7](#) gezeigten Anordnung konvergiert die Strahlentaille des eingegebenen Strahls **77** auf der ferneren Oberfläche (d.h. der Oberfläche des reflektierenden Films **122**) der Platte **120**. Durch Sammeln der Strahlentaille auf der ferneren Oberfläche der Platte **120** kann es eine kleinere Möglichkeit geben, dass der Bereich (z.B. ein Bereich a, wie der nachstehend in [Fig. 10](#) detailliert beschrieben wird) des Strahlungsfensters **126** in der Oberfläche der Platte **120**, der durch den eingegebenen Strahl **177** abgedeckt wird, der durch das Strahlungsfenster **126** eingegeben wird, den Bereich (z.B. einen Bereich b, der in [Fig. 10](#) gezeigt wird, nachstehend detailliert beschrieben) in dem reflektierenden Film **124** überlappt, in den der eingegebene Strahl **77** zuerst eingegeben wird, wenn er zuerst durch den reflektierenden Film **124** reflektiert wird. Um die Operationen des VIPA korrekt durchzuführen, wird gewünscht, dass die oben erwähnten Überlappungsbereiche vermieden werden können.

[0094] In [Fig. 7](#) hat die optische Achse **132** des eingegebenen Strahls einen kleinen Neigungswinkel  $\Theta$ . In der ersten Reflexion des reflektierenden Films **122** werden 5% der Strahlen durch den reflektierenden Film **122** übertragen, und divergieren nach der Strahlentaille. Außerdem werden 95% der Strahlen zu dem reflektierenden Film **124** reflektiert. Nach Reflexion durch den reflektierenden Film **124** erreichen die Strahlen den reflektierenden Film **122** mit einer Verschiebung um d. Dann werden 5% der Strahlen durch den reflektierenden Film **122** übertragen. Wie in [Fig. 7](#) gezeigt, divergieren die Strahlen ähnlich von einem virtuellen Bild **134** in der Strahlentaille. Das virtuelle Bild **134** ist in vorbestimmten Intervallen von  $2t$  entlang der Linie vertikal zu der Platte **120** angeordnet. In diesem Beispiel zeigt t die Stärke der Platte **120** an. Die Position der Strahlentaille relativ zu dem virtuellen Bild **134** wird automatisch eingestellt. Es ist nicht notwendig, die Positionen der Bilder abzustimmen. Die Strahlen von den virtuellen Bildern **134** interferieren miteinander, und bilden parallele Strahlen **136**, die in den unterschiedlichen Richtungen abhängig von den Wellenlängen der eingegebenen Strahlen **77** übertragen werden.

[0095] Die Intervalle der optischen Pfade sind  $d = 2t \sin \Theta$ , und die Differenz zwischen den Längen der benachbarten Strahlen ist  $2t \cos \Theta$ . Die Winkeldisper-



sion ist proportional zu dem Verhältnis zwischen den zwei Werten, d.h. proportional zu  $\cot\theta$ . Als ein Ergebnis generiert das VIPA eine beträchtliche Winkeldispersion.

[0096] Wie in [Fig. 7](#) klar gezeigt wird, ist der Begriff "Virtually Imaged Phased Array" von der Form der Anordnung des virtuellen Bildes **134** gekommen.

[0097] [Fig. 8](#) zeigt den Querschnitt entlang der Linie IX-IX des VIPA **76**, das in [Fig. 6](#) gezeigt wird.

[0098] In [Fig. 8](#) hat die Platte **120** die reflektierenden Filme **122** und **124**. Die reflektierenden Oberflächen **122** und **124** sind parallel zueinander, und in Intervallen von  $t$  angeordnet, das die Stärke der Platte **120** anzeigt. Die reflektierenden Oberflächen unter **22** und **124** sind typische reflektierende Filme, die auf die Platte **120** angewendet sind. Wie oben beschrieben, ist der Reflexionsgrad der reflektierenden Oberfläche **124** ungefähr 100% ausschließlich des Strahlungsfensters **126**. Der Reflexionsgrad der reflektierenden Oberfläche **122** ist 95% oder höher. Deshalb ist der Durchlässigkeitsgrad der reflektierenden Oberfläche **122** 5% oder geringer. Als ein Ergebnis werden 5% oder weniger der eingegebenen Strahlen durch die reflektierende Oberfläche **122** übertragen, und 95% oder mehr von ihnen werden reflektiert. Eine Änderung des Reflexionsgrades der reflektierenden Oberflächen **122** und **124** beeinflusst die Operation des VIPA nicht. Der Reflexionsgrad der reflektierenden Oberfläche **122** muss jedoch geringer als 100% sein, um einen Teil der eingegebenen Strahlen zu übertragen.

[0099] Das Strahlungsfenster **126** ist in der reflektierenden Oberfläche **124** vorgesehen. Es wird gewünscht, dass das Strahlungsfenster **126** Strahlen weitergibt, und sie nicht reflektiert, oder den geringsten möglichen Reflexionsgrad hat. Das Strahlungsfenster **126** empfängt und reflektiert den eingegebenen Strahl **77** in den reflektierenden Oberflächen **122** und **124**.

[0100] [Fig. 8](#) zeigt den Querschnitt entlang der geraden Linie IX-IX, die in [Fig. 6](#) gezeigt wird. Deshalb wird die Fokuslinie **78**, die in [Fig. 6](#) gezeigt wird, durch Punkte in [Fig. 8](#) ausgedrückt. Die eingegebenen Strahlen **77** werden von der Fokuslinie **78** radial übertragen. Wie in [Fig. 8](#) gezeigt, ist des weiteren die Fokuslinie **78** in der reflektierenden Oberfläche **122** vorgesehen. Es ist nicht notwendig, die Fokuslinie **78** in der reflektierenden Oberfläche **122** vorzusehen, aber eine Änderung der Position der Fokuslinie **78** bewirkt eine kleine Änderung in der Charakteristik des VIPA **76**.

[0101] Wie in [Fig. 8](#) gezeigt, tritt der eingegebene Strahl **77** in die Platte **120** durch den Bereich A0 des Strahlungsfensters **126** ein. Der Punkt P0 zeigt einen

Punkt in dem Bereich A0 an.

[0102] Durch den Reflexionsgrad der reflektierenden Oberfläche **122** werden 95% oder mehr der eingegebenen Strahlen **77** durch die reflektierende Oberfläche **122** reflektiert, und in den Bereich A1 der reflektierenden Oberfläche **124** eingegeben. Der Punkt P1 zeigt einen Punkt in dem Bereich A1 an. Nach Reflexion in dem Bereich A1 der reflektierenden Oberfläche **124** erreichen die eingegebenen Strahlen **77** den reflektierenden Oberflächenfilm **122**, und ein Teil der eingegebenen Strahlen **77** wird durch die reflektierende Oberfläche **122** als ein ausgegebener Strahl Out1 übertragen, der als ein Strahl R1 bezeichnet wird.

[0103] Wie in [Fig. 8](#) gezeigt, wird somit der eingegebene Strahl **77** zwischen der reflektierenden Oberfläche **122** und der reflektierenden Oberfläche **124** vielfach reflektiert. Jedes Mal, wenn der Strahl durch die reflektierende Oberfläche **122** reflektiert wird, wird ein übertragener Strahl generiert. Unmittelbar nachdem die eingegebenen Strahlen **77** z.B. in den Bereichen A2, A3 und A4 der reflektierenden Oberfläche **124** reflektiert sind, werden sie deshalb durch die reflektierende Oberfläche **122** reflektiert, und es werden ausgegebene Strahlen Out 2, Out 3 und Out 4 generiert. Der Punkt P2 zeigt einen Punkt in dem Bereich A2 an, der Punkt P3 zeigt einen Punkt in dem Bereich A3 an und der Punkt P4 zeigt einen Punkt in dem Bereich A4 an. Der ausgegebene Strahl Out 2 wird durch den Strahl R2 angezeigt, der ausgegebene Strahl Out 3 wird durch den Strahl R3 angezeigt und der ausgegebene Strahl Out 4 wird durch den Strahl R4 angezeigt. [Fig. 8](#) zeigt nur die ausgegebenen Strahlen Out 0, Out 1, Out 2, Out 3 und Out 4, es gibt aber eine große Zahl von Strahlen abhängig von der Intensität des eingegebenen Strahls **77** und dem Reflexionsvermögen der reflektierenden Oberflächen **122** und **124**. Wie nachstehend detailliert beschrieben, interferieren die ausgegebenen Strahlen miteinander, und generieren einen Lichtstrom, der abhängig von der Wellenlänge des eingegebenen Strahls **77** in unterschiedliche Richtungen gerichtet wird. Deshalb kann der Lichtstrom als ein ausgegebener Strahl bezeichnet werden, der durch die Interferenz unter den ausgegebenen Strahlen Out 1, Out 2, Out 3 und Out 4 generiert wird.

[0104] [Fig. 9](#) zeigt die Interferenz von reflektierten Strahlen durch das VIPA.

[0105] In [Fig. 9](#) wird der Strahl, der von der Fokuslinie **78** übertragen wird, durch die reflektierende Oberfläche **124** reflektiert. Wie oben beschrieben, ist der Reflexionsgrad der reflektierenden Oberfläche **124** ungefähr 100%, und hat im Grunde die Funktion eines Spiegels. Als ein Ergebnis kann angenommen werden, dass der ausgegebene Strahl Out 1 von der Fokuslinie **11** ohne die reflektierenden Oberflächen

**122** und **124** emittiert wurde. Ähnlich kann angenommen werden, dass die ausgegebenen Strahlen Out 2, Out 3 und Out 4 von den Fokuslinien I2, I3 und I4 emittiert wurden. Die Fokuslinien I2, I3 und I4 sind virtuelle Bilder der Fokuslinie I0.

[0106] Wie in [Fig. 9](#) gezeigt, ist deshalb die Fokuslinie I1  $2t$  von der Fokuslinie I0 getrennt, wobei  $t$  den Abstand zwischen den reflektierenden Oberflächen **122** und **124** anzeigt. Ähnlich sind die anschließenden Fokuslinien  $2t$  voneinander getrennt. Deshalb ist die Fokuslinie I2 in einem Abstand von  $2t$  von der Fokuslinie I1 platziert. Des Weiteren wird ein ausgegebener Strahl geringer in der Intensität als der unmittelbar zuvor ausgegebene Strahl durch die anschließende vielfache Reflexion zwischen den reflektierenden Oberflächen **122** und **124** generiert. Deshalb ist der ausgegebene Strahl Out 2 in der Intensität geringer als der ausgegebene Strahl Out 1.

[0107] Wie in [Fig. 9](#) gezeigt, überlappen sich die ausgegebenen Strahlen von den Fokuslinien und interferieren miteinander. Da die Fokuslinien I1, I2, I3 und I4 virtuelle Bilder der Fokuslinie I0 sind, haben detaillierter die ausgegebenen Strahlen Out 0, Out 1, Out 2, Out 3 und Out 4 gleichen optischen Phasen in den Fokuslinien I1, I2, I3 und I4. Deshalb generiert die Interferenz einen Lichtstrom, der abhängig von der Wellenlänge des eingegebenen Strahls **77** in unterschiedlichen Richtungen überträgt.

[0108] Das VIPA enthält die konstruktive Bedingung, die das Merkmal einer Gestaltung eines VIPA ist. Durch Erfüllung der konstruktiven Bedingung wird ein Lichtstrom mit der Interferenz von ausgegebenen Strahlen, die einander intensivieren, generiert. Die konstruktive Bedingung des VIPA wird durch den folgenden Ausdruck (1) ausgedrückt.

$$2t \times \cos\Phi = m\lambda \quad (1)$$

wobei  $\Phi$  die Übertragungsrichtung anzeigt, die von der Linie vertikal zu den reflektierenden Oberflächen **122** und **124** gesehen wird.  $\lambda$  zeigt die Wellenlänge eines eingegebenen Strahls an,  $t$  zeigt den Abstand zwischen der reflektierenden Oberfläche **122** und der reflektierenden Oberfläche **124** an und  $m$  zeigt eine ganze Zahl an.

[0109] Des Weiteren divergieren die eingegebenen Strahlen **77** radial von der Fokuslinie **78** in einem spezifizierten Winkel. Deshalb bewegen sich eingegebene Strahlen mit gleichen Wellenlängen in einer Zahl von unterschiedlichen Richtungen von der Fokuslinie **78**, und werden durch die reflektierenden Oberflächen **122** und **124** reflektiert. In der konstruktiven Bedingung des VIPA intensivieren sich Strahlen, die sich in einer spezifizierten Richtung bewegen, einander durch die Interferenz von ausgegebenen Strahlen, und bilden einen Lichtstrom in der

Richtung entsprechend der Wellenlänge eines eingegebenen Strahls. Ein Strahl, der sich in einer Richtung bewegt, die sich von einer spezifizierten Richtung unterscheidet, basierend auf der konstruktiven Bedingung wird in der Intensität durch die Interferenz von ausgegebenen Strahlen reduziert.

[0110] [Fig. 10](#) zeigt den Querschnitt entlang der geraden Linie IX-IX des VIPA, das in [Fig. 6](#) gezeigt wird, und zeigt die Charakteristik des VIPA zum Bestimmen des Einfallswinkels oder des Neigungswinkels.

[0111] In [Fig. 10](#) wird der eingegebene Strahl **77** durch die zylindrische Linse (in den beigefügten Zeichnungen nicht gezeigt) gesammelt, und konvergiert auf der Fokuslinie **78**. Wie in [Fig. 10](#) gezeigt, deckt der eingegebene Strahl **77** einen Bereich mit der Breite von "a" in dem Strahlungsfenster **126** ab. Nachdem der eingegebene Strahl **77** durch die reflektierende Oberfläche **122** einmal reflektiert ist, erreicht er die reflektierende Oberfläche **124**, und deckt den Bereich mit der Breite von "b" in der reflektierenden Oberfläche **124** ab. Wie in [Fig. 10](#) gezeigt, bewegt sich des Weiteren der eingegebene Strahl **77** entlang der optischen Achse **132** mit dem Neigungswinkel von  $\Theta_1$  entsprechend der Linie vertikal zu der reflektierenden Oberfläche **122**.

[0112] Der Neigungswinkel  $\Theta_1$  muss auf einen Wert derart gesetzt werden, dass nachdem der eingegebene Strahl **77** durch die reflektierende Oberfläche **122** einmal reflektiert ist, der eingegebene Strahl **77** nicht außerhalb der Platte durch das Strahlungsfenster **126** positioniert werden kann. D.h. der Neigungswinkel  $\Theta_1$  muss derart gesetzt werden, dass der eingegebene Strahl **77** zwischen der reflektierenden Oberfläche **122** und der reflektierenden Oberfläche **124** hervorgeholt werden kann, und nicht aus dem Strahlungsfenster **126** entweichen kann. Um zu verhindern, dass der eingegebene Strahl **77** aus der Platte durch das Strahlungsfenster **126** entweicht, wird deshalb der Neigungswinkel **81** durch die folgende Gleichung (2) eingestellt.

$$\text{Neigungswinkel } \Theta_1 \text{ der optischen Achse} \geq (a + b)/4t \quad (2)$$

[0113] [Fig. 6](#) bis [Fig. 10](#) zeigen ein VIPA zum Empfangen eines eingegebenen Strahls mit verschiedenen Wellenlängen in einem kontinuierlichen Wellenlängenbereich. Das VIPA ist gestaltet, Selbstinterferenz durch die vielfache Reflexion eines eingegebenen Strahls zu erlauben, und einen ausgegebenen Strahl zu bilden. Der ausgegebene Strahl kann von dem eingegebenen Strahl mit einer unterschiedlichen Wellenlänge in kontinuierlichen Wellenlängenbereichen räumlich unterschieden sein. Z.B. zeigt [Fig. 8](#) den eingegebenen Strahl **77**, der die vielfache Reflexion zwischen den reflektierenden Oberflächen **122** und **124** anzeigt. Die vielfache Reflexion gene-

riert eine Vielzahl von ausgegebenen Strahlen Out 0, Out 1, Out 2, Out 3 und Out 4, die zum Interferieren miteinander und Generieren eines Lichtstroms fähig sind, der Wellenlängen des eingegebenen Strahls 77 räumlich unterscheidet.

**[0114]** "Selbstinterferenz" verweist auf die Interferenz, die unter einer Vielzahl von Strahlen von der gleichen Lichtquelle generiert wird. Da die ausgegebenen Strahlen Out 0, Out 1, Out 2, Out 3 und Out 4 von den gleichen Lichtquellen (d.h. dem eingegebenen Strahl 77) generiert werden, wird deshalb die Interferenz der ausgegebenen Strahlen Out 0, Out 1, Out 2, Out 3 und Out 4 als die Selbstinterferenz des eingegebenen Strahls 77 bezeichnet.

**[0115]** Ein eingegebener Strahl kann eine beliebige Wellenlänge in dem Bereich von kontinuierlichen Wellenlängen haben. Somit ist der eingegebene Strahl nicht auf die Wellenlänge des Wertes begrenzt, der aus dem Bereich von diskontinuierlichen Werten ausgewählt wird. Des weiteren sind die ausgegebenen Strahlen, die für die eingegebenen Strahlen einer spezifischen Wellenlänge in dem Bereich von kontinuierlichen Wellenlängen generiert werden, von den generierten ausgegebenen Strahlen räumlich unterschieden, wenn die eingegebenen Strahlen unterschiedliche Wellenlängen in dem Bereich von kontinuierlichen Wellenlängen haben.

**[0116]** Wie z.B. in [Fig. 6](#) gezeigt, wird deshalb die Richtung (d.h. die "räumliche Charakteristik") des Lichtstroms 82 unterschiedlich, wenn der eingegebene Strahl 77 eine unterschiedliche Wellenlänge in dem Bereich von kontinuierlichen Wellenlängen hat.

**[0117]** [Fig. 11](#) zeigt das Verfahren zum Generieren des VIPA.

**[0118]** In [Fig. 11A](#) wird gewünscht, dass eine parallele Platte 164 aus Glas hergestellt wird, und ausgezeichnete Parallelität hat. Reflektierende Filme 166 und 168 werden auf beiden Oberflächen der parallelen Platten 164 in dem Vakuumverdampfungsverfahren, Ionenstrahl-Unterstützungsverdampfungsverfahren, Spritzverfahren etc. vorgesehen. Es wird gewünscht, dass einer der reflektierenden Filme 166 und 168 den Reflexionsgrad von 100% hat, und der andere den Reflexionsgrad hat, der höher als 80% und geringer als 100% ist.

**[0119]** In [Fig. 11B](#) wird einer der reflektierenden Filme 166 und 168 teilweise geschliffen, um ein Strahlungsfenster 170 zu bilden. Der reflektierende Film 166, der in [Fig. 11B](#) gezeigt wird, wird derart geschliffen, dass das Strahlungsfenster 170 auf der gleichen Oberfläche wie der reflektierende Film 166 in den parallelen Platten 164 gebildet werden kann. Stattdessen kann der reflektierende Film 168 teilweise derart geschliffen werden, dass das Strahlungsfenster in

der gleichen Oberfläche wie der reflektierende Film 168 in den parallelen Platten 164 gebildet werden kann. Das Strahlungsfenster kann auf einer von beiden Seiten der parallelen Platten 164 vorgesehen werden.

**[0120]** Der reflektierende Film kann in dem Ätzprozess geschliffen werden, kann aber auch in einem mechanischen Schnittprozess bearbeitet werden, was geringere Kosten erfordert. Wenn ein reflektierender Film mechanisch geschnitten wird, müssen jedoch die parallelen Platten 164 sorgfältig bearbeitet werden, um den Schaden an den parallelen Platten 164 zu minimieren. Wenn es z.B. einen großen Schaden an den parallelen Platten 164 gibt, die ein Strahlungsfenster bilden, leiden die parallelen Platten 164 an übermäßigen Verlusten durch die Dispersion von empfangenen eingegebenen Strahlen.

**[0121]** An Stelle von zuerst Formen und Schneiden eines reflektierenden Films wird ein Abschnitt der parallelen Platten 164 entsprechend einem Strahlungsfenster so maskiert, dass der Abschnitt mit dem reflektierenden Film nicht bedeckt werden kann.

**[0122]** Wie in [Fig. 11C](#) gezeigt, wird ein transparenter Klebstoff 172 auf den reflektierenden Filme 166 und einen Teil der parallelen Platten 164 ausschließlich des reflektierenden Films 166 aufgetragen. Da der transparente Klebstoff 172 auch in einem Teil der parallelen Platten 164 vorgesehen ist, kann der optische Verlust minimiert werden.

**[0123]** In [Fig. 11D](#) wird eine schützende transparente Platte 174 darauf platziert und schützt den reflektierenden Filme 166 und den reflektierenden Film 166, der mit dem transparenten Klebstoff 172 beschichtet ist.

**[0124]** Die schützende transparente Platte 174 wird auf der oberen Fläche der parallelen Platten 164 so platziert, dass der transparente Klebstoff 172 angewendet werden kann, um den konkaven Abschnitt nach Entfernung des reflektierenden Films 166 zu füllen.

**[0125]** Um den reflektierenden Film 168 zu schützen, wird ähnlich der Klebstoff (in den beigefügten Zeichnungen nicht gezeigt) auf der oberen Fläche des reflektierenden Films 168 aufgetragen, um eine schützende Platte (in den beigefügten Zeichnungen nicht gezeigt) vorzusehen. Wenn der reflektierende Film 168 den Reflexionsgrad von ungefähr 100% hat, und es kein Strahlungsfenster auf der Oberfläche der gleichen parallelen Platten 164 gibt, ist es nicht notwendig, dass der Klebstoff und die schützende Platte transparent sind.

**[0126]** Des weiteren kann ein Antireflexionsfilm 176 auf der transparenten schützenden Platte 174 ange-

bracht werden. Z.B. können die schützende transparente Platte **174** und das Strahlungsfenster **170** mit dem Antireflexionsfilm **176** bedeckt werden.

**[0127]** Gemäß der oben erwähnten Anordnung wird angenommen, dass die Fokuslinie in dem Strahlungsfenster ist, oder in der entgegengesetzten Oberfläche der parallelen Platten, in die eingegebene Strahlen eingegeben werden, die Fokuslinie kann aber auch in den parallelen Platten oder vor dem Strahlungsfenster sein.

**[0128]** Gemäß der oben erwähnten Anordnung reflektieren zwei reflektierende Filme die Strahlen zwischen ihnen, und der Reflexionsgrad von einem von ihnen ist ungefähr 100%. Es kann jedoch der gleiche Effekt durch zwei reflektierende Filme mit dem Reflexionsgrad bis zu 100% erhalten werden. Z.B. können die zwei reflektierenden Filme den Reflexionsgrad von 95% haben. In diesem Fall überträgt jeder reflektierende Film Strahlen und generiert Interferenz. Als ein Ergebnis kann der Lichtstrom, der sich in unterschiedlichen Richtungen abhängig von der Wellenlänge bewegt, auf beiden Seiten der parallelen Platten mit reflektierenden Filmen ausgebildet werden. Somit kann ein verschiedener Reflexionsgrad abhängig von der Charakteristik, die durch das VIPA gefordert wird, geändert werden.

**[0129]** Das VIPA gemäß der oben erwähnten Anordnung unterhält eine konstante Phasendifferenz zwischen Interferenzstrahlen unter Verwendung vielfacher Reflexion. Als ein Ergebnis wird die Charakteristik des VIPA stabil, wobei dadurch eine Änderung in einer optischen Charakteristik reduziert wird, die durch Polarisierung generiert wird.

**[0130]** Gemäß der oben erwähnten Anordnung kann der Lichtstrom, der räumlich voneinander unterschieden ist, erhalten werden. Das "räumlich zu unterscheiden" bedeutet, dass ein Fluss räumlich unterschieden werden kann. Z.B. können verschiedene Typen eines Lichtstroms angenommen werden, dass sie räumlich unterschieden werden können, wenn sie parallel sind und sich in unterschiedlichen Richtungen bewegen, oder in unterschiedlichen Positionen gesammelt werden.

**[0131]** [Fig. 12](#) zeigt die herkömmliche Einrichtung, in der das VIPA, nicht ein Beugungsgitter, als eine Winkeldispersionseinheit verwendet wird, um Wellenlängendispersion zu generieren.

**[0132]** In [Fig. 12](#) umfasst ein VIPA **240** eine erste Oberfläche **242** mit einem Reflexionsgrad von ungefähr 100%, und eine zweite Oberfläche **244** mit einem Reflexionsgrad von ungefähr 98%. Das VIPA **240** umfasst auch ein Strahlungsfenster. Das VIPA **240** ist nicht auf diese Konfiguration begrenzt, sondern kann eine Zahl unterschiedlicher Konfigurationen haben.

**[0133]** Wie in [Fig. 12](#) gezeigt, wird ein Strahl von einer Faser **246** ausgegeben, durch eine Kollimationslinse **248** kollimiert und durch eine zylindrische Linse **250** in dem VIPA **240** durch ein Strahlungsfenster **247** linear gesammelt. Dann generiert das VIPA **240** einen kollimierten Strahl **251**, der in einem Spiegel **254** durch eine Fokuslinse **252** gesammelt wird. Der Spiegel **254** kann ein Spiegelabschnitt **256** sein, der auf einem Träger **258** ausgebildet ist.

**[0134]** Der Spiegel **254** reflektiert Strahlen, und überträgt die Strahlen zu dem VIPA **240** durch die Fokuslinse **252**. Dann erzeugen die Strahlen vielfache Reflexion in dem VIPA **240**, und werden von dem Strahlungsfenster **247** ausgegeben. Die Strahlen, die von dem Strahlungsfenster **247** ausgegeben werden, werden durch die Faser **246** durch die Kollimationslinse **248** empfangen.

**[0135]** Deshalb werden die Strahlen von dem VIPA **240** ausgegeben, durch den Spiegel **254** reflektiert und zu dem VIPA **240** zurückgegeben. Die Strahlen, die durch den Spiegel **254** reflektiert werden, werden durch den Pfad zurückgegeben, auf dem sie sich bewegt haben. Wie nachstehend detailliert beschrieben wird, haben die unterschiedlichen Wellenlängenkompontenten von Strahlen Fokuspunkte in den unterschiedlichen Punkten des Spiegels **254**, und die Strahlen werden reflektiert und zu dem VIPA **240** zurückgegeben. Als ein Ergebnis legen die unterschiedlichen Wellenlängen unterschiedliche Abstände zurück, und es wird Wellenlängendispersion generiert.

**[0136]** [Fig. 13](#) zeigt weiter detailliert das Prinzip der Operation des VIPA **1**, das in [Fig. 12](#) gezeigt wird.

**[0137]** Es wird angenommen, dass Strahlen mit verschiedenen Wellenlängenkompontenten durch das VIPA **240** empfangen werden. Wie in [Fig. 13](#) gezeigt, bildet das VIPA **240** ein virtuelles Bild **260** einer Strahlentaille **262**, und das virtuelle Bild **260** emittiert Strahlen von Licht. Wie in [Fig. 13](#) gezeigt, sammelt die Fokuslinse **252** die Fokuspunkte von unterschiedlichen Wellenlängenkompontenten der kollimierten Strahlen von dem VIPA **240** in den unterschiedlichen Punkten des Spiegels **254**. Des Weiteren wird eine längere Wellenlänge **264** in einem Punkt **272** gesammelt, eine zentrale Wellenlänge **266** wird in einem Punkt **270** gesammelt und eine kürzere Wellenlänge **268** wird in einem Punkt **274** gesammelt. Die längere Wellenlänge **264** wird zu dem virtuellen Bild **260** näher zu der Strahlentaille **262** als die zentrale Wellenlänge **266** zurückgegeben. Die kürzere Wellenlänge **268** wird zu dem virtuellen Bild **260** ferner zu der Strahlentaille **262** als die zentrale Wellenlänge **266** zurückgegeben. In dem oben erwähnten Feld findet normale Dispersion statt.

**[0138]** Der Spiegel **254** reflektiert nur die Strahlen

einer spezifischen Interferenzordnung, und die Strahlen anderer Interferenzordnungen werden außerhalb des Spiegels **254** gesammelt. Wie oben beschrieben, gibt das VIPA **1** des weiteren kollimierte Strahlen aus. Die kollimierten Strahlen bewegen sich in der Richtung mit einer Differenz von  $m\lambda$  in den Pfad von jedem virtuellen Bild, wobei  $m$  eine ganze Zahl anzeigt. Die  $m$ -te Interferenz ist als ein ausgegebener Strahl entsprechend  $m$  definiert.

[0139] [Fig. 14](#) zeigt z.B. verschiedene Interferenzordnungen des VIPA.

[0140] In [Fig. 14](#) emittiert das VIPA **1**, wie etwa das VIPA **240**, kollimierte Strahlen **276**, **278** und **280**. Jeder der kollimierten Strahlen **276**, **278** und **280** entspricht einer anderen Interferenzordnung. Deshalb entspricht z.B. der kollimierte Strahl **276** dem Strahl der  $(n + 2)$ -ten Interferenzordnung, der kollimierte Strahl **278** entspricht dem Strahl der  $(n + 1)$ -ten Interferenzordnung und der kollimierte Strahl **280** entspricht dem Strahl der  $n$ -ten Interferenzordnung. In der obigen Beschreibung zeigt  $n$  eine ganze Zahl an. Der kollimierte Strahl **276** wird gezeigt, eine Vielzahl von Wellenlängenkomponenten **276a**, **276b** und **276c** aufzuweisen. Ähnlich wird der kollimierte Strahl **278** gezeigt, eine Vielzahl von Wellenlängenkomponenten **280a**, **280b** und **280c** aufzuweisen. Die Wellenlängenkomponenten **276a**, **278a** und **280a** sind die gleichen Wellenlängen. Die Wellenlängenkomponenten **276b**, **278b** und **280b** sind auch die gleichen Wellenlängen. [Fig. 14](#) zeigt nur die kollimierten Strahlen von drei unterschiedlichen Interferenzordnungen, es werden aber die kollimierten Strahlen anderer Interferenzordnungen emittiert.

[0141] Da sich die kollimierten Strahlen in unterschiedlichen Richtungen mit den gleichen Wellenlängen für unterschiedliche Interferenzordnungen bewegen, und in unterschiedlichen Positionen gesammelt werden, kann der Spiegel **254** nur die Strahlen einer einzelnen Interferenzordnung reflektieren, und die reflektierten Strahlen zu dem VIPA **240** zurückgeben. Wie z.B. in [Fig. 14](#) gezeigt, ist die Länge des reflektierenden Abschnitts des Spiegels **254** relativ klein eingestellt, und es wird nur der Strahl entsprechend einer einzelnen Interferenzordnung reflektiert. Des weiteren wird in [Fig. 14](#) nur der kollimierte Strahl **278** durch den Spiegel **254** reflektiert. Somit werden die kollimierten Strahlen **278** und **280** außerhalb des Spiegels **254** gesammelt.

[0142] Ein Wellenlängenmultiplexstrahl enthält normalerweise eine Zahl von Kanälen. Durch erneuten Verweis auf [Fig. 12](#) wird die Stärke  $t$  zwischen der ersten Oberfläche **242** und der zweiten Oberfläche **244** des VIPA **240** auf einen spezifizierten Wert gesetzt, die Dispersion in jedem Kanal mit der Konfiguration wird gleichzeitig kompensiert.

[0143] Im Detail hat ferner jeder Kanal eine zentrale Wellenlänge. Die zentralen Wellenlängen sind normalerweise in vorbestimmten Frequenzintervallen voneinander getrennt. Die Stärke  $t$  zwischen der ersten Oberfläche **242** und der zweiten Oberfläche **244** ist derart eingestellt, dass alle Wellenlängenkomponenten entsprechend den zentralen Wellenlängen in dem gleichen Ausgangswinkel von dem VIPA **240** ausgegeben werden können. Dies ist möglich, wenn die Stärke  $t$  für jeden Kanal derart eingestellt ist, dass der Bewegungsabstand vorwärts und rückwärts der Strahlen in dem VIPA **240** ein Vielfaches von zentralen Wellenlängen von jedem Kanal sein kann. Der Wert der Stärke  $t$  wird hierin nachstehend als eine "Stärke in dem Bereich eines WDM-anpassungsfreien Spektrums" oder eine "Stärke eines WDM-Anpassungs-FSR" bezeichnet.

[0144] In diesem Fall ist der optische Bewegungsabstand vorwärts und rückwärts ( $2nt\cos\Theta$ ) durch das VIPA **240** gleich einem Wert, der durch Multiplizieren einer zentralen Wellenlänge jedes Kanals für eine unterschiedliche ganze Zahl mit dem gleichen  $\Theta$  mit einer ganzen Zahl erhalten wird. In der Beschreibung zeigt  $n$  den Brechungsindex des Materials zwischen der ersten Oberfläche **242** und der zweiten Oberfläche **244** an, und  $\Theta$  zeigt die Richtung einer Ausbreitung eines Lichtstroms entsprechend der zentralen Wellenlänge jedes Kanals an. Wie oben beschrieben, zeigt  $\Theta$  ferner einen Neigungswinkel der optischen Achse eines eingegebenen Strahls an (siehe [Fig. 7](#)).

[0145] Falls  $t$  derart eingestellt ist, dass  $2nt\cos\Theta$  gleich einem Vielfachen der zentralen Wellenlänge in jedem Kanal für eine andere ganze Zahl mit dem gleichen  $\Theta$  relativ zu der Wellenlänge entsprechend der zentralen Wellenlänge in jedem Kanal ist, haben deshalb alle Wellenlängenkomponenten für die zentralen Wellenlängen den gleichen Ausgangswinkel von dem VIPA **240**, und haben die gleiche Fokusposition in dem Spiegel **254**.

[0146] Falls z.B. die physikalische Länge vorwärts und rückwärts (das Doppelte der Stärke von 1mm des VIPA **240**) 2mm ist, und der Brechungsindex 1,5 ist, dann erfüllen alle Wellenlängen in 100-GHz-Intervallen die Bedingung. Als ein Ergebnis kann das VIPA **240** gleichzeitig die Dispersion für alle Kanäle eines Wellenlängenmultiplexstrahls kompensieren.

[0147] Wenn in [Fig. 13](#) die Stärke  $t$  als die Stärke des FSR der WDM-Anpassung gesetzt ist, können deshalb das VIPA **260** und die Fokuslinse **252** (a) die Wellenlängenkomponente entsprechend der zentralen Wellenlänge jedes Kanals in dem Punkt **270** des Spiegels **254** konzentrieren, (b) die Wellenlängenkomponente entsprechend einer Komponente mit einer längeren Wellenlänge jedes Kanals in dem Punkt **272** des Spiegels **254** konzentrieren und (c) die Wellenlängenkomponente entsprechend einer Kompo-

nente mit einer kürzeren Wellenlänge jedes Kanals in dem Punkt **274** des Spiegels **254** konzentrieren. Unter Verwendung des VIPA **240** kann deshalb die Wellenlängendispersion für alle Kanäle der Wellenlängenmultiplexstrahlen kompensiert werden.

**[0148]** [Fig. 15](#) ist eine Grafik, die den Betrag von Dispersion einiger Kanäle des Wellenlängenmultiplexstrahls anzeigt, wenn die Stärke  $t$  als die Stärke des FSR der WDM-Anpassung gesetzt ist.

**[0149]** Wie in [Fig. 15](#) gezeigt, findet die gleiche Dispersion für alle Kanäle statt. Die Dispersion sollte sich jedoch nicht unter Kanälen fortsetzen. Des Weiteren kann der Bereich der Wellenlänge jedes Kanals, für den das VIPA **240** die Dispersion kompensiert, durch geeignetes Einstellen der Größe des Spiegels **254** eingestellt werden.

**[0150]** [Fig. 16A](#) und [Fig. 16B](#) sind Seitenansichten der Einrichtung, in der das VIPA verwendet wird, um jeden Wert der Wellenlängendispersion einem Lichtstrahl zuzuweisen, um zu erläutern, dass die Wellenlängendispersion von der Form eines Spiegels abhängt.

**[0151]** [Fig. 16A](#) und [Fig. 16B](#) sind ähnlich zu [Fig. 13](#) darin, dass sie die Richtungen der längeren Wellenlänge **264**, der zentralen Wellenlänge **266** und der kürzeren Wellenlänge **268** zeigen, die durch das virtuelle Bild **260** der Strahlentaille **262** emittiert werden.

**[0152]** In [Fig. 16A](#) ist der Spiegel **254** ein konvexer Spiegel. Unter Verwendung eines konvexen Spiegels wird die Strahlenverschiebung ausgedehnt. Deshalb findet große chromatische Dispersion mit einem kurzen Fokusabstand und in kurzen Intervallen statt. Wenn der Spiegel **254** konvex ist, kann die Konvexität nur von der Seite gesehen werden, wie in [Fig. 16A](#) gezeigt, kann aber nicht von oben gesehen werden.

**[0153]** In [Fig. 16B](#) ist der Spiegel ein konkaver Spiegel. Unter Verwendung eines konkaven Spiegels wird das Vorzeichen der Dispersion umgekehrt. Deshalb findet anomale Dispersion mit einem kurzen Fokusabstand und in kurzen Intervallen statt. Wenn der Spiegel **254** konkav ist, kann die Wölbung nur von der Seite gesehen werden, kann aber nicht von oben gesehen werden, wie in [Fig. 16B](#) gezeigt.

**[0154]** Deshalb erscheint der Spiegel **254** normalerweise von oben flach. Falls jedoch der Spiegel **254** rotiert und von oben gesehen wird, stellt sich heraus, dass der Spiegel ein eindimensionaler Spiegel ist.

**[0155]** In [Fig. 16A](#) und [Fig. 16B](#) befindet sich der Spiegel **254** in oder nahe dem Fokuspunkt der Fokusslinse **252**.

**[0156]** Wie oben beschrieben, kann deshalb z.B. der Spiegel **254** konkav oder konvex sein, wenn von der Seite gesehen, wie in [Fig. 16A](#) und [Fig. 16B](#) gezeigt. Ein konvexer Spiegel befördert die Wellenlängendispersion, und ein konkaver Spiegel reduziert die Wellenlängendispersion oder invertiert die negative (normale) in die positive (anomale). Im Detail generiert der konvexe Spiegel große Dispersion in der negativen Richtung, und der konkave Spiegel generiert entweder kleine Dispersion in der negativen Richtung oder invertiert die Dispersion ins Positive. Dies wird durch den Grad der chromatischen Dispersion gleich der Funktion der Krümmung des Spiegels, der von der Seite betrachtet wird, realisiert.

**[0157]** [Fig. 17](#) ist eine Grafik des Ausgangswinkels des Lichtstroms von dem VIPA **240** zu der Wellenlänge des Lichtstroms.

**[0158]** Wie in [Fig. 17](#) gezeigt, ist die Änderung der Wellenlänge zu einem Ausgangswinkel nicht linear.

**[0159]** Da die Beziehung zwischen der Wellenlänge und dem Ausgangswinkel des Lichtstroms, der durch das VIPA generiert wird, nicht linear ist, ist die Wellenlängendispersion in einem Wellenlängenband nicht konstant, so weit ein flacher Spiegel, ein normaler konvexer Spiegel oder ein normaler konkaver Spiegel als der Spiegel **254** verwendet wird. Die Nichtlinearität in der Wellenlängendispersion ist als Dispersion höherer Ordnung definiert.

**[0160]** Normalerweise kann in der Einrichtung, die in [Fig. 16A](#) und [Fig. 16B](#) gezeigt wird, die Nichtlinearität in der Wellenlängendispersion durch die folgende Gleichung (3) verstanden werden.

**[0161]** (Winkeldispersion)  $\cdot (1 - f \cdot (1/R)) \propto$  Wellenlängendispersion wobei  $f$  den Fokusabstand der Fokusslinse **252** anzeigt und  $R$  den Radius der Krümmung des Spiegels **254** anzeigt.

**[0162]** [Fig. 18](#) ist eine Grafik, die die Winkeldispersion des VIPA **240** für die Wellenlänge eines Lichtstroms zeigt.

**[0163]** Normalerweise zeigt eine Kurve **284**, die in [Fig. 18](#) gezeigt wird, die Neigung einer Kurve **282** an, die in [Fig. 17](#) gezeigt wird. Wie in [Fig. 18](#) gezeigt, ist die Winkeldispersion nicht konstant. Stattdessen ändert sich die Winkeldispersion mit einer Wellenlänge.

**[0164]** [Fig. 19](#) ist eine Grafik, die einen Teil von  $(1 - f \cdot (1/R))$  der Gleichung (3) gegenüber einer Wellenlänge zeigt.

**[0165]** Im Detail ist eine gerade Linie **286** eine Grafik von  $(1 - f \cdot (1/R))$  für die Wellenlänge, wenn ein flacher Spiegel verwendet wird (der Radius der Krümmung ist  $\propto$  (unendlich)). Eine gerade Linie **288** ist

eine Grafik von  $(1 - f \cdot (1/R))$  für die Wellenlänge, wenn ein konkaver Spiegel verwendet wird (der Radius der Krümmung ist "+"). Eine gerade Linie **290** ist eine Grafik von  $(1 - f \cdot (1/R))$  für die Wellenlänge, wenn ein konvexer Spiegel verwendet wird (der Radius der Krümmung ist "-"). Wie in [Fig. 19](#) gezeigt, hat jeder Spiegel einen konstanten Krümmungsradius.

**[0166]** [Fig. 20](#) ist eine Grafik der Wellenlängendispersion der Wellenlänge der Einrichtung, wie in [Fig. 16A](#) und [Fig. 16B](#) gezeigt.

**[0167]** In diesen Figuren ist der Spiegel **254** ein gewöhnlicher sphärischer konvexer Spiegel, ein flacher Spiegel und ein sphärischer konkaver Spiegel. Im Detail zeigt eine Kurve **292** die Wellenlängendispersion für die Wellenlänge an, wenn der Spiegel **254** ein konvexer Spiegel ist. Eine Kurve **294** zeigt die Wellenlängendispersion für die Wellenlänge an, wenn der Spiegel **254** ein flacher Spiegel ist. Eine Kurve **256** zeigt die Wellenlängendispersion für die Wellenlänge an, wenn der Spiegel **254** ein konkaver Spiegel ist.

**[0168]** Wie durch die oben erwähnten Gleichung (3) angezeigt, zeigen normalerweise die Kurven **292**, **294** und **296** die Produkte der Winkeldispersion, die in [Fig. 18](#) gezeigt wird, und der geraden Linien, die in [Fig. 19](#) gezeigt wird. Die Kurve **294** zeigt das Produkt der Kurve **284**, die in [Fig. 18](#) gezeigt wird, und der geraden Linie **286**, die in [Fig. 19](#) gezeigt wird. Die Kurve **296** zeigt das Produkt der Kurve **284**, die in [Fig. 18](#) gezeigt wird, und der geraden Linie **288**, die in [Fig. 19](#) gezeigt wird.

**[0169]** Wie in [Fig. 20](#) gezeigt, ist die Wellenlängendispersion nicht konstant, obwohl ein gewöhnlicher sphärischer konvexer Spiegel, ein flacher Spiegel oder ein sphärischer konkaver Spiegel als der Spiegel **256** verwendet wird.

**[0170]** Die oben erwähnte Wellenlängenabhängigkeit der Wellenlänge kann durch Chirpen der Krümmung des Spiegels **254** reduziert oder beseitigt werden.

**[0171]** [Fig. 21](#) ist eine Grafik einer Kurve **298** der Gleichung 3, d.h.  $(1 - f \cdot (1/R))$ , für die Wellenlänge.

**[0172]** Normalerweise wird die Kurve **298**, die in [Fig. 21](#) gezeigt wird, durch Invertieren der Kurve **284** erhalten, die in [Fig. 18](#) gezeigt wird. Wie durch eine Kurve **300** gezeigt, die in [Fig. 22](#) gezeigt wird, generiert deshalb ein Spiegel mit den Charakteristika, die in [Fig. 21](#) gezeigt werden, konstante Wellenlängendispersion.

**[0173]** Z.B. zeigt [Fig. 23](#) ein Beispiel der Form (Sektion) eines Dispersionsspiegels, der die Gleichung 3 erfüllt und einen Wellenlängendispersionswert von

-2500ps/nm hat.

**[0174]** Wie in [Fig. 23](#) gezeigt, ist die Form des Spiegels nicht-sphärisch. Das VIPA **1** und der Spiegel sind räumlich derart angeordnet, dass die Winkeldispersion der Sektion parallel sein kann. Um den Wert der Wellenlängendispersion auf einen spezifischen Wert zu setzen (z.B. -2500ps/nm), kann die Form des Spiegels die gleiche Form in der Richtung vertikal zu der Sektion haben (d.h. eine zylindrisch Form). Da jedoch Strahlen einen Fokuspunkt haben, der durch eine Linse in der Richtung vertikal zu der Sektion ungeachtet der Wellenlänge definiert ist, ist es nicht notwendig, einen langen Abstand in der Richtung vertikal zu der Sektion einzustellen.

**[0175]** Um unterschiedliche Grade von Wellenlängendispersion zu erhalten, wird des weiteren die Form des nicht-sphärischen Spiegels als ein dreidimensionaler nicht-sphärischer Spiegel eingestellt, der seine Form in der Richtung vertikal zu der Sektion allmählich ändert, d.h. in der Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA. Praktisch ist es die Form, wie in [Fig. 24](#) gezeigt, und die Sektion hat die Form, wie in [Fig. 25](#) gezeigt, in der Position des Dispersionswertes von -500ps/nm und +1500ps/nm. Wie in [Fig. 25](#) gezeigt, ändert sich die Form von der nicht-sphärischen konvexen Oberfläche zu der nicht-sphärischen konkaven Oberfläche, wobei sich der Dispersionswert von negativ zu positiv ändert. Wenn der Dispersionswert 0 ist, ist die Sektion im wesentlichen flach. Somit hängt die Wellenlängendispersion von der Position der Strahlen in dem dreidimensionalen nicht-sphärischen Spiegel ab, nachdem die Strahlen mit der Winkeldispersion von dem VIPA ausgegeben werden.

**[0176]** Es ist nicht schwierig, den oben erwähnten dreidimensionalen nicht-sphärischen Spiegel in der aktuellen Verarbeitungstechnologie zu erzeugen. Der Prozess kann in einem Metall durchgeführt werden, wie etwa A1, Messing etc., mit einem dreidimensionalen Präzisionsprozessor mit Diamantschnitt und einer beweglichen Präzisionsstufe. Da ein Spiegel, der durch den oben erwähnten Prozessor geschliffen wird, normalerweise aufwändig ist, wird empfohlen, dass ein Metallguss mit einer umgekehrten Form einer notwendigen Form verarbeitet wird, ein geeigneter Transfer und Bildungsprozess in Plastik, Glas mit einem niedrigen Schmelzpunkt, Solgelglas etc. unter Verwendung des Metallgusses durchgeführt wird, und ein Spiegel schließlich durch Anwenden eines Metalls, wie etwa Au, A1 etc. oder eines dielektrischen Mehrschichtfilms ausgebildet wird. Außerdem kann eine derartige dreidimensionale Form unter Verwendung von Ionenstrahlätzen und Resists unterschiedlicher Stärken erhalten werden.

**[0177]** Um die Wellenlängendispersion tatsächlich zu variieren, ist es notwendig, eine Einheit zum Be-

wegen des oben erwähnten dreidimensionalen nicht-sphärischen Spiegels in der Richtung vertikal zu der Sektion vorzusehen, d.h. in der Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA. D.h. es ist eine Einheit enthalten zum Bewegen des oben erwähnten dreidimensionalen nicht-sphärischen Spiegels in der Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA. Die Bewegungseinheit kann durch z.B. einen linearen Schieber, einen Motor etc. hauptsächlich konfiguriert sein. Die Komponenten sind jedoch nicht darauf begrenzt. D.h. der lineare Schieber kann durch einen Stoßuntersatz etc. ersetzt werden, und der Motor kann durch ein Stellglied etc. ersetzt werden.

**[0178]** Gemäß der oben erwähnten Anordnung ist es möglich, Wellenlängendispersion in einem praktischen Grad unter Verwendung eines VIPA mit großer Winkeldispersion zu kompensieren, um Dispersion in allen Kanälen von Wellenlängenmultiplexstrahlen durch Einstellen der Stärke des VIPA als die Stärke des FSR der WDM-Anpassung gleichzeitig zu kompensieren, um die Wellenlängenabhängigkeit der Wellenlängendispersion zu reduzieren, d.h. eine im wesentlichen konstante Wellenlängendispersinn zu haben, indem es die Form eines Spiegels als die optimale nicht-sphärische Oberfläche gibt, um die Wellenlängendispersion durch Vorhandensein des Spiegels als den dreidimensionalen nicht-sphärischen Spiegel und Bewegen des dreidimensionalen nicht-sphärischen Spiegels etc. zu variieren. Eine Wellenlängendispersionsneigung kann jedoch nicht unabhängig von der Wellenlängendispersion variiert werden.

#### Ausführungsformen

**[0179]** In den folgenden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können die Wellenlängendispersion und eine Wellenlängendispersionsneigung unabhängig voneinander variiert werden.

**[0180]** [Fig. 26](#) zeigt die Konfiguration, in der die Wellenlängendispersion und eine Wellenlängendispersionsneigung unabhängig voneinander variiert werden können.

**[0181]** In dem Prinzip der vorliegenden Ausführungsform, das in [Fig. 26](#) gezeigt wird, sind zusätzlich zu einem VIPA, einer Linse und einem dreidimensionalen Spiegel eine Einheit zum Generieren einer parallelen Verschiebung eines optischen Pfades um jede Wellenlänge und eine Einheit zum Variieren des Betrages der Verschiebung des optischen Pfades vorgesehen. Gemäß dem vorliegenden Prinzip wird ein optischer Pfad um eine Wellenlänge in der Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA parallel verschoben, d.h. in der Bewegungsrichtung des Spiegels. Deshalb kann die Wellenlängendispersion um eine Wellenlänge variiert werden, d.h.

es kann eine Wellenlängendispersionsneigung generiert werden. Des weiteren ist in dem oben erwähnten dreidimensionalen nicht-sphärischen Spiegel eine Änderung in einer gegebenen Wellenlängendispersion begrenzt. Deshalb ist es nur notwendig, die Richtung der Verschiebung eines optischen Pfades um eine Wellenlänge umzukehren, um den positiven oder negativen Zustand einer Wellenlängendispersionsneigung zu ändern.

**[0182]** Nachstehend werden einige Beispiele einer praktischen Einheit zum Verschieben eines optischen Pfades parallel um jede Wellenlänge in der Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA, und einer praktischen Einheit zum Variieren des Betrages der Verschiebung des optischen Pfades beschrieben.

**[0183]** [Fig. 27](#) und [28](#) zeigen die Ausführungsformen basierend auf dem oben erwähnten Prinzip.

**[0184]** Wie in [Fig. 27A](#) gezeigt, werden, wie von der Seite gesehen, die ausgegebenen Strahlen von dem VIPA **307** in unterschiedlichen Richtungen abhängig von den Wellenlängen emittiert, in einer Linse **308** gesammelt und durch einen dreidimensionalen Spiegel **309** durch parallele Platten **310** empfangen. Dann werden die Strahlen in den unterschiedlichen Punkten des dreidimensionalen Spiegels **309** abhängig von der Wellenlänge empfangen. Deshalb findet unterschiedliche Wellenlängendispersion abhängig von der Wellenlänge statt, wobei dadurch Dispersionskompensation durchgeführt wird. [Fig. 27A](#) ist eine Ansicht von der Winkeldispersionsrichtung. In dieser Ansicht werden die Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen in der Richtung vertikal zu den Zeichnungen dispergiert.

**[0185]** Gemäß der vorliegenden Ausführungsform sind die parallelen Platten **310** zwischen die Linse **308** und den dreidimensionalen Spiegel **309** eingefügt. Die parallelen Platten sind aus transparenten Materialien mit relativ großer Brechungsindex-Wellenlängendispersion in einem verfügbaren Wellenlängenband hergestellt. Praktisch ist es z.B. Polykristall Si. Anderenfalls kann es Ge, GaAs etc. sein. Auf beiden Seiten der parallelen Platten sind Antireflexionsfilme von Mehrschichtdielektrikfilmen angebracht.

**[0186]** Falls die parallelen Platten **310** in einem Winkel **313** mit dem ausgegebenen Strahl von der Pseudomittelverarbeitungseinheit **8** in der Richtung vertikal zu einer Winkeldispersionsrichtung **312** des VIPA **310** eingestellt sind, wie in [Fig. 28A](#) gezeigt, dann hängt der Winkel der Brechung der Strahlen von dem Brechungsindex von jeder Wellenlänge basierend auf dem Gesetz nach Snell ab. Als ein Ergebnis wird eine optische Pfadverschiebung **314** parallel abhängig von jeder Wellenlänge in der Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung **312** des VIPA **307** be-



wirkt. Mit der optischen Pfadverschiebung kann der Punkt, in dem ein Strahl in dem dreidimensionalen Spiegel **309** abhängig von jeder Wellenlänge empfangen wird, unabhängig von der Winkeldispersion des VIPA **307** gesteuert werden. Deshalb wird der Strahl mit jeder Wellenlänge, die durch das VIPA **307** in dem Winkel dispergiert wird, zu dem dreidimensionalen Spiegel **309** geführt, und der reflektierte Strahl wird in das VIPA **307** erneut eingeführt. Entsprechend kann zusätzlich zu den Funktionen der oben erwähnten Ausführungsform, in der ein vorbestimmter Betrag von Dispersion für die ganze Wellenlänge bewirkt werden kann durch Führen eines Strahls jeder Wellenlänge, die durch das VIPA **307** in Winkel dispergiert wird, zu dem dreidimensionalen Spiegel **309** und erneuten Eingeben eines reflektierten Lichts zu dem VIPA **307** der Betrag von Dispersion für jede Wellenlänge unabhängig gesteuert werden durch Verschieben des Strahls in der Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA **307**, und Führen des Strahls zu dem dreidimensionalen Spiegel **309**. Somit kann die Wellenlängendispersionsneigung unabhängig von dem Betrag von Wellenlängendispersion gesteuert werden.

$$n_1 \times \sin\theta_1 = n_2 \times \sin\theta_2 \quad (4)$$

wobei  $n_1$  den Brechungsindex eines Eingabemediums anzeigt,  $\theta_1$  einen Einfallswinkel anzeigt,  $n_2$  den Brechungsindex des Ausgabemediums anzeigt und  $\theta_2$  einen Ausgungswinkel anzeigt.

**[0187]** Des weiteren kann durch Ändern des Winkels **313** der Betrag der optischen Pfadverschiebung **314** variiert werden. Durch Ändern des Winkels **313** wird der Betrag der optischen Pfadverschiebung **314** variiert, und die Wellenlängendispersionsneigung kann geändert werden. Der optische Pfad wird jedoch gleichzeitig und gänzlich geändert, und die Wellenlängendispersion wird auch geändert. Deshalb ist es notwendig, den dreidimensionalen Spiegel **309** derart zu verschieben, dass die geeignete Wellenlängendispersion stattfinden kann. Um die geeignete Wellenlängendispersion und die Wellenlängendispersionsneigung wie oben beschrieben zu erhalten, müssen der Winkel und die Position des Spiegels gleichzeitig geändert werden. Der Winkel kann durch z.B. die Rotation eines Motors etc. geändert werden. Das Änderungsverfahren ist nicht darauf begrenzt.

**[0188]** Wie in [Fig. 28B](#) gezeigt, hängt die Richtung der optischen Pfadverschiebung um eine Wellenlänge davon ab, ob der Winkel in der Richtung A oder B geändert wird, wobei dadurch der positive und negative Zustand der Wellenlängendispersionsneigung umgekehrt wird. Des weiteren ist die Zahl der parallelen Platten nicht auf einen Wert begrenzt. D.h. es kann viele Mengen von parallelen Platten geben. Wenn Si etc., das in der vorliegenden Ausführungsform verwendet hat, die Temperaturcharakteristik des

Brechungsindex von  $1,5 \times 10^{-4} (^\circ\text{C})$  hat, was ein großer Wert ist, kann außerdem eine Änderung in der optischen Pfadverschiebung abhängig von der Temperatur verursacht werden. Das Problem kann jedoch gelöst werden, indem eine Steuereinrichtung zum Steuern der Temperatur der parallelen Platten einbezogen wird. Die Steuereinrichtung zum Steuern der Temperatur umfasst mindestens einen Temperatursensor, wie etwa einen Platinwiderstand, einen Thermistor etc. und eine Erwärmungs-/Kühleinrichtung, wie etwa ein Heizgerät und eine Peltier-Einrichtung, und steuert die Erwärmungs-/Kühleinrichtung derart, dass der Wert der Temperatur, der von dem Temperatursensor erhalten wird, auf einem konstanten Pegel unterhalten werden kann.

**[0189]** Wenn z.B. die Wellenlängen 1528nm und 1563nm sind, sind die Brechungsindizes von Si 3,4758 bzw. 3,47666 und die Differenz zwischen den Brechungsindizes ist so klein wie 0,003. Wenn z.B. die Stärke einer Si-Platte 50mm mit einem Winkel von  $40^\circ$  ist, ist deshalb der Betrag der optischen Pfadverschiebung bis zu  $8\mu\text{m}$ . Obwohl sich der oben erwähnte dreidimensionale nicht-sphärische Spiegel um 2000ps/nm pro mm stark ändert, kann deshalb nur der Betrag einer Änderung der Wellenlängendispersion bis zu 12ps/nm hergestellt werden.

**[0190]** Nachstehend wird eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben, um das Problem mit der oben erwähnten Ausführungsform zu lösen.

**[0191]** [Fig. 29](#) zeigt eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0192]** Gemäß der vorliegenden Ausführungsform ist mindestens ein Prismenpaar **317**, das konfiguriert ist durch Anordnen von zwei Prismen **315** und **316**, die hergestellt sind aus einem transparenten Material mit einer großen Brechungsindex-Wellenlängendispersion, parallel zueinander und symmetrisch um einen Punkt herum, zwischen die Linse **308** und den dreidimensionalen Spiegel **309** eingefügt. Die Prismen **315** und **316** sind aus einem transparenten Material mit einer relativ großen Brechungsindex-Wellenlängendispersion in einem verfügbaren Wellenlängenband hergestellt. Praktisch sind sie aus Polykristall Si hergestellt. Anderenfalls können sie Ge, GaAs etc. sein. Auf beiden Seiten der Prismen **315** und **316** sind Antireflexionsfilme von dielektrischen Mehrschichtfilmen angebracht. Die Strahlen, die durch das erste Prisma **315** gebrochen werden, werden um den gleichen Betrag in der entgegengesetzten Richtung durch das zweite Prisma **316** gebrochen, das parallel und in der punktsymmetrischen Position mit dem ersten Prisma **315** angeordnet ist. Als ein Ergebnis bewegen sich die Strahlen in der gleichen Richtung, nachdem sie das Prismenpaar **317** passiert haben. Falls sich die Strahlen in der

Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA bewegen, werden die Strahlen, die durch den dreidimensionalen Spiegel **309** reflektiert werden, durch den gleichen optischen Pfad zurückgeführt, wobei dadurch keine Verluste verursacht werden.

**[0193]** Wie durch die Gleichung (4) klar gezeigt wird, hängt der Winkel des Strahls, der durch die Prismen **315** und **316** gebrochen wird, von den Prismenwinkeln und den Brechungsindizes der Prismen **315** und **316** ab. Gemäß der vorliegenden Ausführungsform hat jede Wellenlänge ihren eigenen Brechungsindex. Deshalb hängt der Brechungswinkel eines Strahls mit jeder Wellenlänge von dem ersten Prisma **315** ab, und der Strahl wird um den gleichen Grad in der entgegengesetzten Richtung gebrochen. Als ein Ergebnis wird eine optische Pfadverschiebung **319** parallel durch jede Wellenlänge in der Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA generiert.

**[0194]** Durch Verschieben eines Prismas **316**, während die Parallelität beibehalten wird, und Ändern des Raums **318** in dem Prismenpaar **317**, wie in [Fig. 30](#) gezeigt, kann die optische Pfadverschiebung **319** variiert werden, und die Wellenlängendispersionsneigung kann geändert werden. Der optische Pfad wird jedoch gleichzeitig und gänzlich geändert, und die Wellenlängendispersion wird auch geändert. Deshalb ist es notwendig, den dreidimensionalen Spiegel **309** derart zu verschieben, dass die geeignete Wellenlängendispersion stattfinden kann. Um die geeignete Wellenlängendispersion und die Wellenlängendispersionsneigung wie oben beschrieben zu erhalten, müssen der Raum **318** des Prismenpaares **317** und die Position des Spiegels gleichzeitig geändert werden. Der Raum in dem Prismenpaar **317** kann durch z.B. Verwenden verschiedener Einheiten ebenso wie der oben erwähnten Spiegelbewegungseinheit etc. geändert werden. Das Änderungsverfahren ist nicht darauf begrenzt. Durch Rotieren des Prismenpaares **317** um  $180^\circ$  um den optischen Pfad herum, wie in [Fig. 31](#) gezeigt, kann die Richtung, in der eine optische Pfadverschiebung um eine Wellenlänge generiert wird, umgekehrt werden, um den positiven/negativen Zustand der Neigung (Wellenlängendispersionsneigung) der Wellenlängendispersion zu ändern. Das Verfahren zum Rotieren des Prismenpaares **317** besteht darin, ist aber nicht darauf begrenzt, z.B. einen Motor zu verwenden. Wenn außerdem Si etc., das in der vorliegenden Ausführungsform verwendet wird, die Temperaturcharakteristik des Brechungsindex von  $1,5 \times 10^{-4}$  ( $^\circ\text{C}$ ) hat, was ein großer Wert ist, kann sie verwendet werden, um eine Änderung in der optischen Pfadverschiebung durch die Änderung eines Brechungsindex abhängig von der Temperatur zu verursachen. Das Problem kann jedoch gelöst werden, indem weiter eine Steuereinrichtung zum Steuern der Temperatur der Prismen

einbezogen wird. Die Steuereinrichtung zum Steuern der Temperatur umfasst mindestens einen Temperatursensor, wie etwa einem Platinwiderstand, einen Thermistor etc., und eine Erwärmungs-/Kühleinrichtung, wie etwa ein Heizgerät und eine Peltier-Einrichtung, und steuert die Erwärmungs-/Kühleinrichtung derart, dass der Wert der Temperatur, der von dem Temperatursensor erhalten wird, auf einem konstanten Pegel unterhalten werden kann.

**[0195]** Wenn z.B. die Wellenlängen 1528nm und 1563nm sind, sind die Brechungsindizes von Si 3,47958 bzw. 3,47666, und die Differenz zwischen den Brechungsindizes ist so klein wie 0,003. Wenn z.B. der Prismenwinkel  $14^\circ$  ist und der Raum in dem Prismenpaar 50mm ist, ist deshalb der Betrag der optischen Pfadverschiebung bis zu  $12\mu\text{m}$ . Obwohl sich der oben erwähnte dreidimensionale nicht-sphärische Spiegel um 2000ps/nm pro mm stark geändert, kann deshalb nur der Betrag einer Änderung der Wellenlängendispersion bis zu 25ps/nm hergestellt werden.

**[0196]** Nachstehend wird eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben, um das Problem mit der oben erwähnten Ausführungsform zu lösen.

**[0197]** [Fig. 32](#) zeigt eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0198]** Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird mindestens ein Beugungsgitterpaar **322**, das durch Anordnen von zwei Beugungsgittern **320** und **321** mit Winkeldispersion in der Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA parallel und symmetrisch um einen Punkt herum miteinander konfiguriert ist, zwischen die Linse **308** und den dreidimensionalen Spiegel **309** eingefügt. Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird ein Übertragungs-Blaze-Gitter mit einer relativ großen Winkeldispersion in einem verfügbaren Wellenlängenband und mit einer hohen primären Beugungseffizienz in einem vorbestimmten Winkel in einem verfügbaren Wellenlängenband als die Beugungsgitter **320** und **321** verwendet. Das Blaze-Gitter kann erhalten werden durch Herstellen einer Mutterform durch Verarbeiten von Glas in einem direkten Ionenstrahlätzverfahren oder Schleifen von Glas oder Metall, um eine Harzschicht auf einem Glasträger zu transferieren – zu bilden. Auf beiden Seiten der Beugungsgitter **320** und **321** werden Antireflexionsfilme von dielektrischen Mehrschichtfilmen angebracht.

**[0199]** Der ausgegebene Strahl von der Linse **308** wird in der Richtung, die die Gleichung (5) erfüllt, durch das erste Beugungsgitter **320** gebeugt, wobei dadurch der optische Pfad gekrümmt wird. Zu dieser Zeit hat die Wellenlängenbeugung in einem Winkel, der das Gesetz von Snell erfüllt, das durch die Gleichung

chung (6) gezeigt wird, die höchste Beugungseffizienz, und die Wellenlänge wird als eine Blaze-Wellenlänge bezeichnet. Die Beugungsgitter **320** und **321** haben einen Blaze-Winkel und einen Brechungsindex, der geeignet derart ausgewählt ist, dass das verfügbare Wellenlängenband im wesentlichen mit der Blaze-Wellenlänge übereinstimmen kann. Des Weiteren werden die gebeugten und gekrümmten Strahlen in der entgegengesetzten Richtung um einen gleichen Grad durch das zweite Beugungsgitter **321** erneut gebeugt und gekrümmt, das in der parallelen und punktsymmetrischen Position mit dem ersten Beugungsgitter **320** angeordnet ist. Als ein Ergebnis bewegen sich die Strahlen in der gleichen Richtung nach einem Durchlauf durch das Beugungsgitterpaar **322**. Falls sich die Strahlen in der Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA bewegen, kehren die Strahlen, die durch den dreidimensionalen Spiegel **309** reflektiert werden, durch den gleichen optischen Pfad zurück, wobei dadurch keine Verluste erlitten werden.

**[0200]** Wie durch die Gleichung (5) klar gezeigt wird, hängt der Beugungswinkel von der Wellenlänge ab, der Beugungswinkel eines Strahls jeder Wellenlänge hängt von dem ersten Beugungsgitter **320** ab und der Strahl wird in der entgegengesetzten Richtung durch das zweite Beugungsgitter **321** gleichermaßen gebeugt. Als ein Ergebnis wird eine optische Pfadverschiebung **324** parallel gemäß jeder Wellenlänge in der Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA generiert.

$$\sin\beta = N \times m \times \lambda \quad (5)$$

$$n \times \sin\theta_b = \sin(\theta_b + \beta) \quad (6)$$

wobei  $\beta$  einen Beugungswinkel anzeigt,  $N$  die Zahl von Linien pro Einheitslänge anzeigt,  $m$  eine Ordnung anzeigt,  $n$  einen Brechungsindex anzeigt und  $\theta_b$  einen Blaze-Winkel anzeigt.

**[0201]** Durch Verschieben eines Beugungsgitters **321**, während die Parallelität beibehalten wird und der Raum **323** in dem Beugungsgitterpaar **322** geändert wird, wie in [Fig. 33](#) gezeigt, kann die optische Pfadverschiebung **324** variiert werden, und die Wellenlängendispersionsneigung kann geändert werden. Der optische Pfad wird jedoch gleichzeitig und gänzlich geändert, und die Wellenlängendispersion wird auch geändert. Deshalb ist es notwendig, den dreidimensionalen Spiegel **309** derartig zu verschieben, dass die geeignete Wellenlängendispersion stattfinden kann. Um die geeignete Wellenlängendispersion und Wellenlängendispersionsneigung zu erhalten, wie oben beschrieben, müssen der Raum **323** des Beugungsgitterpaars **322** und die Position des Spiegels gleichzeitig geändert werden. Der Raum **323** in dem Beugungsgitterpaar **322** kann durch z.B. Verwenden verschiedener Einheiten, ebenso wie der

oben erwähnten Spiegelbewegungseinheit etc. geändert werden. Das Änderungsverfahren ist nicht darauf begrenzt. Durch Rotieren des Beugungsgitterpaars **322** um  $180^\circ$  um den optischen Pfad herum, wie in [Fig. 34](#) gezeigt, kann die Richtung, in der eine optische Pfadverschiebung um eine Wellenlänge generiert wird, umgekehrt werden, um den positiven/negativen Zustand der Neigung (Wellenlängendispersionsneigung) der Wellenlängendispersion zu ändern. Das Verfahren zum Rotieren des Beugungsgitterpaars **322** besteht darin, ist aber nicht darauf begrenzt, z.B. einen Motor zu verwenden. Die Zahl der Beugungsgitterpaare **322** ist nicht auf einen Wert begrenzt, sondern es kann viele Paare geben. Außerdem ist der Beugungswinkel eines Beugungsgitters normalerweise von der Temperatur abhängig, und er kann eine Änderung in der optischen Pfadverschiebung durch die Änderung eines Beugungswinkels abhängig von der Temperatur verursachen. Das Problem kann jedoch gelöst werden, indem eine Steuereinrichtung zum Steuern der Temperatur des Beugungsgitters einbezogen wird. Die Steuereinrichtung zum Steuern der Temperatur umfasst mindestens einen Temperatursensor, wie etwa einen Platinwiderstand, einen Thermistor etc., und eine Erwärmungs-/Kühleinrichtung, wie etwa ein Heizgerät und eine Peltier-Einrichtung, und steuert die Erwärmungs-/Kühleinrichtung derart, dass der Wert der Temperatur, der von dem Temperatursensor erhalten wird, auf einem konstanten Pegel gehalten werden kann.

**[0202]** Gemäß der vorliegenden Ausführungsform ist, falls die Zahl von Linien 400 pro mm ist, der Brechungsindex des Beugungsgitters 1,54 ist, und der Blaze-Winkel  $39,4^\circ$  ist, dann die Blaze-Wellenlänge  $1546\text{nm}$ , und der Beugungswinkel ist  $38,2^\circ$ . Falls z.B. der Raum in dem Beugungsgitterpaar so klein wie  $25\text{mm}$  ist, ist der Betrag der optischen Pfadverschiebung bis zu  $720\mu\text{m}$ , wenn die Wellenlängen  $1528\text{nm}$  und  $1563\text{nm}$  sind. Obwohl sich der oben erwähnte dreidimensionale nicht-sphärische Spiegel um  $800\text{ps/nm}$  pro mm geändert, kann der Betrag einer Änderung der Wellenlängendispersion bis zu  $25\text{ps/nm}$  hergestellt werden. Der Betrag der Kompensation der Dispersionsneigung entspricht  $290\text{km}$ , wobei die normale SMF die Wellenlängendispersionsneigung von  $0,06\text{ps/nm}^2/\text{km}$  hat, und ist ein ausreichender Kompensationsbetrag.

**[0203]** Wenn eine optische Pfadverschiebung abhängig von der Wellenlänge durch das Beugungsgitterpaar **322** generiert wird, gibt es eine Wellenlängendispersion, die durch eine kleine optische Pfaddifferenz durch eine Wellenlänge generiert wird. Sie kann jedoch ignoriert werden, da sie ausreichend kleiner als die Wellenlängendispersion ist, die durch das VIPA generiert wird. Falls sie nicht ignoriert werden kann, wird die Position des dreidimensionalen Spiegels **309** entsprechend der Wellenlängendis-

sion abgestimmt, um die geeignete Wellenlängendispersion zu ergeben.

**[0204]** Nachstehend wird eine andere Ausführungsform eines Verfahrens zum Ändern des positiven/negativen Zustands der Neigung von Wellenlängendispersion (Wellenlängendispersionsneigung) beschrieben.

**[0205]** [Fig. 35](#) zeigt eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0206]** Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird mindestens eines von einem Beugungsgitterpaar **327**, das durch zwei Beugungsgitter **325** und **326** konfiguriert ist, die parallel und punktsymmetrisch zueinander angeordnet sind und eine Winkeldispersion in der Richtung im wesentlichen vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA haben, und mindestens zwei Bereiche (z.B. A und B) haben, die Winkeldispersion in entgegengesetzten Richtungen zeigen, verwendet. Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird, wie in der oben erwähnten Ausführungsform, ein Übertragungs-Blaze-Gitter verwendet. Durch Verschieben des Beugungsgitterpaars **327**, wie in [Fig. 36](#) gezeigt, werden Strahlen zu unterschiedlichen Bereichen mit Winkeldispersion in den entgegengesetzten Richtungen emittiert, um die Winkeldispersion in den entgegengesetzten Richtungen zu generieren und haben eine optische Pfadverschiebung **328**, die durch eine Wellenlänge in der entgegengesetzten Richtungen generiert wird, wobei dadurch der positive/negative Zustand der Neigung der Wellenlängendispersion (Wellenlängendispersionsneigung) geändert wird. Das Verfahren zum Verschieben des Beugungsgitterpaars **327** kann durch verschiedene Mittel realisiert werden, wie die oben erwähnten Spiegelbewegungseinheit, und ist nicht auf ein spezifisches Verfahren begrenzt. Um unterschiedliche Bereiche mit Winkeldispersion in der entgegengesetzten Richtung zu einem Beugungsgitter zu bilden, werden z.B. Blaze-Gitter in den entgegengesetzten Richtungen in den Bereichen A und B gebildet.

**[0207]** Nachstehend wird eine andere Ausführungsform eines Verfahrens zum Variieren von Wellenlängendispersion beschrieben.

**[0208]** [Fig. 37](#) und [Fig. 38](#) zeigen andere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

**[0209]** Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird mindestens ein Beugungsgitterpaar **331**, das durch zwei Beugungsgitter **329** und **330** konfiguriert wird, die parallel und punktsymmetrisch zueinander angeordnet sind, Winkeldispersion in der Richtung im wesentlichen vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA haben und eine Vielzahl von Bereichen mit unterschiedlicher Winkeldispersion haben,

verwendet. Um eine Vielzahl von Bereichen mit unterschiedlicher Winkeldispersion in einem Beugungsgitter zu bilden, werden z.B. unterschiedliche Blaze-Winkel und Zahlen von Linien jeweiligen Bereichen zugewiesen. Durch Verschieben des Beugungsgitterpaars **331** werden Strahlen zu Bereichen mit unterschiedlicher Winkeldispersion emittiert, um unterschiedliche Winkeldispersion zu generieren, einen Betrag von optischer Pfadverschiebung **332** zu variieren und Wellenlängendispersion zu variieren. Das Verfahren zum Verschieben des Beugungsgitterpaars **331** kann durch verschiedene Mittel realisiert werden, wie durch die oben erwähnte Spiegelbewegungseinheit, und ist nicht auf ein spezifisches Verfahren begrenzt.

**[0210]** Gemäß einigen der oben erwähnten Ausführungsformen wird ein Übertragungs-Blaze-Gitter als Beugungsgitter verwendet, offensichtlich können aber andere Beugungsgitter verwendet werden.

**[0211]** Z.B. zeigt [Fig. 39](#) eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird ein reflektierendes Blaze-Gitter als ein Beugungsgitter verwendet. In dem Fall eines reflektierenden Blaze-Gitters wird ein ausgegebener Strahl von der Linse **308** in der Richtung, die die Gleichung (7) erfüllt, durch das Beugungsgitter **333** gebeugt, und der optische Pfad wird gekrümmt. Zu dieser Zeit hat die Wellenlängenbeugung in einem Winkel, der das Reflexionsgesetz erfüllt, das durch die Gleichung (8) ausgedrückt wird, die höchste Beugungseffizienz, und die Wellenlänge wird als eine Blaze-Wellenlänge bezeichnet. Für Beugungsgitter **333** und **334** wird ein geeigneter Blaze-Winkel derart ausgewählt, dass ein verfügbares Wellenlängenband im wesentlichen mit der Blaze-Wellenlänge übereinstimmen kann. Im Grunde wird wie in dem Fall des Übertragungsbeugungsgitters der gebeugte und gekrümmte Strahl in der entgegengesetzten Richtung durch das zweite Beugungsgitter **334** gleichermaßen erneut gebeugt und gekrümmt, das in der Position parallel und punktsymmetrisch mit dem ersten Beugungsgitter **333** angeordnet ist. Als ein Ergebnis bewegen sich die Strahlen in der gleichen Richtung nach Durchlauf durch ein Beugungsgitterpaar **335**. Falls sich die Strahlen in der Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA bewegen, werden die Strahlen, die durch den dreidimensionalen Spiegel **309** reflektiert werden, durch den gleichen optischen Pfad zurückgeführt, wobei dadurch keine Verluste verursacht werden.

**[0212]** Wie durch die Gleichung (7) klar gezeigt wird, hängt der Beugungswinkel von einer Wellenlänge ab, ein Strahl mit jeder Wellenlänge hat einen anderen Beugungswinkel abhängig von dem ersten Beugungsgitter **333**, und die Beugung findet in der entgegengesetzten Richtung durch das zweite Beu-

gungsgitter **334** erneut statt. Als ein Ergebnis findet eine optische Pfadverschiebung **337** um jede Wellenlänge parallel in der Richtung zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA statt.

$$\sin\alpha + \sin\beta = N \times m \times \lambda \quad (7)$$

$$\Theta_b = (\alpha + \beta)/2 \quad (8)$$

wobei  $\alpha$  einen Einfallswinkel anzeigt,  $\beta$  einen Beugungswinkel anzeigt,  $N$  die Zahl von Linien pro Einheitslänge anzeigt,  $m$  eine Ordnung anzeigt und  $\Theta_b$  einen Blaze-Winkel anzeigt.

**[0213]** Des Weiteren kann die optische Pfadverschiebung **337** durch Ändern eines Raumes **336** des Beugungsgitterpaars **335** durch Verschieben eines Beugungsgitters **334**, während die Parallelität beibehalten wird, obwohl ein Reflexionsbeugungsgitter verwendet wird, variiert werden.

**[0214]** Außerdem können ein rechteckiges Beugungsgitter, ein Cos-Kurven-Beugungsgitter, ein Stufengitter etc. verwendet werden. D.h. der Typ des Beugungsgitters ist nicht auf einen spezifischen Typ begrenzt.

**[0215]** Gemäß der vorliegenden Ausführungsform kann ein ausgegebener Strahl, für den die Wellenlängendispersion und eine Wellenlängendispersionsneigung kompensiert werden, durch Einfügen des Zirkulators, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, in die Spitze der Faser, die in [Fig. 4](#) gezeigt wird, zurückgeholt werden.

**[0216]** [Fig. 40](#) zeigt die Konfiguration zum Lösen des Problems der von einer polarisierten Welle abhängigen Verluste gemäß der oben erwähnten Ausführungsform.

**[0217]** Ein von einer polarisierten Welle abhängiger Verlust tritt in dem Strahl auf, der von der Linse **308** zu einem Gitterpaar **342** ausgegeben wird, das in [Fig. 40](#) gezeigt wird, nachdem der Strahl durch Blaze-Gitter **340** und **341** durchläuft. Um den von einer polarisierten Welle abhängigen Verlust zu kompensieren, wird ein Polarisationsrotationselement **350** bereitgestellt. Die Polarisation eines Strahls, der durch den dreidimensionalen Spiegel **309** reflektiert und zurückgegeben wird, wird um  $90^\circ$  durch das Polarisationsrotationselement **350** in dem zurückführenden Pfad orthogonalisiert. Das Polarisationsrotationselement **350** mit der Polarisationsrotationsfunktion kann z.B. eine  $\lambda/4$ -Wellenlängenplatte, eine Faraday-Rotationseinrichtung etc. sein.

**[0218]** Falls eine polarisierte Welle um  $90^\circ$  zwischen laufenden und zurückführenden Pfaden rotiert wird, und die von einer polarisierten Welle abhängigen Verluste zwischen den laufenden und zurückführenden Pfaden verschieden sind, dann können somit die

unterschiedlichen von einer polarisierten Welle abhängigen Verluste zwischen unterschiedlichen polarisierten Wellen durch Bereitstellen aller Strahlen in den laufenden und zurückführenden Pfaden mit beiden Verlusten ausgeglichen werden, wobei dadurch die Differenz im Verlust durch eine Differenz in einer polarisierten Welle ausgeglichen wird, d.h. den reduzierten Betrag der Intensität von erhaltenen Strahlen.

**[0219]** [Fig. 41](#) zeigt die Konfiguration einer kontinuierlichen Änderungen bis zum Umkehren des Betrages von Wellenlängendispersionskompensation, die für eine Strahl gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgesehen wird.

**[0220]** Durch Anordnen von zwei Paaren von Gitterpaaren **362**, wie in [Fig. 41A](#) und [Fig. 41B](#) gezeigt, und Hinzufügen eines Versatzes zu dem variablen Bereich einer Wellenlängendispersionsneigung des Gitterpaars **342** durch das Gitterpaar **362** kann die Funktion zum kontinuierlichen Variieren von der negativen Wellenlängendispersionsneigung zu der positiven Wellenlängendispersionsneigung realisiert werden. D.h. nachdem das Gitterpaar **362** einen Versatz für die optischen Pfade von Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen vorsieht, wird der Raum **343** in dem Gitterpaar **342** geeignet abgestimmt, wobei dadurch optischen Pfade von Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen, die durch den dreidimensionalen Spiegel **309** zu empfangen sind, ausgegeben und gekreuzt werden. Wenn der Raum **343** auf einen anderen Wert gesetzt wird, kreuzen die optischen Pfade der Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen einander nicht, wenn sie durch den dreidimensionalen Spiegel **309** empfangen werden. Durch Abstimmen des Raumes **343** kann somit die optische Pfadverschiebung der Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen abgestimmt werden, und die Punkte in dem dreidimensionalen Spiegel **309**, in denen die Strahlen empfangen werden, können ausgetauscht werden. Als ein Ergebnis kann der Betrag von Wellenlängendispersion, der für jede Wellenlänge bereitgestellt wird, variiert werden, und der Betrag von Wellenlängendispersion können ausgetauscht werden. Um den Wert des Betrages von Wellenlängendispersion für jede Wellenlänge zu steuern, ist somit eine Wellenlängendispersionsneigung zu ändern.

**[0221]** [Fig. 42](#) zeigt ein Beispiel einer Variation der Ausführungsform, die in [Fig. 41](#) gezeigt wird.

**[0222]** Unter Verwendung eines Gitters **370**, das in [Fig. 42A](#) und [Fig. 42B](#) gezeigt wird, mit den Funktionen von Gittern **361** und **340**, die in [Fig. 41A](#) und [Fig. 41B](#) gezeigt werden, durch Zuweisen eines Versatzes zu dem variablen Bereich einer Wellenlängendispersionsneigung durch z.B. drei Gitter, kann die Funktion zum kontinuierlichen Variieren von der negativen Wellenlängendispersionsneigung zu der positiven Wellenlängendispersionsneigung realisiert

werden. Das Prinzip der Operationen ist das gleiche wie in dem Fall, der in **Fig. 41** gezeigt wird. D.h. durch den Versatz jeder Wellenlänge, der von Gittern **372** und **370** vorgesehen wird, kann der Raum **343** in den Gittern **371** und **370** variiert werden, ein Punkt **344** auf dem dreidimensionalen Spiegel **309**, in dem ein Strahl jede Wellenlänge hat, kann variiert werden, und der Betrag von Wellenlängendispersion jeder Wellenlänge wird variiert, wobei dadurch eine Wellenlängendispersionsneigung variiert wird.

**[0223]** **Fig. 43** zeigt eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0224]** Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird ein übertragendes Stufengitter (oder als ein Grisma (Kombination von Prisma und Gitter) bezeichnet) als ein Beugungsgitter verwendet. Das übertragende Stufengitter ist ein Beugungsgitter vom Schrittyp, und generiert eine Phasendifferenz durch eine Differenz in Schritten in Vorwärtsübertragungsstrahlen. Deshalb können Vorwärtsstrahlen die höchste Beugungseffizienz durch Einstellen der Bedingung derart haben, dass Strahlen mit vorbestimmten Wellenlängen die Phasendifferenz gegenseitig haben können, wie durch die Gleichung (9) ausgedrückt.

**[0225]** Wenn das Stufengitter verwendet wird, wird der ausgegebene Strahl von der Linse **308** durch das erste Beugungsgitter **438** in der Richtung gebeugt, die die Gleichung (9) erfüllt, und der optische Pfad wird gekrümmt. Zu dieser Zeit wird in den Beugungsgittern **438** und **439** die Schrittdifferenz derart geeignet ausgewählt, dass die zentrale Wellenlänge eines verfügbaren Wellenlängenbandes einem Vorwärtsstrahl entsprechen kann. Der gebeugte und gekrümmte Strahl wird durch das zweite Beugungsgitter **439**, das in der Position parallel und punktsymmetrisch mit den ersten Beugungsgitter **438** angeordnet ist, im Grunde wie in dem Fall des Blaze-Gitters, auch erneut gebeugt und gekrümmt. Deshalb bewegen sich die Strahlen in der gleichen Richtung nach Durchlauf durch ein Beugungsgitterpaar **440**. Falls sich die Strahlen in der Richtung vertikal zu der Winkeldispersionsrichtung des VIPA bewegen, kehren die Strahlen, die durch den dreidimensionalen Spiegel **309** reflektiert werden, durch den gleichen optischen Pfad zurück, wobei dadurch keine Verluste verursacht werden.

**[0226]** Wie durch die Gleichung (9) klar ausgedrückt wird, hängt der Beugungswinkel von einer Wellenlänge ab, ein Strahl mit jeder Wellenlänge hat einen unterschiedlichen Beugungswinkel abhängig von dem ersten Beugungsgitter **438** und die Beugung findet in der entgegengesetzten Richtung durch das zweite Beugungsgitter **439** erneut statt. Als ein Ergebnis findet eine optische Pfadverschiebung **442** um jede Wellenlänge parallel in der Richtung vertikal zu der

Winkeldispersionsrichtung des VIPA statt.

$$nt - (t \times \cos\Theta + d \times \sin\Theta) = m \times \lambda \quad (9)$$

wobei n einen Brechungsindex anzeigt, t eine Schrittdifferenz anzeigt,  $\Theta$  einen Rotationswinkel anzeigt, d den Raum in einem Beugungsgitter anzeigt, m eine Ordnung anzeigt und  $\lambda$  eine Wellenlänge anzeigt.

**[0227]** Des Weiteren kann ein Betrag von optischer Pfadverschiebung **442** durch Ändern des Raumes **441** in dem Beugungsgitterpaar **440** durch Verschieben eines Beugungsgitters **439** variiert werden, während die Parallelität beibehalten wird.

**[0228]** In dem Fall des Stufengitters ist die Beugungsrichtung im wesentlichen vorwärts. Deshalb ändert sich der Betrag der optischen Pfadverschiebung **442** durch Ändern des Raumes **441** in dem Beugungsgitterpaar **440**. Als ein Ergebnis werden, obwohl sich eine Wellenlängendispersionsneigung ändert, keine Verschiebung in dem optischen Pfad durchgeführt und keine Änderung in der Wellenlängendispersion durchgeführt. Deshalb ist es nicht notwendig, den dreidimensionalen Spiegel **309** derart zu bewegen, dass die geeignete Wellenlängendispersion stattfinden kann, wie in dem Fall des Blaze-Gitters. Außerdem kann in dem Fall des Blaze-Gitters ein derartiger großer Beugungswinkel das Problem verursachen, dass die Fokusposition der Strahlen in dem dreidimensionalen Spiegel **309** in der optischen Pfadrichtung verschoben wird. Da jedoch die Beugungsrichtung in dem Fall des Stufengitters im wesentlichen vorwärts ist, treten keine Probleme einer Verschiebung der Fokusposition auf.

**[0229]** Wenn z.B. gemäß der vorliegenden Ausführungsform der Raum in dem Beugungsgitter  $1\mu\text{m}$  ist, die Schrittdifferenz des Beugungsgitters  $3,44\mu\text{m}$  ist und der Brechungsindex des Beugungsgitters 1,45 ist, sind die Wellenlängen von sich intensivierenden Vorwärtsstrahlen  $1546\text{nm}$ . Obwohl z.B. der Raum in dem Beugungsgitterpaar so klein wie  $25\text{mm}$  ist, ist der Betrag der optischen Pfadverschiebung bis zu  $940\mu\text{m}$  für die Wellenlängen  $1528\text{nm}$  und  $1563\text{nm}$ , und der Betrag der Änderung in der Wellenlängendispersion bis zu  $750\text{ps/nm}$  kann zugewiesen werden, obwohl der oben erwähnte dreidimensionale nicht-sphärische Spiegel eine Änderung von  $800\text{ps/nm}$  pro mm zeigt. Dieser Betrag von Kompensation einer Dispersionseigung entspricht  $360\text{km}$  für die gewöhnliche SMF mit der Wellenlängendispersionsneigung von  $0,06\text{ps/nm}^2/\text{km}$ , was ein ausreichender Betrag von Kompensation ist.

**[0230]** In der in **Fig. 43** gezeigten Ausführungsform kann das in **Fig. 41** und **42** gezeigte Blaze-Gitter durch das Stufengitter ersetzt werden.

**[0231]** In einigen der oben erwähnten Ausführungs-

formen der vorliegenden Erfindung wird ein übertragendes Blaze-Gitter als ein Beugungsgitter verwendet. Es können jedoch auch andere Beugungsgitter verwendet werden.

**[0232]** In der oben erwähnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hat das VIPA einen reflektierenden Film für reflektierende Strahlen. Z.B. zeigt [Fig. 7](#) und das VIPA **76** mit den reflektierenden Oberflächen **122** und **124** für reflektierende Strahlen. Das VIPA ist jedoch nicht darauf begrenzt, mit einem Film zum Bereitstellen einer reflektierenden Oberfläche verwendet zu werden. Stattdessen muss das VIPA mit einer geeigneten reflektierenden Oberfläche versehen werden, ist aber nicht auf einen Film begrenzt.

**[0233]** Gemäß der oben erwähnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung enthält das VIPA des weiteren eine transparente Glasplatte, die vielfache Reflexion generiert. Z.B. zeigt [Fig. 7](#) das VIPA **76**, das mit der Platte **120** mit einer reflektierenden Oberfläche versehen ist. Um die reflektierende Oberfläche zu isolieren, ist das VIPA nicht auf ein Glasmaterial oder einen beliebigen Typ einer Platte begrenzt. Stattdessen müssen die reflektierenden Oberflächen voneinander durch einen Abstandhalter isoliert werden. Z.B. können die reflektierenden Oberflächen des VIPA durch Luft ohne eine Glasplatte isoliert sein. Deshalb kann z.B. die reflektierende Oberfläche beschrieben werden, als durch ein transparentes Material isoliert zu sein, wie etwa ein optisches Glas, Luft etc.

**[0234]** Die Operation des VIPA hängt von der Stärke und dem Brechungsindex des Materials zwischen den reflektierenden Oberflächen des VIPA ab. Des weiteren können die Operation und die Wellenlänge des VIPA durch Steuern der Temperatur des VIPA korrekt abgestimmt werden.

**[0235]** Wie oben beschrieben, kann die oben erwähnte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung zum Generieren einer beliebigen Wellenlängendispersion und einer Wellenlängendispersionsneigung, und gleichzeitig Dispersionskompensieren der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung, die in einer optische Faser in einem Mehrkanal-Multiwellenlängen-System akkumuliert werden, vorsehen. Deshalb ist gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung das VIPA nicht auf eine spezifische Konfiguration begrenzt. Z.B. kann das VIPA ein Strahlungsfenster haben, und die Reflexion in jeder Oberfläche des VIPA ist nicht auf ein spezifisches Beispiel begrenzt.

**[0236]** Eine Ausführungsform stellt eine Vorrichtung zum einzelnen Steuern der Wellenlängendispersion und der Wellenlängendispersionsneigung bereit, die nicht durch die herkömmliche Technologie realisiert wurde.

## Patentansprüche

1. Eine Vorrichtung zum Bereitstellen von Wellenlängendispersion zu unterschiedlichen Wellenlängen von Licht in einem Strahl, umfassend viele Wellenlängen, wobei die Vorrichtung umfasst: eine optische Einrichtung (**76, 307**) zum Empfangen eines konvergierten Lichtstrahls (**77**) mit vielen Wellenlängen entlang einer optischen Achse, die optische Einrichtung umfassend einen Rumpf, der optisch transparent ist und zwei reflektierende Flächen (**122, 124**) parallel zueinander und in einem Winkel (**8**) relativ zu der optischen Achse geneigt hat, wobei mindestens eine der Flächen nur teilweise reflektierend ist, und wobei ein Übertragungsfenster (**126**) vorgesehen ist, das den konvergierten Lichtstrahl dort durch in den Rumpf ermöglicht, sodass das empfangene konvergierte Licht von einer fokalen Linie (**78**) divergiert und zwischen den reflektierenden Flächen (**122, 124**) eine Vielzahl von Malen reflektiert wird, wobei das Licht teilweise durch die mindestens eine teilweise reflektierende Fläche (**122, 124**) übertragen wird, wobei dadurch winkelförmig gestreutes ausgegebenes Licht (**82**) generiert wird, das durch Interferenz des übertragenen Lichts aufgebaut ist, in dem sich unterschiedliche Wellenlängen in unterschiedlichen Winkelrichtungen (**82a, 82b**) bewegen; eine Linse (**308**) zum Konvergieren des ausgegebenen Lichts (**82**), das durch die optische Einrichtung gebildet wird; und ein Reflexionsmittel (**309**) mit einer Fläche, die angeordnet ist, das Licht, das von der optischen Einrichtung ausgegeben wird, derart zu reflektieren, dass das Licht durch die optische Einrichtung (**76, 307**) zurück übertragen wird, wobei ein optischer Pfad von einer Position abhängig ist, wo das Licht von dem Reflexionsmittel (**309**) reflektiert wird, wobei die Vorrichtung **dadurch gekennzeichnet** ist, dass sie umfasst ein optisches Pfadverschiebungsgenerierungsmittel (**310, 317, 322, 327, 331, 335, 342, 362, 370, 371, 372, 440**), das angeordnet ist, einen optischen Pfad für jede Wellenlänge in dem Licht, das von der Linse (**308**) konvergiert und ausgegeben wird, in einer Richtung im wesentlichen senkrecht zu der Richtung von Winkeldispersion der optischen Einrichtung derart zu verschieben, dass ein anderer optischer Pfad für jede Wellenlänge von Licht, das von der Linse konvergiert und ausgegeben wird, generiert wird, und ein Variierungsmittel zum Variieren des Betrags der optischen Pfadverschiebung, die durch das optische Pfadverschiebungsgenerierungsmittel bereitgestellt wird, wobei das optische Pfadverschiebungsgenerierungsmittel derart angeordnet ist, dass das Licht, das durch das Reflexionsmittel reflektiert wird, durch das optische Pfadverschiebungsgenerierungsmittel und die optische Einrichtung zurück übertragen wird, wobei ein optischer Pfad von einer Position abhängig ist, wo das Licht von dem Reflexionsmittel reflektiert wird.

2. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner umfassend:

ein Bewegungsmittel, das angeordnet ist, das Reflexionsmittel (**309**) in einer Richtung im wesentlichen senkrecht zu der Winkeldispersionsrichtung der optischen Einrichtung (**76, 307**) zu bewegen.

3. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei:

das optische Pfadverschiebungsgenerierungsmittel mindestens ein Beugungsgitterpaar (**322, 327, 331, 335, 342, 362**) umfasst, umfassend parallele und punktsymmetrische Beugungsgitter, die angeordnet sind, Winkeldispersion in einer Richtung im wesentlichen senkrecht zu der Winkeldispersionsrichtung der optischen Einrichtung (**76, 307**) vorzusehen; und das Variierungsmittel Mittel zum Variieren des Raums zwischen den parallelen Beugungsgittern umfasst, um den Betrag der optischen Pfadverschiebung zu variieren.

4. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das optische Pfadverschiebungsgenerierungsmittel mindestens ein Beugungsgitterpaar (**322, 327, 331, 335, 342, 362**) umfasst, umfassend parallele und punktsymmetrische Beugungsgitter, die angeordnet sind, Winkeldispersion in einer Richtung im wesentlichen senkrecht zu der Winkeldispersionsrichtung der optischen Einrichtung vorzusehen, und wobei das Variierungsmittel umfasst Mittel zum Rotieren des Beugungsgitterpaares (**320, 321**) um den optischen Pfad davon um  $180^\circ$ , um die Richtung umzukehren, in der die optische Pfadverschiebung generiert wird und um den positiven/negativen Zustand der Neigung der Wellenlängendispersion zu ändern.

5. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das optische Pfadverschiebungsgenerierungsmittel mindestens ein Beugungsgitterpaar (**322, 327, 331, 335, 342, 362**) umfasst, umfassend parallele und punktsymmetrische Beugungsgitter, die angeordnet sind, Winkeldispersion in einer Richtung im wesentlichen senkrecht zu der Winkeldispersionsrichtung der optischen Einrichtung vorzusehen, und wobei jedes Beugungsgitter (**325, 326**) des Beugungsgitterpaares (**327**) mindestens zwei Bereiche (A, B) hat, die Winkeldispersion in entgegengesetzten Richtungen vorsehen; und die Vorrichtung ferner umfasst Mittel zum Bewegen der Beugungsgitter (**325, 326**), um das ausgegebene Licht von der Linse (**308**) in einem anderen der Bereiche (A, B) zu empfangen, um die Richtung umzukehren, in der die optische Pfadverschiebung generiert wird und dadurch den positiven/negativen Zustand der Wellenlängendispersionsneigung zu ändern.

6. Die Vorrichtung nach beliebigen von Ansprüchen 3 bis 5, ferner umfassend:

eine Steuereinrichtung zum Steuern einer Temperatur des Beugungsgitterpaares, um die Winkelrichtung zu stabilisieren.

7. Die Vorrichtung nach beliebigen von Ansprüchen 3 bis 5, wobei:

jedes Beugungsgitter ein Blazed-Gitter hoher Beugungseffizienz mit einem spezifischen Grad und Wellenlänge ist.

8. Die Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei:

jedes Beugungsgitter ein übertragendes Blazed-Gitter ist.

9. Die Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei:

jedes Beugungsgitter ein reflektierendes Blazed-Gitter ist.

10. Die Vorrichtung nach beliebigen von Ansprüchen 3 bis 5, wobei:

jedes Beugungsgitter ein übertragendes Staffelungsgitter ist.

11. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei:

das optische Pfadverschiebungsgenerierungsmittel mindestens eine Menge paralleler Platten (**310**) eines transparenten Materials mit Brechungsindex-Wellenlängendispersion umfasst; und das Variierungsmittel Mittel zum Ändern des Winkels (**313**) der parallelen Platten relativ zu dem ausgegebenen Licht von der Linse (**308**) in einer Ebene senkrecht zu der Richtung von Winkeldispersion der optischen Einrichtung umfasst, um den Betrag der optischen Pfadverschiebung und die Richtung der optischen Pfadverschiebung zu variieren.

12. Die Vorrichtung nach Anspruch 11, ferner umfassend:

eine Steuereinrichtung zum Steuern einer Temperatur der parallelen Platten, um den Betrag der optischen Pfadverschiebung zu stabilisieren.

13. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei:

das Pfadverschiebungsgenerierungsmittel mindestens ein Prismenpaar (**317**) umfasst, umfassend zwei Prismen (**315, 316**) aus transparentem Material mit Brechungsindex-Wellenlängendispersion, und angeordnet parallel und punktsymmetrisch miteinander; und das Variierungsmittel Mittel zum Variieren des Raums zwischen den Prismen umfasst, um den Betrag der optischen Pfadverschiebung zu variieren.

14. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das optische Pfadverschiebungsgenerierungsmittel mindestens ein Prismenpaar (**117**) umfasst, umfassend zwei Prismen (**315, 316**) aus transparentem Material mit Brechungsindex-Wellenlängendispersion, und angeordnet parallel und punktsymmetrisch miteinander, und wobei das Variierungsmittel umfasst Mittel zum Rotieren des Prismenpaares (**317**) um  $180^\circ$  um den optischen Pfad davon herum, um die Richtung umzukehren, in der die optische Pfadverschiebung stattfindet, und um den positiven/negativen Zustand



der Wellenlängendispersionsneigung zu ändern.

15. Die Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, ferner umfassend:  
eine Steuereinrichtung zum Steuern der Temperatur des Prismenpaars, um den Betrag der optischen Pfadverschiebung zu stabilisieren.

16. Die Vorrichtung nach beliebigen von Ansprüchen 11 bis 15, wobei:  
das transparente Material der parallelen Platten oder Prismen Si, Ge oder GaAs ist.

17. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner umfassend:  
ein Polarisationsrotationselement (**350**), um einen von einer polarisierten Welle abhängigen Verlust zu kompensieren, der durch das Pfadverschiebungsgenerierungsmittel generiert wird.

18. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei:  
das Pfadverschiebungsgenerierungsmittel drei oder mehr parallele Beugungsgitter (**340, 341, 360, 361; 370, 371, 372**) umfasst; und  
die Vorrichtung ferner Mittel zum Variieren des Raums (**343**) zwischen einem Paar der parallelen Beugungsgitter (**340, 341; 370, 371**) umfasst, um eine negative Wellenlängendispersionsneigung in eine positive Wellenlängendispersionsneigung oder umgekehrt zu variieren.

Es folgen 43 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

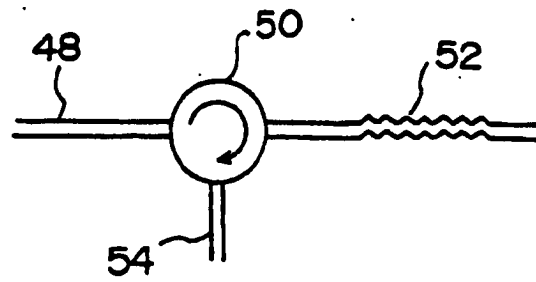


FIG. 1

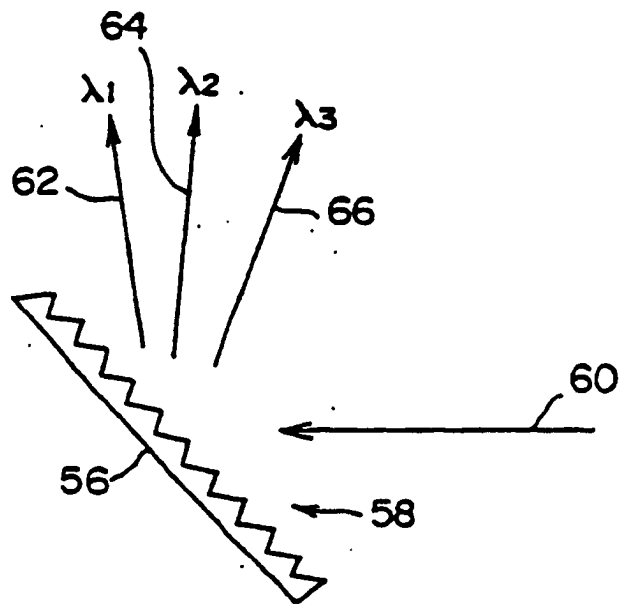


FIG. 2

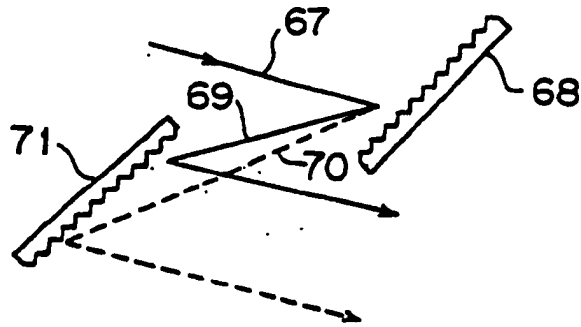


FIG. 3A

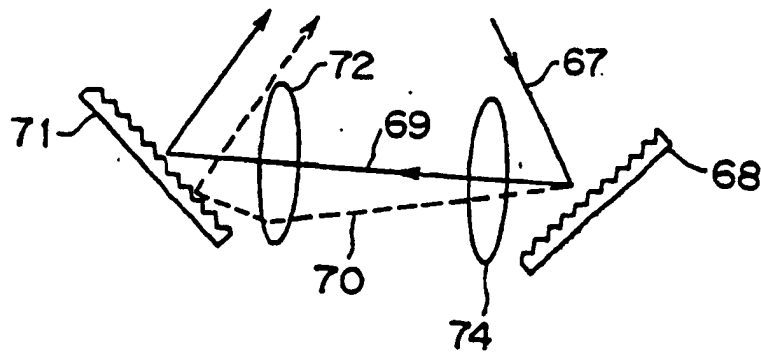


FIG. 3B

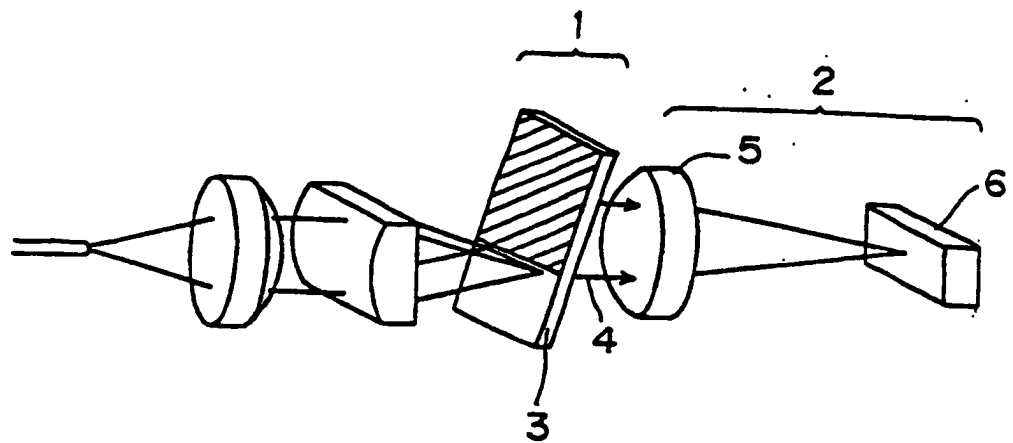


FIG. 4

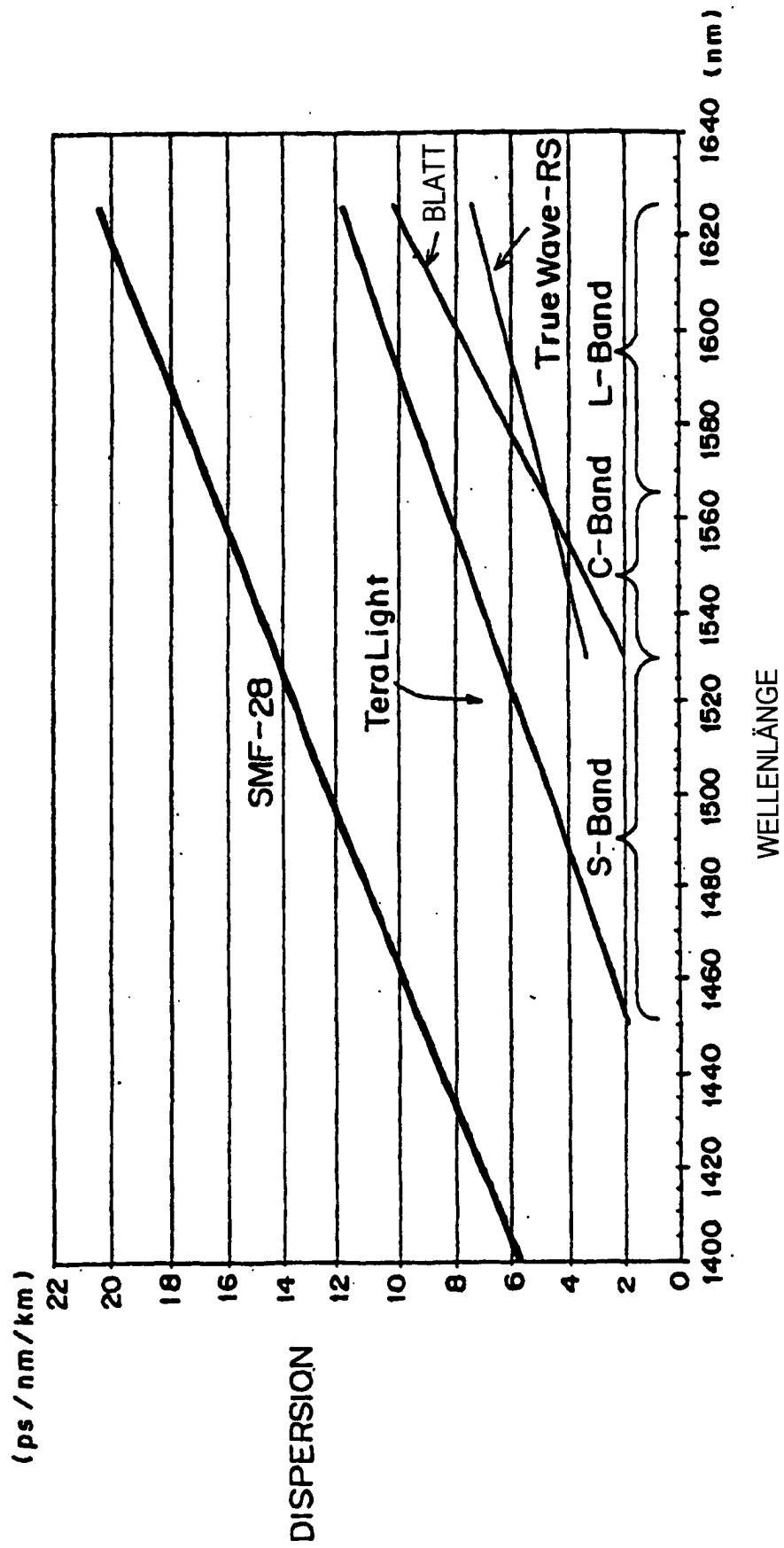


FIG. 5

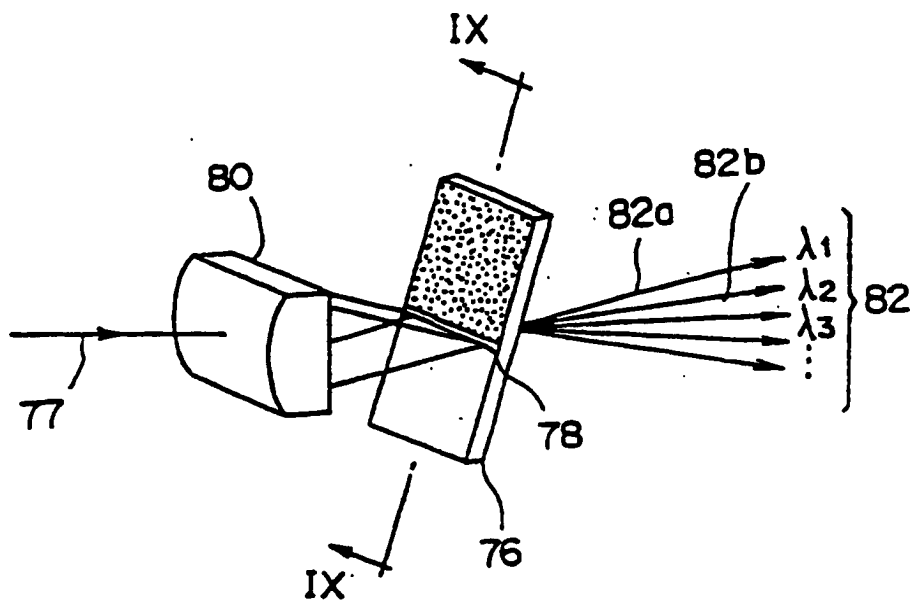


FIG. 6

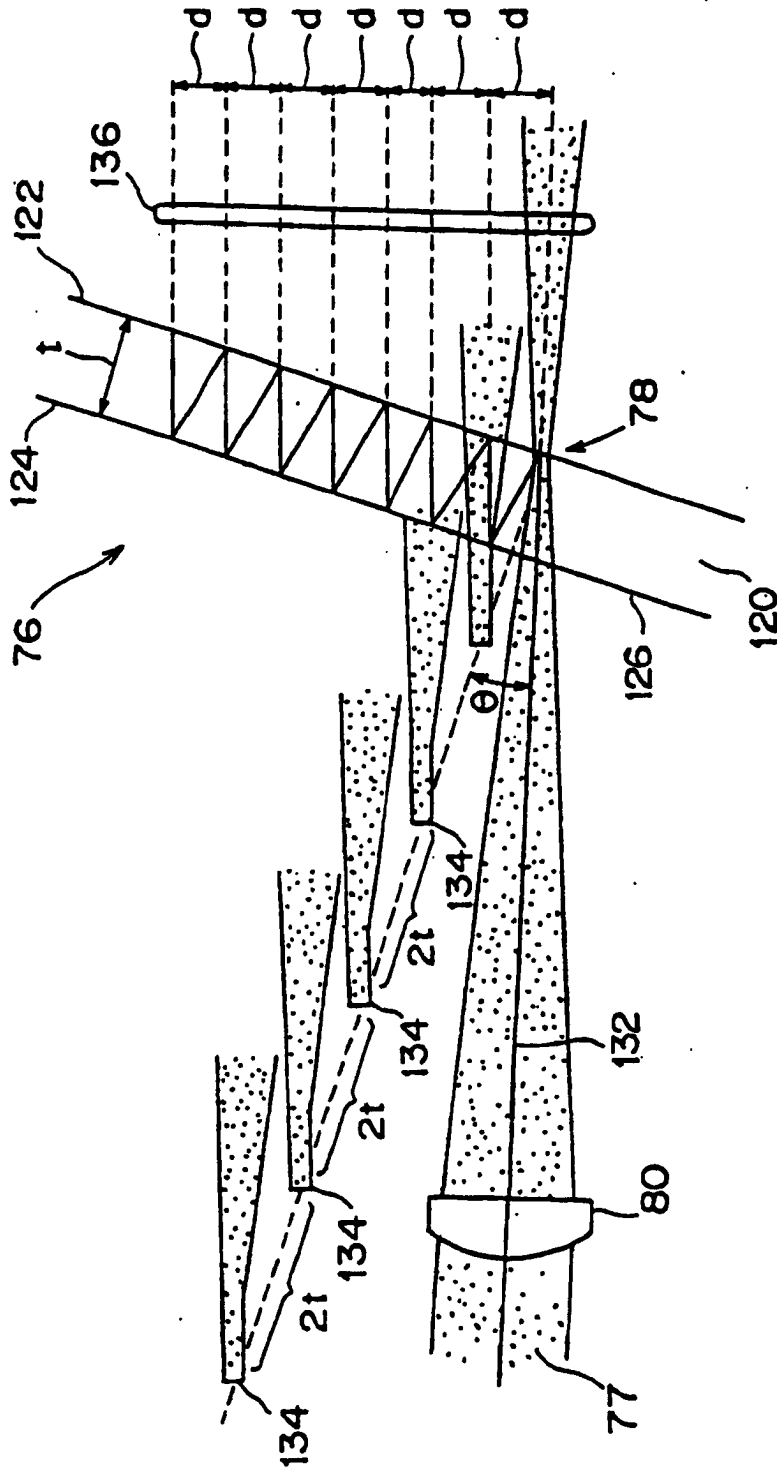


FIG. 7



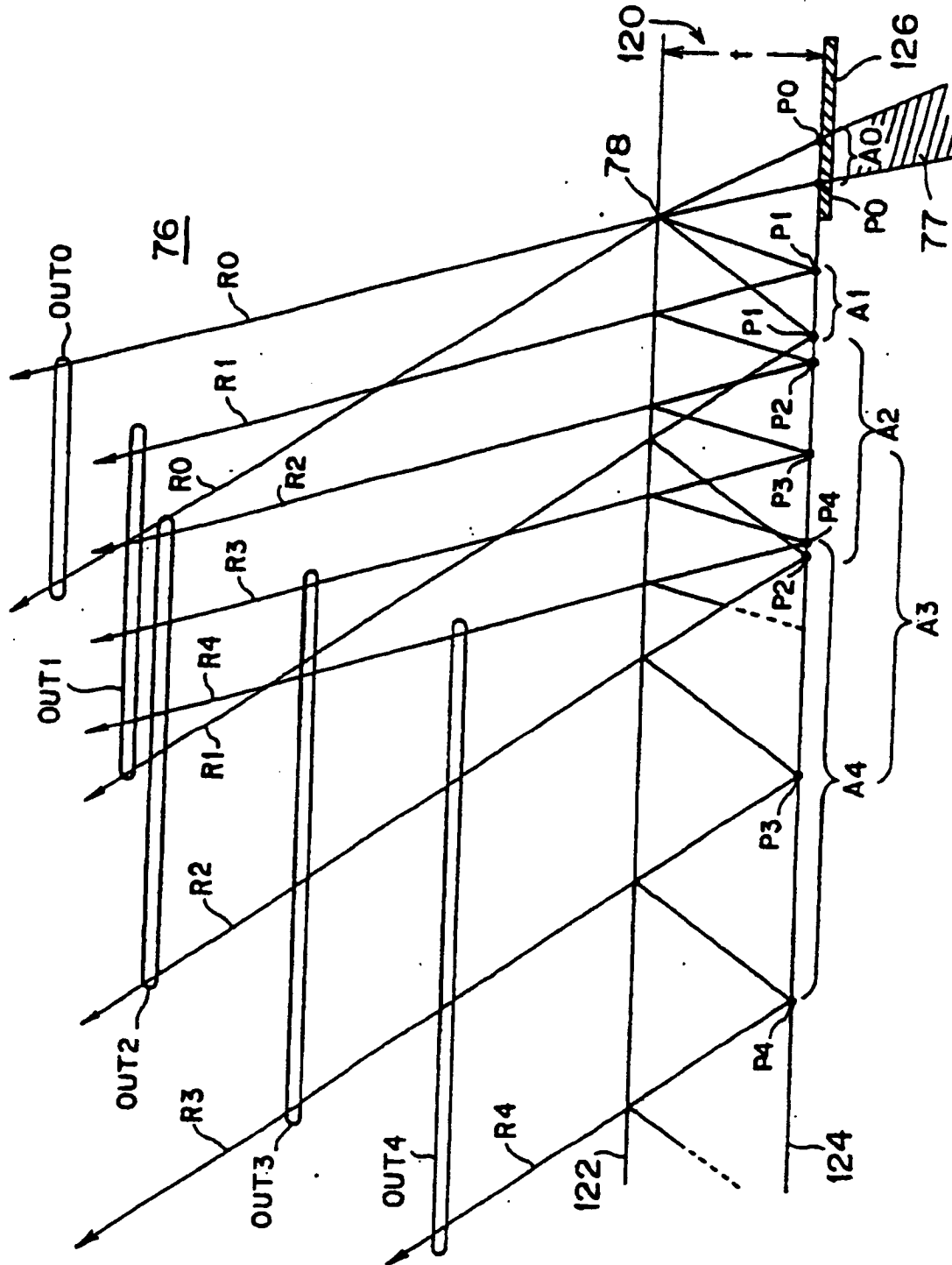


FIG. 8

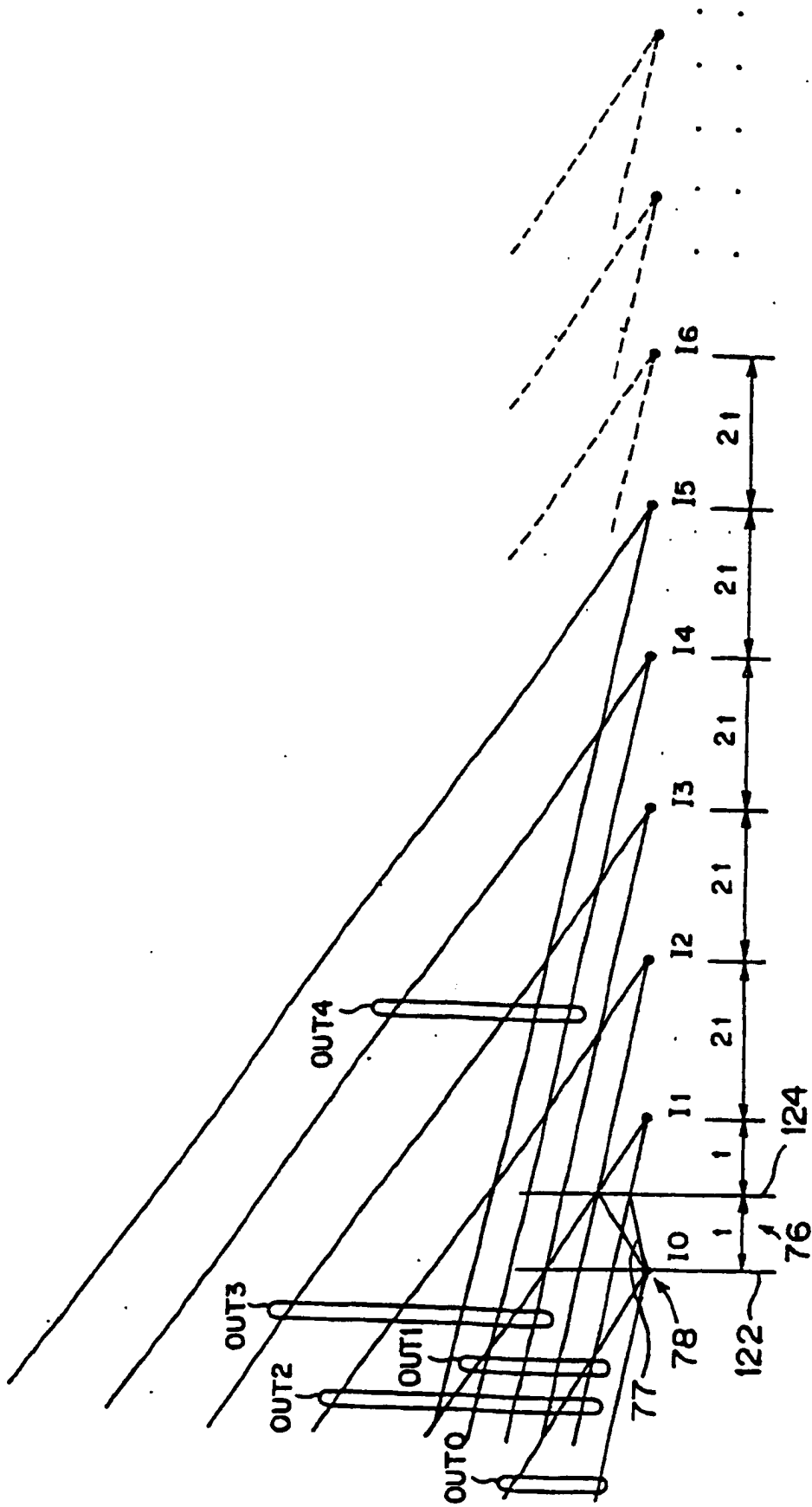


FIG. 9

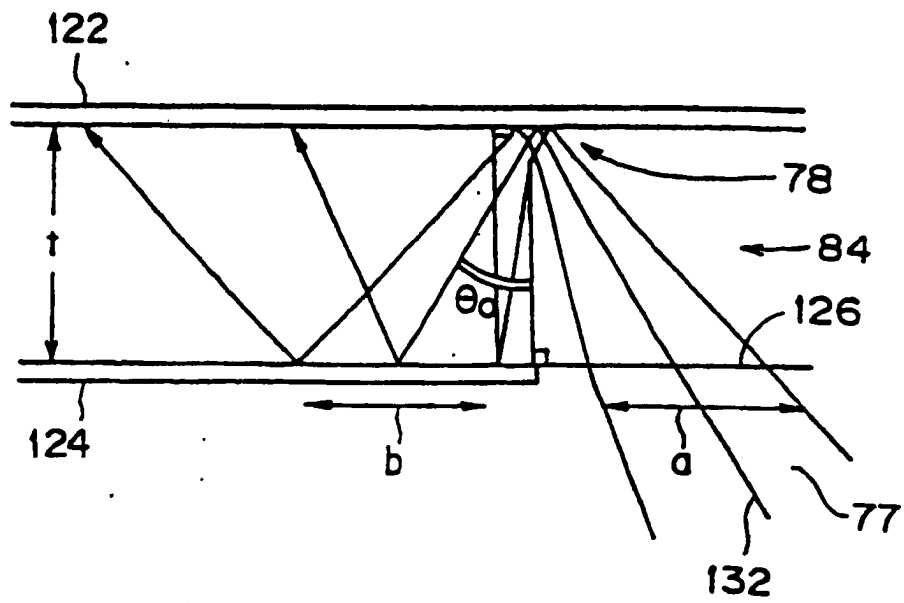
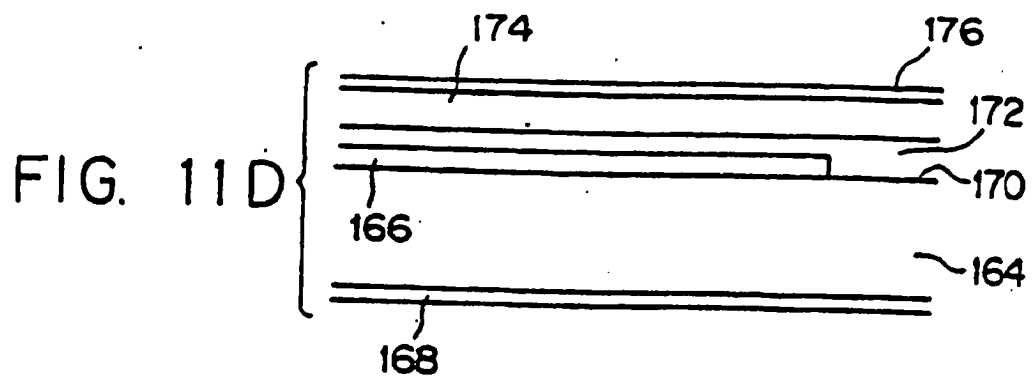
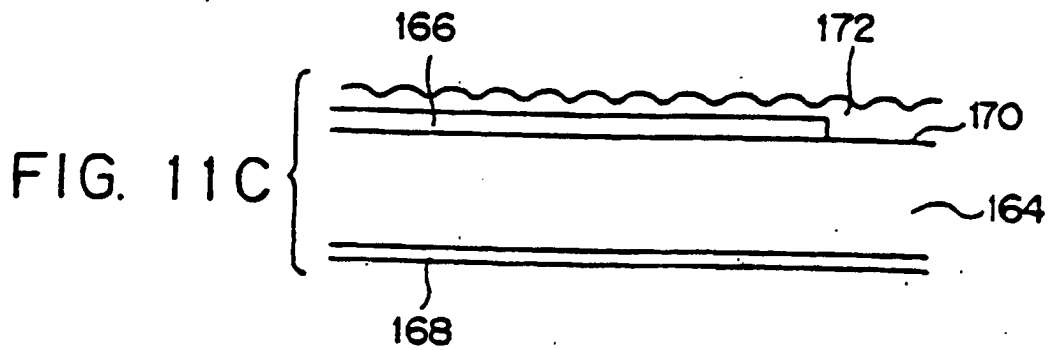
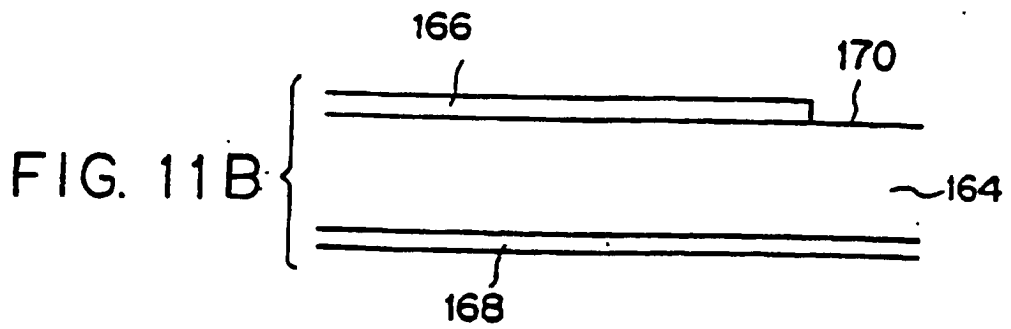
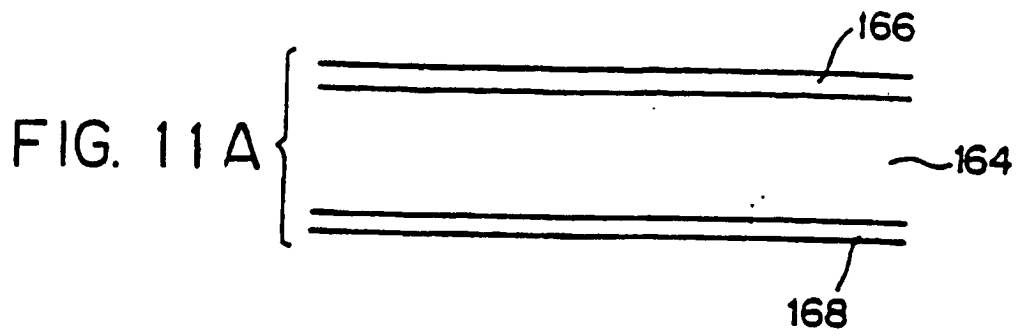


FIG. 10



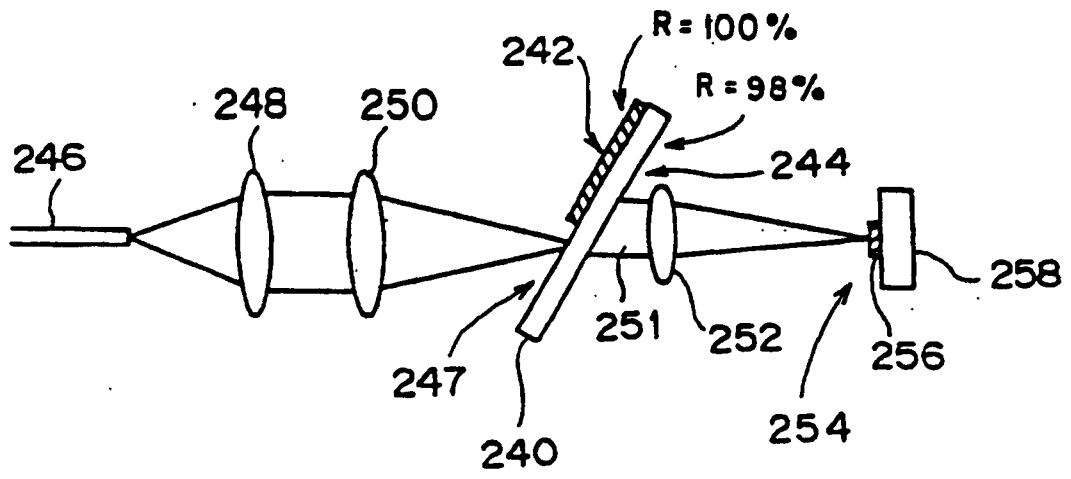


FIG. 12

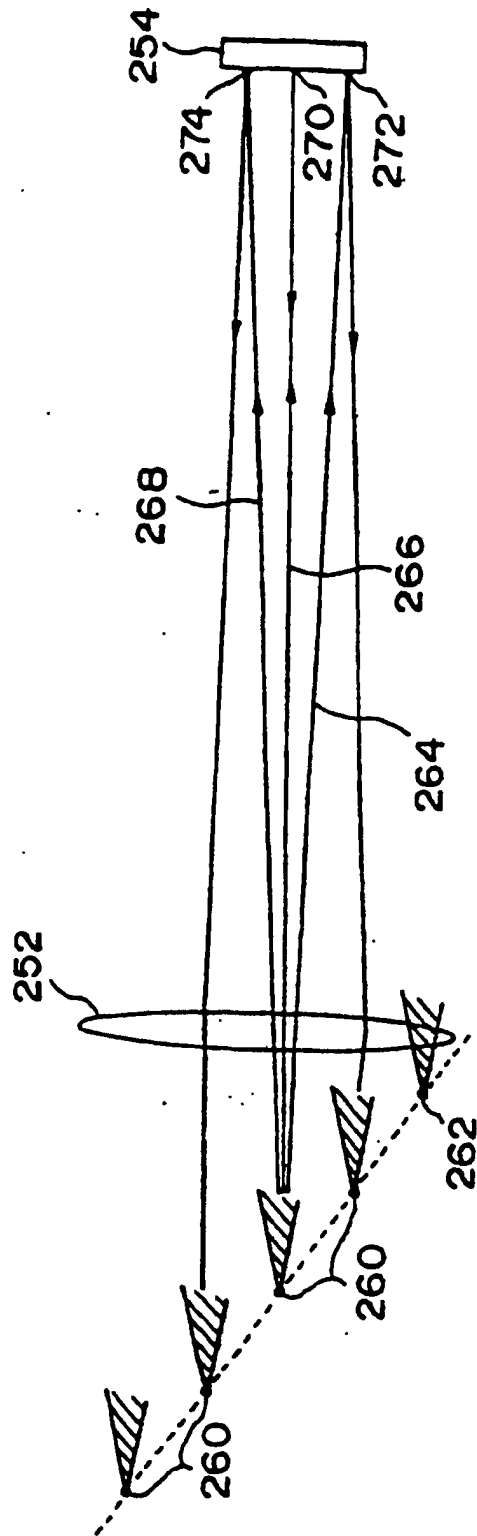


FIG. 13

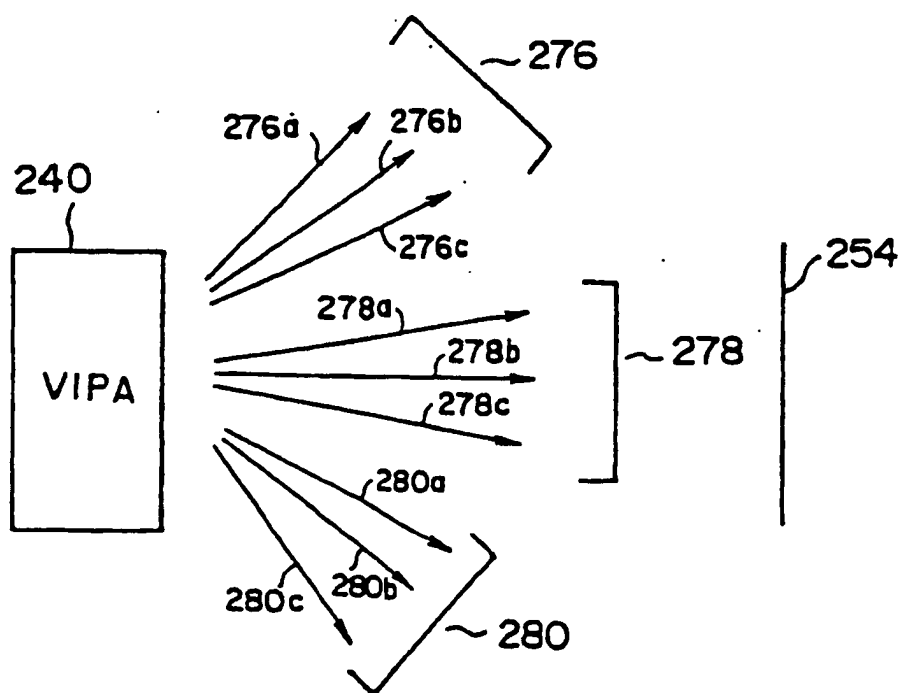


FIG. 14

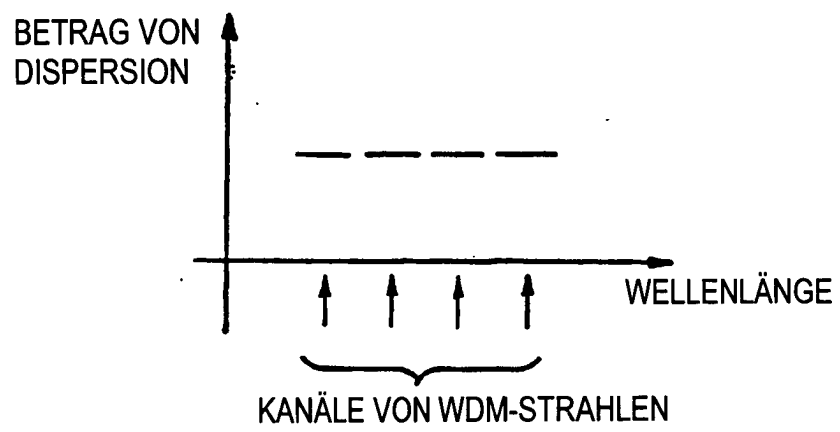


FIG. 15



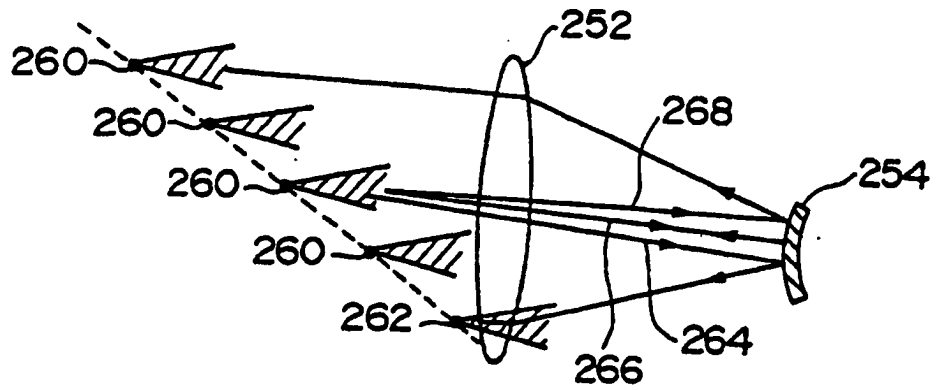


FIG. 16A

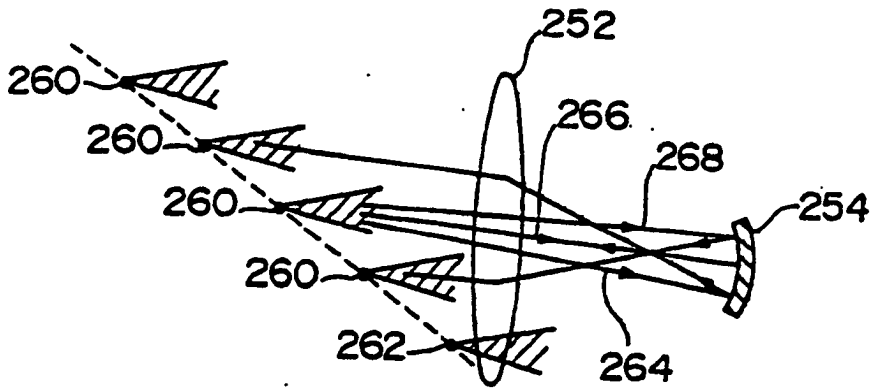


FIG. 16B

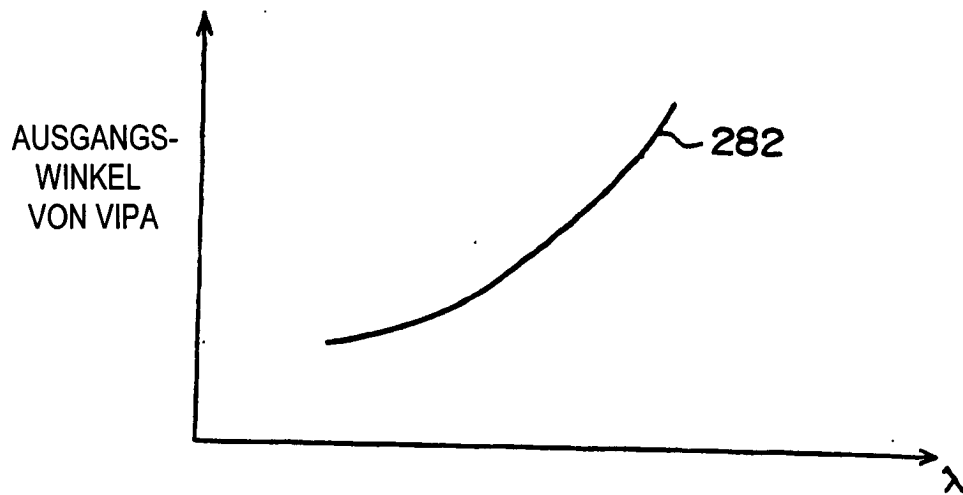


FIG. 17

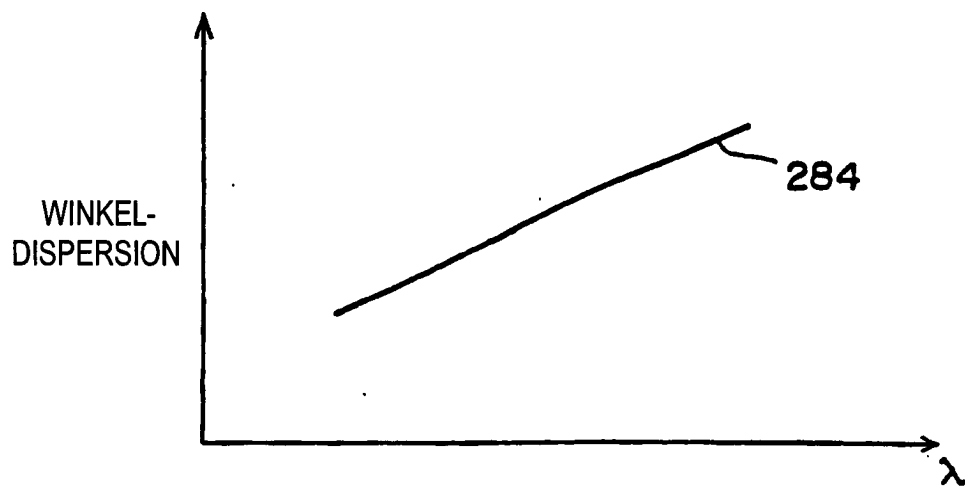


FIG. 18

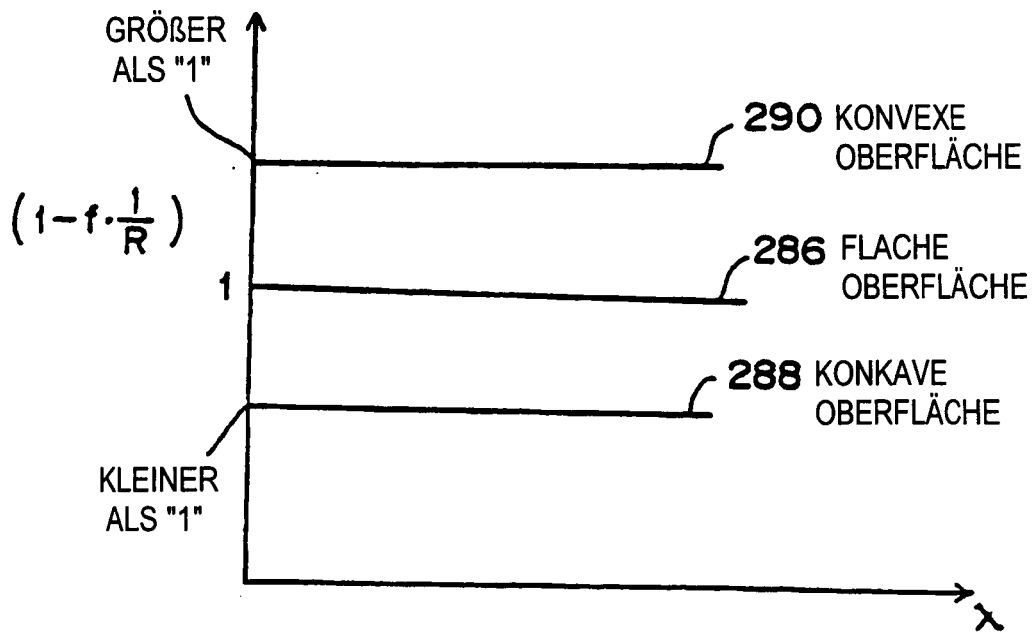


FIG. 19

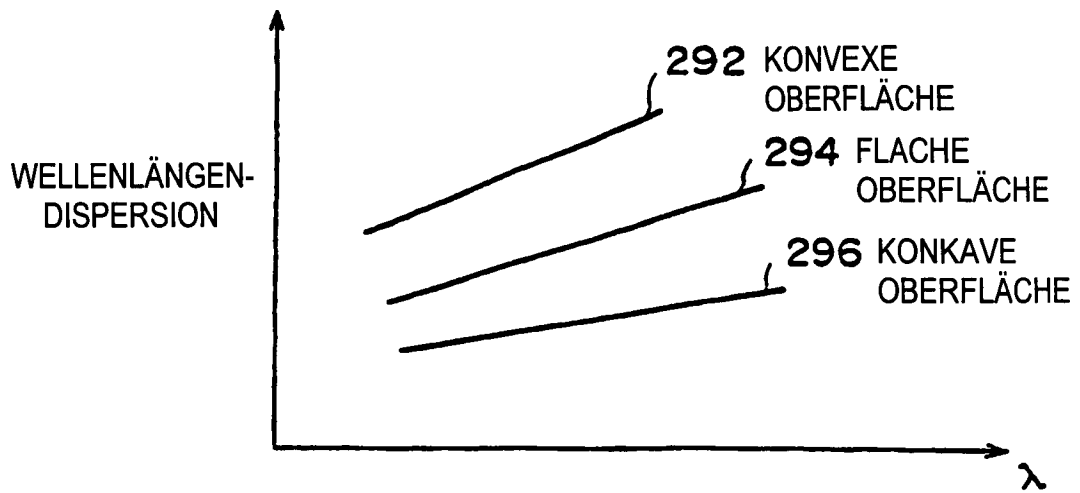


FIG. 20

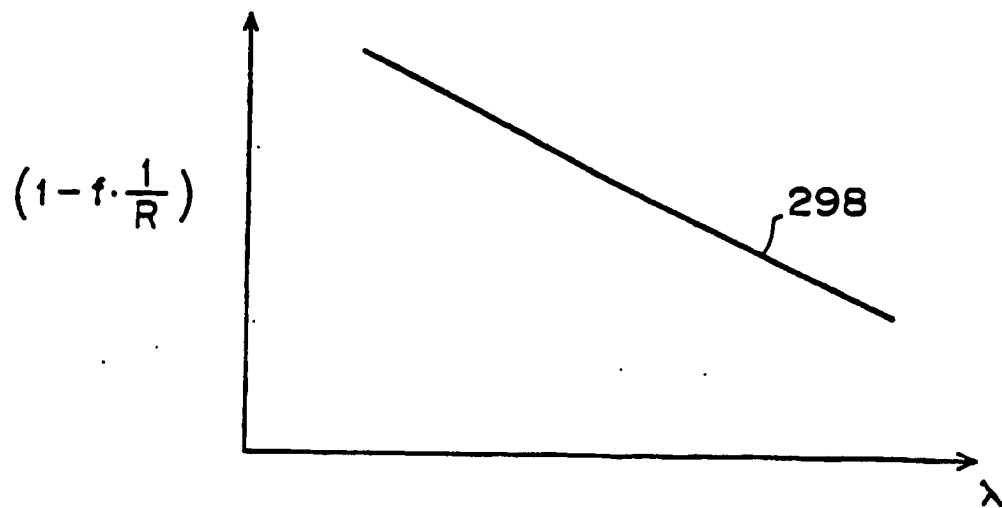


FIG. 21

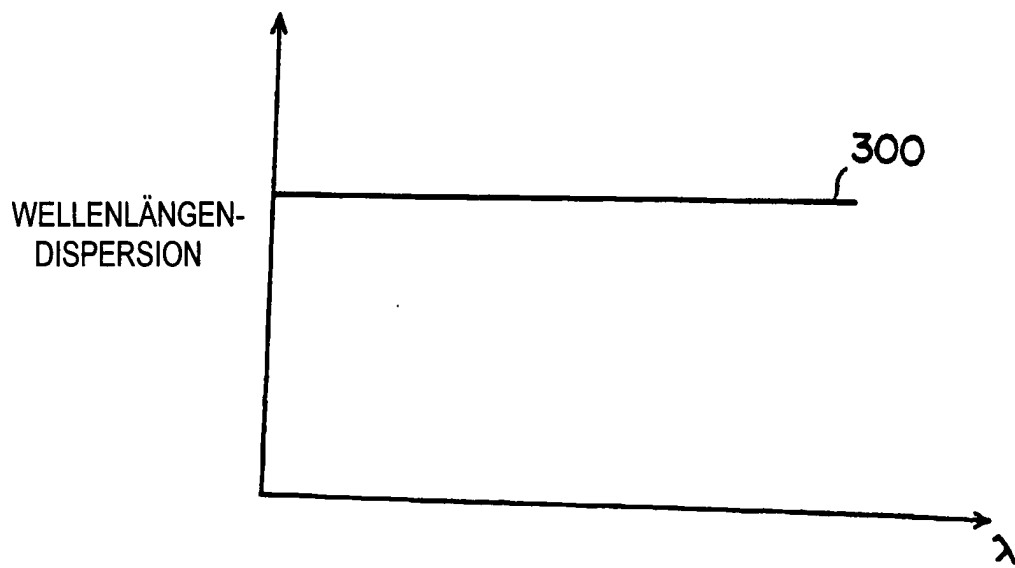


FIG. 22

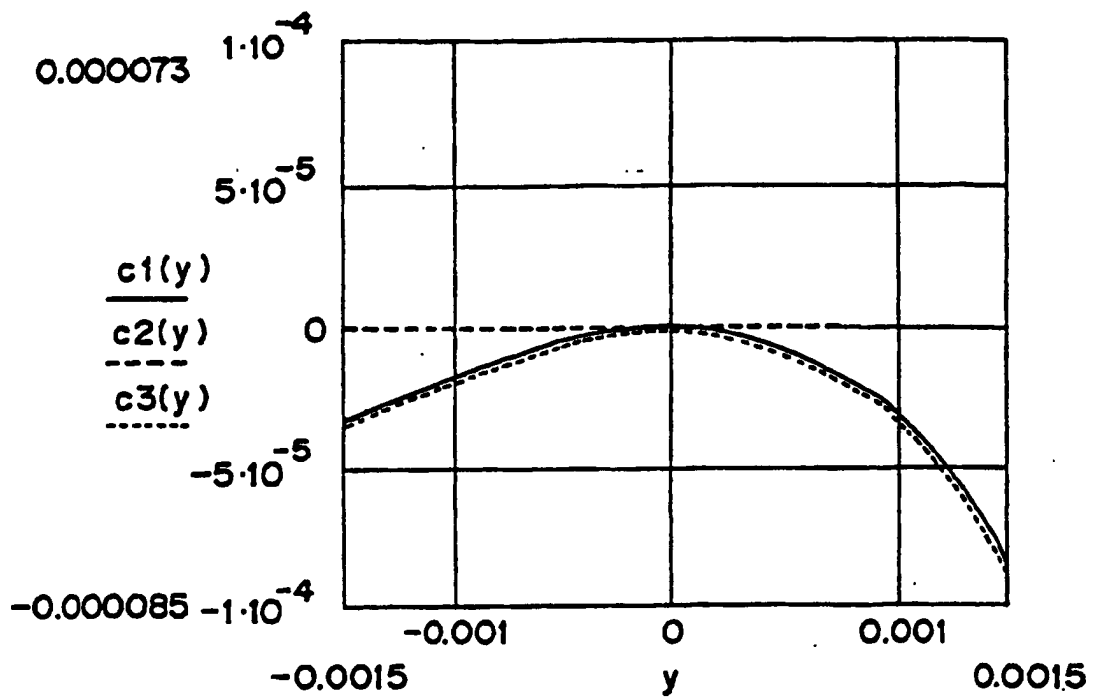


FIG. 23



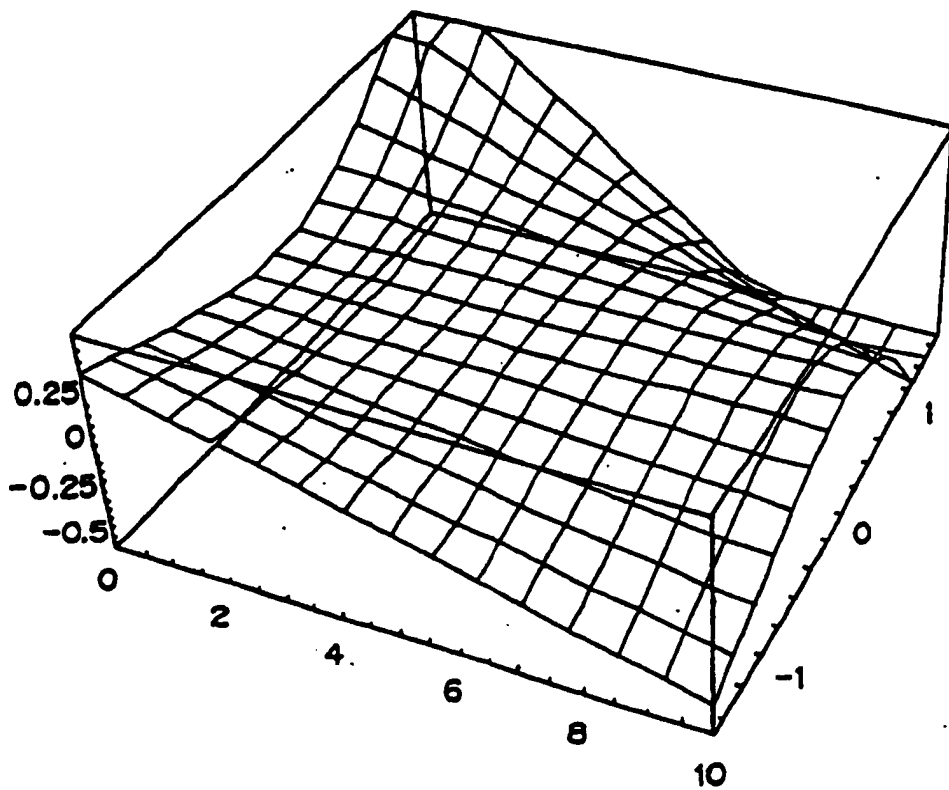


FIG. 24

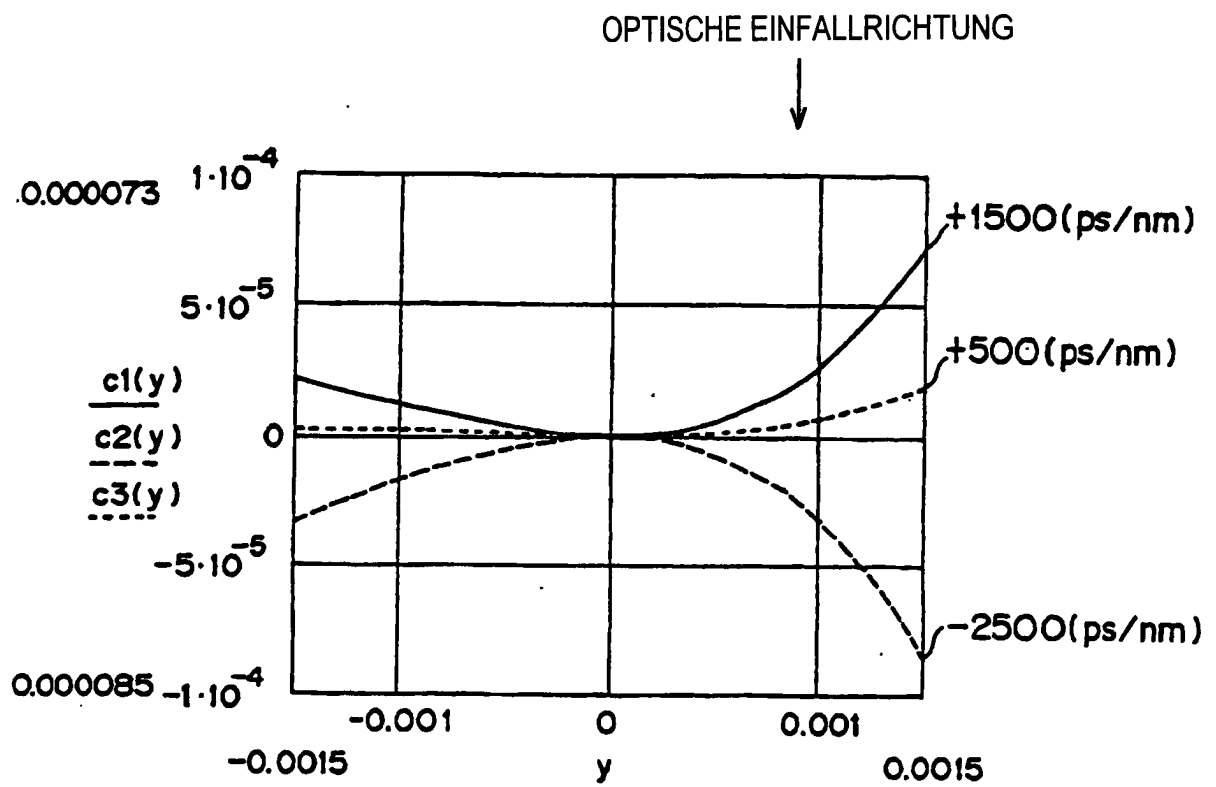


FIG. 25

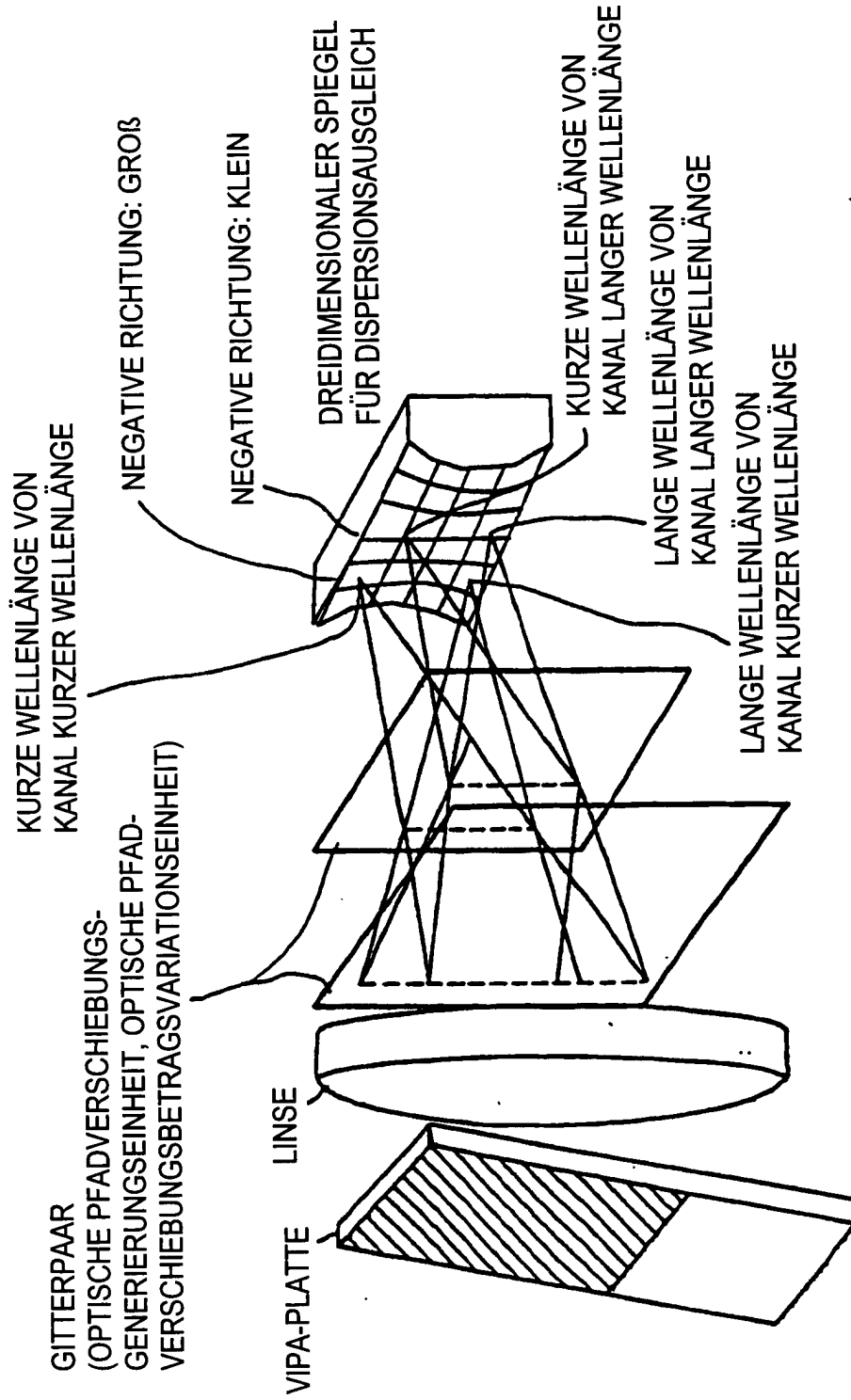


FIG. 26

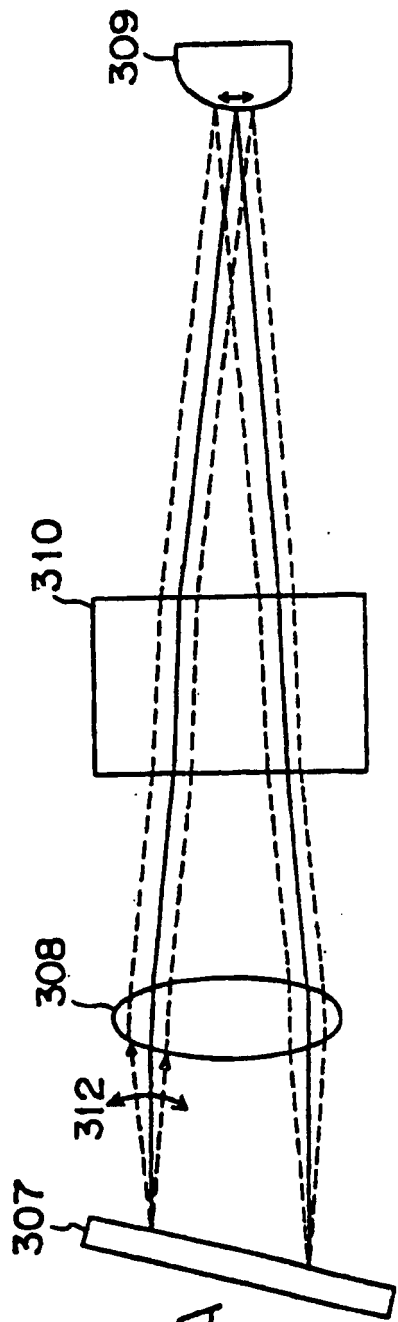


FIG. 27A

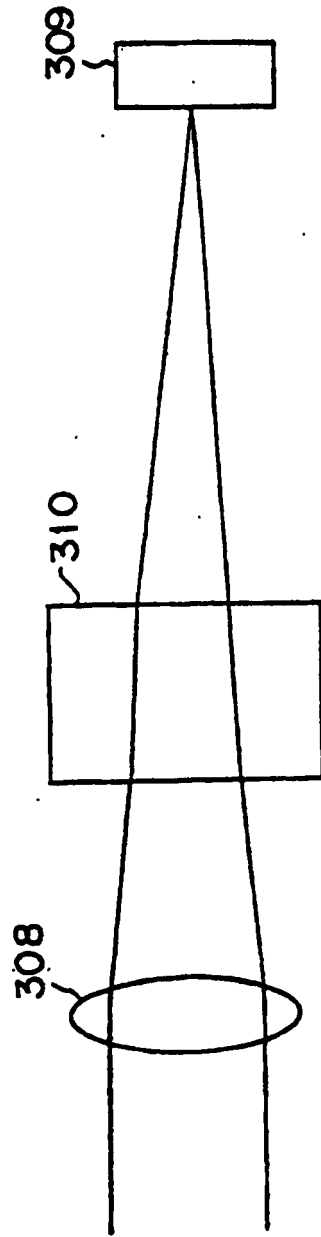


FIG. 27B

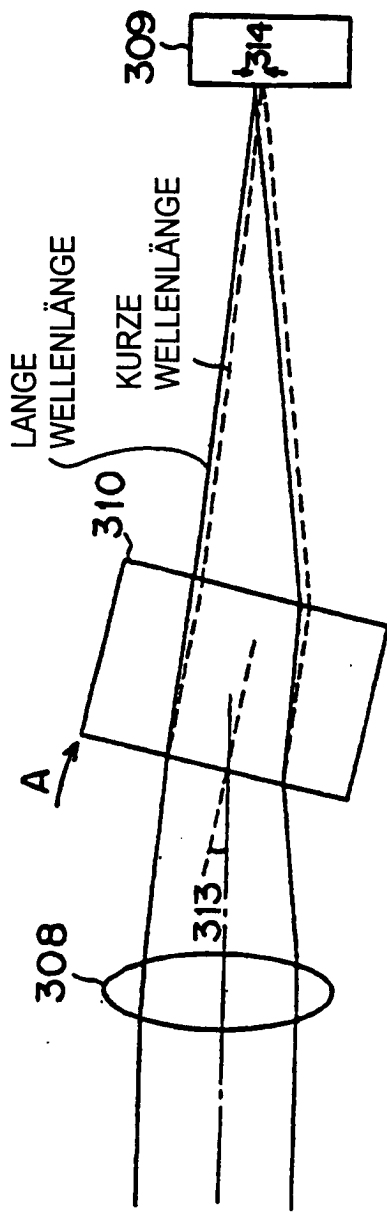


FIG. 28A

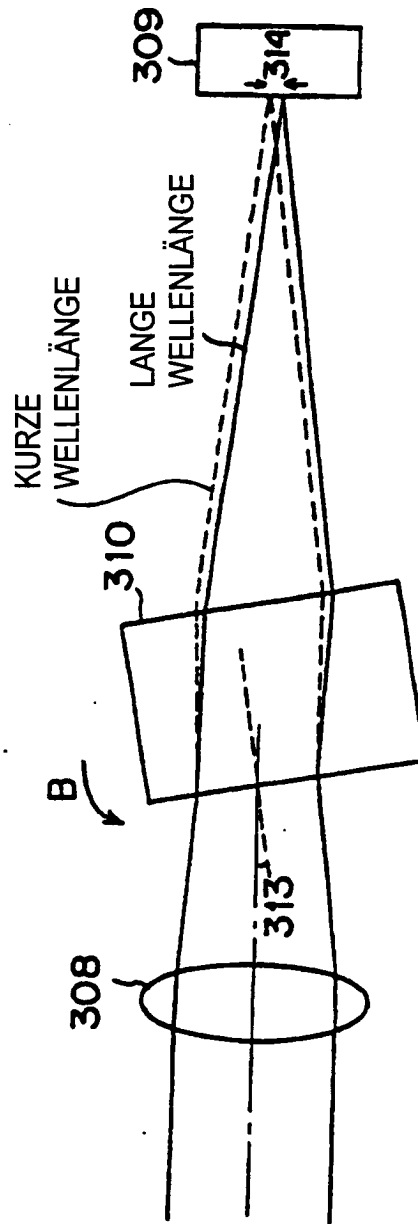


FIG. 28B

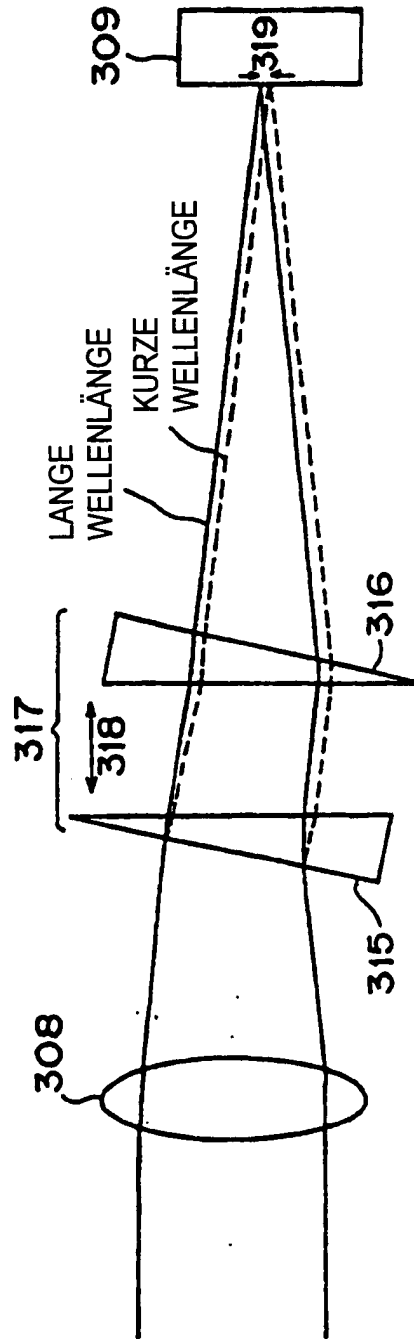


FIG. 29

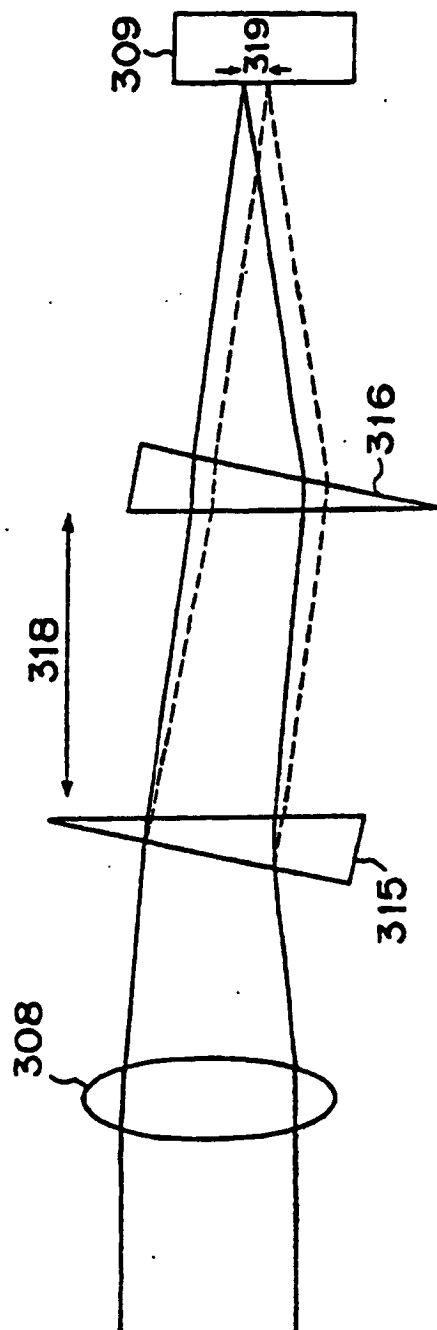


FIG. 30

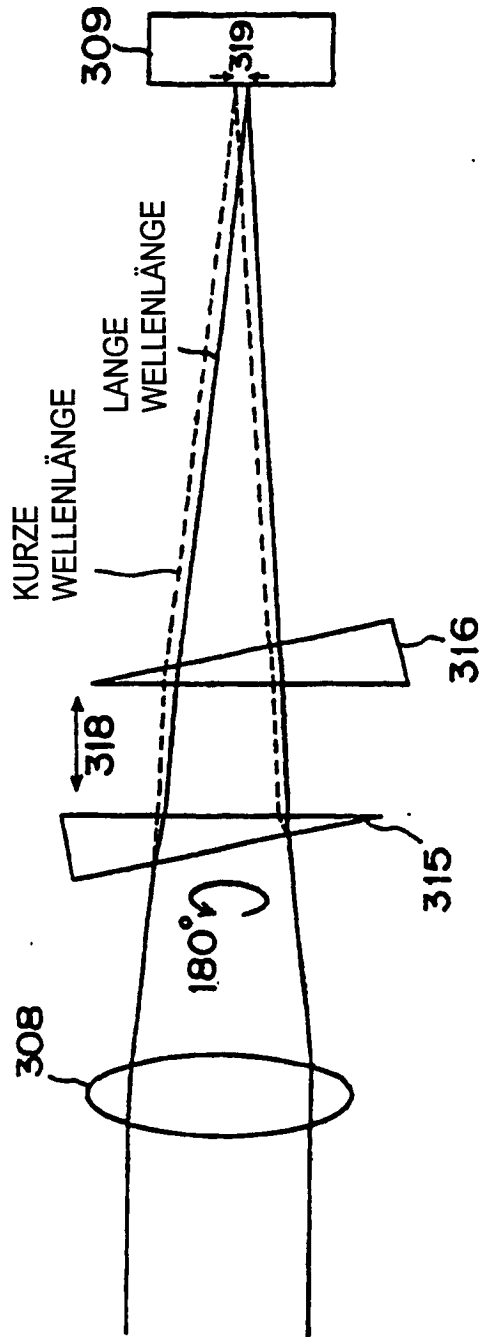


FIG. 31



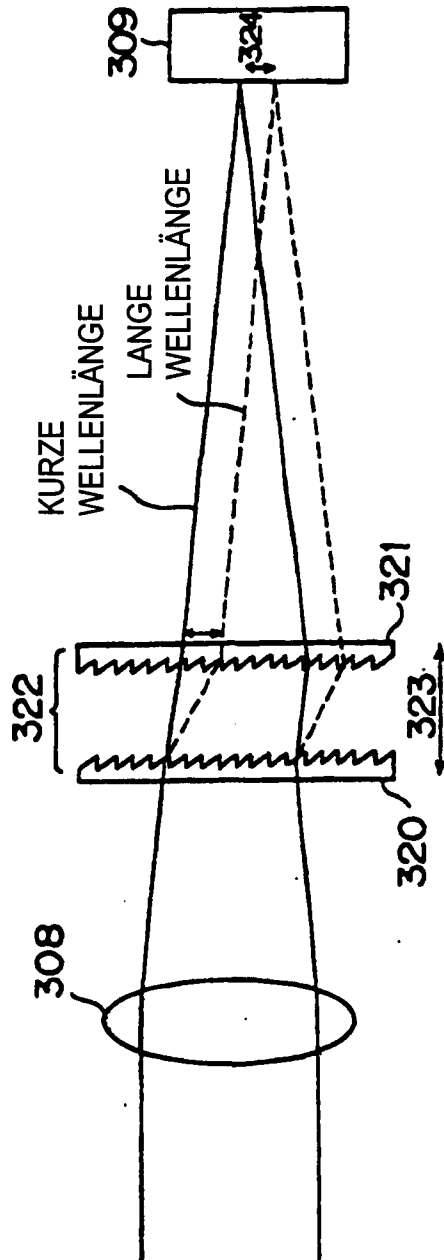


FIG. 32

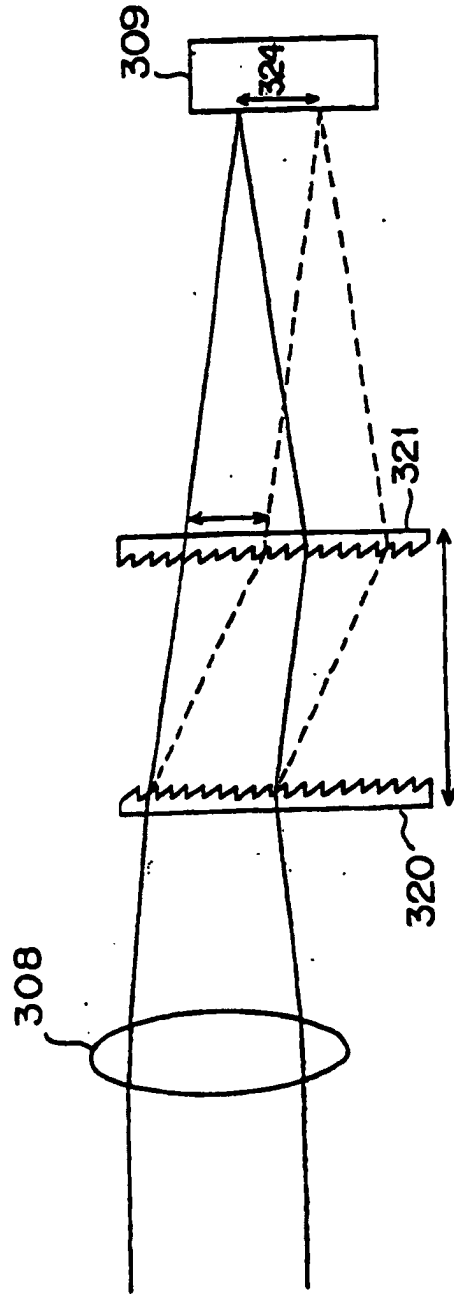


FIG. 33

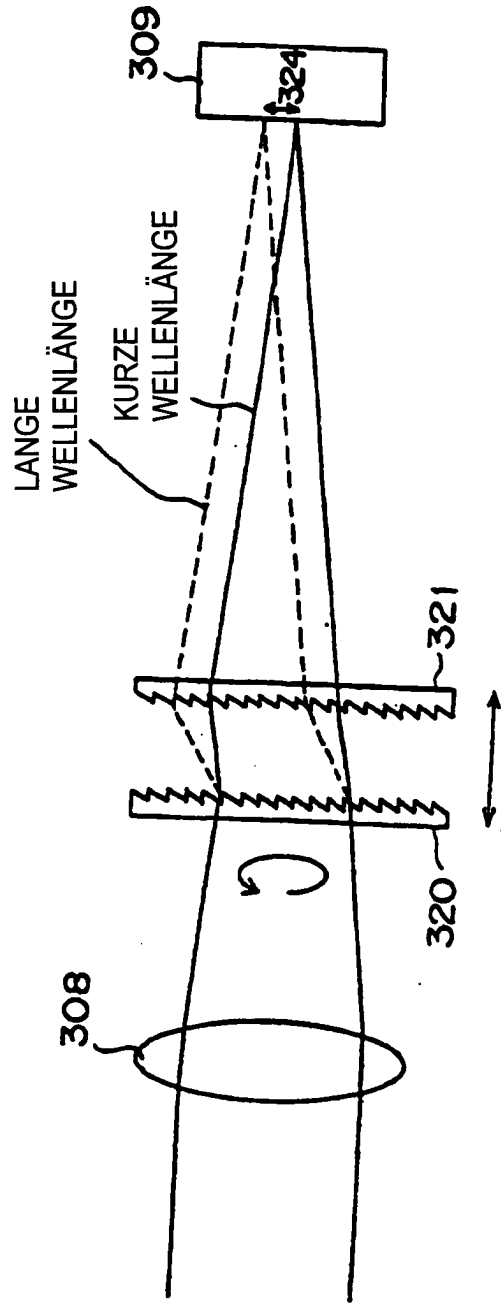


FIG. 34

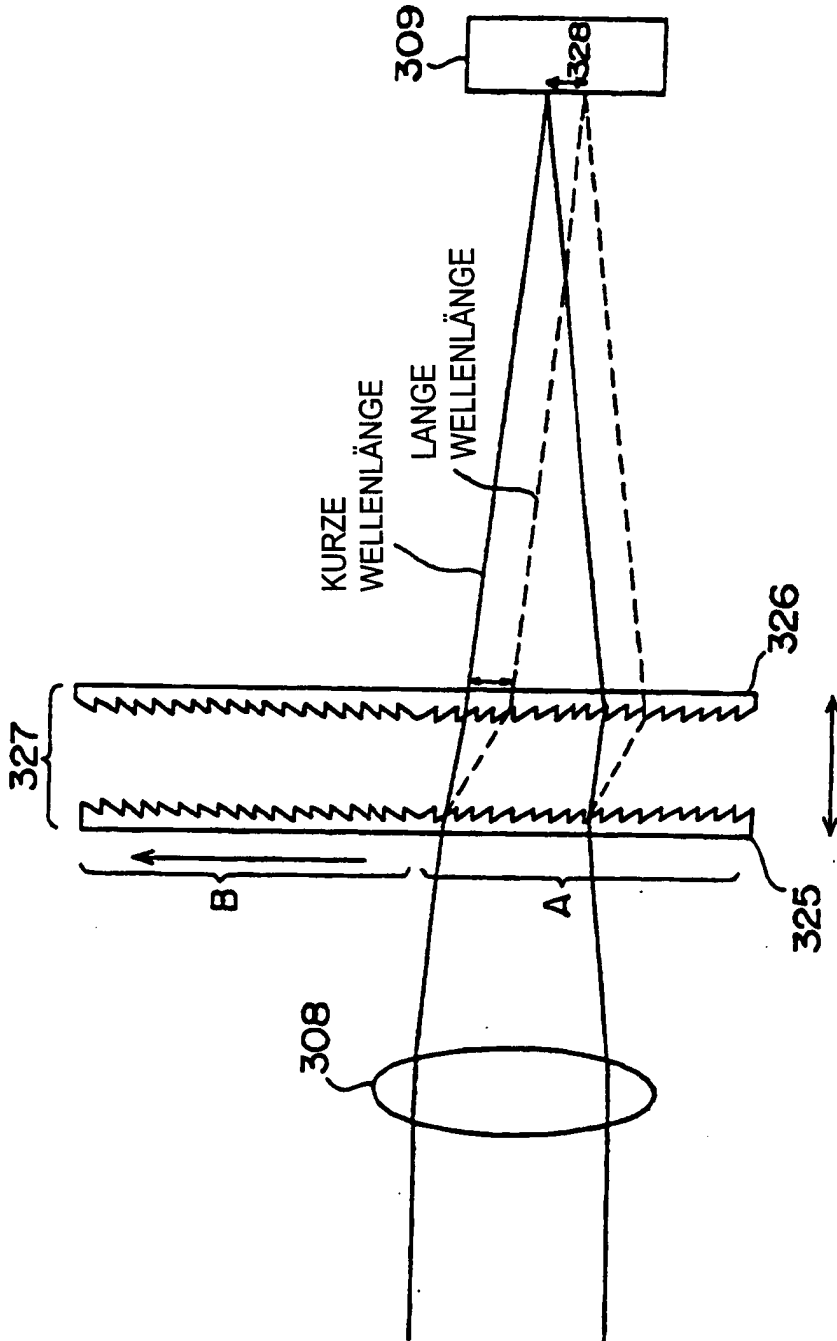


FIG. 35

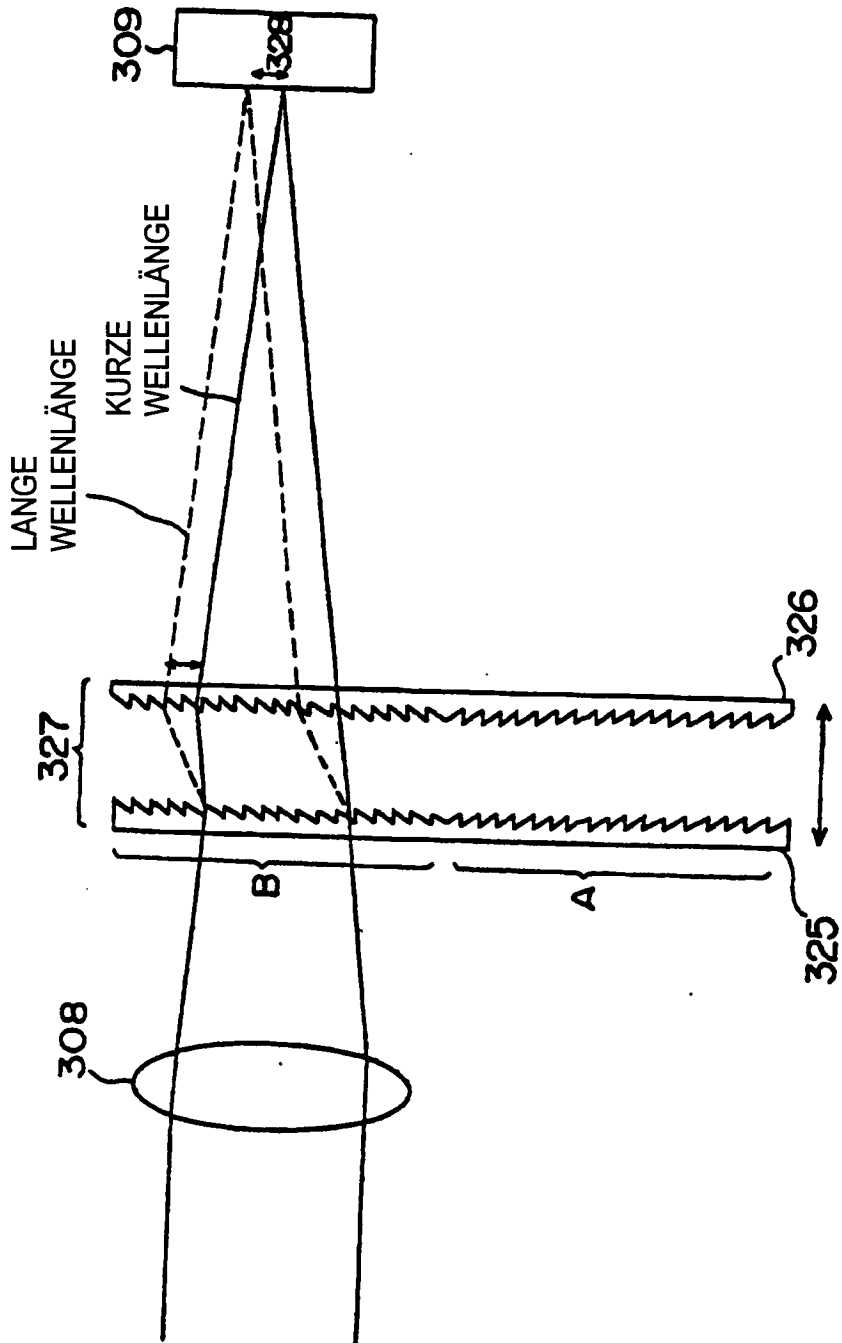


FIG. 36

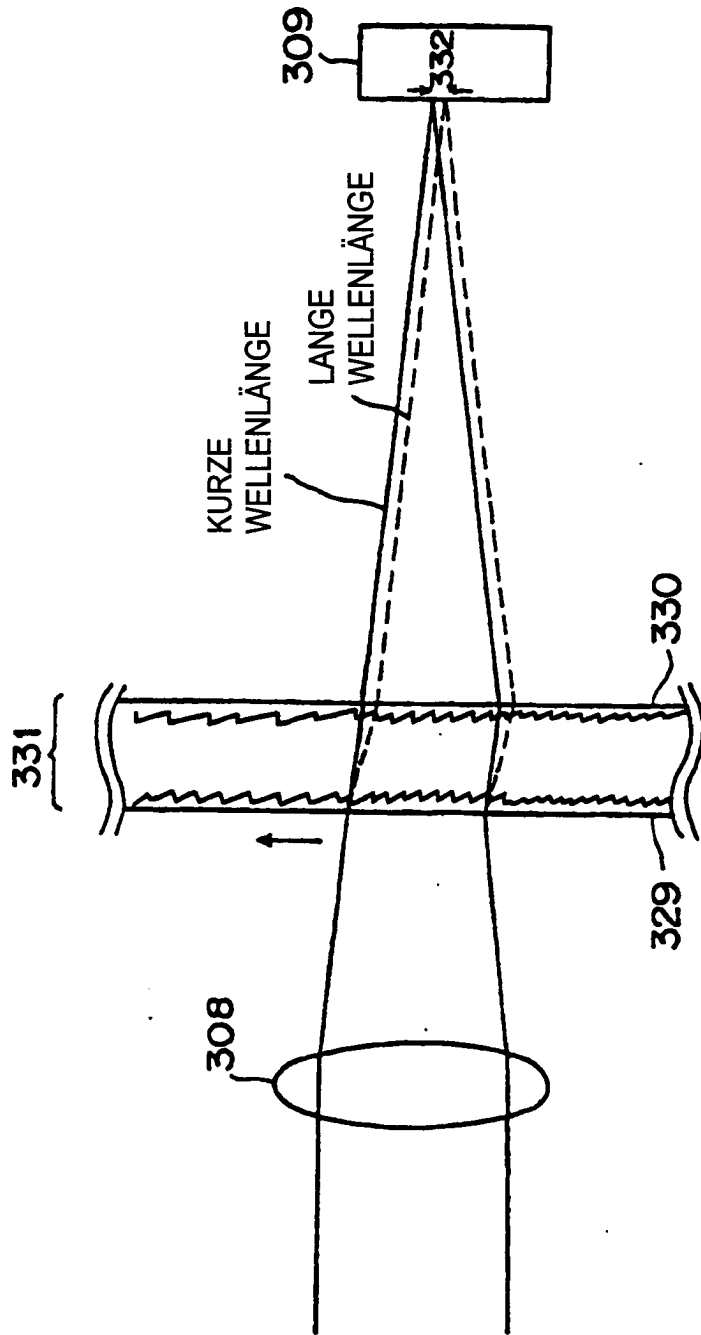


FIG. 37

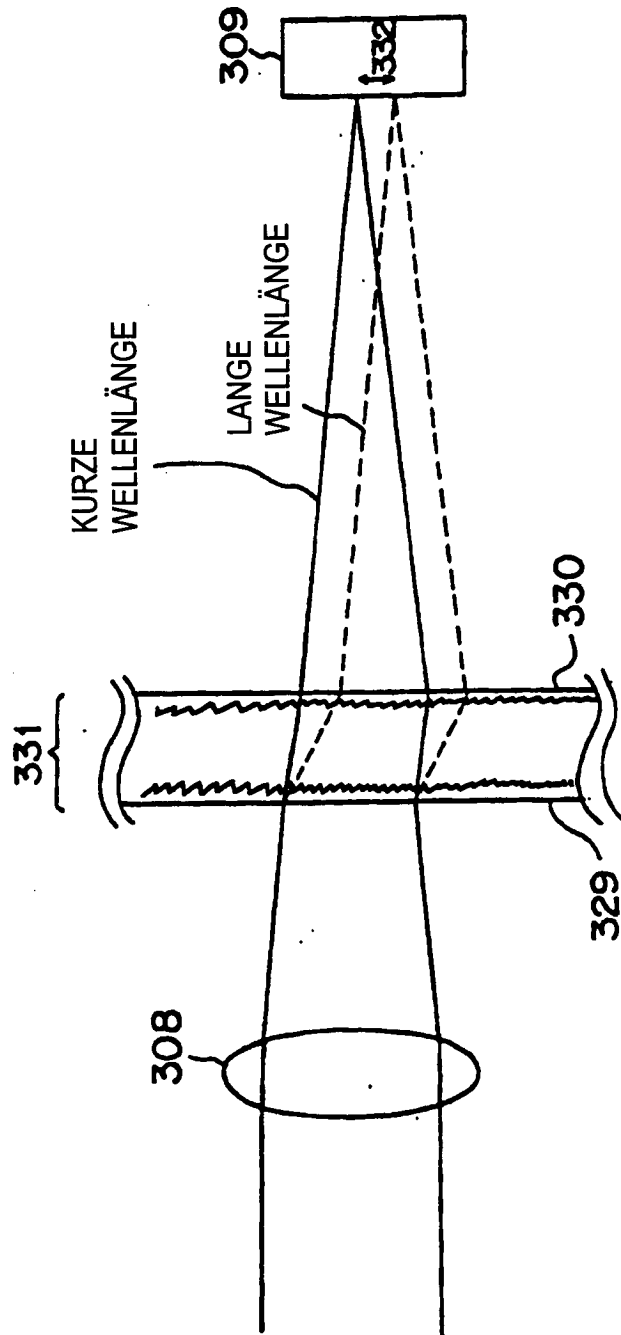


FIG. 38

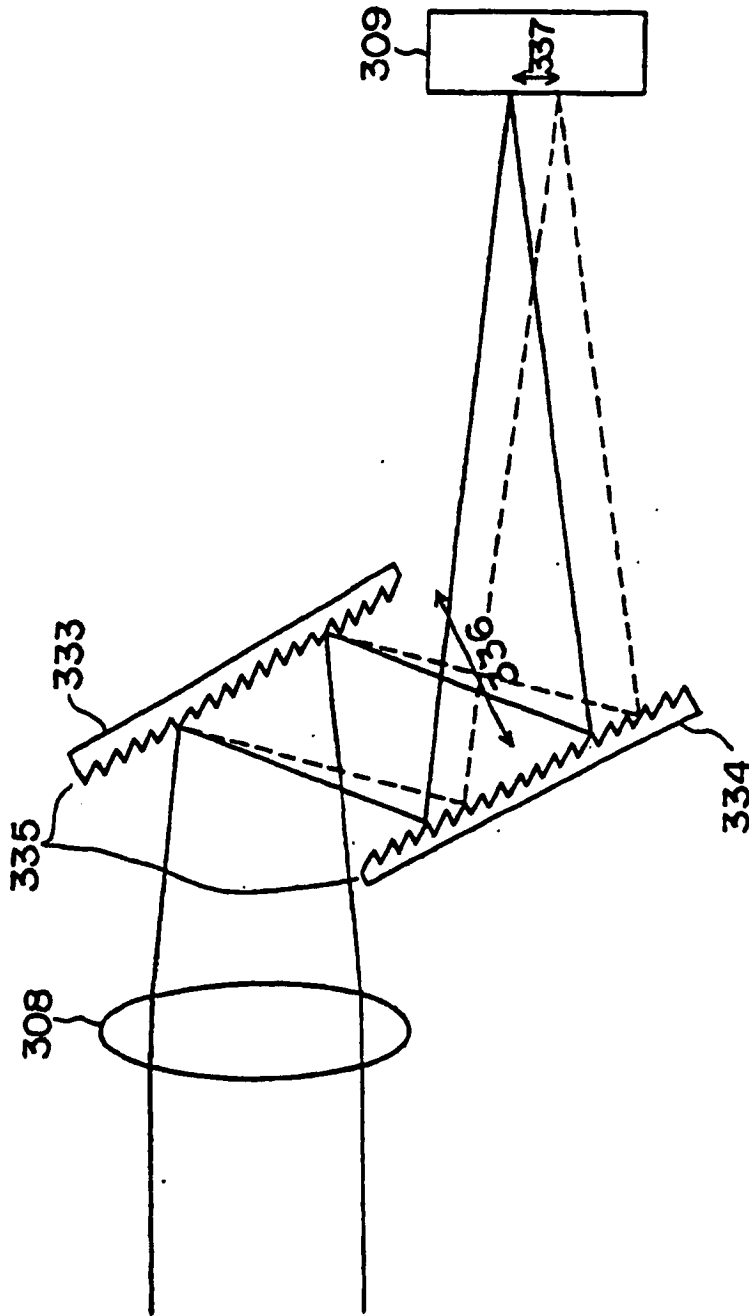


FIG. 39



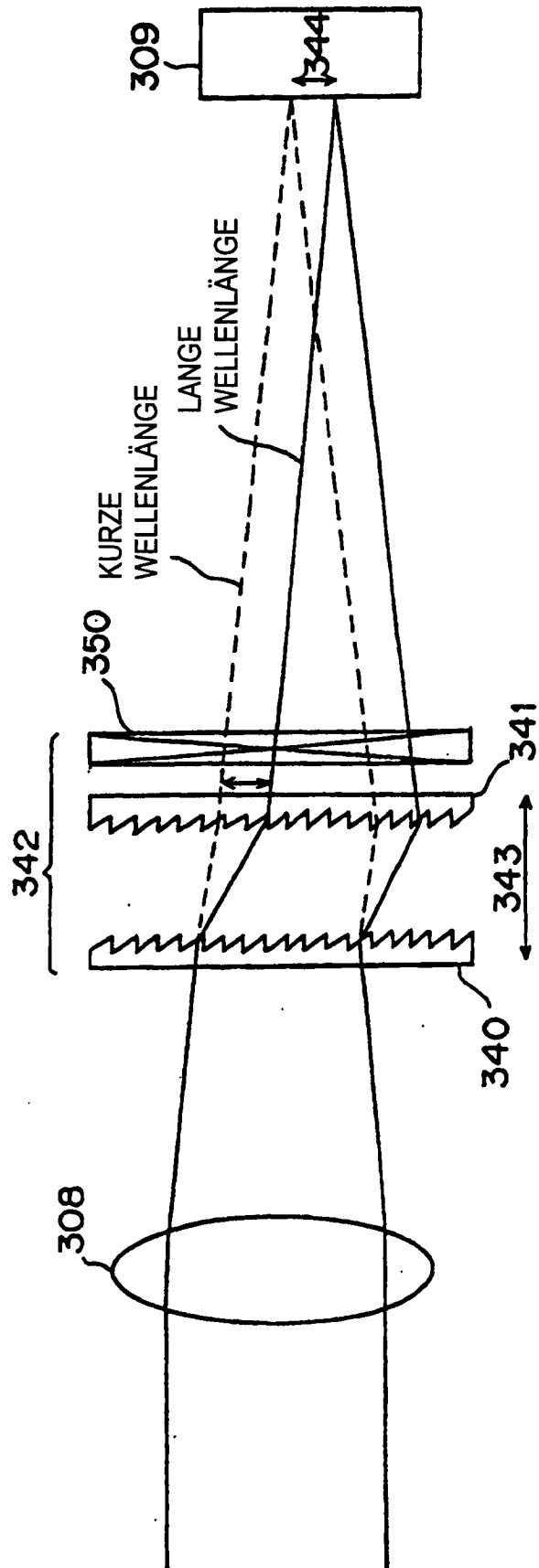


FIG. 40

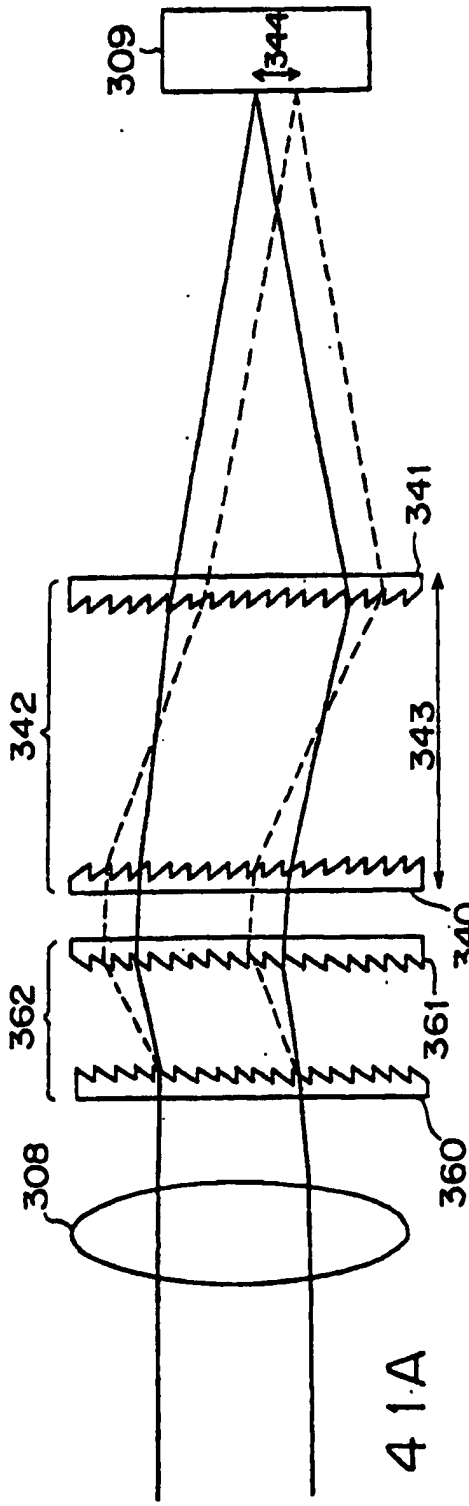


FIG. 41A

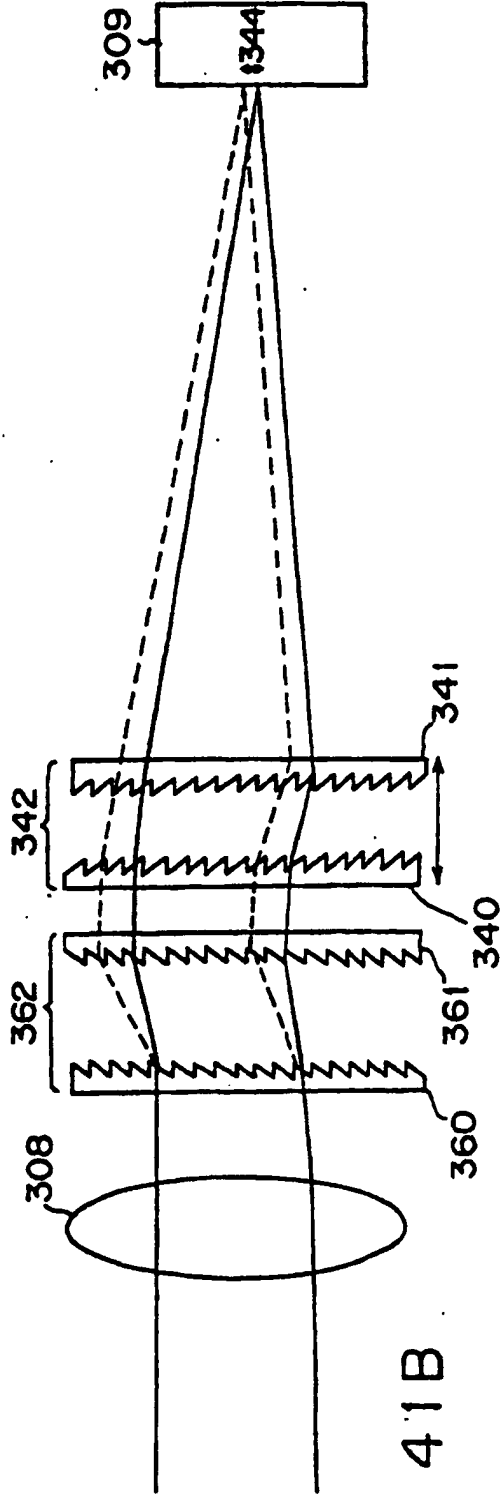


FIG. 41B

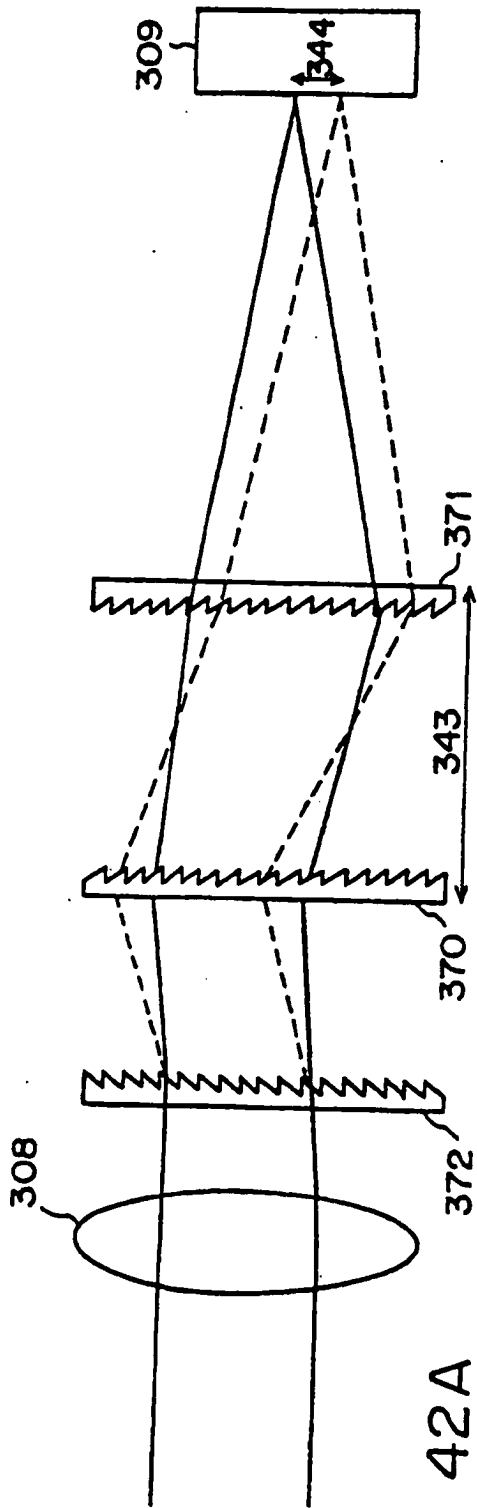


FIG. 42A

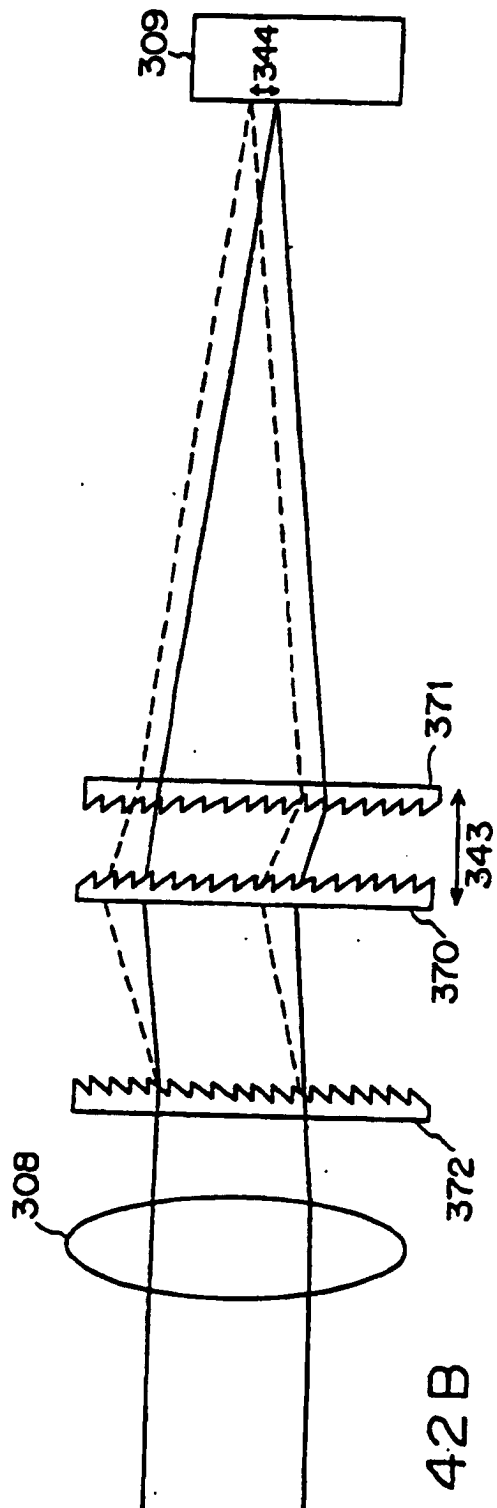


FIG. 42B

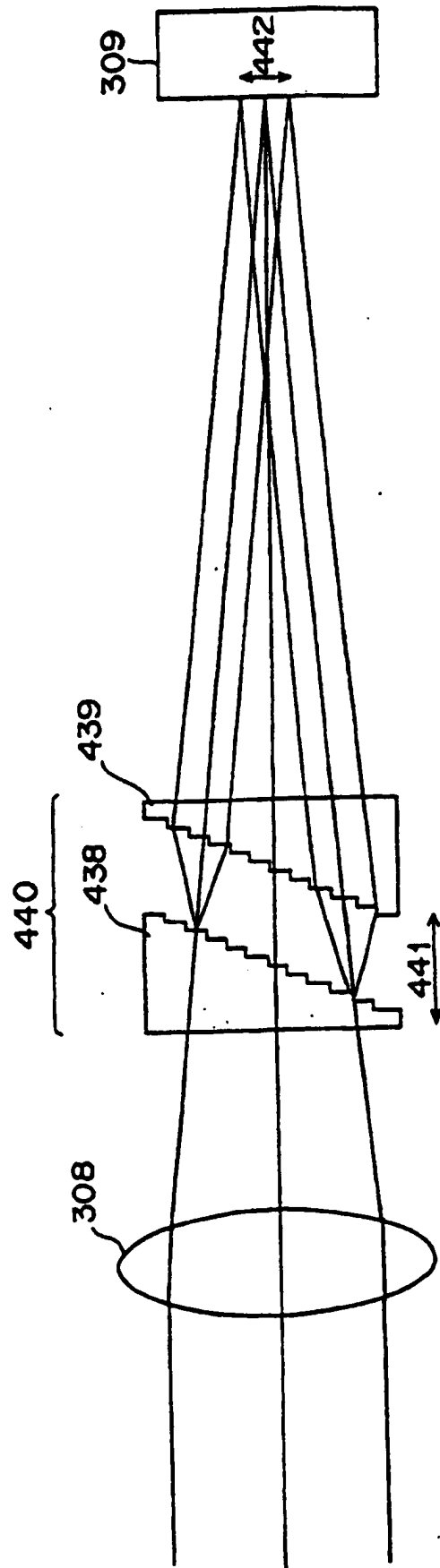


FIG. 43