



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 601 15 525 T2 2006.07.20

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 139 146 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 601 15 525.4

(96) Europäisches Aktenzeichen: 01 302 250.4

(96) Europäischer Anmeldetag: 12.03.2001

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 04.10.2001

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 07.12.2005

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 20.07.2006

(51) Int Cl.⁸: G02B 27/28 (2006.01)

G02B 6/34 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
532150 21.03.2000 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US

(72) Erfinder:
Damask, Jay N., Annapolis, Maryland 21403, US;
Doerr, Christopher Richard, Middletown, New Jersey 07748, US

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: **Polarisierendes doppelbrechendes Filter mit Doppeldurchgang**

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 eingelebt, 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**Erfindungsgebiet**

[0001] Die Erfindung betrifft allgemein doppeltbrechende Filter und insbesondere einen polarisationsdiversifizierten doppeltbrechenden Doppeldurchgangsfilter zum Trennen gerader und ungerader Kanäle eines Wellenlängenmultiplexierten Signals.

Allgemeiner Stand der Technik

[0002] Der doppeltbrechende Filter wurde zuerst von Astronomen um die Jahrhundertwende entwickelt, so daß sie Himmelsbeobachtungen der Sonne durch ein schmalbandiges Spektral Fenster anstellen konnten. Die klassischen Referate über diese Filter wurde von Lyot [1] Evans [2] und Solc [3] geschrieben. (Man beachte in dieser Patentschrift, daß eine Referenz auf ein anderes Dokument durch eine Zahl in Klammern bezeichnet ist, um seine Stelle in einer Liste von Literaturstellen zu identifizieren, die sich im Anhang findet). Im Jahre 1965 veröffentlichten Harris et al. [4] ein Verfahren zur Filtersynthese für den doppeltbrechenden Filter. In den späten 1980ern brachte Bührer [5] den doppeltbrechenden Filter in die optische Kommunikationswelt, als er einen derartigen Filter demonstrierte, der für optisches Wellenlängenmultiplexieren und -demultiplexieren ausgelegt ist.

[0003] Die von Lyot, Evans und Solc gebauten Filter, [Fig. 1a](#), verwendeten Polarisatoren, die vor und hinter dem eigentlichen doppeltbrechenden Filter plaziert waren, um einen Polarisationszustand am Eingang zu isolieren und dann den Polarisationszustand am Ausgang des Filters zu unterscheiden. Dies war für ihre Anwendung ausreichend, da die Sonne eine intensive Quelle ist und die Polarisation des Lichts von der Sonne vollständig zufällig ist.

[0004] In den späten 1980ern erkannte Bührer, daß die Verwendung von Eingangs- und Ausgangspolarisatoren einen übermäßigen polarisationsabhängigen Verlust erzeugte und deshalb für Telekommunikationsanwendungen ungeeignet war. Er erstellte deshalb ein Verfahren zur Polarisationsdiversität. Es wurden neue Eingangs- und Ausgangsstufen vorgeschlagen, damit der doppeltbrechende Filter gleichzeitig zwei orthogonale Polarisationen verarbeiten kann und damit der Ausgang des Filters an zwei komplementäre Ports gekoppelt werden kann. Bei seinem Verfahren gibt es ungeachtet der Polarisation keinen Lichtverlust. Bührers US-Patent 4,987,567 [6] beschreibt weiterhin die Verwendung eines doppeltbrechenden Filters als einen optischen Signalmultiplexer/-demultiplexer. Aus US 5,912,748 ist eine auseinandergefaltete Demultiplexeranordnung bekannt. US 5,724,165 offenbart eine Umlaufvorrichtung, die für das Strahlfalten verwendet wird.

[0005] Die vorliegende Erfindung stellt zwei prinzipielle hauptsächliche Verbesserungen an dem Bührer-Verfahren an. Zuerst werden verbesserte Eingangs- und Ausgangspolarisationsdiversitätsvorrichtungen offenbart, um die zu ersetzen, die von Bührer erfunden wurden. Zweitens wird die Architektur des hier offenbarten Filters auf kompakte Weise gefaltet, um einen einfachen Doppeldurchgangsfilter herzustellen. Dies ist gegenüber dem Bührer-Patent sowohl getrennt als auch erfindungsgemäß.

Kurze Darstellung der Erfindung

[0006] Der hier offenbarte doppeltbrechende Doppeldurchgangsfilter bietet eine verringerte Polarisationsempfindlichkeit und eine erhöhte Zurückweisung von Nebensprechern im Vergleich zu Designs nach dem Stand der Technik und bietet eine geringe Einfügungsdämpfung, einen hohen Kontrast und geringe chromatische Dispersion. Zudem bietet das Doppeldurchgangsdesign im Gegensatz zu einem Einfachdurchgangsdesign verbesserte Filterung gegenüber Designs nach dem Stand der Technik. Eine zentrale Anwendung des doppeltbrechenden Doppeldurchgangsfilters besteht in der Verwendung als ein Verschachtelungsfilter, um gerade und ungerade Kanäle eines wellenlängenmultiplexierten optischen Signals zu trennen.

[0007] Gemäß der vorliegenden Erfindung umfaßt eine doppeltbrechende Doppeldurchgangsvorrichtung eine externe Schnittstellenvorrichtung, die selbst veranschaulichend ein Strahlverschieberelement und ein Wellenplattenelement umfaßt; einen doppeltbrechenden Filter, der eine Reihe von mehreren doppeltbrechenden Wellenplatten umfaßt; und eine Umlaufenheit, die selbst veranschaulichend ein Strahlverschieberelement und einen Rückreflektor umfaßt. Als Reaktion auf einen an der externen Schnittstellenvorrichtung empfangenen Eingabestrahl bildet der Doppelpaßfilter zwei Ausgabestrahlen, die aus der externen Schnittstellenvorrichtung in einer der Eingabe entgegengesetzten Richtung austreten. Die Ausgabestrahlintensitäten variieren auf komplementäre Weise, so daß ihre Summenleistung gegenüber ihrer Eingabefrequenz invariant bleibt.

[0008] Insbesondere umfaßt der vorliegende periodische doppeltbrechende Doppeldurchgangsfilter: (1) eine externe Schnittstellenvorrichtung, um einen eingegebenen optischen Strahl zu empfangen und daraus erste und zweite polarisierte optische Strahlen, die parallel zueinander sind, die sich in der Vorförderrichtung ausbreiten, in einer ersten Richtung versetzt, und mit entsprechenden Linearpolarisationszuständen zu erzeugen, (2) eine doppeltbrechende Filervorrichtung, um den ersten und zweiten vorfördergerichteten optischen Strahl zu empfangen und daraus erste und zweite elliptisch polarisierte optische Strahlen zu erzeugen, wobei die Strahlen je-

weils komplementäre Intensitäten aufweisen, die über einen vordefinierten freien Spektralbereich periodisch mit der Frequenz des eingegebenen optischen Strahls variieren; (3) eine Umlaufvorrichtung zum weiteren Trennen des ersten und zweiten elliptisch polarisierten Strahls in einer zweiten Richtung in vier Strahlen, alle mit Linearpolarisationszuständen, und um die Richtung (im weiteren als die Rückwärtsrichtung bezeichnet) von allen vier linear polarisierten Strahlen umzukehren, damit sie die doppeltbrechende Filtervorrichtung wieder durchlaufen; wobei die freie Apertur der Filterplatten der doppeltbrechenden Filtervorrichtung groß genug ist, um sowohl die vorwärtsgerichteten als auch die rückwärtsgerichteten Strahlen aufzunehmen, (4) wobei die gleiche doppeltbrechende Filtervorrichtung aus den Rückwärtsgerichteten Strahlen vier elliptisch polarisierte optische Strahlen erzeugt, die jeweils erste und zweite orthogonale Strahlkomponenten enthalten; und (5) wobei die externe Schnittstellenvorrichtung eine freie Apertur aufweist, die groß genug ist, um (zusätzlich zu den beiden vorwärtsgerichteten Strahlen) alle vier rückwärtsgerichteten Strahlen aufzunehmen und daraus sechs parallele optische Strahlen zu erzeugen, von denen zwei im allgemeinen die beiden komplementären orthogonalen Polarisationskomponenten besitzen (wobei diese Strahlen gesammelt werden) und von denen vier im allgemeinen nur eine der beiden komplementären orthogonalen Polarisationskomponenten besitzen (diese Strahlen werden zurückgewiesen).

[0009] Bei der bevorzugten Ausführungsform enthält die externe Schnittstellenvorrichtung einen doppeltbrechenden Strahlverschieber und eine $\lambda/2$ -Wellenplatte, die versetzt ist, um nur die Hälfte der vorwärts- und rückwärtsgerichteten Strahlen zu schneiden; wobei die doppeltbrechende Filtervorrichtung eine oder mehrere doppeltbrechende Wellenplatten enthält, die so ausgelegt sind, daß die Dicke der Platten den freien Spektralbereich des Filters und die relative Azimutorientierung der einen oder der mehreren Platten die Form der Filterintensitätsantwort steuert; wobei die Umlaufvorrichtung einen doppeltbrechenden Strahlverschieber enthält, der bezüglich des in der externen Schnittstellenvorrichtung angeordneten doppelten Strahlverschiebers um 90 Grad um die Achse des einen oder der mehreren vorwärtsgerichteten optischen Strahlen gedreht ist, und einen Retroreflektorspiegel. Bei anderen Ausführungsformen kann ein rhombuspolarisierender Strahlteiler (PBS – polarizing beam splitter) für den doppeltbrechenden Strahlverschieber substituiert werden, und/oder ein rechtwinkliges Prisma kann für den Retroreflektorspiegel substituiert werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0010] In den Zeichnungen zeigen:

[0011] [Fig. 1a](#) eine Veranschaulichung eines kaskadierten doppeltbrechenden Filters nach dem Stand der Technik mit Eingangs- und Ausgangspolarisator, wie von frühen Astronomen verwendet;

[0012] [Fig. 1b](#) eine Veranschaulichung eines kaskadierten doppeltbrechenden Filters nach dem Stand der Technik;

[0013] [Fig. 2a](#) für den kaskadierten doppeltbrechenden Filter von [Fig. 1](#) das Ausgangspolarisationssignal bei den beiden linearen orthogonalen Achsen, v und η , als Reaktion auf ein linear polarisiertes Eingangssignal, und [Fig. 2](#) die relative Intensitätsvariation entlang der η - und v-Polarisationsachse mit der Frequenz;

[0014] [Fig. 3a](#) eine Darstellung eines doppeltbrechenden Filters nach dem Stand der Technik aus dem US-Patent 4,987,567, und [Fig. 3b](#) zeigt ein Stickdiagramm, das die relative Strahlintensität entlang der η - und v-Polarisationsachse an verschiedenen Stellen des Filters als Reaktion auf ein Eingangssignal darstellt;

[0015] [Fig. 4a](#) die vorliegende erfindungsgemäße Implementierung eines periodischen doppeltbrechenden Doppeldurchgangs-Slicer-Filters; [Fig. 4b](#) eine Substitution eines Rhombuspolarisation-Strahlteilers (PBS) für den Strahlverschieber von [Fig. 4a](#); und [Fig. 4c](#) eine Substitution eines Retroreflektorprismas für den Retroreflektor von [Fig. 4a](#);

[0016] [Fig. 5a](#) eine Draufsicht und eine Seitenansicht, die den Effekt auf einem einzelnen Eingabestrahl darstellen, wenn er den doppeltbrechenden Doppeldurchgangs-Slicer-Filter von [Fig. 4a](#) durchquert, und [Fig. 5b](#) ein Stickdiagramm, das die Strahlkomponentenorte veranschaulicht, wenn sie den doppeltbrechenden Doppeldurchgang-Slicer-Filter von [Fig. 4a](#) durchqueren; und

[0017] [Fig. 6](#) das Unterteilen eines wellenlängenmultiplexierten (WDM) Signals durch den vorliegenden doppeltbrechenden Doppeldurchgang-Slicer-Filter von [Fig. 4a](#).

Ausführliche Beschreibung

[0018] [Fig. 1a](#) ist eine Darstellung des ursprünglichen Typs eines kaskadierten doppeltbrechenden Filters. Eine polarisierende Eingangsfolie polarisiert das ankommende Licht linear. Die Kaskade doppeltbrechender Kristalle, als Wellenplatten geschnitten und orientiert, dreht den Polarisationszustand (SOP – state of polarization) als Funktion der Frequenz. Der Ausgangspolarisator unterscheidet wie gezeichnet die SOP-Leistung bei Projektion auf eine vertikale Achse von der auf die horizontale Achse projizierten. Auf diese Weise wird die Intensität des ausgegebe-

nen Lichts als Funktion der Frequenz moduliert. Es wird auch eine veranschaulichende Intensitäts-Frequenzantwort-Kennlinie gezeigt.

[0019] [Fig. 1b](#) ist eine Darstellung des gleichen ursprünglichen Filtertyps, aber ohne die Eingangs- und Ausgangspolarisatoren. Eine oder mehrere Platten aus doppeltbrechendem Filter **101**, als Wellenplatten geschnitten und orientiert, werden hintereinander angeordnet. Typische einachsige doppeltbrechende Materialien sind Glimmer, Calcit, Rutil, Yttrium-orthovanadat, alpha-Bariumborat und Lithiumniobat. Die Dicke jeder Platte L_0 – $4L_0$ ist entweder eine Einheitsdicke oder ein ganzzahliges Vielfaches der Einheitsdicke. Für einen freien 200 GHz-Spektralbereich des kaskadierten Filters bei 1,545 µm muß als Veranschaulichung die dünnste Platte etwa 8,8 mm sein, wenn sie mit Calcit hergestellt ist.

[0020] Ein einachsiger doppeltbrechender Kristall weist zwei senkrecht zueinander orientierte natürliche Brechungsindizes auf. Eine Achse wird als die schnelle Achse bezeichnet, während die andere Achse als die langsame Achse bezeichnet wird, wobei sich schnell und langsam auf den kleineren bzw. größeren Brechungsindex beziehen. Die Achsen der Platten sind so orientiert, daß die Ebene, die die schnelle und langsame Achse enthält, senkrecht zu dem Weg **102** des einfallenden optischen Strahls **103** verläuft. In dieser Orientierung wirkt der Kristall wie eine Wellenplatte. Die Azimutrotation, z.B., **104**, jeder Platte in **101** hängt von der Filtersyntheseprozedur ab, wie im Stand der Technik beschrieben. Mit einem linear polarisierten Eingangssignal **103** produziert ein oder mehrere einachsige doppeltbrechende Kristalle im allgemeinen ein elliptisch polarisiertes Ausgangssignal **105**. Eine fakultative Halbwellenplatte **106** am Ende der Kaskade dreht den Filterausgangspolarisationszustand (SOP) in die Achse der Ausgangsstufe (Ausgangsstufe hier nicht gezeigt).

[0021] [Fig. 2a](#) zeigt die Projektion eines Ausgangspolarisationszustands **105** von [Fig. 1](#) auf zwei lineare orthogonale Achsen v und η . Die Frequenzantwort des Filters manifestiert sich als die Unerteilung von Leistung auf zwei lineare orthogonale Polarisationsachsen v und η , die als die Ausgangs-„Ports“ der doppeltbrechenden Filter von [Fig. 1b](#) dienen.

[0022] Wie in [Fig. 2b](#) gezeigt, sind die relativen Strahlintensitäten entlang der v -Achse und den η -Achsen durch die Länge der Pfeile über den Frequenzantwortkurven angegeben. Der Filter von [Fig. 1](#) ist periodisch mit einem freien Spektralbereich (FSR) gleich dem FSR der dünnsten Platte L_0 in [Fig. 1](#). Wie gezeigt variieren die Intensität entlang der v - und η -Achsen auf komplementäre Weise derart, daß die Summe der beiden Intensitäten bei allen Frequenzen konstant bleibt. [Fig. 2b](#) veranschaulicht eine mögliche Filterantwort, wobei über ein erstes

Frequenzband (bei relativ 0 GHz zentriert) die Intensität auf der η -Achse nahe dem Maximum und die Intensität entlang der v -Achse in der Nähe des Minimums ist, während über ein zweites Frequenzband hinweg (bei relativ +/-100 GHz zentriert) die Intensität auf der η -Achse in der Nähe des Minimums und die Intensität entlang der v -Achse in der Nähe des Maximums liegt. Die Intensitätsantwort ist periodisch mit der Frequenz, und die Form der Antwort ist das Ergebnis der Filterplattenorientierungen **101**. Während eine Platte eine Kosinus-Quadrat-Antwort ergibt, kann eine Kaskade von Platten eine schärfere Filterkennlinie erzeugen.

[0023] Ein notwendiger Schritt, damit sich der doppeltbrechende Filter von [Fig. 1](#) als ein Verschachtelungsfilter für optische Telekommunikationsanwendungen eignet, besteht darin, ein Mittel zu konstruieren, um die optische Ausgangsleistung auf den beiden orthogonalen Polarisationsachsen, v und η , auf zwei unterschiedliche Ausgangsports aufzutrennen.

Polarisationsdiversität nach dem Stand der Technik

[0024] Die Ausdehnung des in [Fig. 1](#) dargestellten klassischen doppeltbrechenden Filters auf optische Kommunikationssysteme macht erforderlich, daß die Leistung an beiden Ausgangsports unabhängig ist von dem Polarisationszustand am Eingang. Die Frequenz allein muß der einzige Unterscheidungspunkt sein. Ein Mittel zur Polarisationsdiversität ist wesentlich. In dem US-Patent 4,987,567 [6] an Buhrer wird ein Mittel zur Polarisationsdiversität beschrieben, wobei eine am Eingang und Ausgang angeordnete Kombination aus Polarisationsstrahlteiler (PBS) und Spiegel verwendet wird, wie in [Fig. 3a](#) gezeigt. Der Eingangsstufen-PBS 1 und der Ausgangsstufen PBS 2 sind mit speziell ausgelegten polarisierenden Strahlteilern (PBS) hergestellt. Für diesen PBS werden anstelle der beiden herkömmlichen rechtwinkligen Dreiecke zwei um 45 Grad geneigte Rhomben verwendet. Die Schnittstelle **301** verwendet einen speziell ausgelegten mehrschichtigen dielektrischen Film, der zwischen den Rhomben angeordnet ist, um die Eingangspolarisation auf die gleiche Weise wie ein PBS aufzuteilen. Die beiden Rhombenflächen **302**, die zu dieser Schnittstelle **301** parallel sind, sind spiegelbeschichtet. Auf diese Weise ist der Eingangsstrahl **303** auf die Schnittstelle **301** ausgerichtet, und die Schnittstelle trennt die beiden Polarisatoren. Eine Polarisierung **304** setzt sich durch die Schnittstelle **301** fort, während die andere Polarisierung in Richtung auf die gegenüberliegende spiegelbeschichtete Rhombenfläche **302** reflektiert wird. Die Reflexion von diesem Spiegel leitet den Strahl so um, daß er parallel **305** verläuft, aber immer noch vom ersten Strahl **304** versetzt ist. Zusammen erreicht diese Aktion eine Polarisations trennung durch die Erzeugung zweier paralleler Ausgangsstrahlen **304** und **305**.

[0025] [Fig. 3b](#) zeigt Stickdiagramme, die die Polarisations- und räumliche Entwicklung anzeigen, während der Strahl **303** durch den Filter von [Fig. 3a](#) hindurchtritt. Am Eingang besitzt der Strahl **303** im allgemeinen zwei orthogonale Polarisationskomponenten, V und H in **310**. Der Effekt des PBS 1 besteht darin, V von H in zwei unterschiedliche Strahlen **304** und **305** räumlich zu trennen, Rahmen **311**. Im allgemeinen transformiert eine Transmission durch das kaskadierte doppeltbrechende Filter die Linearpolarisationszustände V und H zu elliptischen Zuständen, je nach der optischen Frequenz des Lichts. Rahmen **312** veranschaulicht die Ausgabe des kaskadierten doppeltbrechenden Filters mit Polarisationskomponenten V1 und V2 auf den Strahl **305'** und Polarisationskomponenten H1 und H2 auf den Strahl **304'**. V1 und H1 stellen die horizontalen η -Polarisationskomponenten dar, und V2 und H2 stellen die vertikalen v-Polarisationskomponenten dar. Während V1 horizontal und H2 vertikal ist, soll die Verwendung der Notation „V1“ und „H2“ den Ursprung dieser Komponenten anstelle ihres absoluten SOP bezüglich des Eingangs angeben.

[0026] Wenn gleich PBS 1 die beiden ankommenen Polarisationszustände in zwei unterschiedliche Strahlen auf trennte, muß PBS 2 die entsprechenden Polarisationskomponenten von den Strahlen **304'** und **305'** kombinieren, um zwei komplementäre Ausgangsports zu bilden, Ausgang 1 und Ausgang 2, Rahmen **313**. PBS 2 ist so positioniert, daß Strahl **305'** die Schnittstelle **301** am PBS 2 schneidet, während der Strahl **304'** von der verspiegelten Oberfläche **302** am PBS 2 reflektiert wird. PBS 2 kombiniert dann die Polarisationskomponenten V2 und H1 auf den Ausgang 1 und kombiniert die Polarisationskomponenten V1 und H2 auf den Ausgang 2. Mit der beschriebenen Vorrichtung wird die gewünschte Leistung dort erzielt, wo die Ausgabestrahlintensität eine Funktion nur der eingegebenen optischen Frequenz und nicht des Polarisationszustands ist.

Probleme nach dem Stand der Technik und Verbesserungen

[0027] Das Buhrer-Verfahren scheint eine zufriedenstellende Leistung aufzuweisen; doch führen die in den PBS-Komponenten vorliegenden Unvollkommenheiten sowohl zu einem geringen Kontrastverhältnis zwischen Polarisationszuständen und einem polarisationsabhängigen Verlust (PDL). Die praktische Implementierung leidet dementsprechend unter Nebensprechern und PDL-Beeinträchtigungen.

[0028] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein in [Fig. 4](#) gezeigtes alternatives polarisationsdiversifiziertes doppeltbrechendes Filter beschrieben. Unser Verfahren der Polarisationsdiversität kann beim Kontrast der Polarisationstrennung eine Verbesserung in einer Größenordnung im Vergleich zu der bereitstel-

len, die von den von Buhrer verwendeten PSB-Eingangs- und Ausgangsstufen bereitgestellt werden, und eine Reduzierung beim PDL. Die PBS-Stufen ergeben in der Regel zwischen den beiden ausgegebenen orthogonalen Linearpolarisationen einen Kontrast von nur 27 dB. Der 27 dB-Kontrast der PBS-Stufen tritt wegen der begrenzten Fähigkeit zur Herstellung eines dielektrischen Stapsels an der PBS-Schnittstelle **301** auf, der ausreichend polarisationsempfindlich, achromatisch und verlustarm ist. Außerdem ist in der Regel die Transmission und Reflexion der beiden orthogonalen Polarisationszustände an der dielektrischen Schnittstelle **301** asymmetrisch. Ein Beispiel mit gegenwärtig erhältlichen PBS-Komponenten ist eine Transmission von ~95% und eine Reflexion von ~99%. Eine derartige Asymmetrie erzeugt PDL.

Doppeldurchgangsfilterdesign

[0029] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein in [Fig. 4](#) gezeigter alternativer polarisationsdiversifizierter doppeltbrechender Filter gezeigt. Unser Verfahren der Polarisationsdiversität kann beim Kontrast der Polarisationstrennung eine Verbesserung in einer Größenordnung im Vergleich zu der bereitstellen, die von den von Buhrer verwendeten PSB-Eingangs- und Ausgangsstufen bereitgestellt werden, und eine Reduzierung beim PDL. Zudem wird eine einfache und kompakte Doppeldurchgangsarchitektur offenbart, die sowohl die hier präsentierten Polarisationsdiversitätsverbesserungen erbt als auch eine ausgezeichnete Filterleistung in Anwendungen aufweist, wo besonders niedrige Nebensprechpegel imperativ sind.

Doppeldurchgangsfilterdesign

[0030] [Fig. 4a](#) zeigt ein Doppeldurchgangsfilterdesign, wie es in einer polarisationsunempfindlichen Ein-Port-zu-Zwei-Port-Konfiguration verwendet wird. Die Figur verwendet den gleichen doppeltbrechenden Filter **401** wie in [Fig. 3a](#), ersetzt aber die Eingangs- und Ausgangs-PBS-Elemente mit den vorliegenden externen Schnittstellen- und Umlaufstufen. Verschieden ist auch, daß sich die Lichtstrahlen in dem Doppeldurchgangsfilter durch den doppeltbrechenden Filter **401** sowohl in der Vorwärts- als auch in der Rückwärtsrichtung ausbreiten, während sich die Lichtstrahlen in dem Buhrer-Filter nur in einer Richtung ausbreiten.

[0031] Die externe Schnittstellenstufe **402** enthält einen ersten doppeltbrechenden Strahlverschieber **404** und eine monolithische $\lambda/2$ -Wellenplatte **405**. Die monolithische $\lambda/2$ -Wellenplatte **405** ist so versetzt, daß sie nur drei der sechs sich nach vorne und hinten ausbreitenden Strahlen schneidet. Der doppeltbrechende Filter **401** enthält ein oder mehrere doppeltbrechende Elemente **408**, die als Wellenplatten ge-

schnitten und orientiert sind. Die außerordentliche Achse dieser Elemente ist so geschnitten, daß sie auf der Kristallfläche senkrecht zum Lichtstrahlweg liegt. Jedes Element wird dann um seine Senkrechte in einen vorausberechneten Winkel gedreht, der durch einen Filtersynthesealgorithmus bestimmt wird. Eine fakultative $\lambda/2$ -Wellenplatte 409 folgt allen doppeltbrechenden Wellenplatten 408, um das Koordinatensystem des doppeltbrechenden Filters 401 auf die Umlaufstufe 403 auszurichten. Die Umlaufstufe 403 enthält einen ersten doppeltbrechenden Strahlverschieber 406 und einen Retroreflektor 407. Die Verschiebungsrichtung des Strahlverschiebers 406 ist senkrecht zur Verschiebungsrichtung des Strahlverschiebers 404. Der Retroreflektor ist ein Verbundspiegel, wobei zwei Spiegel so angeordnet sind, daß sie einander in einem Winkel von 90 Grad gegenüberliegen. Die vorwärtsgerichteten Lichtstrahlen werden somit versetzt und zu rückwärtsgerichteten Lichtstrahlen reflektiert.

[0032] [Fig. 4b](#) zeigt eine weitere Ausführungsform von [Fig. 4a](#), wo ein Rhombus-Polarisationsstrahlteiler (PBS) 480 für den Strahlverschieber 404 substituiert ist. [Fig. 4c](#) zeigt eine weitere Ausführungsform, wo ein Retroreflektorprisma 490 für den Retroreflektor 407 von [Fig. 4a](#) substituiert ist.

[0033] [Fig. 5a](#) zeigt den Weg der Lichtstrahlen durch den Doppeldurchgangsfilter, und [Fig. 5b](#) zeigt Stickdiagramme, die die Polarisations- und räumliche Entwicklung der Lichtstrahlen beim Durchgang durch den Filter angeben. Der eingegebene Lichtstrahl 410 ist im allgemeinen elliptisch polarisiert. Rahmen 501 von [Fig. 5b](#) zeigt das Vorliegen sowohl horizontaler als auch vertikaler Polarisationskomponenten am eingegebenen Strahl 410 an. Der Strahlverschieber 404 trennt die horizontalen und vertikalen Polarisationskomponenten räumlich, Rahmen 502. Die Richtung der Verschiebung ist „hoch“. Die beiden getrennten vorwärtsgerichteten Komponenten breiten sich parallel aus. Der untere der beiden Strahlen, 411 [man beachte, daß diese Zahl 411 keine eindeutige Bezeichnung für den unteren der beiden vorwärtsgerichteten Strahlen ist, da 411 auch für die rückwärtsgerichteten Strahlen gilt], durchquert danach eine versetzte monolithische $\lambda/2$ -Wellenplatte 405. Die $\lambda/2$ -Wellenplatte 405 dreht den Polarisationszustand am Strahl 411 um 90 Grad, Rahmen 503. Nun breiten sich beide Strahlen parallel aus und weisen den gleichen Polarisationszustand auf.

[0034] Die von der externen Schnittstellenstufe 402 ausgegebenen versetzten und parallelen Strahlen mit der gleichen Polarisation durchqueren den doppeltbrechenden Filter 401. Im allgemeinen transformiert der doppeltbrechende Filter 401 Linearpolarisationszustände zu elliptischen Polarisationszuständen, da er sowohl horizontale als auch vertikale Komponenten aufweist, Rahmen 504. Die Transformation

von Linear- zu elliptischer Polarisation ist eine Funktion der Frequenz des eingegebenen Lichtstrahls 410 und des Filterdesigns.

[0035] Die beiden orthogonalen Polarisationskomponenten an den beiden Strahlen, die aus dem doppeltbrechenden Filter 401 austreten, werden vom Strahlverschieber 406 räumlich getrennt, Rahmen 505. Die Richtung der Verschiebung ist derart, daß von dem Verschieber 406 vier Strahlen 413 in Form von vier Punkten in den Ecken eines Rechtecks austreten. Jeder austretende Strahl ist linearpolarisiert. Alle vier Strahlen werden zuerst von der Spiegeloberfläche 407a auf den Retroreflektor 407 reflektiert, wodurch sie ihre Richtung um 90 Grad ändern. Alle vier Strahlen werden zweitens von der Spiegeloberfläche 407b auf den Retroreflektor 407 reflektiert, wobei sie wieder ihre Richtung um 90 Grad ändern. Die austretenden Strahlen werden nun derart „zurückgefaltet“, daß ihre Richtung der Richtung des Durchgangs vor der Reflexion entgegengesetzt ist. Diese vier Strahlen 414 breiten sich nun in der Rückwärtsrichtung aus. Zudem werden die relativen Positionen der vier Strahlen von dem Retroreflektor geändert, Rahmen 506. Die Position eines Paares von Strahlen, die übereinander 510 angeordnet sind, wird mit der Position des zweiten Paares von Strahlen, die übereinander 520 angeordnet sind, vertauscht und alle vier Strahlpositionen werden bezüglich der Strahlen 413 parallel verschoben. Alle vier parallelen linearpolarisierten und sich gleich ausbreitenden Strahlen 414 durchlaufen als nächstes wieder den Strahlverschieber 406, wodurch der Abstand zwischen Strahlpaaren 510 und 520 verdoppelt wird.

[0036] Nach dem Durchgang durch den Strahlverschieber 406 treten die Strahlen 414 wieder in den doppeltbrechenden Filter 401 ein. Ähnlich zu dem Vorwärtsdurchgang durch den Filter, zu Rahmen 504 von Rahmen 503, wird jeder linearpolarisierte Strahl im allgemeinen in einen elliptisch polarisierten Strahl transformiert, wobei jeder Strahl sowohl horizontale als auch vertikale Polarisationskomponenten besitzt, Rahmen 507. Die Transformation von Linear- zu elliptischer Polarisation ist eine Funktion der Frequenz des optischen Strahls am Eingang, 410, und des Designs des doppeltbrechenden Filters 401. Die aus dem doppeltbrechenden Filter 401 austretenden 415 Strahlen durchqueren schließlich die externe Schnittstellenvorrichtung 402.

[0037] Der Zweck der externen Schnittstellenvorrichtung 402 für die rückwärtsgerichteten Strahlen ist die Konstruktion von zwei Ausgabestrahlen, die gesammelt werden, die Polarisationskomponenten haben, die doppelt gefiltert worden sind. Es bleiben vier Strahlen zurück, die zurückgewiesen werden. Allgemein fällt die Existenz von Leistung in den zurückgewiesenen Lichtstrahlen mit dem Licht zusammen, das von dem doppeltbrechenden Filter 401 bei dem

zweiten Durchgang zurückgewiesen wird. Die Leistung in den zurückgewiesenen Strahlen kann für einen bestimmten Hilfszweck gesammelt werden.

[0038] Zur Ausbildung der beiden gesammelten Ausgabestrahlen **430** durchqueren die unteren beiden Strahlen von **415**, Strahlen **511** und **512** vom Rahmen **507**, zuerst die versetzte $\lambda/2$ -Wellenplatte **405**. Beide Polarisationskomponenten der Strahlen **511** und **512** treten um 90 Grad gedreht aus, Rahmen **508**. Als nächstes durchqueren alle vier Strahlen den Strahlverschieber **404**, der wie zuvor so orientiert ist, daß eine Polarisationskomponente nach unten verschoben wird, während sich die andere unverändert an ihrer Stelle befindet. Auf diese Weise werden vertikale Polarisationskomponenten **530** der beiden Strahlen **550** nach unten verschoben; vertikale Polarisationskomponenten **540** der beiden Strahlen **560** werden nach unten verschoben und die übrigen horizontalen Polarisationskomponenten sind unbeeinflußt. Das Ergebnis, Rahmen **509**, sind sechs Strahlen, die rückwärtsgerichtet und parallel sind. Die mittleren beiden Strahlen, **515** und **516**, werden als die Ausgabe des Filters gesammelt. Während die verbleibenden Strahlen, **550** und **540**, als zurückgewiesen gezeigt sind, können sie zur Signalüberwachung oder zu anderen Zwecken genutzt werden.

[0039] Eine Unvollkommenheit der versetzten $\lambda/2$ -Wellenplatte **405** kann durch die Hinzufügung eines Folienpolarisators **405'** korrigiert werden, der hinter der $\lambda/2$ -Wellenplatte **405** und vor dem doppeltbrechenden Filter **401** angeordnet ist und der alle sechs Strahlen polarisiert. Der Folienpolarisator **405'** ist so ausgerichtet, daß er vertikale Polarisationskomponenten durchläßt und horizontale Polarisationskomponenten zurückweist oder umgekehrt, je nach dem Design.

[0040] Wie oben erörtert, veranschaulicht [Fig. 2b](#) die frequenzabhängige Polarisationsantwort eines doppeltbrechenden Filters **401** bei einem gegebenen linearpolisierten Eingabestrahl. Die externe Schnittstelle **402** übersetzt die frequenzabhängige Polarisationsantwort in eine Amplitudenantwort an den Ausgängen OUT1 und OUT2. Es sei eine relative Frequenz 0 GHz in [Fig. 2b](#) betrachtet, wo die Ausgabe des Filters **401** horizontal stark und vertikal schwach ist. Dementsprechend sind die Komponenten V1 und H1 in den im Rahmen **504** dargestellten Strahlen **412** stark, während die Komponenten V2 und H2 schwach sind. Nach einem Umlauf mit resultierender Verschiebung sind die Strahlen **510** im Rahmen **506** schwach, während die Strahlen **520** im Rahmen **506** stark sind. Der zweite Durchlauf durch den doppeltbrechenden Filter **401** in der rückwärtsgerichteten Richtung erzeugt elliptisch polarisierte Strahlen, Rahmen **507**, wo die horizontalen Komponenten relativ stark sind, während die vertikalen Komponenten relativ schwach sind. Zudem ist die Summenleis-

tung in den Strahlen **511** und **511'** im Vergleich zu der Summenleistung in den Strahlen **512** und **512'** relativ schwach. Die nachfolgende Bearbeitung durch die externe Schnittstellenstufe **402** führt dazu, daß die Intensität des gesammelten Strahls **516** relativ zur Intensität des gesammelten Strahls **515** stark ist. Infolge dessen ist dementsprechend OUT1 intensiv und OUT2 schwach. Bei einer anderen relativen Frequenz, ± 100 GHz in [Fig. 2b](#), ist die Ausgabe des Filters **401** vertikal stark und horizontal schwach. Nach der gleichen Analyse wie oben, erzeugt der doppeltbrechende Doppeldurchgangsfilter einen intensiven OUT2 und einen schwachen OUT1. Die Summe der Leistungen an den Ausgangsporten OUT1 und OUT2 ist immer konstant, wodurch Leistung bei allen Frequenzen gespart wird. Die relative Intensität zwischen OUT1 und OUT2 variiert periodisch mit der Frequenz, ist aber unabhängig von der Eingangspolarisation im Strahl **410**. Die Periode der Variation ist der freie Spektralbereich (FSR) des doppeltbrechenden Filters **401**.

[0041] Bei einem entsprechenden Design des doppeltbrechenden Filters **401** kann die in den [Fig. 4a](#), [Fig. 4b](#) und [Fig. 4c](#) vorgestellte Erfindung insgesamt als ein Verschachtelungsfilter verwendet werden. Wenn folglich unter Bezugnahme auf [Fig. 6](#) das Eingangssignal ein wellenlängenmultiplexiertes (WDM) Signal frequenzmäßig gleichförmig beabstandete Kanäle mit der Periode FSR aufweist, würde die doppeltbrechende Filtervorrichtung (BF) **501** ([Fig. 4a](#), [Fig. 4b](#) und [Fig. 4c](#)) das WDM-Eingangssignal entschachteln, so daß die ungeradzahligen Kanäle bei OUT1 ausgegeben würden und die geradzahligen Kanäle bei OUT2 ausgegeben würden.

[0042] Eine Anwendung des vorliegenden doppeltbrechenden Doppeldurchgangsfilters von [Fig. 4a](#)–[Fig. 4c](#) liegt in der Erhöhung der Anzahl der WDM-Kanäle, die in optischen Demultiplexern und Demultiplexern, die Arrayed-Waveguide Routers (AWG) verwenden, verarbeitet werden können. Für eine gegebene AWG-Frequenzauflösungskapazität kann der einem Multiplexer und/oder Demultiplexer auf AWG-Basis präsentierte Frequenzabstand von WDM-Kanälen verdoppelt werden, wenn die Kanäle zuerst von dem vorliegenden doppeltbrechenden Filter gefiltert werden, um gerade und ungerade WDM-Kanäle zu trennen, die dann von getrennten AWGs verarbeitet werden.

[0043] Eine derartige Anordnung ist in [Fig. 6](#) gezeigt. Wenn unter Bezugnahme auf [Fig. 6](#) das Eingangssignal ein wellenlängenmultiplexiertes (WDM) Signal mit Wellenlängen mit einer FSR-Trennung ist, würde der doppeltbrechende Doppeldurchgangsfilter (BF) **601** das WDM-Signal so zerlegen, daß die ungeradzahligen Wellenlängen bei OUT1 ausgegeben würden und die geraden Wellenlängen bei OUT2 ausgegeben würden. Ein an jeden von OUT1 und

OUT2 (nicht gezeigt) angeschlossener separater AWG würde dann dazu verwendet, weiter eine oder mehrere der geraden und ungeraden Wellenlängen zu wählen.

Ergebnisse

[0044] Der vorliegende doppeltbrechende Doppeldurchgangsfilter weist eine besonders gute Antwort auf. Der Filterverlust kann niedrig sein, unter 0,1 dB pro Stufe. Mit ausreichender Filtersynthese und Anzahl von Stufen lässt sich eine scharfe flache Filterantwort erzielen. Die Phasenantwort ist ausgezeichnet im Vergleich zu Fabry-Perot- oder Bragg-Fasergitterfiltern, weil die Impulsantwort von endlicher und kurzer Dauer ist.

[0045] Wenn der vorliegende doppeltbrechende Doppeldurchgangsfilter in optischen Kommunikationsanwendungen verwendet wird, sollte polarisationsunempfindlich optimiert werden. Dadurch sollte, falls möglich, kein Nebensprechboden hinzugefügt werden. Buhrer demonstrierte den Einsatz von zwei speziellen PBS-Stufen, jeweils eine für Eingabe und Ausgabe, um einen polarisationsunempfindlichen Filter zu erzeugen. Der Nebensprechboden für gute PBS-Elemente betragen aktuell etwa -27 dB. Diese Stufen sind relativ achromatisch.

[0046] Im Kontrast dazu kann der vorliegende doppeltbrechende Doppeldurchgang-Slicer-Filter den Nebensprechboden von -27 dB auf -40 dB reduzieren und sollte inhärent achromatisch sein. Zusätzlich weist das Verfahren mit Doppeldurchgangseingang- und -ausgangsstufe, das hier präsentiert wird, Toleranz gegenüber Unvollkommenheit der erforderlichen $\lambda/2$ -Platten auf.

[0047] Was beschrieben worden ist, ist für die Anwendung der Prinzipien der vorliegenden Erfindung lediglich beispielhaft. Andere Verfahren und Anordnungen können vom Fachmann implementiert werden, ohne vom Schutzbereich der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

Anhang

Literaturstellen

- [1] B. Lyot Comptes Rendus, Band 197, S. 1593, 1933.
- [2] J. Evans, J. Opt. Soc. Amer., Band 39, Nr. 3, S. 229, 1949.
- [3] I. Solc., Czech., J. Phys. Band 3, S. 366, 1953.
- [4] S. Harris, J. Opt. Soc. Amer., Band 54, Nr. 10, S. 1267, 1964.
- [5] C. Buhrer, Applied Optics, Band 26, Nr. 17, S. 3628, 1987; Applied Optics, Band 27, Nr. 15, S. 3166, 1988; Applied Optics, Band 33, Nr. 12, S. 2249, 1994.
- [6] U.S. Patent 4,987,567, erteilt an C. Buhrer, 22. Ja-

nuar 1991.

Patentansprüche

1. Doppeltbrechender Doppeldurchgangsfilter, umfassend:
 eine externe Schnittstellenvorrichtung (402), um einen eingegebenen optischen Strahl (410) zu empfangen und daraus einen vorwärtsgerichteten ersten und zweiten polarisierten optischen Strahl, die parallel zueinander sind, in einer ersten Richtung und mit den gleichen Linearpolarisationszuständen zu erzeugen;
 eine doppeltbrechende Filtervorrichtung (401), um den ersten und zweiten polarisierten vorwärtsgerichteten Strahl zu empfangen und daraus einen ersten bzw. zweiten elliptisch polarisierten optischen Strahl zu erzeugen, die jeweils erste und zweite Strahlkomponenten mit komplementären Intensitäten enthalten, die über einen vordefinierten freien Spektralbereich periodisch mit der Frequenz des eingegebenen optischen Strahls (410) variieren;
 eine Umlaufvorrichtung (403) zum weiteren Trennen des ersten und zweiten elliptisch polarisierten Strahls in einer zweiten Richtung, um vier Strahlen auszubilden, alle mit Linearpolarisationszuständen, und um die Richtung von allen vier vorwärtsgerichteten Strahlen in vier rückwärtsgerichtete Strahlen umzukehren, die die doppeltbrechende Filtervorrichtung (401) wieder durchlaufen, und wobei die doppeltbrechende Filtervorrichtung (401) groß genug ist, um sowohl die vorwärtsgerichteten Strahlen als auch die rückwärtsgerichteten Strahlen aufzunehmen und wobei die doppeltbrechende Filtervorrichtung (401) vier elliptisch polarisierte Strahlen aus den rückwärtsgerichteten Strahlen erzeugt, die jeweils erste und zweite Strahlkomponenten enthalten; und wobei die externe Schnittstellenvorrichtung (402) eine freie Apertur aufweist, die groß genug ist, daß der erste und zweite polarisierte vorwärtsgerichtete Strahl und die vier elliptisch polarisierten rückwärtsgerichteten Strahlen aufgenommen werden.

2. Doppeltbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 1, wobei die externe Schnittstellenvorrichtung folgendes enthält:
 einen Strahlverschieber, um den eingegebenen optischen Strahl zu empfangen und daraus einen vorwärtsgerichteten ersten und zweiten polarisierten optischen Strahl, die parallel zueinander verlaufen und in einer ersten Richtung versetzt sind, zu erzeugen; und
 eine $\lambda/2$ -Wellenplatte, um die Polarisation des ersten optischen Strahls so zu ändern, daß sie gleich dem zweiten optischen Strahl ist.

3. Doppeltbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 2, wobei auf die $\lambda/2$ -Wellenplatte ein Folienpolarisator folgt.

4. Doppelbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 2, wobei der Strahlverschieber konstruiert ist unter Verwendung von Materialien ausgewählt aus einer Gruppe enthaltend Calcit und Rutil, Yttrium-Orthovanadat, Alpha-Bariumborat und Lithiumniobat.

5. Doppelbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 1, wobei der Strahlverschieber unter Verwendung von zwei dreieckigen Prismen aufgebaut ist, die aneinander angebracht sind, um eine rechteckige Form zu bilden.

6. Doppelbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 2, wobei ein Kristallschnitt des Strahlverschiebers von einem Kristallschnitt von doppelbrechenden Platten verschieden ist, die in der doppelbrechenden Filtervorrichtung verwendet werden.

7. Doppelbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 1, wobei die externe Schnittstellenvorrichtung folgendes enthält:
einen rhombuspolarisierten Strahleiter, um den eingegebenen optischen Strahl zu empfangen und daraus einen vorwärtsgerichteten ersten und zweiten polarisierten optischen Strahl zu erzeugen, die parallel zueinander und in einer ersten Richtung versetzt sind; und
eine $\lambda/2$ -Wellenplatte, um die Polarisation des ersten optischen Strahls so zu ändern, daß sie gleich dem optischen Strahl ist.

8. Doppelbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 1, wobei der lineare doppelbrechende Filter aufgebaut ist aus einer Reihe von mehreren verschiedenen doppelbrechenden Wellenplatten unter Verwendung von Materialien ausgewählt aus einer Gruppe enthaltend Calcit und Rutil, Yttrium-Orthovanadat, Alpha-Bariumborat und Lithiumniobat.

9. Doppelbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 1, wobei die Umlaufvorrichtung folgendes enthält:
einen Strahlverschieber, um den ersten und zweiten elliptisch polarisierten Strahl in einer zweiten Richtung zu trennen, um vier vorwärtsgerichtete Strahlen alle mit Linearpolarisationszuständen zu bilden;
einen Rückreflektor, um die Richtung der vier vorwärtsgerichteten Strahlen zu vier rückwärtsgerichteten Strahlen umzukehren.

10. Doppelbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 9, wobei ein Kristallschnitt des Strahlverschiebers von einem Kristallschnitt von doppelbrechenden Platten verschieden ist, die in der doppelbrechenden Filtervorrichtung verwendet werden.

11. Doppelbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 9, wobei doppelbrechende Filtervorrichtung eine oder mehrere doppelbrechende Wel-

lenplatten enthält, die so ausgelegt sind, daß die Dicke der Platten den freien Spektralbereich des Filters und die relative Azimutorientierung der einen oder der mehreren Platten die Form der Filterintensitätsantwort steuert.

12. Doppelbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 1, wobei die Umlaufvorrichtung folgendes enthält:
einen Strahlverschieber, um den ersten und zweiten elliptisch polarisierten Strahl in einer zweiten Richtung zu trennen, um vier Strahlen alle mit Linearpolarisationszuständen zu bilden;
ein Rückreflektorprisma zum Umkehren der Richtung der vier vorwärtsgerichteten Strahlen in vier rückwärtsgerichtete Strahlen.

13. Verwendung des doppelbrechenden Doppeldurchgangsfilters nach Anspruch 12 als ein Demultiplexer zum Demultiplexieren eines eingegebenen wellenlängenmultiplexierten (WDM)-Signals in einem ersten der zwei ausgegebenen Strahlen mit geraden Wellenlängen des WDM-Signals und einen zweiten der zwei ausgegebenen Strahlen mit ungeraden Wellenlängen des WDM-Signals.

14. Doppelbrechender Filter nach Anspruch 1, wobei die zwei ausgegebenen Strahlen Intensitäten aufweisen, die als eine periodische Funktion der Frequenz der Intensitäten des angegebenen Lichts und des ausgegebenen Strahls auf komplementäre Weise variieren, aber so, daß ihre Summenleistung gegenüber der Eingabefrequenz invariant bleibt.

15. Verfahren zum Betreiben eines doppelbrechenden Doppeldurchgangsfilters mit den folgenden Schritten:
Empfangen eines eingegebenen optischen Strahls (**410**) an einer ersten optischen Vorrichtung (**402**) und Erzeugen daraus eines vorwärtsgerichteten ersten und zweiten polarisierten optischen Strahls, die parallel zueinander verlaufen und in einer ersten Richtung versetzt sind und die gleichen Linearpolarisationszuständen aufweisen;
Empfangen des ersten und zweiten polarisierten vorwärtsgerichteten Strahls bei einer zweiten optischen Vorrichtung (**401**) und zum Erzeugen daraus eines ersten bzw. zweiten elliptisch polarisierten optischen Strahls, die jeweils erste und zweite Strahlkomponenten mit komplementären Intensitäten enthalten, die über einen vordefinierten freien Spektralbereich mit der Frequenz des eingegebenen optischen Strahls (**410**) periodisch variieren;
weiteres Trennen des ersten und zweiten elliptisch polarisierten Strahls in einer zweiten Richtung, in einer dritten optischen Vorrichtung (**403**), um vier Strahlen alle mit Linearpolarisationszuständen zu bilden und um die Richtung von allen vier vorwärtsgerichteten Strahlen in vier rückwärtsgerichtete Strahlen umzukehren, die die zweite optische Vorrichtung

(401) wieder durchlaufen;

Erzeugen von vier elliptisch polarisierten Strahlen bei der zweiten optischen Vorrichtung (401), wobei die rückwärtsgerichteten Strahlen jeweils erste und zweite Strahlkomponenten enthalten; und

Erzeugen aus den vier elliptisch polarisierten Strahlen bei der ersten optischen Vorrichtung (402) rückwärtsgerichtete Strahlen, sechs parallele ausgegebene optische Strahlen, von denen zwei ausgegebene Strahlen zwei komplementäre Orthogonalpolarisationskomponenten und von denen vier ausgegebenen Strahlen im wesentlichen nur eine der beiden komplementären Orthogonalpolarisationskomponenten enthalten.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei die sechs parallelen ausgegebenen Strahlen durch einen Folienpolarisator auf zwei reduziert werden, der unmittelbar vor der zweiten optischen Vorrichtung plaziert ist.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A
STAND DER TECHNIK

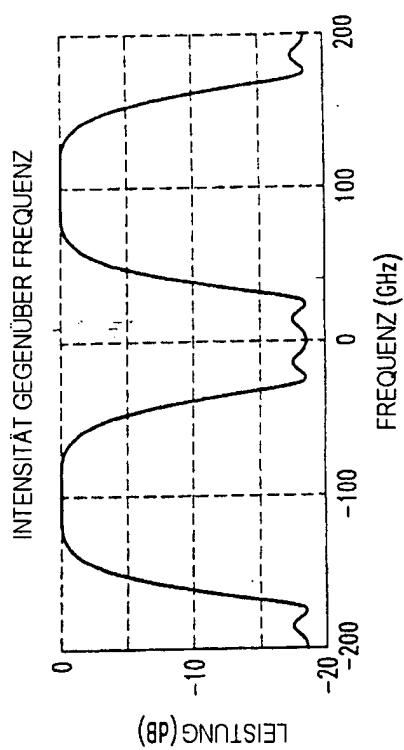
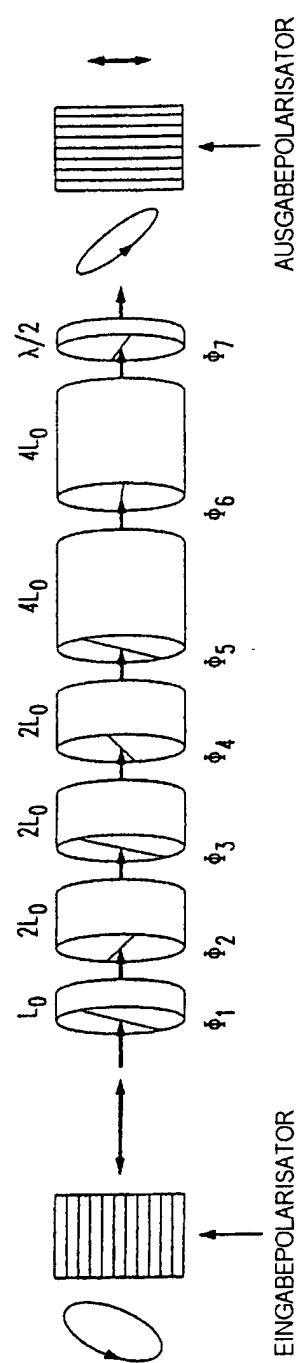
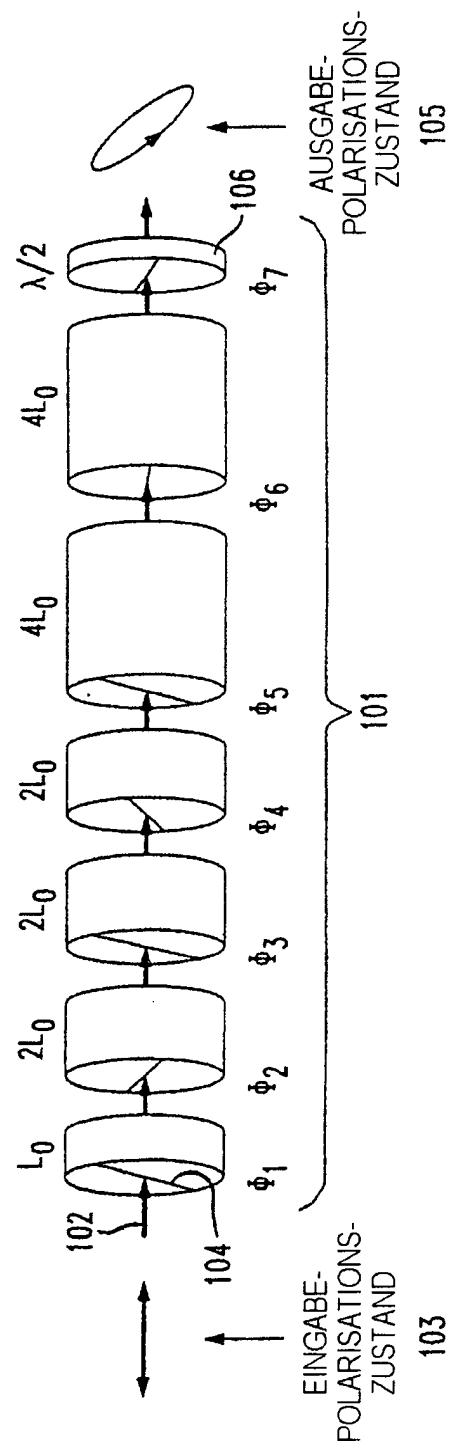


FIG. 1B
STAND DER TECHNIK



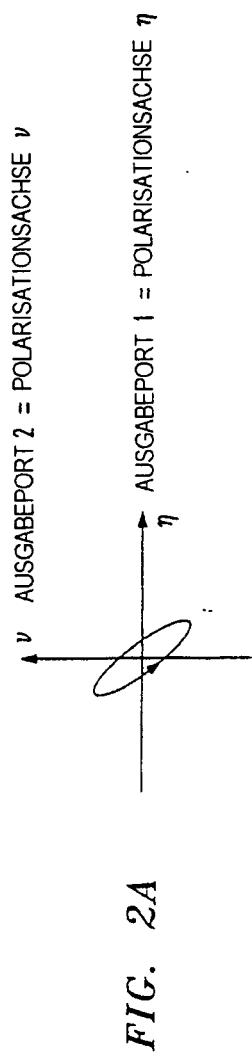


FIG. 2B

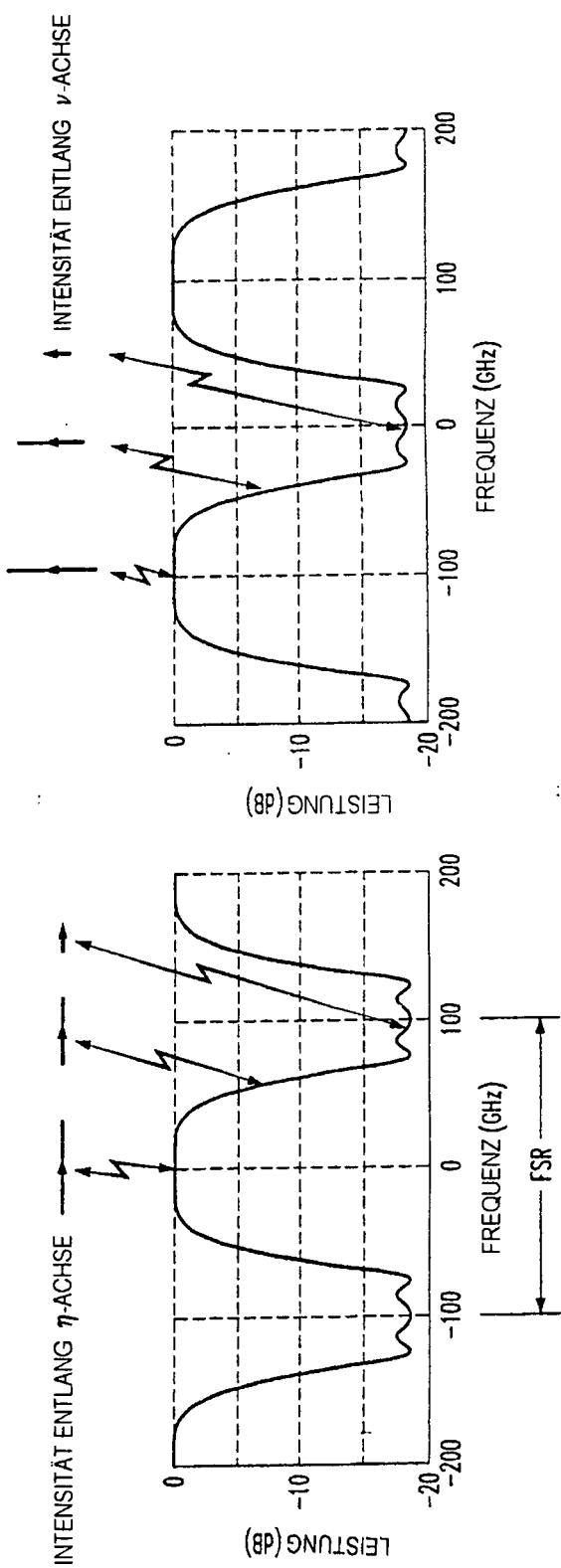


FIG. 3A
STAND DER TECHNIK

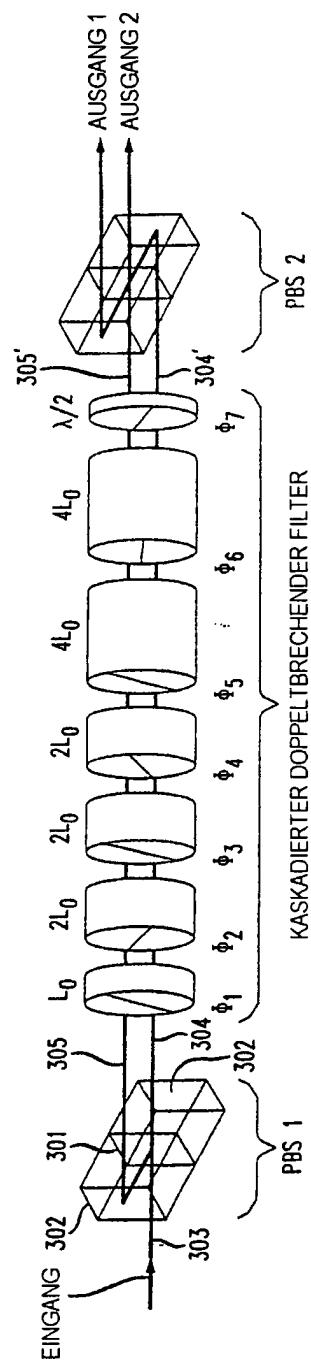


FIG. 3B

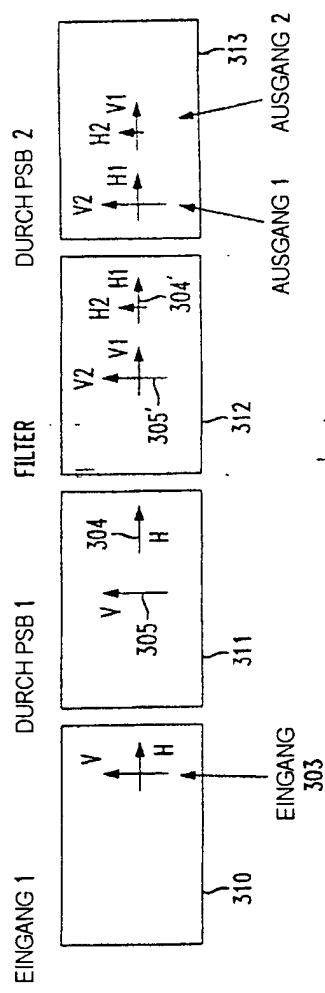


FIG. 4A

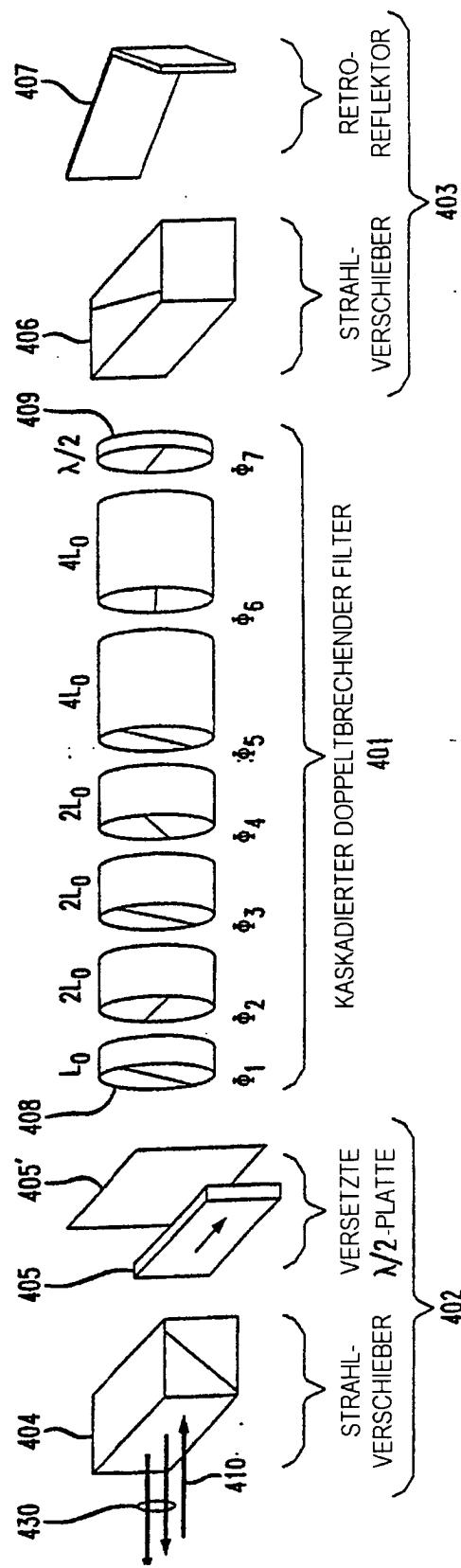


FIG. 4B

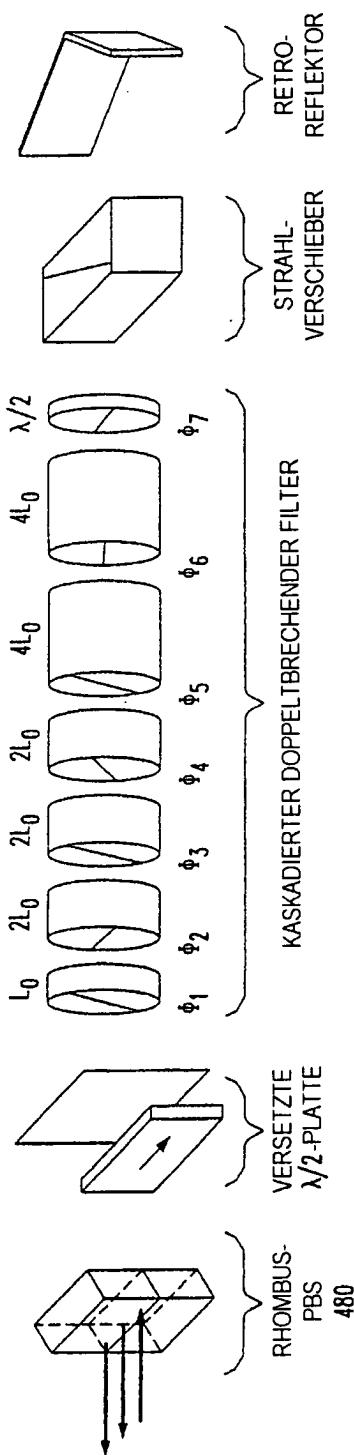


FIG. 4C

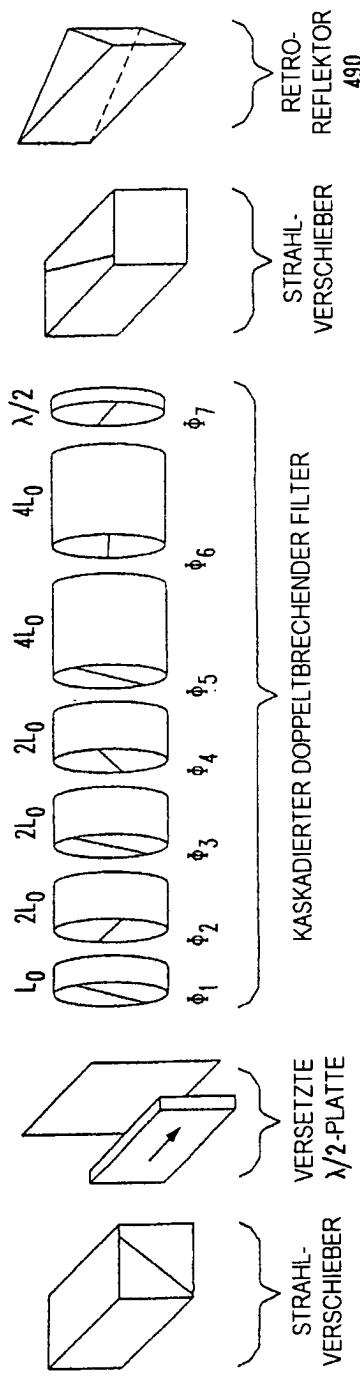


FIG. 5A

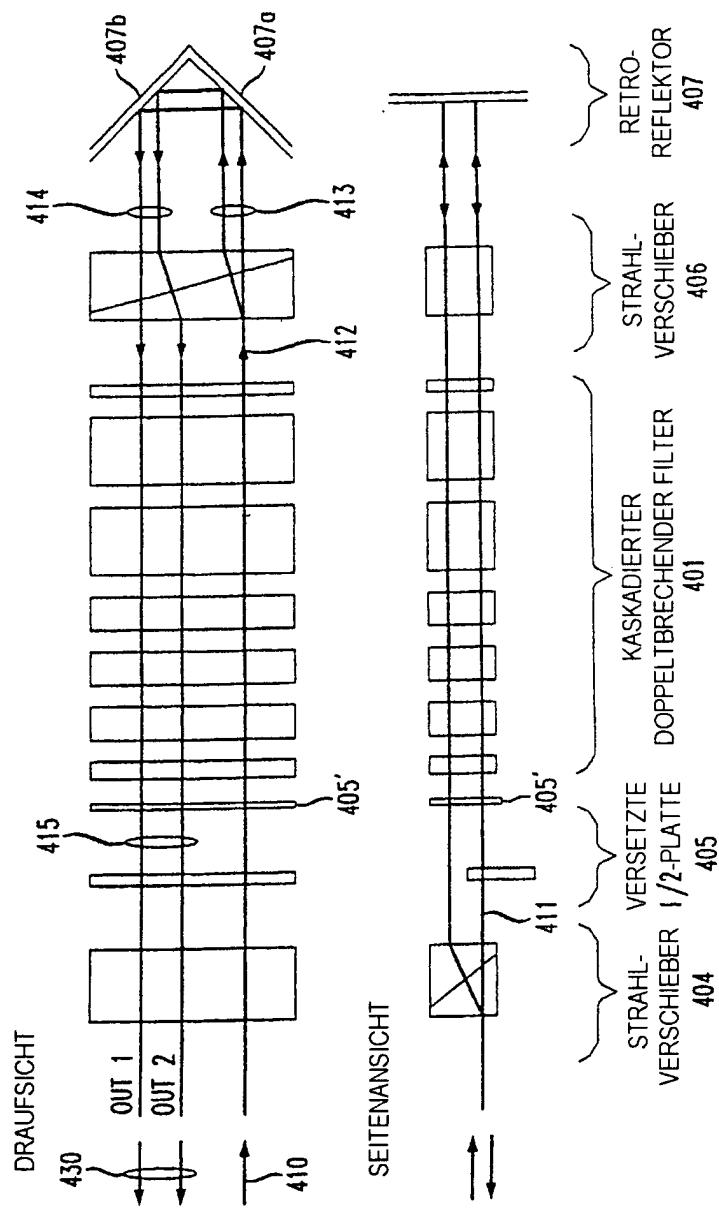


FIG. 5B

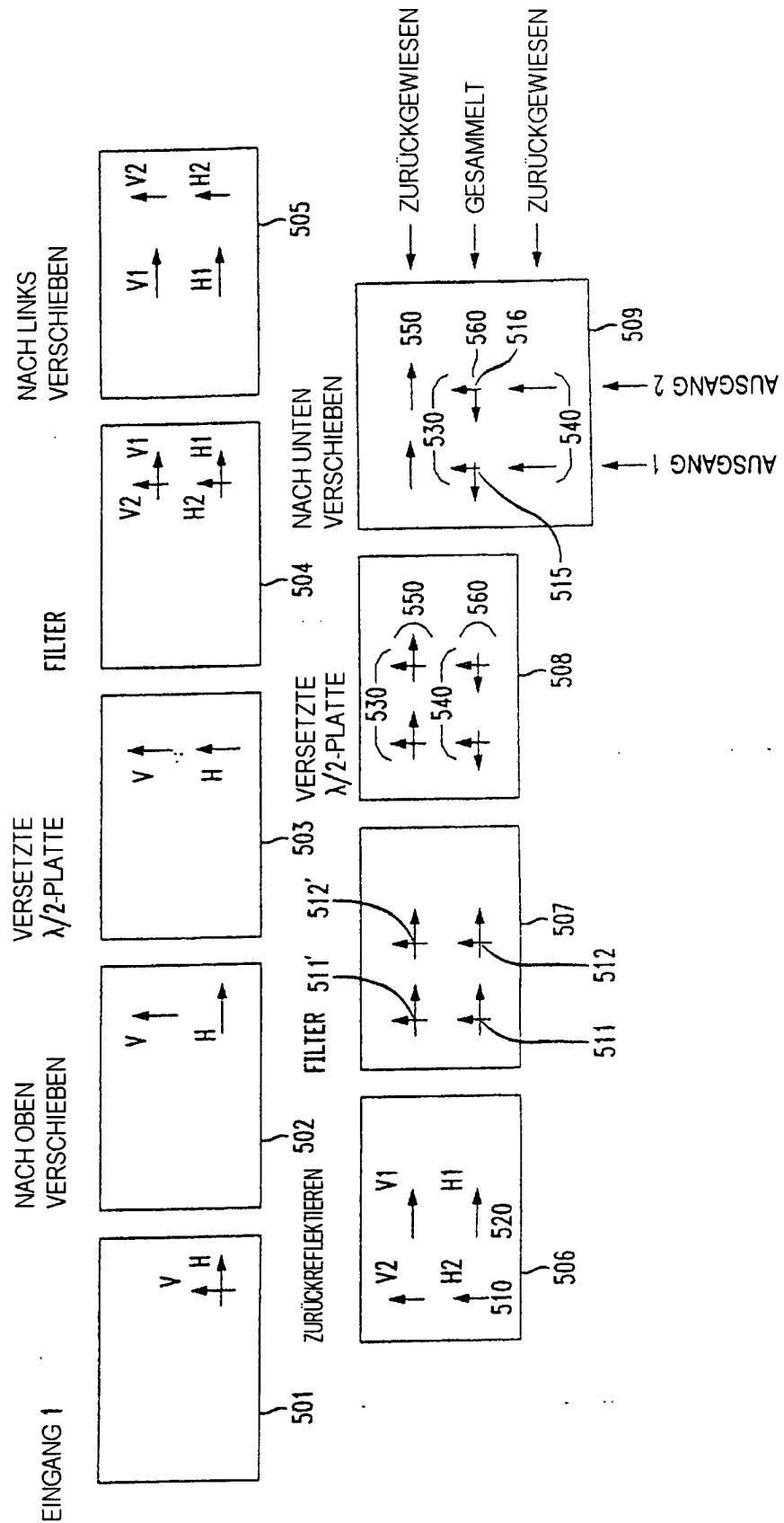


FIG. 6

