



(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.<sup>8</sup>: **G02B 27/28** (2006.01)  
**G02B 6/34** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**532150      21.03.2000      US**

(73) Patentinhaber:

**Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US**

(74) Vertreter:

**derzeit kein Vertreter bestellt**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:

**Damask, Jay N., Annapolis, Maryland 21403, US;  
Doerr, Christopher Richard, Middletown, New  
Jersey 07748, US**

(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 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**

## Erfindungsgebiet

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

## Allgemeiner Stand der Technik

**[0002]** Der doppelbrechende Filter wurde zuerst von Astronomen um die Jahrhundertwende entwickelt, so daß sie Himmelsbeobachtungen der Sonne durch ein schmalbandiges Spektralfenster 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 doppelbrechenden Filter. In den späten 1980ern brachte Buhrer [5] den doppelbrechenden 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 doppelbrechenden Filter platziert 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 Buhrer, 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 doppelbrechende 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. Buhrers US-Patent 4,987,567 [6] beschreibt weiterhin die Verwendung eines doppelbrechenden 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 Buhrer-Verfahren an. Zuerst werden verbesserte Eingangs- und Ausgangspolarisationsdiversitätsvorrichtungen offenbart, um die zu ersetzen, die von Buhrer erfunden wurden. Zweitens wird die Architektur des hier offenbarten Filters auf kompakte Weise gefaltet, um einen einfachen Doppeldurchgangsfilter herzustellen. Dies ist gegenüber dem Buhrer-Patent sowohl getrennt als auch erfindungsgemäß.

## Kurze Darstellung der Erfindung

**[0006]** Der hier offenbarte doppelbrechende Doppeldurchgangsfilter bietet eine verringerte Polarisationsempfindlichkeit und eine erhöhte Zurückweisung von Nebensprechen 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 doppelbrechenden 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 doppelbrechende Doppeldurchgangsfiltervorrichtung eine externe Schnittstellenvorrichtung, die selbst veranschaulichend ein Strahlverschieberelement und ein Wellenplattelement umfaßt; einen doppelbrechenden Filter, der eine Reihe von mehreren doppelbrechenden Wellenplatten umfaßt; und eine Umlaufeinheit, die selbst veranschaulichend ein Strahlverschieberelement und einen Rückreflektor umfaßt. Als Reaktion auf einen an der externen Schnittstellenvorrichtung empfangenen Eingabestrahle 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 doppelbrechende 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 Vorwärtsrichtung ausbreiten, in einer ersten Richtung versetzt, und mit entsprechenden Linearpolarisationszuständen zu erzeugen, (2) eine doppelbrechende Filtervorrichtung, um den ersten und zweiten vorwärtsgerichteten 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 doppelbrechende Filtervorrichtung wieder durchlaufen; wobei die freie Apertur der Filterplatten der doppelbrechenden Filtervorrichtung groß genug ist, um sowohl die vorwärtsgerichteten als auch die rückwärtsgerichteten Strahlen aufzunehmen, (4) wobei die gleiche doppelbrechende 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 doppelbrechenden Strahlverschieber und eine  $\lambda/2$ -Wellenplatte, die versetzt ist, um nur die Hälfte der vorwärts- und rückwärtsgerichteten Strahlen zu schneiden; wobei die doppelbrechende Filtervorrichtung eine oder mehrere doppelbrechende 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 doppelbrechenden 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 doppelbrechenden 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 doppelbrechenden Filters nach dem Stand der Technik mit Eingangs- und Ausgangspolarisator, wie von frühen Astronomen verwendet;

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

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

**[0014]** [Fig. 3a](#) eine Darstellung eines doppelbrechenden 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  $\eta$ - und  $v$ -Polarisationsachse an verschiedenen Stellen des Filters als Reaktion auf ein Eingangssignal darstellt;

**[0015]** [Fig. 4a](#) die vorliegende erfindungsgemäße Implementierung eines periodischen doppelbrechenden Doppeldurchgangs-Slicer-Filters; [Fig. 4b](#) eine Substitution eines Rhombuspolarisations-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 Eingabestrahle darstellen, wenn er den doppelbrechenden Doppeldurchgangs-Slicer-Filter von [Fig. 4a](#) durchquert, und [Fig. 5b](#) ein Stickdiagramm, das die Strahlkomponentenorte veranschaulicht, wenn sie den doppelbrechenden Doppeldurchgang-Slicer-Filter von [Fig. 4a](#) durchqueren; und

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

#### Ausführliche Beschreibung

**[0018]** [Fig. 1a](#) ist eine Darstellung des ursprünglichen Typs eines kaskadierten doppelbrechenden Filters. Eine polarisierende Eingangsfolie polarisiert das ankommende Licht linear. Die Kaskade doppelbrechender 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 ausgebe-

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  $\mu\text{m}$  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  $\eta$ . Die Frequenzantwort des Filters manifestiert sich als die Unterteilung von Leistung auf zwei lineare orthogonale Polarisationsachsen  $v$  und  $\eta$ , 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  $\eta$ -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  $\eta$ -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  $\eta$ -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  $\pm 100$  GHz zentriert) die Intensität auf der  $\eta$ -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  $\eta$ , 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 Polarisationen. Eine Polarisation **304** setzt sich durch die Schnittstelle **301** fort, während die andere Polarisation 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 Polarisationsstrennung 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 doppelbrechende Filter die Linearpolarisationszustände V und H zu elliptischen Zuständen, je nach der optischen Frequenz des Lichts. Rahmen **312** veranschaulicht die Ausgabe des kaskadierten doppelbrechenden 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  $\eta$ -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] Wenngleich PBS 1 die beiden ankommenden Polarisationszustände in zwei unterschiedliche Strahlen auftrennte, 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 Nebensprechen und PDL-Beeinträchtigungen.

[0028] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein in **Fig. 4** gezeigtes alternatives polarisationsdiversifiziertes doppelbrechendes Filter beschrieben. Unser Verfahren der Polarisationsdiversität kann beim Kontrast der Polarisationsstrennung 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 Stapels 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 doppelbrechender Filter gezeigt. Unser Verfahren der Polarisationsdiversität kann beim Kontrast der Polarisationsstrennung 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 doppelbrechenden 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 doppelbrechenden 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 doppelbrechenden 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 doppelbrechende Filter **401** enthält ein oder mehrere doppelbrechende 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 Doppeldurchgangsfiler, 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** ausgehenden 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 linearpolarisierten Eingabestrahle. 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 Summenleistung

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,  $\pm 100$  GHz in [Fig. 2b](#), ist die Ausgabe des Filters **401** vertikal stark und horizontal schwach. Nach der gleichen Analyse wie oben, erzeugt der doppeltbrechende Doppeldurchgangsfiler einen intensiven OUT2 und einen schwachen OUT1. Die Summe der Leistungen an den Ausgangsports 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 ungeradzahigen Kanäle bei OUT1 ausgegeben würden und die geradzahigen 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 Doppeldurchgangsfiler (BF) **601** das WDM-Signal so zerlegen, daß die ungeradzahigen 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 doppelbrechende 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 doppelbrechende 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 doppelbrechende Doppeldurchgang-Slicer-Filter den Nebensprechboden von -27 dB auf -40 dB reduzieren und sollte inhärent achromatisch sein. Zusätzlich weist das Verfahren mit Doppeldurchgangseingangs- 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. Doppelbrechender 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 doppelbrechende 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 doppelbrechende Filtervorrichtung (401) wieder durchlaufen, und wobei die doppelbrechende Filtervorrichtung (401) groß genug ist, um sowohl die vorwärtsgerichteten Strahlen als auch die rückwärtsgerichteten Strahlen aufzunehmen und wobei die doppelbrechende 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. Doppelbrechender 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. Doppelbrechender DoppeldurchgangsfILTER nach Anspruch 2, wobei auf die  $\lambda/2$ -Wellenplatte ein Folienpolarisator folgt.



4. Doppeltbrechender 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. Doppeltbrechender 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. Doppeltbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 2, wobei ein Kristallschnitt des Strahlverschiebers von einem Kristallschnitt von doppeltbrechenden Platten verschieden ist, die in der doppeltbrechenden Filtervorrichtung verwendet werden.

7. Doppeltbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 1, wobei die externe Schnittstellenvorrichtung folgendes enthält:  
einen rhombuspolarisierten Strahlteiler, 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. Doppeltbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 1, wobei der lineare doppeltbrechende Filter aufgebaut ist aus einer Reihe von mehreren verschiedenen doppeltbrechenden Wellenplatten unter Verwendung von Materialien ausgewählt aus einer Gruppe enthaltend Calcit und Rutil, Yttrium-Orthovanadat, Alpha-Bariumborat und Lithiumniobat.

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

11. Doppeltbrechender Doppeldurchgangsfilter nach Anspruch 9, wobei 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.

12. Doppeltbrechender 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 doppeltbrechenden 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. Doppeltbrechender 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 doppeltbrechenden 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;

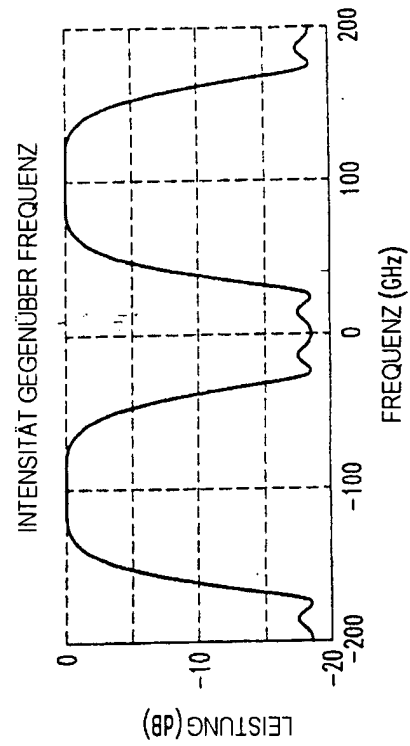
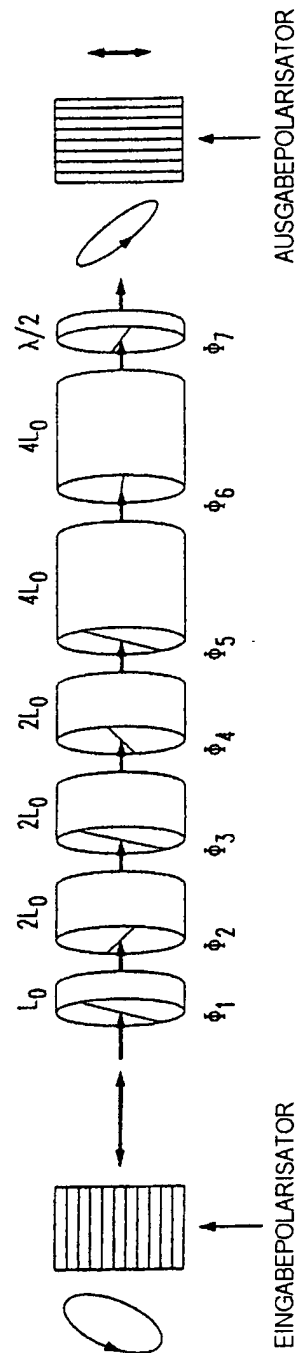
Erzeugen von vier elliptisch polarisierten Strahlen bei der zweiten optischen Vorrichtung (401), wobei die rückwärtsgerichteten Strahlen jeweils erste und zweite Strahlkomponenten enthalten; und

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.

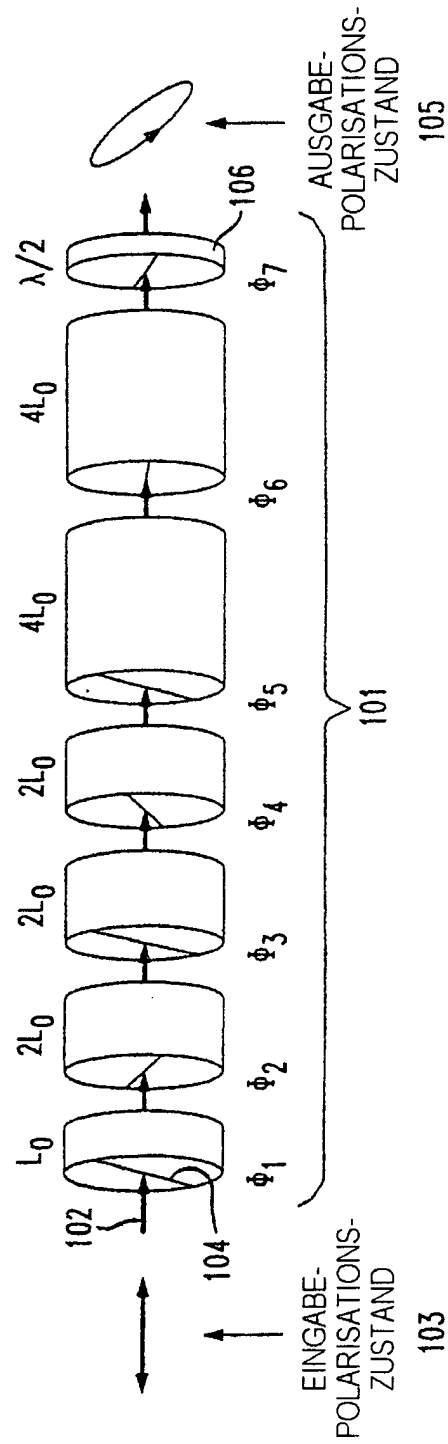
16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei die sechs parallelen ausgegebenen Strahlen durch einen Folienpolarisator auf zwei reduziert werden, der unmittelbar vor der zweiten optischen Vorrichtung plaziert ist.

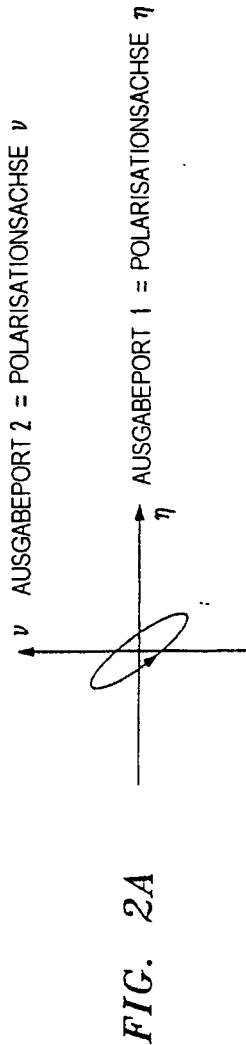
Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

**FIG. 1A**  
STAND DER TECHNIK



**FIG. 1B**  
STAND DER TECHNIK





*FIG. 2B*

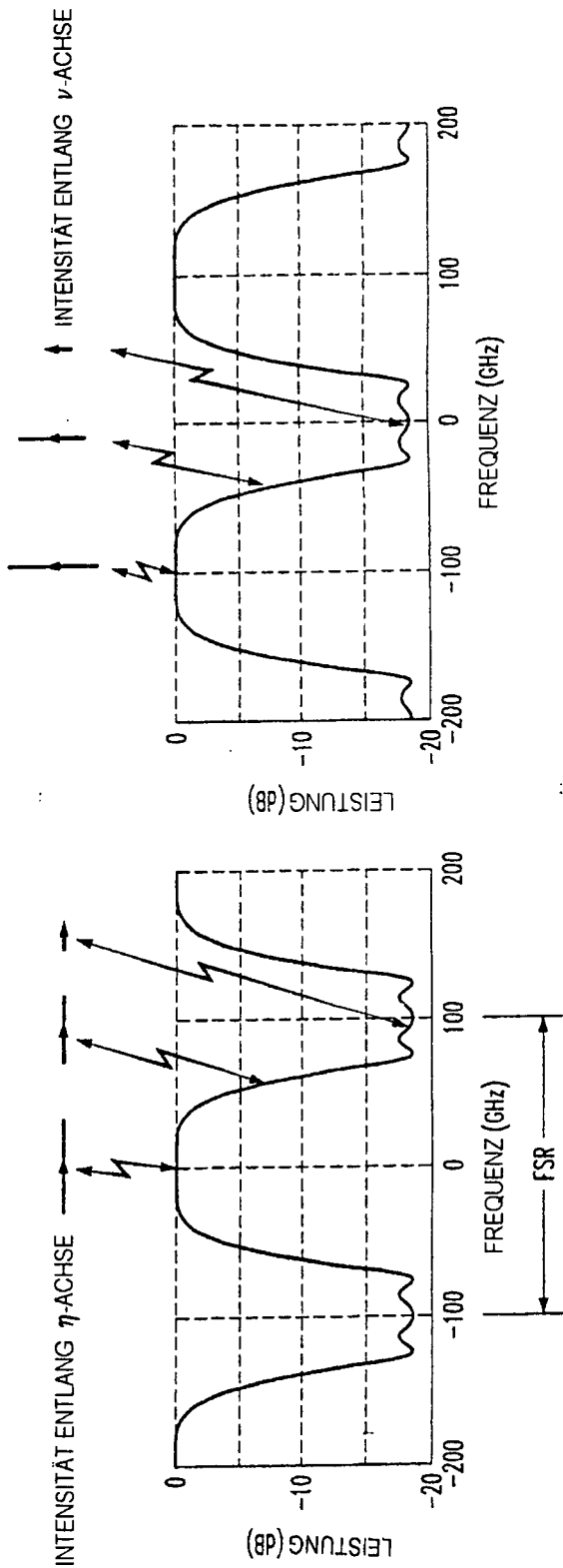




FIG. 3A  
STAND DER TECHNIK

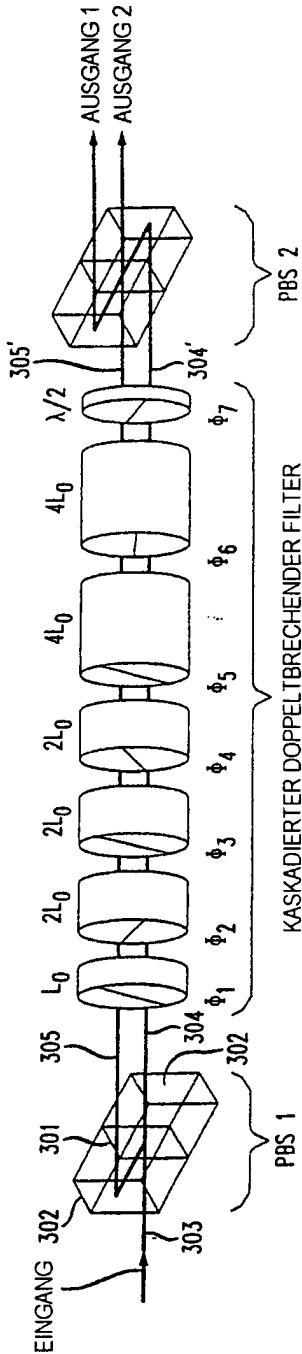


FIG. 3B

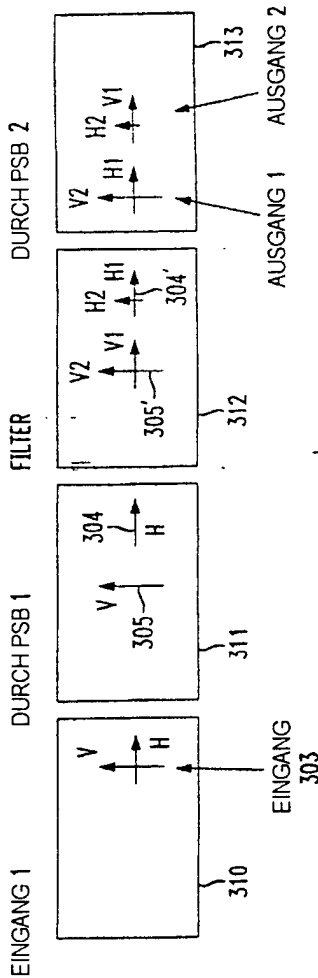


FIG. 4A

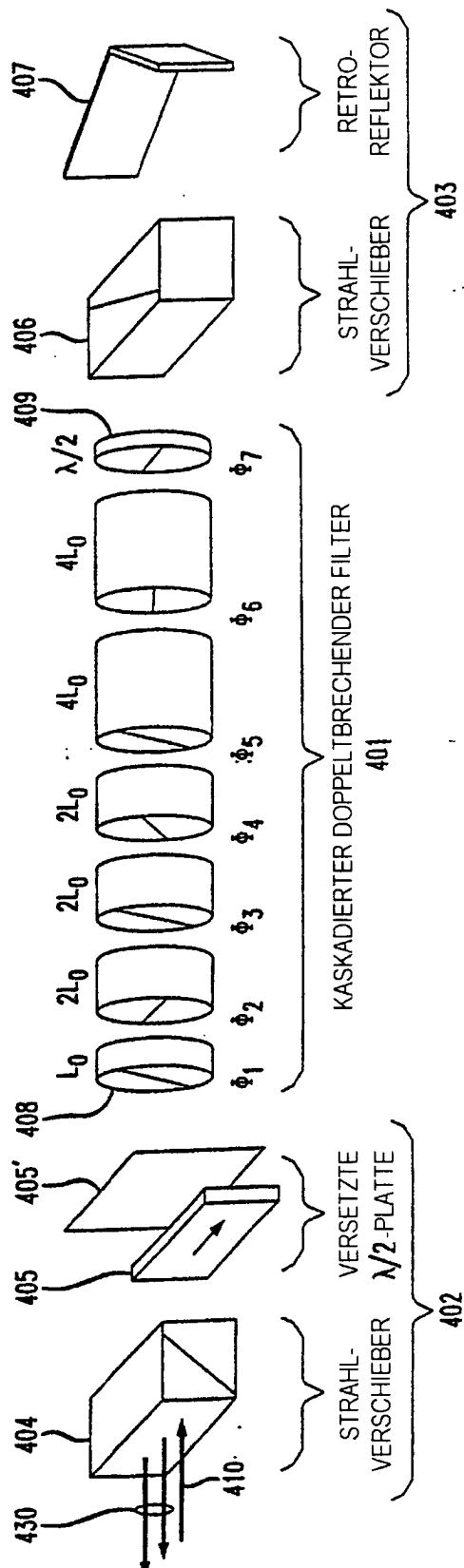


FIG. 4B

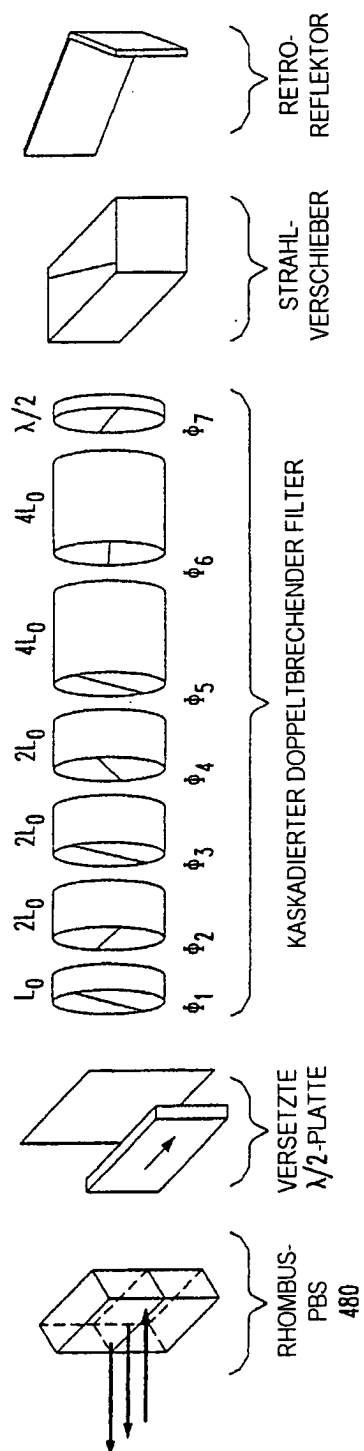


FIG. 4C

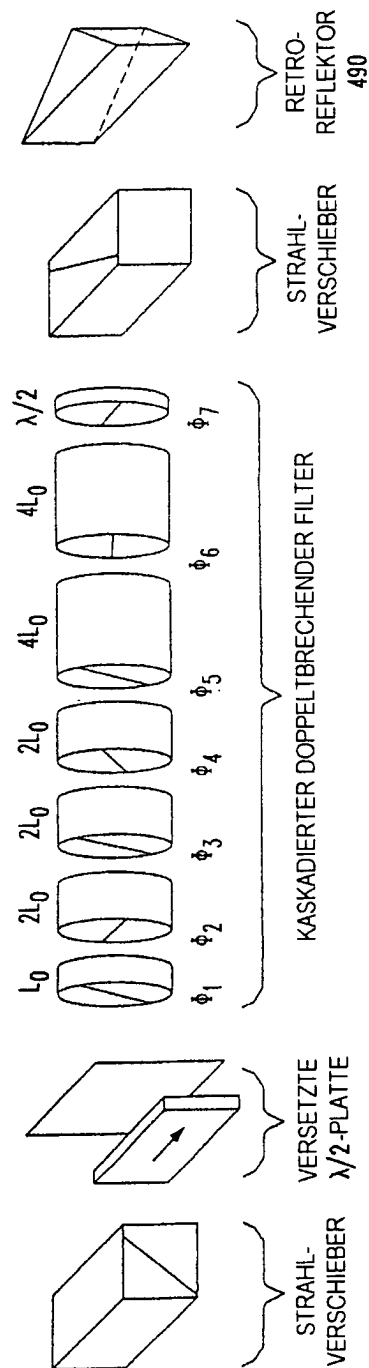


FIG. 5A

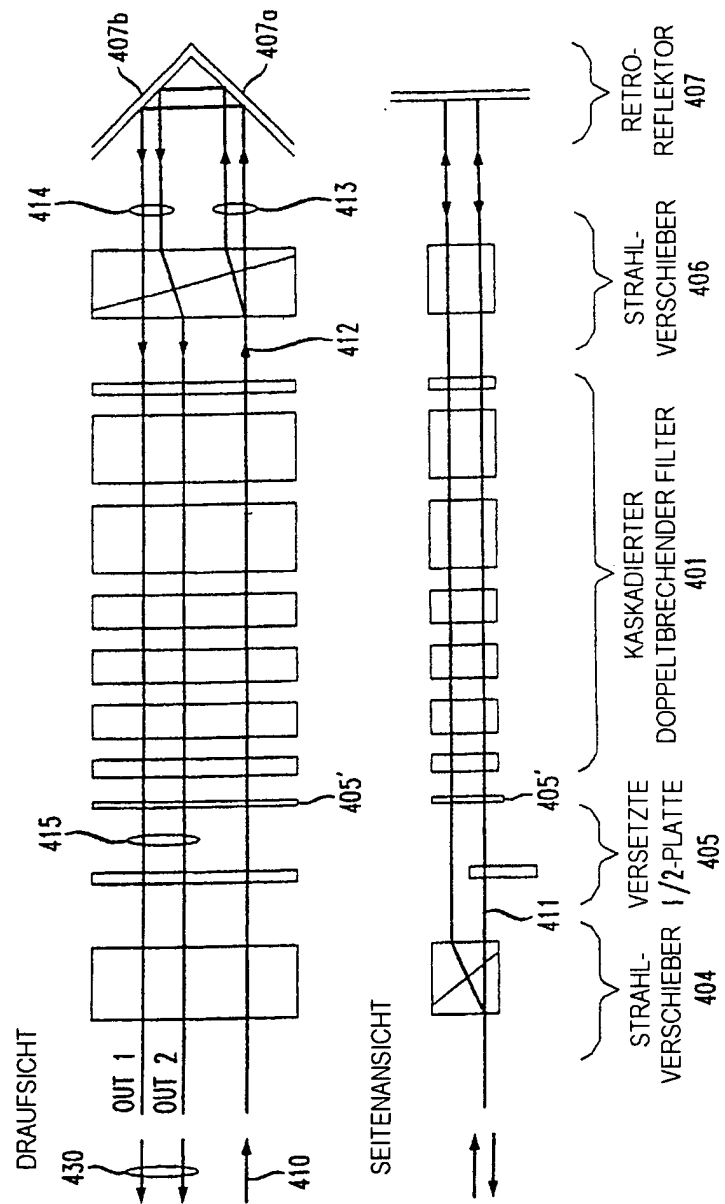


FIG. 5B

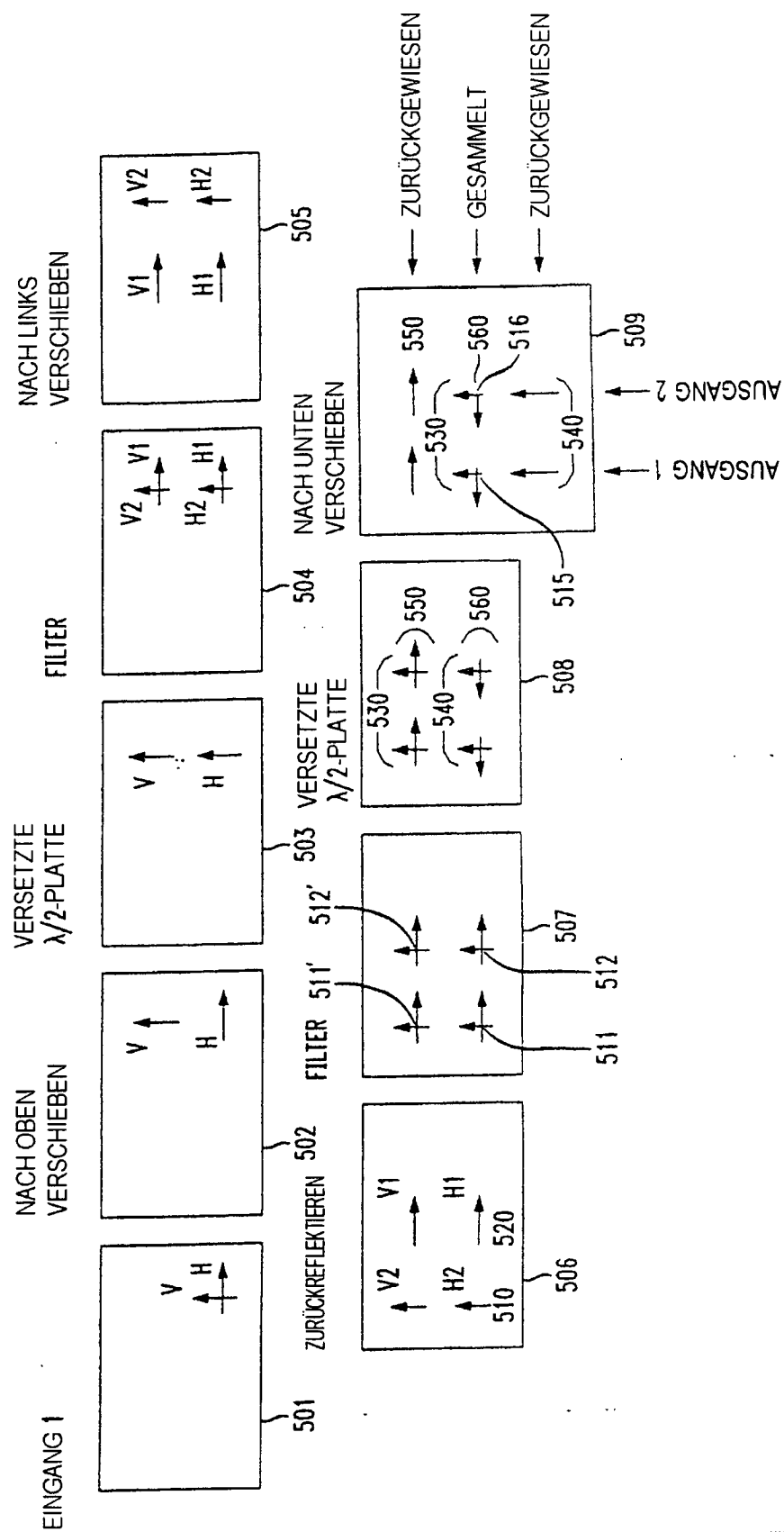




FIG. 6

