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

(10) **DE 696 32 180 T2** 2005.03.17

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 779 719 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 32 180.7**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **96 308 939.6**
(96) Europäischer Anmeldetag: **10.12.1996**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **18.06.1997**
(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **14.04.2004**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.03.2005**

(51) Int Cl.[7]: **H04B 10/148**

(30) Unionspriorität:

8496	**11.12.1995**	**US**
644881	**10.05.1996**	**US**

(73) Patentinhaber:
Litton Systems, Inc., Woodland Hills, Calif., US

(74) Vertreter:
Viering, Jentschura & Partner, 80538 München

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

(72) Erfinder:
Hall, David B., LA Crescenta, California 91214, US

(54) Bezeichnung: **Empfängersysteme mit Polarisationsdiversität**

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

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein den Bereich optischer Signalempfänger. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung ein Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem, welches einen optischen Strahl, welcher eine p-polarisierte Komponente und eine s-polarisierte Komponente aufweist, empfängt.

[0002] Bei Systemen, welche optische Signale von einer optischen Faser empfangen, kann durch Veränderungen der Polarisation der durch die optische Faser übertragenen optischen Signale Signal-Schwund verursacht sein. Insbesondere kann Phaseninformation von zwei oder mehr durch eine faseroptische Übertragungslinie übertragenen optischen Signalen am Empfänger verloren sein, wenn die Polarisationen von zwei interessierenden Signalen gekreuzt sind, wodurch kein Detektor-Schwebungssignal resultiert. Man kann daher einen Mechanismus zum Behandeln des Signals vor der Detektion bereitstellen, welcher in allen Fällen von Polarisations-Drift ein ausreichend großes Detektor-Schwebungssignal zur Signalverarbeitung liefert.

[0003] Ein Mechanismus, welcher auf das oben beschriebene Problem gerichtet ist, ist in der US-Patenspezifikation No. 5,448,058 beschrieben. Diese Spezifikation offenbart eine Vorrichtung, welche aufweist: ein Array von Fotodetektor-Elementen, welchem ein Polarisator-Array vorgelagert ist, wobei das Letztere eine Mehrzahl von Polarisatoren mit untereinander um ausgewählte Winkel abweichenden Polarisationsachsen aufweist, so dass jedes auf das Polarisator-Array einfallende optische Signal eine Polarisations-Komponente entlang wenigstens einer der Polarisationsachsen aufweist. Die Fotodetektor-Elemente sind derart angeordnet, dass jedes von ihnen Licht von einem ausgewählten der Polarisatoren empfängt. Wenigstens ein Fotodetektor-Element empfängt Parallel-Polarisations-Komponenten von den optischen Signalen, um ein elektrisches Signal, welches Interferenz zwischen den optischen Signalen anzeigt, zu erzeugen.

[0004] Die oben beschriebene Vorrichtung hat einen theoretischen Verlust ("insertion loss") von ungefähr 4,8 dB bis ungefähr 9,0 dB. In der Praxis führt die Notwendigkeit von Abstandhaltern zwischen nebeneinander liegenden Fotodetektoren zu "Totraum" ("dead space"), was gemessene Verluste von ungefähr 7 dB bis ungefähr 10 dB nach sich zieht. Darüber hinaus benötigt sie eine verhältnismäßig präzise Justage der optischen Faser, der Polarisatoren und der Fotodetektoren. Dieses Merkmal lässt die gesamte Vorrichtung empfindlich für Vibration und mechanischen Schock werden.

[0005] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem zum Erzeugen mehrerer optischer Heterodyn-Ausgangssignale aus einem einfallenden optischen Strahl mit einer p-polarisierten Komponente und einer s-polarisierten Komponente bereitgestellt, das System aufweisend:
ein erstes optisches Element, welches dazu geeignet ist, den einfallenden Strahl zu empfangen, welches den einfallenden Strahl aufspaltet in einen transmittierten Strahlanteil, welcher einen größeren Anteil der p-polarisierten Komponente, nämlich m % (wobei m wenigstens 80 ist) der p-polarisierten Komponenten und einen kleineren Anteil der s-polarisierten Komponente, nämlich n % (wobei n wenigstens 20 ist) der s-polarisierten Komponente enthält, und einen reflektierten Strahlanteil, welcher, ungefähr 100 – m % der p-polarisierten Komponente und ungefähr 100 – n % der s-polarisierten Komponente enthaltend, das erste optische Element als ein erstes optisches Heterodyn-Ausgangssignal verlässt;
einen ersten Fotodetektor, welcher dazu geeignet ist, das erste optische Heterodyn-Ausgangssignal zu empfangen, ein zweites optisches Element, welches dazu geeignet ist, den transmittierten Strahlanteil von dem ersten optischen Element zu empfangen, eine effektive 45°-Drehung der Polarisations-Eigenzustände des transmittierten Strahlanteils zu bewirken und den transmittierten Strahlanteil in ein zweites und ein drittes optisches Heterody-Ausgangssignal aufzuspalten;
einen zweiten Fotodetektor, welcher dazu geeignet ist, das zweite optische Heterodyn-Ausgangssignal zu empfangen, und
einen dritten Fotodetektor, welcher dazu geeignet ist, das dritte optische Heterodyn-Ausgangssignal zu empfangen. Solch ein Empfängersystem kann derart ausgelegt sein, dass es Polarisations-Signal-Schwund mit wesentlich reduzierten Verlusten ("insertion losses"), und mit verbesserter mechanischer Stabilität und Widerstandsfähigkeit gegenüber Fehljustage aufgrund von Vibrationen und mechanischem Schock reduziert. Darüber hinaus ist solch ein Empfängersystem bis zum möglichen Ausmaß in der Lage, mit standardisierten optischen Komponenten implementiert zu werden.

[0006] Eine Ausführungsform stellt ein Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem hoher Effizienz bereit, um aus einem einfallenden optischen Strahl mit einer p-polarisierten Komonente und einer s-polarisierten Komponente multiple optische Heterodyn-Ausgangssignale zu liefern. Jede der bevorzugten Varianten dieser Ausführungsform weist einen ersten und einen zweiten hintereinander angeordneten polarisierenden Strahlteiler, und drei Fotodetektoren, von denen jeder ein optisches Heterodyn-Signal empfängt, auf. Ein solches Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem kann so ausgelegt sein, dass es das größte dieser drei Signale aufspürt, und nur dieses größte zur anschließenden Signalverarbei-

tung verwendet. Für dieses größte Signal gibt es ein Minimum, welches von den Eingangs-Polarisationen der zwei optischen Felder abhängig ist, deren Schwebungssignal das Heterodyn-Signal ist. Daher kann man das Minimum dieses größten von den drei Heterodyn-Signalen maximieren.

[0007] In bevorzugten Ausführungsformen der vorliegende Erfindung teilt der erste polarisierende Strahlteiler Idealerweise den einfallenden Strahl in einen transmittierten Strahlanteil, welcher ungefähr 100 % der p-polarisierten Komponente und ungefähr 33 % der s-polarisierten Komponente enthält und einen reflektierten Strahlanteil, welcher ungefähr 0 % der p-polarisierten Komponente und ungefähr 67 % der s-polarisierten Komponente enthält. Der reflektierte Strahlanteil verlässt den ersten polarisierenden Strahlteiler als ein erstes optisches Heterodyn-Ausgangssignal, und trifft auf einen ersten Fotodetektor auf. Allgemeiner kann n wenigstens 25 sein. Der transmittierte Strahlanteil verlässt den ersten Strahlteiler und erfährt anschließend eine effektive 45°-Drehung seiner Polarisations-Eigenzustände um seine Propagations-Achse, entweder vor oder während seines Durchlaufs durch den zweiten polarisierenden Strahlteiler. Der zweite Strahlteiler teilt den rotierten transmittierten Strahlanteil in ein zweites und ein drittes optisches Heterodyn-Ausgangssignal auf, welche auf einen zweiten beziehungsweise dritten Fotodetektor auftreffen.

[0008] In einer ersten bevorzugten Variante weist der zweite polarisierende Strahlteiler eine Uniaxial-Kristall-Platte auf, welche optisch mit dem ersten Strahlteiler derart gekoppelt ist, dass sie von diesem den transmittierten Strahlanteil empfängt. Die Kristallplatte bewirkt die effektive 45°-Drehung der Polarisations-Eigenzustände des transmittierten Strahlanteils, und teilt den gedrehten transmittierten Strahlanteil in einen ordentlichen Strahl, welcher mit einer ersten linearen Polarisation durch die Platte transmittiert wird, und einen außerordentlichen Strahl, welcher mit einer zweiten linearen Polarisation, welche orthogonal zu der ersten linearen Polarisation ist, durch die Platte transmittiert wird, auf. Der ordentliche Strahl verlässt die Platte als das zweite optische Heterodyn-Ausgangssignal, und der außerordentliche Strahl verlässt die Platte als das dritte optische Heterodyn-Ausgangssignal.

[0009] In der zweiten bevorzugten Variante tritt der transmittierte Strahlanteil in eine Halbwellen-Verzögerungsplatte ein, welche optisch mit dem ersten polarisierenden Strahlteiler gekoppelt ist. Die Verzögerungsplatte bewirkt die effektive 45°-Drehung der Polarisations-Eigenzustände des transmittierten Strahlanteils. Der gedrehte transmittierte Strahlanteil tritt dann in einen zweiten Polarisations-Strahlteiler ein, welcher optisch mit der Verzögerungsplatte gekoppelt ist, und welcher den gedrehten transmittierten Strahlanteil aufspaltet in einen zweiten transmittierten Strahlanteil, welcher zu ungefähr 100 % p-polarisiert ist und einen zweiten reflektierten Strahlanteil, welcher ungefähr 100 % s-polarisiert ist aufspaltet. Der zweite transmittierte Strahlanteil verlässt den zweiten Strahlteiler als das zweite optische Heterodyn-Ausgangssignal, und der zweite reflektierte Strahlanteil verlässt den zweiten Strahlteiler als das dritte optische Heterodyn-Ausgangssignal.

[0010] In einer dritten bevorzugten Variante verläuft der transmittierte Strahlanteil direkt von dem ersten polarisierenden Strahlteiler in einen zweiten polarisierenden Strahlteiler, welcher optisch direkt an den ersten polarisierenden Strahlteiler gekoppelt ist. Der zweite Strahlteiler ist bezüglich der Propagationsachse des transmittierten Strahlanteils derart orientiert, dass er eine effektive 45°-Drehung der Polarisations-Eigenzustände des transmittierten Strahlanteils bewirkt. Der zweite polarisierende Strahlteiler teilt den gedrehten transmittierten Strahlanteil in einen zweiten transmittierten Strahlanteil, welcher zu ungefähr 100 % p-polarisiert ist, und einen zweiten reflektierten Strahlanteil, welcher zu ungefähr 100 % s-polarisiert ist, auf. Der zweite transittierte Strahlanteil verlässt den zweiten Strahlteiler als das zweite optische Heterodyn-Signal, und der zweite reflektierte Strahlanteil verlässt den zweiten Strahlteiler als das dritte optische Heterodyn-Ausgangssignal.

[0011] Ein Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß der vorliegenden Erfindung kann derart eingerichtet sein, dass es in der Lage ist, mit Verlusten ("insertion losses") von weniger als 6 dB, und sogar so niedrig wie 1 dB oder weniger zu funktionieren. Darüber hinaus sind solche Empfänger nicht notwendigerweise abhängig von genauer Justage ihrer optischen Komponenten, und daher verhältnismäßig unempfindlich gegenüber mechanischem Schock.

[0012] Verschiedene weitere Aspekte der Erfindung werden durch die beigefügten Ansprüche erläutert.

[0013] Zum besseren Verständnis der Erfindung, und um zu zeigen, wie dieselbe ausgeführt werden kann, wird exemplarisch auf die beigefügten Zeichnungen Bezug genommen, in welchen:

[0014] **Fig.** 1 eine Diagramm-Darstellung eines Polarisationsdiversitäts-Empfängersystems gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

[0015] **Fig.** 2 eine perspektivische Ansicht eines kristallinen Calcitblockes ist, welcher in der Ausführungsform von **Fig.** 1 als optischer Strahlteiler verwendet wird;

[0016] **Fig.** 3 eine Ansicht einer Seite des Blockes aus **Fig.** 2 ist, welche die Orientierung der optischen

Achse in Bezug auf diese Seite zeigt;

[0017] **Fig.** 4 eine Diagramm-Darstellung eines Polarisationsdiversitäts-Empfängersystems gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

[0018] **Fig.** 5 eine perspektivische Ansicht einer kristallinen Quarzplatte ist, welche in der Ausführungsform von **Fig.** 4 als eine optische Halbwellen-Verzögerungsplatte verwendet wird;

[0019] **Fig.** 6 eine Ansicht einer Seite der Platte aus **Fig.** 5 ist, welche die Orientierung der optischen Achse mit Bezug auf diese Seite zeigt;

[0020] **Fig.** 7 eine Diagramm-Darstellung eines Polarisationsdiversitäts-Empfängersystems gemäß einer dritten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist; und

[0021] **Fig.** 8 eine entlang Linie 8 – 8 aus **Fig.** 7 aufgenommene Ansicht ist.

[0022] **Fig.** 1 stellt ein hocheffizientes Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem **10** gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar. Das Empfängersystem **10** empfängt ein optisches Signal von einer optischen Einmoden-Faser **12**, welche ein optisches Signal (sichtbar oder infrarot) von einer geeigneten Quelle (nicht gezeigt) überträgt, welche ein Laser sein kann. Die optische Faser **12** ist in einer in der Technik wohlbekannten Weise in einer strukturgebenden Halteröhre oder Hülse ("ferrule") **14** gehalten. Das optische Signal tritt aus dem proximalen Ende der optischen Faser **12** als ein Strahl aus, und tritt nach Durchqueren eines optischen Spaltes **18** in eine Fokusier-Linse **16** ein. Die Linse **16** ist bevorzugterweise eine Gradienden-Index-("GRIN")Linse, von der Art, wie sie von NSG America, INC., Somerset, NJ, unter der Marke "SELFOC" verfügbar ist, oder ein Äquivalent. Die Linse **16** fokusiert den optischen Strahl in einer unten zu beschreibenden Weise. Der Spalt **18** kann aus irgendeinem Material, inklusive Luft, sein, welches für die verwendeten optischen Wellenlängen transparent ist. Bevorzugterweise ist der Spalt **18** justierbar, um sicherzustellen, dass der optische Strahl in die Linse **16** mit dem geeigneten Maß an Divergenz eintritt, um die gewünschte Brennweite der Linse zu erzielen.

[0023] Die Linse **16** ist mechanisch und optisch an einen ersten polarisierenden Strahlteiler **20** gekoppelt. Der erste Strahlteiler **20** weist ein erstes Prisma oder Eingangs-Prisma **22** auf (an welches Linse **16** gekoppelt ist), und ein zweites Prisma oder Ausgangs-Prisma **24**, welches entlang einer beschichteten optischen Grenzfläche **26** mit dem Eingangs-Prisma **22** gekoppelt ist. Die Prismen **22**, **24** sind kommerziell verfügbare Einheiten aus Glas optischer Qualität, bevorzugterweise des unter der Bezeichnung "BK7" von Schott Glaswerke, Mainz, Deutschland vermarkteten Typs, oder einem Äquivalent.

[0024] Die Prismen **22**, **24** sind bevorzugterweise rechtwinklige Prismen, und die optische Grenzfläche **26** zwischen ihnen bildet einen Winkel α von 45° bezüglich des einfallenden optischen Strahls I, welcher von der Linse kommend in den ersten Strahlteiler **20** eintritt. Die Grenzfläche **26** ist optisch derart beschichtet, dass sie den einfallenden Strahl I in zwei voneinander um 90° getrennte Strahlen mit verschiedenen Verhältnissen von p-Polarisation und s-Polarisation des optischen Signals aufspaltet. Für diese Ausführungsform ist die Beschichtung der Grenzfläche **26** derart eingerichtet, dass sie fast eine ideale 100 %-Transmission der p-polarisierten Komponente des Signals erreicht, und damit eine fast ideale 0 %-Reflexion der p-polarisierten Komponente. Für die s-polarisierte Komponente ist es wünschenswert, ungefähr eine Ideal-Transmission von 33 % zu erreichen, und daher ungefähr eine Ideal-Reflexion von 67 %. Daher wird der Anteil T des durch die Grenzfläche **26** transmittierten optischen Signals ungefähr 100 % von seiner p-polarisierten Komponente und ungefähr 33 % von seiner s-polarisierten Komponente enthalten. Der Anteil R des an der Grenzfläche **26** reflektierten optischen Signals wird praktisch Nichts von seiner p-polarisierten Komponente und ungefähr 67 % von seiner s-polarisierten Komponente enthalten.

[0025] Die zum Erreichen der oben genannten Polarisations-Merkmale der transmittierten und reflektierten Anteile des einfallenden Strahls notwendige spezielle Beschichtung hängt von der Wellenlänge des einfallenden Strahles ab. Wenn beispielsweise eine Nenn-Wellenlänge von 1320 nm verwendet wird, sollte die Beschichtung ein sogenannter "Viertel-Wellenlängen-Stapel" sein, welcher drei jeweils ungefähr 221 nm dicke Schichten aus Silizium-Nitrit im Wechsel mit zwei jeweils ungefähr 330 nm dicken Schichten aus Siliziumdioxid aufweist. Diese Materialien und Maße werden nicht die idealen, oben angegebenen Transmissions- und Reflexions-Verhältnisse erreichen, aber sie werden ausreichend nahe Annäherungen erreichen, um verwendbare Resultate zu liefern. Es wird als dem Fachwissen von Fachleuten der einschlägigen Technik zugehörig erachtet, spezielle Beschichtungs-Zusammensetzungen und -Dicken zu liefern, welche für andere, potentiell interessierende Wellenlängen geeignet sind. Der reflektierte Anteil R des einfallenden Strahles I wird unter einem rechten Winkel bezüglich des transmittierten Anteils durch das Eingangs-Prisma **22** zu einem ersten Fotodetektor **28** geleitet. Der transmittierte Anteil T verläuft durch das Ausgangsprisma **24** in eine uniaxiale Calcit-Kristallplatte **30**, welche mechanisch und optisch an das Ausgangs-Prisma **24** gekoppelt

ist, um durch sich hindurch den transmittierten Strahlanteil T zu empfangen. Die Calcit-Kristallplatte **30** wirkt als ein zweiter polarisierender Strahlteiler und weist, wie in **Fig.** 2 und 3 gezeigt, eine Austrittfläche A, eine parallel zu der Austrittfläche A angeordnete Eintrittfläche B und eine Seitenfläche C auf. Die Calcit-Kristallplatte **30** hat eine optische Achse **32**, welche einen 45°-Winkel mit der Ebene der Austrittfläche A bildet. Wie in **Fig.** 3 gezeigt, erstreckt sich die optische Achse **32**, gesehen von der Austrittfläche A aus, unter einem Winkel von 45° zur Seitenfläche C als eine Diagonale über die Austrittfläche A. Diese Orientierung der optischen Achse **32** der Calcit-Kristallplatte **30** liefert eine effektive 45°-Drehung der Polarisations-Eigenzustände des transmittierten Strahlanteils T um seine Propagationsachse zwischen den zwei Strahlteilern **20**, **30**.

[0026] Die Calcit-Kristallplatte **30** propagiert eine Linearpolarisation des transmittierten Strahlanteils T als einen ordentlichen Strahl, und die orthogonale Polarisation als einen außerordentlichen Strahl unter einem Winkel von ungefähr 6° bezüglich des ordentlichen Strahls. Der ordentliche Strahl verlässt die Calcit-Kristallplatte **30** als ein erster transmittierter Strahlanteil T1, welcher in einen zweiten Fotodetektor **34** eintritt, wohingegen der außerordentliche Strahl die Calcit-Kristallplatte **30** als ein zweiter transmittierter Strahlanteil T2 verlässt, welcher in einen dritten Fotodetektor **36** eintritt.

[0027] Die optischen Auslegungswerte aller optischen Komponenten (das heißt der Prismen **22**, **24** und der Calcit-Kristallplatte **30**) sind so gewählt, dass sie eine optische Pfadlänge für den reflektierten Strahlanteil R erzeugen, welche ungefähr gleich der optischen Pfadlängen für die transmittierten Strahlanteile T1 und T2 ist. Geeignete Auswahl der GRIN-Linse **16** und der Breite des optischen Spaltes **18** für die ausgewählte Wellenlänge des optischen Signals resultiert in fokusierten und vergrößerten Strahl-Abbildungen, welche auf den Detektoren **28**, **34** beziehungsweise 36 auftreffen. Beispielsweise ist für eine Strahl-Nenn-Wellenlänge von 1320 nm eine Viertel-Pitch GRIN-Linse **16** mit ungefähr 1,0 mm Durchmesser vom Ende der optischen Faser **14** durch ein Spalt **18** von ungefähr 0,3 mm Breite getrennt.

[0028] Ein Hocheffizienz-Polarisationsdiversität-Empfängersystem **40** gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist in **Fig.** 4 dargestellt. In dieser Ausführungsform ist eine kollimierende GRIN-Linse **41**, welche von einer optischen Einmoden-Faser (nicht dargestellt) ein optisches Signal empfängt, optisch und mechanisch an eine Eingangsfläche eines ersten polarisierenden Strahlteilers **42** gekoppelt, in welchen sie einen kollimierten einfallenden Strahl I leitet. Dieser erste Strahlteiler **42** weist eine erste optische Grenzfläche **44** auf, welche, wie oben beschrieben, derart beschichtet ist, dass sie eine annähernd ideale 100%-Transmission der p-polarisierten Komponente des Signals, und daher eine annähernd ideale 0%-Reflektion der p-polarisierten Komponente erreicht. Für die s-polarisierte Komponente wird angestrebt, annähernd eine Ideal-Transmission von 33% und daher annähernd eine Ideal-Reflektion von 67% zu erreichen. Daher wird der durch die erste Grenzfläche **44** transmittierte Anteil T des optischen Signals ungefähr 100% seiner p-polarisierten Komponente, und ungefähr 33% seiner s-polarisierten Komponente enthalten. Der Anteil R des an der ersten Grenzfläche **44** reflektierten optischen Signals wird fast Nichts von seiner p-polarisierten Komponente und ungefähr 67% von seiner s-polarisierten Komponente enthalten. Der reflektierte Anteil R des einfallenden optischen Signalsstrahls I ist aus dem ersten Strahlteiler **42** unter einem rechten Winkel zu dem transmittierten Anteil T des Strahls durch eine erste Fokussierlinse **46** in einen ersten Fotodetektor **48** gerichtet. Der transmittierte Anteil T des einfallenden optischen Signalstrahls I verläuft durch den ersten Strahlteiler **42** in eine Halbwellen-Quartz-Verzögerungsplatte **50**, welche mechanisch und optisch mit einer Austrittsfläche des ersten Strahlteilers **42** gekoppelt ist.

[0029] Die Verzögerungsplatte **50** dreht die Polarisations-Eigenzustände des transmittierten Strahlanteils T um 45° um ihre Propagationsachse. Wie in **Fig.** 5 und 6 dargestellt, weist die Verzögerungsplatte **50** eine polierte Austrittsfläche A', eine parallel zu der Austrittsfläche A' angeordnete polierte Eintrittsfläche B' und eine Seitenfläche C' auf. Um die oben genannte 45°-Strahl-Drehung zu erreichen, hat die Verzögerungsplatte **50** eine optische Achse **52**, welche in einer Ebene, welche einen Winkel von 22°30' bezüglich der Seitenfläche C' aufweist, enthalten ist. Darüber hinaus müssen die Orientierung der optischen Achse **52** bezüglich der Austrittsfläche A' und die Dicke (gemessen in der Richtung der Propagationsachse) der Verzögerungsplatte **50** für die Wellenlänge des einfallenden Strahles I geeignet gewählt sein, um die benötigte Halbwellen-Verzögerung zu erreichen. Wenn beispielsweise der einfallende Strahl I eine Nenn-Wellenlänge von 1320 nm aufweist, ist die optische Achse **52** unter einem Winkel von 13°4' mit Bezug auf die Normale der Austrittsfläche A' ausgerichtet, und die Dicke der Verzögerungsplatte **50** beträgt ungefähr 1,5 mm.

[0030] Bezugnehmend auf **Fig.** 4, tritt nach Verlassen der Verzögerungsplatte **50** der tranmittierte Strahlanteil T in einen zweiten polarisierenden Strahlteiler **54** ein, welcher optisch und mechanisch mit der Austrittsfläche A' der Verzögerungsplatte **50** gekoppelt ist. Der zweite polarisierende Strahlteiler **54** ist ein kommerziell verfügbares Element, welches eine zweite optische Grenzfläche **56** aufweist, wel-

che derart beschichtet ist, dass sie annähernd 100% der p-polarisierten Komponente des optischen Signals und annähernd 0% der s-polarisierten Komponente transmittiert, und annähernd 100% der s-polarisierten Komponente und annähernd 0% der p-polarisierten Komponente reflektiert. Die transmittierte p-polarisierte Komponente Tp verlässt den zweiten Strahlteiler **54** entlang der ursprünglichen Propagationsachse und trifft nach Durchlaufen einer zweiten Fokussierlinse **58** auf einen zweiten Fotodetektor **60** auf. Die reflektierte s-polarisierte Komponente R verlässt den zweiten Strahlteiler **54** unter einem rechten Winkel zur ursprünglichen Propagationsachse, und trifft nach Durchlaufen einer dritten Fokussierlinse **62** auf einen dritten Fotodetektor **64** auf.

[0031] Ein Hocheffizienz-Polarisations-Diversitäts-Empfänger **70** gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung ist in **Fig.** 7 und 8 dargestellt. In dieser Ausführungsform ist eine Kollimations-GRIN-Linse **72**, welche ein optisches Signal von einer optischen Einmoden-Faser (nicht dargestellt) empfängt, optisch und mechanisch an eine Eingangsfläche eines ersten poralisierenden Strahlteilers **74** gekoppelt, in welchen sie einen kollimierten Einfallsstrahl I richtet. Dieser erste Strahlteiler **74** ist im Wesentlichen bezüglich seiner optischen Eigenschaften mit dem ersten Strahlteiler **42** der oben beschriebenen zweiten Ausführungsform identisch. Daher weist der erste Strahlteiler **74** der dritten Ausführungsform eine erste optische Grenzfläche **76** auf, welche, wie oben beschrieben, derart beschichtet ist, dass sie eine annähernd 100%-Transmission der p-polarisierten Komponente des Signals und daher annähernd eine ideale 0%-Reflexion der p-polarisierten Komponente erreicht. Für die s-polarisierte Komponente wird gewünscht, ungefähr eine Ideal-Transmission von 33%, und daher ungefähr eine Ideal-Reflektion von 67% zu erreichen. Daher wird der durch die erste Grenzfläche **76** transmittierte Anteil T des optischen Signals ungefähr 100% seiner p-polarisierten Komponente und ungefähr 33% seiner s-polarisierten Komponente enthalten. Der Anteil R des an der ersten Grenzfläche **76** reflektierten optischen Signals wird fast Nichts von seiner p-polarisierten Komponente und ungefähr 67% von seiner s-polarisierten Komponente enthalten.

[0032] Der reflektierte Anteil R des einfallenden optischen Signalstrahls I wird aus dem ersten Strahlteiler **74** heraus unter einem rechten Winkel bezüglich des transmittierten Anteils T des Strahls durch eine erste Fokussierlinse **78** in einen ersten Fotodetektor **80** gerichtet. Der transmittierte Anteil T des einfallenden optischen Signalstrahls I verläuft durch den ersten Strahlteiler **74** in einen zweiten polarisierenden Strahlteiler **82**, welcher optisch und mechanisch an eine Austrittsfläche des ersten Strahlteilers **74** gekoppelt ist. Der zweite Strahlteiler **82** dieser dritten Ausführungsform ist im Wesentlichen mit dem zweiten Strahlteiler **54** der oben beschriebenen zweiten Ausführungsform optisch identisch, mit dem Unterschied, dass er in dieser dritten Ausführungsform 45° um die Propagationsachse des transmittierten Anteils T des einfallenden Strahls physisch gedreht wird. Daher hat der zweite Strahlteiler **82** eine zweite optische Grenzfläche **84**, welche derart beschichtet ist, dass sie annähernd 100% der p-polarisierten Komponente des optischen Signals und annähernd 0% der s-polarisierten Komponente transmittiert, und annähernd 100% der spolarisierten Komponente und annähernd 0% der p-polarisierten Komponente reflektiert. Die transmittierte p-polarisierte Komponente T_p verlässt den zweiten Strahlteiler **82** entlang der ursprünglichen Propagationsachse und trifft nach Durchlaufen einer zweiten Fokussierlinse **86** auf einen zweiten Fotodetektor **88** auf. Die reflektierte s-polarisierte Komponente R_s verlässt den zweiten Strahlteiler **82** unter einem rechten Winkel bezüglich der ursprünglichen Propagationsachse, und trifft nach Durchlaufen einer dritten Fokussierlinse **90** auf einen dritten Fotodetektor **92** auf.

[0033] Das Polarisationsdiversität-Empängersystem **70** der dritten Ausführungsform weicht von dem System **40** der zweiten Ausführungsform im Wesentlichen dadurch ab, dass das System **70** der dritten Ausführungsform keine Verzögerungsplatte **50** zwischen den zwei Strahlteilern **74**, **82** benötigt. Andererseits benötigt es eine physische Drehung des zweiten Strahlteilers **82** bezüglich des ersten Strahlteilers **54**, so dass die auftretenden reflektierten Strahlanteile R und R_s nicht coplanar sind, wie in **Fig.** 8 dargestellt. Daher liegen die erste Fokussierlinse **78** und der erste Fotodetektor **80** in einer anderen Ebene als derjenigen, in welcher die dritte Fokussierlinse **90** und der dritte Fotodetektor **92** liegen. Während daher das System **40** der zweiten Ausführungsform in Bezug auf die Komponenten-Anzahl etwas komplexer ist als das System **70** der dritten Ausführungsform, ist es einer kompakteren Packung zugänglich, da seine Fokussierlinsen und Fotodetektoren alle in einer einzigen Ebene angeordnet werden können. Dieser Vorteil wird auch von dem System **10** der ersten Ausführungsform erreicht.

[0034] Man wird sehen, dass alle oben beschriebenen Ausführungsformen unter Verwendung größtenteils standardisierter optischer Komponenten implementiert werden können, mit Ausnahme des ersten Strahlteilers, welcher eine spezielle Beschichtung benötigt, allerdings eine Beschichtung, deren Auswahl und deren Aufbringen der Erfahrung eines gewöhnlichen Fachmanns der maßgeblichen Techniken gut zugänglich ist.

[0035] Die Funktionsweise der Erfindung ist im Wesentlichen für alle Ausführungsformen die gleiche. Allerdings sind die für die Strahlkomponenten in der zweiten und dritten Ausführungsform angenomme-

nen Nomenklaturen identisch, und daher wird die Beschreibung der Funktionsweise leichter verallgemeinert, wenn sie die gleiche Nomenklatur annimmt. Daher wird zum Zwecke der folgenden Beschreibung der Funktionsweise angenommen, dass es, funktionell gesehen, einen ersten und einen zweiten polarisierenden Strahlteiler gibt, wobei der zweite Strahlteiler die Polarisationseigenzustände des transmittierten Strahlanteiles 45° um die Propagationsachse dreht, und dass die reflektierten und transmittierten Strahlanteile nach Verlassen der Strahlteiler ordnungsgemäß auf ihre jeweiligen Fotodetektoren fokussiert werden.

[0036] Angenommen, der einfallende Strahl I weist ein optisches Feld A und ein optisches Feld B auf, von denen jedes eine p-polarisierte Komponente und eine s-polarisierte Komponente enthält. Für jedes Feld erzeugt der erste Strahlteiler einen ersten transmittierten Strahlanteil T, welcher ungefähr 100% der p-polarisierten Komponente und ungefähr 33% der spolarisierten Komponente aufweist, und erzeugt einen ersten reflektierten Strahlanteil R, welcher ungefähr 67% der spolarisierten Komponente aufweist. Dieser erste reflektierte Strahlanteil R wird von dem ersten Fotodetektor detektiert.

[0037] Der zweite Strahlteiler, mit der oben beschriebenen 45°-Drehung der Polarisations-Eigenzustände mit Bezug auf den ersten Strahlteiler, bewirkt ein gleichmäßig aufgeteiltes Aufspalten der von dem ersten Strahlteiler empfangenen p-polarisierten Komponente und s-polarisierten Komponente. Daher empfängt, wie oben beschrieben, bei einer annähernd 100%-Transmission der p-polarisierten Komponente und einer annähernd 100%-Reflexion der s-polarisierten Komponente der zweite Fotodetektor einen zweiten transmittierten Strahlanteil Tp, welcher zu annähernd 100% p-polarisiert ist, während der dritte Fotodetektor einen zweiten reflektierten Strahlanteil R_s empfängt, welcher zu annähernd 100% s-polarisiert ist. Das Ergebnis dieser Anordnung der zwei Strahlteiler und ihres jeweiligen Aufspaltens des einfallenden Strahls auf der Basis seiner Polarisations-Komponenten ist, dass die minimal mögliche Amplitude des größten der drei Fotodetektor-Signale maximiert ist. Dieses Signal wird dann aufgesucht und (unter Ausschluss der anderen) für nachfolgende Signalverarbeitung verwendet. Als eine Folge der oben beschriebenen Anordnung der Strahlteiler und ihrer Polarisations-Merkmale gibt es darüber hinaus für jedes Heterodynsignal ein Minimum, welches von der Eingangs-Polarisation der zwei Felder A und B abhängt, deren Schwebungssignal das Hetherodynsignal ist, und bei dem größten der drei Hetereodynsignale wird dieses Minimum maximiert.

[0038] Darüber hinaus empfangen die drei Fotodetektoren insgesamt das gesamte optische Signal des einfallenden Strahls I, im Gegensatz zu der in der oben genannten US-Patent-Spezifikation Nr. 5,448,058 beschriebenen Vorrichtung, in welcher ein Anteil des einfallenden Strahles von den Polarisatoren absorbiert wird, und ein weiterer Anteil auf die Abstandhalter zwischen den Detektoren trifft. Daher sind die von der oben beschriebenen Ausführungsform bewirkten Signalverluste ungefähr 3 dB kleiner, als diejenigen, welche man mit der in US-Patent-Spezifikation Nr. 5,448,058 beschriebenen Vorrichtung erfährt, und diese Verbesserung wurde experimentell verifiziert. Daher sind die Verluste ("insertion losses") von 6 dB oder weniger leicht erreicht, wobei Verluste von 1 dB oder weniger als erreichbar angesehen werden.

[0039] Darüber hinaus erlaubt das Bereitstellen von Fokussierungen der detektierten Strahlanteile auf die jeweiligen Fotodetektoren das Verwenden von Fotodetektoren kleinerer Fläche, als bislang bei ähnlichen Anwendungen genannte wurde. Diese kleinere Größe führt zu einer kleineren Detektor-Kapazität, mit einem niedrigeren resultierenden Spannungs-Rauschen, und bewirkt dadurch ein verbessertes Signal-zu-Rauschen-Verhältnis des detektierten Signals im Vergleich zu der Vorrichtung des Stands der Technik.

[0040] Darüber hinaus ist die vorliegende Erfindung nicht von einer präzisen Ausrichtung ihrer optischen Komponenten abhängig, und ist daher verhältnismäßig unempfindlich gegenüber Schock und Vibrationen.

[0041] Obwohl die Erfindung oben in Verbindung mit einem von einer optischen Faser empfangenen und dann (in der zweiten und dritten Ausführungsform) kollimierten (zum Beispiel durch eine GRIN-Linse) optischen Strahl beschrieben wurde, ist einsichtig, dass irgendeine der Ausführungsformen ein optisches Signal von einem Laserstrahl ohne die Notwendigkeit einer optischen Faser empfangen kann, und das Kollimieren des Strahls (in der zweiten und dritten Ausführungsform an irgendeinen Punkt, und durch irgendeine geeignete Vorrichtung vor dem Eintreten des einfallenden Strahls in den ersten Strahlteiler erfolgen kann.

[0042] Obwohl hierin oben mehrere bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben wurden, wird gewürdigt werden, dass sich Fachleuten der einschlägigen Techniken innerhalb des Schutzbereiches der Ansprüche eine Anzahl von Variationen und Modifikationen anbieten werden.

Patentansprüche

1. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem zum Erzeugen mehrerer optischer Heterodyn-Ausgangssignale aus einem einfallenden optischen Strahl mit einer p-polarisierten Komponente und ei-

ner s-polarisierten Komponente, wobei die Vorrichtung aufweist:
ein erstes optisches Element (**20**), welches derart angeordnet ist, dass es den einfallenden Strahl empfängt, und welches den einfallenden Strahl aufspaltet in einen transmittierten Strahlanteil (T), welcher einen größeren Anteil der p-polarisierten Komponente, nämlich m%, wobei m wenigstens 80 ist, der p-polarisierten Komponente und einen kleineren Anteil der s-polarisierten Komponente, nämlich n%, wobei n wenigstens 20 ist, der s-polarisierten Komponente enthält, und einen reflektierten Strahlanteil (R), welcher das erste optische Element (**20**) als ein erstes optisches Heterodyn-Ausgangssignal verlässt, welcher ungefähr 100-m% der p-polarisierten Komponente und ungefähr 100-n% der spolarisierten Komponente enthält,
einen ersten Photodetektor (**28**), welcher derart angeordnet ist, dass er das erste optische Heterodyn-Ausgangssignal empfängt,
ein zweites optisches Element (**24**,**30**), welches derart angeordnet ist, dass es den transmittierten Strahlanteil (T) von dem ersten optischen Element (**20**) empfängt, eine effektive 45°-Drehung der Polarisations-Eigenzustände des transmittierten Strahlanteils bewirkt und den transmittierten Strahlanteil in ein zweites und ein drittes optisches Heterodyn-Ausgangssignal (T_1,T_2) aufspaltet,
einen zweiten Photodetektor (**64**), welcher derart angeordnet ist, dass er das zweite optische Heterodyn-Ausgangssignal (T_1) empfängt, und einen dritten Photodeteletor (**3G**), welcher derart angeordnet ist, dass er das dritte optische Heterodyn-Ausgangssignal (T_2) empfängt.

2. Polarisationsdiversitäts-Empfänger gemäß Anspruch 1, wobei n mindestens 25 ist.

3. Polarisationsdiversitäts-Empfänger gemäß Anspruch 2, wobei n ungefähr 33 ist und 100-n ungefähr 67 ist.

4. Polarisationsdiversitäts-Empfänger gemäß einem der Ansprüche 1, 2 oder 3, wobei m ungefähr 100 ist.

5. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das zweite optische Element eine optisch mit dem ersten optischen Element gekoppelte einachsige Kristallplatte (**30**) aufweist, wobei das zweite optische Heterodyn-Ausgangssignal (T_1) einen durch die Kristallplatte (**30**) transmittierten ordentlichen Strahl mit einer ersten linearen Polarisation aufweist, und wobei das dritte optische Heterodyn-Ausgangssignal (T_2) einen durch die Kristallplatte transmittierten außerordentlichen Strahl mit einer orthogonal zu der ersten linearen Polarisation angeordneten zweiten linearen Polarisation aufweist.

6. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß Anspruch 5, wobei der außerordentliche Strahl einen Winkel von ungefähr 6° mit dem ordentlichen Strahl bildet.

7. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß Anspruch 5 oder 6, wobei die Kristallplatte eine Austrittsfläche, eine parallel zur Austrittsfläche angeordnete Eintrittsfläche, eine Seitenfläche und eine einen Winkel von ungefähr 45° mit der Ebene der Austrittsfläche bildende optische Achse aufweist, wobei die optische Achse sich von der Austrittsfläche aus gesehen unter einem Winkel von ungefähr 45° zur Seitenfläche diagonal über die Austrittsfläche hinweg erstreckt.

8. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß einem der Ansprüche 5, 6 oder 7, wobei die optischen Abmessungen des Strahlteilers und der Kristallplatte derart gewählt sind, dass die optische Weglänge des reflektierten Strahlanteils ungefähr gleich der optischen Weglänge des transmittierten Strahlanteils ist.

9. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, aufweisend eine optisch mit dem polarisierenden Strahlteiler gekoppelte Fokussierlinse zum Einführen des einfallenden Strahls in diesen, welche eine derart gewählte Brennweite aufweist, dass jedes des ersten, zweiten und dritten Ausgangssignals ein vergrößertes optisches Strahl-Abbild ist, welches zum Auftreffen auf den ersten, zweiten beziehungsweise dritten Photodetektor fokussiert ist.

10. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das zweite optische Element aufweist:
einen polarisierenden Strahlteiler (**54**) und
eine Halbwellen-Verzögerungsplatte (**50**), welche optisch zwischen den ersten und den zweiten polarisierenden Strahlteiler gekoppelt ist.

11. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß Anspruch 10, wobei der transmittierte Strahlanteil ein erster transmittierter Strahlanteil (T) ist, wrobei der reflektierte Strahlanteil ein erster reflektierter Strahlanteil (R) ist, und wobei der polarisierende Strahlteiler des zweiten optischen Elements derart angeordnet ist, dass er den ersten transmittierten Strahlanteil in (a) einen zweiten transmittierten Strahlanteil (T_p) , welcher wenigstens zu 80% p-polarisiert ist und den zweiten polarisierenden Strahlteiler als das zweite optische Heterodyn-Ausgangssignal verlässt, und (b) einen zweiten reflektierten Strahlanteil (R_s) aufspaltet, welcher wenigstens zu 80% s-polarisiert ist und welcher den polarisierenden Strahlteiler des zweiten optischen Elements als das dritte optische Heterodyn-Ausgangssignal verlässt.

12. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß Anspruch 10 oder 11, wobei die Verzögerungsplatte (**50**) eine Austrittsfläche, eine Eintrittsfläche, eine Seitenfläche und eine optische Achse aufweist, welche in einer Ebene enthalten ist, welche bezüglich der Seitenfläche unter einem Winkel von 22°30' angeordnet ist.

13. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das zweite optische Element einen um ungefähr 45° um die Ausbreitungsachse des transmittierten Strahlanteils gedrehten polarisierenden Strahlteiler (**82**) aufweist.

14. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß Anspruch 13, wobei der polarisierende Strahlteiler (**82**) des zweiten optischen Elements ungefähr 45° um die Ausbreitungsachse des transmittierten Strahlanteils gedreht ist.

15. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste optische Element (**20**) einen polarisierenden Strahlteiler aufweist.

16. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß Anspruch 15, wobei der polarisierende Strahlteiler des ersten optischen Elements ein erstes und ein zweites optisches Prisma aufweist, welche miteinander entlang einer optischen Grenzfläche mechanisch und optisch gekoppelt sind.

17. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß Anspruch 16, wobei die optische Grenzfläche einen Winkel von ungefähr 45° mit dem einfallenden Strahl bildet und mit einer optischen Beschichtung beschichtet ist, welche einander abwechselnde Schichten aus Siliziumnitrid und Siliziumdioxid aufweist.

18. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß Anspruch 17, wobei die optische Beschichtung drei Lagen aus Siliziumnitrid und zwei Lagen aus Siliziumdioxid aufweist.

19. Polarisationsdiversitäts-Empfängersystem gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, aufweisend:
eine Kollimationslinse, welche derart optisch mit dem ersten polarisierenden Strahlteiler gekoppelt ist, dass sie in diesen den einfallenden Strahl als einen im Wesentlichen kollimierten optischen Strahl einführt, und eine erste, zweite und dritte Fokussierlinse, welche das erste, zweite und dritte optische Ausgangssignal auf den ersten, zweiten beziehungsweise dritten Photodetektor fokussieren.

20. Verfahren zum Erzeugen mehrerer optischer Heterodyn-Ausgangssignale aus einem einfallenden optischen Strahl mit einer p-polarisierten Komponente und einer s-polarisierten Komponente, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:
(a) Aufspalten des einfallenden Strahls in einen transmittierten Strahlanteil, welcher einen größeren Anteil der p-polarisierten Komponente, nämlich m% der p-polarisierten Komponente, wobei m wenigstens 80 ist, und einen kleineren Anteil der s-polarisierter Komponente, nämlich n% der spolarisierten Komponente, wobei n wenigstens 20 ist, enthält, und einer. als ein erstes optisches Heterodyn-Ausgangssignal fortschreitenden reflektierten Strahlanteil, welcher ungefähr 100-m% der p- polarisierten Komponente und ungefähr 100-n% der s-polarisierten Komponente enthält,
(b) Bewirken einer effektiven 45°-Drehung der Polarisations-Eigenzustände des übertragenen Strahlanteils, und
(c) Aufspalten des gedrehten transmittierten Strahlanteils in ein zweites und ein drittes optisches Heterodyn-Rusgangssignal.

21. Verfahren gemäß Anspruch 20, wobei der Schritt des Aufspaltens des gedrehten transmittierten Strahlanteils den Schritt aufweist: Aufspalten des gedrehten transmittierten Strahlanteils in ein zweites optisches Heterodyn-Ausgangssignal, welches als ein ordentlicher Strahl fortschreitet, welcher eine erste lineare Polarisation aufweist, und ein drittes optisches Heterodyn-Ausgangssignal, welches als ein außerordentlicher Strahl fortschreitet, welcher eine orthogonal zu der ersten linearen Polarisation ausgerichtete zweite lineare Polarisation aufweist.

22. Verfahren gemäß Anspruch 20, wobei der Schritt des Aufspaltens des gedrehten transmittierten Strahlanteils den Schritt aufweist:
Aufspalten des gedrehten transmittierten Strahlanteils in (a) ein als ein zweiter transmittierter Strahlanteil fortschreitendes zweites optisches Heterodyn-Ausgangssignal und (b) ein als ein zweiter reflektierter Strahlanteil fortschreitendes drittes optisches Heterodyn-Ausgangssignal.

23. Verfahren gemäß Anspruch 22, wobei der zweite transmittierte Strahlanteil wenigstens zu 80% p-polarisiert ist, und wobei der zweite reflektierte Strahlanteil wenigstens zu 80% s-polarisiert ist.

24. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 20 bis 23, wobei n wenigstens 25 ist.

25. Verfahren gemäß Anspruch 24, wobei n ungefähr 33 ist und 100-n ungefähr 67 ist.

26. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 20 bis 25, wobei m ungefähr 100 ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

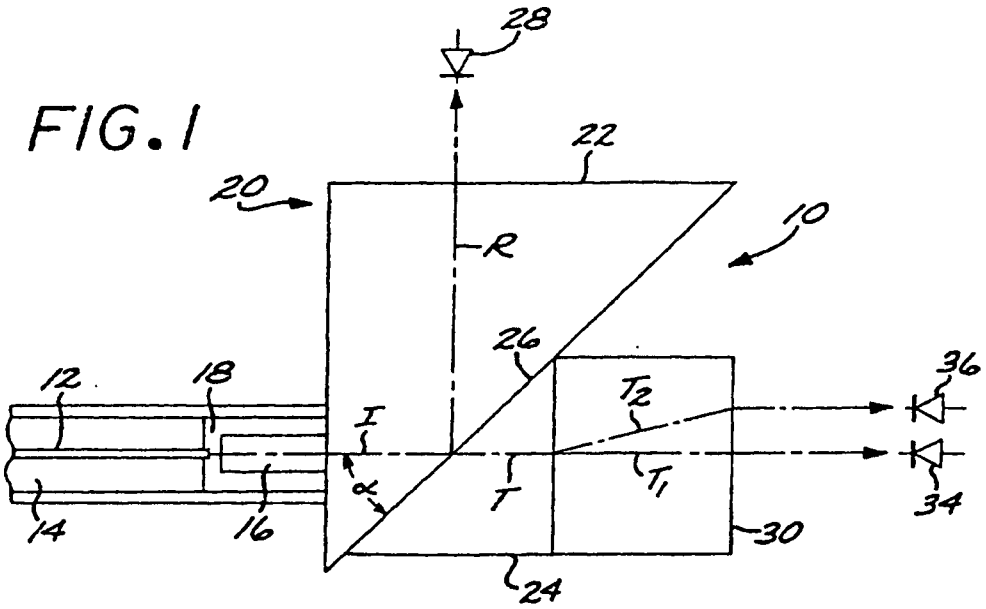


FIG. 2

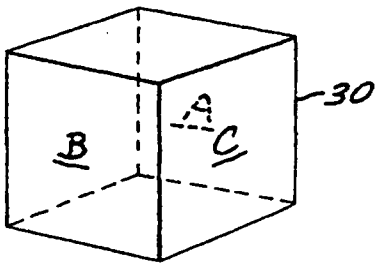


FIG. 3

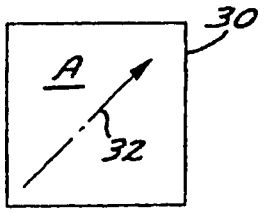


FIG. 4

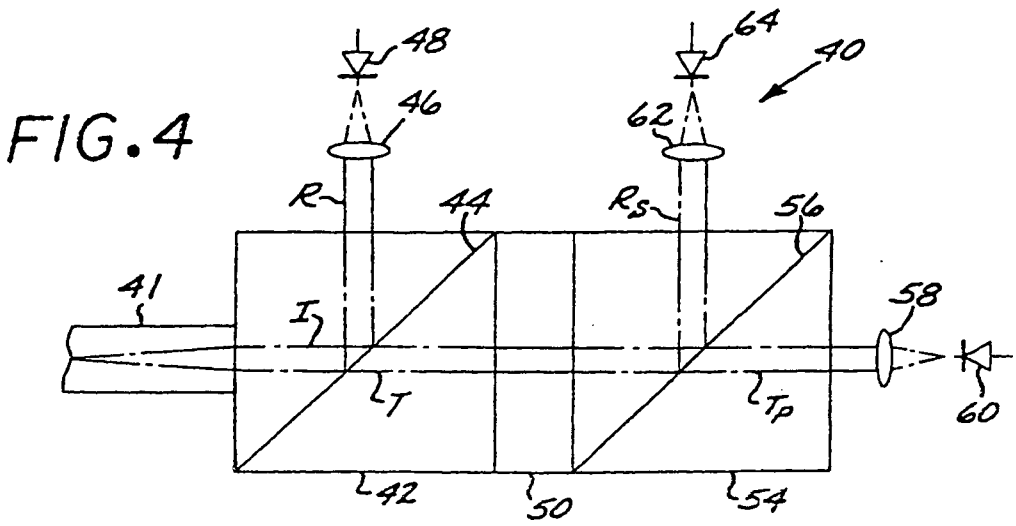


FIG.5

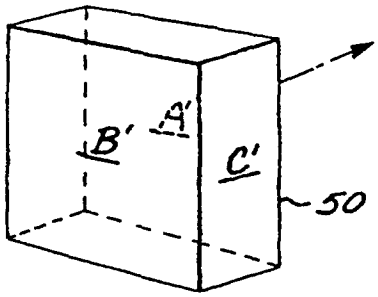


FIG.6

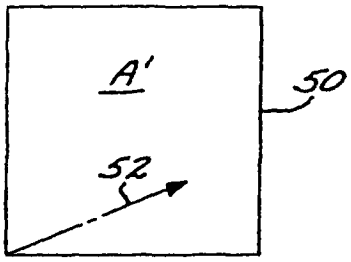
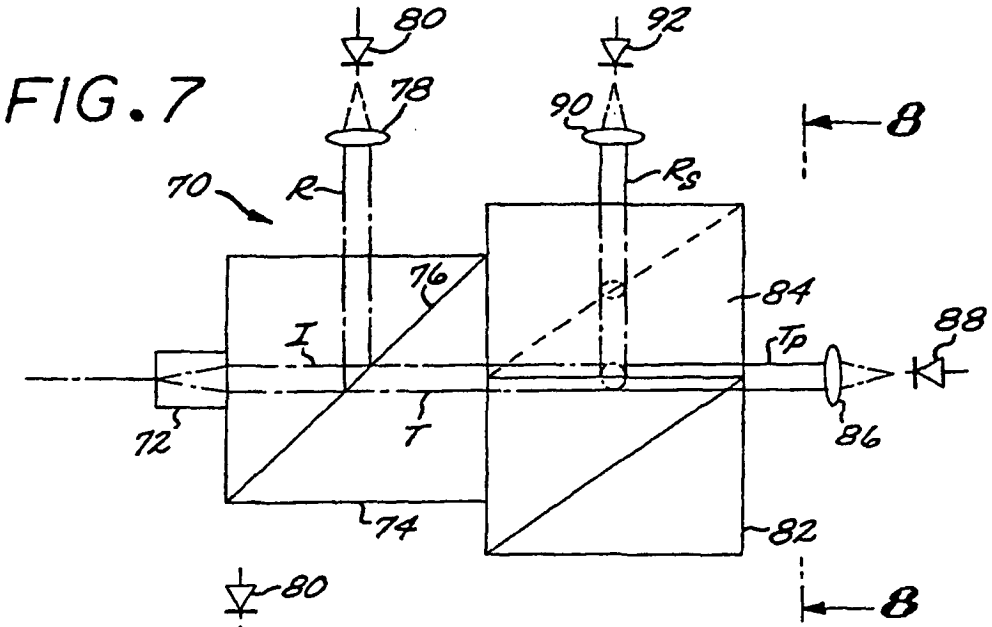


FIG.7



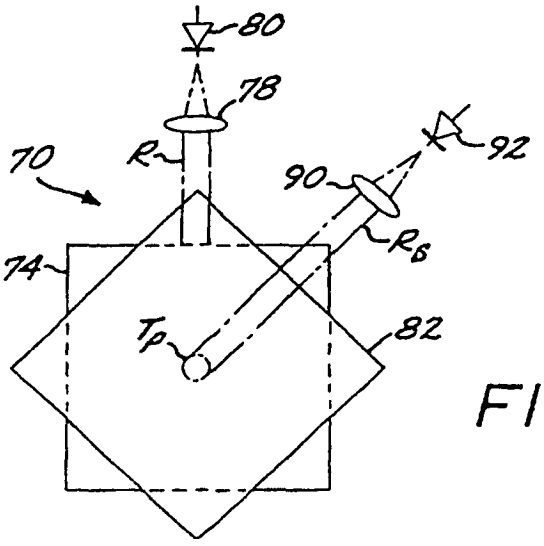


FIG.8