



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 21 578 T2 2007.07.05**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 285 309 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G02F 1/31 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 21 578.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP01/05699**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 957 799.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/090811**

(86) PCT-Anmeldetag: **18.05.2001**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **29.11.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **26.02.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **19.07.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.07.2007**

(30) Unionspriorität:

00111379 26.05.2000 EP

208559 P 02.06.2000 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(73) Patentinhaber:

Pirelli & C. S.p.A., Mailand/Milano, IT

(72) Erfinder:

**BOFFI, Pierpaolo, I-27058 Voghera, IT;
MARTINELLI, Mario, I-20097 San Donato Milanese,
IT; MILANI, Antonella, I-21100 Varese, IT;
ZAPPETTINI, Andrea, I-42100 Reggio Emilia, IT**

(74) Vertreter:

HOFFMANN & EITL, 81925 München

(54) Bezeichnung: **CDZNT ELEKTROOPTISCHER SCHALTER**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich im Allgemeinen auf das Gebiet der Übertragung und Steuerung von optischen Signalen. Im Genaueren bezieht sich die vorliegende Erfindung auf einen elektrisch gesteuerten optischen Schalter, wobei der Schalter zur Steigerung der elektrooptischen Leistungsfähigkeit einen $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristall verwendet.

[0002] Einige Verbindungen einer kristallinen Natur können unter bestimmten Bedingungen verwendet werden zur Drehung der Polarisationssebene von transmittiertem Licht. Beispiele von Verbindungen dieser Art sind CdTe:In , GaAs und $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$. Wenn diese einem elektrischen Feld unterliegen, variieren die Brechungsindizes des Kristalls gemäß den Variationen der Stärke des Feldes. Die Polarisationskomponenten eines Lichtstrahls, der in einem solchen Kristall propagiert, weisen verschiedene Phasengeschwindigkeiten auf, und erzeugen daher eine Phasenverschiebung, wobei das Wesen der Phasenverschiebung von der Stärke und Orientierung des angewendeten Feldes abhängt. Der zuvor erwähnte Effekt wird im Allgemeinen als „elektrooptischer Effekt“ bezeichnet. Unter den Materialien, die den elektrooptischen Effekt zeigen, sind kubische Kristalle der Symmetriegruppe 43m. Beispiele von Mitgliedern dieser Gruppe sind: InAs , CuCl , GaAs und CdTe . Amnon Yariv, Introduction to Optical Electronics, Appendix A, Seiten 334-337 (ed. Holt, Rinehart and Winston, Inc, 1971) diskutiert den elektrooptischen Effekt für diese Symmetriegruppe.

[0003] Eine bekannte Kristallklasse, die zu der 43m Gruppe gehört, sind Zinkblendenstrukturen, zum Beispiel GaAs , CdTe:In . M.L. Laasch et al. „Growth of twin-free CdTe single crystals in a semi-closed vapor phase system“, Journal of Crystal Growth, Vol. 174, Seiten 696-707 (1997) beschreibt ein modifiziertes Markov-Verfahren zum Züchten von CdTe Einkristallen. Gemäß dem Artikel können Vanadium und Ga-dotierte CdTe Einkristalle mit einem Durchmesser von einem Zoll gezüchtet werden ohne Wandkontakt mit einem halb geschlossenen Gasphasensystem. Das Fehlen des Wandkontakts verbessert die Kristallperfektion.

[0004] Der elektrooptische Koeffizient ist ein charakteristischer Parameter jedes elektrooptischen Materials, das das angewendete elektrische Feld mit der Variation von Doppelbrechung verbindet, die durch dieses elektrische Feld induziert wird. S. Namba, „Electro-Optical Effect of Zincblende“, Journal of the Optical Society of America, Vol. 51, Nr. 1, Seiten 76-79 (Januar 1961) berichtet über Messungen des elektrooptischen Koeffizienten r_{41} von Zinkblenden bei verschiedenen Wellenlängen zwischen 404 und 644 μm . Tabelle 1 des Artikels stellt die elektrooptischen Eigenschaften eines ZnS Kristalls dar.

[0005] Die Qualität eines elektrooptischen Materials wird auch gekennzeichnet durch den Gütefaktor. Für eine Zinkblendenstruktur ist der Gütefaktor identisch mit dem Produkt des elektrooptischen Faktors r_{41} und der dritten Potenz des Brechungsindex n_0 , nämlich $r_{41}n_0^3$. Darüber hinaus kann eine Halbspannung V_π an einen elektrooptischen Kristall angewendet werden zum Erzeugen einer Doppelbrechung, die eine Verschiebung der Phasen der Polarisationskomponenten zur Folge hat, die durch den Kristall der Quantität π hindurchlaufen. Für eine Zinkblendenstruktur ist diese Spannung:

$$V_\pi = \frac{\lambda}{2} \frac{1}{r_{41}n_0^3} \frac{d}{L} \quad (1)$$

wobei λ die Wellenlänge des Eingangslichtes ist, $r_{41}n_0^3$ der Gütefaktor ist, L die Länge des Kristalls ist, und d die Distanz zwischen zwei Elektroden zur Anwendung der Spannung ist, zum Beispiel der Kristalldicke.

[0006] Der ternäre Kristall CdZnTe ist ein Gemisch der binären Komponenten CdTe und ZnTe . CdZnTe ist ein Halbleiter, der zur Gruppe IIB-VIA gehört, und eine Zinkblendenstruktur aufweist. Eine solche Struktur umfasst zwei unterschiedliche Atomarten, wobei jede Art auf Gitterpunkten einer kubisch-flächenzentrierten Zelle positioniert ist. Die zwei Zellen sind durch ein Viertel der Länge der Körperdiagonalen der kubischen Einheitszelle voneinander getrennt. Der CdZnTe Kristall wurde als ein Röntgen- und Gammastrahlendetektor eingesetzt.

[0007] Sudhir B. Trivedi et al., „Optoelectronic Material $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$: Growth Characterization and Applications“, SPIE, „Optoelectronic Materials, Devices, Packaging, and Interconnects II“, Vol. 994, Seiten 154-159 (1988) diskutiert eine Bridgeman-Technik zum Züchten von $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ Kristallen, wobei x and $1-x$ den molaren Anteilen der Elemente repräsentiert. Im Genaueren handelt dieser Artikel von der Züchtung von $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, wobei $x = 0,04$ ist. Der Artikel beschreibt die Verwendung von bestimmten Züchtungstechniken zum Produzieren guter $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ Kristallen, die im Vergleich zu CdTe verbesserte Eigenschaften aufweisen. Gemäß dem

Artikel können die $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ Kristalle verwendet werden als infrarotelektrooptische Modulatoren, Infrarot-Laserfenster, Röntgen- und Gammastrahlendetektoren, Solarenergiekonverter und Gunn-Dioden-Oszillatoren.

[0008] Ein elektrooptisches Material kann auch den sog. „photoleitenden Effekt“ aufweisen, was die Erzeugung von freien Ladungsträgern ist, wenn ein optischer Strahl mit einer geeigneten Wellenlänge auf den Kristall angewendet wird. Der optische Strahl, der auf eine Zone des Kristalls angewendet wird, regt Ladungsträger in das Leitungsband von den Störstellenleveln an. Wenn gleichzeitig ein elektrisches Feld simultan auf den Kristall angewendet wird, migrieren die photoerzeugten Ladungsträger hinein und werden in einer benachbarten Dunkelzone des Kristalls gefangen, die nicht durch den optischen Strahl illuminiert ist. Die resultierende Raumladungsdichte, die mit den gefangenen Ladungsträgern verbunden ist, erzeugt ein entgegen gerichtetes elektrisches Feld zu dem Angelegten, d.h. ein Gegenfeld. Bei geeigneten Intensitäten des einfallenden optischen Strahls gleicht das Gegenfeld das angelegte Feld aus und verhindert dadurch den elektrooptischen Effekt, während der so genannte „Auto-Sperr-Effekt“ erzeugt wird, der auch „Abschirmeffekt“ oder „Raumladungseffekt“ bezeichnet wird.

[0009] Die „Bandkante“ ist die Übergangsregion des Absorptionsspektrums eines bestimmten Materials, das die spektrale Region der Absorption von der spektralen Region einer niedrigen Absorption trennt. In dem Teil der Region mit niedriger Absorption in der Nähe der Bandkante ist der Absorptionsfaktor nicht vernachlässigbar, während im Teil, der von der Bandkante weit entfernt ist, der Absorptionsfaktor beträchtlich niedriger ist.

[0010] Der Anmelder beobachtet, dass gemäß dem allgemeinen Wissen in dem Gebiet der Raumladungseffekt lichtabsorptionsabhängig ist. Im Genaueren ist der Raumladungseffekt umso größer, je größer der Lichtabsorptionsprozess ist.

[0011] Beispielsweise berichtet I.P. Kaminow in „Measurements of the Electrooptic Effect in CdS, ZnTe, and GaAs at 10.6 Microns“, IEEE Journal of Quantum Electronics, Seiten 23-26 (Januar 1968) über experimentelle Ergebnisse der Materialien, die geeignet sind, CO_2 Laser bei $10,6 \mu\text{m}$ zu modulieren. Im Genaueren führte der Autor Experimente an CdS und an Materialien durch, die zur Zinkblendenklasse gehören, d.h. ZnTe und GaAs, um deren elektrooptische Koeffizienten zu messen.

[0012] Der Autor beobachtete für den CdS Kristall bei einer Wellenlänge von $0,633 \mu\text{m}$, d.h. in der Nähe der Bandkante, einen Abfall des elektrooptischen Koeffizienten für die Modulationsfrequenz, die zwischen 1 kHz und 20 Hz liegt.

[0013] Der Autor hat auch beobachtet, dass für den CdS Kristall bei $10,6 \mu\text{m}$, d.h. sehr weit weg von der Bandkante, keine Träger erzeugt wurden und die Raumladungseffekte nicht vorhanden waren.

[0014] Für GaAs und ZnTe Kristalle beobachtete der Autor dasselbe Verhalten des elektrooptischen Koeffizienten, das für den CdS Kristall gefunden wurde.

[0015] Der Autor folgerte, dass die Raumladungseffekte aufgrund der Bewegung der lichterzeugten Raumladungen, die Verwendung solcher Materialien bei niedrigen Modulationsfrequenzen und bei Wellenlängen in der Nähe der Bandkante begrenzen.

[0016] Optische Schalter sind wichtige Vorrichtungen in optischen Kommunikationssystemen, d.h. Systemen, die verwendet werden zum Übertragen von optischen Signalen über optischen Fasern. Der Ausdruck „Schalter“ bedeutet im Folgenden eine Vorrichtung, die in der Lage ist, optische Pfade zu erzeugen, zu ändern oder zu unterbrechen, die N Eingangsanschlüsse mit M Ausgangsanschlüssen verbindet. Ein Schalter kann verwendet werden zum Leiten eines optischen Strahls, der in einen Eingangsanschluss eintritt, zu einem vorbestimmten Ausgangsanschluss, oder um die optische Verbindung zwischen den Eingangs- und Ausgangsanschlüssen zu unterbrechen. Der Ausdruck „elektrooptischer Schalter“ bedeutet im Folgenden einen Schalter, in dem eine externe elektrische Spannung einen elektrooptischen Effekt induziert für den Zweck der Leitung des optischen Strahls von einem Eingangsanschluss zu einem vorbestimmten Ausgangsanschluss, oder zum Unterbrechen einer optischen Verbindung zwischen optischen Anschlüssen.

[0017] William H. Steier et al. beschreibt in „Infrared Power Limiting and Self-switching in CdTe“, Applied Physics Letters, Vol. 53(10), Seiten 840-841 (1988) einen Leistungsbegrenzer und einen „Selbst-Schalter“, der den Abschirmeffekt des durch Photoladungen erzeugten elektrischen Effektes, der erzeugt wird als eine Folge der Photoleitfähigkeit von CdTe:In bei $1,06 \mu\text{m}$, verwendet. Die durch diesen Artikel beschriebenen Vorrichtungen verwenden einen einzelnen einfallenden optischen Strahl, der den Abschirmeffekt verursacht und dem Strahl

ermöglicht, simultan als ein Signal- und als ein Steuerungsstrahl zu agieren.

[0018] Andrea Zappettini et al. untersuchte in „Optically induced switching in CdZnTe“, Conference on Lasers and Electro-Optics, OSA Technical Digest, Seiten 283-284 (Washington, DC, 23.-28. Mai 1999) optisch induzierte optische Schalter in $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Kristallen. Ein Experiment wies wirksames optisches Schalten bei einem 1550 nm Lichtstrahl nach durch einen Steuerungslichtstrahl, der Wellenlängen im Bereich von 870-1300 nm aufweist. Gemäß dem Artikel erzeugen freie Ladungsträger, die photoerzeugt werden durch einen Steuerungsstrahl in elektrisch polarisiertem CdTe Kristall, ein Gegenfeld, das lokal das extern angelegte elektrische Feld abschirmt und dadurch den elektrooptischen Effekt reduziert. Die Aktivierungszeit (τ_{on}) des Gegenfelds hängt von dem einfallenden photonischen Fluss und dem angelegten elektrischen Feld ab, und die Erholungszeit (τ_{off}) ist mit Einfang- und Rekombinationsprozessen verbunden. CdTe basierte Schalter weisen eine extrem lange τ_{off} auf, die im Millisekundenbereich ist. Die Autoren offenbarten, dass die Erholungszeit τ_{off} für den $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Kristall auf den Nanosekundenbereich begrenzt werden kann. Ferner haben die Autoren gezeigt, dass die τ_{off} in CdZnTe von einem schnellen Rekombinationszentrum bestimmt zu sein scheint, während die langsame τ_{off} in CdTe einem Fluchtmechanismus zugeordnet werden kann.

[0019] U.S. Patent Nr. 5,090,824 beschreibt einen elektrisch gesteuerten optischen Schalter (d.h. einen elektrooptischen Schalter), der einen elektrooptischen Kristall des Typs verwendet, der mindestens einen Satz von schnellen und langsamen optischen Achsen aufweist. Da die Anwendung eines elektrischen Feldes auf den Kristall Doppelbrechung induziert, kann eine Polarisationssebene, die entlang einer ersten Richtung des Lichtstrahls, der durch den Kristall läuft, in eine Polarisationssebene geschaltet werden, die entlang einer zweiten Richtung orientiert ist. Eine Polarisationsstrahlteileranordnung, die an einem Ende des Kristalls angeordnet ist, dirigiert einen Lichtstrahl durch den Kristall, dessen Polarisationssebene entlang der ersten Richtung orientiert ist, die unterschiedlich von einem Lichtstrahl ist, der eine Polarisationssebene entlang der zweiten Richtung aufweist. Während der elektrooptische Kristall ausgewählt werden kann von den Kristallklassen 43m, 42m und 23, einem Bismuth-Germaniumoxid-Kristall oder einem Bismuth-Silikonoxid-Kristall.

[0020] U.S. Patent Nr. 5,305,136 beschreibt einen optisch bidirektionale elektrisch gesteuerten optischen Schalter, der einen reduzierten Lichtverlust aufweist. Der Schalter beinhaltet einen elektrooptischen Kristall, der einen Satz von schnellen und langsamen optischen Achsen aufweist, und mindestens zwei Lichtpfade zum Empfangen von Lichtstrahlen durch den Kristall aufweist. Der Kristall weist durch ein elektrisches Feld induzierte Doppelbrechung auf, so dass die Orientierung der Polarisationssebene eines Lichtstrahls, der durch den Kristall läuft, von einer ersten Richtung in eine zweite Richtung geschaltet wird. Strahlteilerpolarisatoren sind an jedem Ende des elektrooptischen Kristalls angeordnet und optisch mit den zwei Lichtpfaden ausgerichtet. Die Strahlteilerpolarisatoren spalten den optischen Strahl in zwei Lichtstrahlen auf, die Polarisationssebenen aufweisen, die in der ersten und zweiten Richtung orientiert sind, wenn Licht durch die zwei Lichtpfade übertragen wird. Die Polarisatoren kombinieren auch die zwei Lichtstrahlen in einen einzelnen Lichtstrahl, wenn Lichtstrahlen von den zwei Lichtpfaden empfangen werden. In einer bevorzugten Ausführungsform ist der elektrooptische Kristall ein kubischer Kristall, der aus den Kristallklassen 43m, 42m und 23 ausgewählt wurde. Beispiele von geeigneten Kristallen beinhalten Bismuth-Germaniumoxid und Bismuth-Siliziumoxid-Kristalle.

[0021] Kohji Tada et al. beschreibt in „Electrically controlled optical switch“, Sumitomo Electric Technical Review, Nr. 19, Seiten 47-56 (Januar 1980) einen optischen Schalter, der $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ als das elektrooptische Material verwendet.

[0022] Da $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ natürlich keine Doppelbrechung erfährt, kann durch dessen Verwendung ein hohes Extinktionsverhältnis erhalten werden. Auch ist dieses Material stabil, wenn dieses Temperaturveränderungen unterworfen wird. Solche Eigenschaften favorisieren die Verwendung von $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ für optische Schalter. Licht kann durch einen Polarisator laufen gelassen werden, um in eine Welle konvertiert zu werden, die eine Polarisationskomponente in einer Richtung aufweist. Es kann dann durch den Kristall laufen gelassen werden, um einer Phasenmodulation zu unterlaufen, um elektrisch polarisiertes Licht zu bilden. Ein ausgangsseitiger Analysator kann verwendet werden zum Modulieren der optischen Intensität des Strahls. Die Autoren demonstrieren durch theoretische Analyse, dass die Auswahl von optischen Winkeln für die Achsen der Polarisatoren und deren Analysatoren ein hohes Extinktionsverhältnis erzeugt. Ein optischer Schalter mit mehreren Abschnitten wurde konstruiert durch Teilen des $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ Kristalls in mehrere Wafer, zum Reduzieren der Halbwellenspannung des Schalters.

[0023] In Relation zu deren Anwendung in optischen Kommunikationsnetzwerksknoten können optische Schalter kategorisiert werden entweder als Paket-Schalter oder als Leitungsvermittlungs-Schalter. In optische Wellenlängenmultiplex Systemen (WDM, engl.: wavelength-division-multiplexing) werden typischerweise Lei-

tungsvermittlungs-Schalter eingesetzt, um eine räumliche Rekonfiguration der Eingangs-/Ausgangsleitung zu ermöglichen. Die Leitungsvermittlungs-Schalter verbinden einen rekonfigurierbaren Weg des Eingangsanschlusses mit Ausgangsanschlüssen unabhängig von der Information, die von den geleiteten Signalen getragen werden. Die Rekonfiguration von Leitungsvermittlungs-Schaltern wird beispielsweise benötigt für Fehlererholung oder Verkehrsneuaufteilung.

[0024] Eine Schaltzeit von Millisekunden ist im Allgemeinen akzeptabel. Alternativ leiten Paket-Schalter Datenpakete in Relation zu Daten, die in diesen laufen. Dateikopf/Anhänger Abtastung und Erkennung und Paket/Zellen Multiplexen/Demultiplexen sind notwendige Operationen im Knotenpunkt. Es werden sehr hohe Schaltzeiten benötigt, aufgrund der Datenübertragungsbitrate.

[0025] Der Anmelder hat herausgefunden, dass die Leistungsfähigkeit von konventionellen elektrooptischen Schaltern begrenzt ist durch den Auto-Sperr-Effekt der eingesetzten Kristalle. Der Auto-Sperr-Effekt beeinflusst den elektrooptischen Effekt solcher Kristalle nachteilig. Der Anmelder glaubt deshalb, dass Schalter, die Litiumniobatkristalle mit integrierter Technologie verwenden, momentan vielversprechend sind. Unglücklicherweise sind Litiumniobat- und KD^*P (KD_2PO_4)-Kristalle nicht isotropisch und weisen daher Doppelbrechung in Abwesenheit eines angelegten elektrischen Feldes auf. Diese intrinsische Doppelbrechung führt zu einer Komplexität der Schaltungsauslegung und benötigt eine Optimierungsprozedur. Andere elektrooptische isotropische Kristalle, so wie Bismuth-Germaniumoxid (BGO), Bismuth-Tantalumoxid (BTO), $B_{12}SiO_{20}$ (BSO) weisen optische Aktivität im Kommunikationsfenster auf. Solche optische Aktivität verursacht eine Störung des Polarisationszustandes des Signals, das durch den Kristall läuft, das geeignete Kompensation benötigt.

[0026] Der Einsatz solcher Kristalle in optischen Schaltern ist deshalb weniger attraktiv.

[0027] Im Allgemeinen weist ein hoch qualitativer elektrooptischer Schalter, der in optischen Kommunikationssystemen verwendet wird, bestimmte Faktoren auf, so wie niedrige Eingangsverluste, niedriges Übersprechen, niedrige V_{π} und eine Reaktionsfrequenz-Zeitkonstante im Bereich von Millisekunden auf. Der Anmelder hat herausgefunden, dass in einem konventionellen optischen Kommunikationssystem das Schalten von einem Zustand in einen anderen (verbunden mit unterschiedlichen Verbindungen entlang optischen Pfaden, zum Beispiel optischen Fasern) gelegentlich auf treten kann, so dass keine charakteristische Frequenz des Schalters definiert werden kann. In diesem Fall ist das Verhalten des Schalters in einem festen Zustand für eine ausgedehnte Zeitperiode gleich wichtig.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0028] Der Anmelder hat herausgefunden, dass $CdZnTe$ Kristalle, die durch ein elektrisches Feld induzierte Doppelbrechung aufweisen, unerwarteterweise lediglich einen kleinen oder gar keinen Auto-Sperr-Effekt in der Nähe der Bandkante aufweisen, d.h. in einem Wellenlängenband von etwa 1000-1650 nm. Solche Kristalle weisen demzufolge eine bessere elektrooptische Leistungsfähigkeit auf als andere Kristalle derselben Klasse für dieselben Wellenlängen. Der Anmelder hat ferner herausgefunden, dass ein elektrisch gesteuerter optischer Schalter, der einen $CdZnTe$ Kristall verwendet, bessere Eigenschaften aufweist als konventionelle Schalter, die andere Arten von Kristallen verwenden. Beispielsweise benötigt ein Schalter, der einen $CdZnTe$ Kristall aufweist, eine niedrigere Halbwellenspannung für den Betrieb. Auch ist die Leistungsfähigkeit eines solchen Schalters relativ konstant für den Betrieb sowohl in einem festen Zustand als auch wenn die Schaltfrequenz verändert wird. Darüber hinaus kann eine höhere optische Signalleistung mit einem solchen Schalter verwendet werden.

[0029] Der Anmelder zieht in Erwägung, dass ein elektrisch gesteuerter optischer Schalter, der in einem optischen Kommunikationssystem verwendet werden soll, einen $Cd_xZn_{1-x}Te$ Kristall beinhaltet, wobei der molare Anteil von Cd x zwischen etwa 0,7 und 0,99 liegt. Vorzugsweise ist der molare Anteil Cd x in dem Bereich $0,8 \leq x \leq 0,95$. Noch mehr vorzuziehen ist ein molarer Anteil von Cd x im Bereich $0,85 \leq x \leq 0,92$.

[0030] Eine Schaltsteuerungseinheit stellt dem $Cd_xZn_{1-x}Te$ Kristall eine Schaltspannung bereit, die unter einem Satz von vorbestimmten Spannungen ausgewählt wird, wobei jede Spannung in dem Satz mit einer korrespondierenden optischen Schaltkonfiguration verbunden ist.

[0031] Der Kristall weist eine Doppelbrechung auf, die durch das elektrische Feld induziert wird, so dass der Schalter beim Anlegen einer korrespondierenden Spannung in dem Satz eine der Schaltkonfigurationen annimmt.

[0032] Im Genaueren kann eine genügende Spannung angelegt werden an den $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristall, um den Schalter von einem „Balkenzustands“-Betrieb zu einem „Kreuzzustands“-Betrieb zu bringen. Im Genaueren wechselt ein Schalter von einem Balken-Zustandsbetrieb zu einem Kreuz-Zustandsbetrieb, wenn die Halbwellenspannung V_{π} an den Kristall angelegt wird, wodurch die Polarisationssebene eines optischen Strahls oder Strahlen, die durch den Kristall laufen, um 90° gedreht wird.

[0033] Vorzugsweise weist der Kristall eine Dicke zwischen etwa $200\ \mu\text{m}$ und $2\ \text{mm}$ auf.

[0034] Noch mehr vorzuziehen ist, dass die Kristalldicke kleiner als $500\ \mu\text{m}$ ist.

[0035] Vorteilhafterweise ist der Schalter in der Lage, bei der Schaltfrequenz von weniger als $100\ \text{Hz}$ und vorzugsweise bei etwa gleich 0 zu arbeiten.

[0036] Eingangs- und Ausgangslenkvorrichtungen sind nahe liegend der Eingangs- und Ausgangsenden des Kristalls positioniert zum Lenken eines optischen Strahls zu und von einem Schalter. Erste und zweite optische Eingangsfasern sind aufeinander folgend an den Eingangslenkvorrichtungen angebracht, und erste und zweite optische Ausgangsfasern sind aufeinander folgend an den Ausgangslenkvorrichtungen angebracht. „Balkenzustand“-Betrieb tritt auf, wenn der Schalter einem optischen Strahl ermöglicht, von der ersten Eingangsfasern zur ersten Ausgangsfaser zu laufen, oder alternativ von der zweiten Eingangsfasern zur zweiten Ausgangsfaser. „Kreuzzustands“-Betrieb tritt auf, wenn der Schalter den optischen Strahl von der ersten Eingangsfasern zur zweiten Ausgangsfaser lenkt, oder alternativ von der zweiten Eingangsfasern zur ersten Ausgangsfaser.

[0037] Ein optischer Strahl mit einer Wellenlänge im Bereich von 1000 bis $1650\ \text{nm}$ wird dem elektrisch gesteuerten optischen Schalter durch eine optische Quelle bereitgestellt. Die Quelle kann zum Beispiel ein Laser, einer Superfluoreszenz oder eine ASE-Quelle oder eine LED sein. Die optische Quelle kann entweder in der Nähe oder entfernt von dem elektrisch gesteuerten optischen Schalter positioniert sein. Beispielsweise kann die optische Quelle ein Teil einer Übertragungsstation sein, und der elektrisch gesteuerte optische Schalter ist ein Teil eines Schaltknotens, der in einer optischen Übertragungsleitung oder -netzwerk der Übertragungsstation nachgelagert angeordnet ist.

[0038] Gemäß einem Aspekt beinhaltet die Eingangslenkvorrichtung des Schalters einen Polarisationsstrahlteiler (PBS, englisch: Polarisation Beam Splitter) und einen Eingangsreflektor. Der Eingangsreflektor ist orientiert zum Reflektieren eines optischen Strahls von der ersten Eingangsfasern zum Eingang des PBS. Der Eingang des PBS ist positioniert zum Lenken eines optischen Strahls von dem Eingang des Reflektors oder von der zweiten Eingangsfasern zu einem optischen Pfad entlang des Kristalls. Die Ausgangslenkvorrichtung beinhaltet auch einen Ausgangs-PBS und einen Ausgangsreflektor. Der Ausgangs-PBS ist orientiert zum Lenken eines optischen Strahls von dem optischen Pfad entlang des Kristalls zu einer zweiten Ausgangsfaser oder zu dem Ausgangsreflektor. Der Ausgangsreflektor ist konfiguriert zum Lenken eines optischen Strahls von dem Ausgangs-PBS zur ersten Ausgangsfaser.

[0039] Vorzugsweise ist der Eingangsreflektor ein rechtwinklig reflektierendes Prisma.

[0040] Vorzugsweise ist der Ausgangsreflektor ein rechtwinklig reflektierendes Prisma.

[0041] Gemäß einem anderen Aspekt umfasst die Eingangslenkvorrichtung des Schalters einen Eingangs-PBS und ersten und zweiten Eingangsreflektoren. Der Eingangs-PBS ist so positioniert, dass er einen optischen Strahl, der von der Eingangsfasern oder dem zweiten Eingangsreflektor kommt, separieren kann in einen ersten Strahl, der in Richtung des Eingangsreflektors gelenkt wird, und einen zweiten Strahl, der entlang eines ersten optischen Pfades entlang des Kristalls gelenkt wird. Darüber hinaus ist der erste Eingangsreflektor orientiert zum Reflektieren eines optischen Strahls von dem Eingangs-PBS zu einem zweiten optischen Pfad entlang des Kristalls. Der erste optische Pfad und der zweite optische Pfad sind im Wesentlichen parallel zueinander. Der zweite Eingangsreflektor ist orientiert zum Reflektieren eines optischen Strahls von der zweiten Eingangsfasern zu dem Eingang des PBS.

[0042] Die Ausgangslenkvorrichtung des Schalters beinhaltet einen Ausgangs-PBS und einen ersten und zweiten optischen Reflektor. Der Ausgangs-PBS ist konfiguriert zum Lenken eines optischen Strahls von dem zweiten optischen Pfad zu der zweiten optischen Fasern oder zu dem ersten optischen Reflektor. Der Ausgangs-PBS ist auch orientiert zum Lenken eines optischen Strahls von dem zweiten Ausgangsreflektor zu dem ersten Ausgangsreflektor oder der zweiten Ausgangsfaser. Darüber hinaus ist der Ausgangsreflektor orientiert zum Reflektieren eines optischen Strahls von dem Ausgangs-PBS zu der ersten Ausgangsfaser. Der zweite

Ausgangsreflektor ist positioniert zum Reflektieren eines optischen Strahls von dem ersten optischen Pfad zu dem Ausgangs-PBS.

[0043] Vorzugsweise sind der erste und/oder der zweite Eingangsreflektor rechtwinklig reflektierende Prismen.

[0044] Vorzugsweise sind der erste und/oder der zweite Ausgangsreflektor rechtwinklig reflektierende Prismen.

[0045] Ein elektrisch gesteuerter optischer Schalter, der einen $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristall beinhaltet, kann verwendet werden zum Verbessern der Leistungsfähigkeit eines optischen Kommunikationssystems. Das System kann beispielsweise eine erste und zweite Eingangsübertragungsstation beinhalten, die optische Quellen zum Erzeugen von optischen Signalen und Multiplexer zum Senden der erzeugten optischen Signale aufweisen. Die entsprechenden ersten und zweiten optischen Eingangsfasern verbinden die erste und zweite Übertragungsstation mit dem Schalter. Das optische Kommunikationssystem kann auch erste und zweite Empfangsstationen beinhalten, und mit dem Schalter durch entsprechende erste und zweite optische Ausgangsfasern verbunden sein.

[0046] Die erste oder die zweite Empfangsstation, oder beide, können optische Vorverstärker enthalten.

[0047] In einem weiteren Aspekt ist die vorliegende Erfindung gerichtet auf ein Verfahren zum Schalten eines optischen Signals, das eine Wellenlänge im Bereich von 1000 bis 1650 nm aufweist. Das Verfahren umfasst das Angeben des optischen Signals in einen $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristall, wobei x zwischen etwa 0,7 und 0,99 ist, und Anwenden einer Steuerungsspannung an den Kristall, die aus einem Satz von vorbestimmten Spannungen ausgewählt wird.

[0048] Es versteht sich, dass die vorangegangene allgemeine Beschreibung und die folgende detaillierte Beschreibung lediglich exemplarisch und darstellend sind, und dafür gedacht sind, eine weitere Erklärung der beanspruchten Erfindung bereitzustellen. Die folgende Beschreibung als auch die Anwendung der Erfindung zeigen zusätzliche Vorteile und Einstzmöglichkeiten der Erfindung.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0049] Die beigefügten Zeichnungen, die in dieser Spezifikation mit aufgenommen sind und ein Teil dieser sind, illustrieren Ausführungsformen der Erfindung und dienen zusammen mit der Beschreibung der Erklärung der Vorteile und Prinzipien der Erfindung.

[0050] [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm einer Testanordnung zum Untersuchen der Leistungsfähigkeit eines $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristalls übereinstimmend mit einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0051] [Fig. 2A–Fig. 2C](#) sind Graphen des tatsächlichen Gütefaktors M gegen die Modulationsfrequenz f bei einer niedrigen optischen Leistung, für einen $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Kristall, zwei $\text{CdTe}:\text{In}$ Kristalle und einem GaAs Kristall, übereinstimmend mit einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0052] [Fig. 3](#) ist ein Graph, der den tatsächlichen Gütefaktor M gegen die Strahlwellenlänge für die Auswahl eines $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Kristalls darstellt, der gebildet ist durch Nehmen der besten linearen Interpolation der gemessenen Werte, die in [Fig. 2A](#) dargestellt sind;

[0053] [Fig. 4](#) ist Graph von gemessenen Werten von V_π' gegen die Strahlwellenlänge λ zusammen mit einer linearen Interpolationskurve für einen $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Kristall übereinstimmend mit einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0054] [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) sind Graphen des tatsächlichen Gütefaktors M gegen die optische Leistung für $= 10$ Hz und $f = 1$ Hz für einen $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Kristall übereinstimmend mit einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0055] [Fig. 6](#) ist ein Graph eines tatsächlichen Gütefaktors M gegen eine angelegte Spannungsamplitude V_a bei einer Modulationsfrequenz von 1 Hz, für einen $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Kristall übereinstimmend mit einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0056] [Fig. 7](#) ist eine Testanordnung zum Bestimmung des Absorptionsfaktors α , der gemessen wurde für Kristallproben übereinstimmend mit Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung;

[0057] [Fig. 8](#) ist ein Graph einer Ausgangsleistung P_{out} gegen eine totale Phasenverschiebung $\Delta\phi_{\text{tot}}$ eines optischen Signals, das durch den in [Fig. 1](#) gezeigten Testaufbau läuft;

[0058] [Fig. 9](#) ist ein Graph von $1-I(V)/(V=0)$ gegen die optische Strahlleistung P_{in} für einen Kristall in der Testanordnung aus [Fig. 1](#);

[0059] [Fig. 10](#) ist ein Blockdiagramm eines polarisationsempfindlichen elektrooptischen Schalters übereinstimmend mit einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0060] [Fig. 11](#) ist ein Blockdiagramm eines polarisationsunempfindlichen elektrooptischen Schalters übereinstimmend mit einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0061] [Fig. 12](#) ist ein Blockdiagramm eines WDM Systems beinhaltend den polarisationsempfindlichen elektrooptischen Schalter aus [Fig. 11](#);

[0062] [Fig. 13](#) ist ein Blockdiagramm eines 4×4 optischen Kreuzverbindungsschalters für ein optisches Kommunikationssystem beinhaltend den polarisationsempfindlichen elektrooptischen Schalter aus [Fig. 11](#); und

[0063] [Fig. 14](#) ist ein Blockdiagramm eines optischen Kreuzverbindungsschalters mit Wellenlängenaustausch beinhaltend die 4×4 optischen elektrooptischen Schalter aus [Fig. 13](#);

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0064] Nun wird Bezug genommen auf verschiedene Ausführungsformen gemäß dieser Erfindung, Beispiele, die in den beigefügten Zeichnungen gezeigt sind und aufgrund der Beschreibung dieser Erfindung offensichtlich sind. In den Zeichnungen bezeichnen dieselben Bezugszeichen dieselben oder ähnliche Elemente in den unterschiedlichen Zeichnungen, wenn möglich.

[0065] Die [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) stellen elektrooptische Schalter **1000** und **1100** dar, die übereinstimmend sind mit bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Die Schalter **1000** und **1100** beinhalten einen $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristall. Der molare Anteil von Cd x ist im Bereich zwischen $0,7 \leq x \leq 0,99$. Vorzugsweise ist der molare Anteil von Cd x im Bereich zwischen $0,8 \leq x \leq 0,95$. Noch mehr vorzuziehen ist ein molare Anteil von Cd x im Bereich zwischen $0,85 \leq x \leq 0,92$.

[0066] Die elektrooptischen Schalter **1000** und **1100** arbeiten für optische Signale (d.h. Strahlen), die beispielsweise Wellenlängen im Bereich von 1480 nm bis 1610 nm aufweisen. Vorzugsweise sind die Wellenlängen der optischen Signale im Bereich zwischen 1510 nm bis 1610 nm, was dem sog. „dritten Fenster“ der optischen Kommunikation entspricht. Die elektrooptischen Schalter **1000** und **1100** können alternativ optische Signale verwenden, die Wellenlängen im Bereich zwischen 1300 nm bis 1350 nm aufweisen („zweites Fenster“). Im Allgemeinen können die elektrooptischen Schalter **1000** und **1100** optische Signale verwenden, die Wellenlängen im Bereich zwischen 1000 nm bis 1650 nm aufweisen.

[0067] Der den in [Fig. 10](#) dargestellte optische Schalter ist ein bidirektionaler 2×2 optischer Schalter, der als eine Kreuzbalkenvorrichtung eingesetzt werden kann. Erste und zweite optische Eingangsfasern **1002** und **1004**, die mit dem Schalter **1000** verbunden sind, übertragen optische Signale zu und von dem Schalter über erste und zweite Kollimatoren **1006** und **1008**. Der Schalter **1000** beinhaltet auch erste und zweite optische Elemente **1028** und **1030**, $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristallelement **1014**, dritte und vierte Kollimatoren **1022** und **1020**, und erste und zweite optische Ausgangsfasern **1024** und **1026**. Das erste optische Elemente **1028** umfasst einen ersten Polarisationsstrahlteiler **1012** und ein konventionelles, rechtwinklig reflektierendes Prisma **1010**. Das zweite optische Elemente **1030** umfasst einen zweiten Polarisationsstrahlteiler **1018** und ein zweites konventionelles, rechtwinklig reflektierendes Prisma **1016**.

[0068] Im typischen Betrieb für den elektrooptischen Schalter **1000** läuft ein optisches Signal, das bezeichnet ist als „Signal S“, das sich in einem linearen Zustand der Polarisation S befindet, zuerst durch eine erste optische Eingangsfasern **1002** zum Kollimator **1006**. Das rechtwinklig reflektierende Prisma **1010** reflektiert das kollimierte Signale S, das aus dem Kollimator **1006** kommt, zum ersten Polarisationsstrahlteiler **1012**. Der Pola-

risationsstrahlteiler **1012** ist so orientiert, dass das Signal S entlang des Kristallelements **1014** gelenkt wird.

[0069] Eine verstärkte Spannung V kann angelegt werden an das Kristallelement **1014** über eine Schaltsteuerungseinheit **1036** unter Verwendung geeigneter Elektroden **1032** und **1034**. Das Kristallelement **1014** ist angeordnet in einer als AM-Schnitt bekannten Anordnung. Im Balkenzustandsbetrieb (d.h. Verbindung von der Eingangsfaser **1002** zur Ausgangsfaser **1024**) legt die Schaltsteuerungseinheit **1036** eine Spannung $V = 0$ an das Kristallelement **1014** an, wobei keine Polarisationsdrehung induziert wird.

[0070] Das Signal S wird dann durch den zweiten Polarisationsstrahlteiler **1018** und das rechtwinklig reflektierende Prisma **1016** zum Kollimator **1020** und der ersten optischen Ausgangsfaser **1024** gelenkt. Um vom Balkenzustandsbetrieb zum Kreuzzustandsbetrieb zu wechseln (d.h. Verbindung von der Eingangsfaser **1002** zur Ausgangsfaser **1026**), kann eine Spannung $V = V_{\pi}$ an das Kristallelement **1014** durch die Schaltsteuerungseinheit **1036** angelegt werden, was zu einer Polarisationsdrehung von 90° führt. Auf diese Weise wird das Signal S konvertiert in ein „Signal P“, d.h. ein Signal, das einen linearen Polarisationszustand senkrecht zum Zustand S aufweist. Das Signal P wird über einen zweiten Polarisationsstrahlteiler **1018** zur zweiten optischen Ausgangsfaser **1026** übertragen. Für den Fachmann ist es evident, dass ein Signal P, das in eine Vorrichtung **1000** von der zweiten optischen Eingangsfaser **1004** eintritt, auf dieselbe Weise geschaltet werden kann, wie das für das Eingangssignal S Beschriebene bei der Eingangsfaser **1002**. Die Vorrichtung **1000** ist polarisationsabhängig, da dessen Betrieb Eingangssignale an den korrespondierenden Eingängen benötigt, um einen linearen Polarisationszustand S oder P aufzuweisen.

[0071] Eine Ausführungsform eines bidirektionalen und polarisationsunabhängigen Schalters **1100** ist schematisch in [Fig. 11](#) dargestellt. Die Architektur des Schalters **1100** ermöglicht es dem optischen Schalter unabhängig von einer Polarisation zu arbeiten. Die Vorrichtung **1100** umfasst erste und zweite optische Eingangsfasern **1002** und **1004**; erste und zweite Kollimatoren **1006** und **1008**; erste und zweite optische Elemente **1102** und **1104**; ein $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristallelement **1106**; dritte und vierte Kollimatoren **1022** und **1020**; eine erste und eine zweite optische Ausgangsfaser **1024** und **1026**. Das erste optische Element **1102** umfasst einen ersten Polarisationsstrahlteiler **1108** und zwei konventionelle, rechtwinklig reflektierende Prismen **1110** und **1112**. Das zweite optische Element **1104** umfasst einen zweiten Polarisationsstrahlteiler **1116** und zwei konventionelle rechtwinklig reflektierende Prismen **1114** und **1118**.

[0072] Der Betrieb der Vorrichtung **1100** im Fall des Kreuzzustandes (d.h. Verbindung der Eingangsfaser **1002** zur Ausgangsfaser **1026**) wird unten beschrieben mit Bezug auf [Fig. 11](#). Ein optisches Eingangssignal, das einen zufälligen Polarisationszustand aufweist, tritt in den Schalter **1100** über die erste optische Eingangsfaser **1002** ein. Es läuft durch den Kollimator **1006** und wird dadurch ein kollimiertes Signal. Das optische Signal wird dann zum Polarisationsstrahlteiler **1108** übertragen, wo es in zwei Strahlen aufgeteilt wird, die jeweils orthogonale Polarisationszustände S und P aufweisen. Der Strahl S wird durch das rechtwinklig reflektierende Prisma **1112** reflektiert, so dass die zwei Strahlen zwei separaten parallelen optischen Pfaden folgen. Die Strahlen S und P propagieren jeweils entlang einer oberen Region und einer unteren Region des Kristallelements **1106**. Die Propagationsrichtung der einfallenden optischen Strahlen mit Bezug auf das Kristallelement **1106** ist entlang der Kristallachse $\langle 110 \rangle$. Wenn an das Kristallelement **1106** keine Spannung angelegt wird, findet keine Polarisationsdrehung der optischen Strahlen im Kristallelement **1106** statt. Der Polarisationsstrahlteiler **1116** und das rechtwinklige Prisma **1118** kombinieren die zwei Strahlen in einen einzelnen optischen Strahl, der durch das rechtwinklig reflektierende Prisma **1114** in Richtung des Kollimators **1020** und der Ausgangsfaser **1024** reflektiert wird.

[0073] Um Kreuzzustandsschalten durchzuführen, wird eine Spannung $V = V_{\pi}$ an das Kristallelement **1106** angelegt zum Erzeugen eines externen elektrischen Feldes entlang des Kristalls. Daraufhin unterlaufen die Strahlen S und P eine Polarisationsdrehung um 90° , so dass am Ausgang des Kristallelements **1106** der Strahl S ein Strahl P und der Strahl P ein Strahl S wird. Bei Erreichen des Polarisationsstrahlteilers **1116** wird der P Strahl zur zweiten Ausgangsfaser **1026** übertragen, und der S Strahl wird durch das rechtwinklig reflektierende Prisma **1118** in eine Richtung zur zweiten Ausgangsfaser **1026** reflektiert. Die Strahlen werden deshalb rekombiniert an den vorbestimmten Ausgang und zur Ausgangsfaser **1026** gesendet. Da die Strahlen optischen Pfaden folgen, die äquivalente Längen aufweisen, wird keine Zeitverzögerung zwischen den zwei Strahlen während derer Passage eingeführt.

[0074] Andere Verfahren zum Betreiben des Schalters **1100** würden dem Fachmann klar werden durch die obere Beschreibung und Figuren. Zum Beispiel könnten Balkenzustandsbetrieb und Betrieb, in dem der optische Strahl in eine von der Faser **1002** unterschiedliche optische Faser eintritt, durchgeführt werden. Die Schalter können bei jeder Schaltfrequenz f betrieben werden. Im Genaueren können diese betrieben werden

als Leitungsvermittlungs-Schalter und Paketschalter. Vorzugsweise ist die Schaltfrequenz f kleiner als 100 Hz. Noch mehr vorzuziehen ist eine Schaltfrequenz von $f = 0$, so dass Schalten von einem Zustand zu einem anderen lediglich gelegentlich auftritt und der Schalter überwiegend in einem festen Zustand für eine ausgedehnte Zeitperiode arbeitet.

[0075] Die Schalter **1000** und **1100** können realisiert werden durch Verwendung der folgenden Komponenten. Die Polarisationsstrahlteiler und die rechtwinklig reflektierenden Prismen können beispielsweise hergestellt werden durch NITTO (Japan). Vorzugsweise sind alle optischen Komponenten mit Antireflexbeschichtungen beschichtet. Die Kollimatoren, die geeignet mit den entsprechenden optischen Fasern verbunden sind, können „grin-rod“ (graduierter Index) Linsen sein, die verfügbar sind unter dem Handelsnamen SELFOC™ von NSG (Japan). Um Temperatur- und mechanische Stabilität für die optischen Schalter **1000** und **1100** zu gewährleisten, kann jeder platziert sein auf einem Macor™-(Handelsmarke von Corning Glaxo (USA)) Tisch, der mit Aluminiumhalterungen zum Halten der Linsen bereitgestellt ist. Die Elektroden können gebildet sein durch Abscheiden eines Goldfilmes auf eine bekannte Art und Weise, zum Beispiel durch Vakuumverdampfung auf einen $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristall. Eine Silikonpaste kann verwendet werden zum Verhindern, dass der $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristall Spannungen ausgesetzt wird, die zu Deformationen im Kristall führen könnten. Solche Spannungen könnten andererseits verursacht werden durch das angelegte elektrische Feld. Es kann eine konventionelle Paste eingesetzt werden zum Fixieren der anderen optischen Komponenten. Der Macor™-Tisch, das die Schalter hält, kann eingesetzt sein in eine Aluminiumbox, die bereitgestellt ist mit einer Steuereinheit zum Steuern der elektrischen Spannung.

[0076] Die Schalter können mit optischen Signalen arbeiten, die eine Leistung aufweisen in Übereinstimmung mit der Leistung, die verwendet wird für optische Signale in Telekommunikationssystemen. Die optische Leistungsdichte, d.h. das Verhältnis zwischen Leistung P_{in} und der Fläche des einfallenden Strahlabschnitts, ist vorzugsweise niedriger als 100 mW/mm^2 . Noch mehr vorzuziehen ist eine optische Leistungsdichte, die niedriger ist als 15 mW/mm^2 .

[0077] Die Länge L des $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristalls **1014** und **1106**, der in den Schaltern **1000** und **1100** eingesetzt ist, wird ausgewählt, einen geeigneten Wert der Halbwellenspannung V_{π} zu erreichen. Vergrößern der Länge L reduziert die Halbwellenspannung V_{π} , kann jedoch dazu führen, dass der Kristall fragiler wird. Vorzugsweise ist die Länge L des $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristalls **1014** und **1106** weniger als etwa 15 mm aber mehr als etwa 10 mm. Der Abstand d zwischen den Elektroden zum Anlegen der Spannung, d.h. die Dicke des Kristalls, kann auch reduziert werden zum Erniedrigen des Werts der Halbwellenspannung V_{π} . Vorzugsweise ist der Abstand d zwischen etwa 200 μm und 2 nm. Noch mehr vorzuziehen ist, dass der Abstand d weniger ist als 500 μm . Durch Vergrößern der dritten Dimension des $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristalls können viele unterschiedliche parallele optische Strahlen im Inneren des Kristalls propagieren. Auf diese Weise kann das simultane Schalten von vielen Strahlen erreicht werden. Darüber hinaus können integrierte optische Strukturen, durch die das zu schaltende optische Signal geleitet werden kann, unter Verwendung von $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Wellenleitern vom Fachmann entwickelt werden.

Beispiel 1

[0078] Der Anmelder testete das Verhalten von Kristallproben von $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ im Vergleich mit anderen Kristallproben, die eine Zinkblendenstruktur aufweisen. Wenn nicht speziell angezeigt, unterlief in den folgenden Experimenten der optische Strahl, der in die Kristallprobe eintritt, lineare Polarisation entlang der Kristallachse $\langle 110 \rangle$, an die das elektrische Feld angelegt wurde. Die Propagation des Strahls wurde entlang der Kristallachse $\langle 110 \rangle$ gelenkt. Zusätzlich wurden die Kristalle in der als AM-Schnitt bekannten Konfiguration angeordnet. Die Anlegung des elektrischen Felds entlang der Achse $\langle 110 \rangle$ gewährleistete beste elektrooptische Effizienz für die Konfiguration von Zinkblendenkristallen.

[0079] Alle Kristallproben waren Parallelepiped-förmig und wiesen eine quadratische Basis der Dimension $d \times d$ und eine Länge L auf. Im Genauereren wurden folgende Proben verwendet:

- Proben A_1 und A_2 : $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$, $d = 2 \text{ mm}$, $L = 10 \text{ mm}$.
- Probe B_1 : CdTe:In , $d = 5 \text{ mm}$, $L = 10 \text{ mm}$.
- Probe B_2 : CdTe:In , $d = 2,5 \text{ mm}$, $L = 10 \text{ mm}$.
- Probe C: GaAs , $d = 5 \text{ mm}$, $L = 15 \text{ mm}$.

[0080] Proben A_1 , A_2 , B_1 und B_2 wurden hergestellt durch eV Product (PA, USA) und kommerzialisiert durch II-VI Inc. (PA, USA). Die Probe C wurde hergestellt durch CNR-MASPEC, ein Forschungszentrum, das in der Nähe von Parma, Italien, liegt.

[0081] Als erstes wurde für jede der Proben A_1 , A_2 , B_2 und C der Absorptionsfaktor α gemessen. Für die Proben A_1 , B_1 und B_2 wurde das Experiment gemäß der in [Fig. 7](#) dargestellten Konfiguration aufgebaut. Eine Laserquelle **101** emittiert einen einfallenden Lichtstrahl bei einer Wellenlänge $\lambda = 1550$ nm mit einer Maximalleistung von $540 \mu\text{W}$. Die Kristallprobe **115** war so orientiert, dass der einfallende Lichtstrahl einen relativ kleinen Winkel θ mit der Achse orthogonal zu dessen Basis bildete.

[0082] Der Kristall **115** transmittierte partiell den einfallenden Lichtstrahl und reflektierte partiell den Lichtstrahl in eine Richtung symmetrisch zum einfallenden Lichtstrahl. Leistungsmessköpfe **116** wurden verwendet zum Messen der Intensitäten I_0 , I_R und I_T , die jeweils den Leistungen des einfallenden, reflektierten und transmittierten Lichtstrahls entsprechen. Zum Bestimmen des Absorptionsfaktors α wurden die folgenden Ausdrücke verwendet:

$$I_R = I_0 \left(1 - \frac{(1-R)^2 e^{-2\alpha l}}{1-R^2 e^{-2\alpha l}} \right) \quad (2)$$

$$I_T = I_0 \left(\frac{(1-R)^2 e^{-\alpha l}}{1-R^2 e^{-\alpha l}} \right) \quad (3)$$

wobei R der Reflexionsfaktor ist. Die anderen Parameter wurden bereits oben definiert.

[0083] Da die Probe B_1 eine antireflexionsbeschichtete Basis enthielt, wurde diese nicht getestet. Das Labor von MASPEC bestimmte den Absorptionsfaktor der Probe C unter Verwendung einer Fourier-Transform-Interferometer (FTIR) Technik. Tabelle 1 zeigt Werte von α für die Proben A_1 , A_2 , B_2 und C.

TABELLE 1

λ	Probe A_1 , ($\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$) α	Probe A_2 , ($\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$) α	Probe B_2 , ($\text{CdTe}:\text{In}$) α	Probe C, (GaAs) α
1550 nm	$0,19 \text{ cm}^{-1}$	$0,23 \text{ cm}^{-1}$	$0,09 \text{ cm}^{-1}$	$1,18 \text{ cm}^{-1}$

[0084] Alle Proben, die bei einer Wellenlänge von 1550 nm getestet wurden, sind in einem Gebiet des Absorptionsspektrums in der Nähe der Bandkante, wie oben definiert.

[0085] Bei 1550 nm sind die Absorptionsfaktoren der Proben A_1 und A_2 größer als der Absorptionsfaktor der Probe B_2 . Folglich hat der Anmelder anfangs geglaubt, dass die Photoerzeugung und der Raumladungseffekt für die Proben A_1 und A_2 größer sein sollte als für die Probe B_2 bei 1550 nm. Jedoch hat sich diese Theorie später als inkorrekt herausgestellt.

[0086] Zusätzlich wurde die Absorption der A_1 und A_2 bei einer Wellenlänge 1064 nm gemessen, resultierend in Absorptionswerten von $0,24 \text{ cm}^{-1}$ und entsprechend von $0,26 \text{ cm}^{-1}$ für die zwei Proben.

[0087] Die elektrooptischen Qualitäten der Proben wurden bestimmt durch Messen des charakteristischen Parameterverhaltens bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen. [Fig. 1](#) zeigt schematisch das verwendete System zum Ausführen der Messungen. Dieses System beinhaltet eine Lichtwellenleiter-Laserdiode **101**, die von NEC (USA) hergestellt wurde, die einen Ausgang aufweist, der mit einer Mono-Moden-Faser gekoppelt ist, die mit einer konventionellen Polarisationssteuereinheit **102** verbunden ist. Die Polarisationssteuereinheit **102** beinhaltet eine Vielzahl von optischen Faserspulen, die geeignet gespannt sind, die hintereinander angeordnet und so gehalten sind, dass diese orientiert sein können mit Bezug auf eine gemeinsame Achse der Anordnung zum Bereitstellen der gewünschten Polarisationssteuerung.

[0088] Der Ausgang der Polarisationssteuereinheit **102** ist optisch mit einer konventionellen kollimierenden Linse **103** gekoppelt, der ein optisches System **113** folgt. Das optische System **113** umfasst einen Polarisationsstrahlteiler (PBS) **104**, der optisch gekoppelt ist mit der Kristallprobe **115**, einer Viertelwellenplatte **106** und

einem Polarisationsanalysator **107**, d.h. einem zweiten PBS. Bernhard Halle stellte die speziellen Viertelwellenplatten **106** her, die in diesem Beispiel verwendet wurden, und das PBS **107** war vom Glenn-Thomson Typ. Die Probe **115** ist auf einer beweglichen und manuell einstellbaren Basis (nicht dargestellt) montiert, die eine Auflösung von einem Mikrometer ermöglicht. Eine Fokussierlinse **108** ist zwischen dem optischen System **113** und einer Photodiode **109** positioniert, die diese zwei miteinander koppelt.

[0089] Ein Funktionsgenerator **111** erzeugt das an die Kristallprobe **115** anzulegende modulierende elektrische Feld. Der für dieses Beispiel ausgewählte Funktionsgenerator war das Modell 5100A von Krohn (MA, USA). Dieser spezielle Funktionsgenerator konnte eine modulierte elektrische Spannung bis hin zu 3 MHz erzeugen, die eine Amplitude von wenigen Volt aufweist. Ein Verstärker **110** wird verwendet zum Verstärken des elektrischen Signals, das durch den Funktionsgenerator **111** erzeugt wird. Ein Krohn Hite 7602M Verstärker diente als Verstärker **110** in diesem Beispiel. Dieser spezielle Verstärker konnte eine maximale Amplitude von $400 V_{pp}$ (Spitzen-zu-Spitzen-Spannung) in dem oben indizierten Frequenzbereich erreichen.

[0090] Die zwei Elektroden **105**, die durch eine Distanz d von der Kristallprobe getrennt sind, ermöglichen das Anlegen der verstärkten Spannung an die Kristallprobe **115**. Ein Lock-in Verstärker **112** ist mit der Photodiode **109** und dem Funktionsgenerator **111** verbunden. Als Lock-in Verstärker **112** wurde der Stanford-SR830 DSP, CA (USA) verwendet.

[0091] Die Photodiode **109** ist auch mit einem elektronischen Multimeter **114** verbunden. Im Genaueren war die Photodiode **109** eine InGaAs Photodiode, die von New Focus (USA) hergestellt wurde, Nr. 1811, die eine Bandbreite von 125 MHz aufweist. Der PBS **104** kann verwendet werden zum Auswählen der vertikalen oder horizontalen optischen Strahlpolarisation, die einen Winkel von 45° mit den dielektrischen Achsen der Kristallprobe **115** bildet, die durch das extern angelegte Feld induziert werden.

[0092] Als erstes wurde die beschriebene Anordnung aus [Fig. 1](#) verwendet zum Analysieren der Veränderungen des elektrooptischen Verhaltens der oben angezeigten Proben für Variationen der Frequenz der elektrischen Spannung. Der Laser **101** erzeugte einen optischen Strahl, der eine Wellenlänge λ von 1554 nm aufweist und eine maximale Leistung von etwa $540 \mu W$ aufweist. Die Polarisationssteuereinheit **102** war geeignet orientiert zum Maximieren der optischen Leistungstransmission des optischen Systems **113**. Die Linse **103** wurde verwendet zum Erhalten eines Strahls mit einer Taille von etwa $115 \mu m$. Die Polarisation des optischen Strahls, der geeignet ist für die Wechselwirkung mit der Kristallprobe **115**, wurde ausgewählt unter Verwendung des PBS **104**, wie oben erwähnt. Der Funktionsgenerator **111** erzeugte eine Spannung als eine sinusförmige Funktion, die eine Amplitude V_a und eine Winkelfrequenz $\omega: V = V_a \sin(\omega t)$ aufweist. Der Betrag von V_a wurde beibehalten bei oder unter 50 Volt, was signifikant weniger war als die Halbwellenspannung V_{π} der Proben. Diese variable externe Spannung V induzierte eine variable Doppelbrechung in der Kristallprobe **115**.

[0093] Die Basis, die die Kristallprobe **115** hält, wurde manuell zur Position und dem Winkel der Kristallprobe **115** justiert, so dass dessen optische Oberflächen senkrecht waren zu dem einfallenden optischen Strahl. Die an die Kristallprobe **115** angelegte Spannung V bewirkte, dass die Polarisationskomponenten des durchlaufenden optischen Strahls entlang zweier unterschiedlicher dielektrischer Achsen mit unterschiedlichen Phasengeschwindigkeiten propagierten. Der optische Strahl unterlief daher einer Phasenverschiebung $\Delta\phi_{ext}$, die repräsentiert wird durch den Ausdruck:

$$\Delta\phi_{ext} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{L}{d} n_o^3 r_{41} V \quad (4)$$

wobei λ die optische Strahlwellenlänge, L und d die oben erwähnte Kristallprobengröße und $r_{41} n_o^3$ der Gütefaktor ist.

[0094] Die optische Achse der Viertelwellenplatte **106** bildete einen Winkel von 45° mit der Polarisationsrichtung des aus der Kristallprobe **115** hervortretenden optischen Strahls. Die Viertelwellenplatte **106** erzeugte eine Phasenverschiebung im optischen Strahl, die gleich ist $\Delta\phi_{\lambda/4} = \pi/2$ entsprechend einer Polarisationsdrehung von 45° . Das optische System **113** erzeugt eine Transmissionsfunktion:

$$P_{out} = P_{in} \sin^2\left(\frac{\Delta\phi_{tot}}{2}\right) \quad (5)$$

wobei P_{in} die Leistung des optischen Strahls, der in das optische System **113** eintritt, P_{out} die Leistung des optischen Strahls, der aus dem optischen System **113** hervortritt, und $\Delta\phi_{tot}$ die Phasenverschiebung identisch zu der Summe der Verschiebung, die durch das externe Feld induziert wird, $\Delta\phi_{ext}$ und der Verschiebung, die durch

die Viertelwellenplatte verursacht wird, ist, $\Delta\varphi_{\lambda/4} = \pi/2$. Die Anwendung der Viertelwellenplatte **106** und eines niedrigen Wertes der Spannung V an die Kristallprobe bewirkten, dass der optische Strahl in einer linearen Region der Transmissionsfunktion des optischen Systems **113** arbeitete. Die lineare Region korrespondiert mit dem Wendepunkt der in **Fig. 8** dargestellten Funktion, die ein Graph von $T(P_{\text{out}})$ gegen $\Delta\varphi_{\text{tot}}$ ist. Dann

$$\Delta\varphi_{\text{tot}} = \Delta\varphi_{\text{ext}} + \Delta\varphi_{\lambda/4} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{L}{d} n_0^3 r_{41} V + \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

Das von der Photodiode **109** detektierte elektrische Signal wurde in der Frequenz und Phase durch den Lock-in Verstärker demoduliert. Die Spitze-zu-Spitze-Amplitude ΔV_{out} der Modulation, die durch den elektrooptischen Effekt induziert wurde, wurde bestimmt. Das Multimeter **114** zeigte die mittlere Komponente V_{out} des detektierten Signals an. Das Anwenden einer solchen Lock-in Demodulationstechnik ermöglicht es, ein gutes Signal/Rauschverhältnis zu erreichen, was zu einer guten Sensitivität der Messung führt. Der Anmelder hat die Signale detektiert, die mit einer Amplitude von wenigen μV moduliert sind, durch Anwenden dieser Technik. Für Messungen, die bei einer hohen Frequenz durchgeführt werden, zum Beispiel $f > 100$ kHz, können die Spitze-zu-Spitze-Werte ermittelt werden unter Verwendung eines Oszilloskops, da die Bandbreite des Lock-in Verstärkers begrenzt ist auf 120 kHz.

[0095] Der tatsächliche Gütefaktor M wurde bestimmt für mehrere Werte von elektrischer Frequenz unter Verwendung der folgenden Gleichung:

$$M = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{d}{L} \frac{\Delta V_{\text{out}}}{V_{\text{out}} \Delta V} \Big|_{\Delta V \rightarrow 0} \quad (7)$$

wobei $\Delta V = 2 V_a$ eine Spitze-zu-Spitze-Amplitude der an den Kristall **115** angelegten Spannung ist, ΔV_{out} die Spitze-zu-Spitze-Amplitude der durch die Photodiode **109** detektierten Spannung ist, V_{out} die durchschnittliche Komponente der durch die Photodiode **109** detektierten Spannung ist, λ die optische Strahlwellenlänge ist und d und L die Dimensionen des Kristalls sind. Der tatsächliche Gütefaktor M repräsentiert die tatsächliche elektrooptische Kapazität des Kristalls **115** unter experimentellen Bedingungen. Dieser gemessene M kann sich von dem Gütefaktor $n_0^3 r_{41}$ Charakteristik des Typs des Kristalls, der als Kristall **115** eingesetzt wird, unterscheiden. Der Ausdruck (7) wurde bestimmt unter Verwendung der Ausdrücke (5) und (6) unter Berücksichtigung, dass die involvierte Leistung ein lineares Verhalten des Kristalls ermöglicht.

[0096] Die oben beschriebenen Schritte wurden wiederholt für die Kristallproben A_1 , B_2 , B_1 und C unter Verwendung unterschiedlichen Modulationsfrequenzen, die von 1 Hz bis zu 2,2 MHz reichten. **Fig. 2** stellt Graphen des tatsächlichen Gütefaktors M gegen die Modulationsfrequenz F für die Kristallproben A_1 , B_2 , B_1 und C dar. Der Anmelder hat herausgefunden, dass für die Proben B_1 , B_2 und C das Verhalten des tatsächlichen Gütefaktors in drei Regionen unterteilt ist:

- eine erste Region, wo M ein resonantes Verhalten zeigt;
- eine zweite Region, wo M im Wesentlichen konstant ist; und
- eine dritte Region, wo M mit dem Abfallen der Frequenz f abfällt.

[0097] Für CdTe:In Proben B_1 und B_2 trat das resonante Verhalten für $f > 100$ kHz auf. Der Wert von M verblieb im Wesentlichen konstant für Frequenzen zwischen 100 Hz und 100 kHz, und M verringerte sich bei $f < 100$ Hz. Für die GaAs Probe trat resonantes Verhalten für die Probe C bei $f > 10^5$ Hz auf. Für Frequenzen zwischen 10^3 Hz und 10^5 Hz wurde M im wesentlichen konstant bei etwa 50 pm/V. M verringerte sich für $f < 10^3$ Hz. Im Speziellen war für $f = 10^2$ Hz der tatsächliche Gütefaktor in etwa 30 pm/V.

[0098] Zusätzlich hat der Anmelder beobachtet, dass für die $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Probe A_1 , M ein resonantes Verhalten aufwies bei $f > 500$ kHz und im Wesentlichen konstant blieb für $f < 200$ kHz. Für $f < 200$ kHz wies die $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Probe ein unterschiedliches Verhalten von anderen Proben darin auf, dass M sich nicht wesentlich verringerte. Der Anmelder glaubt, dass das Absinken von M in der dritten Region für die Proben B_1 , B_2 und C aufgrund des Auto-Sperr-Effektes auftrat, der für niedrige Modulationsfrequenzen stärker wird. Ferner glaubt der Anmelder, dass der im Wesentlichen konstante Wert von M für die $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Probe bei $f < 100$ kHz anzeigt, dass der Auto-Sperr-Effekt nicht vorhanden oder minimiert war.

[0099] Wie oben in Tabelle 1 gezeigt, wies die $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Probe einen Absorptionsfaktor größer als die der CdTe:In Proben bei einer Wellenlänge von 1550 nm auf. Es besteht eine Verbindung zwischen dem Auto-Sperr-Effekt und den Ladungsträgern, die durch Lichtabsorption, d.h. Photoerzeugung, erzeugt werden. Unter der Annahme, dass die gesamte absorbierte Lichtleistung freie Ladungsträger anregt und dass keine an-

dere Absorptionsart auftritt, hat der Anmelder zuerst angenommen, dass die $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Probe einem stärkeren Auto-Sperr-Effekt unterzogen werden würde als die CdTe:In Proben. Daher war das Nichtauftreten oder die Schwäche des Auto-Sperr-Effekts in der $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Probe überraschend. Eine mögliche Erklärung für dieses unerwartete Resultat kann sein, dass die photoerzeugten Träger des $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ eine Rekombinationsgeschwindigkeit aufwiesen, die größer ist als die der Träger anderer Proben. Die $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Ladungsträger könnten sich deshalb einfacher und wirksamer rekombiniert haben, was in der Reduktion des elektrischen Gegenfeldes resultiert, was für den Auto-Sperr-Effekt verantwortlich ist.

[0100] Wie in Tabelle 1 angezeigt, weist die GaAs Probe den größten Absorptionsfaktor auf. Durch Aufweisen des kleinsten Wertes von M von allen Proben verhielt sich die GaAs Probe, wie zu erwarten war, basierend auf dessen höchsten Absorptionsfaktor.

[0101] Das gleiche Verhalten der drei Proben B_1 , B_2 und C in der zweiten Region kann erklärt werden unter Berücksichtigung, dass die photoerzeugten Ladungsträger nicht in der Lage waren, den schnellen Oszillationen des externen elektrischen Felds bei solch einer hohen Frequenz zu folgen. Deshalb konnte kein wirksames Gegenfeld produziert werden.

[0102] In der zweiten Region der Probe B_1 und in der nicht resonanten Region der Probe A_1 , wo der Auto-Sperr-Effekt abwesend ist, können die entsprechenden Gütefaktoren und elektrooptischen Koeffizienten bestimmt werden. Diese Parameter hängen lediglich von den Materialeigenschaften der Kristalle ab und sind bekannt als „ungeklemmt“ Parameter. Des Weiteren ist es für Frequenzen, die höher sind als die, die mit der ersten Resonanz verbunden ist, auch möglich, den Gütefaktor und den elektrooptischen Koeffizienten zu bestimmen, die auch als „geklemmt“ Parameter bezeichnet werden. Die geklemmten und ungeklemmten Parameter für die Proben A_1 und B_1 , die durch Mitteln der Ergebnisse der mehreren Messungen erhalten werden, sind in Tabelle 2 gezeigt. Die entsprechende geschätzte Unsicherheit jeder Messung ist auch dargestellt. Der Anmelder verwendete die Werte der Brechungsindizes n_0 , die angegeben werden in dem Artikel S. Adachi et al. „Refractive Index Dispersion in $\text{Zn}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ Ternary Alloys“ J. Appl. Phys., Vol. 32, Seiten 3866-3867 (1993).

TABELLE 2

Material	$n_0^3 r_{41}$ pm/V ungeklemmt	r_{41} pm/V ungeklemmt	$n_0^3 r$ pm/V geklemmt	41 pm/V geklemmt	$n_0 @$ 1550 nm
$\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ (A_1)	106 ± 4	$5,2 \pm 0,1$	96 ± 6	$4,7 \pm 0,3$	$2,736$
CdTe:In (B_1)	106 ± 2	$5,2 \pm 0,1$	90 ± 4	$4,4 \pm 0,2$	$2,736$

[0103] In einem anderen Experiment testete der Anmelder das elektrooptische Verhalten der Probe A_1 in Reaktion auf Variationen der Wellenlänge des optischen Strahls. Es wurde herausgefunden, dass die gemessenen Werte des tatsächlichen Gütefaktors M sich mit der Variation der Wellenlänge des optischen Strahls ändern. Der oben diskutierte Aufbau mit Bezug auf [Fig. 1](#) wurde für den Test eingesetzt. In diesem Fall wurde die Spannungsamplitude V und die Frequenz f konstant gehalten. Im Genaueren war die verwendete Frequenz 50 kHz. Die Messungen wurden ausgeführt für verschiedene Wellenlängen des optischen Strahls, die von 1480 nm bis zu 1590 nm reichten. Die Leistung des optischen Strahls war weniger als 500 μW .

[0104] Die Werte von M für die Probe A_1 wurden bestimmt unter Verwendung des Ausdrucks (7), wie dieser oben angezeigt wurde. [Fig. 3](#) zeigt eine Zeichnung von M gegen die Wellenlänge, die gebildet wurde durch Heranziehen der besten linearen Interpolation der gemessenen Werte. Der Wert von M bleibt relativ konstant in dem für den Test ausgewählten Wellenlängenbereich. Der Anmelder glaubt, dass dieses Verhalten in Übereinstimmung mit der theoretischen Vorhersage ist, da die Messungen ausgeführt wurden in der Region, wo keine resonanten Effekte vorhanden sind und der elektrooptische Koeffizient r_{41} und der Brechungsindex n_0 keine nennenswerten Dispersionsphänomene produzieren. Der Wert von M verminderte sich tatsächlich ein wenig mit steigender Wellenlänge. Dieser Trend kann ein Ergebnis der Abhängigkeit des Brechungsindex n_0 auf die Wellenlänge des optischen Strahls sein.

[0105] Zusätzlich können die gemessenen Werte von M und λ in Gleichung (1) substituiert werden zum Berechnen der tatsächlichen Halbwellenspannung V_{π}' der Probe A_1 .

$$V_{\pi}' = \frac{\lambda}{2} \frac{1}{M} \frac{d}{L} \quad (8)$$

[0106] [Fig. 4](#) stellt die gemessenen Werte von V_{π}' gegen die Strahl-Wellenlänge λ zusammen mit einer linear interpolierenden Kurve dar. In dem berücksichtigten Wellenlängenbereich unterlief V_{π}' eine Steigerung von 7%.

[0107] Des Weiteren maß der Anmelder das Verhalten des Gütefaktors $n_0^3 r_{41}$ der $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Kristallprobe A_1 für Leistungsvariationen des optischen Strahls. Der optische Strahl, der von der Laserquelle **101** erzeugt wird, wurde verstärkt unter Verwendung eines erbiumdotierten Faserverstärkers des Modells Ampliphos™, der durch den Anmelder hergestellt wurde. Dieser Verstärker ist in der Lage, eine maximale kontinuierliche Leistung von etwa 11 mW bei $\lambda = 1550$ nm bereitzustellen. Die Messungen wurden durchgeführt für zwei Werte der Funktionsgeneratorfrequenz f , d.h. $f = 10$ Hz und $f = 1$ Hz und für eine Spannung, die in etwa gleich 20 Volt ist.

[0108] Die [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) zeigen jeweils den tatsächlichen Gütefaktor M gegen die optische Leistung in mW für $f = 10$ Hz und $f = 1$ Hz mit Bezug auf Probe A_1 . In den [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) sind die linearen Interpolationskurven der gemessenen Punkte auch dargestellt. Für $f = 10$ Hz wies die $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Kristallprobe einen tatsächlichen Gütefaktor auf, der im Wesentlichen konstant über einen Bereich der Leistungen des optischen Strahls ist. Die in [Fig. 5A](#) gezeigten leichten Variationen von M sind wahrscheinlich zurückzuführen auf Unsicherheiten in den gemachten Messungen. Die Instabilität des experimentellen Aufbaus, zum Beispiel Laserquelleninstabilität kann dazu führen, dass die Messungen leicht variieren. Dieses Verhalten kann erklärt werden unter Berücksichtigung, dass der Auto-Sperr-Effekt bei $f = 10$ Hz und bei 1550 nm nicht nennenswert ist.

[0109] Zusätzlich bemerkt der Anmelder, dass für $f = 1$ Hz und $V = 20$ Volt, die $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Kristallprobe A_1 einen tatsächlichen Gütefaktor aufweist, der von der optischen Strahlleistung abhängig ist. Für eine optische Strahlleistung von 1 mW ist im Genaueren der elektrooptische Effekt um etwa 25% reduziert. Eine mögliche Erklärung für dieses experimentelle Ergebnis ist, dass eine Erhöhung der optischen Strahlleistung dazu führt, dass das photoerzeugte elektrische Gegenfeld erhöht wird. Folglich wird der Grad der Abschirmung, die durch das externe elektrische Feld erzeugt wird, beträchtlich.

[0110] Der Anmelder maß auch das Verhalten des tatsächlichen Gütefaktors M der Probe A_1 für externe Spannungsamplitudenvariationen. Der in [Fig. 1](#) gezeigte Aufbau, der mit einem erbiumdotierten Faserverstärker Ampliphos™ bereitgestellt wird, wurde mit Gleichung (7) verwendet zum Bestimmen der M Werte. Die Frequenz wurde beibehalten bei $f = 1$ Hz und die optische Strahlleistung wurde beibehalten bei $P = 4$ mW, während die Spannungsamplitude V_a variiert wurde von etwa 20 V zu etwa 200 V.

[0111] [Fig. 6](#) stellt eine Zeichnung von M gegen V_a für die Probe A_1 dar. Wie gezeigt, steigt M , wenn V_a sich vergrößert, bis dieses einen Sättigungswert erreicht, der dem ungeklemmten Wert $n_0^3 r_{41}$ entspricht, der in etwa gleich ist 97 pm/V bei $V_a = 202,5$ V. Der Anmelder glaubt, dass die Region, in der sich M mit der Spannung V_a vergrößert, einer Region von nicht kompensierten Gegenfeld entspricht, und somit mit einer Region, die den Auto-Sperr-Effekt erfährt. Beim Sättigungspunkt, wo M relativ konstant wird, wird eine komplette Kompensation des Auto-Sperr-Feldes erreicht durch Mittel des externen elektrischen Feldes. Der Anmelder glaubt, dass das Gegenfeld konstant bleibt für einen festen Wert der optischen Strahlleistung, und dass eine Erhöhung des externen elektrischen Feldes das Gegenfeld ausgleicht. Im Gegensatz dazu war für den vorherigen Test die Spannung $V_a = 20$ V nicht ausreichend zum Kompensieren des elektrischen Gegenfeldes.

[0112] Darüber hinaus bemerkt der Anmelder, dass die bestimmte Spannung $V_a = 202,5$ V, die in der Lage ist, das elektrische Gegenfeld zu kompensieren, beträchtlich niedriger ist als die Halbwellenspannung $V_{\pi} = 1460$ V der Probe A_1 , die durch die Gleichung (1) bestimmt ist.

[0113] Der Anmelder untersuchte ferner das Verhalten der Proben A_1 und B_1 in Reaktion auf eine Erhöhung der optischen Strahlleistung P_{in} , wenn die Spannung auf einen konstanten Wert beibehalten wurde. Dieser Test wurde durchgeführt bei einer Wellenlänge $\lambda = 1550$ nm unter Verwendung der in [Fig. 1](#) dargestellten Ausrüstung. Ein Leistungsmesskopf wurde optisch mit einem Ausgang des zweiten PBS gekoppelt zum Messen der Leistungsintensität I , die durch das optische System übertragen wurde.

[0114] Für jeden Wert der optischen Leistung wurde das Verhältnis zwischen der Leistungsintensität, die durch das optische System übertragen wurde, das mit einer externen Spannung V und der Leistungsintensität

korrespondiert, die einer Null-Spannung $V = 0$ entspricht, d.h. $I(V)/I(V=0)$, gemessen. Für $V = 0$ ist keine Polarisationsdrehung in der Probe aufgetreten, und es wurde die maximale Übertragung erreicht. Für ein V ungleich Null war die gemessene Leistungsintensität niedriger, da ein Teil der optischen Leistung einer Polarisationsdrehung unterzogen wurde und zu einem anderen Ausgang des zweiten PBS übertragen wurde. Mit anderen Worten wurde der Leistungsmesskopf strategisch platziert, so dass die Intensität des Strahls, der eine nicht rotierte Polarisation aufweist, gemessen werden konnte.

[0115] Es wurde eine Spannung $V = V_{\pi} = 1460$ V an die Probe A_1 angelegt, was in einer Polarisationsdrehung von 90° für den eingehenden optischen Strahl resultierte. Für die $\text{Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ Probe A_1 führte die Erhöhung der optischen Leistung, bis diese einen Wert von 10 mW erreichte, nicht dazu, dass sich das Verhältnis $I(V)/I(V=0)$ veränderte. Der Anmelder glaubt, dass eine Erhöhung der optischen Leistung weder die Polarisationsdrehung beeinflusst, noch ein elektrisches Gegenfeld verursacht, das in der Lage ist, das externe elektrische Feld abzuschirmen, das durch die Spannung V erzeugt wurde.

[0116] Zusätzlich testete der Anmelder das Verhalten der CdTe:In Probe B_1 . Die Probe B_1 wies die folgende Halbwellenspannung auf:

$$V_{\pi} = \frac{\lambda}{2} \frac{1}{r_{41} n_0^3} \frac{d}{L} = 3660V \quad (9)$$

[0117] Der elektrische Generator und der elektrische Verstärker, die für den Test eingesetzt wurden, konnten keine Spannungsamplitude in der Höhe von 3600 V produzieren, so dass der Test ausgeführt wurde bei 2500 V. Die gemessenen Werte von $1-I(2500\text{ V})/I(V=0)$ für unterschiedliche optische Strahlleistungen P_{in} sind in [Fig. 9](#) gezeigt. Für $P_{\text{in}} = 0,016$ mW ist das Verhältnis $I(2500\text{ V})/I(V=0)$ gleich 0,525, und $1-I(2500\text{ V})/I(V=0)$ ist gleich 0,475. In diesem Fall wurde in etwa die Hälfte der eingehenden Leistung zu dem anderen Ausgang des zweiten PBS übertragen und folgte einer Polarisationsdrehung. Der Wert von $1-I(2500\text{ V})/I(V=0)$ verminderte sich, als P_{in} von 0,076 mW auf 0,083 mW verändert wurde.

[0118] Bei $P_{\text{in}} = 1,7$ mW ist das Verhältnis $I(2500\text{ V})/I(V=0)$ gleich 0,976 und $1-I(2500\text{ V})/I(V=0)$ ist gleich 0,024. Die Leistung, die für $V = 0$ übertragen wurde, war annähernd gleich der Leistung, die für $V = 2500$ V übertragen wurde. Eine Erhöhung der optischen Leistung beeinflusste folglich die Polarisationsdrehung, die durch die Probe B_1 induziert wurde, merklich.

[0119] Der Anmelder glaubt, dass das elektrische Feld, das sich in der CdTe:In Probe befindet, ausreicht zum kompletten Abschirmen des externen elektrischen Feldes. Das Verhalten der GaAs Probe C wurde auch untersucht unter Bedingungen, die analog zu diesen sind, die verwendet wurden zum Analysieren des Verhaltens der Probe B_1 . Die Probe C wies eine schlechtere Leistungsfähigkeit als die Probe B_1 auf.

[0120] Auch bei der Ausführung eines Dauertests fand der Anmelder experimentell heraus, dass sich die Leistungsfähigkeit der $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$ Probe A_1 nicht veränderte nach dem einstündigen Betrieb bei $\lambda = 1550$ nm, $P_{\text{in}} = 500$ μW und $V = V_{\pi} = 1460$ V.

[0121] Die experimentellen Tests der vorliegenden Erfindung demonstrieren, dass gleichwohl der $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$ Kristall, der einen höheren Lichtabsorptionskoeffizienten aufweist als der CdTe:In Kristall, der $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$ Kristall eine bessere elektrooptische Leistungsfähigkeit aufweist, wenn dieser in Verbindung mit optischen Wellenlängen und optischen Leistungen verwendet wird, die charakteristisch für optische Kommunikationssysteme sind. Ein $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$ Kristall ermöglicht es einem optischen Schalter, ohne einen Auto-Sperr-Effekt zu erfahren, zu arbeiten. Ein $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$ Kristall erreicht die Polarisationskonversion durch Mittel einer Spannungsamplitude $V = V_{\pi}$ in einem breiten optischen Leistungsbereich, wenn der optische Strahl angewendet wird bei einer elektrischen Spannungsfrequenz, die niedriger ist als 100 Hz oder bei einer konstanten Spannung. Ein CdTe:In Kristall unter den gleichen Bedingungen benötigt eine viel größere V als V_{π} zum Erreichen des gewünschten elektrooptischen Effekts. Ferner muss zum Erreichen einer guten Schalteistungsfähigkeit unter Verwendung eines CdTe:In Kristalls die optische Strahlleistung innerhalb eines begrenzten Bereichs verglichen mit einem $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$ Kristalls gehalten werden.

[0122] Basierend auf den oben erwähnten Absorptionsmessungen bei einer Wellenlängen 1064 nm für die Proben A_1 und A_2 , die relativ niedrige Absorptionswerte zeigen, hat der Anmelder herausgefunden, dass $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ optische Signale herunter bis zu einer Wellenlänge von 1000 nm wirksam schalten kann. Ein Betriebsfenster von etwa 1000 nm bis etwa 1650 nm ist somit für den erfinderischen Schalter möglich. Dies ermöglicht das „zweite Fenster“ von optischen Kommunikationen bei Wellenlängen zwischen 1300 und 1350 nm.

Beispiel 2

[0123] Der Anmelder bildete wie in [Fig. 11](#) gezeigt, einen 2×2 Schalter **1100**. Die oben beschriebene $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$ Probe A_1 und die Komponenten der Schalter in den [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) wurden verwendet zum Herstellen dieses Schalters. Die Polarisationsstrahlteiler, die für den Schalter eingesetzt wurden, wiesen eine Polarisationsunempfindlichkeit von etwa -30 dB auf.

[0124] Um das Übersprechen, das in dem Schalter **1100** aus [Fig. 11](#) auftritt, zu bestimmen, bestimmte der Anmelder das Auslöschungsverhältnis des Schalters für verschiedene Werte der optischen Signalwellenlänge. Es wurde ein optisches Signal an eine Ausgangsfaser **1002** des Schalters **1100** angelegt. Eine optische Leistungsmessvorrichtung wurde in der Region der optischen Faser **1024** platziert. Der Schalter **1100** wurde dann in Kreuzverbindung mit der Faser **1002** betrieben, die mit der Faser **1026** verbunden ist, während die Spannung $V = V_{\pi}$ an die Elektroden des Kristallelements **1106** angelegt wurde. Die optische Leistung am Ausgang des Schalters **1100**, die mit der nicht verbundenen Ausgangsfaser **1024** korrespondiert, wurde gemessen. Das Auslöschungsverhältnis wurde bestimmt durch Berechnen des Verhältnisses der optischen Leistung P_{in} , die in den Schalter **1100** eintritt, mit der Leistung P_{out} , die aus dem nicht verbundenen Ausgang austritt. Der Schalter wurde betrieben bei unterschiedlichen Wellenlängen, die von 1520 nm bis 1570 nm variierten. Das schlechteste Auslöschungsverhältnis war etwa -27 dB für eine angelegte Spannung von $V = V_{\pi}$. Wenn keine Spannung angelegt wurde, wurde ein Auslöschungsverhältnis von etwa -30 dB erreicht.

[0125] Ein anderer experimenteller Test wurde durchgeführt zum Bestimmen der Empfindlichkeit des Schalters **1100** bezüglich der Polarisation des optischen Eingangssignals und zum Bestimmen der Variation der Leistung P_{out} , wenn der Zustand der Polarisation des optischen Eingangssignals variiert wurde. Die experimentellen Bedingungen blieben unverändert mit der Ausnahme, dass eine Viertelwellenplatte und eine Halbwellenplatte am Ausgang einer optischen Eingangsfaser **1002** positioniert wurden zum Variieren des Zustandes der Polarisation des optischen Signals, das aus der optischen Eingangsfaser **1002** kommt. Durch geeignetes Drehen dieser Platten war es möglich, alle möglichen Polarisationszustände zu erhalten. In diesem Experiment wurden eine Viertelwellenplatte und eine Halbwellenplatte verwendet, die von Bernhard Halle (Deutschland) hergestellt wurden.

[0126] Das Experiment wurde anfangs ohne das Kristallelement **1106** durchgeführt und wurde danach durchgeführt mit dem Kristallelement **1106**, während eine Spannung $V = V_{\pi}$ an die Elektroden im Kreuzzustand angelegt wurde. Es wurde die optische Leistung P_{out} , die aus dem Schalter **1100** über zwei optische Fasern **1024** und **1026** austritt, gemessen. Die Variationen in der Ausgangsleistung waren minimal, wenn der Polarisationszustand des optischen Eingangssignals variiert wurde. Tatsächlich war die maximale Variation der Leistung P_{out} in etwa gleich $1/1000$, d.h. -30 dB.

[0127] Der Anmelder glaubt, da die gleichen Variationen der Leistung P_{out} von der Vorrichtung aufgezeichnet wurden ohne und mit dem Kristallelement **1106**, dass diese Variationen dem Kristall nicht zugeordnet werden können. Deshalb müssen diese Variationen anderen Elementen des Schalters **1100** zugeordnet werden, zum Beispiel dem PBS oder der rechtwinkligen Prisma.

[0128] Polarisationsstrahlteiler, die beispielsweise auf einem Niobatsubstrat integriert sind, sind weniger empfindlich hinsichtlich der Polarisation. Weitere Modifikationen der beschriebenen Ausführungsformen können durchgeführt werden zum Verbessern des Packprozesses und zum Minimieren jeglicher Abschwächung oder des Übersprechens.

[0129] Zusätzlich wurde die Reaktionszeit der Vorrichtung **1100** bestimmt. Eine variable Spannung von etwa 1000 V bei einer Frequenz von 1 kHz wurde an den Schalter **1100** angelegt. Die optische Leistung P_{out} wurde bei einem Ausgang der optischen Faser gemessen, zum Beispiel der Ausgangsfaser **1024**. Für diesen Test war das Erreichen einer kompletten Polarisationsdrehung nicht notwendig. Da eine oszillierende Spannung angelegt wurde, wies die optische Ausgangsleistung dasselbe oszillierende Verhalten auf. Durch Vergleichen der Spannungsozillation mit der Ausgangsozillation bestimmte der Anmelder, dass die Antwortzeit weniger als eine Millisekunde war. Dieses experimentelle Ergebnis zeigte, dass $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$ ein geeigneter Kristall zum Verwenden in den elektrooptischen Schaltern gemäß der Erfindung ist.

[0130] Solche elektrooptischen Schalter weisen folgende Vorteile auf:

- gleiche Leistungsfähigkeit bei hoher Schaltfrequenz und niedriger Schaltfrequenz;
- keine Veränderung der Leistungsfähigkeit für Betrieb in einem festen Zustand;
- niedrigere tatsächliche Halbwellenspannung;

- höhere optische Signalleistung zulässig; und
- im Wesentlichen konstante Leistungsfähigkeit im dritten Fenster.

[0131] Die Schalter **1000** und **1100**, die auf den elektrooptischen Effekt der $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristalle **1114** und **1106** beruhen, bilden die elementaren Aufbaublöcke für komplexe Schaltknoten, die für optische Kommunikationssysteme notwendig sind. Als ein Beispiel zeigt [Fig. 12](#) ein Wellenlängenmultiplex (WDM, englisch: Wavelength Division Multiplexing) optisches System **1200**, das einen polarisationsunempfindlichen elektrooptischen Schalter **1100** aufweist. Die Überträger **1202** und **1204** stellen optische Signale dem Schalter **1100** in [Fig. 12](#) bereit durch Mittel von entsprechenden optischen Fasern **1206** und **1208**. Die Ausgangsanschlüsse des elektrooptischen Schalters **1100** sind verbunden durch Mittel der entsprechenden optischen Fasern **1210** und **1212** mit den in Empfangsstationen **1214** und **1216**.

[0132] Die Übertragungsstationen **1202** und **1204** umfassen entsprechend eine oder mehrere optische Quellen, vorzugsweise Laserquellen, die in der Lage sind, optische Signale zu erzeugen. In einer Ausführungsform werden die optischen Signale direkt bei vorbestimmten Wellenlängen erzeugt. In einer anderen Ausführungsform werden die optischen Signale bei unterschiedlichen Wellenlängen erzeugt, detektiert und in elektrische Signale konvertiert und dann bei den vorbestimmten Wellenlängen durch Modulation der geeigneten Laserquellen emittiert. Das U.S. Patent Nr. 5,267,073 beschreibt eine exemplarische Vorrichtung, die in der Lage ist, diese Wellenlängenkonversion durchzuführen. Als Beispiele von WDM Übertragung enthält jede Übertragungsstation **1202** und **1204** einen konventionellen Multiplexer zum Senden der erzeugten optischen Signale zur Faser **1206** und zur Faser **1208**. Im Allgemeinen sind Multiplexer passive optische Vorrichtungen, die zusammengesetzte Faserkoppler oder planare und mikrooptische Vorrichtungen umfassen.

[0133] Die Empfangsstationen **1214** und **1216** können die optischen Informationen detektieren und bearbeiten, die durch das System **1200** auf individuellen Wellenlängenkanälen laufen. Jede Station, die durch **1214** und **1216** repräsentiert ist, kann in einer WDM Konfiguration einen Demultiplexer zum Separieren einer Kombination von WDM Kanälen in diskrete Pfade beinhalten. Diese Pfade des Demultiplexers werden dann zu den entsprechenden Empfangsvorrichtungen verbunden.

[0134] Zusätzlich können die Vorverstärker **1218** und **1220** die optischen Signale, die vom Kristall **1100** bereitgestellt werden, vor den entsprechenden Empfangsstationen **1214** und **1216** verstärken. Zusätzlich dienen die Verstärker **1222** und **1224** zum Verstärken der optischen Signale, die von den Übertragungsstationen **1202** und **1204** bereitgestellt werden, auf eine bekannte Weise. Leitungsverstärker (nicht dargestellt) können entlang einem oder mehreren optischen Fasern **1206**, **1208**, **1210**, **1212** angeordnet werden zum Ausgleichen der Abschwächung in den optischen Pfaden. Die Vorverstärker **1218** und **1220**, die Verstärker **1206** und **1208** und die Leitungsverstärker können konventionelle optische Faserverstärker sein, zum Beispiel erbiumdotierte Faserverstärker.

[0135] Der Schalter **1100** weist Kreuz-/Balken-Funktionalität durch elektrische Steuereinrichtungen auf. Wenn der elektrooptische Schalter **1100** in einem Balkenzustand ist, werden die optischen Signale, die durch die Übertragungsstation **1202** übertragen werden, durch die optische Faser **1206** gesendet und zur optischen Faser **1210** geschaltet, wodurch die Empfangsstation **1214** erreicht wird. Analog werden optische Signale, die durch die Übertragungsstation **1204** übertragen werden, zur optischen Faser **1212** geschaltet, wodurch die Empfangsstation **1216** erreicht wird. Wenn der elektrooptische Schalter **1100** im Kreuzzustand ist, werden die optischen Signale, die von der Übertragungsstation **1202** (oder **1204**) emittiert werden, zu den entgegengesetzten Ausgangsfasern **1212** (oder **1210**) und dann zur Empfangsstation **1216** (oder **1214**) geschaltet.

[0136] Auf diese Weise führen die elektrooptischen Schalter **1000** und **1100** Raum-Leitung oder eine Unterbrechung zwischen Eingangs- und Ausgangsanschlüssen durch anstelle von Wellenlängenleitung oder Demultiplexing. Die Übertragungsstationen **1202** und **1204** und/oder die Empfangsstationen **1214** und **1216** können ersetzt werden durch kompliziertere Telekommunikations-Schaltvorrichtungen, so wie Netzwerkknoten, in denen optische Signale unterwegs eintreten und austreten durch ein großes System.

[0137] Der Fachmann kann $N \times M$ Schalter herstellen, die N Eingangsanschlüssen und M Ausgangsanschlüssen aufweisen, die eine Kaskade von elementaren 2×2 Schaltern gemäß der Anordnung der Schalter **1000** und **1100** umfassen. Beispielsweise stellt [Fig. 13](#) einen 4×4 elektrooptischen Schalter **1300** dar, der vier 2×2 elektrooptische Schalter **1302**, **1304**, **1306** und **1308** des Typs **1100** umfasst, der Eingangsfasern **1310**, **1312**, **1314** und **1316** und Ausgangsfasern **1318**, **1320**, **1322** und **1344** aufweist. Die optischen Fasern **1326** und **1328** verbinden jeweils die elektrooptischen Schalter **1302** und **1306** und die elektrooptischen Schalter **1304** und **1308**. Die optischen Fasern **1330** und **1332** verwenden jeweils die elektrooptischen Schalter **1302**

und **1308** und die elektrooptischen Schalter **1304** und **1306**. Durch geeignetes Fixieren des Zustandes der elektrooptischen Schalter ermöglichen die in [Fig. 13](#) gezeigten Verbindungen, dass ein optisches Signal von einer Eingangsfasern zu einem vorbestimmten Ausgangsanschluss geleitet wird.

[0138] Ein $N \times M$ Schalter stellt ein Schlüsselement zum Herstellen eines verwendbaren leitungsvermittelten optischen Cross-Connect (OXC) zum Tauschen von Wellenlängen dar. In diesem Fall wird ein Demultiplexen der WDM Kanäle bei unterschiedlichen Wellenlängen, die von derselben Eingangsfasern kommen und an unterschiedliche Ausgangsfasern adressiert sind, erreicht. Verschiedene OXC Strukturen sind aus dem Stand der Technik bekannt.

[0139] Ein spezielles Schema eines Wellenlängentausch-Cross-Connect **1400** ist in [Fig. 14](#) gezeigt. Das Wellenlängentausch-Cross-Connect **1400** umfasst optische Eingangsfasern α , β , und γ und optische Ausgangsfasern a, b und c. Die Eingangsfasern α , β , und γ sind jeweils verbunden mit optischen Verstärkern **1402**, **1404** und **1406**, denen drei Strahlteiler **1408**, **1410** und **1412** folgen. Jeder Strahlteiler weist vier optische Ausgangsfasern auf, die mit vier Eingangsanschlüssen von vier Filtereinheiten **1414**, **1416**, **1418** und **1420** verbunden sind, die jede vier durchstimmbare Filter umfassen. Die durchstimbaren Filter der Filtereinheiten sind geeignet zum Übertragen eines optischen Signals, das eine vorbestimmte Wellenlänge aufweist, und zum Blockieren der Signale, die unterschiedliche Wellenlängen aufweisen.

[0140] Die drei optischen Fasern, die jede Filtereinheit anregen, sind mit vier 4×4 elektrooptischen Schaltern **1422-1425** verbunden, die jeder gebildet sind durch Kaskadieren von vier 2×2 Schaltern, die $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristalle einsetzen. Drei Ausgangsfasern von jedem 4×4 elektrooptischen Schalter **1422-1425** sind, wie in [Fig. 14](#) gezeigt, mit vier wellenlängenkonvertierenden Einheiten **1430**, **1432**, **1434** und **1436** verbunden, die vier Wellenlängenkonverter umfassen. Eine Eingangsfasern und eine Ausgangsfasern jedes elektrooptischen Schalters **1422-1425** wird nicht für eine optische Verbindung verwendet. Die wellenlängenkonvertierenden Einheiten sind mit drei Strahlkombinierern **1409**, **1411** und **1413** verbunden, die jeder verbunden sind durch einen optischen Verstärker **1440**, **1442** und **1444** mit den Ausgangsfasern A, B und C. Die Strahlteiler **1408**, **1410** und **1412** und die Strahlkombinierer **1409**, **1411** und **1413** sind konventionelle Vorrichtungen, zum Beispiel vereinigte Faserkoppler.

[0141] Die Filtereinheiten **1414**, **1416**, **1418** und **1420** beinhalten durchstimbare Filter, zum Beispiel elektronisch durchstimbare Fabry-Perot Filter (DMF Serie), die von Queensgate (UK) hergestellt werden, die nützlich sind für die Kanalauswahl in 100 GHz getrennten WDM Systemen. Die wellenlängenkonvertierenden Einheiten **1430**, **1432** und **1436** können Wellenlängenkonverter WCM enthalten, die durch den Anmelder hergestellt werden, d.h. optoelektrische Vorrichtungen, die eine optische-zu-elektrische Konversion durchführen und dann eine elektronische-zu-optische Umwandlung bei einer unterschiedlichen Ausgangswellenlänge.

[0142] Der Betrieb des OXC **1400** wird durch folgende Beschreibung klar. Zwei optische Signale $\lambda_1\alpha$ und $\lambda_2\alpha$, die entsprechende Wellenlängen λ_1 und λ_2 aufweisen, treten in die Eingangsfasern α ein, und zwei optische Signale $\lambda_1\beta$ und $\lambda_2\beta$, die jeweils die Wellenlängen λ_1 und λ_2 aufweisen, werden von der Eingangsfasern β eingefügt. In diesem speziellen Beispiel weisen die optischen Signale $\lambda_1\alpha$ und $\lambda_1\beta$ dieselbe Wellenlänge λ_1 auf, und die optischen Signale $\lambda_2\alpha$ und $\lambda_2\beta$ weisen dieselbe Wellenlänge λ_2 auf. Die optischen Signale $\lambda_1\alpha$ und $\lambda_2\alpha$ und die optischen Signale $\lambda_1\beta$ und $\lambda_2\beta$ werden in ihrer Intensität aufgeteilt durch die Mittel der Teiler **1408** und **1410** und werden zu den durchstimbaren Filtern gesendet, die in den Filtereinheiten **1414**, **1416**, **1418** und **1420** beinhaltet sind.

[0143] Die durchstimbaren Filter der Filtereinheit **1414**, die mit den Teilern **1408** und **1410** verbunden sind, wählen die optischen Signale $\lambda_1\alpha$ und $\lambda_2\beta$ aus. Die optischen Signale $\lambda_1\alpha$ und $\lambda_2\beta$ werden dann zum 4×4 elektrooptischen Schalter **1422** gesendet. Da der 4×4 elektrooptische Schalter **1422** im Balkenzustand ist, werden die Signale $\lambda_1\alpha$ und $\lambda_2\beta$ zu den entsprechenden Ausgangsfasern geleitet und zur wellenlängenkonvertierenden Einheit **1430** gesendet, wie in [Fig. 14](#) gezeigt. Diese Signale $\lambda_1\alpha$ und $\lambda_2\beta$, die die Wellenlängen λ_1 und λ_2 aufweisen, werden durch die Wellenlängenkonvertereinheit **1430** in Signale $\lambda_3\alpha$ und $\lambda_3\beta$ konvertiert, die die Wellenlänge λ_3 aufweisen. Das optische Signal $\lambda_3\alpha$, das dem Eingangssignal $\lambda_1\alpha$ entspricht, wird über den Zusammenfühler **1409** zur Ausgangsfasern A gesendet, während das optische Signal $\lambda_3\beta$, das dem Eingangssignal $\lambda_2\beta$ entspricht, über den Kombinierer **147** zur Ausgangsfasern B gesendet wird.

[0144] Im Gegensatz dazu wählen die durchstimbaren Filter der Filtereinheit **1416**, die mit den Teilern **1408** und **1410** verbunden sind, die optischen Signale $\lambda_2\alpha$ und $\lambda_1\beta$ aus. Die optischen Signale $\lambda_2\alpha$ und $\lambda_1\beta$ werden zum 4×4 elektrooptischen Schalter **1423** gesendet, der sich im Kreuzzustand befindet. Somit unterlaufen die Signale $\lambda_2\alpha$ und $\lambda_1\beta$ eine Kreuzleitung und werden zur wellenlängenkonvertierenden Einheit **1432** gesendet,

wie in [Fig. 14](#) gezeigt. Die Signale $\lambda_2\alpha$ und $\lambda_1\beta$, die die Wellenlängen λ_2 und λ_1 aufweisen, werden durch die wellenlängenkonvertierende Einheit **1432** in die Signale $\lambda_4\alpha$ und $\lambda_4\beta$ konvertiert, die die Wellenlänge λ_4 aufweisen. Das optische Signal $\lambda_4\alpha$, das dem Eingangssignal $\lambda_2\alpha$ entspricht, wird über den Kombinierer **1411** zur Ausgangsfaser B gesendet und das optische Signal $\lambda_4\beta$ das dem Eingangssignal $\lambda_1\beta$ entspricht, wird über den Kombinierer **1409** zur Ausgangsfaser A gesendet.

[0145] Die Wellenlängenkonvertierungseinheiten **1430**, **1432**, **1434** und **1436** wurden eingesetzt zum Bewältigen potentieller Probleme aufgrund von Signalkanälen, die in den OXC **1400** eintreten bei denselben Wellenlängen durch unterschiedliche Eingänge, die zum selben Ausgang zu senden sind. Als ein Beispiel wurden die Signale $\lambda_3\alpha$ und $\lambda_4\beta$, die den Signalen $\lambda_1\alpha$ und $\lambda_1\beta$ entsprechen, die von unterschiedlichen Eingangsfasern kommen, aber dieselben Wellenlängen λ_1 aufweisen, zur Ausgangsfaser A geleitet. Probleme werden vermieden durch Verändern der Wellenlänge der Ausgangskanäle, und jede Permutation ist erlaubt.

[0146] Für den Fachmann ist ersichtlich, dass verschiedene Modifikationen und Variationen am System und am Verfahren der vorliegenden Erfindung durchgeführt werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Die vorliegende Erfindung deckt die Modifikationen und Variationen dieser Erfindung ab, deren Bereich durch die angefügten Ansprüche und deren Äquivalente bestimmt ist.

Patentansprüche

1. Ein elektrisch gesteuerte optische Schaltvorrichtung, umfassend:
 - eine Quelle zum Erzeugen eines optischen Strahls mit einer Wellenlänge im Bereich von 1000 bis 1650 nm;
 - eine Schaltsteuereinheit zum Bereitstellen einer Schaltspannung, die unter einem Satz von vorbestimmten Spannungen, die zu entsprechenden Schaltkonfigurationen gehören, ausgewählt wird;
 - ein $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristall, der ein Eingangsende zum Empfangen des optischen Strahls und ein Ausgangsende aufweist, wobei x zwischen 0,7 und 0,99 ist, wobei der Kristall ein durch ein elektrisches Feld induzierte Doppelbrechung aufweist, so dass der Schalter eine der Schaltkonfigurationen bei Anwendung einer entsprechenden Spannung in dem Satz annimmt; und
 - Eingangs- und Ausgangs-Umlenkvorrichtungen, die nahe liegend zu den Eingangs- und Ausgangsenden des Kristalls zum Umlenken des optischen Strahls positioniert sind.
2. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 1, wobei der Kristall die Ebene der Polarisation des optischen Strahls um 90° dreht, wenn die Schaltspannung identisch mit der Halbwellenspannung V_π ist.
3. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 1, wobei der Kristall eine Länge in dem Bereich von 10 bis 15 mm aufweist.
4. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 1, wobei der Kristall eine Dicke zwischen etwa 200 μm und 2 mm aufweist.
5. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 1, wobei der Schalter in der Lage ist, mit einer Schaltfrequenz zu arbeiten, die niedriger als 100 Hz ist.
6. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 1, wobei der Kristall im wesentlichen parallelepiped geformt ist und in einer AM-Schnitt Konfiguration angeordnet ist.
7. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 1, ferner umfassend erste und zweite optische Eingangsfasern, die optisch mit der Eingangsumlenkvorrichtung gekoppelt sind, und erste und zweite optische Ausgangsfasern, die optisch mit der Ausgangsumlenkvorrichtung gekoppelt sind.
8. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 7, wobei die Eingangsumlenkvorrichtung einen Eingangs- polarisierenden-Strahlteiler (PBS) und einen Eingangsreflektor umfasst, wobei der Eingangsreflektor orientiert ist, um einen optischen Strahl aus der ersten optischen Eingangsfasern zu dem PBS zu reflektieren, und wobei der PBS orientiert ist, um einen optischen Strahl von dem Eingangsreflektor oder von der zweiten optischen Fasern zu einem optischen Pfad entlang des Kristalls umzulenken.
9. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 8, wobei die Ausgangsumlenkvorrichtung einen Ausgangs-PBS und einen Ausgangsreflektor umfasst, wobei der Ausgangs-PBS orientiert ist, um einen optischen Strahl von dem optischen Pfad entlang des Kristalls zu der zweiten Ausgangsfasern oder zu dem Aus-

gangsreflektor umzulenken, wobei der Ausgangsreflektor orientiert ist, um einen optischen Strahl von dem Ausgangs-PBS zu der ersten Ausgangsfaser umzulenken.

10. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 7, wobei die Eingangsumlenkvorrichtung einen Eingangs-PBS und ersten und zweiten Eingangsreflektor umfasst, wobei der Eingangs-PBS orientiert ist, um einen optischen Strahl, der von der ersten optischen Faser oder dem zweiten Eingangsreflektor kommt, in einen ersten Strahl, der zum ersten Eingangsreflektor und einen zweiten Strahl, der zu einem ersten optischen Pfad entlang des Kristalls umgelenkt wurde, zu trennen.

11. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 10, wobei der erste Eingangsreflektor orientiert ist, um einen optischen Strahl von dem Eingangs-PBS zu einem optischen Pfad entlang des Kristalls zu reflektieren, wobei der erste optische Pfad im wesentlichen parallel zu dem zweiten optischen Pfad ist.

12. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 12, wobei der zweite Eingangsreflektor orientiert ist, um einen optischen Strahl von der zweiten Eingangsfaser zu dem Eingangs-PBS zu reflektieren.

13. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 12, wobei die Ausgangsumlenkvorrichtung einen Ausgangs-PBS und ersten und zweiten Ausgangsreflektor umfasst, wobei der Ausgangs-PBS orientiert ist, um einen optischen Strahl von dem zweiten optischen Pfad zu der zweiten optischen Faser oder zu dem ersten Ausgangsreflektor umzulenken, und wobei der Ausgangs-PBS orientiert ist, um einen optischen Strahl von dem zweiten Ausgangsreflektor zu dem ersten Ausgangsreflektor oder der zweiten Ausgangsfaser umzulenken.

14. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 13, wobei der erste Ausgangsreflektor orientiert ist, um einen optischen Strahl von dem Ausgangs-PBS zu der ersten Ausgangsfaser zu reflektieren.

15. Der elektrisch gesteuerte optische Schalter nach Anspruch 14, wobei der zweite Ausgangsreflektor orientiert ist, um einen optischen Strahl von der ersten optischen Pfad zu dem Ausgangs-PBS zu reflektieren.

16. Ein optisches Kommunikationssystem, umfassend:
 erste und zweite Eingangsübertragungsstationen, die optische Quellen zum Erzeugen von optischen Signalen mit einer Wellenlänge in einem Bereich von 1000 bis 1650 nm und Multiplexer zum Senden der erzeugten optischen Signale umfassen;
 einen elektrisch gesteuerten optischen Schalter, der mit der ersten und zweiten Übertragungsstation durch entsprechende erste und zweite optische Fasern verbunden ist; und
 erste und zweite Empfangsstationen, die mit dem optischen Schalter durch entsprechende erste und zweite optische Ausgangsfasern verbunden sind, wobei der Schalter umfasst:
 einen $Cd_xZn_{1-x}Te$ Kristall zum Empfangen eines optischen Strahls, wobei der Kristall durch ein elektrisches Feld induzierte Doppelbrechung aufweist, so dass der Schalter vom Strich-Zustand Betrieb zu Kreuz-Zustand Betrieb wechselt, wenn eine ausreichende Spannung an den Kristall angelegt wird, wobei x zwischen etwa 0,7 und 0,99 ist, und wobei der Kristall Eingangs- und Ausgangsenden aufweist; und
 Eingangs- und Ausgangs-Umlenkvorrichtungen, die nächst zu dem Eingangs- und Ausgangsenden des Kristalls zum Umlenken des optischen Strahls positioniert sind.

17. Das optische Kommunikationssystem nach Anspruch 16, ferner umfassend ersten und zweiten optischen Eingangsverstärker, die zwischen den entsprechenden ersten und zweiten Übertragungsstationen und dem Schalter positioniert sind, wobei der erste und zweite optische Eingangsverstärker mit dem Schalter und den entsprechenden Übertragungsstationen durch entsprechende erste und zweite optische Eingangsfasern verbunden sind.

18. Das optische Kommunikationssystem nach Anspruch 17, ferner umfassend ersten und zweiten optischen Ausgangsverstärker, die zwischen dem Schalter und den entsprechenden ersten und zweiten Übertragungsstationen positioniert sind, wobei der erste und zweite optische Ausgangsverstärker mit dem Schalter und den entsprechenden Übertragungsstationen durch entsprechende erste und zweite optische Ausgangsfasern verbunden sind.

19. Das optische Kommunikationssystem nach Anspruch 16, wobei der Schalter in der Lage ist, mit einer Schaltfrequenz zu arbeiten, die niedriger als 100 Hz ist.

20. Verfahren zum Schalten eines optischen Signals, das eine Wellenlänge in dem Bereich von 1000 bis

1650 nm aufweist, umfassend:

Eingeben des optischen Signals in einen $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ Kristall, wobei x zwischen 0,7 und 0,99 ist,
Anlegen einer Steuerungsspannung an den Kristall, die aus einem Satz von vorbestimmten Spannungen ausgewählt wird.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

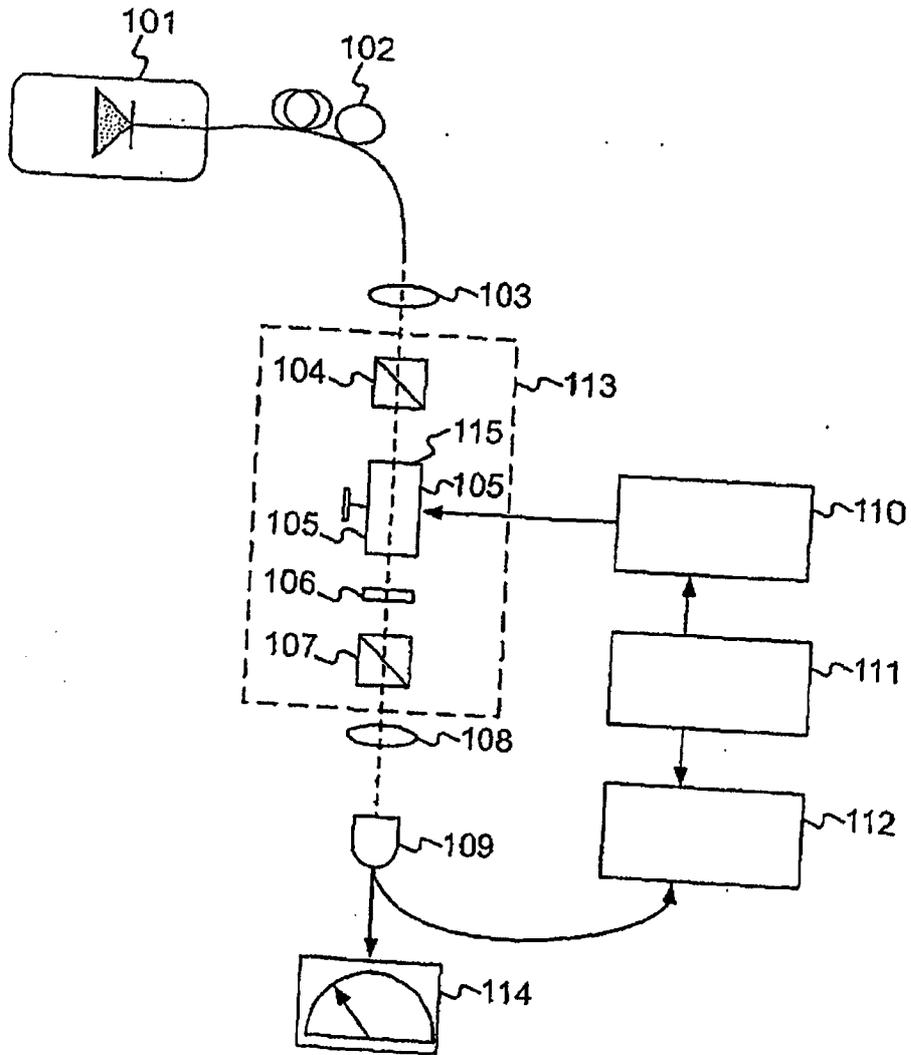
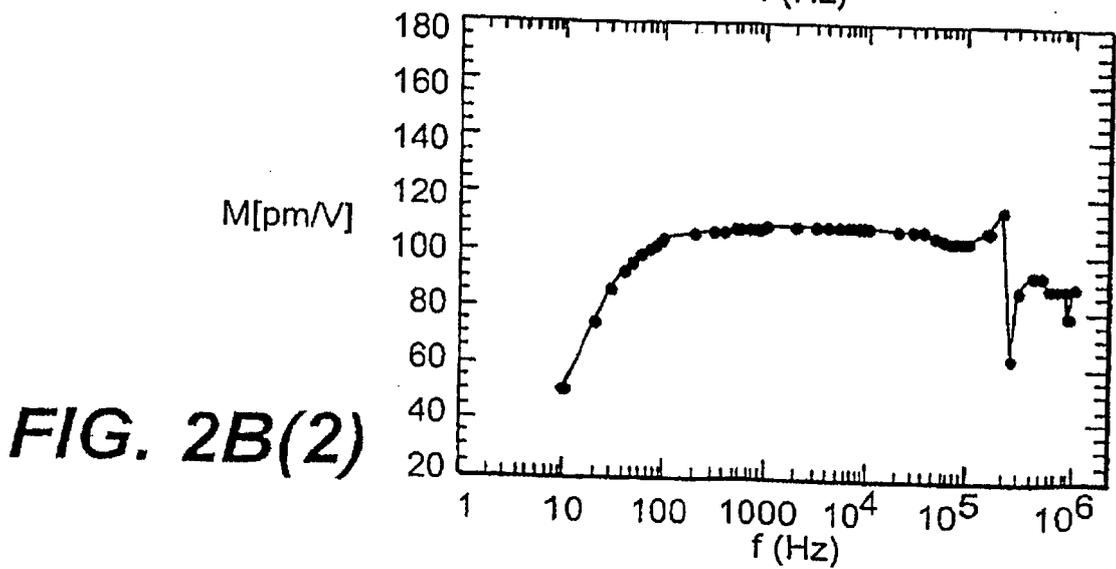
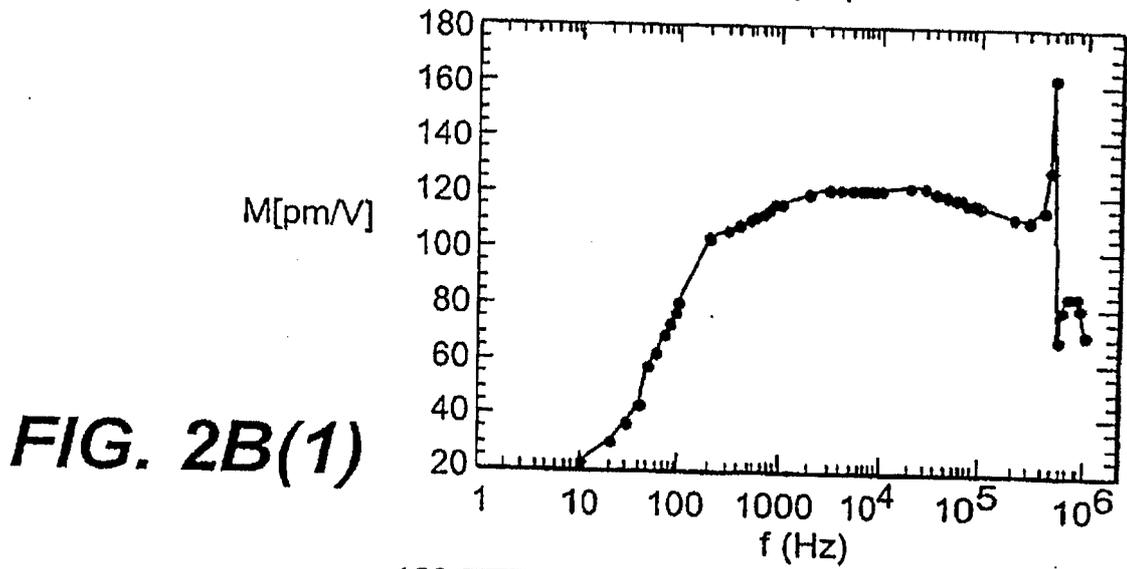
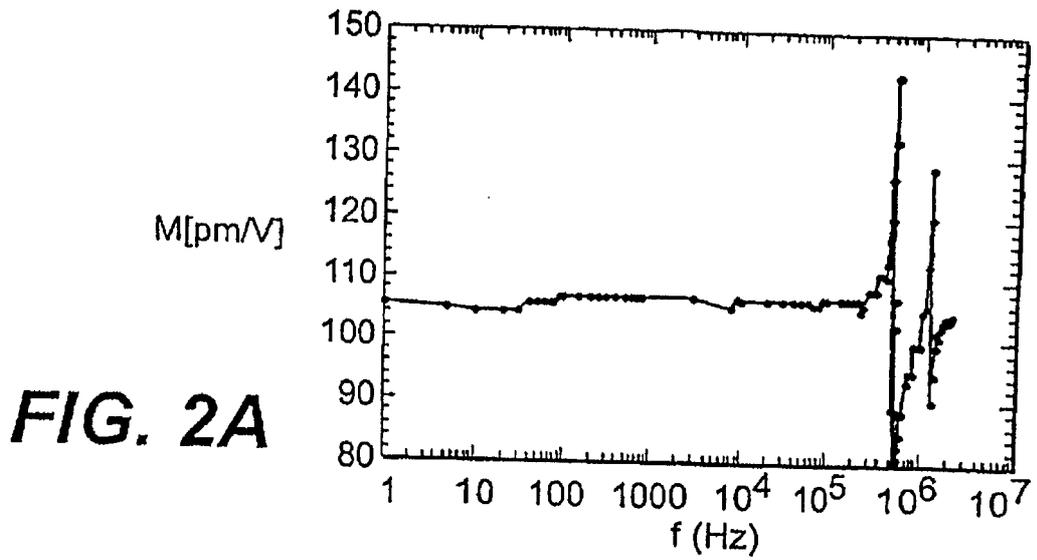


FIG. 1



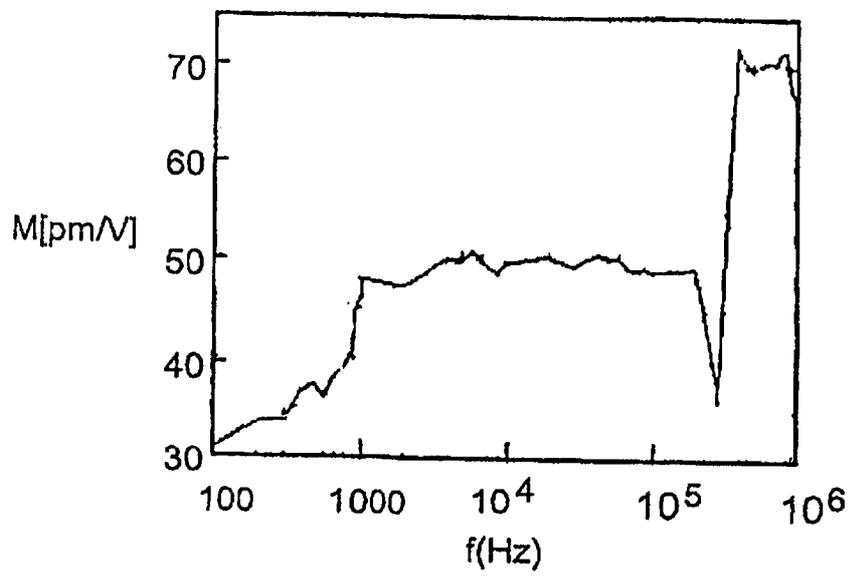


FIG. 2C

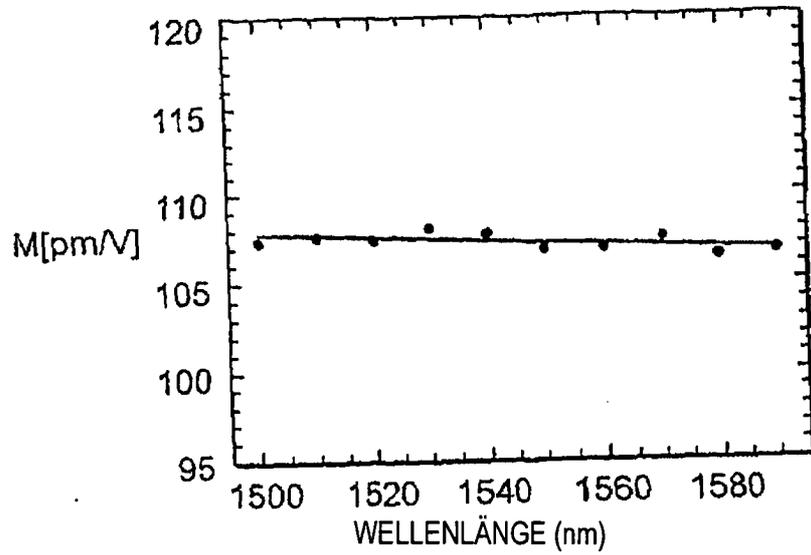


FIG. 3

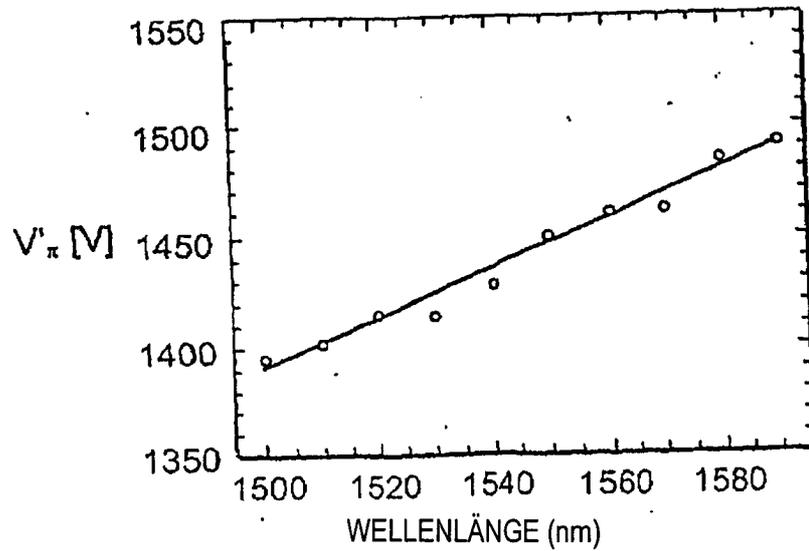


FIG. 4

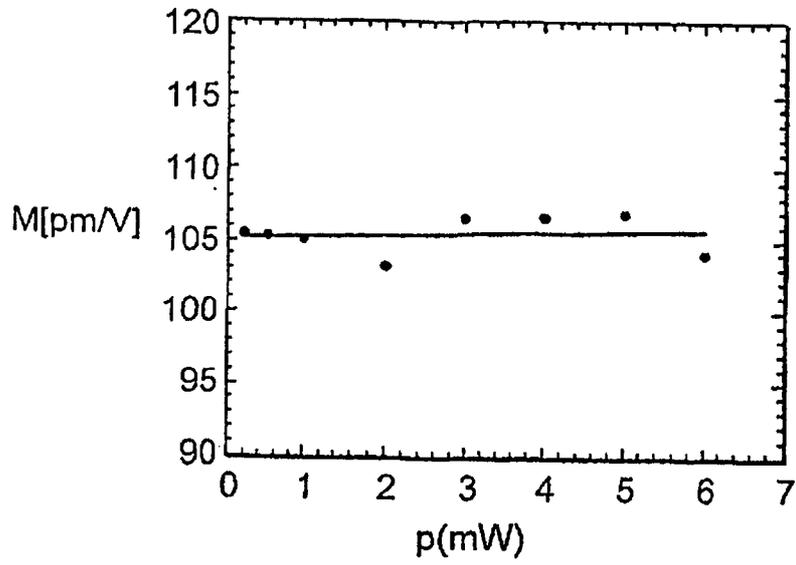


FIG. 5A

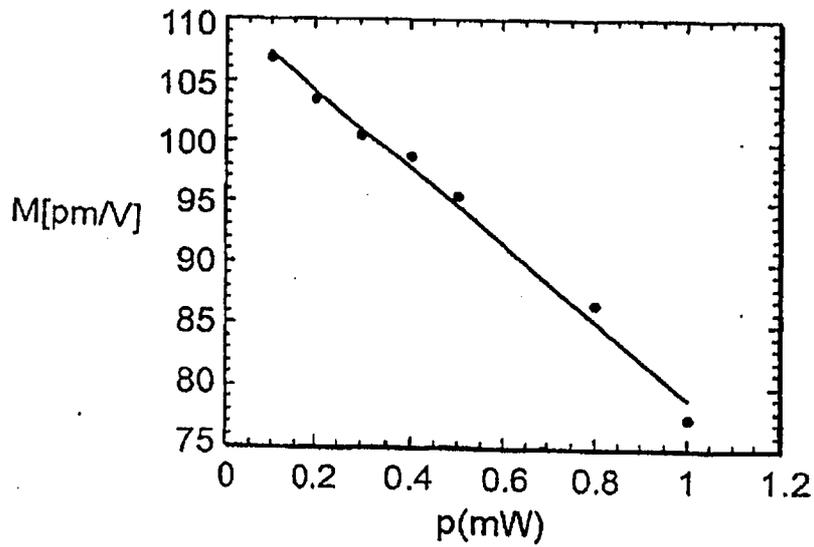


FIG. 5B

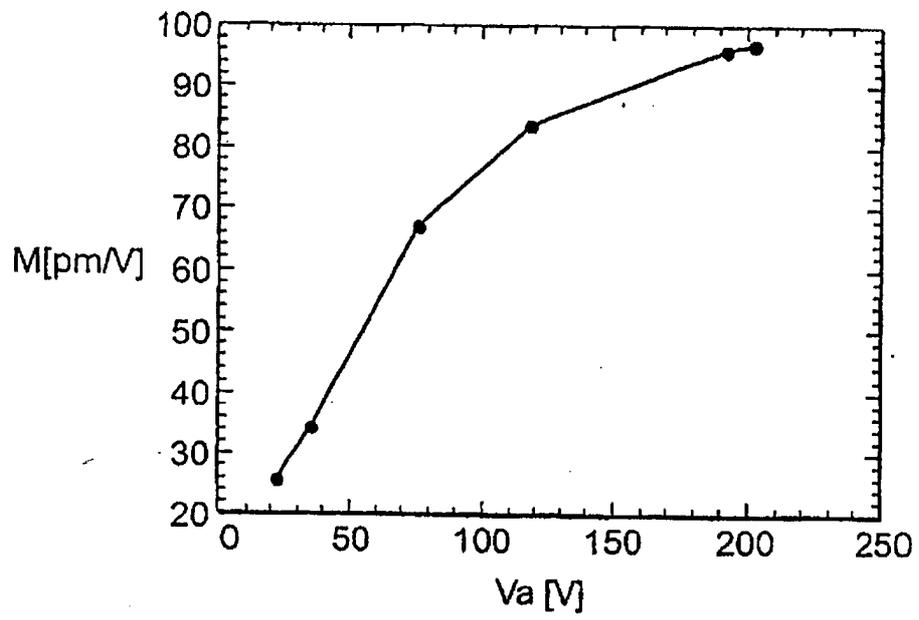


FIG. 6

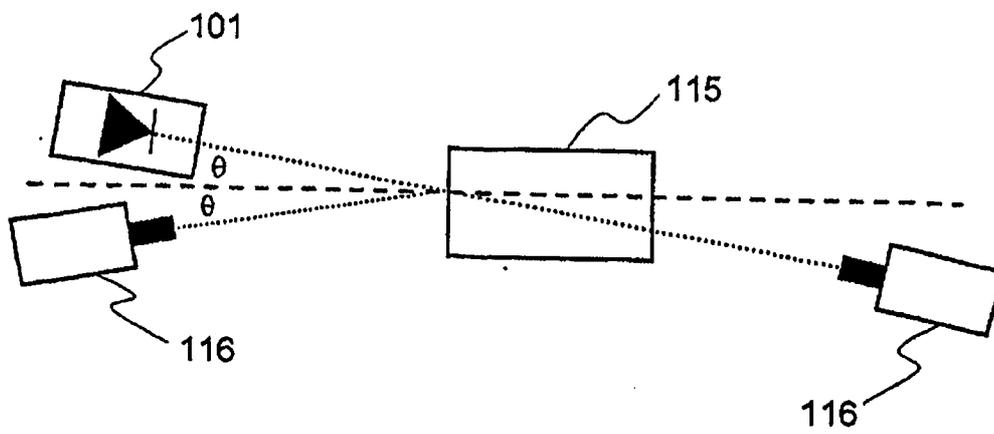


FIG. 7

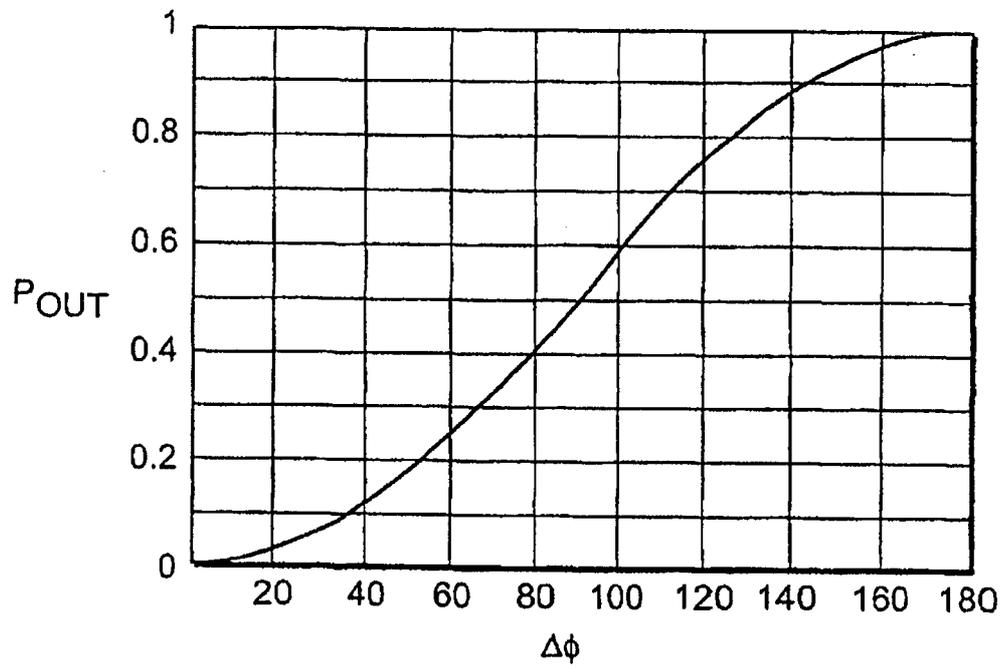


FIG. 8

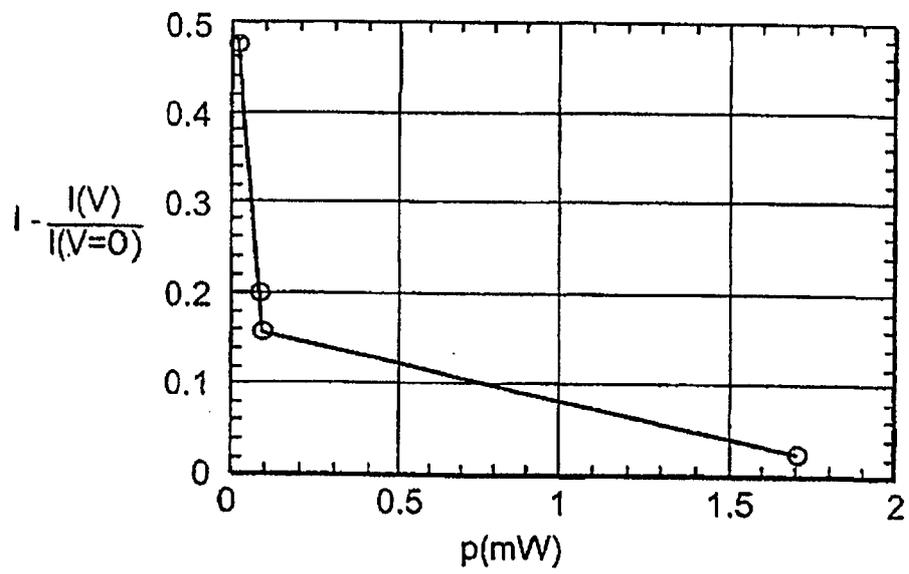


FIG. 9

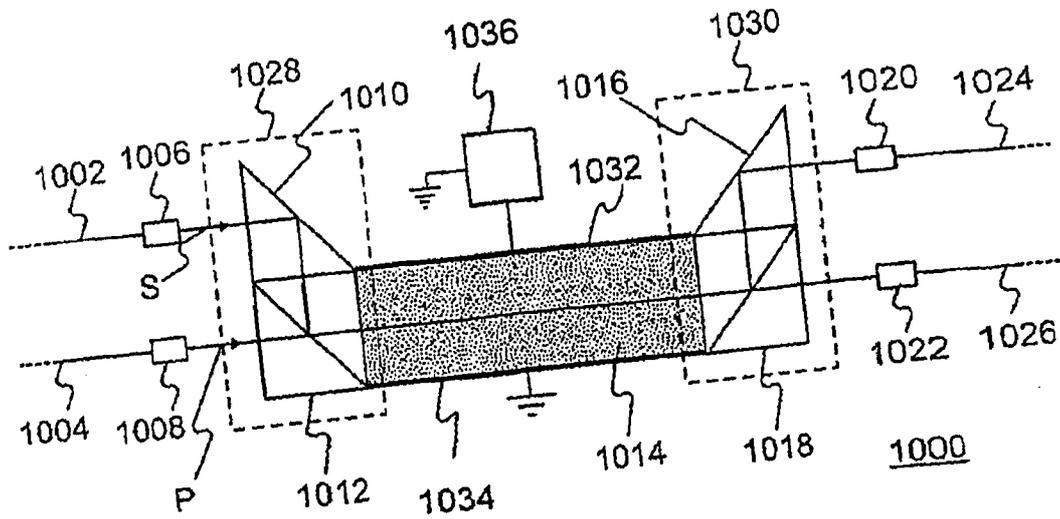


FIG. 10

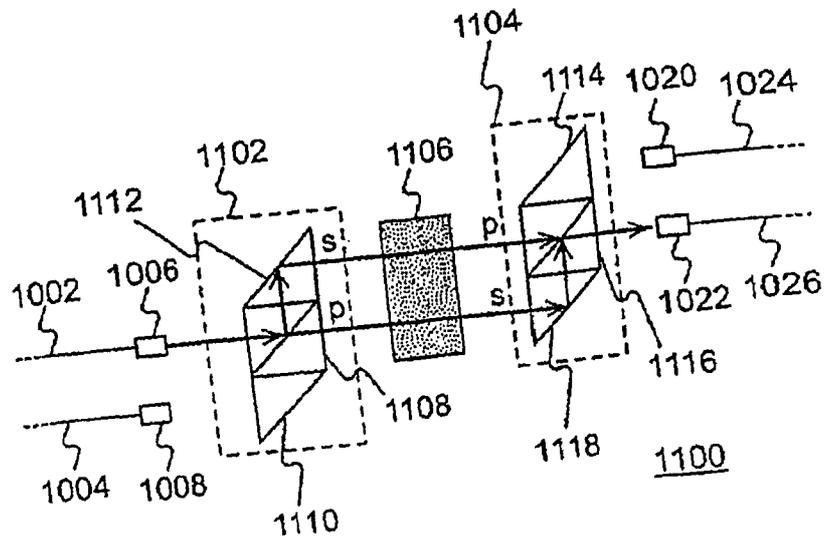


FIG. 11

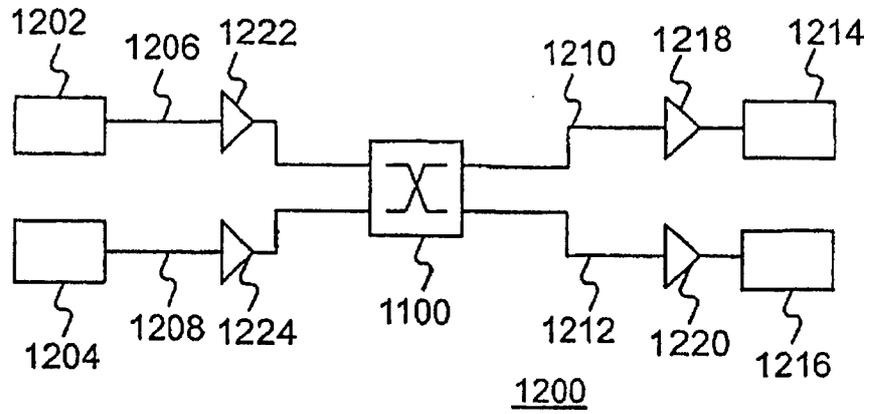


FIG. 12

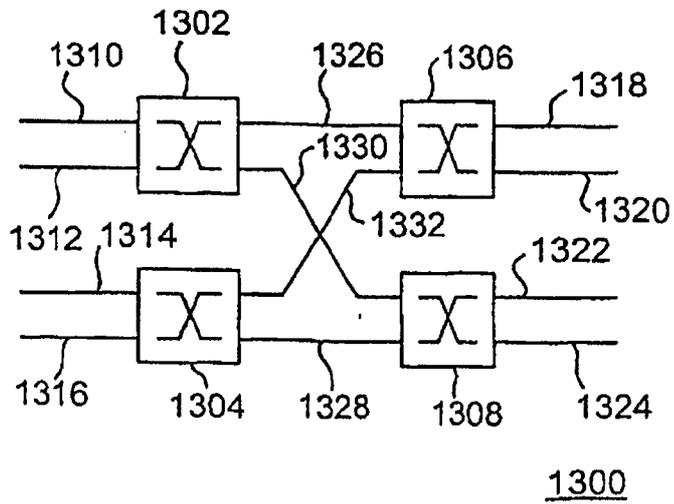


FIG. 13

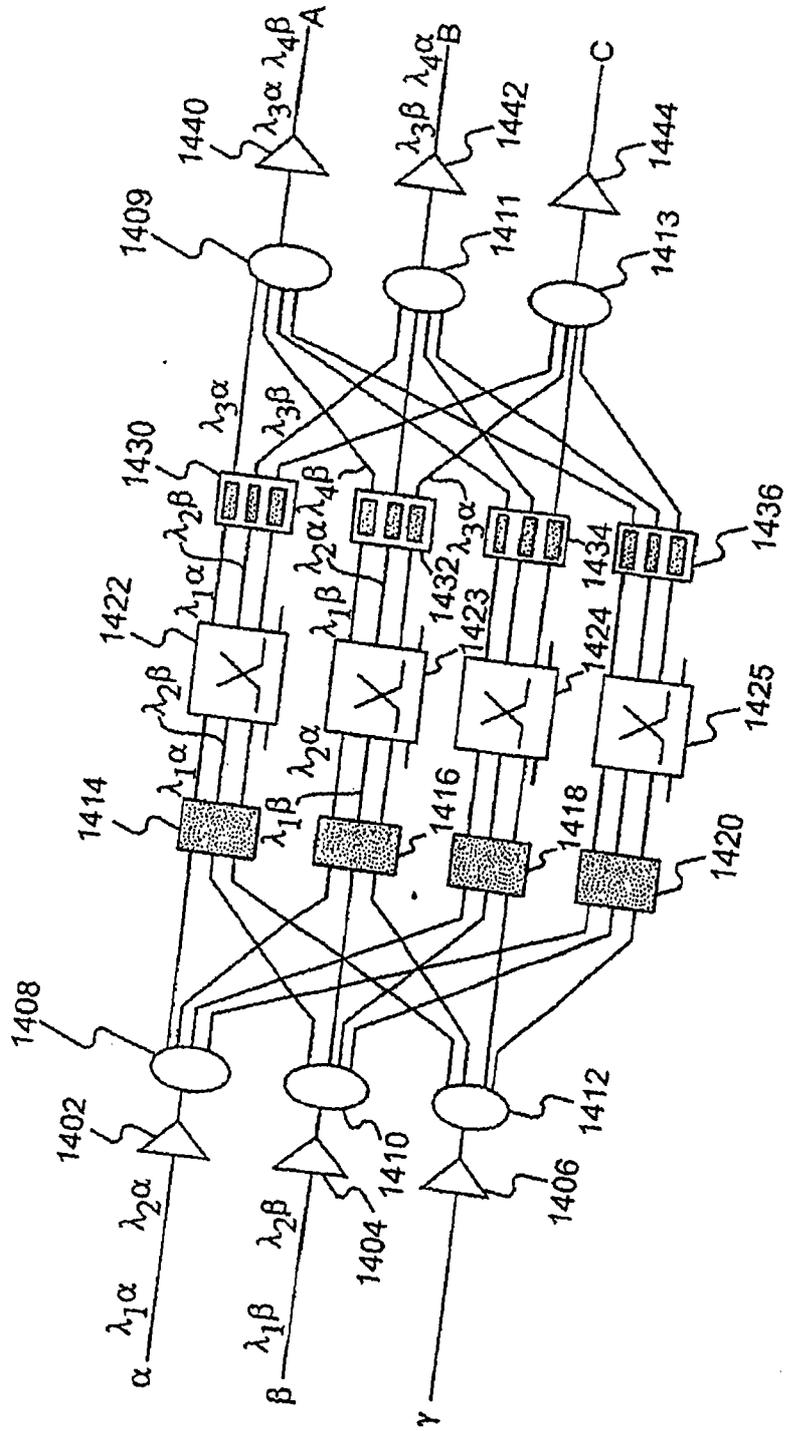


FIG. 14