



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 18 883 T2 2006.04.13**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 102 096 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 18 883.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 309 821.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **06.11.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **23.05.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **23.03.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **13.04.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 6/35 (2006.01)**

G02B 26/02 (2006.01)

G02B 6/26 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

166149 P 17.11.1999 US

512174 24.02.2000 US

(73) Patentinhaber:

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

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Aksyuk, Vladimir Anatolyevich, Piscataway, New

Jersey 08854, US; Bishop, David John, Summit,

New Jersey 07901, US; Giles, Randy Clinton,

Whippany, New Jersey 07981, US

(54) Bezeichnung: **Optisches Querverbindungssystem mit mikro-elektromechanischer Kippspiegelanordnung**

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

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

1. Erfindungsgebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft faseroptische Kommunikationssysteme und insbesondere optische Crossconnectkonfigurationen unter Verwendung von MEMS-(micro electromechanical systems – mikro-elektromechanische Systeme)-Kippspiegelarrays.

2. Beschreibung des verwandten Stands der Technik

[0002] Bei faseroptischen Kommunikationssystemen ist die Signalleitweglenkung unabdenkbar, um ein optisches Signal, das Daten führt, zu einer beabsichtigten Stelle zu lenken. Existierende Leitweglenkungstechniken erfahren in der Regel einen Verlust an optischer Leistung aufgrund einer ineffizienten Kopplung von optischen Signalen zwischen Eingangs- und Ausgangsfasern. Dadurch nimmt die Abhängigkeit von Quellen für optische Leistung (z.B. Pump Laser) zu, die dazu verwendet werden, Leistungsverluste zu kompensieren, indem optische Leistung zurück in das optische System eingekoppelt wird. Durch die Notwendigkeit für Quellen für optische Leistung steigen die Gesamtkosten des optischen Systems.

[0003] Ein weiteres Kriterium für die Signalleitweglenkung ist die Fähigkeit, ein von einem von mehreren Eingangsfasern oder Ports erhaltenes Signal ungeachtet der Frequenz des optischen Signals zu einem beliebigen von mehreren Ausgangsfasern oder Ports zu lenken. Bekannte optische Signalrouter sind frequenzabhängig, so daß die Frequenz die Leitweglenkung von mehreren Signalen, wobei jedes Signal eine diskrete Wellenlänge aufweist, zu Ausgangs-ports auf der Basis der Signalfrequenz diktiert. Beispielsweise und wie aus dem eigenen US-Patent Nr. 6,634,810 B bekannt, werden mehrere Wellenlängen, die frequenzmäßig benachbart sind, zu Ausgangsfasern, die raummäßig benachbart sind, gelenkt, im Gegensatz zu zufällig ausgewählten Ausgangsfasern. Dementsprechend wird ein optisches Crossconnectsystem gewünscht mit flexibler Frequenzleitweglenkungsfähigkeit mit reduziertem Leistungsverlust.

[0004] In JP-A-5107485 wird ein optisches Verbindungsmodul beschrieben, bei dem optische Signale zwischen einem ersten und zweiten Array von drehbaren Spiegeln reflektiert werden.

[0005] Außerdem beschreibt US-A-5,037,173 ein optisches Verbindungsnetz, das einen reflektierenden Raumlichtmodulator zusammen mit Abbildungslinsen verwendet, die die optischen Faserenden auf

den Raumlichtmodulator abbilden und das reflektierte Licht wieder auf faseroptische Enden abbilden.

KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0006] Verbesserungen zu bekannten optischen Crossconnects werden realisiert durch die Bereitstellung eines optischen Crossconnects unter Verwendung eines Arrays von MEMS-Kippspiegeln zum Lenken von optischen Signalen von optischen Eingangsfasern zu optischen Ausgangsfasern gemäß dem optischen Crossconnectbauelement nach Anspruch 1. Das optische Crossconnectbauelement enthält ein Linsenarray zum Empfangen von optischen Signalen von mehreren Eingangsfasern. Das Linsenarray besteht aus mehreren Linsenelementen, wobei jedes Linsenelement ein optisches Signal auf ein MEMS-Spiegelarray lenkt oder fokussiert. Das MEMS-Spiegelarray enthält mehrere Spiegelemente, die jeweils bei Anlegung von Steuersignalen an die gewünschten Spiegelemente um eine oder mehrere Drehachsen gekippt werden können. Auf diese Weise können optische Signale entlang verschiedener Wege und zu verschiedenen Ausgangsfasern gelenkt werden. Eingangs- und Ausgangslinsenarrays werden in Verbindung mit Eingangs- und Ausgangs-MEMS-Spiegelarrays verwendet, wobei die Eingangslinsen optische Eingangssignale zu dem Eingangs-MEMS-Array lenken, das wiederum jedes Signal in einer Richtung relativ zur Kipporientierung jedes Spiegels reflektiert. Die reflektierten Signale werden empfangen und durch das Ausgangs-MEMS-Spiegelarray weiter zum Ausgangslinsenarray reflektiert, um an Ausgangsfasern gekoppelt zu werden. Die Eingangs- und Ausgangslinsenarrays sind auf einem gemeinsamen Substrat ausgebildet, wobei eine reflektierende Oberfläche dazwischen angeordnet ist. Bevorzugt sind die Eingangs- und Ausgangs-MEMS-Spiegelarrays auf einem zweiten gemeinsamen Substrat ausgebildet, das in gegenüberliegender Beziehung zu dem ersten Substrat angeordnet ist. Die reflektierende Oberfläche empfängt die reflektierten optischen Signale von dem Eingangs-MEMS-Array und lenkt sie zu dem Ausgangs-MEMS-Array.

[0007] Weitere Aufgaben und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der folgenden ausführlichen Beschreibung bei Betrachtung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen. Es versteht sich jedoch, daß die Zeichnungen lediglich zu Zwecken der Veranschaulichung und nicht als eine Definition der Grenzen der Erfindung entworfen wurden, wofür auf die beigefügten Ansprüche Bezug genommen werden sollte. Es ist weiter zu verstehen, daß die Zeichnungen nicht notwendigerweise maßstabsgetreu gezeichnet sind und daß sie, soweit nicht ausdrücklich anders festgestellt, lediglich dazu gedacht sind, die hier beschriebenen Strukturen und Vorgehensweisen konzeptuell zu veranschaulichen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0008] In den Zeichnungen, in denen in den mehreren Ansichten gleiche Bezugszahlen ähnliche Elemente bezeichnen, zeigen

[0009] [Fig. 1](#) eine planare Ansicht eines Beispiels für ein in Verbindung mit der vorliegenden Erfindung verwendetes MEMS-Spiegelarray;

[0010] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung eines optischen Crossconnects gemäß einem Vergleichsbeispiel;

[0011] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des optischen Crossconnects gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0012] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung eines weiteren Vergleichsbeispiels und

[0013] [Fig. 5](#) eine schematische Darstellung eines "gefalteten" optischen Crossconnects gemäß noch einem weiteren Vergleichsbeispiel.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER GEGENWÄRTIG BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0014] Arrays aus zweiachsigen Kippspiegeln, die unter Verwendung von MEMS-Technologie (mikro-elektromechanische Systeme) implementiert sind, gestatten, große optische Crossconnects zum Einsatz in optischen Systemen zu konstruieren. Optische Crossconnects werden dafür eingesetzt, eine Reihe von optischen Eingangswegen an eine Reihe von optischen Ausgangswegen anzuschließen. Typische Anforderungen an optische Crossconnects lauten, daß jeder Eingang mit jedem Ausgang verbunden werden können muß. Ein Beispiel für ein MEMS-Spiegelarray **10** ist in [Fig. 1](#) dargestellt. Das Spiegelarray **10** enthält mehrere Kippspiegel **12**, die an Betätigungsgliedern oder Federn **14** angebracht sind und von Elektroden gesteuert sind (nicht gezeigt). Jeder Spiegel **12** weist einen Durchmesser von etwa 100–500 Mikrometern auf, kann quadratisch, kreisförmig oder elliptisch sein und ist in der Lage, um X-Y-Achsen zu drehen oder zu kippen, wobei der Kippwinkel durch den an die Elektroden angelegten Spannungswert bestimmt wird. Weitere Einzelheiten über die Arbeitsweise des MEMS-Spiegelarrays **10** findet sich in dem US-Patent Nr. 6,300,619B. Das allgemeine Konzept, zwei oder mehr derartige Kippspiegelarrays **10** zu verwenden, um einen optischen Crossconnect auszubilden, ist aus dem US-Patent Nr. 6,288,821 bekannt.

[0015] Die Anmelder haben herausgefunden, daß unter Verwendung von einem oder mehreren MEMS-Kippspiegelarrays in Verbindung mit einem

Linsenarray zahlreiche optische Crossconnectkonfigurationen realisiert werden können, die eine kompakte Größe (z.B. minimalen Abstand zwischen Crossconnectkomponenten) und minimalen Verlust an optischer Leistung aufweisen. Ein derartiger optischer Crossconnect **100** gemäß einem Vergleichsbeispiel ist in [Fig. 2](#) dargestellt. Der Crossconnect **100** empfängt optische Eingangssignale **108** durch mehrere optische Fasern **112**, bevorzugt zu einem Array ausgebildet, wie in der Technik wohlbekannt ist. Zur leichteren Veranschaulichung ist das Faserarray **112** als ein eindimensionales Array mit vier Fasern **112a**, **112b**, **112c**, **112d** gezeigt. Es versteht sich jedenfalls, daß das Faserarray **112** sowie andere, hier erörterte Faserarrays bevorzugt zweidimensionale $N \times N$ -Arrays sind.

[0016] Das Faserarray **112** überträgt die optischen Signale **108** zu einem Array von Linsen **114**, die bevorzugt als Kollimierungslinsen fungieren. Das Linsenarray **114** ist relativ zu dem Faserarray **112** so positioniert, daß jede Linse mit einer entsprechenden Faser in Verbindung steht, um aus den optischen Signalen **108** Strahlenbündel **116** zu erzeugen. Somit wird der Strahl **116a** aus einem von den Fasern **112a** getragenen Signal erzeugt, Strahl **116d** wird aus einem von der Faser **112d** getragenen Signal erzeugt usw.

[0017] Ein erstes MEMS-Kippspiegelarray **118**, auch als ein Eingangsarray bezeichnet, ist in Ausrichtung auf das Linsenarray **114** positioniert, so daß jedes Spiegelement **12** ([Fig. 1](#)) einen Strahl **116** empfängt. Die Spiegelemente werden auf eine im US-Patent Nr. 6,300,619 B erörterte Weise gekippt, um die Strahlen **116** zu einem zweiten oder Ausgangs-MEMS-Spiegelarray **122** zu reflektieren, das in optischer Kommunikation mit dem MEMS-Array **118** positioniert ist. Je nach dem Kippwinkel für jedes Spiegelement in dem Eingangs-MEMS-Array **118** können die reflektierten Signale selektiv zu spezifischen Spiegelementen in dem Ausgangs-MEMS-Array **122** gelenkt werden. Um dieses Prinzip darzustellen, ist der Strahl **116a** so gezeigt, daß er die Reflexionsstrahlen **120a** und **120a'** erzeugt, und Strahl **116d** ist so gezeigt, daß er die Reflexionsstrahlen **120d** und **120d'** erzeugt. Diese Strahlen werden von Spiegelementen in dem Ausgangs-MEMS-Array **122** empfangen und als Strahlen **124** zu einem Ausgangslinsenarray **126** gelenkt. Ein Ausgangsfaserarray **128** ist auf das Linsenarray **126** ausgerichtet, um optische Signale **129** zu empfangen und auszugeben. Somit koppelt das Linsenarray **126** Strahlen **124** in das Ausgangsfaserarray **128**.

[0018] Das Crossconnectbauelement **100** enthält eine 1-zu-1-Abbildung jeder Ausgangsfaser zu einem Spiegel in dem Ausgangsspiegelarray. Dies ist bei Einmodenfasern wegen der kleinen numerischen Apertur erforderlich, die eine koaxiale Ausrichtung

der Eingangs- und Ausgangsstrahlen auf die Faserrachsen erforderlich macht, um einen geringen Leistungsverlust zu erreichen. Der Crossconnect von [Fig. 2](#) gestattet eine adäquate Beabstandung der Faser- und Spiegelarrays, um die erforderlichen Spiegelwinkelausschläge zu begrenzen.

[0019] Eine typische Abstandsabmessung, die zu reduzierten Beugungsverlusten führt, liegt zwischen 50–100 mm. Wenn die Spiegel-, Linsen- und Faserarrays koplanar sind, d.h. das Eingangsfaserarray **112**, die Eingangslinse **114** und das Ausgangsspiegelarray **122** zueinander koplanar sind und das Ausgangsfaserarray **128**, das Ausgangslinsenarray **126** und das Eingangsspiegelarray **118** zueinander koplanar sind, können somit zwei ähnliche monolithische Blöcke ausgebildet werden. Eine Montage des Crossconnects erfordert dann nur eine Sechs-Achsen-Ausrichtung.

[0020] Eine Crossconnectkonfiguration **200** gemäß der Erfindung ist in [Fig. 3](#) dargestellt. Wie das Crossconnect **100** von [Fig. 2](#) enthält das Crossconnect **200** ein Array von Eingangslinsen **214** und ein Array von Ausgangslinsen **226**, die mit optischen Signalen durch ein Eingangsfaserarray **212** bzw. ein Ausgangsfaserarray **228** kommunizieren. Die Eingangs- und Ausgangs-MEMS-Spiegelarrays **218** und **222** sind von den Linsenarrays **214**, **226** beabstandet, um optische Signale zwischen dem Eingangsfaserarray und Ausgangsfaserarray zu lenken. Im Gegensatz zu dem Crossconnect **100** sind bei dem Bauelement von [Fig. 3](#) die MEMS-Spiegelarrays und die Linsenarrays auf gegenüberliegenden Seiten des Crossconnectgefüges positioniert, was eine leichte Konstruktion gestattet. Insbesondere können die Spiegelarrays monolithisch auf einem ersten gemeinsamen Substrat integriert werden und die Linsenarrays und Faserarrays können monolithisch auf einem zweiten gemeinsamen Substrat integriert werden. Um für eine Signalleitweglenkung zwischen den MEMS-Spiegelarrays zu sorgen, sind die Linsenarrays **214**, **226** auf einem gemeinsamen Substrat ausgebildet und voneinander so beabstandet, daß dazwischen ein reflektierendes Element **230** angeordnet werden kann. Das reflektierende Element **230** kann ein separater ebener Spiegel oder bevorzugt ein reflektierendes Beschichtungsmaterial (z.B. Gold) sein, das auf dem Linsensubstrat abgeschieden ist und so positioniert ist, daß optische Signale zwischen dem Spiegelarray **218** und dem Spiegelarray **222** kommunizieren. Nachdem die Linsenarrays an ihrer Stelle sind, erfordert das Crossconnect **200** eine Sechs-Achsen-Justierung der koplanaren Spiegelarrays.

[0021] Nunmehr unter Bezugnahme auf [Fig. 4](#) wird eine Abwandlung des Crossconnects von [Fig. 3](#) als Crossconnect **300** gezeigt. Ein Hauptunterschied gegenüber der Ausführungsform von [Fig. 3](#) ist das Entfernen des reflektierenden Elements **230**. Wie ge-

zeigt sind die Spiegelarrays **318** und **322** relativ zu den Linsenarrays **314** und **326** enthaltenden Substratebenen abgewinkelt, so daß die optischen Signale direkt zwischen den Spiegelarrays kommuniziert werden können. Bei diesem Vergleichsbeispiel kann der Maximalabstand zwischen jedem Faserarray (z.B. Array **312**) und seinem gegenüberliegenden Spiegelarray (z.B. Array **318**) klein sein. Dies ist eine wichtige Überlegung beim Design, insbesondere wenn die Richtgenauigkeit des Faserarrays schlecht ist. Die Spiegelelemente in den Spiegelarrays können nicht nur zum Justieren der Schalterconnects (z.B. eine Leitweglenkungsfunktion) verwendet werden, sondern auch um Fehler in dem Faserarray zu kompensieren.

[0022] [Fig. 5](#) zeigt einen weiteren Crossconnect **400**, der einen ebenen Spiegel **430** in einer versetzten Konfiguration relativ zu einem einzelnen MEMS-Spiegelarray **420** verwendet. Bei diesem weiteren Vergleichsbeispiel werden ein einzelnes Faserarray **410**, ein einzelnes Linsenarray **416** und ein einzelnes MEMS-Spiegelarray **420** in einer "gefalteten" Crossconnectanordnung verwendet. Das einzelne Faserarray fungiert als ein kombiniertes Eingangs-/Ausgangsarray. Ein Eingangssignal **412** wird von der Faser **414** an das Linsenarray **416** zur Abbildung auf ein Spiegelelement **420a** geliefert. Der Strahl wird dann zum ebenen Spiegel **430** und zurück zum Spiegelelement **420b** zur Ausgabe durch das Linsenarray **416** zur Ausgangsfaser **422** geliefert. Es sei angemerkt, daß in dieser Konfiguration kein Unterschied zwischen Eingangs- und Ausgangsports besteht. Somit kann bei einem 32×32 -Spiegelarray mit einem unbenutzten Port der Crossconnect als ein 1×1023 -Schalter, ein Array aus 341×2 -Schaltern oder ein optischer 512×512 -Crossconnect verwendet werden. Es bestehen natürlich andere Abwandlungen, sowie auch Mischungen von Crossconnectkomponenten (z.B. zwei 1×128 -Schalter, vierundsechzig 2×2 -Schalter und ein 256×256 -Schalter können mit einem 32×32 -Spiegelarray verwendet werden).

[0023] Wenngleich fundamental neue Merkmale der Erfindung in ihrer Anwendung auf bevorzugte Ausführungsformen davon gezeigt und beschrieben und hervorgehoben worden sind, versteht sich, daß der Fachmann zahlreiche Auslassungen und Substitutionen und Änderungen hinsichtlich Form und Details der dargestellten Bauelemente und ihrer Funktionsweise vornehmen kann.

Patentansprüche

1. Optische Crossconnecteinrichtung zum Lenken von von mehreren optischen Eingangsfasern (**212**) empfangenen optischen Signalen (**208**) in mehrere optische Ausgangsfasern (**228**), wobei das Bauelement folgendes enthält: ein Eingangsarray

von Linsen (214), die so positioniert sind, daß sie die optischen Signale von den mehreren optischen Eingangsfasern (212) empfangen, ein Ausgangsarray von Linsen (226), die so positioniert sind, daß sie optische Signale zu den mehreren optischen Ausgangsfasern (228) lenken, ein MEMS-Eingangsspiegelarray (218) und ein MEMS-Ausgangsspiegelarray (222), wobei jedes Array mehrere Spiegelemente (12) aufweist, wobei jedes Spiegelement eine Drehachse aufweist, um die jedes Spiegelement selektiv betätigbar gekippt werden kann, wobei das Bauelement **dadurch gekennzeichnet** ist, daß:

das Eingabe- und Ausgabearray von Linsen (214, 226) auf einem gemeinsamen Substrat ausgebildet sind und distal voneinander versetzt sind, um dazwischen einen Bereich zu definieren; und ein reflektierendes Element (230) in dem Bereich zwischen dem Eingangs- und Ausgangsarray von Linsen angeordnet ist, um optische Signale von dem Eingangsspiegelarray (218) zu empfangen und optische Signale zu dem Ausgangsspiegelarray (222) zu lenken, wobei das Eingangsspiegelarray (218) so positioniert ist, daß es von dem Eingangsarray von Linsen (214) gelenkte optische Signale empfängt und die gelenkten optischen Signale zu dem reflektierenden Element (230) reflektiert, das Ausgangsspiegelarray so in einer optischen Kommunikation mit dem Eingangsspiegelarray (218) angeordnet ist, daß es reflektierte optische Signale von dem reflektierenden Element (230) empfängt und die empfangenen, reflektierten optischen Signale zu den mehreren optischen Ausgangsfasern (228) lenkt.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei jedes Spiegelement eine erste Drehachse (x) und eine zweite Drehachse (y) umfaßt und wobei jedes Spiegelement relativ zu der ersten und zweiten Achse betätigbar gekippt werden kann.

3. Einrichtung nach den Ansprüchen 1 oder 2, wobei das Eingangsarray von Linsen koplanar mit dem Ausgangsarray von Linsen ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

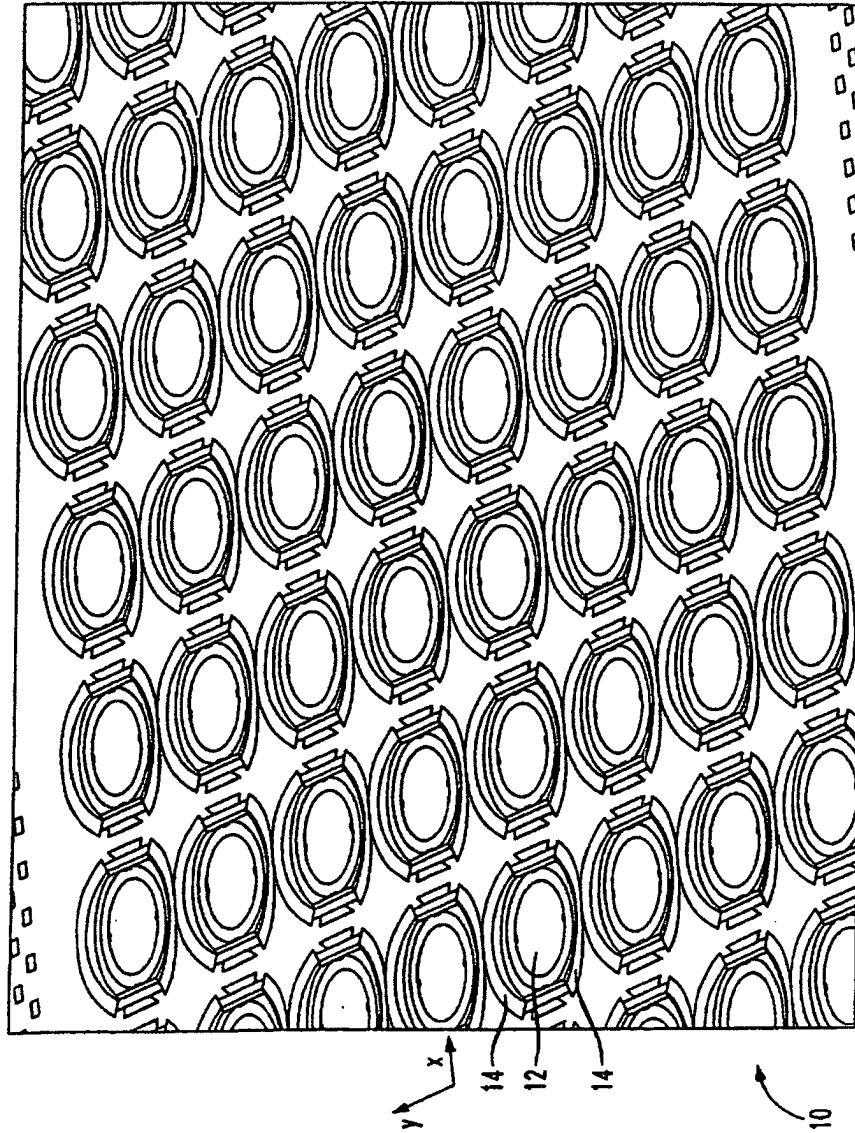


FIG. 2

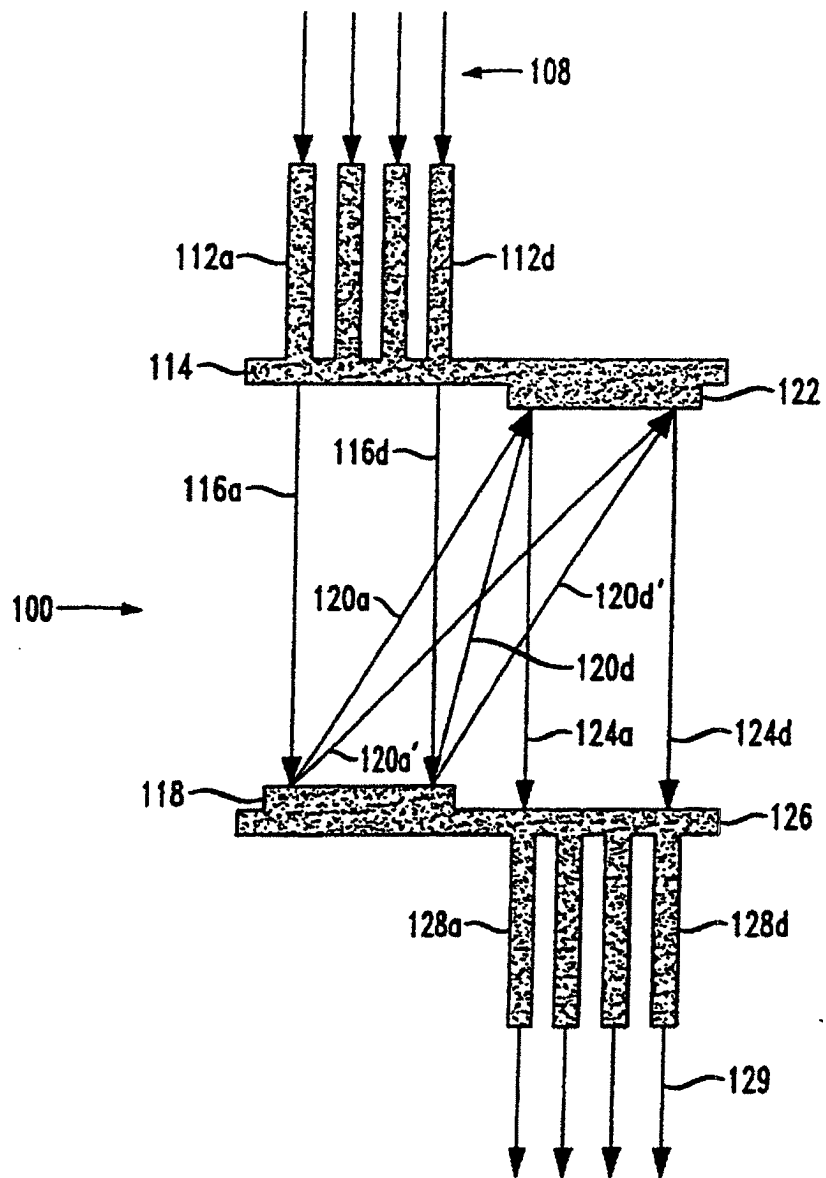


FIG. 3

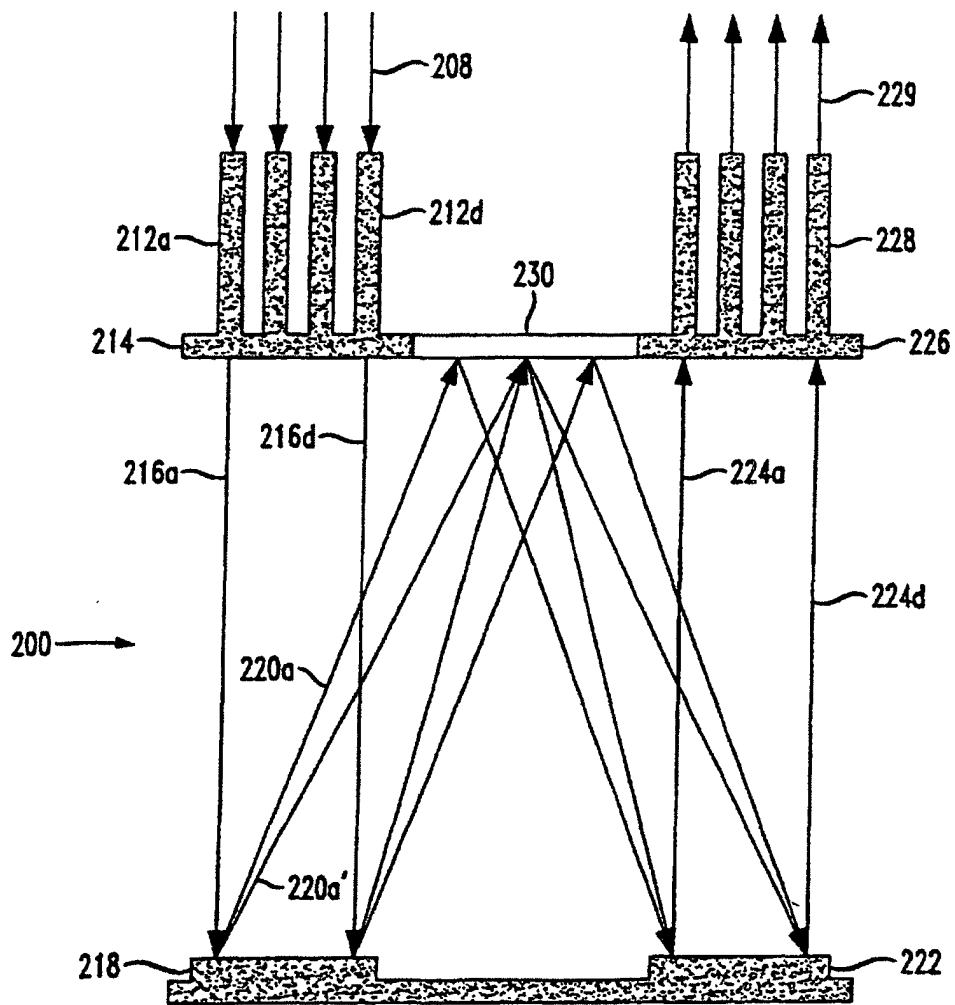


FIG. 4

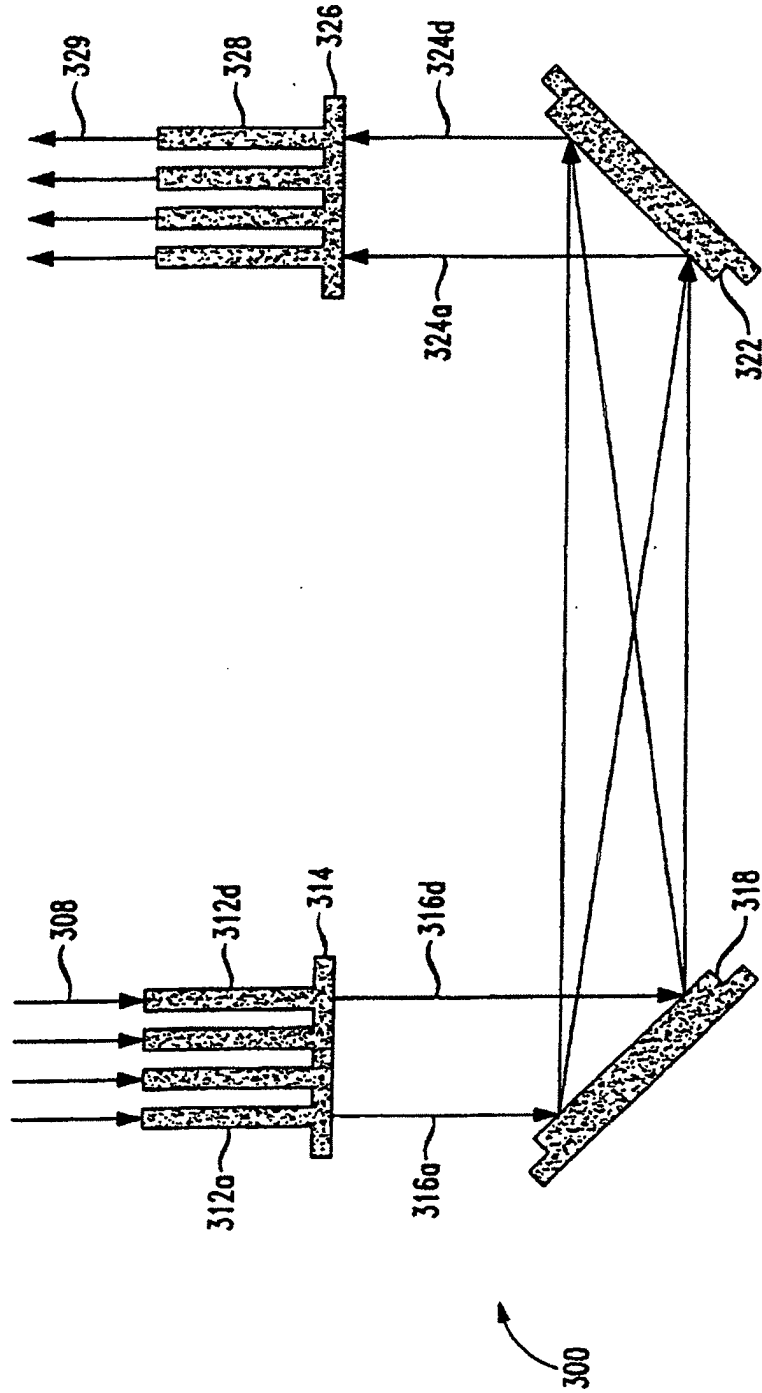


FIG. 5

