



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 37 228 T2** 2007.11.15

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 847 151 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 37 228.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 120 019.1**

(96) Europäischer Anmeldetag: **14.11.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **10.06.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **10.01.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.11.2007**

(51) Int Cl.⁸: **H04B 10/158** (2006.01)

H04B 10/12 (2006.01)

G02B 6/34 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

759901 04.12.1996 US

(73) Patentinhaber:

Northrop Grumman Corp., Los Angeles, Calif., US

(74) Vertreter:

**WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und
Rechtsanwälte, 81541 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

CH, DE, FR, GB, LI

(72) Erfinder:

**Wickham, Michael G., Rancho Palos Verdes,
California 90275, US; Brock, John C., Redondo
Beach, California 90278, US; Wisseman, Philip H.,
Hermosa Beach, California 90254, US; Lembo,
Lawrence J., Torrance, California 90503, US**

(54) Bezeichnung: **Rein optischer RF Signalkanalformer**

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

1. Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Kanalbildner bzw. einen Kanalisierer für Funkfrequenzsignale und insbesondere einen optischen Funkfrequenzkanalbildner, beispielsweise zur Verwendung bei der Funkfrequenz-Spektralanalyse, zum optischen Kanalbilden bzw. Kanalisieren von Funkfrequenzsignalen, die auf einen optischen Träger aufmoduliert sind durch optisches Trennen des Funkfrequenzspektrums.

2. Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Kommunikationssysteme, und insbesondere militärische Kommunikationssysteme, werden aufgrund von Nutzeranforderungen zunehmend in Richtung höherer Frequenzen und größerer Bandbreiten gedrängt. Beispielsweise verschwindet die verfügbare Kommunikationsbandbreite, da die Zahl an Nutzern und die Bandbreite pro Nutzer ansteigt, was Kommunikationsverbindungen zu immer höheren Frequenzen hin erzwingt. Zusätzlich verwenden moderne Raketensuchköpfe und bildgebende Radarsysteme Frequenzen so hoch wie 94 GHz, um eine Antennenrichtcharakteristik und eine höhere Auflösung für Kleinapertursysteme zu erreichen. Um eine relativ hohe Bandbreite und hohe Frequenzen aufnehmen zu können, sind Funkfrequenz-Kommunikationssysteme dafür bekannt, dass sie eine optische Trägerfrequenzübertragung des Funkfrequenzsignals verwenden. Beispiele für solche Systeme sind in den Patenten US 4,468,766; US 4,695,790; US 5,055,946; US 5,347,535; US 5,377,035 und in der gesetzlichen US-Erfindungsregistrierung ("U.S. Statutory Invention Registration") H1059 offenbart.

[0003] Optische Kanalbildner werden dazu verwendet, eine Spektralanalyse der neueren Hochfrequenzkommunikationssignale durchzuführen. Solche optischen Kanalisierer bzw. Kanalbildner sind dafür bekannt, dass sie vergleichsweise breitere Bandbreiten verarbeiten als vergleichbare Funkfrequenzkanalbildner für die Echtzeitidentifizierung komplexer Signale. Beispiele solcher optischen Kanalbildner sind in US 4,460,250 und 4,695,795 und der gesetzlichen US-Erfindungsregistrierung H1059 offenbart. Solche Kanalbildner werden dazu verwendet, ein relativ breitbandiges Signal in verschiedene Unterbänder oder Kanäle zu kanalisieren oder aufzuteilen. Solche optischen Kanalbildner sind dafür bekannt, dass sie relativ breitere Bandbreiten verarbeiten als bekannte Funkfrequenz-Kanalisierer. Jedoch verwenden viele der optischen Kanalbildner eine akusto-optische Technologie und sind daher auf Funkfrequenz-Bandbreiten von wenigen GHz beschränkt. Beispiele von optischen Kommunikationssystemen, welche die akusto-optische Technologie verwenden, sind in US 4,448,494; US 4,644,267; US 5,005,946; US 5,105,380, US 5,327,142 und US 5,363,221 offenbart.

[0004] US 5,552,920 betrifft ein optisch basiertes Kommunikationssystem, das auf einer erhöhten Plattform gehostet wird, welches mehrere räumlich getrennte Sende- und Empfangsstrahlen verwendet, die optisch kreuzgekoppelt sind, um das Spektrum vollständig wieder zu verwenden und welches ein vollständig interaktives Kommunikationssystem mit hoher Bandbreite, hoher Kapazität und vollständiger Umschaltung erzeugen wird. Die erhöhte Plattform verwendet ihre zugewiesene Bandbreite in jedem der mehrfachen Strahlen oder Sektoren erneut. Bei diesem System werden die Strahlen entweder mittels eines Funkfrequenz- oder eines optischen Mittels gebildet. Die bestimmten Nutzer in jedem Strahl werden dann räumlich durch Verwendung einer optischen Bragg-Zelle in der Frequenz aufgetrennt. Die getrennten Signale werden dann durch einen halbdurchlässigen Spiegel und einen Vollspiegel dupliziert und optisch rekombiniert, um Ausgaben zu erzeugen, die eindeutige Kombinationen von Frequenzen aus jedem vollen Satz von Eingangsstrahlen sind. Die rekombinierten Signale werden dann in das Sendeband verschoben und durch die gleichen N mehrfachen Strahlen erneut gesendet.

[0005] US 5,005,946 beschreibt einen Mehrkanalfilter, der verwendet werden kann, um Rauschen oder unerwünschte Signale aus interessierenden Signalen zu sortieren, klassifizieren und zu entfernen. Dieses Filter führt eine parallele Echtzeitsignalverarbeitung durch, um unerwünschte Spektren aus verschiedenen interessierenden Signalen in einer dichten Funkfrequenzumgebung zu kanalisieren und zu entfernen. Bei dieser Anordnung wird effektiv ein einzelner Kanal, der mit unerwünschten Signalen, Interferenz und Rauschen korrumpiert ist, auf eine Zahl diskreter Kanäle umgesetzt, welche spektral auf ausgewählte interessierende Signale zugeschnitten sind. Der Filterablauf wird erreicht durch Modulieren eines Laserträgers mit dem gegebenen interessierenden Signal und optisches Durchführen aller Filterfunktionen und einem dann folgenden Abwärtswandeln des gefilterten Signals zurück zu seiner ursprünglichen Funkfrequenz zur weiteren Verwendung.

[0006] In anderen bekannten Kommunikationssystemen wird das Kanalisieren bzw. Kanalbilden im Funkfrequenzband durchgeführt. In solchen Systemen wird das Funkfrequenzsignal vom optischen Trägersignal de-

moduliert und stark verstärkt, um die Kanalbildung zu erreichen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0007] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die verschiedenen Probleme des Standes der Technik zu lösen.

[0008] Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen optischen Kanalbildner zum optischen Kanalisieren bzw. Kanalbilden von Funkfrequenzsignalen bereitzustellen, die auf einen optischen Träger aufmoduliert sind. Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung einen optischen Kanalbildner bereitzustellen, der die Notwendigkeit beseitigt, die Funkfrequenzsignale aus dem optischen Trägersignal zu demodulieren. Kurz gesagt betrifft die vorliegende Erfindung einen Kanalbildner für Funkfrequenzsignale und insbesondere einen Funkfrequenzkanalbildner zum optischen Kanalisieren von Funkfrequenzsignalen, die auf einen optischen Träger aufmoduliert sind, und zwar durch optisches Trennen oder Abbilden des Funkfrequenzspektrums mittels eines optisch dispersiven Elements, wie beispielsweise eines herkömmlichen Beugungsgitters oder einer ebenen angezapften Siliziumoxid-Wellenleiterverzögerungsleitung. In einer alternativen Ausführungsform der Erfindung werden zwei Stufen von optischen Filterelementen in Reihe geschaltet bereitgestellt, um eine sequenzielle Kanalbildung durchzuführen. Bragg-Reflexionsgitter werden zum groben Filtern in Bänder von 3–4 GHz verwendet, während Fabry-Perot-Filter, die auf bestimmte Unterbänder des Bragg-Reflexionsgitters abgestimmt sind, zur Kanalbildung verwendet werden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0009] Diese und andere Aufgaben der vorliegenden Erfindung werden mit Bezug auf die folgende Beschreibung und die beigefügte Zeichnung einfach verständlich, worin:

[0010] [Fig. 1](#) ein Frequenzdiagramm einer optischen Wellenlänge gegen eine optische Amplitude ist, welches ein optisches Trägersignal und Funkfrequenz-Seitenbänder darstellt.

[0011] [Fig. 2](#) ist ein Diagramm eines vollständig optischen Kanalbildners gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0012] [Fig. 3](#) ist ein Diagramm, das eine erfindungsgemäße optische Überlagerungstrennung darstellt.

[0013] [Fig. 4](#) ist ein Diagramm einer alternativen Ausführungsform des in [Fig. 2](#) dargestellten vollständig optischen Kanalbildners.

[0014] [Fig. 5](#) ist ein Diagramm einer Wellenleiterimplementierung mit inkrementellen Zeitverzögerungen zur Verwendung mit der vorliegenden Erfindung.

[0015] [Fig. 6](#) ist ein Diagramm eines Talbot-Verteilers bzw. -splitters zur Verwendung mit der vorliegenden Erfindung.

[0016] [Fig. 7](#) ist eine perspektivische Ansicht eines optischen Kanalbildners gemäß der vorliegenden Erfindung, der die Verwendung eines dreifachen Gitters zeigt.

GENAUE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0017] Die vorliegende Erfindung betrifft einen optischen Kanalbildner zum Kanalisieren von relativ breitbandigen Hochfrequenz-Funkfrequenz-Kommunikationssignalen. Um eine Signalverarbeitung höherfrequenter Kommunikationssignale zu ermöglichen, wird die Kanalbildung optisch ohne Verwenden einer akusto-optischen Kopplungsvorrichtung durchgeführt. Als solches ermöglicht das System eine Signalverarbeitung und insbesondere eine Kanalbildung von Funkfrequenzsignalen mit Frequenzen von beispielsweise bis zu 100 GHz.

[0018] Wenn ein Funkfrequenzsignal auf einen optischen Träger aufmoduliert wird, gibt das sich ergebende optische Spektrum die Eingangs-Funkfrequenzsignale wieder. In anderen Worten werden die Funkfrequenzsignale auf optische Frequenzen hochgewandelt, wobei die Funkfrequenzsignale durch Seitenbänder am optischen Träger mit einem optischen Frequenzversatz und einer Amplitude dargestellt werden, die der Funkfrequenz und -amplitude entsprechen. Beispielsweise ist, wie in [Fig. 1](#) dargestellt, die optische Amplitude auf der vertikalen Achse dargestellt, während die optische Wellenlänge auf der horizontalen Achse gezeigt ist. Die op-

tische Trägerfrequenz ist bei einer Wellenlänge T_0 gezeigt. Beispielhafte Funkfrequenzen T_1 , T_2 und T_3 werden durch Seitenbänder relativ zur optischen Trägerfrequenz T_0 dargestellt.

[0019] Ein wichtiger Gesichtspunkt der Erfindung ist es, dass die Seitenbänder, welche die Eingangs-Funkfrequenzsignale darstellen, optisch getrennt werden, um eine optische Kanalbildung des Funkfrequenzspektrums ohne die Notwendigkeit zum Abwärtswandeln des modulierten optischen Signals bereitzustellen, was eine Demodulation und einen Verstärker mit einer relativ hohen Funkfrequenzverstärkung benötigt. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt der Erfindung ist es, dass sie nicht auf die Verwendung der akusto-optischen Technologie setzt, welche die Gesamtbandbreite des Kanalbildners begrenzt. Als solches kann bei der vorliegenden Erfindung ein optisches Überlagern verwendet werden, um die modulierten optischen Signale auf eine übliche Funkfrequenz herunterzuwandeln, so dass die Kanäle des funkfrequenzmodulierten optischen Trägers mit einem Detektor verwendet werden können, der auf eine einzelne Frequenz hin optimiert ist. Das Überlagern erlaubt es, sowohl die Phase als auch die Amplitude aus den ursprünglichen Funkfrequenzsignalen wiederzugewinnen.

[0020] Um den Dynamikbereich jedes der Kanäle zu maximieren, werden Verzerrungen, die während des optischen Modulationsablaufs eingeführt werden, vorzugsweise minimiert. Dies braucht eine effektive lineare elektrische-zu-optische (Spannung-zu-Aussendungs-) Eigenschaft für die gesamte funkfrequente/optische Verbindung. Durch Verwendung einer optischen Überlagerungserfassung ist die demodulierte Funkfrequenz-Spannungswellenform in jedem der Kanäle proportional zum Produkt des Lokaloszillatorfelds (ELO) und des Signalfelds (E_s). Da diese Wellenform proportional zur Eingangsspannungswellenform ist, sendet der optische Modulator eine elektrische Feldamplitude, die zur Eingangsspannung linear ist. Da das elektrische Feld proportional zur Wurzel der optischen Amplitude ist, ist eine ideale Eigenschaft eine solche, welche eine Amplitude proportional zum Quadrat der Eingangsspannung aussendet. Falls daher die Modulationssendeeigenschaft quadratisch ist, kehrt die im Fotodetektor erzeugte aktuelle Wellenform zu einer wahren Darstellung des idealen Signals zurück. Obwohl solche idealen quadratischen Modulatoren zur Zeit nicht verfügbar sind, mag ein interferometrischer Mach-Zehnder-Modulator verwendet und bei einem niedrigen Vorspannungspunkt betrieben werden. Unter solchen Modulationsbedingungen werden die bekannten Intermodulationsprodukte zweiter Ordnung minimiert, während der Dynamikbereich maximiert wird.

[0021] Mehrfache Ausführungsformen der Erfindung werden zur Kanalbildung von Funkfrequenz-Spektrumsignalen offenbart. Die erste Ausführungsform, die in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) dargestellt ist, verwendet ein Dispersionselement, wie beispielsweise ein Dispersionsraumgitter, während die zweite, in [Fig. 4](#) dargestellte, Ausführungsform eine Folge faseroptischer Fabry-Perot-Filter und faseroptischer Bragg-Gitter verwendet. Die [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) stellen Ausführungsformen dar, die einer monolithischen Herstellung zugänglich sind. Insbesondere betreffen die [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) Ausführungsformen, welche einen Planaren Siliziumoxid-Wellenleiter verwenden, während [Fig. 6](#) eine Ausführungsform darstellt, die einen Talbot-Splitter bzw. Talbot-Verteiler verwendet.

[0022] Bezugnehmend auf die in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigte Ausführungsform, wird ein Beugungsgitter als ein räumlich dispersives Element verwendet, um das Funkfrequenzspektrum in einem einzelnen parallelen Ablauf zu kanalisieren. Insbesondere werden Funkfrequenz-Eingangssignale in eine funkfrequenz-optische Modulationsvorrichtung **20** eingegeben, wie beispielsweise einen Diodenlaser oder einen elektroabsorptiven Modulator oder vorzugsweise, wie oben angesprochen, ein Mach-Zehnder-Interferometer. Der Modulator **20** erzeugt das optische Spektrum, wie es in [Fig. 1](#) dargestellt ist. Das optische Signal vom Modulator **20** trifft auf ein Dispersionselement **22**, wie beispielsweise ein herkömmliches Beugungsgitter hoher Dispersion, wie beispielsweise ein Echellegitter, das für einen hohen optischen Beugungswirkungsgrad geblazt ist. Die Winkeldispersion führt zu einer räumlichen Trennung oder Abbildung der optischen Frequenzen, d.h., zu einer Trennung der Funkfrequenzseitenbänder auf dem optischen Träger. Ein oder mehrere Detektorfelder bzw. Detektorarrays **24**, **25**, beispielsweise lineare Detektorfelder, sind in einem Abstand entfernt vom Dispersionselement **22** beabstandet, um die verteilten optischen Signale zu empfangen. Jeder der Detektorelemente in den linearen Detektorarrays **24** und **25** empfängt ein optisches Signal mit einer Amplitude proportional zur Funkfrequenzleistung. Wie gezeigt, kann das Detektorfeld **25** verwendet werden, um ein Signalzu-Rausch-Verhältnis zu verbessern.

[0023] Wie oben angesprochen, wird ein Überlagern verwendet, um ein optisches Signal auf eine übliche Funkfrequenz herunterzuwandeln, so dass die getrennten Teile oder Kanäle des funkfrequenzmodulierten optischen Trägers einen Detektor verwenden können, der auf eine einzelne Frequenz hin optimiert ist. Die Lokaloszillatoren, die zum Überlagern verwendet werden, können mittels eines modenstarken Lasers erzeugt werden, was einen Satz phasenkohärenter monochromatischer optischer Quellen bereitstellt, die in der Frequenz

um ein gemeinsames Intervall getrennt sind, das gleich dem gewünschten Kanalabstand ist, um es zu ermöglichen, dass sowohl Phase als auch Amplitude aus den ursprünglichen Funkfrequenzsignalen wiedergewonnen werden. Wie in [Fig. 3](#) gezeigt, ist ein modenstarrer Laser, der als ein optischer Lokaloszillator verwendet wird, welcher durch die Linie **26** dargestellt wird, auf das Dispersionselement **22** gerichtet; jedoch werden die Lokaloszillatorsignale **26** auf das Dispersionselement unter einem etwas unterschiedlichen Winkel eingestrahlt als der Signallaser, der durch die Linie **28** dargestellt wird, um eine Zwischenfrequenz zu definieren. Insbesondere stellt der modenstarre Laser **26** einen Kamm optischer Oszillatoren bereit, deren Frequenzen um einen gewünschten Kanalabstand getrennt sind. Die Spektralkomponenten des verteilten Funkfrequenzsignallasers und der Kamm von Frequenzen, der durch den modenstarken Laser erzeugt wird, werden am Detektorort bzw. an der Detektorposition **24**, **25** kombiniert, welcher jeweils beispielsweise ein lineares Detektorfeld sein kann. Jeder Teil oder Kanal des modulierten Signallasers und eine Komponente des Frequenzkamms an jedem Detektorort werden einen Frequenzversatz aufweisen, der als die Überlagerungsfrequenz dienen kann, die durch Verändern des Einstrahlwinkelversatzes auf die Dispersionselemente angepasst werden kann. Auf diese Weise erzeugt jeder Fotodetektor die gleiche optische Schwebungsfrequenz, so dass jeder Detektorkanal die gleiche der Erfassung nachgeschaltete Elektronik verwenden kann. Die Zwischenfrequenz ("Intermediate Frequency"; IF)-Schwebungsfrequenz kann abgestimmt werden durch Verstellen des Versatzes in den Einstrahlwinkeln, unter welchen die Signal- und Lokaloszillator-Laser auf das Dispersionselement **22** aufgestrahlt werden. Die Schwebungsfrequenz kann so angepasst werden, dass sie gleich der kanalisierten Bandbreite ist, um die Verwendung von relativ langsamen Fotodetektoren sogar für Kanäle zu erlauben, die sehr hohen Funkfrequenzsignalfrequenzen entsprechen. Das Signalleistungsspektrum wird bestimmt durch Messen der Funkfrequenzleistung der Überlagerungsprodukte, die in jedem Fotodetektorkanal erzeugt werden. Das komplexe Signalspektrum, sowohl Phase als auch Amplitude, kann extrahiert werden durch Messen der in-Phase- und Quadraturkomponenten der Überlagerungsprodukte.

[0024] Verschiedene kommerzielle Gitter sind zur Verwendung der in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) dargestellten Ausführungsform geeignet. Beispielsweise erreicht ein Gitter mit den Maßen 16" × 8", das 316 Linien pro Millimeter (mm) aufweist und in der vierten Ordnung verwendet wird, eine Einzelreflexions-Spektralauflösung von 444 MHz (oder einer 1,5: m optischen Trägerwellenlänge) mit einem optischen Beugungswirkungsgrad von 80%. Alternativ kann ein kompakteres System auf der herkömmlichen Technik mehrfacher Beugungsdurchgänge beruhen. Beispielsweise ein Dreifachdurchgangsgitter-Entwurf mit der gleichen Frequenzauflösung mit Beugungsgittern der ungefähren Größe von 5" bis 6". Da der Strahldurchgang für das Signal und den Lokaloszillator effektiv jedes der drei Gitter in Reihe sieht, wird die Netto-Dispersion verdreifacht. Dies ermöglicht es, die Brennweitenlänge auf ein Drittel des Einzelgitterentwurfs zu verringern.

[0025] Für ein kommerzielles Gitter ist die Spektraldispersion $d\theta/d\lambda$ in der unten stehenden Gleichung (1) aufgeführt:

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = n/(d \cos(\theta)) = 1,80 \text{ Rad pro Mikrometer},$$

wobei

d = Gitterlinienabstand in Mikrometer ist.

[0026] Ein Kanalabstand von 1 GHz (optische Wellenlänge und unter 0,008 Nanometer) beinhaltet daher eine Kanalwinkeltrennung von 14 Mikrorad. Für einen Brennebenenelementabstand von 10 µm wird ein Brennweitensystem von 0,7 m benötigt; jedoch können die optischen Pfade gefaltet werden, um das System kompakter zu machen. Das gesamte 100 GHz-Spektrum weist eine Winkelgröße von 0,991 Mikrorad auf, was einer Brennebenen-Feldlänge von 2,2 mm entspricht. Unter der Annahme der gleichen Brennebenengeometrie kann beispielsweise das Dreifachdurchgangssystem, wie in [Fig. 7](#) gezeigt, dazu verwendet werden, die Brennweite auf 0,7 Meter geteilt durch 3 (d.h., 24 cm) zu verringern.

[0027] In der zweiten Ausführungsform, die in [Fig. 4](#) gezeigt ist, werden zwei Stufen optischer Filterelemente in Folge verwendet, um eine sequenzielle Bandbreitenkanalbildung durchzuführen, Insbesondere werden Bragg-Reflexionsgitter **31**, **33** für ein grobes Vorfiltern des optisch getragenen Funkfrequenzspektrums in vorbestimmte optische Bänder, beispielsweise von 3 GHz, verwendet. Eine Kanalaufnahme kann erreicht werden unter Verwendung einer Folge von Kanalaufnahmeverrichtungen, wie beispielsweise polarisierenden Strahlteilern **30**, **32**, **34**, **36**, **38**, **40** und **42** und Faraday-Rotatoren **44**, **46**, **48** und **50**. Die Bänder werden in höher aufgelöste Unterbänder gefiltert mittels Ketten von Fabry-Perot-Reflexionsfiltern **52**, **54**, **56** und **58**, als auch zugehörigen Viertelwellenplättchen **60**, **62**, **64** und **66**. Jedes Fabry-Perot-Reflexionsfilter **52**, **54**, **56** und **58** wird abgestimmt, um ein bestimmtes Unterband des 3 GHz-Bragg-Gitter **31**, **33** -Bandes durchzulassen bzw. aus-

zusenden. Alle übrigen Unterbänder werden reflektiert und durch den Rest der Fabry-Perot-Kette übertragen, um die Kanalbildung des Bragg-Gitter-Bands abzuschließen.

[0028] Lokaloszillatoren werden kanalisiert unter Verbindung einer Bragg-Gitter-Reihe ähnlich zu derjenigen, die dazu verwendet wird, einen Signallaser zu kanalisieren. Die 3 GHz-Lokaloszillatorbänder werden mit den 3 GHz-Signallaserbändern an den Eingängen der Fabry-Perot-Kette kombiniert, aber um ein Bragg-Gitter-Band versetzt, um eine Zwischenfrequenz-Schwebungsfrequenz zu erzeugen. Der freie Fabry-Perot-Spektralbereich wird gleich den Bragg-Gitter-Bandbreiten gesetzt, so dass die Lokaloszillator- und die Signalbänder durch eine gemeinsame Fabry-Perot-Kette laufen können. Die Lokaloszillatoren sind die stärkeren der Signale, so dass die Fabry-Perot-Übertragungsspitzen auf die Lokaloszillatorfrequenzen im Rückkopplungsregelkreismodus aufgeschlossen sind.

[0029] Sowohl die Bragg-Filter- als auch die Fabry-Perot-Filter-Ketten unterteilen die Bänder des Spektrums und senden den Rest des Spektrums die Filterkette herunter zum folgenden Unterteilen, ohne irgendeine optische Energie zu verwerten. Die Bragg-Filter-Kette nutzt Polarisationsstrahlteiler und Viertelwellen-Faraday-Rotatoren zusammen mit Bragg-Filtern, um die Unterbänder des funkfrequenzmodulierten optischen Spektrums zu verteilen. Die Fabry-Perot-Kette verwendet Viertelwellenplättchen und Polarisationsstrahlteiler, um die Bänder des funkfrequenzmodulierten optischen Spektrums auf individuelle Kanäle zu verteilen.

[0030] Die Lokaloszillatoren werden mittels eines modenstarken Lasers erzeugt. Die Lokaloszillatoren werden in grobe Unterbänder mittel einer Bragg-Gitter-Folge gefiltert, die ähnlich zu, aber getrennt von, dem Signallaser ist. Jedes Lokaloszillator-Teilband und Signallaser-Teilband wird eine Fabry-Perot-Kette herabgesandt. Jedoch werden das Lokaloszillator-Unterband und das Signal-Unterband in der Frequenz durch den freien Spektralbereich der Fabry-Perot-Vorrichtungen getrennt. Der freie Spektralbereich definiert die Zwischenfrequenz und ist auswählbar.

[0031] Idealerweise kann der Kanalbildner auf einem kleinen Wafer gebildet werden, und zwar durch Verwenden der Grundsätze, die in einem Michelson-Stufungsgitter enthalten sind. Eine sehr hohe Auflösung mit 1000 Linien oder Elementen in einer großen Winkeldispersion kann erreicht werden, wenn man bei höherer Ordnung arbeitet. Der kleine freie Spektralbereich, der sich ergibt, wenn man bei höheren Ordnungen arbeitet, ist für die Anwendung ausreichend. Die große inkrementelle Zeitverzögerung zwischen Linien oder Elementen, die sich ergibt, wenn man bei einer höheren Ordnung arbeitet, wird mit versetzt gestapelten Platten in einem Michelson-Stufungsgitter erreicht, wie allgemein in [Fig. 5](#) gezeigt ist. Insbesondere zeigt [Fig. 5](#) Monomode-Kanäle oder Wellenleitungen **70**, die als ein planarer Siliziumoxidwellenleiter ausgebildet sind. Ein moduliertes Signal, das auf einer Monomode-Faser getragen wird, wird bei Anschluss 1 eingestrahlt und im Folgenden in individuelle Wellenleiter mit zunehmend längeren Pfadlängen aufgeteilt. Eine solche Vorrichtung mit inkrementellen Zeitverzögerungen von beispielsweise 5 Pikosekunden mit 1000 Elementen würde eine Auflösung von 200 MHz besitzen und auf einen 5-Zentimeter-Wafer passen.

[0032] Planare Siliziumoxid-Wellenleiter, die als Siliziumoxid-basierte optische integrierte Schaltkreise ausgebildet sind, wie in [Fig. 5](#) dargestellt, sind allgemein aus dem Stand der Technik bekannt und in "Silica-Based Integrated Optic Mach-Zehnder Multi/Demultiplexer Family with Channel Spacing of 0.01–250 nm" von N. Takato, T. Kominato, A. Sugita, K. Jinguji, H. Toba und M. Kawachi, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Band 8, Nr. 6, S. 1120–1127, August 1990 offenbart. Solche planaren Siliziumoxid-Wellenleiter werden auf einem Siliziumoxidsubstrat **72** mittels Flammenhydrolyse-Abscheidung und herkömmlichen fotolithographischen Techniken ausgebildet, denen ein reaktives Ionenätzen folgt. Flammenhydrolyse beruht auf einer Optikfaserherstellung, während fotolithografische und reaktive Ionenätz-Abläufe mit bestehender Siliziumtechnologie kompatibel sind, wie es allgemein in "Silica-Based Single Mode Waveguides and Their Application to Guided-Wave Optical Interferometers", von N. Takato, K. Jinguji, M. Yasu, H. Toba und M. Kawachi, Journal of Lightwave Technology, Band 6, S. 1003–1010, 1988 und "Low-Loss High Silica Single Mode Channel Waveguides", von N. Takato, M. Yasu und M. Kawachi, Electron. Lett., Band 22, S. 321–322, 1986 offenbart ist. Solche planaren Siliziumoxid-Wellenleiter können in verschiedenen Konfigurationen mit einem relativ hohen Grad an Genauigkeit unter Verwendung der oben besprochenen Abläufe ausgebildet werden. Beispielsweise kann der planare Siliziumoxid-Wellenleiter **70**, der in [Fig. 5](#) dargestellt ist, mit 100 bis 1000 Wellenleiterkanälen **74–84** oder mehr ausgebildet werden. Zur Darstellung und zu Diskussionszwecken sind nur sechs Wellenleiterkanäle **74–84** in [Fig. 5](#) gezeigt. Jeder Wellenleiterkanal ist zunehmend länger (d.h., weist eine längere Pfadlänge auf) als der vorhergehende Kanal. Beispielsweise ist der Wellenleiterkanal **76** länger als der Wellenleiterkanal **74**; der Wellenleiterkanal **78** ist inkrementell länger als der Wellenleiterkanal **76** usw. Die Unterschiede in den Längen der Wellenleiterkanäle **74–84** führen zu ansteigenden Verzögerungen am Detektorfeld **86**, wodurch ein Beugungsgitter nachgebildet wird. Jedoch weist, im Gegensatz zu einem Beugungsgitter, die Verwendung ei-

nes planaren Siliziumoxid-Wellenleiters **70** so gut wie keine Begrenzung in Bezug auf die höchste Ordnung auf, bei welcher die Vorrichtung effektiv betrieben werden kann. Der planare Siliziumoxid-Wellenleiter **70** erlaubt es, Vorrichtungen extrem hoher Ordnung zu verwenden, um eine Auflösung zu verbessern (d.h., die Zahl der Kanäle multipliziert mit der Ordnung), ohne die Zahl der Kanäle zu erhöhen.

[0033] Ein alternatives Verfahren zum Verteilen des Signals in eine Vielzahl von Komponenten ist eine optische Verteilervorrichtung, wie beispielsweise ein Talbot-Verteiler, wie in [Fig. 6](#) dargestellt. Der Talbot-Verteiler beruht auf einer multimodalen Selbstabbildung. Ein Monomode-Wellenleiter führt in einen Multimode-Hohlraum und wird auf N = Bilder der eingestrahnten einzelnen Mode bei einem Abstand abgebildet, der gleich der Talbot-Länge des Multimode-Hohlraums, geteilt durch N , ist. Ein 1×32 -Talbot-Verteiler, gefolgt von 32 kaskadierenden 1×32 Talbot-Verteilern würde 1024 Elemente bereitstellen. Die optischen Wellenleiter folgen den Talbot-Verteilern und stellen die notwendigen inkrementellen Zeitverzögerungen bereit. Eine optische Verstärkung wird hinzugefügt durch optische Pumpbereiche des Wellenleiters, die unter dem gleichen Wafer wie der Kanalbildner integriert sind, einschließlich des modenstarken Lasers, des Signallasers, des Modulators, der Abbildungslinse und des Detektorfelds. Insbesondere werden Talbot-Verteiler aus Strahlteilern gebildet, wie allgemein in "Novel 1-to-N Way Integrated Optical Beam Splitters Using Symmetric Mode Mixing in GaAs/AlGaAs Multimode Waveguides", von J.M. Heaton, R.M. Jenkins, D.R. Wright, J.T. Parker, J.C.H. Birbeck und K.P. Hilton in Appl. Phys. Lett., Band 61, Nr. 15, Seiten 1754–1756, 1992 und in "Waveguide Beam Splitters and Recombiners Based on Multiple Propagation Phenomenon", von R.M. Jenkins, R.W.J. Devereux und J.M. Heaton in Optics Lett., Band 17, Nr. 14, S. 991–993, 1992 offenbart. Wie hierin beschrieben, weisen die Strahlteiler allgemein eine Vielzahl von Kanälen gleicher Länge auf, beispielsweise die vier beispielhaften Kanäle **88**, **90**, **92** und **94**, die in [Fig. 6](#) gezeigt sind, welche einen 1 bis N (N = Zahl der Kanäle)-Strahlteiler bilden. Jeder Kanal **88**, **90**, **92** und **94** ist optisch mit einer Vielzahl von optischen Wellenleitern **96**, **98**, **100** und **102** gekoppelt; wobei jeder Wellenleiter so ausgebildet ist, dass er inkrementell länger als ein benachbarter Wellenleiter ist. In anderen Worten wird, unter Bezug auf [Fig. 6](#), der Wellenleiter **100** so gebildet, dass er inkrementell länger als der benachbarte Wellenleiter **102** ist, während der Wellenleiter **98** so ausgebildet ist, dass er inkrementell länger als der benachbarte Wellenleiter **102** ist, usw. Die Wellenleiter **96–102** bilden Verzögerungspfade.

[0034] Verschiedene Parameter beeinflussen die Eigenschaften eines Talbot-Verteilers, der als ein optischer Kanalbildner verwendet wird. Diese Parameter umfassen: die Zahl der Verzögerungspfade (d.h., der Wellenleiter **96–102**); die inkrementelle Zeitverzögerung zwischen den Verzögerungen (d.h., inkrementelle Unterschiede in der Pfadlänge der verschiedenen Kanäle **88–94**); und die Trennung zwischen den Enden der Pfade. Für einen 20 GHz-Kanalbildner mit einer Kanalgröße oder Auflösung von 1 GHz, werden 40 Verzögerungspfade (d.h., Kanäle) mit Vergrößerungen von 0,5 cm in der Pfadlänge und einer Trennung zwischen den Enden der Pfade von 0,002 cm benötigt.

[0035] Bezugnehmend auf [Fig. 6](#) wird ein funkfrequenzmoduliertes optisches Eingangssignal in den Talbot-Verteiler **85** geführt und in gleiche Teile aufgespalten. Für eine 40-Kanal-Vorrichtung **85** würde das funkfrequenzmodulierte Signal in 40 Teile aufgespalten werden. Jeder Teil des Signals wird in die optischen Wellenleiter **96–102** des Talbot-Verteilers **85** eingespeist. Wie oben angemerkt, sind die Wellenleiter **96–102** inkrementell länger als benachbarte Wellenleiter, und zwar mit den Enden der Kanäle um 0,002 cm getrennt. Mit einer solchen Ausgangstrennung wird jedes der Ausgangssignale mit einer Winkeltrennung von 1,875 Millirad verteilt. Falls eine Linse mit kurzer Brennweite von beispielsweise $f = 1,067$ cm benachbart dem Ausgang angeordnet ist, kann das Ausgangssignal auf ein Fotodetektorfeld **96** mit einem Elementabstand von beispielsweise 0,002 cm fokussiert werden.

[0036] In praktischen Systemen müssen die Zeitverzögerungen auf einen Bruchteil der optischen Wellenlänge gesteuert werden. Die Pfadlänge mag gesteuert werden durch Anordnen von Heizfeldern an den Verzögerungsleitungen und Steuern der Temperatur. Insbesondere ist die optische Pfadlänge dafür bekannt, dass sie das Produkt aus Brechungsindex n und der Länge L ist, über welche das Heizfeld einen Einfluss hat.

[0037] Der ebene Siliziumoxid-Wellenleiter **70** ([Fig. 5](#)) oder der Talbot-Verteiler **85** ([Fig. 6](#)) können durch das Beugungsgitter **22** ersetzt werden, um einen optischen Kanalbildner auszubilden, wie er allgemein in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt ist.

[0038] Offensichtlich sind viele Modifikationen und Variationen der vorliegenden Erfindung im Licht der obigen Lehren möglich. Beispielsweise können für Entwürfe, bei denen die Pfadlänge für die planare Siliziumoxid-Wellenleiter-Technologie unpraktisch werden, Faseroptiken verwendet werden, um eine kompakte Anordnung bereitzustellen. Daher sollte verstanden werden, dass die Erfindung innerhalb des Umfangs der angehängten Ansprüche anders als oben besonders beschrieben ausgeführt werden kann.

Patentansprüche

1. Optischer Signalkanalbildner zum Kanalisieren von Funkfrequenzsignalen (**23**), die auf ein optisches Signal aufmoduliert sind, wobei der Kanalbildner aufweist:
einen optischen Lokaloszillator, welcher einen modenstarren Laser umfasst, der daran angepasst ist, eine Vielzahl von optischen Lokaloszillatorsignalen (**26**) bei einer Vielzahl von Frequenzen zu erzeugen, die durch ein gemeinsames Intervall getrennt sind, das gleich dem Abstand zwischen den Funkfrequenzsignalen ist;
ein optisches Dispersionselement (**22**), das angeordnet ist, um die aufmodulierten Funkfrequenzsignale (**23**) und die Vielzahl der optischen Lokaloszillatorsignalen (**26**) bei unterschiedlichen Wellenlängen zu empfangen, um jedes der aufmodulierten Funkfrequenzsignale (**23**) und die Vielzahl der optischen Lokaloszillatorsignalen (**26**) optisch in eine Vielzahl getrennter optischer Signale mit einer gemeinsamen Frequenz aufzutrennen; und
ein Detektorfeld (**24, 25, 85, 96**), das von dem optischen Dispersionselement (**22**) entfernt beabstandet ist, um die räumlich getrennten optischen Signale zu empfangen.
2. Signalkanalbildner nach Anspruch 1, bei dem das optische Dispersionselement (**22**) ein Streugitter ist.
3. Signalkanalbildner nach Anspruch 2, bei dem das Streugitter ein Echellegitter ist.
4. Signalkanalbildner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der modenstarre Laser einen Satz phasenkohärenter optischer Quellen bereitstellt, die in der Frequenz durch vorbestimmte Intervalle getrennt sind.
5. Kanalbildner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Detektorfeld (**24, 25, 85, 96**) eine Vielzahl von Detektorelementen umfasst, wobei jedes Detektorelement auf eine gemeinsame Frequenz hin optimiert ist.
6. Kanalbildner nach Anspruch 5, ferner umfassend ein Mittel zum Richten des aufmodulierten optischen Signals und des modenstarren Lasers auf das optische Element (**22**) unter unterschiedlichen Winkeln.
7. Kanalbildner nach Anspruch 1, bei dem das optische Dispersionselement (**22**) mit einer Vielzahl von Wellenleiterkanälen (**74–84**) gebildet wird, wobei ein Teil der Kanäle (**74–84**), die mit vorbestimmten unterschiedlichen Längen gebildet werden, eine Vielzahl von Kanälen (**74–84**) zum räumlichen Trennen der optischen Signale bereitstellt.
8. Kanalbildner nach Anspruch 7, bei dem alle Kanäle (**74–84**) mit unterschiedlichen Längen gebildet werden.
9. Kanalbildner nach Anspruch 7 oder 8, bei dem jeder der Kanäle (**74–84**) mit einer ansteigenden unterschiedlichen Länge gebildet wird.
10. Kanalbildner nach einem der Ansprüche 7 bis 9, bei dem das optische Dispersionselement (**22**) eine ebener Wellenleiter (**70**) aus Siliziumdioxid ist.
11. Kanalbildner nach Anspruch 1, bei dem das optische Dispersionselement (**22**) mit einer Vielzahl von Kanälen (**74–84**) gebildet wird, wobei die Kanäle (**74–84**) optisch mit Wellenleitern (**90, 92, 94**) unterschiedlicher Länge gekoppelt sind, um die optischen Signale räumlich zu trennen.
12. Kanalbildner nach Anspruch 11, bei dem die Wellenleiter (**90, 92, 94**) mit ansteigend längeren Längen gebildet werden.
13. Kanalbildner nach Anspruch 11, bei dem das optische Dispersionselement (**22**) ein Talbot-Verteiler (**85**) ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

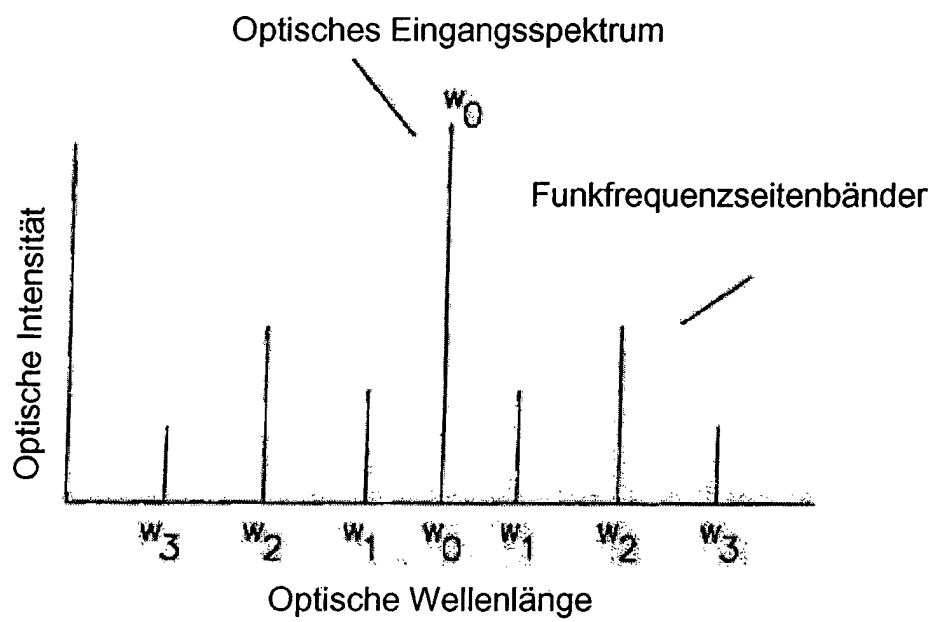


FIG. 1

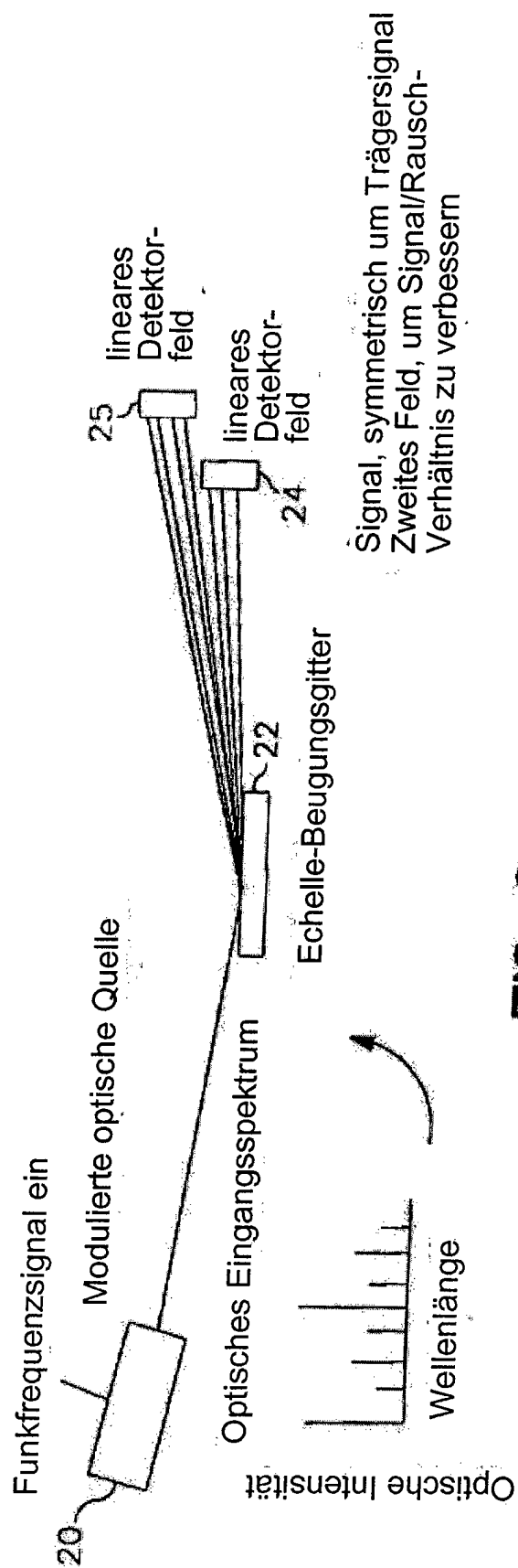


FIG. 2

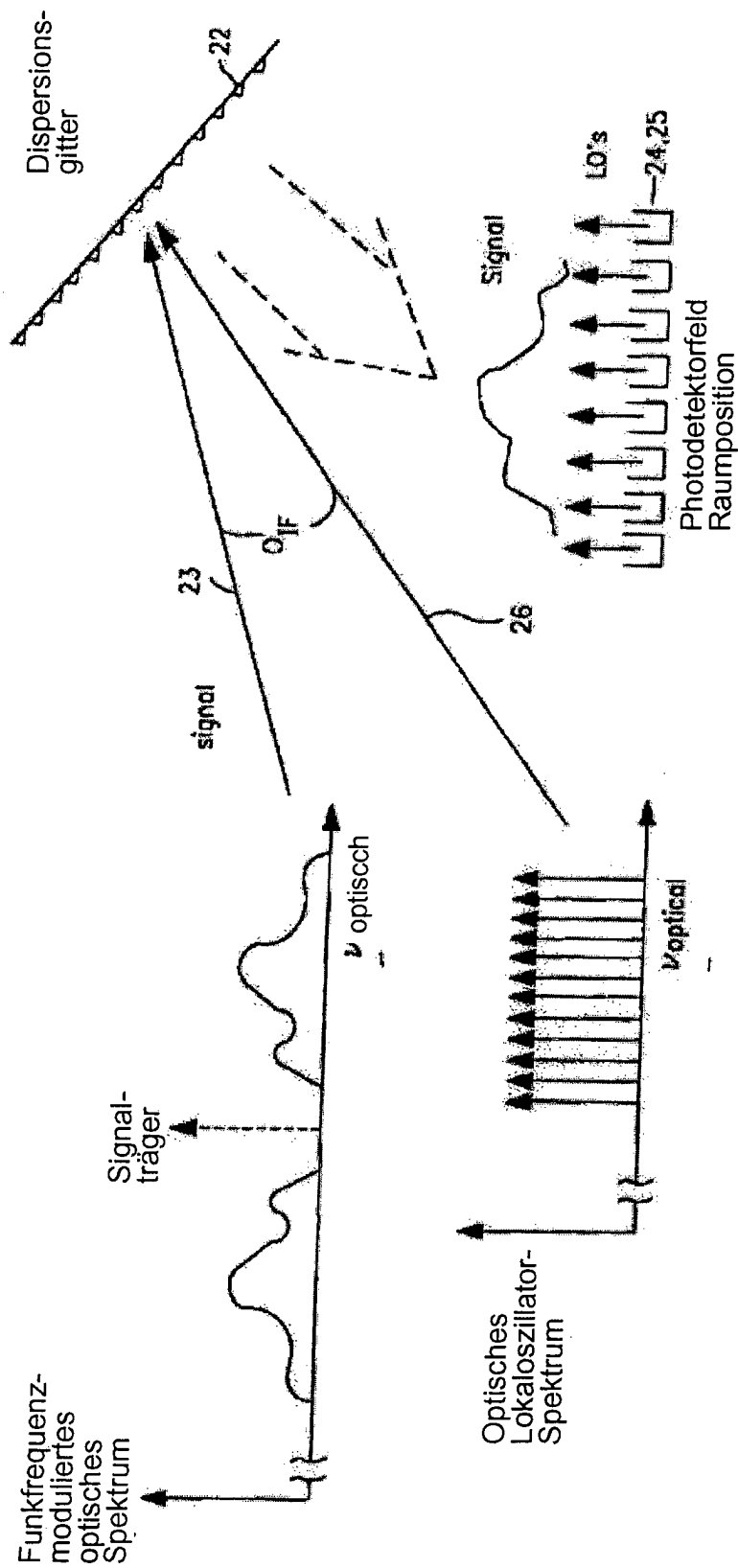


FIG. 3

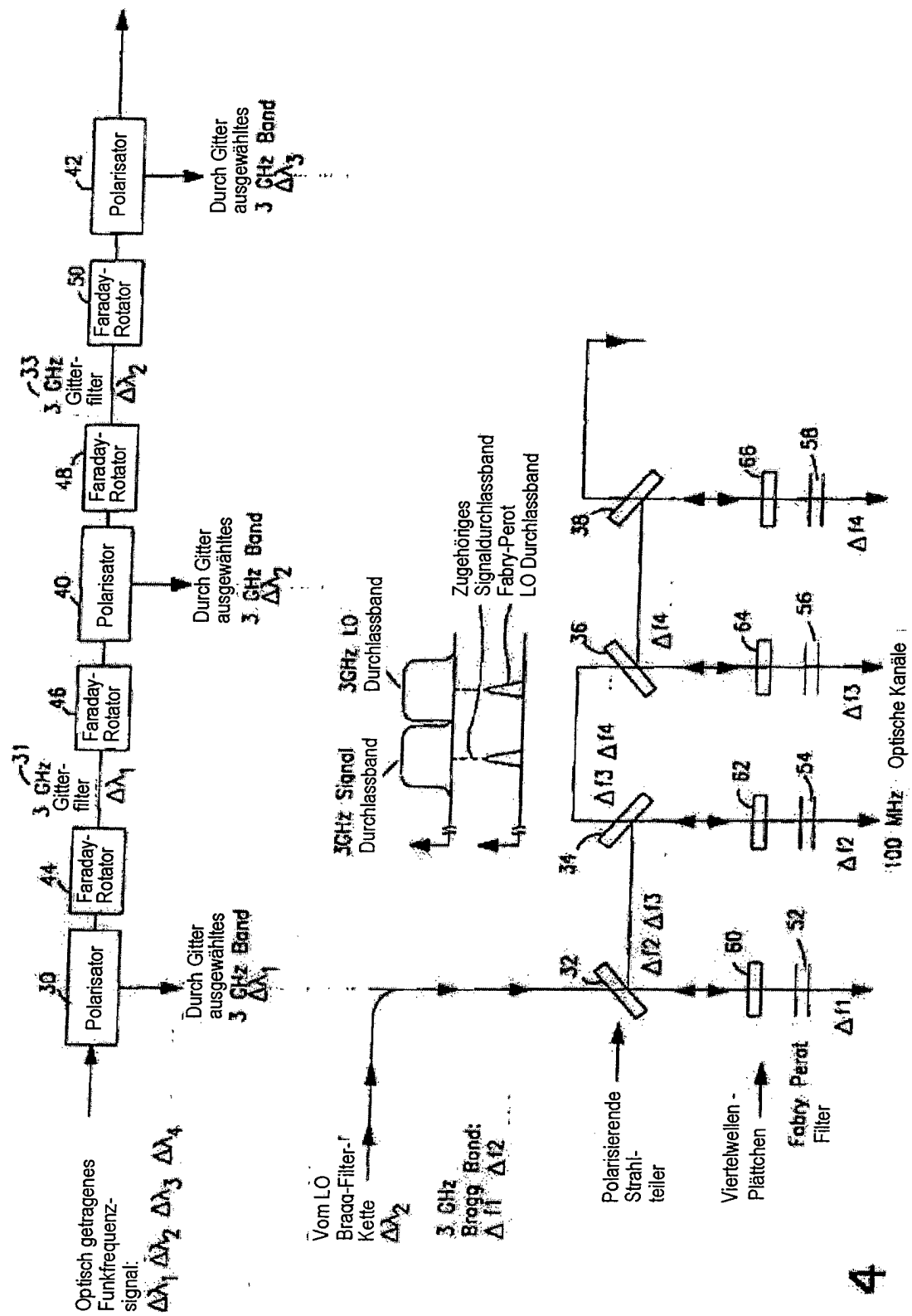


FIG. 4

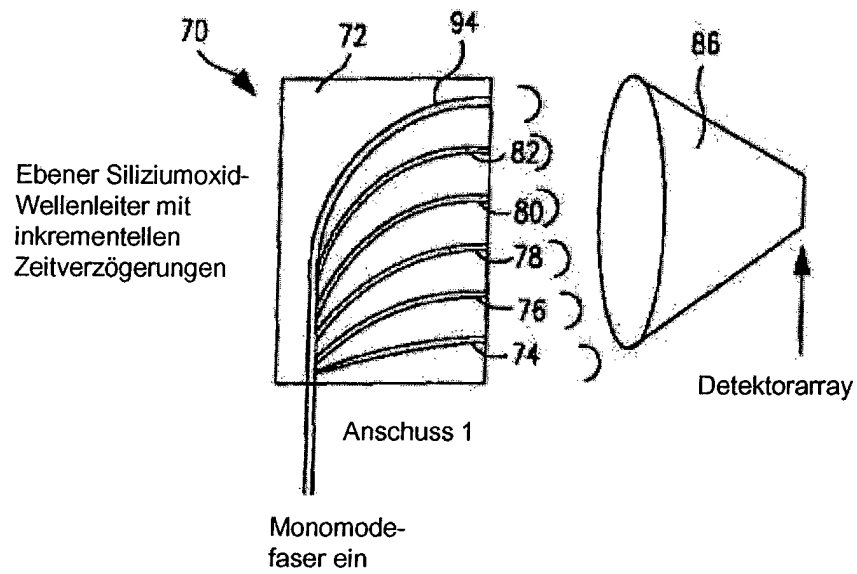


FIG. 5

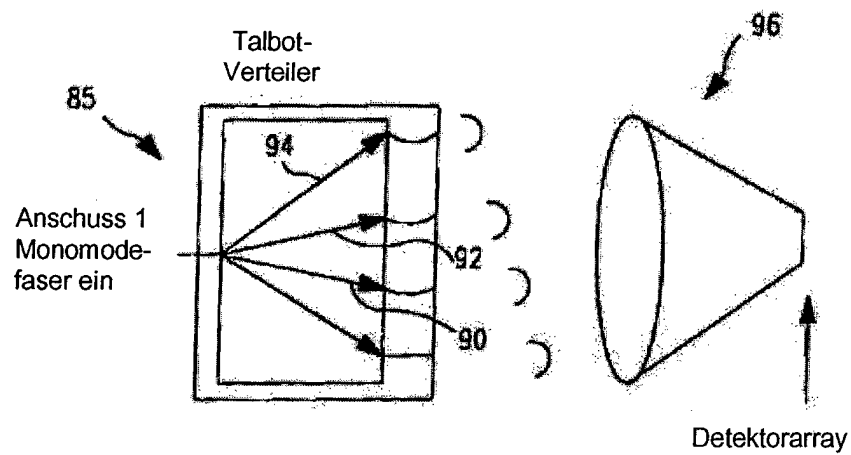


FIG. 6

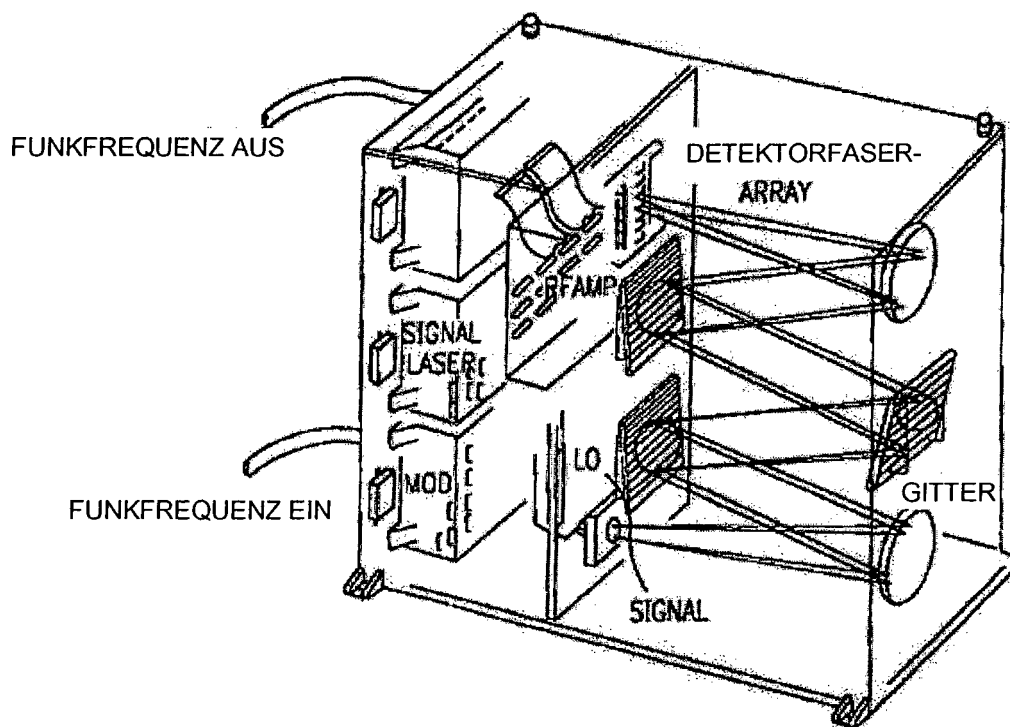


FIG. 7