

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5570460号
(P5570460)

(45) 発行日 平成26年8月13日 (2014. 8. 13)

(24) 登録日 平成26年7月4日 (2014. 7. 4)

(51) Int. Cl.	F I
H04B 10/272 (2013.01)	H04B 9/00 272
G02B 6/42 (2006.01)	G02B 6/42
H04J 14/00 (2006.01)	H04B 9/00 F
H04J 14/04 (2006.01)	
H04J 14/06 (2006.01)	

請求項の数 7 外国語出願 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2011-52833 (P2011-52833)	(73) 特許権者	509094034
(22) 出願日	平成23年3月10日 (2011. 3. 10)		オーエフエス ファイテル, エルエルシー
(65) 公開番号	特開2011-193459 (P2011-193459A)		アメリカ合衆国 30071 ジョージア
(43) 公開日	平成23年9月29日 (2011. 9. 29)		, ノアクロス, ノースイースト エクスプレ
審査請求日	平成23年8月1日 (2011. 8. 1)		スウェーデン 2000
(31) 優先権主張番号	61/312, 497	(74) 代理人	100094112
(32) 優先日	平成22年3月10日 (2010. 3. 10)		弁理士 岡部 譲
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100104352
(31) 優先権主張番号	61/314, 183		弁理士 朝日 伸光
(32) 優先日	平成22年3月16日 (2010. 3. 16)	(74) 代理人	100128657
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 三山 勝巳
		(74) 代理人	100160967
			弁理士 ▲濱▼口 岳久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多芯ファイバ伝送システムおよび多芯ファイバ伝送方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の受動型光ネットワーク・トランシーバであって、前記複数の受動型光ネットワーク・トランシーバのそれぞれが複数の個別信号のそれぞれを伝送する前記複数の受動型光ネットワーク・トランシーバと、

複数の光スプリッタと、

前記複数の受動型光ネットワーク・トランシーバに接続された第1端と前記複数の光スプリッタに接続された第2端とを有して、前記第1端と前記第2端との間に複数の並列伝送チャネルを形成するマルチチャネル伝送リンクであって、前記複数の並列伝送チャネルのそれぞれは前記複数の個別信号のそれぞれに対応するようなマルチチャネル伝送リンクと、を備える光アクセス・ネットワークであって、

前記マルチチャネル伝送リンクは、複数の個別のコアを有するマルチコアファイバを少なくとも1つのスパンとして具備し、そのマルチコアファイバは、前記複数の個別のコアのそれぞれが前記複数の個別の信号のそれぞれと対応するように、前記複数の個別の信号を空間分割して多重伝送を行ない、

前記マルチチャネル伝送リンクは、前記マルチコアファイバの前記複数の個別のコアをそれぞれの単一のコアからなる複数のファイバに結合して、複数の個別の信号のそれぞれを伝送するテーパーマルチコアカプラによって前記複数の光スプリッタに接続されるマルチコアファイバ・スパンを有し、

前記テーパーマルチコアカプラは、複数の個々のファイバを有し、その複数の個々のフ

ファイバのそれぞれはテーパー・カプラ本体において一緒にまとめられる第1端を有し、
前記個々のファイバのコアは、前記テーパー・カプラ本体を通して延在し、前記マルチ
 コアファイバの前記個々のコアの構成と一致するコア構成を有する端面にて終端し、
前記カプラ端面は、前記マルチコアファイバに接続され、
前記複数のファイバは、前記複数の光スプリッタ内のそれぞれのスプリッタに接続され
たそれぞれの端を有する光アクセス・ネットワーク。

【請求項2】

請求項1に記載の光アクセス・ネットワークであって、
前記マルチコアファイバは単一モードマルチコアファイバである光アクセス・ネットワ
 ーク。

10

【請求項3】

請求項1に記載の光アクセス・ネットワークであって、
前記複数の受動型光ネットワーク・トランシーバは、第1テーパーマルチコアカプラに
 よってマルチコアファイバ・スパンの端に接続され、
前記複数の光スプリッタは、第2テーパーマルチコアカプラによってマルチコアファイ
 バ・スパンの端に接続される光アクセス・ネットワーク。

【請求項4】

請求項1に記載の光アクセス・ネットワークであって、
前記複数の受動型光ネットワーク・トランシーバはアレイとして構成され、
前記マルチチャネル伝送リンクは、前記複数の受動型光ネットワーク・トランシーバの
前記アレイ構成と一致するコア構成を有するマルチコアファイバのスパンを有し、
前記一致するコア構成を有する前記マルチコアファイバ・スパンは、前記マルチコアフ
 ァイバ・スパンの前記複数のコアが前記複数の受動型光ネットワーク・トランシーバ内の
それぞれのトランシーバと位置合せされた状態で前記複数の受動型光ネットワーク・トラ
 ンシーバに直接に接続される端面を有する光アクセス・ネットワーク。

20

【請求項5】

請求項1に記載の光アクセス・ネットワークであって、
前記複数の受動型光ネットワーク・トランシーバは、中央局の光回線終端装置内に配置
 される複数の受動型光ネットワーク・トランシーバを含み、
前記複数の光スプリッタは、リモートモードで接続される複数の光スプリッタを含む光
 アクセス・ネットワーク。

30

【請求項6】

請求項5に記載の光アクセス・ネットワークであって、
前記リモートモードで接続される前記複数の光スプリッタは加入者構内における光ネッ
 トワークユニットに接続されている光アクセス・ネットワーク。

【請求項7】

請求項5に記載の光アクセス・ネットワークであって、
前記複数の受動型光ネットワーク・トランシーバは、1490ナノメートルの波長のダウ
 ンストリーム信号の送信機と、1310ナノメートルの波長のアップストリーム信号の受信
 機とを備える光アクセス・ネットワーク。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本願は、次の米国特許仮出願の優先権の利益を主張するものであり、次の米国特許仮出願は、本願の譲受人によって所有され、参照によってその全体が本明細書に組み込まれている。

2010年3月16日に出願した米国仮出願第61/314,183号、および

2010年3月10日に出願した米国仮出願第61/312,497号。

【0002】

50

本発明は、全般的には多芯ファイバ伝送のシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0003】

インターネット・サービスの急速かつ全世界的な増加は、大容量光ファイバ通信の必要を加速してきた。図1に、従来技術による例示的な光ネットワーク・アーキテクチャ20の単純化された図を示す。このネットワーク・アーキテクチャは、コア・ネットワーク60を介してデータを送信し、受信するデータ・センタ40を含む。アクセス・ネットワーク80が、コア・ネットワーク60に接続され、ネットワーク加入者の構内90にデータを送信し、ネットワーク加入者の構内90からデータを受信するのに使用される。

【0004】

図2は、アクセス・ネットワーク80の例示的なアーキテクチャの単純化された図である。コア・ネットワーク60からのデータは、光回線終端装置(OLT)84の中央局(CO)82によって受信される。その後、そのデータは、リモート・ノード(RN)86に転送され、RN86では、受動光スプリッタ88が、そのデータをネットワーク加入者の構内90(図1)に配置された複数の光ネットワーク・ユニットONU1…ONU_nに分配するのに使用される。各ONU_nは、その信号を受動光コンバイナ88に送り、その信号はOLT84で受信され、その後、これらの信号は、コア・ネットワークに送信される。

【0005】

最近の情報理論研究は、ファイバあたりの容量が光ネットワークにおける極限点に達したことを示した。したがって、ファイバあたりの容量を増やすために多芯ファイバ(MCF)を使用するネットワーク・コンポーネントの設計および開発へのかなりの関心がある。実用的応用例でMCFのシステム性能およびコスト有効性に対して大きい影響を有するクリティカルな問題は、(1) トランシーバからMCFに出入りする個々の信号を結合する構造および技法の開発、(2) 長距離にわたって低損失低クロストークで各コア内の信号トランスポートを可能にする効率的なMCFの設計および実証、ならびに(3) 高いケーブル密度と共に低コストでトランシーバとして市販コンポーネントを使用することができるMCF伝送システムの開発である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】 米国仮出願第61/314,182号明細書

【特許文献2】 米国特許第5,864,644号明細書

【特許文献3】 米国仮出願第61/314,181号明細書

【特許文献4】 米国仮出願第61/314,184号明細書

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の第1の態様は、第1および第2の複数の伝送デバイスがあり、第1および第2の複数の伝送デバイスのうちの少なくとも1つがアレイとして構成される光データ・リンクを対象とする。マルチチャネル伝送リンクは、その間で複数の並列伝送チャネルを形成するために第1の複数の伝送デバイスに接続された第1端および第2の複数の伝送デバイスに接続された第2端を有する。マルチチャネル伝送リンクは、現在のマルチファイバ配置またはリボン配置より大幅に小さいコア間間隔を有し、複数の伝送デバイスのうちの少なくとも1つのアレイ構成と一致する構成を有する、複数の個々のコアを有する多芯ファイバを含む。多芯ファイバは、多芯ファイバの個々のコアが複数の伝送デバイスのうちの少なくとも1つ内のそれぞれのデバイスと位置合せされた状態で複数の伝送デバイスのうちの少なくとも1つに直接に接続される端面を有する。本発明のさらなる態様によれば、マルチチャネル伝送リンクは、多芯ファイバを複数の伝送デバイスのうちの少なくとも1つに接続するテーパー多芯カプラを含む。

【0008】

本発明のさらなる態様は、複数の受動光ネットワーク・トランシーバと、複数の光スプリッタと、複数の並列伝送チャンネルをその間で形成するために複数の受動光ネットワーク・トランシーバに接続された第1端および複数の光スプリッタに接続された第2端を有するマルチチャンネル伝送リンクとを含むアクセス・ネットワークを対象とする。マルチチャンネル伝送リンクは、複数の個々のコアを有する多芯ファイバの少なくとも1つのスパンを含む。

【0009】

マルチチャンネル伝送リンクは、テーパー・カプラ本体で一緒にまとめられるそれぞれの第1端を有する複数の個々のファイバを含むテーパー多芯カプラによって複数の光スプリッタに接続される。個々のファイバのコアは、伝送リンクの端で多芯ファイバ・スパンの個々のコアの構成と一致するコア構成を有する端面で終わるテーパー・カプラ本体を通して延びる。カプラ端面は、多芯ファイバに接続され、個々のファイバは、複数の光スプリッタ内のそれぞれのスプリッタに接続されたそれぞれの端を有する。

10

【0010】

本発明のもう1つの態様は、第1および第2の複数の伝送デバイスと、第1の複数の伝送デバイスと第2の複数の伝送デバイスとの間の複数の並列伝送チャンネルを形成するために第1の複数の伝送デバイスに接続された第1端および第2の複数の伝送デバイスに接続された第2端を有するマルチチャンネル伝送リンクとを含む光コア・ネットワークを対象とする。

20

【0011】

マルチチャンネル伝送リンクは、複数の個々のコアを有する多芯ファイバの少なくとも1つのスパンを含む。第1の複数の伝送デバイスおよび第2の複数の伝送デバイスのうちの少なくとも1つは、テーパー・カプラ本体で一緒にまとめられるそれぞれの第1端を有する複数の個々のファイバを含むテーパー多芯カプラによって多芯ファイバの端に接続される。個々のファイバのコアは、多芯ファイバの個々のコアの構成と一致するコア構成を有する端面で終わるテーパー・カプラ本体を通して延びる。カプラ端面は、多芯ファイバに接続され、個々のファイバは、第1の複数の伝送デバイスおよび第2の複数の伝送デバイスのうちの少なくとも1つ内のそれぞれのデバイスに接続されたそれぞれの端を有する。

【0012】

本発明の上記の態様ならびにその利益は、下で詳細に述べられる。

30

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】従来技術による例示的な光ネットワーク・アーキテクチャを示す単純化された図である。

【図2】従来技術によるアクセス・ネットワークの例示的なアーキテクチャを示す単純化された図である。

【図3】本発明の態様による高速光データ伝送のシステムを示す図である。

【図4】本発明の態様によるテーパー多芯カプラを示す等角図である。

【図5】本発明の態様によるグレーデッドインデックス多芯ファイバの端面を示すイメージである。

40

【図6】断層撮影インデックス・プロファイラ (tomographic index profiler) によって測定された、図5に示された多芯ファイバの屈折率分布を示す図である。

【図7】本発明の態様による、空間分割多重、波長分割多重、マルチチャンネル、マルチスパン伝送システムを示す概略図である。

【図8】本発明の態様によるテーパー多芯コネクタを示す概略図である。

【図9】本発明の態様による例示的なPONアーキテクチャを示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

50

本発明の態様は、(1) 高性能スーパーコンピュータおよびデータ・センタ、(2) コア・ネットワーク、ならびに(3) 光アクセス・ネットワークの領域におけるM C F 伝送アプリケーションで使用される構造および技法を対象とする。

【0015】

この3つの文脈での応用に関するシステム要件およびトランシーバ・テクノロジーには大きい相違がある。したがって、個々のトランシーバとM C F との間の接続性をもたらすのに使用される構造および技法は、異なる。

【0016】

この説明は、次のように編成されている。

1. データ・センタ
2. コア・ネットワーク
3. 光アクセス・ネットワーク
4. 要約
5. 結論

10

【0017】

1. 高性能スーパーコンピュータおよびデータ・センタ

データ・センタおよび高性能コンピューティング環境は、通常、数千個または数万個の光リンクを含む。これらの光リンクのうちで最長の光リンクは、通常、100m未満の長さを有する。これらの高速並列光データ・リンクの成功の展開を保証するための主要な要件は、低コスト、高密度、および低電力消費である。

20

【0018】

以前の手法は、ファイバあたり1データチャネル配置と共に多モード・ファイバ・リボンを利用する、1次元並列光データ・リンクに焦点を合わせた。しかし、そのようなシステム構成は、コストが高く、複雑であり、かさばる。

【0019】

図3は、高速光データ伝送のシステム100を示す図であり、ここでは、多モード多芯ファイバ(M C F) 120が、送信機のアレイ140と対応する受信機のアレイ160との間で複数の高速並列光データ・リンク124を提供するのに使用される。現在の例では、送信機のアレイ140は、垂直共振器面発光レーザ(V C S E L)、シリコン・フォトリソクス・デバイス、または類似物の2次元(2D)アレイを使用して実施され、受信機のアレイ160は、表面法線P i N光検出器または類似物の2Dアレイを使用して実施される。本開示において、送信機、受信機、および類似物を、包括的に「伝送デバイス」と称する。

30

【0020】

現在の例では、並列データ・リンクを提供するのに使用されるM C Fは、M C Fの10mから100mにわたる7つのチャネルの同時伝送が可能な7コア・グレーデッドインデックス多芯ファイバである。そのようなファイバは、本願の譲受人によって所有され、参照によってその全体が本明細書に組み込まれている、米国仮出願第61/312,497号に記載されている。現在の議論から、説明される技法および構造を、他のタイプのファイバを使用して実施できることは明白である。たとえば、単一モード7コアM C Fが、本願の譲受人によって所有され、参照によってその全体が本明細書に組み込まれている、米国仮出願第61/314,183号明細書に記載されている。

40

【0021】

挿入画130に示されているように、7つの個々のM C Fコア122は、六角形構成で配置され、6つのコアが六角形の頂点に位置決めされ、1つのコアが六角形の中央に位置決めされている。この配置は、隣接するコアの間の適切な距離を有する、ファイバ構造内のコアの効率的なパッキングをもたらす。

【0022】

コアの幾何形状が伝送デバイスの幾何形状と一致するならば、長方形アレイなどの他の配置を使用することができる。また、7コアを有するM C Fが図示されているが、ファイ

50

バ、カプラ、および伝送デバイスへの結合のあるクリティカルな特徴が損なわれない限り、任意の個数のコアをMCF内で構成することができる。具体的に言うと、コアの減衰が、従来の単一コア・ファイバに類似することが必須である。これは、コア製造の周知の方法を使用して達成することができるが、アセンブリ方法が追加の減衰を導入しないことをも必要とする。また、コアの間およびコアの中のクロストークを管理し、各コア内で伝搬する光学場の分布に依存するコア間間隔に制限を設けなければならない。さらなる考慮事項は、コア位置が、従来の方法を使用してファイバを一緒にスプライスできるのに十分な公差で維持されなければならないことである。これは、マーカーが、1つまたは複数のコアを一意に識別するためにファイバ内に導入されることを必要とする場合がある。

【0023】

挿入画150aは、エミッタ・アレイ140およびMCF 120の第1端を含む、伝送リンク100の第1端150の拡大分解図を示す。挿入画170aは、第2端の拡大分解図を示す。

【0024】

エミッタ・アレイ140および受信機アレイ160内の個々のデバイス142および162は、特にコア直径およびコア・ピッチに関してMCFコア122の構成と一致するそれぞれの2次元(2D)構成に配置される。この配置は、個々のMCFコア122がそれぞれの個々の送信機142に位置合せされた状態で、MCFの第1端面126を送信機アレイ140に直接に取り付けることを可能にする。同様に、MCF 120の第2端面128を、個々のMCFコア122がそれぞれの個々の受信機162に位置合せされた状態で受信機アレイ160に直接に取り付けることができる。この形で、複数の高速光リンクが作成される。

【0025】

図3に示された例示的なシステム100では、送信機のアレイは、MCFの第1端に突合せ結合(butt-coupled)されたVCSELの2Dアレイを含み、アレイ内の各VCSELは、それぞれの個々のMCFコアに位置合せされる。各VCSELを、データ信号を用いて直接に変調することができる。受信機のアレイ160は、MCFの第2端に突合せ結合された表面法線PIN検出器の2Dアレイを含み、アレイ内の各表面法線PIN検出器は、それぞれの個々のMCFコアに位置合せされる。

【0026】

説明される配置を使用して、単一コア・ファイバを使用するシステムと比較して、伝送システムの容量における7倍の増加を達成することが可能であることがわかる。説明される配置は、高い空間密度を達成する。2D VCSELはウェハ・レベルで製造できるので、製造コストは劇的に下がる。

【0027】

現在の例では、2D VCSELアレイを、市販デバイスを使用して実施することができ、市販デバイスは、現在、10Gb/sもの高い帯域幅および50μmもの小さい中心間ピッチを有する。しかし、2D VCSELアレイの最小中心間ピッチは、熱および電気クロストークによって50μmの範囲で制限され得る。したがって、いくつかの状況では、VCSELの2Dアレイの構成を所与のMCFの幾何構造と直接に一致させることが可能ではない。また、一般的に言って、MCFが従来の単一コア・ファイバと同一のまたはこれに匹敵する外径すなわち125μm程度の外径を有することが有利である。

【0028】

したがって、図4に、上記および他の文脈でトランシーバおよび類似デバイスとの接続性を提供する、本発明のさらなる態様によるテーパー多芯カプラ180の等角図を示す。図2に示されているように、テーパー多芯カプラ180は、複数の個々のコア184と共にある長さのMCFファイバ本体182を含む。ファイバ本体182は、第1端面186と第2端面188との間で断熱的にテーパー加工される。

【0029】

第1端面186は、VCSELのアレイまたは同様の送信機デバイスと一致するサイズ

10

20

30

40

50

および構成を有する。この配置は、突合せ結合技法または類似物を使用して、カブラ・ファイバの個々のコア184が送信機のアレイ内のそれぞれのデバイスに位置合せされた状態で、第1端面をVCSELのアレイに直接に取り付けることを可能にする。

【0030】

第2端面188は、従来の単一コア・ファイバと同一の外径を有するMCF 120と一致するサイズおよびコア構成を有する。したがって、カブラの第2端面188を、カブラの個々のコア184がそれぞれのMCFコア122に位置合せされた状態でMCF端面126にスプライスすることができる。カブラ180とMCF 120との間の低損失スプライシングは、方位制御を有する市販の偏波維持スプライサを使用して達成することができる。その代わりに、多芯ファイバに最適化された方位監視および制御を有するスプライサを、改善されたスプライシングのために使用することができる。

10

【0031】

図5に、上で説明したグレーデッドインデックスMCFの端面190の、その構造を示すイメージを示す。図示の例では、MCFは、約 $26\mu\text{m}$ のコア直径および約 $39\mu\text{m}$ のコア・ピッチを有する、六角形アレイに配置された7つの個々のコア192を含む。クラディング外径は、 $125\mu\text{m}$ であり、アクリル樹脂二重コーティング層の外径は、 $250\mu\text{m}$ である。

【0032】

1. $3\mu\text{m}$ での7つの個々のMCFコアの平均伝送損失は、約 0.5dB/km であり、これは、従来のグレーデッドインデックス・ファイバの典型的な値である。高速並列MCF伝送、たとえば 10Gb/s 超を達成するためには、個々のコアの間にクロストークがほとんどまたは全くなく、その結果、各コアの送信される信号が、他のコアで送信される信号からの大量の干渉を受けないようにすることが必要である。さらに、グレーデッドインデックス・プロファイルの最適化された設計および正確な制御は、製造プロセス中の各コア内の適切なトレンチ形状と共に、各コア内の中央モードおよび外側モードを正確に制御できるようにするために、モード帯域幅を増やせるようにするために必須である。コア、特に外側コアの変形を除去できる形でファイバ製造を実行することも重要である。これは、下で説明するように、基本的な多芯ファイバ幾何形状を作るのに使用される方法に依存する周知の方法を使用して達成することができる。

20

【0033】

グレーデッドインデックス多芯ファイバを、スタックアンドドロー (stack-and-draw) プロセスを使用して製造することができる。複数のフィラー要素 (ロッド、管など) の中に位置決めされた複数のコア・ロッドを含むプリフォームが組み立てられる。プリフォーム・アセンブリを一緒に保持する1つの形は、たとえば、その中にロッドが位置決めされる外側管を使用することである。プリフォームは、ターゲット・ファイバ・パラメータが維持されることを保証するために、製造プロセス中に監視される。コアの幾何配置、コアの間隔、およびコア偏心率も、製造プロセス中に品質管理のために監視される。

30

【0034】

さらに、ファイバ引抜き時にコア配置が所望のターゲット構成を達成するように、プリフォーム外周を、プラズマ、HFエッチング、機械的研磨、または類似物によって選択的にエッチングすることができる。コア・ロッドの正しい位置決めおよびロッドの間隔間隔の正しい処理 (または除去) を用いて、コア変形を最小にすることができる。これは、コア・ロッドの間隔間隔を固体フィラー・ロッドまたは固体フィラー粒子で充てんすることによって、均一なガラス本体に穴にコア・ロッドを挿入することによって、または最小限のボイド・スペースと共に一緒に束ねられる形状にコア・ロッドを研磨することによって、達成することができる。

40

【0035】

プリフォーム・スタックは、組み立てられた後に、当技術分野で既知の技法を使用して、加熱され、合併され、多芯ファイバに引き抜かれる。

50

【0036】

図6に、断層撮影インデックス・プロファイルによって測定された、多芯ファイバの屈折率分布194を示す。比屈折率差は、約2%である。図6から、コア196のすべてが、かなり円形であり、最適化されたグレーデッドインデックス・プロファイルを維持することがわかる。

【0037】

ある信号コアから隣接コアへの光クロストークは、MCFの設計および製造における重要な問題である。多芯ファイバのクロストーク特性は、部分的には、屈折率分布、幾何学的構造、および類似物などのファイバ設計特徴に依存する。多芯ファイバのクロストーク特性は、ファイバ長、曲げ特性、その他などの他の要因にも依存する。

10

【0038】

上で説明したMCFについて、17cm直径の直径を有するリールに巻き付けられたファイバの550m長さでの中央コアから隣接外側コアへの光クロストークが、中央コアが850nm波長多モードVCSELによって励起された時に、ファイバの出力端面で光出力強度分布をスキャンすることによって測定された。6つの外側コアと中央コアとの間の550mファイバでのクロストークは、すべて、-40dB未満になることが測定された。

【0039】

MCF接続性を高めるために、また、多モードMCFとVCSEL/PIN検出器の2Dアレイとの間の突合せ結合の結合効率および空間公差を高めるために、それぞれのGRINレンズを、MCFの各個々のコア上に製造することもできる。グレーデッドインデックス・プロファイルを有する複数のコア・ロッドから作られたMCFは、コンパクトなデバイス内に複数のGRINレンズを提供して、MCFとトランシーバとの間の相互接続をもたらす。

20

【0040】

本発明のさらなる態様によれば、MCF内の個々のコアの方位を保つために、MCFは、どのコアがどの送信機に接続されるのかを区別するためにマーカーを設けられる。このマーカーは、溝、平坦な表面、もしくは類似物などの機械的特徴、または吸収体、エミッタ、散乱体、屈折器、もしくは類似物などの光学的特徴を使用して実施することができる。マーカーは、方位のインジケータとして働くことができ、あるいはその代わりに、好ましい方位を機械的に作ることができる（たとえば、平坦表面マーカーは、結合中の望まれない方位を防ぐことができる）。

30

【0041】

2. コア・ネットワーク

コア・ネットワークは、ネットワーク・アーキテクチャのバックボーン（背骨）とみなすことができ、通常は、数百kmまたは数千kmの長さを有するデータ・リンクを含む。現在の光コア・ネットワークでは、分布帰還型（DFB）レーザーを有するLiNbO₃マッハツェンダ（MZ）変調器が、通常は送信機として使用され、高速PIN光検出器が、受信機として使用される。

【0042】

40

光コア・ネットワークでのファイバあたりの容量は、10年おきに約100の割合で増加した。高密度波長分割多重（WDM）技法および偏波分割多重（PDM）技法を使用するファイバでの32-Tb/sの総容量が、最近、研究団体で実証され、数Tb/sのトランスポート容量が、商業的に入手可能である。100Gb/sイーサネットが近い将来に展開されることと、オペレータ・キャリアがファイバあたり100Tb/s超をトランスポートできることを必要とすることが、期待される。しかし、最近の研究は、ファイバあたりの容量が、現在の伝送技法を使用するファイバあたり100Tb/sに達することができないことを示した。したがって、ファイバ・テクノロジーにおける「破壊的」イノベーションすなわち、市場での広範囲にわたる変化を引き起こすイノベーションが、所望の容量を達成するために必要である可能性がある。本明細書では、1つのそのような破壊

50

的イノベーションが、コア・ネットワークのために空間分割多重（SDM）と共にMCFを使用することであることを提案する。

【0043】

これから、本発明のさらなる態様による、単一モードMCFを用いてSDMを実行し、SDM、WDM、およびPDMマルチスパンMCF伝送を形成するのにテーパ多芯コネクタ（TMC）を使用する方式を説明する。

【0044】

図7に、本発明のさらなる態様による、SDMおよびWDM（またはPDM）マルチスパン伝送リンク200の概略図を示す。伝送リンク200では、第1および第2のテーパ多芯コネクタ（TMC）240および260が、それぞれ、単一モードMCF 240の一連のスパンへおよびこれから多重化デバイス（たとえば、WDMまたはPDM）242および対応する多重分離デバイス（たとえば、波長分割デマルチプレクサまたは偏波分割デマルチプレクサ）に接続するのに使用される。各スパンの後に、多芯光増幅器224が、通常、伝送損失を補償するために使用される。代替案では、分散ラマン増幅を使用して、信号がファイバに沿って伝搬する時にその信号を増幅することができる。

【0045】

伝送リンク200は、7コア単一モードMCF 220の一連のスパン220a～nを含む。各スパン220a～nは、数十kmから数百kmの範囲に及ぶ距離にわたる同時7コア伝送が可能である。MCFコア222の例示的な断面構成が、挿入画230に示されている。

【0046】

第1TMC 240は、空間分割多重（SDM）を提供するため、および複数の波長分割多重または偏波分割多重（WDMまたはPDM）光デバイス242への接続性を提供するために最初のMCFスパン220aの先端に設けられ、光デバイス242は、既知の波長分割多重または偏波分割多重の技法242を使用して異なる波長または偏波で複数の送信機244を組み合わせるのに使用される。第2TMC 260は、空間分割多重分離を提供するため、および複数の波長分割多重分離または偏波分割多重分離（WDDMまたはPDDM）光デバイス262への接続性を提供するために、最後のMCFスパン220nの後端に設けられ、光デバイス262は、それぞれの複数の光受信機266に接続される波長チャネルまたは偏波チャネル264を多重分離するのに使用される。

【0047】

図7に示されているように、多芯増幅器224を、信号増幅を提供するために、MCFスパン220a～nの間に配置することができる。現在の例では、多芯増幅器242は、希土類、たとえば、エルビウムまたはエルビウム－イットリウムをドーピングされたファイバを含む。多芯ラマン増幅器またはパラメトリック増幅器を、分布増幅またはランプ増幅（lump amplification）のために使用することができる。始端と受信機端との両方のWDMカプラを、光増幅用のポンプ光を提供するのに使用することができる。

【0048】

図8に、より詳細なテーパ多芯コネクタ（TMC）240の概略図を示す。TMC 240は、複数の光ファイバ244を含み、各ファイバは、それを通して延びるそれぞれのコア246を含む。複数のファイバ244は、テーパ・カプラ本体248で一緒にまとめられ、テーパ・カプラ本体248は、許容できる低いレベルのクロストーク、たとえば－25dB未満を伴って個々のファイバ・コア246の分離を維持する。TMCからの挿入損失も、できる限り小さく保たなければならない。テーパ・カプラ本体248は、端面250で終わる。

【0049】

現在の例では、TMC 240は、例示的なMCF 220の端面230の外径と一致する外径を有する。さらに、TMC端面250は、コア直径、コア・ピッチ、モードフィールド・サイズ、モードフィールド形状、および類似物に関して、多芯ファイバ220の

コア 2 2 2 の構成と一致するコア構成を有する。個々のファイバ 2 4 4 を、波長チャネルまたは偏波チャネルを多重化（または多重分離）するのに使用でき、複数の光送信機、光受信機、または同様の伝送デバイスのいずれかに接続される、それぞれの波長分割多重デバイスまたは偏波分割多重デバイスに接続することができる。カプラ端面 2 5 0 は、カプラ・コア 2 4 6 がそれぞれの M C F コア 2 2 2 に位置合せされた状態で、M C F 端面 2 3 0 に直接に接続される。カプラ端面および M C F 端面は、低損失融着接続技法または類似物を使用して接続される。

【0050】

説明された T M C の 1 つの利益は、これを使用して W D M デバイスまたは P D M デバイスと組み合わせられた伝送リンク内で S D M 機能を実行でき、したがって、伝送容量が全般的に増えることである。

10

【0051】

製造技法を含むテーパ多芯コネクタは、本願の譲受人によって所有され、参照によってその全体が本明細書に組み込まれている、米国仮出願第 6 1 / 3 1 4 , 1 8 2 号により詳細に記載されている。

【0052】

本発明が、米国特許第 5 , 8 6 4 , 6 4 4 号に示されたテーパ・ファイバ・バンドル (T F B) などの従来技術のデバイスとは異なることに留意されたい。1 つの重要な相違は、現在説明されている T M C が、複数の高速並列データ・リンクの接続性を提供するの
に使用され、したがって、複数の個々のコアの完全性を保つことである。その一方で、T
F B は、全く異なる応用、すなわち、クラディング励起 (c l a d d i n g - p u m p e d) 型のファイバ・レーザー、増幅器、または単一のコアおよびポンピング光エネルギーが打ち込まれる大きいクラディングを有する同様のデバイスに光エネルギーを供給するの
に使用される。したがって、T F B は、複数の単一ファイバ入力を有することができるが、
複数のコアの完全性を維持することができず（すなわち、低いクロストークを実現しない）、並列データ伝送に使用することはできない。

20

【0053】

長距離マルチスパン伝送など、いくつかの応用では、図 7 に示された増幅器 2 2 4 などの多芯増幅器が必要である。多芯ファイバ増幅器は、本願の譲受人によって所有され、参照によってその全体が本明細書に組み込まれている、米国仮出願第 6 1 / 3 1 4 , 1 8 1
号に記載されている。

30

【0054】

3. 光アクセス・ネットワーク

光アクセス・ネットワークでは、受動光ネットワーク (P O N) アーキテクチャが一般に使用され、このアーキテクチャでは、中央局の光回線終端装置 (C O / O L T) が、約 2 0 ~ 6 0 k m 程度の長さを有する光ファイバによってリモート・ノード (R N) に接続され、受動光スプリッタが、加入者構内の光ネットワーク・ユニット (O N U) に接続される。I T U - T などのさまざまな標準規格に従って、アップストリーム信号は、1 3 1 0 n m の範囲内の波長を有し、ダウンストリーム信号は、1 4 9 0 n m の範囲内の波長を有する。光アクセス・ネットワークでは、直接変調レーザー (D M L) 、エレクトロアブソーバ・モジュレーテッド・レーザー (e l e c t r o - a b s o r b e r m o d u l a t e d l a s e r , E M L) 、または同様のデバイスが、一般に送信機として使用され、アバランシェ・ダイオード検出器または同様のデバイスが、受信機として使用される。

40

【0055】

インターネット・サービスの最近のすばやい増加は、多数の供給ファイバの増加する必要をもたらした。したがって、低コスト高ファイバカウント高密度ケーブルが、将来の光アクセス・ネットワーク用の実用的な P O N システムを構築するために必要である。M C F は、現在のケーブル直径によって課せられる制限を克服する解決策を提供する。ダクト・パイプ

50

区域内の多数の供給ファイバ・ケーブルの輻輳を解決するために、単一モードMCF伝送をPONシステムに使用することができる。

【0056】

図9に、本発明の態様による例示的なPONアーキテクチャ300の概略図を示し、この図では、7コア単一モードMCF 320ならびに第1および第2のTMC 340および360が、7つのチャンネルの同時伝送に使用される。

【0057】

CO/OLT 342では、複数のPONトランシーバ344（1490nmダウンストリーム信号送信機および1310nmアップストリーム受信機）が、複数のそれぞれの単一コア・ファイバ346を介して第1TMC 340に接続され、単一コア・ファイバ346のそれぞれは、それを通して延びるそれぞれのコア348を含む。第1TMC端面350は、融着接続または同様の技法を使用して、単一モードMCFの第1端面330に接続される。

【0058】

RN 362では、第2TMC 360の端面364が、融着接続または同様の技法を使用して、MCFの第2MCF端面332に接続される。それぞれのコア368を有する個々のファイバ366は、第2TMC 360で一緒にまとめられ、コア368は、別々にTMC端面364まで延びる。ファイバ366は、それぞれの光ファイバ・スプリッタ370に接続される。現在の例では、光ファイバ・スプリッタは、1:32の分割比を有する。各スプリッタは、加入者の構内のONU 372に接続される。

【0059】

4. 要約

上で説明したトポロジおよび応用は、別個であるが、ネットワークを構成する光コンポーネントは、複数の点で共通性を有する。MCFに関して、コアが単一モードであろうと複数のモードを担持しようと、光減衰は、匹敵する単一コア・ファイバより大幅に大きくならない。

【0060】

単一モードMCFに関して、損失は、1310nmで0.42dB/kmを超えてはならず、1490nmで0.3dB/kmを超えてはならない。多モードMCFに関して、損失は、850nmで2.2dB/km、1300nmで0.5dB/kmを超えてはならない。これらの損失レベルは、効率的な通信リンクおよび損失バジェットを確立するために重要である。これらの損失レベルの達成は、本願の譲受人によって所有され、参照によってその全体が本明細書に組み込まれている、米国仮出願第61/312,497号および米国仮出願第61/314,184号に記載されている。コア特性およびアセンブリ特性に対する同様の注意が、コアの間およびコアの中でのクロストークを管理するために必要である。具体的に言うと、多モードMCFのクロストークは、ファイバの550m長さで-40dB未満でなければならない。単一モードMCFのクロストークは、アクセス・ネットワークの伝送波長ウィンドウ内で-38dB未満でなければならない。

【0061】

第2の共通の特徴は、コアが、連結されたケーブル・スパンを組み立てるためまたはTMCなどの入力デバイスおよび出力デバイスに結合するためにファイバの容易なスプライシングを可能にするのに十分な、光モードフィールドのサイズおよび形状における位置の正確さおよび精度を有しなければならないことである。これは、ファイバが、1つまたは複数のコアを一意に識別することを可能にするマーカーまたは特徴を有することを必要とする場合がある。MCFへのおよびこれからの結合損失は、リンク・バジェットを閉じるために十分に低くなければならない。クロストークの許容可能レベルは、特定の応用例に依存する。通常のアkses・ネットワークでは、クロストークは、-25dB未満でなければならない。通常のコア・ネットワークでは、クロストークは、-40dB未満でなければならない。

【0062】

10

20

30

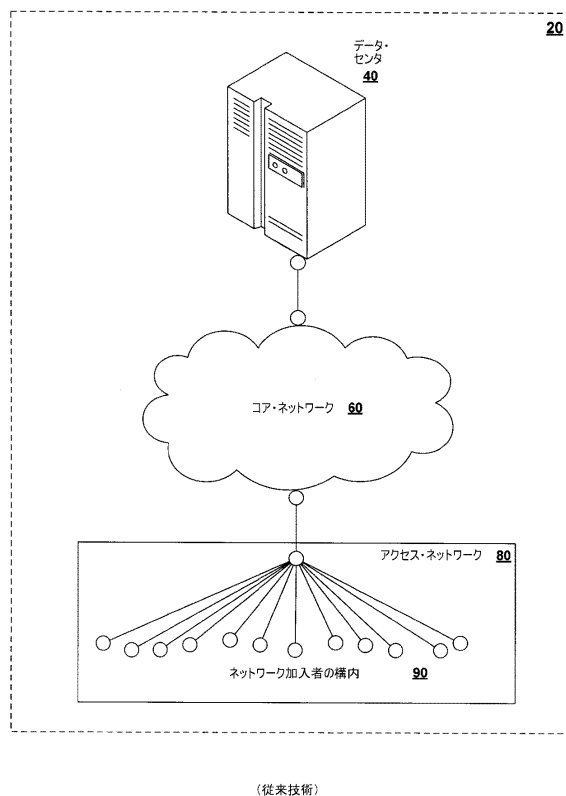
40

50

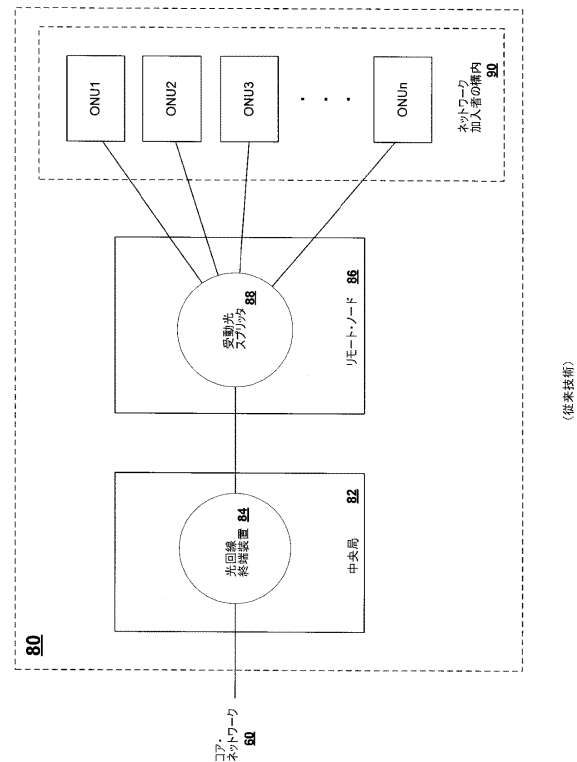
5. 結論

前述の説明は、当業者が本発明を実践することを可能にする詳細を含むが、この説明が、性質において例示的であることと、その多数の修正形態および変形形態が、これらの教示の利益を有する当業者に明白になることを了解されたい。したがって、本明細書の発明が、本明細書に添付された特許請求の範囲のみによって定義されることと、特許請求の範囲が、従来技術によって許される限り広く解釈されることとが意図されている。

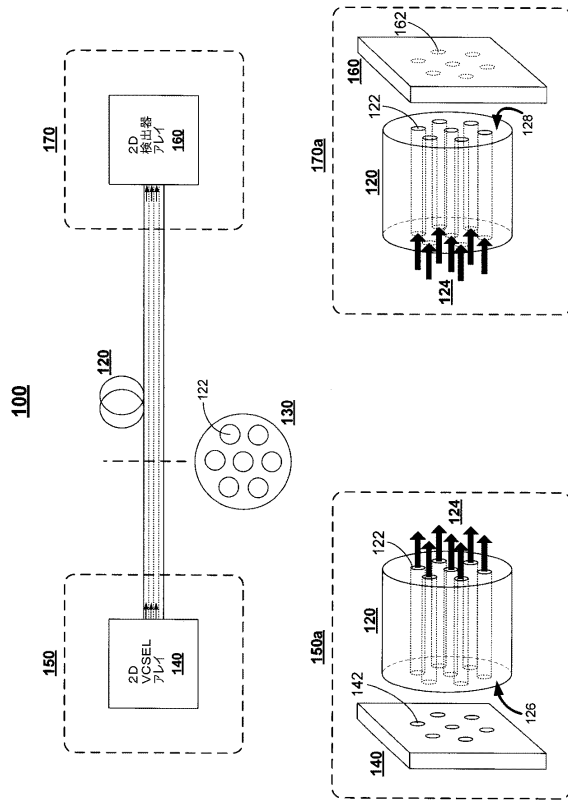
【図 1】



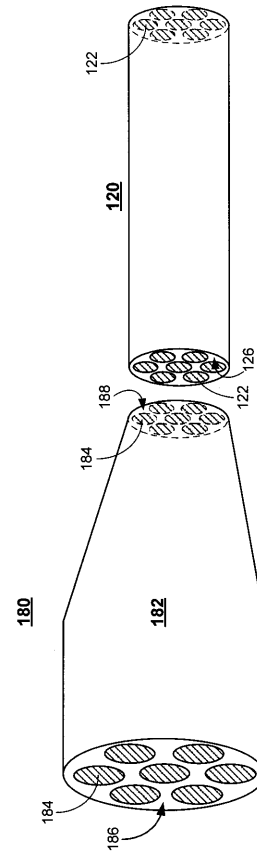
【図 2】



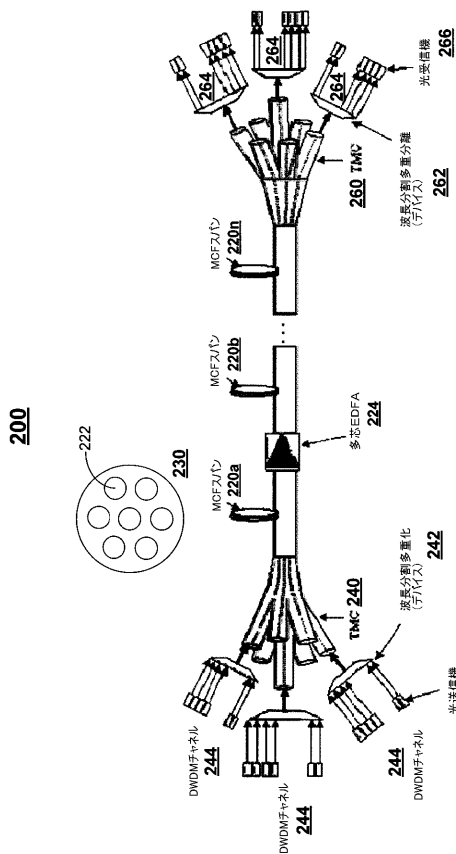
【図 3】



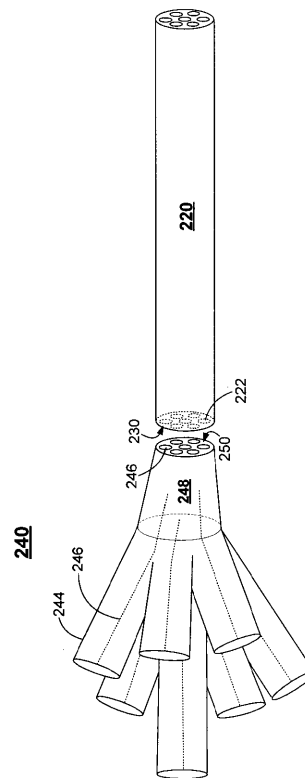
【図 4】



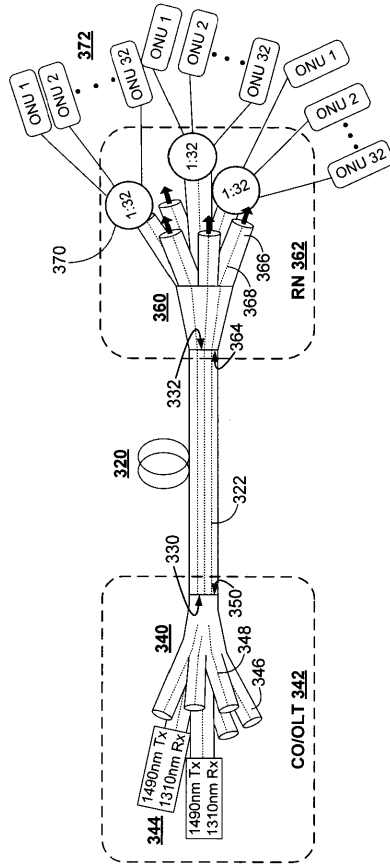
【図 7】



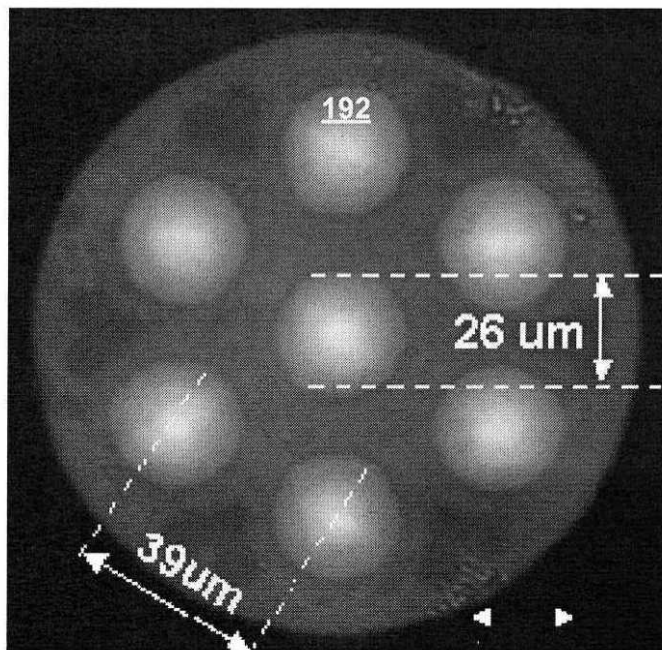
【図 8】



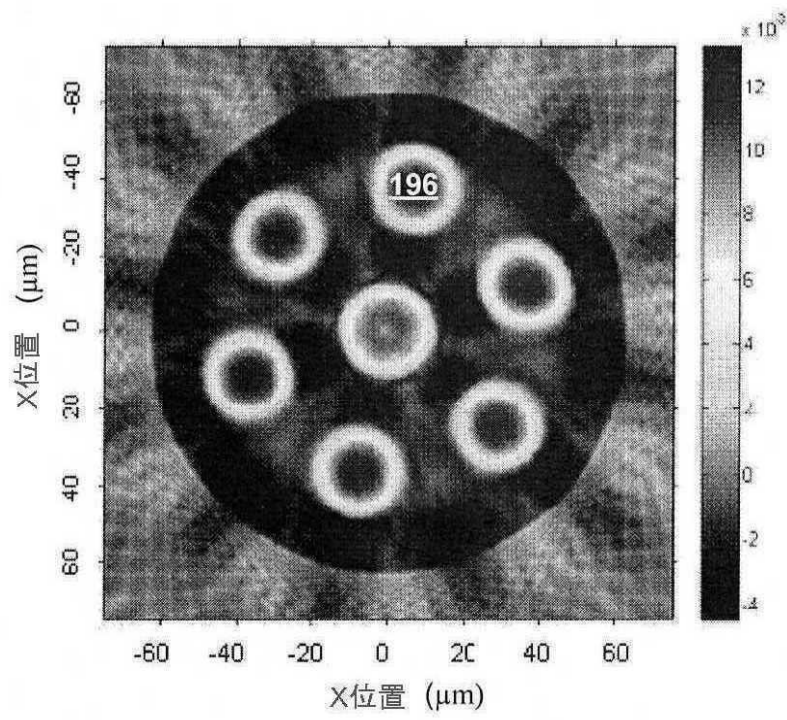
【図 9】

300

【図 5】

190

【図 6】



フロントページの続き

- (72)発明者 ジョン エム. フィニ
アメリカ合衆国 07302 ニュージャージー, ジャーシィ シティ, セカンド ストリート
298, ナンバー3エル
- (72)発明者 シエリー エフ. タウネイ
アメリカ合衆国 08807 ニュージャージー, ブリッジウォーター, レン ウエイ 3
- (72)発明者 マン エフ. ヤン
アメリカ合衆国 07922 ニュージャージー, バークレイ ハイッツ, ハイランド サークル
75
- (72)発明者 ベンユアン ズー
アメリカ合衆国 08540 ニュージャージー, プリンストン, ハーバード サークル 76

審査官 後澤 瑞征

- (56)参考文献 特開2009-020347 (JP, A)
特開平02-058006 (JP, A)
特開平10-125988 (JP, A)
特開2011-145562 (JP, A)
特開平09-005581 (JP, A)
特開2011-18013 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04B10/00-10/90
H04J14/00-14/08
G02B 6/42