

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5504347号  
(P5504347)

(45) 発行日 平成26年5月28日 (2014. 5. 28)

(24) 登録日 平成26年3月20日 (2014. 3. 20)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 M 11/02 (2006.01)

G O 1 M 11/02

K

請求項の数 9 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2012-527019 (P2012-527019)	(73) 特許権者	507202736
(86) (22) 出願日	平成22年8月27日 (2010. 8. 27)		パンドウィット・コーポレーション
(65) 公表番号	特表2013-503347 (P2013-503347A)		アメリカ合衆国イリノイ州60487, テ
(43) 公表日	平成25年1月31日 (2013. 1. 31)		インレイ・パーク, パンデュイット・ドラ
(86) 国際出願番号	PCT/US2010/046946		イブ 18900
(87) 国際公開番号	W02011/025936	(74) 代理人	100108453
(87) 国際公開日	平成23年3月3日 (2011. 3. 3)		弁理士 村山 靖彦
審査請求日	平成25年8月26日 (2013. 8. 26)	(74) 代理人	100064908
(31) 優先権主張番号	12/869, 501		弁理士 志賀 正武
(32) 優先日	平成22年8月26日 (2010. 8. 26)	(74) 代理人	100089037
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 渡邊 隆
(31) 優先権主張番号	61/237, 827	(74) 代理人	100110364
(32) 優先日	平成21年8月28日 (2009. 8. 28)		弁理士 実広 信哉
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
早期審査対象出願		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 マルチモードファイバシステム帯域幅を算出する方法を実行するためのコンピュータプログラム  
、該コンピュータプログラムを含むコンピュータシステムおよびマルチモード光ファイバケーブル

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

レーザ光源およびマルチモード光ファイバケーブルの帯域幅を算出するための方法を実行するためのコンピュータ可読のストレージデバイスに記憶されたコンピュータプログラムであって、前記方法は前記マルチモード光ファイバケーブル内におけるモード分散および色分散効果の両方を考慮し、前記方法が、

コアから一連の半径方向オフセット  $r$  で前記マルチモード光ファイバケーブルの前記コアに入射された、中心波長  $\lambda_c$  を有する光パルスを用いて、前記マルチモード光ファイバケーブルの時間的応答  $U(r, t)$  を測定するステップと、

複数のファイバの色分散伝達関数  $H_{cd}(f, r)$  を算出するステップであって、前記複数のファイバの色分散伝達関数は、一連の半径方向オフセット  $r$  での色分散の後、光の出力パルスを光の入力パルスと関連付けるために使用される、複数のファイバの色分散伝達関数  $H_{cd}(f, r)$  を算出するステップと、

前記複数のファイバの色分散伝達関数  $H_{cd}(f, r)$  を用いて算出された、計算された全体の帯域幅  $CB(n)$  を画面上に出力するステップと、  
を含むことを特徴とするコンピュータプログラム。

## 【請求項 2】

レーザ光源およびマルチモード光ファイバケーブルの帯域幅を算出するための方法を実行するための、コンピュータおよび請求項 1 に記載のコンピュータプログラムを含むコンピュータシステムであって、前記方法が前記マルチモード光ファイバケーブル内における

10

20

モード分散および色分散効果の両方を考慮することを特徴とするコンピュータシステム。

【請求項 3】

前記方法が、前記複数のファイバの色分散伝達関数を用いた前記マルチモード光ファイバケーブルの前記時間的応答のフーリエ変換における第 1 の畳み込み積分による色分散効果後に、前記マルチモード光ファイバケーブルの時間的応答  $U_{cd}(r, t)$  を算出し、次に、前記畳み込み積分の逆フーリエ変換により、前記マルチモード光ファイバケーブルの前記時間的応答を時間領域に変換するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 4】

前記方法が、 $n$  個の DMD 重み関数  $W(r, n)$  を用いて、前記マルチモード光ファイバケーブルの色分散された加重応答  $D_{cd}(r, t, n)$  を算出するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 3 に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 5】

前記方法が、全ての半径  $r$  における前記加重応答  $U_{cd}(r, t)$  を合計することにより、色分散された結果として生じる出力パルス  $P_{cd}(t, n)$  を算出するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 4 に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 6】

前記方法が、

ファイバ全体の伝達関数  $H_{fiber}(f, n)$  および前記計算された全体の帯域幅  $C_B(n)$  を算出するステップと、

前記ファイバ全体の伝達関数  $H_{fiber}(f, n)$  および前記計算された全体の帯域幅  $C_B(n)$  を画面上に出力するステップと、

をさらに含むことを特徴とする請求項 5 に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 7】

関連するマルチモード光ファイバケーブル内で連結された、レーザ発射モードの半径方向に依存する波長分布を補正する改善されたマルチモード光ファイバケーブルを設計するための方法であって、前記方法が、

レーザから前記関連するマルチモード光ファイバケーブル内に放射された、スペクトル的に狭く、かつ時間的に短い光パルス放射を利用して、前記関連するマルチモード光ファイバケーブルの時間的応答  $U(r, t)$  を測定するステップであって、ここで、前記光パルスは中心波長  $\lambda_c$  を有し、コアから一連の半径方向オフセット  $r$  で、前記関連するマルチモード光ファイバケーブルの前記コア内に放射される、前記関連するマルチモード光ファイバケーブルの時間的応答  $U(r, t)$  を測定するステップと、

複数のファイバの色分散伝達関数  $H_{cd}(f, r)$  を算出するステップであって、前記複数のファイバの色分散伝達関数は、一連の半径方向オフセット  $r$  での色分散の後、光の出力パルスを光の入力パルスと関連付けるために使用される、複数のファイバの色分散伝達関数  $H_{cd}(f, r)$  を算出するステップと、

前記関連するマルチモード光ファイバケーブル内に放射された前記光パルス放射により生じた前記関連するマルチモード光ファイバケーブル内のモード分散量を、前記複数のファイバの色分散伝達関数を用いて決定するステップと、

前記関連するマルチモード光ファイバケーブル内で連結された、レーザ発射モードの前記半径方向に依存する波長分布の少なくとも一部を補正する改善された屈折率プロファイルを有する前記改善されたマルチモード光ファイバケーブルを設計するステップと、  
を含み、

当記方法ステップの少なくとも 1 つが、プロセッサを有するコンピュータにより実行されることを特徴とする方法。

【請求項 8】

関連するレーザのレーザ発射モードにおける半径方向に依存する波長分布を補正する改善されたマルチモード光ファイバケーブルを設計するための方法であって、前記方法が、

コアから一連の半径方向オフセット  $r$  で前記マルチモード光ファイバケーブルの前記コ

10

20

30

40

50

アに入射された、中心波長  $\lambda_c$  を有する光パルスを用いて、前記マルチモード光ファイバケーブルの時間的応答  $U(r, t)$  を測定するステップと、

前記関連するレーザにおける複数のファイバの色分散伝達関数  $H_{cd}(f, r)$  を算出するステップであって、前記複数のファイバの色分散伝達関数は、一連の半径方向オフセット  $r$  での色分散の後、光の出力パルスを光の入力パルスと関連付けるために使用される、複数のファイバの色分散伝達関数  $H_{cd}(f, r)$  を算出するステップと、

前記改善されたマルチモード光ファイバケーブル内の色分散効果を相殺し、前記改善されたマルチモード光ファイバケーブルの帯域幅を最大化するのに必要な、前記改善されたマルチモード光ファイバケーブル内のモード分散効果量を、前記複数のファイバの色分散伝達関数を用いて算出するステップと、

10

を含み、

前記方法ステップの少なくとも1つが、プロセッサを有するコンピュータにより実行されることを特徴とする方法。

#### 【請求項9】

前記関連するマルチモード光ファイバケーブル内で連結された、レーザ発射モードの半径方向に依存する波長分布の少なくとも一部を補正する改善された屈折率プロファイルを有する前記改善されたマルチモード光ファイバケーブルを設計するステップをさらに含むことを特徴とする請求項8に記載の方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

20

#### 【0001】

関連出願の相互参照

本願は、米国仮特許出願番号第61/237,827号(2009年8月28日出願)である題名「METHODS FOR CALCULATING MULTIMODE FIBER SYSTEM BANDWIDTH AND MANUFACTURING IMPROVED MULTIMODE FIBER」の優先権を主張するものであり、その内容はその全体が参照により本明細書に組み込まれる。

#### 【0002】

本願は、米国特許出願整理番号第12/627,752号(2009年11月30日出願)である題名「MULTIMODE FIBER HAVING IMPROVED INDEX PROFILE」、米国特許出願整理番号第12/797,328号(2010年6月9日出願)である題名「DESIGN METHOD AND METRIC FOR SELECTING AND DESIGNING MULTIMODE FIBER FOR IMPROVED PERFORMANCE」、米国特許出願整理番号第12/859,629号(2010年8月19日出願)である題名「MODIFIED REFRACTIVE INDEX PROFILE FOR LOW-DISPERSION MULTIMODE FIBER」、および米国特許出願整理番号第12/858,210号(2010年8月17日出願)である題名「SELF-COMPENSATING MULTIMODE FIBER」の全てが組み込まれる。

30

#### 【背景技術】

40

#### 【0003】

差動モード遅延(DMD)および有効モード帯域幅(EMB)は、レーザが最適化されたマルチモード光ファイバケーブル(MMF)の帯域幅の数量化に用いられる2つの業界標準のメトリックである。レーザが最適化されたファイバは、OM3(ファイバタイプA1a.2)およびOM4(ファイバタイプA1a.3)と呼ばれるものと同等である。DMDおよびEMB両方の測定および算出手順は、国内標準TIA-455-220-Aおよび国際標準IEC60793-1-49に特定されており、これらは実質的に等しく、本明細書中で区別しないで使われる。

#### 【0004】

DMDおよびEMBの決定に用いられる現在標準化されているアルゴリズムは、特定の

50

測定波長における特定のファイバのモード分散量の評価に適している。ただし、これらはモード分散および色分散効果の両方に正確には対応しないため、EMBは制限および能力（例えば、ビット誤り率（BER）、支持される光リンクの長さ）の概算に用いられる光通信システムモデルでは正確に機能しない。周知かつよく参照されるシステムモデルは、[http://www.ieee802.org/3/ae/public/adhoc/serial\\_pmd/documents/10GEPBud3\\_1\\_16a.xls](http://www.ieee802.org/3/ae/public/adhoc/serial_pmd/documents/10GEPBud3_1_16a.xls)からのダウンロードにより無料で利用可能なIEEE 10 Gbps 連結モデルであるが、これによるモード分散および色分散に起因する効果の概算は、単なる追加的な概算であるため不正確である。パンドウィットの研究所は、従来から理解されているEMBとシステム性能（BER）との比例関係から多くの偏差を発見してきた。なお、図1を参照すると、システム性能（BER）とファイバ帯域幅との関係は線形ではなく、単なる比例関係である。

10

#### 【0005】

米国仮特許出願整理番号第61/187,137号には、種々の半径方向オフセット（大きさおよび遅延時間）におけるファイバ応答の相対変化を計上することにより、DMDを算出する改善されたアルゴリズムが記載されている。しかしながら、この改善は1）通信システムモデルに用いられる、より正確な帯域幅のメトリック、または2）ファイバコア全体における、レーザ送信機によるファイバ結合のスペクトル分布に関する知識無しでモード分散および色分散を補正可能な手段を提供するためには有利に用いられない。このため、特定のレーザ送信機の帯域幅およびファイバ組み合わせを算出するための改善されたアルゴリズムが必要となる。

20

#### 【0006】

参照用に、EMBを決定するための標準アルゴリズムが、下記の6つの工程において要約され、実施例1において明細書に明示される。EMBの決定に必要な要件の包括的なリストの文書化は、本開示の範囲外である。さらなる情報はTIA-455-220-Aに記載されている。

#### 【0007】

標準アルゴリズムの第1の工程では、一連の半径方向オフセット $r$ （50  $\mu\text{m}$ のMMFファイバでは、通常、 $r = 0, 1, 2, 3 \sim 25 \mu\text{m}$ ）でファイバコア内に放射される、中心波長 $\lambda_c$ の光パルスを経験的に狭く、かつ時間的に短くするために、ファイバの時間的応答 $U(r, t)$ の測定にDMD測定装置が用いられる。 $U(r, t)$ が波長の関数であるため、最終の測定値、EMBも波長の関数である。DMDおよびEMBの測定手順に潜在していることは、所定の波長 $\lambda_c$ におけるモード分散効果の数量化のためのみに用いられるという事実である。放射パルスの時間的応答は $R(t)$ である。

30

#### 【0008】

標準アルゴリズムの第2の工程では、ファイバの加重応答 $D(r, t, n)$ は、 $n$ 個のDMD重み関数 $W(r, n)$ を用いて算出される。1つ以上のDMD重み関数は、 $n$ 個のレーザ光源の近接場データから導き出され、レーザ光源が励起するファイバ領域におけるモード分散効果を強調するのに用いられる。所定のレーザ近接場における特定のレーザについての重み関数の決定方法に関する追加的な情報は、TIA-455-220-Aを参照すること。特定のファイバの正確な帯域幅および単一レーザ光源（ $n = 1$ ）が算出される場合には、 $D(r, t, 1)$ は単一レーザ光源の近接場における完全な関数となる。代替的に、算出された帯域幅の範囲を提供するために、特定の用途（例えば、10 GBASE-SRイーサネット（登録商標））に用いられる典型的なレーザの多数のDMD重み関数が用いられてもよい。TIA-455-220-Aでは、10（ $n = 10$ ）個のこのような重み関数 $W(r, 10)$ が用いられる。通常、ファイバの加重応答 $D(r, t, n)$ は次式により算出される。

40

$$D(r, t, n) = U(r, t) W(r, n) \quad (1)$$

#### 【0009】

標準アルゴリズムの第3の工程では、全ての $r$ における加重応答 $D(r, t, n)$ を合

50

計することにより、結果として生じる出力パルス  $P_o(t, n)$  が次式により算出される。

$$P_o(t, n) = \int_r D(r, t, n) = \int_r U(r, t) W(r, n) \quad (2)$$

【0010】

標準アルゴリズムの第4の工程では、ファイバモード分散の伝達関数  $H_{md}(f, n)$  が算出され、算出された有効モード帯域幅  $EMB_c(n)$  が決定される。結果として生じた出力パルス  $P_o(t, n)$  から放射パルス  $R(t)$  を逆畳み込みすることにより、ファイバモード分散の伝達関数が次式により決定される。

$$H_{md}(f, n) = FT\{P_o(t, n)\} / FT\{R(t)\} \quad (3)$$

ここで、 $FT$  はフーリエ変換関数であり、 $EMB_c(n)$  は、ファイバモード分散の伝達関数  $H_{md}(f, n)$  が既定の閾値（多くの場合では  $-3\text{ dB}$ ）と交差する点である、最小周波数として規定される。ファイバモード帯域幅は正規化されたファイバモード帯域幅（単位  $\text{MHz} \cdot \text{km}$ ）の測定に用いられるファイバ長により正規化され得る。

【0011】

$TIA-455-220-A$  では、 $n$  は10であり、10個の算出された正規化されたファイバ帯域幅  $EMB_c(1, 2, 3 \sim 10)$  の最小値は、最小  $EMB_c(\min EMB_c)$  として規定され、特定のファイバおよびレーザ送信機ごとの（10個のDMD重み関数により表される）最小モード帯域幅とみなされる。さらに、 $\min EMB_c$  は、モード分散に要求されるファイバの標準仕様と比較され得る。有効モード帯域幅（ $EMB$ ）は、 $EMB = 1.13 \times \min EMB_c$  として規定される。OM3ファイバにおいては、 $TIA-492AAC-A$  は  $1770\text{ MHz} \cdot \text{km}$  よりも大きな  $\min EMB_c$  を必要とし、OM4ファイバにおいては、 $TIA-492AAD$  は  $4159\text{ MHz} \cdot \text{km}$  よりも大きな  $\min EMB_c$  を必要とする。

【0012】

標準アルゴリズムの第5の工程では、ゼロではないスペクトル幅を有するファイバおよびレーザ光源全体の帯域幅を算出するために、色分散効果がモード分散効果と組み合わせられる。 $TIA-455-220-A$  において、レーザ送信機の発光スペクトル  $L(\ )$  と飛行時間のファイバの波長依存性  $TOF(\ )$  とを乗算することにより、ファイバの色分散伝達関数  $H_{cd}(f)$  が次式により算出される。

$$H_{cd}(f) = FT\{L(\ ) TOF(\ )\}$$

【0013】

飛行時間のファイバの波長依存性  $TOF(\ )$  の測定には、 $TIA-455-168-A$  に記載されている測定手順が用いられてもよい。相対的な飛行時間  $TOF(\ )$  は、考慮される比較的小さい範囲の波長（すなわち、 $840\text{ nm} \sim 860\text{ nm}$ ）にわたって線形であり、それ故、重大な精度の損失無く、線形補間が用いられ得ることが予想される。最後に、 $TIA-455-168-A$  は多くの開始条件を特定し、波長に対する相対的な飛行時間の勾配が、半径方向オフセット  $r$  の強固な関数ではないことが実験的に発見されたため、多くの開始条件が用いられ得る。開始条件の多くは、ファイバの支持モードの全てを完全に励起する開始条件として規定される。

【0014】

レーザ送信機の発光スペクトル  $L(\ )$  の測定には、 $TIA-455-127-A$  に記載された測定手順が用いられ得る。下記から容易に理解されるように、レーザ送信機の発光スペクトルの測定に既定の測定手順を使用することでは、ファイバコア内におけるレーザの種々のスペクトル成分の空間的位置に関する情報が全く与えられないことを理解する必要がある。なぜなら、先行技術のアルゴリズムが帯域幅の数量化のための正確な方法を提供するには適さないからである。

【0015】

標準アルゴリズムの第6の工程では、モード分散効果および色分散と、 $H_{md}(f, n)$  と  $H_{cd}(f)$  との畳み込みとを組み合わせることにより、ファイバ全体の伝達関数  $H_{fiber}(f, n)$ 、および計算された全体の帯域幅  $CB(n)$  が次式により算出され

10

20

30

40

50

る。

$$H_{f i b e r}(f) = H_{m d}(f, n) \times H_{c d}(f) \quad (5)$$

ここで、 $C B(n)$  は  $E M B c(n)$  に関して前述したのと同じ方法により決定されてもよい。

#### 【0016】

不運にも、標準アルゴリズムは、ファイバコア内におけるファイバ結合スペクトルの空間分解能の損失に起因して、過度に単純化されたものである。標準アルゴリズムはファイバコア全域における均一のスペクトル分布を仮定する。この情報がなくとも、色分散のパルス広がりおよび時間遅延（位相シフト）効果は、ファイバの全ての時間的応答において均一に作用し、色分散から生じたコア全体におけるいかなる時間遅延差（位相シフト）効果も考慮されない。この結果、標準アルゴリズムを利用する場合には、モード分散および色分散効果の大きさは加算されるのみであり、減算される可能性はない。

10

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0017】

コア半径にわたるファイバ結合の波長不均質性を考慮して、モード分散および色分散効果の両方を正確に組み込むことが可能な改善された帯域幅算出アルゴリズムを有することが所望される。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0018】

20

一態様では、レーザ光源およびマルチモード光ファイバケーブルの帯域幅を算出するための方法を実行する、コンピュータ可読のストレージ媒体に記憶されたコンピュータプログラムが提供される。この方法はマルチモード光ファイバケーブル内におけるモード分散および色分散効果の両方を考慮する。この方法は、コアから一連の半径方向オフセット  $r$  でマルチモード光ファイバケーブルのコアに入射された、スペクトル的に狭く、かつ時間的に短い、中心波長  $\lambda_c$  を有する光パルスを用いて、マルチモード光ファイバケーブルの時間的応答  $U(r, t)$  を測定することを含むが、これに限定されない。この方法は、複数のファイバの色分散伝達関数  $H_{cd}(f, r)$  を算出することと、複数のファイバの色分散伝達関数  $H_{cd}(f, r)$  を用いて計算された、算出された全体の帯域幅  $C B(n)$  を画面上に出力することをさらに含むが、これらに限定されない。

30

#### 【0019】

一態様では、関連するマルチモード光ファイバケーブル内で連結された、レーザ発射モードの半径方向に依存する波長分布を補正する改善されたマルチモード光ファイバケーブルを設計するための方法が提供される。この方法は、レーザを用いて関連するマルチモード光ファイバケーブル内に放射された、スペクトル的に狭く、かつ時間的に短い光パルス放射を利用して、関連するマルチモード光ファイバケーブルの時間的応答  $U(r, t)$  を測定することを含むが、これらに限定されない。光パルスは中心波長  $\lambda_c$  を有し、コアから一連の半径方向オフセット  $r$  で、関連するマルチモード光ファイバケーブルのコア内に放射される。この方法は、複数のファイバの色分散伝達関数  $H_{cd}(f, r)$  を算出することをさらに含むが、これに限定されない。この方法は、関連するマルチモード光ファイバケーブル内に放射された光パルス放射により生じた関連するマルチモード光ファイバケーブル内のモード分散量を、複数のファイバの色分散伝達関数を用いて決定することをさらに含むが、これに限定されない。この方法は、関連するマルチモード光ファイバケーブル内で連結された、レーザ発射モードの半径方向に依存する波長分布の少なくとも一部を補正する改善された屈折率プロファイルを有する改善されたマルチモード光ファイバケーブルを設計することをさらに含むが、これに限定されない。

40

#### 【0020】

一態様では、関連するレーザのレーザ発射モードにおける半径方向に依存する波長分布を補正する改善されたマルチモード光ファイバケーブルを設計するための方法が提供される。この方法は、複数のファイバの色分散伝達関数  $H_{cd}(f, r)$  を算出することを含む

50

が、これに限定されない。この方法は、改善されたマルチモード光ファイバケーブル内の色分散効果を相殺し、改善されたマルチモード光ファイバケーブルの帯域幅を最大化するのに必要な、改善されたマルチモード光ファイバケーブル内のモード分散効果量を、複数のファイバの色分散伝達関数を用いて算出することをさらに含むが、これに限定されない。

【0021】

本発明の範囲は添付請求項のみによって定義され、この要約内の記述には影響されない。

【0022】

本発明は以下の図面および記述を参照してより容易に理解することができる。図面における構成要素は必ずしも原寸に比例しておらず、むしろ本発明の原理を説明するために強調されて示される。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明の一実施形態に従う、ファイバEMBと反比例する、同一のケーブル内の3つのファイバ( $L = 550\text{ m}$ )について測定されたビット誤り率を示すグラフである。このサンプルデータは、BERに比例すべき現在のEMBアルゴリズムの欠点を明らかにしている。

【図2A】本発明の一実施形態に従う、ファイバコア全体における不均一な波長分布(すなわち、 $L(\text{inner})$ と $L(\text{outer})$ とが異なる)を生じる、典型的なVCSELとファイバとの連結機構を示す配置図である。通常、VCSELそれ自体の空間的に変化する発光スペクトル(および開口数)に起因して、 $L(\text{inner})$ と $L(\text{outer})$ とが異なる。

【図2B】本発明の一実施形態に従う、ファイバ全体において横方向に連結された簡易化された分布を示す端面図である。

【図2C】本発明の一実施形態に従う、 $\text{inner}$ および $\text{outer}$ に対応する、異なる位置において測定されたファイバコアのファイバ結合スペクトル $L(\quad)$ を示すグラフである。スペクトル成分は大部分が等しいが、中心波長に効果的に移動する成分の大きさが異なる。

【図3】本発明の一実施形態に従う、ファイバ結合スペクトル成分の不均一分布を示す、ファイバの半径方向オフセットに対する測定された中心波長を示すグラフである。半径位置に応じて中心波長の勾配が下がっていくことを理解することが重要である。測定においては、レーザ送信機(VCSEL)がマルチモード光ファイバケーブル(MMF)とファイバ結合していた。続いて、このMMFは電子的に処理可能な位置決めステージに配置された。次に、収集ファイバとして作用するSMFが、MMFの半径方向の範囲全体をスキャンされた。

【図4】本発明の一実施形態に従う、試験下の特定のファイバについて測定された時間的応答 $U(r, t)$ を示すグラフである。簡潔化のために、3つのオフセットのみ(3、10および19  $\mu\text{m}$ )がグラフに示される。

【図5】本発明の一実施形態に従う、重み関数適用後の特定のファイバに関する加重した時間的応答を示すグラフである。

【図6】本発明の一実施形態に従う、図5に示す加重した時間的応答を簡単に合計した結果として生じた出力パルス $P_o(t, 1)$ を示すグラフである。

【図7】本発明の一実施形態に従う、結果として生じた出力パルス $P_o(t, 1)$ のフーリエ変換、および放射パルス $R(t)$ のフーリエ変換の商を利用して算出されたファイバモード分散の伝達関数 $H_{md}(f, 1)$ を示すグラフである。

【図8】本発明の一実施形態に従う、レーザ送信機の放射スペクトルを示すグラフである。

【図9】本発明の一実施形態に従う、波長に対してファイバにおいて測定された飛行時間を示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図 10】本発明の一実施形態に従う、図 8 に示すレーザ送信機の放射スペクトルと、図 9 に示す波長に対するファイバの測定された飛行時間との積算値を示すグラフである。

【図 11】本発明の一実施形態に従う、色分散伝達関数を示すグラフである。

【図 12】本発明の一実施形態に従う、算出された全体の帯域幅  $CB(1)$  を示すグラフである。

【図 13】本発明の一実施形態に従う、実施例 2 に用いられる半径方向オフセットに関するスペクトルの依存性を示すグラフである。

【図 14】本発明の一実施形態に従う、3つの色分散伝達関数、すなわち  $H_{cd}(f, 3\mu m)$ 、 $H_{cd}(f, 10\mu m)$ 、および  $H_{cd}(f, 19\mu m)$  を示すグラフである。

【図 15】本発明の一実施形態に従う、色分散  $U_{cd}(r, t)$  を受ける前のファイバの初期の時間的応答において生じた3つの波形を示すグラフである。

【図 16A】本発明の一実施形態に従う、色分散  $U(r, t)$  を受ける前のファイバの初期の時間的応答における3つの重なる波形を示すグラフである。

【図 16B】本発明の一実施形態に従う、色分散  $U_{cd}(r, t)$  を受けた後のファイバの初期の時間的応答において生じた3つの重なる波形を示すグラフである。

【図 17】本発明の一実施形態に従う、加重した結果として生じた出力パルス  $P_{cd}(t, 1)$  を示すグラフである。

【図 18】本発明の一実施形態に従う、先行技術のそれに対する本開示のファイバ全体の伝達関数  $H_{fiber}(f, 1)$ 、および先行技術のそれに対する本開示の算出された帯域幅  $CB(1)$  を示すグラフである。

【図 19】本発明の一実施形態に従う、例示のコンピュータシステムを示すブロック略図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

本発明は、ファイバコア全体のファイバ結合スペクトル分布を組み込んだ、ファイバとレーザ送信機との組み合わせによる帯域幅を算出するための方法を含む改善されたアルゴリズムを提供することにより、モード分散効果に加えて材料分散効果としても知られる半径方向に依存する色分散効果が説明され得るという発見を利用する。本発明の一実施形態では、帯域幅範囲、場合によってはファイバの最小帯域幅およびレーザ送信機の個体数の決定に用いられ得る特定のファイバの帯域幅、並びに統計的に典型的なレーザ送信機の個体数を決定するためのアルゴリズムが用いられる。後述する実施形態は、組み合わせられ得る特定のファイバとレーザ送信機の群とが有する最小帯域幅を決定するための TIA-455-220-A に現在記載されている方法に類似している。ただし、この以前の方法は、本発明に含まれる径方向依存性を考慮していない。

【0025】

以下の記述では、他に示されない限り、1つ以上のコンピュータにより実行される動作および操作に関する記号による説明を参照して本願の主題が記述される。そのため、コンピュータ実行とも称されるこのような動作および操作が、構造化された形で、データを表す電気信号のコンピュータの処理装置による操作を含むことが理解される。この操作は当業者によりよく理解される方法により、コンピュータの操作を再構成、さもなければ変更する、コンピュータのメモリシステムにおける記憶場所においてデータを変換、あるいはそれを維持する。データが保持されるデータ構造は、データ形式により規定される特定の特性を有するメモリの物理的な記憶場所である。ただし、本願の主題が先の文脈に記述されたが、下記の動作および操作の一部がハードウェア、ソフトウェア、および/またはファームウェア、並びに/またはそれらの組み合わせの一部においても実施され得ることを当業者が理解するように、これらは限定されることを意図しない。

【0026】

図 19 を参照すると、実施形態を実行するための例示のコンピュータシステムが示される。図 19 は固定デバイスまたは携帯デバイスでもよいコンピュータ 100 を含み、その構成要素の少なくとも一部または全ては、人により持ち運び可能な単一装置に共に形成さ

10

20

30

40

50



れる。コンピュータ１００は、プロセッサ１１０、メモリ１２０、および１つ以上のドライブまたはストレージデバイス１３０を含む。ストレージデバイス１３０は、ＲＡＭ、ＲＯＭ、ＥＥＰＲＯＭ、ＥＰＲＯＭ、または任意の他の種類のフラッシュメモリデバイスを含むメモリチップストレージ、ハードディスク、フロッピディスク、および磁気テープを含む磁気記憶デバイス、ＣＤ－ＲＯＭディスク、ＢＤ－ＲＯＭディスク、およびＢｌｕＲａｙ（登録商標）ディスクなどの光学式記憶デバイス、並びにホログラフィックストレージデバイスなどのデータ、情報、または命令を記憶可能な任意のデバイスを含む。

#### 【００２７】

ストレージデバイス１３０およびそれらに関連するコンピュータストレージ媒体は、コンピュータ可読の指示、データ構造、プログラムモジュール、およびコンピュータ１００に関する他の情報を記憶する。ストレージデバイス１３０は、オペレーティングシステム１４０、アプリケーションプログラム１５０、プログラムモジュール１６０、およびプログラムデータ１８０を含み得る。コンピュータ１００は、自動で、またはコマンドおよびデータを入力するユーザの操作により、コンピュータ１００にデータを入力し得る入力デバイス１９０をさらに含む。入力デバイス１９０は、電子デジタイザ、マイクロホン、カメラ、ビデオカメラ、キーボード、および通常、マウス、トラックボール、またはタッチパッドと称されるポインティングデバイスを含み得る。他の入力デバイスは、ジョイスティック、ゲームパッド、衛星放送受信アンテナ、スキャナなどを含み得る。１つ以上の実施形態では、入力デバイス１９０は、プロセッサ１１０において起動するアプリケーションを画面上に導くか、インスタンス化し得る携帯デバイスである。

#### 【００２８】

これらおよび他の入力デバイス１９０は、システムバス１９２に連結されたユーザ入力インターフェースを介してプロセッサ１１０に接続され得るが、パラレルポート、ゲームポート、またはユニバーサルシリアルバス（ＵＳＢ）などの他のインターフェースおよびバス構造によっても接続され得る。コンピュータ１００などのコンピュータは、出力周辺インターフェース１９４などを通じて接続され得る、スピーカおよび／または表示デバイスなどの他の周辺出力デバイスも含み得る。

#### 【００２９】

コンピュータ１００は、アンテナの助けを借りて無線でコンピュータ１００にデータを送信および受信するラジオ１９８も含み得る。ラジオ１９８は、ＷｉＭＡＸ（登録商標）、８０２．１１ａ／ｂ／ｇ／ｎ、Ｂｌｕｅｔｏｏｔｈ（登録商標）、２Ｇ、２．５Ｇ、３Ｇおよび４Ｇワイヤレス標準を利用してデータを無線で送信および受信し得る。

#### 【００３０】

コンピュータ１００は、１つ以上のリモートコンピュータなどへの論理結合を用いてネットワーク化された環境において機能し得る。リモートコンピュータは、パーソナルコンピュータ、サーバ、ルータ、ネットワークＰＣ、ピアデバイス、または他の共通ネットワークノードでもよく、コンピュータ１００に関連して前述した要素の全てではなくとも、多くを含み得る。ネットワーク環境は、オフィス、企業規模のコンピュータネットワーク、イントラネット、およびインターネットにありふれている。例えば、本題の主題では、コンピュータ１００は、データがそこから移動するソースマシンを備え得、リモートコンピュータはデスティネーションマシンを備え得る。ただし、このソースおよびデスティネーションマシンが、ネットワークまたは任意の他の手段により接続される必要は無く、ソースプラットフォームによる書き込み、およびデスティネーションプラットフォームまたはプラットフォームによる読み出しが可能な任意の媒体を通じてデータが移動され得ることを理解されたい。ＬＡＮまたはＷＬＡＮネットワーク環境において用いられる場合には、コンピュータ１００はネットワークインターフェース１９６またはアダプタを通じてＬＡＮに接続される。ＷＡＮネットワーク環境において用いられる場合には、コンピュータ１００は、通常、インターネットなどの環境にＷＡＮを通じて通信を開設するモデムまたは他の手段を含む。コンピュータ間の通信リンクを開設する他の手段が用いられ得ることを理解されたい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 1 】

ー実施形態に従えば、コンピュータ 100 はネットワーク環境に接続されており、プロセッサ 110 は受信および発信データを処理できる。受信および発信データは、携帯デバイスに送るデータおよび/またはそれから受信するデータ、または別のコンピュータなどの別のデータソースからのデータでもよい。

## 【 0 0 3 2 】

図 2 および図 3 を参照するように、ファイバ結合の波長スペクトルは、ファイバを横切る横方向において異なり得る。この初期における概要を図 2 に示し、測定結果を図 3 に示す。ファイバコア内の波長の不均質性を認識することは、ファイバ帯域幅を算出するためのより正確かつ改善されたアルゴリズムの理解に役立つ。前述した改善されたアルゴリズムは、下記の 6 つの工程に要約される。改善されたアルゴリズムは、ストレージデバイス 130 に保存され得、コンピュータ 100 において算出され得る。

## 【 0 0 3 3 】

改善されたアルゴリズムの第 1 の工程では、コアから一連の半径方向オフセット  $r$  でマルチモード光ファイバケーブルのコアに入射された、スペクトル的に狭く、かつ時間的に短い、中心波長  $\lambda_c$  を有する光パルスを用いて、マルチモード光ファイバケーブルの時間的応答  $U(r, t)$  が測定される。

## 【 0 0 3 4 】

改善されたアルゴリズムの第 2 の工程では、ファイバの色分散伝達関数  $H_{cd}(f, r)$  が算出される。ファイバの色分散伝達関数は、レーザ送信機の発光スペクトル  $L(\lambda, r)$  と、飛行時間の波長依存性  $TOF(\lambda, r)$  とを乗算することにより算出される。

$$H_{cd}(f, r) = FT\{L(\lambda, r) TOF(\lambda, r)\} \quad (6)$$

## 【 0 0 3 5 】

改善されたアルゴリズムの第 2 の工程は、標準アルゴリズムおよび改善されたアルゴリズム間の一つの違いである。標準アルゴリズムでは、1 つのみの色分散伝達関数が算出されるが、改善されたアルゴリズムでは、一連の色分散伝達関数が算出される。一連の色分散伝達関数により、コア半径の大きさおよびそれ全体の時間遅延（位相シフト）両方の情報の保持およびモード分散効果への正確な追加または減算が容易になる。

## 【 0 0 3 6 】

改善されたアルゴリズムの第 3 の工程では、色分散伝達関数を用いたファイバの時間的応答のフーリエ変換における第 1 の畳み込み積分による色分散効果後のファイバの時間的応答  $U_{cd}(r, t)$  が算出され、次に、畳み込み積分の逆フーリエ変換により、ファイバの応答を時間領域に変換する。

$$U_{cd}(r, t) = FT^{-1}\{FT\{U(r, t)\} H_{cd}(f, r)\} \quad (7)$$

ここで、 $FT^{-1}$  は逆フーリエ変換関数である。

## 【 0 0 3 7 】

改善されたアルゴリズムの第 4 の工程では、 $n$  個の DMD 重み関数  $W(r, n)$  を用いて、色分散されたファイバの加重応答  $D_{cd}(r, t, n)$  が算出される。

$$D_{cd}(r, t, n) = U_{cd}(r, t) W(r, n) \quad (8)$$

## 【 0 0 3 8 】

改善されたアルゴリズムの第 5 の工程では、全ての  $r$  における加重応答  $U_{cd}(r, t)$  を合計することにより、色分散された結果として生じた出力パルス  $P_{cd}(t, n)$  が算出される。

$$P_{cd}(t, n) = \sum_r D_{cd}(r, t, n) = \sum_r U_{cd}(r, t) W(r, n) \quad (9)$$

## 【 0 0 3 9 】

改善されたアルゴリズムの第 6 の工程では、ファイバ全体の伝達関数  $H_{fiber}(f, n)$ 、および計算された全体の帯域幅  $CB(n)$  が算出され、好ましくは画面上でユーザに表示される。出力パルス  $P_{cd}(t, n)$  から放射パルス  $R(t)$  を逆畳み込みすることにより、ファイバ全体の伝達関数が決定される。

$$H_{fiber}(f, n) = FT\{P_{cd}(t, n)\} / FT\{R(t)\} \quad (10)$$

10

20

30

40

50

## 【0040】

なお、改善されたアルゴリズムは、測定されたまたはモデル化されたパラメータ（すなわち、 $U(r, t)$ 、 $L(\quad, r)$ 、 $W(r, n)$ ）の任意の入力関数に正確に適応する一般的アルゴリズムである。それ故、任意の方法によりファイバ内に光を結合するトランスミッタと共に用いられる「左」（ $r$ を増大するために進んだ時間）または「右」（遅延時間）へのDMD移動を示すファイバの帯域幅を正確に数量化するために改善されたアルゴリズムが用いられ得る。

## 【0041】

後に種々の方法で有利に適用され得る、マルチモードファイバシステムの帯域幅をより正確に算出するために改善されたアルゴリズムが用いられ得る。例えば、実用的な用途は、下記のものが含まれるが、これらに限定されない。

10

## 【0042】

第1の用途では、マルチモードファイバのガラス設計の最適化のために改善されたアルゴリズムが用いられ得る。下記の実施例1および2に示すように、モード分散および色分散効果が減少するときにシステム帯域幅全体が増大することが理解されるため、色分散パラメータ（ファイバ結合スペクトルおよび飛行時間）の知識により、互いに効果的に相殺するモード分散パラメータ（ファイバの時間的応答）を決定できる。さらに、ファイバの時間的応答はファイバ屈折率プロファイルに依存するため、最適な屈折率プロファイルが設計され得る。

## 【0043】

20

第2の用途では、測定されたシステム性能メトリック（例えば、BER）とより正確に相関する改善された帯域幅の測定および算出のために改善されたアルゴリズムが用いられ得る。さらに、改善された帯域幅の測定および算出は、光通信システムモデルの精度を改善するために用いられ得る。

## 【0044】

第3の用途では、レーザ送信機スペクトルを有することによるシステム性能への効果についての理解を向上するために改善されたアルゴリズムが用いられ得る。

## 【0045】

第4の用途では、ファイバ結合スペクトルを有することによるシステム性能への効果についての理解を向上するために改善されたアルゴリズムが用いられ得る。

30

## 【0046】

第5の用途では、マルチモードファイバのガラス設計を最適化し、より正確な光通信システムモデルを提供するために、コンピュータ100において起動するソフトウェアに改善されたアルゴリズムが用いられ得る。

## 【0047】

## [実施例1]

帯域幅を算出するための標準アルゴリズムの簡易化した例、および改善されたアルゴリズムとの差異を以下に示す。最初に、前述の工程に関連して標準アルゴリズムが記述される。

## 【0048】

40

図4を参照するように、標準アルゴリズムの第1の工程では、試験下の特定のファイバに関する時間的応答 $U(r, t)$ が測定される。簡潔化のために、3つのオフセット（3、10および19  $\mu\text{m}$ ）のみが解析して示される。時間的応答はファイバサンプルC26 Blueからの測定データである。なお、このような時間的応答が「左」に移動すると $r$ が増大し、到着時刻が短くなる。

## 【0049】

図5を参照するように、標準アルゴリズムの第2の工程では、1つのみのDMD重み関数（ $n = 1$ ）が用いられ、 $W(3 \mu\text{m}, 1)$ は2であり、 $W(10 \mu\text{m}, 1)$ は1であり、 $W(19 \mu\text{m}, 1)$ は2である。加重した時間的応答は図5にグラフで示される。

## 【0050】

50

図 6 を参照するように、標準アルゴリズムの第 3 の工程では、結果として生じた出力パルス  $P(t, 1)$  は加重応答の簡単な合計であり、図 6 に示される。結果として生じた出力パルス  $P(t, 1)$  のフーリエ変換と、放射パルス  $R(t)$  のフーリエ変換との商をすることにより、ファイバモード分散の伝達関数  $H_{md}(f, 1)$  が算出される。図解法におけるこの結果を、ファイバ長 ( $L = 550\text{ m}$ ) に対して振幅が正規化された図 7 に示す。モード帯域幅が考慮され、 $3\text{ dB}$  ( $50\%$ ) の位置が帯域幅閾値として利用される場合のみ、このサンプルに関する  $EMB_c(1)$  は  $6435\text{ MHz} \cdot \text{km}$  となる (破線で示す)。

#### 【0051】

先行技術のアルゴリズムを用いて、計算された全体の帯域幅  $CB(1)$  を算出する場合 10  
には、レーザ送信機の色分散効果がファイバモード分散の伝達関数  $H_{md}(f, 1)$  と組み合わせられる。TIA-455-220-A において、色分散伝達関数は、レーザ送信機の放射スペクトル (図 8) と、波長に対するファイバの測定された飛行時間 (図 9) との単純な積算値である。レーザ発光スペクトルは  $JDSU10\text{Gb/s}$  のビット誤り率試験トランスミッタにより測定されたデータである。飛行時間データはファイバサンプル  $C26\text{Blue}$  により測定されたデータである。

#### 【0052】

レーザ送信機の放射スペクトルと、波長に対するファイバの測定された飛行時間との積算値を図 10 に示す。最後に、決定された色分散伝達関数を図 11 に示す。

#### 【0053】

図 12 を参照するように、標準アルゴリズムの第 4 の工程では、算出された全体の帯域幅  $CB(1)$  は、ファイバモード分散の伝達関数  $H_{md}(f, 1)$  と色分散伝達関数  $H_{cd}(f)$  との畳み込み値である。図 12 の実線で示す  $CB(1)$  は、このサンプルにおいては  $6221\text{ MHz} \cdot \text{km}$  である。

#### 【0054】

標準アルゴリズムを用いると、算出された帯域幅がモードまたは色分散伝達関数のいずれもの大きさを超えられないことが理解されることも重要である。この結果、標準アルゴリズムは既知の事例に適用せず、色およびモード分散効果は減少し、それ故、算出された帯域幅は色およびモード分散の伝達関数の大きさを超えない。本発明の改善されたアルゴリズムはこの状況に対応する。

#### 【0055】

#### [ 実施例 2 ]

前述した手順および先の実施例 1 の両方にも関する改善されたアルゴリズムを明示する簡単な例を以下に記載する。

#### 【0056】

図 4 を参照するように、改善されたアルゴリズムの第 1 の工程では、 $r$  が  $3$ 、 $10$  および  $19\text{ }\mu\text{m}$  である場合の試験用の特定のファイバに関する時間的応答が測定され、図 4 に示される。

#### 【0057】

図 13 を参照するように、改善されたアルゴリズムの第 2 の工程では、半径方向オフセットにおける色分散伝達関数  $H_{cd}(f, r)$  が決定される。各半径方向オフセットにおける伝達関数が決定されるため、半径方向オフセット間の時間遅延 (位相シフト) 情報が保存される。ファイバコア内の波長の不均質性を認識した後に組み込まれるこの本質的概念により、改善されたアルゴリズムが有効になる。この例の算出に用いられる半径方向オフセットにおけるスペクトルの依存性を図 13 に示す。

#### 【0058】

これにより、3 つの色分散伝達関数  $H_{cd}(f, 3\text{ }\mu\text{m})$ 、 $H_{cd}(f, 10\text{ }\mu\text{m})$ 、および  $H_{cd}(f, 19\text{ }\mu\text{m})$  の算出が可能になり、図 14 に示すように決定される (図 9 に類似するが均等目盛を用いる)。

#### 【0059】

10

20

30

40

50

図15を参照するように、色分散伝達関数を用いた改善されたアルゴリズムの第3の工程では、初期のファイバの時間的応答の3つの波形が、色分散 $U_{cd}(r, t)$ を受けた後に方程式7に従い算出される。結果生じた波形を図15に示す。

【0060】

図15と図4とを比較すると、図9に示すそれらの相対的な飛行時間に比例する時間においてパルスが移動することが理解される(約+200ps)。3つの波形間の相対的な時間移動は、ファイバコア内の波長の不均質性および色分散効果の結果である。波形の人工オフセットの除去により、この結論をグラフで観測することが容易になる。3μmの波形と19μmの波形とのピークが違うことが理解される。

【0061】

図17を参照するように、改善されたアルゴリズムの第4および第5の工程では、加重した結果として生じた出力パルス $P_{cd}(t, 1)$ が図17にグラフで示され、これは図6に示す加重した結果として生じた出力パルスに類似している。

【0062】

図18を参照するように、改善されたアルゴリズムの第6の工程では、本発明により決定されるようなファイバ全体の伝達関数 $H_{fiber}(f, 1)$ が決定される。算出された帯域幅 $CB(1)$ はこの例では9184MHz・kmであり、これはモード分散効果および色分散の補正効果を正確に明示する(先行技術では、 $CB(1)$ は6221MHz・km)。

【0063】

最新技術がシステムの態様におけるハードウェア実行とソフトウェア実行との間にわずかな差しか残さないという点まで進歩し、ハードウェアまたはソフトウェアの使用が、通常、(ただし、ハードウェアとソフトウェアとの間の選択が重要になり得る特定の状況においては必ずしもというわけではない)効率的なトレードオフに対する費用を示す設計上の選択であることを当業者は理解する。どのプロセスおよび/またはシステム、並びに/または本明細書に記載された他の技術が効果的であるかに応じて、種々の手段(例えば、ハードウェア、ソフトウェア、および/またはファームウェア)が存在し、プロセスおよび/またはシステム、並びに/または他の技術が配置される状況に応じて望ましい手段が異なることを当業者は理解する。例えば、速度および精度が最重要であることを実装者が決定する場合には、実装者は主にハードウェアおよび/またはファームウェア媒体を選択し得、代わりに、柔軟性が最重要である場合には、実装者は主にソフトウェア実行を選択し得、あるいはさらに代替的に、実装者はハードウェア、ソフトウェア、および/またはファームウェアの一部の組み合わせを選択し得る。それ故、どのプロセスおよび/またはシステム、並びに/または本明細書に記載された他の技術が効果的であるかに応じていくつかの可能性がある媒体が選択され得、利用される任意の媒体が配置状況に応じて選択され、実装者の特別な懸念(例えば、速度、柔軟性、または予測可能性)が媒体により異なり得るという点において、これらのどれも他のものよりも本質的には優れていない。実行の光学的態様に応じて、通常、光学的に配向されたハードウェア、ソフトウェア、および/またはファームウェアを用いることを当業者は理解する。

【0064】

前述の詳細な説明は、ブロック図、フローチャート、および/または例示を用いて、デバイスおよび/またはプロセスの種々の実施形態を説明した。このようなブロック図、フローチャート、および/または例示が1つ以上の機能および/または操作を含む限りにおいて、このようなブロック図、フローチャート、または例示における各機能および/または操作が、広範囲のハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはそれらの事実上の任意の組み合わせにより、個別および/または集団で実行され得ることを当業者は理解する。一実施形態では、本明細書に記載された主題の一部は、特定用途向け集積回路(ASIC)、フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)、デジタル信号プロセッサ(DSP)、または他の集積フォーマットにより実行され得る。ただし、本明細書に開示された実施形態の一部の態様が、その全体または一部において、1つ以上のコンピュ

10

20

30

40

50

ータにおいて起動する1つ以上のコンピュータプログラム（例えば、1つ以上のコンピュータシステムにおいて起動する1つ以上のプログラム）、1つ以上のプロセッサにおいて起動する1つ以上のプログラム（例えば、1つ以上のマイクロプロセッサにおいて起動する1つ以上のプログラム）、ファームウェア、または事実上のそれらの任意の組み合わせとして、集積回路において同じように実行され得ることを当業者は理解し得、回路の設計並びに／またはソフトウェアおよび／またはファームウェアに関するコードの書き込みが、この開示により当業者によく理解される。さらに、本明細書に記載された主題のメカニズムが種々の形状におけるプログラム製品として分配可能であり、本明細書に記載された主題の例示の実施形態が、分布を実質的に実行するのに用いられる特定の種類の信号支持媒体にかかわらずに適用されることを当業者は理解する。信号支持媒体の例示は、例えば以下のフロッピディスク、ハードディスクドライブ、コンパクトディスク（CD）、デジタルビデオディスク（DVD）、デジタルテープ、コンピュータメモリなどの記録型媒体、デジタルおよび／またはアナログ通信媒体などの送信型媒体（例えば、光ファイバケーブル、導波管、有線通信リンク、無線通信リンクなど）を含むが、これらに限定されない。

10

#### 【0065】

本明細書に記載の主題は、それに含まれる種々の構成要素、または種々の他の構成要素に接続されたものを示すこともある。このような示された構造が単なる例示であり、実際に同じ機能を有する他の多くの構造が実現可能であることが理解される。概念的な意味では、所望の機能を達成するように、任意に配置された同じ機能を有する構成要素が効果的に「関連する」。それ故、特定の機能を有するように組み合わせられた本明細書における任意の2つの構成要素は、構造または中間の構成要素に関係なく、所望の機能をもたらすように互いに「関連して」構成され得る。同様に、このように関連する任意の2つの構成要素は、互いに所望の機能をもたらすように、「動作可能に接続する」または「動作可能に連結する」ものとしてもみなされ得、このように関連可能な任意の2つの構成要素は、互いに所望の機能をもたらすように、「動作可能に連結可能」なものとしてもみなされ得る。動作可能に連結可能な具体例は、物理的に一致可能なおよび／または物理的に相互作用する構成要素、無線で互いに交流するおよび／または無線で相互作用する構成要素、並びに／または論理的に相互作用するおよび／または論理的に互いに交流する構成要素を含むが、これらに限定されない。

20

30

#### 【0066】

本明細書に説明した1つ以上の方法により、デバイス、プロセス、および／またはシステムを実行し、続いて、このような実行されたデバイス、プロセス、および／またはシステムを、より包括的なデバイス、プロセス、および／またはシステムに統合するための工業技術および／またはビジネス手法を用いることが、当業界において一般的であることを当業者は理解する。つまり、本明細書に記載されたデバイス、プロセス、および／またはシステムの少なくとも一部は、十分な量の実験により、包括的なデバイス、プロセス、および／またはシステムに統合され得る。このような包括的なデバイス、プロセス、および／またはシステムの例が、状況および用途に応じて、（a）航空輸送（例えば、航空機、ロケット、ホバークラフト、ヘリコプタなど）、（b）地上輸送（例えば、自動車、トラック、機関車、タンク車、装甲兵員輸送車など）、（c）建造物（例えば、家、倉庫、事務所など）、（d）電化製品（例えば、冷蔵庫、洗濯機、乾燥機など）、（e）通信システム（例えば、ネットワークシステム、電話システム、ボイスオーバーアイピーシステムなど）、（f）企業体（例えば、Comcast Cable、Quest、Southwestern Bellなどのインターネットサービスプロバイダ（ISP）団体）、（g）有線／無線サービス団体（例えば、Sprint、Cingular、Nextelなど）などのデバイス、プロセス、および／またはシステムの全てまたは一部を含み得ることを当業者は理解する。

40

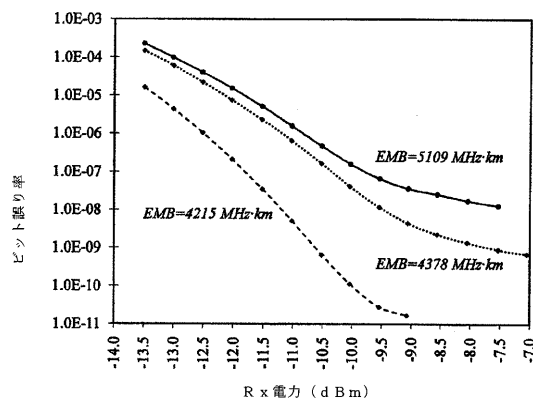
#### 【0067】

本明細書に記載された本主題の特定の態様を示し、記述したが、本明細書に記載された

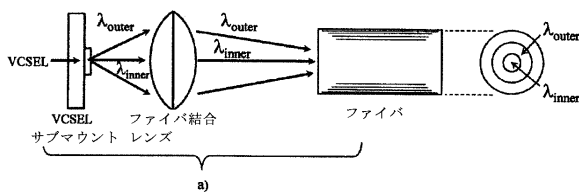
50

主題、およびそのより広い態様から逸脱することなく、本明細書の教示に基づいて、変更および変形がなされてもよく、それ故、添付の特許請求の範囲は、本明細書に記載された主題の真の精神および範囲内の全てのこれらの変更および変形を、その範囲の中に包含することは当業者に明らかである。さらに、本発明が添付請求項により定義されることが理解される。従って、本発明は添付請求項およびそれらの均等物に関するもの以外には制限されない。

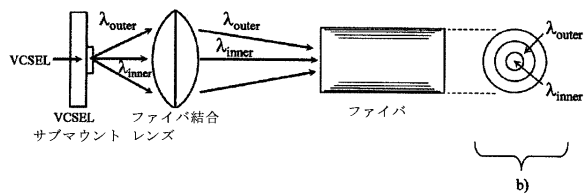
【図 1】



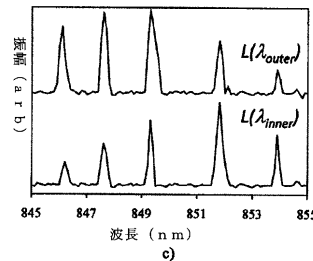
【図 2 A】



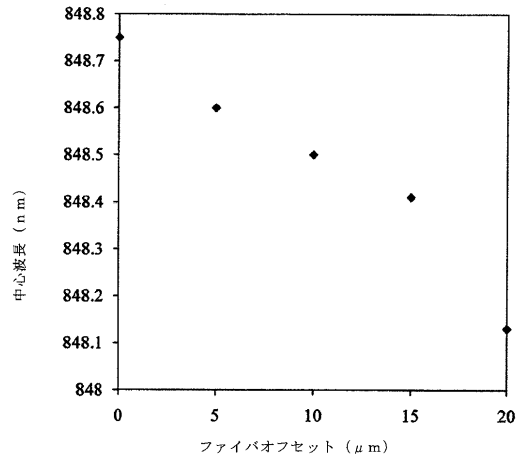
【図 2 B】



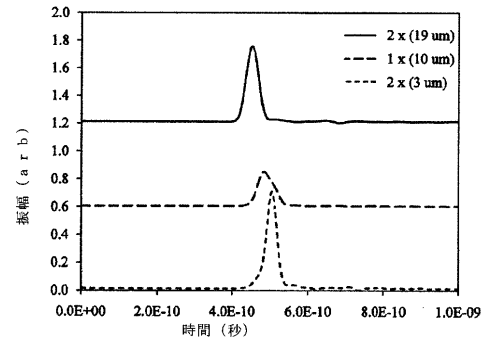
【図 2 C】



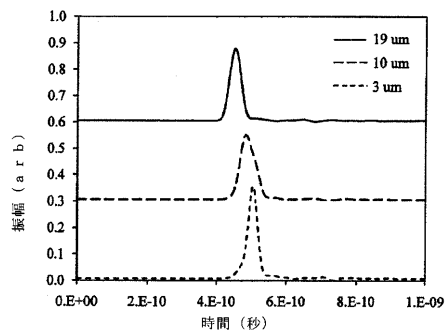
【図 3】



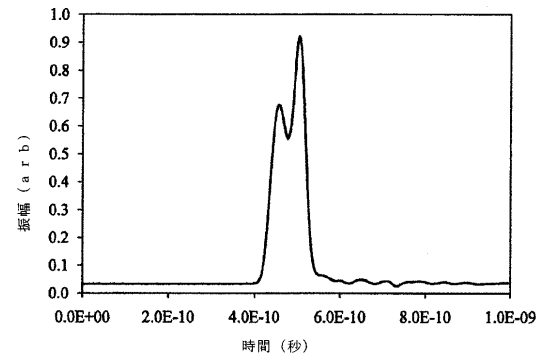
【図 5】



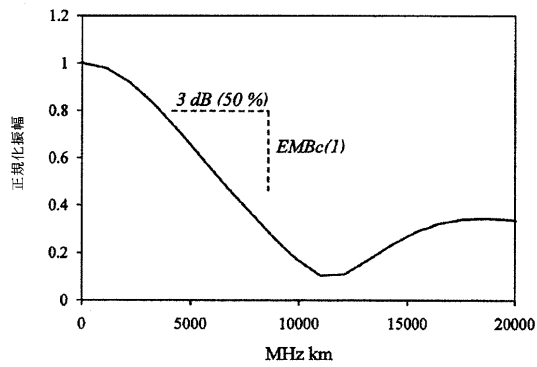
【図 4】



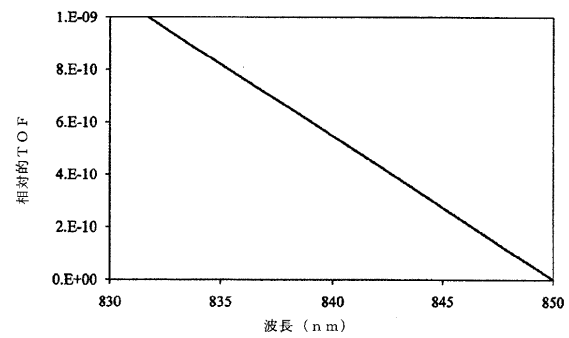
【図 6】



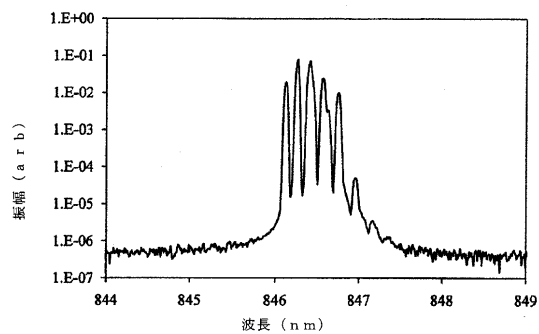
【図 7】



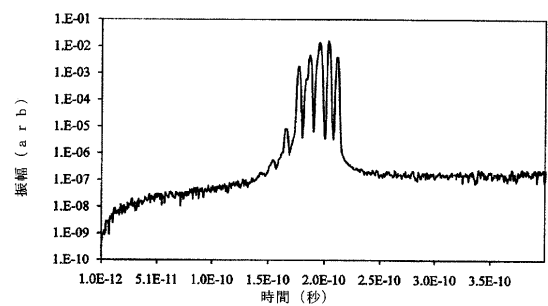
【図 9】



【図 8】

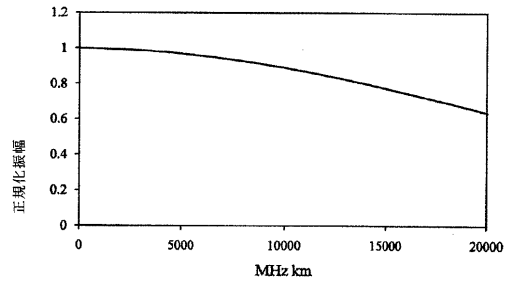


【図 10】

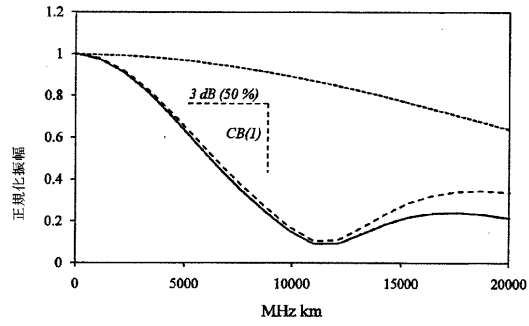




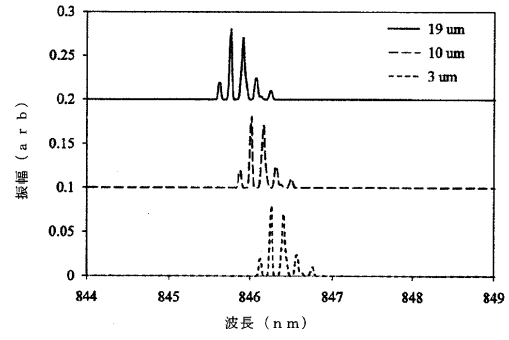
【図 1 1】



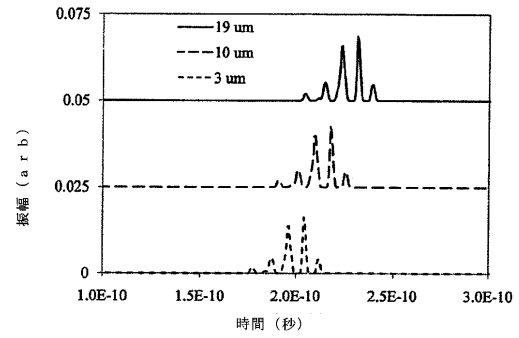
【図 1 2】



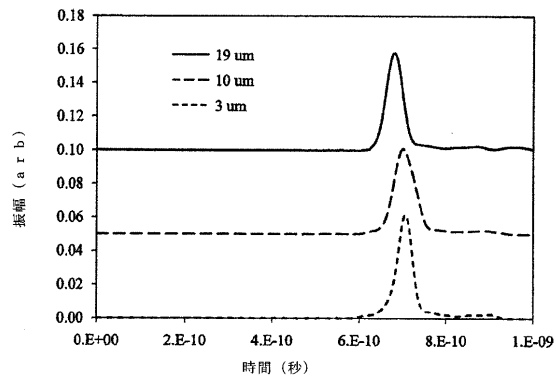
【図 1 3】



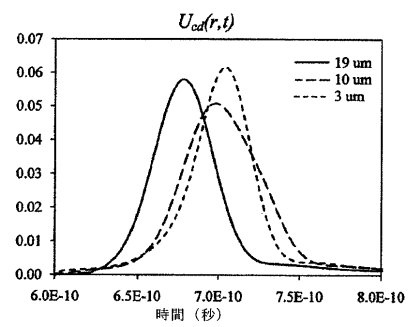
【図 1 4】



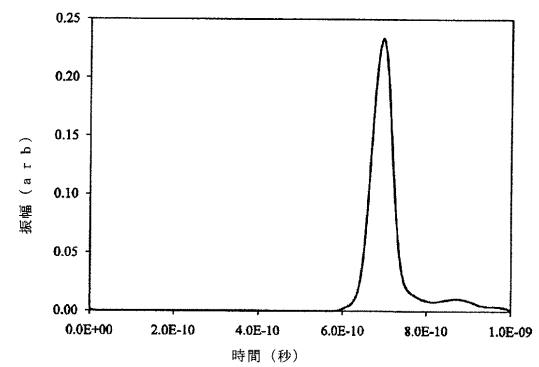
【図 1 5】



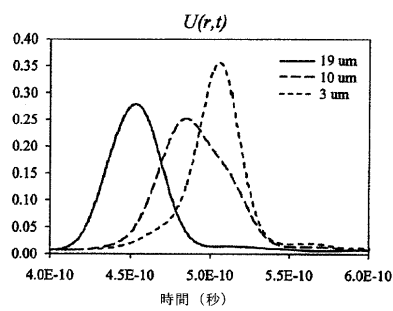
【図 1 6 B】



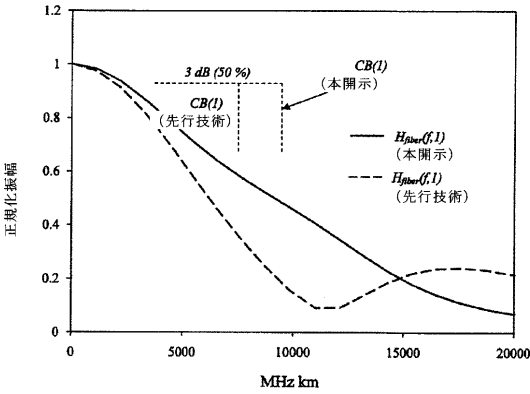
【図 1 7】



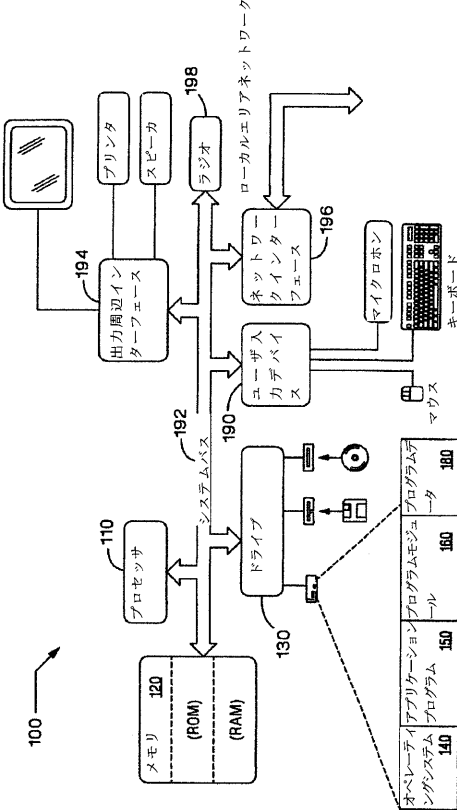
【図 1 6 A】



【図 18】



【図 19】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ブレット・レーン  
アメリカ合衆国・イリノイ・60521・ヒンズデール・ノース・グラント・ストリート・424  
(72)発明者 ホセ・エム・カストロ  
アメリカ合衆国・イリノイ・60565・ネイパーヴィル・グラッドストーン・ドライブ・7610

審査官 田中 洋介

- (56)参考文献 米国特許第6788397(US, B1)  
特表2005-521074(JP, A)  
米国特許第6400450(US, B1)  
PAUL F. KOLESAR, UNDERSTANDING MULTIMODE BANDWIDTH AND DIFFERENTIAL MODE DELAY MEASUREMENTS AND THEIR APPLICATIONS, INTERNATIONAL WIRE & CABLE SYMPOSIUM (IWCS), 米国, 2002年12月31日, pp.453-460

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01M 11/00 - 11/08  
G02B 6/00 - 6/54  
JSTPlus/JST7580(JDreamII)

- (54)【発明の名称】マルチモードファイバシステム帯域幅を算出する方法を実行するためのコンピュータプログラム、該コンピュータプログラムを含むコンピュータシステムおよびマルチモード光ファイバケーブルを設計するための方法