

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B1)

(11) 特許番号

特許第5778317号

(P5778317)

(45) 発行日 平成27年9月16日 (2015. 9. 16)

(24) 登録日 平成27年7月17日 (2015. 7. 17)

(51) Int. Cl.

G 0 1 M 11/02 (2006.01)

F 1

G 0 1 M 11/02

N

請求項の数 3 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2014-114635 (P2014-114635)

(22) 出願日 平成26年6月3日 (2014. 6. 3)

審査請求日 平成26年6月3日 (2014. 6. 3)

(出願人による申告) 平成25年度、独立行政法人情報通信研究機構、『革新的光ファイバの実用化に向けた研究開発』委託事業、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(73) 特許権者 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町一丁目5番1号

(74) 代理人 100119677

弁理士 岡田 賢治

(74) 代理人 100115794

弁理士 今下 勝博

(72) 発明者 松井 隆

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 中島 和秀

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日

本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モード間パワー比測定方法、パワー比測定装置及びモード間パワー比測定システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも1つの光源から光波が数モード光ファイバに入射され、前記数モード光ファイバを介して入射された光波から導波型音響波ブリルアン散乱による偏波変調成分を前記複数の入射光ごとに抽出する偏光手順と、

前記偏光手順で抽出した前記偏波変調成分を有する入射光を受光し、受光した入射光ごとに電気信号に変換する受光手順と、

前記受光手順において変換した各電気信号から前記偏波変調成分を測定するスペクトル測定手順と、

前記スペクトル測定手順で測定した電気信号に対応する偏波変調成分を互いに比較し、前記数モード光ファイバを伝搬した伝搬モード間のパワーの比率である伝搬モード間パワー比を算出する算出手順と、

を順に行うことを特徴とするモード間パワー比測定方法。

【請求項2】

入射光から導波型音響波ブリルアン散乱による偏波変調成分を抽出する偏光子と、

前記偏光子が抽出した前記偏波変調成分を有する入射光を受光し電気信号に変換する受光部と、

前記受光部において変換した各電気信号から前記偏波変調成分を測定するスペクトルアナライザと、

前記スペクトルアナライザで測定した各電気信号に対応する偏波変調成分を互いに比較

10

20

し、数モード光ファイバを伝搬した伝搬モード間のパワーの比率である伝搬モード間パワー比を計算する計算機と、を
備えることを特徴とするパワー比測定装置。

【請求項3】

少なくとも1つの光源と、

請求項2に記載のパワー比測定装置と、を
備えることを特徴とするパワー比測定システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバの光学特性測定方法に関し、モード多重光ファイバ伝送における光ファイバに対するモード間パワー比測定方法、パワー比測定装置及びモード間パワー比測定システムに関する。

【背景技術】

【0002】

複数のコア領域を有するマルチコア光ファイバや複数の伝搬モードを伝搬可能な数モード光ファイバが、空間多重技術を用いることによる飛躍的な伝送容量拡大に向け、活発に検討されている。特に複数の伝搬モードを用いたモード多重伝送は、伝搬可能なモード数分だけ伝送容量を向上させることができることから、新たな大容量伝送方式として注目を集めている。

【0003】

ここでモード多重伝送では、光ファイバ伝搬中や、光ファイバ中の接続点において、またモード合分波器等に代表される複数のモードに対して動作可能なデバイスにおいて生じる、伝搬モード間のモード間結合が伝送特性に大きく影響する。接続点等において各伝搬モードがどの程度励振されているかを測定するためには、一般的に受光側においてモード合分波器を用いて伝搬モードを分離し、各伝搬モードの受光パワーを比較することによって得ることができる。

【0004】

この場合、測定できる励振比の下限はモード合分波器の性能に左右されてしまい、モード合分波器で生じるモード間クロストーク以下の値は測定できない。そのため非特許文献1のように、出力光の電界分布における時間変動を微小な範囲ごとに測定することにより、伝搬モード間のパワー比を測定する方法が提案されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】J. W. Nicholson et al, "Measuring the modal content of large-mode-area fibers," of IEEE J. Selected topics in Quantum Electronics, vol. 15, pp. 61-70, Jan/Feb 2009.

【非特許文献2】R. M. Shelby et al, "Guided acoustic-wave Brillouin scattering," Physic. Rev. B, vol. 31, pp. 5244-5252, April, 1985

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

モード合分波器を用いる場合、上述の通り伝搬モードの分離の際にも合分波器内でモード間結合が生じるため、合分波器のモード間クロストーク以下の値は測定できないという課題があった。また非特許文献1の方法では光ファイバの出射端においてコア径の小さな

10

20

30

40

50

光ファイバにより電界強度をスキャンするため、光ファイバのコア径が小さなものでは測定が困難であり、さらには微小な範囲ごとに受光パワー時間変動を測定するため、測定系が非常に煩雑となり長時間の測定が必要となる、といった課題があった。

【0007】

前記課題を解決するために、本発明は、複数のモードを伝搬可能な数モード光ファイバを対象とし、該光ファイバにおいて生じた導波型音響波ブリルアン散乱による散乱光の周波数特性を測定し、該周波数特性において光ファイバ中を伝搬可能な所望の2つの伝搬モードに対応する変調量を比較することにより、当該伝搬モード間のパワー比を求めることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

【0008】

上記目的を達成するため、本発明では、光ファイバ中で生じる導波型音響波ブリルアン散乱特性が伝搬モードごとに異なる周波数特性を有することを利用し、伝搬モードに対応する周波数成分の電力を比較する。

【0009】

具体的には、本発明に係るモード間パワー比測定方法は、

少なくとも1つの光源から光波が数モード光ファイバに入射され、前記数モード光ファイバを介して入射された光波から導波型音響波ブリルアン散乱による偏波変調成分を前記複数の入射光ごとに抽出する偏光手順と、

前記偏光手順で抽出した前記偏波変調成分を有する入射光を受光し、受光した入射光ごとに電気信号に変換する受光手順と、

20

前記受光手順において変換した各電気信号から前記偏波変調成分を測定するスペクトル測定手順と、

前記スペクトル測定手順で測定した電気信号に対応する偏波変調成分を互いに比較し、前記数モード光ファイバを伝搬した伝搬モード間のパワーの比率である伝搬モード間パワー比を算出する算出手順と、を順に行う。

【0010】

具体的には、本発明に係るパワー比測定装置は、

入射光から導波型音響波ブリルアン散乱による偏波変調成分を抽出する偏光子と、

前記偏光子が抽出した前記偏波変調成分を有する入射光を受光し電気信号に変換する受光部と、

30

前記受光部において変換した各電気信号から前記偏波変調成分を測定するスペクトルアナライザと、

前記スペクトルアナライザで測定した各電気信号に対応する偏波変調成分を互いに比較し、数モード光ファイバを伝搬した伝搬モード間のパワーの比率である伝搬モード間パワー比を計算する計算機と、を備える。

【0011】

具体的には、本発明に係るパワー比測定システムは、

少なくとも1つの光源と、

請求項2に記載のパワー比測定装置と、を備える。

40

【0012】

なお、上記各発明は、可能な限り組み合わせることができる。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、数モード光ファイバの出射側における接続点やモード依存デバイスの影響を受けずに、簡易な構成で伝搬モード間パワー比を測定することができるといった効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明のモード間パワー比測定方法の原理を表す概略図である。

50

【図2】本発明のモード間パワー比測定方法の構成例を表す概略図である。

【図3】本発明のモード間パワー比測定方法の構成例を表す概略図である。

【図4】モード間パワー比測定方法に係る、GAWBSスペクトルの一例を表す特性図である。

【図5】モード間パワー比測定方法に係る、モード間パワー比の測定結果の一例を表す特性図である。

【図6】モード間パワー比測定方法による、SMFとFMFの接続点におけるモード間パワー比の測定結果の一例を表す特性図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

10

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、本発明は、以下に示す実施形態に限定されるものではない。これらの実施の例は例示に過ぎず、本発明は当業者の知識に基づいて種々の変更、改良を施した形態で実施することができる。なお、本明細書及び図面において符号が同じ構成要素は、相互に同一のものを示すものとする。

【0016】

(実施形態1)

本実施形態に係るモード間パワー比測定方法は、偏光手順と、受光手順と、スペクトル測定手順と、算出手順と、を順に行う。モード間パワー比測定システムは、光源と、モード合波器と、偏光子と、受光部と、スペクトルアナライザと、計算機と、を備える。また、本実施形態に係るパワー比測定装置は、偏光子と、受光部と、スペクトルアナライザと、計算機と、を備える。なお、光源及びモード合波器は、数モード光ファイバに光を送信するために送信器が有していてもよい。

20

【0017】

ここで、モード間パワー比測定方法を以下に説明する。偏光手順では、複数又は一つの光源から入射光が数モード光ファイバに入射され、光ファイバを介して入射された入射光から導波型音響波ブリルアン散乱による偏波変調成分を複数の入射光ごとに抽出する。

【0018】

受光手順では、偏光手順で抽出した偏波変調成分を有する各入射光を受光し、受光した入射光ごとに電気信号に変換する。スペクトル測定手順では、受光手順において変換した各電気信号から偏波変調成分を測定する。算出手順では、スペクトル測定手順で測定した各電気信号に対応する偏波変調成分を互いに比較し、各入射光間のパワーの比率である伝搬モード間パワー比を算出する。

30

【0019】

図1に、本発明のモード間パワー比測定方法の概念図を示す。受光部15において検出される波形は光波が数モード光ファイバとして機能する光ファイバ13に入射されると、光ファイバ13中の伝搬モードのパワーに応じて導波型音響波ブリルアン散乱(GAWBS: Guided Acoustic Wave Brillouin Scattering)が生じ、伝搬光はGAWBSによる偏波変調を受ける。

【0020】

40

ここでGAWBSによる変調量は関連技術における算出式より、伝搬光パワーに対応するエネルギー kT 、ならびにファイバ断面における伝搬光の電界分布 E_i と音響波の固有モード分布 S_j との重なり積分によって決まる。またブリルアン散乱による周波数スペクトルはローレンツ分布となることが知られているため、光ファイバ13中の i 次の伝搬モード(電界分布 E_i)によって生じるGAWBSに対応する変調スペクトル $A_i(f)$ は次式で示される。

【数 1】

$$A_i(f) \propto \sum_j \left[\int E_i U_j dS \left(\frac{\Gamma_B^2}{\Gamma_B^2 + (f - f_j)^2} \right) \right] \quad (1)$$

【0021】

ここで U_j および f_j はそれぞれ、光ファイバ 13 に存在する j 次の音響波の固有モード分布および固有周波数であり、積分項は光ファイバ 13 断面内での光波と音響波の重なり積分であることを表す。石英系で構成される光ファイバ 13 ではクラッド外径のみにより決定される。 Γ_B は半値幅であり、非特許文献 1 で示されるように 1 ～ 3 MHz である。

10

【0022】

式 (1) で示されるように、光波の電界分布以外は全て石英の構造パラメータで決定される固定値であり、変調スペクトル $A_i(f)$ は電界分布のみで変化することがわかる。光ファイバ 13 を伝搬するすべての伝搬モードは次式による偏波変調を受けることとなる。

【数 2】

$$P_{out}(f) \propto P_m \sum_i^n P_i A_i(f) \quad (2)$$

20

【0023】

ここで $P_{out}(f)$ は出力される光波の周波数スペクトル、 P_i は光波の i 次の伝搬モードに対する伝搬パワーであり、GAWBS を生じさせるエネルギー量 kT に対応する。また P_m は受光する伝搬モードの光パワーである。このとき、受光部 15 では図 1 に示されるように、光ファイバ 13 を伝搬した各伝搬モードに対応する $A_i(f)$ が全て加算されたスペクトルが得られる。

【0024】

したがって、受光部 15 で得られる散乱スペクトルより任意の伝搬モードに対する GAWBS スペクトル $A_i(f)$ を抽出し、相互に比較することにより、対応する伝搬モード間のパワー比を測定することができる。ここで式 (2) に示されるように、全ての伝搬モードによって生じた GAWBS を加算した周波数スペクトルが、全ての伝搬モードの光波に対して変調スペクトルとして重畳されるため、受光部 15 で得られる周波数特性は、受光部 15 で受光する伝搬モードの次数によらず一定である。

30

【0025】

そのため光ファイバ 13 の出射端においてモード分波器等により伝搬モードごとに分離する必要がないため、受光側におけるモード依存デバイスや接続点でのモード間クロストークの影響がないため好ましい。また光ファイバ 13 の出射端で単一モードファイバや高次モードフィルタを挿入し、基本モードのみを取り出して測定することができる。このとき、一般的に広く使用されている単一モードファイバ向け光デバイスをそのまま使用することができるため、特殊な光学系が不要なく測定系を簡易に構成することができる。

40

【0026】

図 2 に、本発明のモード間パワー比測定方法の構成例を示す。光源 11 より出射された光波は、モード合波器 12 の任意のポートより入射され、対応する所望の伝搬モードとして数モード光ファイバとして機能する光ファイバ 13 に入射される。光ファイバ 13 の出射側には偏光子 14 が接続され、偏光子 14 からの出射光は受光部にて電気信号に変換される。

【0027】

得られた電気信号はスペクトルアナライザ 16 にて計測され、計算機 17 にてモード間

50

パワー比を算出する。計算機 17 では、入射した伝搬モードに対応する $A_i(f)$ の成分を抽出するとともに、対象となる所望の次数 (i' 次) に対応する成分 $A_{i'}(f)$ を抽出することにより、 i 次の伝搬モードの i' 次の伝搬モードに対するモード間パワー比 $XT_{ii'}$ は次式によって求めることができる。

【数 3】

$$XT_{ii'} = \left[\frac{\int A_{i'}(f) df}{\int A_i(f) df} \right]^2 \quad (3)$$

10

【0028】

ここで任意の $A_i(f)$ の抽出は、例えば予め理論的な計算により求めた GAWBS スペクトルを用いて行うことができる。すなわち関連技術において示されるように、GAWBS に寄与する音響波の固有モードは、光ファイバ 13 のクラッド径のみの関数で表される。そのためクラッド径が既知であれば音響波の固有モードは一意に求められる。

【0029】

また、所望の伝搬モードの電界分布との重なり積分により、理論的に任意の伝搬モードに対する GAWBS スペクトルを求めることができる。実験により得られた GAWBS スペクトルから、理論的に求めた GAWBS スペクトルのうち所望の次数 i 以外の成分を減算することにより、所望の次数 i に対する $A_i(f)$ を抽出できる。

20

【0030】

図 3 には、0 次モード（基本モード）を利用した構成例を示している。図 3 では光源 11 側で基本モードを搬送波として入射するとともに、受光側に高次モードフィルタ 18 を挿入している。受光した基本モードの光波は、式 (2) で示した通り、光ファイバ中の全伝搬モードに対応した GAWBS の周波数成分を有しているため、受光部 15 では、光ファイバ 13 の伝搬中に GAWBS によって偏波変調を受けた基本モードを受光し、上述と同様にモード間パワー比を計算する。

【0031】

このとき、基本モードのみで光学系を構成するため、関連技術の単一モードの光ファイバ 13 向けデバイスをそのまま使用することができ、測定系を簡易に構成することができる。なお、基本モードのみを励振したときに接続点や光ファイバ 13 伝搬中のモード間結合によって生じる高次モードを対象としてモード間パワー比を測定する場合には、図で示したモード合波器 12 は不要となる。

30

【0032】

図 4 に、モード間パワー比測定方法に係る、数モードファイバの GAWBS 周波数スペクトルの測定結果例を示す。ここで測定波長は 1550 nm とし、光ファイバ 13 は測定波長で 2 モード伝送が可能である数モード光ファイバとして機能する光ファイバ 13 とした。また入射側に合分波器を挿入し、基本モード (LP01 モード) と第 1 高次モード (LP11 モード) を任意のパワーで入射した。

40

【0033】

図 4 は LP01 モードの入射パワーを 6.8 dBm とし、LP11 モードのパワーを上段よりそれぞれ 9.2 dBm、4.0 dBm、-5 dBm としたときのスペクトルである。測定結果は多数のピークを有する周波数スペクトルとなっており、500 MHz 以下の周波数帯では LP11 モードのパワーに関わらず、波形に変化がないことがわかる。当該周波数帯におけるピークは LP11 モードのパワーに依存しないことから、LP01 モードに対する GAWBS であると考えられる。

【0034】

一方、500 MHz 以上の周波数帯では、LP11 モードのパワーが増加するにつれ、ピークが大きくなっていることがわかる。これらは LP11 モードに対する GAWBS で

50

あると考えられる。図4からわかるように、光ファイバ13中で生じたGAWBSを観測することにより、光波の伝搬モードのパワーに対応した周波数スペクトルが得られることが確認できる。得られた周波数スペクトルにより、式(3)を用いてモード間パワー比を得ることができる。

【0035】

図5に、本発明のモード間パワー比測定方法を用いた、数モード光ファイバとして機能する光ファイバ13の出射端における伝搬モードパワーの測定結果例を示す。測定では図4の測定結果を得るために用いた測定系と同じものを用いた。横軸は数モード光ファイバとして機能する光ファイバ13に入射したLP01モードとLP11モードのパワー比、縦軸は本発明の測定方法による光ファイバ13の出射端でのモード間パワー比である。入射側のモード間パワー比が-20dBm以上の領域では線形に増加しており、入射したモード間パワー比と、本発明における計算機17によって測定された出射端でのモード間パワー比は比較的よく一致している。

10

【0036】

一方、入射側のモード間パワー比が-20dBm以下の領域では、LP11モードの入射パワーが十分小さいにもかかわらず、出射端で得られたモード間パワー比は約-20dBであった。これは、入射側で用いたモード合波器12におけるモード間クロストークが-20dBであることから、モード合波器12の性能に起因するものと考えられる。

【0037】

図6に、本発明のモード間パワー比測定方法を用いた、数モード光ファイバの接続点におけるモード間パワー比の測定結果例を示す。ここで数モード光ファイバの入射端には単一モードの光ファイバ13を5m接続し、オフセットを加えて融着接続することで、LP01モードとLP11モードを任意の割合で励振した。なお図中の○はオフセットを加えた場合、□はオフセットを加えず通常の融着接続を行った場合を表す。また出射端には曲げを加えた単一モードの光ファイバ13を接続することで高次モードを除去し、基本モードのみを受光した。

20

【0038】

図6の横軸はモード分波器を出射端に接続し、伝搬モードごとに分離して受光パワーを測定することで得られたモード間パワー比である。図6に示すように、本発明によって得られた測定結果と、モード分波器を用いて得られた測定結果は、パワー比が-16dB以上のとき、比較的よく一致しており、本発明のモード間パワー比測定法の妥当性が確認できる。

30

【0039】

一方、モード分波器を用いた方法では-20dB以下の値は得られなかった。これはモード分波器内におけるモード間クロストークに起因するもので、この値以下のモード間パワー比は測定できないことがわかる。

【0040】

しかしながら本発明のモード間パワー比測定方法では-20dB以下の値も測定ができしており、オフセットを用いない通常の融着接続のとき、約-25dBのモード間パワー比が生じていることがわかる。このとき、本発明のモード間パワー比測定方法では、出力側のモード分波器が不要であることから、モード分波器やモード分波器と光ファイバ13との接続点におけるクロストークの影響がないため、より精度よくモード間パワー比が得られる。

40

【産業上の利用可能性】

【0041】

本発明は、空間多重伝送を行う数モード光ファイバを用いた伝送システムにおける、モード間パワー比の測定に適用することができる。

【符号の説明】

【0042】

11：光源

50

- 1 2 : モード合波器
- 1 3 : 光ファイバ
- 1 4 : 偏光子
- 1 5 : 受光部
- 1 6 : スペクトルアナライザ
- 1 7 : 計算機
- 1 8 : 高次モードフィルタ

【要約】

【課題】本発明は、光ファイバにおいて生じた導波型音響波ブリルアン散乱による散乱光の周波数特性を測定し、該周波数特性において光ファイバ中を伝搬可能な所望の2つの伝搬モードに対応する変調量を比較することにより、当該伝搬モード間のパワー比を算出することを目的とする。

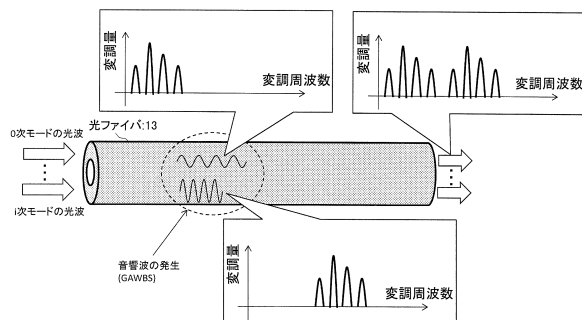
10

【解決手段】本発明に係るモード間パワー比測定方法では、入射光から導波型音響波ブリルアン散乱による偏波変調成分を抽出する偏光手順と、偏光手順で抽出した偏波変調成分を有する入射光を受光し電気信号に変換する受光手順と、受光手順において変換した電気信号から偏波変調成分を測定するスペクトル測定手順と、各伝搬モードに対応する偏波変調成分を互いに比較し、数モード光ファイバを伝搬する伝搬モード間のパワーの比率である伝搬モード間パワー比を算出する算出手順と、を順に行う。

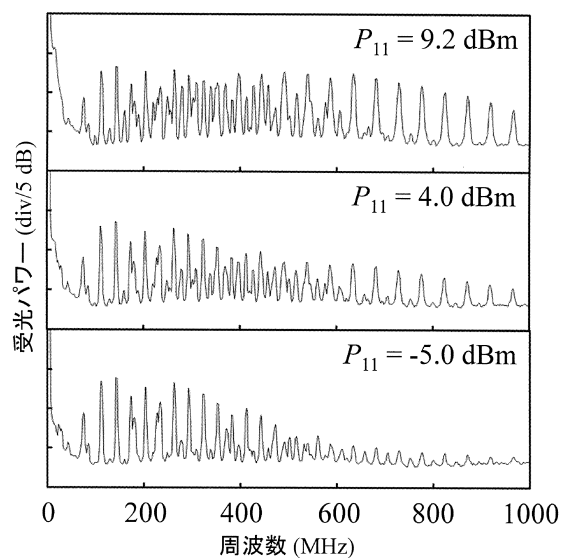
【選択図】 図 1

20

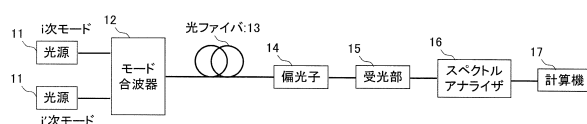
【図 1】



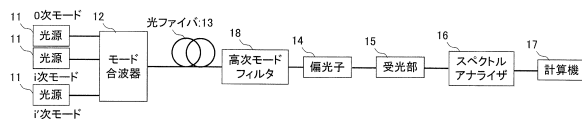
【図 4】



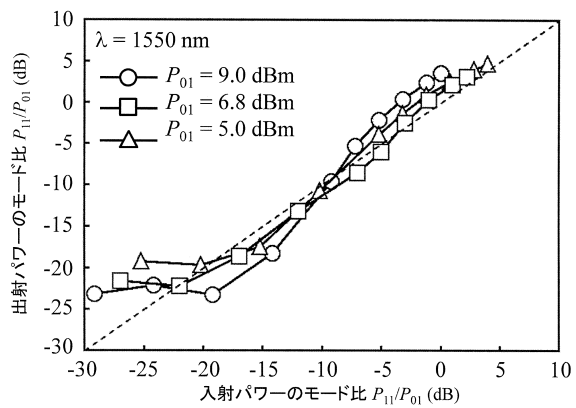
【図 2】



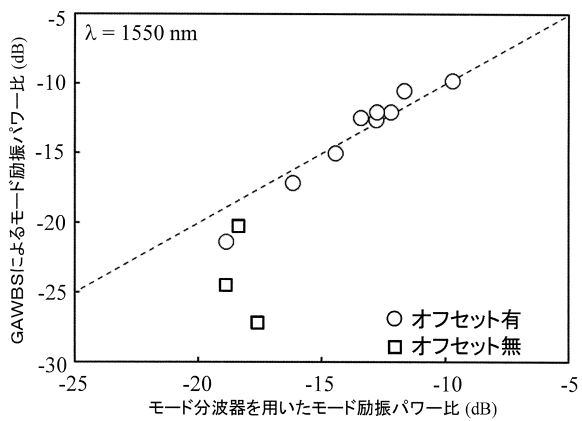
【図 3】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(72)発明者 山本 文彦

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 藤田 都志行

(56)参考文献 特開2012-150002 (JP, A)

特開2012-052999 (JP, A)

国際公開第2012/124816 (WO, A1)

半澤 信智、他5名, 「B-13-47 非対称平行導波路を用いた2モード多重伝送」, 2012年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 通信(2), 2012年 3月 6日, p. 551

田中 洋介、他1名, 「光ファイバ中の導波音響波型ブリルアン散乱の挙動解析」, 電子情報通信学会技術研究報告, 1996年10月 3日, Vol. 96, No. 284, p. 55-60

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01M 11/02

JSTPlus/JST7580 (JDreamII)

CiNii