


論文内容要旨 (和文)

氏名 半澤信智 

論文題目 大容量光ファイバ伝送用導波路型モード多重分離器に関する研究

単一モード光ファイバの伝送帯域幅は、光ファイバの低損失波長帯域とファイバ増幅器の利得帯域で決まるため、有限である。このため、通信容量を拡大するには、これまでの波長分割多重方式では限界がある。その克服は、光ファイバの複数の伝搬モードを用いたモード多重伝送技術が有効な1つの方法である。モード多重伝送のキーコンポーネントは、伝送光ファイバに複数のモードを入出力するためのモード多重分離器であり、その性能には、低い挿入損失、広い帯域幅、高いモード消光比が求められる。本論文は、光導波路を用いてその構造に工夫を施すことにより、要求される項目に対して良好な性能を有するモード多重分離器を提案し、その実証を行ったものである。本論文は、5章から構成されており、以下はその要約である。

第1章では、本論文の意義と目的について述べた。まず、光ファイバ通信を取り巻く状況について説明し、伝送容量拡大のためのモード多重伝送にはモード多重分離器が必要であることを述べた。これまで、ミラーと位相板を用いたモード別振位置を変える方法が検討されてきたが、このような空間光学部品を用いる方法では多重数が増えると部品点数に応じて損失が増大するなどの課題がある。本論文では、その課題を克服することを目的とした。

第2章は、平行導波路構造を用いた基本モード(LP₀₁)と第1高次モード(LP₁₁)の2つのモードに対する多重分離器について述べた。まず、平行導波路構造によるモード多重分離の基本原理を検証するために、2つの多モード導波路を平行に配置した構造が導波路結合長のモード依存性を有し、それによるモード分離が可能となることを理論および実験により明らかにした。次に、LP₀₁モードの入力には単一モード導波路が好ましいので、導波路の幅が異なる非対称平行導波路構造を用いてLP₀₁モードからLP₁₁モードへのモード変換機能を具備する多重分離構造を提案した。試作を行い、出力導波路の近視野像からモードの多重分離が可能であることを実験的に明らかにした。挿入損失は、1.55 μmの通信波長帯において平坦であり、最大値は1.3 dBとであった。このことは、低損失で広帯域であることを意味する。モード消光比は15 dB以上と高いモード消光比を実現した。このモード多重分離器を利用し、モード多重光ファイバ伝送実験を行った。10 Gbit/s、4チャンネル波長多重、光ファイバ9 kmの条件で実験し、受信パワーペナルティ1 dB未満で波長依存性のない良好な結果が得られた。

第3章は、導波路を用いた3モード(LP₀₁, LP_{11a}, LP_{21a})の多重分離器について述べた。平面の平行導波路においては、LP₀₁モードから第2高次モード(LP_{21a})へ直接モード変換することはできない。それを克服するために、導波路の3次元的な集積によるモード回転を用いた構造を提案した。試作を行い、実証実験を行った。その結果、出力の近視野像から3モードの多重分離が可能であることを明らかにした。挿入損失は、LP₀₁, LP₁₁モードについては1.55 μm通信波長帯においてほぼ平坦であり最大値は2 dBであった。LP_{21a}モードのそれは比較的大きな値であったが、波長が長いほど挿入損失が増加する実験結果から原因は導波路の曲げ損失であると特定できており、これは構造を最適化することで大幅に改善可能であることを数値計算により明らかにした。モード消光比は15 dB以上の良好な性能が得られた。

第4章では、第2高次モード(LP_{21a})の多重分離に3次元的な集積を用いない方法について述べた。第3章で述べた多重分離器の経験から、導波路断面内の電界分布を90度回転できるモード回転子を使えば、平面の構造でLP_{21a}モードを多重分離できるとの着想を得た。LP₁₁モード回転子として、シングルトレンチによる非対称な導波路断面構造を用いて試作を行い、LP₀₁、LP_{11a}、LP_{11b}、LP_{21a}モードの4つのモードに対する平面導波路型モード多重分離器の実証実験を行った。その結果、出力の近視野像から4モードの多重分離が可能であることを明らかにした。挿入損失は比較的大きいが、理論計算との比較からその原因は製造工程にあり、改善が可能であることを明らかにした。

第5章は、これまでの章を取りまとめ、結論を述べた。本論文で提案した導波路型モード多重分離器は、低損失、広帯域、高モード消光比の優れた性能を有し、モード多重光ファイバ伝送技術に貢献し、光ファイバ通信の大容量化に寄与できるものである。

学位論文の審査及び学力確認の結果の要旨

平成28年2月5日

理工学研究科長 殿

論文博士論文審査委員会

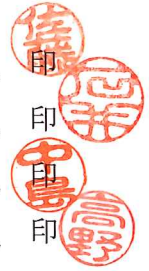
主査 佐藤 学

副査 石井 修

副査 中島 健介

副査 高野 勝美

副査



学位論文の審査及び学力確認の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	氏名 半澤 信智		
論文題目	大容量光ファイバ伝送用導波路型モード多重分離器に関する研究		
学位論文審査結果	<input checked="" type="checkbox"/> 合格・ <input type="checkbox"/> 不合格	論文審査年月日	平成28年1月30日～ 平成28年2月3日
論文公聴会	平成28年2月3日	場 所	工学部7号館7-302教室
学力確認結果	<input checked="" type="checkbox"/> 合格・ <input type="checkbox"/> 不合格	学力確認年月日	平成28年2月3日
学位論文の審査結果の要旨 (1,000字程度)			
<p>今日、光ファイバ通信の伝送容量は光ファイバの低損失波長帯域とファイバ増幅器の利得帯域で制限されている。増加する通信需要に応えるために、時間及び周波数における多重化技術に加え、光ファイバの伝搬モードを利用する新たなモード多重伝送方式が有望な方法として研究されてきた。この伝送方式には、モード多重分離器の実現が重要な課題である。本論文は、実用性から低損失、広帯域、高消光比などの特性を有するモード多重分離器に向けて、光導波路構造の工夫によりモード結合とモード変換およびモード回転等を行うモード多重分離器を提案し、デバイスの設計・試作および評価実験を通じてその特性を明らかにしているもので、全5章で構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、本論文の意義と目的について述べている。第2章では、平行光導波路構造による基本モード(LP₀₁)と第1次高次モード(LP₁₁)の2モード多重分離器について述べている。提案手法の原理と設計理論に基づく試作実験を行い、低損失で広帯域かつ高消光比などの優れた特性が実測された。特に損失については、ミラーと位相板でモードの励振位置を変える従来の方法に比して5.4 dBもの低損失化が実現できている。この低損失性により、ファイバヒューズにおいて光ファイバへの入力パワー上限とモード多重条件との関係が初めて実測できたことも重要な研究成果である。第3章では、前章の2つのモードに第2次高次モード(LP_{21a})も加えた3モード多重分離器について述べている。LP_{11a}モードを90度回転したLP_{11b}モードを介したLP_{21a}モードの多重分離器を提案し、複数の平行導波路構造を三次元的に集積して試作を行い、優れた特性を実験的に明らかにしている。第4章は、第3章で述べた複雑な三次元構造から実用化に向けて、通信基板上に実装可能な小型多重分離器を二次元導波路で実現した4モード(LP₀₁, LP_{11a}, LP_{11b}, LP_{21a})多重分離器について述べている。非対称光導波路断面構造によるLP₁₁モード回転子を用いる方法を提案し、試作と実測を通じて、初めて4つのモードを扱えるモード多重分離器を実現したことは、重要な研究成果である。第5章は結論である。</p> <p>本論文は、複数の光波モードを多重分離する導波路型モード多重分離器の原理と構造を提案し、実験的検証を通してモード多重光ファイバ通信におけるキーデバイスとしての可能性を明らかにすることにより、情報通信工学の発展に大きく寄与するものである。本論文の研究成果は、論文申請者を筆頭著者として4報の学術論文と8報の国際会議論文に掲載されている。以上より、申請論文が論文博士の審査基準を満たしており、論文博士の学位を授与するのに十分であると認め、合格と判定した。</p>			
学力確認の結果の要旨			
<p>学力確認は、学位論文公聴会における口頭発表と質疑応答を通じて、博士論文に関連のある内容について実施した。その結果、質問に対する回答は明瞭かつ的確で、博士の学位を授与するのに十分な専門知識と理解力を有していることが認められた。また、英語による学術論文が筆頭著者として4報あり、8報の国際会議発表の実績があることから、外国語科目(英語)の学力は十分に高いと認められた。以上より、審査委員全員の審議の結果、合格と判定した。</p>			