



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



楕円空孔コア円形空孔ホーリーファイバを用いた光デバイスの設計

メタデータ	言語: eng 出版者: 公開日: 2016-06-08 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 張, 沢君 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15118/00008932

チャン ゼジュン

氏 名 張 沢君

学位論文題目 Design of optical devices based on single-polarized elliptical-hole core circular-hole holey fiber
(楕円空孔コア円形空孔ホーリーファイバを用いた光デバイスの設計)

論文審査委員 主査 教授 辻 寧英
教授 長谷川 弘治
教授 鏡 慎

論文内容の要旨

インターネットやスマートフォンの普及とともに近年通信量がますます増大している。通信のさらなる大容量化を達成するためには、光の伝送路である光ファイバや光信号を処理するための光回路素子のさらなる性能向上が必須である。こうした中、フォトニック結晶ファイバ (PCF) は、従来の光ファイバでは得られない特異な性質を実現できることから、活発に研究が行われている。その特性の一つに絶対単一偏波伝送があり、中でも、楕円空孔コア円形空孔ホーリーファイバ (EC-CHF) は、コア部に楕円空孔を導入することで異方性を生みだし、 x 偏波と y 偏波のどちらか一方の偏波に対してのみコア部の等価的屈折率をクラッド部よりも大きくすることで容易に広帯域な単一偏波伝送を実現できる。本研究では、この EC-CHF の単一偏波伝送特性を利用した新たなクロストークのない光デバイスを提案し、その設計方法、光伝搬特性、構造トレランスについて詳細な検討を行っている。

本研究では、まず、三角格子 EC-CHF を用い、クロストークのない新たな方向性結合型偏波分離素子を提案している。コア部に真円空孔を配置した偏波無依存導波路 (CC-CHF) を入射導波路とし、その左右に x 偏波のみを伝送する x EC-CHF、 y 偏波のみを伝送する y EC-CHF を出力導波路として配置する。この構成では、各偏波は一方の EC-CHF にしか結合できないため、本質的に偏波クロストークのない偏波分離を実現できる。また、偏波ごとに位相整合条件を満足させることが可能であり、設計自由度が高い。この新しい偏波分離素子の設計方法および構造パラメータと動作特性について詳細な検討を行っている。次に、正方格子 EC-CHF を用い、コア部の楕円空孔を傾斜させた変換長の短い偏波変換素子を提案している。正方格子の対称性を利用し、コア部楕円空孔を結晶の主軸方向から 45 度傾けることで2つ

の直交偏波間で完全な偏波変換が可能である。さらにこの偏波変換素子の左右に入出力導波路として x EC-CHF, y EC-CHF を配置することで、クロストークのない偏波変換素子を提案し、その動作特性について詳細に検討を行っている。最後に、偏波とモードの一括分離のための基礎検討として、正方格子 EC-CHF を用いたモード分離素子の提案も行っている。ここでは、3モード ($E_{11}^x, E_{12}^x, E_{21}^x$) 伝送 x EC-CHF を入射導波路とし、その左と上に出力とする単一モード CC-CHF が置かれた L 字型構成としている。高次モードである E_{12}^x, E_{21}^x モードは基本モードに変換され出力導波路に結合する。その際、界の対称性から E_{12}^x, E_{21}^x モードはそれぞれ左側および上側の CC-CHF としか結合しないためモードクロストークを抑えることができる。

本研究で提案した構造は単一偏波 EC-CHF を用いているため、ファイバ間の結合を偏波/モードごとに限定することができ、各結合導波路を個別に設計でき、高い設計自由度を持っている。偏波分離素子と偏波変換素子を組み合わせ、ファイバ型偏波分離・変換素子を実現できる。また、偏波分離素子とモード変換・分離素子を組み合わせることで、偏波多重(PDM)とモード多重(MDM)システムを同時に実現できる。

ABSTRACT

With the development of information society, the demand for high-speed large-capacity optical communication system is further increased. In order to achieve this objective, demand for high-performance optical devices has also been increased. In recent years, photonic crystal fibers (PCFs), which consists of single material with a periodical array of air holes around the fiber core, have attracted a lot of attention due to their special properties that cannot be obtained by the conventional fibers. One of these properties is the absolutely single polarization transmission, and a novel single-polarized PCF with a core consisting of elliptical-holes, which is called elliptical-hole core circular-hole holey fiber (EC-CHF), has been proposed recently for achieving the single polarization transmission easily. In our research, we propose and design three kinds of novel passive optical devices based on the single-polarized EC-CHFs. Utilizing the full-vector finite-element method (FV-FEM) and the full-vector finite-element beam propagation method (FE-BPM), we investigate the optimal structural parameters, light propagation behaviors and structural tolerance of each proposed optical device in detail.

In our research, firstly, we propose a cross-talk free polarization splitter (PS) based on three triangular lattice EC-CHFs. An EC-CHF with circular air holes in the core region is polarization independence, here we refer to it as a CC-CHF and use it as the input waveguide. An x EC-CHF which can transmit only x -polarized light, and a y EC-CHF which can transmit only y -polarized light are placed on both sides of the CC-CHF and used as the output waveguides. Simulation results illustrate that the PS can completely split an arbitrarily polarized light beam into two orthogonal polarization states without any cross-talk. After that, a novel polarization converter (PC) based on square lattice EC-CHF with 45 degrees oblique elliptical holes in the core has been proposed. Utilizing the symmetry property of the square lattice EC-CHF, an incident x - or y -polarized wave can be converted 90 degrees. Moreover, we adopt two EC-CHFs on both sides of the PC to obtain a cross-talk free structure. Finally, a L-shaped mode converter/splitter (MCS), which has an x EC-CHF in the middle and two single-mode CC-CHFs at left and upper side, has been considered based on square lattice EC-CHF. Since the two higher modes (E_{12}^x and E_{21}^x) of x EC-CHF have the different symmetry along the x - and y -axis, with the light propagation, two incident higher modes can be converted into the corresponding fundamental modes and coupled into each output CC-CHF, respectively.

In our research, we design the passive optical devices using single-polarized EC-CHFs and our proposed devices have a high design flexibility. Such as a novel polarization splitter-converter can be obtained by combining the PS and PC which we have designed. Moreover, a high-performance optical device based on our proposed PS and MCS can make a contribution to the polarization division multiplexing (PDM) and mode division multiplexing (MDM) systems simultaneously.

論文審査結果の要旨

高速大容量光通信実現のため、フォトニック結晶ファイバ(PCF)に代表される新しい光ファイバの検討が活発に行われている。なかでも、最近提案されたコア部に

楕円空孔を有する楕円空孔コア円形空孔ホーリーファイバ (EC-CHF) は、コアの構造異方性を利用し直交偏波の一方を本質的に伝搬させない絶対単一偏波伝送を容易に実現することができることから、偏波多重光通信などへの応用が期待される。本研究では EC-CHF の光デバイス応用としてクロストークフリーな新しい偏波分離素子、偏波変換素子、偏波・モード分離/変換素子の構造提案とその特性の詳細な検討を通して光通信の発展に寄与することを目的としている。以下にその概要を述べる。

PCF を利用した偏波分離素子がこれまでも提案されているが、方向性結合型デバイスの多くは偏波間の結合長の差を利用したものであり、作製誤差などによりクロストークが問題であり、また設計波長からずれるとクロストークが生じ動作波長帯域に制限があるなどの問題もある。本論文で提案する偏波分離素子は出力導波路に単一偏波 EC-CHF を用いているため、 x 偏波と y 偏波の光はそれぞれ異なる導波路にしか結合せず、作成誤差による損失が生じたとしてもクロストークは生じない。また、クロストークフリーな波長帯域は EC-CHF の単一偏波伝送帯域で決まるが、EC-CHF では単一波長伝送帯域が通信波長帯を完全にカバーするような設計が容易であり、広帯域に渡ってクロストークフリーな偏波分離が可能である。論文では、導波モードの界分布形状、構造トレランス、波長依存性等について詳細に検討がなされ応用可能性について有益な知見を得ている。

偏波多重伝送においては偏波変換デバイスもまた重要なデバイスの一つであり、これまで PCF を用いて、主にコア外形状に非対称性を持たせた構造が種々提案されている。本論文では、EC-CHF の楕円空孔を直交偏波方向に対して傾けることにより偏波変換長が極めて短い偏波変換デバイスを提案している。また、この偏波変換素子の両側に単一偏波 EC-CHF を配置することで偏波クロストークのない偏波変換素子を実現している。さらに、本論文で提案している偏波分離素子と組み合わせた偏波分離/変換素子を提案し、空孔の傾き角の変化まで考慮した構造トレランスの評価と偏波変換特性について詳細に検討され有益な知見を得ている。

最後に、EC-CHF のモード多重伝送への応用のため、これまでの検討と併せて 3 モード \times 2 偏波のクロストークフリーな分離/変換デバイスが提案され、その設計理論とデバイス特性について有益な知見を得ている。

本論文で得られた知見は、光通信の発展に大きく寄与するものであり、博士(工学)の学位を授与するに値するものと認める。