

二重クラッドと中空円形ピットを持つ偏波スプリッタの数値解析

Numerical Analysis of Polarization Splitter with Doubly Clad and a Circular Hollow Pit

亀田和則¹, 古川慎一², ○鈴木祐介³

Kazunori Kameda¹, Shinichi Furukawa², *Yusuke Suzuki³

Abstract: We propose a new polarization splitter. One-half of new polarization splitter is used for a depressed clad fiber and the half of new polarization splitter is used for the fiber with a circular hollow pit outside a core. When the width t/a_1 of the depressed clad fiber is varied in the range $0.5 \leq t/a_1 \leq 3.0$, the device length L and the bandwidth BW_{-15} at $R \leq -15\text{dB}$ (R : the extinction ratio) are investigated. It is found at $t/a_1=3.0$ that: (1) L takes its minimum value 3.24mm; (2) BW_{-15} takes its maximum value 74.9nm.

1. まえがき

2本のコアを結合させた光ファイバは、光素子への応用として重要な構造である^[1]。このような構造を持つ代表的な光素子には、縮退している HE_{11} モードの直交する2つの直線偏波 (x 偏波と y 偏波) を分離させて取り出す事ができる偏波スプリッタがある。これまで筆者らは、円形コアを持つ光ファイバとコアの外部に中空円形ピットを持つ光ファイバとを結合させた構造^[2]や、円形コアを持つ光ファイバと楕円コアを持つ光ファイバとを結合させた構造^[3]について素子長と帯域幅を詳細に検討してきた。文献[2]では、素子長を 5.74mm、消光比が -15dB 以下となる帯域幅を 12.0nm にできる事を明らかにした。文献[3]では、文献[2]の結果に比べて素子長は 19.0mm と長くなり、消光比が -15dB 以下となる帯域幅は 4.98nm と狭くなるため、特性の改善を図ることが困難であった。

本研究では、コアと外部クラッドの間に中間層の内部クラッド領域を設けた二重クラッド型光ファイバとコアの外部に中空円形ピットを持つ光ファイバとを結合させた新しい偏波スプリッタを提案し、内部クラッドの溝の幅と深さを変化させながら素子長と帯域幅を解析的に検討した。

2. 解析結果

解析した偏波スプリッタの断面図と屈折率分布を Fig. 1(a) と Fig. 1(b) に示す。点 O_1, O_2, O_3 をそれぞれ領域 I, II, III の中心にとり、 O_Q ($Q=1, 2, 3$) を中心とする円筒座標系 (r_Q, θ_Q, z) を用いて電磁界を展開する。 z 軸は紙面に垂直とし、 z 軸方向への伝搬定数を β とする。領域 I はコア 1、領域 II はコア 2、領域 III はピット、領域 V は内部クラッド、領域 IV は外部クラッドである。コア 1 とコア 2 の構造は同一とする。

屈折率は帯域幅を検討するため、波長依存性を考慮した次式を採用した。

$$\text{コア 1, コア 2: } n_1(\lambda) = [n_G(\lambda) - n_S(\lambda)] d_1^G / d^G + n_S(\lambda)$$

$$\text{ピット: } n_3 = 1.0 \quad (\text{中空})$$

$$\text{外部クラッド: } n_4(\lambda) = n_S(\lambda)$$

$$\text{内部クラッド: } n_5(\lambda) = [n_F(\lambda) - n_S(\lambda)] d_5^F / d^F + n_S(\lambda)$$

d_1^G は各コアにおける GeO_2 のドーパント濃度を、 d_5^F は内部クラッドにおける F のドーパント濃度を示す。 $n_S(\lambda)$ は SiO_2 の屈折率、 $n_G(\lambda)$ は GeO_2 を 5.8mol% ($d^G=5.8$) 添加、 $n_F(\lambda)$ は F を 1.0mol% ($d^F=1.0$) 添加した屈折率である。コア 1 とコア 2 の比屈折率差 $\Delta_1(\lambda)$ と内部クラッドの比屈折率差 $\Delta_5(\lambda)$ は次式で定義する。

$$\Delta_m(\lambda) := [n_m(\lambda)^2 - n_4(\lambda)^2] / [2n_4(\lambda)^2] \quad (m=1,5)$$

解析結果には $\lambda=1.55\mu\text{m}$ での値 $\Delta_m = \Delta_m(1.55)$ を示した。

本研究では、二重クラッド型光ファイバのコアと内部クラッド領域に多層分割法^[4]を適用し、二重クラッド

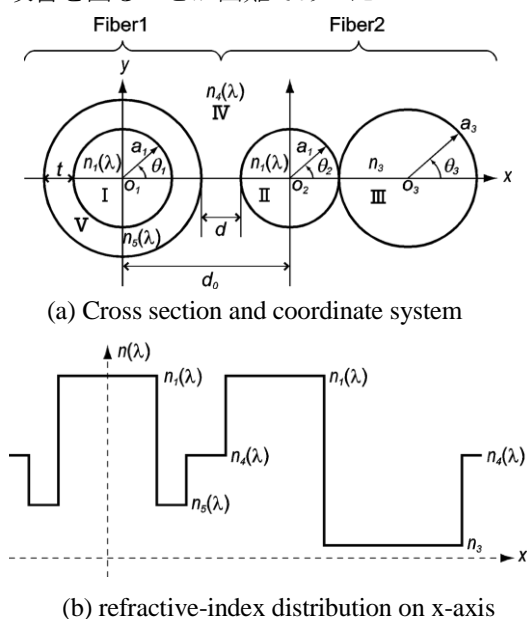


Fig.1. Structure of the polarization splitter

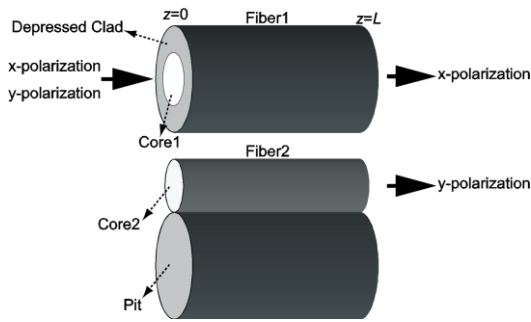


Fig.2. Action of polarization in the splitter

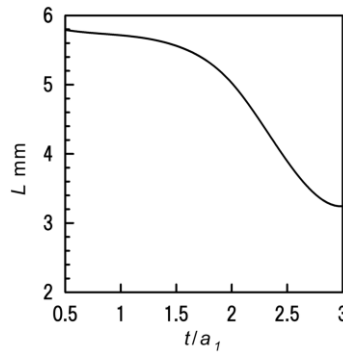


Fig.3. L versus t/a_1

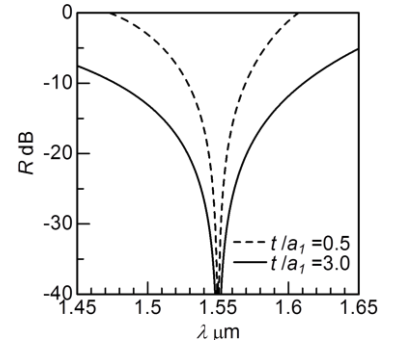


Fig.4. R versus λ

ド型光ファイバと中空円形ピットを持つ光ファイバとを結合した領域に改良点整合法^[5]を用いた。この手法により、伝搬定数を高精度 (7 桁以上) に求めることができ、結合長において 3 桁以上の精度を実現している^[6]。

本研究では, Fig. 2 に示したように $z=0$ でファイバ 1 を入力端としたとき, 出力端 ($z=L$) でファイバ 1 から x 偏波を, ファイバ 2 から y 偏波を取り出す偏波スプリッタの特性を解析する. 各ファイバのコアの構造は同一とし, ファイバのコアの半径 a_1 とコアの比屈折率差 Δ_1 およびピットの半径 a_3 の各値は, 文献[2]の中で最も素子長を短く, 且つ, 最も帯域幅を広くできる $a_1=1.85\mu\text{m}$, $\Delta_1=1.0\%$, $a_3/a_1=4.0$ とした. 中心波長 $\lambda=1.55\mu\text{m}$ で, ファイバ 1 から x 偏波をファイバ 2 から y 偏波を取り出す偏波スプリッタのコア間隔 d , 内部クラッドの比屈折率差 Δ_5 , 素子長 L , 消光比 R_1 , R_2 および R は, 文献[6]の手順(A-1)から手順(A-3)を用いて求めた.

Fig. 3 は, 内部クラッドの規格化幅 t/a_1 を変化させながら手順(A-1)と手順(A-2)より求めた素子長 L を示した結果である. t/a_1 の解析範囲は, $0.5 \leq t/a_1 \leq 3.0$ とした. Fig. 3 より, $t/a_1=3.0$ のとき L の最小値 $L=3.24\text{mm}$ が得られ, 文献[2]の結果 ($L=5.74\text{mm}$) と比較すると, 0.56 倍短くできる事が分かる.

Fig. 4 は, 手順(A-3)より求めた消光比 R を波長 λ について示した結果である. Fig. 4 より R は中心波長 $\lambda=1.55\mu\text{m}$ で最小となる事が分かる. Fig. 5 は帯域幅 BW_{-15} ($R \leq -15\text{dB}$ を選択したときの波長の範囲) を t/a_1 について示した結果である. Fig. 5 より t/a_1 を大きくすると, BW_{-15} は広くできる事が分かる. $t/a_1=3.0$ のとき $BW_{-15}=74.9\text{nm}$ となり, 文献[2]の $BW_{-15}=12.0\text{nm}$ と比較すると 6.2 倍広くできる事が分かる.

3. まとめ

本研究では, コアと外部クラッドの間に中間層の内部クラッド領域を設けた二重クラッド型光ファイバとコアの外部に中空円形ピットを持つ光ファイバを結合させた新しい偏波スプリッタを提案し, 内部クラッドの溝の幅 t を変化させながら素子長と帯域幅を検討した. その結果, $t/a_1=3.0$ (a_1 : コアの半径) の溝の幅で $L=3.24\text{mm}$ の素子長 (文献[2]の 0.56 倍短縮) と $BW_{-15}=74.9\text{nm}$ の帯域幅 (文献[2]の 6.2 倍広帯域) が得られることを明らかにした.

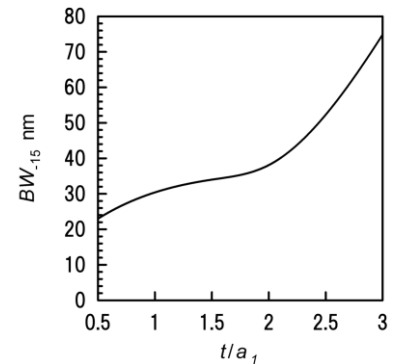


Fig.5. BW_{-15} versus t/a_1

3. 参考文献

- [1] K. Morishita and T. Yamaguchi: "Wavelength Tunability by Twisting Single-Mode Fused Couplers for Polarization Beamsplitting", The Papers of Technical Meeting on Electromagnetic Theory, IEE Japan, EMT-99-119, pp.79-84(1999-11)
- [2] 亀田和則, 細野敏夫: 「コアの外部に中空円形ピットを持つ偏波スプリッタの特性」, 信学論 C-I, J-78-C-I, 6, pp.273-281 (1995-6)
- [3] K. Kameda and S. Furukawa: "Characteristics analyses of a polarization splitter with a circular and an elliptical cores", IEEJ Trans. FM, Vol.129, No.10, pp.704-710 (2009-10)
- [4] 日向 隆, 吉川 浩, 細野敏夫: 「光ファイバの屈折率が理想的な分布から変形した場合の伝搬特性」, 信学論 C, J65-C, 8, pp.637-644 (1982-8)
- [5] T. Hosono, T. Hinata, and H. Yoshikawa: "Numerical analysis of polarization-maintaining optical fibers with circular pits in a circular core", Radio Science, Vol.19, No.5, pp.1265-1270 (1984-9)
- [6] 亀田和則, 古川慎一: 「中空円形ピットを持つ光ファイバの結合特性」, 電磁界理論研資, EMT-11-115, pp.55-60 (2011-11)