

## 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

-中心波長を 850nm と 1550nm にしたときの素子長と帯域幅の検討-

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

-The device length and the bandwidth at  $\lambda=850\text{nm}$  and  $1550\text{nm}$ -○亀田和則<sup>1</sup>, 古川慎一<sup>2</sup>, 阿部航大<sup>3</sup>\*Kazunori Kameda<sup>1</sup>, Shinichi Furukawa<sup>2</sup>, Kodai Abe<sup>3</sup>

Abstract: We proposed polarization splitter constructed from the fiber with a circular hollow pit and the fiber with doubly clad. In this paper, we analytically discuss the device length  $L$  and the bandwidth  $BW_{-15}$  at  $\lambda=850\text{nm}$  and  $1550\text{nm}$ . It is found that: (1)  $L$  at  $\lambda=850\text{nm}$  is about 0.54 times that of  $\lambda=1550\text{nm}$ ; (2)  $BW_{-15}$  at  $\lambda=1550\text{nm}$  is about 1.73 times that of  $\lambda=850\text{nm}$ .

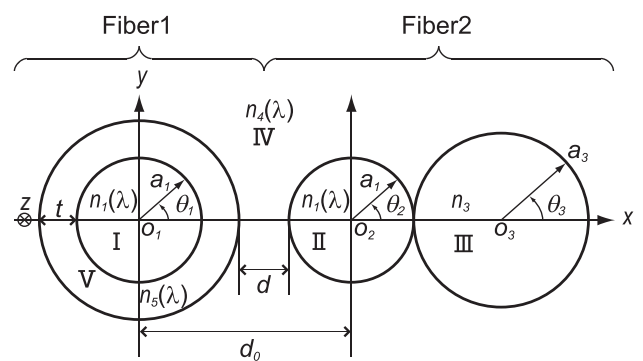
## 1. まえがき

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<sup>[1]</sup>。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、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<sup>[2]</sup>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について素子長と消光比および帯域幅を詳細に検討してきた<sup>[3]</sup>。その結果、素子長が短く、且つ、広帯域な偏波スプリッタを実現するためには、二重クラッド型光ファイバを用いる事が有用である事を述べた。さらに筆者らは、文献[3]の構造を持つ偏波スプリッタについて、構造パラメータの偏差による帯域幅への影響も検討してきた<sup>[4]</sup>。しかしながら、文献[3]と[4]では中心波長を  $1550\text{nm}$  に固定しており、中心波長を  $850\text{nm}$  にした場合について検討していない。

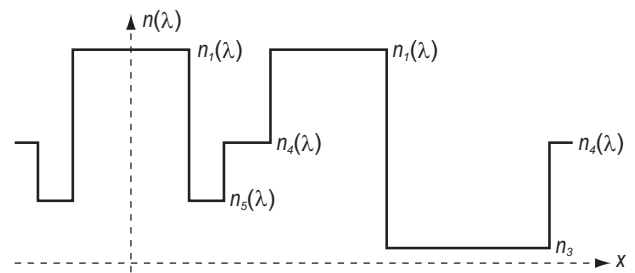
本研究では、コアと外部クラッドの間に中間層の内部クラッド領域を設けた二重クラッド型光ファイバとコアの外部に中空円形ピットを持つ光ファイバとを結合させた偏波スプリッタについて、中心波長を  $850\text{nm}$  と  $1550\text{nm}$  にしたときの素子長と帯域幅を解析的に検討した。

## 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  $(r_Q, \theta_Q, z)$  を用いて電磁界を展開する。 $z$  軸は紙面に垂直とし、光は紙面に向かって進行とした。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



(a) Cross section and coordinate system



(b) refractive-index distribution on x-axis

Fig. 1. Cross section, coordinate system and refractive-index distribution of the polarization splitter

である。コア 1 とコア 2 の構造は同一とするので、コア 1 とコア 2 を共にコアと呼ぶ事とする。各領域での電磁界の定式化と境界条件と、外部クラッドとコアの屈折率差を表す比屈折率差  $\Delta_1$  と外部クラッドと内部クラッドの屈折率差を表す比屈折率差  $\Delta_2$  とコア間隔  $d$  と素子長  $L$  および帯域幅  $BW_{-15}$  (消光比が  $-15\text{dB}$  以下となる波長の範囲) は、文献[3]に示した手法を適用し求めた。

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 ( $z=L$ : 素子長) 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についての特性を解析する。

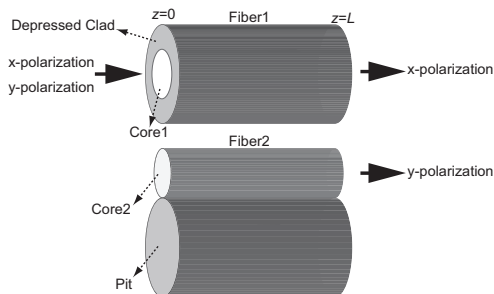


Fig.2. Action of polarization in a proposed splitter

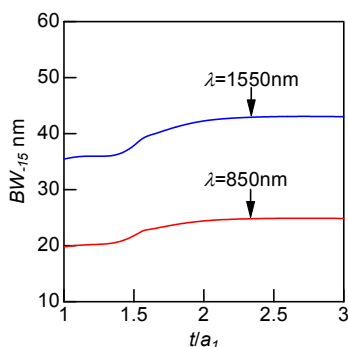


Fig.4.  $BW_{-15}$  versus  $t/a_1$  ( $V=2.3, \Delta_1=0.3\%$ )

解析で用いた中心波長は $\lambda=850\text{nm}$  と $\lambda=1550\text{nm}$  とした。以下の解析では、偏波スプリッタの特性についてファイバ2が単独で存在するときのモード複屈折率を同程度の値にして検討するために、次式で定義される規格化周波数  $V$  の値を一定とした。

$$V := (2\pi a_1 / \lambda) \sqrt{n_1^2(\lambda) - n_4^2(\lambda)}$$

$a_1$  はコア半径を、 $\lambda$  は中心波長を、 $n_1$  はコアの屈折率を、 $n_4$  は外部クラッドの屈折率を示す。数値結果に示す  $\Delta_5$  と  $\Delta_5$  は、中心波長での値を示す。

Fig. 3~Fig. 5 は、 $V=2.3, \Delta_1=0.3\%$  としたとき、内部クラッドの規格化幅  $t/a_1$  を変化させながら求めた  $\Delta_5$  と  $d/a_1$  と  $BW_{-15}$  および  $L$  を示した結果である。Fig. 3~Fig. 5 から次の事が言える。

- (1)  $\Delta_5$  は、 $\lambda=850\text{nm}$  のとき  $2.3 \leq t/a_1 \leq 3.0$  の範囲で  $-0.1219\%$ 、 $\lambda=1550\text{nm}$  のとき  $2.2 \leq t/a_1 \leq 3.0$  の範囲で  $-0.1218\%$  となる。
- (2)  $d/a_1$  は、 $\lambda=850\text{nm}$  のとき  $2.3 \leq t/a_1 \leq 2.5$  の範囲で最小になり、その値は  $0.301$  である。 $\lambda=1550\text{nm}$  のとき  $t/a_1=2.4$  で最小になり、その値は  $0.302$  である。
- (3)  $BW_{-15}$  は、 $\lambda=850\text{nm}$  のとき  $2.4 \leq t/a_1 \leq 3.0$  の範囲で最大になり、その値は  $24.8\text{nm}$  である。 $\lambda=1550\text{nm}$  のとき  $2.5 \leq t/a_1 \leq 3.0$  の範囲で最大になり、その値は  $43.0\text{nm}$  である。これらの最大値を比較すると  $\lambda=1550\text{nm}$  の方が約  $1.73$  倍大きくできる。
- (4)  $\lambda=850\text{nm}$  と  $\lambda=1550\text{nm}$  の  $L$  を比較すると、 $\lambda=850\text{nm}$  の方が約  $0.54$  倍小さくできる。

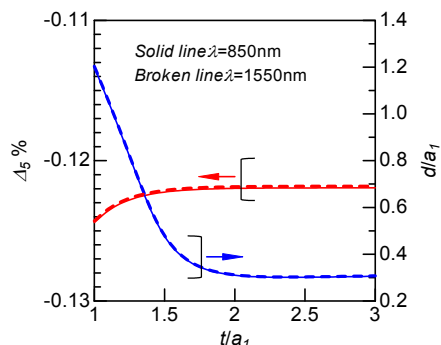


Fig.3.  $\Delta_5$  and  $d/a_1$  versus  $t/a_1$  ( $V=2.3, \Delta_1=0.3\%$ )

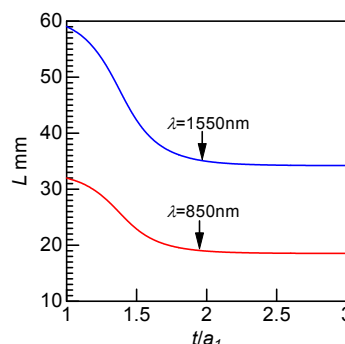


Fig.5.  $L$  versus  $t/a_1$  ( $V=2.3, \Delta_1=0.3\%$ )

### 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とを結合させた偏波スプリッタについて、 $\lambda=850\text{nm}$  と  $\lambda=1550\text{nm}$  での素子長  $L$  と帯域幅  $BW_{-15}$  を解析的に検討した。その結果、 $\lambda=850\text{nm}$  での  $L$  は  $\lambda=1550\text{nm}$  での  $L$  より約  $0.54$  倍小さく、 $\lambda=1550\text{nm}$  での  $BW_{-15}$  の最大値は  $\lambda=850\text{nm}$  での最大値より約  $1.73$  倍大きくできる事が分かった。

### 4. 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] S.Kawakami and S.Nishida: "Characteristics of a doubly clad optical fiber with a low-index inner cladding", IEEE J.Quantum Electron., Vol.QE-10, No.12, pp.879-887(1974-12).
- [3] 亀田和則, 古川慎一, 鈴木祐介: 「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」, 日大理工学術講演会, 平 24, L-61 (2012-11).
- [4] 亀田和則, 古川慎一, 須田将大, 阿部航大: 「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 - 構造パラメータの偏差による帯域幅への影響 - 」, 日大理工学術講演会, 平 25, L-42 (2013-11).