

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—

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

-Influence on bandwidth by deviation of structure parameters-

亀田和則<sup>1</sup>, 古川慎一<sup>2</sup>, 須田翔大<sup>3</sup>, 阿部航大<sup>3</sup>

Kazunori Kameda<sup>1</sup>, Shinichi Furukawa<sup>2</sup>, \*Shota Suda<sup>3</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 and clarified structure parameters attained the shorter device length and the wider bandwidth. In this paper, the effect of deviation from the optimized structure parameters on the device length and the bandwidth is discussed.

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、3.24mmの素子長と74.9nmの帯域幅を実現できる事を報告し、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ている。しかしながら、文献[3]では構造パラメータの偏差による消光比と帯域幅への影響を検討していない。

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、構造パラメータの偏差による消光比と帯域幅への影響を解析的に検討した。

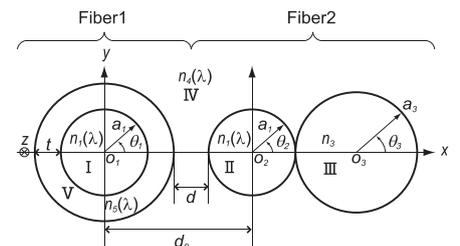
2. 解析結果

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するとした。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 は外部クラッドである。各領域での電磁界の定式化と屈折率と

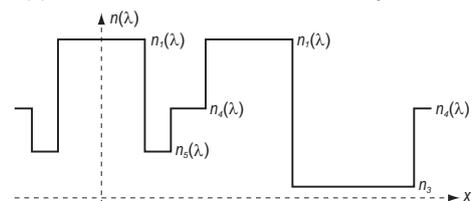
境界条件と素子長および消光比は、文献[3]に示した手法を適用し求め、使用波長は  $1.55\mu\text{m}$  とした。

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。

各構造パラメータの偏差は次式で定義する。



(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

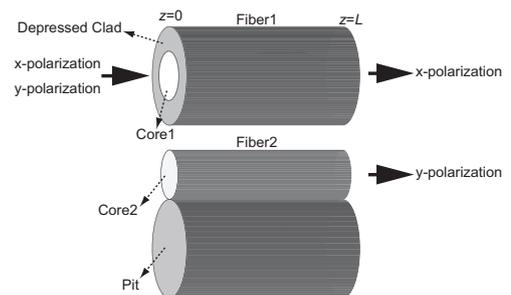


Fig.2. Action of polarization in a proposed splitter

1 : 佐野短期大学 2 : 日大理工・教員・電気 3 : 日大理工・学部・電気

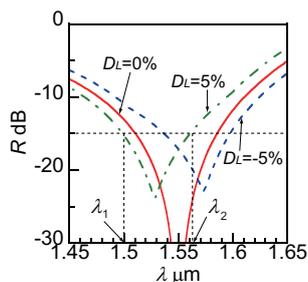


Fig.3.  $R$  versus  $\lambda$

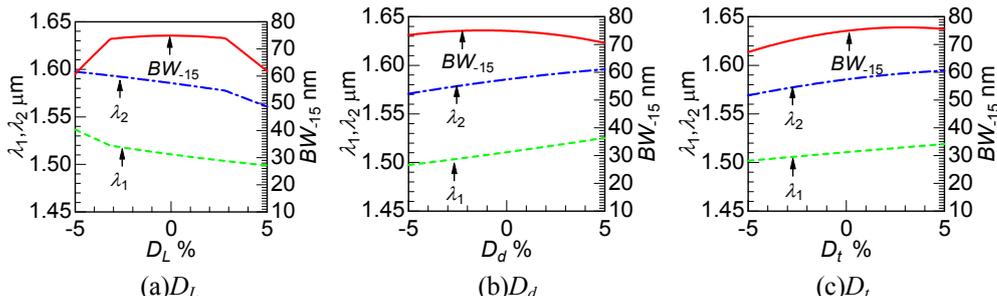


Fig.4.  $\lambda_1, \lambda_2$  and  $BW_{-15}$  versus  $D_W (W=L, d, t)$

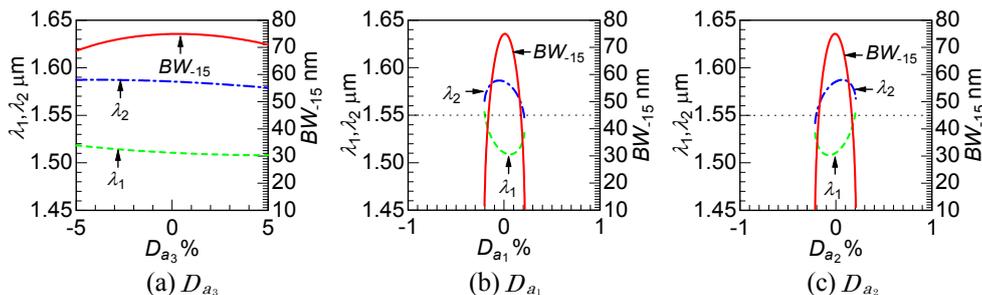


Fig.5.  $\lambda_1, \lambda_2$  and  $BW_{-15}$  versus  $D_W (W=a_3, a_1, a_2)$

$$D_W := (W - W_\rho) / |W_\rho| \times 100\%$$

ただし、 $W=a_1, a_2, a_3, t, d, L$ . 添字  $\rho$  は文献[3]で  $74.9\text{nm}$  の帯域幅を実現するための構造パラメータである事を表す。

図3は、素子長の偏差  $D_L$  を  $0\%$  および  $\pm 5\%$  としたとき、消光比  $R$  を波長  $\lambda$  について示した結果である。図中の点線は、 $R=-15\text{dB}$  を表し、 $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  ( $\lambda_1 < \lambda_2$ ) は各  $R=-15\text{dB}$  となる波長を表す。図3より  $D_L=0\%$  と  $\pm 5\%$  の場合、 $R \leq -15\text{dB}$  にできる事が分かる。本文で解析する偏波スプリッタは使用波長が  $1.55\mu\text{m}$  なので、 $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の値はそれぞれ  $\lambda_1 < 1.55\mu\text{m}$ ,  $\lambda_2 > 1.55\mu\text{m}$  でなければならない。以下の結果で示す帯域幅  $BW_{-15}$  は  $R \leq -15\text{dB}$  となる波長の範囲を表し、 $BW_{-15} = \lambda_2 - \lambda_1$  とした。図4と図5はそれぞれ、素子長の偏差  $D_L$ , 間隔の偏差  $D_d$ , 内部クラッドの幅の偏差  $D_t$ , ピットの半径の偏差  $D_{a_3}$ , コア1の半径の偏差  $D_{a_1}$ , コア2の半径  $D_{a_2}$  に対する  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  および  $BW_{-15}$  を示した結果である。図4と図5から次の事が言える。

- (1)  $D_L$  に対する  $BW_{-15}$  の値は  $-0.7\% \leq D_L \leq 0.6\%$  の範囲で、 $D_d$  に対する  $BW_{-15}$  の値は  $-2.6\% \leq D_d \leq 0.3\%$  の範囲で、 $D_t$  に対する  $BW_{-15}$  の値は  $0\% \leq D_t \leq 5.0\%$  の範囲で、 $D_{a_3}$  に対する  $BW_{-15}$  の値は  $-0.3\% \leq D_{a_3} \leq 0.9\%$  の範囲で  $BW_{-15} \geq 74.9\text{nm}$  となる。
- (2)  $D_W (W=a_1, a_2)$  に対する  $BW_{-15}$  の変化は、 $D_W (W=L, d, t, a_3)$  に対する  $BW_{-15}$  の変化より大きい。
- (3) 本文で解析する偏波スプリッタは使用波長が  $1.55\mu\text{m}$  なので、 $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の値はそれぞれ  $\lambda_1 < 1.55\mu\text{m}$ ,

$\lambda_2 > 1.55\mu\text{m}$  でなければならない。しかしながら、 $\lambda_1 \geq 1.55\mu\text{m}$ ,  $\lambda_2 \leq 1.55\mu\text{m}$  となる  $D_W (W=a_1, a_2)$  が  $|D_W| \leq 0.3\%$  の範囲に存在する。

### 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偏波スプリッタについて、構造パラメータの偏差  $D_W (W=a_1, a_2, a_3, t, d, L)$  による帯域幅  $BW_{-15}$  を解析的に検討した。得られた主な結果は次のとおりである。

- (1)  $D_L$  に対する  $BW_{-15}$  の値は  $-0.7\% \leq D_L \leq 0.6\%$  の範囲で、 $D_d$  に対する  $BW_{-15}$  の値は  $-2.6\% \leq D_d \leq 0.3\%$  の範囲で、 $D_t$  に対する  $BW_{-15}$  の値は  $0\% \leq D_t \leq 5.0\%$  の範囲で、 $D_{a_3}$  に対する  $BW_{-15}$  の値は  $-0.3\% \leq D_{a_3} \leq 0.9\%$  の範囲で  $BW_{-15} \geq 74.9\text{nm}$  となる。
- (2)  $D_W (W=a_1, a_2)$  に対する  $BW_{-15}$  の変化は、 $D_W (W=L, d, t, a_3)$  に対する  $BW_{-15}$  の変化より大きい。

### 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).