

高性能偏波ビームコンバイナ・偏波保持カプラ

光電子技術研究所 大内 康弘^{*1}・大橋 正和^{*1}
田中 大一郎^{*2}

Advanced Polarization Beam Combiner and Polarization Tap Coupler

Y. Ouchi, M. Ohashi & D. Tanaka

偏波面保持型の光部品は、偏波インタリーブ多重伝送など、次世代のDWDM伝送技術をにう伝送システム部品として注目を集めている。われわれもこれまでに熔融延伸型の偏波ビームコンバイナ (Polarization Beam Combiner : PBC), 偏波保持タップ (Polarization Maintaining Tap : PM-Tap) カプラを開発し、実用化している。しかし従来のPBC, PM-Tapカプラでは、挿入損失の波長依存性、温度依存性が十分に抑制されていないという問題があった。

今回、熔融延伸型光部品用に最適化したPANDAファイバを使用することにより、挿入損失の温度依存性、波長依存性を大幅に改善したPBC, PM-Tapカプラの開発に成功した。PBCについては波長範囲40nmにおいて0.4dB以下の挿入損失を達成しており、またPM-Tapカプラについても40nmの波長範囲で0.1dB以下の波長依存性、0.15dB以下の温度依存性を達成している。

Polarization maintaining fiber couplers have attracted interest as an important component for the next generation DWDM transmission technology, for example a polarization interleaving multiplexing technology.

We have developed PBCs and PM-Tap couplers with fused taper structure, and they have been put into practical use. However, their temperature and wavelength dependence of loss has not been suppressed sufficiently.

In this paper, we report novel PBCs and PM-Tap couplers with suppressed temperature and wavelength dependence of loss by using specially designed PANDA fiber for optical components. Achieved insertion loss of PBC was 0.4dB even in 40nm wavelength range. Also on PM-Tap couplers, 0.1dB of wavelength dependent loss and 0.15dB of temperature dependent loss have been achieved.

1. ま え が き

近年、波長多重通信方式 (DWDM伝送システム) のさらなる波長多重化のため高出力EDFAが要求されており、そのため高出力励起パワーも必要とされている。それに加え最近ではEDF増幅帯域外で光増幅を行うことができるラマン増幅も注目されている。ラマン増幅では励起光波長を選択することにより任意の波長帯を増幅することが可能であるが、数百mWという高い励起パワーが必要とされる。このような励起光の高出力化のためにはPBCが有効である。さらに直交する偏波を利用した多重、分離技術 (偏波インタリーブ方式) が注目を浴びようになってきたことから、偏波を保持したまま信号光のパワーをモニタするPM-Tapカプラの需要も高まってきている。

大容量伝送システムに組み込まれる、これら偏波保持光部品に要求される特性は、低損失であること、低偏波クロストークであること、高信頼性であることのみならず、使用環境条件、特に環境温度の変化によって光学特性が大きく変化しないこと、広い波長帯域で損失が小さくかつ波長依存性が小さいこと等の要求も厳しくなってきた。また近年では機器設置面積の省スペース化のために部品小型化の要求も強くなってきている。

今回、新たに偏波保持型光部品用PANDAファイバを設計し、延伸条件を最適化することにより、波長依存性、温度依存性を大幅に改善し、小型化をはかったPBC, PM-Tapカプラを開発することに成功したので、その結果について報告する。

2. 従来のPBC, PM-Tapカプラの問題点

図1に先に報告したPBCの構造および偏波保持光ファイバ (PANDAファイバ) の断面図を示す。

*1 光通信研究部

*2 光通信研究部グループ長

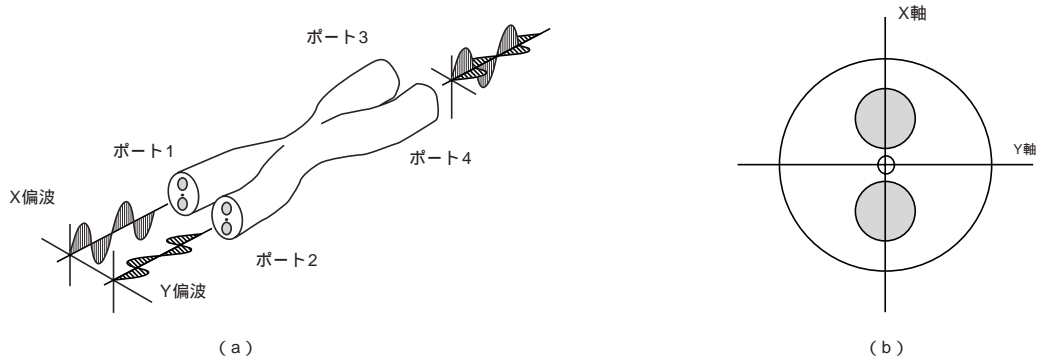


図1 (a) PBCの構造 (b) PANDAファイバの断面図
 (a) Schematic configuration of the PBC (b) Polarization axes in PANDA fiber

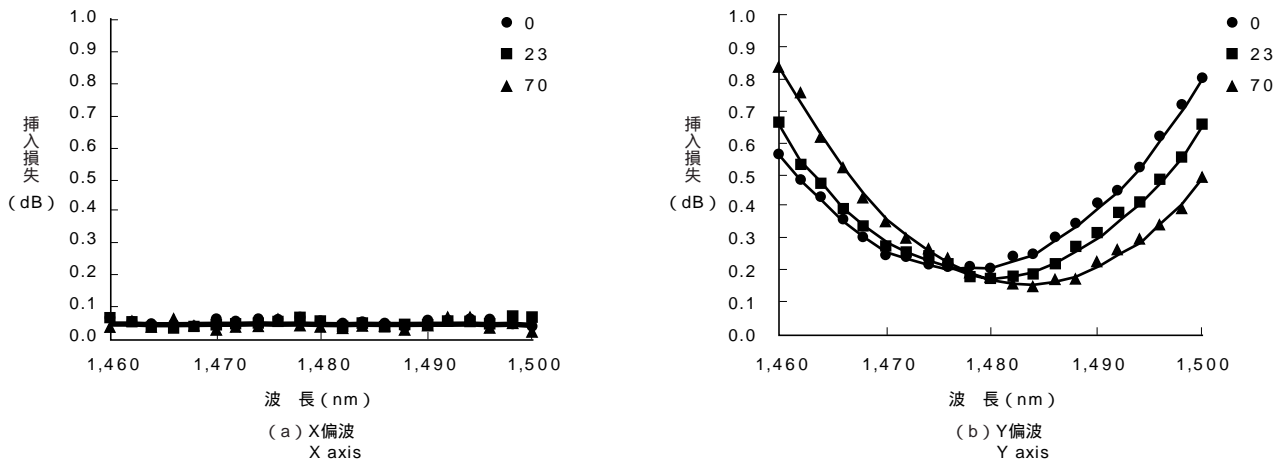


図2 従来形PBCの挿入損失特性
 Insertion loss characteristics of current PBC

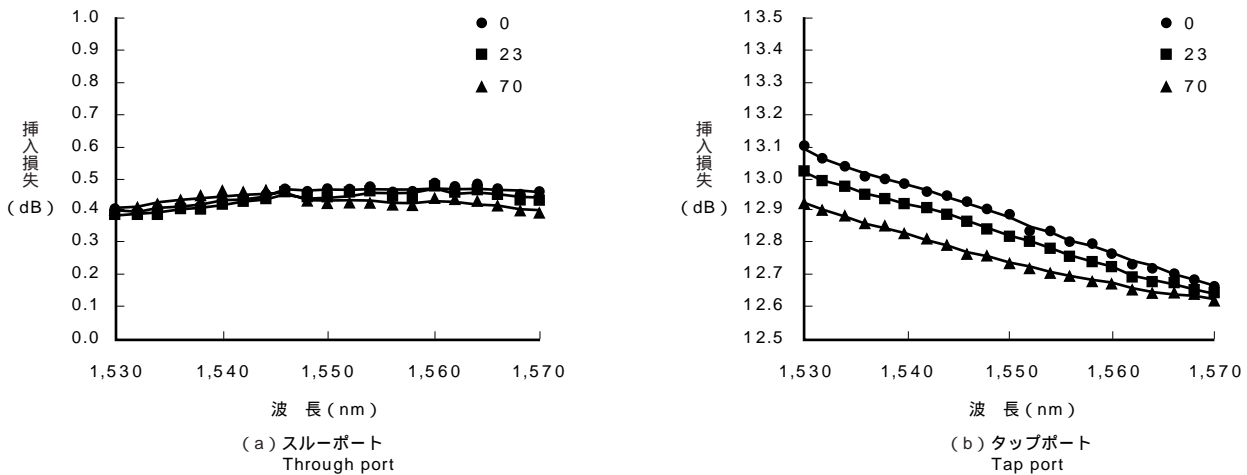


図3 従来形5%PM-Tapカブラの挿入損失特性
 Insertion loss characteristics of current 5% PM-Tap coupler

PBCは偏波合成を可能にし、EDFAやラマン増幅器の高出力励起パワーを得るための重要なデバイスであり、低損失なものが要求される。

図2にこれまでに報告しているPBC¹⁾²⁾の挿入損失波長特性の一例を示す。中心波長1,480nmにおける損失は0.1dB (X軸), 0.3dB (Y軸)であり、低い値を示している。このY偏波の挿入損失については波長依存性が存在す

るが、中心波長±5nmという波長範囲における損失の変動量は非常に小さく、実用上十分である。しかし、例えば±20nmという広い波長帯域を考えると、波長域両端においてY偏波の損失は大きくなり、波長依存性のないX偏波の損失との差異も大きくなってしまふ。このため使用できる波長帯域には制限があった。また、図2に示すY偏波の挿入損失曲線は、環境温度の変動にともない波長方

向にシフトするので、損失波長勾配が大きくなる波長域両端では、Y偏波の挿入損失温度依存性は大きなものになってしまう。

図3に従来の5%PM-Tapカブラの挿入損失特性を示す。PM-Tapカブラは励起光や信号光の出力パワーをモニタする重要なデバイスであり、安定かつ低損失なものが要求されるが、従来のPM-Tapカブラのタップポートの挿入損失にも波長依存性、温度依存性が存在する。

また、現状の偏波保持光部品のデバイスサイズはPBCで 3.0mm x 65mm、PM-Tapカブラで 3.0mm x 70mmであり、光機器の小型化に対して少なからず障害となっていた。

3. 光部品用PANDAファイバの設計

PANDAファイバは応力複屈折を利用した偏波保持ファイバであり、コアの両側に配置した応力付与部はクラッドガラスより大きな熱膨張係数を有している。この応力付与部は、線引き工程でのファイバ冷却過程において、ファイバ断面に非軸対称応力を付与し、光弾性効果により複屈折を誘起する。このときPANDAファイバ2つの主軸X,Yに対する屈折率を n_x および n_y とすると

$$n_x = n_{x0} + C_1 x + C_2 y + C_2 z$$

$$n_y = n_{y0} + C_2 x + C_1 y + C_2 z$$

と表される。ここで C_1, C_2 は光弾性定数であり、 n_{x0}, n_{y0} は無応力時のXおよびYの実効屈折率である。このとき、モード複屈折率Bは

$$B = (n_x - n_y) + (C_1 - C_2)(x - y)$$

で定義される。コアに印加されている残留応力 x, y はクラッドガラスと応力付与部の熱膨張係数差と温度の関係であるので、モード複屈折率Bには温度依存性が存在す

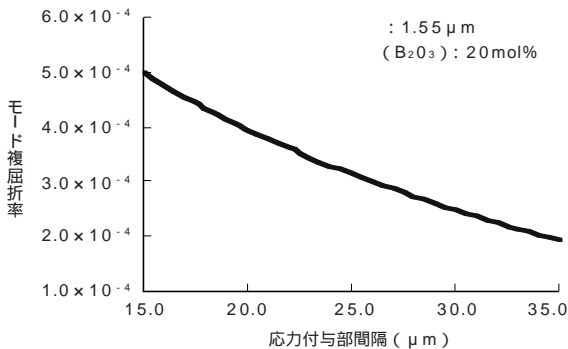


図4 応力付与部間隔とモード複屈折率の関係
Relationship between SAPs distance and mode birefringence

表1 光部品用PANDAファイバの測定値
Measurement results of PANDA fiber for optical components

項目	測定値
最大クラッド径	125.2 μm
伝送損失	0.193 dB/km
MFD	10.7 μm
ビート長	5.45 mm
遮断波長	1.32 μm

る。このことは環境温度の変動にともない各偏波の実効屈折率が変化し、その結果、結合度にも変化が現れることを意味する。偏波保持光カブラに挿入損失温度依存性が存在するのはこのためである。

このモード複屈折率Bの温度依存性を解消することは、PANDAファイバの構造上不可能であるが、室温におけるモード複屈折率Bを小さくすれば、この温度依存性を低減することはできる。

しかしモード複屈折率Bを過剰に小さくすると、PANDAファイバのクロストークを劣化させ、曲げや側圧などの外乱に対して安定な偏波保持特性を示すことができなくなる。

そこで、偏波保持特性を示す指標である偏波クロストークの値が、カブラとして実用上十分な -20dB以下を確保できるようなモード複屈折率Bを実験的にもとめ、モード複屈折率Bを最適化した光部品用のPANDAファイバを作製した。モード複屈折率BはPANDAファイバの応力付与部間隔を調整することによって、比較的容易に制御することができる。図4に応力付与部間隔とモード複屈折率Bの関係の計算結果を示す。

また、偏波保持光カブラの波長依存性の原因の一つである過剰損失（光結合部で発生する損失）は、PANDAファイバ内部の低屈折率領域である応力付与部が光の結合を妨げ、電界分布に異方性を生じさせるため大きくなると考えられている³⁾。このことからPANDAファイバの応力付与部間隔を広げることは、過剰損失を低く抑え、光の結合を妨げ難くして、より短い延伸長でのカブラ作製も可能になる。

設計した光部品用PANDAファイバの諸元を表1に示す。

4. カブラの小型化

光通信に用いられる機器や光ファイバセンサの実用化において、光部品の小型化は光機器の設計の自由度を高め、機器の小型化をはかる上で非常に有用であり、偏波保持光部品も例外ではない。

カブラの小型化のためには、より短い延伸長でカブラを作製することが必要となる。今回開発したPBCおよびPM-Tapカブラは延伸長をより短くするため、2本の光部

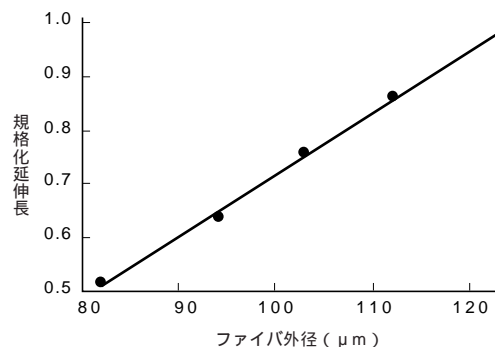


図5 ファイバ外径と延伸長の関係
Relationship between cladding diameter and elongation length

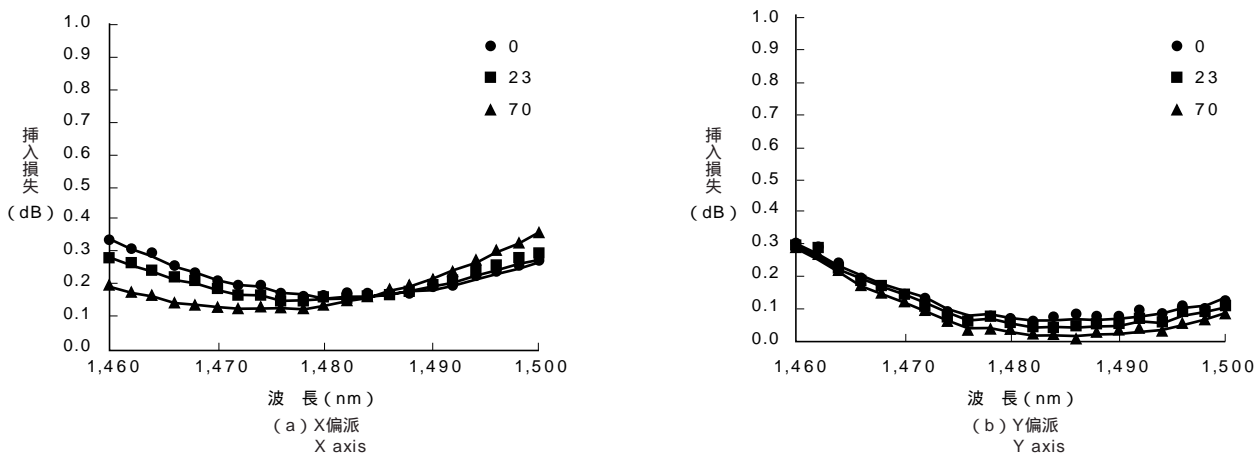


図6 改善されたPBCの挿入損失特性
Insertion loss characteristics of improved PBC

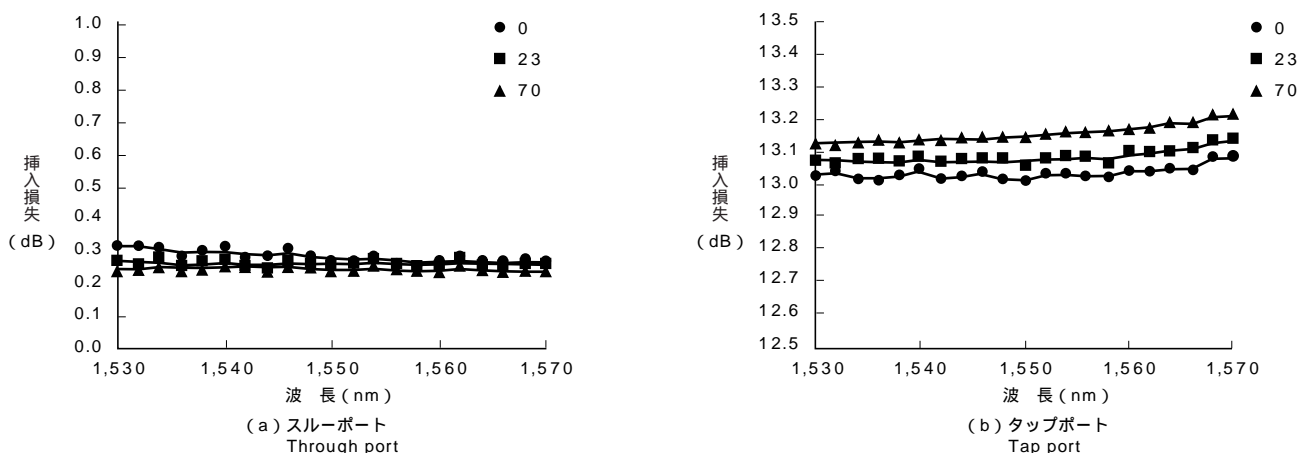


図7 改善されたPM-Tapカプラの挿入損失特性
Insertion loss characteristics of improved PM-Tap coupler

品用PANDAファイバにエッチング処理をほどこしている。図5にファイバ外径と延伸長の関係を示す。エッチングすることにより2本のファイバのコア間距離を近づけることができるので、より短い延伸長でのカプラ作製が可能になる。

カプラの作製は、エッチング処理をほどこした2本のPANDAファイバを偏波軸に精密に合わせて平行に配列し、出射光量をモニタしながら加熱延伸して行った。

5. 結 果

図6に光部品用PANDAファイバを用いて、さらに熔融延伸前工程としてエッチング処理をほどこして作製したPBCの挿入損失の波長特性を示す。1,480nmにおける損失はX偏波、Y偏波ともに0.2dB以下であり、偏波保持光部品としては、非常に低い値を示している。また、Y偏波の挿入損失の波長依存性も抑えられているので、波長幅40nmの範囲の最大挿入損失もX偏波、Y偏波ともに0.4dB以下を達成している。さらに、動作温度範囲である0 ~ 70 における温度依存性も0.15dB以下を達成している。

低損失でかつ波長依存性の小さいPBCは、EDF励起光の偏波合成や偏波インターリーブ多重方式における信号光

の偏波の合分波など帯域幅が広い用途への適用も可能と考えられる。さらに本PBCはラマン増幅の励起光の合波にも適している。誘導ラマン散乱現象を利用したラマン光増幅は、増幅利得が信号光と励起光の偏光状態の関数に強く依存するため、励起光の偏光度を小さくする必要がある。本PBCは、X偏波とY偏波の損失の差が非常に小さいので、2台のLDの出カパワーが同じ場合の偏光度は1%以下となり、ラマン増幅器の励起光の合波にも非常に有用である。

図7には同様の手法を用いて作製した5%PM-Tapカプラの挿入損失特性を示す。

このPM-Tapカプラは、従来のものと比較して、スルーポートの挿入損失が大幅に低減されている。

またタップポートの挿入損失波長依存性は、1,530nm ~ 1,570nmの波長範囲において0.3dB/40nmと十分な波長平坦度を有している。さらに0 ~ 70 における温度依存性もタップポートで0.1dB以下を達成している。また、PM-Tapカプラの光学特性として重要なスルーポートの偏波クロストークに関しても、平均で - 25dB (@1,550nm) 以下が達成されており、センサ用途への応用も可能である。ここでは、分岐比5%の信号光用PM-Tapカプラを例にあ

げたが、製造条件を変えることにより分岐比，使用波長範囲を変えることも可能である．

また，今回開発したPBCのデバイスサイズは3.0mm×60mm，PM-Tapカブラは3.0mm×50mmとデバイスサイズの小型化も実現している．

6.むすび

溶融延伸型光部品であるPBC，PM-Tapカブラの特性改善を行った．光部品用PANDAファイバを新たに開発し，カブラ作製前にエッチング処理をほどこすことによって低挿入損失であり，かつ挿入損失の波長依存性，温度依存性ともに小さく，デバイスサイズも小さいPBC，PM-Tapカブラを実現した．

これら高性能偏波保持カブラシリーズは，偏波インターリーブ方式など次世代をになうDWDM伝送システムの一

部品として，今後重要な役割を果たすと期待される．

参考文献

- 1) H. Sasaki, D. Tanaka, R. Matsumoto, K. Nishide and R. Yamauchi: Low Loss, High Reliability All Fiber Polarization Beam Combiner, OECC'00. 12B1-4, 2000
- 2) D. Tanaka, H. Sasaki, R. Matsumoto, K. Nishide and R. Yamauchi: 980nm and 1480nm Pump Power Doublers for EDFAs by Using a Novel PANDA Fiber Type Polarization Beam Combiner, NFOEC'01., Vol. 2, pp. 196, 2000
- 3) I. Yokohama, M. Kawachi, K. Okamoto, J. Noda: Polarization-Maintaining Fiber Couplers with Low Excess Loss, Electron Lett., Vol.22, 18, pp.929-930,1986