

# 偏波合成モジュールの商品化

## Product Engineering of Polarization Beam Combiner

松浦 寛*	青木 拓磨*	渡辺 泰弘*	尹 大烈*
Hiroshi Matsuura	Takuma Aoki	Yasuhiro Watanabe	Daeyoul Yoon
露木 真道* <sup>2</sup>	鍵和田 秀人* <sup>2</sup>	阿部 啓*	太田 寿彦* <sup>2</sup>
Mamichi Tsuyuki	Hidehito Kagiwada	Masaru Abe	Toshihiko Ohta

**概要** ラマン増幅及びDWDM用高出力光アンプに使用する半導体励起レーザーの出力を合成して2倍にすることが出来る偏波合成モジュールを開発した。光路中に接着剤を使用せず、YAGレーザーにより機械部品を高強度溶接するので信頼性が高い。光学素子とファイバ結合系の最適化を行うことで広帯域（1410 nmから1560 nm）、低挿入損失（平均0.2 dB）を実現した。

### 1. はじめに

北米を中心として発展してきたインターネットが1990年代初めに爆発的な勢いで全世界に普及し始めたことで、光ファイバー線路の更なる大容量化が必要となった。この大容量化は、それと時期を同じくして実用化されたエルビウム添加ファイバアンプ（EDFA）を中心とする光通信技術により進められた。幸にも、エルビウム添加ファイバ（EDF）の利得帯域が広がったため、EDFの利得帯域に多くの信号波長を詰め込むことのできる波長分割多重（WDM）技術が成功を収め、伝送速度を上げる技術をしのいで急速な勢いで進歩した。WDMのキーとなる増幅技術は、光ファイバの伝送損失が少なく利得平坦（へいたん）化の容易な1550 nm帯を対象としてスタートしたが、やがて1530 nm帯もカバーし、最近では利得の低い1580 nm帯までも帯域が拡大してきた。増幅帯域が広がり波長多重数が多くなると励起光源は高出力である必要があることから、現在のEDF増幅では、上記の広帯域・波長多重化により更なる高出力励起光源が必要とされている。それに代わって最近では、EDF増幅帯域外で光増幅を行うことが出来るラマン増幅が注目されはじめた。ラマン増幅は、励起光波長を選ぶことにより任意の波長帯を増幅することが可能であるため1970年代から盛んに実験が行われていたが、数百mWという励起光を必要とするため実用化は不可能であった。しかし、EDFAの進歩で高出力励起光源も同じく進歩したことで実用化の可能性が見え始めた。最近の研究ではEDFAに比べ低雑音で広帯域化が可能との報告もなされたことからますます実用に向けた開発に拍車がかかり、これに使用される高出力励起光源の開発競争も激化してきている。

当社は光通信初期から励起光源として励起レーザーモジュール

（LDM）を商品化し、今では世界最高出力（300 mW）もラインナップに加えるに至った。また石英系ガラス集積回路（PLC）の技術を用いて1 Wを越える広帯域高出力励起ユニット（HPU）を開発し、光通信技術の実用化と発展に寄与している。本稿では、偏波保持光ファイバ（PMF）出力を持つLDM同士を偏波合波することで、安価で簡単に500 mWクラスの光出力を得ることが出来る、低挿入損失でかつ広帯域の偏波合成モジュール（以下PBC）の開発と商品化技術について報告する。

### 2. 偏波合成モジュール

基本構成は、入射ファイバPMF1とPMF2から入射される定偏波光を一軸性複屈折結晶（以後、結晶と呼ぶ）を用いて偏波による合成を行い、シングルモード光ファイバ（SMF）に結合させる方式である。モジュール側の各ファイバ先端面には、反射防止膜（ARコート）を施し、非球面レンズを付けファイバ端面からの発散光を平行光にしている。また、ここでPMF1及びPMF2間の距離を確保するために光路分離素子を使用している。また、光路中には接着剤は使用しておらず、各機械部品はYAGレーザーにより高強度溶接されている。図1にPBCの外観を示す。

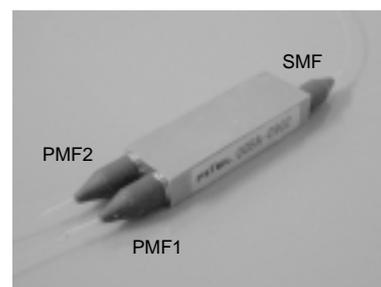


図1 偏波合成モジュールの外観写真  
Appearance of polarization combiner

\* ファイナルフォトニクス研究所 WP チーム

\*<sup>2</sup> ファイナル製品事業部 光部品部

2.1 応用例

つぎに、WDMD用アンプでのPBC応用例を図2に示す。LDMからの1480 nm励起光をPBCで偏波合波して光パワーを上げ、後方励起モジュール(BPM)に入れる。BPMには励起光(1450 nm ~ 1500 nm)は反射し、信号光(1520 nm ~ 1570 nm帯)は透過するハイパスフィルタ(HPF)が組み込まれているため、励起光はHPFで反射しEDFに入り、EDF側からはアンプされた信号光がBPMを抜けて伝送される。

2.2 他方式との比較

PBC用の偏波合波素子として、偏光ビームスプリッタ(PBS)を使用した製品も市販されている。PBSは直角プリズムの斜面に蒸着を施し、もう一方の直角プリズムの斜面とを有機系接着剤で張り合わせるだけで非常に安価に調達できるため選択されているようである。しかし、PBSを使用した偏波合成モジュールは、一般的に透過波長帯域が狭い。また、数百mWもの光パワーを入射したとき、プリズムを張り合わせている接着剤の吸収若しくは作業時に付着したゴミが焼ける可能性があり、耐パワー性の面から見て信頼性が低いため注意が必要である。更

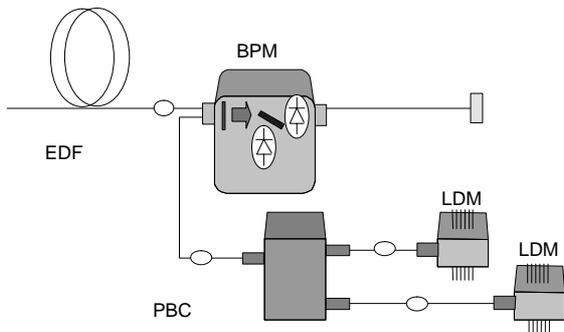


図2 偏波合成モジュールの応用例  
Schematic diagram of erbium doped fiber amplifier, an application of PBC

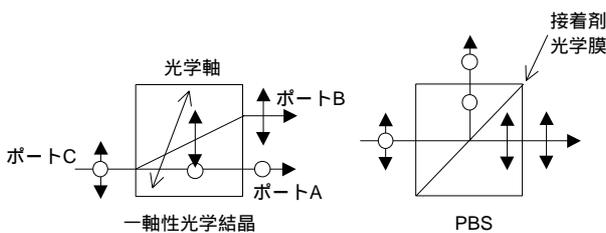


図3 偏波合成モジュールとPBCの構成  
Schematic diagram of PBCs using crystal and PBS

表1 偏波合成モジュールの仕様  
Specification of PBC

項目	入出力ポート	規格	平均値
挿入損失	Port A to C	≤ 0.5 dB	0.18 dB
	Port B to C		0.22 dB
消光比	Port A	≥ 17 dB	29 dB
	Port B		28 dB
反射減衰量	Port A,B,C	≥ 45 dB	56 dB
光入力パワー	Port A,B,C	< 600 mW	1 W
寸法	L33 × W11 × T6		

に、張り合わせの接着剤とその層の厚さを精密に制御しなければ温度変化によりプリズムががたつき、コリメータビームの偏角を生じ結合損失が増加する危険性がある。これに対し、当社モジュールは、今後の大出力化やラマン増幅を考慮して実用帯域で波長特性の影響が少なく、吸収も少ない一軸性複屈折光学結晶を使用している。比較のために両偏光素子を図3に示す。

3. 仕様

ラマン増幅のための広帯域化、励起のための損失低減という条件と今後ますます増加する光出力要求にも十分答えられるよう考慮した設計を行い、製品試作に基づき製造ばらつき、歩留りなど計算して、表1の仕様を決めた。

4. 製品特性

連続製造した800台の製品データを元に各々(おのおの)の特性について述べる。

4.1 挿入損失分布

ポートAは、図1外観写真にあるPMF1に相当する。ここから入射させる偏光は、結晶の常光線となるように調整する。ポートBは、PMF2から異常光線が入射する。また、ポートCはSMFである。図4に損失のヒストグラムを示す。ポートBから入射される光は、光路分離素子を通過するため、透過波面、ARコートなどの影響により平均で0.04 dB挿入損失が大きくなっている。

4.2 挿入損失の温度特性

本モジュールの使用目的を考えるとLDM近辺に配置される場合が想定される。そのため、LDMからの排熱による影響があってはならない。本モジュールに限らず光アンプに使用される部品は、出荷前検査として温度による損失変動を全数行わなければならない。保存温度範囲(-40 から 85 )での挿入損失の最大値と最小値の差を図5に示す。また、動作保証温度範囲(0 ~ 65 )では全数0.15 dB以下になっている。この変動は、熱による光学材料の屈折率変化、固定位置の変化、コリメータ固定位置の変化によるものと思われる。

4.3 反射減衰量分布

ポートAからポートCまでを集計した反射減衰量のヒストグラムを図6に示す。仕様を十分満足しており、波長を変えて測定しても影響は無かった。

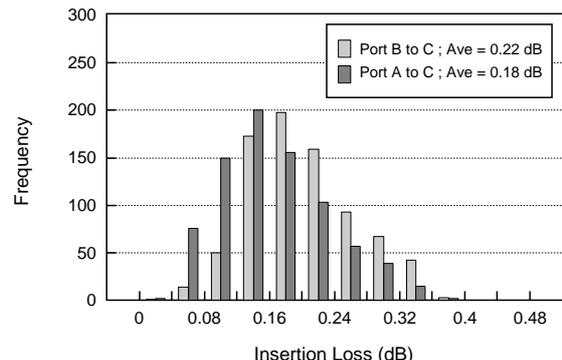


図4 挿入損失のヒストグラム  
Histogram of insertion loss

4.4 消光比

消光比は、挿入損失の増加に直接影響するため劣化があってはならない最も重要な項目である。本モジュール製造ラインは、特殊光源と位相制御アルゴリズムによって短時間で高消光比が得られるようになっている。常光線 ( $n_o$ ) 側と異常光線 ( $n_e$ ) 側の消光比ヒストグラムを図7, 図8に示す。常光線側は光路分離素子を通過させないため平均値・分散とも若干特性が良い。

4.5 波長特性

透過波長は図9に示すように、ほぼフラットな特性となっている。1480 nmを中心に若干の特性傾斜が見られるのは、ガラス材の分散の影響を受けたものと思われる。使用する波長でモジュールを組み立てれば挿入損失を最小値に調整することが出来る。

5. 信頼性

ベルコア1221の結果を表2に示す。下欄にファイバ端末加工の信頼性を計るうえで重要な引っ張り試験項目(ベルコア1209)も付記しておく。もちろんベルコア1209試験も合格している。

6. おわりに

信頼性が高く、小型で広帯域・超低挿入損失の偏波合成モジュールを開発して商品化した。この製品は、ラマン増幅の励起光合波やDWDM用アンプの高出力化に大きく貢献することが期待される。

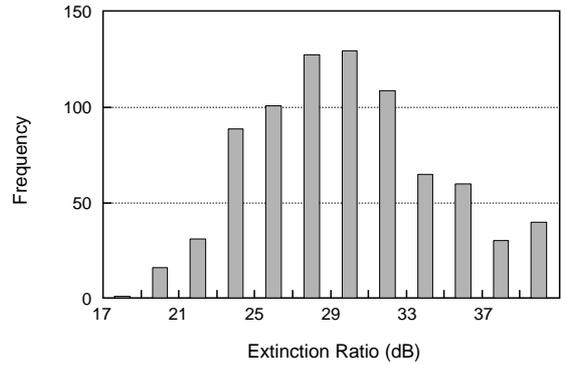


図7 消光比のヒストグラム I ( $n_o$ )  
Histogram of extinction ratio I ( $n_o$ )

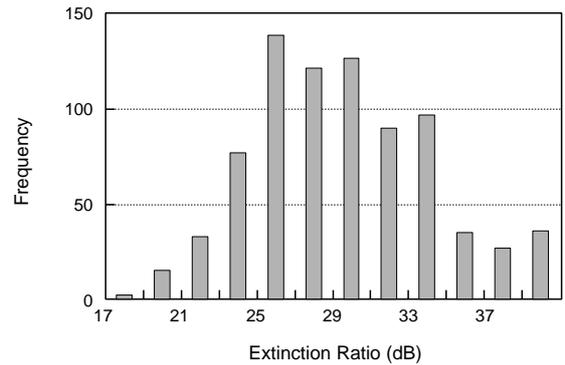


図8 消光比のヒストグラム II ( $n_e$ )  
Histogram of extinction ratio II ( $n_e$ )

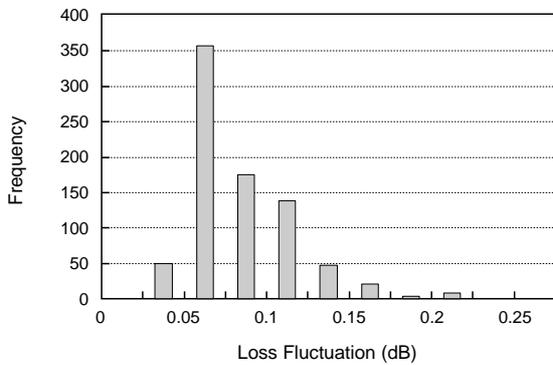


図5 挿入損失の温度変動  
Histogram of loss fluctuation

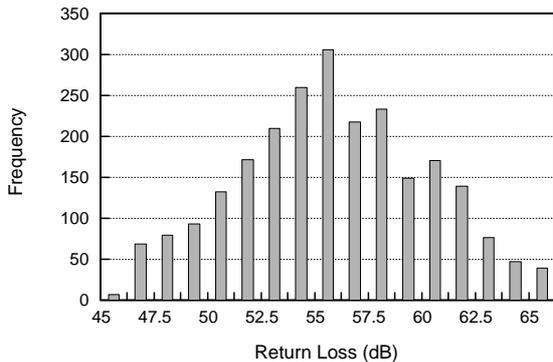


図6 リターンロスのヒストグラム  
Histogram of return loss

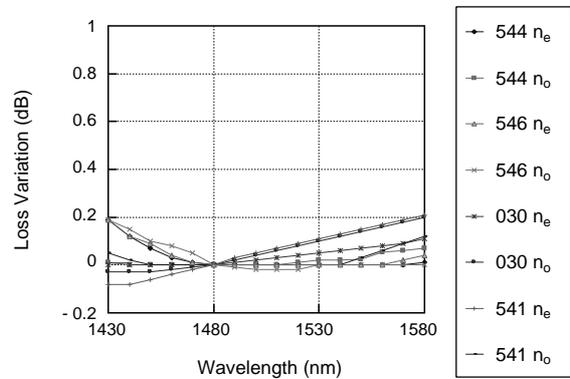


図9 PBCの波長特性  
Typical spectrum of the PBC

表2 ベルコア1221試験結果  
Reliability test results of PBC

Heading	Test	Criteria	Status
Mechanical integrity	Mechanical shock	± 0.2 dB	Pass
	Vibration		Pass
	Thermal shock		Pass
Endurance	High temp storage		Pass
	Damp heat		Pass
	Low temp storage		Pass
1209	Temperature cycling		Pass
	Side pull		Pass
	Cable retention		Pass

## 謝辞

本稿の内容は光機能部品グループ、ファイテル製品事業部光部品部の成果であり、筆者らが代表してまとめた。開発にあたり有益な御助言と御協力をいただいた光機器部、光通信材料研究グループの諸氏並びに横浜研究所四井主席研究員、深澤ファイテルフォトニクス研究所長、宮澤WPチーム長に感謝する。

## 参考文献

- 1) R. H. Stolen; Raman response function of silica-core fibers, J. Opt. Soc. vol.6, pp.1159-1166 (1989)
- 2) G. P. Agrawal; Nonlinear fiber optics, 2nd. Academic Press (1995)
- 3) Y. R. Shen; The Principles of Nonlinear Optics, John Wiley & Sons, Inc., (1984)
- 4) R. H. Stolen and E.P. Ippen; Raman gain in glass optical waveguides, Appl. Phys. Lett, vol.22, P276-278 (1973)
- 5) 枝川・笠・望月・若林; 光ファイバラマン増幅における増幅特性, 信学技報, OQE88-33 (1988)
- 6) M.Nissov; 100Gb/s (10x10Gb/s) WDM transmission over 7200km using distributed Raman amplification, Proc. European Conference on Optical Communication, vol.5 (1998)
- 7) Y. Emori, Y. Akasaka, and S. Namiki; Less than 4.7dB noise figure broadband in-line EDFA with a Raman amplified 1300ps/nm DCF pumped by multi-channel WDM laser diodes, OAA'98, PD3 (1998)
- 8) A. Yariv; Optical wave in crystals
- 9) 河野健治; デバイスのための光学系の基礎と応用, 現代工学社
- 10) A. Yariv; Optical Electronics in Modern Communications, Oxford Uni. Press. (1997)