

高密度波長多重伝送用光ファイバ型部品

株式会社フジクラ
光電子技術研究所 光通信研究部

田中 大一郎・奥出 聡

All Fiber type optical devices for DWDM transmission

D. Tanaka, S. Okude

*Optical Communication Technology Department, Optics and Electronics Laboratory
Fujikura Ltd.*

1. はじめに

今日の光通信を考える上で、一本のファイバに複数の波長を多重して伝送する DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) 伝送技術は非常に重要な位置を占める。この複雑になった光伝送システムにおいては、光信号の分岐・合流や波長フィルタリングなどの機能はますます重要なものとなり、多種多様な光部品が用いられるようになった。このうち光ファイバ型の光部品は光パワを光ファイバの外に出すことなく処理するため光ファイバとの整合性に優れ、低損失、高信頼性、高耐パワ性といった特長を有する。本稿では代表的な光ファイバ型光部品である光ファイバカプラと光ファイバグレーティングについて説明する。

2. 光ファイバカプラ

光ファイバカプラは、特定の波長の光を分岐・結合したり、複数の波長を分波・合波させ

る等の機能を持つ光ファイバ型光部品である。これらは DWDM 伝送に欠かせない光ファイバ増幅器を構成する部品としてポンプ光と信号光の合波に使用されるほか、光伝送路からの信号光のタップオフやモニタ回路として使用される。さらに最近では PANDA ファイバを用いた溶融延伸型の偏波保持 Tap カプラや偏波保持 WDM カプラ、偏波合成カプラ等も実用化されている^{1)~5)}。これらはより高密度の波長多重を目指し偏波インターリーブ方式を用いた DWDM 伝送⁶⁾等に必要とされる、偏波保持光増幅器用部品として注目されている。以下、これらの偏波制御型の光ファイバカプラについて述べる。

2.1 偏波合成カプラ(全光ファイバ型偏波ビームコンバイナ, AF-PBC)

偏波状態を保持しながら光の分岐・結合を行う場合には、PANDA ファイバに代表される偏波保持光ファイバを用いた光ファイバカプラが用いられる。偏波保持光ファイバでは直交する 2 つの偏波が独立に伝搬するが、それぞれの偏波の溶融延伸部における結合特性差を利用することにより、2 つの偏波を別々の端子に分離して出力する偏波ビームスプリッタ動作をさせることができる。また逆に 2 つの偏波を一

〒285-8550 千葉県佐倉市六崎 1440
TEL 043-484-3949
FAX 043-481-1210
E-mail: dtanaka@lab.fujikura.co.jp,
okude@lab.fujikura.co.jp

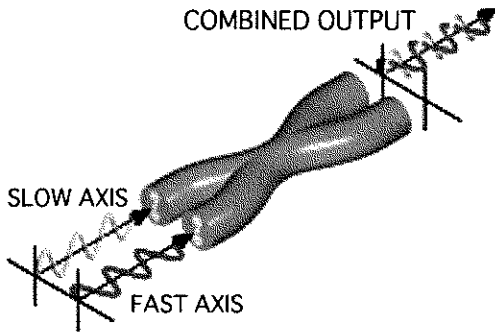


図1 全光ファイバ型偏波ビームコンバイナによる偏波合波の様子

つの端子に合波して出力する偏波ビームコンバイナ動作をさせることも可能である^{1)~2)}。この偏波合波の様子を図1に示す。特に偏波ビームコンバイナでは2つのレーザーダイオードからの出力光を直交させて合波することができ、高い光パワが比較的容易に得られる。前述の通り、ファイバ型デバイスは入力光が光ファイバの外に出ることなく処理されるため、高い光パワーに対しても劣化が無く、チャンネル数の増大によってより強力な励起光が必要となった近年の光増幅器や、高い励起光パワーが必要とされる Raman 増幅器の励起 LD 偏波合波用として注目されている。

2.2 偏波保持 Tap カプラ (PM-Tap カプラ)

偏波インターリーブ方式を用いた DWDM 伝送において用いられる偏波保持光ファイバ増

幅器の入出力光モニタには、信号光の偏波を保持したまま光パワーを Tap-off する光デバイスが必要となる。さらにここでモニタされる光は多くの情報を含んだ信号光であり、挿入される光デバイスには高い信頼性が要求される。これらのことから、偏波保持光ファイバカプラの一つである PM-Tap カプラが注目されている。従来、偏波保持型光ファイバカプラでは過剰損失や挿入損失の波長依存性が大きく、実使用の上では制限される場合もあったが、最近ではこれらの問題も解消しつつあり、我々も一般の光ファイバカプラと同程度の過剰損失、波長依存性を持つものの実現に成功している。

2.3 偏波保持 WDM カプラ (PM-WDM カプラ)

AF-PBC では PANDA ファイバ中の両偏波の結合特性差を利用したが、逆に両偏波の結合特性差をなるべく小さくし、波長による結合特性差をクローズアップすることにより、偏波保持 WDM カプラを作成することが出来る^{3)~5)}。これも溶融延伸光ファイバカプラ型デバイスであることから低損失、高信頼、耐高光入力性を持ち、偏波保持光増幅器の励起光、信号光の合波用途に注目を集めている。

この PM-WDM カプラの損失波長特性を図2に示す。励起光ポートでは両偏波共に低い損失を示す。このことから、前述の AF-PBC で偏波合成された励起光を効率よく偏波保持光増

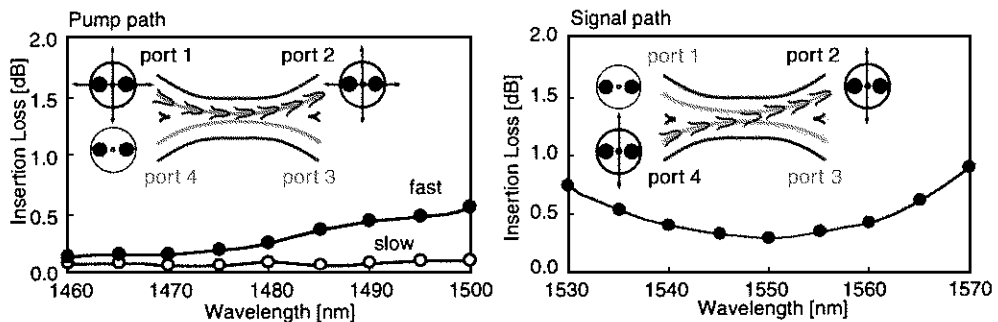


図2 偏波保持 WDM カプラの損失波長特性

幅器へ送ることが可能である。

3. 光ファイバグレーティング

光ファイバグレーティング (FG) は二端子型光ファイバ部品であり、ファイバ入射光の特定の波長に対して機能する波長フィルタである。FG は Ge 添加石英が波長 240 nm 近傍の紫外光により屈折率が上昇する現象を利用しており⁷⁾、光ファイバの側面より周期的な強度分布を持つ紫外光を照射することで、Ge 添加石英からなる光ファイバのコア中に周期的な屈折率変化を形成し、その周期で決まる波長の光が反射あるいはファイバ外へ放射される。

FG は屈折率変化の周期から大きく二種類にわけられる。一つは周期が 0.5 μm 程度の非常に短い周期を持つ短周期 FG⁸⁾ であり、このタイプの FG ではいわゆる Bragg 反射がおりグレーティング周期で決まる波長の光が反射する。このため反射型 FG あるいは Fiber Bragg Grating (FBG) とも呼ばれる。もう一つは周期が 100~500 μm の長周期型 FG⁹⁾ であり、入射光の特定の波長の光をファイバの外に放出させる機能を持つため損失フィルタとして機能する。

3.1 作製方法¹⁰⁾

FG は光ファイバ被覆を除去した後にその側面から周期的な強度分布を持つ紫外光を照射することで作製できる。短周期型 FG の場合、屈折率変化周期が非常に短いため光の干渉を利用した二光束干渉法や位相マスク法が用いられる。また長周期 FG の場合は、グレーティング周期が長いため、グレーティングを一段ずつ形成していくステップバイステップ法が用いられる。作製に用いる紫外光には、高い光パワー密度と干渉を利用するため高コヒーレンシーが要求されるため、KrF エキシマレーザ ($\lambda = 248 \text{ nm}$) や Ar⁺ レーザの SHG 光 ($\lambda = 244 \text{ nm}$) などの紫外線レーザが用いられている。

3.2 短周期 FG の応用

短周期 FG を用いた波長フィルタは、誘電体多層膜フィルタなど従来のものに比べて波長選択性が高くまた比較的高い阻止率も得られるため、DWDM 伝送技術においては多重化された信号から特定の波長のみを分離する波長フィルタや、EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) の不要な ASE 光を除去するための帯域阻止フィルタなどに用いられる。図 3 に波長間隔 0.8 nm (100 GHz) の DWDM 信号分離用に設計された短周期 FG の特性例を示す。

短周期 FG が光を反射する特徴を利用したも

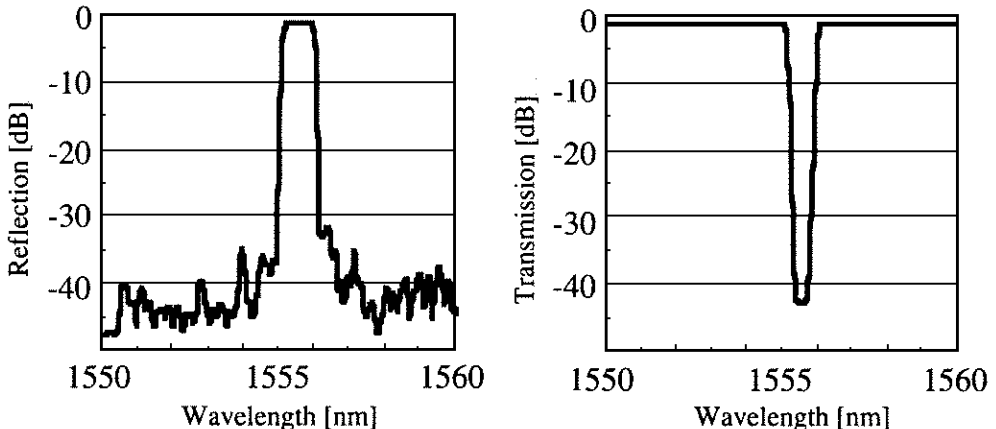


図 3 短周期 FG の反射特性 (左) と透過特性 (右)

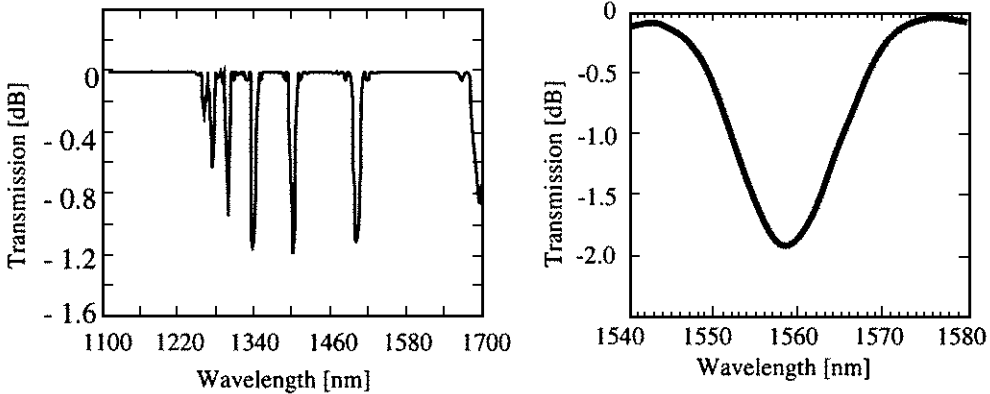


図4 長周期FGの透過特性

のとして、レーザーダイオード (LD) の波長安定用FGがある。LD出力に低反射率のFG (1~10%)を入れることでFGがLDの共振器ミラーとなり、LDの発振波長がFGの反射波長にロックされる。この方法は比較的安価にLDの発振安定化がはかれるため、EDFAの励起用光源として使われる980 nm/1480 nm LDでの実用化が進んでいる。

3.3 長周期型FGの応用

EDFAでDWDM信号を増幅した場合、信号波長により利得は異なり、さらに多段でEDFAを用いる長距離伝送システムでは、この利得差が累積され伝送特性を劣化させる。このため、DWDMシステムでは利得波長特性の等化技術は必須である。この利得等化器として長周期FGが広く用いられている^{11),12)}。典型的な長周期FGの特性を図4に示す。図4左に示すように長周期FGは複数の損失ピークを持つ。この中のピークの一つをEDFAの利得特性を補償するように設計して利得等化器が実現できる。図4右はその特性の一例であり、同図からわかるように波長に対して滑らかな特性を持ち、また光はファイバ外に放出され反射光が存在しないためEDFAの利得等化に適している。

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) Daiichiro Tanaka, Hideki Sasaki, Ryoukichi Matsumoto, Kenji Nishide and Ryoza Yamauchi, "980nm and 1480 nm pump power doublers for EDFAs by using a novel PANDA fiber type polarization beam combiner", NFOEC '00, Vol. 2, p.196 (2000).
- 3) Yasuhiro Ouchi, Masakazu Fukasawa, Daiichiro Tanaka, Kenji Nishide and Akira Wada, "Polarization-Maintaining WDM Fiber Coupler and High Efficiency Pump Module for PM-EDFA", OECC/IOOC '01, OR.WedC.2 (2001).
- 4) Masakazu Fukasawa, Yasuhiro Ouchi, Daiichiro Tanaka, Kenji Nishide and Akira Wada, "Novel Polarization-Maintaining WDM Fiber Coupler", NFOEC '01 (2001).
- 5) 深澤正和, 大内康弘, 田中大一郎, 西出研二, "全ファイバ型偏波保持980/1550 nm WDM カプラ", 2001年電子情報通信学会・ソサエティ大会 (投稿中).
- 6) T. Ito et al., "Feasibility study on over 1 bit/s/Hz high spectral efficiency WDM with optical duobinary coding and polarization interleave multiplexing", OFC'97, paper TuJ1, (1997).
- 7) K. O. Hill et al., "Photosensitivity in optical

- waveguides: Application to reflection filter fabrication," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 32, pp. 647-649, (1978).
- 8) G. Meltz et al., "Formation of Bragg gratings in optical fibers by transverse holographic method," *Opt. Lett.*, vol. 14, pp. 823-825, (1989).
- 9) A. M. Vengsarkar et al., "Long-period fiber gratings as band-rejection filters," in *Tech. Digest of Optical Fiber Commun. Conf. (OFC 95)*, PD4, (1995).
- 10) 奥出 聡, 和田 朗, "ファイバグレーティング技術とその動向", *電子情報通信学会論文誌 C*, Vol. J83-C, No. 12, (2000).
- 11) A. M. Vengsarkar et al., "Long-period fiber-grating-based gain equalizers," *Opt. Lett.*, vol. 21, pp. 336-338, (1996).
- 12) K. Shima et al., "A novel temperature-insensitive long-period fiber grating using a boron-codoped germanosilicate-core fiber," in *Tech. Digest Optical Fiber Commun. Conf. (OFC'97)*, FB2, pp. 347-348, (1997).
- 10) 奥出 聡, 和田 朗, "ファイバグレーティング