

# 光電子技術研究所

Optics and Electronics Laboratory

## 概況

光電子技術研究所は、その前身の組織である通信技術開発部の時代から、光ファイバとその製造技術、およびファイバ型光部品等、フジクラの光技術開発の一翼をになって来た。昨今のインターネットを中心とするデジタル通信需要の爆発的な伸びは、今後とも光技術のたゆまぬ技術革新を要求しており、先進的な光ファイバ、光増幅技術、光デバイスの出現が期待されている。例えば海底ケーブルに代表される世界規模の光ネットワーク構築、超高速・大容量の光伝送には、光ファイバ自体の高品質・高信頼性はもちろんのことさまざまな光部品が必要となっている。これらの要求に対し、光電子技術研究所では、低コスト、高信頼・高品質、高性能な伝送用光ファイバ、高利得・高出力・低雑音を実現したエルビウムドープ光ファイバ増幅器、小型・軽量・低損失の光ファイバカプラ、PANDA型偏波保持光ファイバ（PANDAファイバ）に代表される特殊ファイバ、およびこれらを用いたファイバ型光部品、バルク型光部品、導波路型光部品の研究開発を続けており、その成果は国内、海外を問わず、光通信分野の発展に大きく貢献して来た。また、光技術は、超長距離大容量伝送から光加入者網にいたる光通信分野だけでなく、情報処理、センシングなど幅広い応用の可能性を持っており、これらにも目を向けて研究活動を続けている。

## 1. 研究紹介

### 1.1 光ファイバ

#### 1.1.1 伝送用光ファイバ

##### (1) 製造技術

IT革命のキーテクノロジーである光ファイバに要求される主な技術は、低コスト化、高信頼・高品質化、高性能化であり、これらを目的とした製造技術開発を行っている。まず低コスト化については、日本独自のVAD法を基に、2stepVAD製法を開発し、1.3 $\mu$ m伝送用シングルモード（SM）ファイバの低コスト量産化技術を実現して、さらなるグローバル競争に打ち勝つためのより低コストな製造技術の開発を行っている（図1）。高信頼・高品質化技術の例として、太平洋横断に代表される海底伝送用光ファイバがあげられる。水深8,000mにおいて25年間特性保証という長期信頼性を確保するために、光ファイバ劣化機構の解明、製法改善など高均質製造技術および品質保証技術を開発した。最後の高性能化については、DWDM（高密度波長多重伝送）システムの急速な発達にともない、飛躍的に厳しくなっている要求特性に対して、PCVD法（プラズマ活性化型化学的気相堆積法）などの新母材製造技術を導入し、さらに、紡糸工程等を最適化した製造技術の開発・導入を行った。今後も、光ファイバ



図1 VAD法による光ファイバ母材作製

## 光電子技術研究所関連年表

1974年	MCVD法による光ファイバ母材製造の検討開始
1976年	極低損失光ファイバをNTTと共同開発
1978年	VAD法による極低OH光ファイバを開発
1979年	シングルモードファイバで0.27dB/km達成
1984年	孔開ジャケット製法によるPANDAファイバを開発
1986年	初の光海底ケーブル用（TPC-3）ファイバを開発
1987年	1.55 $\mu$ m帯ゼロ分散ファイバを開発
1988年	小型高性能光ファイバカプラを開発
1989年	分散補償光ファイバを開発
1990年	エルビウムドープ光ファイバ増幅器を開発 1.55 $\mu$ m帯伝送光海底ケーブル（TPC-4）用ファイバを開発
1992年	エルビウムドープ光ファイバの新しい製法を開発
1993年	分散補償光ファイバモジュールを開発 初の光増幅中継方式海底伝送（TPC-5）用光部品を開発 InGaAsP化合物半導体光スイッチを開発
1995年	光ソリトン伝送用光ファイバを開発
1996年	普及型小型光ファイバアンプモジュールを開発
1997年	DWDM海底伝送用高信頼光部品を開発
1999年	超長距離DWDM伝送用実効断面積拡大光ファイバを開発 DWDM用光デバイスを開発
2000年	DWDM伝送路用分散スロープ補償型分散補償光ファイバを開発

ファイバがIT社会を支える根幹であるために、次世代通信システムに適した高性能・高品質・高信頼性光ファイバの量産技術開発を進めて行く。

##### (2) 光ファイバ

伝送容量需要の急速な拡大が予想される中で、長距離伝送用光ファイバの特性には、広波長域にわたる波長分散の低減と、非線形光学効果の低減、すなわち実効断面積（ $A_{eff}$ ）の拡大が求められている。しかし、両要求は相反するものであり、すでに非零分散シフトファイバの $A_{eff}$ の拡大および分散スロープの低減はほぼ限界にきている。そこで、次世代の長距離伝送用として、入射側の信号光パワーの大きい前半部分とパワーの減衰する後半

部分で異なる種類のファイバを用いる複合光ファイバ伝送路の開発を行っている。当研究所で開発中の複合光ファイバは、図2に示すように、前半部にはAeffと波長分散の大きなAeff拡大SMファイバを用い、後半部で前半ファイバの波長分散と波長分散スロープを補償するスロープ補償型分散補償ファイバ(SC-DCF)を用いている。

Aeff拡大SMファイバには、ディプレストクラッド型の屈折率分布を採用し、コアの比屈折率差と遮断波長を最適化することで、現実的な曲げ損失の範囲で135 μm<sup>2</sup>という従来のSMファイバの80 μm<sup>2</sup>に比べて非常に大きなAeffを得ている。また、SC-DCFでは、ディプレスト型の屈折率分布を用い、各パラメータを最適化することで、従来提案されていたディプレストクラッド型のSC-DCFでは得られない、22 μm<sup>2</sup>以上の大きなAeffを得ることが可能となった。このように、非線形特性の大幅な低減が当研究所で開発した複合光ファイバの特徴であり、現在実用化に向けた研究開発を行っている。

1.1.2 特殊光ファイバ

光ファイバには、伝送路として用いられるものばかりでなく、増幅媒体や光部品として用いられるものがある。DWDM伝送システムの発展にともない、このような特殊ファイバの需要も増加し、また広帯域化等の性能向上がテーマになっている。

当研究所で開発したPANDA型偏波保持光ファイバは、部品用として品質が高く評価され、レーザ光源と変調器間の接続用、励起光源の直交偏波合成用等で活用されている。最近、DWDM伝送システムにおける波長多重数増加にともなう光源数の増加や、必要励起パワーの増加により、PANDAファイバの需要が急速に拡大してきている。現在、このような需要の急増に対応するための製造技術開発、各種ファイバ型部品に対応したPANDAファイバの開発を行っている。

分散補償ファイバ(DCF)は、光伝送システムの高ビットレート化に対応するため、既存の伝送路に挿入して伝送路の累積分散をキャンセルする目的で使用される。DCFは、必要な長さがコイルに巻かれ、ケースに収納さ

れたモジュールの形で中継局や端局で使用されることが多い。既存のSMファイバを伝送路として10Gb/s/chのDWDM伝送を行うためのDCFモジュールはすでに実用化されているが、最近では、伝送波長領域の拡大とさらなる高ビットレート化に対応するため、伝送用ファイバの分散スロープの完全な補償が必要とされている。当社では、複合光ファイバ用と同様にディプレスト型を採用し、広波長域で残留分散が少なく、かつAeffの大きなモジュール用SC-DCFを開発した。また、今後のさらなる波長帯域の拡大や高ビットレート化に備え、L-band対応のSC-DCF、非零分散シフトファイバ用SC-DCFについても開発を行っている。これらのDCFでは、コイル化による特性劣化や異種ファイバとの接続による損失の増加を最小限にすべく、ファイバとモジュールの両面から開発を行っている。

このほか、光増幅器やファイバグレーティング用の特殊ファイバ開発にも力を注いで来た。エルビウムドープファイバ(EDF)では増幅帯域の拡大をテーマに開発を行っており、ファイバグレーティング用では各種のグレーティングに求められる機能に応じた性能が発揮できるような光ファイバを開発している。

1.2 光部品

1.2.1 ファイバ型光部品

(1) ファイバグレーティング(図3)

光ファイバのコアを形成しているGe添加石英ガラスは、波長240nm付近の紫外線を照射することでその屈折率が上昇する。この現象を利用し紫外線レーザで光ファイバのコアの屈折率を周期的に上昇させると、特定の波長の光を反射、あるいはファイバ外へ放射するという機能をファイバ自身に持たせることができる。これがファイバグレーティング(FG)である。これまでに光通信システムへの応用を中心として開発を行ってきており、波長合分波用、光増幅器の利得等化用、半導体レーザ波長安定化用など様々な種類のFGを開発/製品化している。現在は、広帯域光増幅器の利得等化用や高速通信での波長分散補償用などのさらに高度な機能を持つFGの開発を進め

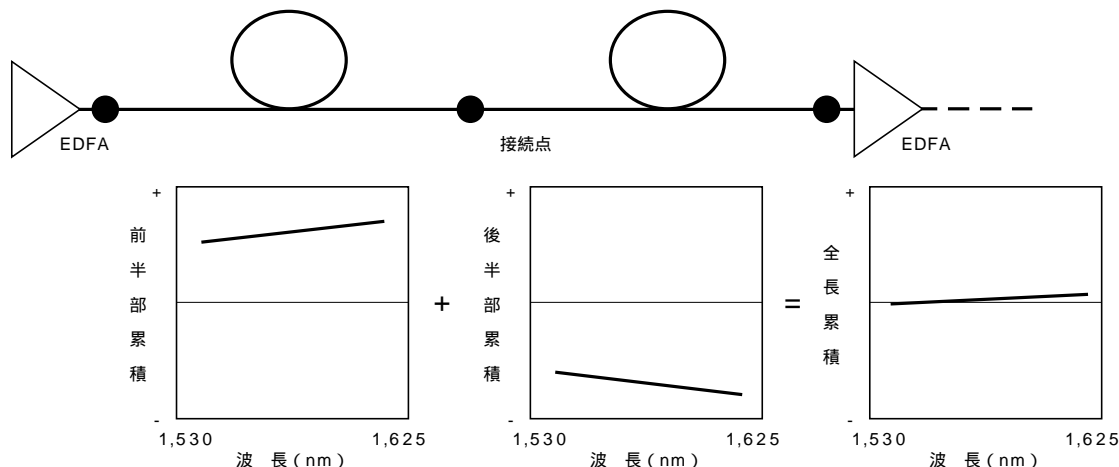


図2 複合ファイバ

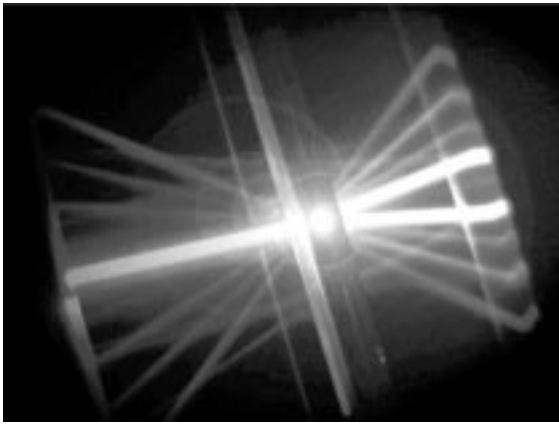


図3 ファイバグレーティング作製風景

ている。今後は光通信の分野だけではなく、光センサなど様々な分野に応用が広がっていくと期待される。

(2) 光ファイバカプラ (図4)

光ファイバカプラとは、被覆を除去した2本の光ファイバを平行に整列させ、加熱溶融の上、細く延伸したものであり、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の光部品である。光ファイバカプラは、信号光を光ファイバの外に出すことなく処理するため、伝送用光ファイバとの整合性に優れ、低損失、高信頼性といった特長を有する。

当社は光ファイバカプラの偏光依存性低減、波長依存性低減に成功しており、近年、波長多重増幅伝送システムの出力光モニター用や、光ファイバ増幅器のポンプ光と信号光の合波用に多く用いられている。さらに最近では、PANDAファイバを用いた偏波保持型タップ光カプラ、偏波保持WDMカプラの開発にも成功しており、偏波制御の必要な用途に対しても重要な役割をになうものと期待されている。

(3) PANDA型PBC (®POLA - MUX)

これまで偏波ビームコンバイナは、バルク型デバイスによって実現されていたが、われわれは、PANDAファイ

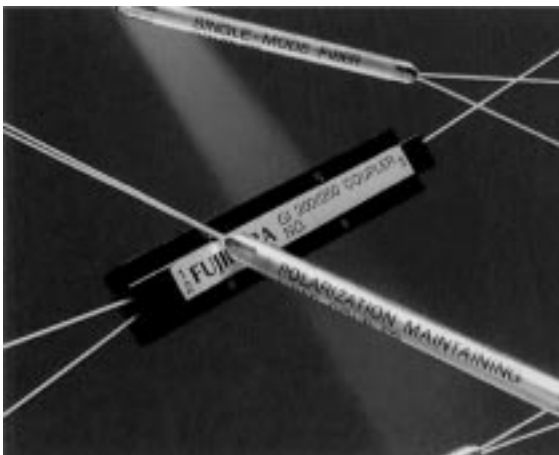


図4 ファイバカプラ

バを用いて作製された光ファイバカプラ中を伝搬するFast軸とSlow軸偏波に伝搬定数差があることによって生じる結合特性の差を利用し、偏波ビームコンバイナの全光ファイバ化に成功した。両偏波の合成を実現したこの"®POLA - MUX"は、主にEDFAやラマン増幅器の励起光偏波合成用途に用いられる。

本デバイスの動作、構造は図5に示すとおりである。これは2本のPANDA型PMファイバの偏波軸を精密に合わせた後、これらを平行に整列させ、加熱溶融延伸して作製される。このデバイスはPANDAファイバを用いていること以外、通常の光ファイバカプラと全く同一の構造をとり、低損失、高信頼という特徴をあわせもっている。

(4) 光増幅器

光ファイバ増幅器で使用される光部品をモジュール化したパッシブゲインブロックの開発を行っている。中でも、特に高い信頼性と増幅特性が要求される海底中継器に用いられるゲインブロックは重要なテーマである。これまでに、0.98 μm波長励起方式により低雑音化した増幅帯域20nmの製品化(図6)を始めとして、TPC-5海底ケーブルシステムから今日の640Gb/sシステムにいたるまで、数々のゲインブロックを製品化してきている。現在は、励起パワーをアップするために0.98 μm偏波合波器(®POLA - MUX)を搭載した、増幅帯域30nmの製品の量産化、および、スラント型ファイバ・ブラッグ・グレーティング(S-FBG)の利得等化器を用いることにより、利得平坦度0.1dB以下を実現する超長距離(~9,000km)広帯域対応品の研究開発を進めている。また、偏波直交多重をおこなう高密度波長多重システムに用いられる偏

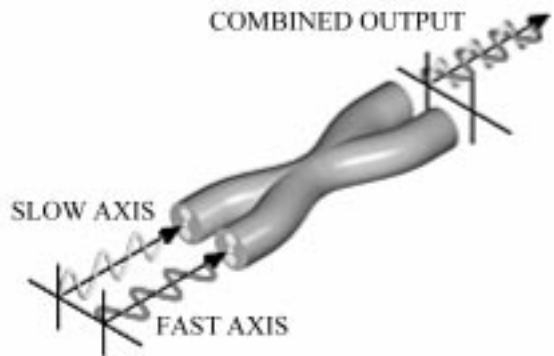


図5 PANDA型PBCの動作、構造



図6 ゲインブロックモジュール





図7 偏波保持型合分波器

波保持ゲインブロックや、利得変化時のゲインチルトを補償するツリウム添加ファイバスローブ補償器の研究開発も行っている。

### 1.2.2 バルク型光部品

誘電体多層膜フィルタ成膜技術を中心として、微小な光学部品をアセンブリする技術などを融合させた光部品の開発を行っている。光通信用誘電体多層膜フィルタは、通信に使用する光のみを分波したり、異なる波長の光と合波するなど、光を波長領域で制御する機能を有している。その構造は、一般のフィルタと異なり、マイクロメートル以下の非常に薄い光学膜が数十層から時には百層以上も積み重ねられており、高精度な技術の結晶である。また、このフィルタを光通信に用いるには、光ファイバと容易に接続できる構造を付与しなければならず、そのため、直径わずか数mmの微小なレンズなどの光学部品を組み合わせることが必要となる。特に、近年は当社の特徴を生かしたPANDAファイバを用いた偏波保持型の光部品（図7）の研究・開発にも力を注いでいる。

### 1.2.3 平面導波路型光部品

光通信で用いられている重要な光部品の一つに、平面導波路型光部品があげられる。これは薄い基板の表面に太さ数 $\mu\text{m}$ の光の導波構造を作り、光干渉回路などを構成して各種の機能を付加したものである。非常に微細な加工を施すため、その工程は半導体工場と同等な高度なクリーンルーム内に構築されている。様々な機能を有する部品が開発されており、単純なものでは光のパワーをいくつかの回路に分割したり（スプリッタと呼ばれる）、



図8 平面導波路型光スイッチ

一部のパワーのみを取り出したりする（タップ機能）部品が代表的である。近年は精細な波長の合分波機能を有する部品や、光スイッチ（図8）を研究している。今後、より高度な機能の実現、より多数の機能を盛り込んだ部品の実現が期待される。検討している材料としては、ガラスはもとより、高分子材料も研究の対象としている。

## 2. 今後の展望

光技術は、超長距離大容量伝送から光加入者網にいたる光通信分野だけでなく、情報処理、センシングなど幅広い応用の可能性を持っており、IT社会構築に欠くことのできないこれらの光技術に対する期待は、今後ますます高まる一方である。この期待にこたえることが光電子技術研究所の責務と心得て、次の3点に特に注力して研究開発活動を推進して行く。

- (1) 先進的な光回路、光部品のための基盤プロセス技術を確立し、当社に適した新製品を開発する。
- (2) 光ファイバ、光部品等が、常に世界の一流の品質とコストを有するように製造技術を開発して行くとともに、多様化する顧客のニーズに迅速な対応を行い、事業の継続、拡大に寄与する。
- (3) 世界の動向を見つめつつ、新しい事業のための研究開発をタイミング良く開始する。