

この原稿は、2003年4月に発行した機関誌「ICF」21号にご執筆頂いたものです。ホームページへの掲載にあたり、参考文献を加筆していただきました。

## 次世代光通信ネットワークと集積化波長フィルタ回路

國分泰雄（横浜国立大学大学院工学研究院 教授）

読者の皆さんがインターネットにアクセスすると、たとえモバイル環境からアクセスしてもその信号は必ず中間に光ファイバネットワークを介して伝送される事はずでにご存じと思う。このようなインターネットを介したデータ通信の需要が2~3年前には年率10倍もの猛烈な勢いで伸びたので、1本の光ファイバに32~128波もの異なる波長の光を伝送して一気に大容量伝送を可能にする波長多重光通信が発達して、ネットワーク設備の大きな投資ブームを引き起こし、そしていまその反動で通信市場の設備投資は冷え込んでいるようである。しかし、ネットワークの需要（トラフィックと呼ぶ）はいまだに年率100%（2倍）近くの増大を続けており、ネットワークの大容量化技術は依然として重要な研究課題である。

さて、この従来の波長多重光通信方式では図1に示すように送信側で合波器を用いて多数の波長信号を1本の光ファイバに多重化し、伝送途中で減衰する光信号を光ファイバ増幅器で増幅しながら長距離伝送して、受信側で分波器を用いて一括してそれぞれの波長に分波する構成となっており、波長の数の倍数だけ伝送容量を拡大できる。しかしながら、この方式では発信側と受信側の間は大容量化されるが、交通手段で言えば東京と大阪間をノンストップ新幹線のぞみで輸送するようなもので、途中駅での自由な乗降はできない。

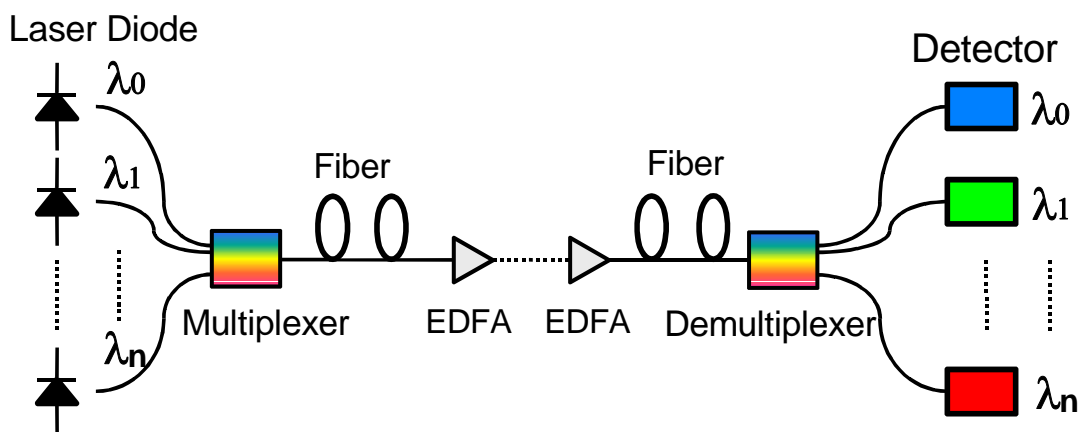


図1 1本の光ファイバに多数の光信号を多重化して伝送容量を大幅に増やせる高密度波長多重（DWDM）光伝送方式

そこで、次世代の波長多重ネットワークとしてフォトニックネットワークが提案さ

れ、実用化に向けて研究が進められている。このフォトニックネットワークでは、図2に示すように波長多重に用いる光源の各波長に経路情報を載せて（波長にローカルノードのアドレスを対応させて）ネットワークの経路制御を行う方式であり、波長に高度な付加価値を持たせたネットワーク構成法の新技术として期待されている。

このフォトニックネットワーク（波長多重アクセスネットワークとも呼ばれる）には、Add/Drop 波長フィルタと呼ばれる波長フィルタが必要不可欠になる。この波長フィルタは、従来の一括合分波型波長フィルタとは異なり、ネットワークの光ファイバ（バスライン）内に波長多重化された多くの波長信号の中から1つ（あるいは数本）の波長のみを取り出して残りの波長信号を全てバスラインへ通過させ（Drop 動作）、また同じ波長をバスライン上へ合波させる（Add）機能をもつデバイスである。

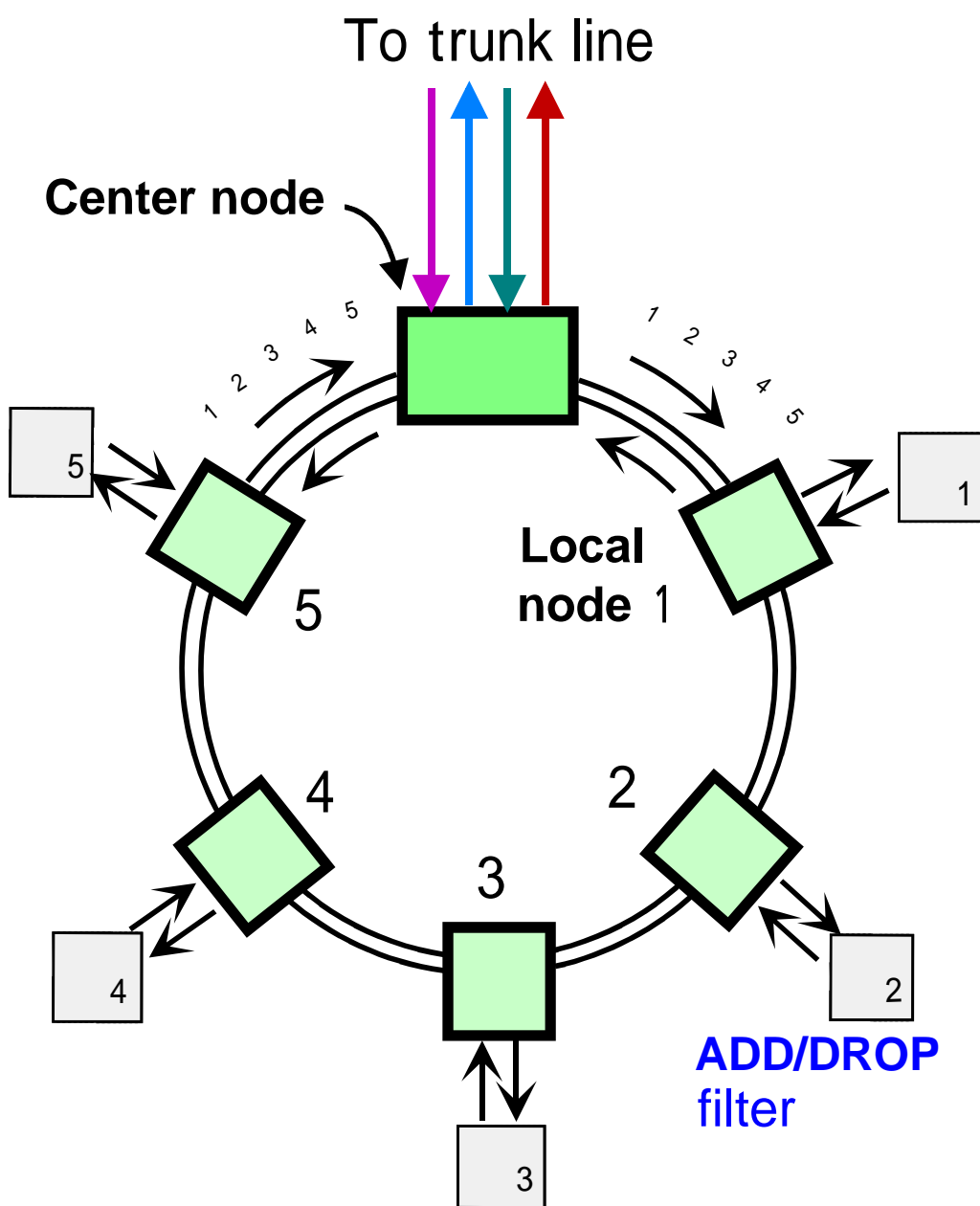


図2 波長にローカルノードのアドレスを対応させて経路制御を行う波長アクセスネットワーク

平成 12 年度と 13 年度の本研究開発（研究課題名は「網目状微小リング共振回路にもとづく波長アクセスネットワーク用フィルタとスイッチの大規模化」）では、これまで実現されていない超小型で高性能な Add/Drop 型合分波回路の開発を目指した。この研究の基になる積層マイクロリング共振器フィルタ回路は、筆者らが約 4 年前に開発したデバイスで、図 3 に示すように網目（クロスグリッド）状に構成したバスライン導波路の交叉部の上に、直径 10 ~ 30 $\mu\text{m}$  程度の非常に小さいマイクロリング共振器を 2 階建てに積層化して配置して Add/Drop 動作を行う波長フィルタで、(1)基本デバイスが非常に小型で、(2)光配線が網目状なのでレイアウトの自由度が大きく、したがって高密度集積化に適しており、(3)複数の基本要素を組み合わせると任意のフィルタ特性を作り出せる（合成と呼ぶ）など多くの特長がある。

集積化した 1 例として図 4 に、積層マイクロリング共振器を 8 個並べた 1 $\times$ 8 Add/Drop フィルタアレイの全ポートのフィルタ特性を示す。このフィルタのリング共振器半径は共振器 #1 の 10.35 $\mu\text{m}$  から 0.05 $\mu\text{m}$  (50nm) ずつ小さくなっていて、1 つの出力ポートに注目するとスペクトルピークは約 20nm 周期で現れる。フィルタ特性の帯域幅はほぼ 50 ~ 60 GHz で、高速光信号に十分対応できる。波長チャンネル間隔（あるポートと隣のポートのピーク波長との間隔）はリング半径の差 0.05 $\mu\text{m}$  に対応した 5.7nm である。この集積化フィルタの大きさは、出力ポートの間隔が 250 $\mu\text{m}$  間隔であるので 8 ポートで長さ 1.75 $\mu\text{m}$  になる。この間隔はリング共振器の直径が約 20 $\mu\text{m}$  であることを考えればもっと狭い間隔（たとえば 50 $\mu\text{m}$ ）も可能であり、2 次元面内の集積化を行えば 1  $\text{cm}^2$  あたりで 10,000 個から 100,000 個もの多くのデバイスを集積化出来る。

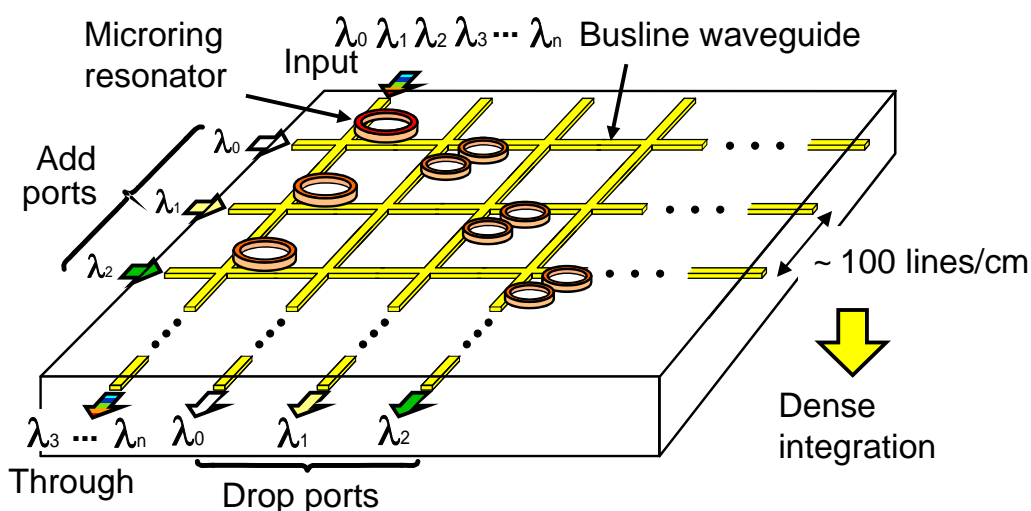


図 3 高密度大規模積層化マイクロリング共振器フィルタ回路

図 4 に示した高密度集積化フィルタ回路は約 4 年前の成果であるが、このフィルタ

回路を波長多重光通信に応用するために必要な様々な特性の要改善項目（透過帯域平坦化、偏光無依存化、狭チャネル間隔化（波長軸上の高密度化）、スペクトル周期の拡大、高精度波長制御など）は、幸いにして ICF からの助成もあってほぼ実証できた。今後はこの技術をさらに発展させて、どんな機能の光集積回路もデバイスレイアウトの設計だけで実現できる光ゲートアレイと呼ぶ新しい光集積化技術の概念を提唱し、その実現を目指していく。

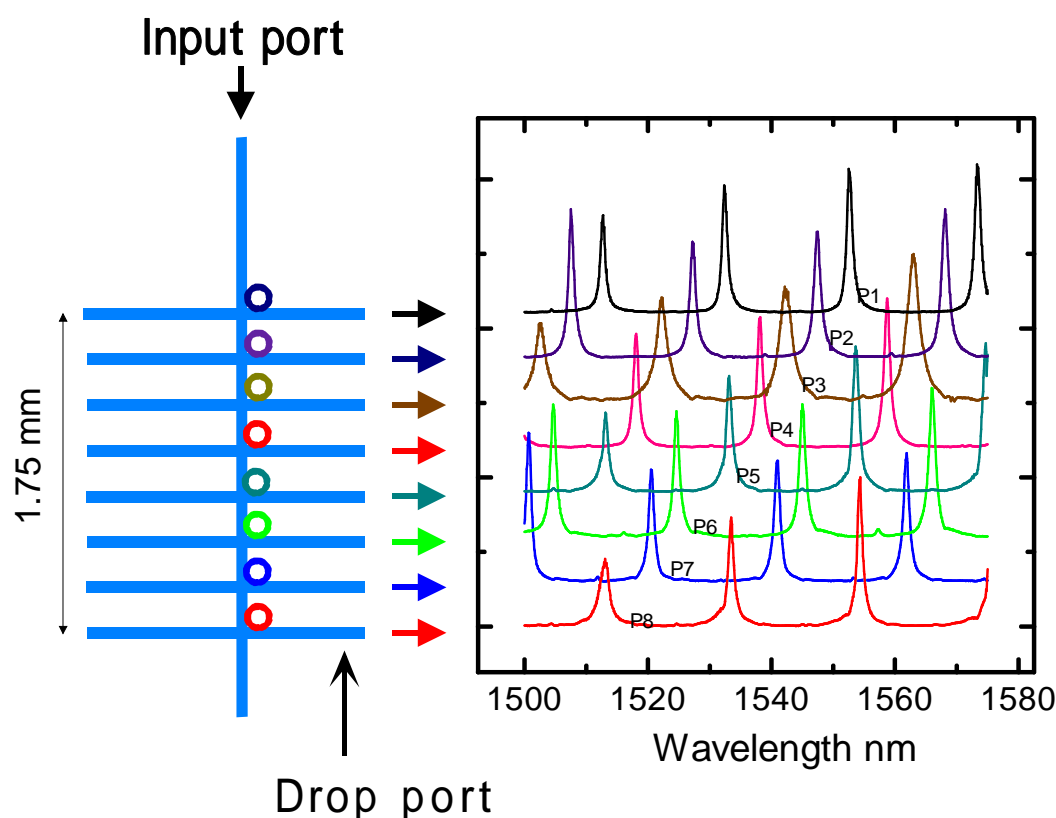


図4 8ポート出力フィルタアレイの波長特性  
（全てのポートの出力を重ね書きした特性）

2003年4月発行の機関誌 ICF に掲載後に追加になった参考文献（解説論文のみ）

- (1) 國分泰雄：”マイクロリング共振器型光ルーティング素子”，応用物理学会誌「応用物理」総合報告，vol.72, No.11, pp.1364-1373（2003年11月）
- (2) Yasuo Kokubun, "Vertically Coupled Micro-Ring Resonator Filter for Integrated Add/Drop Node," (Invited Paper), IEICE Transactions on Electronics (Special Issue on Optical Signal-Processing Devices for Photonic Networks), vol.E88C, No.3 (to be published in March, 2005)