

結晶型インターリーピングフィルタの開発

Development of Crystal Type Interleaving Filter

山垣美恵子*
Mieko Yamagaki

輪湖杉夫*
Sugio Wako

阿部 啓*
Satoru Abe

尹 大烈*
Daeyoul Yoon

松浦 寛*
Hiroshi Matsuura

概要 近年の大容量長距離光通信システムの構築にはWDM通信方式が採用されているがより高密度に通信波長を詰め込むべく狭帯域化が進んでいる。この中で、ひとつの入力から交互の波長を別々な出力より分波するインターリーピングフィルタへの要求がますます高まっている。我々は、独自の構成を開発することにより、温度調節が不要なインターリーピングフィルタの開発に成功した。本論文では、モジュール構造並びに試作したモジュールの特性を中心に報告する。

1. はじめに

1990年代初めからのインターネットの全世界的普及による通信容量の急激な増加から、光伝送システムにおいては、1本の光ファイバに複数の波長を多重化して伝送する波長分割多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)通信技術が急速に進展、実用化されてきた。近年では、インターネットのブロードバンド化が促進され、画像・映像データ等、大容量データの高速度通信の要求も高まっており、通信容量の更なる激増が予測されている。これに対応すべく、波長をより高密度化して使用チャンネル数を増やす、高密度波長分割多重(DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing)通信技術の導入が現在進められている。

DWDMシステムにおいては、50 GHzから25 GHzの周波数間隔の狭帯域信号を高精度に多重化(合波)したり、多重化された信号を各波長に分割(分波)する必要がある。各波長の合波や分波はAWGやフィルターなどを利用したMUX/DEMUXモジュールで行われるが、これらのモジュールでは50 GHz以上の高密度化は技術的に非常に難しくなってくる。そこで、MUXモジュールによりある程度多重化された信号を一括して更に高密度多重できる、また、高密度に多重化された光を広い周波数間隔に分割できるモジュールが必要となってくる。

このような機能を持つモジュールを実現する手段としては、結晶を利用する方式、ファイバを利用する方式等があるが、ファイバを利用する方式では、特性の温度依存性が大きいこと、ファイバの取り回しが必要なことから大型になるなどの難点がある。

本稿では、100 GHz間隔の2つの信号を50 GHz間隔に多重化する、又は50 GHz間隔の信号を100 GHz間隔の2つの信号に分割することのできる、結晶型のインターリーピングフィルタを開発したので報告する。

2. 結晶型インターリーピングフィルタ

基本構成を図1に示す。

複屈折結晶、ファラデー回転子などの光学素子により構成される光路決定部と波長選択機能を持つ干渉フィルターからなる波長合分波機能部の一端にport-1, -2, -3の3つのポートが配置されている。各ポートはシングルモード光ファイバ(SMF: Single Mode Fiber)の先端に非球面レンズを配し、ファイバ端からの発散光をレンズによりコリメートして、ポート間の結合を行っている。光ファイバとレンズの固定はYAG溶接で行い、耐パワー性を考慮して光路に接着剤を使用しない構造となっている。

光路決定部は、非相反構造であるため、逆方向からの光の伝搬を妨げるアイソレーション機能も備えている。光路決定部に使用される光学素子の構成を選択することで、波長合波モジュール、分波モジュールのいずれにも対応させることができる。

一例として、波長分波する場合の光の伝搬を説明する。

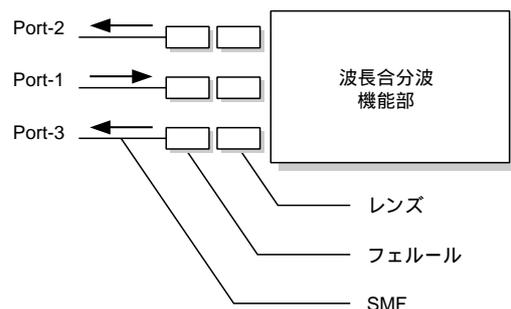


図1 結晶型インターリーピングフィルタ基本構成
Basic configuration of crystal type interleaving filter

* ファイナルフォトニクス研究所 光部品開発部

port-1 に入射した波長多重された光は、波長合分波機能部に入射すると、干渉フィルターによって、互いに同じ周波数間隔を持つ奇数波長と偶数波長とに分けられる。このとき、これら 2 つに分けられた信号は互いに直交した偏光状態をとり、光路決定部によって光路変換され、それぞれ port-2, port-3 から出射する。

波長合波する場合には、port-2, -3 からそれぞれ同じ周波数間隔を持ち、互いに波長が半周波数間隔ずれた光を入射させると、それぞれの信号光が合波され、周波数間隔が入力した周波数間隔の 1/2 となったより多重化された光が port-1 から出射する。

干渉フィルターは通常温度特性を持つため、結晶型インターリーピングフィルタにより多重化又は分割される光のピーク波長が温度によって変動するという現象を生じる。本インターリーピングフィルタでは、干渉フィルターの温度特性を補償するよう光学設計しているため、モジュール全体として、ピーク中心波長の温度特性が小さいアサーナル構造となっている。温調を必要としないため、取り扱いが容易でコストメリットがあるとともに、温調装置や回路を配置するスペースを省くことができ、モジュールサイズを温調付のモジュールと比べて体積比約 1/15 に小型化することに成功している。図 2 に光合分波モジュールの外観を示す。サイズは 60 mm × 20 mm × 8.5 mm である。

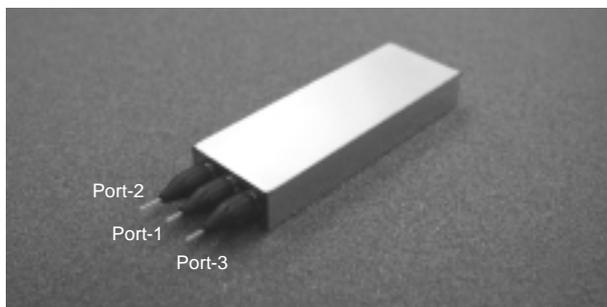


図 2 結晶型インターリーピングフィルタ外観
Appearance of crystal type interleaving filter

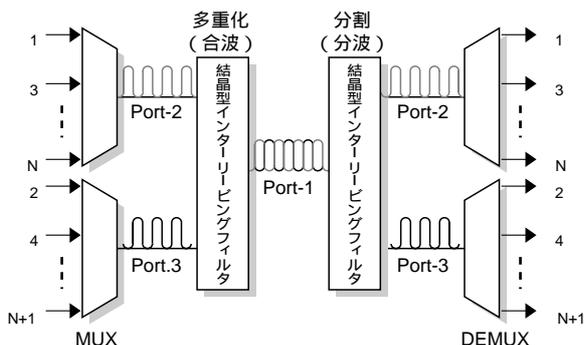


図 3 結晶型インターリーピングフィルタの応用例
Application of crystal type interleaving filter in DWDM system

3. 応用例

DWDM システムにおける 100 GHz / 50 GHz の結晶型インターリーピングフィルタの使用例を図 3 に示す。AWG などの MUX モジュールにより、100 GHz の周波数間隔に多重化された信号を波長合波機能を持つ結晶型インターリーピングフィルタの port-2 及び port-3 に入射させる。このとき、port-2 と port-3 に入射させる信号は、互いに波長が周波数間隔の半分である 50 GHz ずつずれている。これらの信号は結晶型インターリーピングフィルタにより、波長間隔が 50 GHz の信号に一括で多重化される。多重化された信号を波長分波機能をもつ結晶型インターリーピングフィルタの port-1 から入射させると、50 GHz 間隔の信号を 100 GHz 間隔の 2 つの信号に分割することができる。

4. 目標仕様

広帯域、低挿入損失であること、高密度伝送に十分な透過帯幅とチャンネルアイソレーションを持つことを考慮し、表 1 の仕様を定めた。

5. 特性

5.1 透過波形

図 4 に結晶型インターリーピングフィルタの透過波形を示す。また短波長側と長波長側での透過波形の拡大図を図 5 (a), (b) に示す。1525 ~ 1565 nm の波長範囲において port-2, port-3 の透過スペクトルはそれぞれ 100 GHz 間隔の周期的なスペク

表 1 インターリーピングフィルタの目標仕様
Target specifications of interleaving filter

項目	規格	
挿入損失	@ ± 10 GHz	< 1.5 dB
偏波依存損失	@ ± 10 GHz	< 0.4 dB
透過帯域幅	@ - 0.5 dB	± 10 GHz
阻止帯域幅	@ - 17 dB	± 5 GHz
アイソレーション		> 45 dB
使用波長範囲 λ_{op}	1525 ~ 1565 nm	
使用温度範囲 T_{op}	0 ~ 65	

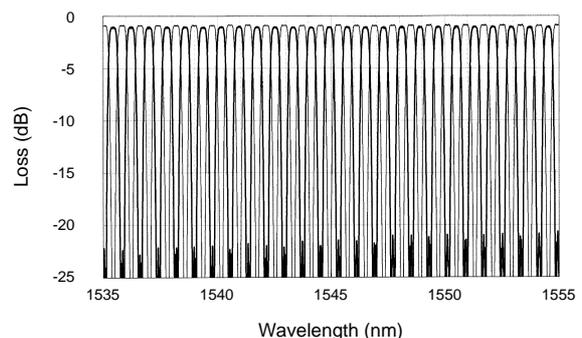


図 4 インターリーピングフィルタの透過波形
Transmission waveshape of interleaving filter

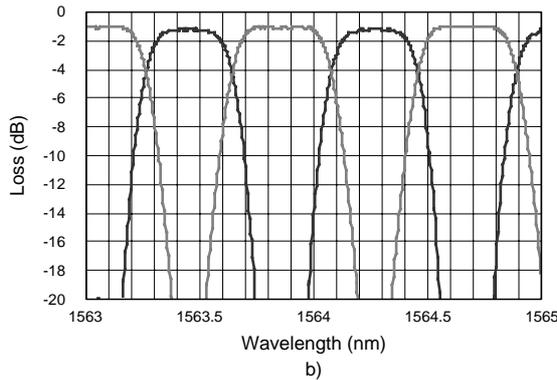
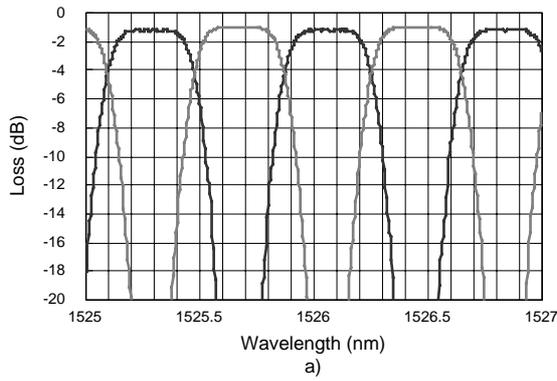


図5 インターリーピングフィルタの透過波形 (拡大図)
a) 1525 ~ 1527 nm, b) 1563 ~ 1565 nm
Transmission waveshape of interleaving filter (expanded figure)

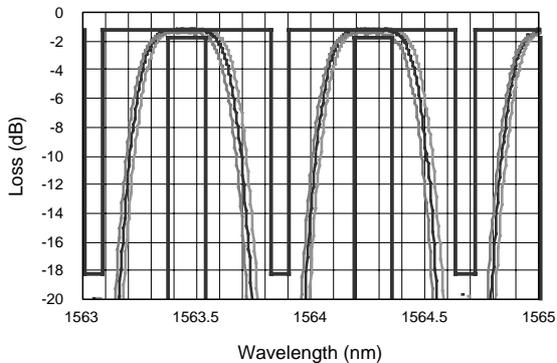


図6 インターリーピングフィルタの透過波形温度依存性
Temperature dependent transmission waveshape of interleaving filter

トルを示す。また, port-2, port-3の2つのポート間でピーク中心波長が交互にずれた透過特性を持つことが確認できる。

つぎに, インターリーピングフィルタの透過波形の温度特性測定結果を表1の透過帯域幅と阻止帯域幅の規格を表すマスクとともに図6に示す。測定温度範囲5 ~ 55 で, ピーク中心波長の温度範囲は ± 1 pm/以下である。グラフから温度特性を考慮しても透過帯域幅, 阻止帯域幅ともにほぼ規定のマスクに入ることが確認できる。温度範囲幅が目標に比べて ± 5 狭くなっているが, 温度特性低減の効果を確認することができた。

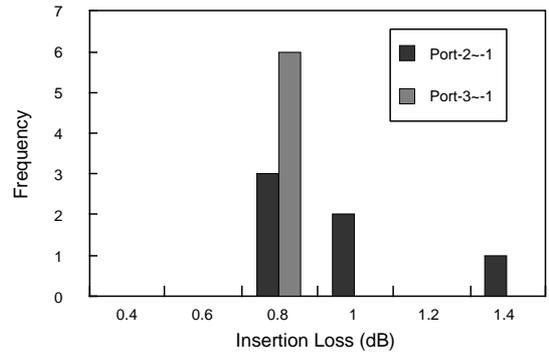


図7 合波型インターリーピングフィルタの挿入損失分布
Histogram of insertion loss of MUX type interleaving filter

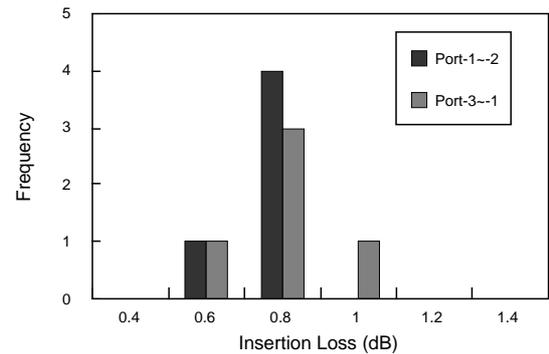


図8 分波型インターリーピングフィルタの挿入損失分布
Histogram of insertion loss of DEMUX type interleaving filter

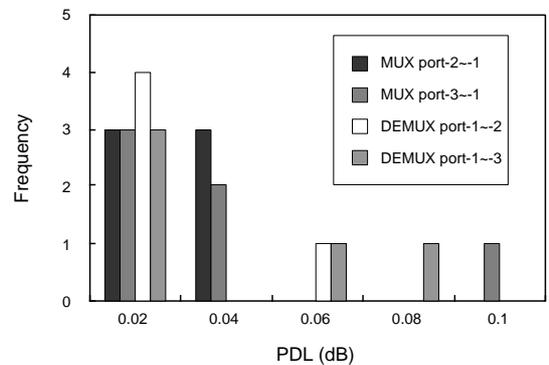


図9 分波型インターリーピングフィルタのPDL分布
Histogram of PDL of interleaving filter

5.2 挿入損失分布

図7に常温での合波型のインターリーピングフィルタの挿入損失分布を, 図8に同じく常温での分波型のインターリーピングフィルタの挿入損失分布を示す。合波型のport-2 ~ port-1ではモジュールの80%以上が, 合波型のport-3 ~ port-1及び分波型では100%が挿入損失1 dB以下と低損失を実現している。

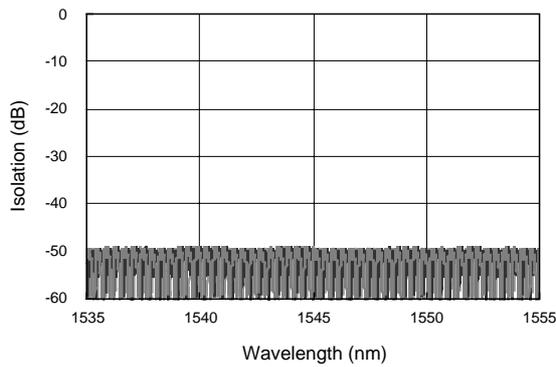


図 10 インターリーピングフィルタのアイソレーション特性
(port-1 ~ port-2)
Temperature dependent isolation of interleaving filter
(port-1~port-2)

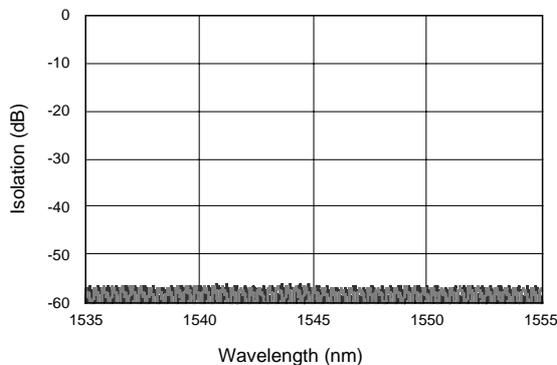


図 11 インターリーピングフィルタのアイソレーション特性
(port-1 ~ port-3)
Temperature dependent isolation of interleaving filter
(port-1~port-3)

5.3 偏波依存ロス (PDL)

図 9 にピーク中心波長における常温でのインターリーピングフィルタの偏波依存ロス分布を示す。約 80 % が偏波依存ロス 0.04 dB 以下であり、良好な偏波依存特性を示している。

5.4 アイソレーション

図 10 に合波型インターリーピングフィルタの port-1 ~ port-2 のアイソレーションの波長特性を示す。また図 11 に port-1 ~ port-3 のアイソレーションの波長特性を示す。いずれのポートにおいても波長範囲 1525 ~ 1565 nm で 45 dB 以上という高いアイソレーション特性を示し、使用を満足するアイソレーション機能を実現している。分波型においても同様で使用波長範囲で 45 dB 以上のアイソレーション特性を示す。

6. おわりに

小型で低挿入損失な 50 GHz インターリーピングフィルタを開発した。最近需要の高いアサーマルタイプであり、ピーク中心波長の温度特性を 1 pm/°C 以下に抑えることに成功し、高密度波長多重通信システムの特性向上に貢献することが期待できる。今後は信頼性の確認及び、更なるピーク中心波長の温度依存性を改善する予定である。また、この技術を利用して 25 GHz など更に狭帯域な次世代向けインターリーピングフィルタも開発していく予定である。