

光学用ポリイミド基板と全フッ素化ポリイミド光学材料を用いた 光導波路とその光通信部品への適用

(NTT) 松浦 徹

要旨：光通信用部品の基板及び材料として開発した光学用ポリイミド基板と全フッ素化ポリイミド光学材料を用いて光導波路を作製した。この光導波路は近赤外の幅広い光通信波長で低損失性と低偏波依存損失性を示した。さらにこの光導波路を構成要素とする8波長の波長合分波器（8ch-CWDM）とアド・ドロップ・モジュール（ADM）を作製し、シングルモードファイバ（SMF）と組み合わせてリング状のスケラブルネットワークを構築して、その動作を確認した。

1. 緒言

FTTH（Fiber To The Home）の普及に伴い、アクセス系やユーザ系の光通信ネットワークでは低コストで高性能な光部品が求められている。我々はこれまでに近赤外波長で光透過性に優れた全フッ素化ポリイミド光学材料[1,2]、及び高分子光導波路との熱膨張率整合性に優れた光学用ポリイミド基板を開発してきた[3]。そこで、上記材料と基板を用いて光導波路を作製し、特性を評価した。さらにこの光導波路を光通信部品に適用するために分岐光導波路型の8ch-CWDMとADMを作製し、リング状のスケラブルネットワークを構築した。

2. 光学用ポリイミド基板

一般に光学用高分子材料、特に光学用ポリイミドはガラスやシリコン（Si）より熱膨張係数が大きいため、これらの基板上で高分子光導波路を作製すると光導波路に歪みが生じ、歩留りの低下、偏波依存損失（PDL）や導波路複屈折の増大を生じる。そこで、ポリイミド光導波路に用いる基板をポリイミドで作製することが検討されている[4,5]。本研究で用いた光学用ポリイミド基板の主な特性をTable 1に示す。平均熱膨張係数（50-300℃）は $6.6 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ であり、ポリイミド光導波路の熱膨張係数に近い値である。また基板の平均表面荒さRaは500 Å以下であり、光導波路用基板として十分な平滑性を有していると考えられる。基板材料にはポリイミド材料を使用し、ポリイミド光導波路の作製プロセス（300℃以上）が可能な耐熱性を有している。さらに素材として非フッ素系のポリイミド材料を用いており、基板の低コスト化を図るとともに光導波路作製時の自己保持性を高めている。

Table 1 Characteristics of polyimide substrate

項目	性能	目的
熱膨張係数	66ppm	高分子導波路との熱膨張率整合
耐熱性	300℃以上	PI光導波路の形成
表面平滑性	Ra500 Å以下	光導波路の平面性
材料	ポリイミド（非フッ素系）	低コスト、自己保持性

3. 全フッ素化ポリイミド光学材料

本研究の光導波路材料として用いた全フッ素化ポリイミドは分子構造中のHを全てFに置換して、光通信に用いる近赤外波長でのC-H分子振動の高調波吸収をなくし、幅広い波長範囲での優れた光透過性を有している (Fig. 1)。また、屈折率制御基Rfを導入することで、精密な屈折率制御性を付与している。

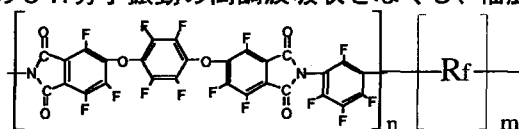
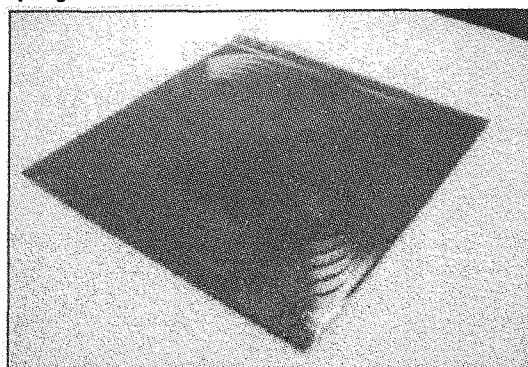


Fig. 1 Structure of perfluorinated polyimide

4. 光導波路の作製

前記光学用ポリイミド基板上に Fig. 1 に示す全フッ素化ポリイミドを用いて、スピコートとフォトリソグラフィ及び反応性イオンエッチングにより直線及び曲線の埋込型光導波路を作製した。得られた光導波路は平滑で反り等がなく、Si基板上のポリイミドと同様の良好な埋込構造が形成できた。作製した長尺 (375mm) の埋込型曲線光導波路の写真を図 2 に示す。



Chip size: 10 x 10 cm
(Substrate: 6 inch)
Waveguide length: 375 mm

Fig. 2 Long waveguide using perfluorinated polyimide and polyimide substrate

5. 光導波路の特性

この光導波路の損失は波長 1.55 μm で TE 及び TM モードともに 0.16 dB/cm であった。光学用ポリイミド基板と全フッ素化ポリイミドの組み合わせにより、基板の面積を大きくしても、低損失で歪みが少なく面内で均一な光導波路が歩留まりよく形成できた。Fig. 3 に作製した光導波路 (導波路長 9.7 cm) の各導波モードでの損失の波長依存性を示す。1.55 μm 以外の波長においても、TE と TM モードの損失の波長依存性はほぼ一致しており、全波長領域で PDL が小さいことがわかる。また両モードともに波長 1.4 及び 1.65 μm 付近に水及び残留溶媒等に起因すると思われる吸収ピークが見られるが、既存のポリイ

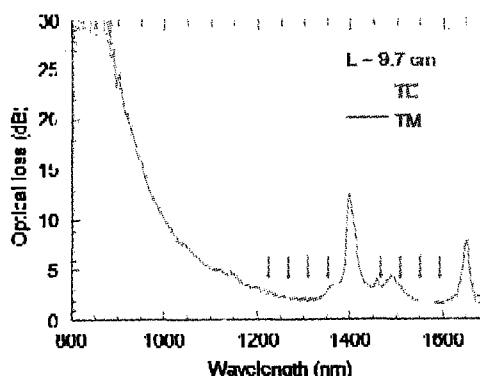


Fig. 3 Loss spectra of waveguides

Table 2 Comparison of waveguide loss using various materials (waveguide length: 6 cm)

基板	導波路材料	損失 (dB)		PDL (dB)
		TE	TM	TM-TE
シリコン	全フッ素化ポリイミド	1.25	2.30	1.05
ポリイミド	全フッ素化ポリイミド	1.38	1.48	0.10
ポリイミド	フッ素化ポリイミド	2.68	2.80	0.12

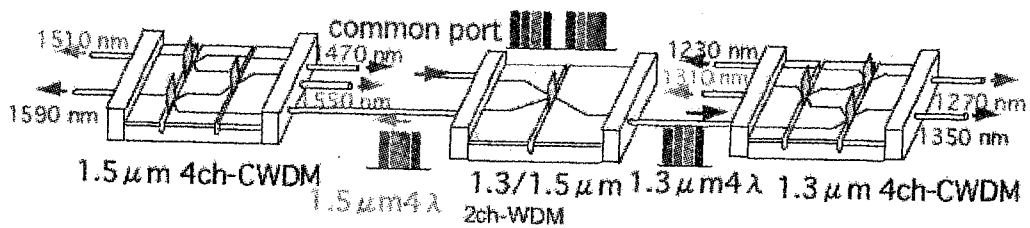


Fig. 4 Configuration of polyimide 8ch-CWDM

ミド光導波路と比較して、1.55 及び 1.3 μm 帯に幅広い低損失領域が確保できている。

6. 光通信部品への適用

広波長範囲での低損失性を利用して分岐光導波路と光フィルタからなる 8ch-CWDM と ADM を作製した。使用波長は材料の損失の波長依存性 (Fig. 3)、送信機の発信波長、ITU-T 規格を考慮し、波長間隔を 40nm とし以下以下の 8 波長を選定した。

1.3 μm 帯 : 1230、1270、1310、1350nm

1.5 μm 帯 : 1470、1510、1550、1590nm

作製した 8 ch-CWDM は 3 種類の WDM チップを接続したものであり、1.5 μm 帯 4ch-CWDM、1.3 μm 帯 4ch-CWDM、1.3/1.5 μm 2 ch-WDM で構成されている (Fig. 4)。各チップはポリイミド基板上に直線と曲線からなる分岐光導波路を形成し、分岐部に溝を形成してポリイミド支持基板の薄膜誘電体多層膜フィルタを挿入して作製した。作製した 8ch-CWDM の波長スペクトルを Fig. 5 に示す。挿入損失は 7.4dB 以下、クロストークは -18 dB 以下、各チャンネルの通過帯域は 13 nm 以上が得られた。

WDM を用いたネットワークでは多重光から特定の波長だけを分離する ADM も重要な光部品である。CWDM と同様の手法により、各波長に対応する ADM を作製した (Fig. 6)。作製した 1550 nm 用 ADM の特性を Fig. 7 に示す。実線の光学用ポリイミド基板を用いた ADM の挿入損失は Trough ポートで 2.2 dB、Add と Drop ポートではそれぞれ 2.4 dB と 2.3 dB であり、破線の Si 基板上 ADM と比較して低損失であった。

7. スケーラブルネットワークへの適用

ポリイミド CWDM のネットワークへの適用先として波長分割多重 (WDM) を用いた光ネットワーク [6] が考えられる。そこで、ポリイミド CWDM を用いて宅内から集合住宅、社内 LAN、地域ネットに至る種々のネットワークに拡張可能な WDM 方式によるスケーラブルネットワークの可能性を検討した。本研究で作製した 8ch-CWDM と ADM、及び SMF をリング状に配線した (Fig. 9)。今回、1.5 μm 帯の 4 波長 (1470、1510、1550、1590 nm) と 1.3 μm 帯の 1 波長 (1310 nm) の 5ch でのネットワーク動作を確認できた。さらに 1チャンネル当たりのネットワークのスループットはチャンネル数の

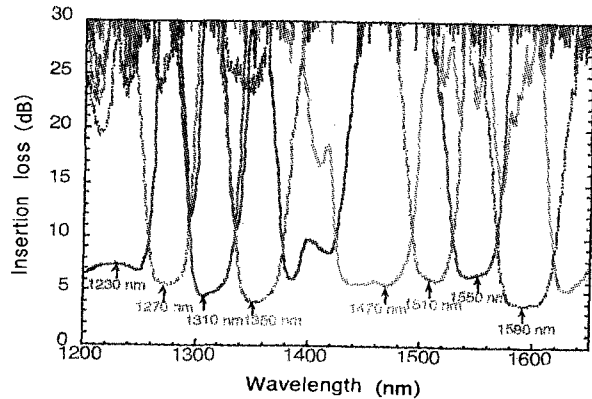


Fig. 5 Spectral response of polyimide 8ch-CWDM

増加に拠らずほぼ一定であった。

8. 結論

光学用ポリイミド基板と全フッ素化ポリイミド材料を用いて、近赤外の幅広い光通信波長で低PDLと低損失を有する光導波路を作製できた。この光導波路を構成要素とする8ch-CWDMとADMを作製し、SMFと組み合わせてWDMネットワークを構築し、その動作を確認した。これによりポリイミド材料を用いたこれらWDM部品が大容量の伝送とユーザ系の幅広い領域を想定したスケーラブルネットワークへの適用性を有することが示唆された。

9. 参考文献

- [1] S. Ando, T. Matsuura, and S. Sasaki, *Macromolecules*, Vol.25, No.21, pp. 5858-5860, 1992.
- [2] 景井絵美子敏博、山田典義、川上直美、小林潤也、松浦徹、山本二三男、増田豪、田尻浩三、桑原正芳、奥村康則、浅子佳延、八谷秀孝、電子情報通信学会総合大会、C-3-152, 2002
- [3] 松浦徹、栗原隆、丸野透、川田久美子、山本二三男、横山博一、杉本範己、手柴敏博、電子情報通信学会総合大会、C-3-39, 2004
- [4] 佐々木重邦、松浦徹、山本二三男、横山博一、杉本範己、特開 2001-4850
- [5] 諸井長広、速水崇、七井秀寿、前田一彦、山本雄二、坂口茂樹、小林壯一、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会、C-3-81, 2001
- [6] K. Moriyama, N.H. Viet, S. Fujimoto, and Y. Katsuyama, *Asia-Pacific Conference on Communications Bandung, Indonesia, sept. 17-19, p.512-515, 2002*

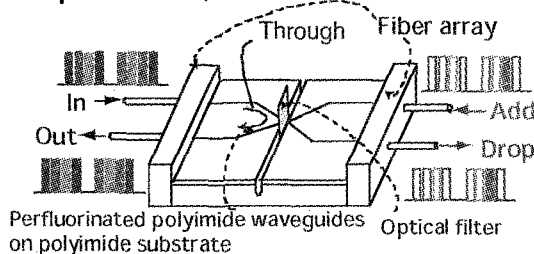


Fig. 6 Polyimide ADM

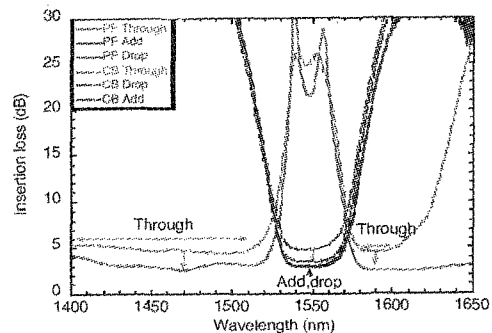


Fig. 7 Spectral response of polyimide ADM

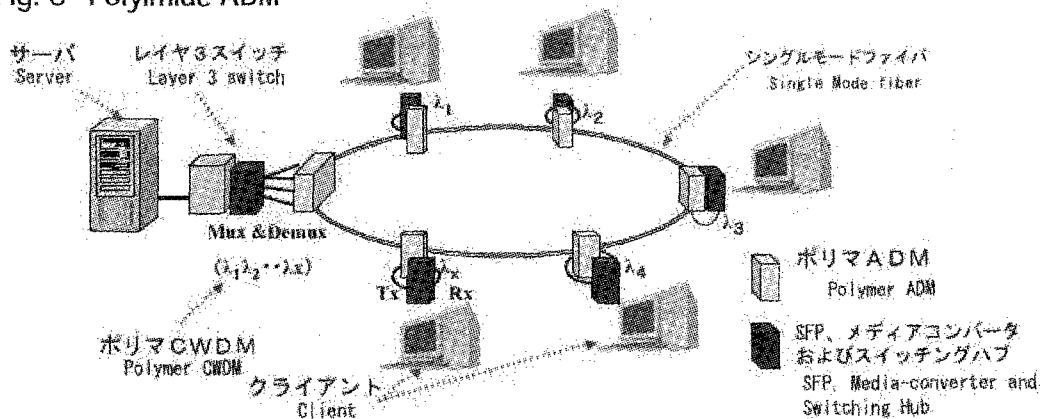


Fig. 8 Configuration of optical scalable network using polyimide WDM devices