

## ポリマー導波路を用いた光アクセス向け低コスト送受信モジュール

井戸立身

### Low-Cost Polymer Planar Lightwave Circuit Transceiver Module for Optical Access System

Tatemi IDO

Low-cost polymer PLC (planar lightwave circuit) transceiver modules for optical access network were developed. In these modules, the laser-diode and photo-diodes are flip-chip bonded onto a platform with a polymer waveguide circuit. A heat-resistant and reliable fluorinated polyimide waveguide was used. By fabricating the polyimide waveguide on a Si wafer with a SiO<sub>2</sub> film, a simple low-cost platform without any height adjustment structure was demonstrated. A 1.3 μm TCM (time-compression-multiplexing) bi-directional transceiver module using this polymer PLC platform showed high performance as well as high reliability. A 1.3/1.5 μm WDM (wavelength division multiplexing) bi-directional transceiver module was also demonstrated.

**Key words:** polymer, polyimide, waveguide, PLC, transceiver

インターネットをはじめとするマルチメディア通信をより高速・快適にするために、FTTH (fiber-to-the-home) に代表される光アクセスシステムの導入が開始されている。本システムが本格的に普及するための最大の課題はコストであり、光モジュールにも抜本的な低価格化が要求されている。また、光アクセスシステムではファイバーの管理・敷設コストを低減するために、1本のファイバーで双方向通信を行う。このためモジュールには、レーザーダイオード (LD) やフォトダイオード (PD) に加えて、送受光を合分波する機能も必要である。このような高機能なモジュールを低コスト実現するために、石英光導波路回路 (PLC: planar lightwave circuit) 基板に LD・PD を実装した PLC 送受信モジュールが開発されている<sup>1)</sup>。

筆者らは、同モジュールの低コスト化をさらに進めるために、導波路材料にポリマーを用いたポリマー PLC 送受信モジュールを開発している<sup>2-5)</sup>。ポリマー導波路はスピンコートにより製膜できるために石英導波路に比べて格段量産性にすぐれ、低コストである。ポリマー材料として耐熱性のすぐれる (>400°C) フッ素化ポリイミドを用いることで、AuSn 半田を用いた LD・PD の実装が可能になり<sup>6)</sup>、

十分な信頼性も得られる。また、以下に述べるように、PLC 基板の構造を従来より簡略化できる。本報告では、ポリマー PLC 基板の基本構造について説明し、それを用いた時分割送受信モジュールと波長多重送受信モジュールの試作結果について述べる。

#### 1. ポリマー PLC 基板の基本構造

PLC モジュールは、シリコン (Si) 基板に導波路を形成し、一部の導波路を除去して電極を設け、これに LD や PD (ここでは特に導波路型の PD を用いた場合について述べる) をフリップチップ実装して作製する (図 1)。LD/PD と導波路の間で高い光結合を得るために、導波路のコアと LD/PD のコア (活性層または吸収層) の高さが一致するように各膜厚を設計する。しかし、石英やポリマー導波路のコアとクラッドの屈折率差 ( $\Delta n$ ) は、シングルモードファイバー (SMF) と高結合するために 0.3~0.6% と小さく設定している。このために、導波路の光が Si 基板に漏洩して伝搬損失が増加しないように、導波路の下部クラッドを厚く (>10 μm) する必要がある。導波路のコアの中心は Si 基板表面から 13 μm 以上の高さになる。これに対して、LD/PD のコア中心の高さは電極やはんだの厚さなどを合

(株)日立製作所中央研究所 (〒185-8601 国分寺市東恋ヶ窪 1-280) E-mail: t-ido@crl.hitachi.co.jp

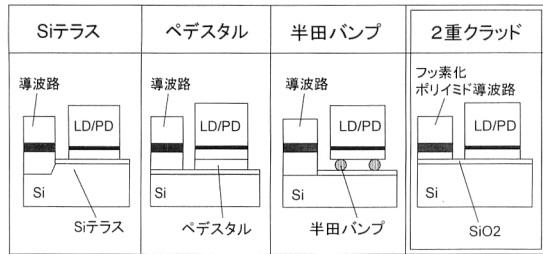


図1 PLC基板の構造の比較<sup>(1,2,7,8)</sup>.

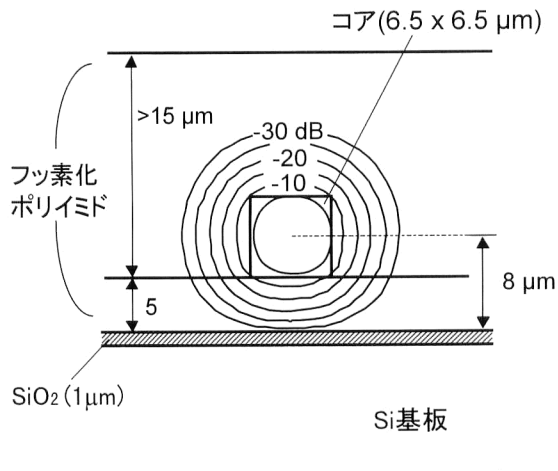


図2 フッ素化ポリイミドを用いたポリマー PLC 基板の導波路断面構造と基本モードの光強度分布 (計算値).

めても  $10\ \mu\text{m}$  以下であり、両者の間で大きな高さずれが生じる。これを解消するために、Si テラス<sup>1)</sup>、ペDESTAL<sup>2)</sup>、半田バンブ<sup>8)</sup> などの高さ調整構造を使用している。しかし、これらの作製プロセスは複雑でコスト高であり、またペDESTAL やはんだバンブを用いると熱抵抗が増加して LD の高温特性が悪化するという問題がある。これに対して、筆者らは表面に熱酸化膜 ( $\text{SiO}_2$ ) を形成した Si 基板にフッ素化ポリイミド導波路を作製する、すなわち下部クラッド層を  $\text{SiO}_2$  とポリイミドの 2 重構造にすることで高さ調整構造が不要にできることを提案した<sup>2)</sup>。  $\text{SiO}_2$  ( $1\ \mu\text{m}$ ) 付 Si 基板上のポリイミド導波路 ( $\Delta n=0.4\%$ ) の断面構造とそのモードの光強度分布を図 2 に示す。ポリイミドの屈折率は 1.52 であり  $\text{SiO}_2$  (屈折率 1.46) に比べて格段に大きいために、わずか  $1\ \mu\text{m}$  の  $\text{SiO}_2$  膜でも強く光を閉じ込める。このため下部クラッドを  $5\ \mu\text{m}$  と薄くしても、すなわち導波路のコアの中心と LD/PD の高さが一致するようにしても、良好な導波特性が保たれるので高さ調整構造が不要になる。  $\text{SiO}_2$  膜の強い閉じ込めによって導波路のスポット形状は非対称になるが、影響を受けるのは裾野の部分であり、本導波路と SMF の結合損失は  $0.13\ \text{dB}$  (計算値) と小さい。

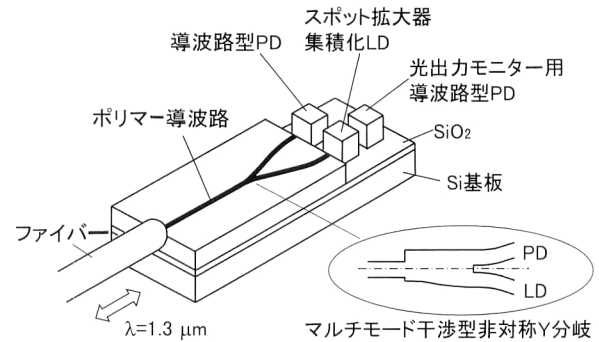


図3 ポリマー PLC 基板を用いた時分割多重光送受信モジュール<sup>2)</sup>.

## 2. 光送受信モジュールの試作例

### 2.1 時分割多重モジュール

本モジュールは、Y 分岐導波路を有するポリマー PLC 基板 ( $1.4 \times 14\ \text{mm}$ ) に発光波長  $1.3\ \mu\text{m}$  の LD と受光波長  $1.3\ \mu\text{m}$  の導波路型 PD が搭載されており、時分割による双方向送受信ができる (図 3)<sup>2,5)</sup>。また、LD の光出力をモニターするための導波路型 PD も有している。LD-導波路間の光結合効率を向上するために、LD にはスポット拡大器を集積化しており、これにより損失  $4\ \text{dB}$  以下の高い結合が得られている。また、受信感度を向上するために、Y 分岐には PD 側に LD 側の約 2 倍の光パワーを分配する非対称 Y 分岐を使用している。これはマルチモード干渉 (MMI: multi-mode-interference) を利用した Y 分岐であり、分岐比が波長変化や加工偏差に対して安定であり、放射損失も小さい ( $<0.2\ \text{dB}$ )<sup>4)</sup>。本 PLC 基板ならびにモジュールは以下のプロセスで作製した。(1)  $\text{SiO}_2$  付 Si 基板に LD/PD を実装する電極と水平方向の位置合わせに用いるマーカーを設ける。(2) 屈折率の異なる 2 種類のポリイミドワニスを順次塗布・ベークして、下部クラッド層・コア層を設ける。(3)  $\text{O}_2$ -RIE (reactive ion etching) を用いてコア層を導波路形状に加工する。(4) 再度、ワニスを塗布・ベークして上部クラッド層を設ける。(5) 素子搭載部のポリマーを  $\text{O}_2$ -RIE で除去して、電極上に AuSn はんだ膜を形成する。(6) LD と導波路型 PD (2 個) を赤外透過光を用いて  $1\ \mu\text{m}$  以下の精度で水平方向の位置決めを行い、はんだを溶融して実装する。(7) 導波路端面に SMF を UV 接着剤で固定する。導波路の伝搬損失は波長  $1.3\ \mu\text{m}$  で  $0.3\ \text{dB/cm}$  であり、ファイバー-PD ポート間の損失は  $2.8\ \text{dB}$ 、ファイバー-LD ポート間値は  $6.2\ \text{dB}$  である。モジュールは良好な光出力特性 ( $1\ \text{mW}$ ,  $32\ \text{mA}$ , 室温) と受光特性 ( $0.39\ \text{A/W}$ ) を有しており、 $50\ \text{Mbit/s}$  のバースト信号に対して良好な光出力波形と受信感度 ( $-36\ \text{dBm}$ ) を確認している。これらの性能は、従来の石英導波

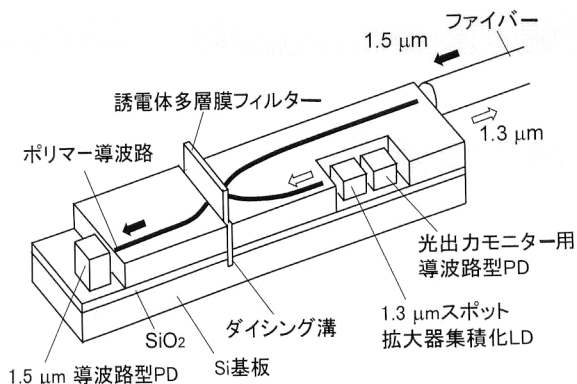


図4 ポリマー PLC 基板を用いた波長多重光送受信モジュール<sup>3)</sup>。

路を用いたモジュールと同等なものである。さらに、同モジュールの高温高湿試験 (85°C, 85%RH, 2000 h) や温度サイクル試験 (-40~85°C, 500 cycle) を行い、実用上十分な信頼性を確認している。

## 2.2 波長多重送受信モジュール

本モジュール (図4) は送信光 (波長 1.3 μm) と受信光 (波長 1.5 μm) を分離するための波長合分波機能をもっており、同時送受信が可能であり、より大容量化に適したモジュールである<sup>3)</sup>。PLC 基板 (1.6×17 mm) に設けた細溝に誘電体多層膜フィルター (約 15 μm 厚) が挿入されており、ファイバーから入射する受信光はフィルターを透過して導波路型 PD で受光される。一方、LD が発生する送信光はフィルターで反射されて、ファイバーに出力する。フィルターの位置ずれは反射経路の損失増加をもたらすので、溝は約 1 μm の高い加工精度でダイシングで形成した。導波路の波長 1.55 μm の伝搬損失は 0.5 dB/cm であり、フィルターを挿入した導波路の損失はファイバー-PD ポート間 (波長 1.55 μm) が 1.3 dB、ファイバー-LD ポート間 (波長 1.31 μm) が 1.1 dB である。本モジュールも良好な光出力特性 (2 mW, 32 mA, 室温) と受光感度 (0.63 A/W) が得られている。

光アクセスシステム向け送受信モジュールを低コストで実現するために、フッ素化ポリイミド導波路を用いたポリ

マー PLC モジュールを開発した。同 PLC 基板は高さ調整構造が不要であり、量産性にすぐれて低コストである。2 種類の光送受信モジュールを試作し、実用化に耐えうる特性と信頼性を得た。開発したポリマー光導波路モジュール技術が光モジュールの低コスト化、さらには光アクセスシステムの本格普及に寄与することを期待してまとめとする。

## 文 献

- 1) N. Uchida, Y. Yamada, Y. Hibino, Y. Suzuki and N. Ishihara: "Low-cost hybrid WDM module consisting of a spot-size converter integrated laser diode and waveguide photodiode on a PLC platform for access network systems," *IEICE Trans. Electron.*, **E80-C** (1997) 88-95.
- 2) T. Ido, A. Kuwahara, T. Nagara, H. Ichikawa, T. Kinoshita, M. Tokuda, S. Tsuji and H. Sano: "A simple low-cost polymer PLC platform for hybrid integrated transceiver modules," *Tech. Dig. of Optical Fiber Conference '99 (OFC '99)*, PD-41 (1999).
- 3) T. Kinoshita, T. Ido, T. Nagara, M. Tokuda, S. Tanaka, Y. Matsuoka and H. Sano: "1.3/1.55-μm bi-directional WDM polymer PLC module," *Tech. Dig. of Fifth Optoelectronics and Communication Conference (OECC 2000)*, 14B3-2 (2000) pp. 500-501.
- 4) M. Koizumi, T. Ido, T. Nagara and H. Sano: "Low radiation loss MMI asymmetric Y-branch splitter with large fabrication tolerance," *Tech. Dig. of Fifth Optoelectronics and Communication Conference (OECC 2000)*, 14B3-4 (2000) pp. 504-505.
- 5) 桑原 明, 黒岩 勉, 鬼頭繁文, 高野光広, 江良佳和, 宮守良夫, 井戸立身, 宮寺信夫: "光加入者システム用ポリマー PLC モジュール", 2000 年電子情報通信学会エレクトロソサイエティ大会講演論文集, C-3-113 (2000).
- 6) T. Matsuura, S. Ando, S. Matsui, S. Sasaki and F. Yamamoto: "Heat-resistant single-mode optical waveguides using fluorinated polyimides," *Electron. Lett.*, **29** (1993) 2107-2108.
- 7) T. Naruse, H. Tabuchi, M. Norimatsu, G. Nakagawa, H. Nakata, K. Tanaka and M. Yano: "Planar-processed fabrication of PLC platform using plastic waveguides," *Tech. Dig. of Third Optoelectronics and Communication Conference (OECC '98)*, 15C2-3 (1998) pp. 372-373.
- 8) 加藤友章, 佐々木純一, 下田 毅, 北村直樹, 玉貫岳正, 島山 大, 山口昌幸, 北村光弘, 伊藤正隆: "ハイブリッド光集積モジュール", 1998 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, SC-3-2 (1998).

(2001年9月22日受理)