

## くし形クラッドを有する 90 度光路変換素子の試作 杉浦雄二\*<sup>1</sup>, 後藤健一\*<sup>2</sup>, 神田昌宏\*<sup>3</sup>, 三上修\*<sup>4</sup>

### Fabrication of 90-degree Light Path Conversion Device with Comb Clad

by

Yuji SUGIURA\*<sup>1</sup>, Kenichi GOTO\*<sup>2</sup>, Masahiro KANDA\*<sup>3</sup>, and Osamu MIKAMI\*<sup>4</sup>

(Received on March. 31, 2009 & accepted on July. 6, 2009 )

#### Abstract

The 90-degree Light Path Conversion Device developed by miniaturization technology and equipped with high coupling efficiency is one of the key technologies for optical interconnection. However, miniaturization of this device is not easy, because the refractive index difference between the core and clad in conventional devices is small.

We propose a new 90-degree Light Path Conversion Device fabricated using light cured resin by the mask transfer method for optical interconnection. The device has a unique structure characterized by "comb clad" of resin and air. The use of this device is expected to improve device size and optical coupling efficiency between optical devices and optical wiring. Fabrication and optical characteristics of the new device were investigated experimentally and theoretically.

**Keywords:** Mask Transfer Method, Optical Interconnection, 90-degree Light Path Conversion Device, Multi Channel

#### 1. はじめに

近年、情報通信技術の発達に伴い、あらゆる情報がデジタル化されており、ネットワーク上でやり取りする通信トラフィック量が増加している。サーバ・ルータ等の情報通信機器間において、光ファイバ技術を用いた高速大容量伝送が行われ来たが、近年の通信量の大容量化に対応しきれなくなってきたり、情報通信機器内にも更なる処理速度の高速化が求められている。しかし、装置内配線において、従来の電気配線では、EMI (Electromagnetic Interference), クロストーク, ノイズなどのボトルネックが、機器内配線の高密度化を防いでいる。

この問題を解決する手段の一つとして、ボードレベルの電気配線に加えて光配線を取り入れる光電気混載基板 (OE-PWB : Opto-Electric Print Wiring Board) の導入に関心が寄せられ、これを実現するために多くの光インタコネクション技術の開発が進められている<sup>1)</sup>。その一つの技術として、光電気混載基板の配線の柔軟性を高めるために、光素子と光配線間を 90 度光路変換して接続する技術が重要とされており、いくつかの方法が検討されている<sup>2,3)</sup>。しかしながら、従来の方法ではコアとクラッドの屈折率差が小さいことに起因する曲げ損失のため、コアの曲率半径を小さくすることができない。また  $m \times n$  チャンネルの接続が困難であることにより、用途が限定されるという問題が報告されている。

そこで我々は、UV 硬化性樹脂を用いたフォトマスク転写法<sup>4)</sup>によるくし形クラッドを有する 90 度光路変換素子の提案を行った<sup>5)</sup>。この素子を用いることで、 $m \times n$

チャンネルの光素子と光配線間の光信号を 90 度光路変換し、送受信を可能にすることができる。

本稿では、新規の提案素子の概要、製作方法、光学特性について報告する。

#### 2. 90 度光路変換素子

ボードレベル・チップレベルにおける光インタコネクションと本提案素子の実装構成を Fig.1 に示す。光電気混載基板に LSI (Large Scale Integration) 等の電子デバイスと、面型の光素子 (VCSEL : Vertical Cavity Surface Emitting Laser, PD : Photo Diode など) から成る光デバイス双方を光表面実装技術によって実装することにより構成される。従来の光配線部は 1 次元アレイ構造 (並列状の  $m$  チャンネル) が主流であったが、将来的な小型化と伝送容量の増加に伴う高密度化のため、電気配線部のように多層化 ( $n$  チャンネル) が必要となってくる。しかし、前節で述べた従来の素子では、大きさや接続自体の問題により、 $m \times n$  チャンネル化が難しい。

今回提案するくし形クラッドを有する 90 度光路変換素子のコンセプトを Fig.2 に示す。本変換素子は、材料として UV 硬化性樹脂を用いたマスク転写法により作製されたくし形クラッド (樹脂と空気が交互に形成されている) と、樹脂性コアにより構成されている。 $m$  チャンネルのコアは、くし形クラッドの空気層に形成されるため、コア曲率部の内側と外側の 2 面が空気クラッドとなる。そのため、大きな屈折率差を得ることができ、コアの曲率半径を小さくしても曲げ損失を低くすることができ、小型化が可能である。また、マスク転写法により任意の形状を一括転写作製することが出来るため、 $m \times n$  チャンネルなどアプリケーションにあった形状のコアの作製ができる。

\* 1 工学研究科情報通信制御システム工学専攻  
\* 2 研究生  
\* 3 総合理工学研究科総合理工学専攻  
\* 4 光・画像工学科教授

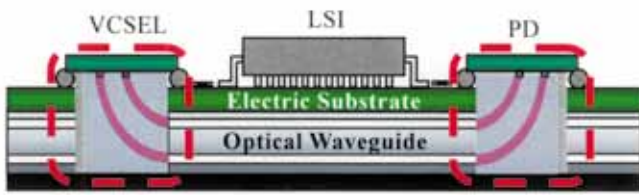


Fig.1 Schematic image of Opto-Electric Print Wiring Board

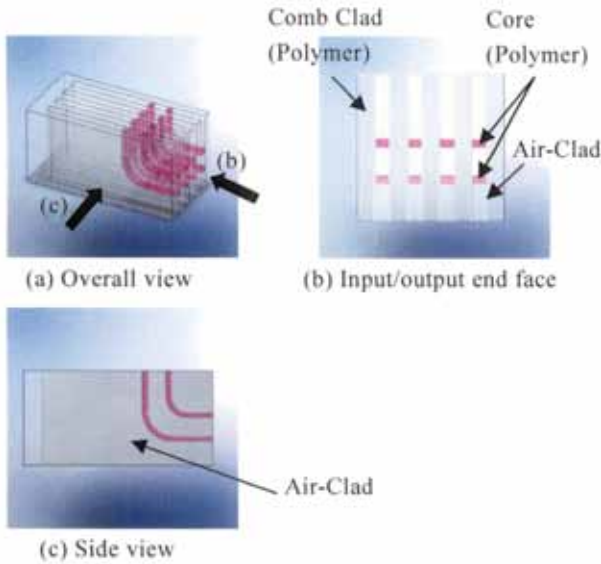


Fig.2 Concept of 90-degree Light Path Conversion Device with Comb Clad

### 3. 90 度光路変換素子の作製

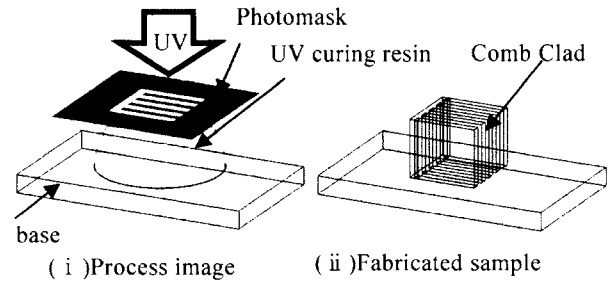
#### 3.1 作製方法

くし形クラッドを持つ 90 度光路変換素子は、フォトマスク転写法によって作製される。フォトマスク転写法とは、UV 硬化性樹脂を任意の開口形状を持つフォトマスクの下に充填し、フォトマスクの上から紫外線を照射することによって、フォトマスクの開口形状に沿って UV 硬化性樹脂を硬化させ、作製する方法である。このフォトマスク転写法の利点として、i) 任意の形状の物質を一括転写作製できる、ii) 樹脂によって屈折率が容易に可変できる、等が挙げられる。

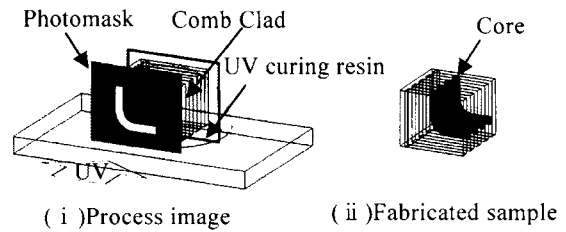
今回提案するくし形クラッドを持つ 90 度光路変換素子の作製イメージ図を Fig.3(a), (b)に示す。くし形クラッドを持つ 90 度光路変換素子はくし形クラッド作製とコア作製の二つの工程によって作製される。以下に作製手順を述べる。

#### Step 1 : くし形クラッド作製

- i. クラッド用 UV 硬化樹脂の上に、フォトマスク(クラッド用)を設置する。
- ii. フォトマスク上から UV 光を照射する。
- iii. フォトマスクを剥離し、樹脂未硬化部を洗浄することでくし形クラッドが完成する。



(a) Step1: Comb Clad



(b) Step2: Core

Fig.3 Fabrication process

#### Step 2 : コア作製

- iv. くし形クラッドにコア用 UV 硬化樹脂を充填し、クラッド側面にフォトマスク (コア用) を設置する。
- v. フォトマスク上から UV 光を照射する。
- vi. フォトマスクを剥離し、樹脂未硬化部 (コア用) を洗浄する。
- vii. 土台から剥離することでくし型クラッドを持つ 90° 光路変換素子が完成する。

#### 3.2 作製実験

今回実験に使用したフォトマスクの形状を Fig.4 に示す。(a)のフォトマスクは、くし型クラッドの作製用である。空気クラッド部の幅が 80[μm]のメタル部、および樹脂クラッド部の幅が 170[μm]の開口部からなる。ここでは 4ch の VCSEL との結合を想定し、4つの空気クラッド部をもち、空気クラッド部のピッチ間は 250[μm]になっている。(b)のフォトマスクはコア作製用である。コア形状は広いトレランスを得るために、VCSEL や光ファイバ等からの光の受光する側を 200[μm]と広くし、PD や光導波路等へ光を入射する場合を 50[μm]と狭くした。このようなコア形状を用いることで、実装時の光素子・光デバイス間などの位置合わせ精度の緩和が期待できる。

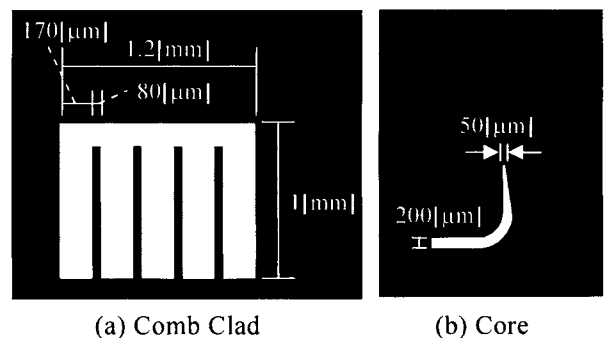


Fig.4 Schematic drawing of fabricated Photomask

作製実験に使用した UV 硬化性樹脂の屈折率は、1.53(クラッド用)と 1.56(コア用)である。また、クラッド作製時の紫外線の照射強度は  $1.28 \text{ W/cm}^2$ 、照射時間は 0.3 秒、コア作製時の紫外線の照射強度は  $1.28 \text{ W/cm}^2$ 、照射時間は 0.5 秒とした。

Fig. 5 に実際の作製結果を示す。(a)は、くし形クラッドの作製結果である。写真からフォトマスクの開口部形状に沿って、くし形クラッドが作製できていることが確認できる。(b)はコアの作製結果である。写真からくし形クラッドの隙間に作製できていることが確認できる。

これより、フォトマスク転写法を用いることにより、くし形クラッドを持つ 90 度光路変換素子が作製可能であることが確認できた。なお、光源の拡がり角(光軸(放射強度最大値)から放射強度が最大値の 1/2 になる角度)が  $20^\circ$  の場合、漏れ光なく全ての光を伝播するためには、コアの NA が約 0.27 必要となるが、本提案素子の樹脂の組み合わせでは NA が約 0.3 程度あるため、クロストークの発生がほぼないことが期待できる。

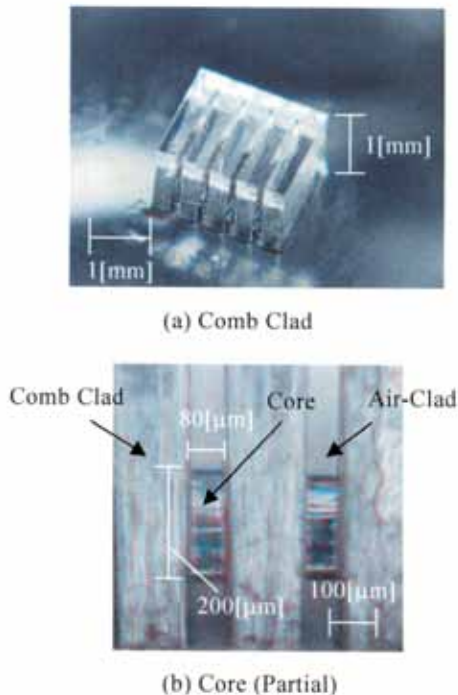


Fig.5 Photo images of fabricated comb clad (a) and enlarged image of comb and core.

#### 4.光曲げ損失の測定

1 層チャンネルのサンプルを用いて、くし形クラッドを持つ 90 度光路変換素子の光曲げ損失の測定を行った。

実験系を Fig.6 に示す。測定対象物は作製実験と同様の UV 光照射条件にて作製した。1 層チャンネルのコアの断面は縦  $100[\mu\text{m}]$ 、横  $80[\mu\text{m}]$ 、曲率半径は  $2[\text{mm}]$ 、経路長は  $3.14[\text{mm}]$  である。波長  $532[\text{nm}]$  の光信号をシングルモードファイバ: SMF(コア/クラッド= $10[\mu\text{m}]/125[\mu\text{m}]$ ) を介して、測定対象物に入射させ、出射端側にハードプラスチッククラッドファイバ: HPCF(コア/クラッド

= $200[\mu\text{m}]/230[\mu\text{m}]$ )を用い、パワーメータにて光強度を測定し、光曲げ損失を測定した。また、各ファイバと測定対象物の間には、マッチングオイルを使用した。

光路変換中の顕微鏡写真を Fig.7 に示す。写真から、SMF を介して、入射した光信号が光路変換され、出射側の HPCF から取り出されていることが確認できる。また、本実験での光曲げ損失は  $1.1[\text{dB}]$  であった。

これより入射した光の 75%以上が取り出せていることが確認でき、くし形クラッドを持つ  $90^\circ$  光路変換素子が光路変換機能を有していることを示した。

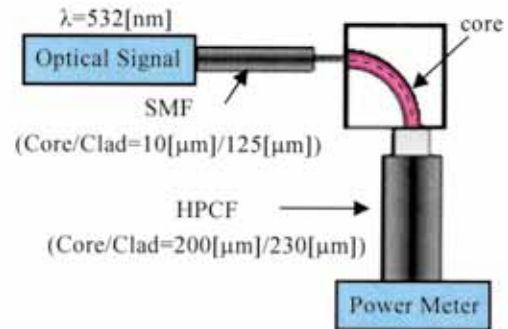


Fig. 6 Experimental setup for measuring optical bending loss

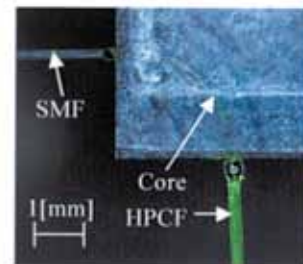


Fig. 7 Photo image showing the transmission of light through the fabricated 90 degree light path conversion device

#### 5.光線追跡法による曲げ損失の測定

くし形クラッドを持つ 90 度光路変換素子は空気層を有していることにより、コアとクラッドに大きな屈折率を得ることができる。これは、コアの曲率半径を小さくしたときの曲げ損失を小さくできることを意味する。つまり、素子の小型化が可能であることを示している。そこで、空気層を持つ「くし形クラッド」と、空気層を持たず周りがすべて樹脂からなる「樹脂クラッド」の光路変換部の曲率を変化させた場合、曲げ損失がどのように変化するかについて光線追跡法を用いて解析をした。

各クラッドのモデルを Fig.8 に示す。屈折率は両モデル共にコアが 1.55、クラッドが 1.52 となっている。コアサイズはコア径  $50[\mu\text{m}]$  のマルチモード光ファイバとの接続や、論文等で提案されている光路変換素子の代案を想定し、 $50 \times 50[\mu\text{m}]$  とした。<sup>3)</sup> また、光源の拡がり角は商用 VCSEL の仕様から  $20^\circ$  とした。変化させるパラメ

ータである曲率半径は、共に 0.25[mm]から 2[mm]まで 0.25[mm]刻みで解析を行った。

解析結果を Fig.9 に示す。解析結果から、くし形クラッドは樹脂クラッドの場合と比べてより小さい曲率半径の場合でも曲げ損失が小さいことが確認できた。具体的には、くし形クラッドは曲率半径が 0.25[mm]と小さい場合でも損失が 0.2 [dB]程度と小さい。したがって、くし形の場合曲率半径をより小さくすることができ、90 度光路変換素子の小型化が可能であることを示唆している。なお、実際の作製を考えた場合、曲率半径が小さいと、UV 照射後の未硬化樹脂の洗浄がしづらくなることが予想される。よって、洗浄方法、曲率半径およびコアサイズについてさらなる検討が必要であると考えられる。

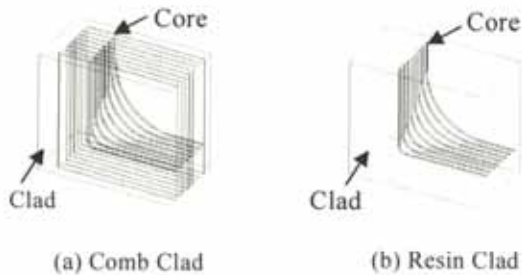


Fig.8 Analysis models for simulation of the transmission loss

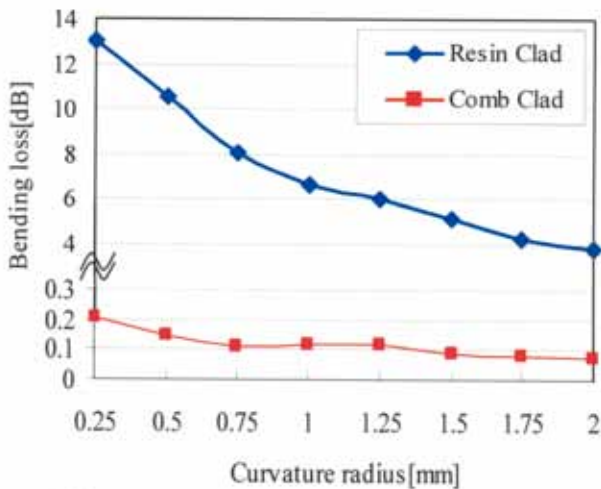


Fig. 9 Calculated optical bending loss as a function of curvature radius

## 6. まとめ

本論では、くし形クラッドを有する 90 度光路変換素子の提案および試作を行い、光線を 90 度光路変換できることを確認した。さらに光線追跡法による解析から高効率かつ小型な 90 度光路変換素子の作製が可能であることを示唆した。

以上より、本提案素子のくし形クラッドを有する 90 度光路変換素子は、90 度光路変換における新たな光素子として有効であることを示した。今後は、光路変換部の曲率が小さい光路変換素子の作製を行い、樹脂の未硬化部の洗浄方法及び、素子の光学特性について検討していく予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助（基盤研究（C）20560335）の援助を得て遂行した。

## 参考文献

- 1) O. Mikami, "The status and future of optical circuit packaging technology," Proc. IMAPS, pp. 554-559, Boston(2003).
- 2) 鈴木敦, 若園芳嗣, 石川隆朗, 橋本陽一, 増田宏, 鈴木修司, 田村充章, 鈴木貞一, 菊池克弥, 仲川博, 青柳昌宏, 三川孝, "異方導電性フィルムコネクタを用いた筐体内信号伝送のための小型・高速光モジュール" MES2008, pp.319-321(2008).
- 3) 小倉広平, "ポリマー光導波路材料「グラシア WG」を用いた光インターコネク用積層型光導波路", TECHNO-COSMOS, Vol.21, pp.15-21(2008).
- 4) Y. Obata, Y. Oyama, H. Ozawa, T. Ito, O. Mikami and T. Uchida, "Multi-array Self-Written Waveguides using Photo-mask for Optical-Surface Mount Technology," ICEP2005, pp.225-229(2005).
- 5) 後藤健一, 神田昌宏, 三上修, "くし形クラッドを有する 90 度光路変換素子", 2009 年総合大会講演論文集, DVD-ROM, pp.176(2009), 電子情報通信学会.