

# 光硬化樹脂を用いたプラグイン光接続法

松澤 雄介<sup>\*1</sup> 三上 修<sup>\*2</sup>

## Plug-In Optical Interconnection Using UV-Curable Resin

by

Yusuke MATSUZAWA <sup>\*1</sup>, Osamu MIKAMI <sup>\*2</sup>

(Received on Sep.29, 2012 and accepted on Dec.20, 2012)

### Abstract

For overcoming the limitations of conventional metallic wiring, optical interconnection is attracting considerable attention. To minimize the difficulty of optical interconnection, we propose plug-in optical interconnection using optical waveguide plugs (OWPs) and micro-hole array (MHA). The OWPs and MHA are fabricated by photomask transfer using UV-curable resin. Experimental and theoretical studies of plug-in coupling using mechanical transfer connectors are reported. To apply this plug-in method under more realistic coupling schemes, two types of resin waveguides having different lengths are needed. We propose and examine a three-dimensional photomask that enables two types of resin waveguides with different lengths to be fabricated simultaneously. It is expected that higher efficiency and simpler plug-in optical interconnection will be achieved by this method.

**Keywords:** Optical Interconnection, Plug-in Interconnection, Optical Waveguide Plug, Micro-hole Array,

### 1. はじめに

近年、コンピュータなどの情報機器内では、信号伝送の大容量化・高速化が求められている。しかしながら、従来の電気配線では EMI やクロストークといったボトルネックが信号伝送の性能向上を妨げている。この問題を解決するため、光通信の無誘導・高速大容量伝送などの優れた特性を生かした光インターコネクションの導入が期待されている。しかし、こちらにも問題点がある。例えば、高い光結合効率を得るためには高精度でのアライメントが必要となる。

そこで我々は、光プラグ”Optical Waveguide Plug (OWP)”と光ソケット”Micro Hole Array (MHA)”を用いたプラグイン光接続法を提案する<sup>1,2)</sup>。OWP と MHA は光硬化樹脂製で、フォトマスク転写法を用いて作製される。

これらは、光・電気混載基板”Optical-Electrical Printed Wiring Board (OE-PWB)”の光導波路チャネルや”Vertical Cavity Surface Emitting LASER (VCSEL)”の発光面などに位置合わせを行い、作製される。これにより、簡易的で高効率な光接続が可能となる。本稿ではプラグイン光接続に関する実験結果を示し、さらにプラグイン光接続を改善するため考案された、3次元フォトマスクについて報告をする。

### 2. フォトマスク転写法

フォトマスク転写法は自己形成光導波路技術の一つである<sup>3,4)</sup>。自己形成光導波路技術とは、光硬化樹脂をファイバ端面に塗布し、紫外光を照射することで、重合反応により自らの光でファイバ端面から光導波路が作製される技術である。光硬化樹脂の上にフォトマスクを配置し、そのフォトマスクの上から紫外光を照射することにより、フォトマスクの開孔形状に沿って光導波路が作製される。このフォトマスク転写法は我々研究室独自の技術である。特徴・利点として作製方法がシンプル、任意の形状を一括転写作製することが可能である。フォトマスク転写法で作製される光導波路の寸法はコアの直径、例えば 50 $\mu$ m を基準とし、長さは 100 $\mu$ m~1mm 程度まで作製可能である。基本的なフォトマスク転写法の概略を Fig.1 に示す。

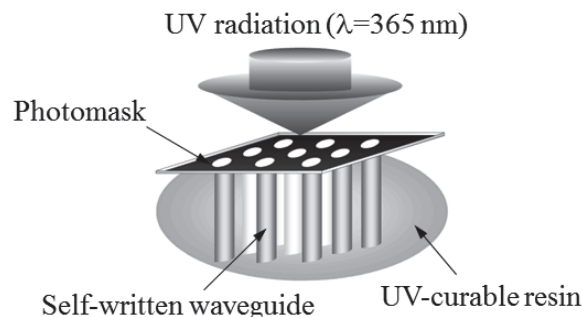


Fig.1 Basic experimental setup for mask transfer to fabricate self-written waveguides.

\*1 工学研究科情報通信制御システム工学専攻修士課程

\*2 工学部光・画像工学科特任教授

### 3. 光結合特性

光配線板端面、または VCSEL やフォトディテクタ周辺に、フォトマスク転写法を用いて精密な OWP あるいは MHA を作製する。つぎに光プラグを光ソケットに挿入することによって、光ファイバや他の光配線をアライメントフリーで「プラグイン光接続」することが可能になる。2枚の光配線板の端面に光プラグと光ソケットを作製した時の接続法の概略を Fig.2 に示す。

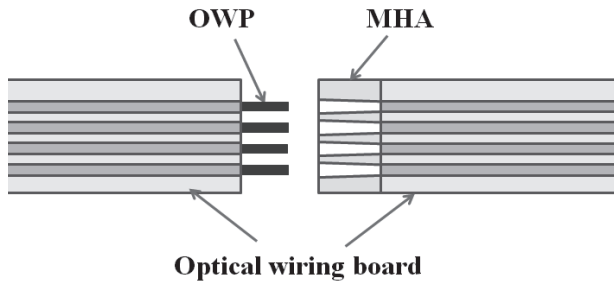


Fig.2 Schematic of optical plug-in technology

OWP は光配線板の光導波路コア端面に作製される、光硬化樹脂製の凸状の導光路である。その長さは約 100 $\mu\text{m}$  から 500 $\mu\text{m}$  であり、設計によって適宜調整可能である。

OWP と同様に光硬化樹脂を材料とし、フォトマスク転写法により作製される。深さ 0.1~1mm 程度の貫通穴を作製することができ、穴の形状は硬化条件を選択することで、任意のテーパ角に調整することができる。

### 4. 実験結果

実験では、光配線板の導波路端面の代わりに端面を垂直加工された MT(Mechanically Transferable)コネクタ (GI-50/125) を対象にし、接続にはメタルピンを用いた。製作した OWP は直径 60 $\mu\text{m}$ 、長さ 430 $\mu\text{m}$  である。MHA は、深さ 540 $\mu\text{m}$ 、直径が 80 $\mu\text{m}$  から 60 $\mu\text{m}$  のテーパ型の貫通穴を有する。実際に試作した OWP, MHA, さらに挿入時の接続部の写真を Fig.3 に示す。なお、接続部の写真から OWP が相手側端面に接触した場合の破損を防ぐために設けた 110 $\mu\text{m}$  のエアギャップが確認できる。

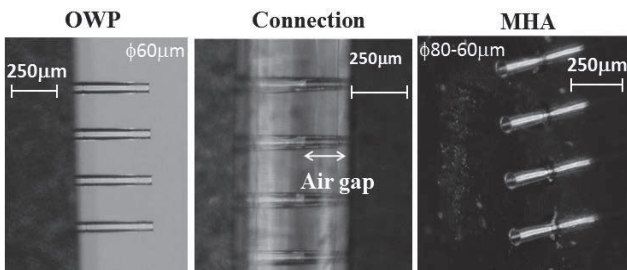


Fig.3 Fabricated OWPs and MHA, and demonstration of plug-in alignment.

MT コネクタの入射側ファイバ(OWP 側)に LD 光源 ( $\lambda=850\text{nm}$ )を接続、出射側ファイバ(MHA 側)にパワーメ

ータの受光部(PD)を接続し、光伝搬損失を測定する。接続部のエアギャップが 110 $\mu\text{m}$ 、30 $\mu\text{m}$  の場合での各チャネルにおける光伝搬損失の測定値、及びシミュレーションで計測した理論値を Fig.4 に示す。

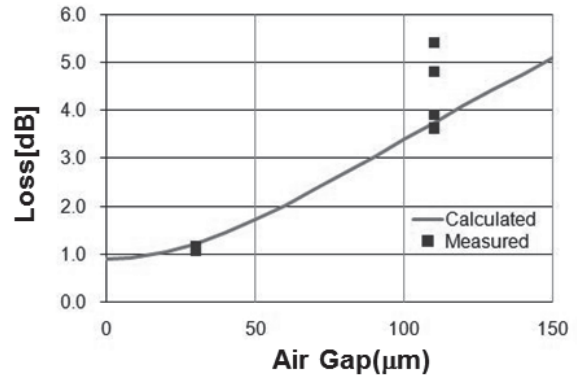


Fig.4 Measured and calculated optical coupling loss.

Fig.4 から、測定値と理論値がほぼ一致していることが分かる。またエアギャップ 30 $\mu\text{m}$  場合、平均接続損失は 1.5dB という高効率な接続を実現することができた。この結果から、プラグイン光接続法の有効性が確認できる。しかしながら、接続対象を MT コネクタから VCSEL や光配線板とした場合、通常ではメタルピンを VCSEL 発光面や光配線板端面に、高い位置精度で埋め込み配置することが困難であることが問題点として挙げられた。このことから、新たなプラグイン光接続法の考案が必要となった。

### 5. 新たなプラグイン光接続法

先に示した MT コネクタを用いた接続実験での問題点を解決するため、今回は対象として VCSEL やフォトディテクタと光配線板との接続を考えた。新たに光硬化樹脂製の「ガイドピン」、「ガイドホール」を OWP と同時に一括転写作製することを試みた。ガイドピン、及びガイドホールは直径 60 $\mu\text{m}$  の OWP に比較して、大きい直径、例えば 700 $\mu\text{m}$  を想定した。

しかしながら、従来のフォトマスク転写法で作製されるガイドピンと OWP では同一長さになるため、OWP をソケットに挿入する際、細径の OWP が接触により破損する問題があった。この問題点を解決するために、新たに Fig.5 に示すような、長さが異なるガイドピンと OWP を用いたプラグイン光接続法を考案した。本接続法では、勘合の際に OWP が VCSEL 発光面やフォトディテクタ受光面に接するよりも前にガイドピンがガイドホールに挿入されるように工夫されている。

本接続法では、勘合の際に OWP が VCSEL 発光面やフォトディテクタ受光面に接するよりも前にガイドピンがガイドホールに挿入されるように工夫されている。

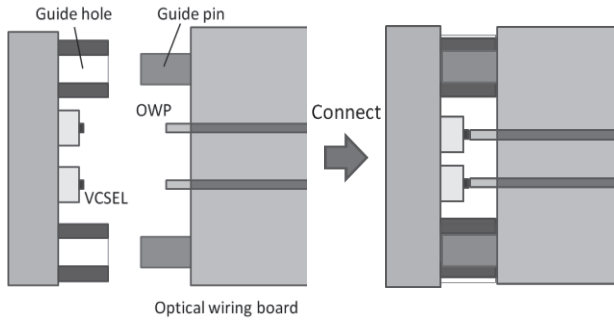


Fig. 5 Proposed plug-in optical interconnection.

## 6. 3次元フォトマスクの提案と試作

前節で提案したプラグイン接続方法では、ガイドピン及びガイドホールと OWP との長さに差を付ける必要がある。これには、従来のフォトマスクでは不可能であった異なる長さをもつ自己形成導波路の作製が必須になる。当初、薄さ 200 $\mu\text{m}$  程度のカバーガラスをフォトマスク面に貼り付け、長さに差を付けようと考えた。しかし、カバーガラスの加工は難しく、高さも調節できないという点が問題となった。そこで、フォトマスク面に光硬化樹脂からなるプレート形成した「3次元フォトマスク」を提案した。このプレートは矩形のマスクパターンを用いたフォトマスク転写法で形成されている。そのため厚さ調整が可能となる。この3次元フォトマスクを用いるとガイドピンはマスク開口部から、OWP はプレートを介してからの紫外光で自己形成される。これにより、ガイドピンと OWP との長さに差をつけることが可能となる。実際に作製した3次元フォトマスク、及び3次元フォトマスクを用いてガイドピンと OWP を作製するイメージを Fig.6 に示す。

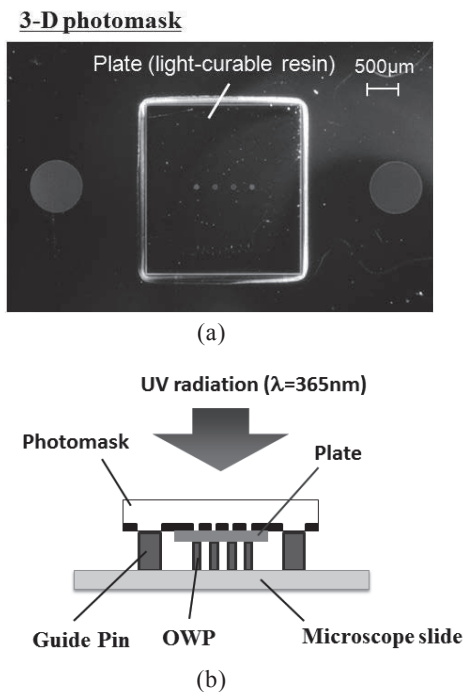
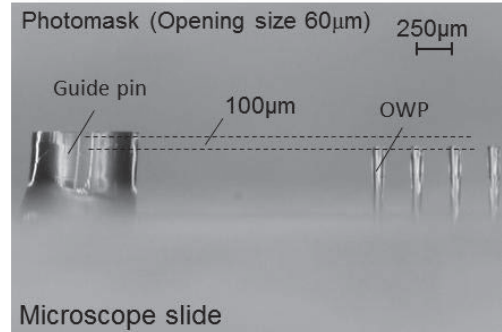
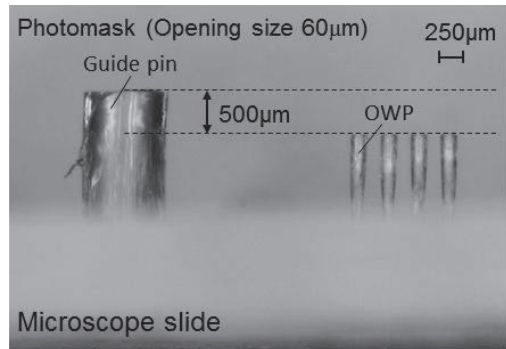


Fig. 6 Fabricated 3-D photomask (a) and the use image of a 3-D photomask(b).

今回の実験では3次元フォトマスクのプレートの高さ 100 $\mu\text{m}$  と 500 $\mu\text{m}$  の物を用意し、スライドガラス上への試作を行った。試作サンプル 1, 試作サンプル 2 の写真をそれぞれ Fig.7(a), Fig.7(b)に示す。尚、フォトマスクの開口径はどちらも直径 60 $\mu\text{m}$  の円形である。



(a)



(b)

Fig. 7 Fabricated samples. Plate thickness 100  $\mu\text{m}$ (a) and 500  $\mu\text{m}$ (b).

試作サンプル 1 では OWP の径がフォトマスク側 80 $\mu\text{m}$  からスライドガラス側 70 $\mu\text{m}$  となった。また、試作サンプル 2 ではフォトマスク側 130 $\mu\text{m}$  からスライドガラス側 70 $\mu\text{m}$  となった。いずれも、フォトマスクの開口径 60 $\mu\text{m}$  に対し、作製される OWP は大きくなっていることが分かる。OWP の大きさはプレートの厚さに比例している。このことから原因は、照射した紫外光がプレート内で広がってしまうことが考えられる。3次元フォトマスクはフォトマスク開口部を透過後、プレート内で光が広がらずにガイドされるような構造を考えなければならない。

## 7. 3次元フォトマスクの改善策

前述の問題点を踏まえ、新たに「導光部」をプレート内部に持つ3次元フォトマスクを考案した。この結果、照射光はフォトマスクの開口部を透過後、広がらずにガイドされ、ガイドピンと OWP との長さに差をつけることが可能になる。また、この寸法差もプレートを作製する際に、厚さ調整することによって調節が可能である。導光部付きの3次元フォトマスクを用いて、ガイドピンと OWP を作製するイメージを Fig.8 に示す。

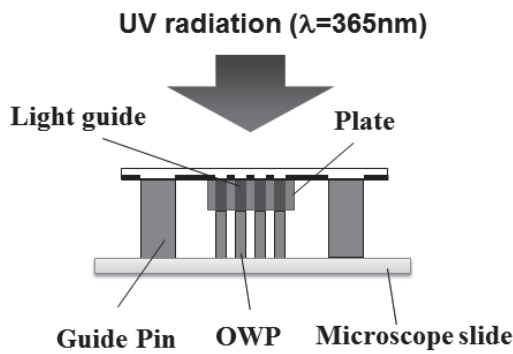


Fig.8 The use image of a 3-D photomask with a light guide

まず、2つのフォトマスクを用意する。フォトマスクAには、OWPおよびガイドピンのマスクパターンが形成されている。フォトマスクBには、導光部およびプレート作製のマスクパターンが形成されている。ステップ1としてフォトマスクBの導光部パターンをフォトマスクAのOWPパターンが合うように位置合わせを行う。その際、フォトマスクの間隙が所望の厚さになるように自動治具を用いて設定し、光硬化樹脂(コア材)を用いて導光部を作製する。つぎにステップ2としてこれらの導光部を覆うように光硬化樹脂(クラッド材)で固める。作製プロセスの概略を Fig.9 に示す。

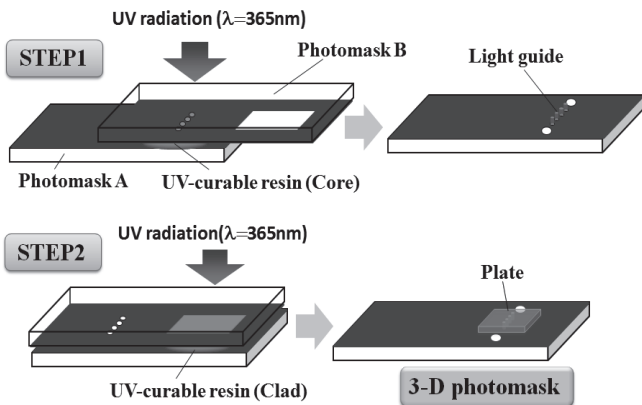
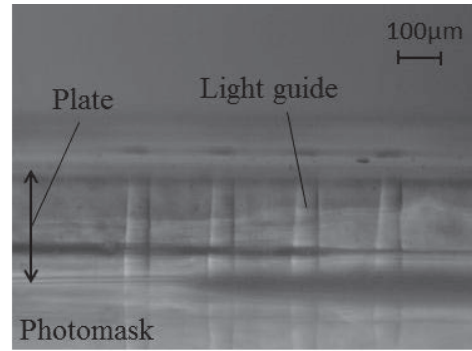


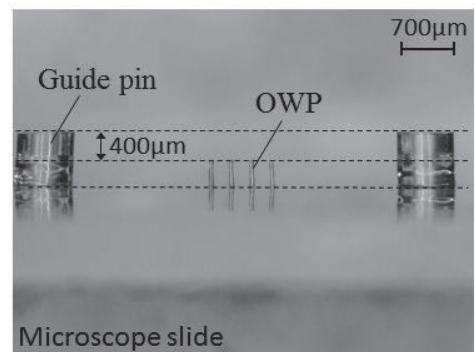
Fig. 9 Fabrication process of new 3-D photomask.

今回作製した3次元フォトマスクの寸法は、導光部の直径が60 $\mu\text{m}$ 、プレート高さは400 $\mu\text{m}$ である。作製された3次元フォトマスクを側面から観測した結果を Fig.10(a)に示す。

これを用いて試作したガイドピンおよび OWP を Fig.10(b)に示す。ガイドピンの高さ800 $\mu\text{m}$ に対し、OWPの高さ400 $\mu\text{m}$ 、直径60 $\mu\text{m}$ で、我々が想定する対象物を作製することができた。



(a)



(b)

Fig. 10 Cross-sectional view of improved 3-D photomask (a), and Fabricated sample (b).

## 8. まとめ

VCSEL やフォトディテクタと光配線板との接続に適用可能な新たな光プラグイン接続法を提案し、この作製に必要な3次元フォトマスクを提案した。これを用いて所望の形状の光プラグを作製できることを確認した。今後、光プラグを用いてプラグイン接続を行い、その有効性を実証する予定である。

## 参考文献

- 1) 松澤雄介, 脇田智大, 常盤諭生, 仲間健一, 三上修, 硬化樹脂の光プラグ・ソケットを用いた光接続法の提案, 第25回エレクトロニクス実装学会講演大会論文, pp.323-324, 2011年3月.
- 2) K. Nakama, Y. Matsuzawa, Y. Tokiwa, O. Mikami, Board-to-Board Optical Plug-In Interconnection Using Optical Waveguide Plug and Micro Hole Array, IEEE PTL, Vol.23, No. 24, pp.1881-1883, 2011.
- 3) Y. Obata, M. Kanda, O. Mikami, Self-written waveguide on a VCSEL-emitting window using a photomask transfer method, IEEE PTL, Vol. 18, No. 12, pp.1308-1310, 2006.
- 4) 神田昌宏, 三上修, エレクトロニクス実装学会誌, UV 硬化性樹脂とマスク転写法を用いたボードレベル光インターコネクション技術, Vol. 12, No. 5, pp.381-385, 2009.