

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560335

研究課題名(和文) マスク転写法による自己形成光導波路を活用した3次元光インタコネク
トに関する研究研究課題名(英文) Study of 3D Optical Interconnection applying Self-Written Waveguide
fabricated by Mask-Transfer Method

研究代表者

三上 修 (MIKAMI OSAMU)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：30266366

研究成果の概要(和文)：情報量の爆発的な増大に伴って、従来の電気配線による信号伝送ではシステム性能向上のボトルネックになる。これを解決するためには、光配線による信号伝送を行う光インターコネクションの導入が必須であり、そこで課題となっている光素子と光配線間の高効率かつ簡易な接続技術法の開発が求められる。本研究では、光硬化樹脂を用いたマスク転写法による光接続素子の作製法を新たに提案するとともに、この技術を用いた種々の光接続法を提案し、実験的理論的にその有効性を確かめた。

研究成果の概要(英文)：Signal transmission by conventional metallic wiring will cause a bottleneck in system performance improvement as volume of information increases explosively. To solve this, introduction of optical interconnection that transmits signal by optical wiring is indispensable, and highly effective and simple optical connection method between photonic devices and optical wiring is demanded. In this study, we have newly proposed a fabrication method of connection elements by mask transfer method using UV-curable resin. Various connection methods using this technology are conceived, and the effectiveness is confirmed experimentally and theoretically.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	4,000,000	1,200,000	5,200,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・(5103)電子デバイス・電子機器

キーワード：光インタコネクション、自己形成光導波路、光硬化性樹脂

1. 研究開始当初の背景

(1) マルチメディア時代を迎えるとともに、ユビキタス社会の実現が目前に迫っている。これに伴い、ネットワークで取り扱われる情報量は飛躍的に増大すると予測されており、この膨大な情報を処理するためには、IT(情報通信)、NW(ネットワーク)機器等の能力を飛躍的に向上させる必要がある。

(2) 現在、これらに用いられている信号伝達システムの金属(電気)配線では、輻射やクロストークといった問題がシステム性能向上のボトルネックとなっており、このボトルネックを解消するために、無誘導・高速大容量伝送が可能などの特徴を活かした「光インタコネクション」が注目され、IT、NW機器

内のボード間・ボード内への適用が期待されている。

(3) 現状、光インタコネクションは実装技術の困難さやコスト面で既存の電気技術に比べ劣っている。VCSEL・LD（発光素子）やPD（受光素子）といった素子レベルや高分子光導波路（光配線）などについては精力的な研究が進み、低コスト化が図られつつある。しかしながら、依然として課題が残っているのが素子間の光接続（結合）である。

(4) 申請者は「電気配線から光配線に」をスローガンとし、マイクロオプティクスやOEIC（光電子集積回路）、さらには電子回路をも包含した従来とは異なる新しい概念である「光表面実装技術」を提唱し、ブロードバンド対応の光電子複合回路の基礎的な問題点を洗い出し、その技術の有用性をこれまで示してきた。

(5) 研究進捗とともに近年注目されているのが、「自己形成光導波路による光接続法」である。自己形成光導波路とは、光硬化性樹脂にファイバなどの光配線から光（例えば、UV光）を照射することで、自らの光で光配線端面から光導波路を連続的に作製することができる技術である。これにより、光導波路と光ファイバまたは受発光素子とを結ぶため、高結合効率での光結合が可能であり、アライメントの面でも位置許容度が大きくできるという特徴がある。また、端面研磨や複雑な光学設計も必要とせず、非常に簡易かつ低コストで接続できる。この自己形成光導波路による光接続法は「光はんだ」とも称され、光インタコネクションでの光接続技術として期待されているが、現状自己形成光導波路を活用したアプリケーションは少ない。

2. 研究の目的

(1) 自己形成光導波路による光接続法の実用化、いわゆる「光はんだ」技術の確立、および自己形成光導波路による3次元光配線の実現を目指す。

(2) 立体的な形状をしたフォトマスクを作製し、パッシブアライメント可能な自己形成光導波路の実現を目指す。

(3) 光硬化性樹脂に照射する光の照射量を調整することにより、部分的に樹脂の屈折率を変化させ、1液でコアとクラッドの同時作製を目指す。

(4) 自己形成光導波路作製技術を用い、「サイコロ型」光素子モジュールを作製し、光電気混載基板において、高結合効率でかつ自由度

の高い実装方法の確立を目指す。

3. 研究の方法

(1) フォトマスク転写法を用いたダム式自己形成光導波路の作製法

自己形成光導波路を用いた3次元光導波の形成を目的に実験的検証を行うため、まずその前段として図1に示すようなフラットなフォトマスクを用いた光導波路の作製技術を提案し、自己形成光導波路の適用領域を拡大させる。

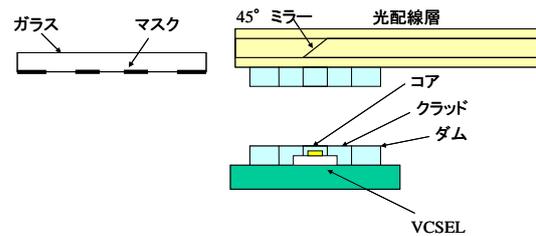


図1. フラットマスクおよび作成例

具体的な方法としては、VCSEL/PDといった光素子や光導波路の上面にアクリル系もしくはウレタン系の光硬化性樹脂Aを滴下し、さらにその樹脂Aの上にフォトマスクを配置する。次に、配置したマスク上面から一様にUV光を用いて、光導波路のコアとクラッドを形成する。樹脂Aの未硬化部を洗浄したのちダム内に樹脂Bを滴下し、UV光にて硬化させクラッドを形成するという手順を行なうことで、光素子と光配線とを簡易にかつ高い結合効率での接続を行うことを想定している。なお、樹脂Bの屈折率は樹脂Aの屈折率より低い値のものを選定する。

この応用例として、立体的なフォトマスクを用いた自己形成光導波路の作製検討を行なう。このマスクを用いることで、対となる立体的な自己形成光導波路の作製が出来る（図2）。

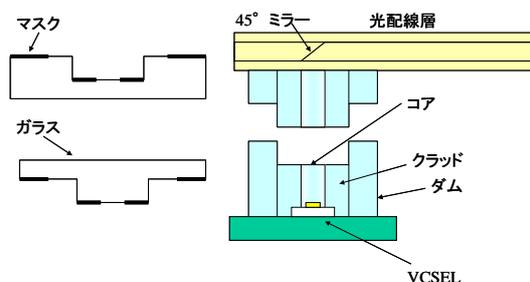


図2. 立体型マスクおよび作成例

(2) 半透明マスクを用いた自己形成光導波路作製

半透明マスクを用いることで工程数の削減を目指す。光硬化性樹脂は、図3に示すように光の照射量により、屈折率差が変化する。そこで、半透明マスクを用い光硬化性樹脂に光を照射することにより、マスクのない部分（開口部）では強い光を、半透明マスク部分では弱い光を一括照射することで、コアとクラッドを一度に作製するというものである。

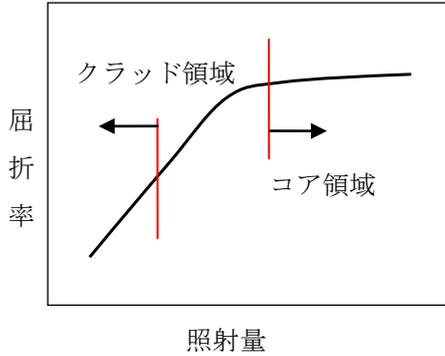


図3. 照射量による屈折率変化

(3) 実装自由度を高めるサイコロ型光素子用モジュールの開発

実装上の最大課題である高効率化かつ低コスト化を実現するために、「サイコロ型光素子モジュール」を開発する。本モジュールは、図4のように、サイコロ型の1面に高効率で入出力が可能な光接続端子を具備すると共に、VCSELまたはPDを駆動するための正極端子を2個、負極端子を2個具備することにより、光接続端子を任意の方向（水平360度および上下）に向けて実装可能となる。光接続端子の形成には、代表研究者が新たに提案している「フォトマスク転写方式」による自己形成光導波路の製作技術を応用する。

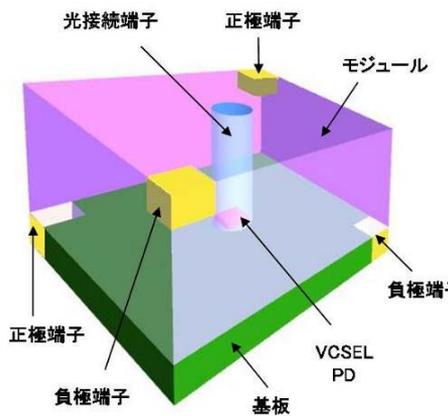
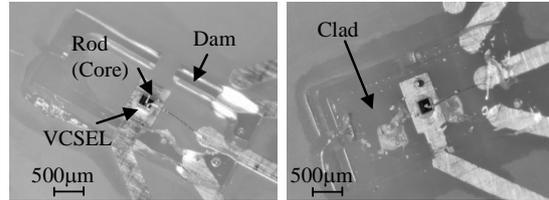


図4. サイコロ型光素子モジュール

4. 研究成果

(1) ダム式自己形成光導波路の作製

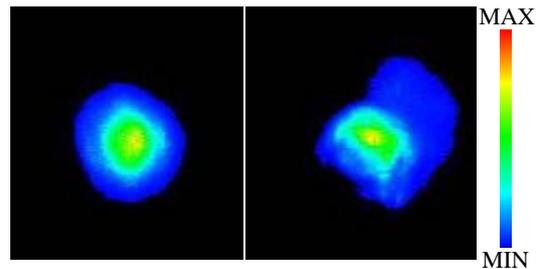
フラットなフォトマスクの使用と光硬化性樹脂を用いたフォトマスク転写法により、ダム式自己形成光導波路の作製に成功した（図5）。作製したサンプルの光素子にはVCSELを使用した。また、コア・ダム材には屈折率1.569、クラッド材には屈折率1.542のアクリル系光硬化樹脂を用いた。光モジュールサイズは、コア径30 μm 、クラッドサイズ1,000 μm ×4,000 μm ×高さ500 μm である。



(a) ロッドとダム (b) クラッド作製後

図5. ダム式自己形成光導波路

図6に試作サンプルのNFP測定器による光強度分布の観測結果を示す。図6(a)はコアのみ、図6(b)はクラッド部を作製した光モジュールの結果である。



(a) コアのみ (b) クラッド作製後

図6. NFPによる光強度分布観測結果

また、作製した光モジュールにGI-MMF (core/clad=50/125 μm)を用いてI-L特性の評価を行った(図7)。比較のため、光接続ロッドのみ、クラッドで囲まれた光モジュール、およびVCSEL単体の3種類の測定を行った。この結果、本光モジュールの有効性が確認できた。

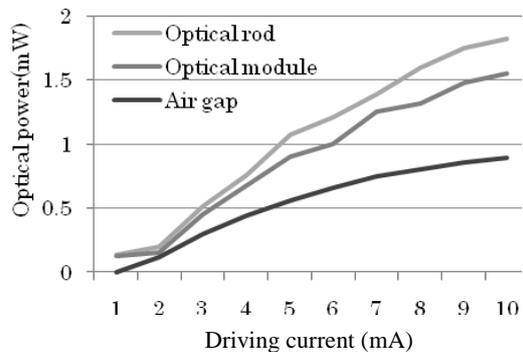


図7. I-L測定結果

光モジュールの 1dB ダウントレランスは $-15/+14\mu\text{m}$ という結果が得られ(図 8)、作製した光モジュールは幅の広い位置合わせトレランスが得られることが確認できた。

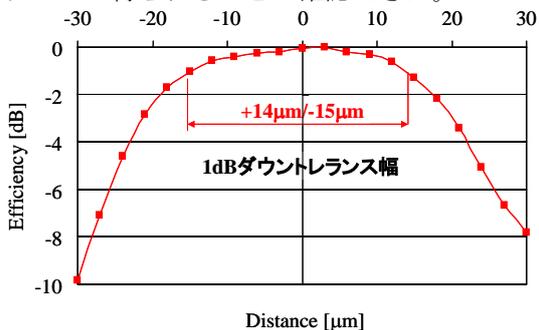
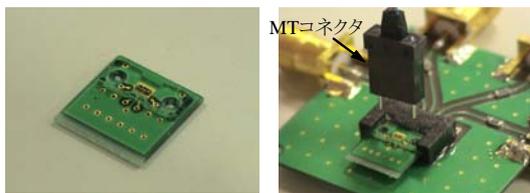


図 8. 1dB ダウントレランス幅測定結果

(2) 光モジュールのコネクタへの応用

基板にボンディングされた 4ch- VCSEL に光接続端子(コア)とクラッドを設けた光モジュールを作製し、コネクタとの嵌合を提案し、サンプル作製を行った。図 9(a)は、VCSEL モジュールで、図 9(b)は基板に実装された基板に VCSEL モジュールを嵌合し、さらに上部より MT コネクタと嵌合しようとしているところである。



(a)VCSEL モジュール (b) 嵌合イメージ
図 9. 光モジュールのコネクタへの応用

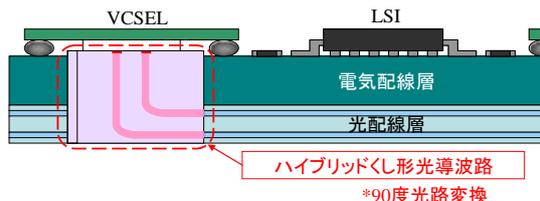
作製したサンプルにおいて、1Gbps のアイパターン測定を行い、十分アイが開いていることを確認した。

(3) ハイブリッドくし型クラッドをもつ 90 度光路変換デバイス

ハイブリッドくし型クラッドをもつ 90 度光路変換デバイスを提案および作製した。図 10(a)は光電気混載基板における既存の光路変換技術、図 10(b)はハイブリッドくし型 90 度光路変換デバイスを用いた光路変換イメージを示す。

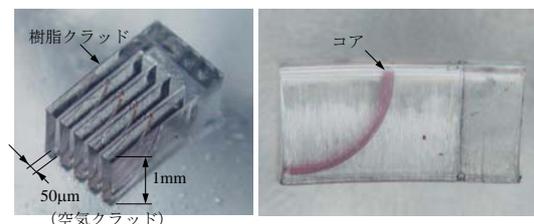


(a) 既存の光路変換技術



(b) ハイブリッドくし型 90 度光路変換
図 10. 光電気混載基板の 90 度光路変換

図 11 には実際に作製した 4ch-ハイブリッドくし型 90 度光路変換デバイスを示す。まずフォトマスク転写法でくし型をしたクラッドを作製し、その後クラッドの側面よりコア用のフォトマスクで、クラッドの空気層にコアを作製したものである。このような工法をとることで、樹脂と空気 2 種類のクラッドを有する。曲げ部に関しては空気クラッドとなるため、NA が大きくなり光損失が小さく、光路変換デバイスの小型化が可能となる。



(a) 立体図 (b) 側面

図 11. ハイブリッド型くし型 90 度光路変換デバイス



(a) R=0.5mm (b) R=0.25mm

図 12. 曲げ損失測定系

さらに、曲率半径 R が 0.5mm と 0.25mm のサンプルを作製し(図 12)、光曲げ損失の測定を行った。その結果、R=0.5mm では 1.29dB、R=0.25mm では 1.65dB となった。

(4) プラグイン光接続法

プラグイン光接続という 3 次元光導波路を考案した。このプラグイン接続法は、光配線板の端面や VCSEL 上に、精密な「光導波路プラグ(OWP: Optical Waveguide Plug)」あるいは「光ソケット」を作製し、それぞれのプラグとソケットを嵌合することによって、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。

図 13 は光配線板を用いた場合のプラグイン接続の概要である。

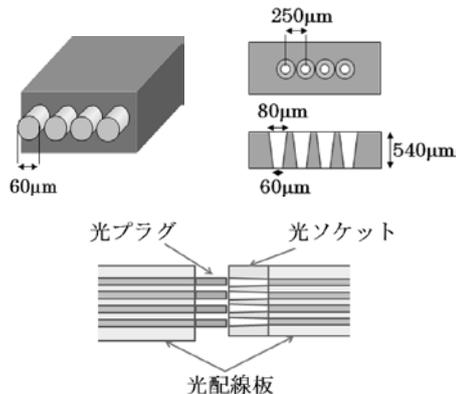
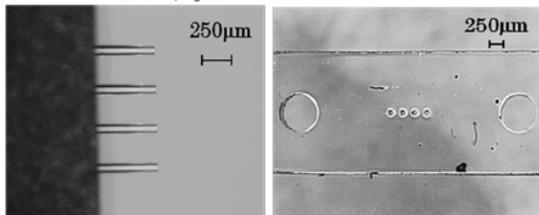


図 13. 光配線板のプラグイン接続の概略

OWP・光ソケットの原理確認を行うために、MT コネクタ (GI-50/125) を対象に、OWP および光ソケットを作製した。図 14 に作製サンプルを示す。



(a) 試作光プラグ (b) 試作光ソケット
図 14. 作製サンプル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

- ① K. Nakama, Y. Tokiwa, O. Mikami, Wavelength-Adressed Intra-Board Optical Interconnection by Plug-in Alignment with a Micro Hole Array, *Optical Review*, 査読有、Vol. 17, No.5, pp.443-446, 2010
- ② Y. Sugiura, M. Kanda, O. Mikami, Miniaturized 90deg Light Path Conversion Device Fabricated from UV-Curable Resin for Optical Interconnection, *Optical Review*, 査読有、Vol. 17, No. 4, pp.357-359, 2010
- ③ 石澤信彦、三上修、塩田剛史、簡易アライメントを目指したテーパ型フレキシブル光導波路の開発、東海大学紀要工学部、査読有、Vol. 49, 2010, pp. 25-28
- ④ 神田昌宏、三上修、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、エレクトロニクス実装学会誌、査読有、Vol. 12,

2009, pp. 381-385

- ⑤ Masahiro Kanda, Tomonori Ogawa, Osamu Mikami, VCSEL Module with Polymer Optical Output Rods to Enable High Efficiency Coupling for Optical Interconnection, *IEEE Photon. Technology Lett.*、査読有、Vol. 21, 2009, pp. 685-687
- ⑥ 三上修、光電気実装技術の変遷と将来展望、電子情報通信学会 和文論文誌C、査読有、Vol. J92-C, 2009, pp.404-411
- ⑦ 小川知訓、神田昌宏、児島直之、三上修、接続ロッドをもつ光モジュールと光配線板との接続構造の検討、東海大学紀要工学部、査読有、Vol. 49, 2009, pp. 11-14

〔学会発表〕(計 14 件)

- ① 松澤雄介、脇田智大、常盤諭生、仲間健一、三上修、光硬化樹脂の光プラグ・ソケットを用いた光接続法の提案、エレクトロニクス実装学会、2011 年 3 月 10 日、横浜国立大学 (横浜市)
- ② N. Ishizawa, M. Kanda, O. Mikami, T. Shioda, Polymer Optical Waveguide with Tapered Thickness enabling Larger Positional Tolerance, *International Conference on Electronic Packaging (ICEP2010)*, May 12-14, 2010, Sapporo, Japan, 2010 年 5 月 11-14 日、札幌コンベンションセンター (札幌市)
- ③ K. Nakama, Y. Tokiwa, O. Mikami, Wavelength addressing Optical Interconnection between Optical Waveguide Channels Using Passive Alignment Technique by a Micro Hole Array, *International Conference on Electronic Packaging (ICEP2010)*, May 12-14, 2010, Sapporo, Japan, 2010 年 5 月 12-14 日、札幌コンベンションセンター (札幌市)
- ④ N. Ishizawa, M. Kanda, O. Mikami, T. Shioda, Flexible optical waveguide with tapered structure having large coupling tolerance, *15th European Conference on Integrated Optics*, April, 7-9, 2010, Cambridge, England, 2010 年 4 月 7-9 日、Computer Laboratory, Univ. of Cambridge、(ケンブリッジ市、英国)
- ⑤ K. Nakama, Y. Tokiwa, O. Mikami, Wavelength addressed intra-board optical interconnection using plug-in

- alignment technique by a micro hole array, 15th European Conference on Integrated Optics, April, 7-9, 2010, Cambridge, England, 2010年4月7-9日, Computer Laboratory, Univ. of Cambridge. (ケンブリッジ市、英国)
- ⑥ Osamu Mikami, Masahiro Kanda, Optical interface devices applying UV curable resin for flexible optical interconnection, SPIE Photonics West, 2010年1月23-28日. (サンフランシスコ、米国)
- ⑦ Masahiro Kanda, Yuji Sugiura, Osamu Mikami, Hybrid Comb-Clad Waveguide fabricated by UV curable Resin enabling Multi-channel 90-deg Light Path Conversion, The European Conference on Optical Communication (ECOC), 2009年9月20-24日, (ウィーン、オーストリア)
- ⑧ Masahiro Kanda, Kennichi Goto, Osamu Mikami, 90-deg Light Path Conversion Waveguide Device with Hybrid Comb Clad, The Optoelectronics and Communications Conference (OECC2009), 2009年7月13-17日, (香港、中国)
- ⑨ Masahiro Kanda, Tomonori Ogawa, Osamu Mikami, New Chip Device with Built-in Optical Outlet Rod for Easy Assembly and High Optical Coupling in Optical Interconnection, 59th Electronic Components and Technology Conf. (ECTC), 2009年5月26-29日, (サンディエゴ、米国)
- ⑩ O. Mikami, Recent Advance on Optical Interconnect for Board-level Optical Wiring in Japan, The 41st International Symposium on Microelectronics, 2008年11月1日, (ロードアイランド、米国)
- ⑪ T. Ogawa, M. Kanda, O. Mikami, Cubic Optical Module with Built-in Optical Rod by Mask Transfer Method, The 14th MICROOPTICS CONFERENCE (MOC), 2008年9月25日, (ブリュッセル、ベルギー)
- ⑫ Y. Nakanishi, M. Kanda, T. Ogawa, O. Mikami, N. Kojima, Optical Connection Rod fabricated using Dam for PWB Optical Interconnect, The 14th MICROOPTICS CONFERENCE (MOC), 2008年9月25日, (ブリュ

ッセル、ベルギー)

- ⑬ Y. Nakanishi, M. Kanda, T. Ogawa, O. Mikami, N. Kojima, Optical Connection Rod with Dam using UV Curable Resin, International Conf. on Electronics Packaging (ICEP2008), 2008年6月10日, (東京)
- ⑭ T. Ogawa, M. Kanda, O. Mikami, Proposal and Fabrication of New Cubic Optical Module for Optical Interconnect, International Conf. on Electronics Packaging (ICEP2008), 2008年6月10日, (東京)

[産業財産権]
○出願状況 (計1件)

名称: 光路変換素子及びその製造方法
発明者: 三上修・後藤健一・神田昌宏
権利者: 学校法人東海大学
種類: 特許
番号: 特願2010-043656
出願年月日: 平成22年3月1日
国内外の別: 国内

6. 研究組織
- (1) 研究代表者
三上 修 (MIKAMI OSAMU)
東海大学・工学部・教授
研究者番号: 30266366
- (2) 研究分担者
なし
- (3) 連携研究者
なし