

令和元年6月25日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K06034

研究課題名(和文) 光硬化樹脂の応用による光配線を実現するための接続技術と光デバイスの研究

研究課題名(英文) Optical coupling device for realizing optical wiring using of UV-curable resin

研究代表者

藤川 知栄美 (FUJIKAWA, Chiemi)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：70319375

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、光配線を実現するために必須となる多層光プリント配線基板内の光導波路と発光素子(VCSEL)/受光素子(PD)との結合における技術的課題であるアライメントフリーで高効率化の解決策を探った。「フォトマスク転写による自己形成導波路作製技術」を用いて、樹脂マイクロレンズ付きの縦型光導波路アレイを作製した。樹脂マイクロレンズによる集光効果を確認し、さらに形状再現性の向上と形状制御の可能性を検討した。多層化・アレイ化などの高機能化が要求されるボードレベルの光インタコネクションにおける光配線の光実装技術の普及へ貢献できる可能性を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プリント基板内での通信を光のみで行う光インターコネクト技術は、メタリック配線におけるボトルネック問題を解決できると期待されることから、近年、大きな注目を集めている。単層での多チャネル配線の先の多層光プリント配線基板を想定し、多層化・アレイ化・などへの対応が要求される。垂直共振器型面発光レーザなどの発光素子と受光素子との間の高い光結合効率を維持するためには、光独特の課題である容易な位置合わせおよび高い結合効率をもつ光接続技術が必要とされる。本研究で提案した樹脂マイクロレンズ付きの縦型光導波路は、出射光の拡がり角を光接続する距離に応じて制御可能であることから、上記の課題を解決可能と期待できる。

研究成果の概要(英文)：Easy alignment and high coupling efficiency technologies are required to maintain high optical coupling efficiencies between planar surface devices such as vertical cavity surface emitting lasers (VCSELs) and photodiodes (PD) which renders the multi-channel waveguide approach to be quite practical. A unique combination of pillar and microlens has proposed to enable easy coupling between VCSEL layers and multi-layer/channel in optical printed wiring board. A number of uniform pillars having microlens on the top were fabricated on a substrate using UV curable resin by mask-transfer self-written waveguide (SWW) and dipping methods. Near field pattern measurements showed that uniform power was obtained from all top microlens of the 3x4 pillar array on a slide glass. Therefore, this unique combination of microlens on optical pillars are indeed anticipated to improve the coupling efficiency in optical interconnects.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：光配線 光硬化性樹脂 自己形成光導波路 多層化 樹脂マイクロレンズ アレイ化 光接続

## 1. 研究開始当初の背景

クラウドコンピューティングの普及に伴い、ネットワークで取り扱われる情報は指数関数的に増大している。これらの情報ネットワーク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、その解消のために、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」が注目されている。しかし、実装技術の困難さやコスト面で既存の電気配線技術と比較すると不利であるとされており、光ネットワーク端末の爆発的需要に対処するには、コストダウンのネックになっているモジュールと光ファイバとの光接続法を抜本的に解決しなければならない。

光接続技術においては、「自己形成光導波路による光接続法」が注目されている。自己形成光導波路は、光硬化樹脂にファイバなどの光配線から光（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。光導波路と光ファイバまたは受光／発光素子間を高い効率で結合することが可能であり、アライメントの面でも位置許容度を大きくできるという特徴がある。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とから、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。しかしながら、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

本研究では、光硬化樹脂を用いた自己形成光導波路と独自のマスク転写法による革新的な光接続技術の確立をはかり、アライメントフリーで高効率な光実装技術の普及に寄与する。具体的には、光プリント配線基板間、基板とファイバ、光ファイバと受光／発光素子間の接続をアライメントフリーかつ高い結合効率を可能にする接続技術の可能性を追求する。さらに将来の光配線板の多層化に備え、多チャンネルでかつ多層配線との光接続法についても検討する。

## 3. 研究の方法

本研究では、光硬化性樹脂を用いて、光プリント配線基板内のボードレベルでの光接続技術の確立を図った。光硬化性樹脂による自己形成光導波路技術を応用したフォトマスク転写法をもとに、様々な機能を持つ縦型光導波路を提案する。本研究では、図1に示すように、垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL）上に樹脂マイクロレンズ付きの縦型光導波路（光ピン）を作製し、樹脂マイクロレンズの曲率半径を制御し、縦型光導波路からの出射光の拡がり角を制御することで、VCSEL から光配線への結合損失を抑える効果が期待できると期待し、試作・検討を行った。

具体的な検討方法は以下のとおりである。

- (1) 将来の光プリント配線板の多層化に対処するために、光配線基板内の平面光導波路から、基板上へ設置するPD等へ導波方向を変化させるための90度光路変換用のデバイス、すなわち3次元の光接続法を検討した。
- (2) アライメントフリーで高効率な光接続をめざし、再現性の高い樹脂マイクロレンズの作製手法を検討した。
- (3) 多層光配線基板を想定し、各層から基板上方向に設置するPDへの光接続方法を検討した。

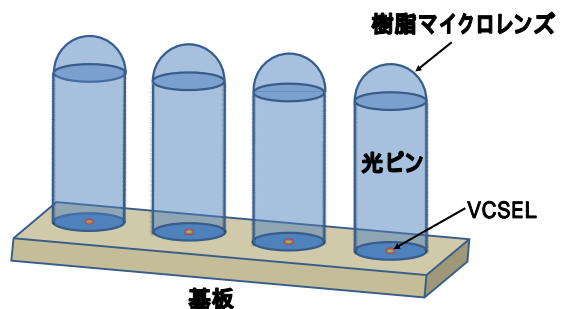


図1 フォトマスク転写法を用いた3次元光接続用樹脂マイクロレンズ付き縦型光導波路

## 4. 研究成果

### (1) 多層化光配線における3次元光接続の検討

光プリント配線基板も電気配線基板と同様に多層化することによって、伝送容量の拡大を図ることが期待されている。これに対して、光信号の入出力については多くの技術課題がある。M×Nチャンネルの導波路を一括露光で作製可能な「フォトマスク転写による自己形成導波路技術」によって、Mチャンネル、N層の光配線への接続導波路を提案・検討した。基板のシロット部に45度プリズムを設置し、M×N個の開口を有するマスクによって、自己形成光導波路を一括して作製する。

### (2) 再現性の高い樹脂マイクロレンズの作製手法の検討

電気配線を光配線に置き換えた「光インタコネクション技術」では、発光／受光素子等の光デバイスと光ファイバと接続することが必須となる。そのためのデバイスとして、光ファイバ

素線の端面に直接樹脂マイクロレンズを作製し、その評価を行った。

スライドガラス板上に少量の光硬化性樹脂を滴下し、上方からファイバ先端を光硬化性樹脂 (NP-206) にわずかに接触するような感覚で、ファイバ先端に光硬化性樹脂を付けた。その後、波長 365nm の紫外光を照射し硬化した。作製した樹脂マイクロレンズの光学顕微鏡写真を図 2 に示す。

作製した樹脂マイクロレンズの先端から十分離れた位置での遠視野像 (Far Filed Pattern : FFP) を図 3 に示す。得られた FFP の光強度分布より拡がり角を求めた。素線ファイバを挿入 / 接着したフェルルル端面上に作製した樹脂マイクロレンズの拡がり角 ( $1/e^2$  X 軸方向  $9.98^\circ$ , Y 軸方向  $10.36^\circ$  に対し、素線ファイバ端面に作製した樹脂マイクロレンズの拡がり角は X 軸  $7.5^\circ$ , Y 軸  $8.0^\circ$  とそれぞれ小さくなった。すなわち、波長  $1.55\mu\text{m}$  に対し、フェルルル端面上に作製した樹脂マイクロレンズよりも高い集光効果を得られることを確認した。

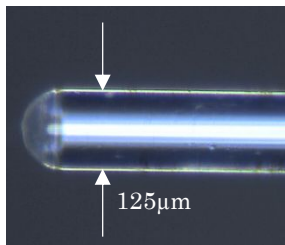


図 2 素線ファイバ端面に作製した樹脂マイクロレンズ

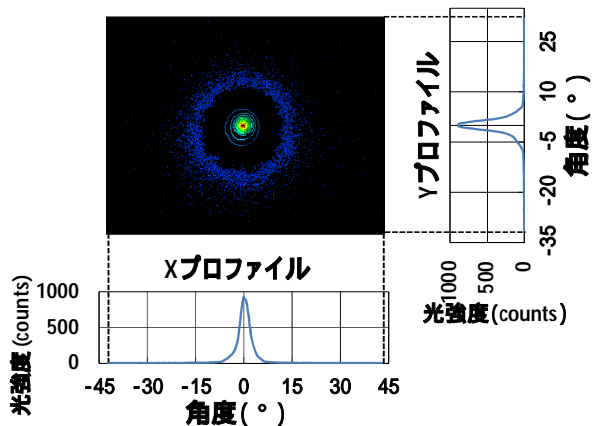


図 3 波長  $1.55\mu\text{m}$  における FFP および光強度分布

### (3) フォトマスク転写法を用いた縦型光導波路アレイ

多層プリント光配線基板では発光 / 受光素子から各層までの距離が異なるため、各層ごとに結合効率をより高めるため、縦型光導波路の先端に光硬化性樹脂を用いてマイクロレンズを作製する樹脂マイクロレンズ付縦型光導波路のアレイ化を提案した。

当研究室にて開発した「フォトマスク転写による自己形成導波路作製技術」を用いて、図 4 (a), (b) に示すように、まず縦型光導波路アレイを作製した。作製したアレイ化縦型光導波路の電子顕微鏡写真を図 5 (a) に示す。円形開口径  $125\mu\text{m}$ 、開口パターンが  $4 \times 3 = 12$  個並んだフォトマスクを用いて作製した縦型光導波路は高さ  $296\mu\text{m}$ 、底面の直径が  $117\mu\text{m}$ 、上面の直径が  $123\mu\text{m}$  であった。

その端面に図 4 (c), (d) に示すように、同じ光硬化性樹脂を付着し、樹脂の粘性を利用して半球型に近いマイクロレンズを作製した。光ピン端面に複数一括で樹脂マイクロレンズを作製した結果を図 5 (b) に示す。図 5 (c) は (b) のうち 1 本の拡大図である。樹脂マイクロレンズ部の高さは  $36\mu\text{m}$  であった。

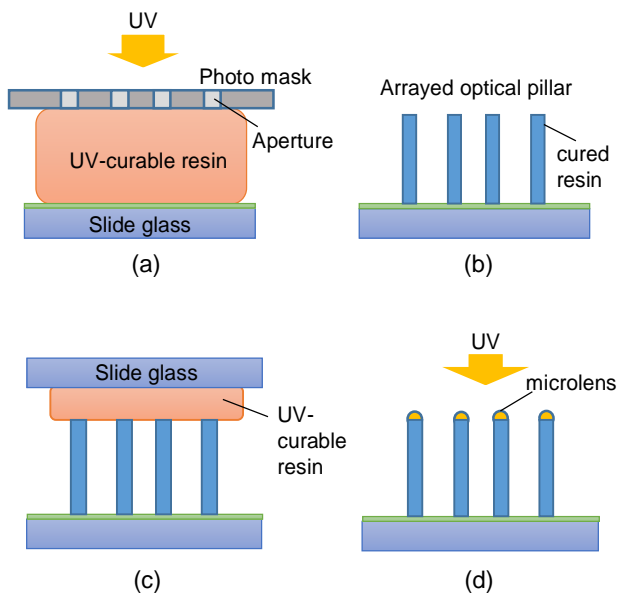
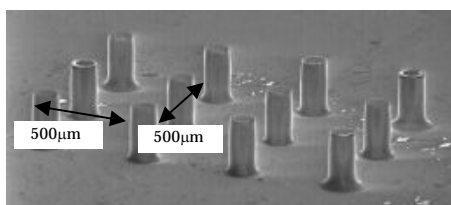
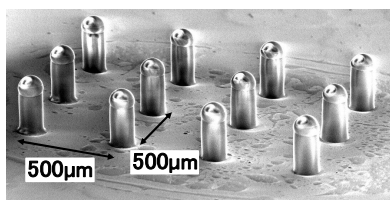


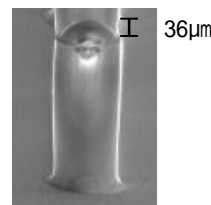
図 4 フォトマスク転写法を用いた樹脂マイクロレンズ付きの縦型光導波路の作製方法



(a)



(b)



(c)

図 5 作製した樹脂マイクロレンズ付きの縦型光導波路アレイ

試作した樹脂マイクロレンズ付き縦型光導波路の形状評価および光学特性の評価を行った。図 6 に示すように、近視野像 (NFP) 計測により、樹脂マイクロレンズ付き光ピンからの出力光の方が樹脂マイクロレンズ無しの光ピンからの出力光よりも光強度が高く、集光効果を確認した。また、図 7 に示すように、12 本の樹脂マイクロレンズ付き光ピンから同様の NFP を得ることができた。

さらに、樹脂マイクロレンズの作製における形状再現性の向上と形状制御の可能性を検討した。光硬化性樹脂を付着させる際の離脱速度が速いほど樹脂マイクロレンズの曲率半径のばらつきが小さく、また、光硬化性樹脂の温度が低いほど、曲率半径のばらつきが小さく、形状再現性の向上が見込めることを確認した。

多層化・アレイ化などの高機能化が要求されるボードレベル光インタコネクションにおける光配線の光実装技術の普及へ貢献できる可能性を得た。

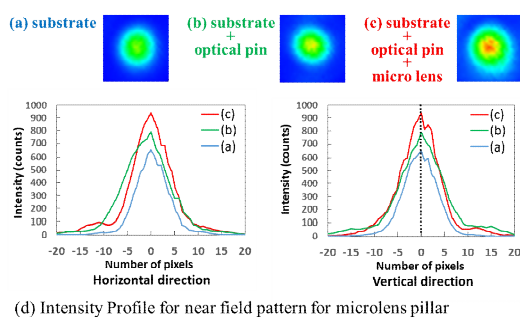


図 6 NFP 計測から得られた光強度分布

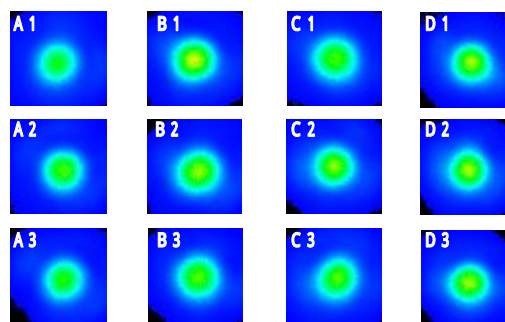


図 7 各樹脂マイクロレンズ付き縦型光導波路の NFP

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- 1) C. Fujikawa, O. Mikami, "Shape Control of UV-Curable Resin Microlens for Optical Interconnection", Plasma Application and Hybrid Functionally Materials, 査読無, Vol. 28, pp.45 (2019).
- 2) C. Fujikawa, O. Mikami, N. A. Baharudin, Y. Yaacob, A. A. Ibrahim, S. Ambran, "Optical coupling devices fabricated using UV-curable resin for board level optical interconnect", Proc. SPIE 10681, Micro-Structured and Specialty Optical Fibres V, 1068118, 査読有, DOI: 10.1117/12.2307239 (2018).
- 3) N. N. H. Saris, O. Mikami, A. Hamzah, S. Ambran, C. Fujikawa, "A V-Shape Optical Pin Interface for Board Level Optical Interconnect", Photonics Letters of Poland Journal, VOL. 10 (1), pp.20-22, 査読有 (2018).
- 4) Y. Yaacob, O. Mikami, S. Ambran, C. Fujikawa, S. Nakajima, "Microlens fabricated on fiber tip using UV-curable resin for optical interconnect", IEEE Xplore, 査読有, DOI: 10.1109/OECC.2017.8114877 (2017).
- 5) O. Mikami, Y. Yaacob, N. A. Baharudin, S. Ambran, C. Fujikawa, "Optical Pin Interface for 90-deg Optical Path Conversion Coupling to Printed Wiring Board", Proceedings of the 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON), 査読有, DOI: 10.1109/TENCON.2016.7848434 (2016).

〔学会発表〕(計 10 件)

- 1) 桑原 大洋, 藤川知栄美, 三上修, "樹脂マイクロレンズ作製における形状再現性の向上及び形状制御の検討", 第 33 回 エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 13B3-01, (2019).
- 2) C. Fujikawa, O. Mikami, R. Sugiyama, A. A. Ibrahim, N. A. Baharudin, S. Ambran and F. Ahmad, "UV-Curable Resin Microlens on Optical Pillars for Optical Interconnect", 23rd MICROOPTICS CONFERENCE (MOC 2018), 15-18 Oct. 2018, Taipei, Taiwan, P-09.
- 3) 杉山凌平, A. A. Ibrahima, 藤川知栄美, N. A. Baharudin, 三上修, "光ピン端面における樹脂マイクロレンズの作製", 第 32 回 エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 7B2-2, (2018)
- 4) Y. Yaacob, O. Mikami, C. Fujikawa, S. Nakajima, S. Ambran, "Polymer microlens fabricated on fiber tip for optical interconnect", 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 210, 012029; DOI: 10.1109/OECC.2017.8114877.



- 5) N. A. Baharudin, C. Fujikawa, O. Mitomi, S. Taguchi, A. Suzuki, O. Mikami, S. Ambran, "Spot Size Converter Using Mask-Transfer Self-Written Technology for Optical Interconnection", Contemporary Optical Research Group (CORG) Meeting, 5 Oct, 2016, Univ. of Electro-Commun., Japan.
- 6) Y. Yaacob, Y. Ishii, C. Fujikawa, O. Mikami, S. Ambran, "Fabrication of Micro Lens for Optical Printed Wiring Board", Contemporary Optical Research Group (CORG) Meeting, 5 Oct, 2016, Univ. of Electro-Commun., Japan.
- 7) 藤川知栄美, "光通信用機能性光学素子の研究・開発", フォトニクス研究会 第2回研究会, 2015年11月26日.
- 8) Y. Yaacob, N. A. Baharudin, O. Mikami, S. Ambran, C. Fujikawa, "Optical Coupling for Multi-layered Optical Printed Wiring Board Using Micro Lens Array", Proceedings of the 2016 IEEE 6th International Conference on Photonics (ICP2016), Dev-3, Sarawak, Malaysia, 14 - 16 March 2016.
- 9) N. A. Baharudin, S. Ambran, O. Mikami, C. Fujikawa, "Self-Written Waveguide (SWW) Optical Pin for High Optical Coupling in Multi-layer Printed Wiring Board", Proceedings of the 2016 IEEE 6th International Conference on Photonics (ICP2016), Dev-7, Sarawak, Malaysia, 14 - 16 March 2016.
- 10) N. A. Baharudin, S. Ambran, O. Mikami, C. Fujikawa, "Optical Coupling For Multi-layer Printed Wiring Board By Self-Written Waveguide", MJJIC2015 Proceedings, 1570217212 Ube, Japan, 13-15 November, 2015.

## 6 . 研究組織

### (1)研究協力者

研究協力者氏名：三上修

ローマ字氏名：Osamu MIKAMI

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。