



Title	光インターコネクション用光路直角変換デバイスの開発
Author(s)	平松, 星紀
Citation	電気材料技術雑誌. 2006, 15, p. 3-12
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/76838
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

光インターコネクション用光路直角変換デバイスの開発

平松 星紀

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 マテリアル技術部
〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町8-1-1

Optical Path Redirected Waveguide Devices for Optical Interconnects

Seiki Hiramatsu

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION
ADVANCED TECHNOLOGY R&D CENTER
8-1-1, Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki, Hyogo 661-8661, Japan

Abstract:

Novel optical path redirected devices for optical interconnects are demonstrated. To ensure compact sizing and higher integration, these devices have three-dimensional waveguide arrays. Femto-second laser writing and wafer-level lamination technique were used to fabricate single-mode and multimode devices respectively. These devices have three main features. (1) These devices contain two-dimensionally integrated inputs/outputs. (2) Since cores were fabricated to the surface of the component, optoelectronic devices and optical fiber can be directly coupled to the device. (3) Metal electrodes can be patterned on the device, enabling optoelectronic devices to be mounted on it directly. The pigtail and receptacle connectors using waveguide arrays were applied to optical interconnection modules called “active interposer”. These modules have 10 Gbps data transmission performance. In graphic data transmission system using them, parallel data transmissions for a 20 mega-pixel display of 40-inches were successfully obtained. The fabricated devices have usefulness for application to high-integrated optical interconnection modules.

Keywords : three-dimensional waveguide array, two-dimensionally integrated I/Os, optical path redirection, active interposer, parallel data transmission, waveguide connector

1. 緒 言

高度情報化社会の進展により、信号の高速化、高密度化が進んでいる。それに伴い LSI や IC の高速化、高密度化が精力的に検討され、多大な成果をあげてきた。しかしながら、今後これらを搭載した装置に更に高速化の要求が高まる場合はプリント配線板（PCB : Printed Circuit Board）の電磁輻射、クロストークや帯域限界などの問題に直面することになる。このような問題を解決する手段のひとつとして、高速の電気

信号を光信号に変換して PCB 内部や PCB 間を伝送させる光インターコネクションがある¹⁾⁻³⁾。光インターコネクションでは、電気信号を制御する部分は従来通り LSI などの電子部品が担い、そこから送受される信号は光が引継ぎ、光導波路が伝送媒体となる。この様な形態を実現するには、光導波路、光素子、電子制御用の LSI や電子部品を駆動させるための電気回路がハイブリッド集積された光インターコネクションモジュールが必要である。光インターコネクショ

ンモジュールには、消費電力の低減や多チャンネル化への対応という観点から面型の光素子 (VCSEL : Vertical Cavity Surface Emitting Laser, PD : Photodiode) が使用されている。従来 VCSEL や PD の光結合は、1次元アレイ構造によるものが主流であったが、将来的な小型化と高密度化のためには2次元配列された $n \times m$ チャンネルを光結合する構造が必要になる。しかしながら2次元配列した面型光素子に多芯の光ファイバを突き当ててモジュール間を接続すると、図1(a)に示すように光ファイバの曲げ半径が原因で実装構造が大型化する。我々はこの様な課題に対して新しい構造を持った光学デバイスを提案し、それを活用したコネクタの試作と伝送システムへの適用を検討した。モジュール間の伝送に提案する多芯接続型の光路直角変換デバイスを搭載すれば光インターコネクションシステムの小型化、高密度化が可能になる (図1(b))。

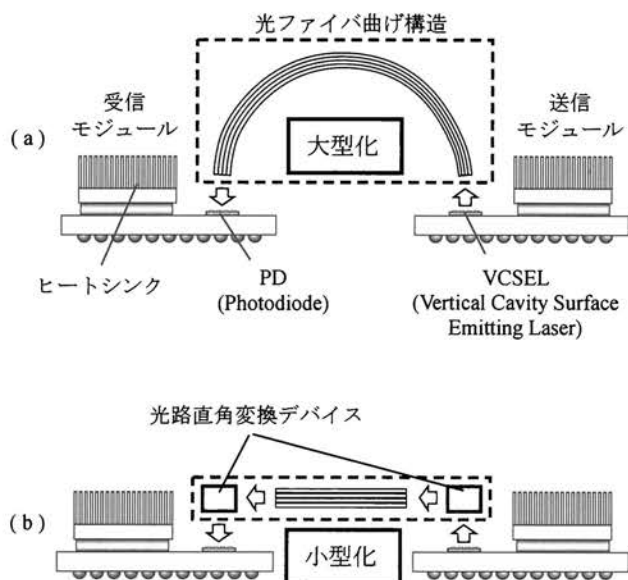


図1 光インターコネクションモジュールにおける光結合サイズの模式図

- (a) 光ファイバ曲げ構造
(b) 光路直角変換デバイス構造

Fig.1 Schematic illustration of connection size for optical interconnection modules.

- (a) Bent fiber connection.
(b) Optical path redirection device structure.

2. 光路直角変換導波路

2.1 構造

提案する光路直角変換導波路デバイスの構造を図2に示す^{4), 5)}。導波路デバイスには $n \times m$ 本のコアを作製し、対応するチャンネル数の光 I/O (Input/Output) がデバイス側面と上面から得られる。 $n \times m$ 本のコアは、光路長を一定にするため互いに直交する部分を持つが、直交するコアであればチャンネル間のクロストークに影響は少なく多並列伝送に適する。また、光路長が一定であれば各チャンネル間で起こる信号遅延の問題を潜在的に抑えることができる。さらに光路直角変換デバイス内のコアは、デバイス表面まで作製したので、光素子や光ファイバから出射する光信号はマイクロレンズ等によりビーム形状を修正する必要なく導波路と光結合できる。このため、部品点数の低減が可能になり、デバイスの低コスト化が期待できるという特徴もある。また、提案するデバイスは、ブロック形状を作製できるので、光 I/O 部周辺に電極パターンを作製して光素子を直接実装することもできる。光路直角変換導波路デバイスの構造と機能をまとめると以下になる。

●構造的特長

- 1) 2次元配列したコアを持つ3次元光導波路
- 2) ミラーを用いた一括光路変換構造
- 3) コアが連続した光路変換構造
- 4) 全チャンネルコア等長
- 5) デバイス表面までコア形成
- 6) ブロック形状

●機能的特長

- 1) 2次元配列された光素子や光ファイバとの多芯一括接続
- 2) 光学レンズ等を使用しない直接光結合
- 3) 高効率光結合
- 4) チャンネル間の信号遅延の低減
- 5) デバイス上への電極形成および光素子の直接実装

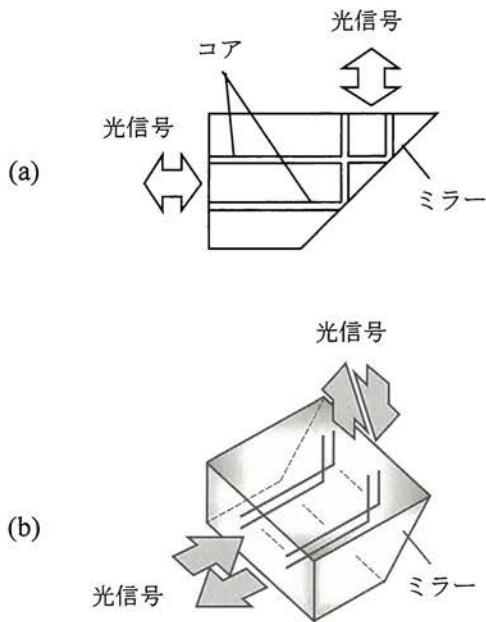


図2 光路直角変換導波路デバイスの構造
(a) 断面模式図 (b) 3次元模式図
Fig.2 Schematic illustration of optical path redirected waveguide device.
(a) Cross sectional view. (b) Oblique view.

2. 2 作製方法

2. 2. 1 シングルモード型導波路

シングルモード型導波路は、レーザ描画法を用いてガラス中に作製した⁶⁾。光源には波長800nmのチタンサファイアレーザを用いた。パルス幅を400 fs、出力を200 mWに調節し、対物レンズを用いてガラス中に集光照射すれば、焦点付近の屈折率が変化するため、焦点を連続的に移動して光導波路を作製した。光路直角変換導波路デバイスの作製方法は図3に示す。本報では作製するデバイスの工業的用途を考慮して、ガラス材料に合成石英を用いた。まず集光照射するレーザの焦点を、ガラス内部を通して45°ミラーで光路変換してガラス材料の外側に結んだ(図3(a))。次にXYZステージをZ方向に約20 $\mu\text{m}/\text{sec}$ で移動させてY軸方向に光導波路を描画する(図3(b))。さらにXYZステージをZ方向に移動させてZ方向の光導波路を描画した(図3(c))。同様な方法を繰り返すことで、2次元配列された光入出力部を持つ光路直角変

換導波路デバイスを作製した。光導波路の作製後に、45°ミラー面にはSiO₂/TiO₂から成る誘電体多層膜を設けて光路変換部分の損失を小さくした。本方法であればY軸方向とZ軸方向の光導波路を一連の描画で作製できるため、精度良く低コストに直角光路変換導波路デバイスを作製することができる。

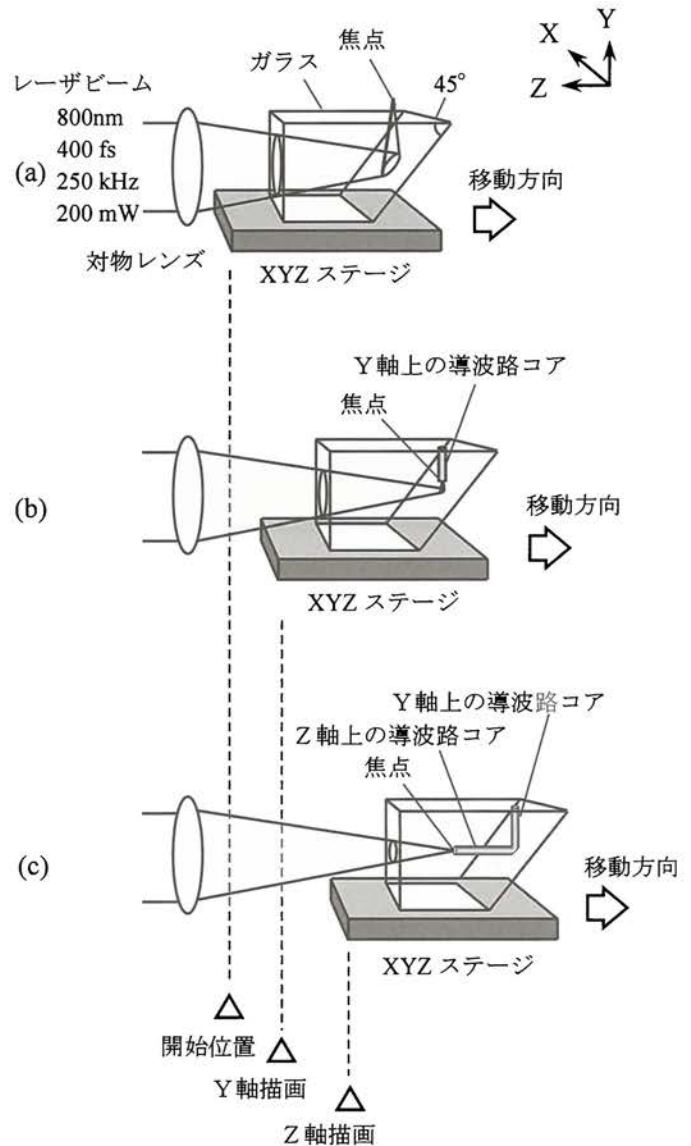


図3 レーザ描画による直角光路変換導波路デバイスの作成方法模式図

(a) 描画開始位置 (b) Y軸描画 (c) Z軸描画
Fig.3 Schematic illustration of laser writing for optical path redirected waveguide device.
(a) Start position. (b) Writing in Y-axis. (c) Writing in Z-axis.

図4に作製した導波路デバイスの概観写真と、表1に挿入損失の評価結果を示す。作製したデバイスは、 $3.0 \times 2.0 \times 5.0$ mmの大きさ中にY方向に3段、X方向に8列、合計24チャンネルの導波路を描画した。各チャンネル間は、汎用の多芯コネクタとの接続を考慮して250 μ mピッチで作製した。挿入損失は、波長1310 nmの光源を用いて評価した。24チャンネルの光路直角変換デバイスは、チャンネル間の損失変動が0.3 dB以下と小さく、良好な光学特性であることがわかった。

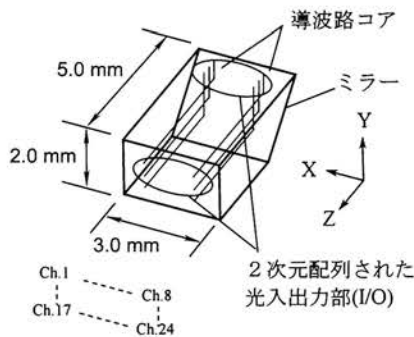
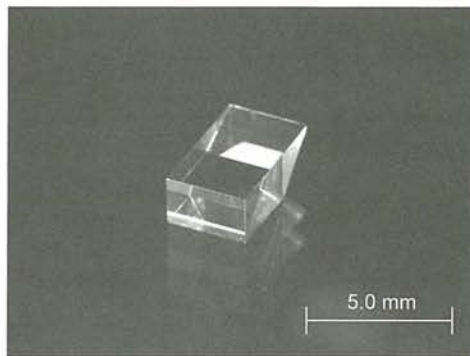


図4 シングルモード型光路直角変換導波路デバイスの概観写真

Fig.4 Photograph of fabricated single mode optical path redirected waveguide device.

表1 シングルモード型光路直角変換導波路デバイスの挿入損失

Table.1 Insertion loss of single mode optical path redirected waveguide device.

	Ch. 1	Ch. 2	Ch. 3	Ch. 4	Ch. 5	Ch. 6	Ch. 7	Ch. 8
Optical loss (dB)	1.8	2.0	2.1	1.9	1.8	1.9	2.0	1.9
	Ch. 9	Ch. 10	Ch. 11	Ch. 12	Ch. 13	Ch. 14	Ch. 15	Ch. 16
Optical loss (dB)	1.9	1.8	2.0	2.1	1.8	1.9	1.9	2.0
	Ch. 17	Ch. 18	Ch. 19	Ch. 20	Ch. 21	Ch. 22	Ch. 23	Ch. 24
Optical loss (dB)	2.0	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	1.9	1.8

2. 2. 2 マルチモード型導波路

マルチモード型導波路は、フォトリソグラフィーによる方法で作製した⁷⁾。コア形状は50 GI MMF (Graded Induced Multi Mode Fiber) と効率良く光結合できる様に $40 \times 40 \mu\text{m}^2$ にした。図5に導波路デバイスの作製方法を示す。まず、ガラスウェハ上に格子状のマルチモード導波路を作製する(図5 (a))。次に導波路をウェハレベルで貼り合わせる。張り合わせたウェハをコアの交差する部分で45°にダイシングする(斜線面でのダイシング)(図5 (b))。さらにダイシング面は研磨後に $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 多層膜を形成して反射ミラーとした。次に外形作製のために破線に沿ってダイシングし(図5 (c))、ダイシングした面を研磨して導波路デバイスとした(図5 (d))。この作製方法であれば複数の導波路を一括して作製できるため、生産性の向上や低コスト化が期待できる。

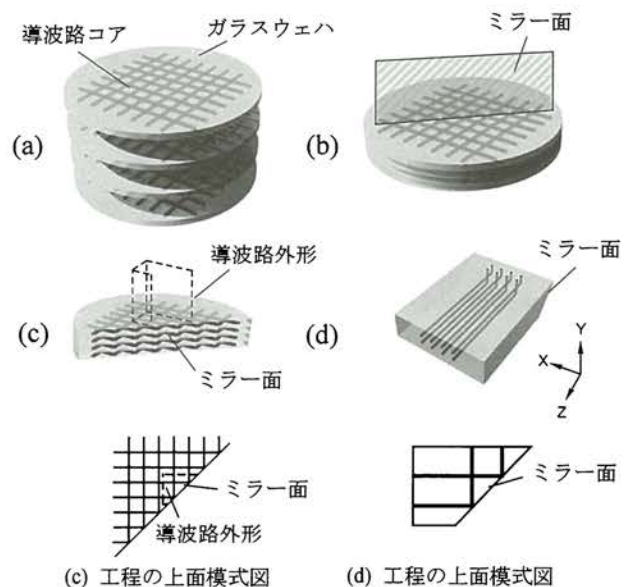


図5 マルチモード型光路直角変換導波路デバイスの作製方法

- (a) ウェハレベルの導波路積層
- (b) ミラー面の作製
- (c) 外形作製
- (d) マルチモード型直角光路変換導波路デバイス

Fig.5 Schematic illustration of multimode optical path redirected waveguide device.

- (a) Wafer level lamination.
- (b) Dicing for making a mirror.
- (c) Dicing for shaping the waveguide device.
- (d) Multimode optical path redirected waveguide device.

図6に作製した導波路デバイスの概観写真と表2に挿入損失の評価結果を示す。作製したデバイスは、 $1.5 \times 1.5 \times 0.5$ mm の大きさ中に Y 方向に2段、X 方向に4列、合計8チャンネルの導波路コアを作製した。各チャンネル間は、汎用の多芯コネクタとの接続を考慮して250 μ m ピッチで作製した。挿入損失は波長850 nm の光源を用いて評価した。8チャンネルの光路直角変換デバイスはチャンネル間の損失変動が0.2 dB 以下と小さく、良好な光学特性であることがわかった。また作製した導波路には光素子搭載用の電極も作製した。

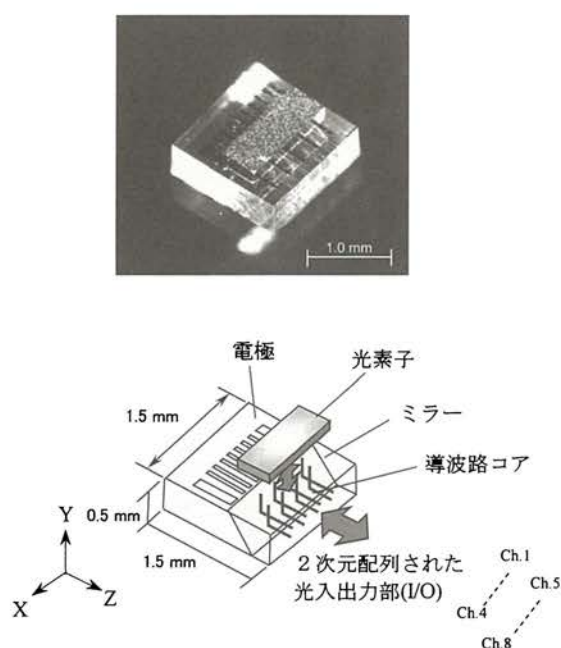


図6 マルチモード型光路直角変換導波路デバイスの概観写真

Fig.6 Photograph of fabricated multimode optical path redirected waveguide device.

表2 マルチモード型光路直角変換導波路の挿入損失
Table.2 Insertion loss of multimode optical path redirected waveguide device.

Channel	1	2	3	4
Loss (dB)	1.3	1.1	1.2	1.1
Channel	5	6	7	8
Loss (dB)	1.2	1.3	1.1	1.2

3. 光路直角変換導波路の応用

3. 1 光バックプレーンコネクタ

作製したシングルモード型直角光路変換導波路デバイスは、光バックプレーンコネクタへの適用を検討した(図7)。バックプレーンコネクタの内部には導波路デバイスを内蔵し、多チャンネルを一括して接続して光路変換できる。従来の光バックプレーンシステムは、ドーターボードと光バックプレーンの間を光ファイバ曲げ構造で接続するが、提案するコネクタを使用すれば光バックプレーンシステムを大幅に小型化できる。

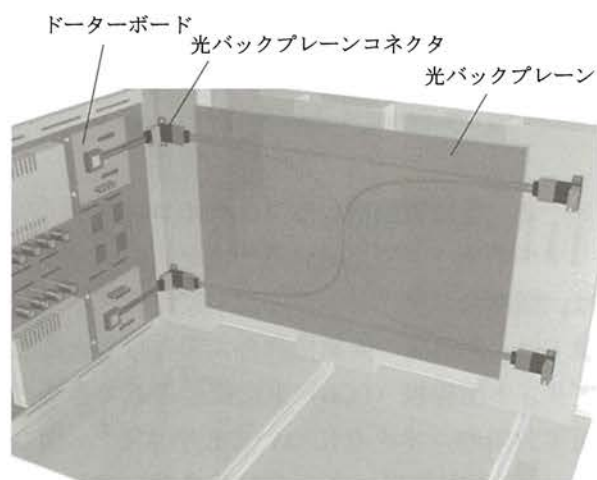


図7 光バックプレーンシステムの模式図
Fig.7 Schematic illustration of optical backplane system.

作製したバックプレーンコネクタの概観写真を図8に示す。光入出力部は、汎用の MD (Multimedia) コネクタと接続できる構造にした。多芯 MD コネクタとの接続損失は、実用時の清掃負荷を考慮してマッチングジェルを使用しない状態で評価した。接続損失は、24チャンネルの平均値で約1 dB であり、表1の挿入損失を考慮すると、約3 dB の光学損失を持つコネクタを作製できた。接続損失は、導波路デバイスとコネクタを一体化する際の位置ずれによる影響であり、挿入損失は導波路描画条件や光路変換用ミラーの性能によるものと考えられる。また開発したコネクタは従来の光ファイバ曲げコネクタと比較すると約1/10サイズ以下にできる

こともわかっている。これらの結果より、導波路デバイスを使用した光バックプレーンコネクタは光システムの小型化、高密度化や低コスト化への期待に応えられる性能を持っていることがわかった。

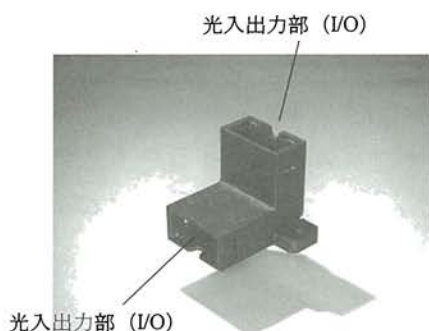


図8 光バックプレーンコネクタの概観模式図
Fig.8 Photograph of optical backplane connector.

3. 2 表面実装用レセプタクルコネクタ

マルチモード型光路直角変換導波路デバイスは、様々なコネクタへの応用が期待できる。本項では、基板間の光電機複合実装を行うためにプリント配線板 (PCB) 上に直接搭載できる表面実装用のコネクタについて説明する⁸⁾。図9 (a) に表面実装用コネクタの模式図を示す。光素子は、導波路デバイス上に設けた電極パターンを用いてフリップチップ接合した。光素子は、マイクロレンズ等の光学部品を使用することなく導波路デバイスと一体化できるため、コネクタ構造を小型化でき、さらに光素子を近接して搭載できるため導波路との光結合も効率良く行える。光素子を搭載した導波路デバイスは、MT (Mechanical Transferable) コネクタフェルールに設けた溝に光学調芯して固定した。MT コネクタフェルールと一体化することで、汎用の多芯 MT コネクタと容易に接続できる。また、PCB への搭載は、導波路デバイス上に設けた電極パターンを介して鉛フリーハンダで行った (図9 (b))。この構造のコネクタであれば、光路変換構造を小型化できるだけでなく、従来の実装機を使用してコネクタを PCB 上に実装するだけで汎用の光コネクタと接続して基板間の光電

機複合実装が行える。これまでの光電気複合実装構造では、光素子、光ファイバおよび光路変換部品を考慮した複雑な光学調芯が必要であったが、提案するコネクタであれば容易に光接続が可能になり、システム全体の低コスト化にも繋がる。

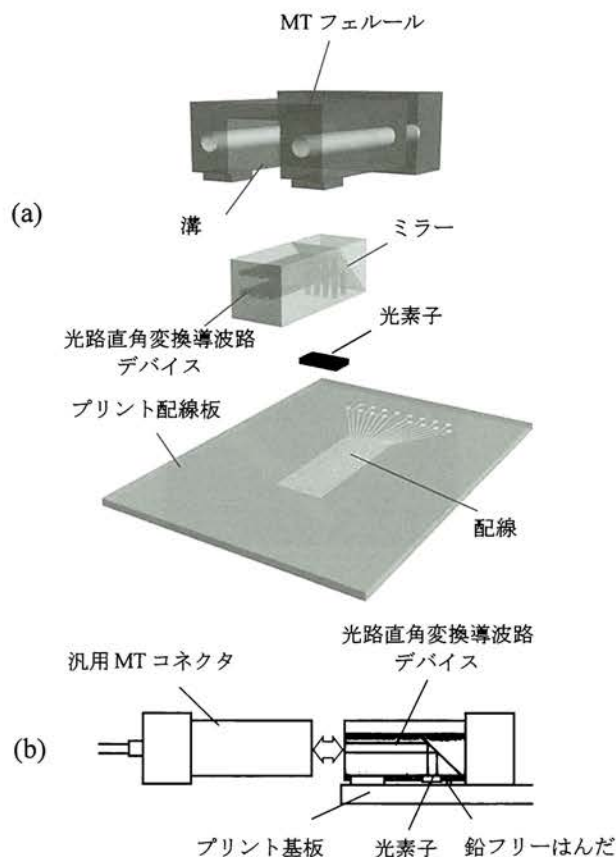


図9 表面実装用レセプタクルコネクタの模式図
(a) 3次元模式図 (b) 断面模式図
Fig.9 Schematic illustration of receptacle connector for surface mount technology.
(a) Oblique illustration. (b) Cross sectional illustration

図10にレセプタクルコネクタの正面模式図を示す。光 I/O 用の導波路コアは MT コネクタの位置決め用ガイドピン穴の中心線上および250 μm 上部に配列した。また、本報の評価では光路直角変換導波路デバイスの基本特性を評価するため、1 x 4 チャンネルの光素子を搭載し、ガイドピン穴の中心線上にあるコアを利用して伝送特性の評価を行った。

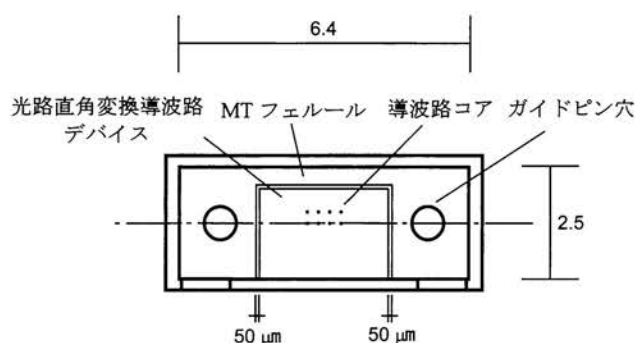


図10 表面実装用レセプタクルコネクタの正面模式図
Fig.10 Schematic illustration of the front face of the fabricated surface-mount receptacle connector.

図11に作製したレセプタクルコネクタの正面写真を示す。VCSEL からの出射光は導波路デバイス内で光路変換されて4チャンネルともコネクタの正面に出射することがわかった。また、図12に VCSEL からの出射光を用いた伝送特性の結果を示す。この結果より提案したコネクタは10 Gbps/ch の良好な伝送特性を持つことが明らかになった。今回の検討では1 x 4 チャンネルの光素子を搭載していることから、作製したコネクタは潜在的に40 Gbps のスループットを持つことが明らかになった。



図11 表面実装用レセプタクルコネクタの正面写真
Fig.11 Photograph of the front face of the surface-mount receptacle connector.

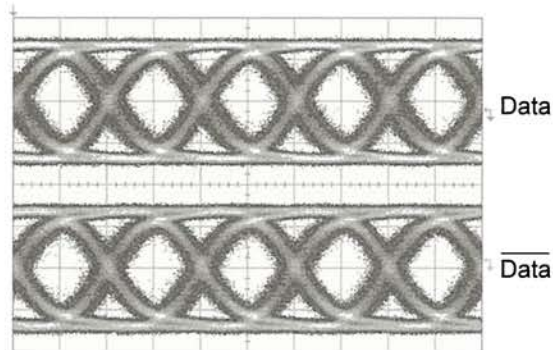


図12 表面実装用レセプタクルコネクタの
10 Gbps アイパターン
Fig.12 Eye diagram of surface-mount receptacle connectors
measured at 10 Gbps/ch.

3. 3 高精細画像伝送システム

本項では、光路直角変換導波路デバイスを使用したピッグテール型コネクタを光インターコネクションモジュール（通称 AIP : Active Interposer）に搭載し、AIP を高精細 (EHD : Extremely High Definition) ディスプレイ用画像伝送システムに適用した例について説明する。EHD ディスプレイシステムは、今後、映像配信を利用したバーチャルコンサート、高精度3次元CAD、医療用電子カルテ、アミューズメントなどさまざまな分野への適用が期待できる⁹⁾。このような用途に使用されるディスプレイシステムは、画素数に応じた高速な信号伝送システムが必要である。現在でも画像伝送システムで使用される電気信号ケーブルに DVI (Digital Visual Interface) ケーブルがある。しかしながら、DVI ケーブルは信号劣化のために短距離しか伝送できないので将来的な大容量化、長距離化の要求には対応が困難になる。このようなケーブルによる画像伝送のボトルネックを解消する一つの手段としてAIPを使用した光伝送システムを開発した¹⁰⁾。

EHD ディスプレイ用ピッグテールコネクタの概観写真を図13に示す。ピッグテールコネクタは、光ファイバの端をV溝基板で固定したファイバアレイと導波路デバイスを光学調芯した後、ガラス基板上に接着固定して作製した。光

素子は導波路デバイス上にフリップチップ実装し、他の実装部品との電氣的接続は、光路直角変換導波路上の電極パターンを介してワイヤボンドで行った。

ピッグテールコネクタを搭載した EHD ディスプレイ用 AIP を図14に示す。AIP は4チャンネルのピッグテール型コネクタを1個搭載し、Red, Green, Blue, Clock の画像信号を送受信する。AIP は、パソコン上のグラフィックボード及び液晶ディスプレイ上に搭載した。

：

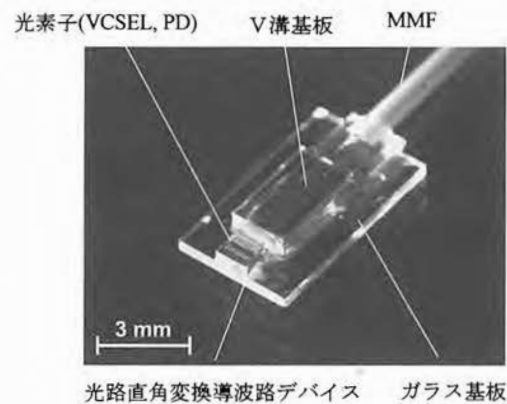


図13 高精細画像伝送システム用ピッグテールコネクタの概観写真
Fig.13 Photograph of pigtail connector for EHD display system.

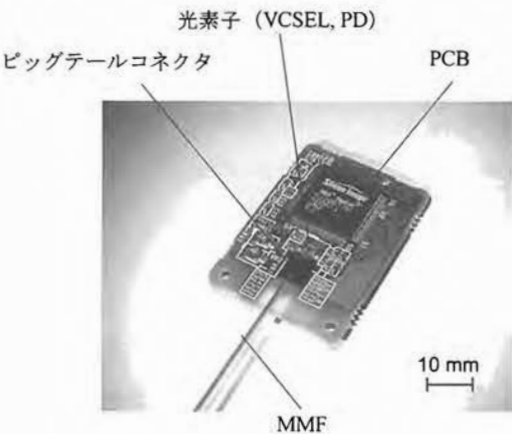


図14 高精細画像伝送システム用 AIP の概観写真
Fig.14 Photograph of active interposer for EHD display system.

EHD ディスプレイシステムでは500万画素の20インチ液晶ディスプレイを4枚、全体で2000万画素、40インチを表示する構成にした(図15)。パソコンより送信された光信号はファイバボードで各ディスプレイに分配した。開発した AIP を使用して、50 m の光ファイバ内を伝送しても良好な画像を得られることがわかった。一方、20 m の DVI ケーブルを伝送した結果、信号劣化のために画像が得られないこともわかった。開発したピッグテール型コネクタは10 Gbps/ch 以上の良好な伝送特性も得られたことから、光インターコネクションモジュールの将来的な大容量化や小型化にも適用できることがわかった。

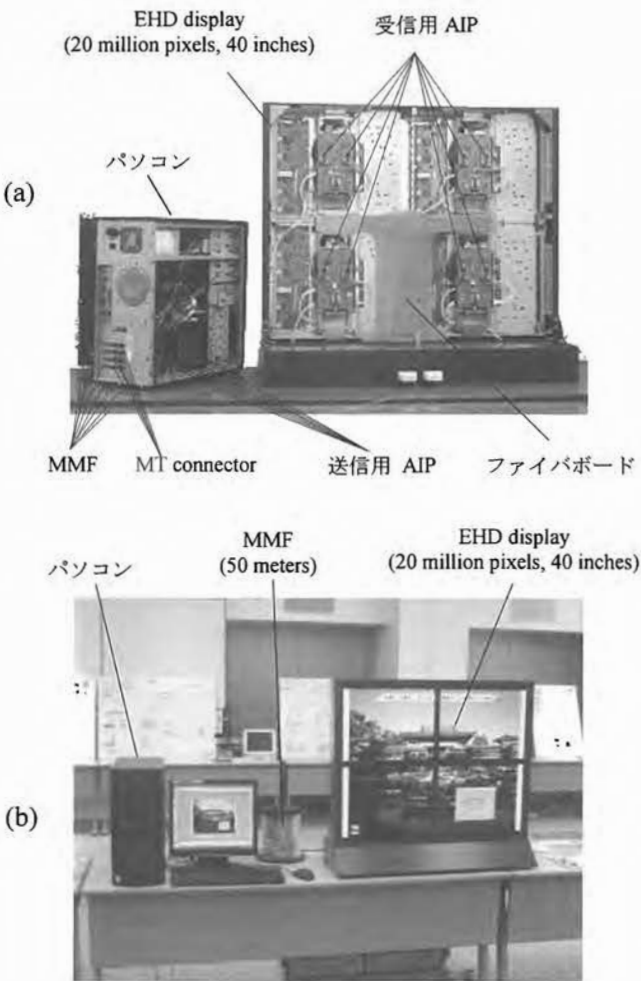


図15 高精細画像伝送システムの概観写真
(a) 裏面写真 (b) 表面写真
Fig.15 Photograph of EHD display system.
(a) Rear view. (b) Front view.

4. まとめ

光インターコネクション用の光路直角変換導波路デバイスを提案し、コネクタ化とシステム化の検討を行った。その結果、従来に無い小型高密度化したコネクタが作製できること、及びそれらのコネクタが光伝送システムへ適用可能であることを明らかにした。

光路直角変換導波路デバイスは2次元配列した光入出力部と光路変換機能を持った3次元構造を持つ。シングルモード型導波路デバイスは、フェムト秒レーザの集光照射を用いてガラス内に作製できることを明らかにした。マルチモード型導波路デバイスは、高分子材料を使用してウェハ積層法により一度に複数個が作製できることを明らかにした。光路直角変換導波路デバイスを使用すれば従来に無いバックプレーン型、レセプタクル型、ピッグテール型コネクタが作製でき、何れも良好な伝送特性が得られることがわかった。またピッグテール型コネクタを使用した高精細画像伝送システムは2000万画の良好な画像表示が行えることも明らかにした。開発した光路直角変換導波路デバイスは、実用レベルに近く光インターコネクションの小型化、高密度化、低コスト化に貢献できるデバイスであることがわかった。

5. 謝 辞

本研究は、経済産業省の「超高密度電子 SI 技術の研究開発」プロジェクトの一環として、新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO）から委託されて実施したものであり、ご協力頂きました木下主幹研究員、三川室長代理、茨木室長に深謝いたします。

参 考 文 献

1) D. V. Plant, M. B. Venditti, E. Laprise, J. Faucher, K. Razavi, M. Chateaneuf, A. G. Kirk and J. S. Ahearn: "256-Channel Bidirectional Optical Interconnect Using VCSELs and Photodiodes on CMOS", J. Lightwave Technology, 19, 8 (2001) 1093-1103.

2) Y. Liu: "Heterogeneous Integration of OE arrays with Si Electronics and Micro-optics", Electronics Components and Technology Conference, (2001) 864-869.

3) Y. Ishii, N. Tanaka, T. Sakamoto and H. Takahara: "Fully SMT-Compatible Optical-I/O Package with Microlens Array Interface", J. Lightwave Technology, 21, 1 (2003) 275-280.

4) S. Hiramatsu, H. Furuyama, M. Kinoshita, N. Hirose, T. Mikawa and O. Ibaragi: "10-Gbps Waveguide Device for Optical Path Redirection," European Conference on Optical Communications (2003) 394-395.

5) S. Hiramatsu, M. Kinoshita, T. Mikawa and O. Ibaragi: "Optical Path Redirected Three-dimensional Lightguide Connectors for High-speed Interconnection Modules," Electronics Components and Technology Conference (2004) 1532-1536.

6) S. Hiramatsu, T. Mikawa, O. Ibaragi, K. Miura and K. Hirao: "Laser-Written Optical-Path Redirected Waveguide device for Optical Back-Plane Interconnects", IEEE Photonics Technol. Letters, 16, 9 (2004) 2075-2077.

7) S. Hiramatsu and M. Kinoshita: "Optical Path Redirected Multichannel Waveguide Connectors for Surface-Mount Technologies", IEEE Photonics Technol. Letters, 16, 10 (2004) 2281-2283.

8) S. Hiramatsu and M. Kinoshita: "Three-dimensional Waveguide Arrays for Coupling Between Fiber-Optic Connectors and Surface-Mounted Optoelectronic Devices", J. Lightwave Technol., 23, 9 (2005) 2733-2739.

9) J. Davis and X. Chen: "Lumipoint: Multi-user Laser-based Interaction on Large Tiled Displays", Displays, 23, (2003) 205-211.

10) S. Hiramatsu, M. Kinoshita, T. Ishizuka, T. Mikawa and O. Ibaragi: "Implementation of Active Interposers for Extremely High-Definition Displays", J. Lightwave Technol., 24, 2 (2006) 976-981.

(2006年5月6日受理)

平 松 星 紀



昭和42年7月30日生。平成5年神戸大学大学院自然科学研究科修士課程修了。平成5年三菱電機㈱材料研究所勤務。平成13年4月～平成16年3月技術研究組合 超先端電子技術開発機構(ASET)にて光電気複合実装技術開発に従事。平成16年4月より三菱電機㈱先端技術総合研究所勤務。IEEE 会員。応用物理学会。日本化学会。京都大学博士(工学)。

(本論文は平成17年度電気材料技術優秀論文賞の受賞内容をまとめたものである)