光表面実装技術向け光ピンの光導波路への結合

村田 佳一*, 渡邊 則利*, 尾山 雄介*, 三上 修*, 内田 禎二**

Coupling of Optical Pin to Optical Waveguide for Optical Surface Mount Technology

Yoshikazu MURATA*, Noritoshi WATANABE*, Yusuke OYAMA*, Osamu MIKAMI* and Teiji UCHIDA**

* 東海大学電子情報学部 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117)

** 東海大学総合科学研究所 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117)

* School of Information Technology and Electronics, Tokai University (1117 Kitakaname, Hiratsuka-shi, Kanagawa 259-1292)

** Research Institute of Science & Technology, Tokai University (1117 Kitakaname, Hiratsuka-shi, Kanagawa 259-1292)

概要 光インタコネクション実現のために、電気プリント配線板と設計・評価・実装プロセスを共有できる新たな光エレクトロニクス実装技術として、光表面実装技術が提案されている。これまで、基板内の光配線と表面実装した光デバイスとの光結合を行うために、端面を45度加工した光ファイバ（光ピン）の基本特性を検討してきた。本報告では実際に導波路上に作成したホールへ光ピンを挿入し、結合効率や位置ずれ・回転トレランス特性などを測定した。光線追跡法を用いた光結合シミュレーションの検討も行った。また光ピンの45度ミラー面における「透過光」を軽減するために、ミラー面へ反射率の高い金属膜を蒸着し、結合効率の向上とマッチングオイル使用による効果を検討した。

Abstract

We have proposed an application of an optical pin having an end of a 45-degree micro mirror to coupling between optical wirings and optical devices in Optical Surface Mounting Technology. In this paper, experimental studies on optical characteristics of the optical pin having an end coated with a metallic film were reported. Then, the fabrication process of a through-hole on a polymeric waveguide substrate by a laser ablation technique was described. Next an optical pin was actually inserted into the through-hole and the coupling efficiency was studied. Theoretical studies on optical coupling characteristics were also performed using a ray tracing simulation. It was shown that the optical pin has high feasibility by using both metallic coated optical pin and index matching oil.

Key Words: Optical Surface Mount Technology, Optical Pin, Optical Waveguide, Coupling Efficiency, Ray Trace Simulation, Optical Packaging

1. 緒 論

ここ数年で、xDSLやFTTH、高速無線LANなど、さまざまな形で広帯域な通信サービスが実現し、通信の多様化、広帯域化が社会に与える影響は日々大きくなっている。インターネット人口は日本だけでも6000万人を優に超え、2人に1人は何らかの形でインターネットを利用している。このようにインターネットの爆発的な普及に伴い、ネットワークを流通する情報量は増大している。この膨大な情報を円滑に伝送、処理するためには、コンピュータ、交換機等の通信情報処理装置などの高性能電子計算機・装置に対して処理能力の飛躍的向上が求められている。CPU等の電子LSIの性能は着実に向上しているが、信号の高速化に伴うクロストーク、電磁輻射、さらには電気配線による信号伝送の帯域制限等の問題がシステム性能向上のボトルネックとなっている。この解決のため、光信号のもつ高速、低損失、無誘導等の特徴を生かし、電気信号に代わって光信号によってインタコネクションする「光インタコネクショ

ン」が期待されている。現在の光エレクトロニクス技術を眺めると、半導体レーザや光検出器といった個々のデバイスの性能向上に関する研究開発面は着実に進歩してきた。しかし、配線上、寸法上、信号の伝わり方等でエレクトロニクス（電気）とは異なる「光の特殊性」のため、集積化や実装技術面で深刻な課題にぶつかっている。このため新たな光エレクトロニクス実装技術が必要である。

この課題を解決する手段として、光表面実装技術^{1),2)} (Optical Surface Mount Technology: 光SMT) が提案されている。光SMTは、電子回路の表面実装技術に対応するボードレベルでの新しい光実装技術である。光・電子表面実装デバイス (OE-SMD: Opto-Electronic Surface Mount Device) と、光導波路と電気配線で構成された光電気配線板 (OE-PWB: Opto-Electronic Printed Wiring Board) を主要構成部品とし、光電気配線板にOE-SMDをマーカー、嵌合孔を用いてマウントすることにより、光結合される仕組みとなっている。光導波路を伝搬する光と光電気配線板上部にマウントするOE-SMDが効率良く結合するためには、光導波路を伝

搬する光が基板方向に対し垂直に光路変換（90度光路変換）する構造が必要である。従来は、光導波路端にダイヤモンドブレードを用いて45度ミラーを作製し、90度光路変換構造を形成する方法が一般的であった。しかし、ミラー作製プロセス上の問題として、光電気配線板の任意の場所に局所的に45度ミラーを形成することが困難であること、また近くに配置された光配線を断線する心配があった。

そこで新たに、光電気配線板の所定の場所にあらかじめホールを加工し、45度マイクロミラーを有する光ピンを差し込むことによって、光SMTに不可欠な90度光路変換を実現する方法が提案されている^{3),4)}。従来の電気配線板における、リード挿入など局所的に電気信号を取り出すことができることが可能な作製プロセスを、光実装技術にも適用したものである。光電気配線板の所定の位置にホールを加工し、そこに45度ミラー面を有する光ピンを挿入しOE-SMDをマウントする。または、あらかじめ光ピンにOE-SMDを装着しておき、それを挿入しエポキシなど光学接着剤で固定することで90度光路変換を実現させる方法である。光ピンはダイヤモンドブレードを用いて端面を45度加工し、90度光路変換を行うためのマイクロミラーを作製した光ファイバである¹⁾。Fig. 1に面発光レーザ（VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser）Array, PD-Array, Guide Pin を搭載したOE-SMDの構成図を示す。Fig. 2に、光ピンを用いた光SMT構成図を示す。

これまで、光ピンと光導波路との結合特性について、シミュレーションおよび測定にて検討を行い、光ピンを用いた90度光路変換が可能であることを確認した。本研究では、実際に光導波路へホールを作製し、光ピンをホールに挿入し光導波路と結合させ、光ピンと光導波路との結合特性をシミュレーションと測定により検討を行った。また、光ピンと光導波路の光結合効率を改善するために、ミラー面へメタルコーティングを施した光ピンを作製し、あわせて検討を行った。

2. 光導波路上へのホール作製法

光電気配線板に要求される条件として、高性能な光導波路と電気回路が同一基板に作製可能で、数十cm程度的大型基板が経済的に作製可能であることが求められる。光導波路にはさまざまな材料があるが、中でも高分子材料を用いた光導波路は加工性に優れ、大型基板が作製可能、また安価で軽量である。これらの特徴を考慮すると高分子材料を用いた光導波路が光電気配線板として適していると考えられる。そこで光配線に高分子光導波路を用いることを想定し、光ピンを挿入するためのホールを作製し検討を行った。

2.1 加工プロセス

測定に使用した高分子光導波路（コア：d-PMMA、クラッド：UV エポキシ樹脂）に光ピンを挿入するためのホー

Fig. 1 Structure of proposed I/O package with optical pins

Fig. 2 Basic structure of optical surface mount technology with optical pins

Fig. 3 Experimental setup for fabricating holes on polymeric waveguide

ルを、エキシマレーザを用いたレーザアブレーションにより作製した。Fig. 3に加工プロセスの概略図を示す。波長248 nm、出力15 W、レーザ出力40 mJ、発振周波数600 pps、照射時間5 secの条件でエキシマレーザから光をマスク（径200 μm ）を介し結合光学系を用いて光導波路に照射した。

2.2 ホールへのクリーニング処理

Fig. 4(a)に、実際に光導波路上に作製したホールのSEM写真を示す。ホールは加工プロセス上テーパ角を有し、上面径220 μm 、底面径160 μm と大きさが異なる。写真から加工時に出了と思われる白いゴミのような付着物が確認できる。そこで、このホールの加工面にクリーニング処理を施した。クリーニングは酸素プラズマアッシングと、過マンガン酸カリウムによるウェットエッチングの2通りを試みた。Fig. 4(b)にクリーニング処理を施したホールのSEM写真を示す。

Fig. 4(b)の(A)酸素プラズマアッシングでは、Fig. 4(a)に見

Fig. 4 SEM pictures of holes fabricated on a polymeric waveguide

られた付着物が除去されていることがわかる。また、導波路のコアもSEM像より確認できる。Fig. 4(b)の(B)過マンガン酸カリウムでは、付着物は排除されているが、ホール一面に膜のようなものが張り付いていることが確認できる。

2.3 損失測定

酸素プラズマアッシング、過マンガン酸カリウムによる処理どちらが光ピンを挿入するためのホール加工に適しているかを検討するため、伝送損失の評価を行った。実験系をFig. 5に示す。前述と同様の材料の光導波路（長さ：約65 mm、コア径：約 $40 \times 40 \mu\text{m}$ 、導波路ピッチ：約 $250 \mu\text{m}$ ）の片端面にFig. 6に示すような半円のホールを作製し、そこに2.2説で述べた2通りのクリーニング処理を施したものとクリーニング処理を施さないホールの3種について評価を行った。ホールを作製していない端面から波長 $1.31 \mu\text{m}$ の光をシングルモードファイバ（SMF: Single Mode Fiber）を介して入射し、導波路を伝搬して半円状のホールからの出

Fig. 5 Experimental setup of coupling between an optical fiber and a polymeric optical waveguide

Fig. 6 SEM picture of holes fabricated on the side of polymeric waveguide

Table 1. Coupling loss obtained after the cleaning process

	Non cleaning	O ₂ plasma	KMnO ₄
Coupling Loss	7.5 dB	4.2 dB	

射光をコア径 $50 \mu\text{m}$ のマルチモードファイバ(GI-MMF)で受光し伝送損失を測定した。入射光を基準光とした伝送損失の測定結果をTable 1に示す。過マンガン酸カリウム処理では、ホールからの出射光を測定することができなかった。これは、前にも述べたホール全体を覆っている薄い膜のようなものがコアを覆い、光を遮っているためと考えられる。また、クリーニング処理なしと酸素プラズマアッシング処理を比較すると、クリーニング処理を施した方が、伝送効率が約3 dB向上している。したがって、酸素プラズマアッシングによるクリーニング処理を行ったホールを用いて、結合実験を行った。

3. メタルコーティングの効果

3.1 従来の光ピンの問題点

光ピンの45度ミラー面では、90度光路変換を屈折率差による全反射条件を用いて行っていた。しかし、45度ミラー面においては、すべての光が全反射条件を満たすわけではなく、一部の光が透過することが確認されている^{3,4)}。この透過光は結合効率を低下させる大きな原因となる他、不要輻射光となり誤作動や雑音の原因となる恐れがある。

Fig. 4に示したスルーホールはホール端面には凹凸があり、理想的な円筒鏡面とは言えない。この場合、光ピンを挿入し矩形光導波路との光結合をするときに、この凹凸面によって伝播光が散乱することが考えられる。円筒面の散乱光は、スルーホール内のエアギャップにマッチングオイルを注入することにより円筒面が平滑化され、ほぼ解決できるが、45度ミラー面もマッチングオイルで埋められるため全反射なくなり、90度光路変換ができなくなる。

そこでこの透過光の軽減とマッチングオイルの適用を目的に、45度ミラー面にAuコーティングを施した光ピンを作製した。

3.2 メタルコーティング光ピンの作製

作製したメタルコーティング光ピンをFig. 7に示す。使

Fig. 7 Fabricated optical pin with Au coated micro mirror

用した光ファイバは径50/125 μm の(GI-MMF)で、その片端面はFCコネクタを装着している。光ファイバ端面への45度面加工には、エポキシ等の光学接着剤で光ファイバを固定し、45度面加工用の冶具に沿ってブレードで切磋商する方法を用いた。そして45度ミラー面にAuを真空蒸着することによってメタルコーティング光ピンを作製した。Au膜厚は0.3 μm である。

次に、作製した光ピンの基本特性の検討を行った。FCコネクタ側から波長850 nmのLD光を入射し、45度ミラー面で90度光路変換された光を5 mm径のPDで受光した。結果、メタルコート処理をしていない光ピン（以降ノンコーティング光ピン）は、入射したLD光に対する結合損失は約1.0 dBであった。一方、メタルコーティング光ピンの結合損失は0.2 dBあり、Auコーティングを施すことにより結合損失0.8 dBの改善を確認した。

4. 光ピンと光導波路との結合特性

4.1 結合シミュレーション

光ピンと光導波路の結合特性を、3次元の光線追跡法を用いてシミュレーションを行った。シミュレーションモデルをFig. 8に示す。コア径50 μm のSI-MMFを光ピンとして用い、光導波路の構造パラメータはコア屈折率：1.489、クラッド屈折率：1.471、コア径40 $\times$ 40 μm である。これらの値は、試験サンプルの光導波路と同じ仕様である。この光導波路に上面径230 μm 、底面径140 μm のホール形成したモデルとした。

ホール内で、光ピンで90度光路変換して光を光導波路へ入射する送信の場合と、光導波路から光ピンで90度光路変換して光ピン上部で受光する受信の場合についてシミュレーションを行った。光ピンの45度ミラー面については、光ピン（ガラス）と空気との屈折率差で全反射させるノンコーティング光ピンと、ミラー面にメタルコートをし、反射率を100%と仮定したメタルコーティング光ピンをモデルとした。メタルコーティングピンについては、マッチングオイルをホール内に充てんした場合は、屈折率を1.50としてシミュレーションを行った。

Fig. 8 Simulation model of coupling between an optical pin and an optical waveguide

シミュレーション結果をFig. 9, 10およびTable 2に示す。なお、シミュレーション値は入射光を100%としている。Fig. 10(b)では光ピンのミラー面で反射した光線が光ピンのクラッドに漏れ、図が見にくくなるためクラッド内の光線の記述を省略している。シミュレーションの結果、結合損失はノンコーティング光ピンで送信が約2.3 dB、受信が約10.8 dB、メタルコーティング光ピンでは送信が1.1 dB、受信が約1.2 dB、マッチングオイルを充てんした場合は送信が1.1 dB、受信が約0.8 dBであった。受信側で0.4 dBの改善がみられた。これはホール内の屈折率がほぼ同等となることで、光導波路からの光束がホールのテーパ形状の影響を受けなくなったためと考えられる。送信側ではホールが理想的な状態であるため変化がなかった。

4.2 トレランスシミュレーション

光ピンと光導波路との位置合わせトレランスについて、光線追跡シミュレーションにより最大5%結合損失が増加するまでを許容度範囲として検討した。シミュレーションモデルはFig. 8と同じである。なお、ホールの大きさが140 $\mu\text{m}\phi$ （底面）、光ピンが125 $\mu\text{m}\phi$ のため、光ピンの位置ずれはX, Z軸についてはホール中心から最大 $\pm 7.5 \mu\text{m}$ ま

Fig. 9 Calculated results of non-coating optical pin by ray trace simulation

Fig. 10 Calculated results of Au-coating optical pin by ray trace simulation

Table 2. Calculated coupling loss by ray trace simulation

Optical Pin	Transmission	Reception
Non-coating	2.3 dB	10.8 dB
Metal-coating	1.1 dB (1.1 dB)	1.2 dB (0.8 dB)

(): Coupling loss when the matching oil was filled into a through hole

Table 3. Calculated tolerance by ray trace simulation

	Non-coating			Metal-coating		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Transmission	$\pm 4 \mu\text{m}$	$\pm 8 \mu\text{m}$	$\pm 7 \mu\text{m}$	$\pm 4 \mu\text{m}$ ($\pm 7 \mu\text{m}$)	$\pm 6.5 \mu\text{m}$ ($\pm 6.5 \mu\text{m}$)	$\pm 7 \mu\text{m}$ ($\pm 7 \mu\text{m}$)
Reception	$\pm 7 \mu\text{m}$	$\pm 8.5 \mu\text{m}$	$\pm 7 \mu\text{m}$	$\pm 6 \mu\text{m}$ ($\pm 7 \mu\text{m}$)	$11 \mu\text{m}$ ($\pm 7 \mu\text{m}$)	$\pm 7 \mu\text{m}$ ($\pm 7 \mu\text{m}$)

(μ): Calculated tolerance when the matching oil was filled into a through hole

Fig. 11 Experimental setup of coupling between an optical pin and a polymeric optical waveguide

でとなる。シミュレーション結果を Table 3 に示す。ここで X, Z 軸でのトレランスが $\pm 7 \mu\text{m}$ という値は、光ピン挿入後にホール内で X, Z 軸方向に位置ずれが生じて結合効率がほぼ 5% 以内に収まることを示している。またこの表より、Au コーティングを施すことによるトレランス幅拡大の効果は見られないが、マッチングオイルを用いることで、多少トレランス幅の拡大が見られた。

4.3 光結合実験

光ピンと光導波路の光結合について、Fig. 11 に示す実験系で実測した。光ピンは、GI-MMF の端面に 45 度ミラー加工したものとした。メタルコーティング光ピンは、ミラー面に Au を蒸着させ作製した。光導波路の仕様は、コア屈折率：1.489、クラッド屈折率：1.471、コア径 $40 \times 40 \mu\text{m}$ である。マスク径は (1) $200 \mu\text{m}$, (2) $175 \mu\text{m}$ を作製した。なお、これらのマスクを用いてレーザアブレーションによるホールを作製した場合、テーパ形状のホールが形成され、それぞれ、(1) マスク径 $200 \mu\text{m}$ ：上面ホール径 $220 \mu\text{m}$ 、底面ホール径 $190 \mu\text{m}$ (2) マスク径 $175 \mu\text{m}$ ：上面ホール径 $190 \mu\text{m}$ 、底面ホール径 $175 \mu\text{m}$ となる。このホールにノンコーティングとメタルコーティングの 2 種類の光ピンを挿入して、送受信の結合損失測定を行った。送信は光ピン上部に発光素子を置くことを想定し、光導波路からの光量を測定した。受信はその逆の光ピン上部からの光量を測定した。

測定サンプルは、各ホール径に対して 16 個のホールを設け、おのおの 2 度測定し結合のばらつきを評価した。その結果を Fig. 12, Fig. 13 に示す。なお、示した測定結果は光導波路の伝搬損失、矩形導波路との入射、受光用のファイ

Fig. 12 Coupling loss obtained by a non-coating optical pin

Fig. 13 Coupling loss obtained by an Au-coating optical pin

バとの結合損失を含めない値である。

ノンコーティング、メタルコーティング光ピンどちらも、かなりのばらつきがあった。これは、各ホールの加工、クリーニングの仕上がり具合が異なるためと考えられる。

これらの結果から以下のように整理できる。まず送受信の比較をすると、メタルコーティング光ピンの場合は、送信と受信の結合効率の平均値が同等で、変動幅も同じような分布をしている。一方、ノンコーティング光ピンの場合は、送信に比べ受信の方が結合損失は大きくなっている。またメタルコーティングにより、結合損失が 0.2~1.1 dB 程度改善されている。特に、受信において改善効果大きい。これは、ホールのテーパ角および端面の凹凸による影響が考えられる。すなわち、ノンコーティング光ピンにおいて、受信の場合、光導波路端面から入射された光は光導波路を伝播していく。ホール内の光導波路の出射端が斜めになっており、少し下方に角度を持って反射する。これが光ピンに入射する。出射端面に凹凸があると、出射する光は散乱し、さらに放射角の分散の大きな光束となり、光ピンのミラー面に達したとき全反射条件を満たさず透過してしまう光の割合が増える。これがノンコーティング光ピンの受信の場合において、結合効率が低い原因と考えている。メタルコーティング光ピンの場合は全反射条件を満たさない光でもメタルによって反射するので影響は少ない。この様子

は、Fig. 10のシミュレーション結果からも確認できる。

マスク径 $200\mu\text{m}$ と $175\mu\text{m}$ で作製したホールについて比較をする。まず結合効率の面から考える。Fig. 13に示すようにAuコーティングを施すことで全体的な結合効率の分布はおおむね同等である。最大結合効率をみるとマスク径 $200\mu\text{m}$ の送信側が1.5dB程度と良好な値を得ており、その他も大体2.0dB程度の値であった。このことからマスク径による結合効率の影響は少ないと考えられる。結合効率のばらつきはホール内壁の状態による影響と推測される。実装面から検討すると、マスク径 $200\mu\text{m}$ の場合はホールが大きいいため光ピンが挿入しやすいが、挿入後に位置調整が必要になると考えられる。一方、マスク径 $175\mu\text{m}$ の場合では $200\mu\text{m}$ に比べ挿入しにくい、挿入後の大きな位置調整が不要になるだろうと思われる。

4.4 マッチングオイル挿入による改善

次に、ホール内の間隙へ屈折率が1.50のマッチングオイルを注入し光結合損失の測定を行った。先に述べた通り、ノンコーティング光ピンではマッチングオイルを使用すると屈折率差がなくなることで45度端面で全反射が起きないため、メタルコーティング光ピンのみ測定を行っている。

マッチングオイルを使用することにより、結合損失は送信・受信ともに0.5~2.0dBほどの大幅な改善を確認した。このことからメタルコーティング光ピンの優位性が確認できる。

4.5 解析値と測定値の比較

マスク径 $200\mu\text{m}$ の場合について、シミュレーション結果と実験結果を用いて比較を行った。実験サンプルにおいては理論的なテーパ角および、円筒断面に凹凸がある形状で、解析モデルと多少条件は異なるものの、全体的な傾向を知るためには有効である。メタルコーティング光ピンの場合、シミュレーション値に比べ、実験値が最大結合効率で0.5~1.0dBほど結合損失が大きいが、マッチングオイルを使用することでほぼ同等な結果を得た。これは、シミュレーション値は理想的な条件で結合効率を算出しているのに対し、測定値は加工荒れや、光ピンのあおり、光導波路のコアと光ピンの軸ずれなど、さまざまな損失要因が加味されている。しかし、マッチングオイルを使用することにより、それらの損失要因が和らぎ、理想的な条件に近づいたものと考えられる。

ノンコーティング光ピンでは、受信の場合に実験値よりもシミュレーション値の方が大きな結合損失となっている。これは、4.3節でも少し触れたがホールのテーパ角が影響していると考えている。シミュレーションのホールは72度のテーパ角を有する光学的な面としてしているが、実験においては、作製したサンプルによって角度は異なりホール端面の凹凸もある。このため、ホール内の光導波路端面から放射される光が、光ピンのミラー部の全反射条件を満たす光束の割合が大きくなったためと考えられる。

メタルコーティング光ピンでは全反射条件を満たさなくなった光もAu膜により反射するため、ホール内壁の凹凸の影響がない。また、光ピンがホール内で傾いていたとも考えられる。Fig. 14に光ピンを5度傾けたときのシミュレーション結果を示す。5度傾けると受信の結合損失は6.6dB改善した結果から推測できる。

4.6 光ピンの回転による影響

光ピンが円柱形状の光ファイバである場合、光導波路との結合においては光ピンが回転し、ミラー面が光ピン内の光導波路端面と正対しなくなると結合損失が大きくなる。そこで、光ピンの回転に対する結合効率の変化を測定した。実験系は、先に示したFig. 11と同じである。用いた光ピンは、コア径 $50\mu\text{m}$ のGI-MMFの端面を45度に加工したものである。この実験では端面にアルミを蒸着したメタルコーティング光ピンを用いた。アルミニウム蒸着後に光ピン45度面での損失は約0.3dBであり、Auとほぼ同等の特性である。また、光導波路側は4.3節で使用したマスク径 $200\mu\text{m}$ のホールのものである。光ピン挿入時の光結合損失が、送信・受信いずれも3.8dB程度となったところを基準として、光ピンの軸を中心に回転させ、光結合損失の変化を測定した。

実験結果をFig. 15に示す。グラフより最小結合損失から1dBダウンするまでの光ピンの回転に対するトレランスは、送信側が $\pm 8\text{deg}$ 程度に対して、受信側は $\pm 13\text{deg}$ 程度と大きい。送信側と受信側トレランスの差の原因としては、送

Fig. 14 Calculated results when the non-coating optical pin inclines by 5-degrees

Fig. 15 Coupling loss vs. rotation of optical pin

信側は光ピン回転によってホール内で光ピンから出射する光束に角度がつき、光導波路側のNAを満たさない光が増えるためと考えられる。

5. 結 論

光ピンを用いた光SMTの有効性を確認するため、導波路上に設けたホールと光ピンとの挿入結合特性を検討した。光ピン挿入のためのホールを、光導波路上にレーザアブレーションを用いて作製した。加工後のホール内の汚れは酸素プラズマアッシングによるクリーニング処理を施すことによって、ホールの光学特性は3dBの損失改善を確認した。しかし、ホール内の凹凸形状が光ピンと光導波路との結合損失に与える影響が大きいため、ホール内へマッチングオイルを充てんすることが必要である。このため、45度ミラー面へメタルコーティングを施した光ピンを作製し、検討を行った。ホールへのマッチングオイル充てんと、光ピンへのメタルコーティングの両者を採用することにより、結合損失の大幅な改善を得た。回転特性においては導波路への入射位置ずれの影響で送信側と受信側に差が生じているが、 $\pm 8\text{deg}$ 程度の比較的大きなトレランスを得た。これ

らの結果、光ピンの光表面実装技術への適用性が十分高いと考えられる。

謝 辞

本研究の一部は、NEDOプロジェクト「超高密度電子SI」の再委託を受けている。

(2003.12.22-受理)

文 献

- 1) 三上 修, 内田禎二: “光表面実装技術の進展”, 電子情報通信学会論文誌C, Vol. **F84-C**, No. 9, pp. 715–726, 2001
- 2) T. Uchida and O. Mikami: “Optical surface mount technology”, IEICE Trans. on Electron, E-80-C, pp. 81–87, 1997
- 3) 佐藤隆志, 伊藤裕一, 小川義雄, 三上 修, 内田禎二, 赤澤 優: “光SMT向けマイクロミラー付きピンによる90度光路変換”, Optics Japan 99, 23pB18, 1999
- 4) 村田佳一, 宮里健太郎, 渡邊則利, 三上 修, 市村 顕, 平松星紀: “面発光レーザと45度ミラー付きファイバとの光結合”, 電子情報通信学会技術報告, Vol. **102**, No. 188, pp. 15–18, 2002