

光電気混載基板上への光素子の接続構造

Optical Coupling between Optical Devices and Opto-Electronic Printed Wiring Boards

児島直之* 佐藤俊一郎* 三上 修*² 小川知訓*² 神田昌宏*²
Naoyuki Kojima Syunichiro Satou Osamu Mikami Tomonori Ogawa Masahiro Kanda

概要 近年のチップ間信号伝送容量の不足及びコンピュータ処理速度を制限してしまうピンボトルネック問題を解決する技術として、光配線技術・半導体チップの三次元集積化・無線接続技術などが検討されている。この中で、我々は、光配線を用いた光インタコネクション技術に注目し、光素子-光導波路間を高効率で接続及び実装する光結合器構造の検討を行っている。具体的には、屈折率の異なる紫外線硬化樹脂からなる光結合器を光素子-光導波路間の接続部に形成した構造であるが、今回、FR-4基板に実装したVCSEL上に光結合器を形成し光学特性を調査した結果、その光結合器は、光閉じ込め効果があり、光素子-光導波路間を高効率でかつ高トレランスで接続可能であることを確認した。

1. はじめに

近年、デジタル家電が普及し情報化の流れが急速に加速する中で取り扱うデータ量は増大し、サーバやルータなどといったネットワーク機器の伝送帯域は増加し続けている。また、これに伴い、演算処理システムの向上も必要となってきた。しかしながら、LSIチップ自体の集積度や処理能力はITRSロードマップに沿う形で年々向上し続けている一方で、チップ間での信号伝送容量は不足し、コンピュータの処理速度を制限してしまうピンボトルネック問題が生じている。この問題を解決する技術として、光配線技術、半導体チップの三次元集積化、更には無線接続技術などが検討されている。この中で、我々は、光配線を用いた光インタコネクション技術に注目し、光素子-光導波路間を高効率で接続及び実装する構造の検討を行っている。具体的には、屈折率の異なる紫外線硬化樹脂からなる光結合器を光素子-光導波路間の接続部に形成した構造であるが、今回、FR-4基板に実装したVCSEL上に光結合器を形成し、その光結合器の効果を確認したので報告する。

2. 光インタコネクション技術

2.1 光インタコネクションの構成

現状の演算処理システムでは、LSIチップを中心とした電子部品間の電氣的相互接続で構成されているため、光インタコネクションを用いてこのピンボトルネック問題を解消するには、電気配線と同様の手軽さで光配線である事を意識せずに相互接続を実現する事が重要である。これまでの接続に関する概要を図1に示す。

例えば伝送機器における電子部品及び機器間の相互接続は、チップ、パッケージ、モジュール、ボード/カード、バックブ

レーン、ラック、キャビネットといった階層構造になっている。今日、キャビネット-ラックといった機器間での相互接続では光ファイバが使われており、更にはボード/カード間を接続するバックプレーンにおいても光ファイバや光導波路の普及が進みつつある¹⁾。

一方で従来のLSIチップを中心とした電子部品間の相互接続は、近年になってようやくモジュールとバックプレーン間のボード/カード部分においても光ファイバを利用する検討がなされ、実現化に向けた検討が進みつつあるが、依然として電気によるところが大きい。更にチップ、パッケージ、モジュールに関しては、まだ研究段階の状況である。

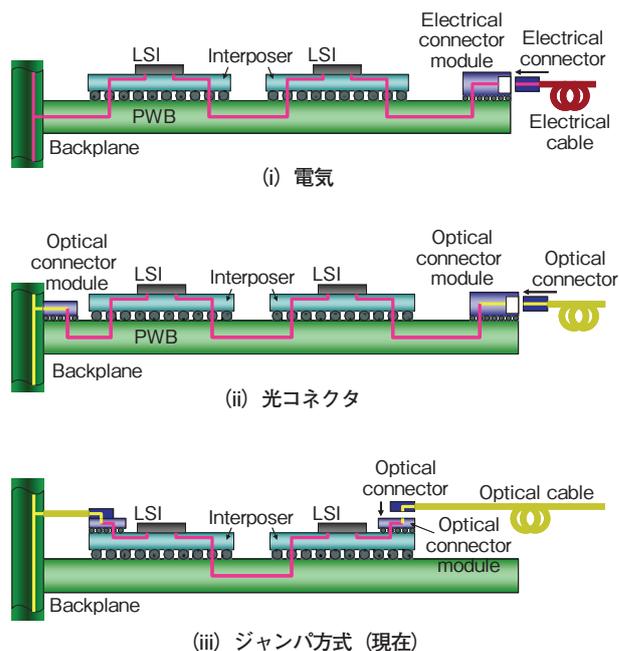


図1 接続に関する概要 (I)
Schematic view of interconnection (I).

* 研究開発本部 環境・エネルギー研究所 部品・実装技術開発部
² 東海大学大学院工学研究科

2.2 光電気混載基板

このチップ、パッケージ、モジュール周辺における光化の方式に関して検討してみると、図2 (i) 及び (ii) に示すようなジャンパ方式の延長の場合と光導波路を基板に組込んだ光電気混載基板方式が考えられる。まず、ジャンパ方式の延長の場合図2 (i) ではこれまでのファイバとコネクタを利用した技術の延長上にあるといった技術開発側でのメリットがあるが、基板の上の限られたスペースに多数のファイバ若しくは光導波路が存在することになり、取り扱い及び放熱性の問題が生じてしまうといった設計及び組立を行う利用者側でのデメリットが生じる可能性がある。一方、光導波路を組み込んだ基板上に光素子やパッケージ更にはモジュールを搭載し光接続を実現する光電気混載基板方式の場合図2 (ii) では、取り扱い及び放熱性ともに従来の電気基板と同様であるため、電気配線と同様の手軽さで光配線である事を意識せずに相互接続を実現する事が可能となるといった利用者側のメリットが大きく、信頼性の課題が解消されれば、将来的には導入が進むといわれている。しかしながら、光電気混載基板方式を掘り下げていくと、実際にはこの信頼性の課題のほかにも、光学特性上光素子と光導波路間を高効率で光接続する必要がある事、実装装置の精度上大きなトレランスが必要である事、使用環境上実装後に確実に封止する必要がある事などの課題が生じている。つまり、単に光素子を光電気混載基板上に表面実装しただけでは実現できず、上記の課題を解消して初めて電気配線と同様の手軽さになるといえる。このように、開発課題が多いためか、この光電気混載基板上への光素子の実装構造に関しては、あまり検討されていないのが実状である。

そこで我々はこれらの高結合効率や高トレランスを実現するため、屈折率の異なる二つの紫外線硬化樹脂とフォトマスクを利用して、光素子上及び光電気混載基板の光入出部に光導波機能をもつ光結合器を形成した構造を提案している。今回、FR-4基板上に光素子を実装したモジュールの光素子上に光結合器をフォトマスク転写法により作製した。また今回作製した結合器を用いてその光学特性を測定し、光結合器構造の効果を確認した。

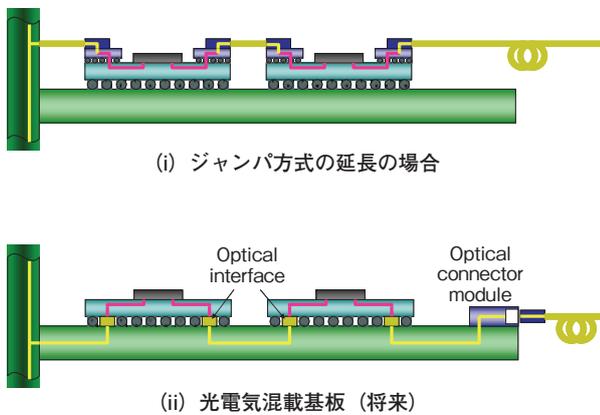


図2 接続に関する概要 (II)
Schematic view of interconnection (II).

3. 光結合器

3.1 光電気混載基板上への光素子の実装構造

図3に今回想定している簡易のモデルと試作例を示す。これは光素子及び駆動IC (Driver, TIA) が搭載されたモジュールが光電気混載基板上に実装された構造になっている。光素子は一般的に受発光面に電極が形成されている事が多いためモジュールに実装される場合にはワイヤボンディングが必要となる。その際ワイヤボンディングのループ高さは少なくとも数十~百ミクロンの高さが必要になるため、光素子の受発光面と光電気混載基板の光入出部の距離はかなり長い距離が必要となる。更に光素子よりも厚い駆動ICが実装される場合は、モジュールをキャピティ構造などにしても更に距離が必要となることもある。また、光電気混載基板にはモジュールを搭載するための電気回路を必要とするため、光導波路上に最低限の回路パターンが必要となり、更にその表層回路を保護するためのレジスト層も必要となる。また、実装後も、ボンディングワイヤや光素子を保護するための封止も必要となるため、更に十分なクリアランスが必要となってしまった。したがって、図3にあるように光素子の受発光面から光導波路のミラー面との実質的な距離は、数百ミクロンになる事が想定されるため、大きな結合損を生じることが予想される。

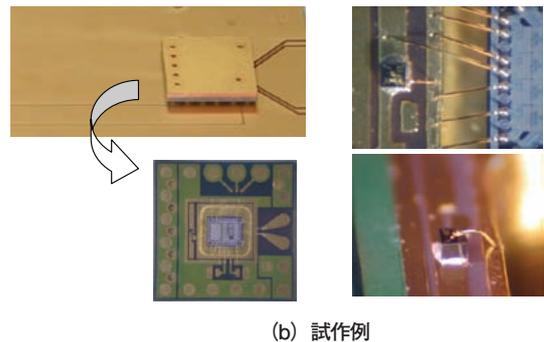
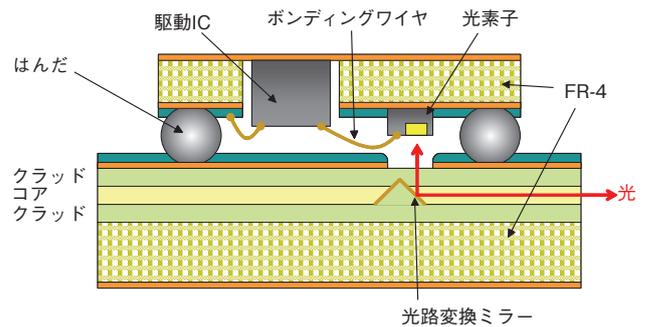


図3 実装構造
Mounting structure.

そこで光素子上及び光電気混載基板の光入出部に、図4にあるような光導波機能を有する光結合器を形成することで、散乱する光を光結合器に閉じ込め、効率よくしかも高トレランスで光素子若しくは光導波路に入射させる事が可能となる。

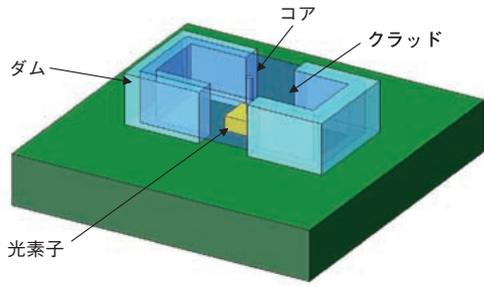


図4 光結合器
Optical connector.

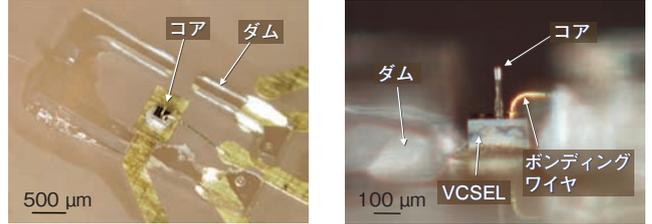
3.2 作製方法

今回提案している光結合器を光素子が搭載されたモジュール基板上へ形成する際の具体的な作製方法を図5に示す。なお、使用するフォトマスク図5(a)と紫外線硬化樹脂はそれぞれコア用、クラッド用の2種類を用意する。

3.3 外観, 形状

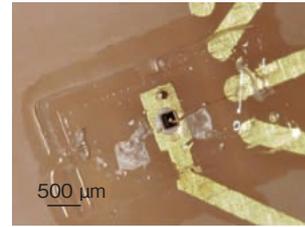
図6(a)(b)にコア・ダムを作製後のサンプル写真を示す。なお、本試作におけるコア・ダム材には屈折率1.569、クラッド材には屈折率1.542のアクリル系光硬化樹脂を用いた。作製したコア径は30 μmである。(c)の写真はクラッドまで充填した今回提案している光結合器である。クラッドサイズは、1000 μm × 4000 μm × 高さ500 μmである。図6(c)の写真から、

VCSEL発光スポット上にピンポイントで作製されたコア及びボンディングワイヤがクラッドで覆われていることが確認できる。なお、今回の試作は光結合器の効果を確認する事を目的とし、パワーのみの評価を行うため、駆動ICは必要としない。そのため、今回は電源を供給するための配線パターンしか形成されていない専用のモジュール基板上に作製した。



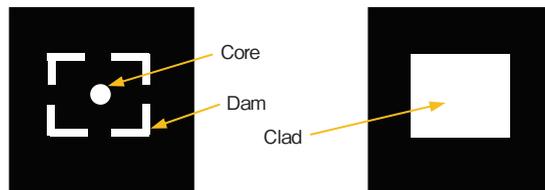
(a) コア・ダムのみ

(b) コア・ダムのみの側面



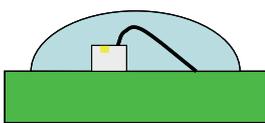
(c) クラッド充填後

図6 外観
External view.

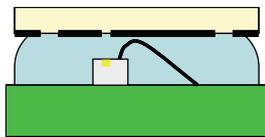


(a) フォトマスク

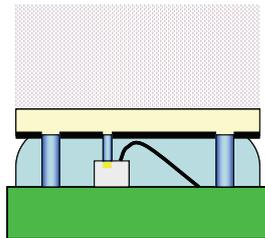
(第1工程：コア・ダム作製工程 ①～④)



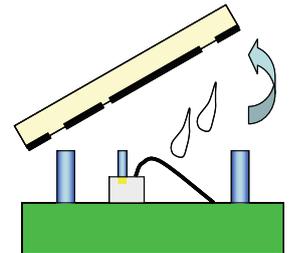
① 光素子上に光(UV)硬化樹脂を充填。



② コア・ダム用フォトマスクを設置。

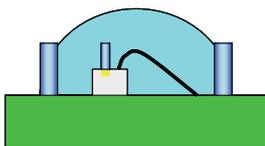


③ フォトマスク上から紫外線を照射。

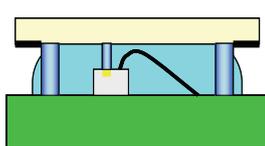


④ フォトマスクを取り外し、未硬化の光硬化樹脂を洗浄。

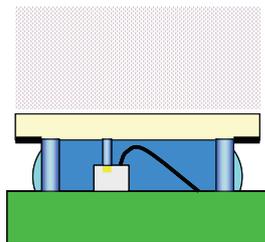
(第2工程：クラッド作製工程 ⑤～⑧)



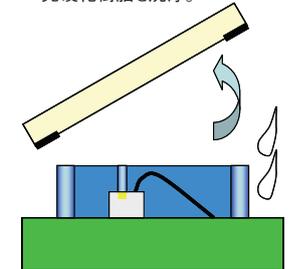
⑤ クラッド用紫外線硬化樹脂をコア・ダム間に充填。



⑥ クラッド用フォトマスクを設置。



⑦ フォトマスク上から紫外線を照射。



⑧ フォトマスクを取り外し、未硬化の光硬化樹脂を洗浄。

(b) 作製方法

図5 光結合器の作製方法
Method of preparing optical connector.

4. 光学特性

4.1 測定系

図7に光学特性を測定した評価系を示す。VCSELが搭載され光結合器が形成されたモジュール基板にレーザドライバから給電し、VCSELを直接発光させ、光結合器を通して出射された光をNFP測定器にて光強度分布を観測、更にNFP測定器をGI-MMFとパワーメータに置き換えてI-L特性及び結合トランスを測定した。

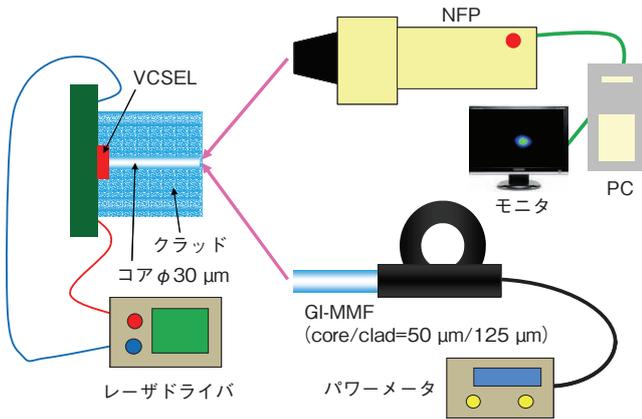


図7 測定系
Measurement system.

4.2 光学特性

その結果のNFP及び光強度分布を図8に示す。(a)にはコアのみの場合とクラッドまで充填したときのNFPを、(b)には(a)で示したNFPにおけるX軸上での光強度分布を示す。クラッドまで充填された結合器の場合でも、コアからクラッドに弱い漏れ光が観測されるもののコア部に光が集中していることが確認できる。ともに光出力はコア径30 μmの中にピークがあることから、光線はコア内に閉じ込められて伝搬していると考えられる。また、コアからの漏れ光も非常に弱いことが確認できる。なお、コアのみの場合とクラッドまで充填した場合とで光強度のピークが異なるのは、クラッドを形成した際のフォトマスク高さの関係で、コア表面にクラッド材が薄く覆われたことで光が散乱してしまうことや紫外線硬化樹脂の比屈折率差 Δn の違いで生じる光伝搬モードの変化によるものと考えられる。しかしながら、提案している光結合器はコア径30 μm中に光出力のピークがあることから導波路として機能していると考えられる。

次にGI-MMF (core/clad=50/125 μm)を用いてI-L特性の評価を行った。ファイバの位置を調整し、最も結合効率の高くなった箇所固定して測定を行った。測定に使用したサンプルは、比較のためコアのみのもの、クラッドで囲まれた光結合器、及びVCSEL単体の3種類とした。I-L特性の測定結果を図9に示す。この結果、光結合器とコアのみとの比較では、同程度の光出力が確認できるものの、光結合器の場合のほうがやや低い値となっている。光結合器がコアのみより低下した理由としては、前述と同様、クラッド形成時にコア表面がクラッド材で薄

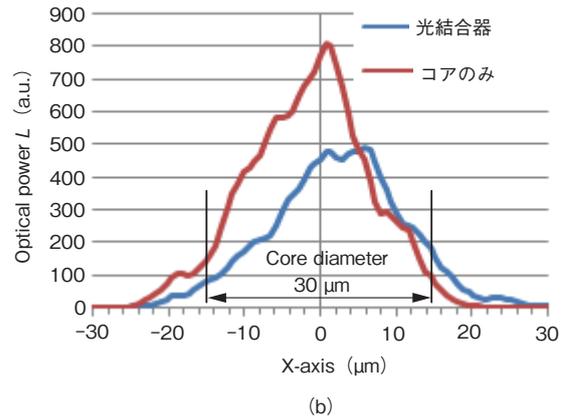
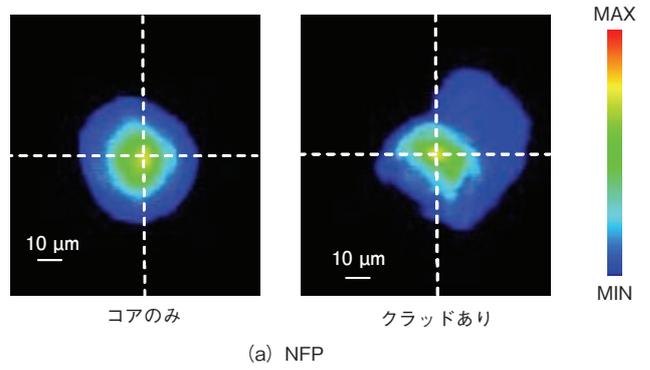


図8 NFP及び強度分布
NFP and intensity distribution.

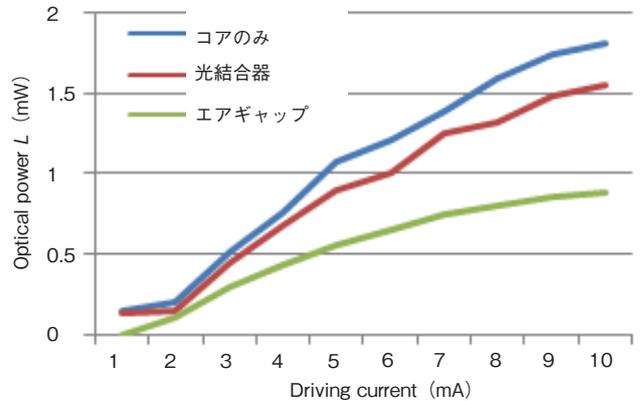


図9 I-L特性
I-L curves.

く覆われたことで光が散乱してしまうこと、材料の比屈折率差 Δn の違いで生じた光伝搬モードの変化によりもれ光が増加しGI-MMFとの結合損が増加すること、更にはクラッド形成時にコアが傾いてしまっている可能性等が考えられる。また、光結合器とVCSEL単体の場合との比較では、光結合器の光出力が大きく向上している。これは、VCSEL発光面上に導波路が形成されたことにより、光が周囲に放射されにくい状態で伝搬しているためや発光面で生じていた反射(発光面-空気)の影響が減っているため、光強度が大きくなっていると考えられる。以上のことより、今回提案している光結合器の有効性が確認で

きる。

次に、GI-MMF (core/clad=50/125 μm) を X 軸方向に移動して、光結合効率の 1 dB ダウントレランスの測定を行った。図 10 に結果を示す。光結合器の 1 dB ダウントレランス幅は -15 ~ +14 μm という結果が得られ、提案する光結合器が広い位置合わせトレランス幅を有していることが確認できた。

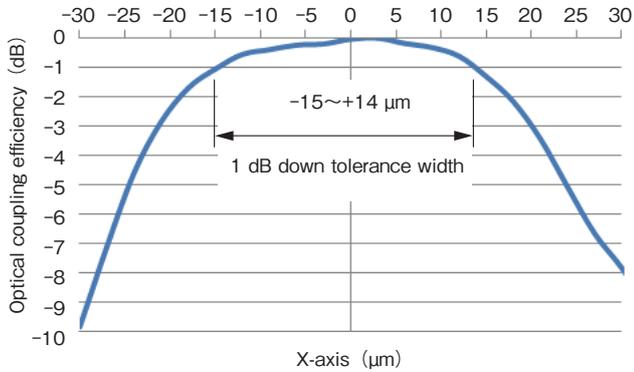


図 10 トレランス
Positional tolerance.

5. 解析による光結合効率の検討

図 4 で提案した光モジュールと光配線板との接続構造に関する検証の一例として、光モジュール同士を接続した場合のトレランス幅について光線追跡法を用いて解析を行った。解析モデルを図 11 に示す。樹脂の屈折率はコア: 1.569, クラッド: 1.542, 光源の拡がり角(全角)を 20° とし解析を行った。図 12 に解析結果を示す。この結果より、1 dB ダウントレランス幅は +19 ~ -19 μm と広く、光モジュールとして高いポテンシャルを有していることを確認した。

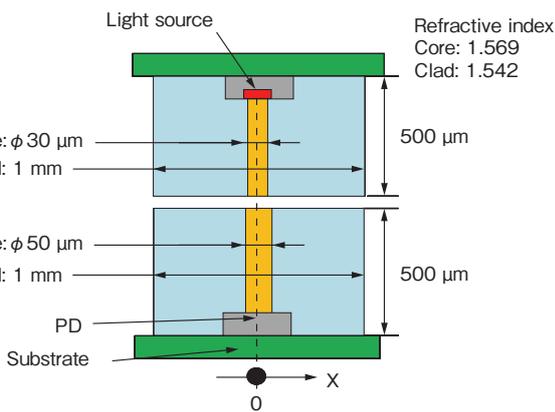


図 11 解析モデル
Image of analysis model.

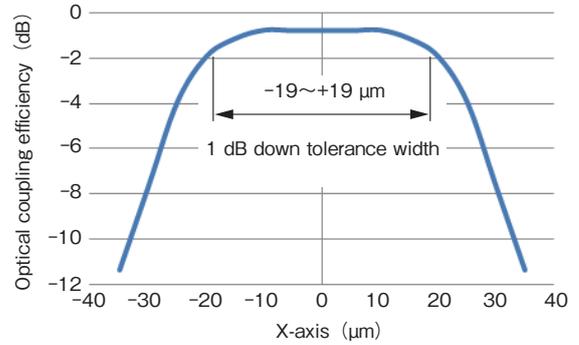


図 12 解析結果
Analysis result.

6. おわりに

光素子-光導波路間を高効率で接続及び実装する光結合器構造を提案し、一例として光素子を搭載したモジュール上に紫外線硬化樹脂を用いて実際に光結合器を作製した。また、その光学特性に関する測定及び解析を行い、モジュールの光素子の受発光部上及び光電気混載基板の光入出射部に光結合器を配置した場合の効果を検証することができた。また、この光結合器を使用した光配線板との接続構造の検討から、広い位置合わせトレランス幅が得られることが確認できた。

参考文献

- 1) エレクトロニクス実装学会 光回路実装ロードマップWG編「光インターコネクション普及に向けての提言(光回路実装技術ロードマップWG 2008年度版)」(2008年10月9日)
- 2) 小川知訓, 神田昌宏, 三上修, 児島直之, “自己形成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” 第23回エレクトロニクス実装学会講演大会講演論文集, pp.97-98, Mar.2009