光・電気プリント配線板をベースとした光表面実装技術

三上 修*

Optical Surface Mount Technology Based on Opto-Electronic Printed Wiring Board

Osamu MIKAMI*

*東海大学工学部通信工学科 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117)

*Faculty of Engineering, Tokai University (1117 Kitakaname, Hiratsuka-shi, Kanagawa 259-1292)

1. はじめに

100兆円を越える市場規模が予測されているマルチメディア時代には、情報ニーズの高度化・多様化、デジタル化が進み、ネットワークを介して流通する情報は現在とは比較にならないほど増大すると予測されている。この膨大な情報を円滑に伝送・処理するためには、通信装置やコンピュータの処理能力を飛躍的に向上させる必要がある。情報量の飛躍的拡大に対処する手段として、銅線ケーブルに比して数万倍の情報伝送容量の光ファイバを中心とする光エレクトロニクス技術への期待が大きい。

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で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。これらについては、本講座「絵解

き・光実装技術入門」において、詳しく述べられてきた。

では、近未来の光実装はどういう姿になっているだろうか？ 本稿では光実装技術の階層のなかで特にボードレベルの実装がもつ課題に対して、一つの有望な解決策として、著者らが検討している光・電気（OE）プリント配線板をベースとした光表面実装技術（光SMT：Optical Surface Mount Technology）^{1)~3)}について紹介する。

2. 階層別の光実装技術

図1に示した光エレクトロニクス実装の階層構成を参考にして、階層別の光実装技術をざっと眺めてみよう。まずLSIチップ内での信号接続の危機が指摘されている。LSIの超高速化、高密度化の進展とともにチップ内部における信号接続に遅れと減衰が生じる。LSI上の金属配線抵抗は微細化とともに上昇し、かつ増大する配線容量とともに大きなRC時定数となり、信号の遅れは著しくなる。この第1階層のチップレベルに、光接続の導入が検討されている。

図1. 光実装の階層構成

第2階層のデバイスレベルでは、共通の基板上に複数の光子素子をアライメントフリーで設置する構成が研究されている。例えばPLC（石英系プレーナ光波回路）を基盤（プラットフォーム）として、半導体レーザやフォトダイオード等を直接搭載するハイブリッド光集積技術への関心が高まっている。従来は結合レンズ等を介して、空間的に光結合するものが実用的に多用されていた。この場合、光固有の位置合わせ困難さのため、アライメントに要する労力はきわめて大きく、コスト増大の主因であった。半導体レーザ構造に新たな工夫を加えて、レーザ光のスポットサイズを変換する機構を付加し、光固有のアライメントの困難さをできるだけ軽減して、レンズ不要で光ファイバや光導波路と直接結合する研究が進展した成果である。

コンピュータや交換機などでは、セラミック基板上に多数のLSIチップが並べられている。これらのチップ間を光導波路で結ぶ方式が、第3階層の光技術として検討されている。銅ポリイミド配線板をベースに、フッ素化ポリイミド光導波路を積層一体化した光・電気混載配線板を用い、半導体レーザフォトダイオードとLSIをマルチチップモジュール（MCM）実装した例がある。高速データ通信や高精度画像通信等を含む将来のマルチメディアサービスの実現には、広帯域性・高密度性などの特徴を有する光導波路インタコネクションを融合させた電気・光混載型MCMが有力と考えられている。

第4階層のボード上には現在、図2に示すようなファイバビッグテール方式（ファイバを接続した構造）の光デバイス／モジュール等を実装することが主流となっている。光技術がアクセス系、光交換、光情報処理に進むにつれて、ボード上に搭載される光デバイス／モジュールの数が増加すると予測される。この結果、個々のデバイス／モジュールに接続されているファイバの余長でボード上は埋め尽くされ、取り扱い性、寸法、故障率、経済性などの点から、深刻な問題になる。それにもかかわらず、この第4階層（第3階層の一部を含む）のカード／ボード上への光デバイス実装が従来ほとんど研究されていなかった。その意味で、著者らは光表面実装技術（光SMT）を提案し検討を進めてきた。光表面実装技術については後の節で詳述する。

図2. 第4階層の問題

最もニーズが顕在化しており、かつ経済的にも電気インタコネクションを凌駕しうると考えられているのが、第5階層と第6階層での光インタコネクションである。ボードのスループットが増大するにつれて信号配線がシステム性能向上のボトルネックになりつつある。また接続本数の増加に伴い内部でのケーブル敷設が困難になり、ケーブルから放射される電磁ノイズも問題となる。これらの解消のため注目されているのが光インタコネクションである。コンピュータや交換機等のユニット間の接続で大量に使用されている同軸ケーブル束を多心光ファイバで置き換え、高速・高密度配線を軽量・細径で実現することを狙っている。

3. 光・電気（OE）プリント配線板

一昔前のラジオを分解すると、アルミでできた「シャーシ」と呼ばれるケース内部では、たばこサイズの電気抵抗やコンデンサがはんだと銅線を使い、空中配線で接続されていた。真空管からトランジスタの時代まで同じ実装技術が使われてきた。しかし現在では、多くのパソコンや電気計測器の中では、プリント配線板とよばれる厚さ1-2mmの樹脂基板に銅線代わりの銅板回路が焼き付けられ、そこに超小型の電気部品やLSIが表面実装されている。表面実装とは、プリント配線板の表面に形成された線路に、ロボットなどによって自動的に位置合わせされた電気部品をはんだのリフローによって接続固定することを可能にした技術である。エレクトロニクス（電気）実装に関わっておられる読者はこの技術に詳しいと思う。

さて電気信号を伝える銅線に加えて、光信号を伝える光導波路を共通の基板上に形成したものが、光・電気（OE）プリント配線板とよばれるものである。先に述べた光・電気（OE）混載配線板がひとつの例である。将来、光エレクトロニクス実装技術が進展すれば、プリント配線板の大半はOEプリント配線板になるだろう。この意味で、プリント配線板を生産されている企業も光実装技術が何かを習得される必要が生じると思われる。

4. 光表面実装技術（光SMT）の基本概念

それでは本論の光表面実装技術（光SMT）について説明しよう。これは、電子回路の表面実装技術（SMT）に対応するボードレベルでの新しい光実装技術である。今後の光エレクトロニクスの量的拡大に対応するためには、生産現場での調整や組み立てに要する工数を削減し、さらに様々なニーズに即応する設計や個別部品の事前検査が可能でなければならない。このようなことを考慮した場合に、光SMTは以下の基本条件を具備する必要がある。

- (1) 光デバイスと電子回路を組み込んだOEデバイスと、光導波路と電気配線で構成されたOEプリント配線板を主要構成部品とする。

(2) OEデバイスを光・電気プリント配線板に挿入・固定するだけで、光および電気接続が行われて、かつ調整工数を必要としない構造とする。

(3) 光・電気プリント配線板は光導波路および電気配線を同一基板上に有し、基板の主要材料は非結晶材料で経済的なものが望ましい。

上記の基本条件を満たした光SMTの基本概念図を図3(a)に示す。光・電気デバイスの底面には位置決め用のガイドピンが付いており、これをOEプリント配線板のかんごう孔に差し込むだけでOEデバイスの光入出力端子および電気端子が、OEプリント配線板の光導波路と電気プリント配線にそれぞれ結合される。図3(b)に断面構造を示す。電気配線は従来と同じく基板表面に作成され、光導波路はキズや汚れ防止のため基板表面より内側に作成されている。

光SMT用OEデバイスパッケージの基本型には、図4に示すような2種類が考えられる。(a)は基板を伝わってきた光がパッケージ内をスルーで通過するタイプである。光アイソレータ、外部光変調器、あるいは光増幅器等のデバイス用である。(b)は光送受信器用のパッケージである。基板を伝搬してきた光信号はパッケージ内の光検出器でO/E変換され、さらに内蔵された電子回路によって電気的な処理を行った後に、半導体レーザや発光ダイオードを用いてE/O変換し光信号が出力される。

OEプリント配線板に要求される条件は、高性能な光導波路と電気回路が同一基板上に製作可能で、数十cm程度の大型基板が経済的に製作可能でなければならない。さらに、光導波路とOEデバイスを光学的に結合させるためには、光導波路を伝搬してきた光ビームを、基板表面に垂直な方

向に出射させる光路変換の構造を有していなければならない。これらのことを考慮すると、OEプリント配線板の構成方法として次のような候補が考えられる。

- (1) 半導体（シリコン）基板上に形成された石英の光導波路
- (2) 多成分ガラス光導波路
- (3) 高分子光導波路

上記(1)は低損失な光ファイバ製作技術を平面光導波路に応用したもので、2.2節で紹介したPLCと呼ばれるものであり、多様な光導波回路が製作されている。(2)は、二重イオン交換法によって、内部の屈折率が分布をもつ高性能な光導波路が製作できる。(3)については前述したようなポリイミド光導波路による光・電気混載型配線板が注目される。製作可能なサイズ、量産性や経済性を考慮すると、(3)の高分子系がOEプリント基板の構成方法として有望だと思われる。

5. 光SMTの試作結果

OEプリント配線板に微細加工用のマイクロ加工装置によって45度の切り込みを入れ、基板と空気との屈折率の違いを利用した全反射面を形成する方法がいくつか検討されている。一つの方法を図5に示す^{1),3)}。図6に作成されたミラーの断面を示す。45度の先鋭化したエッジ部分に欠けの発生はなく、加工面もまったく傷のない鏡面に近い状態が実現されている。光が全反射する様子をシミュレーションした結果を図7に示す。マルチモード導波路や基板の材質によっては、全反射しない光成分も存在することがある。この分は光パワーの損失となる。平行ビーム型の基本パッ

図3. 光表面実装技術の基本概念(a)と断面構造(b)

図4. 光SMT用OEデバイスパッケージの基本構造

図5. マイクロミラーの作製方法

図6. 作製されたマイクロミラーの断面写真

図7. 光が全反射する様子

ケージとしては図8に示す偏光無依存型の光アイソレータを組み込んだOEデバイスが試作された。また、図9のような半導体レーザおよびフォトダイオードを内蔵した送受信型光パッケージの試作も試みられている。

6. むすび

光エレクトロニクス実装技術を展望するとともに、新しく提案された光表面実装技術（光SMT）について紹介し、その実現性を検証するための2, 3の試みについて述べた。

最近、光インタコネクションを含めて光エレクトロニクス実装技術に関心が寄せられ、エレクトロニクス実装学会、電子情報通信学会等での主要な研究テーマとして取り上げられている。光エレクトロニクスの応用範囲の拡大とその技術の高度化に対応できるよう、飛躍的革新につながる技術の開発が求められている。(1998.9.30-受理 1998.10.26-再受理)

図8. 光アイソレータ内蔵OEデバイスの構造

図9. 送受信型OEデバイスのスケッチ

文 献

- 1) T.Uchida, et al.: "Optical surface mount technology", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.31, pp.1652-1655, 1992.
- 2) 内田 禎二, 三上 修: "光表面実装技術 (光SMT)", 回路実装学会誌, Vol.10, No.5, pp.346-350, 1996.
- 3) T.Uchida and O.Mikami: "Optical Surface Mount Technology", IEICE Trans. on Electronics, Vol.E80-C, No.1, pp.81-87, 1997.
- 4) 市村 顕, 三上 修, 内田 禎二, 吉村 了行, 疋田 真: "光表面実装向け45度ミラー付き高分子導波路", 回路実装学会誌, Vol.13, No.2, pp.97-102, 1998.
- 5) T.Satoh, et al.: "Coupling of Spot-size Converted Laser Diode to Polymeric Waveguide with 45-degree Micro Reflection Mirror for Optical Surface Mount Technology", IEMT/IMC Symposium, pp.114-117, 1998.

三上 修 (みかみ おさむ)
昭和46年、大阪大学大学院修士課程修了。同年、NTT武蔵野電気通信研究所勤務。昭和60年9月、英国グラスゴー大学客員研究員。平成3年6月、東京大学先端科学技術研究センター寄付部門客員助教授。平成6年4月、NTTより東海大学へ移る。現在、同大学工学部通信工学科教授。光機能デバイスおよびシステムの研究に従事。工学博士。