



光デバイスの実装技術

今井元

(株)富士通研究所 〒243-01 厚木市森の里若宮 10-1

(1994年8月16日受理)

Mounting Technology of Optical Devices

Hajime IMAI

Fujitsu Laboratories Ltd., 10-1, Morinosato-Wakamiya, Atsugi 243-01

1. はじめに

実装技術は一般に搭載されるデバイスの特性を劣化させずにユーザーに提供することが重要であるため、それ自体が先行して開発できるものでない。例えば、LSIにおける実装においても、LSIの集積度があがり、ワイヤボンディングが難しくなると、ビームリードやTAB (tape automated bonding) 実装のような新しい方法が考えられてきた。

光デバイスの実装においても基本的には同じで、デバイスの開発を追いかけるように新しい実装法が考えられている。しかし、光デバイスでは信号として、これまでのLSIと異なり電気信号に加え、光信号も扱うためにその実装を難しくしている。光デバイスとして、半導体レーザーを考えると、光信号の伝送は通常光ファイバを用いるために、半導体レーザーの出力光を光ファイバに結合させることが必要になる。ところが、光ファイバに取り入れられる光の目安となるNA値が小さいために、半導体レーザーからの光を効率良く結合するために、レンズを組み合わせる集光系を構成することになる¹⁾。このレンズの位置合わせの精度がミクロンオーダーと非常に厳しいものとなる。この値が如何に厳しいかは、金属の線膨張係数をみると 10^{-5} なので、1cmの長さのものが、 10°C 温度上昇した時の伸びが $1\mu\text{m}$ ということであるだろう。また、光伝送では最近では10Gb/sと非常に高速の信号を取り扱うために電気的インピーダンスも考慮しなくてはならない。

図1に代表的なパッケージ構造例²⁾を示す。半導体レーザー、光ファイバ、レンズ系(2球レンズ)、光出

力モニター用ホトダイオードからなり、光学軸が温度変動に対して位置ずれを起こさせないように同心円の中心が合うようにしている。

最近、光ファイバを用いてコンピュータ等の装置間を接続しようとする開発が行われている。これは、装置間接続に必要な変調速度が速くなり、配線用の同軸ケーブルでは数百Mb/sの信号を取り扱えなくなったためである。この場合には並列信号を取り扱うために、これまでの光伝送システムのように一本の光ファイバでなく、数本の光ファイバを束ねて使用することになる。光デバイスも単体の素子ではなく、アレイ化されるため、従来の一個の素子の場合のような実装形体では複雑になるため、簡易な実装形体が必要とされる。

ここでは、実装技術ということで光結合系を中心に最近の技術を以下の点から紹介する。

- 1) 半導体レーザーの発光パターンの改良
- 2) 光結合系の固定方法
- 3) 光結合系の簡素化
- 4) 自動化

2. 発光パターンの改善

半導体レーザーの発光パターンの改善は実装を睨んだものということで、これまでの素子特性の改善という開発方向とは意味合いが異なってくる。

光結合効率を上げるためには発光パターンの拡がり角を小さくすることがポイントである。これはまたレンズ系が不必要になるため、光結合系の簡素化に有用となる。図2に発光パターンの拡がり角と結合損失の関係を示す。ここでの光ファイバの先端は平坦なものを仮定し

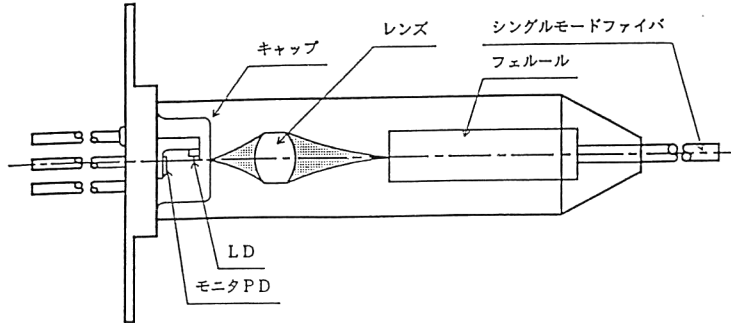


図 1 代表的な半導体レーザーモジュール

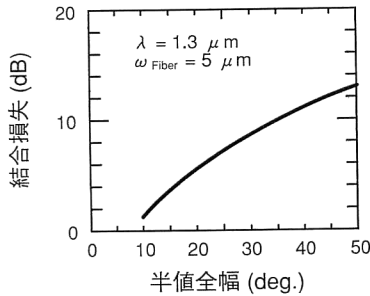


図 2 光結合損失と半導体レーザーの発光パターンの拡がり角

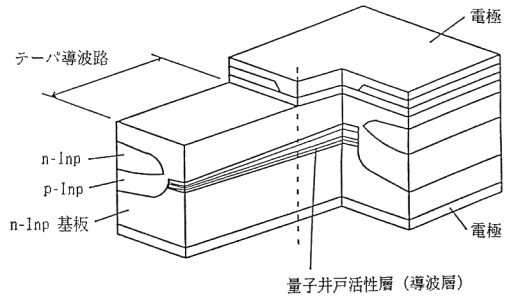


図 3 テーパー導波路付き半導体レーザー

ている。拡がり角が小さくなるほど結合効率が上がることがわかる。

拡がり角が小さいものとして、現状では面発光型レーザーが有力な候補となる³⁾。このタイプのレーザーの場合、2次元アレイ化も容易なためにウエハ間インターコネクションなど、新しい光の応用分野に有効であると期待されている。0.8 μm 帯のレーザーでは 1 mA 以下のしきい値のものも報告され⁴⁾、室温動作も可能になってきている。光伝送システムに用いられている 1 μm 帯ではまだ室温で良好な特性が得られていない。

端面発光型のレーザーでも拡がり角を小さくする試みがなされてきている。現状の半導体レーザーでは発光部の大きさ(近視野像)が 1~2 μm と小さく、拡がり角は 30~40° と大きく拡がっているため、原理的にはこの近視野像を大きくすれば解決されるものとなる。図 3 は最近発表されたもので、半導体レーザーの活性領域に直結した光導波路の厚さが徐々に変わるテーパー部を設けている⁵⁾。このレーザーの静特性でしきい値電流は 10 mA と小さく、発光パターンも ~8° の値が得られている。この構造からわかるようにテーパー部も活性領域にするとレーザー発振のしきい値が上昇するなど短所もでてくるため、テーパー部は不活性領域とし、かつ発生した光を吸収しないようになっている。

このレーザーを用いて光結合を行うとレンズ系を用いなくて光ファイバの先端を球面とかに加工しなくても 3~4 dB の結合効率が得られたと報告されている。今後さらに低しきい値化が図られ、また分布帰還型レーザーへの適応等が望まれる。

3. 光結合系の固定方法

光結合系は従来は図 1 に示したような 1 球レンズのものと、2 球レンズを用いたものが多い¹⁾。2 球レンズの場合半導体レーザーに近い方から第 1 レンズ、第 2 レンズとすると、第 1 レンズは半導体レーザーの直近に固定し、第 2 レンズは光ファイバの保持部と一緒に固定している。この系は、第 1 レンズで半導体レーザーからのレーザー光をできるだけ平行光にして第 2 レンズで集光するものである。このように第 1 レンズと第 2 レンズを別々に保持するのは半導体レーザーを気密に保つためのものである。

この系での位置合わせの精度は第 1 レンズが厳しく、数 μm で合わせる必要が求められる。これは第 1 レンズの位置ずれはレーザー光の進行方向を曲げることになり、第 2 レンズで光ファイバ内へ集光することが難しくなるからである。

このために、基準となる面を例えばパッケージの台に

設定しこれに対して許容角度ずれを設定して、第1レンズ通過後の光ビームを見ながら、第1レンズの位置合わせを行うものである。第2レンズについては光ファイバからの光出力をモニターしながら最大になるように光ファイバの保持部を微動させて合わせるのである。

この方法では光出力をモニターしながら位置合わせを行うので、最終的な光出力を予想しながら実装できる利点がある。また、レーザー光の進行方向を軸に同心円状に各部品を配置しているために、温度変化に対する位置ずれを吸収できる構造になっている。

しかし、実装に必要な装置が多く、また実際に半導体レーザーを動作させながらの工程になるために作業中に半導体レーザーが故障したりして、なかなか高歩留り、低コストとはならないものである。

高い歩留りと低コストにするためには部品点数を減らすこと、また組み立て工程を簡素にすることがポイントになる。前者の方法として例えばレンズの代わりに光ファイバの先端を加工して先球ファイバにすることも考えられる。この場合半導体レーザーを気密に保つためには光ファイバを半田等で封止することになる。光ファイバを損傷させることなく、表面をメタライズすることが必要になる。

半導体レーザーの回りを気密にする必要性があるのは、半導体レーザーチップの端面を共振器面に用いているため、埃・水滴がつくと反射率が変わりレーザー特性を変えてしまうためである。これが、半導体レーザーなど光デバイスの実装を難しくしている一因である。

部品点数を減らしてかつ、組み立てを容易にするには最近色々な工夫がなされてきている。その一つはチップの位置精度を上げて、光ファイバの位置合わせをより簡単にするものがある。

3.1 チップボンディング

次に紹介する方法はいずれも光ファイバの固定に Si 基板に形成した V 溝を用いるものである^{6,7)}。この場合、V 溝は化学エッチングを用いるためにその形状がエッチング液により、結晶の特定の面が出るために精密な加工となる。アレイ素子の場合、光ファイバを精度良く並べることが重要である。図4に示すように光ファイバを固定する V 溝は、V 溝エッチング用マスクを作るホトリソグラフィの精度で決めることができる。この図のように半導体レーザーチップと光ファイバを同一基板上に載せることが多い。光ファイバの位置は上述したようにホトリソグラフィで決まる極めて精度の高い位置決めができるために、残るは半導体レーザーチップを如何に精度よ

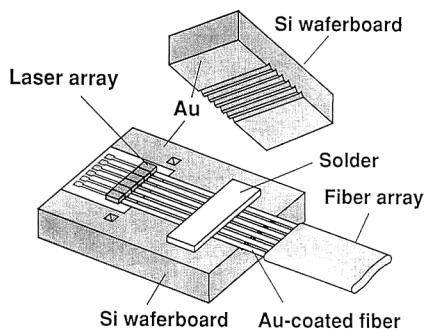


図4 V溝付きチップキャリア

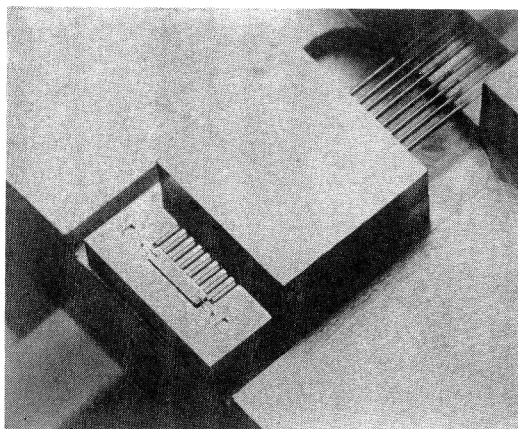


図5 チップキャリアの外観図

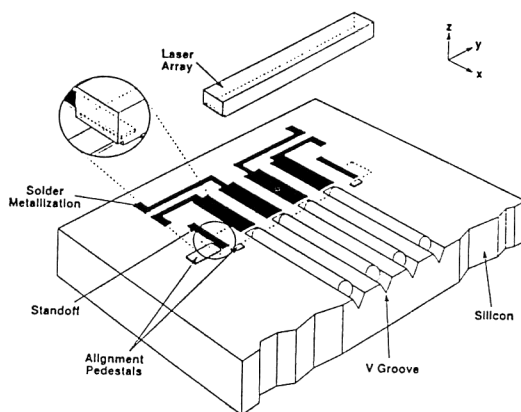


図6 位置合わせ機構付きチップキャリアの例

くボンディングするかにかかってくる。ここでは半導体レーザーをボンディングする面に予め半田材を付けておき、その後レーザーチップを所定の場所に精度よくボンディングしている。Si 基板上とレーザーチップの一部に位置ズレを小さくするために、レーザーチップと Si 基板上にマーカをつけて、あわせることが必要となってい

る。図5にボンディング後の写真をしめす。

図6には別のマーカの付け方の例を示す⁶⁾。この場合はチップの位置ずれを防ぐために、チップキャリアに突起を設けている。この突起部はエッチング等で形成できるように位置精度は高い。ボンディング時にチップを突き当てて固定している。

3.2 光ファイバの固定方法

光ファイバの固定方法で問題となるのは、金属固定をするときである。これまでの図1のパッケージでは溶接固定をしているが、光ファイバとフェルール（保持部）との間は接着材を用いていた。これはフェルール材がセラミックであり、この内側をメタライズして光ファイバとを半田固定することが難しいためである。

パッケージ構造がこのような場合は光ファイバのメタル固定は難しいが、図4に示したようなSi基板にV溝を形成して光ファイバを挟む構造では、半田材料がV溝内に浸透させて予めメタライズした光ファイバ、V溝表面とを接着させることができる。

このような一体構造での利点は半導体デバイスと光ファイバの保持が同じ材料 (Si) でしているために、熱膨張係数が同じになることである。これは環境温度変化に対して強いことを意味している。図7に150°Cまでの温度変化に対する結合効率の変化を示す。図からわかるように130°Cまで、一定な結合効率を得られている。

最近、面発光型デバイスに対する新しい光ファイバの実装法が提案されている⁸⁾。図8に示すように基板に2次元に穴をあけて、ここに光ファイバを挿入する。この基板の反対側にパターン化した電極等に光デバイスをボンディングすればよい。光デバイス側も発光部・受光部ともにホトリソグラフィで規定できるので、相対位置関係は極めて精密に設定できる。実際には、対角の2点であわせることで自動的に全部が位置合わせできるので便利である。平面度を規定して密着すれば、デバイスと光ファイバとの距離も精度よく合わせられるので簡単な方

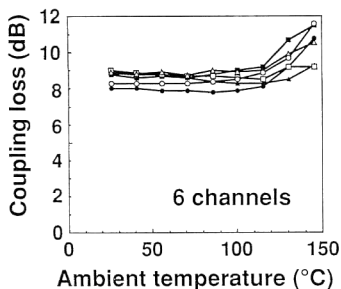


図7 光結合効率の温度依存性

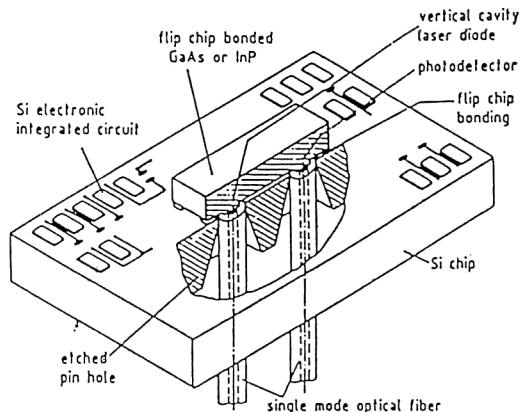


図8 面発光レーザー等との位置合わせ例

法となろう。また、さらに高精度の位置合わせのために光ファイバの中心に凹部を設け、光ファイバの保持部に凸部を設けた構造が報告された⁹⁾。この場合は光ファイバは必ずしも精度よく並べる必要がなく、一本ずつ挿入しても位置ずれが発生しない利点がある。挿入損失は10 dBと大きいのが、簡易な位置合わせ機構として期待される。

2次元アレイでは面での位置合わせとなるために、ホトリソグラフィの特徴を活かせ、実装としていろいろな方法が提案されるものと思われる。

4. 光結合系の簡素化

光ファイバと光デバイスとの結合系はこれまでの例からもわかるように、基本的にはレンズ系を用いるものと用いないものとに分けられる。レンズ系を用いるものでは、1球式、2球式が一般的である。レンズ系を用いないものでは光ファイバとの結合になるが、その場合光ファイバの先端を加工しないもの（バットジョイント）と先球状に加工するものとなる。

半導体レーザーの発光パターンが改良されない、つまり拡がり大きいものではその結合効率は2球式・先球ファイバ > 1球式 > バットジョイントの順になる。

また、部品点数では2球式 > 1球式 > 先球ファイバ・

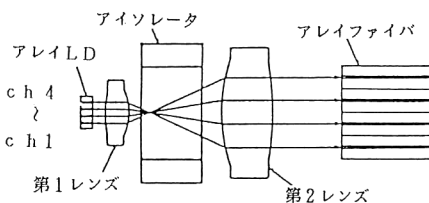


図9 1枚レンズを用いたアレイデバイスの光結合法

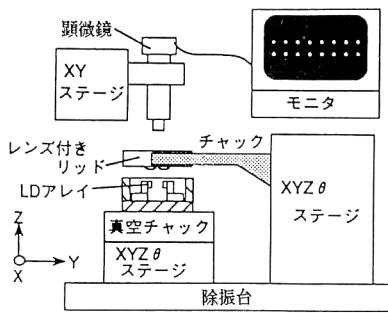


図 10 光結合系の組み立て系例

バットジョイントの順に少なくなる(先球ファイバでは予め加工する手間がある)。結合系を簡素化することでは、バットジョイントが一番であるが、結合効率が良くないこと、気密封止など解決すべき課題があることなど今後の進展が期待される。結合効率については、最初に述べたように半導体レーザーの発光パターンの改善に依存してくる。

アレイデバイスの実装としての簡素化として、レンズを一枚で行う形体が報告されている¹⁰⁾。これは図9に示すように大きなレンズで曲率が各アレイ素子が対応した光ファイバに集光されるようにしたものである。結合効率も 2~3 dB と良好な特性が得られている。

5. 組み立ての自動化

光結合系の組み立て装置と外観を図10に示す¹¹⁾。この図のように、組み立ては一般的には光をモニターしながら行っている。このため、自動化においてはこの人間がやる方法を計算機に覚えさせて各微調整機構を作動させるものとなっているようである。

自動組み立てで上記のような装置を用いない方法¹²⁾が報告されている。これは半田の表面張力を利用するもので、予め半田材をキャリアの所定の場所に蒸着しておく。その後チップを載せ、昇温して半田材を溶かし液状にした時、表面張力により、チップが移動し自動的に位置合わせができるというものである。液体の物性を利用したものとして注目される。

結合系の自動組み立ては低コスト化のためには有効な手段であるが、新しい位置合わせ機構を取り入れた簡易

な自動組み立て装置が望まれる。

6. おわりに

光デバイスの実装法として、光結合部を中心に紹介してきた¹³⁾。光結合部の実装は半導体レーザーと光ファイバの位置合わせの精度が厳しいことが難しくさせているようである。光デバイスとしては半導体レーザーのほかにも受光デバイス、光変調器、光導波路デバイスなどあるが、主課題は光結合のようである。ただし、受光デバイスの場合には光系の課題以外に電気系にも大きな課題がある。受光デバイスとしてのホットダイオードは高インピーダンスで動作されるため、クロストーク、増幅回路の発振などの電気的特性に注意しなくてはならないことである。

最近、ウエハ間の光インターコネクションでは3次元実装などのアイデアが報告されている。これについても基本的にはここでの課題と同じということで省略させていただいた。

現在、情報ハイウェイ等で家庭に光ファイバが導入される計画がマスコミで騒がれているが、光装置の低コスト化が重要となる。ここで紹介した光結合系の簡素化が鍵を握るものと思われる。

文 献

- 1) 参考として、河野健治：光結合系の基礎と応用（現代工学社，1991）。
- 2) 橋 利雄：オプトロニクス，4月，1994。
- 3) H. Soda, *et al.* : Jpn. J. Appl. Phys., **18** (1979) 2329-2330.
- 4) T. Kawakami, *et al.* : 1993 Intern'l Conf. SSDM, LC-9, Makuhari (1993).
- 5) H. Soda, *et al.* : Integrated Photonic Research, PD-3, San Francisco (1994).
- 6) C. A. Armiento, *et al.* : IEEE Trans. CHMT, **15**, No. 6 (1992) 1072-1080.
- 7) K. Miura, *et al.* : OFC '94, TuC4, San Jose (1994).
- 8) T. Wipiejewski, *et al.* : ECOC '93, WeP7.3, Montreux (1993).
- 9) A. Sasaki, *et al.* : IEEE Photon. Tech. Lett., **4** (1992) 908-911.
- 10) 金子進一，ほか：信学技報，**OQE 93-141** (1993) 37-42.
- 11) 結城文夫，ほか：同上，**OQE 93-144** (1993) 55-66.
- 12) M. J. Wale, *et al.* : IEEE Trans. CHMT, **13**, No. 4 (1990) 780-786.
- 13) 中島啓幾：信学会，C-I, J77-C-1 (1994) pp. 352-362.