

光デバイス量産化技術

Mass Production of Semiconductor Optical Devices

UDC 621.382.2 : 621.391.6

三瀬 一明	Kazuaki Mise	研究所 第2開発部
大貫 紳一	Shinichi Onuki	研究所 第2開発部
小野 純	Jun Ono	デバイス事業部 技術部 第3技術部
鮫島 隆博	Takahiro Samejima	デバイス事業部 技術部 第3技術部

1 まえがき

世界的な規模での光波長多重通信(WDM)網の急速な拡大で、光源であるDFB-LDモジュールとErドープ光ファイバアンプ(EDFA)を励起するためのLDモジュールは需要の急増が見込まれている。当社のLDは光通信用計測器への利用を目的として開発されてきたが、MOVPE(Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy)法による活性層構造の最適化とモジュール化技術の向上で市場競争力のある高出力の光源モジュールを実現できた結果、基幹の光通信システムに採用されるようになった¹⁾。光通信システムに採用されるLDモジュールは高性能で信頼性が高いことが第一条件であるが、光通信システムでは大量にLDモジュールを使用するために低価格であることも要求されている。これらの要求に対応するために性能のそろったLDモジュールを高い歩留まりで安定に作製できる量産技術の開発を行っている。本稿では光デバイス量産化に伴う課題について説明し、長波長帯バタフライ型LDモジュールを例に当社で実施した解決策を述べる。

2 光デバイス量産化に伴う課題

LDモジュール製造フローを図1に示す。チップ製造工程、モジュール組立工程、出荷検査工程に分類して、それぞれの技術的な背景を述べるとともに、量産化を目指した課題について明らかにする。

2.1 チップ製造工程における課題

チップ製造工程は結晶成長工程、素子化プロセス、選別工程(一次選別、マウント、二次選別)に大別できる。

2.1.1 結晶成長工程

長波長帯光デバイスでは高性能化を実現するために埋め込



図1 LDモジュール製造工程フロー
LD module manufacturing procedure

み型構造を採用して、3回の結晶成長工程で形成する方法が一般的である。素子性能は、活性層の幅、埋め込み層との相対位置関係、メサ領域近傍の結晶品質等に敏感であり、この埋め込み成長工程における制御が十分でないため、製造ロット間のバラツキを生み出す直接原因となっている。従来、埋め込み成長工程に用いていた技術はLPE(Liquid Phase Epitaxy)法である。比較的簡易な装置であり、良質な結晶を得やすいという利点はあるが、処理できる結晶サイズが小さい、膜厚制御が難しい、結晶面内の均一性が劣る等の問題点もあり、歩留り向上、量産化の推進に大きな障害となっていた。

2.1.2 素子化プロセスおよび選別工程

素子化プロセスのうち、電極形成に関連した工程は、結晶サイズが最大2インチ(直径50mm)までの対応が可能である。従来工程では12mm×15mmのサイズを複数枚一括処理しているため、大きな障害となっていない。電極形成後のウェハは2回のへき開工程を経てペレット化される。ペレット化された素子はパルス電流印加による性能評価を行う。この選別工程では全数を評価しており、検査工程の処理能力の向上、検査時間短縮による工数低減が課題となる。また、半導体チップの大きさは幅が0.4mm、長さが1.0mm、厚さが0.1mmであり、取扱いには顕微鏡とピンセットが必要で、熟練した作業員における作業でも、結晶の欠け、汚れ等による外観不良が約10%発生している。

選別においては外観検査のほか、性能評価および高温通電試験による安定性評価を行っている。素子の性能評価はマウント(チップ組立)工程の前後で実施される。これら工程の早い段階での正確な良否判定による不良品の摘出は、その後の組立コストの低減となる。選別工程では最も有効な測定項目をできるだけ短時間で効率よく行うことが必要である。

2.2 モジュール組立工程における課題

対象としているバタフライ型LDモジュールは高性能が要求されるため、ペルチェ素子とサーミスタによる温度制御機能が付加されている。LDモジュールの内部構造を図2に示す²⁾。ペルチェ素子に接した基板上にLDチップを搭載したチップキャリア、レンズ、光アイソレータ、受光素子の光部品を光軸調整して配置してある。パッケージとペルチェ素子およびペルチェ素子と基板の固定は、フラックスを補助剤としてPbSnハンダで行っている。ペルチェ素子にはあらかじめ両面にハンダ形成が行われているが、入手から使用時までの全期間においてハンダ材料の酸化を完全に防止することは困難であり、

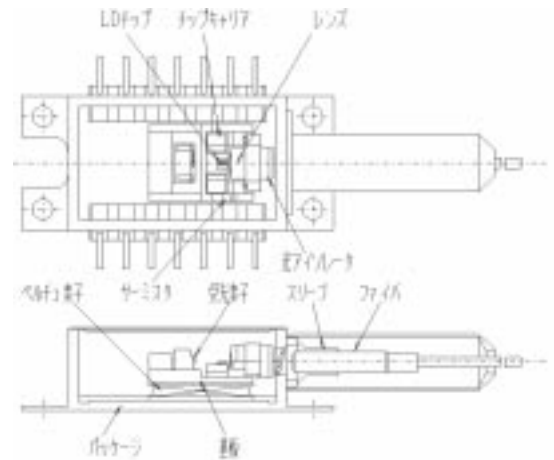


図2 LDモジュールの構造
Schematic LD module configuration

長期安定性の保証のためにはフラックスの使用は必要である。この場合、フラックスを使用することで、作業時にフラックスの微粒子がパッケージ内部に飛散して、LD発光面に付着すると光出力の低下を招く。これを解決するため、モジュール洗浄を標準工程に組み入れている。この工程ではロット間における洗浄効果の再現性を確保することが重要である。

レンズ、光アイソレータ、ファイバの固定はYAGレーザ溶接で行う。特にファイバとLDを最大の結合効率で固定するには、正確な光軸合わせと固定時に軸ずれを生じさせないことが必要である。手動による光軸調整では熟練技術を要するため、作業効率の向上、生産量の拡大を図るのが困難である。

2.3 出荷検査工程における課題

気密封止されたモジュールは最終段階の出荷検査を行う。熱衝撃試験、温度トラッキング試験、エージング試験の順に、合格した素子は次の工程に移る。良否判定は各試験の前後の特性変動に着目して行う。各試験での固定治具は装置ごとに異なったものを使用しているため、各試験の前後でモジュールのセットアップと解除が行われており、検査工程に直接関係のない段取り工数の増加と固定治具のセット時の位置ずれに起因した測定精度の低下が問題である。

3 実施した対策

3.1 チップ製造工程に導入した技術

3.1.1 全MOVPE法による結晶成長技術

結晶成長(埋め込み成長)工程に対し、MOVPE法を用いた埋め込み成長技術を開発した³⁾。MOVPE法で一回の作業に要する時間は約3時間でありLPE法に比べて30分程度長い、成

長層の膜厚やドーピング量の制御性が高く、面内均一性も良好であるため、ロット内およびロット間での性能が揃った素子が得られている。また、一回の成長工程で処理できる結晶のサイズは最大2インチ(直径50mm)であり、LPE法による結晶成長装置の8台分の製造能力となる。

3.1.2 パー状チップ処理技術

選別工程における外観不良の低減、プロセス作業の効率化を推進する上では、個別チップを取扱う工程をできるだけ少なくすることが望ましい。今回、取扱いの単位を個別チップに切り出す前のパー状素子の状態で一括処理するシステムの導入を図った。

素子化プロセス(へき開工程)ではパー状にへき開された段階で素子特性が評価できるように、パー状素子の選別工程用として新たにパーテストを設計・開発した。パーテストの外観を図3に示す。本装置の構成は、一定間隔で横方向にステップ状に移動するステージと、上下移動して素子に電力を供給するための金属ピン、光検出部および特性評価系である。素子の位置情報を収集するための画像処理機能を有しており、一本のLDバーでは最大30素子を処理できる。入力供給はパルス電流で、I-V(電流対電圧)特性、I-L(電流対光出力)特性、スペクトル特性を測定する。電流増加時のステップを低電流域と高電流域で変えることで、測定時間の短縮および微分特性の精度の向上を実現している。特性測定後、不良と判定されたLDは、円形のマーカを電極部に刻印することで、ペレット化された後での識別を容易にしている。素子を治具に装着する時間と測定に要する時間が短縮されたことから、パーテストでの選別工程の能力は、従来のチップ選別機に比べ約2倍に拡大された。

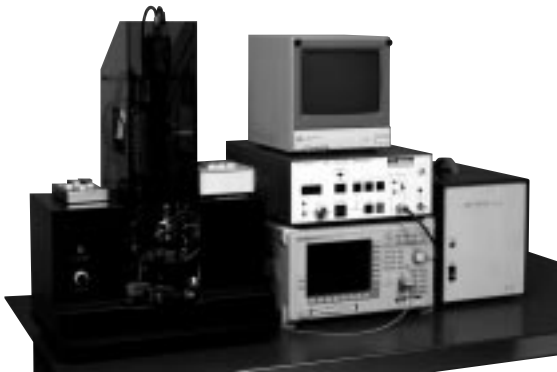


図3 パーテストの外観
External view of Bar-tester

パー状態からへき開によりペレット化された素子はマウント工程に移行する。ペレット化された素子は新たに導入したチップピックアップ装置で真空吸引され、良品のみがトレイに収納される。トレイはそのまま自動マウント装置に持ち込まれ、SiCサブマウント上にAuSnを用いて固定される。これからの工程ではピンセットを使う場合でもサブマウント部分を挟むようにしているため、ハンドリングに起因した結晶損傷による外観不良はほとんどなくなった。

3.2 モジュール製造工程に導入した技術

3.2.1 モジュール自動洗浄機の開発

モジュール自動洗浄機の外観を図4に示す。有機溶剤を充填した3槽構造で、各槽はそれぞれ独立に防爆型のホットプレートで加熱できる。有機溶剤の揮発を少なくするため、ふたは使用時のみ自動開閉する。パケットには一度に最大10個のモジュールを入れることができる。各槽内での浸潤時にはパケットを上下運動させることで洗浄効果を高める工夫がなされ、すべての動きはプログラムで制御される。



図4 モジュール自動洗浄機の外観
External view of automatic module cleaning equipment

洗浄用有機溶剤には、環境問題に配慮してエチレングリコールモノエチルエーテルを使用している。この溶液での最適洗浄温度は80℃であり、洗浄後のリンスにはイソプロピルアルコールを室温で使用する。窒素ブローで乾燥したあと、さらに60℃のアセトンでリンスを行う。最後に窒素ブローで完全に乾燥する。一回の洗浄工程に要する時間は約10分である。洗浄液の定期的交換を実行することで、作業効率が良好で、長期的安定性も保証できる洗浄工程が実現できた。

3.2.2 自動ファイバ固定装置の開発

自動ファイバ固定装置の構成を図5に示す。ファイバおよびパッケージの保持台を可動させる機構部、電気制御装置およびYAG溶接機で構成されている。機構部のステージはパルスモータ制御である。機構部ステージのX、Y軸分解能は0.1μmであり、ストロークは30mmである。Z軸には軸運動の他に分解能0.01°の回転運動機能を付け加え、偏波保持ファイバを使ったモジュールの組立で偏波消光比の保証を可能にした。ファイバの光軸調整には少ない調整時間でピークサーチを可能にした制御アルゴリズムを使ってファイバからの出力をモニターしながら実行される。標準的な調整時間はシングルモードファイバを使用したモジュールの場合で約45秒、偏波保持ファイバの場合で約150秒である。

ファイバの固定はYAGレーザ溶接で行う。YAGレーザは3方向から同時に照射される設定になっている。図6にYAGレーザの照射位置を示す。まず、YAGレーザをZ軸方向に0.7mm間隔で3回照射してスリーブとファイバフェールを固定する。次にスリーブとパッケージの平行出しを行う。パッケージは力が加わった方向に対して自在に動くジンバル機構上に保持されており、スリーブを押しつけることにより自動的に平行出しがおこなえる。再度ピークサーチを行ったあとスリーブとパッケージを密着させYAGレーザを照射して固定する。

部品のセット時間を含めてファイバ固定が完了するまでの時間は約3～6分である。完成したモジュール製品の平均的な結合損失は約1dBであり、このうち溶接固定による過剰損失は0.2dBである。パッケージ固定治具は自動搬送検査装置と共有化できる設計とした。

3.3 出荷検査工程に導入した装置

3.3.1 自動搬送検査装置

自動搬送検査装置の外観を図7に示す。装置は搬送部と測定部に分けることができる。搬送部には評価用素子を供給するためのカートリッジと良品を収納するためのカートリッジが設置されている。一つのカートリッジには10パレットが収

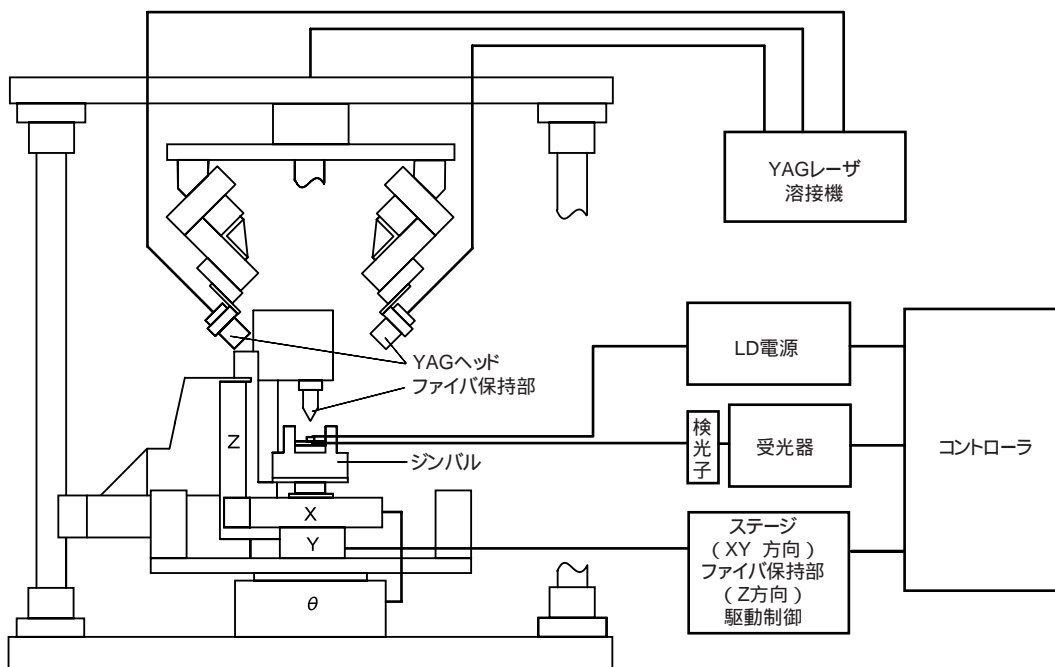


図5 自動ファイバ固定装置の構成
Block diagram of automatic fiber fixture

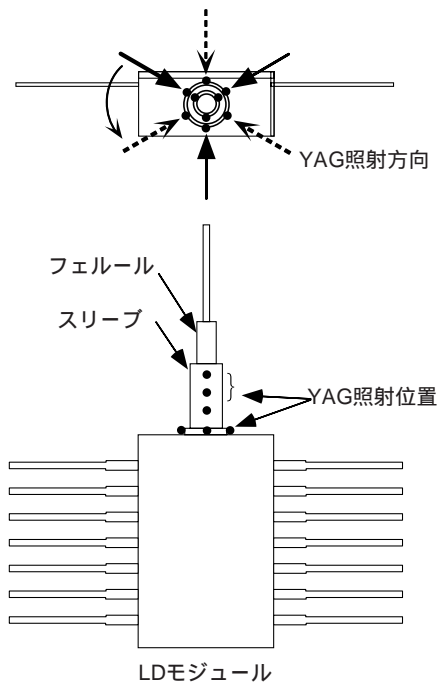


図6 YAGレーザー照射位置
YAG laser irradiation position

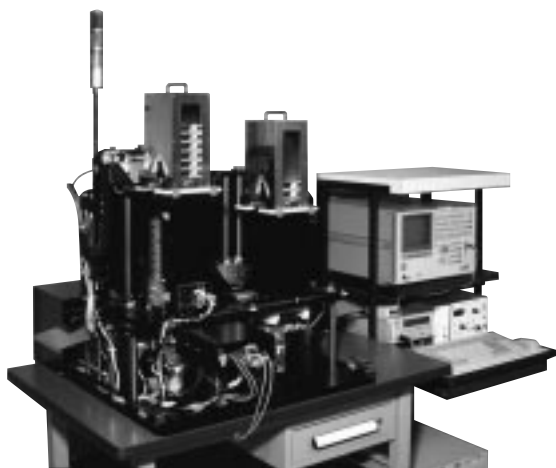


図7 自動搬送検査装置の外観
External view of automatic inspection equipment

納可能である。被測定パレットが測定ゾーンまで搬送されると、下からヒートシンクとして機能するステンレスのブロックがせり出し、パレットにセットされたパッケージの直下部分に接触する。次に、電気信号用のコネクタとバンドルファイバが取り付けられたコネクタがパレットに伸びてきて、装着後、測定が開始する。予定していた測定が終了すると、ブロック、コネクタは元の場所に戻り、パレットは測定ゾーンから搬送される。この後、良品のみが別カートリッジに収納

される。良品が10素子になるとランプ表示され、カートリッジの交換を知らせる。供給用カートリッジが空になってもランプ表示されるため、作業担当者はカートリッジの交換が主たる業務で、複数台の装置を使った作業も可能である。

今回、パレット内部におけるファイバ固定を確実にするため、ファイバ先端を安価な簡易フェールールで保護して、このフェールール部分を挟み込みばねで固定する方法を採用した。従来、大きな問題となっていたファイバ端面の劣化および測定ごとのバラツキが解消され、大幅な工数低減が実現できた。

4 今後の量産化計画

光デバイスの量産化の計画および実績を図8に示す。今回は、自動ファイバ固定装置を開発したことでLDモジュール生産能力を従来の3倍に増産することが可能となった。今後の計画としては、モジュール組立工程の製造能力を5倍に拡大する必要があるため、各種の部品の供給およびメタル固定作業を自動化する装置の導入を計画している。2000年下期には、モジュールの生産能力を従来の10倍にすることが目標である。現状の手動式チップキャリア製造方法では生産量が要求に追いつけなくなり、チップキャリア製造工程をチップ供給からワイヤボンディングまで自動組立できる装置の導入が有効と考え、装置設計を進めている。

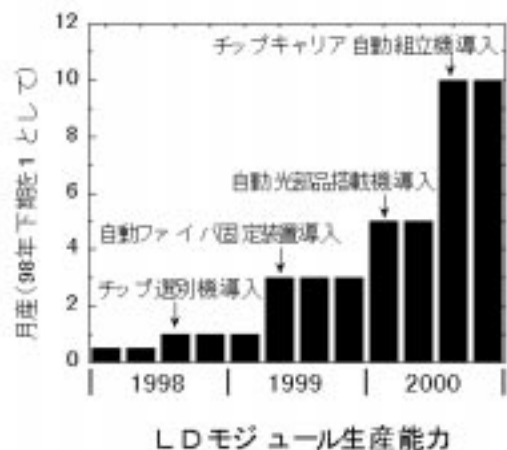


図8 LDモジュール生産能力
LD module productive capacity

5 まとめ

当社で導入した光デバイスの量産化技術について説明した。量産化技術の構築には設備投資が不可欠であるが、ビジネス規模を常に勘案して最適化された設備とすべきである。ビジネス規模が変化した場合は生産能力の限界を決めている工程を的確に把握し、その工程への集中的投資をタイミング良く行うことで、step-by-stepで量産化技術を向上させていくことが有効である。

光通信システムを取りまくビジネスは今後ますますグローバルに展開され、部品供給メーカーはシステム提供者と一体となって、エンドユーザの顧客満足(CS)を充足していくことが重要になっている。システム提供者が計画しているビジネス推進のパートナーとして信頼され、共に発展していくためには、今まで以上に、競争力を高めていく必要がある。

参考文献

- 1) 菊川ほか：“EDFA 励起用 MOVPE 成長高出力 MQW レーザ”，アンリツテクニカル，64号，pp.78-87（1992）
- 2) 堀内ほか：“1.48 μm 高出力 LD モジュール”，アンリツテクニカル，65号，pp.48-54（1993）
- 3) 篠根ほか：“全 MOVPE 成長による長波長帯埋め込み型半導体レーザ”，アンリツテクニカル，69号，pp.9-15（1995）