

WDMシステム用波長ロック付レーザーモジュール

Laser Module with Wavelength Locker for WDM System

あらまし

情報量の爆発的増大に伴い、高密度波長多重通信方式(DWDM)が重要になってきた。このDWDM通信方式を実現するためには、高い波長安定性が要求される。

本稿では、高い波長安定性を実現する波長ロックを内蔵したレーザーモジュールについて述べる。

このレーザーモジュールにより、100 GHzという狭チャンネル間隔の波長多重化通信が可能になった。さらに、波長ロック機構に100 GHzの周期をもった構造を採用することにより、100 GHz間隔時、4チャンネルをチューニングすることが可能になった。これにより、チャンネル可変とすることができ、システム構築上のフレキシビリティを高めることができる。一方、装置内予備機として使用する場合には、装置の冗長性を高めることができる。

Abstract

The recent and incredibly rapid increase in the volume of data being transmitted calls for the development of a dense wavelength division multiplexing (DWDM) system, which in turn requires a light source with a highly stable wavelength. This paper describes a laser module which includes a wavelength locker to provide the required wavelength stability. This module can provide a DWDM system with a narrow channel spacing of 100 GHz. In addition, the wavelength locker has a 100 GHz spacing, which enables four wavelengths to be tuned with a 100 GHz spacing. This enables channel changing and flexible system construction. Moreover, a system can be operated with redundancy by using one of these modules as a backup for every four operating modules.



米谷治雄 (よねたに はるお)

富士通量子デバイス(株)光デバイス事業部第一技術部所属
現在、光通信用半導体レーザーの開発に従事。



町田豊稔 (まちだ とよとし)

富士通量子デバイス(株)光デバイス事業部第一技術部所属
現在、光通信用半導体レーザーの開発に従事。



山腰茂伸 (やまこし しげのぶ)

富士通量子デバイス(株)光デバイス事業部所属
現在、半導体光デバイスの研究開発に従事。

まえがき

インターネットの急速な発展に伴い、大容量で安価な高速光伝送システムが求められている。高密度波長多重化(以下、DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing)はそのための最有力技術であるが、その実用化には、波長および光出力の安定度の高い光源が求められる。

DWDMの実用化に当たって、光源安定性の向上が必須となってくる理由は次の二点である。一つは、1本の光ファイバ中を、より密に波長多重化した光を通過させるため、通信可能な光波長帯域内で光相互間の干渉をなくす必要がある。発振光波長が揺らいで隣チャンネルとの干渉が大きくなることを防ぐためには、発振光波長をより安定にしなければならない。もう一つの点は、DWDMシステムでは、送信側で波長を多重化(合波)するとき、伝送途中で一部波長を分岐・合流するとき、また受信側で最終的に波長を分波するとき、それぞれの合波器・分波器で損失が生じるため、その損失を補償するには、今までの一波長システムよりも高い光出力が必要になる。したがって、光源側では、そのような高光出力を安定に発生しなければならない。

また、光出力・光波長の経時的な変動を少なくすることにより、光伝送システム自体の保守の簡略化が可能になり、システム構築が簡略化され、安価となることが期待される。

これらの要求に応えるため、すでに開発済の高出力レーザモジュールに、波長ロックを内蔵させたモジュール構造の開発が重要である。

本稿では、WDM光伝送を支える最新の光源、波長ロック付チューナブルレーザモジュールについて述べる。

高出力レーザチップおよびモジュール構造

波長多重化のため、光源は単一波長モードで発振するレーザダイオード(以下、LD: Laserdiode)でなければならないが、富士通では、発振波長単一性の優れている分布帰還型(以下、DFB: Distributed Feedback)LDを開発、量産化している。高光出力化するために、活性層を多重量子井戸(以下、MQW: Multiple Quantum Well)構造にして発光効率を上げ、さらにLDチップ前方向光出力増大のため、チップ前端面に無反射(以下、AR: Anti Reflecting)コーティング、後端面に高反射(以下、HR: Highly Reflecting)コーティングを施したAR-HR構造としている。⁽¹⁾

AR-HR構造は、DFB LDでの発振波長選択性を高め、単一モード発振確率を改善する効果もある。分布帰還型MQW LDの構造を図-1に示す。このLDチップでは、順方向電流100 mAで、前方向端面出力として30 mW以上発生させることができる。

実際の光伝送システムでは、伝送路のシングルモード光ファイバ(以下、SMF: Single Mode Fiber)への結合効率が重要なファクタとなる。

LDモジュールの外観を図-2に、波長ロック部を含む構造模式図を図-3に示す。前方向には、二つの非球面レンズを用いて、約70%の高結合効率のモジュールを実現している。外形は従来の長さ約30 mm、幅約15 mm、高さ約8 mmのバタフライパッケージと同じ大きさである。各部品は、YAGレーザ溶接技術を用いて固定しているため、高い信頼性が得られている。このためSMFへの結合は、十分な安定性を持っている。一方、LD発振波長はLDチップ温度に大きな影響を受けるため、内蔵のペルチェ素子で、LD温度を制御することにより、モジュール周囲

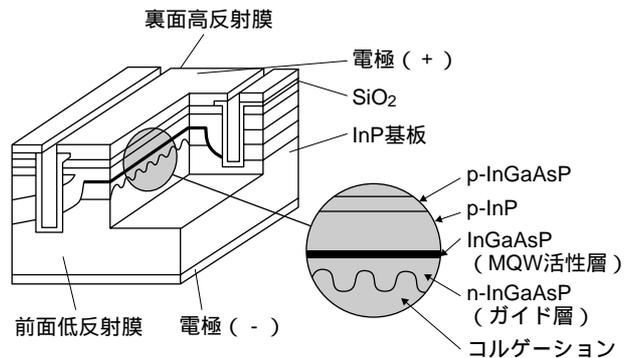


図-1 分布帰還型 MQW LDチップ

Fig.1-Chip structure of distributed feedback MQW laser diode.

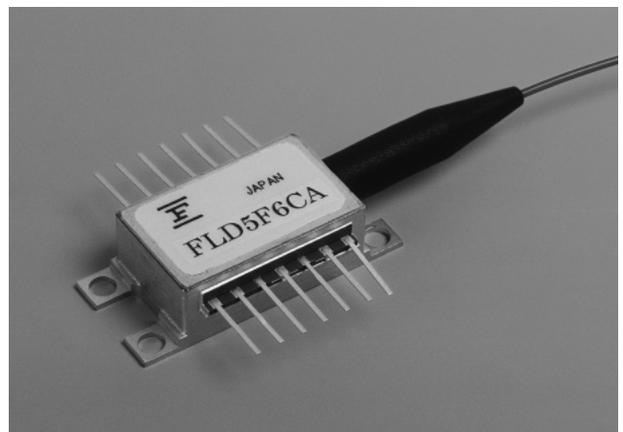


図-2 LDモジュール外観

Fig.2-LD module with wavelength locker.

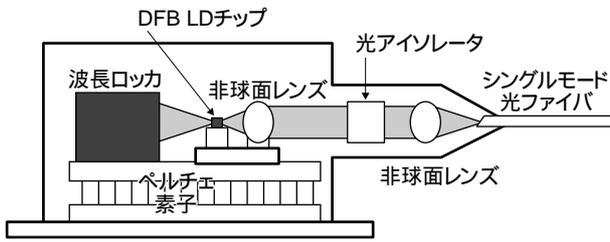


図3 LDモジュール構造模式図
Fig.3-Schematic structure of LD module.

温度の変化に対し、安定な発振波長を得ることができるように設計されている。

波長ロック

波長ロックのないモジュールでは、LDチップ自体の経時変化により、同一温度でも発振波長が変化することは現状では避けられない。これは、LD自体が能動素子として働いていることによるため、20年で最大数十～数百pmのずれになる。

100 GHz (= 約800 pm) 間隔のDWDMシステムでは、20年で±50 pm以内の変化という高い安定度が要求される。このレベルの安定性を確実に得るには、経時変化が少ない受動光学系による波長ロックを導入する必要がある。

従来、この波長ロックは、LDモジュールとは別の光学素子として供給されていた。この個別の波長ロックを用いた場合、つぎの三つの問題があった。第1に、前方向で波長ロック用の光を分岐するため、信号光出力が減少すること、第2に、外部波長ロック素子が個別のモジュールとなっているため、大きな面積が必要となること、第3に、外部波長ロック素子が高価なことである。

上記問題を解決するために、波長ロックをLDモジュール内部に設置する構造を開発した。波長ロックの概念図を図-4に示す⁽²⁾。LDチップ後端面の光は、通常のLDモジュール構造では光出力モニタにのみ使用している。図-4に示すように、新構造では、LDチップ後端面側にもう一つの光結合系を設置し、ハーフミラーで2分岐して波長識別部に用いた。分岐された1方向は、通常通り、光出力のモニタ(PD1)に使用し、他方向の光路には、透過率が波長依存性をもつフィルタを挿入した。このフィルタ透過光をフォトダイオード(PD2)で検出することにより、波長検出をモジュール内部で可能にした。

LDチップ自身の発振波長が経時変化で変動しても、上記波長検出PD2出力を一定にするようにLDチップ温度にフィードバックをかければ、一定波長を維持(ロック)できることになる。後端面側の光波長ロック自体もLDと同

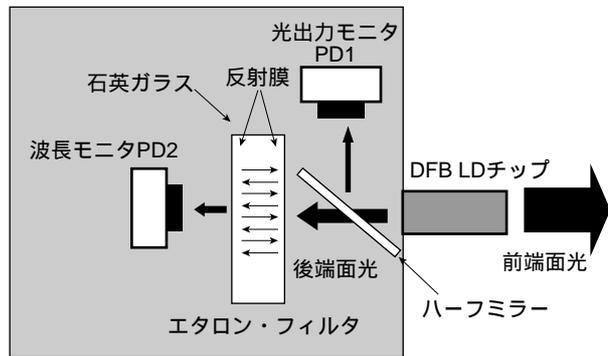


図4 波長ロック概念図
Fig.4-Concept of internal wavelength locker.

じペルチェ素子上に載せる構造になっているため、モジュール周囲温度の影響は少ない。また、この光波長ロック全体を小型に設計し、通常の14ピン・バタフライ型LDモジュールの中に組み込み可能な大きさに納めた。

組立時は、通常の波長ロックのないLDモジュールの組立と比較すると、後端面側の結合系を調整する工程が追加されるが、その他は通常と同様に組立可能である。

フィルタの波長選択方法により、波長ずれの経時変化が決まる。色ガラスなどのような吸収による方法では、波長特性の再現性、および経時変化が小さいことの確認が必要である。新開発のモジュールでは、石英ガラスの両面に反射率25%の酸化物多層膜を形成し、ファブリ・ペロー・エタロンとしたものをフィルタに採用した。ファブリ・ペロー・エタロンの透過特性は、石英板の厚さ、屈折率と反射膜の反射率で決まるため、精度良く製造することが可能で、再現性のよい波長特性のカーブを得ることができる。また、上記の板厚、屈折率や反射率は機械的寸法や物性定数で決まるものであるため、経時変化が起こりにくいと考えられる。

ファブリ・ペロー・エタロン型のフィルタにしたことにより、透過波長特性を周期的にすることができ、次章で述べるチューナブル特性が得られるメリットもある。

実際の透過波長特性を図-5に示す。図では、横軸にLD温度を変えたときの発振波長、縦軸にエタロン通過後の波長モニタPD2電流を示している。ただし、LDには、光出力モニタPD1によりLD動作電流にフィードバックをかけ、定光出力(以下、APC: Automatic Power Control)動作させた状態としている。

以上のように、LD後置型の波長ロックをLDモジュールに内蔵させることにより、先に述べた外部波長ロック方式の問題点が解決される。すなわち、(1)後置型であるため、前方向伝送路に結合される光出力に全くロスを与え

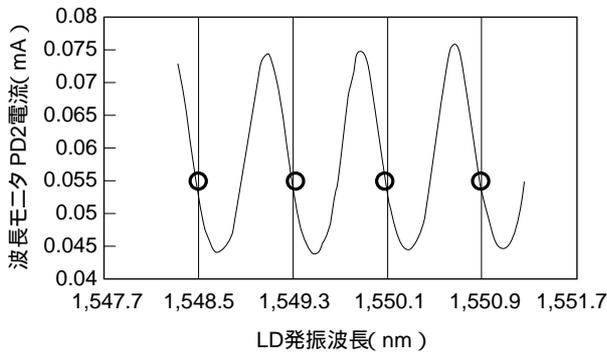


図-5 透過波長特性

Fig.5-Transmission characteristics of Fabry-Perot etalon.

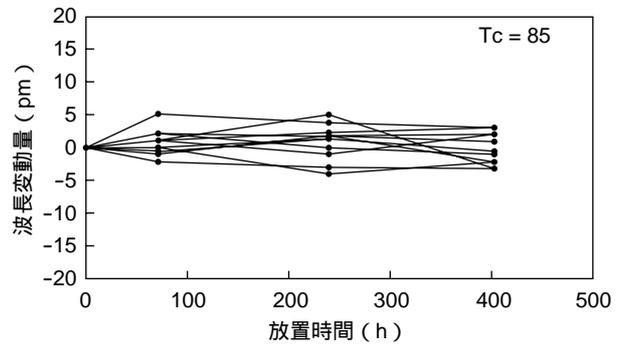


図-6 高温放置試験結果

Fig.6-Aging results of high temperature storage test.

ない、(2)通常のLDモジュールと同じ大きさで、波長ロック内蔵とした、(3)外部に波長ロックを組み立てる場合に比べ、部品点数・組立工数が節約される、の3点である。また、APC動作の光出力モニタPD1も内蔵しているため、通常の波長ロックのないLDモジュールと互換性を保っている点も、システム設計において共通設計化が可能となるので有利である。

波長チューナブル特性

図-5に示したように、ファブリ・ペロー・エタロン型フィルタの採用で透過波長特性を周期的にすることができ、ITU-Tの標準WDM波長(図中では800 pm間隔の縦線で示されている)が、ほぼ同一のPD2電流値において簡単に得られる。これは、エタロンの周期が石英板の厚さと屈折率で一義的に定まることによるもので、今回開発のLDモジュールでは、石英板の厚さと屈折率の温度特性も考慮した上で、100 GHz(約800 pm)周期となるように設計されている。

エタロンの原理だけからすれば、LDチップの温度を変えれば、どこまでもITU-Tの標準WDM波長が得られるはずであるが、実際には、高温側ではLD光出力が得られなくなり、低温側では、ペルチェ素子の冷却能力の限界があるため、レーザ温度 $T_{LD} = 10 \sim 55$ が限界となる。この温度範囲で、原理的には、最大約4,000 pm(100 GHz間隔で6波長分に相当)が変えられることになるが、製造時のばらつきや波長の組合せを考慮して、今回の開発では4波長可変モジュールとした。

波長安定性

前方向の光出力の経時変化については、すでに今回のLDモジュールと同一構造のもので安定性が確認されてお

り⁽³⁾、波長の経時変化の安定性を今回開発のモジュールで確認中である。85℃での高温放置試験結果(400時間まで)を図-6に示す。±5 pmの変動にとどまっております、測定誤差範囲内であり、波長ロックとして十分な安定性を持っていることが証明されている。

適用アプリケーション

以上のような特性により、波長ロック付チューナブルLDモジュールは、DWDM向けの小型波長安定化光源として期待されるものである。チューナブルであるという特性を生かすと、システムへの基板設置後に波長を変えることもでき、システム構築上のフレキシビリティを高めることができる。また、装置内あるいは故障時交換保守用の予備機の準備台数を減少させることもできる。

む す び

従来では考えられなかったような大量の情報を交換する時代であり、安価な高速伝送システムが求められている。光伝送路においては、WDM化が最有力技術であり、波長ロック内蔵のLDモジュールは最適の光源と考えられる。

今後は、この波長ロック内蔵モジュールをもとに、さらに機能を集積したキーデバイスを開発、提供していく予定である。

参考文献

- (1) 雙田ほか：基幹通信用光半導体デバイス・FUJITSU, 47, 5, pp.362-368(1996)
- (2) 酒井ほか：波長検出部内蔵チューナブルLDモジュール．2000年春電子情報通信学会総合大会予稿集, 2000.
- (3) 河村ほか：アナログ伝送用光半導体素子の高性能化．FUJITSU, 47, 5, pp.369-375(1996)