DWDM用波長モニタ内蔵型CW-DFB レーザモジュールの開発

Wavelength Monitor Integrated CW-DFB Laser Module for DWDM Applications

那須秀行*高木智洋* Hideyuki Nasu Tomohiro Takagi 粕川秋彦* 大池瑞記*2 Akihiko Kasukawa Mizuki Oike 向原智一* Toshikazu Mukaihara ニノ宮降夫*3

Takao Ninomiya

野村剛彦* Takehiko Nomura

概 要 高密度波長多重(DWDM)通信では,隣接チャンネル間のクロストークを抑圧するため に,光信号の波長が安定していることが求められる。我々は,DWDMにおける最適な信号光源とし て,高出力CW-DFBレーザモジュールに波長モニタを内蔵し,高い波長安定性を実現する波長モニ タ内蔵型CW-DFBレーザモジュールを開発した。モジュールの構造には,50 GHz間隔DWDMと25 GHz間隔DWDMの用途別に2種類があり,特に25 GHz用では極めて高い波長安定性が要求される ためモジュール構造にユニークな工夫を施した。本稿では,各々のモジュール構造及び特性について 紹介する。

1. はじめに

大容量通信を実現する高密度波長分割多重(DWDM: dense wavelength division multiplexing)においては,信号劣化の原 因となる隣接光信号間のクロストークを抑圧するために,光信 号の波長を安定化する必要がある。波長モニタ内蔵分布帰還型(DFB: distributed feedback)レーザモジュールは,従来の DFB レーザモジュールに波長モニタを内蔵することで,高い 波長安定度を実現するDWDM 用の最も有望な光源であり^{1).2)}, 波長モニタから出力される信号と外部の制御回路を用いて,所 定の波長に安定化することができる。

長距離のDWDMシステムでは,光信号を変調するために, 挿入損失が大きいLN変調器が採用されることが多い。それゆ え,十分な光強度消光比を得るために,一定偏波状態に制御さ れたCW(continuous wave)光が不可欠であり,またロスバジ ェットを向上するために,高出力のCW光が求められている。 これまでに我々は,40 mW以上の高出力を実現する偏波面保 持ファイバ(PMF: polarization maintain fiber)付きCW-DFB レーザを開発し,製品化している³⁾。

我々は,この高出力CW-DFBレーザモジュールへ波長モニ タを内蔵することで,長距離のDWDMシステムに最適な光源 を開発した^{40.50}。要求される波長の安定度は,DWDMシステム の波長間隔に依存し,波長間隔が狭いほど,厳しい波長安定性 が要求される。現在導入が進みつつある50 GHz間隔DWDM の光源には,システムの運用期間において±20 pm以下が要求 される。一方,次世代の大容量通信に有望な25 GHz間隔の DWDMシステムでは,更に厳しい波長安定性が要求される。 例えば,チャンネル当たり10 Gbit/sの伝送では,少なくと も±10 pm以下の波長安定性能が必要とされる。我々は50 GHz間隔と25 GHz間隔DWDM用に,各々異なる構造を有す るレーザモジュールを開発し,要求される波長安定性能を実現 した。

本報告では,まずレーザモジュールの光出力特性について説 明する。つぎに,開発した波長モニタ内蔵DFBレーザモジュ ールの構造と特性について詳細に紹介を行う。

2. レーザモジュールの外観と光出力特性

DFBレーザモジュールの高出力特性は,主にレーザチップ を高出力化することと光結合系の結合効率を向上することによ って実現される。レーザチップを高出力化するために活性層に 多重量子井戸(MQW: multiple quantum well)構造を採用し, 更にレーザの前端面にAR(anti-reflection)コーティング,後 端面にHR(high-reflection)コーティングを施して,前端面か らの出力光を高くしている。前端面からの出力光は,2枚のレ ンズにより,ファイバへの結合される。これにより70%以上 の高結合効率が実現している。レーザモジュールの外観を図1 に示す。外形は14ピンバタフライの標準パッケージであり, 波長モニタも内蔵されている。ファイバピグテイルには, PMFを採用しており,偏波を制御して光学系を組み立てるこ とで,20 dB以上の偏波消光比が実現されている。偏波方向は 標準的にスロー軸に調整されている。

図2は,代表的な*I-L*特性と光スペクトラムである。光出力 20 mWにおいて,ITU波長である1538.98 nmが得られるよう に,サプマウント温度(*T*_s)を28.5 に調整し,一定に制御し

^{*} 横浜研究所 半導体研究開発センター

^{*2} 生産技術開発センター FA開発部

^{*3} ファイテルフォトニクス研究所



図1 波長モニタ内蔵 DFB レーザモジュールの外観 Appearance of wavelength monitor integrated DFB laser module



L-I curve and optical spectrum

た。高出力特性によって,光出力20 mWは86 mA,光出力40 mWは162 mAという低駆動電流で得られている。

3. 50 GHz間隔DWDM用レーザモジュール

3.1 モジュール構造

図3にモジュールの構造模式図を示す。図3(a)は上面図, 図3(b)は側面図である。我々の波長モニタはユニークな構造 を有している。DFBの後端面から出射されたレーザ光は、レ ンズによりコリメートされ,プリズムによって2分岐される。 一方を直接PDに結合させ,光出力モニタとして用い,もう-方を25 GHz間隔のエタロンを透過させた後にPDに結合させ, 波長モニタとして用いる。従来のハーフミラーを用いる構造と 比較して、省スペース化、部品点数の削減、アライメントの簡 易化をはかることができる。具体的には,2つのPDを1つのサ ブマウントを搭載することが可能なため部品数を削減し,スペ ースを削減することができる。プリズムをビームスプリッタに 用いることにより、光分岐比調整において面倒な回転調芯が必 要なく,組み立てが容易である。また,このユニークな構造を 用いることによって,エタロンを配置する十分なスペースを確 保することができるので, DWDM で要求される短周期特性を 有する,長共振器エタロンを搭載することが可能である。

波長モニタは, DFB レーザと共に, 1つの TEC (thermo electric cooler)に搭載されている。エタロンの透過波長特性は,温度依存性を有するが,このように温度制御することによ

って影響を無視することができる。

また我々のレーザモジュールは,有機物フリーであり,信頼 性の高い半田固定とレーザ溶接を採用して組み立てられてい る。

3.2 モジュールの特性

図4は,DFBレーザの波長と波長モニタ電流の関係(波長弁 別特性)である。DFBレーザは,温度を調整することで発振 波長を制御することができる。したがって,横軸の波長は,温 度を調整することによって変化させている。温度の範囲は, 20 から35 である。DFBレーザはAPC(auto power control) 回路で駆動されており,ファイバ出力(*P_t*)は,20 mWとなる ように制御した。波長弁別特性のスロープを用いて,波長ずれ 信号を波長モニタPD電流の振幅に変換して,検知することが できる。エタロンは,スロープ上にITUグリッドが重なるよう に固定される。図中の点線は,50 GHz間隔のITUグリッドを 示している。波長弁別特性の周期は,50 GHz間隔(波長では 0.4 nm)となっており,すべてのスロープ上にITUグリッドが 重なっていることがわかる。



図3 50 GHz間隔DWDM用モジュールの模式図 Schematic structure of 50 GHz spaced wavelength monitor integrated DFB laser module





7 -

古河電工時報

この波長モニタ機能と外部の制御回路によって,実際に波長 をロックし,その波長安定性能を評価した。図5は,波長をロ ックしたときの,注入電流の波長依存性を示している。波長依 存性は,約-0.2 pm/ と非常に小さい。この依存性は,次の ように説明される。注入電流が増加すると, DFB レーザの活 性層温度が上昇し,それに伴い発振波長は長波へシフトする。 波長モニタはこの波長ずれを検知し, TEC制御回路へフィー ドバックしてDFBレーザの温度を低下して波長を戻す。この とき、波長モニタはDFBレーザと同じTECに搭載されている ので,波長モニタの温度も低下する。波長モニタに使われてい るエタロンは温度依存性を有するので,温度が下がると波長弁 別カーブが短波方向ヘシフトする。これに伴い,ロックされた 波長がずれる。光送信器に組み込み,出力光を一定に制御する APC 駆動を行いサービスタイムが経過すると, DFB レーザの 経年劣化によって,注入電流が増加する。EOL (end of life) における駆動電流増加のクライテリアを20%増加,初期の駆 動電流を120 mAと仮定すると,駆動電流は,24 mA 増加する ことになる。このDFB レーザの経年劣化に起因する波長ドリ フトを見積もると, - 4.8 pmとなり非常に小さいことがわか る。

波長ドリフトは,ケース温度の変化によっても生じる。これ は,ケースからの熱輻射をエタロンが受け,TECで温度制御 されているものの,エタロンの温度がわずかに変化することに 起因する。図6に,ケース温度と波長ドリフトの関係を示す。 ケース温度の範囲は,-5 から70 である。波長は,このケ ース温度範囲において,ほぼ線形に7 pm変化する特性を有し ている。

これらの特性から, ± 20 pm 以下という波長安定性は十分実 現可能である。

4. 25 GHz間隔DWDM用レーザモジュール

4.1 モジュールの構造

25 GHz間隔の10 Gbit/s DWDMにおいては,極めて高い波 長安定性が要求される。ITU-Tの勧告®を参照すると,少なく とも±10 pm以下の波長安定性が要求される。したがって,波 長の注入電流依存性及びケース温度依存性を十分に抑制できる モジュール構造が求められる。また,25 GHz間隔のDWDM用 途に用いられる25 GHz周期のエタロンの長さは,原理的に50





GHz 周期のエタロンの倍となる。このような長いエタロンを 搭載できるようにモジュール構造を工夫しなければならない。

図7にモジュールの構造模式図を示す。図7(a)は上面図, 図7(b)は側面図である。我々のユニークな波長モニタ構造を 採用することで,25 GHz周期のエタロンを搭載することに世 界で初めて実現した。また±10 pm以下という極めて厳しい波 長安定性を実現するために,波長モニタをレーザモジュール内 部で独立に温度制御を行うことで,注入電流依存性を原理的に 無くし,ケース温度依存性を抑圧した。

4.2 モジュールの特性

図8は、このモジュールの波長弁別特性である。DFB レーザ の温度を制御して波長を変化させており、その温度範囲は 20 から35 である。図4で示した50 GHz間隔の波長弁別特 性と波長変化範囲は同じであるから、その特性を比較すると、 図8では周期が1/2に小さくなっていることがわかる。点線は 25 GHz間隔のITUグリッドであり、すべて波長弁別特性のス ロープ上に重なっていることがわかる。



図6 波長ドリフトとケース温度の関係 Wavelength drift as a function of case temperature



図7 25 GHz間隔DWDM用モジュールの模式図 Schematic structure of 25 GHz spaced wavelength monitor integrated DFB laser module

____ 8 ___



図8 波長弁別特性 Wavelength discriminator curve for 25 GHz spaced wavelength monitor



図9 波長ドリフトとケース温度の関係 Wavelength drift as a function of case temperature



このモジュールの波長ドリフト対して支配的な要因は,ケース温度である。これを抑圧するには,ケース温度変化に関わらず,エタロンの温度と,波長モニタに搭載された温度センサが等しくなるようにすればよい。温度センサの位置を最適化することでこれを実現した。図9にケース温度に対する波長ドリフトの特性を示す。-5 から70 のケース温度範囲において,波長ドリフトは1.5 pm という極めて小さい特性が得られた。

ところで,このレーザモジュールはDFBレーザと波長モニ タが別々のTEC上に実装されているので,ケース温度が変化 した場合,機械的な要因による光軸ずれが心配される。これを 確認するために,APC回路で駆動した場合のケース温度に対 するトラッキングエラー(光出力変動)を測定した(図10)。 DFBレーザ側と波長モニタ側の間の光軸がずれると,DFBレ ーザ後端面出力がパワーモニタへ結合する効率が大きく変化す るという問題がある。APC駆動ではパワーモニタ電流を一定 に制御するので,結合効率が変化するとDFBレーザの駆動電 流が変化し,その結果,光出力が大きく変化しまう。標準的に レーザモジュールには±10%以下の特性が要求されるが,測 定結果は±1%以下と十分小さい。したがって,このモジュー ルの光学系は安定しているといえる。

これらの結果より,このモジュールは波長モニタを独立に温 度制御するという複雑な構造を有しているものの光学系は安定 しており,更に±10 pm以下という極めて厳しい波長安定性を 実現することが可能である。

5. おわりに

長距離のDWDMシステムに最適な信号光源として,波長モ ニタを内蔵した高出力CW-DFBレーザモジュールを開発した。 我々のユニークな波長モニタ構造を採用することで,DWDM に要求される短周期特性を有する,長共振器エタロンを実装す ることができる。また,50 GHz間隔DWDM及び25 GHz間隔 DWDMの用途別にレーザモジュールの構造を最適化した。50 GHz間隔DWDM用途では,±20 pm以下の波長安定性を実現 し,25 GHz間隔DWDM用途では,波長モニタを独立に温度制 御する手法を用いて±10 pm以下の波長安定性を実現した。

参考文献

- 1) B. Villeneuve, M. Cyr, H. B. Kim, OFC'98(1998)381.
- 2) K. Tatsuno, M. Shirai, H. Furuichi, K. Kuroguchi, N. Baba, H. Kuwano, Y. Iwafuji, A. Murata, OFC2001(2001)1.
- 3) M. Funabashi, K. Hiraiwa, S. Koizumi, N. Yamanaka, and A. Kasukawa, ECOC2001(2001)122.
- 4) H. Nasu, M. Oike, T. Nomura, A. Kasukawa, ECOC2001(2001) 428.
- 5) H. Nasu, T. Mukaihara, T. Nomura, A. Kasukawa, M. Oike, H. Matsuura, T. Shiba, and T. Ninomiya, OFC2002(2002)209.
- 6) ITU-T recommendation, G.692 appendix V. 5(1998)28.