

## Fabry-Perot LD の全光制御モード同期法における 再現性向上と cw 注入光の偏波に対する依存性

On the Improvement in Reproducibility and the Dependence on the Polarization of the cw Injected Light  
in All Optical Mode Locking of Fabry-Perot Laser Diodes

吉田 齊†, 今西 新平†, 森 正和†, 西澤 典彦‡, 後藤 俊夫‡, 後藤 了祐‡†, 山根 一雄‡†  
Hitoshi YOSHIDA, Shinpei IMANISHI, Masakazu MORI, Norihiko NISHIZAWA, Toshio GOTO,  
Ryosuke GOTO, and Kazuo YAMANE

**Abstract:** The all optical mode locking of Fabry-Perot laser diodes is based on the mutual injection locking of two longitudinal modes and successive injection locking of adjacent longitudinal modes. In this paper, firstly, a simple method to measure the free spectral range of a SELFOC lens as the external cavity is developed. Secondly, the dependence of the operation characteristics on the polarization of the cw injected light is examined experimentally.

### 1. はじめに

40Gb/s 光伝送システムや、その次の大容量光時分割多重方式をにらんだ、高繰り返しパルス光源の研究が精力的に進められている。高繰り返し光源は、信号伝送や信号処理のみならず、高密度波長多重システムにおける周波数標準としても利用可能である。現状では、小型でかつ制御性が良いことから、集積型モード同期半導体レーザー(LD)が広く研究されてきている<sup>1)</sup>。

我々は、高周波電気信号を使わずに、光信号のみで Fabry-Perot LD をモード同期させる手法である、「全光制御モード同期法」を考案し、その実験とモデル検討を進めてきた<sup>2-5)</sup>。本手法により、原理的に 100GHz 以上の高繰り返し光パルス列の発生が可能である。

全光制御モード同期法に関して検討すべき課題として、①再現性向上、②解析モデルの確立、③繰り返し周波数の分周と逡倍、④電気信号への同期法、⑤同期引き込み範囲の拡大、⑥出力パルスの整形、変調、圧縮、⑦応用法、が挙げられる。これまで、主に①、②、③、⑥について検討を進めてきた<sup>3-5)</sup>。この中でも、①の再現性向上は、全光制御モード同期法の動作原理を解明する上でも重要な点である。そこで、種々の観点から検討してきた。本手法と関連した LD の自己モード同期の実験例では、FM モード同期が重要な役割を果たしているとの報告もある<sup>6,7)</sup>。実験による同期メカニズムの解明が不可欠である。

これまでに、全光制御モード同期法に関して、(1)再現性向

上、(2)出力光パルス波形の整形法、および(3)分周動作の安定性、については特に詳しい実験検討を行ってきた<sup>4),5)</sup>。

(1)の再現性向上については、結合用セルフフォーカスレンズを外部共振器として利用することによって、全光制御モード同期法の再現性が向上することを前回に確認している<sup>5)</sup>。これは、セルフフォーカスレンズのフリースペクトルレンジ(FSR)が LD の縦モード周波数間隔と整数比になるようにセルフフォーカスレンズを研磨して使用するものである。個々の F-P LD の縦モード周波数間隔に合わせて、セルフフォーカスレンズを少しずつ研磨していかねばならないため、セルフフォーカスレンズの FSR を簡易、且つ、精度良く測定できる手法が不可欠である。

(2)の出力光パルス波形の整形法については、偏波特性が利用できれば簡易な構成でパルス波形整形ができ、応用性が広がるという結論であった<sup>5)</sup>。特に cw 注入光の偏波方向については、通常の一方向性注入同期の延長線上で考えていたため、これまでは無条件に TE 方向に設定して実験を進めてきた。しかし、まず、全光制御モード同期法においても cw 注入光の偏波方向は TE 方向でないといけないかどうかを確かめてみるべきである。

(3)の分周動作の安定性については、PLL モデルで解析できる範囲は検討を完了した。後は、実験結果を基にしてモデルの精密化を図る段階にある。(2)に関連して、パルス繰り返し周波数を三分周、五分周、...する場合では、cw 注入光の偏波方向が TM 方向でもよければ、より簡易な構成で実現できることになる。

以上のことから、今回は、(1)セルフフォーカスレンズの FSR を簡易、且つ、精度良く測定できる手法の検討、および(2)全光制御モード同期法における cw 注入光の偏波依存性、の二点を中心にし

† 愛知工業大学 情報通信工学科(豊田市)

‡ 名古屋大学大学院 工学研究科(名古屋市)

‡† 富士通株式会社 光開発推進部(川崎市)

て検討を進めた。

2. セルフォックスの FSR 測定法

全光制御モード同期法において、cw 光を注入される側の Fabry-Perot LD の線幅は重要なパラメータである。種々の実験を繰り返した結果、ある程度以下の線幅でないともモード同期には至らないことが定性的に分かっている。そこで、前回までに、セルフォックスを外部共振器として用いる手法を提案し、その有効性を確認した<sup>4),5)</sup>。

実際問題としては、個々の Fabry-Perot LD によって縦モード周波数間隔は異なるから、セルフォックスのフリースペクトルレンジ (FSR) が LD の縦モード周波数間隔と整数比になるように、研磨と FSR 測定とを繰り返していかねばならない。従って、セルフォックスの FSR を簡易、且つ、精度良く測定できる手法が不可欠である。一般に、FSR 測定は、セルフォックスの反射率、または透過率の波長依存性を波長可変 LD で測定することによって行われる。この際、波長可変 LD とセルフォックスとの光軸を合わせねばならないが、これまではレンズや光学ステージなどを用いて行っていた。このやり方での光軸合わせは非常に困難であり、研磨そのものよりも、FSR 測定のための光軸合わせに多大な時間を要していた。目的の FSR までセルフォックスを研磨するのに一週間以上を要するのが普通であった。

検討した手法は、(1)簡易接続方式、(2)平行ビーム方式、(3)斜め研磨コネクタ方式、の三つである。各方式の概略図を図 1 に示す。いずれの方式も、光軸の一部、または全部を合わせるために、光コネクタアダプタに用いられている割りスリーブを利用している。また、熱収縮チューブを用いて、外径が小さいセルフォックスを割りスリーブに固定している。これら三つの方式についてセルフォックスの FSR 測定を行い、精度と簡便性を比較検討した。

(1)の簡易接続方式では、光コネクタフェールでの反射①があるために、三光束が干渉することになる(図 2)。セルフォックスからの反射光②③を光コネクタフェールでの反射①に合わせる必要がある。しかし、割りスリーブを用いて、短距離(1mm 以内)で合わせればよいため、空中で軸合わせをするよりは、はるかに簡単にできる。

通常は、セルフォックスの光学長は 5mm 程度(長さ 3mm 程度×屈折率 1.68)であり、光コネクタフェールとセルフォックスの間の距離は 1mm 以下である。従って、波長を変化させたときの各成分の位相変化は、次の二つからなることが分かる。

(a)セルフォックス内での位相遅れ[②に対して、③の位相が早く変化]

(b)空隙内での位相遅れ[①に対して、②の位相がゆっくりと変化]

ゆっくりとした変化のピークからピークまでの間における、早い変化のピークの数、ゆっくりとした変化が無い場合(すなわちセル

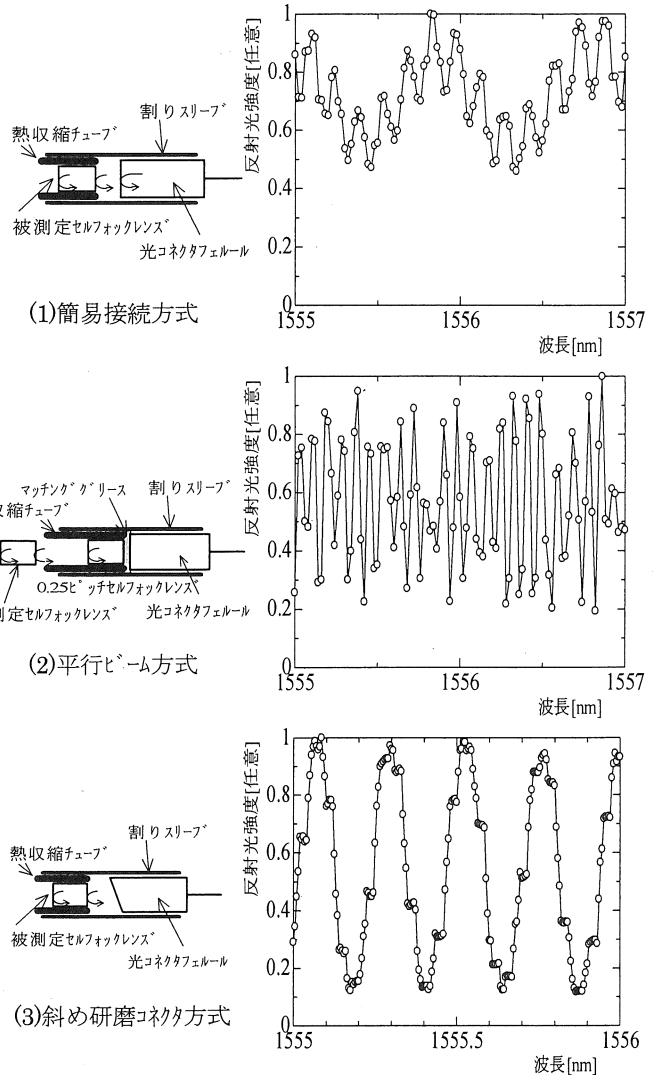


図 1 セルフォックス FSR 測定法の比較検討

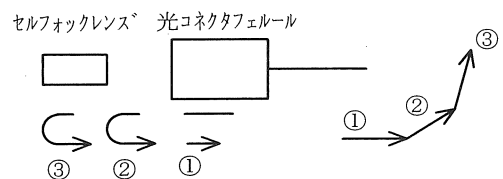


図 2 三光束干渉の様相

フォックス単体の場合)のピークの数よりも1だけ多くなる。従って、セルフォックスの FSR を求める場合には、ゆっくりとした変化のピークからピークまで(あるいはボトムからボトムまで)を観測するようにし、その間のピーク数(ボトム数)から 1 を引いて FSR を求めればよい。実際には、ゆっくりとした変化の周期と、早い変化の周期が整数比になるとは限らないため、ピークの数(=干渉縞の数)には±0.25 程度の不確定が生ずる。

以上のように、簡易接続方式では測定精度が多少悪くなるが、軸合わせは比較的容易である。粗研磨段階での FSR チェック用に適している。

(2)の平行ビーム方式は、0.25 ピッチのセルフォックスを用いて

光コネクタフェールルの出力光を平行ビームに変換するものである。これにより、セルフフォーカスレンズの光軸合わせが容易になるだろうと考えた。しかし、実験した結果では、光軸合わせは簡易接続方式よりも遙かに困難であった。また、マッチンググリースの塗布状況によって干渉状況が大きく左右される上、測定中に塗布状況が変化していきってしまうという現象が見られた。図1に示したような、解釈不能な干渉データが観測されることが多い。この方式も、三光束が干渉するものであり、簡易接続方式と同様に干渉縞の数に不確定分が現れてしまう。

(3)の斜め研磨コネクタ方式では、光コネクタフェールルを斜めに研磨して、そこでの反射光を無視できるほどに(40dB 以下)抑えたものである。従って、この方式では二光束の干渉となる。斜め研磨のために、光コネクタフェールルからの出射光はある角度だけ屈折してセルフフォーカスレンズに入射することになる。セルフフォーカスレンズを傾けて垂直入射となるように調節せねばならない。

熱収縮チューブを長めにしておいて、回転することにより、ある程度の調節ができる。多少の試行錯誤は必要であるが、軸合わせに要する時間は簡易接続方式と同程度である。本方式の最大の特徴は、二光束干渉のために、任意のピークからピークまでの波長差を測定すれば、曖昧さ無しに FSR を測定できることである。また、軸合わせをうまく行えば、ほぼ等強度の二光束干渉になることも分かった。

以上の結果をまとめると、表 1 のようになる。斜め研磨コネクタ方式が精度、簡便性共に良好で、最も利用価値の高い方式であることが分かった。

簡易接続方式を用い、一つのセルフフォーカスレンズについて、FSR とレンズ長の関係を測定した結果を図 3 に示す。短時間で精度よく FSR を測定できるようになった。従来は、目的の FSR までセルフフォーカスレンズを研磨するのに一週間以上を要するのが普通であったが、本手法の開発により、1 日に短縮できた。

3. 偏波調節系の構成

これまで、全光制御モード同期法における cw 注入光の偏波方向は、通常の注入同期と同じように考えてきた。すなわち、TE に限定して実験を行ってきた。しかし、もし TM 注入でもモード同期するのであれば、出力光パルスの波形整形が偏波操作のみで可能となる。また、cw 光を F-P LD の縦モード周波数に一致させて注入しても、単一縦モード発振にはならないため、繰り返し周波数が縦モード周波数間隔の二倍であるようなパルス列発生が可能となる。このように、cw 注入光の偏波方向が TM でもよいのであれば、広い応用範囲が拓けることになる。

cw 注入光の偏波方向が、F-P LD にどのような効果をもたらすのかを調べるためには、cw 注入光の偏波方向を TE にも TM にも調節でき、且つ、F-P LD 出力(これは常に TE)を低損失で取り出すことができるように光学系を構成せねばならない。そこで、図 4 の系を考えた。

	精度	簡便性
簡易接続方式	×	◎
平行ビーム方式	×	×
斜め研磨コネクタ方式	○	◎

表 1 セルフフォーカスレンズ FSR 測定法の検討結果

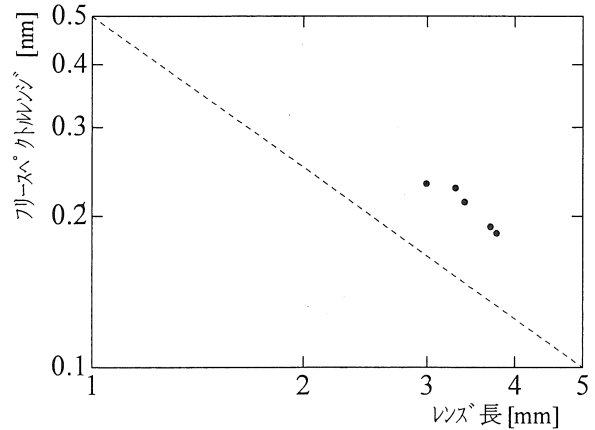


図 3 レンズ長と FSR の関係の測定例

波長可変 LD の出力を非定偏波アイソレータ(Oplink 製)に入力し、次に回転コイル型の偏波制御器(FCI 製)に通す。回転コイル型の偏波制御器には偏光子が入っていないので、挿入損(~0.3dB)は別として、どうい偏光状態でも全光パワーが通過する。その出力を非定偏波サーキュレータに入力し、PANDA ファイバに結合させる。図 4 の①の点で PANDA ファイバのコネクタを切り離してモニタしながら、cw 注入光の偏光状態を TE、あるいは TM になるように偏波制御器で調節する。F-P LD との結合系で、コネクタ端での反射の影響を避けるために 8°斜め研磨の PANDA を用いた。この研磨方向とコネクタピンとの関係から、TE の場合は PANDA の fast 軸、TM の場合は slow 軸となった(図 5)。また、波長可変 LD の出力端から 8°斜め研磨 PANDA の出力までの損失は 1.3dB であった。

偏波状態のモニタは、コネクタ付き U ブラケットの内部で検光子を回転させて、出力光パワーを測定することにより行った(図 6)。U ブラケットの出力部には 50/125 MM ファイバを用いて挿入損失を小さくした。このモニタ系では、入力側、出力側のコネクタが平坦

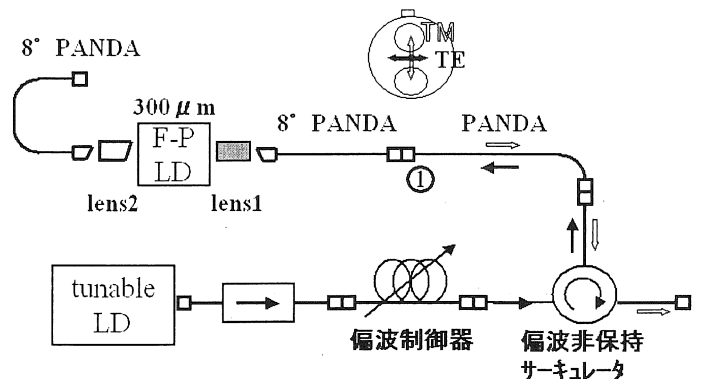


図 4 偏波調節系と F-P LD との結合系

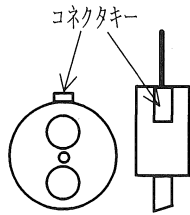


図 5 斜め研磨の方向

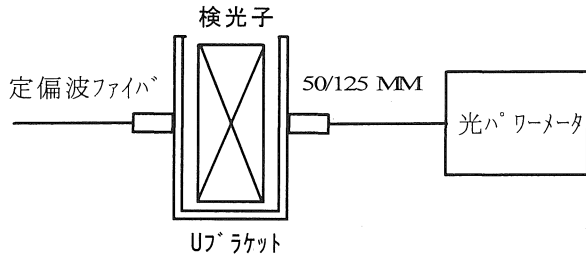


図 6 偏波状態のモニタ

研磨でも、斜め研磨でも挿入損失はほとんど変化しなかった。また、このモニタ系により偏波消光比 34dB までのモニタが可能であった。

cw 注入光の偏波方向を調節しても、図 4 の①でコネクタ接続する時に、コネクタキーのガタによってずれてしまう可能性がある。そこで各種の組み合わせについて、偏波消光比を測定して比較した。結果を表 2 に示す。

各測定においては、まず、入力側コネクタの偏波消光比をモニタしながら、その偏波状態を測定限界(~34dB)まで調節する。次にコネクタ接続を行い、出力側ファイバの偏波消光比をモニタした。この結果から、PANDA を用いても、コネクタ接続によって偏波消光比が劣化することが分かる。TM 偏光で、大パワーを F-P LD の縦モード周波数に合わせて注入するような場合には、不要な TE 偏光成分によって注入同期が発生することがあり得る。従って、コネクタ接続後にも偏光状態をモニタできるような工夫が必要である。

F-P LD の後方結合を利用すれば、偏光状態のモニタは可能である。PANDA で結合しているため、定偏波アイソレータ、または、図 6 の偏波状態モニタと光スプレアを図 7 のように組み合わせればよい。角度  $\theta$  を調節して F-P LD の縦モード強度が最大になるように調節すれば、cw 注入光の TE 成分の強度が分かる。また、角度  $\theta$  を調節して F-P LD の縦モード強度が最小になるように調節すれば、cw 注入光の TM 成分の強度が分かる。

入力側		出力側		偏波消光比
PANDA	slow	PANDA	slow	26.9dB
	slow		fast	23.5dB
楕円ジャケット	slow	楕円ジャケット	slow	15.2dB
	slow		fast	12.1dB
楕円ジャケット	slow	PANDA	slow	15.5dB
	slow		fast	17.8dB

表 2 コネクタ接続による偏波消光比の変化

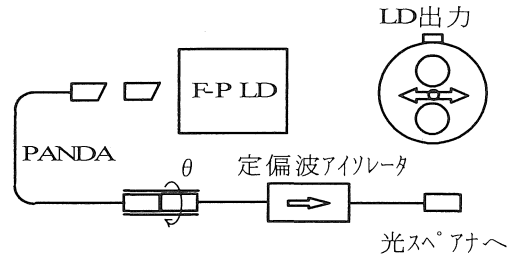


図 7 後方結合による偏光状態のモニタ

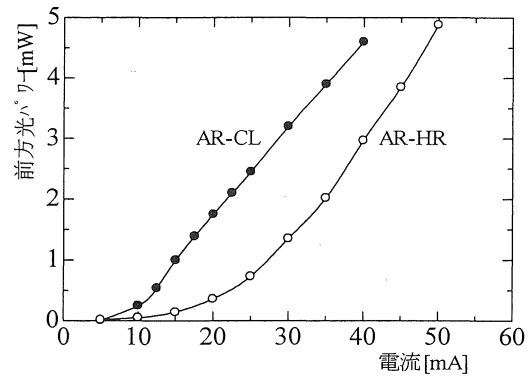


図 8 使用した LD の I-L 特性

#### 4.共振器長 300 $\mu$ m の F-P LD による注入実験

全光制御モード同期については、共振器長 300 $\mu$ m の F-P LD を中心にして実験してきた<sup>2-5)</sup>。そこで、今回も共振器長 300 $\mu$ m で cw 光注入実験を行った。端面処理は AR-HR(高反射率)、および AR-CL(へき開)の二種類である。AR コートのパワー反射率は~5%、HR コートのパワー反射率は~84%であった。

図 8 に使用した LD の I-L 特性を示す。AR-HR では、閾値電流( $I_{th}$ =25mA)近辺での折れ曲がり方が AR-CL( $I_{th}$ =9mA)に比べてかなり緩やかになっているのが分かる。

端面反射率の積で共振器損失を評価すると、 $AR-CL=0.05 \times 0.31=0.016$ 、 $AR-HR=0.05 \times 0.84=0.042$ 、 $CL-CL=0.31 \times 0.31=0.096$ 、の順に共振器損失は小さくなる。これまでに、AR-CLと CL-CL については実験を行っており、AR-CLの方がモード同期し易いという結果であった。今回は、共振器損失がそれらの中間にある AR-HR の F-P LD についても実験した。

##### 4.1 共振器長 300 $\mu$ m、端面処理 AR-HR の F-P LD

この LD 用に研磨したセルフフォーカス(~0.21ピッチ)で前方結合をとったところ、結合損失は 4.1dB であった。後方は 0.22ピッチ、8°斜め研磨のセルフフォーカス既製品で結合をとった。チップキャリア上に非対称に LD チップが配置されているため、後方の結合損失は 13.4dB となった。

図 9 に発振スペクトルの電流依存性を示す。50nm 程度の広い波長域にわたって、50 本程度の縦モードが発振している。広帯

域であることは短パルス化には有利であるが、縦モード一本当たりのパワーが小さくなるため、非線形効果の点では不利である。同図で、電流増加と共に縦モード強度の凹凸が顕著になっているのは、セルフフォックスによる外部共振効果がずれていくためと考えられる。

TE、あるいはTMの偏波方向でcw光を注入したときのLDスペクトルの変化を図10に示す。

TE注入の場合には、注入同期が起きないように、cw注入光の周波数を縦モード周波数のほぼ中央に設定した。波長可変LDの出力パワーが-10dBmであっても、LD発振スペクトルの強度が全体的に下がっていることが分かる。また、注入無しの際に比べて、発振波長が変化している。これらは、cw注入光を増幅するのにキャリアが食われて、利得が減少するとともに、屈折率も変化するためである。

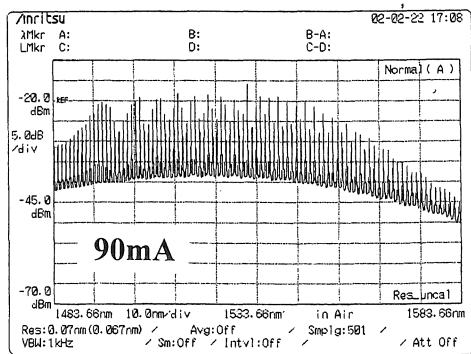
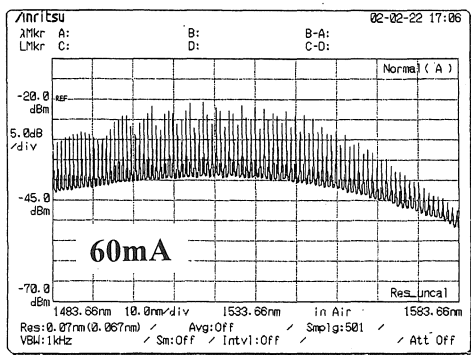
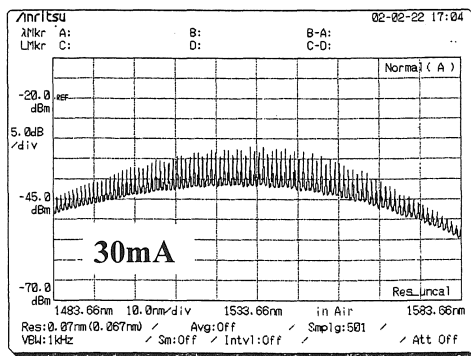


図9 300  $\mu$ m AR-HR LD の発振スペクトル  
(H:10nm/div, V:5dB/div,  
中心波長: 1533.66nm(@20°C))

TE注入の状態、更にcw注入光パワーを上げていくと、LDの各縦モード強度が単調に減少し、縦モード周波数位置が識別できないような状態まで変化していった。

TM注入の場合には、注入同期による単縦モード発振は起きない。そこで、LDのFabry-Perot共振器効果を利用できるように、cw注入光の周波数を縦モード周波数に一致させて実験した。波長可変LDの出力パワーが0dBmくらいまで増加すると、LD発振スペクトルに影響が始まる。TE注入の場合に比べて、波長可変LDの出力パワーが10dB程度高い方にずれているのみであり、LD発振スペクトルの定性的変化はTE注入の場合と同じである。

以上のように、300 $\mu$ m AR-HRのF-P LDでは、TE注入、TM注入のいずれでも、cw注入光パワーを増加させるとLDの縦モード強度が減少してしまうため、全光制御モード同期には向いていないことが分かった。

#### 4.2 共振器長 300 $\mu$ m、端面処理 AR-CL の F-P LD

このLD用に研磨したセルフフォックスのFSRは0.230[nm]である。一方、LDの縦モード間隔は電流30mAで1.146[nm]であり、LD縦モード間隔/セルフフォックスFSR=4.983であった。電流によって縦モード間隔は僅かであるが変化する。従って、スペクトル線幅が狭くなるような電流に設定する必要がある。今回使用したLDでは、ほぼ5mA毎にスペクトル線幅が狭くなる状態が現れた。

TE注入の状態、cw注入光の波長を主縦モードの中間付近の短波長側から長波長側へ変化させたときのスペクトルの様子を図11に示す。縦モードの間に四光波混合成分が生じていることが分かる。ただし、全光制御モード同期の動作にとって本質的な四光波混合成分は、F-P LDの縦モード周波数成分と重なってしまうため、直接見ることはできない。

例えば、(a)におけるFs成分は、cw注入光と縦モードL2を励起光、縦モードL1を信号光とする四光波混合成分である。また、F1成分は、縦モードL2を励起光、cw注入光を信号光とする四光波混合成分である。cw注入光の周波数が主縦モードのちょうど中間にあるときには、この両者が(c)の如くに重なる。このことは、cw注入光の周波数設定に利用することができる。

次にTM注入で同様な実験を行った。cw注入光の波長を主縦モードの中間付近で短波長側から長波長側へ変化させたときのスペクトルの様子を図12に示す。TE注入の場合よりは5dB~8dB程度小さいが、四光波混合成分が生じていることが分かる。TM注入光の偏波消光比は30dB以上あることを確認している。従って、このような四光波混合成分が、注入光のTE成分のために生じたとは考えられない。TM注入でも四光波混合成分が生じると考えるのが妥当である。

TM注入で、cw注入光の周波数を主縦モードの中間付近の値から、隣接する長波長側縦モードの近辺まで変化させたとき

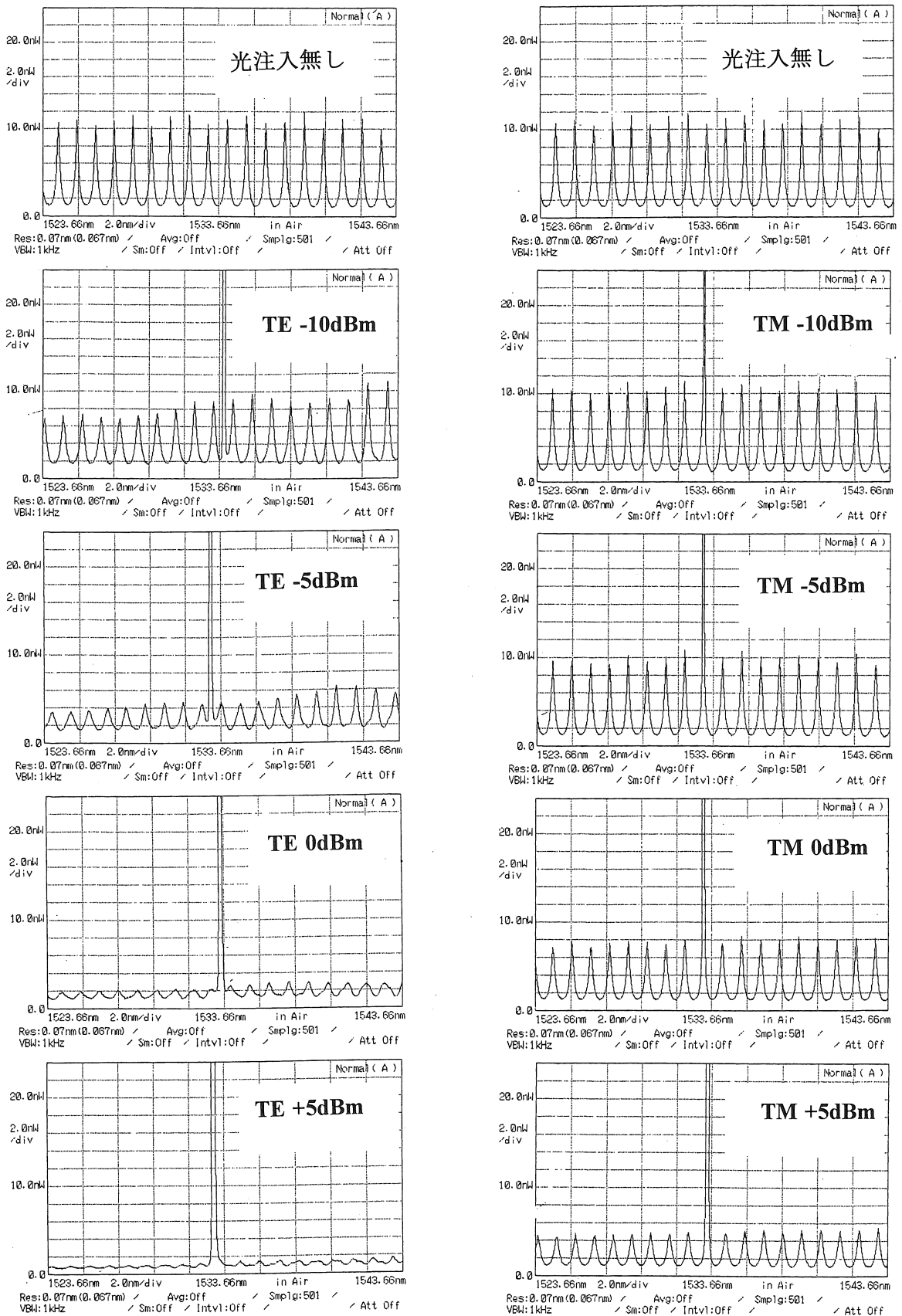


図 10 cw 注入光の偏波方向によるスペクトル変化(30mA@20°C)  
 (H:2nm/div,V:20nW/div, 中心波長:1533.66nm)

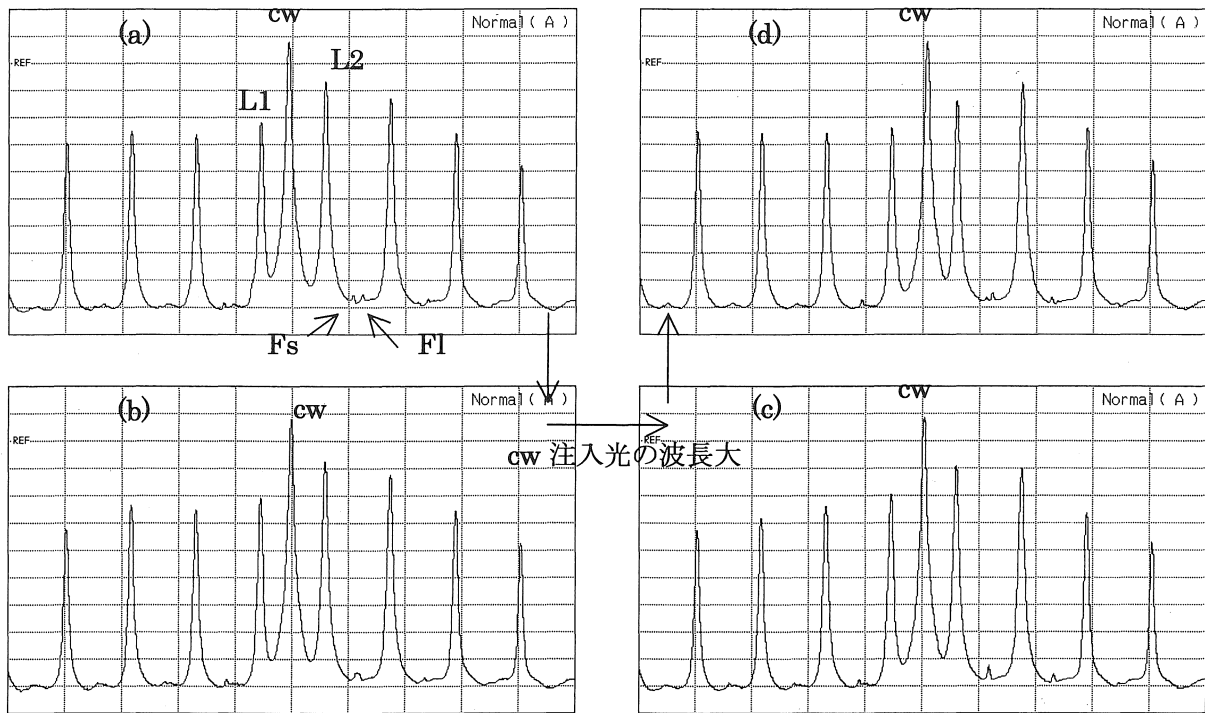


図 11 TE 注入で cw 注入光の波長を変化させたときの様子  
 (共振器長  $300\mu\text{m}$ 、AR-CL、バイアス電流  $2.0\text{Ith}$ 、波長可変 LD 出力  $+11\text{dBm}$ 、 $@20^\circ\text{C}$ )  
 H:  $1\text{nm/div}$ 、V:  $6\text{dB/div}$ 、中心波長  $1556.81\text{nm}$

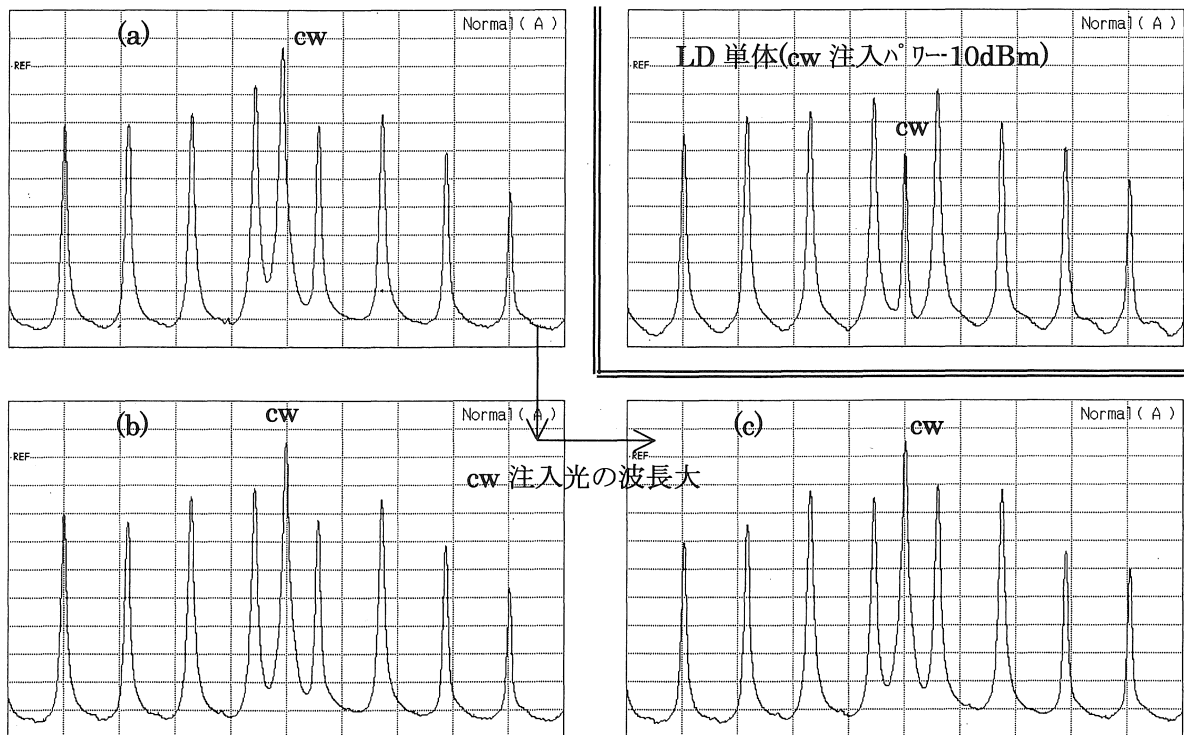


図 12 TM 注入で cw 注入光の波長を変化させたときの様子(その 1)  
 (共振器長  $300\mu\text{m}$ 、AR-CL、バイアス電流  $2.0\text{Ith}$ 、波長可変 LD 出力  $+11\text{dBm}$ 、 $@20^\circ\text{C}$ )  
 H:  $1\text{nm/div}$ 、V:  $6\text{dB/div}$ 、中心波長  $1556.81\text{nm}$

のスペクトルの様子を図 13 に示す。隣接縦モードとの周波数差が小さくなるほど、四光波混合成分の強度は大きくなっている。この理由は、①Fabry-Perot 共振器による強調効果、および②ビート周波数が小さくなることによって非線形効果そのものが大きくなったため、と考えられる。

以上のことから、TM 注入の場合には、cw 注入光の周波数を主縦モード周波数に一致させ、注入同期による単一縦モード発振が生じない範囲内で注入パワーを上げるという形態が、最も全光制御モード同期を起こし易いということになる。このような形態でモード同期が起これば、一縦モードおきに位相が固定されることになるため、パルスの繰り返し周波数は縦モード周波数間隔の二倍になる。

また、長共振器長の LD を用いれば、縦モード周波数間隔が小さくなり、非線形効果そのものが大きくなって全光制御モード同期を起こし易いと予想される。ただし、あまりに共振器長が長くなると、発振縦モード数が増えて縦モード一本当たりのパワーが減少してしまうこと、およびスペクトルホールバーニングによって縦モード間の競合が生ずること、などの影響が出てくる。共振器長 600 $\mu\text{m}$  辺りが狙い目と考えている。

現状では、図 12 や図 13 において、発生した四光波混合成分の偏波状態は調べていない。まず、図 6 の後方結合を利用した偏波状態モニタなどを使って調べる必要がある。

図 14 に cw 光注入の有無によって F-P LD のスペクトル線幅がどう変化するかを測定した結果を示す。cw 注入光の偏光方向

にかかわらず、四光波混合成分が現れていても、F-P LD のスペクトル線幅は cw 光注入によってかえって広がる場合があることが分かる。これは、cw 光注入によって F-P LD 中のキャリア密度が変化し、その結果、屈折率変化→縦モード周波数変化が引き起こされるためと考えている。従って、セルフフォックスを外部共振器として用いたスペクトル線幅狭窄化法の効果を最大限に利用するためには、cw 光を注入した状態で電流調節せねばならない。

今後は、以上の点に注意しながら、TM 注入による全光制御モード同期の実現を目指して実験を続けていく予定である。

## 5. まとめと今後の課題

cw 光注入による LD の全光制御モード同期に関して、下記の点について検討を進めた。

- (1)セルフフォックスの FSR 測定法の検討
- (2)端面処理 AR-HR の Fabry-Perot LD の特性評価
- (3)cw 注入光の偏波方向依存性

セルフフォックスの FSR 測定法については、斜め研磨コネクタ方式が優れていることが分かった。光軸合わせには多少の試行錯誤が必要であるが、短時間での測定が可能である。本測定法は既の実施しており、研磨に要する時間を大幅に短縮できるようになった。

端面処理 AR-HR の Fabry-Perot LD は、縦モード数が多いという特徴がある。しかし、注入パワーを増加していくと、cw 注入光の偏波方向によらず、縦モードパワーが減少した。全光制御モード同期用としては適当でないという結論となった。

cw 注入光の偏波方向依存性については、TM 注入でも四光波混合成分が現れることが分かり、全光制御モード同期方式における新しい形態の可能性が出てきた。今後は発生した四光波混合成分の偏波方向を調べていく予定である。

結合用セルフフォックスによる LD 発振スペクトル線幅の狭窄化法は、実験条件が決まっている場合には有効である。しかし、狭窄化が起きる駆動電流の大きさは、周囲温度や cw 注入光パ

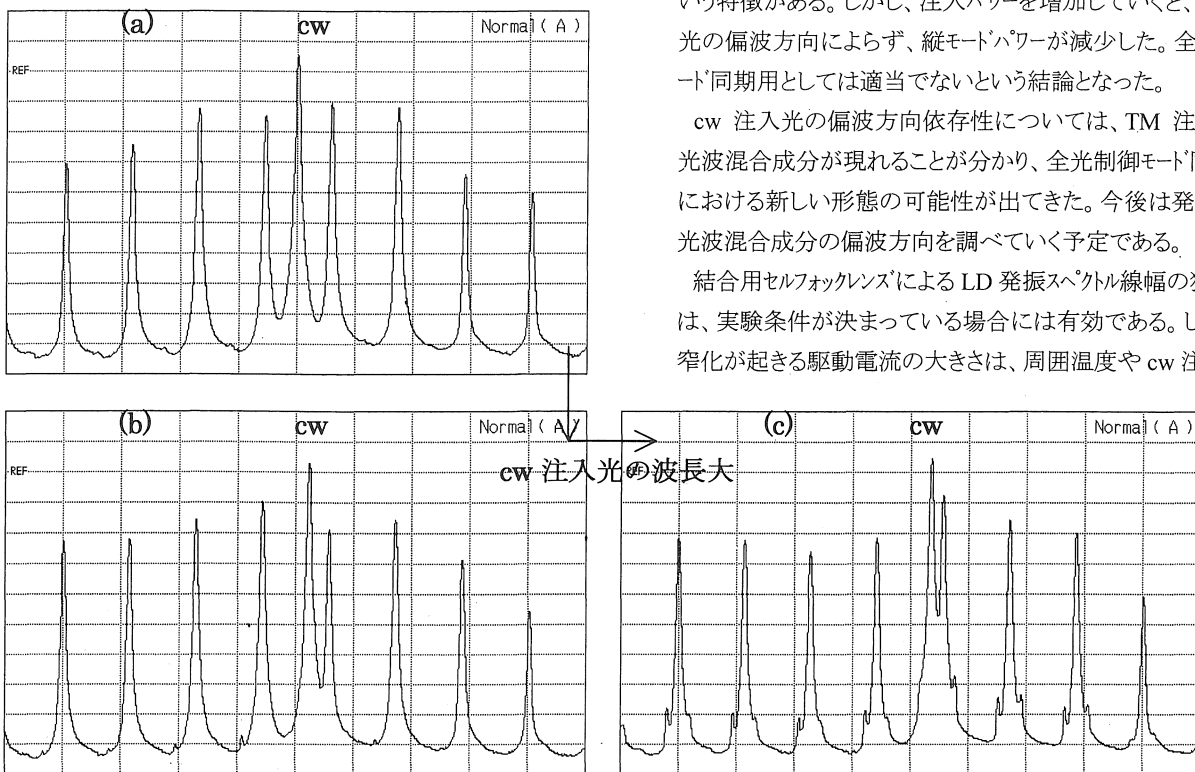
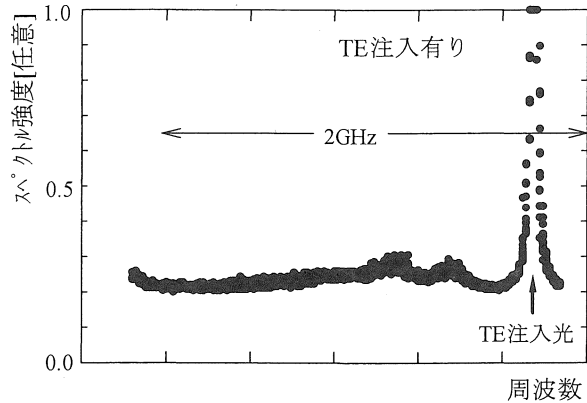
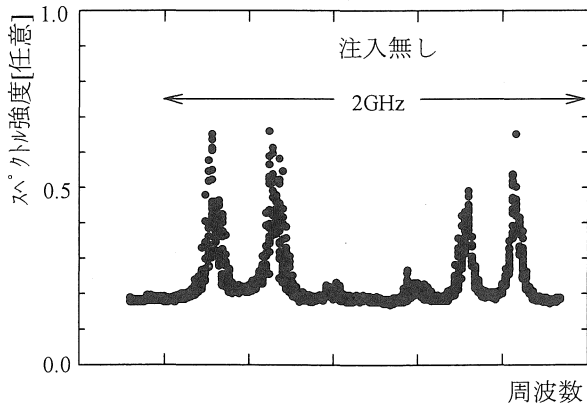
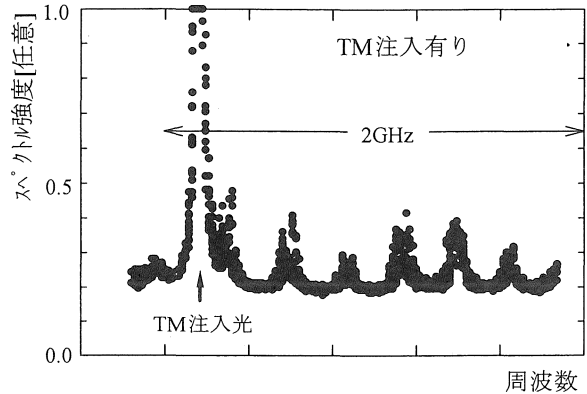
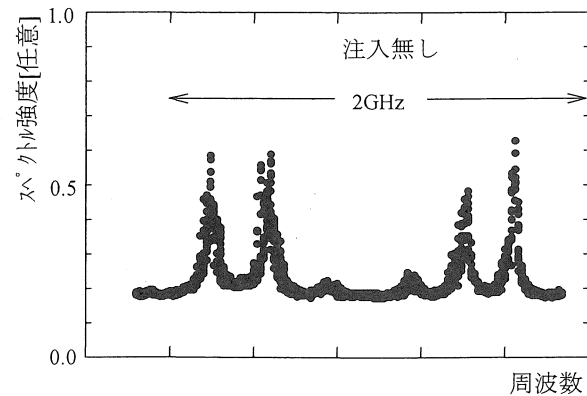


図 13 TM 注入で cw 注入光の波長を変化させたときの様子(その 2)  
(共振器長 300 $\mu\text{m}$ 、AR-CL、パルス電流 2.0Ith、波長可変 LD 出力+11dBm、@20°C)  
H:1nm/div、V:6dB/div、中心波長 1556.81nm





(a)TE 注入の有無によるスペクトル線幅の変化



(b)TM 注入の有無によるスペクトル線幅の変化

図 14 cw 注入光の有無による F-P LD のスペクトル線幅の変化

りによって変化するから、実験条件を大きく変えねばならない場合には、この手法の融通性の無さが問題となる。FSR 可変のスペクトル線幅狭窄化法を検討していきたい。

謝辞

本論文は、文部科学省 平成 14 年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2)、課題番号 14550042「多縦モード半導体レーザーにおける相互注入同期とその応用に関する研究」)の助成を受けて行われた研究の成果の一部である。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 例えば, Y.Katagiri and A.Takada, "A harmonic colliding-pulse mode-locked semiconductor laser for stable subterahertz pulse generation", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol.9, No.11, pp. 1442-1444(1997)
- 2) H.Kasuya, M.Mori, R.Goto, T.Goto, and K.Yamane, "All optical mode locking of Fabry-Perot laser diodes via mutual injection locking between two longitudinal modes", *Appl. Phys. Lett.*, Vol.75, No.1, pp.13-15(1999)
- 3) H.Kasuya, M.Mori, R.Goto, M.Suzuki, T.Goto, and K. Yamane, "All optical mode-locking of Fabry-Perot laser diode by injecting cw light at the center frequency of two longitudinal modes", *Proc. APCC/OECC '99*, Vol.2, pp.1329-1331 (1999)
- 4) 鈴木基仁、水池秀仁、森 正和、後藤俊夫、後藤了祐、山根一雄: Fabry-Perot LD を用いた全光制御モード同期の発振特性とその応用, 愛知工業大学研究報告, Vol.36-B, pp.209-216(2001)
- 5) 鈴木基仁、水池秀仁、森 正和、西澤典彦、後藤俊夫、後藤了祐、山根一雄: cw 光注入による Fabry-Perot LD の全光制御モード同期法の特性と二分周動作への応用, 愛知工業大学研究報告, Vol.37-B, pp.179-189(2002)
- 6) K.Sato, "100GHz optical pulse generation using Fabry-Perot laser under continuous wave operation", *Electron. Lett.*, Vol.37, No.12, pp.763-764(2001)
- 7) L.F.Tiemeijer, P.I.Kuindersma, P.J.A.Thijs, and G.L.J.Rikken, "Passive FM locking in InGaAsP semiconductor lasers", *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol. 25, No.6, pp. 1385-1392(1989)

(受理 平成15年 3月19日)