

2. 光帰還型半導体レーザーの動作解析

浮田 宏生

2.1 近接型光帰還半導体レーザー

近接型光帰還半導体レーザーでは、レーザーとマイクロマシン（カンチレバー等）の集積デバイスについて述べる。両者を近接配置する、あるいはチップ内に集積することにより、外部共振作用を利用した新しい機能デバイスやセンサが生まれる⁽¹⁾。両者を近接することによりレンズが不要になるので、集積が容易になるほか光利用効率や信号品質が向上する。

以下では、まず半導体レーザー端面の反射率と外部共振器の反射率を合成した実効反射率を導入し、半導体レーザーを理論解析する。次に外部共振器に近接した半導体レーザーを実験解析する。

さらに今回は応用として、波長可変半導体レーザー、光振動子センサ、浮上型光集積ヘッドについて、構成と動作原理、基本特性、作製法を述べる。なお、これらの光デバイスの外部共振長は数 μm 以下である。

2.2 理論解析

戻り光がある場合の半導体レーザー(LD)の挙動は、多くの要因が複雑にからむため現在なお不明な点がある。ここでは、極めて短い外部共振長(Extremely short

external-cavity: ESEC), 強い帰還光の場合についてLDの複合共振作用を解析する。

(a) 単独 LD の発振条件

単独の半導体レーザー(LD)の発振条件を求める。

(b) 光帰還 LD の動作特性

LDを出射した光は外部共振器で反射して再びLDに帰還する。この戻り光の強度や位相は、LDのキャリア密度を変化するとともに、利得スペクトルの形状や屈折率などに影響する。

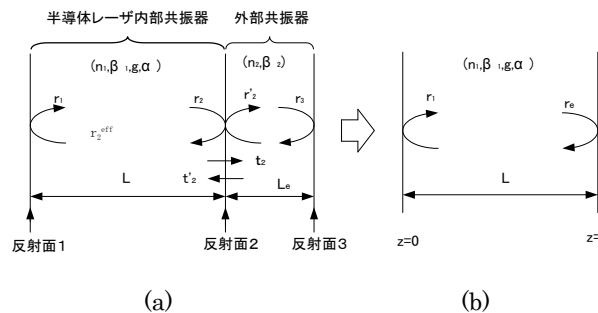


図 2.1 近接型光帰還半導体レーザー光学系

図 2.1 (a)は ESEC-LD の光学系で、半導体レーザーの

反射面 1, 反射面 2 および外部共振器の反射面 3 より構成される。LD 内部からみた反射面 2 と反射面 3 の合計の反射率を実効反射率とすれば、(a)の複合共振系は(b)の単独共振系で置換えることができる。この実効振幅反射率を r_2^{eff} , 反射面 1 の振幅反射率を r_1 とする。以下ではまずこの r_2^{eff} を導出する。

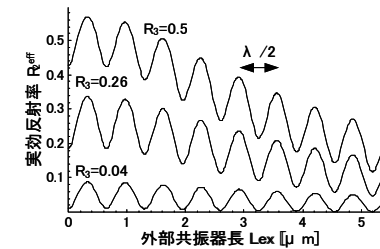


図 2.2 実効反射率の外部共振器長依存性

図 2.2 実効反射率の外部共振器長依存性

次に、この LD の実効反射率の外部共振器長依存性を図 2.2 に示す。 $R_1=0.32$, $R_2=0.01$, パラメータは外部共振器の反射率 R_3 である。以下この実効反射率を用い、ESEC-LD を単独の半導体レーザーとして解析する

2.3 実験解析

実験ではスライダに搭載した半導体レーザーの外

部共振器長を、ディスク媒体からの浮上量として精密制御する。そして、LD の出力、波長、スペクトル、スペクトル幅、サイドモード抑圧比、モード間隔などを測定する。また、媒体側のレーザー端面に反射防止膜を付与して帰還光量を増大し、ESEC-LD の発振メカニズムを解析する。

(a) 実験方法

図 2.3 は実験系の概略で、装置はスライダ、スライダの後端面に取付けた光検出器付き半導体レーザー(LD-PD)、外部共振器としての光ディスク、レンズ、光ファイバー、光スペクトルアナライザ、オシロスコープで構成されている。実験ではディスクと LD との距離(外部共振器長=浮上量)をディスクの回転速度により精密に変化する。

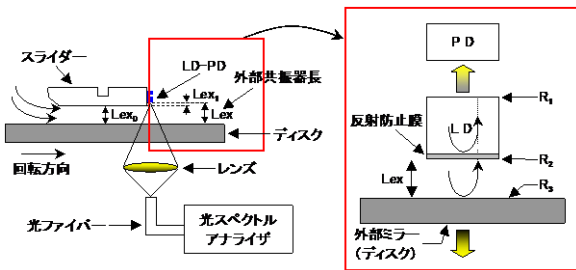


図 2.3 実験系の概略

ディスク透過光はレンズで集光され、光ファイバーにより光スペクトルアナライザに送られ、波長スペクトルが観測される。ディスクからの反射光は LD に帰還

して複合共振作用を起こす。光出力は、反対側に配置した PD の光電流をオシロスコープで測定する。

(b) 実験結果

図 2.4 は $I/I_{th}=1.8$ における発振波長の外部共振器長依存性である⁽²⁾。この典型的な波長変化データを詳細に分析してみる。同図から、①～⑤の区間では波長が直線的に変化し、⑥～⑧の区間では波長が飽和傾向にあり断続的ジャンプを繰り返している。

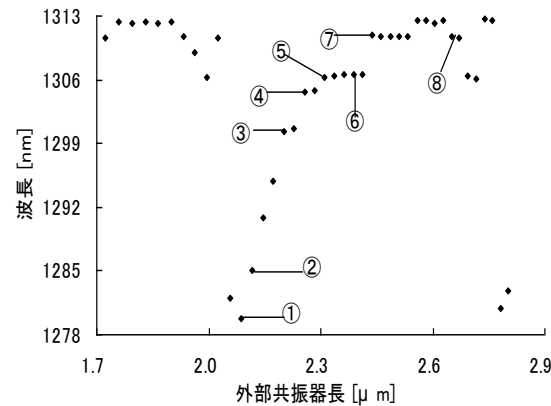


図 2.4 波長の外部共振器長依存性

①～⑧の発振スペクトルを別に示す(プロジェクターの図参照)。①は自然放出状態で多モード発振であるが、②～⑤でシングルモード発振し、外部共振器長に対し波長が直線的に増加している。⑥ではモード数が増えるが、最大強度のモードの波長は変化していない。

⑦では最大強度のモードの波長にジャンプし、⑧以降は非発振領域になっている。なお、⑥～⑧の区間ではモード競合が起こっている。

以上、外部共振器長が極めて短い半導体レーザー(ESEC-LD)の外部共振器長、外部共振器や LD 端面反射率などの共振条件が変わった場合の発振特性を測定した。その結果、発振波長は外部共振器長に対し $\lambda/2$ の周期で変化した。また、波長変化幅の大きい波長可変半導体レーザーとしては、低い LD 端面反射率、短い外部共振器長、高い外部共振器反射率などの条件が必要になった。

【文献】

- (1) H. Ukita, Y. Uenishi and H. Tanaka: Science, **260**, pp.786-789, 1993
- (2) H. Ukita, Y. Karaki: A Wavelength and Spectrum Measurement of an Extremely-Short-External-Cavity Laser Diode by Precisely Controlling Slider Flying Height Optical Review **11**, 3, pp.188-192, 2004