最近の技術から

# コヒーレント通信用半導体レーザー

水　戸　郁　夫

日本電気(株)光エレクトロニクス研究所　〒213 川崎市宮前区宮崎 4-1-1

## 1. まえがき

高い受信感度，周波数領域での多重化が可能などの特長を有するコヒーレント光通信の研究，開発が盛んに進められている．光源には，単一周波数動作を基本として，狭スペクトル線幅動作，周波数変調動作，周波数可変動作など，従来の直接検波光通信への応用に比べて，高性能あるいは新機能が要求される．回折格子型反射鏡を内部に組み込んだ分布帰還型半導体レーザー(DFB LD)や分布反射型半導体レーザー（DBR LD）の単一周波数動作半導体レーザーがコヒーレント光通信用光源として期待される．しかし，たとえば波長可変動作などの新機能を得るには電極を分割するなどの新しい構造が必要になる．ここでは単電極型と多電極型に分類し最近のコヒーレント通信用半導体レーザーの動向を報告する．

## 2. 単電極型半導体レーザー

単電極型の DFB LD の一例を図1に示す．コヒーレント光通信への応用にはスペクトル線幅特性が最も重要となる．共振器長，光出力，および線幅増大係数 $\alpha$ などが線幅に影響を与える．$\alpha$ は注入キャリア密度変化に対する屈折率の変化項と利得の変化項の比 $\{(dn/dN)/(dG/dN)\}$ で与えられ，この値はバルク半導体活性層から，多重量子井戸活性層（MQW）に変えること等により減少できる．

図2に，1.5 $\mu$m 帯半導体レーザー線幅の測定例を示す[1]．バルク素子に比べ，同一共振器長の MQW 素子

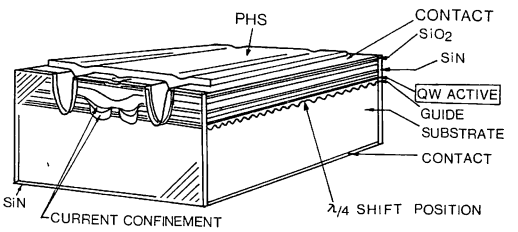


図 1　分布帰還型半導体レーザー（DFB LD）の構造例

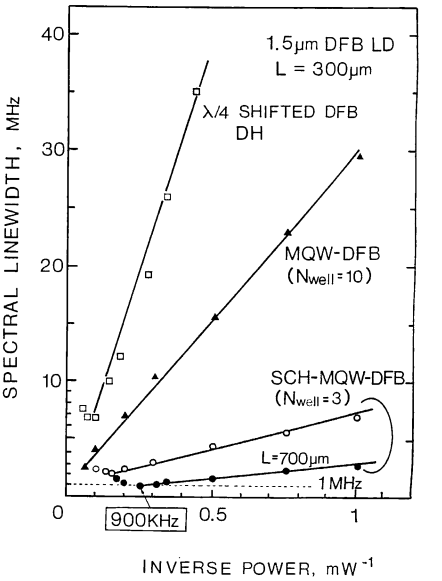


図 2　各種構造半導体レーザースペクトル線幅

で大幅な線幅低減が得られる．また共振器長を長くすることでも線幅が低減し，700 $\mu$m 長の MQW-DFB LD で 900 kHz の値が得られている．また，本来線幅は，光出力増大に伴い単調減少が期待されるが，図2に見られるようにほとんど全ての半導体レーザーは線幅減少の飽和あるいは再増加を示す．半導体レーザーの利得飽和，共振器方向での電界分布不均一の影響などが議論されているが，十分な説明には至っておらず今後の解決が必要である．さらなる半導体レーザーの線幅改善には，歪み MQW 構造採用による $dG/dN$ の増大などが期待されている．

半導体レーザーの発振周波数は数 100 MHz/mA の効率で印加電流により直接変調することが可能である．この FM 応答特性は FSK (frequency shift keying) システムへの応用上重要となるが，発振周波数の変移方向が，低周波数域と高周波数域とで反転する不均一な応答を示す．このような不均一は FM 応答の劣化を招き問題となり解決が求められている．一方，発振周波数の高

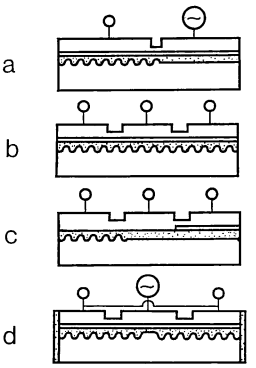


図 3　多電極構造 DBR LD, DFB LD 模式図 (a)位相制御型 DFB LD, (b)多電極 DFB LD, (c)波長可変 DBR LD, (d)波長可変位相シフト DFB LD

速変調動作は最近急速に拡大されており，11 Gbit/s の変調が報告されている[2]．

## 3. 多電極半導体レーザー

素子を複数領域に分け，電流を独立に印加することにより，単一電極構造素子にない機能を得る試みがなされている．図3にいくつかの素子の構造模式図を示す．(a) は回折格子のある領域と回折格子が形成されていない領域とに分けて，おのおの独立に電流を流すことができるようにした素子，(b) は DFB LD への電流注入領域を複数に分割した構造，(c) は DBR LD を活性領域と DBR 領域，位相制御領域に3分割し，おのおのの領域に独立に電流を注入できる構造にした素子，(d)は位相シフト型 DFB LD を回折格子の位相シフト領域を含む中央領域と外側の領域とに2分割した素子である．

多電極素子では電流制御での波長可変動作が可能になった．たとえば図3の(c)に示す3電極型の DBR LD では，DBR 領域，位相制御領域の導波路層に蓄えられるキャリア密度を変化させることで，プラズマ効果を通し屈折率変化を生じさせ発振波長を連続的に変化させることができる[1]．

図4にDFB LD，DBR LD を基本とする波長可変半導体レーザーの波長可変範囲，および波長可変時の線幅を示す．最大 44 Å の連続可変範囲が報告されている[3]．また，局部発振光源として動作させるには，狭線幅特性を兼ね合わせる必要がある．1.2 mm と長共振器の3電極 DFB LD[4] (図3(d)の構造) で1 MHz 以下の線幅を保ち 19 Å の可変動作が報告されている．この構造では最小 500 kHz の狭線幅動作も得られている．

多電極素子では，単電極素子の場合と異なり各電極への電流配分を調整し特定の領域で周波数変調を行うことで単電極素子の場合の FM 応答の不均一を改善することが可能であり，最近では 15 GHz 程度まで平坦な FM 応答特性も報告されている[5]．

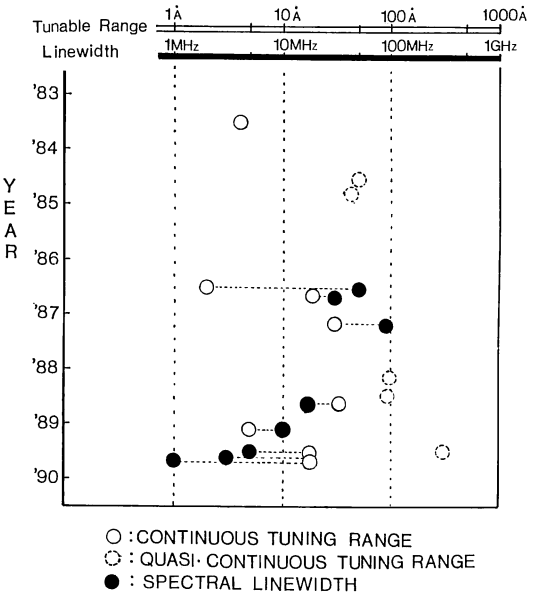


図 4　波長可変動作特性の歴史

## 4. む　す　び

コヒーレント光通信用半導体レーザーについてまとめた．今後の展開には今回報告した特性の改善のほか，絶対波長の安定化，コヒーレント特性の信頼性の確立などが課題となる．

### 文　　献

1) K. Kobayashi and I. Mito: "Single frequency and tunable laser diodes," J. Lightwave Technol., **LT-6** (1988) 1623-1633.
2) R. S. Vodahnel, M. Z. Iqbal, J. L. Gimlett and J. Young: "11 Gbit/s FSK modulation of a 1.53 μm DFB laser," Technical Digest of ECOC '89 (Gothenburg, 1989) paper TuA 7-5.
3) S. Murata, I. Mito and K. Kobayashi: "Tuning ranges for 1.5 μm wavelength tunable DBR lasers," Electron. Lett., **24** (1988) 577-579.
4) Y. Kotaki, S. Ogita, M. Matsuda, Y. Kuwahara and H. Ishikawa: "Tunable narrow-linewidth and high-power λ/4 shifted DFB laser," Electron. Lett., **25** (1989) 990-991.
5) S. Ogita, Y. Kotaki, M. Matsuda, Y. Kuwahara, H. Onaka, H. Miyata and H. Ishikawa: "FM modulation characteristics of narrow linewidth multielectrode λ/4 shift DFB laser," Technical Digest of ECOC '89 (Gothenburg, 1989) paper TuA7-06.

(1989年10月5日受理)