

## 電流負帰還による半導体レーザーの 発振線幅の抑圧

Linewidth Reduction of Semiconductor  
Lasers by Electrical Feedback

大津元一、古田島真一

Motoichi Ohtsu, Shinichi Kotajima

東京工業大学 理工学国際交流センター

International Cooperation Center for  
Science and technology,

Tokyo Institute of Technology

実用的な小型可搬のライダー、FM方式の測距機などには半導体レーザーの使用が有望である。その際これらシステムのパフォーマンス向上にはレーザーの発振線幅の抑圧が不可欠である。そのために従来よりよく用いられている方法として外部鏡、ファイバを用いる光フィードバックがある。これにより最小値1kHzの幅を得た例があるが[1]、この方法として次の問題を含む。(1)

自己安定化機能を有しないのでChaoticな発振不安定を誘起する場合がある。(2)本質的に共振器寸法の増加を免れない。(3)直接変調不可能になる。これらの欠点を克服し、電流制御発振器としての半導体レーザーの特異性を積極的に利用した方法として我々は注入電流負帰還によるFM雑音抑圧、線幅抑圧の方法をすでに提案した[2]。ここではその後得られた結果について御報告する。

図1に制御帯域と得られる線幅との関係を示す。これによると $f_c = \Delta\nu_{FR}$  ( $\Delta\nu_{FR}$ :フリーランニング時の線幅)であればよく、必ずしも広帯域制御は必要でないことがわかる。実際にはこの程度の帯域をかせぐことは困難ではない。それよりもむしろ制御系の低雑音化、高利得化が重要であり、従って次に問題となるのは制御利得を十分大きくとったときの線幅狭帯域化の限界値である。負帰還制御時のFM雑音の値は自然放出レベル以下になりうること、すなわち発振線幅はSchawlow-Townesの理論値以下になりうるということが最近示された[3]。これは光位相のゆらぎが制動力のないランダムウォークであり、制御によりゆらぎを任意量抑圧出来ることに起因する。

実際には制御用の光検出器の雑音が線幅狭帯域化の限界を決めるのでこれを1.5 $\mu\text{m}$ InGaAsレーザーについて求めると図2を得る。周波数弁別にはファブリ・ペロー・エタロンを用いており、図2の横軸Rはその反射率である。APD、PINフォトダイオードを用いた場合の差はAPDの過剰雑音指数による。

図2より負帰還制御時、1kHz以下の線幅が実現する可能性を有することがわかる。

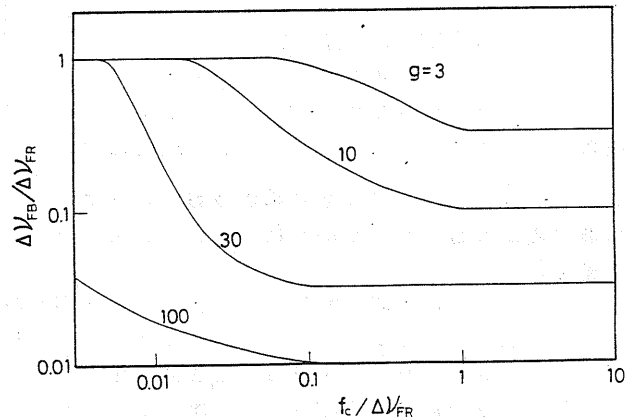


図1 制御帯域と得られる線幅との関係  
g : FM雑音抑圧度

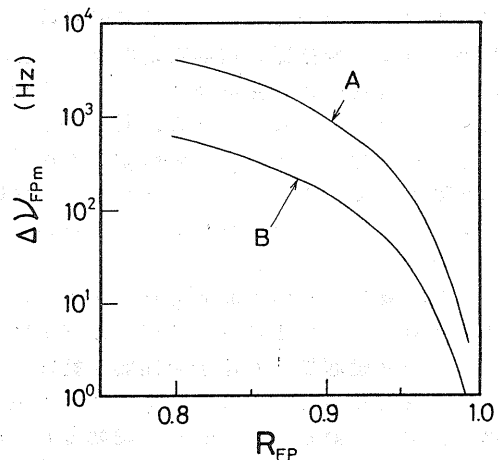


図2 周波数弁別用ファブリ・ペロー・エタロンの反射率と1.5 $\mu\text{m}$ InGaAsレーザーの発振線幅の限界値との関係

図3に示す装置で実験を行なった。1.5 $\mu\text{m}$ InGaAsレーザー(DFB型)[4]を用いた。制御帯域は100MHzである。線幅測定は遅延自己ヘテ

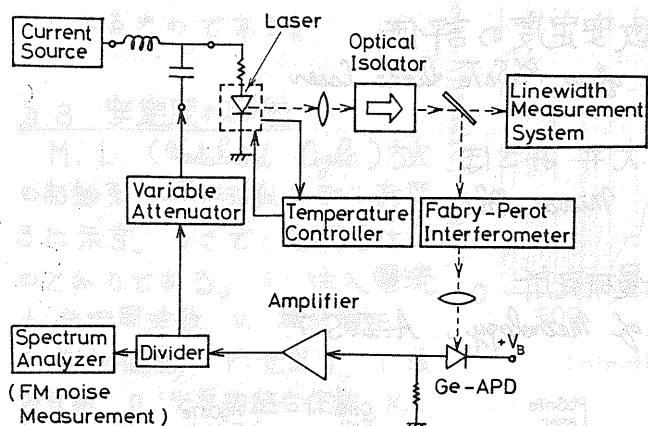


図3 実験装置

ロダイン法 [5] によった。図4はえられた線幅の電流依存性を示す。フリーランニング時は

$$\Delta\nu_{FB} = 12.5 \left( I/I_{th} - 1 \right)^{-1} \quad (\text{MHz}) \quad (1)$$

であり Modified Schawlow-Townes の式に合致しているのに対し  $R_{FP} = 90, 95\%$  のときの制御下では

$$\Delta\nu_{FB} = 7.2 \left( I/I_{th} - 1 \right)^{-2.45} \quad (\text{MHz}) \quad (2)$$

( $R_{FP} = 90\%$ )

$$\Delta\nu_{FB} = 8.5 \left( I/I_{th} - 1 \right)^{-3.58} \quad (\text{MHz}) \quad (3)$$

( $R_{FP} = 95\%$ )

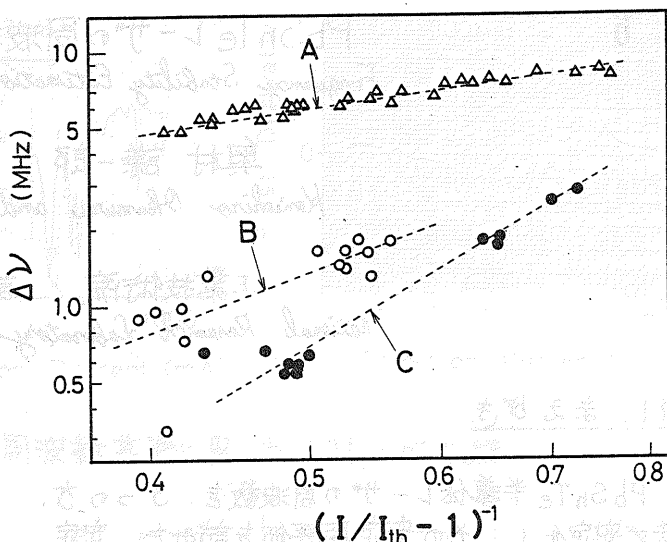


図4 線幅と注入電流との関係

A : フリーランニング B :  $R_{FP} = 90\%$  C :  $R_{FP} = 95\%$

となり  $(I/I_{th} - 1)$  に対する依存性が急なのは周波数専用のファブリ・ペロー・エタロンの共振曲線の傾斜が高バイアス時ほど急だからである。これらのスペクトル形状は時間的に安定であった。これは光フィードバック法では見られない特色である。今回電流負帰還によって得られた線幅の最小値は  $330 \text{ kHz}$  であり、これはフリーランニング時の値  $5 \text{ MHz}$  の  $1/10$  以下になっている。また、この値は誤り率  $10^{-9}$  以下の PSK ヘテロダイン差動同期検波方式光通信に要求される値 [6] をすでに満足している。また、これを FM 方式の測距に用いるとき、約  $1 \text{ km}$  までの測距が可能となる。

今後、実験値を図2の値に近づけるにはレーザの AM 雑音の抑圧、DBM の使用、などにより、より高感度に FM 雑音検出をすること、光検出器の低雑音化、などが必要である。

#### 文献

- [1] R. Wyatt, Proc. Conf. Opt. Fiber Comm., TUP2, San Diego, 1985
- [2] M. Ohtsu and S. Kotajima : Jpn. J. Appl. Phys., 24 (1985) in press
- [3] S. Saito, O. Nilsson, and Y. Yamamoto : Appl. Phys. Lett., 46 (1985) 3
- [4] S. Akiba, K. Utaka, K. Sakai, and Y. Matsushima : IEEE J. Quantum Electron., QE-19 (1983) 1052
- [5] T. Okoshi, K. Kikuchi, A. Nakayama : Electron. Lett., 16 (1980) 630
- [6] K. Kikuchi, T. Okoshi, M. Nagamatsu, and N. Henmi : Electron. Lett., 19 (1983) 417