

混合変調レーザの単一モード性向上の研究

著者	一色 竜杜
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	87
号	1
ページ	186-187
発行年	2018-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/00123495

修士学位論文要約（平成30年3月）

混合変調レーザの
単一モード性向上の研究

一色 竜杜

指導教員：八坂 洋

A Study on Single Mode Stability Improvement
of the Hybrid Modulation Laser

Ryuto ISSHIKI

Supervisor: Hiroshi YASAKA

In order to speed up semiconductor lasers, a hybrid modulation (HM) scheme has been proposed. But there were unstable operating conditions at the vicinity of the optimum one caused by self-pulsation in conventional HM laser. The self-pulsation occurs due to the deterioration in threshold gain difference among main and side modes. So I propose a new structure HM laser which introduces corrugation grating even at the intra cavity loss modulation section. It is confirmed that the stable operation condition is expanded by introducing the new structure in the HM laser.

1. はじめに

通信システムの更なる高速化、大容量化の実現には半導体レーザ光源の高速化が極めて重要である。近年、外部共振器構造付与によって光子共鳴効果を導入することで半導体レーザの帯域を拡大する試みが報告されている[1]。しかし、直接電流変調では変調感度が緩和振動周波数以降で急激に劣化してしまうため光子共鳴効果による第2の共振周波数を高周波側に上げていくと、緩和振動ピークとの間での感度が-3 dBを下回ってしまい、第2の共振ピークが十分に帯域拡大に寄与出来なくなってしまう問題があった。そこで高周波領域における感度劣化を抑制する変調方法として直接電流変調方式と損失変調方式を組み合わせた混合変調方式が提案された[2]。本方式を導入した混合変調レーザはDFB活性領域と電界吸収型導波路から成る損失制御領域を集積した構造を有する。しかし、従来の混合変調レーザは最適動作条件の近傍にシングルモード性低下による自励発振領域が存在する事で動作条件が制限されるという課題が存在した。

この課題を解決するために損失制御領域に回折格子を導入した構造を提案し、本構造を導入することで、安定動作条件を拡大しつつ100 Gbps NRZ信号による大振幅変調時にも良好な消光特性が得られる事を数値解析によって明らかにした。

2. 結合波方程式を用いたシングルモード性評価

シングルモード性の評価には結合波方程式を用いた。レーザ共振器内の電界 $E(z)$ を進行波 $F(z)$ と後退波 $R(z)$ の和で表すと、レーザを N 個の領域に分割し

た際の n 番目と $n+1$ 番目の F と R の間には以下の関係が成立する。

$$\begin{bmatrix} F_{n+1} \\ R_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_n \\ R_n \end{bmatrix} = T_n \begin{bmatrix} F_n \\ R_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$a_{11} = \cosh(\gamma z) + \frac{\alpha - j\Delta\beta}{\gamma} \sinh(\gamma z)$$

$$a_{12} = -\frac{j\kappa \exp(-j\Omega\Delta z)}{\gamma} \sinh(\gamma z)$$

$$a_{21} = \frac{j\kappa \exp(-j\Omega z)}{\gamma} \sinh(\gamma z)$$

$$a_{22} = \cosh(\gamma z) - \frac{\alpha - j\Delta\beta}{\gamma} \sinh(\gamma z)$$

α は利得係数、 $\Delta\beta$ はブラッグ波長からの伝搬定数差、 κ は回折格子の結合係数、 Ω は回折格子の初期位相、 $\gamma = \pm\sqrt{-(\alpha - j\Delta\beta)^2 + \kappa^2}$ である。

レーザ全体の転送行列は(1)式の積で与えられる

$$\begin{bmatrix} F_N \\ R_N \end{bmatrix} = \prod_{n=0}^N T_n \begin{bmatrix} F_0 \\ R_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\equiv \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_0 \\ R_0 \end{bmatrix}$$

となり、レーザの発振条件は $t_{22} = 0$ で与えられる。

各モードにおいて最小の t_{22} とその次に小さな t_{22} の差を Δt_{22} とすると、 Δt_{22} はサイドモード抑圧度を示す。

3. 回折格子構造導入による安定動作条件拡大

混合変調レーザの特性は、損失制御領域内の光損失量 α_{loss} と同領域内で生じる位相遅延 $\Delta\phi$ によって決定される。 Δt_{22} の α_{loss} と $\Delta\phi$ 依存性の計算結果を図 1 に示す。図 1-(a) は従来構造の混合変調レーザ、(b) は損失制御領域に回折格子を導入した混合変調レーザに対する結果である。黒の実線で囲まれた領域は大振幅動作時にも単一モード発振を維持するための $\Delta t_{22} \geq 0.6$ の条件を満たす領域であり、黒色の点線で囲まれた領域は 100 Gbps NRZ 信号による大振幅変調時に消光比が 3 dB 以上となる条件を示す。図 1-(a) に示すように従来構造の混合変調レーザでは高消光比動作条件の近傍に灰色で示す自励発振領域が存在するため動作条件を精密に制御する必要があった。これに対して、回折格子を導入する事で図 1-(b) に示すようにシングルモード動作条件が大幅に拡大し、不安定動作条件の狭窄化が可能である事が確認された。

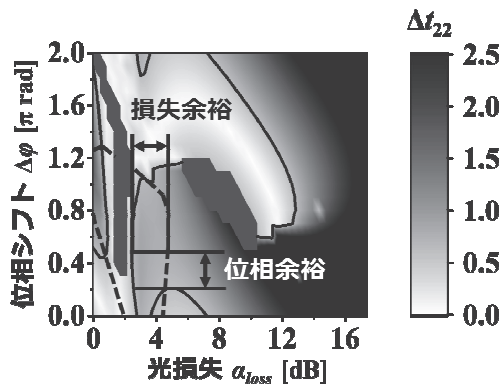


図 1-(a) 従来構造の混合変調レーザ

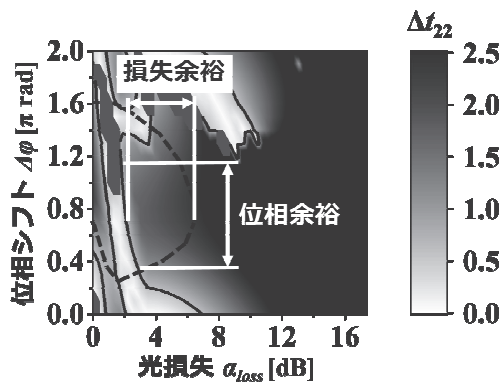


図 1-(b) 回折格子導入型混合変調レーザ

図 1 Δt_{22} の光損失及び位相シフト依存性

混合変調レーザの超高速変調時には 100 Gbps NRZ 信号による大振幅変調で良好な特性を示し、かつ動的にシングルモードで安定動作する事が求められる。双方の条件を満たす動作条件の中で、損失方向の最大範囲を損失余裕、位相方向の最大範囲を位相余裕と定義し両者を比較する事で安定動作条件の評価を行った。図 1-(a) に示すように従来の混合変調レーザの位相余裕は 0.2π rad、損失余裕は 2.17 dB であった。これに対して、回折格子導入型混合変調レーザの位相余裕は図 1-(b) に示すように 0.9π rad、損失余裕は 4.34 dB であった。新構造を導入する事で位相余裕は 4 倍以上、損失余裕は 2 倍に増加し、最大消光比も増加する事が確認できた。

5. まとめ

本研究では従来の混合変調レーザの課題であった動作点制御性を改善する事を目的とした。動作点制御性を低下させている原因が自励発振の発生であり、これは外部共振器を集積する事に起因した動的シングルモード性の低下が原因であることを明らかにした。シングルモード性の低下を改善するためのレーザ構造として回折格子導入型混合変調レーザ構造を提案し、結合波方程式モデルを用いた数値解析を行う事で 100 Gbps NRZ 信号による大振幅変調特性及びシングルモード性の評価を進め、動作点の制御性を飛躍的に向上可能である事を明らかにした。

文献

- [1] M. Radziunas, A. Glitzky, U. Bandelow, M. Wolfrum, U. Troppenz, J. Kreissl, and W. Rehbein, "Improving the modulation bandwidth in semiconductor lasers by passive feedback," IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron. 13(1), 136 (2007).
- [2] Shigeru Mieda, R. Isshiki, Nobuhide Yokota, Wataru Kobayashi, and Hiroshi Yasaka, "Tailoring of Semiconductor Laser's Frequency Response by Hybrid Modulation Scheme," In Proc. Semiconductor Laser Conference (ISLC), paper WE23 (2016).