

修士学位論文要約（平成29年3月）

ハイブリッド変調による半導体レーザ 変調特性制御の研究

早崎 嘉高

指導教員：八坂 洋

Modulation Characteristic Control of Semiconductor Laser by Using Hybrid Modulation Scheme

Yoshitaka HAYASAKI

Supervisor: Hiroshi YASAKA

In this research, in order to realize a modulation scheme which has low modulation sensitivity degradation at a high-frequency region and low chirp, we propose a hybrid modulation (HM) scheme based on the direct current modulation (DM) and intra-cavity loss modulation (ICLM). By analytical evaluation based on the rate equation, it was shown that deterioration of the modulation sensitivity in the high frequency region can be reduced while maintaining the flatness of the small signal response characteristic by introducing the HM scheme. We experimentally verified the characteristics obtained by numerical analysis using a HM laser.

1. はじめに

通信システムのさらなる高速化、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、外部共振器構造によって光子共鳴効果を導入した半導体レーザにおいて、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。そのため図1-(a)のように、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の共振状態が十分に帯域拡大に寄与できなくなってしまう。そこで本論文では、高周波領域における変調感度劣化が少なく、かつ、低チャープな変調方法の考案を目的とし、直接電流変調と共振器内部損失変調を組み合わせたハイブリッド変調半導体レーザ光源の研究を進めた(図1-(b))。本研究を通して、最適な条件下のハイブリッド変調では帯域の平坦性と広帯域性が向上し、かつ長距離伝送特性が改善されることを明らかにした。

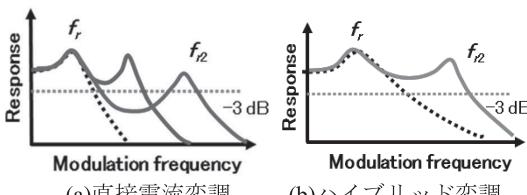


図1 光子共鳴効果による帯域拡大法における変調方式による違い

2. 共振器内部損失変調による帯域拡大

直接電流変調による緩和振動周波数以降の急激な感度劣化を抑制する方法として共振器内部損失制御検討した。DFB活性領域へは定電流を注入し、レーザに設けた損失変調領域に電圧を印加することでレーザ共振器の内部損失を制御する。レーザの内部損失が増加すると、レーザの発振しきい値利得は上昇するため電流一定時における出力光強度は減少する。このようにして損失変調領域の印加電圧の増減によって出力光強度の変調が可能となる。図2に損失変調時と直接変調時それぞれの小信号応答特性を示した。直接変調では緩和振動周波数以降で感度が急激に劣化しているのに対し、損失変調では緩和振動周波数以降の感度劣化が比較的緩やかになっていることがわかる。しかし損失変調では、低周波数側に強い緩和振動ピークを示しており、大信号動作時の波形劣化が懸念される。

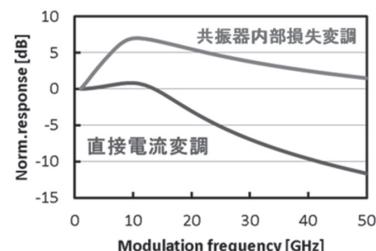


図2 小信号応答特性の計算結果

3. ハイブリッド変調レーザの数値解析

ハイブリッド変調では DFB 活性領域と損失変調領域の双方に変調信号を印加する。本方式を導入することにより直接電流変調と共振器内部損失変調の各変調方式の長所を両立した変調特性が得られると考えた。二つの変調方式を併用することから、ハイブリッド変調方式では両変調の変調度の比 η が変調特性に大きく影響する。また、電極への経路長差を変え、電極印加に時間差 Δt を与えた。図 3 に変調比 η と時間差 Δt を変更させた時のレーザの土 ± 3 dB 帯域を計算したカラーマップを示した。変調比 0.4、直接変調の遅れ時間 20 ps 付近では ± 3 dB が大幅に拡大することが確認された。動作点 A~C における周波数応答特性の計算結果を図 4 に示した。変調比により周波数応答特性が大きく変化していることがわかる。動作点 A では低周波数側で大きなディップが生じている。このディップは遅れ時間を加えることで、両変調成分の振幅が同程度で逆相になり強度が著しく低下したため生じたと考えられる。動作点 B では感度劣化も少なくフラットな理想的な特性を示し、50GHz 以上の ± 3 dB 帯域が得られた。

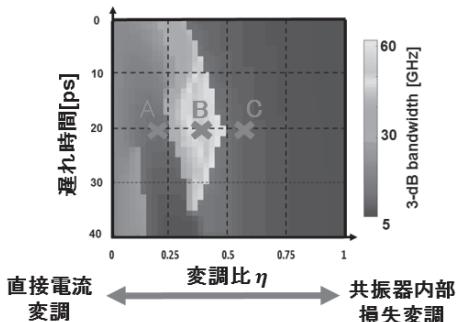


図 3 土 ± 3 dB 帯域の変調比および時間差依存性

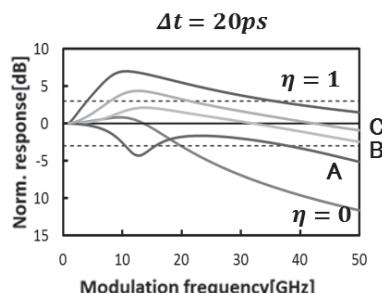


図 4 各変調比においての周波数特性

4. ハイブリッド変調レーザの変調特性実験

次に解析結果を検証するために、実際に試作したデバイスを用いて実験を行い、得られたハイブリッド変調レーザの周波数応答特性を図 5 に示した。

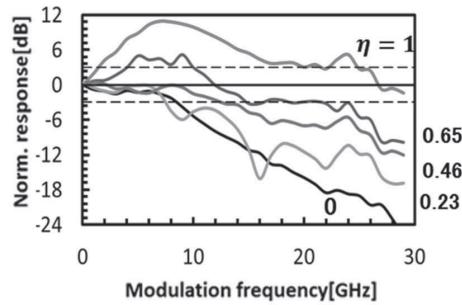


図 5 周波数応答特性測定結果

$\eta=0.46$ 付近では緩和振動ピークが小さなディップにより打ち消され低周波領域において平坦な特性を示し、約 14 GHz の ± 3 dB 帯域が得られた。図 5 の結果は数値解析結果の傾向と概ね一致したことを見た。

また 10Gbps_NRZ 信号を入力し、20 km 伝送後のアイパターンを測定したところハイブリッド変調では、直接変調および損失変調に比べ eye が開くことを確認した。これは遅れ時間を加えることにより緩和振動ピークが抑えられ、直接電流変調時のチャープが共振器内部損失変調によって相殺されたからだと考えられる。

5. まとめ

本研究では高周波領域における変調感度劣化が少なく、かつ低チャープな変調方法を実現するために、活性領域電流および共振器内部損失を同時に変調するハイブリッド変調法の変調特性について解析・実験の両面から検証した。レート方程式に基づいた解析的な評価を行い、ハイブリッド変調法を導入することで、小信号応答特性の平坦性を維持したまま高周波領域において変調感度の劣化を低減可能であることを示した。ハイブリッド変調レーザを用いた検証実験により、数値解析で得られた特性が実現可能であることを実証した。今後、ハイブリッド変調法を適用した外部共振器型半導体レーザにより、100Gbps の超高速レーザ光源の実現が期待される。

文献

- 1) J. Kreissl, V. Vercesi, U. Troppenz, T. Gaertner, W. Wenisch, and M. Schell, "Up to 40-Gb/s Directly Modulated Laser Operating at Low Driving Current: Buried-Heterostructure Passive Feedback Laser (BH-PFL)," IEEE Photon. Technol. Lett. 24(5), 362 (2012).