

Lamb 方程式による TE モード一方向発振リングレーザの動作解析 Analysis of TE mode Unidirectional Semiconductor Ring Lasers by Lamb equation

東京農工大工 ○坂東敬広 八木友飛 清水大雅

Tokyo Univ. of Agri. & Tech., ○Takahiro Bando, Yuhi Yagi, and Hiromasa Shimizu

E-mail: h-shmz@cc.tuat.ac.jp

[はじめに] 光フリップフロップメモリはネットワーク網の全光動作に必要な不可欠なデバイスである。実現手段として半導体リングレーザ(Semiconductor Ring Laser: SRL)を用いた光フリップフロップメモリが報告されている^[1]。ただし 2 個の SRL が必要であること、1 ビットのメモリ動作が実証されただけであり、入出力光の分離が不完全という問題点がある。特に入出力光の分離は、光メモリの集積化にとって重要な課題である。光メモリどうしを接続した際、互いの発振光が干渉し、動作が不安定化するためである。集積化のためには、一方向にのみ発振する SRL の実現が望まれる。SRL を一方向に発振させることで、外部光を切った後でも周回帰還光による光注入同期により発振状態の維持を期待できる。我々の研究目的は、光フリップフロップメモリへの応用に向けた「一方向発振 SRL」の実現である。これまで TM モード一方向発振 SRL が報告されている^[2]。しかし素子サイズやしきい値電流の高さに難がある。本研究では、小型化の点で有利なハイメサ型の TE モード SRL に TE モード半導体光アイソレータ^[3]を集積することで一方向発振化を試みる。本報告では前段階として Fig.1 に示す SRL の一方向発振化に必要な条件を求めたので報告する。

[素子の構造と非相反損失の導出] Fig.1 に設計した TE モード一方向発振 SRL の構造を示す。動作波長は 1550nm である。出力導波路、リング共振器、方向性結合器は全て幅 $W=2\mu\text{m}$ のリッジ型の半導体光増幅器導波路から成る。曲げ導波路の半径 R は曲げによる放射損失が無視できる $300\mu\text{m}$ とした。結合長 L は $50\sim 250\mu\text{m}$ の 5 種類と変化させ、分岐比を $8:2\sim 1:1$ の間に設定した。リング共振器の一部には TE モード光アイソレータを設けた。光アイソレーションの大きさを導波路側壁と Fe 間の Al_2O_3 バッファ層の膜厚 d によって制御した。アイソレータ部の長さ l_{iso} を $50\mu\text{m}$ と一定として一方向発振に必要な光アイソレーションを求めた。導出のために、Lamb 方程式^[4]にアイソレータを適用したモデルを構築し、キャリア密度を変化させたときのポンピングファクターと互いに逆方向に進行する電界 E_1 (CW), E_2 (CCW) の時間変化を計算し、CW 光、CCW 光に対する L-I 特性を求めた。(Lamb 方程式は互いに逆方向に進行する電界 E_1 (CW), E_2 (CCW) の時間変化を表している。実際の解析は規格化キャリア密度方程式と共に行う。 E_1 , E_2 の時間平均値を求め、横軸を規格化キャリア密度方程式のポンピングファクター μ としてプロットしたものが L-I 特性となる)。光アイソレーション Δb_{iso} を変化させたときの L-I 特性を Fig.2 に示す。方向性結合器の分岐比が $8:2$ ($L=50\mu\text{m}$)、 $\Delta b_{\text{iso}}=4.5\text{dB/mm}$ のとき CW, CCW 間に 20dB 以上という最大値のアイソレーションが得られた。アイソレータ長が $50\mu\text{m}$ であることから、一方向発振に必要な光アイソレーションはリング共振器 1 周あたり 0.225dB であると結論付けた。 4.5dB/mm の消光比はこれまでに報告している TE モード半導体光アイソレータの特性から達成可能である^[5]。

参考文献 [1] M. T. Hill et al., Nature **432** (2004) 206. [2] G. Takahashi et al., 22nd Int. Conf. Indium Phosphide and Related Materials, FrA1-5, (2010). [3] H. Shimizu et al., J. Lighthwave technol., **24** (2006) 38. [4] M. Sorel et al., IEEE J. Quantum electron., **39** (2003) 1187. [5] H. Shimizu et al., accepted for publication in Jpn. J. Appl. Phys. (2014).

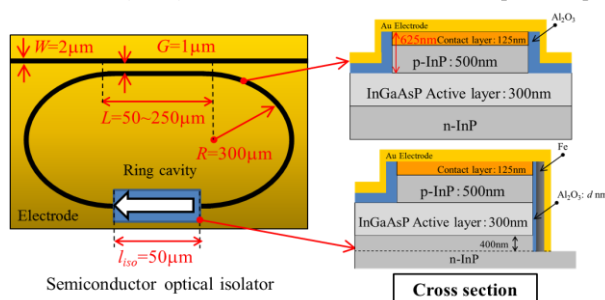


Fig.1: A schematic device structure of TE mode unidirectional SRL.

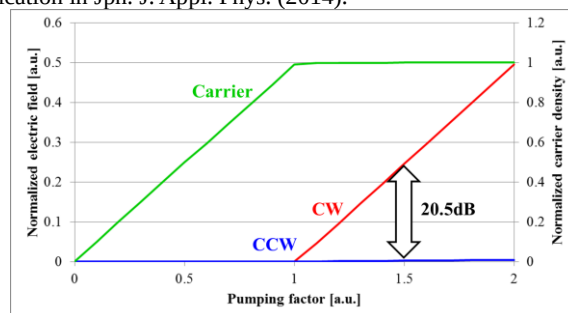


Fig.2: Calculated L-I characteristics and normalized carrier density, where the branching ratio is $8:2$, $\Delta b_{\text{iso}}=4.5\text{dB/mm}$.