

# モード同期半導体レーザーによる超高繰り返し光パルス発生

小川 洋・荒平 慎

光通信システムは高速化を進めることにより大容量化が図られてきたが、インターネットの普及等によりさらなる大容量化が急務となっている。電子デバイスの高速化に限界がみえてきた現状で、このような要請に応えるため波長多重や光時分割多重など光領域での多重技術の研究開発が活発である。一方で長距離化を目的としてソリトン伝送方式の研究も実用化に向け大きく進展している。これら将来の光通信システムにおいては光信号としてこれまでのCW半導体レーザーを用いるNRZ (non-return-to-zero) 信号からRZ (return-to-zero) 信号への移行が予想され、高性能なパルス光源の必要性が高まっている。

光通信用パルス光源としてはモード同期技術を用いた半導体レーザーやファイバーレーザー<sup>1)</sup>、変調特性の非線形性を利用した光変調器<sup>2)</sup>が有望である。中でも、モノリシック型受動モード同期半導体レーザーは電子デバイスの速度限界を超えた高繰り返し化が可能であり、かつ小型、安定であるなど光通信用光源としてすぐれた特長を有している。本稿では、われわれが将来の光通信用光源として研究開発しているモード同期半導体レーザーの高繰り返し化技術について述べる。

## 1. 素子構造および繰り返し周波数

モノリシック型受動モード同期半導体レーザーの基本的な素子構造を図1に示す。電極分離された利得領域と可飽和吸収領域から成り、前者に順方向電流を注入し、後者に逆方向電圧を印加することにより受動モード同期発振を起こす。このとき、繰り返し周波数は光パルスが共振器を周回する時間で決定される。

図2に共振器長を変えたときの繰り返し周波数の測定結果を示す。図中○印は8層のInGaAsP/InGaAlAs歪み量子井戸を用いたモード同期半導体レーザーの例で、可飽和吸収領域長を50 μm一定として、共振器長を変えて繰り返し周波数を測定した結果である。繰り返し周波数は群速

度屈折率を3.6としたときの共振器の周回周波数の計算値によく一致しており、最高で共振器長350 μmのとき116 GHzが得られた。共振器長をこれより短くした場合、可飽和吸収領域長を短くし、端面反射率を上げることにより160 GHz程度まで観測しているが<sup>3)</sup>、パルス幅が広くデューティ比の劣化がみられた。モード同期半導体レーザーに用いられる可飽和吸収体の吸収回復時間については10 ps程度の値が報告されており<sup>4)</sup>、100 GHzを超えると吸収回復時間の影響が顕著になってくると推測される。以下に、吸収回復時間の短縮化を図ったモード同期半導体レーザーについて述べる。

## 2. GRIN-SCH 構造

可飽和吸収体の吸収回復時間は、井戸層からの熱放出時間およびトンネル時間を含めた吸収層のキャリア走行時

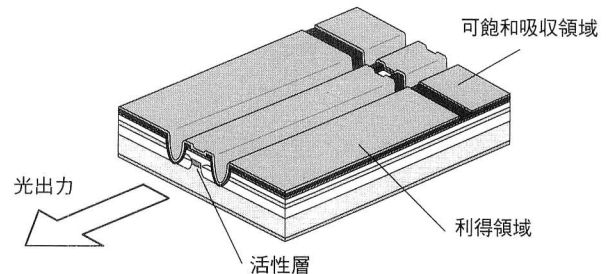


図1 モード同期半導体レーザーの基本的素子構造。

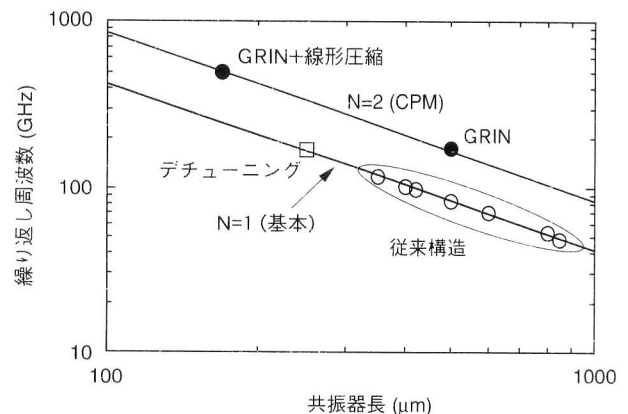


図2 繰り返し周波数の共振器長依存性。

沖電気工業(株)コンポーネント事業部 (〒193-8550 東京都八王子市東浅川町 550-1)  
E-mail: ogawa345@oki.co.jp

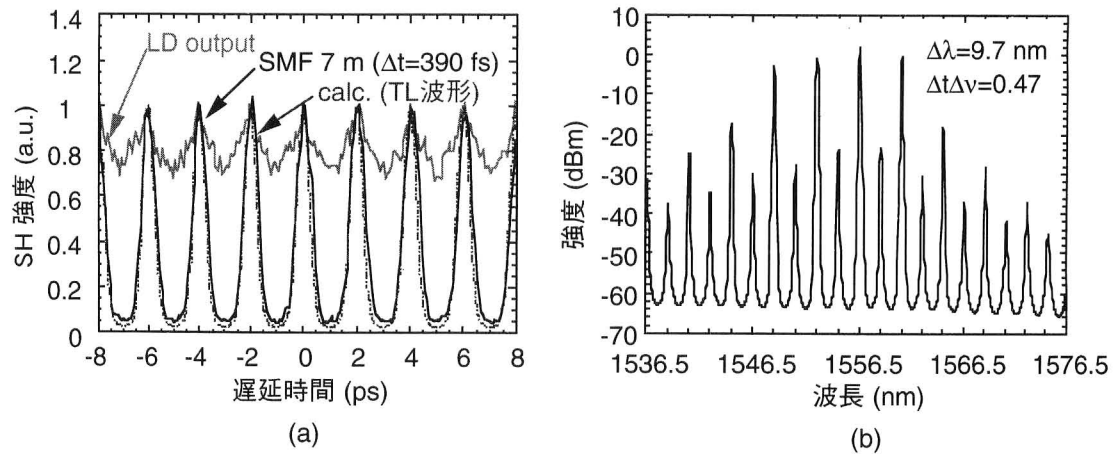


図3 (a) 500 GHz 光パルス列の相関波形, および (b) 光スペクトル波形.

間と SCH 層からの掃き出し時間によって決定される。通常の SCH 構造では SCH 層と InP クラッド層のバンド不連続エネルギーが大きく、ここにキャリアがたまる、いわゆるパイルアップが起こる。このため吸収回復に長い裾引きが生じ、光パルス通過前吸収が減少しモード同期特性が劣化する。GRIN-SCH 構造では MQW 層と InP クラッド層を階段状に繋ぐことによりキャリアの滞留を軽減できる。実験では<sup>9)</sup>、バンドギャップ波長  $1.3 \mu\text{m}$ ,  $1.2 \mu\text{m}$ ,  $1.1 \mu\text{m}$  の InGaAsP 層で GRIN 構造を形成し、活性層は 8 層の InGaAsP/InGaAsP 歪み量子井戸とした。また、可飽和吸収領域を共振器中央に配置した CPM (colliding pulse mode-locking) 構成とした。図 2 に ● 印で GRIN-SCH 構造 CPM 半導体レーザーで得られた繰り返し周波数の測定値を示す。共振器長  $500 \mu\text{m}$  のとき繰り返し周波数  $174 \text{ GHz}$ , パルス幅  $0.95 \text{ ps}$  の光パルス列が得られた。さらに共振器長を  $170 \mu\text{m}$  としたとき、 $500 \text{ GHz}$  の高繰り返しが得られている。図 3 にこのときの相関波形とスペクトル波形を示す。この場合、モード同期半導体レーザーからの出力はチャージングのため広がっているが、通常分散ファイバー ( $D=18 \text{ ps/km/nm}$ )  $7 \text{ m}$  を通すことによりパルス幅約  $390 \text{ fs}$  が得られた。

### 3. デチューニング構造<sup>9)</sup>

可飽和吸収領域の印加電界を高くすることによりキャリア走行時間を短縮できる。しかしながら、可飽和吸収領域の印加電圧を高くすると、QCSE (quantum confined Stark effect) によりエキシトン吸収ピークが長波長側にシフトし、利得ピークから外れることによりモード同期がかからなくなるという問題がある。そこで、可飽和吸収領域の組成をあらかじめ利得領域のバンドギャップ波長より短波長側にずらしておくことを試みた。作製は選択成長法を用いて利得領域と可飽和吸収領域のバンドギャップ波長

に  $-42 \text{ nm}$  のデチューニングを設けた。長さ  $250 \mu\text{m}$  の素子で、図 2 に □ 印で示したように繰り返し周波数  $169 \text{ GHz}$ , パルス幅  $570 \text{ fs}$  が得られている。

これまでに、モード同期半導体レーザーにより  $1 \text{ THz}$  前後の繰り返しは得られているが<sup>7)</sup>、その消光比はまだ十分なものではない。ここで述べた方法により消光比をさほど劣化させずに  $200 \text{ GHz}$  程度までの光パルスは発生できることがわかった。テラヘルツ領域まで繰り返しを上げる場合はさらに大幅な吸収回復時間の短縮化が必要である。ただし、モード同期動作を実現するためには飽和エネルギーが低い必要があり、大きな非線形性を保ったまま応答の速い材料の開発が望まれる。

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) から研究を委託されたフェムト秒テクノロジー研究機構 (FESTA) の研究の一環として行った。

### 文 献

- 1) 吉田英二, 中沢正隆: レーザー研究, **27** (1999) 274-280.
- 2) M. Suzuki, H. Tanaka, N. Edagawa, K. Utaka and Y. Matsushima: J. Lightwave Technol., **11** (1993) 468-473.
- 3) 小川 洋, 荒平 慎, 国松大介, 村井 仁, 松井康浩: 第 45 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, **3**, 29a-SW-11 (1998) p. 1070.
- 4) H. Kurita, I. Ogura and H. Yokoyama: IEICE Trans. Electron., **E81-C** (1998) 129-139.
- 5) 荒平 慎, 加藤幸雄, 国松大介, 小川 洋: 第 46 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, **3**, 29p-C-11 (1998) p. 1137.
- 6) D. Kunimatsu, S. Arahira, Y. Kato and Y. Ogawa: IEEE Photonics Technol. Lett., **11** (1999) 1363-1365.
- 7) S. Arahira, S. Oshiba, Y. Matsui, T. Kunii and Y. Ogawa: Opt. Lett., **19** (1994) 834-836.

(2000 年 5 月 1 日受理)