

# 最近の技術から

## 半導体レーザーの高速外部変調

石川 浩

(株)富士通研究所 〒243-01 厚木市森の里若宮 10-1

### 1. ま え が き

半導体レーザーは電流による直接変調が比較的容易であることから、光通信の光源としてその高速化が図られてきた。これまでに InGaAsP/InP 系の Fabry-Perot 型のレーザーで 26 GHz, DFB レーザーでも 16 GHz の 3 dB 小信号変調帯域が得られている<sup>1,2)</sup>。このように高速の半導体レーザーが表現されているが、直接変調時にはキャリア密度の変動による波長チャーピングが生じ、5~10 Gbit/s の超高速のシステムや、ファイバの分散の大きい 1.55  $\mu\text{m}$  帯の長距離システムへの適用は困難なのが現状である。そこで、外部に変調器を設けて高速変調を行ない低チャープをを目指す外部変調方式が検討されている。半導体の変調器をレーザーとモノリシックに集積化できれば理想的であろう。ここでは半導体を用いた光変調器の現状を報告する。

### 2. 電界光吸収型変調器

半導体を用いた変調器として、Franz-Keldysh タイプのものが有力なものとして研究されている<sup>3,4)</sup>。このタイプの変調器は、吸収層に電界をかけることによりバンドギャップを変化させて吸収係数を変え、光に強度変調をかけるものである。実際はストライプ状にした DH 構造に逆バイアスを加えて電界を印加する。この変調器においても吸収係数を変化させるために、必然的に屈折率も変化し波長のチャーピングが起こる。チャーピングの大きさは印加電界の変化に対応する屈折率の実数部と虚数部の変化の比を表わすパラメータ  $\alpha$  と変調時の光パワーの変化の速度  $dP/dt$  に比例する<sup>5)</sup>。外部変調器で低チャープの変調ができるか否かはこの  $\alpha$  の値が決め手となる。変調器の吸収層の組成を挿入損失が少なくかつ十分な消光比がえられ、さらに  $\alpha$  が小さくなるように設定しなければならない。波長 1.55  $\mu\text{m}$  の光に対して吸収層の組成に対応する波長を 1.42  $\mu\text{m}$  に設定した InGaAsP/InP 変調器で測定した消光比  $r$  と  $\alpha$  を図 1

に示す。印加電圧 -5 V で消光比 15 dB が得られ、 $\alpha$  の値は約 1 である。レーザーの直接変調時のチャーピングも  $\alpha$  と  $dP/dt$  に比例し、そのときの  $\alpha$  の値は約 6 である。したがって、外部変調では単純に考えて 1/6 の低チャープが得られる。また外部変調器では直接変調時の緩和振動による極端に大きな  $dP/dt$  が無いため、さらにチャーピングが小さくなると予想される。

### 3. モノリシック変調器付き DFB レーザー

単体の変調器ではレーザーとの光結合損失が大きく実用に供するのは困難である。良好な光結合を得るため、DFB レーザーと変調器との集積化<sup>6,7)</sup>が望まれる。図 2 に最近良好な特性が得られたモノリシック集積化素子の構造を示す。この素子では、順方向デバイスである

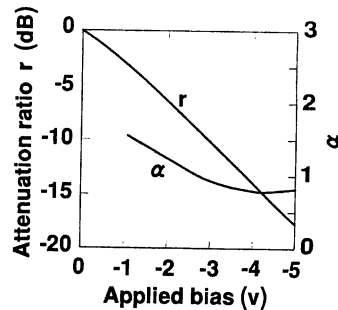


図 1 消光比と  $\alpha$  の印加電圧依存性

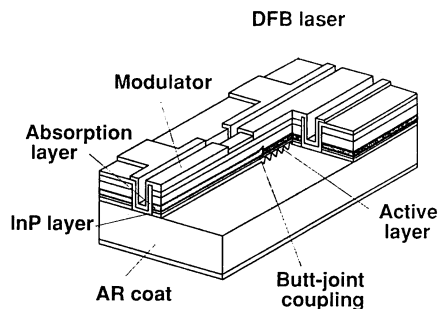


図 2 モノリシック集積化変調器付き DFB レーザー

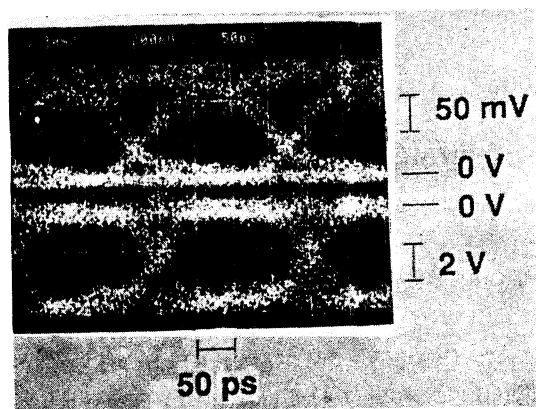


図3 5 Gbit/s, NRZ 変調時のアイパターン  
下段: 印加電圧波形, 上段: 光変調波形

DFB レーザーと逆方向デバイスである変調器とを電気的に分離するためにメサ構造を採用し約  $5\text{ k}\Omega$  の分離抵抗を得ている。変調器とレーザーとの導波路の結合にはバットジョイントを用い結合効率を上げている。また、変調器出力端の AR コートの反射率を 1% 以下に抑え反射光がレーザー部にフィードバックされてレーザーの動作状態が不安定になることを防いでいる。図3にこの素子を用いて 5 Gbit/s, NRZ の変調をした場合の波形を示す。振幅 5 V の変調電圧に対して、良好な光出力のアイパターンが得られている。消光比は 15 dB 以上とれている。変調時のスペクトルの半値全幅は  $0.28\text{ \AA}$  で、直接変調の場合の約  $1/25$  になっていた。ファイバに結合可能な出力として  $600\text{ }\mu\text{W}$  が得られており、超高速光伝送用の光源として変調器と DFB レーザーとを集積化した素子がきわめて有望であることがわかる。

#### 4. 今後の展望

半導体レーザーの直接変調は光ファイバ伝送を考えた

とき、すでに限界に達しており、5~10 Gbit/s の超高速伝送や比較的低ビットレートでもファイバの分散の大きい場合モノリシック変調器付きレーザーが使われていると予想される。そのためには、変調器の動作電圧の低減、低挿入損失化、信頼性の確立など多くの課題がある。また変調器の大幅な低電圧化や低損失化のためには、MQW のエキシトンの Stark shift を利用することが期待され、これからの重要な研究テーマであろう。

#### 文 献

- 1) J. E. Bowers, B. R. Hemenway, A. H. Gnauck and D. P. Wilt: "High-speed InGaAsP constricted-mesa lasers," *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-22** (1986) 833-844.
- 2) K. Kamite, H. Sudo, M. Sugano, H. Soda and H. Ishikawa: "14 GHz picosecond optical pulse train generation in gain-switched single-mode DFB lasers," *Tech. Dig., DRC '88*, paper VIA-3 (1988).
- 3) Y. Noda, M. Suzuki, Y. Kushiro and S. Akiba: "High speed electroabsorption modulator with stripe-loaded GaInAsP planar waveguide," *J. Lightwave Technol.*, **LT-4** (1986) 1445-1453.
- 4) H. Soda, K. Sato, K. Nakai, H. Ishikawa and H. Imai: "Chirp behaviour of high-speed GaInAsP/InP optical intensity modulator," *Electron. Lett.*, **24** (1988) 1194-1195.
- 5) F. Koyama and K. Iga: "Frequency chirping of external modulation and its reduction," *Electron. Lett.*, **21** (1985) 1038-1039.
- 6) M. Suzuki, H. Tanaka, S. Akiba and Y. Kushiro: "Electrical and optical interactions between integrated InGaAsP/InP DFB lasers and electroabsorption modulators," *J. Lightwave Technol.*, **LT-6** (1988) 779-785.
- 7) H. Soda, K. Nakai and H. Ishikawa: "Frequency response of an optical intensity modulator monolithically integrated with a DFB laser," *Tech. Dig., ECOC '88* (1988) pp. 227-230.

(1989年2月4日受理)