

最近の技術から

光変調器を用いたソリトン通信用超短光パルス発生

鈴木 正敏・田中 英明

国際電信電話(株)研究所 〒356 上福岡市大原 2-1-15

1. ま え が き

Er ドープファイバ光増幅器の出現により、光通信システムの長距離大容量化が急速に進展している。現在までに、5 Gb/s の NRZ 信号を用いて、日米間約 9000 km を途中で再生中継することなく光増幅器のみにより中継伝送する技術が実証され、また 10 Gb/s の国内長距離伝送システムも実用化可能なレベルに到達している。長距離光通信のさらなる高速化のボトルネックは、光ファイバの波長分散や非線形効果による波長歪みである。これを解決する次世代の大容量光伝送技術として、1973 年に長谷川らによって提案された光ソリトン通信が注目されている。光ソリトン通信では、波長分散によるパルス広がりや非線形光学効果に基づくパルス圧縮がバランスするため、光信号の形を変えずに長距離伝送が可能となる。

光ソリトン通信システムの実現に向けては、長期安定性にすぐれた信頼性の高い超短パルス光源技術が不可欠である。光ソリトン通信に必要とされる sech^2 (t) 型の TL (transform-limited) 送信光パルスは、これまで主に、半導体レーザーなどのモードロック法や利得スイッチ法で生成されてきた。しかし、これらの方法は、光共振器や超狭帯域光フィルタ等を必要としているため、機械的振動や温度変化などの周囲環境に敏感であるなどの問題があり、長期安定性に関して解決すべき課題が多かった。一方、筆者らは、光ソリトン通信用の安定な短光パルス技術として吸収型光変調器を用いる簡便な短光パルス法^{1,2)}を提案した。以来、吸収変調法による短光パルス発生技術が内外に急速に浸透しつつある。本稿では、光変調器を用いた短光パルス発生とそれに関連した集積パルス光源技術の研究動向について紹介する。

2. 吸収型変調器によるソリトンパルス発生

2.1 パルス発生原理

半導体の電気吸収型光変調器は、固有の特性として、光出力特性が電圧の増加に対して単調にかつ指数関数的

に減少する非線形性がある。この非線形性と単調減少性を利用すると、光変調器に十分消光するまで直流電圧を印加し直流電圧の 2 倍程度の正弦波電圧で変調するだけで、 sech^2 に極めて近い形状の短光パルスを直接生成できる。パルス幅は、直流バイアス電圧や変調電圧を変えることにより、変調周期の約 10% 程度まで短パルス化できる²⁾。本手法は、光学調整を排除しているため、安定であり長期信頼性が期待できる。

2.2 高速特性

繰返し周波数が可変であるという点も本手法の特長の一つであり、モードロックレーザーとの大きな相違点である。これは、システム応用上不可欠な伝送速度と光源の繰返し周波数の同期を容易とするため、実用的観点からのメリットは大きい。また、本手法には、光変調器の周波数帯域が超広帯域でなくても、単一基本周波数成分の電圧のみを短パルス化に必要な分だけ供給すれば、任意の周波数の短パルス列を生成できるという特長がある。単一周波数動作により駆動回路を大幅に簡略化でき、高速化に有利である。InGaAsP 吸収型光変調器を用いた実験では 20 GHz³⁾、MQW 光変調器では 30 GHz の高繰返し短パルス発生が報告されている³⁾。

2.3 スペクトル特性

InGaAsP 吸収型光変調器を用いたソリトン光源のスペクトル特性を評価した結果、時間・帯域幅積は 0.31~0.4 であった。図 1 に InGaAsP 吸収型光変調器の 5 GHz 正弦波変調時の測定例を示す。パルス幅は 22 ps、

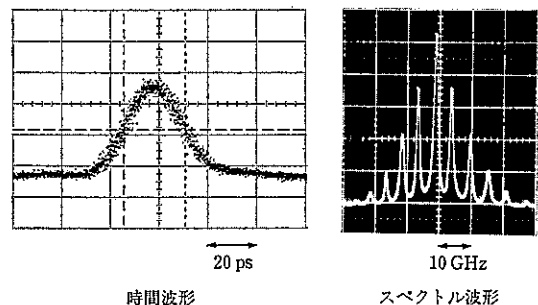


図 1 InGaAsP 吸収型光変調器による 5 GHz ソリトンパルスの発生例

スペクトル幅は 14 GHz であり, 時間・帯域幅積は 0.31 である. この値は理想的ソリトンパルスの 0.315 に極めて近く, 過剰スペクトル広がりも十分小さいほぼ理想的な短光パルスが得られていることがわかる.

InGaAsP 吸収型光変調器を用いるソリトン光源が長距離ソリトン伝送に適用できる良好なスペクトル特性を有することは, 3000 km の光ファイバを用いた大規模ストレートライン伝送実験⁴⁾, ならびに 10 Gb/s-9100 km 周回伝送実験⁵⁾により確認されている.

3. 集積型パルス光源

3.1 レーザー・変調器集積素子

外部変調法は, 安定なスペクトル特性を実現する最良の手段と考えられるが, デメリットは, 変調器の挿入損失である. しかし, この問題は, 半導体光変調器の特長の一つである, 半導体レーザーなどの機能素子とのモノリシック集積化により解決することができる. DFB レーザー/吸収型光変調器集積光源は, 従来の低チャープ超高速 NRZ 信号生成用の光源のみならず, ワンチップソリトン光源としても応用できる⁶⁾. 鉄ドーパ InP を光結合部に導入し, 電気絶縁と光学結合を両立した $\lambda/4$ シフト DFB レーザー/InGaAsP 吸収型光変調器集積光源を用いて, パルス発生実験を行った結果, 繰返し周波数 9 GHz 近傍まで, 変調器単体と同様に時間・帯域幅積 0.32 のスペクトル特性が良好な短光パルスが得られている⁶⁾. また, MQW 光変調器集積光源とパルス圧縮を併用した 15 GHz, 2.5 ps のパルス発生も報告されている⁷⁾.

3.2 変調器・変調器集積素子 (TEAM)

二つの電気吸収型光変調器を鉄ドーパ InP 層で電気分離を行い集積した素子⁸⁾ (TEAM: tandem-integrated electro-absorption modulator) は, 挿入損失を増加させることなく, 一方の変調器で短光パルスを発生し, 他方でデータ変調を行うことができるため, ソリトンデータ発生器として有望である. また, TEAM は光領域での AND 動作や高速パルス列からの低速パルス列の切り出しにより, デューティ比 10% 以下の任意のデュー

ティ比の短パルス発生が可能であることから, 高密度光 TDM 用ソリトン光源としての応用が期待される. さらに, 図 2 に個別に示すレーザーと二つの変調器をモノリシック集積した素子は, ソリトンデータ伝送用のワンチップ送信器へ応用可能であり, 今後の研究が期待される.

4. ま と め

本稿では, 従来とは全く異なる概念に基づく吸収変調法による光ソリトンパルス発生法, および関連した集積光源技術を紹介した. 本光源は原理が極めて単純であるうえ, 性能, 安定性, 制御性, 信頼性に関して従来にない優れた特性を有しているため, 光ソリトン通信用の実用的短光パルス発生器として一つのブレイクスルーとなると筆者は信じている. 光ソリトン通信システムの大前提である安定なパルス光源の出現により, 超高速・長距離光ソリトン伝送の研究が加速されることが期待される.

文 献

- 1) M. Suzuki, H. Tanaka, K. Utaka, N. Edagawa and Y. Matsushima: "Transform-limited 14 ps optical pulse generation with 15 GHz repetition rate by InGaAsP electroabsorption modulator," *Electron. Lett.*, 28 (1992) 1007-1008.
- 2) M. Suzuki, H. Tanaka, N. Edagawa, K. Utaka and Y. Matsushima: "Transform-limited optical pulse generation up to 20 GHz repetition rate by a sinusoidally driven InGaAsP electro-absorption modulator," *IEEE J. Lightwave Technol.*, 11 (1993) 468-473.
- 3) E. Yamada, K. Wakita and M. Nakazawa: "30 GHz pulse train generation from a multi quantum well electroabsorption intensity modulator," *Electron. Lett.*, 29 (1993) 845-847.
- 4) H. Taga, M. Suzuki, N. Edagawa, Y. Yoshida, S. Yamamoto, S. Akiba and H. Wakabayashi: "5 Gbit/s optical soliton transmission experiment over 3000 km employing 91 cascaded Er-doped fibre amplifier repeaters," *Electron. Lett.*, 28 (1992) 2247-2248.
- 5) M. Suzuki, H. Taga, N. Edagawa, H. Tanaka, S. Yamamoto and S. Akiba: "10 Gbit/s 9100 km soliton data transmission with alternating-amplitude solitons without inline soliton controls," *Tech. Dig., 4th Opt. Amp. and Their Applications, Yokohama (1993) Paper PD 1.*
- 6) M. Suzuki, H. Tanaka and Y. Matsushima: "Application of a $\lambda/4$ -shifted DFB laser/EA modulator monolithically integrated light source to single chip pulse generator with variable repetition rate," *IEEE Photon. Tech. Lett.*, 4 (1992) 1129-1132.
- 7) K. Suzuki, K. Iwatsuki, S. Nishi, M. Saruwatari, K. Sato and K. Wakita: "2.5 ps soliton pulse generation at 15 GHz with monolithically integrated MQW-DFB-LD/MQW-EA-modulator and dispersion decreasing fiber," *Tech. Dig., 4th Opt. Amp. and Their Applications, Yokohama (1993) Paper TuD 2.*
- 8) H. Tanaka, H. Takagi, M. Suzuki and Y. Matsushima: "Optical short pulse generation and data modulation by a single-chip InGaAsP tandem-integrated electroabsorption modulator (TEAM)," *Electron. Lett.*, 29 (1993) 1002-1004.

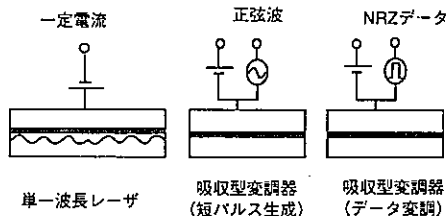


図 2 ソリトンデータ伝送用光源のブロック図

(1993年8月3日受理)