

# 最近の技術から

## 超高速光通信技術

江村 克己

日本電気(株)光エレクトロニクス研究所 〒216 川崎市宮前区宮崎 4-1-1

### 1. ま え が き

データや画像等の通信需要の増大にともない光通信の高速化が着実に進展している。現在、高速光通信の研究開発の中心は 10 Gb/s になっており、さらに 20 Gb/s の高速伝送実験が行われるようになってきた。高速化の進展にともなってソリトンや超高速光信号処理技術の利用も検討され始めているが、装置の小型化や動作安定性を考慮すると現在用いられている強度変調-直接検波(IMDD)方式が依然として有望な方式であるといえる。本稿ではこの IMDD 方式の現状技術を紹介するとともに、その高速限界について議論し、超高速光通信の将来動向について展望する。

### 2. 20 Gb/s 光伝送実験

まず現行の IMDD 方式では最も高速の 20 Gb/s での実験について以下にその概要を紹介し、その課題について議論する。図 1 に 20 Gb/s-IMDD 伝送実験系の構成を示す。送信部では 10 Gb/s-2ch の信号を電氣的に多重化することで 20 Gb/s-NRZ (non-return to zero) 信号を得ている。この信号で光変調器を駆動するためには広帯域で高出力特性を有するドライバ回路が必要となる。図 1 の実験系では高速のヘテロ接合 (HJ) FET を 3 並列で用いることにより 14 GHz の広帯域動作と 4

V<sub>p-p</sub> の高出力を同時に実現している。このドライバ回路で LiNbO<sub>3</sub> マッシュツェンダー型変調器を駆動することで 20 Gb/s の光信号が得られる。

受信部では、Er ドープファイバ前置増幅器(帯域幅 3 nm の光フィルタを含む)を採用することで、20 Gb/s でも -26 dBm 以下の高受信感度を実現している。光受信器フロントエンド回路は PIN-HJFET で構成され帯域 18 GHz が実現されている。ベースバンド増幅器は 27 dB の高利得(帯域 13 GHz)を有している。さらに受信部に要求される重要な機能であるタイミング抽出、識別再生機能も高速電気回路により実現されている。

光通信の高速化にともなって、装置の高速化と同時に重要視されるものに、光ファイバ伝送特性がある。20 Gb/s という超高速信号を伝送する場合、長距離伝送を行うためには零分散ファイバを用いる必要がある。実際に 157km の分散シフトファイバを用いて行った 1.5μm 帯での伝送実験では次のような結果が得られている。

- (1) 零分散波長：波形変化、劣化ともになし
- (2) 正常分散領域：パルス拡がり感度劣化
- (3) 異常分散領域：パルス圧縮と一定波長域での感度改善

実験では送信部にブースタ増幅器を用いて送信光レベルを +15 dBm まで高めているため、ファイバ内の非線形効果と分散の影響により上記のような結果となって

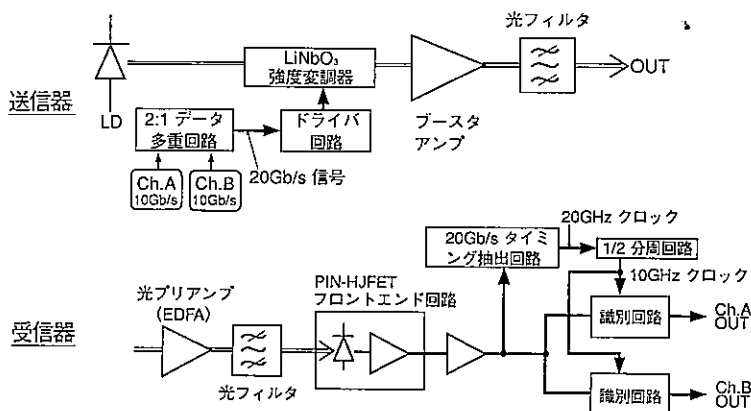


図 1 強度変調-直接検波方式による 20 Gb/s 光伝送実験系

いる。実際に 2 dB までの劣化を許容した場合、使用可能な波長範囲は 15 nm となった。

### 3. IMDD 方式の今後の課題

上記の 20 Gb/s の伝送実験はその実現性を確認したというレベルであり、実用化のためには数多くの課題が残っている。ここでは IMDD 方式で超高速光通信を実現するための課題について、さらに高速の光伝送の実現可能性を含め、議論する。

#### 3.1 装置構成上の課題

実用システムを考える場合、動作安定性、大きさ、消費電力等の観点から IC 化がひとつの重要な課題となる。表 1 に、現状での IC の開発状況<sup>2)</sup>を考慮した場合、今後実現が期待される高速 IC の性能をまとめて示す。Si, 化合物 (GaAs) IC とともに 20 Gb/s までの高速動作が期待される。さらに高速の動作に関しては今後さらに検討を進める必要がある。

#### 3.2 伝送特性の改善

20 Gb/s-157 km 伝送実験からもわかるように、高速伝送時には分散等の影響で長距離伝送が可能な条件が非常に限定される。長距離伝送を行うための第 1 のステップとしては、光ファイバの分散値ならびに送信波長の管理を行うことがあげられる。さらに伝送特性の安定化を行うためには分散補償を行うことが考えられる。超高速光伝送に対応可能な分散補償方式としては、分散補償ファイバの利用<sup>3)</sup>、スペクトル折返しの利用<sup>4)</sup>等が考えられるが、実用レベルでの使用のためにはさらなる検討が必要である。

### 4. まとめと今後の展望

以上述べてきたように現行の IMDD 方式による超高速光通信に関しては 20 Gb/s までの可能性が見えはじめてきた。一方で電気回路の動作速度限界や分散による伝送限界も顕在化し始めた。これらに対処するために、図 2 に示されるような各種の新しい光通信方式の検討が活発に進められている。電気回路の限界を打破する方式としては全光信号処理の研究が進められており、100 Gb/s までの伝送実験が報告されるようになってきた<sup>5)</sup>。超

表 1 高速 IC により実現が期待される回路特性

	トランジスタ 遮断周波数 $f_T$	アナログ回路	デジタル回路
Si	>40 GHz	20 GHz	40 Gb/s
GaAs	>100 GHz	30 GHz	50 Gb/s

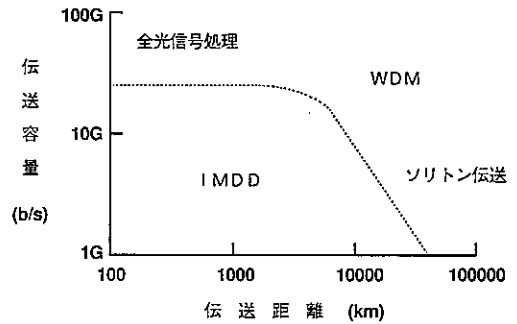


図 2 光通信システム超高速化、超長距離化のための今後の展開

高速光信号の伝送特性を改善する方法としては光ソリトン伝送が注目されている。さらに伝送容量の増大と伝送距離の拡大を同時に実現する可能性を持つ方式として波長多重 (WDM) 伝送がある。10 Gb/s 以上の IMDD あるいはソリトン伝送との組合せによる検討が今後進められることが期待される<sup>6)</sup>。

以上のようにこれまで IMDD 方式により進展を遂げてきた超高速光通信も転換期にきており、今後の展開が注目される。

### 文 献

- 1) 福知 清, 洲崎裕行, 逸見直也, 高野 勇: "20 Gb/s-3R 光受信器を用いた NRZ-157 km 伝送実験", 1993 信学秋季全大, B-924 (1993).
- 2) L. Treitinger, A. Felder, M. Kerber, T.F. Meister, E. Bertagnolli, P. Weger, R. Mahnkopf, S. Marksteiner, R. Kopl, R. Schreiter, J. Popp, H.M. Rein, J. Hauenschild and L. Schmidt: "Silicon bipolar technology and circuits for optical communications at data rates above 10 Gbit/s," Tech. Dig., OFC/IOOC '93 (1993) Paper FF3.
- 3) A.M. Vengsarkar, A.E. Miller and W.A. Reed: "Highly efficient single-mode fiber for broadband dispersion compensation," Tech. Dig., OFC/IOOC '93 (1993) Paper PD 13.
- 4) R.M. Jopson, A.H. Gnauck and R.M. Derosier: "10-Gb/s 360-km transmission over normal-dispersion fiber using mid-system spectral inversion," Tech. Dig., OFC/IOOC '93 (1993) Paper PD 3.
- 5) S. Kawanishi, H. Takara, K. Uchiyama, T. Kitoh and M. Saruwatari: "100 Gbit/s, 50 km optical transmission employing all-optical multi/demultiplexing and PLL timing extraction," Tech. Dig., OFC/IOOC '93 (1993) Paper PD 2.
- 6) L.F. Mollenauer, E. Lichman, M.J. Neubelt and G. T. Harvey: "Demonstration, using sliding-frequency guiding filters, of error-free soliton transmission over more than 20,000 km at 10 Gbit/s, single-channel, and over more than 13,000 km at 20 Gbit/s in a two-channel WDM," Tech. Dig., OFC/IOOC '93 (1993) Paper PD 8.

(1993年7月30日受理)