新機能材料と新デバイスシステム

三田地成幸*

1. 情報流通社会の行方

21世紀の通信は、図1に示すビジョンのように情報量、空間、時間の制約を超越した「いつでも、どこでも、何でも」コミュニケーションできる情報流通サービスとして展開されようとしている。これは超高速の光インターネットをベースとする技術であり、ネットワークもそれに向けて革新されつつある。

すなわち、図2に示すようにPoint to pointの伝送からリング型、光クロスコネク型、フォトニックルーター型へと進化していくものである。このフォトニックネットワークの革新を実現するための要素技術として、図3に示すように光スイッチ、波長変換技術、光バッファメモリ、高密度実装技術が必要である¹⁾。

2. フォトニックネットワーク実現のためのシステムと新デバイスの開発

図4は、フォトニックネットワーク実現のための既開発の光デバイスを示している。点線の枠で囲まれた光アド・ドロップ、アレー導波路格子、光ファイバ増幅器、光マトリックススイッチ、光合分波器は主に無機高分子であるガラスを主構成材料とするものである。枠のないデバイスは半導体ベースの高速駆動部品であり、光送受信器は両技術のハイブリッドデバイスである。

さて、今後のフォトニックネットワークでは、図2で示したようにフォトニックラベルスイッチルーティングや

フォトニックパケットルーティングが展開されると考えられている。これらの機能は図5に示すように、光スイッチ技術（大規模光スイッチ、多波長信号処理、超高速信号処理）、全光信号処理技術（光-光信号処理）、光メモリ技術（光バッファリング）、光モジュール実装技術（高密度光実装、光ボード実装）等の部品技術の開発に支えられて、律速となる電気信号の処理部分を出来るだけ少なくし、論理機能のみを電子回路に任せ、他は光回路で高速・大容量処理を行うものである。このことによって光信号のルーティング、処理速度をより高速かつ大容量に展開しようというものである。光スイッチ技術の中の大規模光スイッチにおいてはMEMS技術やガラスの熱光学効果を利用した

図2 フォトニックネットワークの進展

図1 21世紀の情報流通サービスビジョン

ネットワーク 管理制御技術	波長割当て制御	光パケットルーティング制御
		光トラフィックエンジニアリング制御
光信号転送 技術	光信号監視技術	
	光バースト信号変復調技術	
デバイス技術	光バースト/パケット多重/転送技術	
	光スイッチ	
	波長変換技術	
	光バッファメモリ	
	高密度実装技術

図3 今後のフォトニックネットワークにおける要素技術

* Mitachi, Seiko
東京工科大学工学部
東京都八王子市 1404-1 (〒192-0982)
2002. 2. 17 受理

図4 情報流通サービスを支えるフォトニックデバイス

図5 光ルータ実現に向けたフォトニクス部品技術

図6 通信容量とスイッチング速度

大規模マトリックススイッチの開発が行われている。多波長信号処理技術としてはアレー導波路格子技術を中心に1000 ch 規模の波長多重技術が可能になっている。

全光信号処理技術における緊急の開発課題としては、ネットワーク間をフォトニックパケットが自由に渡り歩くフォトニックインターネットを可能とするためのキーデバイスとして、大規模の多波長を一括変換できるような高速の全光波長変換デバイスの出現が待たれる。現在はLiNbO₃を材料とするデバイスが検討されているが、著者らはTeO₂系の非線形光学ガラスを取り上げ、一括波長変換デバイス用材料としての可能性を検討している²⁾。光メモリー技術としては、光の高速性を利用しつつ信号処理の待ち時間をできるだけ短くするための小型で高機能の光バッファデバイスの出現が待たれている。図6に通信容量とスイッチ速

図7 高密度光実装技術

図8 世界標準に制定された光コネクタ
(左から SC 形, DS 形, MU 形, MT 形, MPO 形)

度の関係を示すが、フォトニックネットワークが要求する通信容量であるテラビット、ペタビットを実現するには、LSIの動作原理である電子遷移を利用した素子ではもはや対応できない。ここでは電子雲の偏りをスイッチングの原理に利用してピコ秒、フェムト秒のスイッチ速度を実現するような新たな光素子、光材料の出現が待たれている。フォトニックネットワーク革新のための第4の技術として高密度光実装技術があるが、この領域では既に図7に示すような高密度光ボード実装技術の開発が盛んに行われている。

3. 新デバイス実現のためのキーとなる新機能材料

将来のフォトニックネットワークを支える新しいデバイス実現のためのキーとなる新機能材料について、いくつかの具体例を取り上げる。フォトニックネットワークでは図8に示すような標準化された光コネクタが大量に導入されているが、これらは超精密加工技術の上に成り立っている。図9に光コネクタ接続の原理を示すが、直系125 μm の光ファイバの中の直径約9 μm という光を閉じ込めて伝送するコア領域同士を、 $\pm 1 \mu\text{m}$ 以下の軸ずれ精度で接続する必要がある。そのためには、光ファイバを固定しているフェルルと呼ばれる部品の加工精度は $2500 \mu\text{m} \pm 0.5 \mu\text{m}$ という精密加工精度が要求され、実現している。この

図9 光コネクタの接続原理

図10 低コストフェルールの開発

FPCコネクタの試作品の外観

図11 フェルールレス FPC コネクタ

加工技術がコアコンピテンスとなり、日本のお家芸として世界の光コネクタ市場を席巻している。さらに最近では著者らによって、この超精密加工技術を光ファイバ線引き技術によって実現し、より大量生産・低コスト化を可能とする結晶化ガラスフェルール技術が開発された(図10)³⁾。さらには、光接続原理そのものに革新的アイデアを導入しフェルールレスの光コネクタ技術を開発し、液晶ポリマーの特性を活かしたFPC光コネクタという超高密度・低コスト光コネクタを著者らは開発している(図11)⁴⁾。これらの技術は図12に示すようにフォトニックネットワークの中のあらゆる領域に広く適用されつつある。

さらに、この技術の発展形として、図13に示すようなフォトニックネットワークのキーデバイスである光波光回路部品と光ファイバとの超高密度接続を可能とするPLCコネクタが開発され光ボード内の高密度光配線技術のコア技術として発展しつつある⁵⁾。

さて、次世代のフォトニックネットワークを支えるキー

図12 各種光コネクタの適用領域

PLCコネクタの構造と光学特性

図13 FPC コネクタの発展形

図14 1.3 μm 帯光ファイバ増幅器

デバイスと新機能材料としてどういうものが考えられるか、著者が最近までNTTのフォトニクス研究所で展開してきた研究開発、および現在大学において自由な発想から次々世代のネットワークに必要とされるであろう機能とそれを実現するための新機能材料、新デバイスシステムの検討について述べる。

IT普及の旺盛なニーズに支えられ、今後のフォトニックネットワークへの期待は第一に超大容量信号処理であろう。それは光のもつ波長資源を活用する波長多重を中心に展開すると思われる。その場合、波長のフィルタリングの精度と波長そのものの安定性およびそのチャンネル波長に

図 15 各種材料形の $\chi^{(3)}$ 値と屈折率との関係

全光処理素子

図 16 250 Fs の超高速光スイッチ

対応する光源の安定性、さらには多波長一括の光処理技術（多波長一括増幅，多波長一括波長変換）が重要となる。著者は長らく超低損失フッ化物光ファイバの技術開発を行ってきたが、その技術の発展系として図 14 に示すような光ファイバ増幅器の開発が行われた。また光の波長資源もそのフィルタリング能力に応じて有限であり、すべてのユーザーや端末に応じて波長を割り当てることは不可能である。そこで多波長一括波長変換技術開発が重要となろう。著者らは図 15 に示すような重金属酸化物を主原料とする非線形光学ガラスに注目して研究を行っている。プラスチック材料においても大きな非線形性を示す材料が発見されればその易加工性からフォトニックネットワークに大きなインパクトを与えられるものと思われる²⁾。

第二は超高速化の進展であろう。図 6 で触れているように、非線形光学を利用すると電子雲の偏りの変化による、より高速なスイッチ速度が実現可能である。図 16 は半導体素子の中での非線形光学現象を利用した超高速光スイッチの例であるが、こういった素子の実用化に向けた努力が続けられている。第三はフォトニックネットワークをより身近なものとするための光無線技術であろう。光の高速性と大容量性を身近に堪能するために、図 17 に示すような

図 17 超高速光素子 UTC-PD（単一走行キャリアフォトダイオード）

図 18 無電源光マイクロ波変換モジュールの写真

図 19 無給電光マイクロ波変換モジュールの応用

半導体素子に特殊な構造設計を持たせた、電子のみ走行させる単一走行キャリアフォトダイオードにより（図 18 はそのモジュール写真）、電気的増幅なしで光を直接マイクロ波に変換し得る素子の実現できている⁶⁾。現在この応用形態について種々検討を行っているが、図 19 に示すようなスーパーマーケットの駐車場やガソリンスタンド、コンビニエンスストアといったところでの情報キヨスク的な利用形態（DSRC 通信）が候補と考えている。これはラスト 10 m の光化が光無線によって行われることを意味し、その信号が提供される先はあくまで端末である。

さて、さらにフォトニックネットワークが進むと、大量の情報が老若男女あらゆる人間の身近なところにあふれる事態が考えられる。この情報を効率よく無理なく受け止め

図 20 五感デバイス実現への挑戦

図 21 新伝送媒体の研究

表 1 光受動部品の信頼性標準

第 1 章「総論」	[IEC 62005-1]
第 2 章「信頼性パラメータを得る方法」	[IEC 62005-2]
第 2 章-1 が追加	「現在 CD」
第 2 章-2 分岐デバイスの信頼性パラメータの解析法	「追加議論中 WD」
第 3 章「故障メカニズム」(日本担当)	[IEC 62005-3]
第 4 章「光部品製造におけるスクリーニング」	[IEC 62005-4]
第 5 章「加速試験と標準化されたサービス環境」	「現在 CD」
第 6 章「フィールドデータの取り込み」	キャンセル
第 7 章「寿命推定」	「現在 CDV」
第 8 章「信頼性試験」	「現在 NWIP として議論開始. ベル コアスペックに替わる試験として注目」
第 9 章「信頼性品質基準」	

て処理するには、新たなヒューマンシグナルインターフェースの開発が必要と考えられる。著者らは現在大学においてこのような視点から、図 20, 21 に示すような人間の五感と信号との間のインターフェース部品について検討を行なっている。一つの試みとして、視覚機能の中核にある物質の固定化によるデバイス化、また、有線や無線による信号伝達とは異なった化学物質によるケミカルコミュニケーションといった新伝送媒体の研究である^{7), 8)}。

4. 光デバイスへ要求される信頼性

光デバイスに要求される信頼性に関しては IEC SC 86 B WG 5 において光接続部品・光受動部品について検討がなされ、表 1 に示すような光受動部品に関する世界標準が策定されている。詳しくは表 1 内に示す IEC 62005 シリーズ

図 22 1×8 PLC スプリッタモジュールの構造

図 23 紫外線硬化接着剤による光デバイス端面での剪断応力がもたらす接続のズレ

表 2 光デバイス用高機能接着剤への期待

・高強度（高 Tg）接着剤
・高信頼，高撥水性接着剤
・高機能接着剤
・低コストアセンブリー接着技術等の研究開発

の世界標準およびこの内容を簡略化して紹介している総説⁹⁾を参照していただきたい。ここではポイントのみに触れる。光受動部品（代表的なものは図 4 参照）の故障メカニズムの多くのケースが接着剤の劣化であるとされている。通信用の部品は 20 年以上の長期信頼性を保障する必要があるが、多く使われているエポキシタイプの樹脂が長期使用の間に大気中の水分子と反応し、劣化して剥離するものと説明されている。図 22 に光受動部品の一例を示すが、一つの光信号を 8 方向に分離するこの光スプリッタでは、紫外線硬化型のエポキシ樹脂による接続箇所が 9 箇所存在する。各接続点での硬化接着剤の劣化は、接続点での図 23 に示すような接続ズレを引き起こし、結果として過剰損失を招きフォトリックネットワークに致命的な障害を引き起こすこととなる。光デバイスの接着剤の果たす役割がいかに大きいか想像できよう。

5. フォトリックネットワークを支える接着技術

光デバイス用接着剤の開発に関しては、表 2 に示すように、高強度、高信頼、高撥水性、低コストアセンブリーが可能な接着剤開発が求められている。特に、エポキシ樹脂

タイプに替わる高撥水性の接着剤が開発されることは極めて重要であろう。具体的開発事例については本特集の他の解説論文に委ねることとしたい。

6. ま と め

以上述べたように、21世紀の情報流通社会を支えるフォトニックネットワークは、超高速化、大容量化、低コスト化に向って、より一層革新されていくであろう。そのキー技術は、波長割り当て制御、光パケットルーティングであり、これを実現するためのキーデバイス技術は光スイッチ、波長変換素子、光バッファメモリ、高密度光実装である。さらには、その先に人間と高速大容量信号とのインターフェースに関わる、ヒューマン-シグナルインターフェースの課題も検討開始する必要がある。そして、これらフォトニックネットワークの最も深いレイヤーのところに高信頼、高強度接着剤の果たす役割があり、それはフォトニックネットワークの信頼性を支える重要な材料である。

参 考 文 献

- 1) フォトニックネットワーク革命(2002-1), 超高速フォトニックネットワーク開発推進協議会
- 2) 三田地, 神原, 鈴木: 信学技法, LQE 2001-118 (2002-1)
- 3) Mitachi, S., Nagase, R., Takeuchi, Y. and Honda, R.: *Glass Technology*, **39**(3), 98 (1998)
- 4) Kobayashi, M., Iwano, S., Nagase, R. and Mitachi, S.: *IEICE Trans. Electron*, **E80-C**(2), 334 (1997)
- 5) Asakawa, S., Nagase, R., Kobayashi, M. and Mitachi, S.: *Electronics Letters*, **33**(22), 1865 (1997)
- 6) Fukushima, S., Fukano, H., K. Yoshino, Matsuoka, Y., Mitachi, S. and Takahata, K.: *IEICE Trans. Electron*, **E84-C**(2) (2001)
- 7) 三田地, 小林, 池田, 土田: 「レチナールを用いた視覚デバイスの作製(1)―光受容特性の初期検討―」, 第50回応用物理学会連合講演会, 28 p-D-15, 神奈川大学 (2003.3.27-30)
- 8) 三田地, 佐々木, 近藤, 杉本: 「ニオイセンサーにおけるパターン認識の手法に関する検討」, 第50回応用物理学会連合講演会, 29 p-B-12, 神奈川大学 (2003.3.27-30)
- 9) 三田地: 日本接着学会誌, **37**(11), 450 (2001)