

低消費電力・小型化に向けた光デバイス技術

現在、NTT先端集積デバイス研究所では次世代の光通信ネットワークシステムの実現に向けて、電力性能を改善し、ほぼ半分の消費電力で従来と同等のパワーの変調光を出射可能とする光送信器や、速度性能を維持しながら受光感度を著しく改善することで光増幅器を用いずに長距離のファイバ伝送を可能とする光受信器の研究開発に取り組んでいます。本稿では電気信号から光信号へ、あるいは光信号から電気信号への変換機能を担うデバイス（光送信器、光受信器）の研究開発成果を紹介します。

こばやし わたる なだ まさひろ
小林 亘 / 名田 允洋

NTT先端集積デバイス研究所

次世代光トランシーバ技術への要求

光トランシーバは、長い間、主にテレコム（音声通信）用途で使用されてきました。近年、テレコム用途のトラフィックは飽和傾向にあり、インターネットサービスの拡がり、多様化（スマートフォンなどのモバイル端末の爆発的普及・クラウドサービスの拡大）に起因したデータトラフィックが急増しています。そのため、光トランシーバ技術もデータコム用途での技術要求に牽引されるかたちで進展しています。データコム用途の光トランシーバ技術は世界における標準化によって性能や仕様に対する要求が明確化されます。現在は1秒間に400 Gbitもの大容量データ伝送を可能とする400GbEと呼ばれる規格の標準化が進行中であり、同時に新たな規格である50GbE、200GbE、NG-100GbEが立ち上がりつつあります。これらの規格の特長は1波長当り50 Gbit/sの信号速度で、10 kmまでの範囲の伝送を網羅することです。光送信器には、50 Gbit/sでの信号で駆動できることと同時に10 kmまで伝送可能な光出力を出射することが求められます。さらには40 kmといった長距離伝送を可能とする規格

についても標準化に向けた議論がなされています。光受信器には、受信感度を高めて伝送の途中に光増幅器などを用いなくても光通信を可能とすること、そして同時に伝送可能な距離を伸ばすことが求められます。

NTT研究所では、光送信器用の光源技術と光受信器用の受光素子技術の研究開発を進めています。光源技術としては、現在50 Gbit/s動作を可能とする技術の研究開発に取り組んでおり、同時に従来技術と比較して消費電力を削減しながらより大きい光出力を得るための技術開発を行っています。受光素子技術としては光アンプを用いずに50 Gbit/sの光信号を受信可能な、光受信器の小型低消費電力化と高感度化を実現する技術の開発を進めています。

本稿では、これらの低消費電力・小型化実現のための光デバイス技術として、①光送信器技術、②光受信器技術について紹介します。

光送信器技術

光通信ネットワークで、搬送波として用いる光にデータ（情報）を付加する機能を担っている部分が光送信器です。近年のデータトラフィックの急増

により、光通信システムで使用される電力が増加しています。そのため、光送信器にも省電力性が求められています。一般に、光送信器は電流を注入して光を発生させる発光機能と、電気的なデータ信号（“0”と“1”の強度信号）を光に付加する変調機能から成り立ちます。光を変調する方法は、光の強度を変化させる方法と位相を変化させる方法があります。強度の変調を行う電界吸収型（EA）変調器を集積したDFBレーザ（EA-DFBレーザ）は低電力性を特長として光送信器として広く用いられてきました（図1(a)）。

NTT研究所では、EA-DFBレーザの消費電力を大幅に削減するためにAXEL（semiconductor optical Amplifier assisted eXtended reach EA-DFB Laser）を提案しました（図1(b)）。従来のEA-DFBレーザは発光強度を高めるためにレーザに非常に大きな電流を注入していますが、生成された光の大半はEA変調器で光強度を変調する際に損失してしまいます。このことは、EA-DFBレーザでは、投入される電力の大半は変調器での損失を補い、十分な変調光強度を確保するために用いられていることを意味しており、電力効率の低さが課題でした。

AXELはレーザの一部をEA変調器の出射端面に接続することで、EA変調器の損失の影響を受けない電力効率の大きい光増幅領域を形成しています。このような構成をとることでEA-DFBレーザの電力効率の改善を実現しました。同一実験条件下においてAXELとEA-DFBレーザの変調光波形および変調光出力、消費電力を比較した結果を図2に示します。変調光出

力強度が改善されたことにより、光ファイバ100 km伝送後も光信号は明瞭な波形を保っています。また消費電力を半減しながら同等の変調光出力を実現できることと、同等の消費電力で変調光出力を約2倍（3 dB増）にできることを確認しました。

現在、シリコン基板上に発光・変調・受光機能を搭載するシリコンフォトリソ技術が注目され、多くの研

究機関で技術開発が進められています。光ファイバの伝送距離に応じて要求される変調光出力は異なりますが、AXELのコンセプトは要求される光強度を選ばずに効果を与えることが可能なため、シリコンフォトニクス用低消費電力光源の要素技術として広く使用されることが期待できます。

光受信器技術

光通信ネットワークでは、導波路や光ファイバを介して光信号が伝搬されますが、最終的には光信号を電気信号に戻す必要があります。光信号は伝搬中にその強度が低下するため、光信号を電気信号へと変換する光受信器は高い検出感度を有することが求められます。NTT研究所では、より高速な光信号を、より高い感度で受信するための光受信器の研究開発を行っています。NTT研究所で開発を行っている化合物半導体アバランシェフォトダイオード（APD）の概略図を図3に示します。一般的なフォトダイオード（PD）は、p型およびn型となるよう不純物がドーピングされた半導体コンタクト層と、光吸収層によって構成されており、PDに入射した光は光吸収層で電子および正孔に変換されます。対してAPDではPDの構成に、増倍層を追加した構造となっています。この増倍層は電子や正孔を加速し、原子と衝突させることで2次電子や正孔を生成する働きがあります。増倍層の中で、このような衝突と電子および正孔の生成を繰り返すことによって、光吸収層で生成した電子や正孔の何倍もの数の

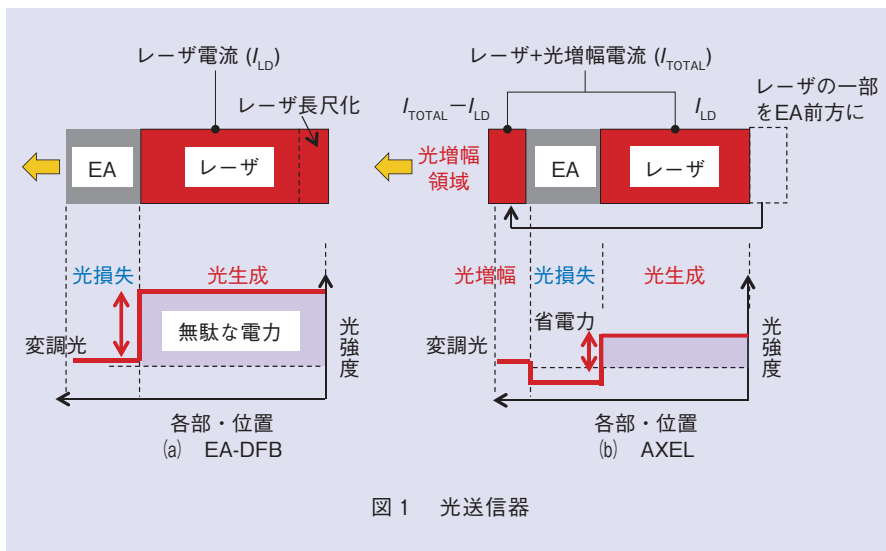


図1 光送信器

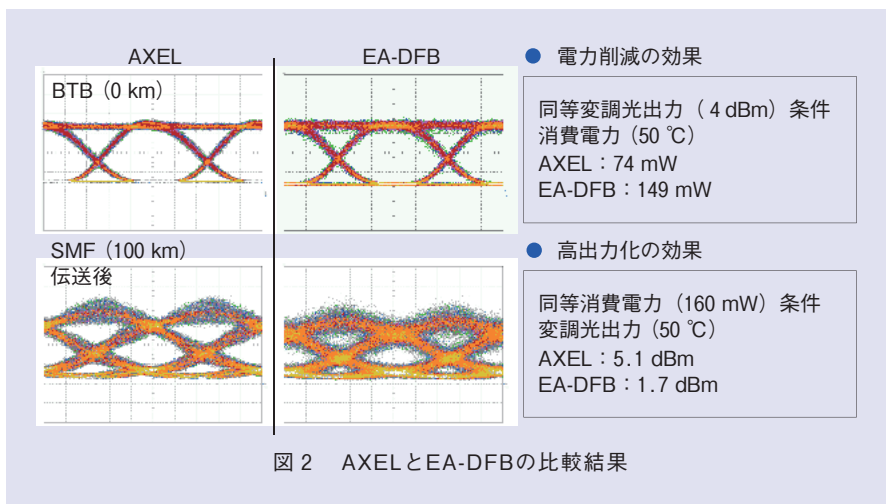
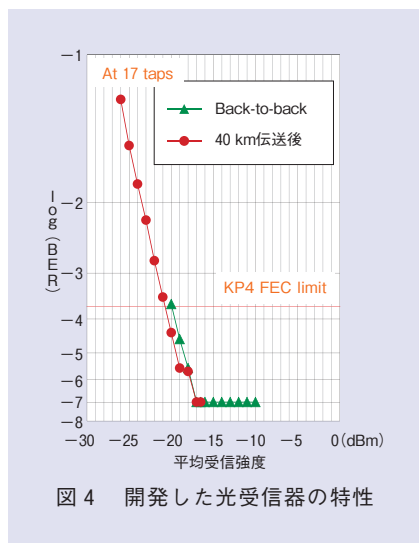
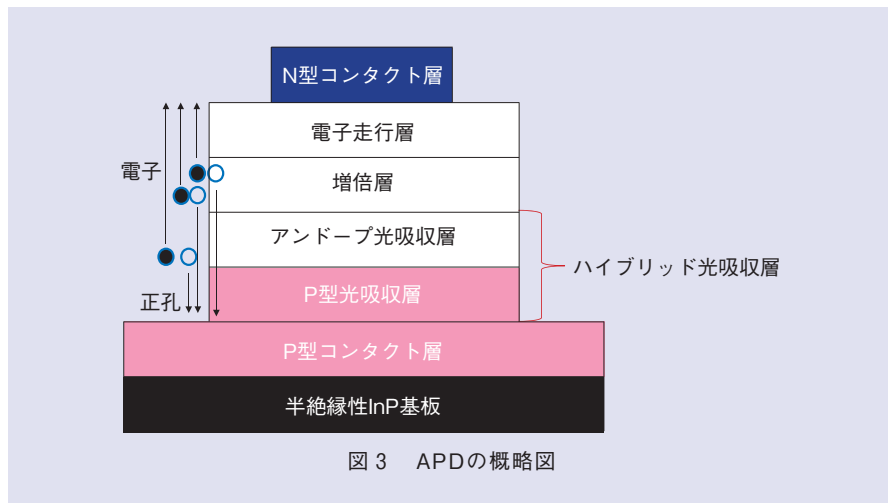


図2 AXELとEA-DFBの比較結果



電子や正孔を生み出すことが可能なため、微弱な光信号に対しても高い検出感度を得ることができます。

APDは、光吸収層として「ハイブリッド吸収層」を用いている点に特色があり、p型となるようドーピングされた吸収層と、ドーピングされていない吸収層の組合せで構成されていますが、これらの層における電子、正孔の輸送メカニズムの違いを積極的に利用することで、一般的な光吸収層と比べ

て高速、高感度動作を可能としています。これらの特色を持つAPDを用いて、NTT研究所では56 Gbit/sのNRZ (Non Return to Zero) 信号において40 kmの光アンプレス伝送を実現しています(図4)。近年ではシリコンフォトニクス技術の研究開発が活発に推進されており、シリコン基板上に形成したPDを用いた光受信器が多くの研究機関から報告されています。しかしながら、材料特性や構造設計性の観点から、高速高感度性については化合物半導体のPDやAPDに優位性があります。

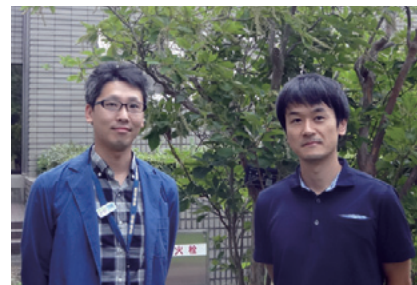
NTT研究所では、これまで研究開発を進めてきた化合物半導体を用いたPDやAPDの技術とシリコンフォトニクス技術とを融合させることでより高性能な光受信器の実現をめざします。

今後の進展

本稿では将来の大容量光通信ネットワークシステムを支える光送信器・光受信器技術について紹介しました。光送受信器には、大容量のデータ伝送を

実現しながら、小型かつ低消費電力であることが常に求められます。将来の展望として、シリコンフォトニクス技術と呼ばれる、光送受信器をシリコン基板の上ですべて搭載し、シリコン基板上につくり込んだ駆動用の電子回路と集積する技術が、光トランシーバのさらなる低消費電力化と小型化の実現につながるものとして広く研究開発が進められています。

NTT研究所では、これまで研究開発を進めてきた化合物半導体を用いたレーザやPD、APDとシリコンフォトニクスとを融合させる技術の研究開発を進めています。このような技術開発を通じて、光送信器・受信器技術のブレイクスルーを探求していきます。



(左から) 名田 允洋/ 小林 亘

日本、世界における光半導体の研究開発用ファウンドリとして、来たるAI-IoTサービス時代を下支える光通信デバイス技術開発を弛まずに進めていきます。

◆問い合わせ先

NTT先端集積デバイス研究所
研究推進担当
TEL 046-240-2300
FAX 046-240-4328
E-mail sende-kensui@lab.ntt.co.jp