3 シリコンプラットフォーム技術

低コスト・低消費電力で超小型光デバイスを実現するシリコンプラットフォーム技術

大容量・高速通信ネットワークを支える光通信技術、大規模電子回路（LSI）の役割がますます重要になる中、更なる高速化・高機能化と同時に、低コスト化・低消費電力化が求められている。NTTマイクロシステムインテグレーション研究所（以下MI研）ではこの課題を解決するものとして期待されるシリコンフォトニクスを応用したプラットフォーム技術の研究開発に取り組んでいる。

光デバイスを革新し、LSIの限界を打破するシリコンフォトニクス

近年、電子回路に使われているシリコンを光回路に使う技術、シリコンフォトニクスが注目されている。大きな特徴として、シリコンの電子回路と同様のプロセスで光回路を製造することが可能になることと、1つのシリコンプラットフォーム上に電子回路と光回路を集積できるということがあげられる。これにより光デバイスの小型化、低消費電力化、低コスト化など、様々なメリットが見込まれるため、世界的に研究が進められている。

「NTTとしては2つの方向で研究に取り組んでいます。1つは光通信デバイスへの応用で、従来光ファイバーで接続していた回路をシリコンの回路で接続することにより大幅な小型化・低消費電力化を目指しています。もう1つはLSIへの応用です。LSIの微細化が進むとともに、消費電力の問題でLSIが溶けてしまうというところまで動作周波数が高められており、この問題を回避するため最近のLSIにはマルチコア構造が採用されるようになりました。そこで、コア間を高速に通信させるためシリコンフォトニクスの応用が進められています。」（ナノシリコンテクノロジ研究グループ・リーダ 主幹研究員 板橋 聖一氏）

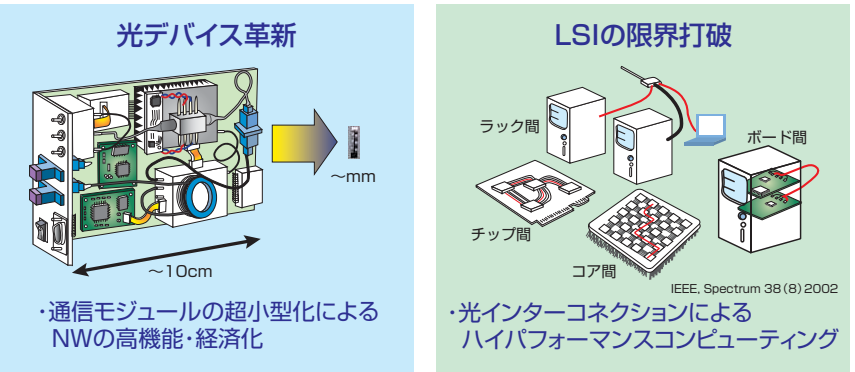
コンピュータを構成するデバイス間の通信に光を使い、ハイパフォーマンスコンピューティングを可能にする『光インターコネクション』という概念は世界的に注目されている分野で、コア間通信もその1つである。

シリコンプラットフォームの要素技術の開発で世界をリード

シリコンプラットフォーム上に光回路を集積する要素技術の1つに、光を通すための導波路がある。断線さえなければ電子が流れる電子回路とは異なり、導波路がなめらかでなければ光は拡散して通らなくなってしまうのだが、集積化のため研究されているシリコン細線導波路は幅が0.5μm程度と非常に微細で、高精度のナノ加工技術が不可欠となる。

NTTマイクロシステムインテグレーション研究所
ネットワーク装置インテグレーション研究部
ナノシリコンテクノロジ研究グループ・リーダ
主幹研究員　**板橋 聖一**氏

また、光通信では光回路を光ファイバー網に接続することが必須である。ところがシリコン細線導波路は光ファイバーの約1/1000程度の断面積しかなく、サイズがあまりにも違い



通信産業　　半導体産業

図1　シリコンフォトニクスへの期待

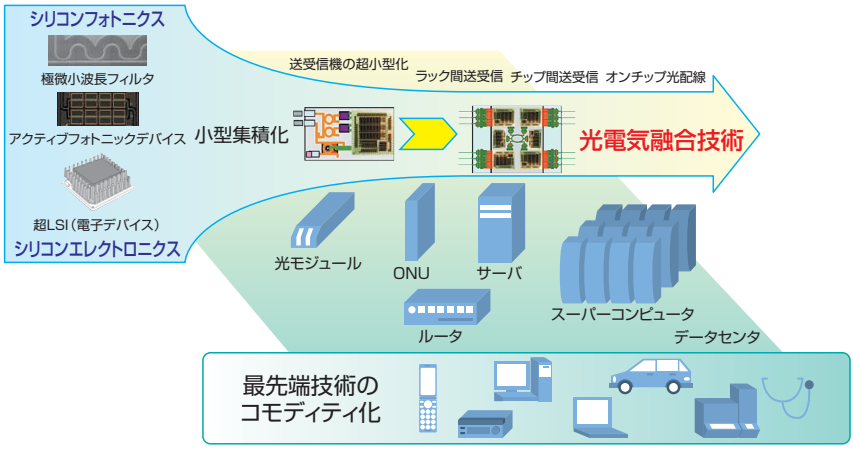


図2　シリコンフォトニクス技術の展開

すぎるため接続した際の損失、すなわち接続損が非常に大きい。これを低下させる技術も大きな課題である。電磁波が空間を伝播する際に電界が振動する方向はまちまちで、これを偏波と呼ぶ。受信側の光デバイスでうまく対応することが求められるのだが、シリコン細線導波路のように微細になると対応が非常に難しい。

「私どもは長年技術開発に取り組んできた結果、シリコン細線導波路を光が通る際の損失率では世界最小の値を実現しています。また、導波路の先を更に細く加工した微細な構造のSpot-size 変換器を開発し、なめらかな接続により光の伝達を実現しました。これにより初めて光ファイバーからの光をシリコンの光回路にうまく導入できるようになり、研究が非常に進みました。このあたりの技術はNTTが非常に得意としているところで、接続損を減らす技術でも世界でトップです。光インターコネクションは一般に短距離通信に限定して研究されているため、偏波による通信品質の低下は無視する傾向にあるのですが、キャリアであるNTTとしては通信品質の低下を見過ごすわけにいきませんので、この分野においても世界をリードしています。」(板橋氏)

シリコンプラットフォーム上の光回路実装、集積技術の研究成果

他にも、シリコンプラットフォーム上で光を分岐させる回路、特定の波長のみ取り出すフィルタなど、様々な機能が実現されており、例えば電子を内部に持つシリコンの特性を利用し、電子信号により光を高速制御する変調器がある。米国での最新の研究では40GHzでの光の変調が可能になっており、最先端の光デバイスと同程度の速度が実現されている。

また光デバイスには光を受ける機能が必要だが、シリコン自体は光を通すためそのままでは受光器を作ることが難しかった。この課題についてはNTTと東京大学和田研究室が共同で、シリコンと同族のゲルマニウムを載せることにより受光器の開発に成功している。

こうした様々な技術を使い、MI研では可変光減衰器を持つフォトダイオードをシリコンプラットフォーム上でコンパクトに集積する実証実験に成功している。コンパクトなシリコンプラットフォーム上に多数のデバイスを同時に生産できることから、この技術は非常に均質な特性の光デバイスを低コストに大量生産することにつながる。

シリコン細線導波路は、他にも様々な応用研究がされており、例えば石英に埋め込むことにより、従来に比べて低消費電力のスイッチが実現可能である。また、単結晶であるシリコンは、ノイズが非常に少なく安定した光を通す性質があるため、高度なセキュリティ通信が期待される量子暗号通信に必要な「量子もつれ光」の出力において、光ファイバーより優れている。このため量子暗号通信の距離を伸ばす研究にも応用されている。

今後の展望

従来の光デバイスをシリコン回路で置き換えるための要素技術はすでに確立しており、現在はこれらの集積化について研究が進められている段階である。

「かつてLSIがそうであったように、集積回路の実用化は困難なことが予想されますが、集積化による低コスト化が進めば、光インターコネクションのような技術が最終的には家電の分野にまで拡がっていくと考えています。」(板橋氏)