

平成 25 年 8 月 30 日

東京工業大学広報センター長
大谷 清

シリコン光 3 次元配線による毎秒 50 ギガビット信号伝送を実現

—LSI 電子回路チップ内超高速光伝送が可能に—

【要 点】

- 電子集積回路と同じ材料、互換プロセスでシリコン 3 次元光配線を実現
- 毎秒 50 ギガ (500 億) ビットを高効率に伝送
- 電子集積回路と光配線を一括集積することでシステムの性能を向上

【概 要】

東京工業大学大学院理工学研究科の姜峻炫大学院生と西山伸彦准教授、同大学量子ナノエレクトロニクス研究センターの荒井滋久教授らの研究グループは、電子大規模集積回路 (LSI) で一般的なシリコン材料と同じプロセスを利用して、3 次元光多層配線を作製し、複数配線層間で毎秒 50 ギガ (500 億) ビットの高効率な信号伝送に成功した。配線内に回折格子に加えて高反射ミラーを導入することにより、同研究グループの従来の結果に比べ 3 倍以上となる多層間伝送での 80%以上の信号強度を維持することに成功し、安定した高速信号伝送を初めて可能とした。

従来の LSI や周辺基板の電気配線は、高速化していくと損失が大きくなり効率的に信号を送ることができないという問題があるが、この技術を用いれば、これまでの LSI の加工プロセスと互換性を保ちながら、電子回路と光回路を融合して高速信号をチップ内で高密度に伝送できるようになり、システム全体の性能を大幅に向上できる。

研究成果は 9 月 17 日に福岡で開かれる「電子情報通信学会ソサイエティ大会」で発表する。

●研究成果

電子大規模集積回路（LSI）と光回路を一括集積できるシリコンを使った光回路技術である「シリコンフォトニクス（用語1）」技術により、光回路を多層集積し、高効率に結合することを実現した。それを利用して毎秒50ギガビットの信号の伝送に成功した。

一般的なシリコンフォトニクス技術による光回路では、結晶シリコンを用いることが多い。この場合、LSIの基本回路であるCMOS回路（用語2）の耐熱温度である400°Cを超えるプロセス温度が必要であるため、電子回路の上に光回路を集積することは困難である。それを克服するため300°C程度のプロセス温度で作製できる非晶質（アモルファス）シリコンを導入し、回路を構成することにより電子回路上に光回路を集積できるようにした。

それを複数回積み重ねることで、多層光回路を作製することが可能であるが、従来は、その層間を高効率に結合する技術がなく、独立にしか動作させることができなかった。（層間距離を短くして結合する技術は提案されていたが、結合部以外でも結合が起きやすいなどの問題があった）。

今回は、図1のように、結合部に回折格子（用語3）を用い、信号の進行方向を横方向（層内）から縦方向に変化させることにより、信号を結合した。この方式においては、長い層間距離を容易に伝送できる特長がある。ただし、この場合、上下均等に信号が放出される問題が同グループの従来研究においては指摘されていたが、今回、回折格子の下部や上部に金属反射ミラーを導入することにより、信号を必要な方向にだけ伝播するようにすることで、80%以上の信号結合効率を実現した。この構造を作製するためのプロセスは、一般的にCMOS回路を作製する際に使われるプロセスと互換性があり、電子回路と本構造の集積は容易である。

図2には、この結合部を含む多層配線の一層目から、2層目に毎秒50ギガビットの信号を送った場合のオリジナル信号波形（上）と伝送後の信号波形（下）を示す。信号に変化が見られず、劣化が起こっていないことを示している。

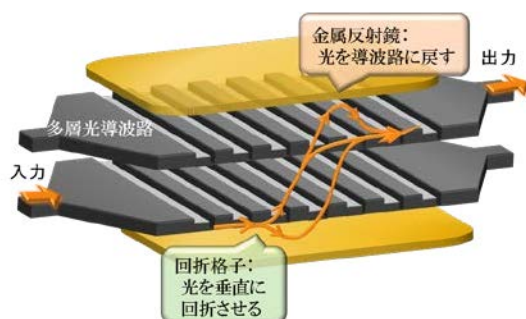
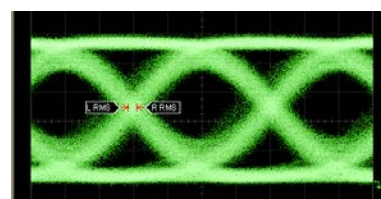
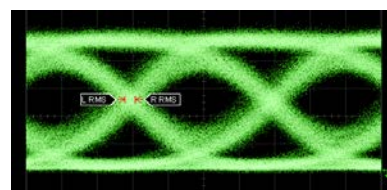


図1 結合部の構造図



オリジナル信号



複数層間伝送後の信号

図2 毎秒50ギガビット信号伝送波形

●研究の背景

電気配線は、高速な信号を伝送すると配線間での信号混在や、熱エネルギーへの変化によりエネルギー損失が大きくなるという問題を抱える。そのため、パソコンの頭脳である中央演算処理装置（CPU）などは、動作クロック速度を早くせずになるべく並列処理をすることで、その問題を回避しているが、配線距離が長くなってくれば、クロック速度がそれほど速くなくとも同様の問題が生じてくる。

そのため、最先端のスーパーコンピュータやサーバなどは、光ファイバを使った光配線への置き換えが進んでいる。光配線は、徐々にコンピュータ内部の部品まで浸透してきており、インテルなどのCPUメーカーも光配線の利用を推進している。その究極はLSIの中にまで光配線を導入するチップ内光配線であり、その技術として、シリコンフォトンクスが研究されている。その中でも、CMOS回路上へのダメージなしに光配線を作製できる技術、また、LSI内電気配線では当たり前となっている配線の3次元集積化を実現し、複雑な光回路を高密度集積可能な技術が求められていた。

●研究の経緯

同研究グループは、電子ビーム描画技術を中心とする高精度加工技術と低損失非晶質シリコンの成膜技術、そして半導体レーザにおける回折格子設計ノウハウを長年有しており、今回の実現における設計・加工技術に利用している。同グループを含む世界各国の研究機関では、LSI内光回路に使用可能な、極低消費電力光変調器、受光素子も並列して研究を進めており、本成果は、それらの部品をつなぐ根幹技術として研究された。

●今後の展開

本技術を最先端LSIに導入することにより、電子回路の直近まで光を導入することができることになり、現在の電気配線における信号伝送の速度制限を克服することができる可能性がある。その結果、逆スケーリング則とも呼ばれる電子回路微細化に伴う配線遅延がなくなるため、微細化が進むにつれ、頭打ちすることなくLSIの性能向上を期待できる。

【用語説明】

- (注1) シリコンフォトンクス：一般的な電子回路と同じシリコンを利用して光回路を実現する技術。材料だけでなく電子回路と同じプロセスを利用することにより、電子回路と光回路の集積や、大量安価な光回路の提供が利点とされる。
- (注2) CMOS回路：Complementary（相補）型MOS回路。一般的に使われるデジタル回路の基本構成要素。
- (注3) 回折格子：格子状のパターンを配置し、その周期を調整することで、特定の周波数の光を所望の角度へ回折させるための構造。

【問い合わせ先】

東京工業大学 大学院理工学研究科 電気電子工学専攻 西山伸彦、荒井滋久

Email: n-nishi@pe.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-3593, 03-5734-2512 FAX: 03-5734-2907

以上