

シリコンフォトニクスとフォトニック結晶

Silicon Photonics and Photonic Crystals

横国大院工 ○馬場 俊彦

Yokohama National Univ., °Toshihiko Baba

E-mail: baba-toshihiko-zm@ynu.ac.jp

シリコンフォトニクス (SiPH) とフォトニック結晶 (PC) は 1980 年代に生まれた分野であるが、研究が世界的に拡大したのは共に 2000 年前後である。構造も現象も単純な SiPH は、10 年前に始まった CMOS ファブを用いる製作により一気に実用化に到達した。光インターコネクション用光トランシーバがその応用先であるが、チップ間・チップ内インターコネクション、高速光信号処理、長距離ファイバ通信用デバイス、車載やバイオ用センサ、計測応用など、次の実用化候補が研究されている。ただし、その性能は材料やプロセスに制限され、頭打ち傾向である。一方、PC は構造も現象もより複雑なため、SiPH に比べると、分野当初から期待されてきた光集積回路のような応用の実用化が遅れている。ただし SiPH と PC はもともと構造の整合性がよいので、CMOS ファブで PC を作る試みが報告されている^{1,2)}。その後の SiPH の急激な進展の陰で PC は置き去りにされたが、近年、両者の融合は着々と成果を上げ、実用に近づいている。

当初、PC 導波路を基盤とした光集積回路が議論されたが、単なる光配線であれば SiPH の細線導波路の方が製作が容易で、低損失かつ広帯域である。PC が有効となるのは、高い群屈折率 n_g によって、光変調器、偏向器、検出器、非線形素子などの効率を高めるスローライトを利用したときである³⁾。ただし、一般にこの効果は波長帯域 $\Delta\lambda$ とトレードオフである。 $n_g(\Delta\lambda/\lambda)$ は最大で ~ 0.3 であり、動作やプロセスの許容誤差を考えると $\Delta\lambda = 5 \sim 30$ nm を期待したとすると n_g は $15 \sim 45$ となる。この値は構造の最適化と現行プロセスで十分に実現できる。細線導波路の $n_g \approx 4$ と比較すると $4 \sim 11$ 倍となる。また初期の PC では主にエアブリッジ構造が議論されてきたが、設計を工夫によって性能を大きく低下させることなく SiO_2 クラッドで埋め込めるようになった⁴⁾。これで製作が簡単になり、信頼性も増した。また伝搬損や細線導波路との接続損はスローライト帯域でもそれぞれ 10dB/cm と 0.5 dB 以下となり、1mm 以下の短い PC 導波路では問題なくなった⁵⁾。

近年、我々は PC マッハツェンダー変調器を CMOS ファブで製作している⁶⁾。スローライトの典型的な n_g と $\Delta\lambda$ はそれぞれ 20 と 15nm、移相器長は 200 μm 、オンチップ挿入損は 5~6dB、電気終端なしで PPG の出力電圧 $2V_{pp}$ 以下で 32Gbps の消光比は 3dB 以上である⁷⁾。短い移相器長のため、消費電力は 0.3pJ/bit と、通常の SiPH 変調器の 1/10 以下である。また PC 二光子吸収フォトダイオードを集積した光相関計を報告している。可変遅延線を用いたタイプ⁸⁾もあるが、逆伝搬スローライト⁹⁾を用いたタイプは可動部分がなく、1~10ps のパルスを観測できる¹⁰⁾。感度、偏波耐性、帯域も実用なみである。また最近、光レーダー (LiDAR) 用の光偏向器の検討を開始した¹¹⁾。これも n_g に比例して偏向角が増大するので、波長チューニングや偏向器の加熱で 30° 以上の偏向が期待され、実際に 100 点以上の解像点数が観測されている¹²⁾。このように SiPH と PC の組み合わせは実用化の収穫期に近づいており、今後の進展を期待している。

本研究は NEDO 光エレ実装プロジェクトと JST-ACCEL プロジェクトの援助を得ている。

文献 1) T. Baba et al., IEICE Electron. Express 10 (10) (2013) 1. 2) M. Shinkawa et al., Opt. Express 19 (2011) 22208. 3) T. Baba, Nature Photon. 2 (2008) 465. 4) T. Tamura et al., J. Lightwave Technol. 33 (2015) 3034. 5) 宮坂健司ら, 応物秋季 (2016) 14a-B4-1. 6) H. C. Nguyen et al., Opt. Express 19 (2011) 13000. 7) 寺田陽祐ら, 応物秋季 (2016) 14a-B4-4. 8) S. Kinugasa et al., Opt. Express 23 (2015) 20767. 9) K. Kondo et al., Phys. Rev. A 93 (2016) 011802(R). 10) 近藤圭祐ら, 応物秋季 (2016) 16a-B4-12. 11) 馬場俊彦ら, 応物秋季 (2016) 14p-B4-10. 12) 近藤圭祐ら, 本会 (2017).