

# フォトニクスとエレクトロニクスの共集積に役立つフィン光導波路

光を閉じ込める集積オプティクス光導波路の能力は通常、低屈折率材料の連続層上に導波路を構築することによって作製される。その導波路は、全反射によって光を伝搬させる。例えば、シリコンフォトニクスでは通常、二酸化ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ ) の連続層がシリコン導波路網の下に置かれ、シリコンフォトニクスが機能する。

しかし、シリコンフォトニクスでは、低屈折率層が連続的であるということが、フォトニクスとエレクトロニクスとの集積では問題となる。他のタイプの集積フォトニクス、例えばIII-V半導体、シリコンカーバイド ( $\text{SiC}$ )、あるいはダイヤモンドでは、必須の低屈折率材料埋込層が構造を弱くし、製造を難しくする。

この問題を解決するために、ペンシルバニア大、電気・システム工学部、量子工学研究所の研究者、リチャード・グロート氏とリー・バセット氏は、光閉じ込めと、同じ材料の基板との物理的接続が同時にできる導波路形状を考案した(図1)<sup>(1)</sup>。

そのフィン、下部部分の低屈折率材料とその上のより屈折率の高い材料によって広がり、上部で光を搬送できるだけの高い有効屈折率となるが、下部部分ではそうはならない。基板に対する重要な物理的結合は維持される。

## CMOS適合

シリコンフォトニクスでは、その構造は、シリコンフォトニックコンポーネントと、コンピュータチップに使わ

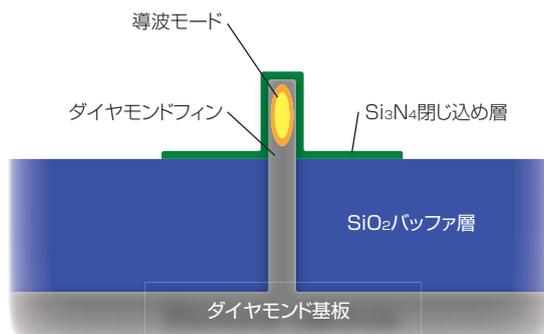


図1 ダイヤモンドベース集積フォトニクスにおけるフィン導波路の例は、ダイヤモンド導波路の光搬送部分とダイヤモンド基板との物理的な接続を示している。空気中の導波路だけでは薄すぎて基本モードを伝搬できないが、その上の部分に加えた窒化シリコン ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) 閉じ込め層により、導波路の上部が光を伝搬できるようになる。導波路の下部の大部分に広がる低屈折率  $\text{SiO}_2$  バッファ層は、導波路を支持するが、下部部分の光搬送モードを完全に除去する。

れるような大規模集積 (VLSI) エレクトロニクスとのCMOS適合共集積で機能する。他のタイプの集積フォトニクスでも、そのアレンジによって力が得られ、簡素になる。

一例を挙げれば、ダイヤモンドフィンと、屈折率約2.4、637nm波長で動作する基板は、屈折率1.45、屈折率2.0の薄い(200nm)窒化シリコン ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) 閉じ込め層を持つ厚い  $\text{SiO}_2$  バッファ層によって囲まれている。 $\text{SiO}_2$  と  $\text{Si}_3\text{N}_4$  両方の屈折率は、ダイヤモンドの屈折率以下であるが、フィンはそれでも光を閉じ込める。その理由は、別の領域の屈折率の連携が、異なる有効屈折率をつくり、それは  $\text{Si}_3\text{N}_4$  の影響を受けた領域では閉じ込めに十分な高い屈折率であるが、 $\text{SiO}_2$  ではそうではないからである。

## 参考文献

(1) R. R. Grote and L. C. Bassett, arXiv:1601.01239v1 [physics.optics] (Jan. 6, 2016).

導波路フィン自体が狭すぎると、最低次モードを伝搬させることはできない。また広すぎると、ボトムから光が漏れて基板に入り込む。フィンに沿って閉じ込め層が広すぎると、その結果より高次のモードになる。適切な閉じ込めと基本モードによる伝搬は、形状と有効屈折率のバランスによって決まる。基板漏れに起因する結果的な伝搬損失は、 $<0.15\text{dB/cm}$  である。

## ハイQマイクロリング共振器

円形フィン導波路を使ってマイクロリング共振器を作ることができる。例えば、半径  $10\mu\text{m}$  のダイヤモンドフィンの曲げ損失は、 $2.5\mu\text{m}$  厚バッファ層を用いた  $90^\circ$  ベンドあたり  $<0.06\text{dB}$  である。これによって直径  $20\mu\text{m}$  のマイクロリング共振器が作製できる。これはアンロードQファクタが  $Q>30,000$  となる。

もう1つの例では、 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  バッファ/閉じ込め構造のシリコン導波路フィンが、通信波長  $1.55\mu\text{m}$  シングルモード伝搬で設計できる。この場合、基板漏れに起因する損失は、 $<1.0\text{dB/cm}$  と計算される。またシリコンの  $20\mu\text{m}$  径のマイクロリング共振器は  $Q>10,000$  となる。

InP ベースのフォトニック集積回路 (PIC) にフィン導波路デザインを使うと、従来の InGaAs 導波層の代替となり、結果的に閉じ込めがさらに強くなり、モードエリアはさらに小さくなる、と研究者は指摘している。(John Wallace)