## 光デバイス応用のためのオンチップゼロ屈折率プラットフォーム

## On-Chip Zero Index Platform for Photonic Device Applications ハーバード大 SEAS, °北翔太, Y. Li, P. Munoz, O. Reshef, D. Vulis, E. Mazur, and M. Lončar Harvard SEAS, °S. Kita, Y. Li, P. Munoz, O. Reshef, D. Vulis, E. Mazur, and M. Lončar E-mail: skita@seas.harvard.edu

メタマテリアルまたはフォトニック結晶 (PhC) 構造によるゼロ屈折率材料 (Zero Index Material: ZIM)の提案・実証例が近年増え続けているが、いずれもマイクロ波 [1]、および面外デバイス[2]での 実証にとどまり、オンチップ光デバイス応用を想定したものではない、したがって本研究では、オン チップ光デバイスのプラットフォームとなりうるΓ点でのフォトニックバンドの意図的な縮退による 実部・虚部 ZIM (Double ZIM: DZIM) の実現を目標としている.DZIM とすることでインピーダンスは 有限の値となり光結合および透過損失を最小化できる.前回発表では基本構造ならびに初期的な実験 について結果を示したが[3], 今回はさらなる最適化によってより明確な ZIM の挙動が確認されたので 報告する. Si スラブ厚 500 nm の SOI 基板によって作製される 2 次元正方格子ピラー型 PhC による ZIM の基本構造を Fig. 1(a)に示す. TM 偏光を想定した場合, 誘電体・空気モードのバンド端波長において ピラー境界に沿って面外方向・面内方向にループする電束密度 D・磁束密度 B がそれぞれ発生する 面内方向に周期境界条件を適用した際の単一セルのモード分布 (空気モード)の有限要素法計算結果 を Fig. 1(b)に示す . PhC 内部の D と B は隣り合うピラーどうしで打ち消し合うため、実効的な およ びμは0になる. ピラー間隔 a およびピラー径 r の調整によりバンドを縮退させることでε, μ双方が同 時にゼロとなる. PhC が光波長と同程度の a をもつ場合でも,動作点をΓ点とすれば伝搬方向に対する 実効波長が無限大となるため均質な媒体とみなせることも重要である.ただし散乱損失が大きくなる ため、今回は上下を厚み 50 nm の金ミラーで挟むことで損失をミラーがない場合の 3 分の 1 程度に低 減した.本構造をプリズム構造とし,SU8 スポットサイズ変換器・Si 細線導波路および SU8 スラブ導 波路を集積してプリズムに平面波を入射するデバイスの写真を Fig. 1(c)に示す. これに波長 1500 nm を 入力したとき, 近赤外カメラにより撮影された近視野像を Fig. 1(d)に示す. これより構造由来の出射ビ ームが明瞭に観測されたことがわかる. 1260 nm から 1680 nm までの広帯域測定に対して屈折角を求め, それからプリズムの実効屈折率を逆算したところ, Fig. 1(e)のようになった. これより屈折率がゼロと なる (屈折角が 45°で固定される) 帯域を見出したが,これは実部屈折率のみがゼロとなるフォトニッ クバンドギャップに対応する.この帯域が構造によって明瞭に変化すること,ある構造でほぼ直線的 な挙動を示すことを示す実験結果 (DZIM 特性) については当日詳細に報告する. [1] X. Huang et. al., Nat. Materials 10, 582-586 (2011) [2] P. Morita et. al., Nat. Photon. 7, 791-795 (2013) [3] 北ら, 春季応物, 18p-E16-7 (2014)



Fig. 1 Summary for experimental ZIM. (a) Schematic cross section of our ZIM. (b) Modal distribution of single cell. The black arrows denote B loop around the pillar. (c) Optical image of the fabricated device with SU8 slab waveguide to observe the refraction angle from the ZIM prism. (d) Near infrared image when 1500 nm laser light is input from the bottom side of the picture. (e) Estimated effective index with wavelength. Error bas are evaluated from the Gaussian fitting of each angular distribution of the intensity at the edge of the slab waveguide.