

# ウィスパーリングギャラリーモードのシリコンフォトニック結晶素子との結合

## Coupling of Whispering Gallery Mode with Silicon Photonic Crystal

慶大理工<sup>1</sup>, 南京郵電大<sup>2</sup> ◯遊部航希<sup>1</sup>, 熊崎 基<sup>1</sup>,

Yuyang Zhuang<sup>1,2</sup>, 藤井 瞬<sup>1</sup>, 今村 陸<sup>1</sup>, 石田蘭丸<sup>1</sup>, 田邊孝純<sup>1</sup>

Keio Univ. Elec and Elec. Eng.<sup>1</sup>, NJUPT. Elec. And Opt. Eng.<sup>2</sup> ◯Koki Yube<sup>1</sup>, Hajime Kumazaki<sup>1</sup>,

Yuyang Zhuang<sup>1,2</sup>, Shun Fujii<sup>1</sup>, Riku Imamura<sup>1</sup>, Rammaru Ishida<sup>1</sup>, and Takasumi Tanabe<sup>1</sup>

E-mail: [takasumi@elec.keio.ac.jp](mailto:takasumi@elec.keio.ac.jp)

結合共振器による  $Q$  値の動的変調は、微小光共振器を信号処理に応用する際の重要な技術であり、Whispering Gallery Mode (WGM)共振器[1]や、シリコンリング共振器[2]での実証が報告されている。前者は超高  $Q$  値のため光を長時間(数  $\mu\text{s}$ )閉じ込めることができるが変調が難しく、後者は高速な変調が可能であるが  $Q$  値は低い(数 10 ps)という欠点を持つ。異種共振器間の効率的な結合が実現できれば、高速(低  $Q$ )に読み書き可能な長時間(高  $Q$ )光メモリの新たなアプリケーションが期待される。本研究では、シリカ WGM とシリコンフォトニック結晶(PhC)の効率的なモード結合と、結合共振器の形成に関する実験の結果を報告する。

通常、シリカ ( $n_{\text{SiO}_2}=1.44$ ) とシリコン ( $n_{\text{Si}}=3.48$ )のように屈折率が大きく異なる材料間の結合は難しいため結合系は複雑になる[3]。フォトニック結晶は特定の波長で実効屈折率が  $n_{\text{eff}}=1.44$  となる(Fig. 1(b))ため、シリカ WGM 共振器と PhC 導波路の効率的な結合が Fig. 1(a)で示されるような単純な結合系で可能となる[4]。

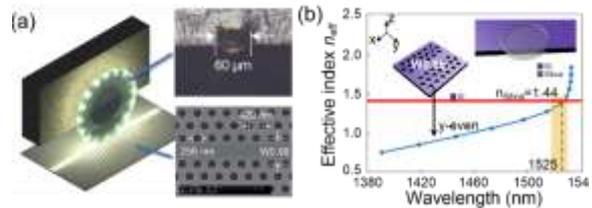


Fig. 1: (a) Schematic illustration of the coupling system. (b) Effective index of Si PhC waveguide

Fig. 2(a)に WGM 共振器と PhC 共振器の結合セットアップを示す。PhC 共振器は入力/出力導波路と直接結合、WGM 共振器とエバネッセント結合しており、共振器内モード振幅  $a, b$  と出力光振幅  $s_{\text{out}}$  は以下の結合モード方程式で記述される( $\gamma$  は損失,  $\kappa$  は結合係数)。二つの共振器の共振波長が一致する場合、これを解くと Fig. 2(b)に示されるように電磁誘起透過 (EIT) に似たスペクトルが得られた。

$$\frac{da(t)}{dt} = j\omega_A a(t) - \frac{\gamma_A + \gamma_{\text{bus}} + \gamma_{\text{drop}}}{2} a(t) + \sqrt{\gamma_{\text{bus}}} e^{j\theta} s_{\text{in}} + j\frac{\kappa}{2} b(t) \quad (1)$$

$$\frac{db(t)}{dt} = j\omega_B b(t) - \frac{\gamma_B}{2} b(t) + j\frac{\kappa}{2} a(t) \quad (2)$$

$$s_{\text{out}} = \sqrt{\gamma_{\text{drop}}} e^{j\theta} a(t) \quad (3)$$

実験には幅変化型線欠陥 PhC 共振器[5]を用いた。Fig. 2(c)は PhC 共振器と WGM 共振器を結合させた時の測定結果であり、WGM の共振波長でピークが観測された。Fig. 2(c)の挿入図に示すように、PhC チップを温度制御することで共振ピークをシフトさせることが可能であり、WGM と PhC の共振ピークを近づけたときのスペクトルを Fig. 2(d)に示す。WGM の共振波長でのピーク観測は、結合モード方程式による予想に反する。この振る舞いは入力/出力導波路のエバネッセント場が WGM との結合部付近にまで広がって結合した結果だと考えられるが、これにはより詳細な調査が必要である。

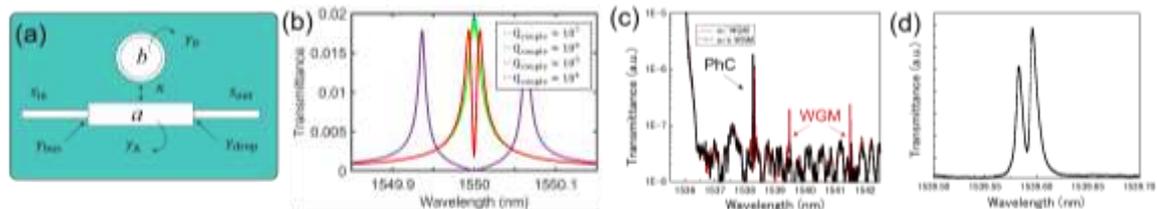


Fig.2(a): Schematic illustration of coupling system. (b): Calculated transmittance spectrum with different coupling  $Q$ s, when the resonances of the PhC and WGM modes are the same. (c): Transmittance spectrum of a PhC device with and without the coupling of a silica toroid WGM resonator. (d): Transmittance spectrum when the WGM and PhC resonances are close.

[1] W. Yoshiki, *et al.*, Sci Rep **7**, 10688 (2017). [2] Q. Xu, *et al.*, Nature Phys **3**, 406–410 (2007). [3] M. Anderson, *et al.*, Opt. Lett. **43**, 2106–2109 (2018). [4] Y. Zhuang, *et al.*, Opt. Lett. **44**, 5731–5734 (2019). [5] T. Tanabe, *et al.*, Nat. Phot. **1**, 49 (2007).

(本成果は戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE 191603001)の委託業務の結果得られました。)