

## シリカトロイド共振器における光 Kerr 効果を用いた全光スイッチ

## All-optical switch using optical Kerr effect in a silica toroid microcavity

慶大理工 〇吉岐 航, 田邊 孝純

Keio Univ., 〇Wataru Yoshiki, Takasumi Tanabe

E-mail: takasumi@elec.keio.ac.jp

多くの微小光共振器を用いた全光スイッチは、キャリアによって共振器内部の屈折率を変調している。しかし、これらのスイッチではキャリアの拡散時間によって制限された応答時間や自由キャリア吸収による損失が問題とされていた。このような背景から、フォトニック結晶共振器[1]等においてキャリアを介さない光 Kerr 効果を用いたスイッチが近年報告されているが、これらは  $Q$  値が低い( $<10^5$ ) ためにスイッチに 100 mW 以上の制御光パワーを必要とする。その一方で、超高  $Q$  値なウィスパーリングギャラリーモード(Whispering gallery mode: WGM)共振器を用いた光 Kerr スwitch [2]にはチップ上への作製が困難であるという欠点がある。そこで本研究では、高  $Q$  値( $>10^6$ )なシリカトロイド共振器[3]を用いることにより、光 Kerr 効果によるスイッチ動作をチップ上で低パワーで実現したので報告する。

シリカトロイド共振器中では、シリカの大きなバンドギャップ( $\lambda = 140$  nm)によりキャリアの生成は抑制される。さらに材料吸収が極めて小さいため( $Q = 2 \times 10^{11}$  に対応)、原理的には熱もほとんど発生しない。しかしながら、実際にはシリカトロイド共振器の吸収係数は表面吸収体の影響により材料吸収よりも遥かに大きくなることが知られているので、光 Kerr 効果をスイッチに用いるためには、TO 効果と Kerr 効果を分離する必要がある。Kerr 効果の応答速度は約数十 ns(共振器の光子寿命によって制限される)と極めて速いのにに対し、TO 効果のそれは極めて遅く、シリカトロイド共振器中では  $\mu$ s を超える。従って、TO 効果が応答できない程度に速い制御パルスを入力により、Kerr 効果のみを選択的に誘起出来ると期待できる。Fig. 1(a)に、時間幅  $T_{\text{cont}} = 128$  ns の制御パルスにて信号光をスイッチした時の信号光の出力を示す。なおこの時の制御光モード並びに信号光モードの  $Q$  値( $Q_{\text{cont}}$ ,  $Q_{\text{sig}}$ )はそれぞれ  $3.3 \times 10^6$  及び  $5.1 \times 10^6$ 、制御光のピークパワー  $P_{\text{in}}^{\text{cont}}$  は 3.32 mW である。Fig. 1(a)では、制御光が ON の時に信号光出力が ON、制御光が OFF の時に信号光出力が OFF となっている。また、信号光の立下り時間は約 30 ns と、熱の緩和時間( $>\mu$ s)と比較して極めて短い。従って、十分に短い制御パルスを入力することにより、TO 効果の影響を抑制し、光 Kerr 効果によるスイッチを実現できたということが分かる。なお、 $T_{\text{cont}} = 512$  ns の制御パルスを入力した Fig. 1(b)では、立下り時に TO 効果による影響を観察することができる。最後に、時間幅  $T_{\text{cont}} = 64$  ns の制御光パルスを入力した時の信号光のスイッチングコントラストを Fig. 1(c)に示す。なお、スイッチングコントラストは信号光出力の変化を、非共振器時の信号光出力で割ったものである(1 が最高値)。図中の青点及び黒実線はそれぞれ実験データ及び理論曲線を示しているが両者は良く一致している。理論曲線では TO 効果を無視し、Kerr 効果のみを考慮しているので、定量的にも本スイッチが光 Kerr 効果によって駆動していると確認された。また、Fig. 1(c)からは  $P_{\text{in}}^{\text{cont}} = 830$   $\mu$ W においてもスイッチ動作が可能であることが分かる。なお、 $Q$  をさらに上げ、 $Q_{\text{cont}} = 4 \times 10^7$  及び  $Q_{\text{sig}} = 2 \times 10^7$  を用いることにより、36  $\mu$ W の制御光パワーにおいても信号光の変調が確認されている。これは光 Kerr 効果を用いたものとしては世界最小値である。

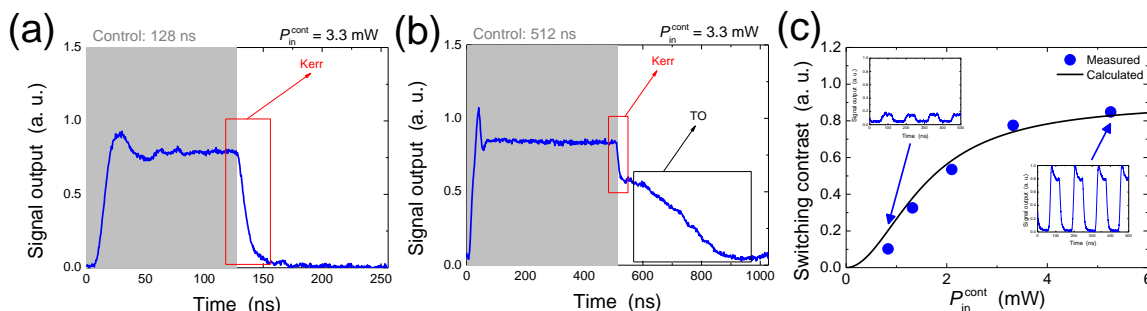


Fig. 1 時間幅(a)128 ns 及び(b)512 ns の制御光パルスを入力した時の信号光出力。青実線は信号光出力、灰色の領域では制御光パルスが入力されている。(c) 時間幅 64 ns の制御光パルスを入力した時の制御光パワーとスイッチングコントラストの関係。挿入図はそれぞれの制御パワーにおける信号光出力を示す。

- [1] V. Eckhouse, I. Cestier, G. Eisenstein, S. Combrière, G. Lehoucq, and A. D. Rossi, *Opt. Express* **20**, 8524–8534 (2012).  
 [2] M. Pöllinger and A. Rauschenbeutel, *Opt. Express* **18**, 17764–17775 (2010).  
 [3] D. Armani, T. Kippenberg, S. Spillane, and K. Vahala, *Nature* **421**, 925–928 (2003).