

超精密切削加工による結晶材料 WGM 共振器の作製および 熱光学機械振動の共振器サイズ依存性についての検討

Fabrication of crystalline WGM resonator using ultra-precision cutting tool and a study on the thermo-opto-mechanical oscillation

○糸部 大貴, 中川 陽介, 蒔 駿也, 柿沼 康弘, 田邊 孝純 (慶大理工)

○Hiroki Itohe, Yosuke Nakagawa, Shunya Azami, Yasuhiro Kakinuma, Takasumi Tanabe (Keio Univ.)

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

蛍石(CaF_2)のような結晶は優れた(小さな)材料吸収特性を持つため[1], 結晶材料を利用して WGM 共振器を作製すれば Q 値が極めて高い共振器が作製できると期待されている. また, 共振器の断面形状を変えることができれば, 共振器に閉じ込めた光子と共振器材料との相互作用による非線形光学効果を自在に設計可能になる. 多くの結晶材料は通常の半導体プロセスは利用できないので, 切削で加工する必要がある. しかし, 従来の切削のみでは共振器表面が粗く, 表面での光の散乱により Q 値が低下してしまう[2]. そこで, 切削加工後の工程として研磨加工を施し, 表面粗さ(RMS)が数 nm レベルになるまで滑らかにする必要がある[3]. 研磨加工で表面を十分に滑らかにするには時間が掛かり, さらに共振器の角が丸まり断面形状が変化することで非線形光学効果の特性も同様に変化するという問題が生じる. そのため我々は超精密ナノ加工機を用いた加工に着目した. 超精密ナノ加工を利用することで, 研磨を行わなくても良好な共振器表面の滑らかさを得ることに成功した(Fig. 1). 作製された共振器の表面粗さ(RMS)は数 nm レベルと研磨加工を行った共振器と遜色無く, 非線形光学効果を観測するために十分な Q 値($Q = 3.0 \times 10^6$)が得られた (Fig. 2).

結晶材料 WGM 共振器によって観測される非線形光学効果の一つに熱光学機械振動がある[4]. 共振器の作製に用いた材料である CaF_2 は負の熱光学係数を持つため[5], 共振器の温度が上昇すると, 共振波長が短波長側にシフトする. 一方, 材料の熱膨張も同時に生じ, その効果は共振波長を長波長側にシフトさせる. ある条件下では短波長側シフトと長波長側シフトが均衡することによって, 熱光学機械振動に起因する周期的な振動スペクトルが観測される(Fig.3). 我々は共振器が持つパラメータとして共振器のサイズに着目し, 共振器のサイズを変えることが振動にどのような影響を及ぼすかを理論, 実験の双方から考察した. 詳細は当日報告する.

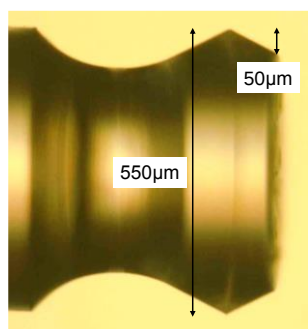
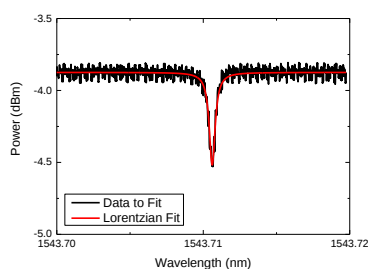


Fig.1 作製した CaF_2 WGM 共振器の光学顕微鏡写真



$$Q = 3.0 \times 10^6$$

Fig.2 共振器の透過スペクトル

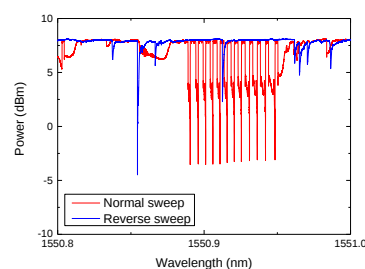


Fig.3 レーザの2通りの波長掃引方向に対応するスペクトル

- [1] A. A. Savchenkov, V. S. Ilchenko, A. B. Matsko, L. Maleki, Phys. Rev. A **70**, 051804(R) (2004).
- [2] A. I. Rahachou and I. V. Zozoulenko, J. Appl. Phys. **94**, 7929 (2003).
- [3] Guoping Lin, Souleymane Diallo, Rémi Henriët, Maxime Jacquot, Yanne K. Chembo, Opt. Lett. Vol.**39**, No.20 (2014).
- [4] L. He, Y.-F. Xiao, J. Zhu, S. K. Ozdemir, and L. Yang, Opt. Express **17**, 9571 (2009).
- [5] M. J. Weber, *Handbook of Optical Materials* (CRC Press, 2002), Vol. **19**.