

## 超精密機械加工による高 $Q$ 値単結晶微小光共振器の作製

### Precision machining fabrication of ultrahigh- $Q$ crystalline optical microresonators

慶大理工 °藤井 瞬、葉山 優花、熊崎 基、和田 幸四郎、柿沼 康弘、田邊 孝純

Keio Univ., °Shun Fujii, Yuka Hayama, Hajime Kumazaki, Koshiro Wada,

Yasuhiro Kakinuma, and Takasumi Tanabe

E-mail: takasumi@elec.keio.ac.jp, s.fujii@phot.elec.keio.ac.jp

高  $Q$  値微小光共振器は小さなモード体積に光を強く閉じ込めることにより、光と物質の相互作用を高めることのできる素子として注目を集めている。その中でも単結晶フッ化物材料を用いて作製されるウィスパーリングギャラリーモード光共振器は非常に高い  $Q$  値、広い透過性を有することから、光周波数コムやレーザ周波数安定化など数多くの応用が可能な微小光学素子として知られている[1]。半導体プロセスによって作製されるリング導波路型共振器とは異なり、単結晶微小光共振器はダイヤモンドスラリを用いた研磨加工によって作製されるのが一般的である。しかしながら、そのような作製手法は「手研磨」ともよばれ、作製精度は作製者の研磨技術に依存しているだけでなく、微細構造の制御ができないという欠点が存在していた。

そこで本研究では超精密機械加工を用いることで、高  $Q$  値と微細構造の制御性を両立した単結晶微小光共振器の作製を行ったので報告する[2]。Fig. 1(a)に超精密機械加工の実験セットアップを示す。高い  $Q$  値を得るためには加工後の表面荒さを数ナノメートルオーダーまで低減させる必要があり、そのために単結晶材料のもつ結晶異方性および切り込み深さといった加工条件を実験的に解析することによって最適な切削加工条件を見出した。Fig. 1(b)に作製した直径 508  $\mu\text{m}$  のフッ化マグネシウム微小光共振器の電子顕微鏡写真を示す。共振器  $Q$  値は透過率測定によって得られ、その結果を Fig. 1(c)に示した。作製された単結晶フッ化マグネシウム共振器は波長 1545 nm において  $Q$  値  $1.4 \times 10^8$  (光子寿命  $\sim 0.11 \mu\text{s}$ ) を示し、これは機械加工によって作製されたものとして世界最高  $Q$  値である。また、共振器分散の測定結果から事前の構造設計どおりに共振器構造が得られていることを確かめた。フッ化カルシウム材料に対しても同程度の結果が得られており、これまで実現されてこなかった  $10^8$  を超える高  $Q$  値と構造制御性の両立に初めて成功した。

また、本研究で作製した単結晶微小光共振器を用いて高次の分散を利用した光パラメトリック発振を観測したので同時に報告する。

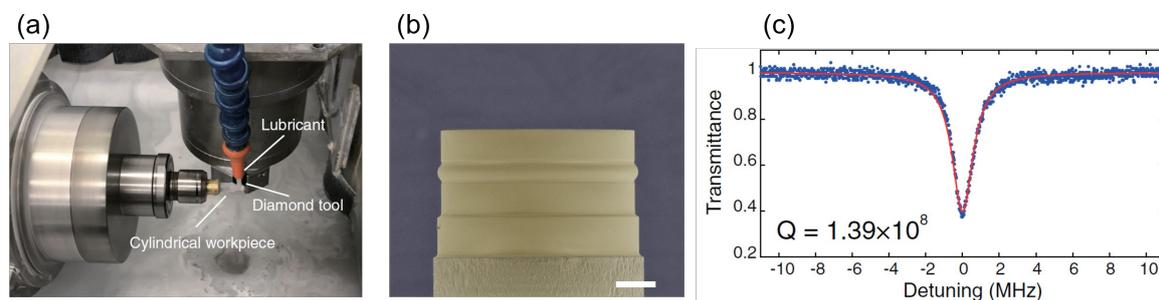


Fig. 1. (a) Experimental setup of an ultraprecision machining for the microresonator fabrication. (b) Scanning electron microscope image of a fabricated  $\text{MgF}_2$  microresonator. The scalebar is 100  $\mu\text{m}$ . (c) Normalized transmission spectrum. The Lorentzian fitting (red line) yields a loaded  $Q$  of 139 million.

#### References

1. G. Lin, A. Coillet, and Y. K. Chembo, "Nonlinear photonics with high- $Q$  whispering-gallery-mode resonators", *Advances in Optics and Photonics*, **9** 828-890 (2017).
2. S. Fujii, Y. Hayama, K. Imamura, H. Kumazaki, Y. Kakinuma, and T. Tanabe, "All-precision-machining fabrication of ultrahigh- $Q$  crystalline optical microresonators", *Optica* **7**, 694-701 (2020).