

## 微小光学素子のための電界砥粒制御研磨技術の開発

慶應義塾大学理工学部 ○葉山 優花, ◎柿沼 康弘

### 要旨

医療機器, バイオ, 光通信分野を中心に光コムなどの微小光学素子の利用が拡大している。単結晶材料の微小光学素子を製作する場合、最終工程にて表面品位を高めるため研磨加工を施す必要がある。しかし、従来の機械研磨を微小光学素子に直接的に適用することは難しい。そこで本研究では、砥粒の動きを制御可能な電界砥粒制御研磨の可能性を検討した。印加電界に応じた砥粒の挙動を明らかにし、効率よく研磨可能な条件を調べた。

### 1. 緒論

現在、信号処理を電気で行う電気信号処理が用いられているが、これはジュール熱が発生し、エネルギーロスが問題となっている。そこで電気信号処理に代わる信号処理方法として理論的にエネルギーロスのない光信号処理回路が注目されている<sup>[1]</sup>。この実現には光を一定時間・一定の場所の閉じ込める機能を持つ微小光共振器が必要である。単結晶材料は結晶異方性を持つことから、これを用いた微小光共振器はエッチングなどの化学プロセスで作製することが困難であり、現在超精密切削加工で形状を作製した後に手作業による研磨加工が行われている。

しかし、手作業による研磨ではわずかなクラックやサブサーフェスダメージが除去できる一方、形状精度の悪化や再現性の低下などという欠点がある。そこで形状や加工量が制御できる手作業研磨に代わる非接触の機械研磨法の開発が望まれている。

本研究では、非接触機械研磨法を提案し、誘電率の異なる二種類の溶媒を用いて加工を行い、その加工面性状を評価した。

### 2. 実験方法

超精密切削加工で作製した円柱蛍石に対して、研磨加工を行った。図1に実験装置の概観、およびタンク内の様子を示す。タンク内には長さ40mmの極板を設置し、間にスラリーを流し込み、その中で被削材を回転させながら前後移動させることでスラリーに作用させ、研磨加工を行う。極板はファンクションジェネレータと400倍に昇圧可能な昇圧器に接続されている。加工試験では砥粒は直径50nmのアルミナ、溶媒はシリコンオイル、又は純水を用いた。

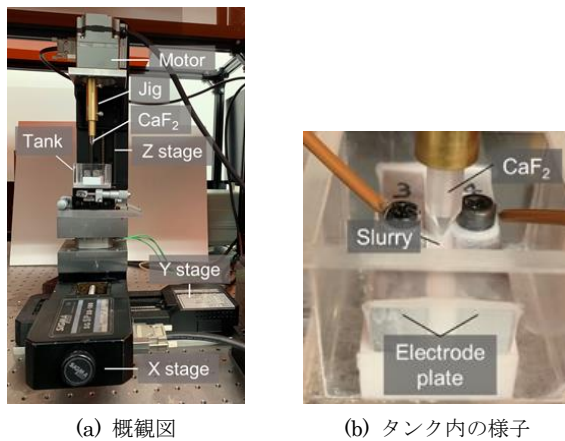


図1 実験装置

板を通して交流電界を印加することで極板間において印加周波数や印加電圧などに応じて砥粒が特殊な挙動を示す現象である電界砥粒制御<sup>[2]</sup>を用いて研磨加工を試みた。砥粒であるアルミナが比誘電率8.5なのに対して、比誘電率が2.7と低いシリコンオイルを溶媒として用いて研磨加工を行った。図2に交流電界を印加した際の砥粒の様子を示す。このように、初めは(a)のように砥粒は渦を描くが、やがて砥粒同士が結合し、(b)のように極板を結ぶ柱を形成する。

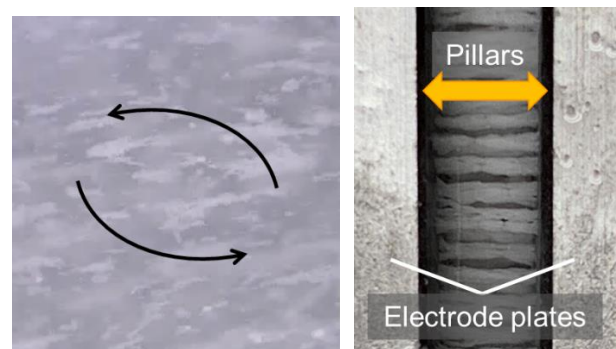


図2 砥粒の挙動

### 3.1. 周波数による挙動評価

最も砥粒の動きが活発な周波数を調べるために周波数を1, 5, 10, 50, 100 Hzと変えて、砥粒の動きを光学顕微鏡で観察した。実験条件を表1、実験結果を図3に示す。

図3のように10Hzの時に砥粒が一番活発になっていることがわかる。砥粒の動きが活発であるほど多くの砥粒が被削材に作用すると考えられるので、今後の実験では10Hzを用いる。

表1 周波数比較実験条件

Abrasive	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Grain size	1 μm
Solvent	Silicon oil 100 cSt
Solution concentration	5 wt%
Input voltage	10 V <sub>p-p</sub>
Electrode plate distance	4 mm
Frequency	1,5,10,50,100 Hz

### 3. オイルベーススラリーを用いた研磨

砥粒と溶媒で比誘電率の差(砥粒>溶媒)がある機能性流体に極

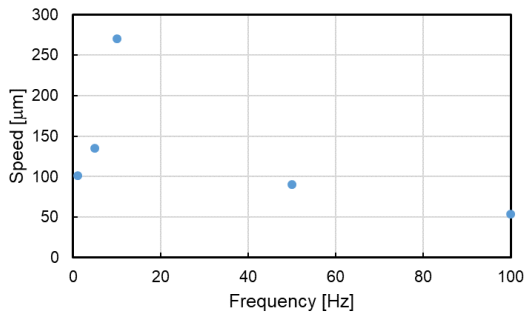


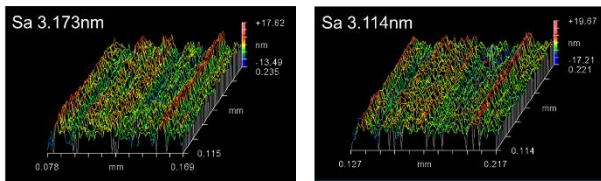
図3 周波数と砥粒速度の関係

### 3.2. 加工試験

直径 3mm の円柱蛍石を用いて、研磨加工試験を行った。実験条件を表 2、研磨加工前後の加工表面を図 4 に示す。切削加工により生じた切削痕や表面粗さに大きな変化は見られなかった。要因として用いたシリコンオイルの動粘度が 100 cSt と大きく、砥粒が十分な力で被削材に作用しなかったことが考えられる。

表 2 シリコンオイルを用いた研磨加工の実験条件

Workpiece	CaF <sub>2</sub> 3mm diameter
Solution concentration	50 wt%
Rotation	400 min <sup>-1</sup>
Speed	30 mm/s
Dwell time	3 s
Machining time	60 min



(a) 研磨前 (b) 研磨後

図4 研磨前後の加工面比較

### 4. 水ベーススラリーを用いた研磨

本研究で用いた純水は動粘度が 1 cSt とシリコンオイルより小さく、比誘電率が約 80 とアルミナより大きい溶媒である。この水ベーススラリーで研磨加工を行い、その加工面を 10 分ごとに測定した。実験結果を図 5、6 に示す。

図 5 のように、表面粗さは線形的に悪化した。また、0° より 45° の方が傾きが大きいことから、結晶異方性の影響が表れていたことがわかる。図 6 より研磨による傷も確認されたことから、被削材にかかる力が大きすぎたことが考えられる。そこで、被削材の直径を 3mm から 0.5mm に変え研磨加工を行った。切削後の加工面を図 7 に、研磨後の加工面を図 8 に示す。

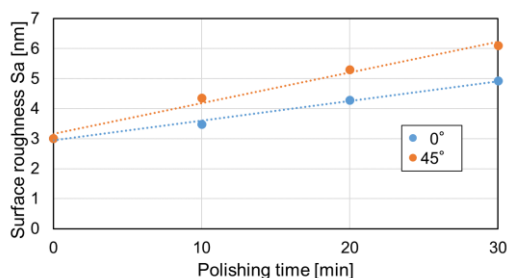
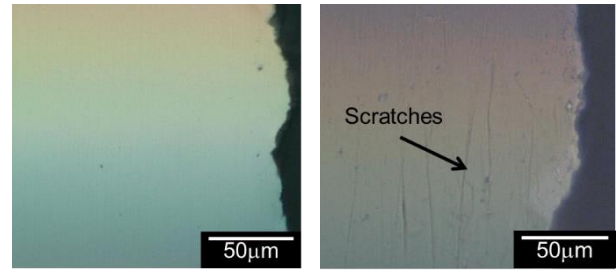


図5 表面粗さの推移 (0° ,45° )



(a) 研磨前 (b) 研磨後

図6 研磨前後の加工表面

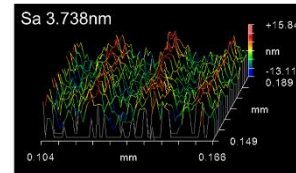
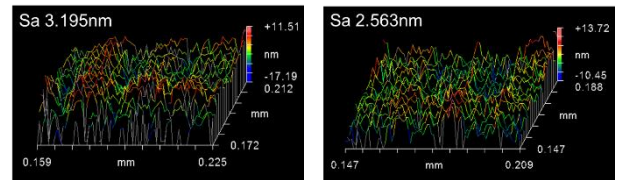


図7 切削後の加工表面



(a) 電界なし (b) 電界あり

図8 電界の有無による加工面の比較

電界の有無に関わらず研磨加工により切削痕や表面粗さを低減させることができた。純水は比誘電率がアルミナより大きいため、交流電界によって砥粒の動きを制御することができない。そのため、本加工法は被削材の移動や回転により動圧が発生し、加工が行われたと考えられる。動圧は動圧 $q$ [Pa]と密度 $\rho$ [kg/m<sup>3</sup>]、直径 $d$ [m]、回転数 $N$ [min<sup>-1</sup>]を用いて式(1)で示される。

$$q = \frac{1}{2}\rho \left( d \times \frac{\pi N}{60} \right)^2 \quad (1)$$

被削材の直径を変えたことで被削材にかかる動圧が小さくなり、加工面性状が向上したと考えられる。また、交流電界を印加したことで水が電気分解を起こし、蛍石がわずかに反応し、加工が促進された可能性もある。

### 5. 結論

本研究を通して以下の結論を得た。

1. オイルベーススラリーを用いた研磨ではシリコンオイルの動粘度が高いために砥粒が十分な力で被削材に作用せず、加工面に大きな変化はみられなかった。
2. 水ベーススラリーを用いた研磨では動圧が大きすぎたことから表面粗さが線形的に悪化した。また、被削材の直径を小さくし、動圧を小さくすることで電界の有無に関わらず切削痕や表面粗さを、低減させることができた。

### 参考文献

- [1] 田邊孝純, “光カー効果によるオンチップ型光スイッチの開発,” TELECOM Front., vol. No.86, 2015.
- [2] Y. Akagami and N. Umehara, “Development of electrically controlled polishing with dispersion type ER fluid under AC electric field,” Wear, vol. 260, no. 3, pp. 345-350, 2006.