

単結晶蛍石の超精密切削における加工特性解析と微小光共振器の開発

慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科 ○天野光 ◎青山藤詞郎, 柿沼康弘

要旨

信号処理回路を従来の電子技術ではなく光で代替する技術が注目を集めている。次世代の光信号処理を実現するためには、光を一定時間・一定の場所に閉じ込める役割を担う微小光共振器が不可欠である。本光学素子の材料として、単結晶蛍石を用いるのが理想的であるが、蛍石は脆性及び結晶異方性を有する。そこで、本研究では単結晶蛍石の二次元切削加工における、工具形状及び結晶異方性が加工面性状に与える影響を評価した。また実際に微小光共振器を作製し、評価を行った。

1. 緒論

従来の電子信号を用いて行ってきた信号処理を電子ではなく光で代替する技術が注目を集めている¹⁾。この光信号処理回路実現のためには、光を一定時間・一定の場所に閉じ込める微小光共振器が不可欠となる。微小光共振器の材料として、従来はシリカやシリコンを用いてきたが、光材料吸収の観点から単結晶蛍石を用いるのが理想的である。しかし蛍石は強い結晶異方性を有するため、従来のエッチングのような化学的プロセスは利用できない。そのため光共振器形状創成のためには超精密切削加工が必要となるが、蛍石の脆性及び結晶異方性が問題となる。本研究では単結晶蛍石に対し二次元切削試験を行い、工具形状及び結晶異方性が加工面性状に与える影響について調べた。また、実際に微小光共振器を作製し、その光学性能を評価した。

2. 実験装置・方法

図1に二次元切削試験の概観を示す。本試験では単結晶ダイヤモンド工具（ノーズ半径 R0.01 mm, R0.05 mm, R0.2 mm）を用いて、単結晶蛍石（主面：(100), OF：[011]）の二次元切削試験を行い、すくい角、ノーズ半径が加工面性状に及ぼす影響を調べた。また、R0.01, R0.2の工具を用い、OFを基準方向（0°）として切削方向を30°ずつ変化させることで、結晶異方性が臨界切込み深さに与える影響を調べた。



図1 二次元切削試験の概観

3. 蛍石の二次元切削試験における工具形状の影響

図2は二次元切削試験の加工痕を表しており、切込み深さが深くなるにつれ、脆性破壊が生じる。本研究では非接触白色光干渉型顕微鏡を用いて、脆性破壊が初めて生じ始めた点を臨界切込み

深さとした²⁾。

すくい角、ノーズ半径を変化させたときの臨界切込み深さの変化を図3に示す。どのすくい角においてもノーズ半径が大きくなるにつれ、臨界切込み深さが大きくなったが、すくい角による臨界切込み深さの大きな変化は見られなかった。従来すくい角を負にすると大きな静水圧力場が形成され、脆性加工が抑制されるため臨界切込み深さが大きくなる例が報告されている³⁾が、本実験においては変化がない。従来の切削加工試験で用いている単結晶ダイヤモンドよりも小さなノーズ半径を用いており、加工領域が小さくなったことで、すくい角を負にすることによる静水圧力場の形成が促進されなかったものと考えられる。続いて切削方向と臨界切込み深さの関係を図4に、単結晶蛍石のモデル図とすべり方向を図5に示す。図4と図5を比較すると赤い矢印で示されるすべり方向と臨界切込み深さの大きくなる方向が一致していることが分かり、これはそれぞれの方向にてすべり変形が起きやすく、延性モード加工が促進されたことに起因すると考えられる。また、ノーズ半径が大ききほうが結晶異方性が臨界切込み深さに与える影響が大きくなった。図6には各工具のノーズ半径と切削面積の関係を示している。結晶材料の加工においてはすべり系、へき開に起因するすべり変形及び脆性破壊が材料変形メカニズムの主要因になる。ノーズ半径が小さくなることで同切込み深さにおける切削面積も小さくなるため、塑性流動に寄与する領域も小さくなると考えられる。そのため、ノーズ半径が小さい工具では結晶異方性の影響が小さくなったと考えられる。

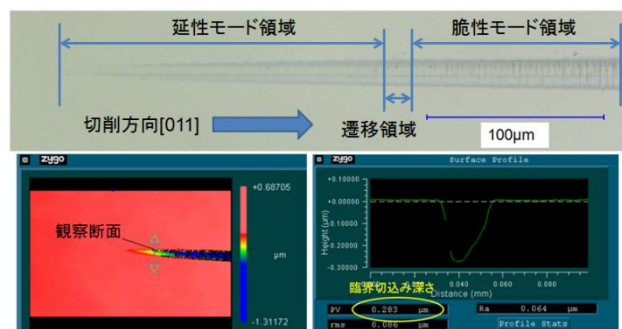


図2 切削痕と臨界切込み深さ

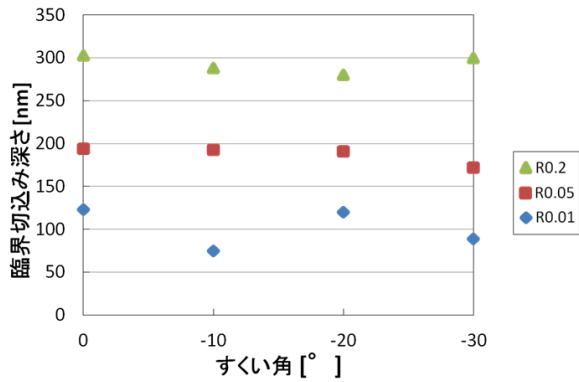


図3 工具形状と臨界切込み深さの関係

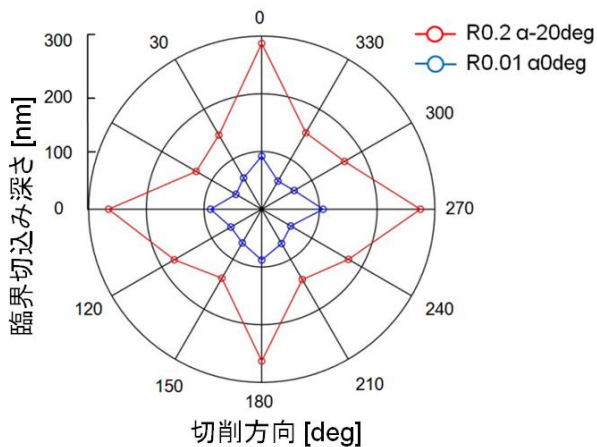


図4 切削方向と臨界切込み深さの関係

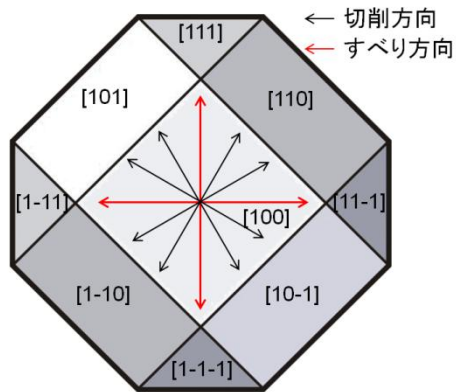


図5 単結晶蛍石のモデル図

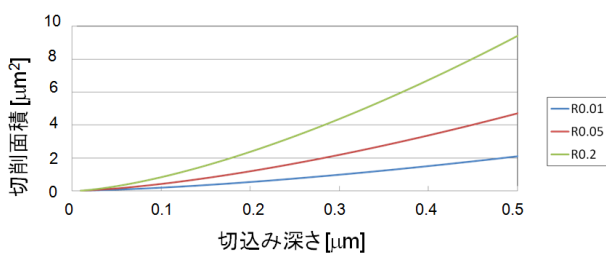


図6 ノーズ半径と切削面積

4.微小光共振器の作製

図7に示すように、単結晶ダイヤモンドバイト工具（ノーズ半径 R0.01 mm）を用いて、単結晶蛍石（端面：(100)）の外周旋削試験を行い、微小光共振器を作製した。（図8）

作製した微小光共振器は、外周全面でクラックのない良好な加工面となり、その共振器の性能を表す Q 値は 2.7×10^6 、光を約 2.22ns 閉じ込めることが出来た。

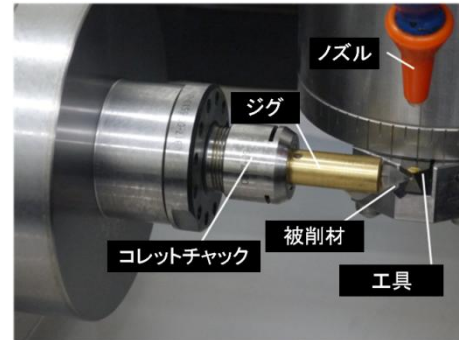


図7 外周旋削試験の外観

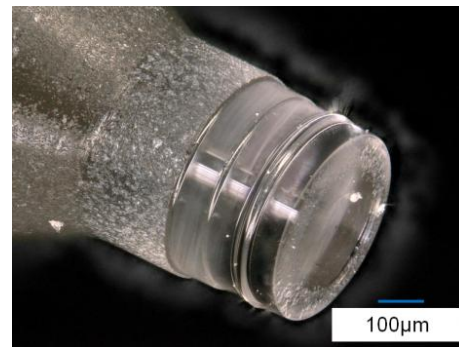


図8 作製した微小光共振器

5.結論

微小光共振器作製のために、本研究では蛍石の二次元切削試験を行い、その加工特性評価をした。以下に結果を記す。

- 1) 工具のノーズ半径が大きくなると臨界切込み深さも大きくなる一方、すくい角は大きな影響を与えないことがわかった。
- 2) ノーズ半径が小さくなるほど、結晶異方性の影響は小さくなることが分かった。特に切削方向とすべり方向が一致する時に臨界切込み深さが大きくなることが分かった。
- 3) 微小光共振器の作製では、R0.01 工具を使用することで全面クラックのない良好な加工面が得られ、Q 値は 2.7×10^6 であった。また光を約 2.22ns 閉じ込めることが出来た。

6.参考文献

- [1] 土田英実: "光情報技術 急成長する情報化社会を支える光技術", 産総研 TODAY, 2008,7 月
- [2] 閻紀旺, 庄司克雄, 鈴木浩文, 厨川常元: "ダイヤモンド平バイトを用いた単結晶 Si の延性モード切削", 精密工学会誌, Vol.64, No.9, 199
- [3] 閻紀旺 他: 単結晶フッ化カルシウムの超精密切削加工, 精密工学会誌, Vol.70, No.1, 2004, pp.106-111