

Investigation on Surface Integrity in Ultra-precision Cutting of Single Crystalline Optical Materials for Microcavity

February 2018

Yuta Mizumoto

報告番号	甲 第 号	氏 名	水本 由達
<p>主論文題名： Investigation on Surface Integrity in Ultra-precision Cutting of Single Crystalline Optical Materials for Microcavity (微小光共振器のための単結晶光学材料の超精密切削における表面品位に関する研究)</p>			
<p>(内容の要旨)</p> <p>光を小さな空間に閉じ込めることができる微小光共振器は、光カーコムや全光信号処理回路のような次世代光デバイスにとって必要不可欠である。高Q値微小光共振器には、光学特性の観点からフッ化カルシウム(CaF₂)やサファイアなど単結晶光学材料を用いることが理想とされ、その製造には超精密機械加工が主として用いられている。しかし、単結晶光学材料は脆性と結晶異方性を有するため、その切削性能に課題を残している。本研究では、単結晶 CaF₂ とサファイアの超精密切削における表面品位を詳細に解析し、その結果に基づき、超精密切削加工による微小光共振器の作製に成功している。</p> <p>第1章では、本研究の緒論を述べている。</p> <p>第2章では、微小光共振器と単結晶光学材料の超精密機械加工に関する背景を示し、本研究の目的を述べている。</p> <p>第3章では、超精密切削において表面品位に影響を与える材料破壊系を説明している。材料破壊挙動の解析モデルとして分解応力モデルを用い、すべり、へき開、双晶の活動しやすさを解析するために、重み付きシュミット因子とへき開破壊パラメータを提案している。</p> <p>第4章では、引っかき試験、外周旋削試験における CaF₂ の切削性能の評価結果を示している。切削する結晶面と方向に依存して表面品位は異なり、表面形態、表面粗さ、臨界切り込み深さが結晶構造に応じて変化することを明らかにしている。臨界切り込み深さの変化が提案した重みづけシュミット因子と一致する傾向を示し、{100}<011>すべり系、{111}へき開と部分的に{110}へき開が異方的破壊挙動に寄与することを実験的に明らかにしている。</p> <p>第5章では、(0001)面サファイアの引っかき試験の評価結果を示している。CaF₂と同様、表面品位が切削方向に依存することを示し、臨界切り込み深さの変化が重みづけシュミット因子とへき開破壊パラメータの両方とよく一致する傾向を示している。分解応力の計算結果に基づき、ロムボヘドラル双晶、ロムボヘドラルへき開、プリズマティックへき開が異方的破壊挙動において支配的であることを実験的に明らかにしている。</p> <p>第6章では、超精密切削加工による微小光共振器の製造に関して、表面品位と共振器形状が共振性能に与える影響を調べることで、その有効性を示している。本研究における最高Q値として 4.6×10^6 のQ値をもつ微小光共振器が得られ、また異常分散を有する台形微小光共振器の作製にも成功している。更に、熱光学振動抑制のために、CaF₂-真鍮ハイブリッド共振器を設計・製作し、評価した結果について述べている。従来の単一材料の微小光共振器に比べ、製作したハイブリッド共振器は高い熱的安定性を有することを示している。</p> <p>第7章では、今後の展望を含め、本研究を総括し、結論付けている。</p>			

Thesis Abstract

No. 1

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU" No. *Office use only	Name	MIZUMOTO, Yuta
Thesis Title			
Investigation on Surface Integrity in Ultra-precision Cutting of Single Crystalline Optical Materials for Microcavity			
Thesis Summary			
<p>Optical microcavities which can confine light at a small space are essential for the next-generation optical devices such as optical Kerr frequency combs or all-optical signal processing circuits. For the high Q microcavity, it is ideal to use single crystalline optical materials from the viewpoint of optical characteristics, such as calcium fluoride (CaF₂) or sapphire. An ultra-precision cutting process is mainly used for manufacturing of the microcavity. However, those materials are characterized by brittleness and crystal anisotropy, and the cutting performance is still an issue. In this research, surface integrity in ultra-precision cutting of single crystalline CaF₂ and sapphire was analyzed in details, and on the basis of the results, the microcavities were successfully manufactured by an ultra-precision cutting.</p> <p>Chapter 1 presents an introduction of this research.</p> <p>Chapter 2 presents a background about microcavities and ultra-precision machining of single crystalline optical materials, and also shows a purpose of this research.</p> <p>Chapter 3 describes material fracture systems which affect the surface integrity in ultra-precision cutting. As an analytical model of material fracture behavior, resolved stress model is used, and weighted Schmid factor and cleavage fracture parameter are proposed to analyze the ease of activation of slip, twinning and cleavage.</p> <p>Chapter 4 presents evaluation results of the cutting performance of CaF₂ in plunge-cut and cylindrical turning tests. It was clarified that the machined surface integrity varies in dependency with cutting crystalline planes and directions, and the surface morphology, surface roughness and critical depth of cut change according to its crystalline structure. It is clarified that the variation of critical depth of cut tends to coincide with the proposed weighted Schmid factor, and {100} <011> slip system, {111} cleavage, and partially {110} cleavage contribute to anisotropic fracture.</p> <p>Chapter 5 presents evaluation results of the plunge-cut tests of (0001) sapphire. Same as CaF₂, it was shown that the surface integrity changes depending on cutting directions, and variation of the critical depth of cut tends to coincide well with both weighted Schmid factor and cleavage fracture parameter. It is clarified that rhombohedral twinning, rhombohedral cleavage, and prismatic cleavage are dominant on anisotropic fracture behavior.</p> <p>Chapter 6 presents the validity of the ultra-precision cutting method by investigating the influence of surface integrity and cavity shape on cavity performance. The microcavity with 4.6×10^6 Q factor was obtained as the highest Q factor in this study, and the trapezoidal microcavity which shows anomalous dispersion was also successfully manufactured. Moreover, for suppression of thermos-opto-mechanic oscillation, it is noted that the CaF₂-brass hybrid cavity was designed, manufactured, and evaluated. It was shown that the manufactured hybrid cavity showed a high thermal stability compared to conventional mono-material microcavities.</p> <p>Chapter 7 summarizes and concludes this research, including future prospects.</p>			