

**研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム**  
**本格研究開発ステージ ハイリスク挑戦タイプ**  
**平成 22 年度終了課題 事後評価報告書**

研究開発課題名	: 赤外領域短パルス幅レーザーによるSi/MEMS積層構造物の内部加工技術と周波数増減調整装置の開発
プロジェクトリーダー	: シチズンファインテックミヨタ株式会社
所属機関	: シチズンファインテックミヨタ株式会社
研究責任者	: 伊藤 義郎(長岡技術科学大学 工学部 教授)

## 1. 研究開発の目的

Si容器で気密封止した後に、赤外領域短パルスレーザーにて周波数調整された水晶振動子と、その製造のための周波数調整装置の開発が最終目的である。本研究開発では、前研究段階で未達であったSi裏面金薄膜のアブレーションの実現を最優先に目指し、最適なレーザー条件(波長、パワー)や光学条件や金薄膜仕様などの最適範囲を探索すること、また、赤外顕微鏡に赤外短パルスレーザーを組み込み、実際のSi容器水晶振動子内部を観察して精度良くレーザー集光位置を制御して、加工結果を観察・検討し、周波数調整装置の実用化への開発課題を抽出することを目的とする。

## 2. 研究開発の概要

### 成果

Si裏面金薄膜(厚 150nm)アブレーションについては、近中赤外領域のレーザー(波長 1552nm、パルスエネルギー5 $\mu$ J、パルス幅 800fs)をSi厚補正機能付きの赤外対物レンズ(100倍 NA0.85)で、Si裏面に精密に集光させることで実現できた。レーザーを観察光学系に導入するシステムを構築し、Si容器内を透過観察しながら、水晶振動子上の金薄膜に集光させ、レーザーで除去することで、気密封止された水晶振動子の周波数増調整(<0.1ppm/ショット)に成功した。また、1 $\mu$ m以下の島状に形成した金薄膜が内面に成膜されたSi容器に封入した水晶振動子において、金薄膜を外部よりレーザーで飛散させ、水晶振動子上へ堆積させ、これによる周波数減調整に成功した。

研究開発目標	達成度
加工実験装置の構築	1552~2000nmは計画通り構築。2000~4000nmの出力不足帯域は外部機関OPOを借用し構築。金Siそれぞれの加工しきい値データの採集。
基本的な加工条件の探索	加工装置を稼働させたが、集光性能がSiの高い屈折率に起因する平板収差により低くなってしまい、Si裏面加工は未達。
詳細な加工条件の探索	裏面金薄膜のアブレーション加工は、1552nm、800fsで達成(赤外対応顕微鏡に1552nm、800fsのレーザーを組み込み、加工点をリアルタイムで観察可能なシステムを構築し、Si裏面及び裏

<p>水晶振動子周波数調整の実証</p> <p>飛散条件の探索</p>	<p>面金薄膜に集光)。同時に、サブ<math>\mu\text{m}</math>サイズの島状金薄膜の加工しきい値が著しく低く (<math>83\text{mJ}/\text{cm}^2</math>以下に)なることがわかり、この方法でもSi裏面金加工に成功。</p> <p>周波数増調整では0.1ppm/ショットの周波数調整の調整目標仕様を達成。周波数減調整ではSi容器内側の島状金薄膜をアブレーション・飛散・堆積させ、振動子枝の質量増による周波数減調整に成功(調整量は3ppm減)。調整実験システムには で構築したものに補正機能を付加して使用。</p> <p>石英基板に成膜した金/クロム薄膜を真空中で裏面アブレーションさせ、対向Si面に付着した金薄膜の観察と分析を実施。強度評価は未実施。</p>
-------------------------------------	---

#### 今後の展開

赤外領域短パルス幅レーザーでSi裏面金薄膜をアブレーションさせ、飛散した金を対向する面に付着堆積させることは実現できた。本研究期間で確認できなかった研究項目については研究を継続し、特にSi裏面加工に大きく影響する集光精度を確保することが非常に重要であるため、最適な集光方法の開発を進め、Si容器水晶振動子の周波数増減加工装置の開発を目指す。また、金微粒子のレーザー加工しきい値が低くなるメカニズムの解明を進め、金薄膜条件の最適化に活用したい。

### 3. 総合所見

一定の成果は得られた。基本事項の検討不足による問題の発生は残念だが、その問題を克服し、産業上有用なプロセス技術開発が達成された事は評価できる。今後、本技術が適用される製品の優位性、競争力に関しての検討を進められ、水晶振動子の高精度化などを通しプロセスイノベーションにつなげると共に、MEMS分野でのプロセス要素技術としての適用に期待したい。