

課題番号 : F-13-UT-0134

利用形態 : 共同研究

利用課題名 (日本語) : 微細内壁構造の非破壊計測のための MEMS 素子研究

Program Title (English) : Research of MEMS Device for Non-Destructive Micro Inner-Wall Structure

利用者名 (日本語) : カミーユ ゲ<sup>1)</sup>、マチュー ドヌアル<sup>2)</sup>、ジャン=ベルナル プーシエル<sup>3)</sup>、増沢隆久<sup>4)</sup>

Username (English) : Camille Gay<sup>1)</sup>, Matthieu Denoual<sup>2)</sup>, Jean-Bernard Pourciel<sup>3)</sup>, and Takahisa Masuzawa<sup>4)</sup>

所属名 (日本語) : 仏国立応用科学学校 (INSA) リヨン校<sup>1)</sup>、仏国立エンジニアリングスクール (ENSI) カーン校<sup>2)</sup>、仏 LAAS-CNRS 研究所<sup>3)</sup>、増沢マイクロ加工技術コンサルティング<sup>4)</sup>

Affiliation (English) : INSA de Lyon, France<sup>1)</sup>, INSA de Caen, France<sup>2)</sup>, LAAS-CNRS, France<sup>3)</sup>, MMTTC, Japan<sup>4)</sup>,

## 1. 概要 (Summary)

マイクロ放電加工に代表される、微細加工技術を用いれば、幅:深さ比で示される性能指数(アスペクト比)の非常に高い構造を作製することができ、例えば自動車エンジンの燃料噴射孔などに幅広く利用されている。ところが、例えば幅 50 $\mu\text{m}$  以下、深さ 500 $\mu\text{m}$  もしくはそれ以上という、非常に高いアスペクト比の微細構造の断面形状を評価するための計測技術の研究は遅れており、一般的には構造に対して垂直に切れ込みを入れたり、素子を割ったりして断面の顕微鏡観測を行う他観測手法が無かった。この問題に対して、課題申請者らは長年にわたり、MEMS 技術によってマイクロ探針を作製し、それを精密ステージ駆動して接触計測する手法を提案している。東京大学との共同研究によって、マイクロアクチュエータとセンサを集積化したマイクロ探針と、それを用いた断面非破壊計測の研究を行っている。

## 2. 実験 (Experimental)

開発中のマイクロ探針は、Swing-Probe (Fig.1) と呼び、Silicon-on-Insulator (SOI) 構造のシリコンを深掘りエッチングすることによって作製される。回転対称の構造の四隅に、櫛歯型アクチュエータ Comb-Drive Actuator が配置する構造である。点对称位置にあるキャパシタ(C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub> と C<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>)を対で利用し、片方を駆動電極として利用し、もう片方の容量変化を検出し、フィードバック検出を行うというコンセプトで設計された素子である。

仏国立応用科学学校 (INSA) リヨン校修士最終年度学生であった Camille Gay が東京大学大学院工学系研究科の交換留学生として 2013 年 9 月まで 1 年間日本に滞

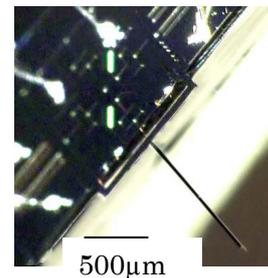


Fig.1 Swing-Probe Device for Microhole Measurement

在し、同じく東京大学客員研究員であった Matthieu Denoual 准教授と共に、検出機構部分の研究を行った。また、Jean-Bernard Pourciel が 2013 年 9 月に 2 週間来日し、検出ソフトウェア回路の研究を行った。まず、検出のための電子回路と MEMS 機構を、単一のシミュレーションでトップダウン的に設計するための手法として、MEMS 機構をハードウェア記述言語のマルチ物理拡張版である Verilog-AMS 言語で記述(モデリング)し、電子回路(クラップ発振回路)との連成シミュレーションを行い、性能を予測した。素子作製は Camille Gay が、Eric Lebrasseur 支援員の指導の下作業を行った。東京大学武田先端知ビルクリーンルームにおいて、東京大学微細加工拠点の大面積電子線描画装置・深掘りエッチング装置・クリーンドラフト超純水付きを利用して微細加工を行ってシリコン MEMS 素子を作製し、同じくクリーンドラフト超純水付き中で気相フッ酸 (Vapor HF) 法によって可動部のリリースを行った。ワイヤボンディングによって素子とプリント基板上に実装したクラップ発振回路と集積化し、実験を行った。

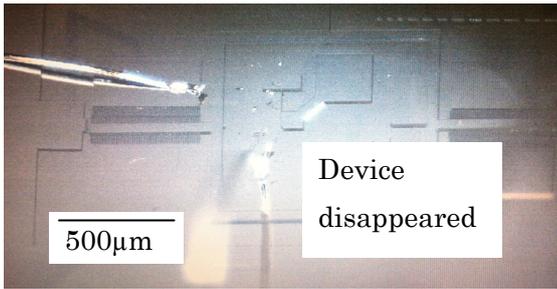


Fig.2 Vapor HF was the most critical step; often the device was broken during wire bonding



Fig.3 In-use breakage occurred.

### 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

Vapor HF の条件出しが大変困難であった。端的には、最適なエッチング時間が実験日によって大きく変動し、苦労した。エッチング時間が長すぎることも多く、Fig.2 に示のように、ワイヤボンディングを行うと電極が飛んでしまうという問題が生じた。頑張って最適なエッチング時間を見つけることができ、実験を開始した。クラブ発振回路の発振周波数がアクチュエータの動作に連れて変化する(周波数変調)様子を観察する予定であったが、信頼に足るデータを得る前に、動作電圧を高くして共振状態で測定しようとしたところ、素子を破壊してしまい、素子を破壊したのが帰国数日前だったため、再実験を行うことができなかった。今後も共同研究により、引き続き研究を行いたい。

### 4. その他・特記事項 (Others)

共同研究者: Eric Lebrasseur, 三田吉郎 (東京大学大学院工学系研究科)

【受賞】カミーユ ゲ: INSA リヨン校 2013 優秀卒業賞 (学年で 5 名)

### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

なし

### 6. 関連特許 (Patent)

なし