課題番号　　　　　　　　:F-14-TT-0020
利用形態　　　　　　　　:技術代行
利用課題名（日本語）　　:MEMS 犠牲層エッチングのためのプラズマレス Si ケミカルドライエッチング装置の開発
Program Title (English)　:Development of the plasma-less chemical dry etching apparatus for the Si sacrificial layer removal of MEMS devices
利用者名（日本語）　　:山川晃司[1), 田嶋聡美[2)], 林 俊雄[2)]
Username (English)　　:K. Yamakawa[1)], S. Tajima[2)], T. Hayashi[2)]
所属名（日本語）　　　:1) 株式会社片桐エンジニアリング　名古屋事業所, 2)名古屋大学工学研究科附属プラズマナノ工学研究センター
Affiliation (English)　　:1) Katagiri Engineering, Co., Ltd, 2) Plasma Nanotechnology Research Center, Graduate school of Engineering, Nagoya University

1. 概要(Summary)

本研究の目的は、情報・通信用ハンドヘルド機器軽量化、自動車の走行中の消費エネルギー制御、埋め込み医療用診断デバイスの根幹部である MEMS の可動部の加工を、現行のプロセスガス（XeF_2）の 1/5 以下のコストのプロセスガス（F_2+NO）を用いた量産型 Si エッチング装置を開発することである。利用者らは平成 24 年よりプラズマを利用せずに F_2+NO → F + FNO の発熱反応によって生じる F を利用して Si をケミカルドライエッチングする装置開発を行っている。平成 26 年度は平成 24 年度～平成 25 年度に行った小型エッチング装置での予備実験結果を踏まえ、量産化に向けて3インチ程度の大きさのサンプルでケミカルドライエッチングが可能になるようなエッチング装置開発を行った。豊田工業大学（豊田工大）で周期的な酸化膜パターン及び MEMS を製作し、片桐エンジニアリング（株）（KKE）と名古屋大学（名大）が設計・製作したエッチングチャンバーで Si 犠牲層を除去し、豊田工大において MEMS の特性評価を行った。

2. 実験(Experimental)

平成 26 年度はマスクレス露光装置、シリコン専用の各種熱処理（酸化，拡散）装置一式、洗浄ドラフト一式を用いて Si 以外の SiO_2及び Cr を両側にねじりばね付ダイアフラム構造物として利用し、SiO_2+Cr 膜下の Si をエッチングすることでその構造物を駆動することができる MEMS を豊田工大にて設計・製作した。（T. Yamazaki, S. Ogawa, S. Kumagai, M. Sasaki, “A Novel Infrared Detector Using Highly Nonlinear Twisting Vibration,” Sens. Act. A212 (2014) 165-172.）ウエハ上にはエッチングレート計測も同時にできるよう、3 種類のラインアンドスペースパターン（幅 3, 5, 8 μm）も作製した。

量産型ケミカルドライエッチングチャンバーは複数のシャワーヘッドを用いて F_2と NO が均一に混合できるように設計・製作した。エッチングレート及び面内均一性を段差計と走査型電子顕微鏡を用いて評価した。

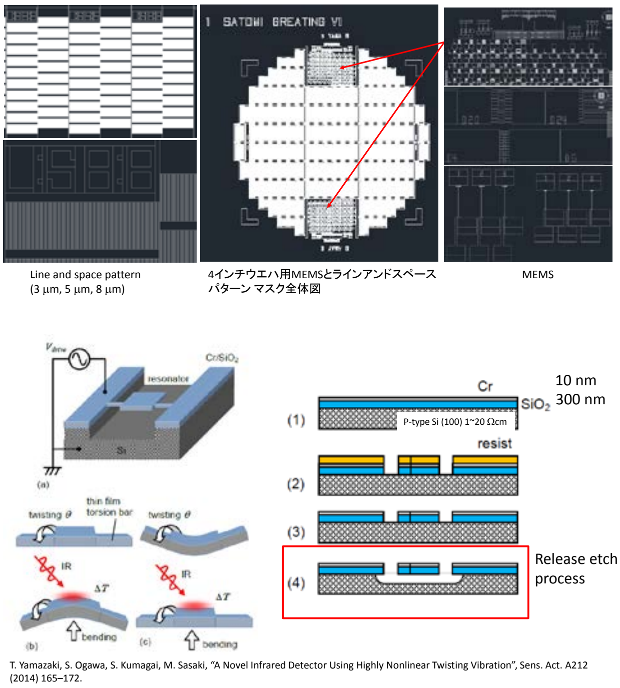


Fig. 1. MEMS temperature sensor fabricated at Toyota Technological Institute Nanofab.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

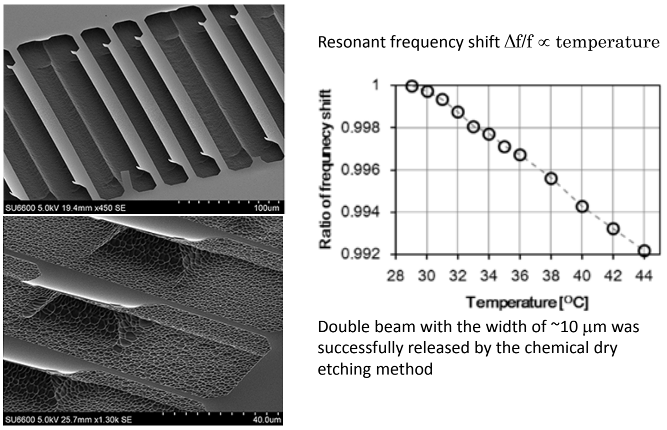
平成 26 年度に F_2+NO → F + FNO の反応を利用した量産型チャンバーの設計製作を行い、豊田工大で作

製した 4 インチウエハ内の MEMS の SiO_2+Cr 膜下の Si 犠牲層を最速エッチングレート 2.8 µm/min で除去することができた。

面内均一性向上に向け、今後流体シミュレーションを用いてガス導入・排気・基板冷却・壁加熱装置構造の再設計を行い、装置実用化に向けた研究を継続する予定である。

犠牲層除去後の MEMS の基板温度をペルチェ素子を用いて 29 から 50℃に変化させると、SiO_2 + Cr で作製した梁中央部が 100 nm 程度上昇することが、豊田工大の走査型白色干渉計（Zygo Newview 7300 with film option）を用いた計測で明らかになった。梁中央部の変位によって、梁の根元部部分と梁中央部の角度 θ が変化する。この角度変化 $\Delta\theta$ と温度変化 ΔT を関連付けることによって、温度計測を行った。

まず、MEMS にサイン波の電位（Vdrive）を印加する。 波長 650 nm の赤色レーザーを梁根元部に照射し、梁が変位することによって生じる反射光、回折光をフォトダイオードと周波数特性分析器(NF corp., FRA5097）を用いて計測する。電位印加前の共振振動



数 f は 200.3 kHz であり、温度上昇と共に減少した。当該 MEMS は $\Delta f/f$ と T を関連付けることによって温度センサーとして利用することができる。現在さらに精密に温度計測ができるよう豊田工大において MEMS プロセス最適化を行っている。

Fig. 2. MEMS temperature sensor after the release etch using a chemical dry mass production etcher designed and fabricated by KKE and Nagoya Univ.

本研究を通じて得られた新規チャンバー改造案をもとに、さらに効率の良い 8 インチ量産型チャンバーの設計・製作し、既存の XeF_2 ケミカルドライエッチングを凌駕する量産型高速ケミカルドライエッチング装置開発を行いたい。また MEMS の Si 除去の新規事業創出のみならず、新産業（半導体、パワーデバイス、太陽電池）の Si 系材料加工に当該装置を利用していきたいと考えている。

4. その他・特記事項（Others）

本研究は関係各位、科研費萌芽 25600123、JST A-step シーズ顕在化、住友精化株式会社からの助成を受け実施した。深く御礼申し上げる。

5. 論文・学会発表（Publication/Presentation）

(1) S. Tajima, et al. "Chemical dry etching of Si using F_2 and NO_2 gases at elevated temperature," D2-P-15L, Poster, 7th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials/8th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma2015/IC-PLANTS2015), Nagoya Univ., Nagoya, Aichi, Japan, March 26-31 (presented on March 30), 2015.

(2) J. -H. Jeong, et al. "A vibrational infrared thermal detector released by plasmaless Si etching process," A4-P-19, Poster, 7th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials/8th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma2015/IC-PLANTS2015), Nagoya Univ., Nagoya, Aichi, Japan, March 26-31 (presented on March 28), 2015.

(3) J. -H. Jeong, et al. "Resonator-Type Infrared Detector Released by Plasmaless Sacrificial Si Etching," The 21st International Display Workshop (MEET4-5), Toki Messe Niigata Convention Center, Niigata, Japan, Dec. 4-5 (presented on Dec. 4), 2014.

6. 関連特許（Patent）

(1) 田嶋聡美、林俊雄、石川健治、堀勝, "エッチング方法およびエッチング装置," 特開 2014-179553, 平成 26 年 09 月 25 日.

(2), (3) 他、出願中特許 2 件(非公開)