

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	天谷 諭 (あまや さとし)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 764 号
○授与年月日	2011 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	インプリント成形を用いた可動構造を有するポリマーMEMS の製 作技術に関する研究
○審査委員	(主査) 杉山 進 (立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構教授) 鳥山 寿之 (立命館大学理工学部教授) 平井 慎一 (立命館大学理工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

本論文は、有機ポリマーの物性を利用して、従来のシリコンを主材料とした MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) には無い特徴を実現可能なポリマーMEMS の開発を目的とし、インプリント成形を用いた製作技術の開発およびそれを用いて製作したポリマーMEMS デバイスの実証試験・評価をまとめたものである。

開発したポリマーMEMS 製作技術は、大きく分けて成形工程、接合工程、残膜除去工程、電極形成工程の 4 工程がある。成形工程においては、材料選択の幅が広く高精度加工が可能な熱インプリント成形を採用した。ポリマー材料として PMMA (Polymethyl methacrylate) を使い、最大アスペクト比 15 (幅 2 $\mu$ m、高さ 30 $\mu$ m) の微細パターンが成形可能であることを実証した。接合工程においては、真空紫外線 (波長 172nm) を用いた表面活性化接合法を適用し、接着剤を使用せずに接合した。また、精密位置決めのため、デバイスにアライメント構造を設け、表面活性化と嵌合を併用した接合技術を開発した。残膜除去工程には、後の工程で気相にて除去可能な補強材を用い、加工抵抗および加工熱の抑制が可能な楕円振動切削加工またはウェハレベルの加工が可能な研磨加工を施し、可動構造を有する微細構造体 (最小寸法 幅 5 $\mu$ m) の製作技術を開発した。電極形成工程としては、スパッタによる金コーティングを行った。

開発した製作技術を適用し、静電駆動型マイクロアクチュエータ、マイクロミラー、熱駆動型マイクロアクチュエータ、静電容量型加速度センサを試作、実証評価を行い、同構造でシリコンを用いた場合に比べ、可動変位が大きく、高感度であることを示した。

本論文のまとめとし、シリコンを用いたMEMSと比較しポリマーMEMSの実用化の展望を示している。

#### <論文審査の結果の要旨>

本論文では、大量生産、低環境負荷、材料循環が可能で、生体適合性が高い有機ポリマーの材料物性の特徴を利用して、従来のシリコンを主材料としたMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) には無い特性の実現を目指したポリマーMEMSの製造技術開発およびそれにより製作したポリマーMEMSデバイスの実証試験・評価をまとめたものであり、以下の点において評価できる。

1. 有機ポリマーを用いた微小可動部の形成において、後の工程で気相にて選択除去が可能な補強材を適用し、楕円振動切削加工あるいは研磨加工にて微小可動部を連結保持する残膜部を除去し、加工中に微小可動部が破損することなく立体構造体を製作することができる、これまでに例を見ないプロセス技術を提案し実証した。

2. 有機ポリマーPMMAの機械的物性の中で、シリコンに比べ約50分の1小さいヤング率および約20倍大きい熱膨張係数を巧みに利用し、シリコンに比べ1桁以上出力変位量の大きな静電駆動型アクチュエータ、熱駆動型アクチュエータおよび1桁以上高感度な静電容量型加速度センサを設計・製作し実証した。

3. 接合工程において、真空紫外線を用いた表面活性化接合法を適用し、位置決めのための立体アライメント構造を設け、接着剤を使用せずに高精度で積層接合できる接合プロセス技術を提案し実証した。

4. 熱インプリント成形工程、表面活性化接合工程、残膜除去工程、電極形成工程からなる一連のプロセス条件を最適化し、最大アスペクト比15(幅2 $\mu$ m、高さ30 $\mu$ m)の可動微細構造を有するポリマーMEMSの製造プロセスをまとめ工業化の道筋を付けた。

本論文の審査に関して、2011年7月29日(金)13時30分~15時00分メディアラボ2において公聴会を開催し、申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者天谷諭氏に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、ポリマーMEMSの優位性、材料選択性、性能限界などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

#### <試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、本論文提出者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文提出者は、本学学位規程第18条第1項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、本論文提出者が十分な学識を有し、課程博士学位に相応しい学力を有

していると確認した。

以上の諸点を総合し、本論文提出者に対し、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することを適当と判断する。