

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	谷川 紘（たにがわ ひろし）
○学位の種類	博士（工学）
○授与番号	乙 第 543 号
○授与年月日	2016 年 3 月 4 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 2 項 学位規則第 4 条第 2 項
○学位論文の題名	MEMS 共振器デバイスとシミュレーションについての研究
○審査委員	（主査）鈴木 健一郎（立命館大学理工学部教授） 木股 雅章（立命館大学理工学部教授） 徳田 功（立命館大学理工学部教授） 笠原 健一（立命館大学理工学部教授）

<論文の内容の要旨>

通信技術の進展に伴い MEMS（Microelectromechanical Systems）共振器デバイスへの期待が高まっている。MEMS は電気系と機械系が融合しているので両者を勘案した設計が重要である。しかし、機械系シミュレータは電気系とのリンクが不十分で、電気量の 2 次元的な広がりやを考慮できないなどの限界があった。本論文では、MEMS 共振器デバイスの特性評価／設計分野において、種々のシミュレーションを活用した下記の研究成果を記載している。

- 1) 2 次元の電磁界分布を考慮した機械系シミュレーションを行うことによって、ビーム型共振器デバイスの 3 次元的な機械振動特性を評価した。試作したデバイスの測定値と比較することにより、導出した数値が測定値を良く再現することを確かめた。
- 2) 静電駆動型 MEMS 共振器に働く静電気力について電磁界解析を利用した定量的な評価を行い、微細加工技術による方法と駆動電極を共振電極側へ移動させる（移動電極）方法との二種類の狭ギャップを形成するデバイスを設計した。作製したデバイスを評価した結果、電気機械変換効率が大幅に改善され、シミュレーションの値と定量的に良く一致することが示された。
- 3) 多周波数対応が可能なフィッシュボーン型デバイスを設計試作しシミュレーションを利用してその動作特性を明らかにした。マルチフィジックスシミュレータを使用して、共振器に作用する 3 つの力のそれぞれに対するビーム変形量を計算した。そしてこの総和が実

際のビーム変形量になると推論して導出した値が実測結果に良く合致することが示された。また、任意の共振周波数での特性最適化のためのアルゴリズムを提案し、複数の駆動電極の励振電圧を最適に設定することによって1次から高次の任意のモードで共振させることができる（周波数可変）ことを示した。

4) MEMS 共振器の狭ギャップを pn 接合空乏層により形成するという新しい動作原理を実証するため、カンチレバー型アクチュエータに形成される空乏層を空間電荷モデルと仮定してその機械動作を解析した。この結果は実験値と良く合致していた。

以上より、シミュレーション技術が共振器の設計に大いに役立つと結論できる。

<論文審査の結果の要旨>

本論文では下記の項目について注目される成果が記述されている。

1) 種々の静電駆動型 MEMS 共振器の動作をシミュレーションを用いて明らかにし、デバイスの特性改善に実際に役立つことを実証した（トレンチ構造を設けることにより、面外振動を抑制；電極を移動させることによりサブミクロン狭ギャップを形成；5つの周波数から一つの周波数を選択する周波数可変原理の実証）。

2) マルチフィジックスシミュレータを活用して複雑な構造をもつ共振器の特性を飛躍的に改善することに成功した（共振器の周波数選択性能を2桁以上向上）。

3) pn 接合空乏層を利用した新規 MEMS 共振器の原理的根拠を定量的に示した。

これらの成果はデバイスの動作原理の明確化と同時にこれを実証した点において高く評価できるものである。特に、フィッシュボーン型共振器の成果に対しては、応用物理学会集積化 MEMS 技術研究会より優秀賞（平成 25 年 7 月）および COMSOL コンファレンスにて Frontier Spirit Award Best Research（平成 26 年 12 月）が授与された。

本論文の審査に関して、2016 年 1 月 30 日（土）16 時 30 分～18 時 10 分ローム記念館 5 階第 1 会議室において公聴会を開催し、学位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谷川紘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、シミュレーションに関して、新規デバイス開発において果たした役割、実験値との対応関係、および、将来的課題などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位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>

本学学位規程第 23 条および第 24 条に基づき、学位申請者に対して学力確認のために専門科目 3 科目（材料力学、振動工学、電気回路）および外国語（英語）の試験を行った。試験結果を主査、副査で検討した結果、本学大学院博士課程後期課程修了者と同等以上の学力を有することが確認された。

以上の諸点を総合し、本学学位規程第 18 条第 2 項に基づき、学位申請者に対し、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。