T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高分解能MEMS加速度センサに関する研究
Title(English)	
著者(和文)	高安 基大
Author(English)	Motohiro Takayasu
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10858号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:益 一哉,筒井 一生,若林 整,角嶋 邦之,伊藤 浩之,石原 昇,天川 修平,町田 克之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10858号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　工学　）
学生氏名： Student's Name	高安　基大	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	益　一哉　教授
		指導教員（副）： Academic Supervisor (sub)	石原　昇　教授

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は、Micro-Electro-Mechanical Systems（MEMS）加速度センサの高分解能化とその評価・応用について纏めたものであり、「高分解能 MEMS 加速度センサに関する研究」と題し、全文 7 章からなる。

第 1 章「序論」では、まず MEMS 加速度センサが高分解能化することにより、産業、防災減災、ヘルスケアなどの応用分野が更に拡がることを述べている。その上で、研究の目的を MEMS 加速度センサの高分解能化と評価、及びその応用にあるとしている。従来の加速度センサの分解能であるミリ G（1 G = 9.8 m/s^2）以下を実現するために求められる MEMS デバイス、容量検出回路に必要とされる性能を見積もり、その実現方法について論じている。

第 2 章「MEMS 加速度センサの高分解能化と評価・応用手法」では、MEMS 加速度センサと評価、及び応用における従来技術について論じ、高分解能化の手法を述べている。まず、MEMS 加速度センサの基本的な動作原理を示した後、MEMS デバイスにおいては、従来から錘材料に主に用いられるシリコンではなく、金を用いることが小型、低雑音化に有効であると論じている。MEMS デバイスへ加速度を印加した際に発生する錘の自由振動による雑音は、錘と固定電極間に高電圧を印加することで抑制できると述べている。また、容量検出回路として、従来主に用いられる電圧領域の容量検出回路ではなく、時間領域の容量検出回路の有効性を論じている。微小加速度評価方法として、従来の加振による加速度印加ではなく、傾斜による微小加速度検出法について述べている。高分解能加速度センサの応用として、高分解能角度計として利用できると述べている。

第 3 章「MEMS デバイスの低雑音化技術」では、第 2 章で述べた設計手法に基づき、MEMS デバイスを提案、試作し、その性能について述べている。錘材料に高密度材料である金を利用し、差動方式による容量検出を行うことで、小型化、低雑音化している。更に、積層メタル技術を採用する 3 軸 MEMS デバイスを試作、評価し、小型でかつ、μG/Hz$^{1/2}$ 以下の低雑音特性を実現し、設計手法の有効性を示している。

第 4 章「時間領域の容量検出回路技術」では、第 2 章で議論した設計手法に基づき、時間領域の弛張発振型容量検出回路を提案・試作し、その性能について述べている。提案する弛張発振型容量検出回路は、従来の弛張発振型回路に演算増幅器を導入した構成である。基準容量を用いずに容量値を測定し、また、回路構成のみで雑音を低減する原理を論じている。0.18μm CMOS プロセスを利用して容量検出回路を試作し、MEMS デバイスと同一基板上に実装して評価した。簡素な回路構成で低雑音特性が得られており、MEMS 加速度センサ用容量検出回路として有効であると述べている。

第 5 章「昇降圧回路の高耐圧化技術」では、MEMS デバイスへ高電圧を印加するための、昇降圧回路の高耐圧化技術について述べている。従来の昇降圧回路の出力電圧がトランジスタの耐圧で制限される課題に対し、トリプルウェルトランジスタを採用し各ウェルへバイアス電圧を印加することで高耐圧化する手法を論じている。0.18μm CMOS 標準プロセスで回路を試作・評価し、トランジスタの耐圧を超えた出力電圧が得られており、昇降圧回路のための特殊プロセスが不要な高耐圧化技術を明らかにしたと述べている。

第 6 章「MEMS 加速度センサのモジュール化技術と角度計応用」では、高分解能 MEMS 加速度センサモジュールの構成、またその角度計への応用可能性について述べている。まず、MEMS デバイスと容量検出回路を組合せ、小型・高分解能な MEMS 加速度センサモジュールを試作している。次に、MEMS 加速度センサモジュールの傾斜特性を評価したところ、ミリ度程度の高分解能測定が可能で、高分解能 MEMS 加速度センサが高分解能角度計として応用できることを明らかにしたと述べている。

第 7 章「結論」では、本論文で得られた成果を総括し、今後の MEMS 加速度センサの高分解能化と用途拡大についての将来展望を述べている。集積化 CMOS-MEMS 技術により、MEMS 加速度センサの更なる高分解能化を実現できると論じている。

以上を要するに、本論文は将来の MEMS 加速度センサの高分解能化に有用になると考えられる技術の提案とその有効性を実証したものである。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　工学　）
学生氏名： Student's Name	高安　基大	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	益　一哉　教授
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	石原　昇　教授

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

This thesis presents a study of high-resolution micro-electro-mechanical systems (MEMS) accelerometers and comprises seven chapters.

Chapter 1 introduces the study. High-resolution MEMS accelerometers can be applied in industries, disaster prevention, and healthcare. The purpose of this study is to develop a high-resolution MEMS accelerometer, its evaluation, and applications. The target resolution of the MEMS accelerometer is also described as sub-1mG (1 G = 9.8 m/s^2).

Chapter 2 presents the high-resolution techniques of the MEMS accelerometer. The first technique is to reduce the mechanical noise; high-density gold is utilized as a proof mass, where silicon is conventionally used. The second technique is to reduce the electrical noise; a time-domain capacitive-sensor interface (CSI) is employed instead of commonly used voltage-domain CSIs. The third technique is to control the proof-mass position using a high-voltage force-feedback system. To evaluate the resolution of MEMS accelerometers, a tilting board is used to generate microgravity acceleration. As an application of the MEMS accelerometer, a high-resolution inclinometer is designed.

Chapter 3 reports a tri-axis MEMS device with a single gold proof mass and fully differential sensing electrodes. The proposed MEMS device is fabricated using multi-layer metal technique. Experimental results show sub-1μG/Hz$^{1/2}$ low-noise characteristics.

Chapter 4 discusses the design of a time-domain CSI based on a relaxation oscillator, which operates without a reference capacitor. The noise reduction principles of the proposed CSI are described analytically. The CSI is fabricated with a 0.18-μm CMOS process. Experimental results show low-noise response with the relatively simple CSI architecture in comparison with conventional voltage-domain CSIs.

Chapter 5 describes a high-voltage step-up/step-down circuit implemented for the force-feedback system. The proposed circuit uses triple-well transistors and well-bias techniques, and it is fabricated by a standard 0.18-μm CMOS process. Experimental results show that the circuit can generate voltages that exceed the breakdown voltage of the transistors.

Chapter 6 discusses the design of an inclinometer based on a high-resolution MEMS accelerometer module composed of the proposed MEMS device and CSI. Experimental results show that the module can detect sub-1mG acceleration and that it functions as an effective high-resolution inclinometer.

Chapter 7 summarizes the study and discusses the prospects for high-resolution MEMS accelerometers. To further improve the resolution, integrated CMOS-MEMS technology is discussed as one of the key approaches.

In conclusion, the techniques proposed in this thesis pave the way for the development of high-resolution MEMS accelerometers.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).