

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	MEMS-LSI集積化による小型高精度かつ高信頼性を指向した容量式センサ技術の研究
Title(English)	
著者(和文)	藤森司
Author(English)	Tsukasa Fujimori
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10667号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:杉野 暢彦,小林 隆夫,中村 健太郎,黒澤 実,伊藤 浩之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10667号, Conferred date:2017/9/20, 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

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：物理情報システム 専攻
Department of
学生氏名：藤森 司
Student's Name

申請学位(専攻分野)：博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)：杉野暢彦 准教授
Academic Supervisor(main)
指導教員(副)：
Academic Supervisor(sub)

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

本論文では、容量式 MEMS センサを小型高精度かつ高信頼化することを目的に、MEMS と LSI のモノリシック集積化を実現する配線 MEMS プロセス技術を開発し、MEMS と CMOS LSI を集積化した圧力センサの試作により実証した結果を述べる。

MEMS 技術により形成されるセンサは様々なシステムを高度化する鍵であり、更なる用途拡大に向け小型化・機能集積化が期待されている。そのためには MEMS と検出回路の LSI をモノリシック集積化し、小型化と微小量の検出や高精度化を同時に実現することが有効である。MEMS と LSI をモノリシック集積化するには、MEMS と LSI の各プロセスの差異により相互に与える影響を抑制することが必要である。すなわち、LSI を形成した後に MEMS を集積化する場合、MEMS を形成する材料の成膜温度や応力制御といった MEMS プロセスが LSI に与える影響を低減することが必須である。さらに、MEMS と LSI を集積化することから、金属疲労耐性などの MEMS に要求される信頼性と、耐湿性などの半導体で要求される信頼性の両方を同時に満たすことが必要である。このような背景のもと、本論文では MEMS と CMOS LSI の集積化を実現する新たな方法として配線 MEMS プロセス技術を提案する。配線 MEMS プロセスは、LSI 配線プロセスと互換性を有する材料とプロセスで MEMS を形成するプロセスであり、LSI へ影響を与えずに MEMS と CMOS LSI を集積化できる。本プロセスにより、広く用いられている容量式 MEMS センサと LSI を集積化することで小型高精度かつ実用に十分な信頼性を有するセンサを実現できる。

第 1 章では、現状の MEMS と LSI を集積化する技術と課題について概観し、その課題を解決するための提案として配線 MEMS プロセス技術の目的を示した。

第 2 章では、タングステンもしくはタングステンシリサイドを MEMS の主たる構造体として用い、LSI 配線プロセスと互換性を有する低温プロセスのみを用いる配線 MEMS プロセス技術により、MEMS 構造を形成可能であることを示した。まず、LSI 配線プロセスに適用可能であり、かつ MEMS 構造体に必要とされる機械特性を有する材料としてタングステンおよびタングステンシリサイドを選択した。そして、LSI 配線プロセスで使用可能な低温プロセスのみで MEMS 容量素子を形成し、加圧により MEMS 構造が変形し、容量値が変化することを確認した。

第 3 章では、配線 MEMS プロセスにより試作した MEMS の信頼性を検討し、実用上十分な信頼性を有していることを示した。MEMS と LSI を集積化したセンサでは、LSI で用いられている信頼性試験に加え、MEMS 構造の劣化原因となる金属疲労耐性および、特性ドリフトの要因となる応力変化に対応する信頼性の検討が必要である。そこで、タングステンおよびタングステンシリサイド膜を用いた MEMS 容量素子を用いて、これらの信頼性を検討した。金属疲労耐性は

静電力による繰り返し動作試験により評価し、5000 万回の繰り返し動作後も特性変化はせず、実用上十分な耐性を有していることを確認した。さらに、半導体分野において湿度やガスに対する保護膜として用いられているシリコン窒化膜を MEMS 表面に 150 nm 以上の厚さで成膜することで、十分な信頼性を得られることを示した。この構造は、高温高湿試験および熱衝撃試験後も特性変化せず、実用上十分な信頼性を有することを確認した。

第 4 章では、配線 MEMS プロセスによる MEMS と LSI の集積化可能であることを、MEMS と CMOS LSI をモノリシック集積化した MEMS 圧力センサを試作により実証し、小型高精度化を実現可能なことを示した。配線 MEMS プロセスにより、3 層アルミ配線の CMOS LSI と静電容量式 MEMS 圧力センサを集積化するプロセスフローを構築し、0.35 μm ルールの半導体ファウンドリで試作した。試作した MEMS 圧力センサは、アナログ・デジタル回路を 0.72 mm² に集積した単機能版と、単機能版の機能に加え、温度センサおよび調整用回路をチップ面積 3.23 mm² に集積した高機能版の 2 種であり、配線 MEMS プロセスによりセンサを小型化、機能集積化可能である。試作した MEMS 圧力センサを評価した結果、フルスケールの約 0.01% 程度の分解能で測定できることを確認した。この分解能は、静電容量に換算すると約 30 aF、上部電極の変形量に換算すると約 0.005 nm に相当するものであり、MEMS と CMOS LSI を集積化することにより静電容量式センサで、振動式センサに匹敵する 0.01 %フルスケールの精度を実現可能である。

第 5 章では、本研究を総括し、結論を述べた。

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 1 copy 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).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理情報システム	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	藤森 司		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	杉野暢彦	准教授
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)		

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

MEMS sensors are required to have small size and high accuracy for new advanced applications. For that purpose, various attempts have been made to monolithically integrated MEMS with LSI. In order to integrate, it is necessary to suppress mutual influence by difference between each process of MEMS and LSI. Furthermore, it is necessary to simultaneously satisfy both reliability required for MEMS such as metal fatigue resistance and reliability required for semiconductors such as moisture resistance. In this thesis, it is proposed that a new approach of integrating capacitive MEMS sensors with LSI. Then, it is possible to realize a sensor which is compact, highly accurate and has sufficient reliability for practical use.

In chapter 1, problems of technology to integrating MEMS with LSI and purpose of this thesis were described.

In chapter 2, back-end-of-line (BEOL) MEMS processes were proposed as a new approach to integrate MEMS and LSI. Tungsten or tungsten silicide are used as main structures of MEMS in this processes. And it was shown that MEMS capacitors can be formed only by these materials and low temperature processes usable in LSI BEOL. The capacitance value of the MEMS capacitors was changed by deformed with pressurization.

In chapter 3, it was shown that the MEMS capacitors have sufficient reliability. The characteristics of the MEMS capacitors did not change after repeating operation test of 50 million times. Furthermore, the characteristics of the MEMS capacitors formed a silicon nitride film with a thickness of 150 nm or more on the surface did not change after the high temperature and high humidity test and thermal shock test.

In chapter 4, a CMOS-LSI-integrated capacitive pressure-sensor was fabricated with a chip size of 0.72 mm² using the BEOL MEMS processes. The pressure sensor has high accuracy comparable to a resonator-type pressure sensor.

In chapter 5, the conclusions are summarized and the possible future studies are also indicated.

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).