

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名	藤森 司	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	杉野 暢彦	准教授	審査員	伊藤 浩之	准教授
	審査員	小林 隆夫	教 授			
		中村 健太郎	教 授			
		黒澤 実	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「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」と題し、5 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、現状の MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)と LSI を集積化する技術と課題について概観し、本論文の目的について述べている。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、今後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。そこで、MEMS と検出回路の LSI をモノリシック集積化すれば、小型化と微量の検出や高精度化を同時に実現できることが期待できる。しかしながら、製造過程においては MEMS と LSI の各プロセス間の差異による相互影響を抑制して、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課題であると述べている。これらの課題を解決するために、MEMS と LSI を集積化する配線 MEMS プロセス技術を提案し、それに基づき小型高精度かつ高信頼なモノリシック集積化容量式センサ製造技術を確立することが、本論文の目的であると述べている。

第 2 章「LSI 配線工程で MEMS を形成する配線 MEMS プロセス」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 プロセス技術を提案し、これによりモノリシック LSI 上に MEMS 構造を形成可能であることを示している。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ている。そして、先に形成されている LSI への影響を考慮して、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、その構造が加圧に応じて変形し、容量値が変化することを確認している。

第 3 章「LSI 配線材料により形成された MEMS の信頼性」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ている。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て、MEMS 構造の劣化原因となる金属疲労耐性および、特性をドリフトさせる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、これらの信頼性について検討した。金属疲労耐性は静電力による繰返し動作試験により評価し、5000 万回の繰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ている。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ている。これにより、高温高湿試験および熱衝撃試験においても特性は変化せず、実用上十分な信頼性を有することを確認している。

第 4 章「LSI 配線プロセスによる MEMS-LSI 集積化圧力センサ」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 圧力センサの試作により実証し、小型高精度化を実現可能であることを示している。配線 MEMS プロセスを用い、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 ルールの半導体製造工程により試作している。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 種類であり、これらは配線 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ことを示している。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ている。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のセンサで、振動式の圧力センサに匹敵する 0.01 %フルスケールの精度を実現可能であると述べている。

第 5 章「結論と今後の展望」では、本研究を総括し、結論を述べ、更に、提案した配線 MEMS プロセス技術についての今後の課題と将来展望について述べている。

以上を要するに、本論文は、MEMS と LSI のモノリシック集積化を実現する配線 MEMS プロセス技術により、LSI への影響を軽減しつつ小型高精度かつ実用に十分な信頼性を有する容量式 MEMS センサを実現する方法について論じたもので、工学上、工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認められる。