

氏名	まつなが ただお 松永 忠雄
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成14年10月9日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最終学歴	平成6年3月 佐賀大学理工学部電気工学科 卒業
学位論文題目	スクイーズフィルム効果を利用したサイドエアバック用 加速度スイッチの研究
論文審査委員	主査 東北大学教授 江刺 正喜 東北大学教授 羽根 一博 東北大学教授 新妻 弘明

論文内容要旨

第1章 序論

本章では本研究の背景と目的について説明する。前方衝突用エアバックシステムでは、加速度センサとセーフィングセンサの2種類の加速度センサの出力から衝突を検知している。加速度センサには電子的なアナログ出力の加速度センサが使用され、主に衝突の種類(高速、中速衝突等)を判断するために使用される。またセーフィングセンサは機械式の加速度スイッチであり、システムが電磁ノイズにより誤動作するのを防ぐために使用される。1996年には日産の“シーマ”に、側面衝突に対するサイドエアバックシステムが搭載された。前方およびサイドエアバックシステムの大きな相違点は、衝突からエアバックを展開させるまでの時間である。通常、前方衝突用エアバックシステムが衝突からエアバックを展開させ始める時間は約30msecであり、一方側面衝突では、衝突後約10msecでエアバックが展開され始める。そこで、従来の前方衝突用エアバックシステムで使用されているセーフィングセンサでは応答が間に合わないため、サイドエアバックシステムでは加速度センサしか使用されていない。そのためサイドエアバックシステムは、電磁ノイズにより誤動作する可能性がある。またセーフィングセンサには、印加された加速度の大きさを見分けるために、衝突のような大きな加速度が印加された時のみON信号を保持することが要求される。

そこで本研究では、半導体微細加工技術を利用して、従来の前方衝突用セーフィングセンサでは実現出来なかった速い応答性を持ち、衝突のような大きな加速度が印加された時だけ、ON出力をスクイーズフィルム効果により保持することが出来る、サイドエアバック用セーフィングセンサの研究を行った。

第2章 サイドエアバック用セーフィングセンサの設計と製作

本章では、サイドエアバック用の新しいセーフィングセンサの動作原理を提案した。このセーフィングセンサは、慣性力により大きく錘が変位した時に、錘と対向電極間で発生するスクイーズダンピング力を積極的に利用することで、ON信号を保持することを図っている。このセーフィングセンサを設計するために、錘が大きく変位する場合にも対応可能な、スクイーズフィルム効果によるダン

ピング力の式を導出し、その式を用いてセーフィングセンサの過渡応答を数値計算し、設計論について述べた。

そしてセーフィングセンサの構造、および半導体微細加工技術を利用したプロセスフローについて述べ、バルクシリコンマイクロマシンセーフィングセンサを製作した。基本構造は、陽極接合されたガラス-シリコン-ガラスの3層構造であり、シリコンチップ上の錘が加速度による慣性力で変位する。接点動作は、シリコンチップ上の接点錘が変位した時にガラス基板上の接点電極に接触することで行う。

また、安定した接点動作を調査するために接点形状と接点材料をパラメータとし、シリコンチップの接点形状を3種類（点、線、面接点）、ガラス基板の接点形状を2種類（平面接触、スプリング接触）製作した。そして、それらのシリコンチップおよびガラス基板を組み立て、接点材料の組み合わせを「Au-Au」「Pt-Au」「Pt-Pt」の3種類とした。

第3章 セーフィングセンサの動的基本特性の評価

製作したセーフィングセンサの基本的な動作特性を評価した。まずアドミッタンス特性、および周波数特性から製作プロセスの可否を判定した。その後、ガラス基板上の自己診断電極を用いてダンピング制御錘を駆動し（自己診断モード）、圧力、駆動電圧をパラメータとした時の錘の動作と接点出力の応答特性を調査した。その時のセンサ動作と、第2章で求めた数値計算結果を比較し、実験結果と相関が取れていることを示した。これは第2章で導出した、大きな変位を考慮したダンピング力の式が妥当性を持っていることを示している。また自己診断モード時の最大 ON 出力保持時間は 11msec を得ることが出来た（N₂ 雰囲気中、大気圧）。

次に 1msec のハーフサイン加速度をセーフィングセンサに印加し、センサの錘の動作、および ON 出力の応答性について評価した。その結果、53G 以上の加速度で ON 出力保持時間は 6msec を示し、53G 以下の加速度では、印加加速度の大きさに対して ON 保持時間が変化した。この結果は、サイドエアバック用セーフィングセンサの動作仕様を満たすものであり、また加速度の大きさを ON 出力保持時間で表せることを実証した。

第4章 セーフィングセンサの接点特性

セーフィングセンサの安定した接点動作を実現する上で、微小な接点荷重に対する接点抵抗の変化を評価する。そのために、静電駆動微小接点荷重リレーを提案し、製作した。また接点材料もパラメータとし、「Au-Au」「Au-Pt」の2種類の接点材料の組み合わせについて接点抵抗変化を評価した。その結果、「Au-Au」では 50 μ N 以上の接点荷重で安定した接点抵抗を示し、「Pt-Pt」の場合は 10mN 以上の荷重で接点抵抗は安定することを示した。

次にセーフィングセンサの接点形状をパラメータとした時の接点間のスティッキング現象、および接点抵抗値について調査した。面接触構造では接点材料に Au を用いると必ず接点間がスティッキングするが、接点部にマイクロスプリング構造を有することで、接点間のスティッキングが解消出来ることを示した。また面接触構造の接点抵抗値は、「Au-Au」の接点材料では 60m Ω を示し、「Pt-Pt」を用いた時は 6 Ω 、そしてスプリング構造の接点抵抗は 600m Ω であった。

セーフィングセンサの接点部の機械的、電気的な耐久性についても評価し、従来のリードスイツ

チの耐久性と比較した。その結果、接点部にスプリング接触電極を有することで、セーフイングセンサの接点部は十分な機械的および電氣的耐久性を持っていることを示した。

第5章 セーフイングセンサの応用

本章では、まずセーフイングセンサの実車への応用について述べた。スラスト試験器を用いて、実車に印加される様々な加速度をセーフイングセンサに印加し、その時のセンサ出力特性について評価した。その結果、ドアを閉める時の衝撃加速度ではセーフイングセンサの ON 出力は保持されず、一方、側面衝突加速度を印加した時のセンサの ON 出力は、インフレータへ電流を流す時まで ON 出力を保持することが出来た。この結果はサイドエアバック用セーフイングセンサの仕様を満足しており、実車への応用の可能性を示した。

次にセーフイングセンサを加速度センサとして使用した時の基本特性について評価した。この加速度センサの特徴は、錘が大きく変位した時に、錘を支えているビームのばね定数が変化することである。この特徴から、Low-G 用加速度センサと High-G 用加速度センサの 2 種類の加速度センサの測定範囲を、1つのシリコンチップエレメントで測定することが可能であり、評価結果から広い加速度測定レンジを持った加速度センサとしての応用を示した。

第6章 結論

半導体微細加工技術を利用した、サイドエアバック用の新しいセーフイングセンサを提案した。このセーフイングセンサには、機械的に ON-OFF する加速度スイッチであること、早い応答性を持つこと、そして大きな加速度が印加された時のみ、ON 出力を保持することが求められる。安定した接点動作のために、接点部をスプリング接触とし、高速応答の実現のために、半導体微細加工技術によりセンサの接点間距離を小さくした。そして ON 出力の保持には、スクイーズフィルム効果を利用した。

このセーフイングセンサの特性評価を行い、大きな加速度が印加された時のみ、ON 出力を保持できることを確認できた。また、実車に印加される衝突加速度をセンサに印加した時の評価結果から、ほぼ目標どおりの特性が得られ、エアバックシステムへの応用の可能性を示した。

論文審査結果の要旨及び学力確認結果の要旨

論文提出者氏名	松 永 忠 雄
論 文 題 目	スクイーズフィルム効果を利用した サイドエアバック用加速度スイッチの研究
論文審査及び 学力確認担当者	主査 教授 江 刺 正 喜 教授 羽 根 一 博 教授 新 妻 弘 明
論文審査結果の要旨	
<p>自動車の側面衝突時の安全装備としてサイドエアバックシステムが用いられる。これには、応答が速く、衝突時に導通状態を保持できる加速度スイッチが求められる。</p> <p>本論文は、半導体微細加工技術を用い、狭い隙間でのスクイーズフィルム効果を利用して保持効果を持ち、スティッキングの無い安定した接点動作が可能な加速度スイッチの研究についてまとめたもので、全文6章よりなる。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景および目的を述べている。</p> <p>第2章では、スクイーズフィルム効果を利用したサイドエアバック用加速度スイッチの動作原理を提案している。スクイーズフィルム効果によるダンピング力の数値解析を行うことで、センサの設計を行い、センサの構造、および製作プロセスについて述べている。</p> <p>第3章では、製作したセンサの特性を評価した結果について述べている。センサ出力の雰囲気圧力依存性や衝撃加速度に対する応答性を評価した。その結果、このセンサは高速応答し、大きな加速度が印加された時に出力状態を保持できる事を確認した。そしてセンサ動作を第2章で求めた数値解析結果と比較し、実験結果と相関が取れていることを明らかにしたが、これらは有用な成果である。</p> <p>第4章では、センサの接点特性について述べている。接点部の電極形状や接点材料による接点抵抗や接点間のスティッキング現象を確認し、スティッキングの解決手法や接点耐久性について評価している。</p> <p>第5章では、センサの応用について述べている。実車に印加される側面衝突波形をセンサに印加し、センサが動作することを確認した。また、このセンサの静電容量型加速度センサとしての応用例を述べ、特性を評価している。</p> <p>第6章は結論である。</p> <p>以上要するに本論文は、サイドエアバック用加速度スイッチをマイクロマシニング技術で製作する研究を行い、自動車の安全性向上に有用なセンサを開発することに成功したものであり、機械電子工学およびセンサ工学の発展に寄与するところが少なくない。</p> <p>よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。</p>	
学力確認結果の要旨	
<p>平成14年3月25日、審査委員ならびに関係教官出席のもとに学力確認のための試問を行った結果、本人は機械電子工学およびセンサ工学に関する十分な学力と研究指導能力を有することを確認した。</p> <p>なお、英学術論文に対する理解力から見て、外国語に対する学力も十分であることを認めた。</p>	

審査結果の要旨

自動車の側面衝突時の安全装備としてサイドエアバックシステムが用いられる。これには、応答が速く、衝突時に導通状態を保持できる加速度スイッチが求められる。

本論文は、半導体微細加工技術を用い、狭い隙間でのスクイーズフィルム効果を利用して保持効果を持ち、スティッキングの無い安定した接点動作が可能な加速度スイッチの研究についてまとめたもので、全文6章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景および目的を述べている。

第2章では、スクイーズフィルム効果を利用したサイドエアバック用加速度スイッチの動作原理を提案している。スクイーズフィルム効果によるダンピング力の数値解析を行うことで、センサの設計を行い、センサの構造、および製作プロセスについて述べている。

第3章では、製作したセンサの特性を評価した結果について述べている。センサ出力の雰囲気圧力依存性や衝撃加速度に対する応答性を評価した。その結果、このセンサは高速応答し、大きな加速度が印加された時に出力状態を保持できる事を確認した。そしてセンサ動作を第2章で求めた数値解析結果と比較し、実験結果と相関が取れていることを明らかにしたが、これらは有用な成果である。

第4章では、センサの接点特性について述べている。接点部の電極形状や接点材料による接点抵抗や接点間のスティッキング現象を確認し、スティッキングの解決手法や接点耐久性について評価している。

第5章では、センサの応用について述べている。実車に印加される側面衝突波形をセンサに印加し、センサが動作することを確認した。また、このセンサの静電容量型加速度センサとしての応用例を述べ、特性を評価している。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、サイドエアバック用加速度スイッチをマイクロマシニング技術で製作する研究を行い、自動車の安全性向上に有用なセンサを開発することに成功したものであり、機械電子工学およびセンサ工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。