電着法による機能性薄膜の形成技術に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、半導体微細加工技術の高度化の延長線上に開発された微小電気機械システム (MEMS; Microelectro-Mechanical Systems) と呼ばれる三次元加工技術は圧力センサ・加速度センサ・角速度センサ・インクジェットプリンタヘッド、可動マイクロミラーを用いたディスプレイ等の情報入出力機器に展開され、ユビキタスセンシング・ユビキタスネットワークを構成する素子の基幹技術として期待されるに至っている。本技術を用いて作製される MEMS 素子は機械要素 (可動部) とそれを制御する電気要素がシリコン基板上等にコンパクトに集積されたものであり、可動部がメカニカルに動作する事で種々の機能を発現する。此の様に、MEMS 素子に於いては可動部を持つ事が特徴であり、逆に其の為に、作製時の高歩留まり化と駆動時の高信頼化が従来のエレクトロニクス素子に無い重要な課題となっている。具体的には、素子の作製 (プロセス) 時、及び、駆動時に於いて、可動部が対向表面と接触すると張り付き離れなくなる「スティッキング」と呼ばれる MEMS 特有の問題である。

本研究は、此の「プロセス時のスティッキング」と「駆動時のスティッキング」の二種類のスティッキングを同時に防止する手法として、可動部を制御する電気要素の表面に対する有機絶縁膜の被覆に効果が有る事を示し、其の具体的手法として電着技術を初めて MEMS 分野に導入すると共に、実素子を用い其の有効性を実証したものである。

以下に本論文の概要を述べる。

第 1 章では、序論として MEMS 素子の特徴、及び、MEMS 特有の課題を述べ、之を解決する為の技術として電着法による機能性薄膜の形成の意義について論じる。

第 2 章では、電着法の原理、及び、特徴について概説する。即ち、三次元薄膜形成が簡便に行える事に加え、高い選択性 (絶縁体表面や電圧印加を行わない表面では薄膜が形成されず、電圧印加を行った表面だけに薄膜形成が行われる特性) を有している事について論じる。

第 3 章では、MEMS 構造体表面が金で構成されている系に特化し、電着法で形成した薄膜の金表面での高付着化技術について論じる。電着材料の成膜成分として、金と強い化学結合を形成する事が知られている硫黄を電着成分とする材料を選定し、其の成膜特性について論じる。

第 4 章では、金表面での界面制御による均一化技術について論じる。MEMS プロセスの様々な工程で用いられる酸素プラズマ照射を行った後の成膜特性に於いて、電着初期に成膜が進行しないインキュベーションが存在し、此のインキュベーションが場所ごとに異なる事で薄膜形成に不均一化が生じる事を述べる。表面分析による化学的観点から、インキュベーションの原因は場所ごとに異なる金表面の酸化による事、及び、酸化金の化学的状態を明らかにする。薄膜形成の不均一化を解消する為には、不均一に酸化した金表面を除去する事が有効で、其の手法として、ウェットとドライの二種類の表面処理技術 (塩酸浸漬と 260 °C 以上でのアニール) を考案し、薄膜の均一形成に対する有効性を示す。第 3 章・第 4 章は薄膜形成の【高安定化】に関する技術である。

第5章では、コロイド化学を利用した撥水化技術に関して論じる。第3章で論じた硫黄を電着成分とする材料の中に撥水性のシリコン高分子を内包した「コアシェルエマルジョン」を成膜成分とする事で、薄膜に撥水性を付与する【多機能化】を図った。ここで、コアシェルエマルジョンを成膜成分とした新しい材料での電着を提案し、成膜後の熱硬化により撥水性が発現するメカニズムについて述べる。

第6章では、MEMS素子の作製時の【高歩留まり化】の検証として「プロセス時のスティッキング」防止について論じる。プロセス時のスティッキングはウエット処理後の水洗、それに続く乾燥の工程で発生するので、可動部や金制御電極、或いは、其の両方の表面エネルギーを低減し、水の濡れ性を低減する事の重要性を論じる。更に、前節で提案したコアシェルエマルジョンを成膜成分とする電着をカンチレバーの作製プロセスに適用する事によって、プロセス時のスティッキングを防止し高歩留まり化を達成した事を示すと共に、この膜がシリコン熱酸化膜と同等の高耐圧を有する事も示す。第7章では、一連の電着技術に関する一つの発展系として、本電着技術を実素子へ適用した際の駆動時のスティッキング防止について論じる。実素子として振動MEMS素子を一例とする。本電着を実施した系では駆動時のスティッキングを防止すると共に、1000万回以上の繰り返し動作を可能にする耐久性を実証した事を示す。第6章・第7章はMEMS素子の【高信頼化】に関する技術である。

第8章では、本論文での結論として、電着技術のMEMSプロセスでの有用性を明らかにし、高い信頼性を有するMEMS素子の実現に貢献した点について纏める。又、今後の課題と展望について見解を述べる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 高 橋 庸 夫
副 査 特任教授 雨 宮 好 仁
教 授 末 岡 和 久

学 位 論 文 題 名

電着法による機能性薄膜の形成技術に関する研究

進展著しい半導体微細加工技術を用いて、半導体基板上などに、三次元加工技術を用いて作製される微小な電気機械システムの開発とその応用技術の進展が期待されている。いわゆる、マイクロ電気機械システム (MEMS; Microelectro-Mechanical Systems) と呼ばれる分野であり、近年では、圧力センサ・加速度センサ・角速度センサ・インクジェットプリンタヘッド、可動マイクロミラーを用いたディスプレイ等の情報入出力機器などに展開され、ユビキタスセンシング・ユビキタスネットワークを構成する素子の基幹技術として期待されている。本技術を用いて作製される MEMS 素子は機械要素 (可動部) とそれを制御する電気要素がシリコン基板上等にコンパクトに集積されたものであり、可動部がメカニカルに動作する事で種々の機能を発現する。この様に可動部を持つ事が特徴であるために、作製時の高歩留まり化と駆動時の高信頼化が従来のエレクトロニクス素子に無い重要な課題となっている。具体的には、素子作製 (プロセス) 時と駆動時において、可動部が対向表面と接触すると張り付き離れなくなる「スティッキング」と呼ばれる現象が生じる問題があった。

本論文では、これまでの MEMS 技術の信頼性と歩留まり向上にとって、大きな問題であった「プロセス時のスティッキング」と「駆動時のスティッキング」の二種類のスティッキングを同時に防止する手法として、可動部を制御する電気要素の表面に対する有機絶縁膜の被覆に効果が有ることを示し、その具体的手法として電着技術を初めて MEMS 分野に導入すると共に、実素子を用いその有効性を実証したものである。

以下に本論文の概要を述べる。

第 1 章では、序論として MEMS 素子の特徴、及び、MEMS 特有の課題を述べ、これを解決するための技術として電着法による機能性薄膜の形成の意義について論じている。

第 2 章では、電着法の原理、及び、特徴について概説している。即ち、三次元薄膜形成が簡便に行える事に加え、高い選択性 (電圧印加を行った表面だけに薄膜形成が行われる特性) を有していることについて論じている。

第 3 章では、MEMS 構造体表面が金で構成されている系に特化し、電着法で形成した薄膜の金表面での高付着化技術について論じている。電着材料の成分として、金と強い化学結合を形成することが知られている硫黄を電着成分とする材料を選定し、その成膜特性について論じている。

第4章では、金表面での界面制御による均一化技術について論じている。MEMSプロセスの様々な工程で用いられる酸素プラズマ照射を行った後の成膜特性において、電着初期に成膜が進行しないインキュベーションが存在し、このインキュベーションが場所ごとに異なる事で薄膜形成に不均一化が生じることを述べている。表面分析による化学的観点から、インキュベーションの原因が表面の酸化と、酸化金の化学的状態によることを明らかにしている。加えて、その解決手法として、ウエットとドライの二種類の表面処理技術を考案し、その有効性を示している。

第5章では、コロイド化学を利用した撥水化技術に関して論じている。硫黄を電着成分とする材料の中に撥水性のシリコン高分子を内包した「コアシェルエマルジョン」を成膜成分とすることで、薄膜に撥水性を付与する【多機能化】を図っている。ここで、コアシェルエマルジョンを成膜成分とした新しい材料での電着を提案し、成膜後の熱硬化により撥水性が発現する機構について述べている。

第6章では、MEMS素子の作製時の【高歩留まり化】の検証として「プロセス時のスティッキング」防止について論じている。プロセス時のスティッキング防止のためには、可動部や金制御電極の表面エネルギーを低減し、水の濡れ性を低減することの重要であることを論じ、コアシェルエマルジョンを成膜成分とする電着をカンチレバーに適用することによって、プロセス時のスティッキングを防止し高歩留まり化を達成できることを示している。

第7章では、本電着技術を実素子へ適用した際の駆動時のスティッキング防止について論じている。振動MEMS素子を一例として、本電着を実施した系では駆動時のスティッキングを防止すると共に、1000万回以上の繰り返し動作を可能にする耐久性を実証したことを示している。

第8章では、総括について述べている。

これを要するに、著者は、マイクロ電気機械システム(MEMS)素子の信頼性と歩留まり向上にとって、大きな問題であったスティッキングの問題を、表面制御技術として、電着技術を初めてMEMSプロセスに導入してその有用性を学術的に明らかにし、高い信頼性を有するMEMS技術の実現に貢献したものである。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。