

調査・研究報告書の要約

書名	平成 16 年度 MEMS 信頼性評価技術に関する調査研究報告書				
発行機関名	社団法人 日本機械工業連合会・財団法人 マイクロマシンセンター				
発行年月	2005 年 3 月	頁数	141 頁	判型	A4

[目次]

第 1 章 調査研究の概要

- 1.1 背景と目的
- 1.2 調査研究の体制
- 1.3 調査の方法

第 2 章 MEMS の信頼性評価技術の現状の調査研究

- 2.1 可動デバイス分野における信頼性評価技術の現状
- 2.2 センサーデバイス分野における信頼性評価技術の現状
- 2.3 実装・トライボロジー分野における信頼性評価技術の現状
- 2.4 材料特性・計測法分野における信頼性評価技術の現状

第 3 章 MEMS の信頼性評価の課題についての調査研究

- 3.1 可動デバイス分野における課題
- 3.2 センサーデバイス分野における課題
- 3.3 実装・トライボロジー分野における課題
- 3.4 材料特性・計測法分野における課題

第 4 章 MEMS 信頼性評価技術に係る提言

第 5 章 むすび

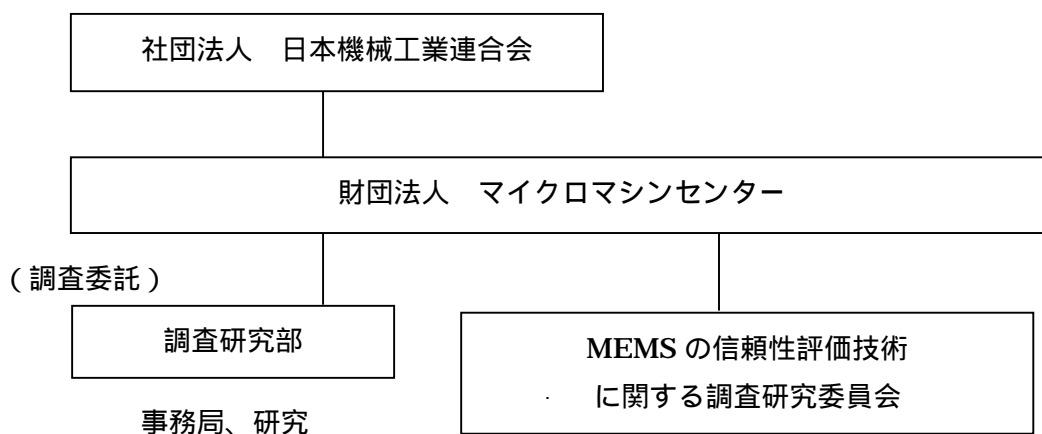
第1章 調査研究の概要

1.1 背景と目的

MEMS は既に研究から産業化フェーズに大きく踏み出しており、21世紀を支える基盤技術と考えられている。本調査研究では、MEMS が今後さらに社会に大きく普及、浸透していく際に MEMS の信頼性確保にとって必要になると想定される評価項目、計測評価技術や手法等の現状及びその課題を明らかにすること、また将来的には標準化を測ることの可能性について研究することを目的とする。

1.2 調査研究の体制

MEMS の信頼性評価技術に係る実態と課題について調査研究を実施するため、学識経験者及び専門家等から成る「MEMS の信頼性評価技術に関する調査研究委員会」を中心とする以下のような組織を作り、調査研究を実施した。



信頼性評価技術を調査研究するに際し、関連分野を大きく4つの分科会に分け、それぞれの分野で信頼性評価関連技術の実態と課題について調査を実施した。さらに、4つの分野以外のものについてもMEMS信頼性に係るものも調査研究の対象として取り上げた。分科会としては、可動デバイス分科会、センサーデバイス分科会、実装・トライボロジー分科会、材料特性・計測法分科会、その他全般、総説等)分科会。それぞれの分科会にはリーダーを選出し各分科会の調査の取り纏めをした。

1.3 調査の方法

今年度、MEMS の信頼性に関連する調査は主として文献からの情報整理という位置づけで行った。そのための手段として MEMS 信頼性関連文献を抽出するために、その検索手段としては主として JICST を採用した。期間は1998年から2004年の最新の入手可能なものまでの範囲とした。また検索のキーワードは、

L1 : MEMS、

L2 : MICROMACHINE

L3 : MICROSENSOR

L4 : マイクロマシン、L5 : マイクロマシニング、

L5 : 信頼性、耐久性、

L6 : 耐環境性、

L7 : RELIABILITY

を用い、実際の検索は式 (L1 or L2 or L3 or L4) and (L5 or L6 or L7)として、MEMS 技術の研究・開発で信頼性まで言及したものを抽出するようにした。その他の文献検索としては SCIEDIJEST を一部使用した。抽出した文献リストからアブストラクトをチェックして更に詳細に分析すべき物の全文のコピーを入手した。第2章に掲載の調査個票はこうして入手した文献資料の内容を解析した結果を書式に則り記載してまとめたものである。

関連4分野に亘り調査収集した MEMS 信頼性関連文献の内容を分析して、信頼性に関連する課題要素を一覧に整理した。このような調査から信頼性評価技術として要求される性能・信頼性及び信頼性評価技術の現状が見えてくる。これらの調査結果を第2章に掲載した。

第2章 MEMS の信頼性評価技術の現状の調査研究

2.1 可動デバイス分野における信頼性評価技術の現状

(1) 要求される性能・信頼性

可動デバイス分野ではデバイスの機能、使用環境の相違から。可動デバイス毎に要求される性能・信頼性は異なる。対象となるデバイスとして、RF MEMS(スイッチ)、RF MEMS(バラクタ)、RF MEMS(チューナブルフィルタ)、光 MEMS(光スイッチ、アッテネータ(通信用))、光 MEMS(ディスプレイデバイス)、光 MEMS(SLM(空間光変調器))があり、それぞれに対して要求性能・信頼性の項目を挙げている。

(2) 可動デバイスの信頼性評価の現状

1) RF MEMS スイッチ

動作寿命試験：報告例では、機械的な動作に起因する故障(材料の疲労降伏など)はあまり見られず、電気接点に起因する故障例(接点の付着や劣化)と誘電体膜への電荷蓄積に起因する故障例が多い。

耐電力試験：故障原因に関すると、金属接触の場合は接点の溶解や付着が主であり、容量結合の場合は Self Actuation やラッチングが主な要因である。

素子の特性バラツキ：素子の特性バラツキに関する報告例は少なく、動作寿命や耐電力性のウェハ内バラツキを検証した例はまだ無い。

環境試験：熱サイクル試験、衝撃試験などの報告例があるが、パッケージした MEMS スイッチでは、環境試験による故障は報告されていない。

2) RF MEMS バラクタ

10¹⁰ サイクルにおける CV 特性と直列抵抗の経時変化特性が測定されている。

3) RF MEMS チューナブルフィルタ

構成部品（スイッチ、バラクタ）のサイクル試験、フィルタのサイクル動作試験が行なわれ挿入損失等が測定されている。

4) 光 MEMS

光 MEMS のうち光通信用デバイスの信頼性評価に関しては既に TLCORDIA にて規格化されている。光 MEMS 全体では、信頼性に影響を与える MEMS 部分の疲労、変形等のメカニズムの把握、それらの設計や製造へのフィードバックは不十分である。

2.2 センサデバイス分野における信頼性評価技術の現状

(1) 要求される性能・信頼性

今回調査した MEMS センサは、加速度センサ、角速度センサ、圧力センサ、流量センサ、湿度センサ、赤外線センサ、ガスセンサの 7 種類であり、これらはセンシングの対象を考慮して、機械的・熱的・化学的センサに大別される。センサ分類毎に求められる特有の性能・信頼性項目があるが、共通項目としては以下の項目を挙げることができる。性能項目としては、まず、電気信号の感度・オフセット・応答速度・リニアリティ・ヒステリシスおよびこれらの温度特性、信頼性項目としては電気信号の長期安定性・使用環境（温度・湿度等）下での安定性・再現性が要求される。また、センサ構成要素部品となる各種材料のマイクロ寸法下での機械的特性・疲労特性や使用環境下でのこれらの長期安定性、薄膜の機能性に影響を及ぼす膜構造の均質性および成膜の再現性、薄膜と基板との密着性、微小構造体形成の際の加工面性状、等も、MEMS センサ開発の際に求められる性能・信頼性の重要項目であると考えられる。

(2) 信頼性評価技術の現状

これまでに実施されてきた MEMS センサを対象とした信頼性評価試験の内容は、各センサのセンシング対象にも依存するが、大きく分けて 1) 温度・湿度等の雰囲気を変化させてセンサ機能（電気信号変化）を評価したもの、2) 完成したセンサデバイスに力学的負荷を加え、電気信号変化を調べたもの、および 3) 前述 2 つの複合、の 3 項目に分類することが可能である。ここでは、これらの評価試験をそれぞれ環境試験、耐久試験、複合試験と定義し、以下に各評価試験の概要を記す。

a. 環境試験

MEMS センサを対象とした環境試験では、主としてデバイスの使用環境を考慮して試験環境を設定し、それを種々変化させてセンサの出力電気信号変化を調べたものが多い。変化させるパラメータとしては、温度（高温・低温）、湿度（高湿）、熱衝撃、熱サイク

ル、結露、各種気体・液体暴露などが挙げられる。

b. 耐久試験

耐久試験でセンサに与えるパラメータとしては、応力サイクル、衝撃等が挙げられる。応力サイクル試験は通常使用状況を、衝撃試験は使用状況に加えてセンサ完成後の搬送を、それぞれ考慮に入れた試験と考えられ、電気信号の安定性・再現性に加えてセンサ構成要素の機械的耐久性を調べるのが目的である。

c. 複合試験

環境試験と耐久試験とを複合的に実施するものであり、温度(主に高温)、湿度(高湿)、熱応力(温度変化・熱膨張率の違いによるストレス)等を与えた状況でデバイス可動部に繰返し負荷を加えるものである。

2.3 実装・トライボロジー分野における信頼性評価技術の現状

(1) 要求される性能・信頼性

(a) 実装分野

MEMS デバイスの実装技術においては電気信号の入出力に加え、光、流体などの入出力を MEMS デバイスに確実に接続すること、圧力や加速度などの機械量を擾乱することなく MEMS デバイスに伝達することなど、多様な要求に応えなくてはならない。MEMS デバイスの実装技術に求められる特性とその信頼性に関する要求は下記に示すものである。これらは、従来の半導体実装と共通の項目もちろんあるが MEMS の特有の項目も多く、MEMS の実装技術の信頼性評価を困難にしている。

- ・熱安定性、・衝撃耐性、・耐環境性、・接合部信頼性(耐環境)、・素子への応力、・電氣的接続、・封止性能、・流体接続部のシール特性、・光入出力

(b) トライボロジー分野：

多くの MEMS デバイスは極力摺動面を持たない構造をとることにより、摩擦・摩耗の問題を避けている。また可動部と他の部分との接触に伴う凝着・スティクションの問題もある。このような観点からは、トライボロジー分野への要求は、現状では主要な課題は凝着現象の抑制であり、摩擦摩耗の低減すなわち潤滑の実現にはまだまだ今後の研究開発が必要であると考えられる。

(2) 信頼性評価技術の現状

(a) 実装分野

MEMS の実装技術に関する信頼性の評価のうち、熱サイクル、熱衝撃、機械的衝撃、高温高湿試験、接着剤・ハンダの耐食性、雰囲気封止などについては、半導体実装で用いられている手法が流用されることが多い。それらは、IEC、JIS、MIL などの規格に規定されているほか、JEDEC(Joint Electron Device Engineering Council)、JEITA(電子情報技術産業協会)、JPCA(日本プリント回路工業会)、Telcordia などで試験条件を規格化している。

一方で、MEMS デバイスの信頼性に関わる各項目として、腐食性環境、接合部の信頼性、素子への応力、封止性能等が実施されているが、まだまだ検討段階という課題が多い。

(b) トライボロジー分野

凝着・スティクション：MEMS のトライボロジー現象については、凝着・スティクションについての検討が多くなされている。その場合、凝着力が低ければ信頼性向上に有効と判断される。表面間の凝着力の評価手法としては、MEMS プロセスを用いてカンチレバー（片持ち梁）、ビーム（両持ち梁）、バタフライ型梁などの形状を作製し、長さを変えた多数の梁と基板の凝着の有無から、梁の弾性変形エネルギーを基に凝着力を評価している。

摩耗：MEMS の製造プロセスにより作製した微小部品を摺動させて、摺動面や摩耗粉の SEM 観察などの評価が行われている。

マクロスケールの評価法：トライボロジー分野で従来から用いられている様々な評価法も、現象的にはミクロな表面現象に基づくものであり、MEMS のトライボロジー評価に有効と考えられる。具体的には、接触角の測定による表面エネルギーや親水性の評価、ナノインデントによる微小硬度の測定、Pin-on-Disk による摩擦係数の測定や摩耗試験などが、各種表面処理の評価などに使用されている。

表面処理：評価手法とは異なるが、トライボロジー特性の改善には表面の制御が非常に重要であるため、代表的なアプローチとして、低表面エネルギー膜、硬質膜、表面粗さの増大等の方法が執られている。

その他：凝着現象は統計的なばらつきが大きいいため、実験結果を統計的に扱うような検討もなされている。また、摩擦、摩耗、固着に対して、原因の分析及びモデル化、そして対策なども議論されているが、実験的には特性が改善した膜の種類や条件の報告にとどまっているものが多く、原因の分析及びモデル化に関して実験的に検討した例は少ない。

2.4 材料特性・計測法分野における信頼性評価技術の現状

(1) 要求される材料特性パラメータ

信頼性、耐久性という観点からは、引張、曲げ、破壊靱性などの静的な強度だけでなく、繰返し荷重（振動、衝撃を含む）下における材料特性を評価することが重要となる。MEMS ではミクロン単位の薄膜が用いられ、通常サイズでは問題とならないようなミクロン/ナノサイズの欠陥でも微小部材に対しては信頼性・耐久性に大きな影響を与える。このことは、対応するバルク材料（通常寸法材料）の機械的性質から、薄膜の機械的性質を推定することが不可能であることを示している。そのため、MEMS デバイスの開発のためには、薄膜から作製した微小サイズ試験片に対して、直接機械的性質を評価する試験法の策定が必要となる。信頼性評価に必要とされる材料特性、計測法については項

目として、試験片作製、引張強さ、降伏応力、曲げ強度、ねじり強度、弾性定数（ヤング率）、疲労特性、破壊靱性、衝撃特性がある。

（２）信頼性評価の現状

１）引張試験

引張用強度、ヤング率は MEMS デバイス設計の基礎データであるため、多くの評価法が開発されており、データの収集も行われている。我が国においては、マイクロマシンセンターが NEDO の委託により行った「基準創成研究開発事業（H11～H13）」において、単結晶、多結晶シリコンのほか、Ni（メッキ膜）ならびに Ti（蒸着膜）薄膜に対してラウンドロビン試験が行われている。この成果は引き続き日本規格協会の支援を受けてマイクロマシンセンターが中心となった「材料特性標準化委員会」に引き継がれ、平成 15 年に IEC/TC47 に NP（New Proposal）提案 2 件（「薄膜材料の引張試験法」と「薄膜標準試験片」）が行われた。これらの提案は、現在 CD（Committee Draft）の段階にある。一方、米国においても ASTM の Working Group E08.05.03 において、ラウンドロビン試験が行われたが、規格の提案は行われていない。

２）疲労試験

引張試験に比べて MEMS 材料の疲労試験は報告が少ない。疲労試験法については、標準化についての報告はなく、現在、マイクロマシンセンターが経産省より委託を受けている「マイクロ・ナノ材料の疲労試験に関する標準化」事業が世界で初めての疲労に関する調査研究となっている。

３）破壊靱性試験

破壊靱性に関しては、疲労よりもさらに報告数が少ない。MEMS 材料に対する標準化は現時点では、まったく行われていない。

４）衝撃試験

衝撃試験は、MEMS デバイスの実使用環境下での信頼性を保証するために重要な試験法になりえるものである。しかしながら、現状では個々の企業、研究機関によって独自の手法が考案され、その結果が述べられているのみである。

第 3 章 MEMS の信頼性評価の課題についての調査研究

3.1 可動デバイス分野における課題

（１）信頼性評価における技術的問題点・課題

代表的なデバイスである、RF MEMS スイッチと光 MEMS に関していえば、サイクル寿命試験の試験法の統一化の問題や定量性のある加速試験のパラメータが見つからないことなどの課題がある。また 3 次元構造で可動部を持つデバイスの数 10 万～100 万以上の素子マトリックスの中から故障素子を特定しなければならない場合があることなど、評価法については評価設備まで含めた開発が要求される。

(2) 改善に向けた提言

1) RF MEMS スイッチ

サイクル寿命試験における動作波形等の試験法の統一化

DARPA の RF MEMS Improvement Program で RF MEMS スイッチのサイクル寿命試験における試験法が提案をベースに、現在、各社各様に行なわれている試験法を統一化し、場合によっては国際標準とすることも必要である。

サイクル寿命試験における加速試験法

スイッチング時間が μ -msec オーダーである MEMS スイッチでは 100 億回を超える高サイクルの動作寿命の試験を行うには試験時間が非常にかかるので、加速試験が必要であると言われている。そこで本件では動作寿命に影響する駆動条件を抽出し、スイッチの形態別にそれら駆動条件の動作寿命への影響をまとめ、加速試験の提案をした。

2) 光 MEMS

加速試験

デバイスの加速パラメータの評価を行い、材料、寸法、構造（負荷の種類）などに対する加速パラメータを分類（標準化）してデータベース化し、最適な加速パラメータを評価計測試験に用いることによって試験の効率化が可能となる。

薄膜や微細構造体の機械特性（物理パラメータ）の把握

バルク材料とは異なる薄膜、梁、細線などの微細構造体の機械特性（物理パラメータ）を計測し（計測方法を標準化し）、データベースを構築することが望まれる。

高速応答の評価・解析

光スイッチなどをはじめとする高速応答を必要とするデバイスについて、微小部材の変形部位の瞬間的な挙動を計測する手法が準備されている必要がある。その結果をもとに過大变位や衝突などの異常な挙動を防ぐ構造を採用することによって、より信頼性の高いデバイスを実現することが可能となる。

欠陥ピクセルの特定（マトリクスデバイスの場合）

光デバイスでは、例えば数 10 万個から数 100 万個の可動構造がマトリクス状に配置されているデバイス（画像デバイス、3D 光スイッチ、空間光変調器など）がある。これらの、故障解析を効率良く行うためには～100 万からなる可動構造の中から、故障箇所を短時間で特定する技術が必要である。

3.2 センサデバイス分野における課題

(1) 信頼性評価における技術的問題点・課題

以下に、MEMS センサの信頼性評価に係わる技術的な問題点・課題と、改善に向けた提言を項目毎に記す。

a. 破壊試験・抜き取り試験

MEMS センサの機械的・電氣的な長期信頼性を如何に保障するかが現状での課題であり、今後は非破壊的な評価試験技術の開発が必要であると考えられる。ただし、センサとしての電氣的性能を調べる導通試験は、全デバイスに対して必ず実施している。

b. 打ち切り試験

MEMS センサの信頼性試験は打ち切り試験であることが多く、従来の評価法では寿命・耐久性を正確に把握することは困難である。

c. 完成デバイスを対象とした評価試験

MEMS センサは数多くの異種微小寸法材料から構成されているが、構成要素毎の信頼性評価試験は少ない。

d. 電気信号評価試験

MEMS センサは微小構造体を多く含み、また、異種薄膜材料の積層構造を多く有しているが、これら構成材料の破壊・疲労や薄膜の剥離等の機械的な特性を対象としたデバイス単位での信頼性評価試験は少ない。

e. 加速試験

現状の手法では加速試験の大半が高温・高湿環境下で繰返し負荷を与えて電気信号変化を調べたものであり、最適な加速率の下で試験が実施されているとは言い難い。

(2)改善に向けた提言

a. 破壊試験・抜き取り試験について

MEMS センサの構造検査に関しては、例えばチェックをより簡便に行うために、完成したデバイスの微小な反りや応力分布を X 線、超音波、光等を応用して非破壊で計測可能な信頼性評価実験技術の開発が望まれる。さらに、既存の信頼性評価試験（雰囲気を変化させ、電氣的・機械的な信号を与える試験技術）の結果より、被検査デバイスが何故故障した／しなかったのかを調べ、分析する試験技術・計測技術の開発も望まれる。

b.c. 打ち切り試験・完成デバイスを対象とした評価試験について

今後は、デバイス構成要素材料の標準試験片等を用いた材料試験を実施し、個々の要素の信頼性評価を行うことが重要になると考えられる。薄膜等のマイクロスケール材料の標準試験片だけでなく、評価法に関する標準化も未だなされておらず、これらは急務の課題であると言える。

d. 電気信号評価試験について

各センサの基本的な電気特性に加えて、応力状態などの機械特性を個別にモニタ可能なテストチップなどの提案・開発が今後望まれる。

e. 加速試験について

各センサのセンシング対象を考慮した加速パラメータ・加速率の定量評価を実施することが重要である。

MEMS センサの信頼性評価技術の標準化・規格化に向けた動きは、世界的に見ても皆無に等しいのが現状である。信頼性の高いセンサを設計・開発することも今後の MEMS

センサの発展には大切である。機械的要素材料ではヤング率・ポアソン比等の基本的な弾性特性や機械的強度・疲労特性・弾塑性特性・付着強度等の諸特性を十分調べた上で、要素設計にフィードバックすることにより、構成要素の性能・信頼性向上を図ることが極めて重要であると考えられる。

ナノレベルでの加工性状・面粗度は微小構造体を多く含む MEMS センサの機械的寿命に大きく影響を及ぼすことから、これらを考慮した加工プロセス設計を行うことや面粗さの評価基準を設けることも MEMS センサの信頼性向上へと繋がり、今後の課題と考えられる。

3.3 実装・トライボロジー分野における課題

(1) 信頼性評価における技術的問題点・課題

(a) 実装分野

MEMS 実装の信頼性評価において2つの問題を引き起こす。一つは、実装技術に共通な技術体系の構築が困難であることである。対象があまりにも多様であるため、パラメータの調整程度では個別の要求に対応できず、いくつかのアプローチが並立することとなる。もう一つの問題は、加速試験が困難で、模擬環境での長時間試験などに頼らざるを得ないことである。MEMS の実装技術に関しては個別のデバイス及びパッケージングごとに、実際の使用環境を考慮した信頼性評価を個別に検討して実施しているというのが現状であり、体系化や標準化はこれからの課題である。

(b) トライボロジー分野

その凝着力の評価においても、測定結果は表面状態（湿度、コーティング、表面汚染）やデバイス作製プロセスに起因する表面粗さなどに大きく左右される。ところが従来の報告では、これらの条件の一部しか管理されておらず、他の要因の影響が分離できないため様々な報告の結果を比較検討することは困難である。カンチレバーによる凝着評価やスライダの摺動部の評価でも、形状がまちまちであることが実験データの一般性を低下させ、様々な報告間での比較検討を困難にしている。また、カンチレバーによる測定では、バネ力をカンチレバーのサイズ及び弾性定数から見積もっているが、どちらも誤差を含んでおり、カンチレバーの反りも影響するなど測定精度には問題がある。対策としては加工精度の向上なども考えられるが、MEMS 構造では限界もあり力を直接測定できる方法、およびその精度の校正方法の確立が望まれる。

マクロな世界においてもトライボロジー現象を理解する上では、原子レベルのミクロな現象の理解が欠かせない。そのため従来のトライボロジー評価手法の多くは、MEMS のトライボロジー現象の解明にも有効であると期待されるが、どのような面ではマクロな評価法が MEMS に有効であり、逆にどのような現象については適用出来ないかについて、整理されていないことも問題である。

(2) 改善に向けた提言

(a) 実装分野

MEMS の実装技術に関する信頼性の評価については課題が山積しており、今後様々な検討が必要と考えられる。その中でまず取り組むべき切り口として、半導体実装のための信頼性評価技術の MEMS デバイスへの拡張があげられる。また、もう一つの取り組みとして、MEMS ならではの課題の抽出と、それを整理して体系化していくことがあげられる。

(b) トライボロジー分野

MEMS のトライボロジー現象の理解、さらには標準化を考える上では、そのバックグラウンドになる理論の提案が重要であると考えられる。どのような条件がトライボロジー特性に影響するかということ整理して、リストアップすることが必要になる。これらの条件の絞り込みには、理論からの予想と実験的な検証が必要となるが、1つの条件のみを変化させた実験データなどからある程度の絞り込みは可能であろう。

また信頼性の確保に関しては、確立論的な取り扱いが重要となってくる。上記の実験条件の制御も再現性の向上に大きく影響するが、各種の測定法の精度の向上も重要である。測定の精度や再現性では、従来からマクロなトライボロジー現象の評価に用いられてきた手法が、MEMS 構造を利用した手法よりも優れている場合も多い。これらを MEMS のトライボロジー特性の評価に適用する際の問題点や制限を明らかにし、質の高いデータ取得を可能とすることも重要であると考えられる。

3. 4 材料特性・計測法分野における課題

(1) 信頼性評価における技術的問題点・課題

今後、MEMS 材料の機械的性質に関する評価法の規格も、これを基に派生した規格の制定を行う必要があるが、これらの規格に上記の問題点をどのように反映させていくかが課題となる。

疲労、破壊靱性、衝撃試験については、まだ標準化が提案されていない段階であるが、特に疲労は長期にわたる信頼性、耐久性を保証する設計を行う上できわめて重要であり、標準試験法の規格化が急務である。

(2) 改善に向けた提言

1) 標準試験片の整備

機械的性質評価の基本となる標準試験片 (IEC に提案した規格 : 「薄膜標準試験片」) を整備し、常に供給可能な状態にする。これにより、各機関で行っている機械的性質計測の校正を行うことが可能になり、機械的性質計測精度の向上が計れる。

2) できる限り安価な標準試験機の供給

3) 規格の整備

引張試験については、我が国が主導して基本規格ならびに標準試験片に関する規格を

IEC に提案した。一方、基本規格に加えて、MEMS 設計への展開を考慮した強度の統計処理等の規格を整備する必要がある。また、信頼性評価にとってきわめて重要となる疲労、破壊試験に関する規格の早期制定が望まれる。

4) データベースの構築

MEMS 材料のプロセス、試験片の作製方法等の詳細を記したデータベースが構築できれば、MEMS 設計の時間を大きく短縮できる可能性がある。

第4章 MEMS 信頼性評価技術に係る提言

第3章において、各領域別に今後の「改善に向けた提言」を示したので、個別的、技術的観点からの提言はそちらに譲ることとして、本章においては、より広く MEMS 信頼性評価技術に関する全般的な視点からの提言を行うこととしたい。

(1) MEMS の信頼性評価技術に関しては、海外、特に米国 (SNL 等) においていち早く研究が行われており、未だ日本での取り組みは数少ないが (特に表面マイクロマシニングに関するもの)、すでに手遅れというレベルではない。信頼性評価技術は、MEMS によるマイクロ機能デバイスの実用化・製品化にとって、その死命を制する重要な技術であることから、今後、我が国においても、これまでの遅れを取り戻すべく、産学官連携のもとで積極的に取り組むべきである。

(2) これまでの MEMS 信頼性評価技術に関する研究は、個別デバイスごとの評価技術に関するものが多く、個々バラバラの感がある。今後は、効率的な研究開発を推進するために、個別デバイスを横断する共通的な評価技術項目を抽出して、取り組むことが望まれる。

(3) 前述の共通的な評価技術項目として、MEMS によるマイクロ機能デバイスの構成要素 (材料) ごとの評価試験技術が重要である。現状の MEMS 信頼性評価技術に関する研究の中では、比較的取り組みが多い技術分野ではあるが、未だ十分というにははほど遠いレベルにある。また、MEMS において多用される薄膜材料の、信頼性に係わる様々な特性のデータベース化に対するニーズが高いことを、重要視する必要がある。

(4) 現状では、様々な故障メカニズムに対するモデリングや、故障モードごとのパラメーターの抽出ができていないため、予測が全くできないということが大きな問題点である。このモデリングやパラメーター抽出を行うことによって、疲労試験をはじめとする様々な信頼性評価試験の加速試験につなげていくことが、極めて重要である。

(5) 自動車の衝突試験と同様に、実機を用いた試験だけではなく、より効率のよい、計算機によるシミュレーションを最大限に活用した故障の予測や、信頼性評価を行う技術を開発することも重要である。

(6) デジタルミラーデバイスの評価試験の状況等を見ると、LSI や IC 等の半導体電子デバイスの信頼性試験のアプローチが、MEMS デバイスにも使えるように思われる。

ただし、一般に生産量（規模）が異なるため、MEMS としての独自のアレンジが必要になるようにも思われる。

（ 7 ） MEMS デバイスの評価装置を、同じウエハレベルの中に作り込み、システム化するための研究開発が、米国の SNL や JPL において行われている。温湿度の制御下等で数多くの試験を同時に行うことが可能となっており、エレガントなアプローチ法として、大いに注目される。今後このアプローチや考え方を、さらに発展させていくことが重要である。

（ 8 ） MEMS ということで、これまでは機械特性系の評価技術に関する研究が比較的多かったが、MEMS の特殊性に基づいた電気的特性も無視できないため、電気特性系の評価技術の進展も望まれる。

（ 9 ） なぜ壊れたのかという原因を追及するための、破壊したデバイスの分析実験技術の開発も重要である。

（ 10 ） 米国の DARPA においてすでに行われているような、試験法の統一化が今後ますます重要になってくるであろう。

（ 11 ） MEMS の信頼性評価技術にとって、今後標準化が望まれる項目としては、まず第一に、信頼性評価の基礎となる様々な量の測定・評価法の標準化が重要であると考えられる。この測定・評価する量としては、マイクロな物体の変位、（優先度第 1 位か？）形状・寸法、運動しているときの 3 次元形状、マイクロ流体の流速・圧力などが挙げられる。

（ 12 ） 米国においては、信頼性のある MEMS マイクロ機能デバイスを設計するためのインターネット教材の必要性が指摘されており、すでに一部は開発されてもいるようである。今後様々な企業や機関によって、様々な用途のマイクロ機能デバイスを開発し、実用化・製品化していくためには、我が国においても、このような取り組みが必要となるであろう。

第 5 章 むすび

本調査研究では、これまで我が国ではまとまった調査研究が行われてこなかった MEMS の信頼性評価技術を取り上げ、その第 1 段階として、文献調査により技術の現状を把握するとともに、今後の課題を明らかにし、いくつかの提言を行った。この MEMS 信頼性評価技術は、MEMS 技術によるマイクロ機能デバイスの実用化・製品化にとって、その死命を制するとも言える重要な技術であり、もとより今回の 1 年間の調査研究のみでは、その全貌を明らかにし、今後の具体的な技術開発に結びつけていくためには、極めて不十分である。今後、本調査研究で明らかにした課題や、提言等に基づきつつ、マイクロ機能デバイスのメーカーやユーザーからのニーズを的確に把握し、ある程度領域や課題を絞り込んで、さらに調査研究を深化させて行くことが大いに望まれる。



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。