

MEMS デバイスの構造評価システム

Structure Evaluation System of MEMS Devices

久保田 英久，清水 互，村原 大介，中村 典子，神山 浩一，小田 民子，矢部 一博

Hidehisa Kubota，Wataru Shimizu，Daisuke Murahara，Noriko Nakamura，Hirokazu Kamiyama，Tamiko Oda，Kazuhiro Yabe

沖エンジニアリング株式会社

Oki Engineering Co., Ltd.

【要旨】

我々は、信頼性評価の一環として、MEMS デバイスの良品構造解析評価手法を新たに構築することを目指して、「LSI プロセス診断法」^[1]を元にいくつかの MEMS デバイスの構造解析評価を実施した。その結果、MEMS デバイス構造を詳細に検査することが可能であるとの結果が得られた。

1．はじめに

宇宙機システムや航空、自動車、電力、通信等のライフラインは高い信頼性が要求される。このようなシステムでのデバイス故障は大きな損失につながるだけでなく、国民生活に影響を及ぼす問題にもなり得る。その為、このようなシステムに使用するデバイスは高い信頼性を有する必要がある。このような高信頼性システムを構築するユーザにとっては、高い信頼性を有するデバイスの選定方法が大きな課題となっている。従来、選定すべき対象が主に LSI や個別素子であり、信頼性試験や D P A (Destructive Physical Analysis) LSI プロセス診断法等で選定を行っていたが、近年需要が急速に拡大してきている MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)デバイスについてはデバイスの選定方法が確立していない。

MEMS の製造にはフォトリソグラフィをはじめとした半導体集積回路の製造技術が多く流用されているにもかかわらず、故障解析や信頼性評価に関しては MEMS デバイス特有の機械的構造や故障モードが存在する為、従来の半導体デバイスの評価手法をそのまま活用していくことは困

難である。

そこで今回、我々は弊社の独自技術である LSI プロセス診断法(独立行政法人宇宙航空研究開発機構；JAXA と共同開発した LSI の良品解析手法)を MEMS デバイスにも展開・適用するべく、新たに MEMS プロセス診断法の開発に着手した。

2．解析方法

MEMS デバイスは構造が多種多様である為、それぞれのデバイス構造に応じた評価手法が必要と考えられる。

本報告では、圧力センサやジャイロセンサ等、数品種のデバイスについて解析を行った中で、代表としてゲーム機等で市場に広く浸透している汎用の 3 軸加速度センサの事例について説明する。また、本評価システムは最終目標として、可能な限り多様なデバイスに適用可能な評価項目を有する診断システムとなるように、汎用性を持たせたいと考えている。その為、3 軸加速度センサの事例で得られた知見を元に構築した評価システムを、異なる構造を有する 2 軸加速度センサに適用した事例について説明する。

ここでは検査項目の過不足を見直すこ

とにより、より評価システムの汎用性を高める試みを行っている。

2.1 解析方法予備調査

3軸加速度センサの検査項目を策定するにあたり、まずLSIプロセス診断法の検査項目を踏襲した予備調査を行った。

予備調査の結果を元に、3軸加速度センサに適用させるべく検査項目の追加・修正の検討を行った。表2.1に検討の結果得られた3軸加速度センサの検査項目を示す。

表 2.1 MEMS デバイスの検査項目

No.	検査項目	観察装置	検査対象	検出される欠陥要因
1	アセンブリ工程検査	OM, TX, SAT, IR	パッケージ状態, アセンブリ工程異常, シリコンキャップ, チップ側面及び, 内部構造	変色, クラック, ボイド, 封止異常, デラミネーション, 内部構造異常, 異物の存在等
2	構造部検査	OM, SEM	シリコン封止内壁部, メタライゼーション, 機械構造部(表面, 裏面)	変色, クラック, ボイド, 異物の存在, 形状異常, 構造破損等
3	断面SEM検査	SEM	シリコン封止内壁部, メタライゼーション, コンタクト, 機械構造部	ボイド, 異物の存在, 形状要因(膜厚, 構造体L/S, コンタクト径他), 構造破損, ガバレッジ等
4	平面SEM検査	SEM	シリコン封止内壁, 機械構造部	ボイド, 異物, 形状要因(構造体L/S他), 構造破損, マスク不良, 結晶欠陥等
5	断面TEM検査	TEM	機械構造部, 組成	ボイド, 異物の存在, 結晶性(結晶欠陥), 構造要因(膜均一性)等
6	平面TEM検査	TEM	機械構造部, 組成	異物の存在, 結晶性(結晶欠陥), 構造要因(膜均一性)等

■: LSIプロセス診断と一部もしくは全部を共通とする検査項目

OM: 光学顕微鏡, TX: 透過X線検査装置, SAT: 超音波探査装置
IR: 赤外顕微鏡, SEM: 走査型電子顕微鏡, TEM: 透過型電子顕微鏡

2.2 アセンブリプロセス解析方法

表2.1の検査項目に従い、3軸加速度センサのアセンブリプロセス検査を行う方法について述べる。アセンブリプロセスの検査については、まず外観検査としてパッケージ表面の傷やバリ、アウターリード状態等の検査を行う。次に、透過X線検査として内部組立情報の取得、モールド樹脂内のボイドおよびインナーリード状態等の検査を行う。その後モールド樹脂の開封を行い、内部検査としてワイヤボンド状態、インナーリード状態、チップ状態等の検査を行う。これらの検査フローや検査ポイント

トは本デバイスについても有効であることが確認された為、そのまま適用した。

アセンブリプロセスの各検査項目では、アセンブリプロセスの評価と同時にウェハプロセス評価に必要な予備情報の取得を行う。ここで、アセンブリプロセス検査の終了時におけるデバイスの状態は、MEMS構造部がSiキャップに覆われた状態となっている。図2.1にモールド樹脂開封した3軸加速度センサの内部構造を示す。

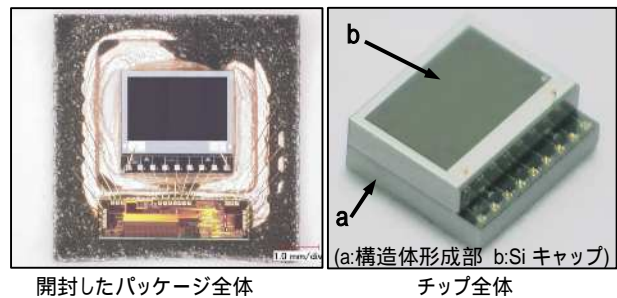


図 2.1 MEMS デバイスの内部構造

LSIのウェハプロセスに相当する内部構造体の検査を行う為には、Siキャップの除去が必要となる。予備調査では機械的な研削除去やキャップ封止部での剥離等を試みたが、開封ダメージにより内部構造体が容易に破壊されてしまう。この為、できるだけ構造体を破壊しないような除去手法が必要となる。本解析では、Siキャップ部を上部から機械的に研磨し、キャップ部が薄膜状になった段階で粘着テープによりピーリング除去する方法を取ることで、良好な開封が可能となった。ただし、現状では完全にノーダメージでのキャップ除去手法が未確立である為、非破壊でキャップ内部の観察が可能な赤外顕微鏡による事前検査を実施し、Siキャップ内部構造の異常の有無を確認した。これにより、開封により内部構造にダメージが発生していた場合でも、製造要因に起因する欠陥であるか、開封ダメージにより発生した欠陥であるかの切り分けが可能となる。図2.2にSiキャップ除去前後のチップ内部構造を示す。Siキャップ除去前には観察されなかつ

た構造体の欠損がキャップ除去後には観察されており、Si キャップ除去によるダメージが発生したことが認められる。

また、本解析で用いた Si キャップの除去方法でも、内部にキャップ由来の Si 屑が少なからず落下することがあり、元々内部に存在していた異物との切り分けが必要となる。Si 屑は赤外顕微鏡では観察不可能な為、内部に異物が検出された場合は、異物の形状や厚みを詳細に観察することで、キャップ由来の異物が、内在異物であるかを判断することが必要となる。

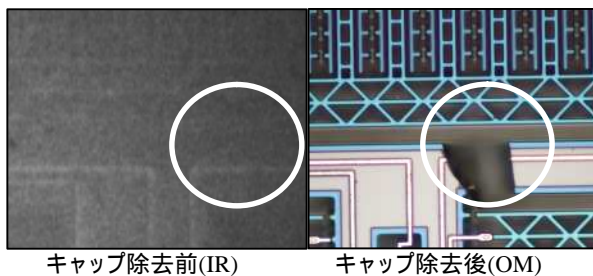


図 2.2 Si キャップ除去前後の MEMS 機械構造部

予備調査の結果を元に構築した、本デバイスのアセンブリプロセスの検査フローを図 2.3 に示す。

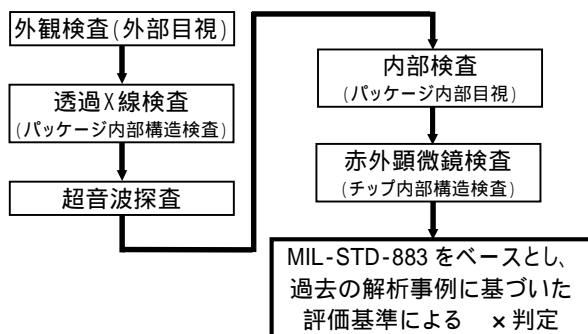


図 2.3 アセンブリプロセスの検査フロー

2.3 ウェハプロセス解析方法

ウェハプロセス検査では、Si キャップを除去し機械構造部を露出したものについて、まず構造部検査として構造体の状態検査を行う。LSI の場合には、チップ表面の観察を行うのみであったが、本デバイスに

ついては、構造体が中空に保持されている為、構造体表面の観察だけでは奥行き方向の情報を入手できず、十分な検査を実施したことにはならない。この為、構造体裏面の観察も同時に行うことが必要である。次に、断面 SEM 検査としてデバイス構造の断面形状情報取得、層間膜およびメタライゼーションの形成状態の検査等を行う。ここでも、試料サンプリングの際に MEMS 特有の機械構造部を破壊しないような注意が必要となる。断面 SEM 検査では、Si キャップと構造体のクリアランスや、Si キャップの封止状態等も確認する必要がある為、キャップ除去を行わない状態での断面試料作成を行った。試料作製方法として、チップ全体を樹脂で包埋した後に研磨を行うが、チップ内部は空洞である為、研磨面に構造体内部の空洞が一部露出した段階で研磨を止め、構造体内部の樹脂包埋を行う。このとき研磨が内部構造体に少しでも進行した場合には内部構造が大きく破壊してしまう為、研磨進行のモニタリングを細かく行うことが重要となる。また、構造体内部の樹脂包埋については、内部構造が非常に入り組んでいる為、気泡が残留しやすく、真空脱泡処理が必須である。この真空脱泡においても、気泡による構造体の破壊が考えられる為、樹脂の粘性に注意を払う必要がある。予備調査において、常温で樹脂の真空脱泡処理を行ったところ、残留した気泡による内部構造体の変形が発生することが確認された。

この現象は低粘度樹脂の使用や樹脂を昇温して粘度を下げることで軽減が可能である。このようなサンプリング技術により MEMS 機械構造部の断面検査が可能となった。

MEMS デバイスでは、LSI には存在しない可動部が存在する。この支持体部に最も応力が集中すると考えられ、疲労破壊の有無がよく議論されている。この為、可動支持体の結晶欠陥の検査が重要であり、平面に研磨された構造体内部についてセコーエッチングを施し、平面 SEM 検査として

機械構造部、特に可動支持体の結晶欠陥の有無を広範囲で検査する。次に、断面 TEM 検査として構造体断面構造の詳細な検査、構造体内の結晶欠陥の検査、積層構造の組成情報の取得等を行う。最後に、平面 TEM 検査として可動支持体部のより詳細な情報取得を実施する。予備調査の結果を元に再構築された本デバイスのウェハプロセスの検査フローを図 2.5 に示す。これに基づき、3 軸加速度センサの解析を実施した。

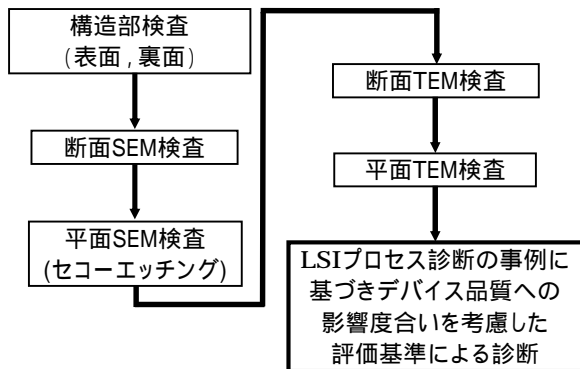


図 2.5 ウェハプロセスの検査フロー

3. 3 軸加速度センサの解析結果

3.1 アセンブリプロセス検査結果

図 2.3 に示した検査フローに基づき、3 軸加速度センサのアセンブリプロセス検査を行った。

先述した通り、本デバイスのアセンブリプロセスの各検査項目については、プラスチックパッケージ LSI と同等の検査フローおよび検査ポイントで評価することが可能であった。各検査ポイントについて MIL-STD-883 にベースとした過去の解析事例に基づいた独自の評価基準により検査を行った結果、異常は観察されなかった。表 3.1 にアセンブリプロセス検査結果のまとめを示す。アセンブリプロセスについては、LSI プロセス診断法での検査フローが有効に機能した。

表 3.1 アセンブリプロセス検査結果

検査項目	検査ポイント	可否
外観検査	パッケージ各部の形状	
	アウターリードの形状	
	その他	
透過X線検査	パッケージ内部組立構造	
	インナーリード	
	その他	
超音波探査	デラミネーションの有無	
	その他	
内部検査	ワイヤボンド状態	
	インナーリード	
	チップ状態	
	その他	
赤外顕微鏡検査	チップ状態	
	その他	

3.2 ウェハプロセス検査結果

図 2.5 に示した検査フローに基づき、3 軸加速度センサのウェハプロセスの検査を行った。Si キャップの除去については、2.1 節で述べた手法で良好な開封が可能であった。機械構造部表面検査の結果、対象試料は構造体である可動電極の移動による静電容量の変化の差分から加速度を検知する方式であることが確認された。また、構造から主にエッチングプロセスで形成するバルクマイクロマシニング^[2]によるものであった。図 3.1 に Si キャップを除去した MEMS 機械構造部の鳥瞰 SEM 像と動作概略図を示す。

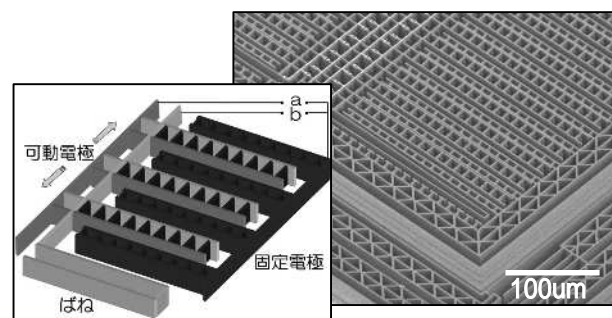


図 3.1 MEMS 機械構造部の鳥瞰 SEM 像と動作概略図

次に、機械構造部裏面の検査を行った。図 3.2 に機械構造部裏面の鳥瞰 SEM 像を示す。

裏面は、エッチング時のガスの回り込みにより、構造体がオーバーエッチングされ

て凹んでいる状態が観察された。また、オーバーエッチング部の側面にはエッチングの残渣物が薄膜状に存在していた。このような残渣物は、脱落した場合可動部に挟まる等して MEMS 機能に障害を与える可能性が考えられる。なお構造については、後述する断面検査の結果と比較すると、判断がより容易である。

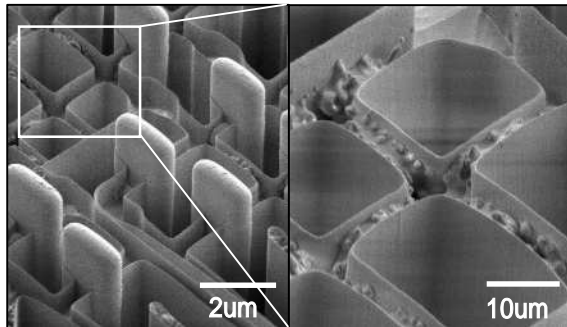


図 3.2 機械構造部裏面の鳥瞰 SEM 像

次に、断面 SEM 検査を実施した。断面 SEM 検査の試料作製についても、2.2 節で述べた方法により、良好な試料作製が可能であった。図 3.3 に MEMS 構造体の断面 SEM 像を示す。

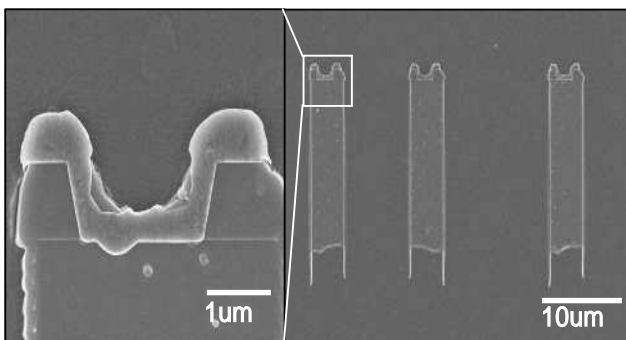


図 3.3 MEMS 構造体の断面 SEM 像

構造体の両端には、深掘りエッチングで用いたボッシュプロセスに起因すると思われる波状形状が確認された^[2]。構造体側面の下部には、裏面の構造体検査でも観察された薄膜状の残渣物も観察された。

また、構造体上部に形成されているメタル配線コンタクト部のカバレッジは良好であったが、コンタクト接続部にはアロイスパイクが散見された。アロイスパイクは、熱処理中に Si 基板とメタル配線との反応

により生成されるものである。LSI の場合には、アロイスパイクが接合領域を超えた場合、接合リーク電流が発生し、デバイス特性に直接影響を及ぼすことが考えられる為、注意が必要な欠陥である。しかし、本デバイスでは、機械構造部に接合の形成が確認されていない為、デバイス品質に大きな影響を与えるものではないと判断する。このように、同じ欠陥が観察された場合、LSI プロセスにおいては故障要因となり得るような欠陥であっても、その欠陥が MEMS に対しても欠陥と判定されるとは限らない。このような事例が他にも考えられる為、MEMS デバイスの欠陥判定基準は慎重に構築する必要がある。

次に、構造体の更なる詳細な観察を行う為、断面 TEM 検査を行った。図 3.4 に MEMS 構造体の断面 TEM 像を示す。

断面 TEM 検査および元素分析の結果、構造体は単結晶 Si であり、側面には酸化膜が形成されていた。また、単結晶 Si と酸化膜との界面には、エッチングによるダメージ層と考えられるアモルファス層や微小なボイドが観察された。構造体側面はこのアモルファス層により単結晶端面に凹凸が発生しており、過大な機械的ストレスが加わった場合、劈開破断の起点となる可能性も考えられる為、注意が必要である。

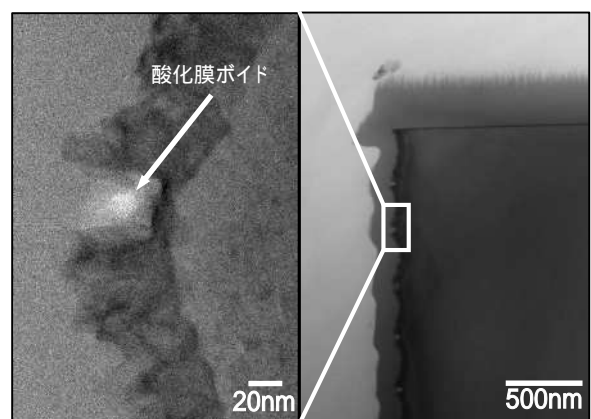


図 3.4 構造体の断面 TEM 像

また、断面 SEM 検査でも観察された構造体側面下部の薄膜状の残渣物は、側面に形成された酸化膜の残渣であることが確

認された。この残渣物は図 3.5 に示すように根元から破断している様子も一部で観察された。このような破断は、試料サンプリングの影響による可能性も考えられるが、元来存在していた破断の場合は先に示した裏面側からの詳細観察により検出可能で、各検査結果を総合的に判定することで、より正確な評価が可能となるものと考えられる。このような破断部から残渣物が脱落した場合、MEMS 機能に障害を与える可能性が考えられる為、注意が必要である。

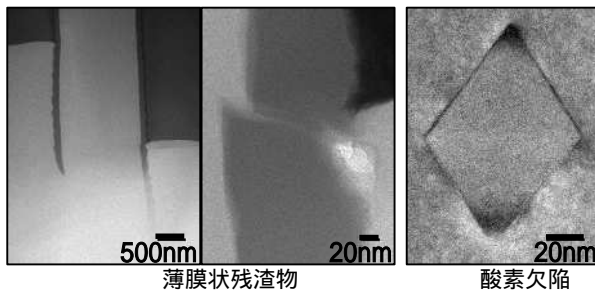
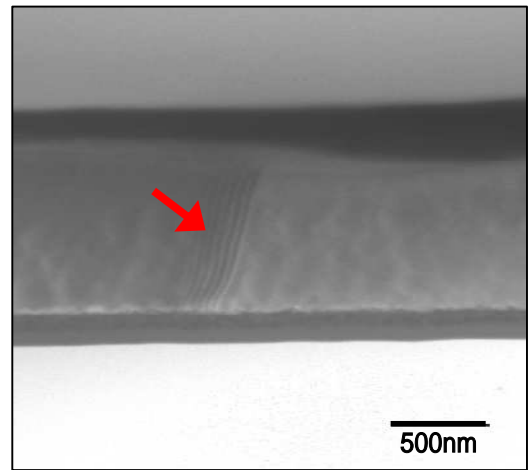


図 3.5 構造体の断面 TEM 像

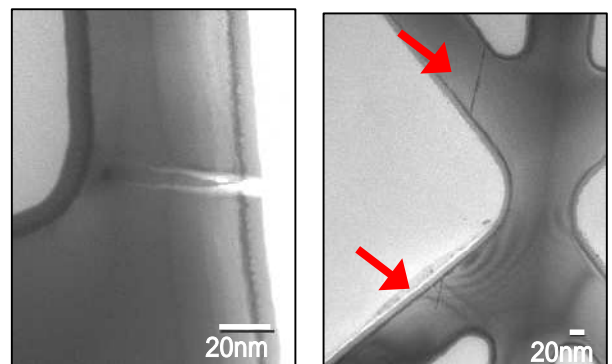
また、断面 TEM 観察中に、図 3.5 に示すような巨大な酸素欠陥も構造体内に多く観察された。このような大きさの酸素欠陥は、LSI を観察した場合には見られないものである。現時点ではデバイス品質への影響は不明であるが、このような欠陥が可動部を支持するバネの根元付近に存在した場合、支持体強度に何らかの影響を及ぼす可能性も考えられ、MEMS デバイスの欠陥判定基準を構築する上で注目すべきポイントである。

次に、平面 TEM 検査を実施した。図 3.6 に構造体支持部の平面 TEM 像を示す。上の図は可動部を支持するバネの根元付近の像である。内部に構造体を横断する形で積層欠陥が観察されている(図中矢印部)。ここで、意図的に応力を加えることでばね部を破断させた試料を比較の為に観察したところ、図 3.6 左下のように破断部は劈開破断となっていた。この破断状況から、図 3.6 上に示したような積層欠陥が存在していた場合、劈開破断の要因となり得る可能性が高いものと推定され、注意が必要である。ただし、このような欠陥は、検査過

程において発生する可能性も考えられる。TEM 観察試料作製中、試料にスクラッチダメージが入り、結晶欠陥が発生する場合もある。この場合、多くは図 3.6 右下に示すようにスクラッチラインに沿ったランダム転位が発生している。このようなスクラッチは隣接する構造体を跨いで連続的に発生していることが多く、発生状況からある程度は試料作製時のダメージと推定することが可能である。ただし、開封やハンドリング時のストレスで結晶欠陥が発生する可能性も考えられる為、現状では欠陥の発生時期を特定することは困難である。



構造体中の積層欠陥 (結晶欠陥)



意図的に破断した破断部

スクラッチ

図 3.6 構造体支持部の平面 TEM 像

以上の検査結果を踏まえ、MEMS の製造工程毎に考え得る構造の欠陥について洗い出し、ウェハプロセスの評価項目を作成した。表 3.2 にウェハプロセス評価項目を、表 3.3 にウェハプロセス検査結果の一覧をそれぞれ示す。今回解析した 3 軸加速度セ

ンサについては、表 3.2 に示す欠陥項目に着目することでウェハプロセスの品質評価が可能であると考えられる。

表 3.2 ウェハプロセス評価項目

工程	欠陥項目
電極・配線形成工程	配線膜厚異常
	形状異常,エッチング不良
	Al結晶粒径(グレイン)異常
	配線段差部の断線(断切れ)
	ヒロック
	ポイド,傷
	異物混入,汚染
	接続部のカバレッジ
	アライメント(マスク合わせ)の不整合
	層間接続部(アスペクト比)
	層間接続部(開口比)
	層間接続部不良
	コンタクト部のSi/ジュール
	アロイスパイク
構造体形成工程	寸法(L/S/H)異常
	形状異常,エッチング不良
	異物混入
	結晶性欠陥
	破損・破断
	裏面形状異常
	側面形状異常
	保護膜形状異常
	保護膜クラック,欠け,割れ,剥離
	保護膜ポイド
	保護膜形成不良
	保護膜異物混入
	シリコン封止工程
封止材ポイド,異物混入	
封止材 構造体形成領域浸入	
隙間異常(構造体-封止層間)	
クラック,割れ,欠け	

表 3.3 ウェハプロセス検査結果一覧

検査項目	解析結果	備考
構造部検査		機械構造裏面形状異常
断面SEM検査		アロイスパイク
平面SEM検査		機械構造部下端部形状異常
断面TEM検査		異常なし
断面TEM検査		機械構造部側面酸化膜ポイド
		機械構造部Si側面アモルファス化
		機械構造部下端部形状異常(破損)
平面TEM検査		酸素欠陥
		機械構造部Si側面アモルファス化
平面TEM検査		機械構造部結晶欠陥

○:異常なし,もしくは軽度異常, △:要注意, ×:重度

4. 2軸加速度センサへの適用

4.1 2軸加速度センサの検査結果

図 2.3 及び図 2.5 に示した検査フローに基づき、2軸加速度センサについてアセンブリプロセスとウェハプロセスの検査を行

った。機械構造部表面検査の結果、対象試料は先の3軸加速度センサと同様の可動電極の移動による静電容量の変化の差分から加速度を検知する方式であることが確認された。ただし、主に成膜プロセスで形成するサーフェスマイクロマシニング^[2]によるものであった。

検査の結果、アセンブリプロセス及びウェハプロセスに問題となるような構造欠陥は検出されなかった。各検査で得られた代表写真を図 4.1～図 4.4 に示す。先の3軸加速度センサのセンサ構造体は単結晶Siを採用していたが、本章の2軸加速度センサでは多結晶Siを用いていた。

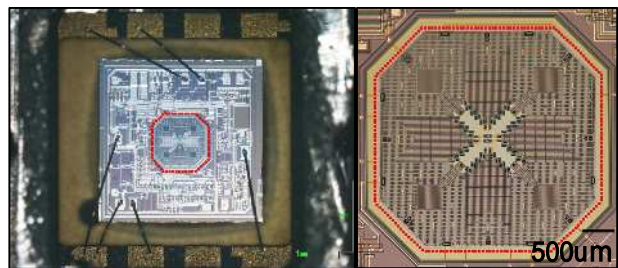


図 4.1 2軸加速度センサの内部構造 (枠内;センサ構造体部)

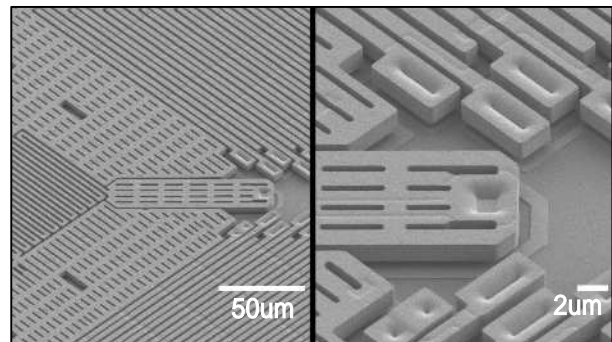


図 4.2 MEMS 機械構造部の鳥瞰 SEM 像

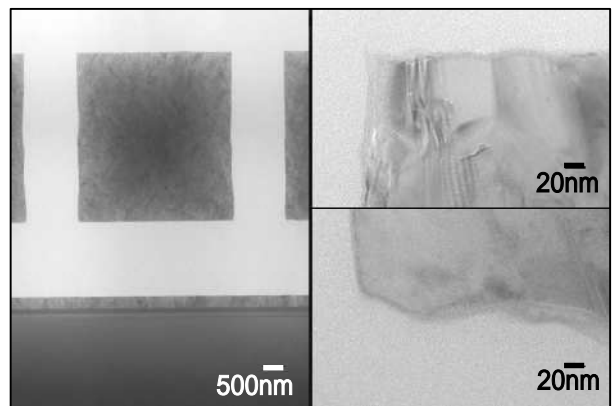


図 4.3 MEMS 機械構造部の断面 TEM 像

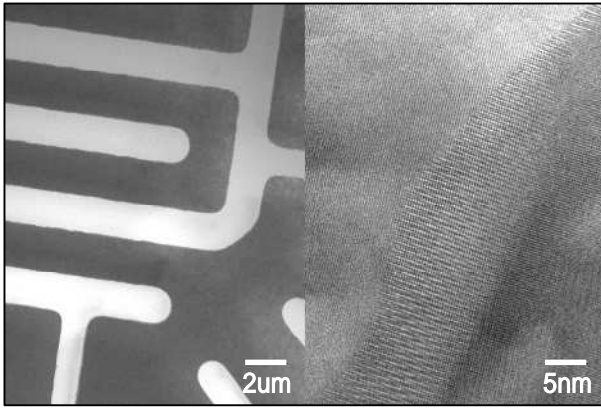


図 4.4 MEMS 機械構造部の平面 TEM 像

4.2 検査項目の見直し

検査の結果、3軸加速度センサと同様の静電容量型2軸加速度センサであったが製造プロセスに違いが確認された。その為、3軸加速度センサに用いた検査項目や評価基準をそのまま適用することは有効ではなかった。表 4.1 に3軸加速度センサと2軸加速度センサの検査の結果得られたパッケージ構造や製造プロセスの差異を示す。

この検査結果から、検査項目、評価基準の比較・見直しと、各検査項目と評価基準の有効性についての検証を行った。

表 4.1 構造および製造プロセスの差異

	3軸加速度センサ	2軸加速度センサ
パッケージ	プラスチック+Siキャップ	セラミック
内部搭載IC	ハイブリット	モノリシック
機械駆動部	単結晶	Poly-Si
センサ方式	静電容量型	静電容量型
製造プロセス	ボッシュプロセス	エビ成長+ディーブリエ
駆動部保護膜	有(酸化膜)	無

4.3 アセンブリプロセス検査結果

2軸加速度センサはパッケージ構造としてメタルキャップ封止したセラミックパッケージを用いていた。このメタルキャップは半田により接合されていたが、熱または機械的に容易に開封可能であった。キャップ内部は中空パッケージとなっている為、開封前の超音波探査については、必要なかった。

開封後の内部構造は3軸加速度センサで用いた検査フローで検査および評価が可能であった。

また、このデバイスは、パッケージを開封すると直接 MEMS 構造部が露呈する構造となっており、3軸加速度センサのように開封後、さらに Si キャップを除去する工程は必要なかった。MEMS 構造はメタルキャップ除去により容易に確認でき、メタルキャップ除去による内部構造のダメージも発生しない為、赤外線顕微鏡による検査は必要なかった。

パッケージに関するその他の検査については、図 2.3 に示す解析フローで解析が可能であった。また、評価基準も変更の必要はなかった。

表 4.2 にアセンブリプロセス検査結果のまとめを示す。アセンブリプロセスについては、3軸加速度センサでの検査フローをパッケージ構造に合わせ、一部省略することで、有効に機能した。

表 4.2 アセンブリプロセス検査結果

検査項目	検査ポイント	可否
外観検査	パッケージ各部の形状	
	アウターリードの形状	
	その他	
透過X線検査	パッケージ内部組立構造	
	インナーリード	
	その他	
内部検査	ワイヤボンド状態	
	インナーリード	
	チップ状態	
	その他	

4.4 ウェハプロセス検査結果

2軸加速度センサのウェハプロセス検査についても図 2.5 ウェハプロセスの検査フローに従い、検査を行ったが、SEM による構造部検査の段階で内部機械構造部が多結晶 Si を用いて作られていることが判明した。3軸加速度センサでは機械構造部の結晶欠陥の検査が重要と判断し、セコエッチングによる平面 SEM 検査を実施したが、機械構造部が多結晶 Si の場合、結晶欠陥の検出が出来ず、検査に有効性がないと判断した。また、3軸加速度センサでの断面および平面の TEM 検査では機械駆動部が単結晶で構成されていた為、単結晶中の結晶欠陥などの評価を着眼点とし

ていた。これに対し、今回解析を行った2軸加速度センサは、機械駆動部が多結晶Siを用いて作られていた。多結晶Siにおいては、結晶粒界や粒内転位等が多く存在する為、単結晶構造体とは異なった評価基準が必要となる。

着眼点としては結晶粒サイズ、粒内転位密度、粒子の結晶配向性等が考えられる。例えばLSIのストレスマイグレーションのように機械的ストレスを推進力として結晶粒内転位が粒界に移動、蓄積しボイド発生や粒界割れを引き起こす可能性が考えられる。

結晶粒サイズ、粒内転位密度、粒子の結晶配向性等が適切でない場合、長期間の使用により物理的な疲労が蓄積し、外的ストレスの影響で機械駆動部(梁等)の破壊要因とも成り得る為、信頼性低下要因として注視していく必要があるものとする。また、2軸加速度センサでは、構造体表面検査及び断面検査において、構造体表面の配線パターンは確認されなかった。これは2軸加速度センサがモノリシックタイプの構成を採用し、配線は全て構造体下層の集積回路部に委ねるレイアウトを用いている為と考えられる。その為、3軸加速度センサの検査項目で挙げている「電極・配線形成工程」に関連する項目は検査対象外となる。その代わりに、新たに構造体下層の集積回路部と接続する為のコンタクト接続状態を検査対象として加える必要が発生した。この部分の検査では断面SEM検査が有効であった。

なお、制御部とセンサ構造部が同一ウェハプロセスで製造されていることからセンサ構造部と同時に制御部の評価も必要となる。制御部の評価は標準のLSIプロセス診断で評価可能であった。

以上のことから、2軸加速度センサの製造工程毎に考え得る構造上の欠陥について洗い出し、ウェハプロセスの評価項目を作成した。表4.3にウェハプロセス評価項目を、表4.4にウェハプロセス検査結果の一覧をそれぞれ示す。今回解析した2軸加

速度センサについては、表4.3に示す欠陥項目に着目することでウェハプロセスの品質評価が可能であると考えられる。

表 4.3 ウェハプロセス評価項目

工程	欠陥項目
構造体 形成工程	寸法(L/S/H)異常
	形状異常,エッチング不良
	異物混入
	結晶欠陥
	破損・破断
	裏面形状異常
	側面形状異常
	アライメント(マスク合わせ)の不整合
	接続部のカバレッジ
	構造体接続部(アスペクト比)
構造体接続部(開口比)	
構造体接続部不良	

表 4.4 ウェハプロセス検査結果一覧

検査項目	解析結果	有効性
構造部検査		有り
断面SEM検査		有り
平面SEM検査	-	無し
断面TEM検査		有り
平面TEM検査		有り

・異常なし,もしくは軽度異常

・要注意, x : 重度

5 . まとめ

MEMS デバイスのプロセス診断法を新たに開発し、解析の一例として加速度センサの評価を行った。その結果、アセンブリプロセス検査は、LSIの場合と同等に評価可能であることが示された。また、ウェハプロセス検査は、従来のLSIに対して実施していた評価項目に変更を加え、図2.5に示すフローにて検査を実施することで評価可能であることが示され、ウェハプロセスの評価項目についても構築できた。また、検査に当たり、MEMS特有の検査ポイントや試料作製技術、欠陥の判定基準が必要であることが確認された。

今回の結果より、MEMS製造工程のうち配線形成工程について、LSIの場合の診断基準が適用可能であった。しかし、その他の工程では新規に診断基準の構築が必要であった。現段階では構築した診断基準とMEMSデバイスの信頼性との具体的な相

関が不明であるが、今後は、相関についての調査も含め、MEMS に特化した工程毎に必要な診断基準を構築していく必要がある。

現在、可動部を支持するバネの根元に欠陥の見られた3軸加速度センサと同一ロット品について

振動 (MIL-STD-883 METHOD 2007.3 Test condition A ; Peak acceleration 20G × 4 times × 3 dimension) ,

衝撃 (MIL-STD-883 METHOD 2002.4 Test condition B ; 1,500g peak × 5 shock × 6 dimension)等の負荷試験を実施しているが3軸とも加速度出力に異常がなく、電子部品に対する一般的な上記試験条件程度では構造体が破損しないことが確認されている (図5)。

また、3軸加速度センサと2軸加速度センサの例で示されたとおり、MEMS デバイスの構造には多様性がある。加速度センサという同じカテゴリのデバイスにおいても、各社毎の製造プロセスが大きく異なる為、それぞれに合わせた検査手法・評価基準を設ける必要があることが確認された。

本報告で取り上げた加速度センサ以外のデバイスにおいては、現時点ではそれぞれのデバイスについて予備調査を行い、構造に応じた検査メニューの再構築が必要であるが、基本的には図 2.3, 2.5 のフローを元に拡張していくことで広範な MEMS デバイスに適用可能と考える。

将来的には、様々な形態の MEMS デバイスに適用可能な検査項目の拡張メニューと診断基準を整備し、必要とされる検査項目を適宜選別することが可能である診断システムの構築を目指す。

現状では課題が多いが、LSI プロセス診断法を再構築し MEMS デバイスに適用する本手法は、MEMS デバイスの評価アプローチとして有望であると考えられる。

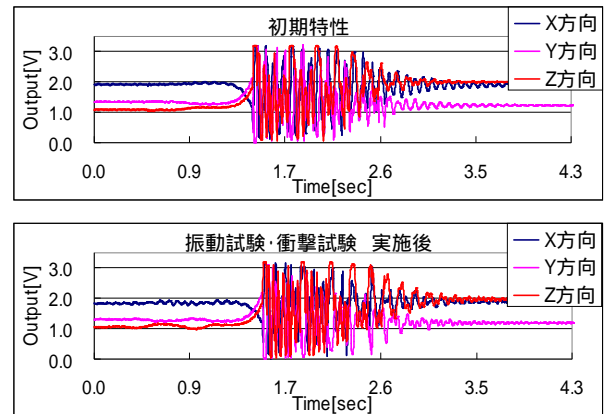


図5 負荷試験前後のセンサ出力

参考文献

- [1] 矢部一博他：『LSI プロセス診断システムと信頼性試験による相互検証』、第 14 回 RCJ 信頼性シンポジウム、2004
- [2] 江刺正喜監修：『MEMS マテリアルの最新技術』、新材料・新素材シリーズ、シーエムシー出版、2007
- [3] 村原大介他：『LSI プロセス診断法による MEMS デバイスの評価試行』、第 39 回信頼性・保全性シンポジウム、2009