2009 OEGセミナー

太陽電池・MEMSへの解析アプローチ

2009年　7月14日

沖エンジニアリング株式会社

信頼性技術事業部

清水 亙

© Copyright 2009 Oki Engineering Co., Ltd

All rights reserved

目次

- はじめに
- 太陽電池の解析例
- MEMSの解析例
- まとめ

© Copyright 2009 Oki Engineering Co., Ltd

All rights reserved

はじめに　～太陽電池・MEMS良品解析の必要性～

太陽電池・MEMSの普及が急速に拡大

⇩でも…

普及の拡大に比べて、故障解析、信頼性への
アプローチはあまり進んでいない

⇩なぜか？

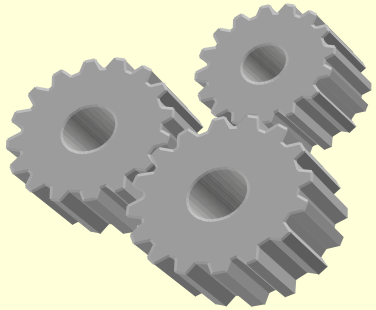
太陽電池；強固な封止材中の発電セルは解析が困難
MEMS；微細機械可動部のストレスフリーでの評価が困難
等の理由による。

⇩しかし…

太陽電池；環境に優しいはずの太陽電池がすぐに故障→交換、では、環境負荷の増大を招くばかり。
MEMS；自動車等にも組み込まれているため、用途によっては、故障→人命に関わる危険性がある。

⇩そのため！

太陽電池やMEMSを導入する側の方々へ向けて、
「良品解析」をご提案いたします。



【MEMS】
Micro
Electro
Mechanical
Systems

はじめに ～太陽電池・MEMS良品解析の必要性～

「良品解析」とは？ ⇨ 部品の状態や欠陥の観察から、将来故障に至る危険性を推定する手法

例

ブラックボックス；ユーザの良否判断困難		対処法；専門家に診断を依頼
マンションの耐震偽装、欠陥住宅	⇨	レントゲン等を使用した診断
LSI、太陽電池、MEMS	⇨	良品解析（プロセス診断）

⇩

太陽電池やMEMSを新たに導入するに際して、「良品解析」を実施することで、製品の選定基準や、品質管理指標の一つとされることをお薦めいたします。

⇩

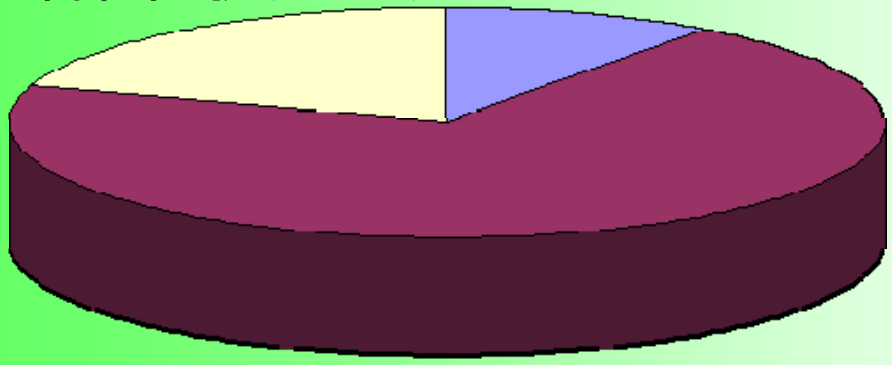
OEGは独自のLSI良品解析技術として「LSIプロセス診断法」を有し、実績をあげております。

→ 「LSIプロセス診断法」の実績例

はじめに　～「LSIプロセス診断法」の実績例～

実績例；自動車関連企業殿からの依頼内容

評価試験（20%）　故障解析（10%）



良品解析（LSIプロセス診断）（70%）

2005～2008年
実績例（合計266件）
- P2ROM
- マイコン
- 磁気センサ
- SRAM
- FLASHメモリ

数年前まで…
評価試験と故障解析で半々

ここ数年は、製品に高い信頼性を要求されるお客様方をはじめとして、急速に良品解析（プロセス診断）の需要が伸びてきております

今回、この技術を太陽電池・MEMSに応用し、良品解析の観点から
信頼性に影響を及ぼす種々の項目を評価いたしました。
信頼性に関連する有用な情報が得られましたので、このあとご紹介いたします。

太陽電池の解析例　～解析サンプル～

今回解析に使用するサンプルとして、以下を選定いたしました。

●単結晶シリコン型

日本国内で最も普及している型。

●ハイブリッド（HIT）型

結晶とアモルファスの複合型。高変換効率が特徴。

●化合物系（CdTe-CdS）

性能・価格的メリットから、主に欧米で普及が見られる（日本では馴染みが薄い）。

これらのサンプルに対して解析を行った結果を、この後ご紹介します。

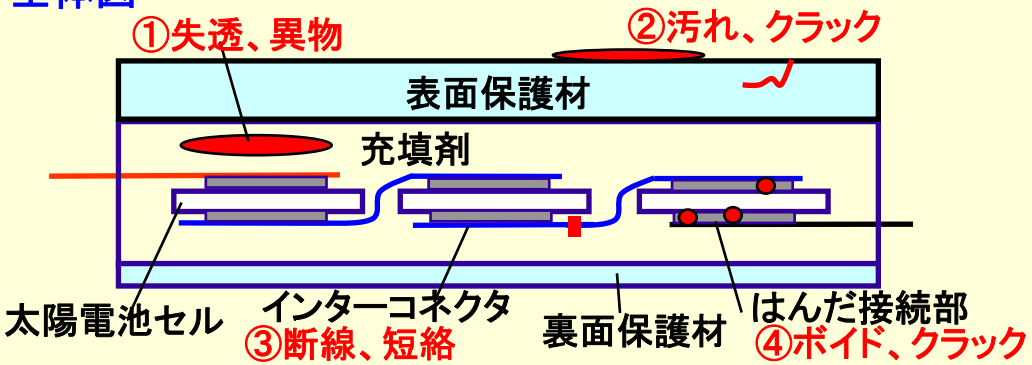
© Copyright 2009 Oki Engineering Co., Ltd

All rights reserved

太陽電池の解析例　～太陽電池良品解析の検査項目～

信頼性上問題となる欠陥例（モジュール全体）

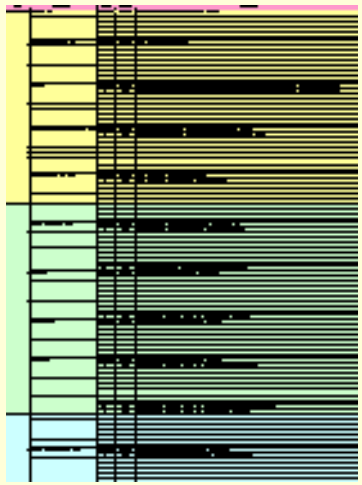
●モジュール全体図



検査項目	観察装置	検査対象	検出される欠陥要因	要因番号
外観検査	光学顕微鏡	表面・裏面保護材、充填剤、インターコネクタ、はんだ接続部	失透、異物、汚れ、クラック、断線、短絡、ボイド	①②③④
透過X線検査	X線検査装置	インターコネクタ、はんだ接続部	異物、断線、短絡、ボイド、クラック	①③④
断面検査OM	光学顕微鏡	表面・裏面保護材、充填剤、インターコネクタ、はんだ接続部、セル	異物、汚れ、クラック、断線、短絡、ボイド	①②③④

※重複検査は、クロスチェックのため

独自の診断基準

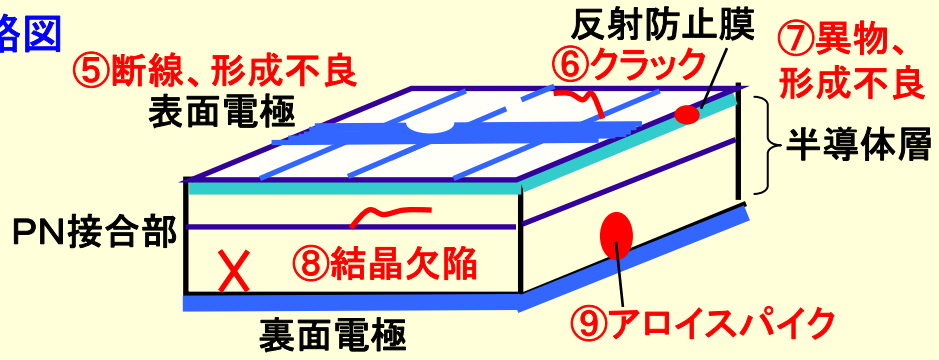


診断結果を基に、想定される故障に対する注意喚起や、改善に対するご提案をいたします。

太陽電池の解析例　～太陽電池良品解析の検査項目～

信頼性上問題となる欠陥例（セル部）

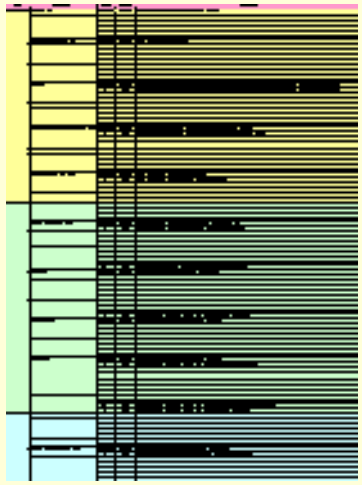
●セル概略図



検査項目	観察装置	検査対象	検出される欠陥要因	要因番号
表面検査OM	光学顕微鏡	表面・裏面電極、反射防止膜、セル	断線、形成不良、クラック、異物	⑤⑥⑦
表面検査SEM	SEM	表面・裏面電極、反射防止膜、セル	断線、形成不良、クラック、異物	⑤⑥⑦
断面検査SEM	SEM	表面・裏面電極、反射防止膜、セル（PN接合部）	断線、形成不良、クラック、異物、結晶欠陥、アロイスパイク	⑤⑥⑦⑧⑨
断面検査TEM	TEM	表面・裏面電極、反射防止膜、セル（PN接合部）	断線、形成不良、クラック、異物、結晶欠陥、アロイスパイク、組成	⑤⑥⑦⑧⑨

※重複検査は、クロスチェックのため

独自の診断基準



診断結果を基に、想定される故障に対する注意喚起や、改善に対するご提案をいたします。

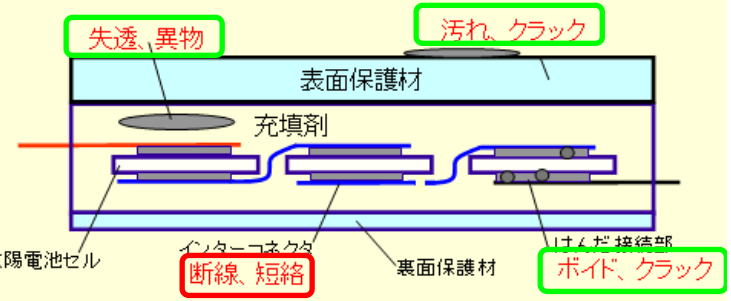
実際に解析した結果から、代表的な事例をご紹介いたします

© Copyright 2009 Oki Engineering Co., Ltd

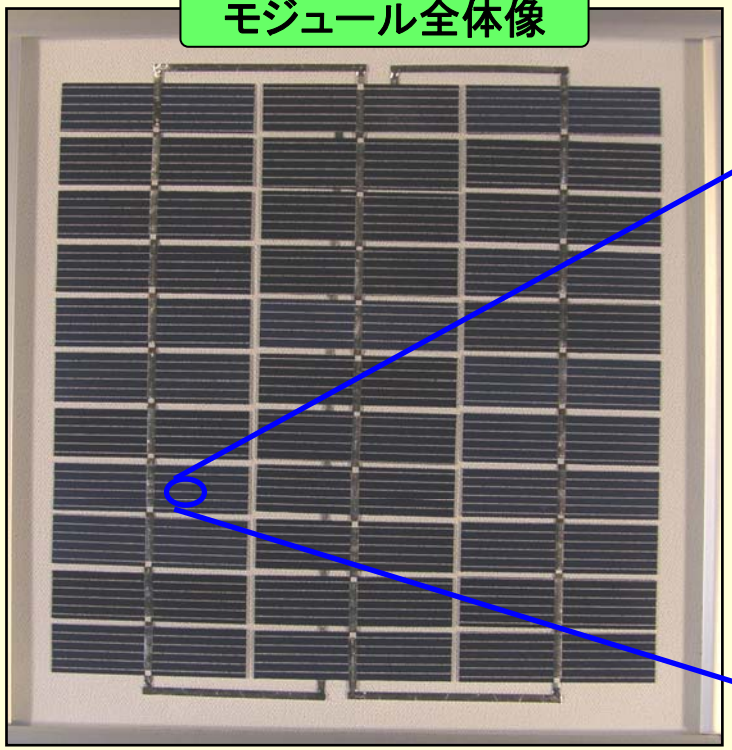
All rights reserved

太陽電池の解析例　～外観検査～

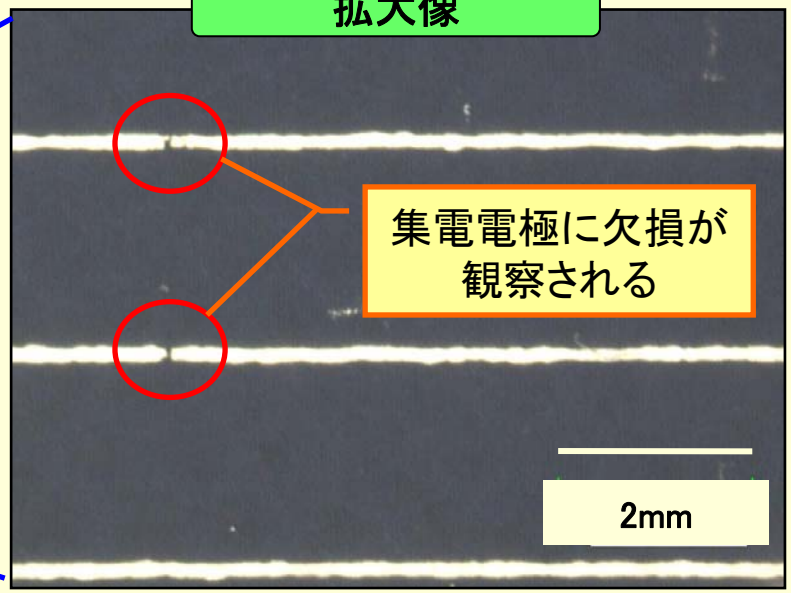
単結晶シリコン型太陽電池



モジュール全体像



拡大像

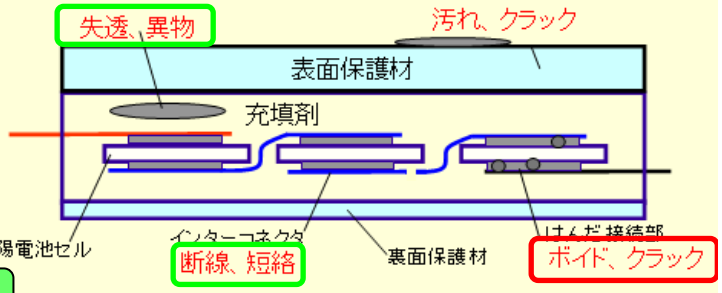


外形寸法
19×21[cm]

・集電電極に欠損が観察されました。
・集電電極の欠損による高抵抗化や断線は集電効率を低下させるため、注意が必要です。

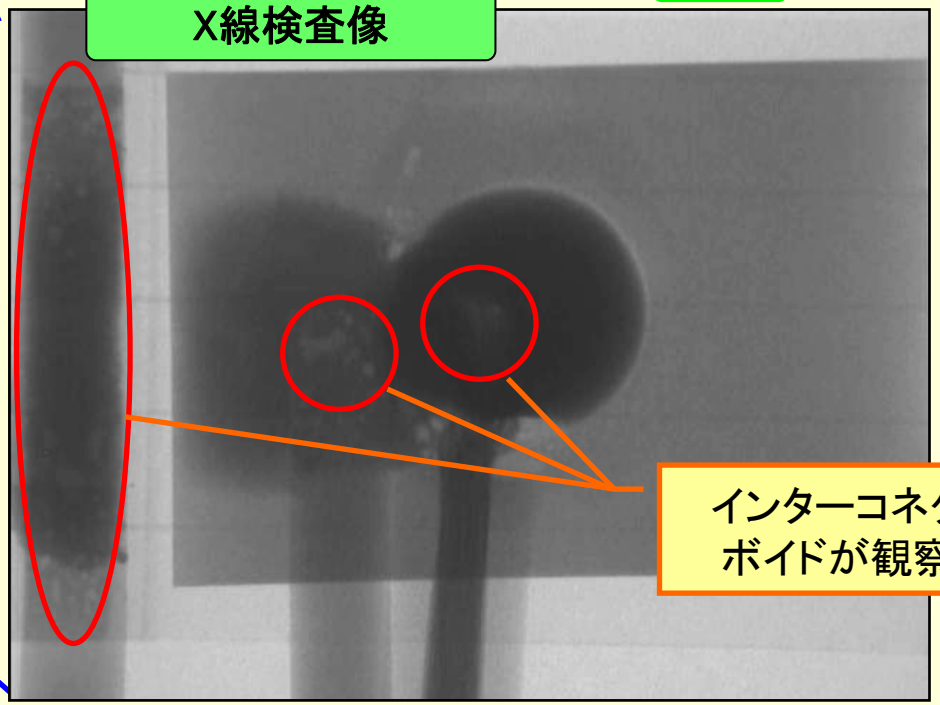
太陽電池の解析例　～透過X線検査～

単結晶シリコン型太陽電池



光学像

X線検査像

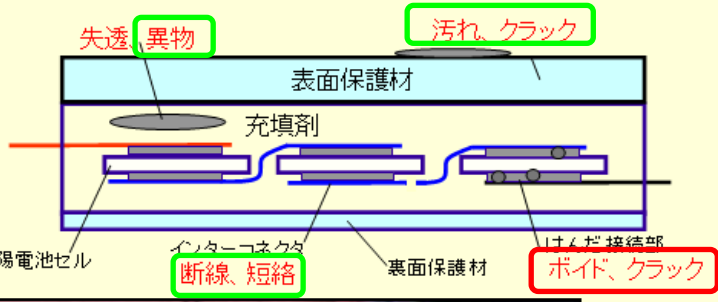


インターコネクタ部に
ボイドが観察される

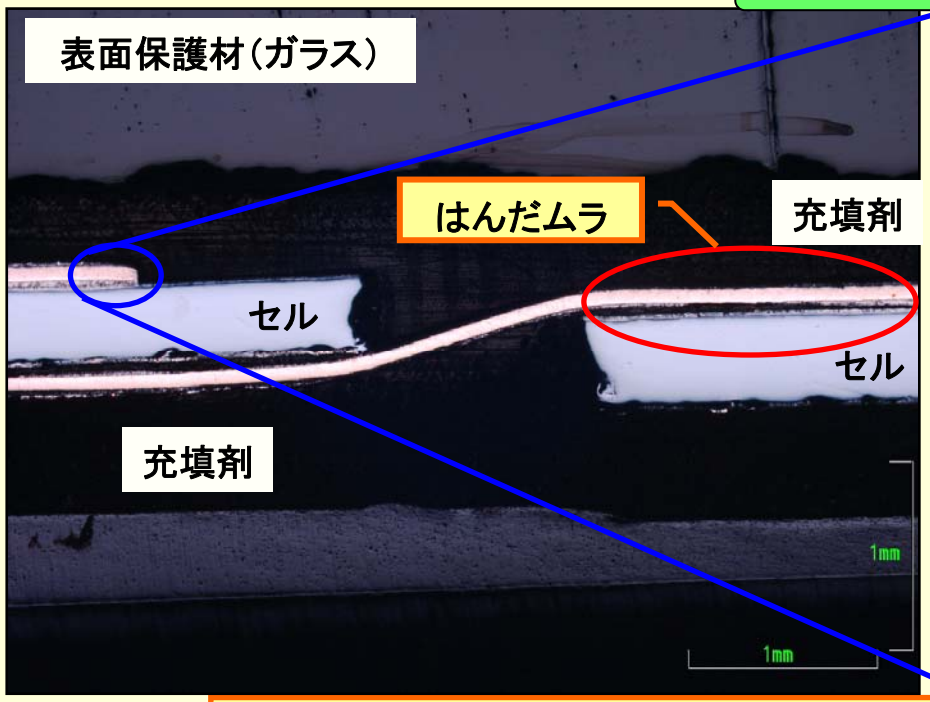
・インターコネクタ部にボイドが観察されました。
・モジュール外への電力取り出し部は充填樹脂が開口しており、水分進入経路となる危険性があるため、腐食・接続性劣化に対して注意が必要です。

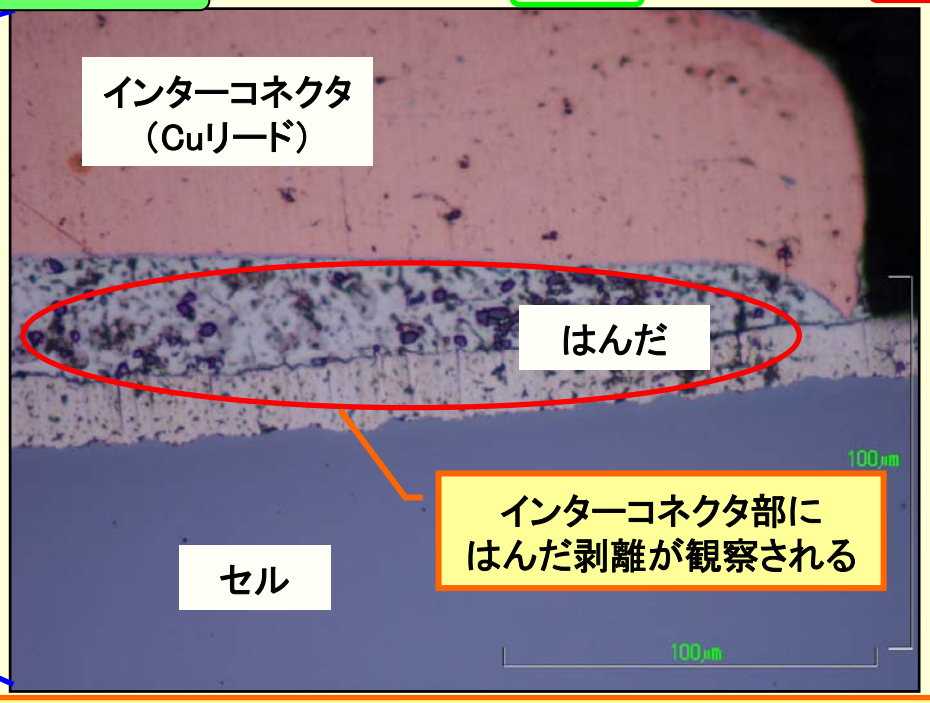
太陽電池の解析例　～断面検査OM～

単結晶シリコン型太陽電池



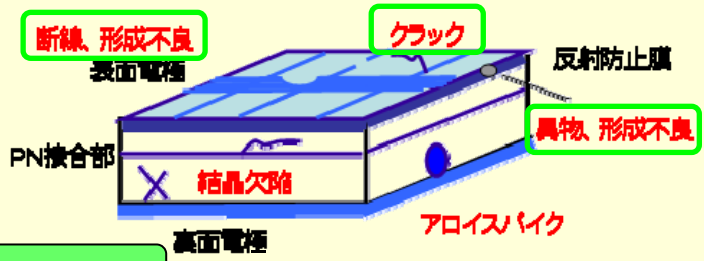
断面検査光学像





・インターコネクタ部にはんだムラ・はんだ剥離が観察されました。
・太陽電池モジュールは長期にわたって大きな温度ストレスにさらされるため、
　インターコネクタ部のはんだ接続性が経年劣化する可能性が高いです。
　初期状態での接続性が悪いと長期信頼性に影響を与えるため、注意が必要です。

太陽電池の解析例　～表面検査SEM～



ハイブリッド（HIT）型太陽電池

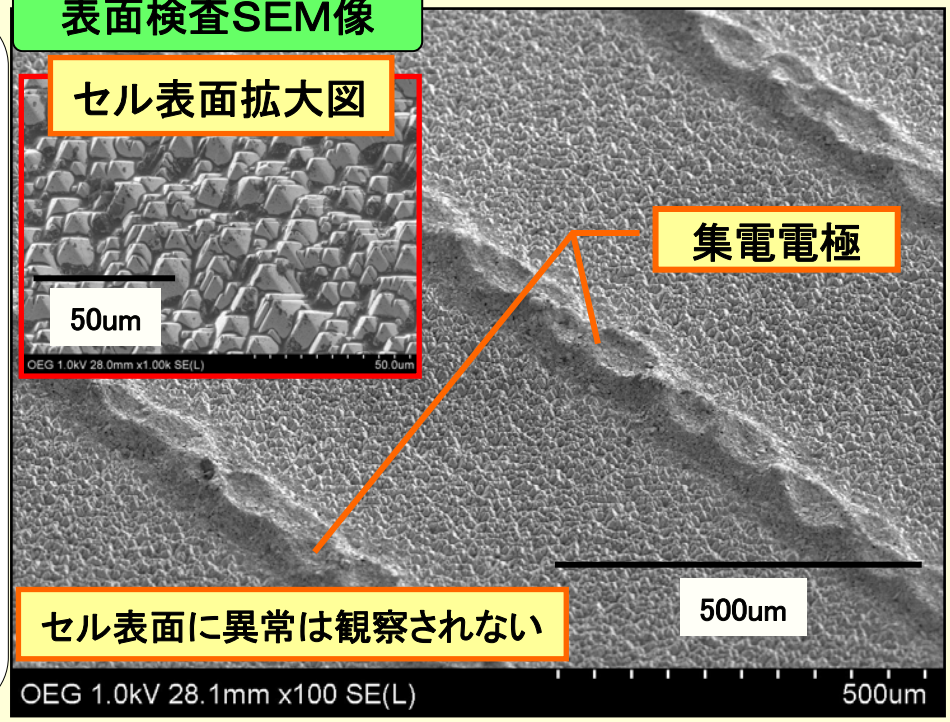
試料作成について

太陽電池セルは強化ガラスや樹脂接着剤で封止されているため、単体化（取り出し）は非常に困難です。
機械除去・薬液除去を安易に実施すると、失敗を招きます。

セル単体化失敗例

OEGでは独自のヒートホーク方式で
単体化を可能といたしました。

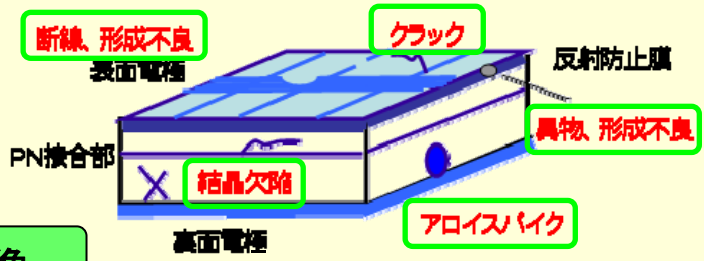
表面検査SEM像



・セル表面に異常は観察されませんでした。
・セル本体は薄型化が進み割れ易くなっていますが、微細なクラックを充填樹脂越しに検出することは困難です。
そこで樹脂を除去した後に表面の詳細検査を行うことで、微細なクラックの検出を可能としております。
クラックが発生している場合は発電効率の低下、最終的には温度ストレスによりクラックが進行して
故障にいたる危険性があるため、注意が必要です。

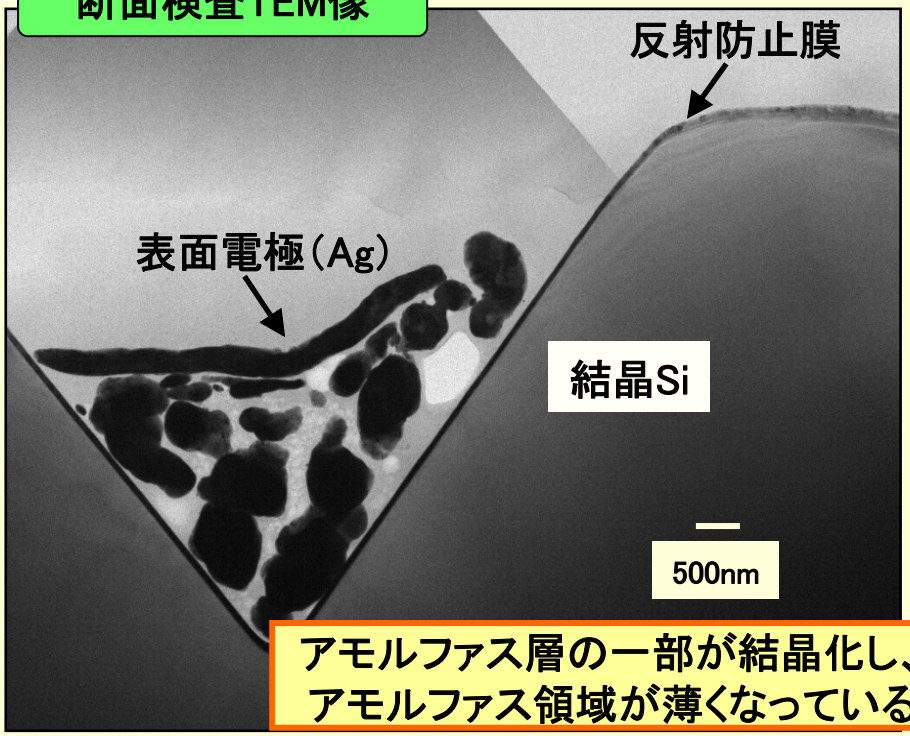
© Copyright 2009 Oki Engineering Co., Ltd　沖エンジニアリング株式会社　All rights reserved

太陽電池の解析例 ～断面検査TEM～



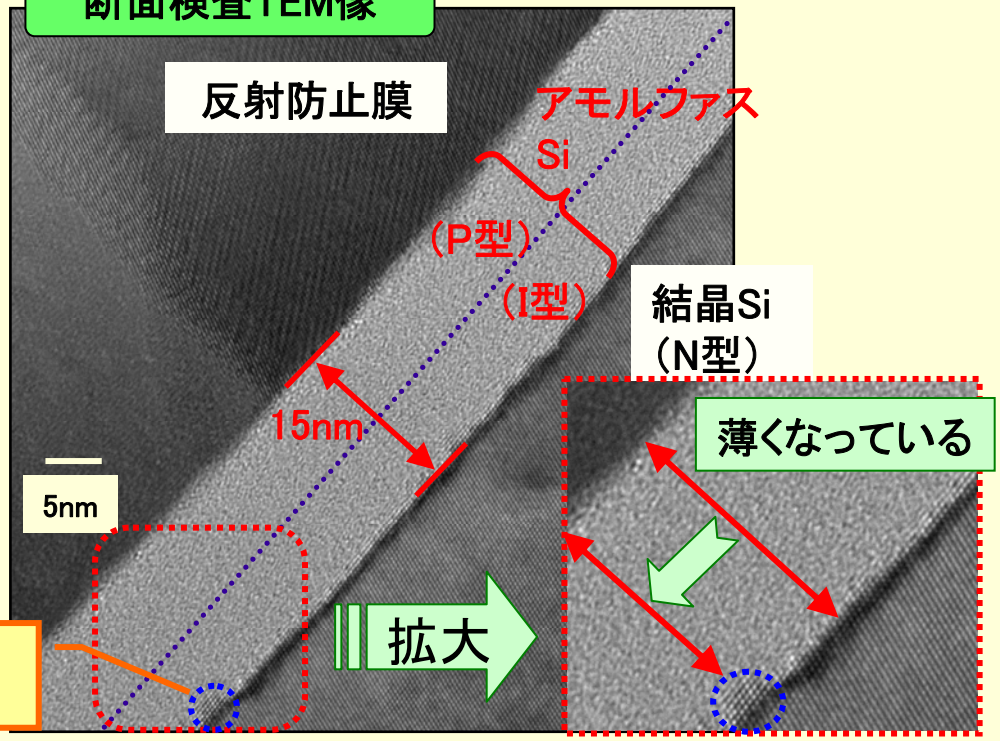
ハイブリッド（HIT）型太陽電池

断面検査TEM像



アモルファス層の一部が結晶化し、
アモルファス領域が薄くなっている

断面検査TEM像

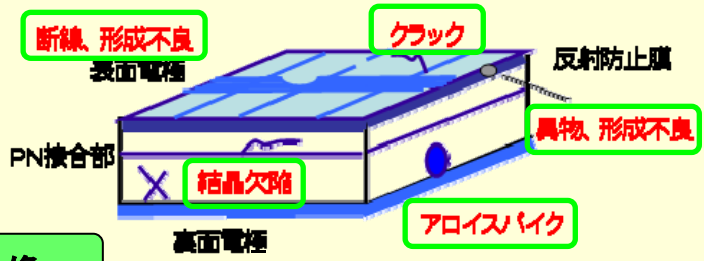


・アモルファス層の一部に結晶化が見られました。
　結晶化領域の大きさや発生頻度によっては発電効率を低下させるため、注意が必要です。
・セルの積層構造はナノメートルオーダーで制御されております。
　そのため、各層が基準どおり作られているかが重要となります。
・結晶欠陥は発生箇所によっては発電効率を低下させるため、欠陥の有無も注意が必要です。

© Copyright 2009 Oki Engineering Co., Ltd

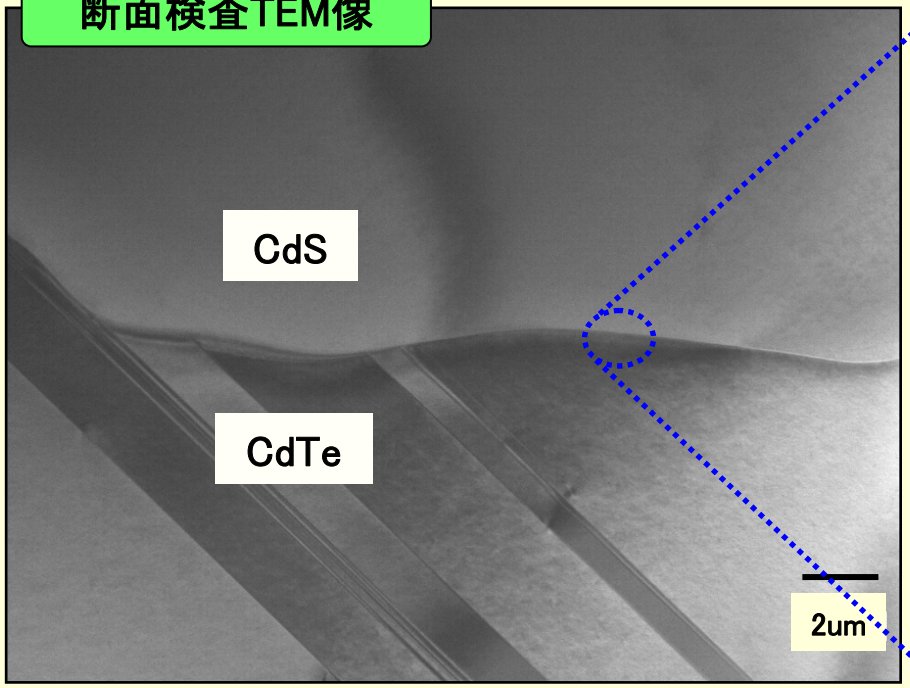
All rights reserved

太陽電池の解析例 ～断面検査TEM～

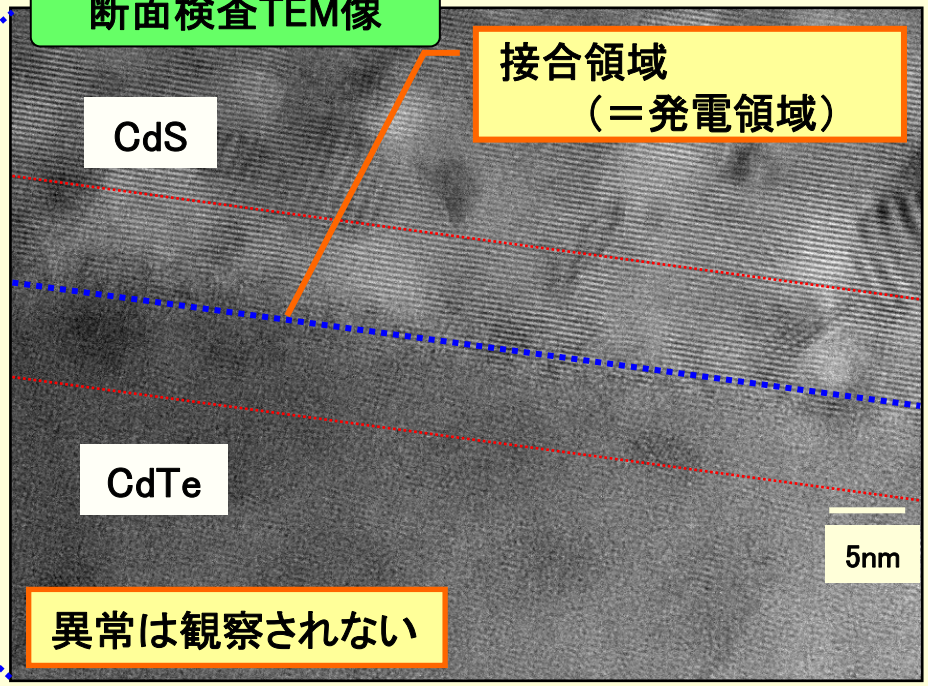


化合物系（CdTe-CdS）

断面検査TEM像



断面検査TEM像



・観察の結果、異常は観察されませんでした。
・先ほどと同様に、接合領域（＝発電領域）に欠陥があると発電効率の低下を招くため、注意が必要です。

太陽電池の解析例　～まとめ～

太陽電池の作りこみ品質を確認するために、良品解析により構造部の詳細な検査を実施いたしました。
その結果、以下の検査により、種々の欠陥が検出可能であることを確認いたしました。

検査項目	観察装置	検査対象	検出される欠陥要因
外観検査	光学顕微鏡	表面・裏面保護材、充填剤、インターコネクタ、はんだ接続部	失透、異物、汚れ、クラック、断線、短絡、ボイド
透過X線検査	X線検査装置	インターコネクタ、はんだ接続部	異物、断線、短絡、ボイド、クラック
断面検査OM	光学顕微鏡	表面・裏面保護材、充填剤、インターコネクタ、はんだ接続部、セル	異物、汚れ、クラック、断線、短絡、ボイド
表面検査OM	光学顕微鏡	表面・裏面電極、反射防止膜、セル	断線、形成不良、クラック、異物
表面検査SEM	SEM	表面・裏面電極、反射防止膜、セル	断線、形成不良、クラック、異物
断面検査SEM	SEM	表面・裏面電極、反射防止膜、セル（PN接合部）	断線、形成不良、クラック、異物、結晶欠陥、アロイスパイク
断面検査TEM	TEM	表面・裏面電極、反射防止膜、セル（PN接合部）	断線、形成不良、クラック、異物、結晶欠陥、アロイスパイク、組成

OEGでは太陽電池モジュールの組み立て構造からセル部の微細構造まで、詳細な検査が可能です。
太陽電池の信頼性に不安をお持ちであれば、これらの検査を実施されることをお薦めいたします。

© Copyright 2009 Oki Engineering Co., Ltd

All rights reserved

MEMSの解析例　～解析サンプル～

今回解析に使用するサンプルとして、以下を選定いたしました。

- 圧力センサ
- ジャイロセンサ
- 2軸加速度センサ
- 3軸加速度センサ

今回は、これらのうちから自動車やゲーム機等、多岐にわたり普及が著しい加速度センサのうち、比較的構造が複雑であった

「3軸加速度センサ」

の解析例をご紹介いたします。

© Copyright 2009 Oki Engineering Co., Ltd

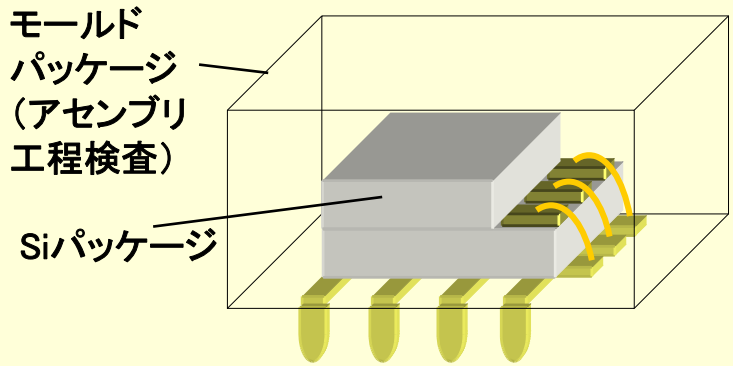
All rights reserved

MEMSの解析例

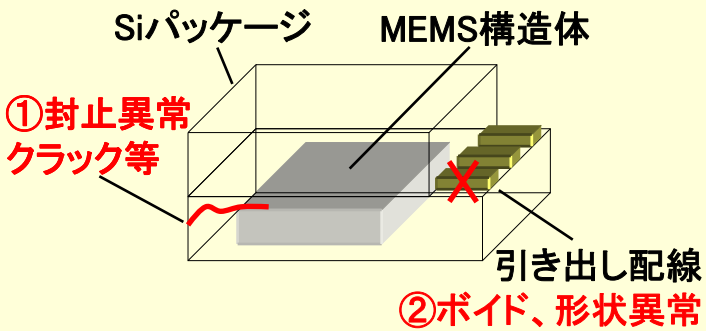
～MEMS良品解析の検査項目～

信頼性上問題となる欠陥例（パッケージ・センサ全体）

●モールド全体図

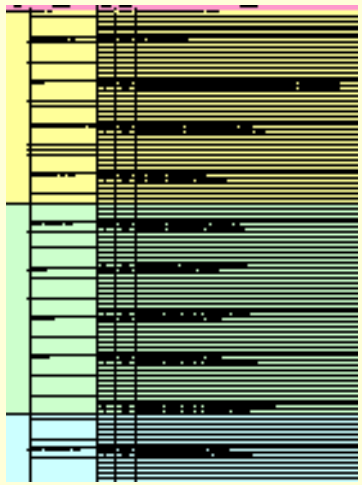


●Siパッケージ



検査項目	観察装置	検査対象	検出される欠陥要因	要因番号
アセンブリ工程検査	光学顕微鏡、X線検査装置 超音波探査装置、赤外顕微鏡	アセンブリ、Siパッケージ	アセンブリ要因；変色、クラック、デラミ等 Siパッケージ；封止異常、クラック、ボイド、形状異常	①②

独自の診断基準

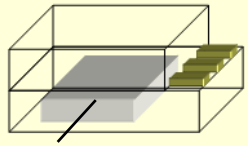


診断結果を基に、想定される故障に対する注意喚起や、改善に対するご提案をいたします。

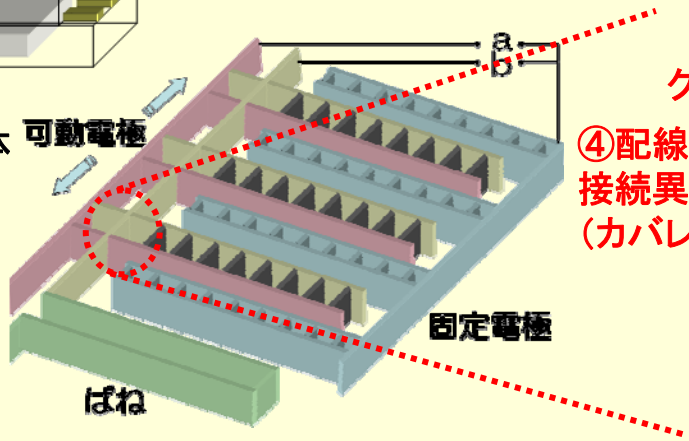
MEMSの解析例

～MEMS良品解析の検査項目～

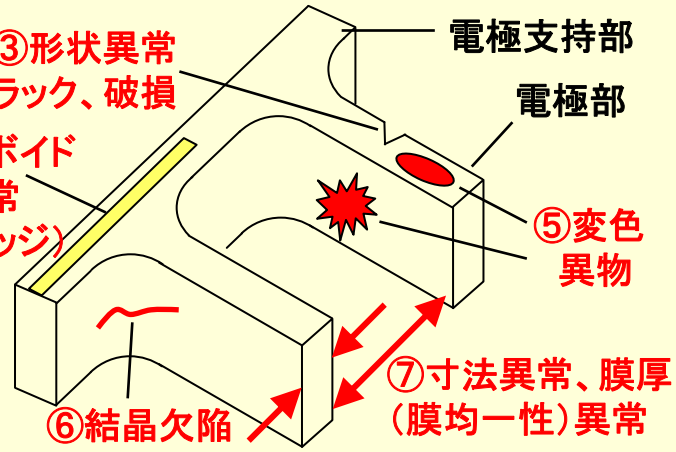
信頼性上問題となる欠陥例（MEMS構造体）



●MEMS構造体概略図

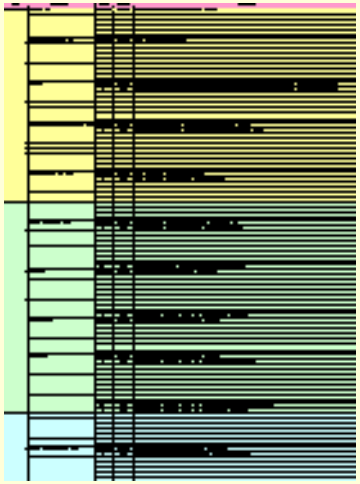


●可動電極拡大図



検査項目	観察装置	検査対象	検出される欠陥要因	要因番号
構造部検査	光学顕微鏡 SEM	Siパッケージ内外、配線、 機械構造部(表面、裏面)	形状異常、クラック、破損、変色、異物、 寸法異常	③⑤⑦
断面検査SEM	SEM	Siパッケージ内部、配線、 機械構造部	形状異常、クラック、破損、配線ボイド、 接続異常、異物、寸法異常、膜厚異常	③④⑤⑦
平面検査SEM	SEM	Siパッケージ内部、 機械構造部	形状異常、クラック、破損、異物、結晶欠陥、 寸法異常、膜厚異常	③⑤⑥⑦
断面検査TEM	TEM	配線、機械構造部、組成	形状異常、クラック、破損、配線ボイド、 接続異常、異物、寸法異常、膜厚異常、組成	③④⑤⑦
平面検査TEM	TEM	機械構造部，組成	形状異常、クラック、破損、異物、結晶欠陥、 寸法異常、膜厚異常、組成	③⑤⑥⑦

独自の診断基準



診断結果を基に想定される故障に対する注意喚起や、改善に対するご提案をいたします。

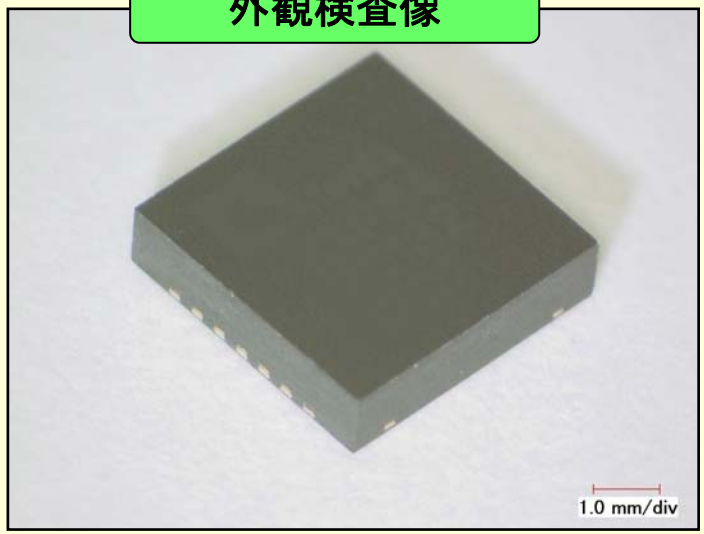
実際に解析した結果から、代表的な事例をご紹介いたします

© Copyright 2009 Oki Engineering Co., Ltd

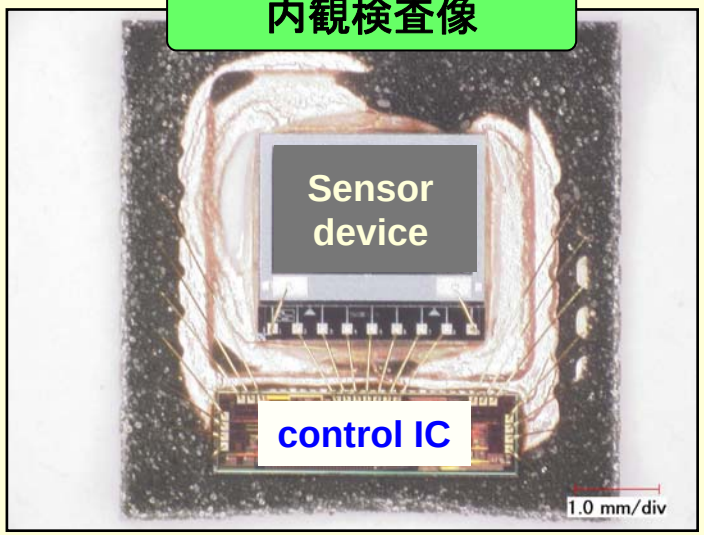
All rights reserved

MEMSの解析例 ～アセンブリ工程検査～

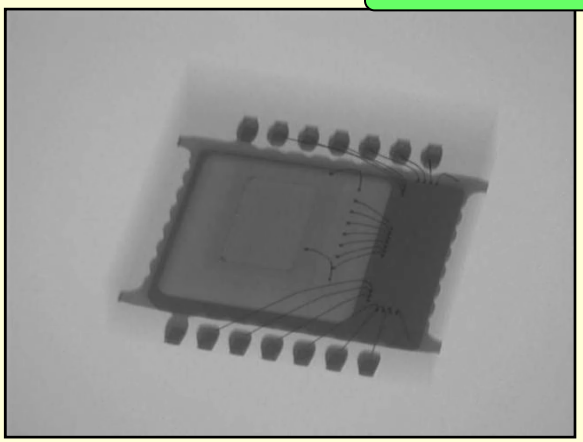
外観検査像

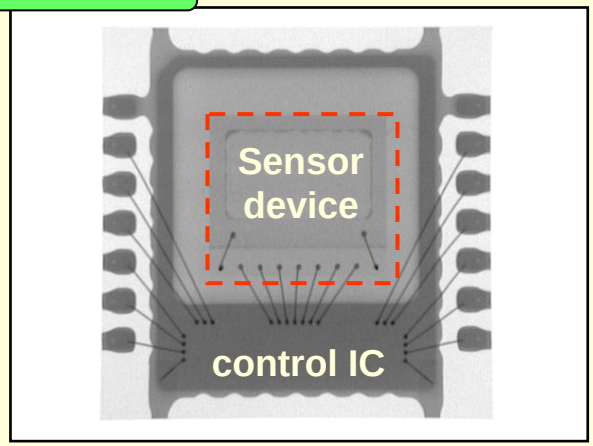


内観検査像



透過X線検査像

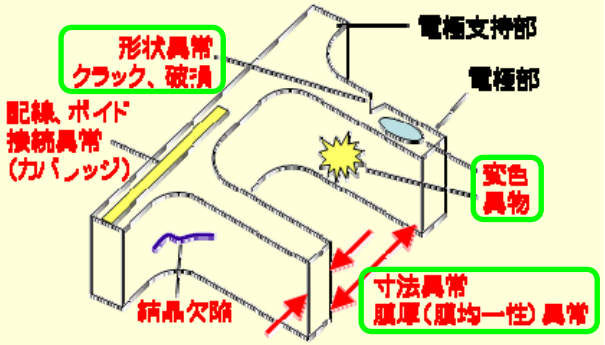




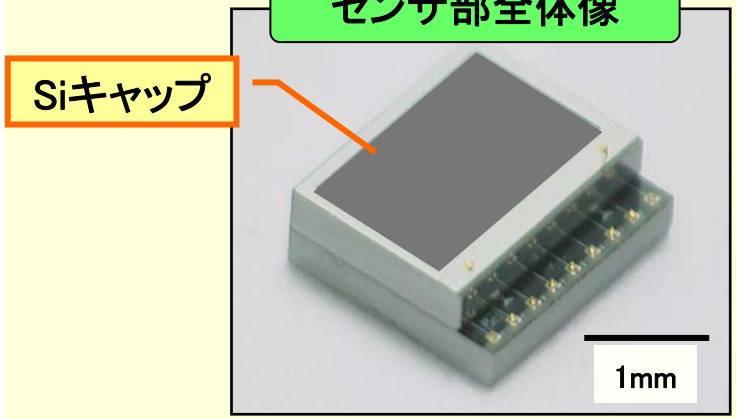
・解析の結果、異常は観察されませんでした。
・アセンブリ工程の検査に関しては、従来のLSIの検査手法がそのまま適用できることが確認されました。

MEMSの解析例

～構造部検査SEM；表面～



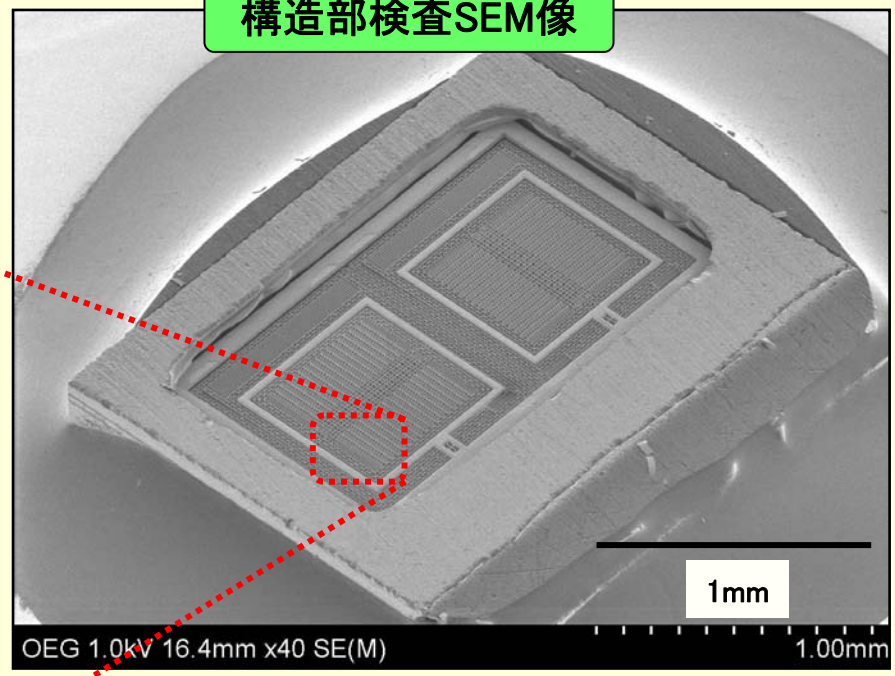
センサ部全体像



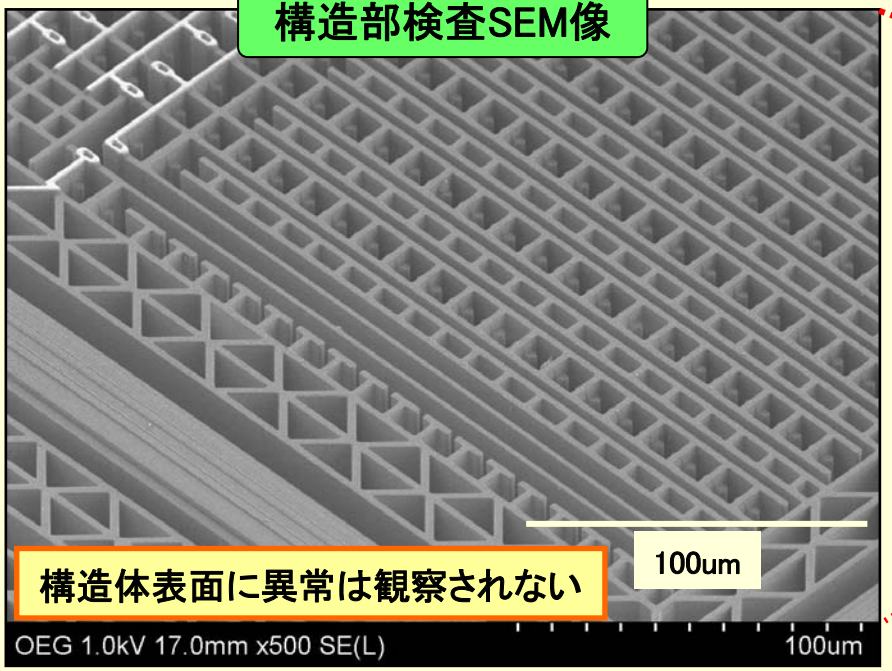
樹脂包埋した後、

Siキャップを除去

構造部検査SEM像



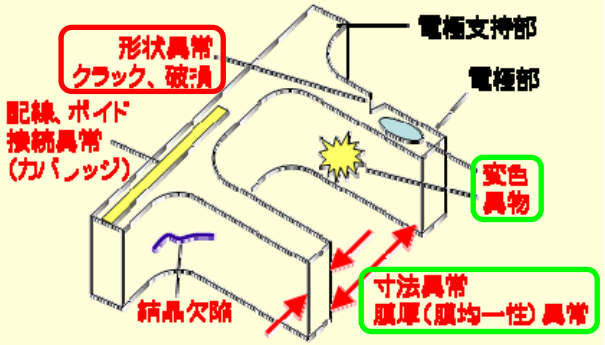
構造部検査SEM像



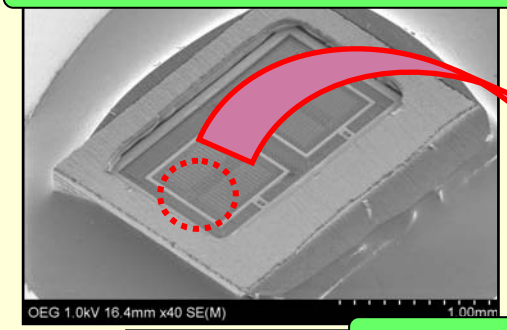
・構造部表面検査の結果、異常は観察されませんでした。
・異物の存在や破損の兆候が観察される場合は、
センサ特性に影響する危険性があるため注意が必要です。

MEMSの解析例

～構造部検査SEM；裏面～

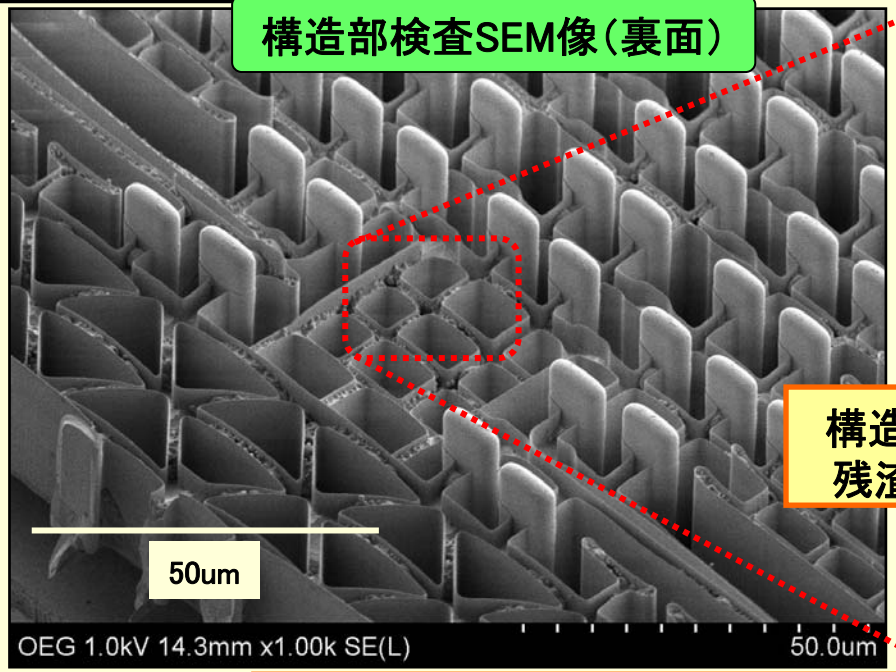


構造部検査SEM像（表面）

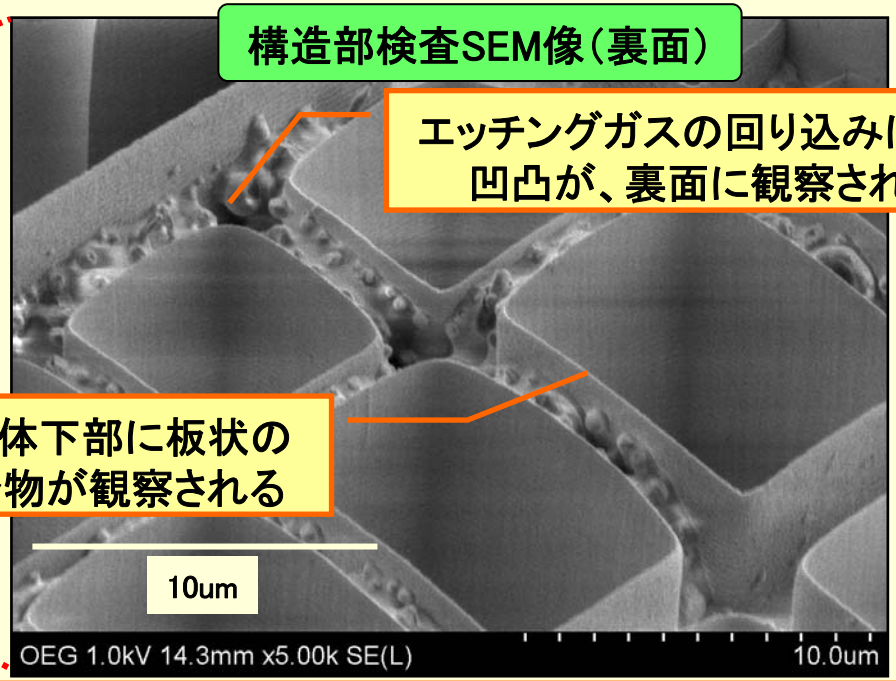


MEMSセンサ部は中空に浮いているため、
裏面にも注意を払う必要があります。

構造部検査SEM像（裏面）



構造部検査SEM像（裏面）



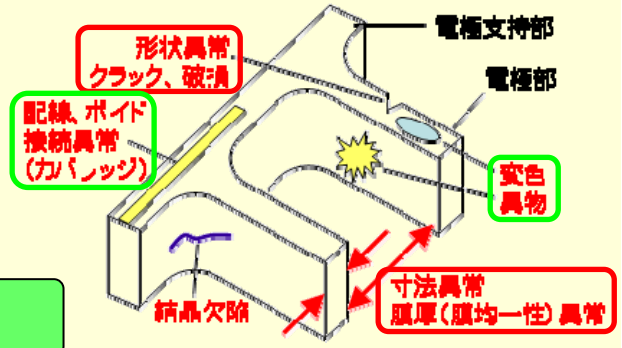
エッチングガスの回り込みによる
凹凸が、裏面に観察される

構造体下部に板状の
残渣物が観察される

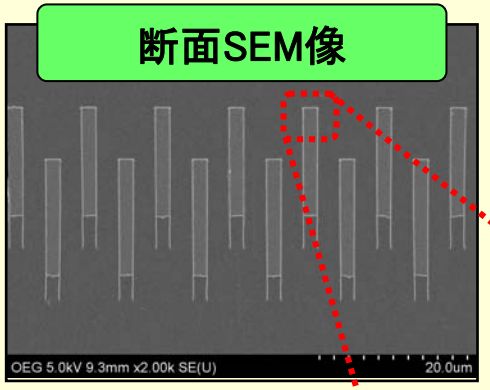
・裏面には、構造体の「凹凸」および「板状残渣物」が観察されました。
これらが脱落した場合はMEMS動作に障害を与える危険性があるため、注意が必要です。

MEMSの解析例

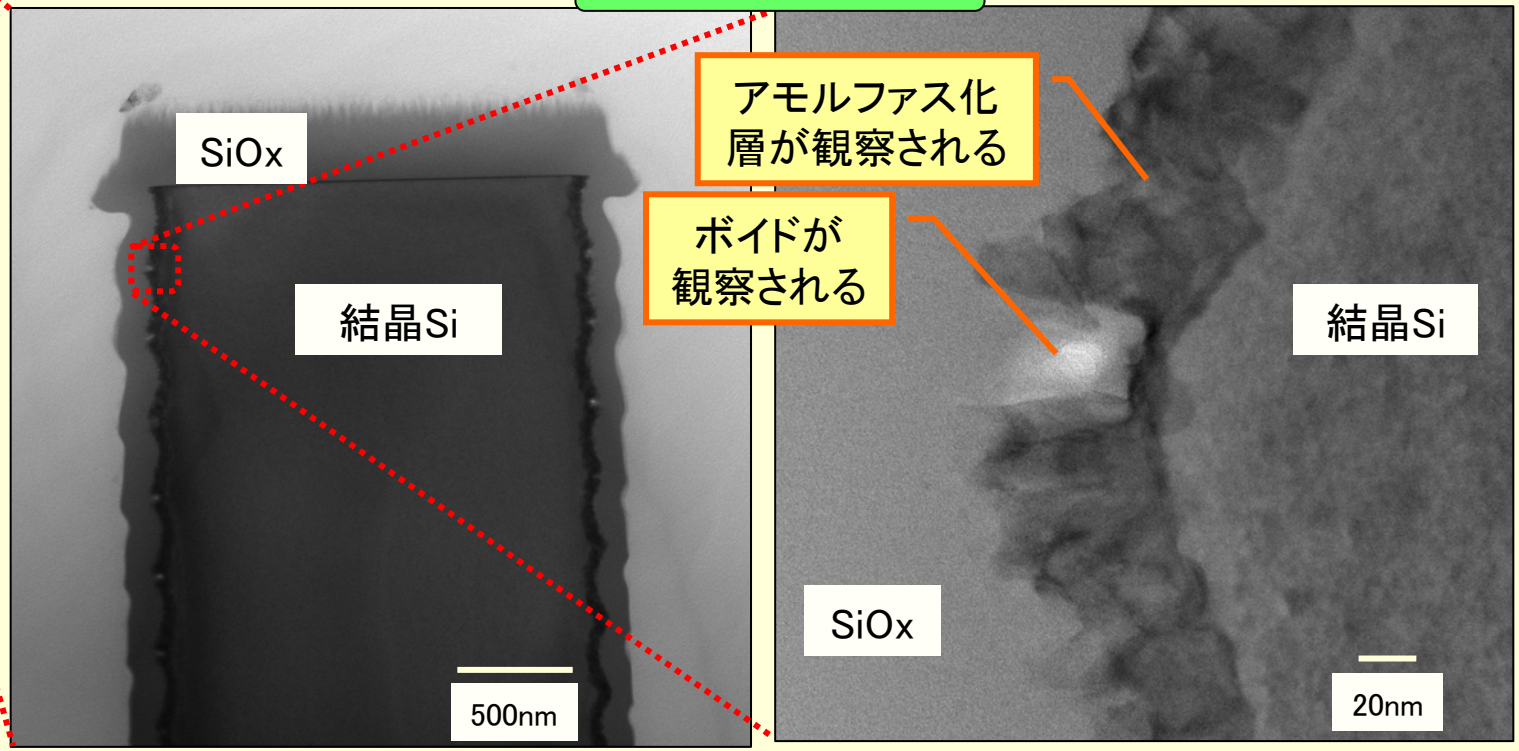
～断面検査TEM～



断面SEM像



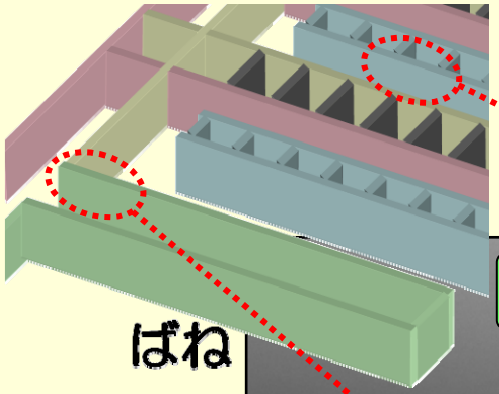
断面TEM像

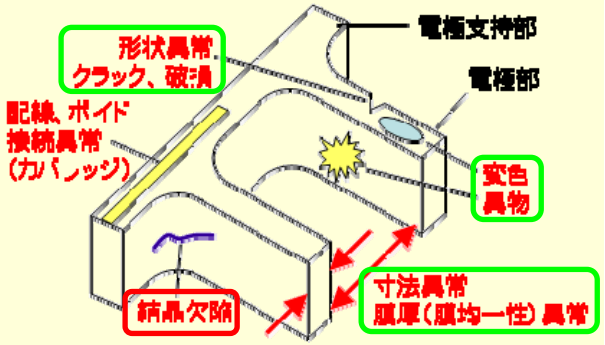


・構造体側面にアモルファス化層が、またアモルファス化層中にボイドが観察されました。
・これらは構造体を形成している結晶Siに対して不連続な状態となっており、機械的強度の低下を招く危険性があるため、注意が必要です。

MEMSの解析例

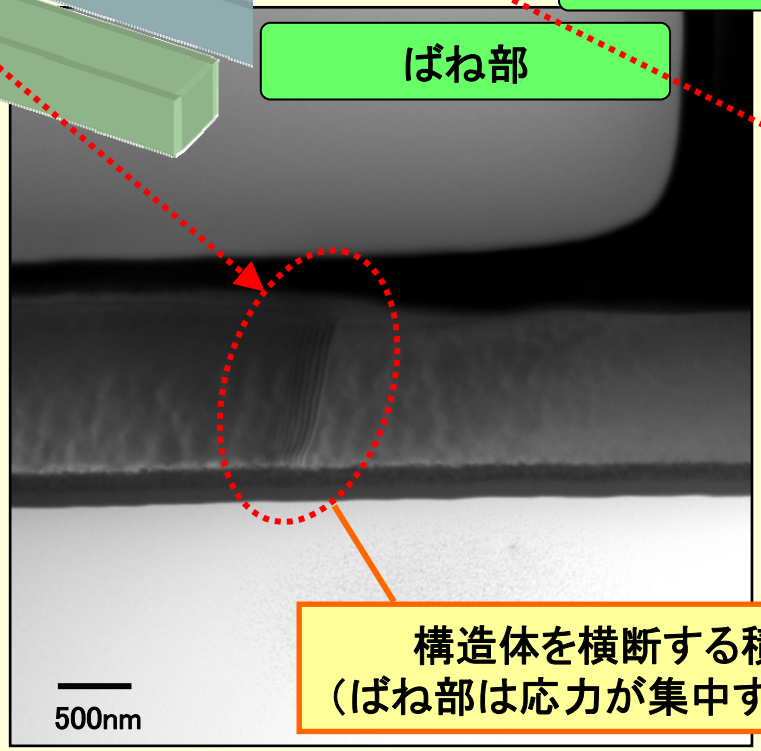
～平面検査TEM～



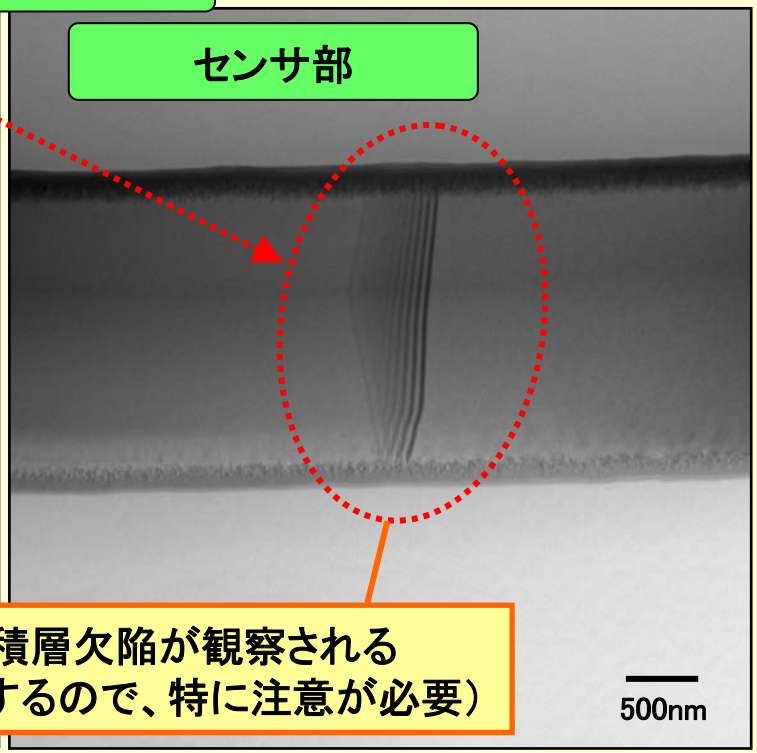


平面TEM像

ばね部



センサ部



構造体を横断する積層欠陥が観察される
（ばね部は応力が集中するので、特に注意が必要）

・構造体を横断する積層欠陥が観察されました。
積層欠陥は機械的強度の低下を招くおそれがあるため、注意が必要です。

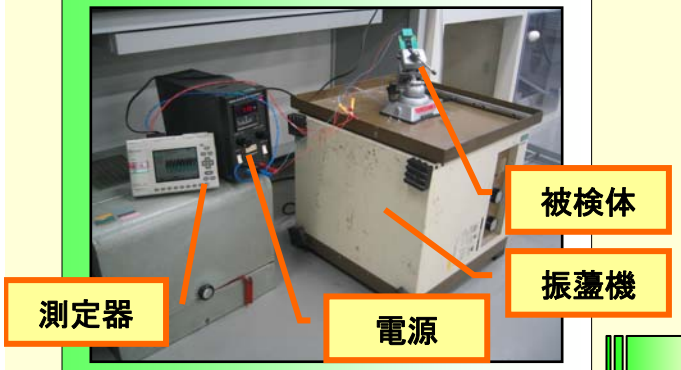
MEMSの解析例

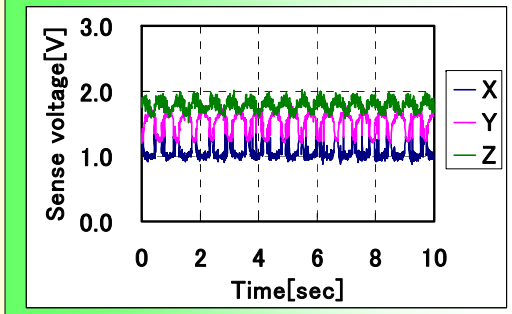
～次のステップ～

MEMSの欠陥と実故障の因果関係については、現在も様々な機関で研究が進められており、学会・論文等でも議論の対象となっております。

OEGでは実故障デバイスの詳細な観察を行うことで、MEMS可動部のウィークポイント洗い出しを実施中です。

●初期特性の取得



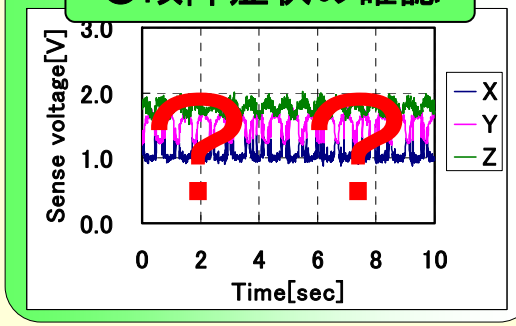


ストレス印加による故障誘発

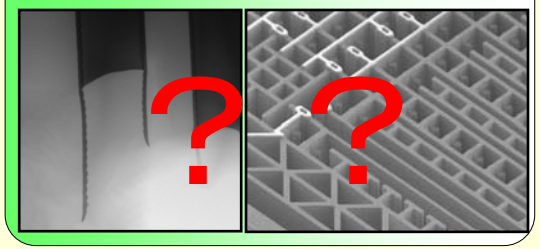
●振動試験

●熱ストレス

●故障症状の確認



●故障デバイスの解析



MEMSの解析例 ～まとめ～

MEMSの作りこみ品質を確認するために、良品解析により構造部の詳細な検査を実施いたしました。
その結果、以下の検査により、種々の欠陥が検出可能であることを確認いたしました。

検査項目	観察装置	検査対象	検出される欠陥要因
アセンブリ工程検査	光学顕微鏡、X線検査装置 超音波探査装置、赤外顕微鏡	アセンブリ、Siパッケージ	アセンブリ要因；変色、クラック、デラミ等 Siパッケージ；封止異常、クラック、ボイド、形状異常
構造部検査	光学顕微鏡 SEM	Siパッケージ内外、配線、 機械構造部(表面、裏面)	形状異常、クラック、破損、変色、異物、 寸法異常
断面検査SEM	SEM	Siパッケージ内部、配線、 機械構造部	形状異常、クラック、破損、配線ボイド、 接続異常、異物、寸法異常、膜厚異常
平面検査SEM	SEM	Siパッケージ内部、 機械構造部	形状異常、クラック、破損、異物、結晶欠陥、 寸法異常、膜厚異常
断面検査TEM	TEM	配線、機械構造部、組成	形状異常、クラック、破損、配線ボイド、 接続異常、異物、寸法異常、膜厚異常、組成
平面検査TEM	TEM	機械構造部，組成	形状異常、クラック、破損、異物、結晶欠陥、 寸法異常、膜厚異常、組成

OEGではMEMSの組み立て構造から、センサ部の微細構造まで、詳細な検査が可能です。
MEMSの信頼性に不安をお持ちであれば、これらの検査を実施されることをお薦めいたします。

© Copyright 2009 Oki Engineering Co., Ltd

All rights reserved

総まとめ

・太陽電池およびMEMSに対して、良品解析により構造部の詳細な検査を実施いたしました。
・各アセンブリ組み立て、太陽電池のセル部、MEMSのセンサ部において、種々の欠陥が検出可能であることを確認いたしました。

●ここで例示したような良品解析を実施することで、製品の作りこみ品質の評価が可能です。
●太陽電池やMEMSを新たに導入するに際して、「作り込み品質」の詳細検査を行い、品質管理指標の一つとされることをお薦めいたします。

© Copyright 2009 Oki Engineering Co., Ltd

All rights reserved

インフォメーション

本日は時間の都合もあり、ご紹介しきれなかった内容が多々ございます。
より詳細な内容を含む発表を以下に予定しておりますので、こちらもご覧頂ければ幸いです。

●第39回信頼性・保全性シンポジウム（日本科学技術連盟）
『LSIプロセス診断法によるMEMSデバイスの評価試行』
2009年7月13日　（発表済み）

●第19回RCJ信頼性シンポジウム（財団法人 日本電子部品信頼性センター）
『MEMSデバイスの構造評価システム』
2009年10月22～23日発表予定

●35th International Symposium for Testing and Failure Analysis（ISTFA）
『Evaluation Trial of MEMS Devices by LSI Process Diagnostics』
2009年11月17～19日発表予定（ポスターセッション）

※本日、日科技連で発表した論文のコピーをお持ちしました。
興味のある方に差し上げますので、この後16：30から予定されております
名刺交換タイムに、お声がけください。

ご清聴ありがとうございました

お問合せ先

沖エンジニアリング株式会社

信頼性技術事業部
営業技術グループ
TEL：03-5920-2354
田中　まで

E-mail：　oeg-rsales-g@oki.com
URL：　http://www.oeg.co.jp/
ご連絡をお待ちしております

本日ご紹介した内容は、OEG独自のLSI良品解析技術である
「LSIプロセス診断法」をベースとしております。
こちらに関してもご説明資料を用意しておりますので、是非お問い合わせ下さい。