2008 OEGセミナー

最新のLSIプロセス診断技術と パターン解析技術

2008年7月8日

沖エンジニアリング株式会社
信頼性技術事業部
村原　大介

本日の発表内容

・LSIプロセス診断システムの概要

・最新のLSIプロセス診断システム

・最新の界層解析技術とパターン解析技術

・まとめ

1．LSIプロセス診断の概要

1.1 LSIプロセス診断の開発背景

・微細加工の進歩、高性能・高品質の要求に最適化されたデバイス製造プロセス
・故障の減少と信頼性の向上

↓

・従来の信頼性試験やDPA（destructive physical analysis）だけではチップ内部の不具合要素検出は困難

↓ 対策

・チップ内部の微細な内在欠陥や不具合構造を最適な手法で観察（検出）
・ウェーハプロセスで起こりうる不具合とその影響度合いを考慮した判定基準で対象を評価する技術

↓ 開発

LSIプロセス診断

1.2 LSIプロセス診断システムとは

LSIプロセス診断システム

・電気的に良品であるデバイスの内部構造の詳細な観察

・将来故障の要因となりうる不具合要素の有無や構造のばらつき等からデバイスの品質や故障に至る危険性を推測・評価・選別

- 5項目の検査項目 → 検査技術／手順／検査仕様
- 54項目の評価項目 → 診断基準（採点システム）解析書（標準）
- データベースシステム → 取得データの効率的な管理

高信頼性システムのための部品を効果的にスクリーニングする手法

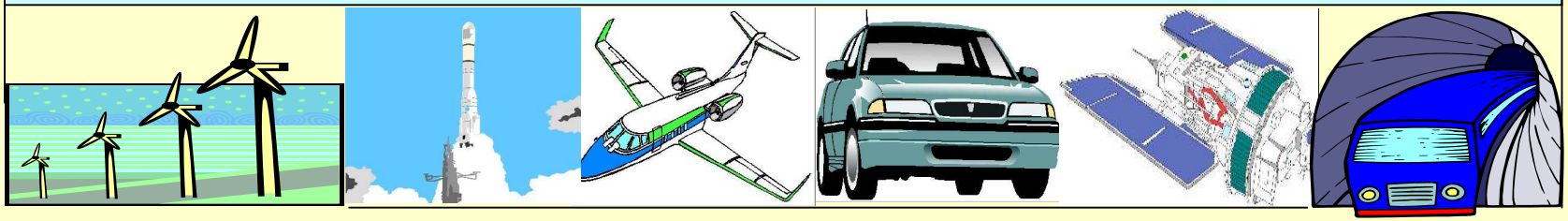
1.3 LSIプロセス診断の必要性

・半導体部品のウェーハプロセス情報は一般的にユーザー側からはブラックボックス

・ユーザー側でプロセス情報を収集・蓄積可能なツールの必要性

自動車・電力・通信・宇宙・航空など

高信頼性システムメーカー共通の課題

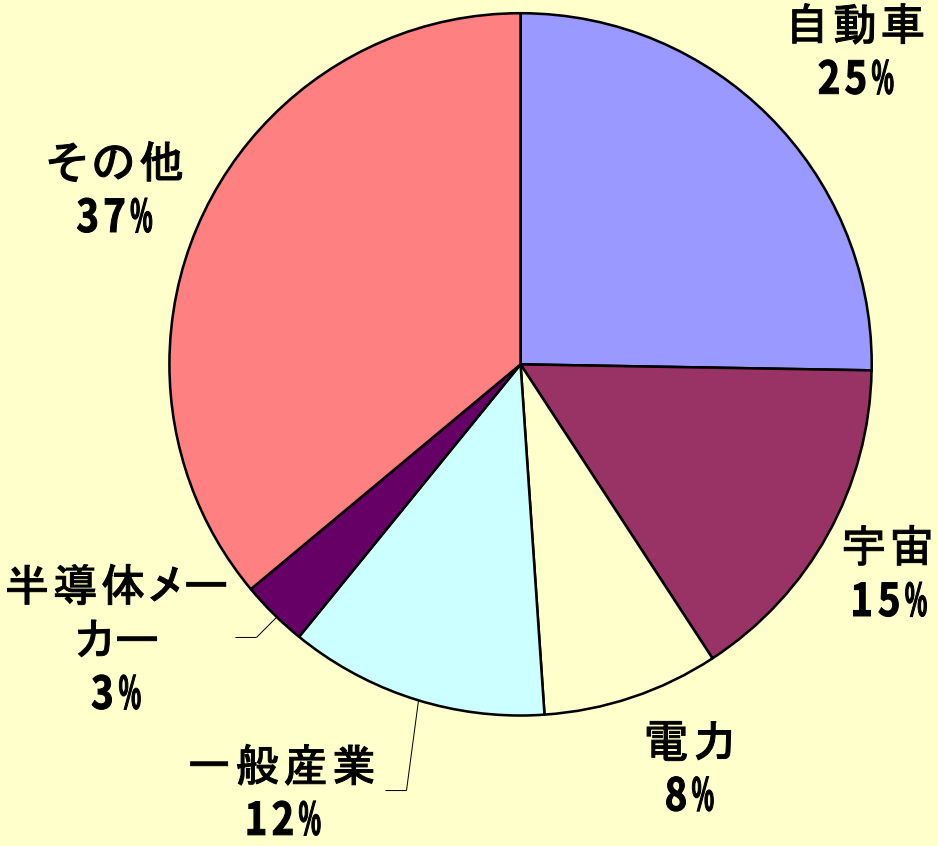


不安解消

LSIプロセス診断

1.3 LSIプロセス診断の必要性

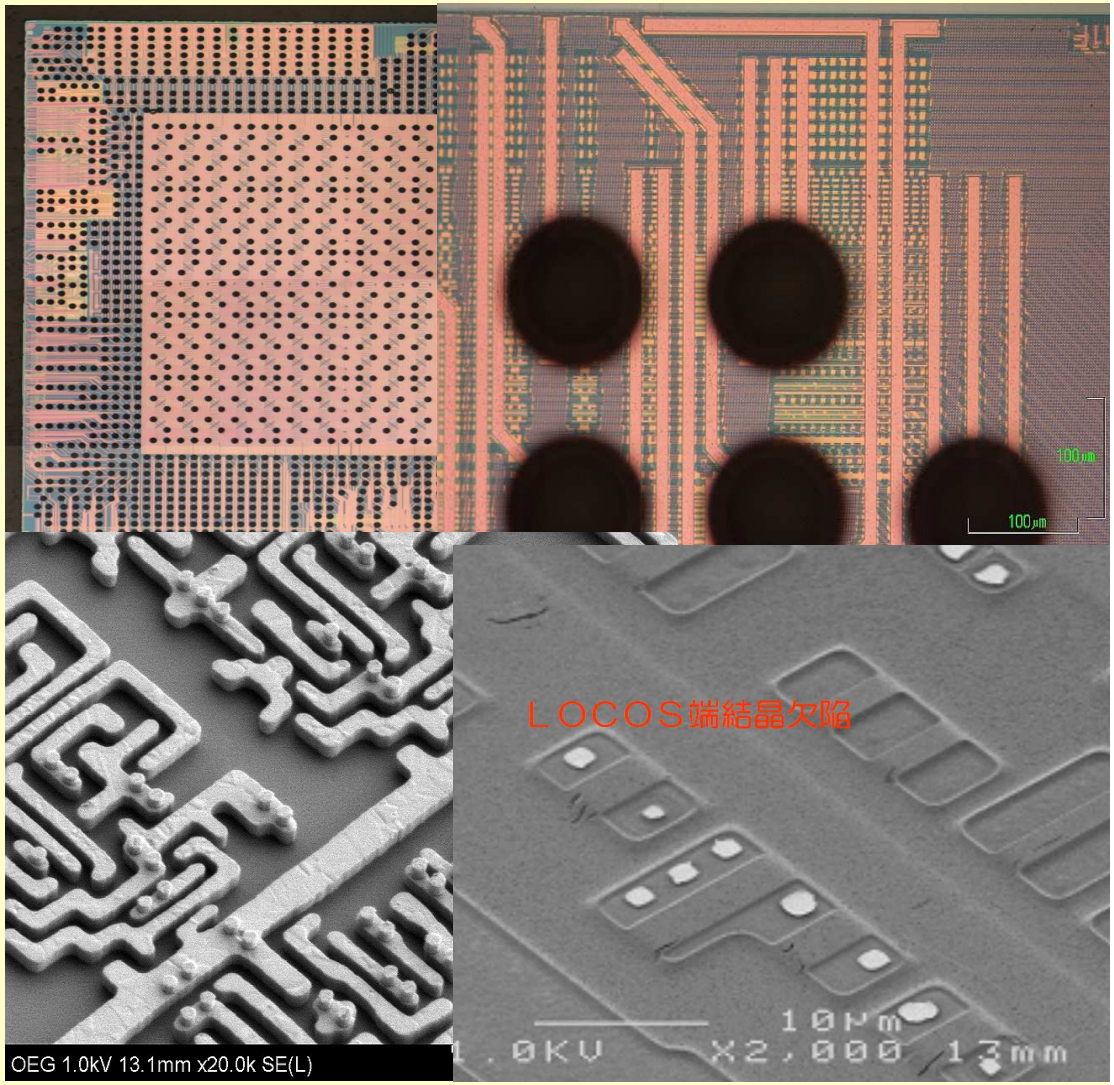
良品解析業種別売り上げ比（2007年度）



売り上げの60%以上がLSIプロセス診断

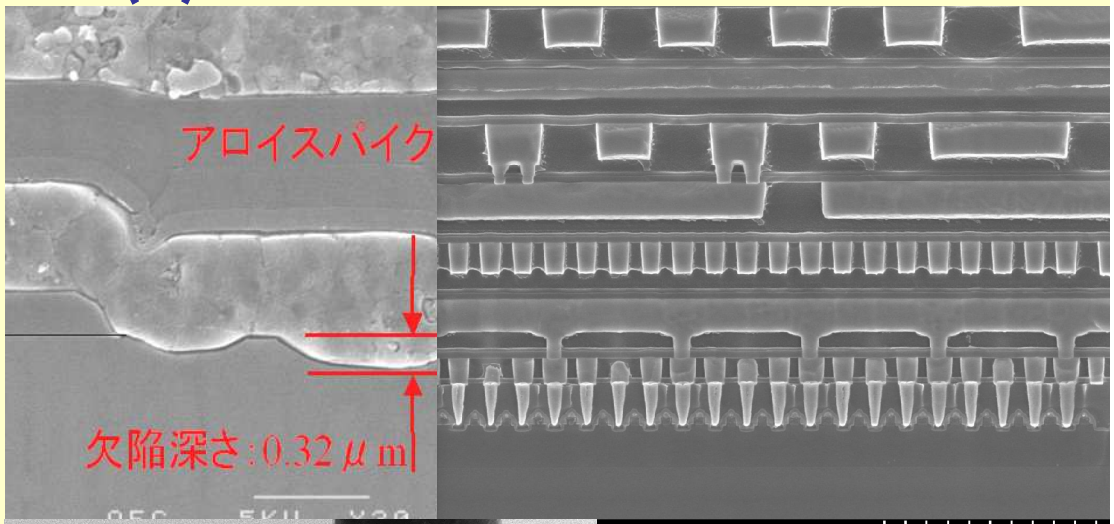
1.4 LSIプロセス診断の検査項目(1)

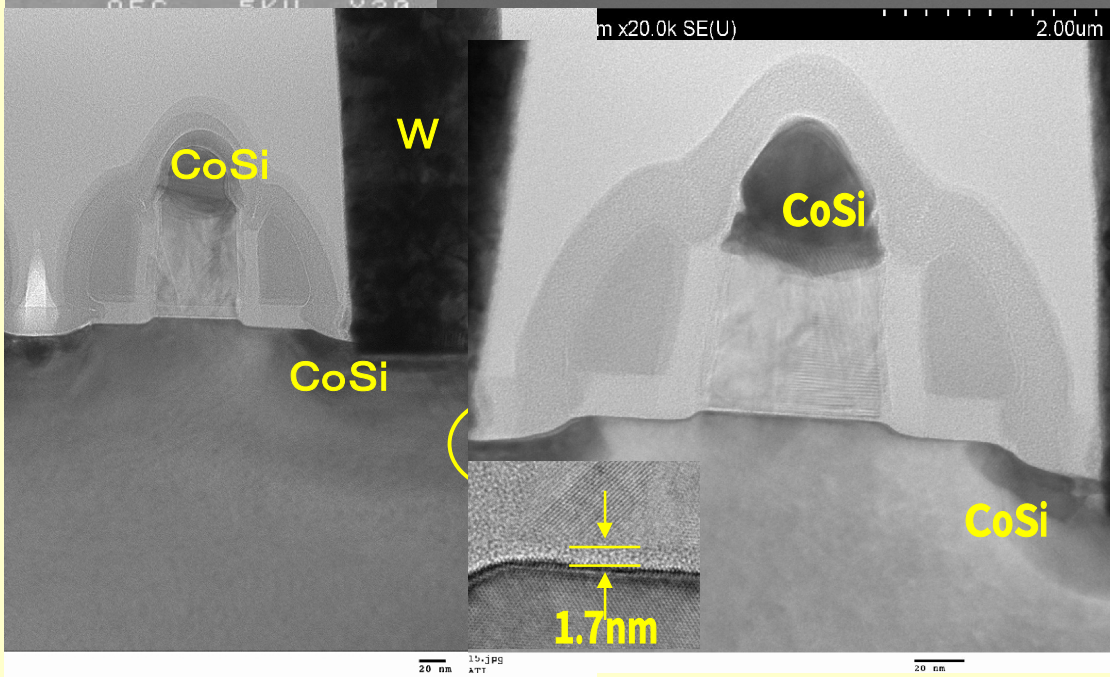
No.	検査項目および観察装置	検出される欠陥要因
1	表面検査 OM	パッシベーション メタライゼーション
2	PV膜除去検査 SEM	メタライゼーション（トップ）
3	界層解析検査 OM/SEM	層間絶縁膜 メタライゼーション，基板
4	断面SEM検査 SEM	積層構造 配線，ゲート電極，コンタクトなど
5	断面TEM検査 TEM	積層構造，組成 ゲート酸化膜 コンタクトなど



1.5 LSIプロセス診断の検査項目(2)

No.	検査項目および観察装置	検出される欠陥要因
1	表面検査 OM	パッシベーション メタライゼーション
2	PV膜除去検査 SEM	メタライゼーション(トップ)
3	界層解析検査 OM/SEM	層間絶縁膜 メタライゼーション，基板
4	断面SEM検査 SEM	積層構造 配線，ゲート電極，コンタクトなど
5	断面TEM検査 TEM	積層構造，組成 ゲート酸化膜 コンタクトなど





1.6 LSIプロセス診断における評価項目例

欠陥項目No.	工程名	欠陥項目
1	ウェハ	結晶欠陥、ピンホール、クラック、スリップ
2		形状異常、エッチング不良（バーズ・ピーク）
3		異物混入
4		拡散異常、アライメント不良
5	ゲート形成（酸化膜）	連続性欠陥、結晶性欠陥、ボイド、埋込不良
6		異物混入
7		ゲート酸化膜下層Si中の結晶欠陥（深さ方向）
8		ゲート長の不一致
9		形状異常、ボイド、エッチング不良（オーバーハン
10		異物混入
11		アライメント（マスク合わせ）の不整合
12	層間絶縁膜形成	異物混入
13		平坦性異常、厚さ不良、カバレッジ不良
14		ボイド
15		構造異常
16	電極・配線形成Ⅰ	全体的な膜厚異常
17		形状異常、エッチング不良
18		Al結晶粒径（グレイン）異常［Al単層の場合］
19		配線段差部の断線（断切れ）
20		ヒロック
21		ボイド、傷
22		異物混入、汚染
23		オーバーエッチング（層間絶縁膜）
24	電極・配線形成Ⅱ	接続部のカバレッジ（テーパー接続）
25		アライメント（マスク合わせ）の不整合
26		層間接続部（アスペクト比）
27		層間接続部（開口比）

欠陥項目No.	工程名	欠陥項目
28	電極・配線形成Ⅱ	層間接続部不良（層構造問わず）
29		コンタクト下層Siの結晶欠陥
30		コンタクト部のSiノジュール（Al単層）
31		アロイスパイク（Al単層）
32		ボイド、埋込不良（プラグ接続）
33		形状異常
34		異物混入、汚染（プラグ接続）
35	保護膜形成	膜厚異常（有機保護膜を除く）
36		形状異常
37		クラック、欠け、割れ、剥離
38		ピンホール、ボイド
39		形成不良
40		異物混入、汚染
41	メモリセル部	ゲート酸化膜の結晶欠陥、厚さ不良、形状異常
42		ゲート酸化膜の異物混入
43		メモリセル部の結晶欠陥
44		連続性異常
45		形状異常、エッチング不良
46		コンタクトの接続不良
47		コンタクトのボイド、埋込不良
48		コンタクトの形状異常
49		コンタクトの異物混入、汚染
50		キャパシタ部の形状異常
51		キャパシタ部の絶縁膜異常
52		キャパシタ部のボイド、埋込不良
53		ｺﾝﾄﾛｰﾙｹﾞｰﾄ/ﾌﾛｰﾃｨﾝｸﾞｹﾞｰﾄ間絶縁膜異常
54		トンネル酸化膜異常

40＋14評価項目

診断基準

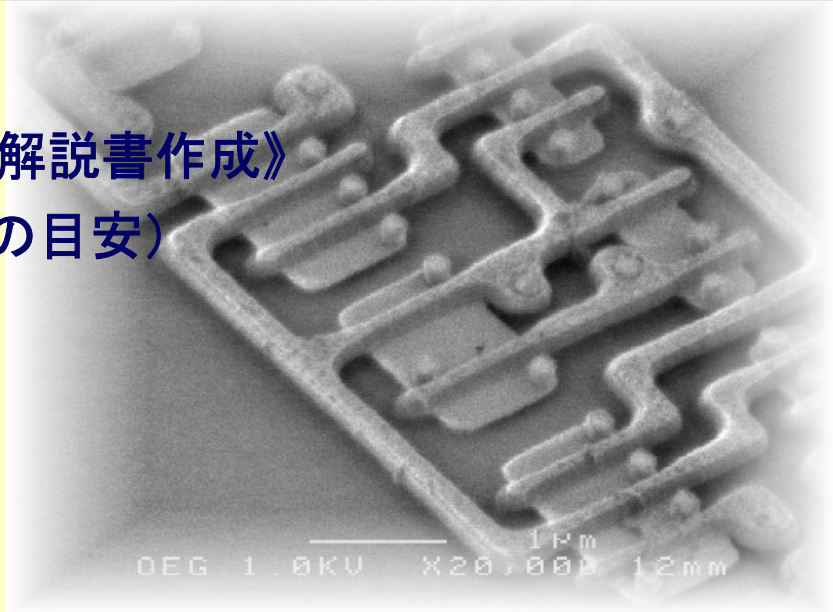
詳細解説書

採点基準

1.7 LSIプロセス診断の評価基準

検出された欠陥の分類と減点区分

分類	欠陥の厳しさ	状態	減点区分				備考
			A	B	C	D	
I	重度欠陥	致命的	-1000	―	―	0	故障を誘発する可能性大
II	中度欠陥	限定的	-300	-200	-100	0	故障を誘発する可能性中
III	軽度欠陥	保留	-30	-20	-10	0	故障を誘発する可能性小
IV	分類せず	―	―	―	―	0	―



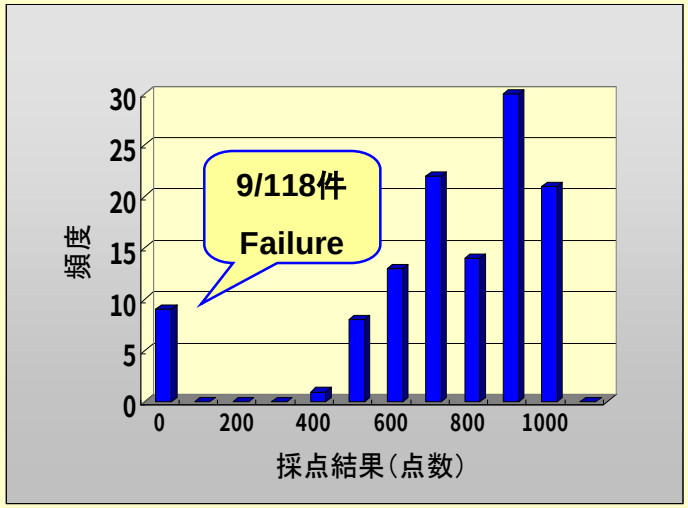
評価アイテムは主要40(+14)項目に分類される《解説書作成》

- 欠陥発生の容易さ、故障の起こりやすさ(基準の目安)
- 良品解析における不具合検出頻度
- 故障解析における故障発生頻度

1.8 LSIプロセス診断採点結果の分類

デバイスのランク付け

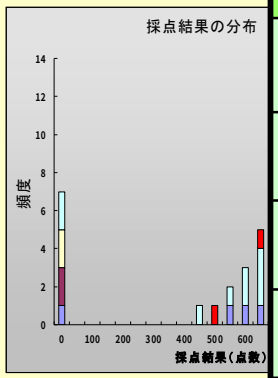
判定結果分類	採点ランク
Excellent	1000
Very good	751～999
Good	501～750
Passing	251～500
Below averaging	1～250
Failure	0



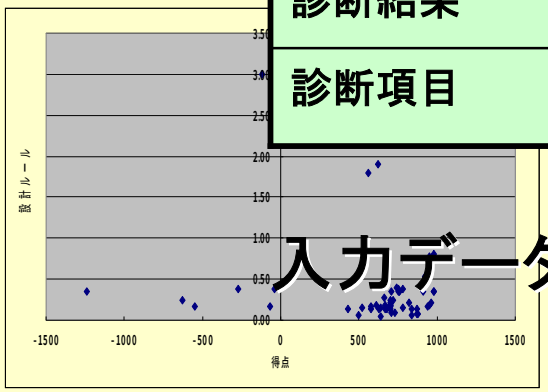
採点結果の分布例（～2007年）
118データのうち9件のFailure判定が見られる

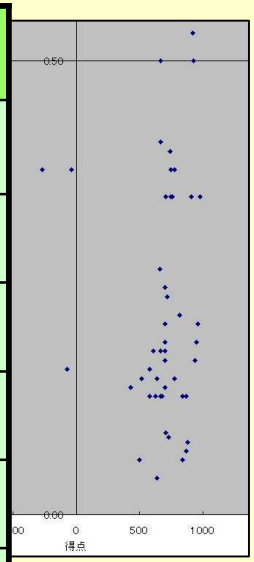
持ち点1000点から、検出された欠陥の位置、種類、大きさ毎に減点する方式を採用している

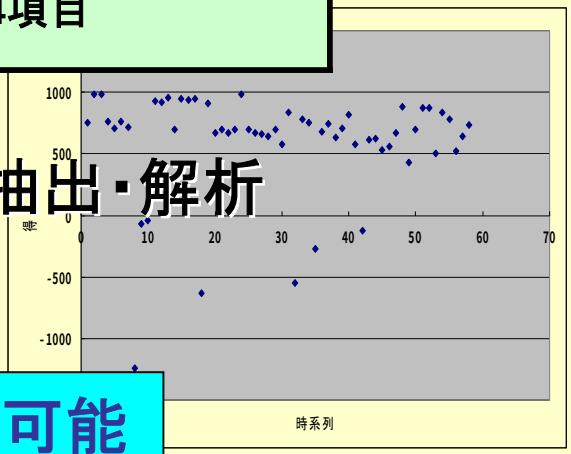
1.9 診断データのデータベース化



選択項目	分類	選択可能範囲
メーカ	メーカ毎に絞り込み	個別
型名	個別選択	個別
品種	ロジック，メモリなど	9種目
設計ルール	0.6～0.09μm	4段階
診断結果	採点結果をランク分け	7段階
診断項目	欠陥項目毎	54項目





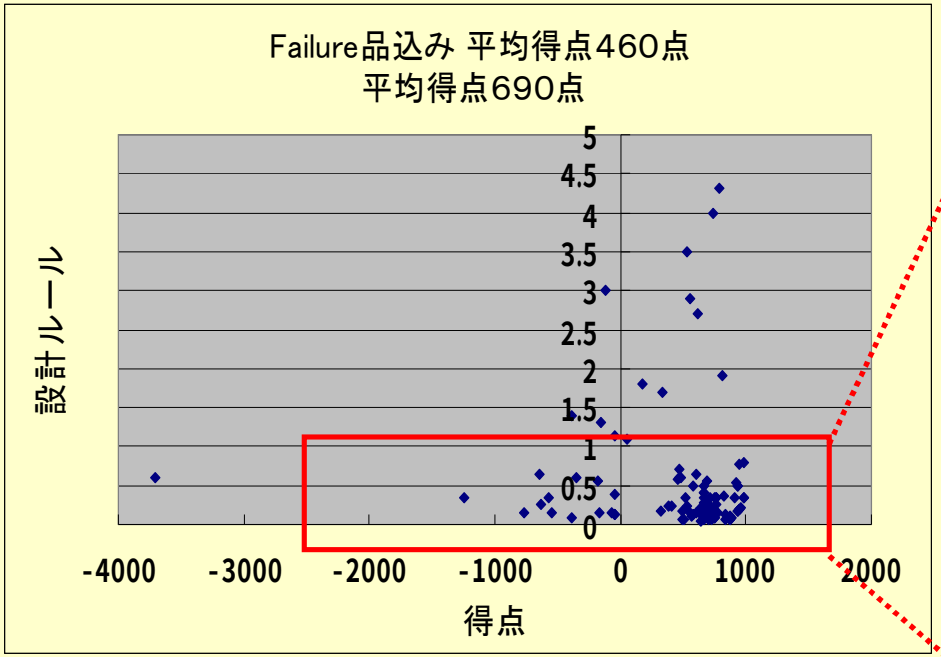


入力データ数118件

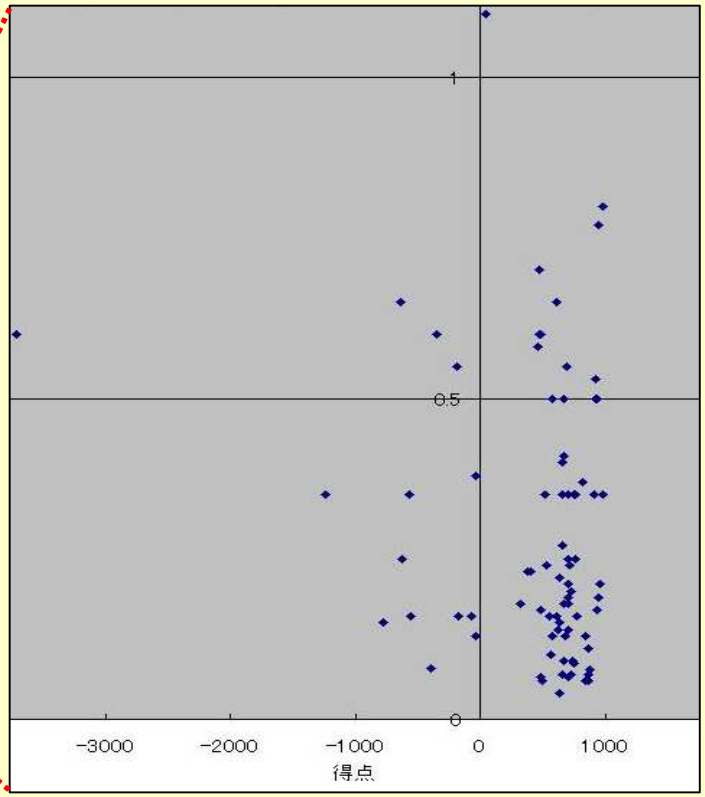
データの抽出・解析

大量の診断データの有効活用が可能

1.10 LSIプロセス診断データベースの活用例(1)



設計ルールごとの得点分布



分布の部分拡大

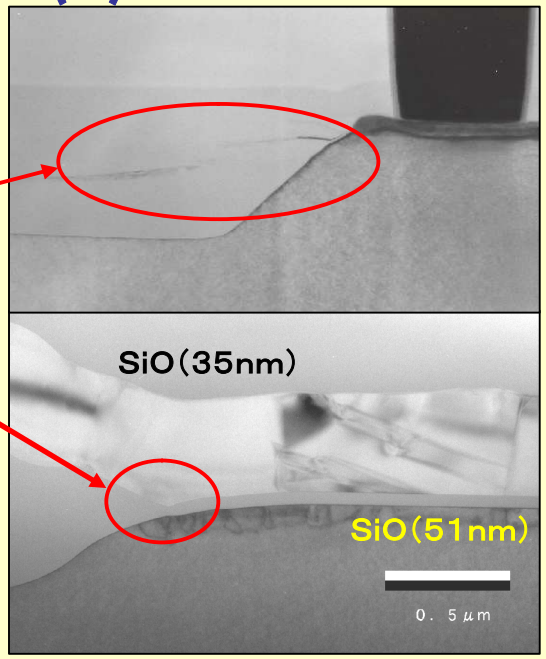
0.16μmクラスで2件、0.09μm以下で1件のFailure判定

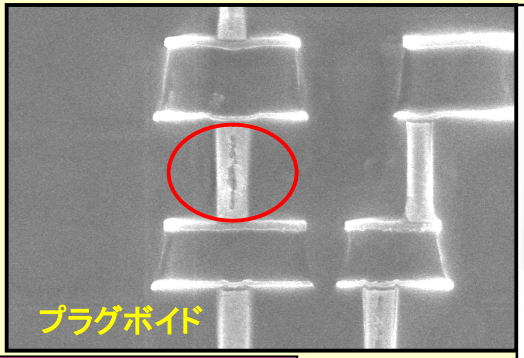
データベースから設計ルールごとの実力傾向が把握可能

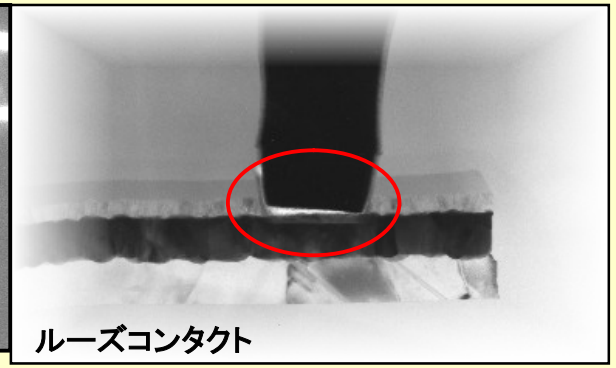
1.11 LSIプロセス診断データベースの活用例(2)

Failure判定要因はいずれも重度欠陥検出

配線途切れ(Al単層)
形状異常(バリア不形成)
接続部異物
コンタクト接合不良
素子分離部異物
基板部結晶欠陥
ゲート酸化膜厚減







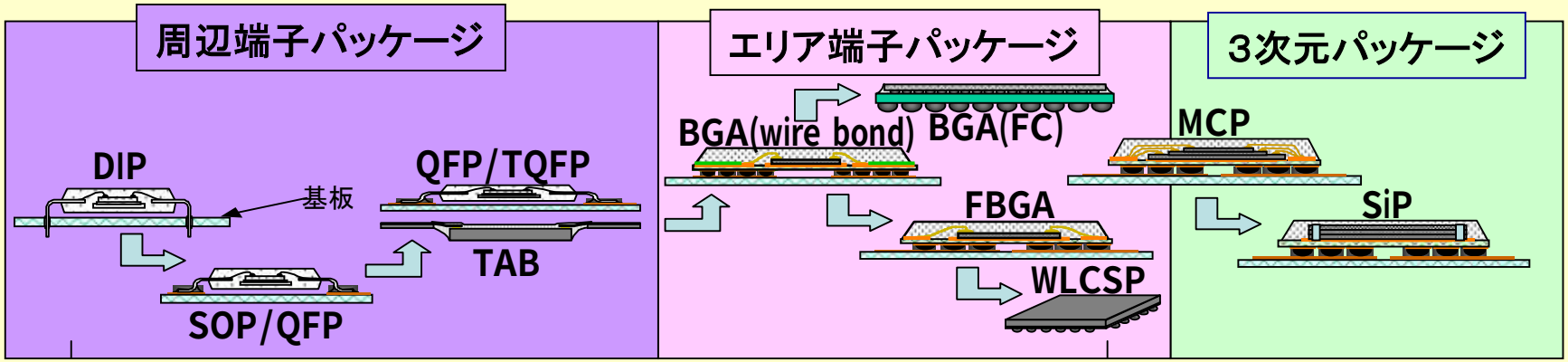
最も欠陥が検出される部位は電極・配線形成工程

データベースからFailure判定要因、故障発生頻度の傾向が把握可能

2. 最新のLSIプロセス診断システム

2.1 LSIプロセス診断における前処理に伴う問題

パッケージの複雑化



1960年　　2000年

→開封予備調査のためX線検査による内部組立構造の取得が必須

アセンブリプロセスの欠陥

・パッケージの反り、クラック、リードバリ、メッキ状態不良

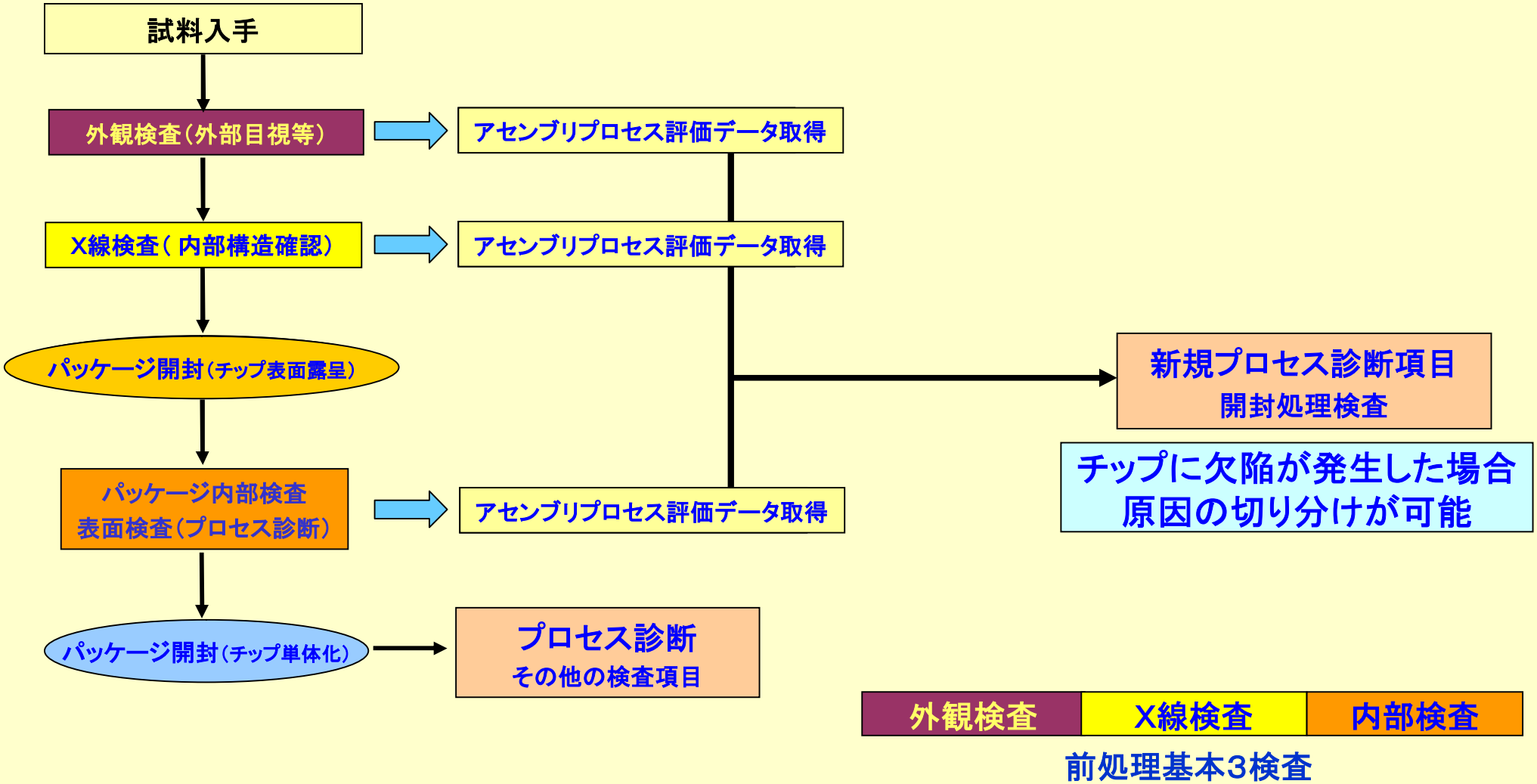
→診断中に検出例あり、アセンブリ不合格品はウェーハプロセス合格でも不合格

開封によるストレスの影響

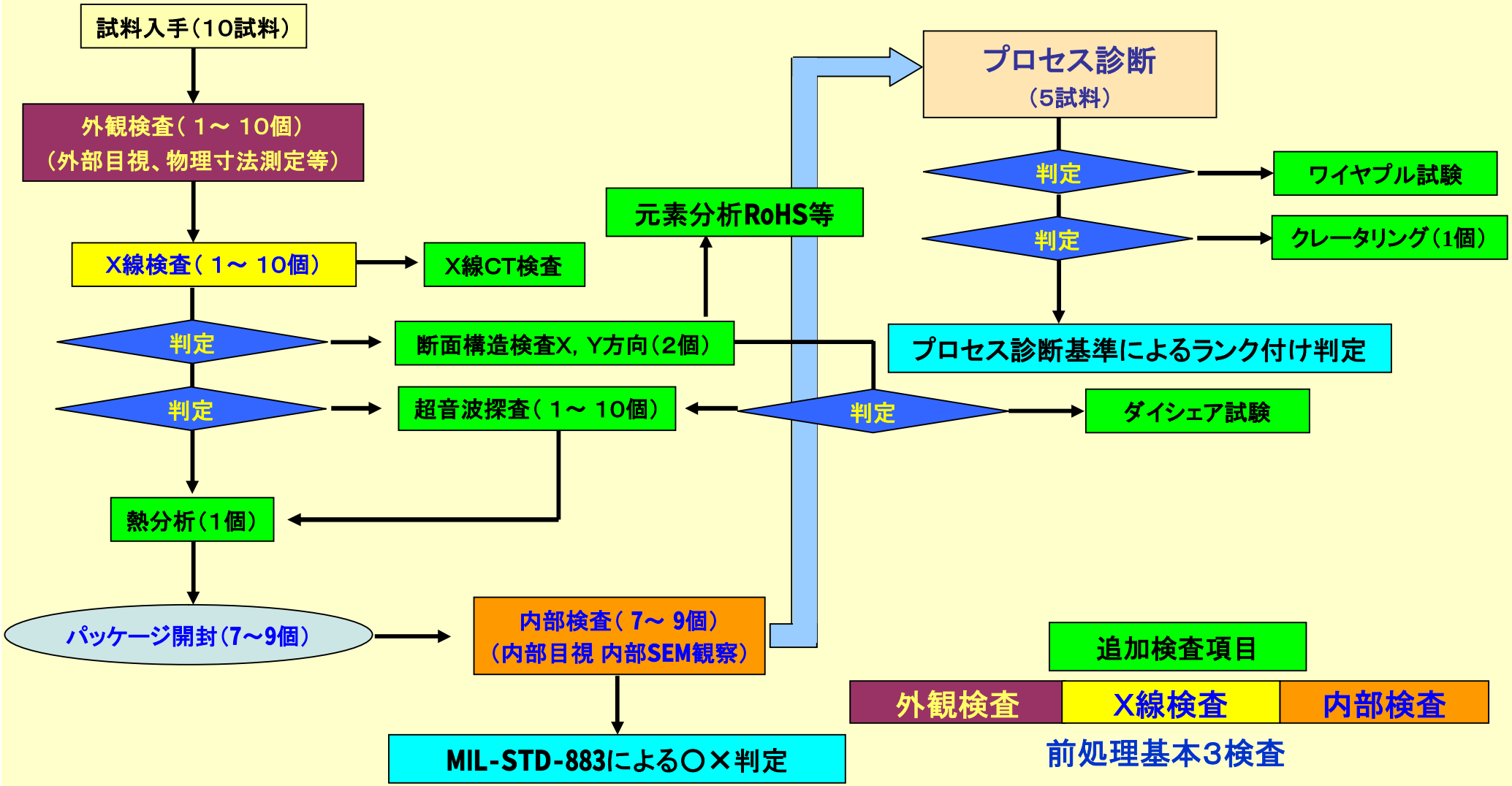
・パッシベーションクラック、ワイヤ断線

→予備開封を行い、最適な開封手法を導出する必要性

2.2 新規追加評価項目（前処理基本3検査）



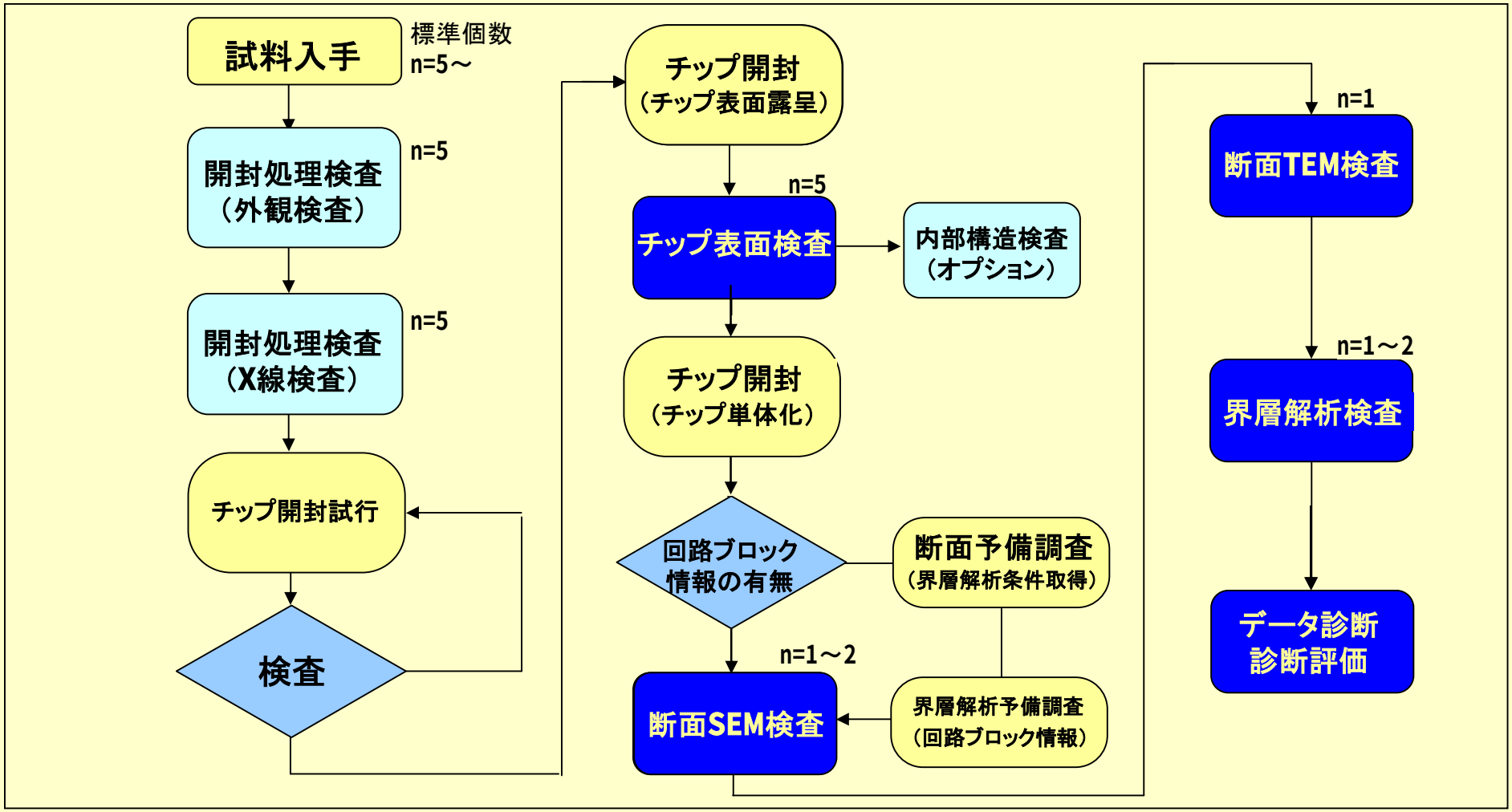
2.3 前処理基本3検査から拡張した追加診断手順（例）



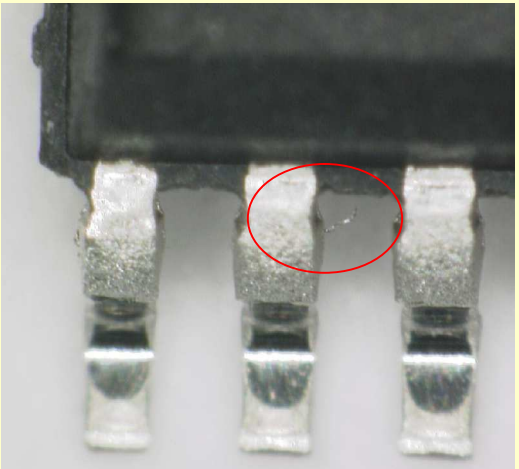
2.4 新旧システムの検査項目の比較

No.	検査項目	観察装置	検　査　対　象	検出される欠陥要因
1	開封処理検査	OM、TX	パッケージ状態、アセンブリ工程異常	変色，クラック，ボイド，異物の存在など
2	表面検査	OM	パッシベーション メタライゼーション	変色，クラック，ボイド，異物の存在など
3	界層解析検査	OM/SEM	PV膜、層間絶縁膜、メタライゼーション，基板	ボイド，異物，マスク不良 構造要因（配線幅，配線ピッチ，ゲートサイズ他）
4	断面SEM検査	SEM	積層構造 配線，ゲート電極，コンタクト等	ボイド，異物，カバレージ 構造要因（膜厚，ゲート長，コンタクト径他）
5	断面TEM検査	TEM	積層構造，組成 ゲート酸化膜，コンタクトなど	ボイド，異物，転位，構造要因 （ゲート酸化膜厚他）

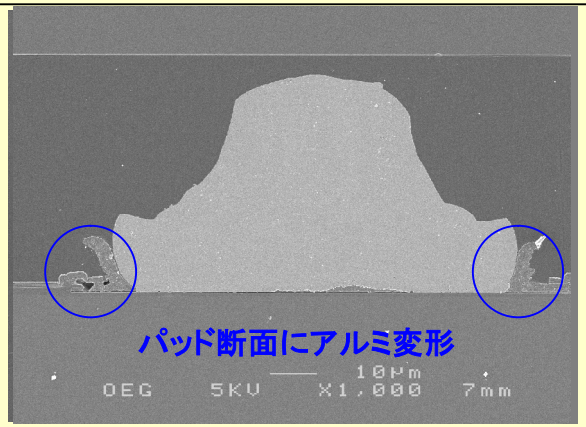
2.5 最新の検査手順


試料入手
標準個数
n=5～
開封処理検査
（外観検査）
n=5
開封処理検査
（X線検査）
n=5
チップ開封試行
検査
チップ開封
（チップ表面露呈）
n=5
チップ表面検査
内部構造検査
（オプション）
チップ開封
（チップ単体化）
回路ブロック
情報の有無
断面予備調査
（界層解析条件取得）
n=1～2
断面SEM検査
界層解析予備調査
（回路ブロック情報）
n=1
断面TEM検査
n=1～2
界層解析検査
データ診断
診断評価

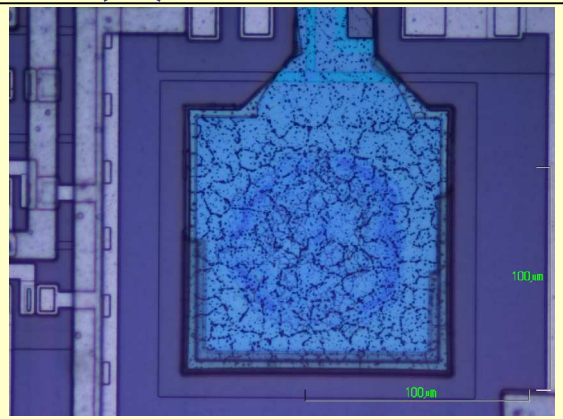
2.6 開封処理検査により検出された不具合例(1)



不合格

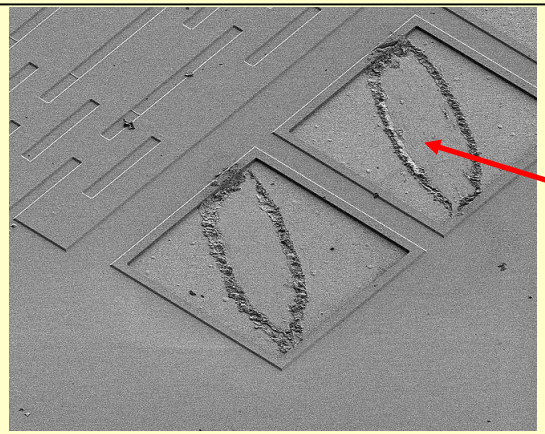


断面SEM検査



クレーターリング検査

合格

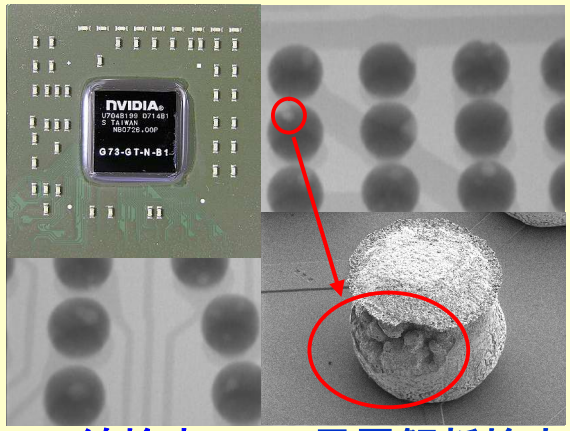


ワイヤ接続強度異常

ワイヤプル強度試験

内部検査(チップ単体化処理)

不合格

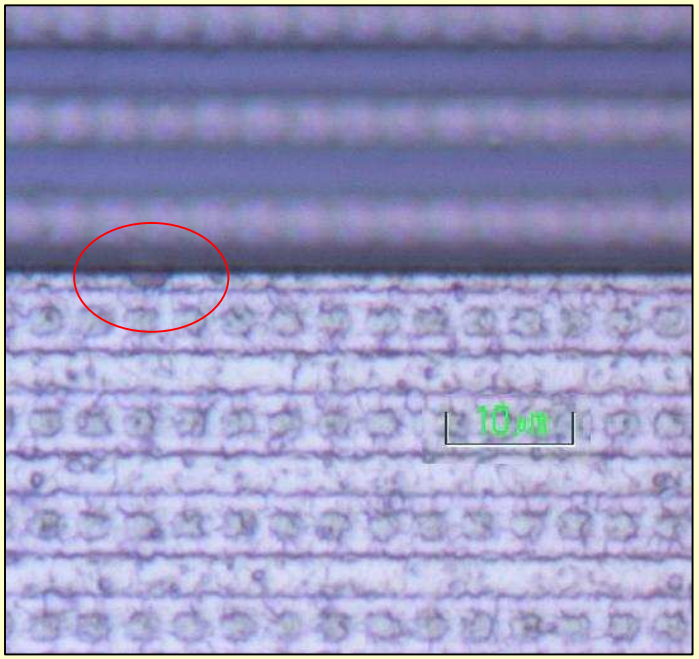


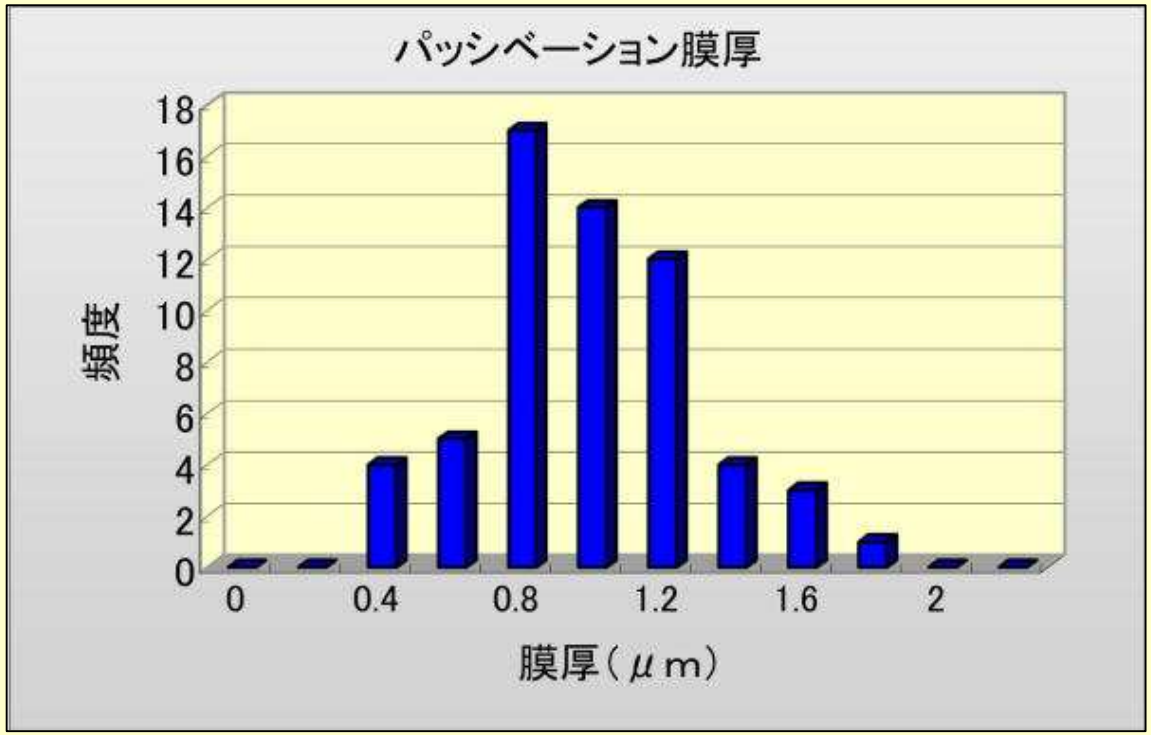
X線検査　界層解析検査

合格

2.7 開封処理検査により検出された不具合例(2)

内部構造検査の結果、パッシベーション膜の破壊を検出





パッシベーション膜厚分布
（データベースより導出）

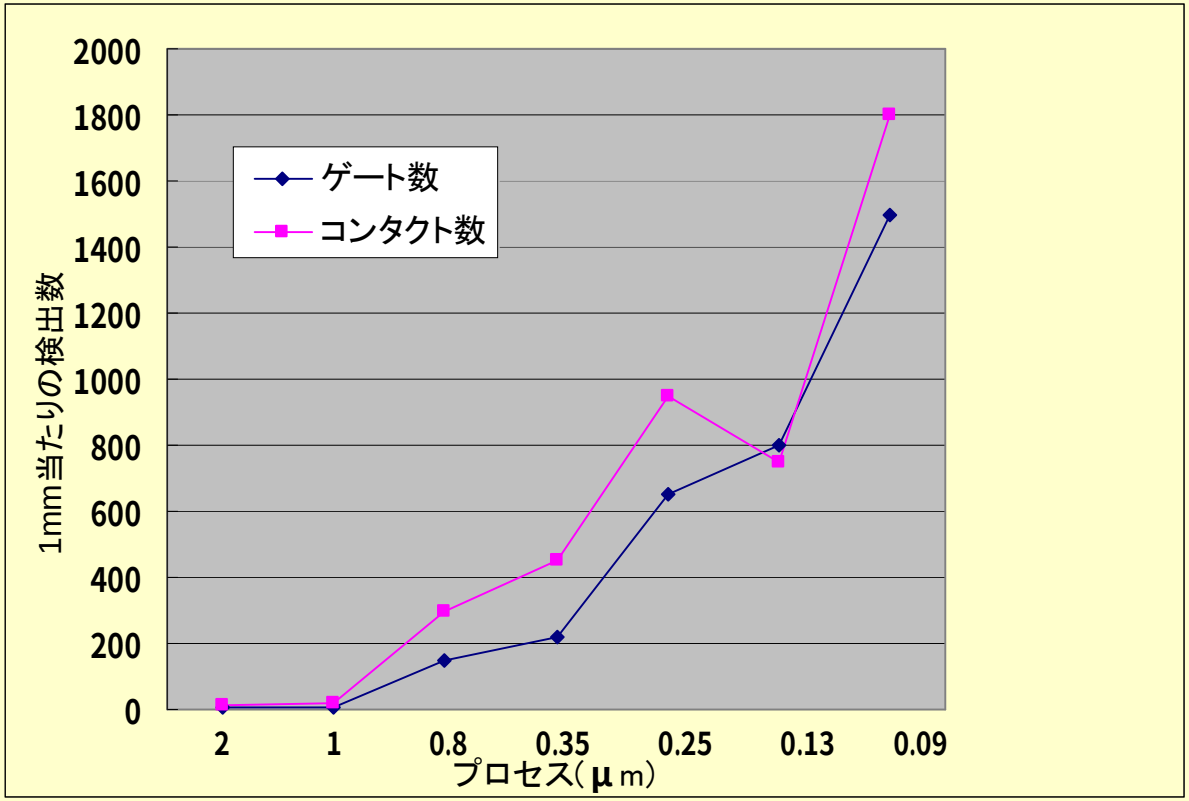
破壊原因の切り分けが可能

2.8 最新の検査仕様

・旧診断システムの仕様→0.18μmプロセスまで適用可能
・必要検査領域や必要倍率をプロセスルール毎に詳細設定
　→2μm～0.09μmプロセスまでの各種デバイスに対応可能

検査仕様書

No	解析項目	解析条件	試料数［個］
6	《前頁の続き》 界層解析観察	◇検 査 数：1［個］ ◇検査箇所：メタライゼーション，層間絶縁膜 （表4参照） ◇検査項目：メタライゼーション 形成状態(表面及びエッジ部の形状，バリアメタルの有無確認，クラックボイド，スクラッチなどの欠陥の有無)，その他不具合構造などの有無及び差異 層間絶縁膜 形成状態(表面の形状，ピンホール，クラックの有無確認，スクラッチ，異物の存在などの欠陥の有無)，その他不具合構造などの有無及び差異 シリコン基板 拡散異常、スクラッチ，異物の存在などの欠陥の有無)，その他不具合構造などの有無及び差異 ◇使用機器：走査型電子顕微鏡 S-4800 日立ﾊｲﾃｸﾉﾛｼﾞｰｽﾞ RIEシステム ES301 日本サイエンティフィック ◇検査倍率：15～30000倍程度	
7	断面構造検査1	この解析は4項の調査完了後の同一試料2［個］を検査対象試料として以下の内容を実施する。 1.チップ上の無作為に抽出した回路（主としてチップ中央部付近）の2断面×2試料（2方向）について、精密切断研磨法により断面界層加工を施し、デバイスの積層構造が観察可能な状態にする。 2.メタライゼーション及び絶縁膜の層構造を把握する為にデコレーション・エッチングを施し、層間部分を明瞭化する。 3.走査型電子顕微鏡（SEM）により、加工領域内の観察可能な積層膜全体について観察を実施する。代表箇所の全体像及び対象各部位の拡大像を写真撮影記録し、異常が観察された場合は適宜拡大像を取得する。対象試料は1個の複数箇所とする。 ◇検 査 数：2［個］中の複数箇所 ◇検査箇所：パッシベーション及び絶縁膜構造、メタライゼーション （表3参照） ◇検査項目：保護膜及び絶縁膜 パッシベーションの形状及び厚さ(寸法測定) 各絶縁膜の形状及び厚さ(寸法測定) メタライゼーション及び接続構造 各層の形成状態（クラック，ピンホール，その他不具合構造，欠陥の有無及び差異） ◇使用機器：走査型電子顕微鏡 S-4800 日立ﾊｲﾃｸﾉﾛｼﾞｰｽﾞ イオンミリング装置 600N GATAN ◇検査倍率：15～30000倍程度	2



設計ルールの違いによる断面SEM検査領域についての実測例

2.8 最新の検査仕様

・旧診断システムの仕様→0.18μmプロセスまで適用可能
・必要検査領域や必要倍率をプロセスルール毎に詳細設定
　→2μm～0.09μmプロセスまでの各種デバイスに対応可能

検査仕様書

No	解析項目	解析条件	試料数［個］
6	《前頁の続き》 界層解析観察	◇検 査 数：1[個] ◇検査箇所：メタライゼーション，層間絶縁膜 （表4参照） ◇検査項目：メタライゼーション 形成状態(表面及びエッジ部の形状，バリアメタルの有無確認，クラックボイド，スクラッチなどの欠陥の有無)，その他不具合構造などの有無及び差異 層間絶縁膜 形成状態(表面の形状，ピンホール，クラックの有無確認，スクラッチ，異物の存在などの欠陥の有無)，その他不具合構造などの有無及び差異 シリコン基板 拡散異常、スクラッチ，異物の存在などの欠陥の有無)，その他不具合構造などの有無及び差異 ◇使用機器：走査型電子顕微鏡 S-4800 日立ﾊｲﾃｸﾉﾛｼﾞｰｽﾞ RIEシステム ES301 日本サイエンティフィック ◇検査倍率：15～30000倍程度	
7	断面構造検査1	この解析は4項の調査完了後の同一試料2[個]を検査対象試料として以下の内容を実施する。 1.チップ上の無作為に抽出した回路（主としてチップ中央部付近）の2断面×2試料（2方向）について、精密切断研磨法により断面界層加工を施し、デバイスの積層構造が観察可能な状態にする。 2.メタライゼーション及び絶縁膜の層構造を把握する為にデコレーション・エッチングを施し、層間部分を明瞭化する。 3.走査型電子顕微鏡（SEM）により、加工領域内の観察可能な積層膜全体について観察を実施する。代表箇所の全体像及び対象各部位の拡大像を写真撮影記録し、異常が観察された場合は適宜拡大像を取得する。対象試料は1個の複数箇所とする。 ◇検 査 数：2[個]中の複数箇所 ◇検査箇所：パッシベーション及び絶縁膜構造、メタライゼーション （表3参照） ◇検査項目：保護膜及び絶縁膜 パッシベーションの形状及び厚さ(寸法測定) 各絶縁膜の形状及び厚さ(寸法測定) メタライゼーション及び接続構造 各層の形成状態（クラック，ピンホール，その他不具合構造，欠陥の有無及び差異） ◇使用機器：走査型電子顕微鏡 S-4800 日立ﾊｲﾃｸﾉﾛｼﾞｰｽﾞ イオンミリング装置 600N GATAN ◇検査倍率：15～30000倍程度	2

各種プロセスに対応可能な検査仕様

断面SEM検査

プロセス(μm)	最適検査倍率	1mm長の検査視野数	最低必要検査視野数	最低必要検査領域
2	1000	10	200	チップ長の4倍
1	2000	20	400	チップ長の4倍
0.6	5000	50	500	10mm
0.35	7500	75	375	5mm
0.25	10000	100	500	5mm
0.13	15000	150	300	2mm
0.09	20000	200	400	2mm

界層解析検査

プロセス(μm)	最適検査倍率	最低必要検査視野数	最低必要検査面積(μm)
2	1000	200	2000000
1	2000	400	500000
0.6	5000	500	200000
0.35	7500	375	50000
0.25	10000	500	50000
0.13	15000	300	15000
0.09	20000	400	10000

断面TEM検査

プロセス(μm)	最適検査倍率	1mm長の検査視野数	最低必要検査視野数	最低必要検査領域
2	5000	50	200	2mm以上
1	10000	100	400	2mm以上
0.6	25000	250	500	2mm
0.35	40000	400	375	1mm
0.25	50000	500	500	1mm
0.13	75000	750	300	0.4mm
0.09	100000	1000	400	0.4mm

実測データ、過去の診断実績から決定

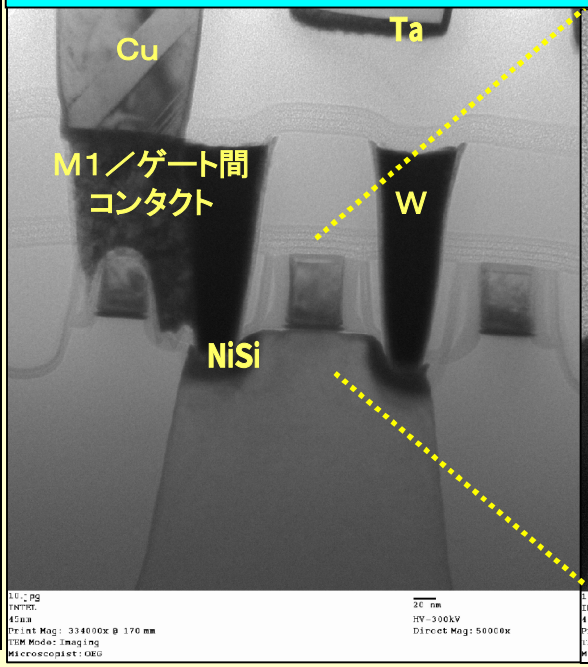
© Copyright 2008 Oki Engineering Co., Ltd.

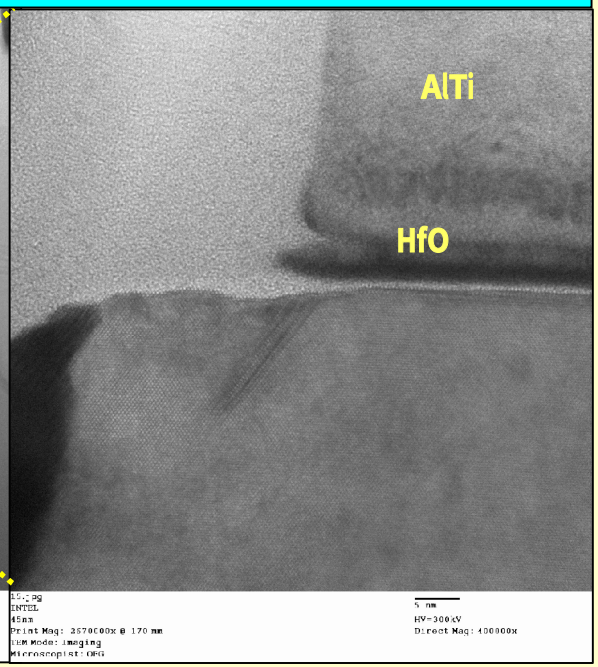
2.9 最新の評価項目と診断技術

・メモリセル部の項目のうちロジック部との共通性が高い項目を統合
・54→45項目へ
・SOI構造等、最新プロセスに対応可能となる評価項目の更新

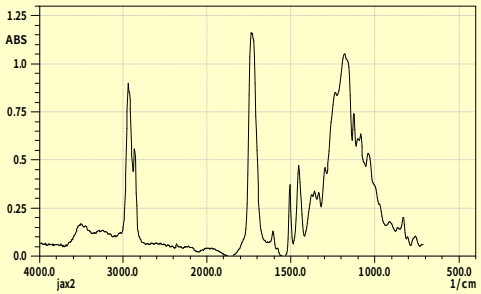
工程	欠陥項目	対象品種
メモリセル部	ゲート酸化膜の結晶欠陥，厚さ不良，形状異常	共通項目↓統合
	ゲート酸化膜の異物混入	
	メモリセル部の結晶欠陥	
	連続性異常	
	形状異常，エッチング不良	
	コンタクトの接続不良	
	コンタクトのボイド，埋込不良	
	コンタクトの形状異常	
	コンタクトの異物混入，汚染	
	キャパシタ部の形状異常	DRAM
	キャパシタ部の絶縁膜異常	
	キャパシタ部のボイド，埋込不良	
	コントロールゲート/フローティングゲート間絶縁膜異常	EPROM/EEPROM/Flash Memory
	トンネル酸化膜異常	EEPROM/Flash Memory

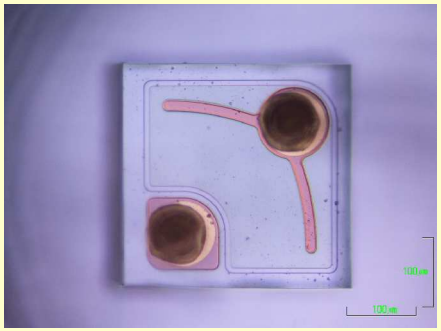
45nmプロセスデバイスの診断技術開発

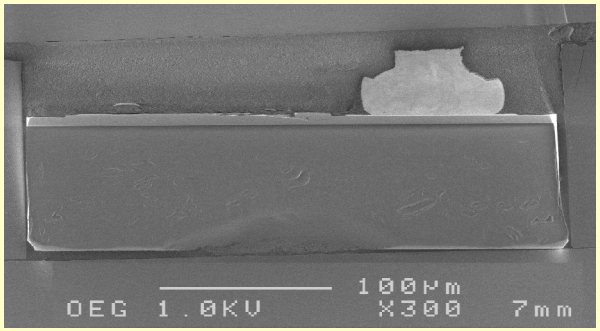


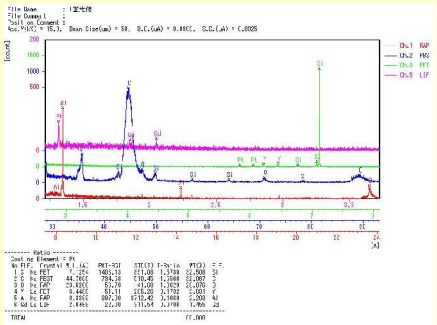


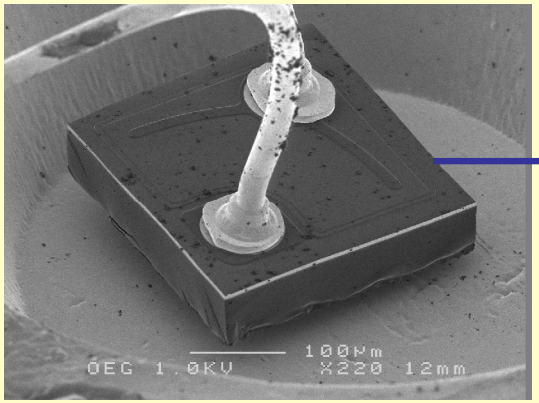
2.10 個別半導体に拡張した診断技術（白色LEDの品質診断例）

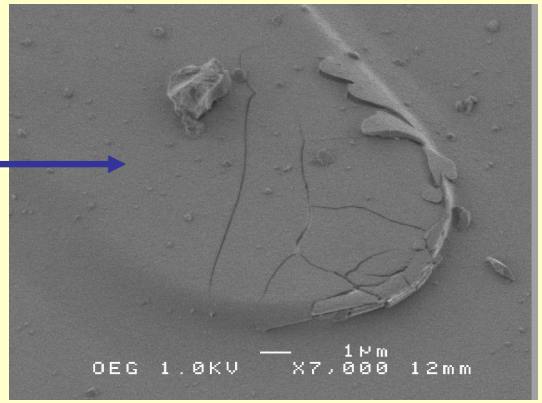




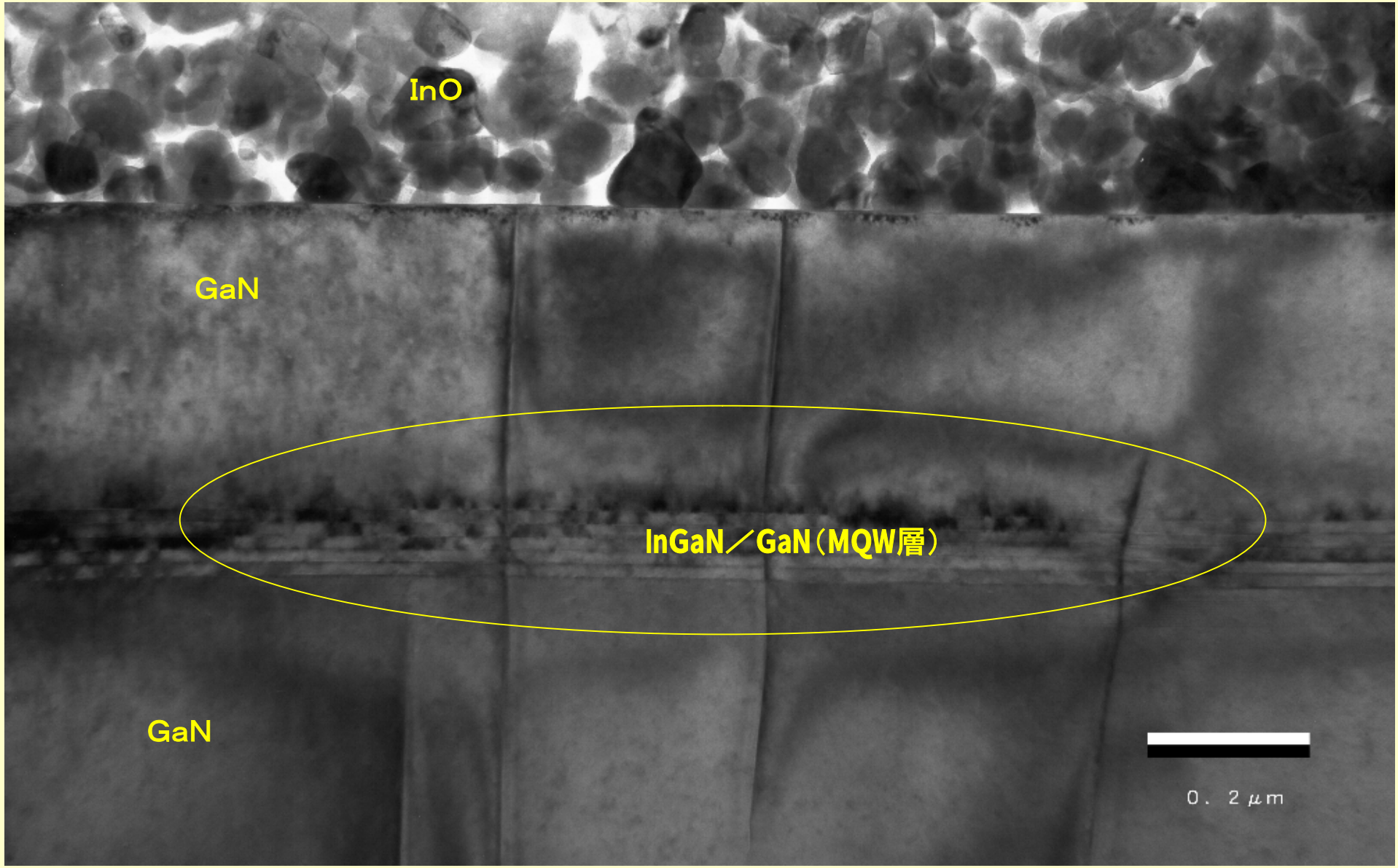








2.10 個別半導体に拡張した診断技術（白色LEDの品質診断例）



© Copyright 2008 Oki Engineering Co., Ltd.

3. 最新の界層解析技術とパターン解析技術

3.1 デバイスの微細化、多層化に伴う界層解析技術の問題点

西暦	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
DRAM設計ルール（nm）	130	115	100	90	80	70	65	45

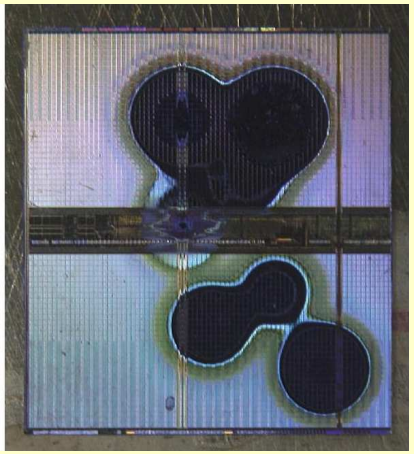
従来技術	特徴
ドライ＆ウェットエッチング法	処理時間が長い・工程が複雑 多層構造は不可能
ディンプル研磨法	処理時間が短い・工程が単純 多層構造が可能　全層同時観察が可能 観察エリアが狭い
新規技術	**特徴**
トレンチ研磨法	処理時間が短い・工程が単純 多層構造が可能　全層同時観察が可能 観察エリアが広い
平面研磨法 （メカニカルエッチング）	処理時間が短い 多層構造が可能　全層同時観察が可能 ほぼチップ全面の観察が可能

© Copyright 2008 Oki Engineering Co., Ltd.

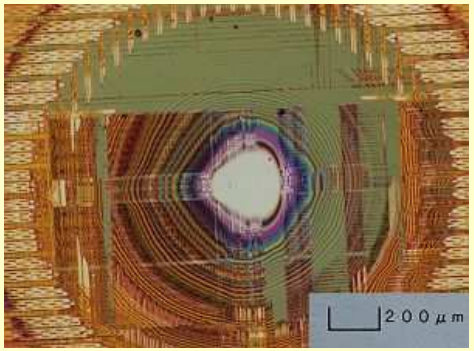
3.2 新たな界層解析技術(1)

ディンプル研磨法（従来技術）

ディンプルグラインダー　　研磨ホイール部拡大



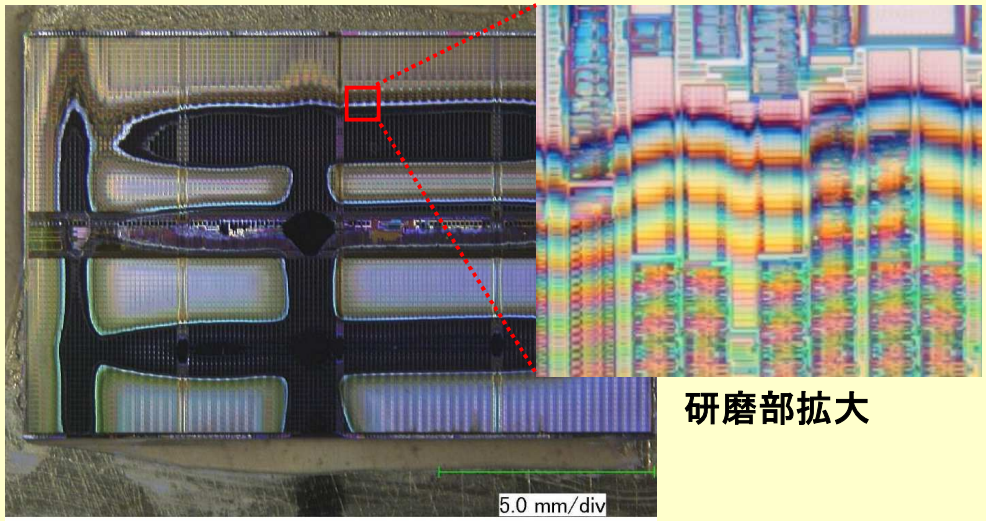
ディンプリング状態
(6ヶ所形成)



研磨部拡大

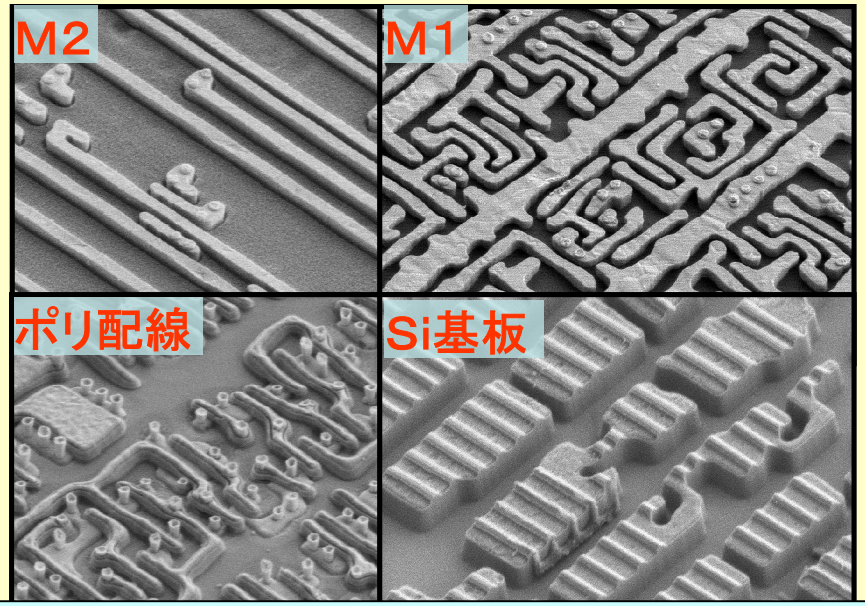
断面イメージ
（階段状層露出、層間膜厚の勾配）

トレンチ研磨法（今回開発）



研磨部拡大

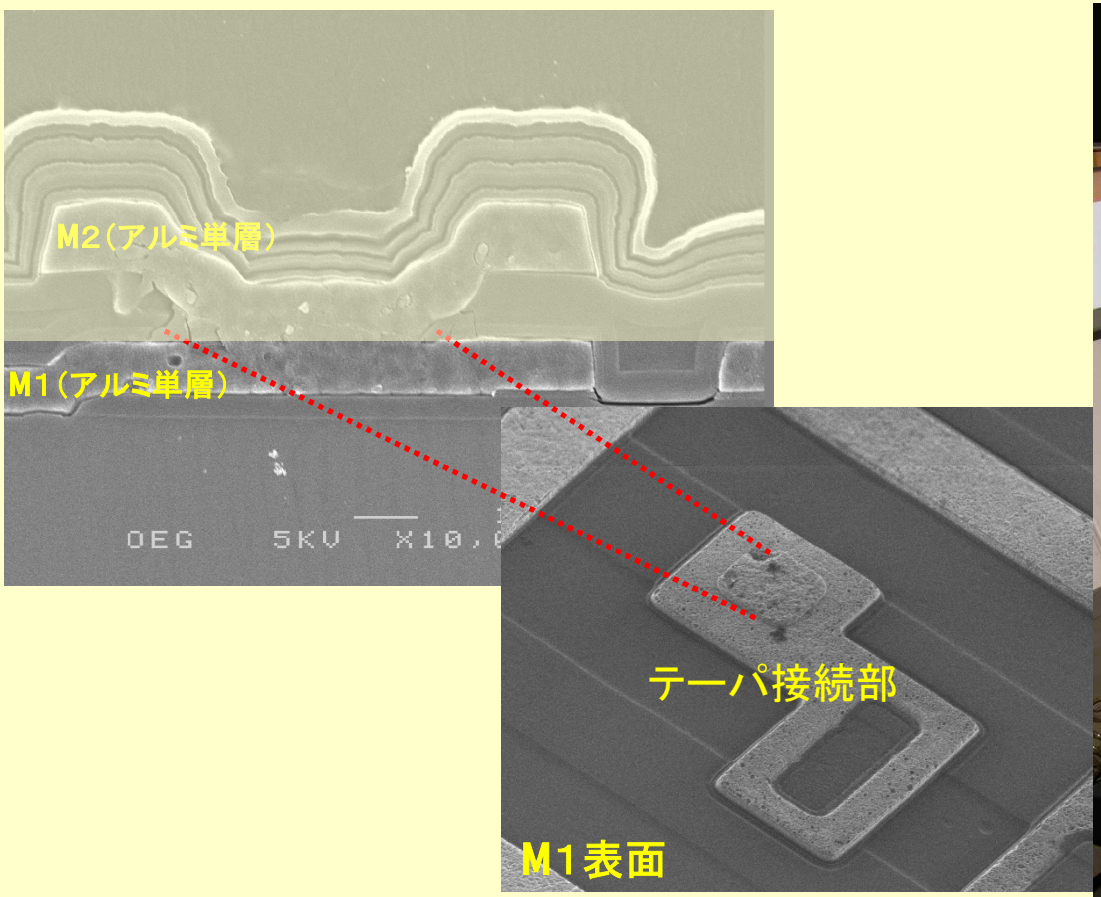
トレンチング状態
(5ライン形成)



ディンプル研磨法と比較して広範囲を短時間に加工、検査可能

3.3 新たな界層解析技術(2)

平面研磨法



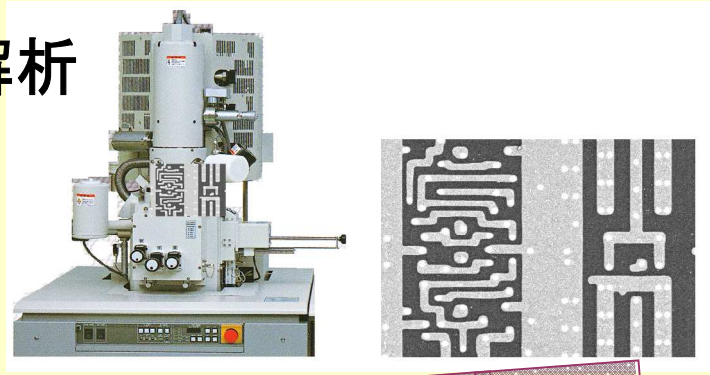
平面研磨装置（広範囲の観察が可能）

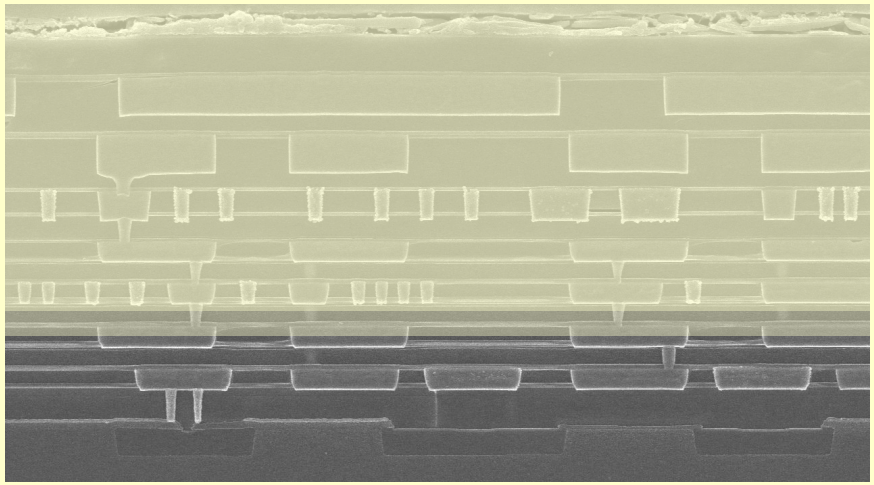
平面研磨装置でM2除去実施後、ケミカルエッチングによりM1表面を露出させ、良好なM1表面の観察が可能

3.4 パターン解析技術(1)

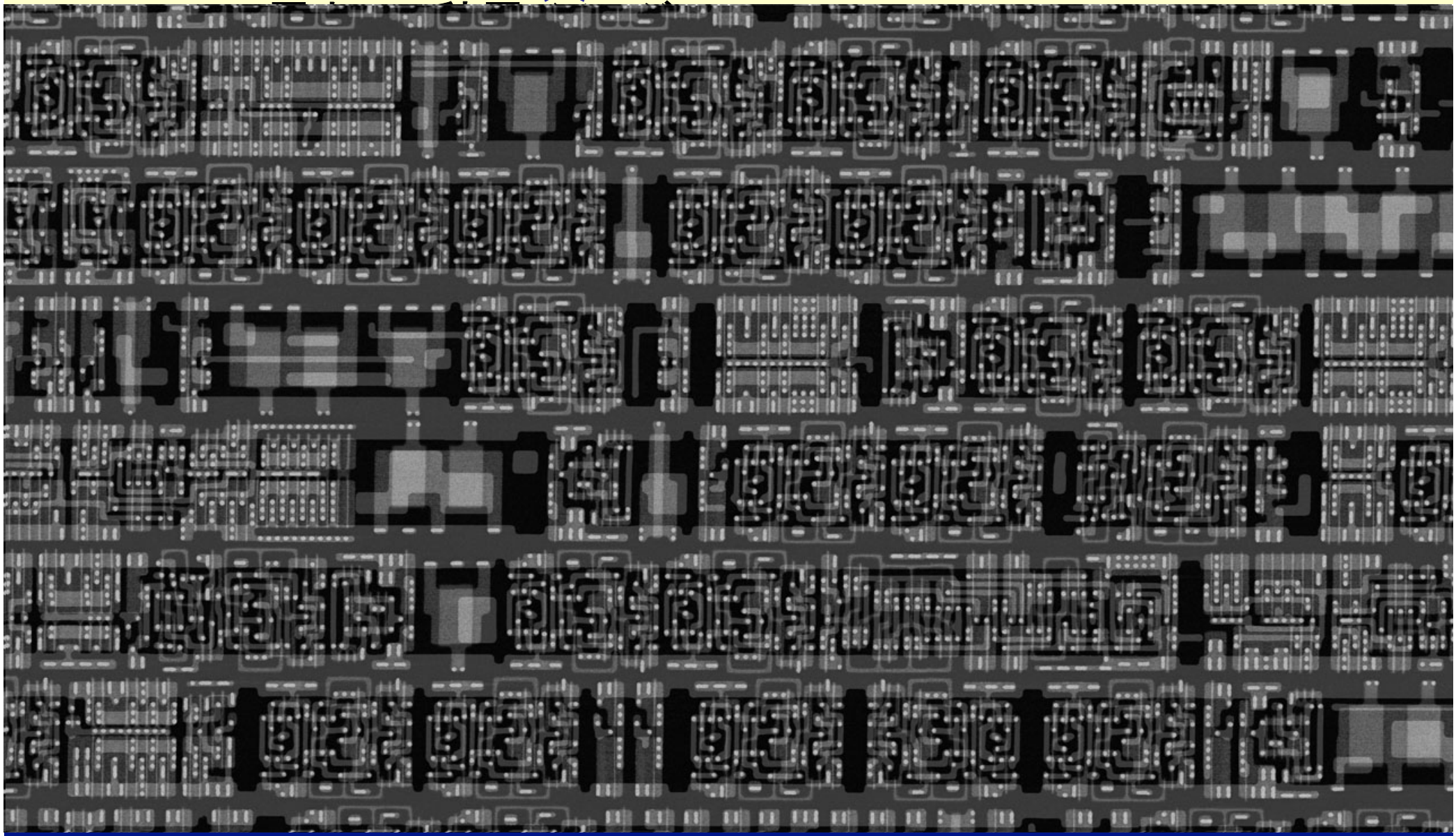
平面研磨法、画像処理を用いたパターン解析

断面解析
↓
平面研磨
↓
SEM画像取得
↓
貼り合わせ
↓
アライメント
↓
歪補正



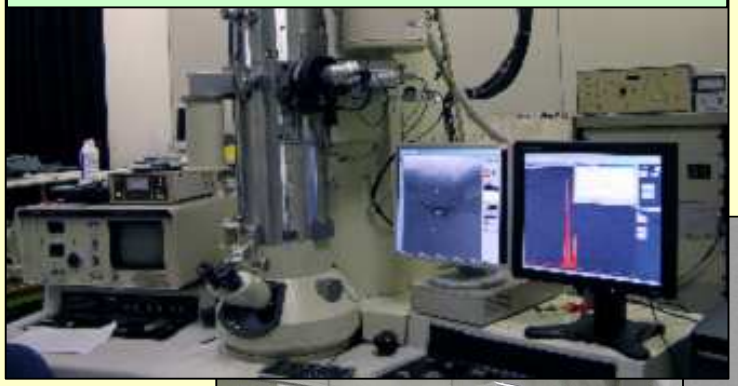


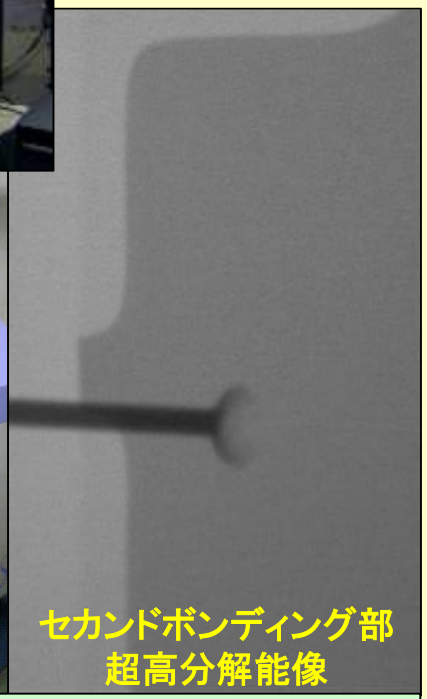
3.5 パターン解析技術(2)



4. 最新のLSIプロセス診断システムを支える解析装置

2006年　TEMの機能強化
超高分解能CCDカメラ
最新形EDXシステム導入

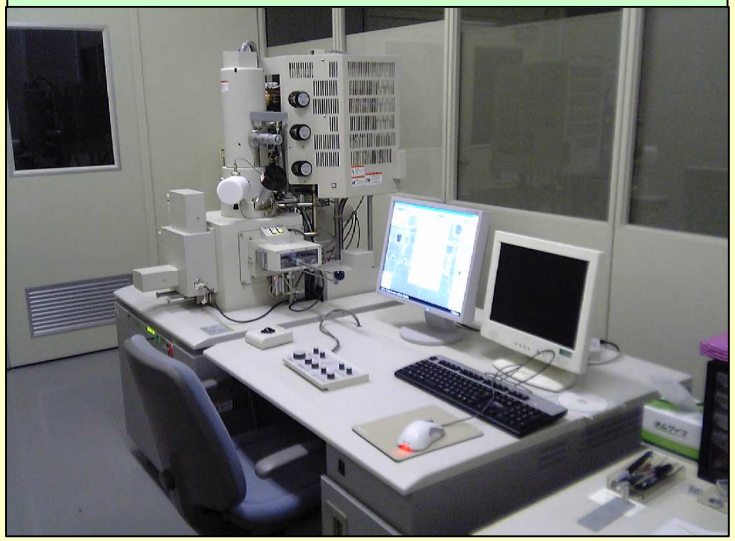




セカンドボンディング部
超高分解能像

2007年 透過X線装置を最新型に更新（SH6160N）
マイクロフォーカス型（東芝）

2007年　コールドFE　セミインレンズ型
SEMを導入（S-4800：日立ハイテク）



2008年
SAT機能強化（7月中旬予定）
レーザー開封機導入（10月予定）

まとめ

・最新のLSIプロセス診断技術のご紹介

開封処理検査の追加→検査項目の更新

開封処理の細分化、手順の変更→検査手順の更新

各デザインルール毎の詳細な仕様設定→検査仕様の更新

最新プロセスへの対応、新技術開発→評価項目の更新

↓

構造が複雑化した最新の高信頼性デバイスへの対応が可能

・最新の界層解析技術のご紹介

トレンチ研磨法、平面研磨法の開発

連続撮影技術の導入、画像処理技術の開発

パターン解析技術への応用→特許解析への応用

↓

広範囲、高解像度、チップ全層での界層解析が可能

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

OKIテクニカルレビュー
高信頼性システムのためのLSIプロセス診断による評価
http://www.oki.com/jp/Home/JIS/Books/KENKAI/n202/pdf/202_R06.pdf