

見えない化進行の中での歩留向上 _WG11YE

－ 微細化による歩留技術のパラダイムシフト －

・2007改定内容説明

Scope, Difficult Challenges, YMDB, DDC, WECC

・見えない化進行の中での歩留向上

エッジ検査、電気特性TEG、微小Particleの特性

WG11YE－

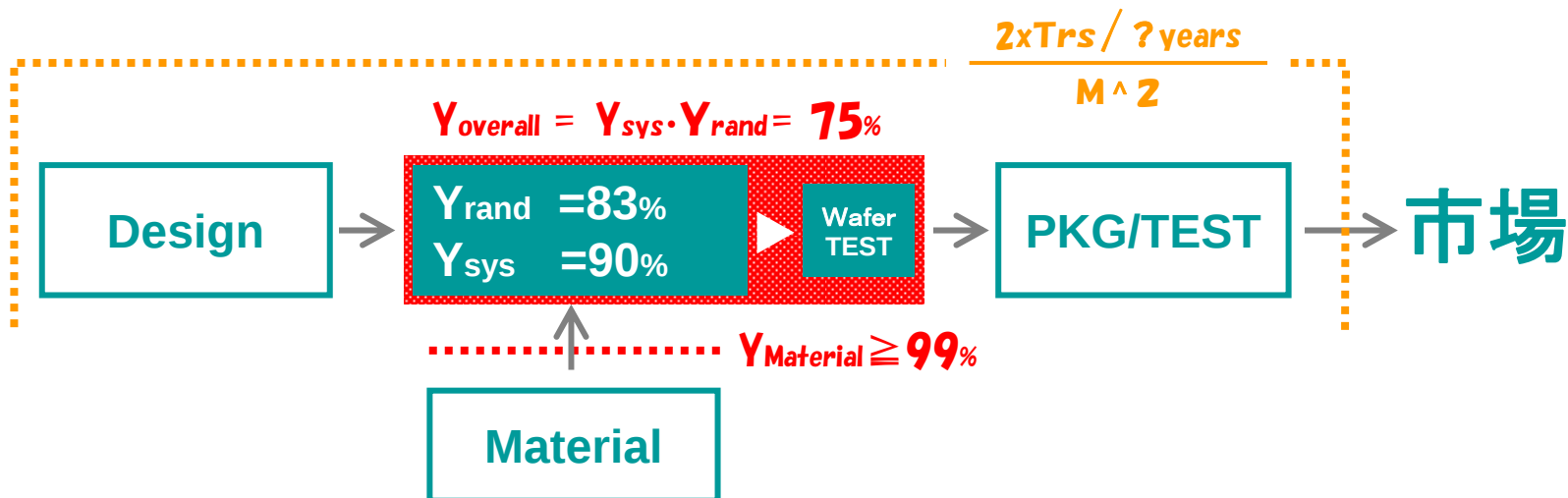
津金賢, 白水好美, ニツ木高志, 岡本彰, 清田久晴, 櫻井光一, 長塚義則,
中川義和, 橋爪貴彦, 水野文夫, 西萩一夫, 塩田隆, 池野昌彦, 宮崎陽子,
北見勝信, 桑原純夫

用語集

YMDB (Yield Model & Defect Budget) 歩留りモデルと装置許容欠陥数
DDC (Defect Detection & Characterization) 欠陥検出と特徴付け
WECC (Wafer Environmental Contamination Control) ウェーハ環境汚染制御
YL (Yield Learning) 歩留り習熟
PWP (Particles per Wafer Pass) 工程での処理(Wafer Pass)により増加するパーティクルの事
ADC(Auto Defect Classification) 欠陥自動分類
DFM (Design for Manufacturing) 製造容易化設計
ISMI (International SEMATECH Manufacturing Initiative)
SEMATECHが作った生産技術開発を中心とするコンソーシアム
HARI (High Aspect Ratio Inspection) 高アスペクト比の検査
SSTA(Statistical Static timing analysis)
パス遅延時間統計解析EDA(electronic design automation)ツール
CMC (Compact Model Council) トランジスタモデルの国際標準化機関
AMC : Airborne Molecular Contaminants 大気分子汚染
ILD : Inter Layer Dielectrics 層間絶縁膜
FOUP : Front Opening Unified Pod ウェーハ・キャリア
TOC : Total Organic Carbon 全有機体炭素
ICPMS : Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry 誘導結合プラズマ質量分析装置
ICPAES : ICP Atomic Emission Spectrophotometry 誘導結合プラズマ発光分光分析装置
AAS : Atomic Absorption Spectrometry 原子吸光光度計
TOA : Total Organic Acid 総有機酸量
TOCS : Total Other Corrosive Species 他の総腐食性物質

Yield Enhancement 分担領域

Cost/Tr低下は **ムーアの法則**と共に**歩留**を維持しないと 実現しない



YE ITWG Chair: Fraunhofer_EU / INTEL_US

YMDB: 日本
歩留のモデル化
各工程欠陥予算

DDC: EU
インラインでの
欠陥検出/分類

WECC: US
コンタミネーション
使用ガス・液体...

VL: 台湾
~~歩留・熱の
モデル&要求事項~~

今回Table削除

・2007改定内容説明

Scope, Difficult Challenges, YMDB, DDC, WECC

・見えない化進行の中での歩留向上

エッジ検査、電気特性TEG、微小Particleの特性

新しいIYE章のSCOPE

Critical Area考慮Open/Short+不良モデルから 要因別不良モデルへ？

プロセス要因

implantation, etching, deposition,
planarization, cleaning, litho...

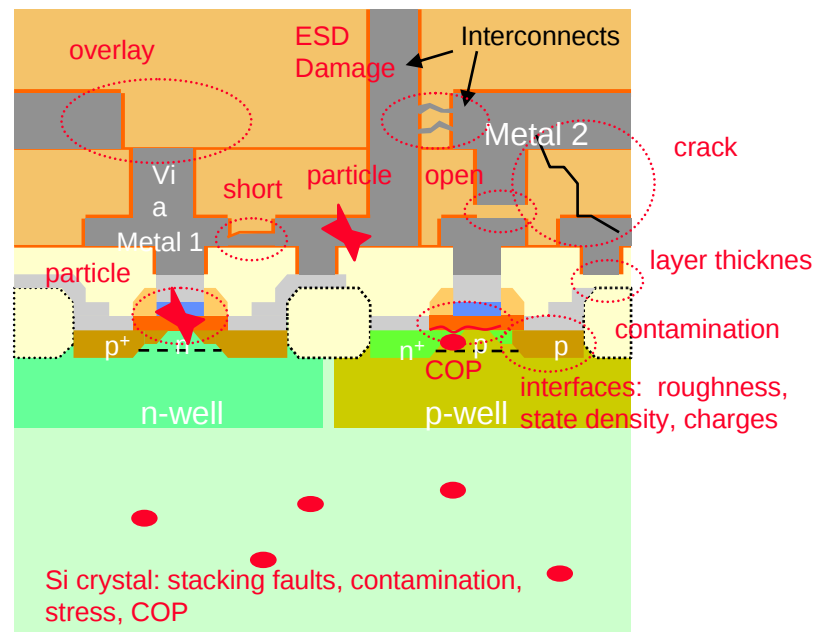


歩留影響メカニズム

WCEC, PIDs, PIVs, OPE関連, 原子散乱...



歩留への寄与度評価&予算化



4月のITWG Meetingで 今後の方向について議論する予定

Difficult Challenges 2005→2007

ITRS2005

Signal-to-noise ratio-
 High throughput logic diagnosis capability-
 Detection of multiple killer defects-
 High aspect ratio inspection-

Near
-term

ITRS2007

Detection of Multiple Killer Defect Types /
 Signal to Noise Ratio -
 Wafer Edge and Bevel Control, Inspection and
 Review -
 Process Stability vs. Absolute Contamination
 Level Including the Correlation to Yield -
 Linking systematic yield loss to layout
 attributes -
 High-Aspect-Ratio Inspection -

Long
-term

Process stability vs. absolute contamination
 level including the correlation to yield-
 Inline defect characterization and analysis-
 Wafer edge and bevel control and
 inspection-
 Rapid yield learning requires efficient data
 management and suitable test structures-
 Development of parametric sensitive yield
 models including new materials-

In-line Defect Characterization and Analysis-
 Development of model-based design-
 manufacturing interface-

Immersion/Double Patterning関連の問題把握
 YL再構築?

YMDB 改定

Revision内容

ORTCに同期した数値修正...ORTCのChip Size変更等に合わせた再計算
2006Updateから新規導入した装置許容欠陥数モデルの説明を追加
FLASHのDefect Densityを追加、PWP要求数値は掲載せず

残された課題

基準データUpdate...装置使用回数/各工程Kill Ratio/欠陥数実態等
FLASHの基準プロセスモデル構築及びPWPの要求数値
Systematic要因のモデル化及び取り込み

現状認識

SEMATECHはYMDBを作成/ITRSに移管したが、そのUpdateには協力しない方針
ESIAでは QimondaだけがDefect Budget Survey実施に前向き
歩留低下の主要因となっている設計/DFMについては、その寄与のモデル化未了
歩留モデルはEDAベンダ/コンサルLex. PDF Solutionsのソリューションを殆どそのまま導入するIDMが増加？

アプローチ案

STRJ Workshop→ ITRS Spring Meeting→ SEMATECH(ISMI) Yield Council で改定方向の絞り込みが出来れば...

PWP計算の問題点 / 修正 06年Updateから

ORTCから輸入したChipSizeに 一定の基準歩留を適用すると...

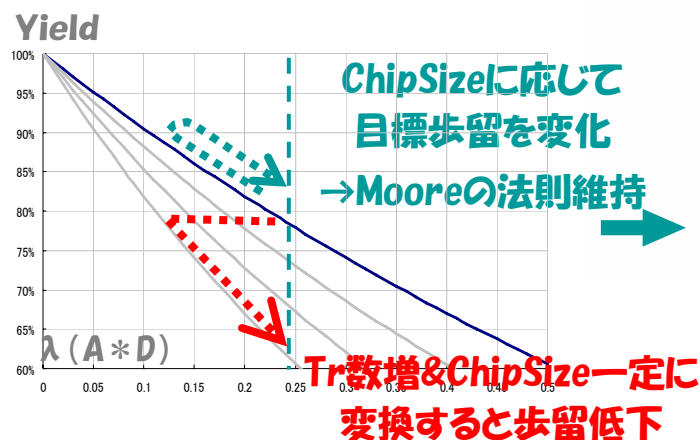
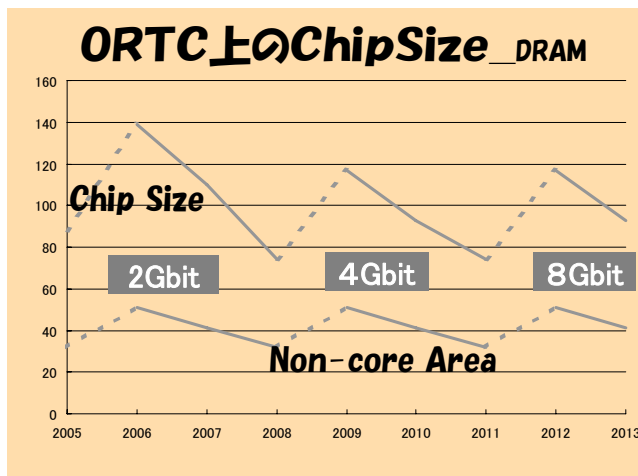
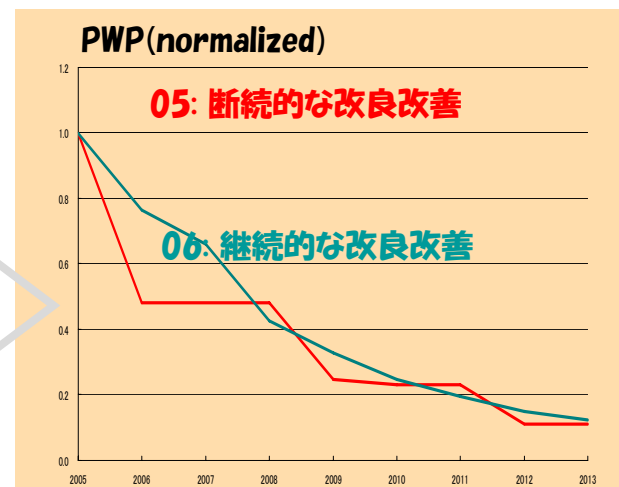
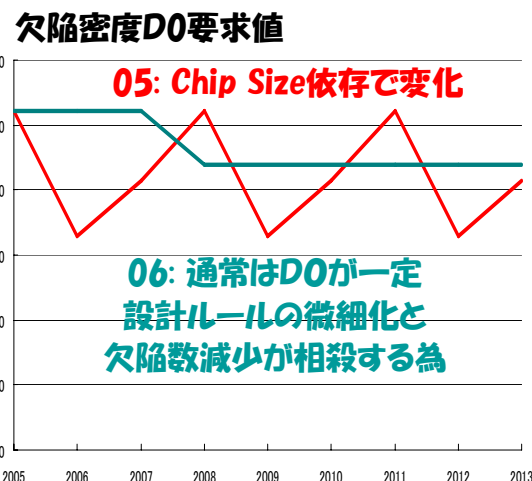
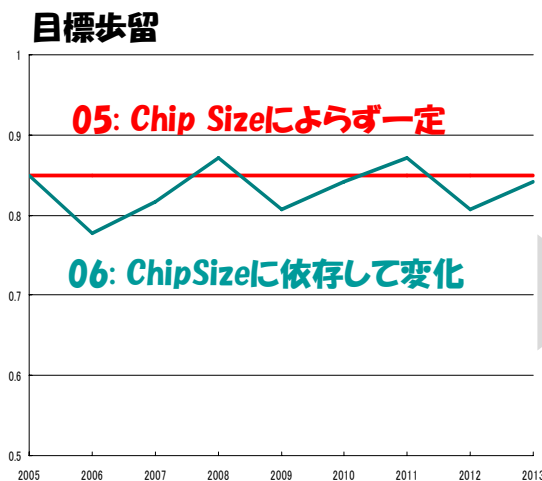


Table 110 Defect Budget Technology Requirement Assumptions

Product	MPU	DRAM
Yield Ramp Phase	Volume Production	Volume Production
Y _{OVERALL}	75%	85%
Y _{RANDOM}	83%	89.50%
Y _{SYSTEMATIC}	90%	95%
ADD Y _{material}	>99%	>99%
ADD Chip Size	140 mm ²	88 mm ²
Cluster Parameter	2	2



DDC 改定

2007 topics

- － 要求検査感度の基準DR値をflash基準に変更
（数値が厳しくなった）
- － マクロ検査の項目を追加
- － 電子ビーム式欠陥検査装置の要求感度を、電氣的欠陥と物理的欠陥に分離。
- － テーブルを分離(追加)したもの
 - 1) パターン付検査とHARI検査(EB検査)
 - 2) マクロ検査とベベル検査として異物検査
 - 3) レビュー装置にADC
- － 異物検査に検出欠陥座標精度の要求値を追加
- － 検査速度の定義と要求数値を一部見直し
- － エッジ検査装置の仕様追加(Difficult Challenge)
- － 全検査装置に裏面異物の管理基準値を追加。

WECC改定-1/3

特殊ガス(エッチングガス、CVDガス、ドーパントガス等)の要求項目が細分化/増加

Specialty Gases	2006	2007
Deposition gases e.g.	SiH ₄ , (CH ₃) ₃ SiH, NH ₃	SiH ₄ , (CH ₃) ₃ SiH
Deposition gases e.g.		NH ₃
Deposition gases e.g.	-	N ₂ O, NO
Deposition gases e.g.	-	WF ₆
Deposition gases-electrical dopants e.g.	AsH ₄ , PH ₃ , GeH ₄	AsH ₃ , PH ₃ , B ₂ H ₆
Deposition gases		GeH ₄
Implant gases	-	AsH ₃ , PH ₃ , BF ₃
Laser gases Litho	-	F ₂ /Kr/Ne
Etchants-Corrosive	BCl ₃ , Cl ₂	HBr, BCl ₃ , Cl ₂
Etchants-Non-corrosive	C ₂ F ₆ , NF ₃	C ₅ F ₈ , C ₄ F ₈ , C ₄ F ₆ , CH ₂ F ₂
Etchants	-	Xe

WECC改定-2/3

温湿度管理を新規追加、Litho / Metrologyは他エリアより厳しい要求値に

Year of Production	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Flash ½ Pitch (nm) (un-contacted Poly)(f)	54	45	40	36	32	28
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	65	57	50	45	40	36
MPU/ASIC Metal 1 (M1) ½ Pitch (nm)	68	59	52	45	40	36
MPU Printed Gate Length (nm) ††	42	38	34	30	27	24
MPU Physical Gate Length (nm)	25	23	20	18	16	14
Add <u>Critical areas (Litho, Metrology)</u>						
Add Temperature range in +/-K at POE [37]	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>
Add Maximum short term temperature variation at POE in +/-K/5 min [37]	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>
Add Maximum long term temperature variation in +/-K/hour at POE [37]	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>
Add Humidity range in +/- % relative humidity r.H. at POE [37]	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>
Add Maximum short term humidity variation in +/-r.H./5 min at POE [37]	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>
Add <u>Non-critical areas (others than Litho, Metrology)</u>						
Add Temperature range on +/-K at POE [37]	<u>2.0</u>	<u>2.0</u>	<u>2.0</u>	<u>2.0</u>	<u>2.0</u>	<u>2.0</u>
Add Humidity range in +/- % relative humidity r.H. at POE [37]	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>

WECC改定-3/3

Cu配線工程の環境に、H₂SとS化合物の要求事項が追加(独立)

Year of Production		2007	2008	2009	2010	2011	2012
Flash ½ Pitch (nm) (un-contacted Poly)(f)		54	45	40	36	32	28
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)		65	57	50	45	40	36
MPU/ASIC Metal 1 (M1) ½ Pitch (nm)		68	59	52	45	40	36
MPU Printed Gate Length (nm) ††		42	38	34	30	27	24
MPU Physical Gate Length (nm)		25	23	20	18	16	14
WAS	Exposed Copper Wafer Environment (Cleanroom/POD/FOUP ambient)						
IS							
WAS	Total Inorganic Acids	500	500	500	500	500	500
IS							
WAS	Total Organic Acids [30]	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD
IS							
WAS	Total other corrosive species [32]	1000	1000	1000	1000	1000	1000
IS							
ADD	H ₂ S	1000	1000	1000	1000	1000	1000
ADD	Total sulphur compounds	10000	10000	10000	10000	10000	10000
WAS	Exposed Aluminum Wafer Environment (Cleanroom/POD/FOUP ambient)						
IS							
WAS	Total Inorganic Acids	500	500	500	500	500	500
IS							
WAS	Total Organic Acids [30]	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD
IS							
WAS	Total other corrosive species [32]	1000	1000	1000	1000	1000	1000
IS							

AMC:一般ウェハ環境は要求プロセスが無いため全面削除

・2007改定内容説明

Scope, Difficult Challenges, YMDB, DDC, WECC



・見えない化進行の中での歩留向上

エッジ検査、電気特性TEG、微小Particleの特性



見えない化進行の中で

Yield Managementの世界では 見える化ではなく**見えない化**が着々と...

見えない化原因

- ・**小さ過ぎ**て外観での判断が困難 → 外観検査のS/Nが低下、装置価格も上昇
- ・**数が多過ぎ**てハンドリングが困難 → 検査装置等で得たデータの有効活用が困難
→ マスク形状別不良率_{ppb}集計に膨大な測定時間
- ・**問題が内部**にあるので観察困難 → 配線ボイド/Via底or側面等の検査効率が低い
- ・**話が難し過ぎ**て原因把握が困難 → 形状DFM: Optical_PE, CMP etc.
→ 特性DFM: アンテナ効果, Well/Stress_PE, 特性ばらつき etc.
→ 微小領域では従来とは異なる物理特性が支配

Yield Managementを一步踏み外すと

現象を**視れない**→問題を**診れない**→ラインを**看れない**→歩留低迷

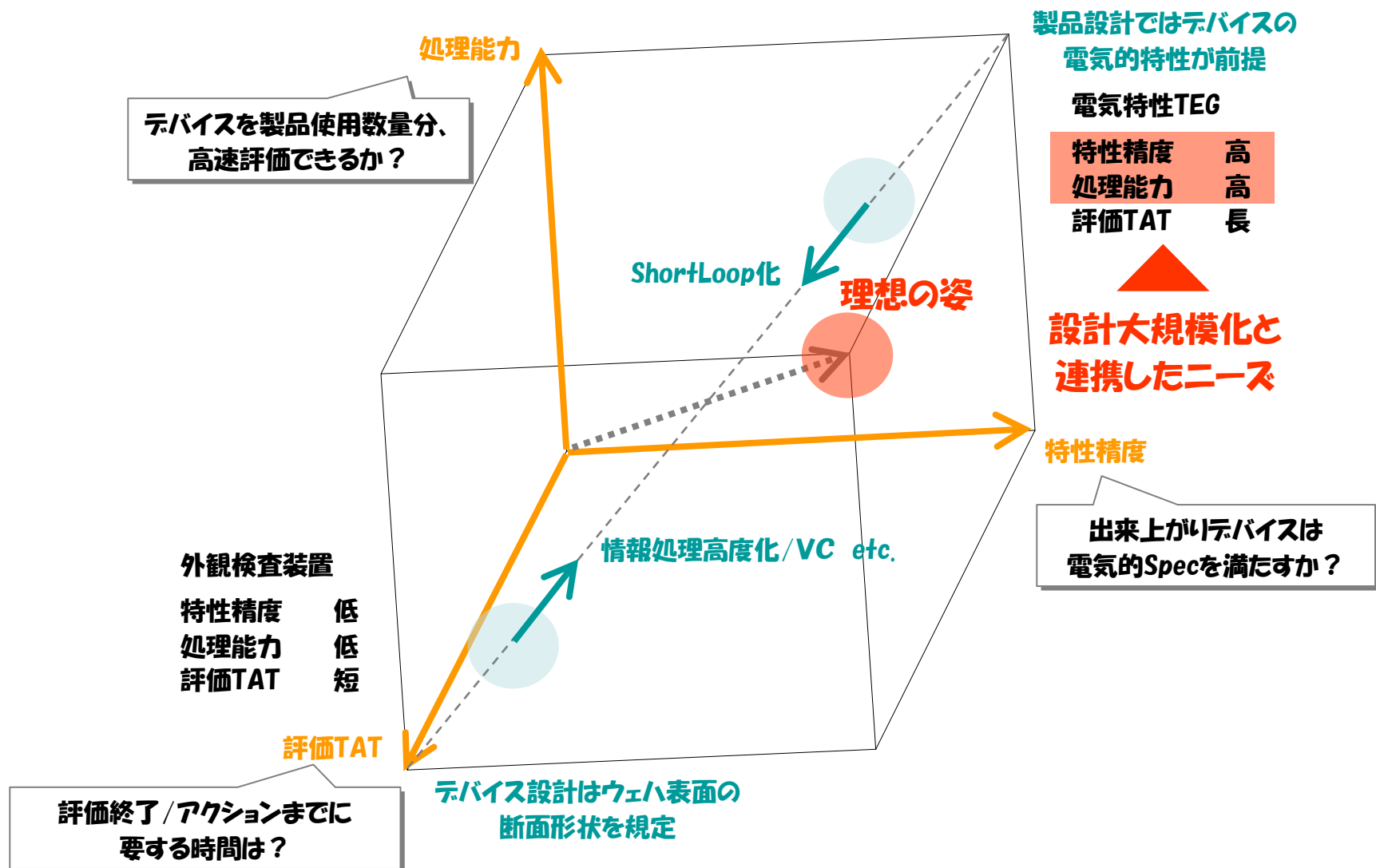
対策は？

Metrologyからのソリューション提供をただ待つのではなく...

対策案	例	コメント
見る量を減らし質は維持 見る質を下げ量は増やす	Design Intent マクロ検査	Priority付けで検査効率向上 ピクセル寸法大で評価範囲拡大
使う技術を変更する		
他の特性で見る	VM、VC、電気特性TEG	形状に代えて電気的特性等で見える
物理的制約を無くす		
モデルに写像する	TCAD、Diag.、各種統計手法	数式モデル/ソフト上で見る
見ないで済ます＝源流解決		
検査内容自身の見直し 知識の活用	エッジ検査 微小パーティクル	歩留との関係を把握/活用 見える化不足を知識で補填

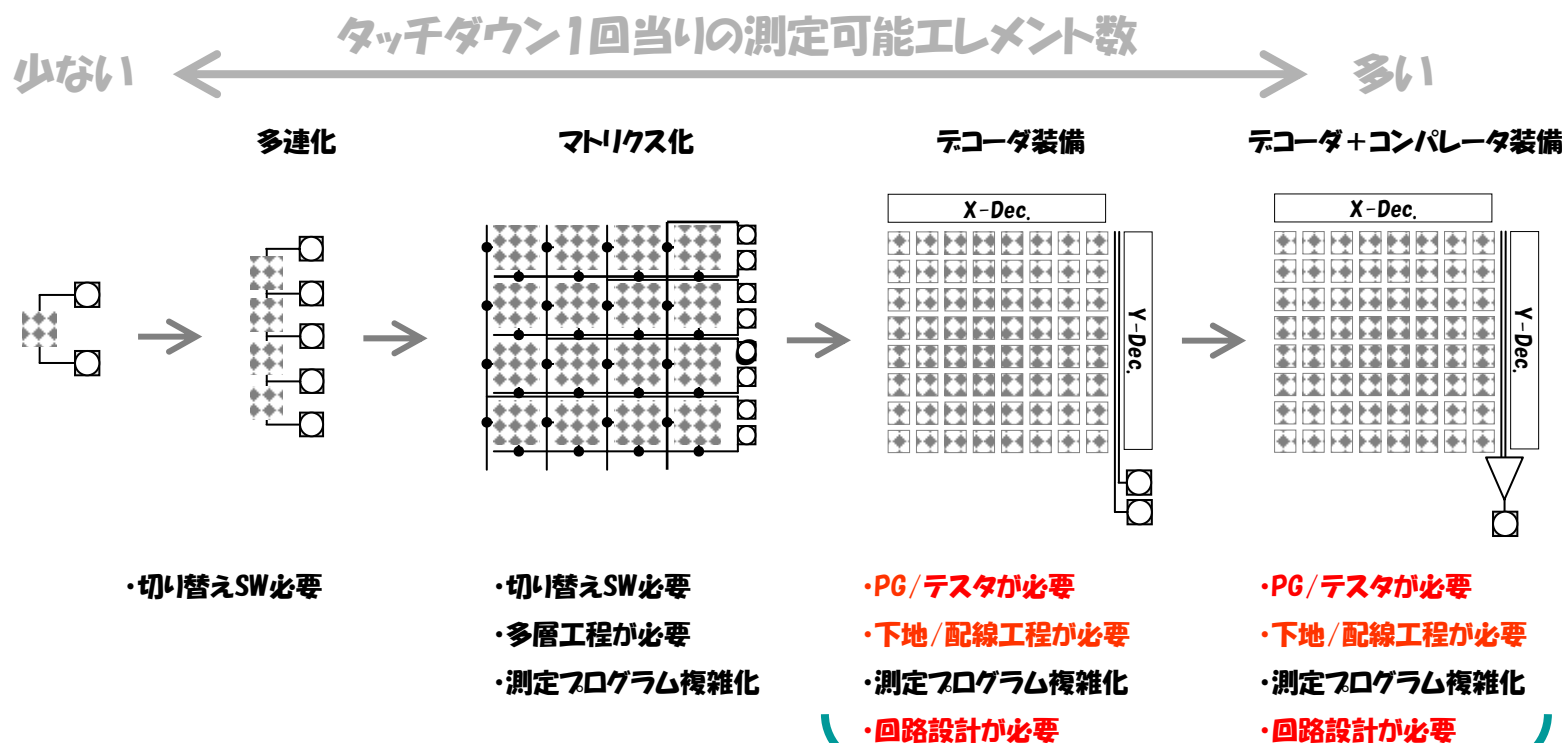
電気特性TEG

評価の短TATフィードバックと高精度化とは両立困難だから...



電気特性TEGの分類

測定効率を追求すると最終的にはメモリとなるが、設計/測定の手間も急増



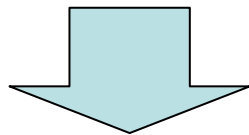
必要工数/技術等を考えると、
社外からのSolution導入が有利な領域

電気特性TEGの測定時間

Open/Short	抵抗測定 ($< 1\text{M}\Omega$)	抵抗測定 ($> 1\text{M}\Omega$)	Tr 特性 : Ion	Tr 特性 : Ioff*	Tr 特性 : Vth
$< 0.1\text{msec}$	$< 1\text{msec}$	$\sim 20\text{msec}$	$\sim 15\text{msec}$	$\sim 35\text{msec}$	$\sim 50\text{msec}$

資料提供: アジレントテクノロジー・インターナショナル株式会社

測定高速化にはフローカードのタッチダウン1回当りの即定数を増やすのが基本



パッド数増

アレイTEG

同時測定

* Ioffなどの微小電流測定はアレイTEGでは測定しにくい

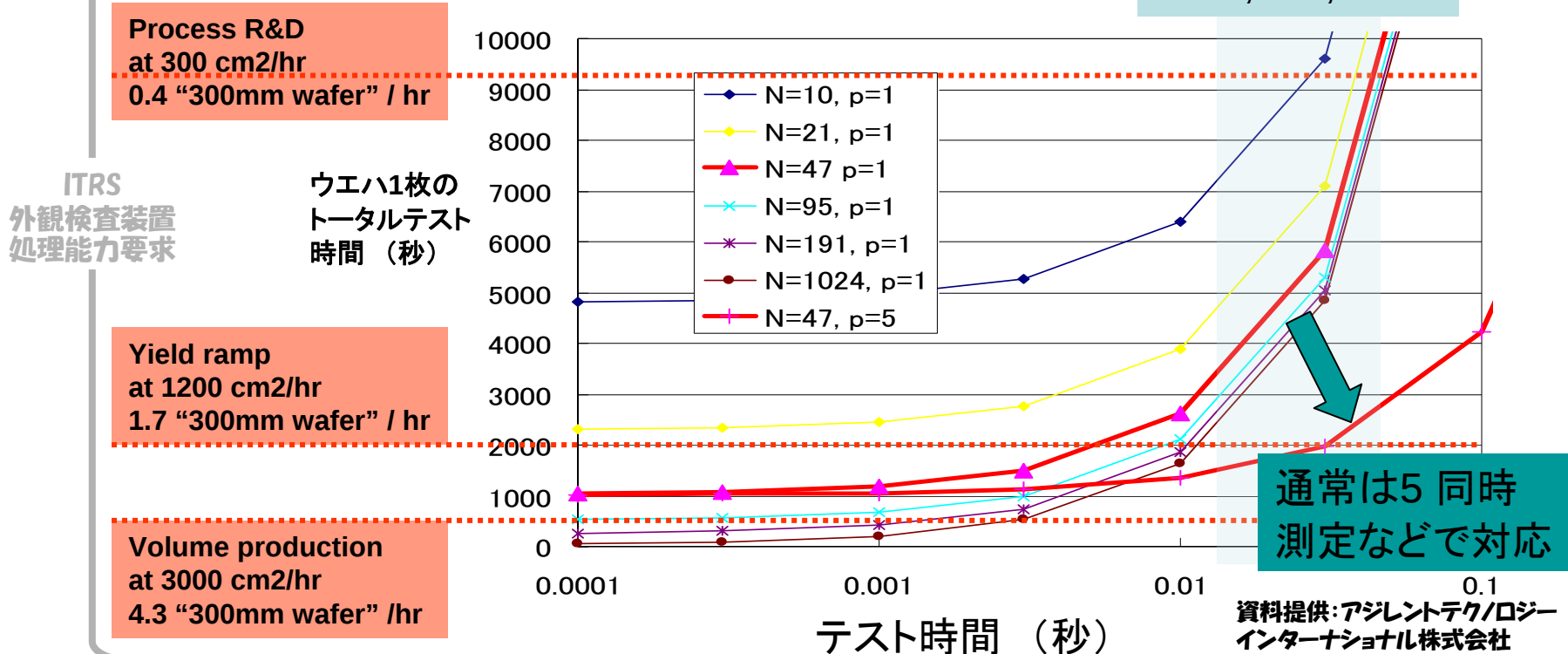
外観検査装置 vs. 電気特性TEG

電気特性TEGによる測定をITRS外観検査装置要求*1と比較すると...

* 1. ITRS・YE・DDCに記載

$$\text{ウエハ1枚のトータルテスト時間} = (N \times T / p + I) \times M$$

- N : 1回のタッチダウンで測定可能なエレメント数
 T : 1エレメント当りの平均測定時間
 I : インデックスタイム
 M : ウエハ1枚あたりのタッチダウン必要回数
 p : エレメントの同時並列測定可能数
- $N \times M = 160000$

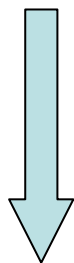


トランジスタ特性を含む電気測定も、同時測定等により外観検査装置と測定時間は同等

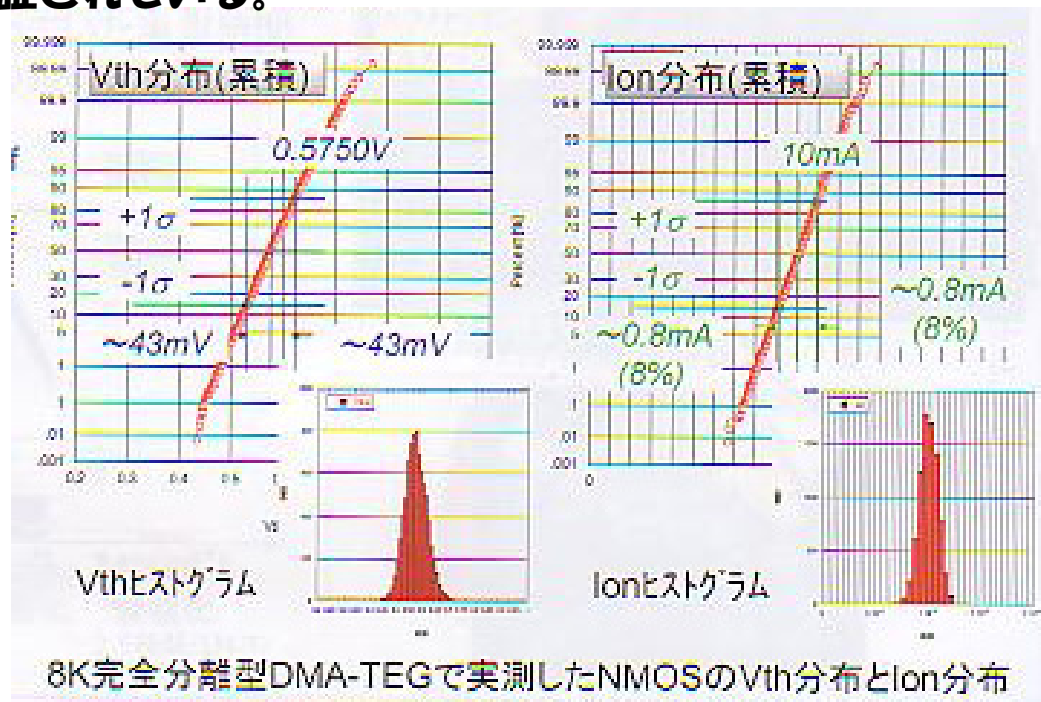
参: Tr特性の統計的ばらつき評価

ばらつき考慮設計に必要となるTr特性の統計的把握ニーズが顕在化＝測定負担大！

Ion, Vthといったトランジスタの特性値に関しても統計処理が行われる
Selete Miraiでの8K個のトランジスタの測定からも5 σ の範囲で正規分布として統計的な振る舞いをする実証されている。



- ・電気試験によるProcessの評価
- ・EDA (DFM) とのリンク
- ・統計処理を含むばらつき評価



ばらつき量と各要因との相関データ収集には 更に多大な測定時間が必要

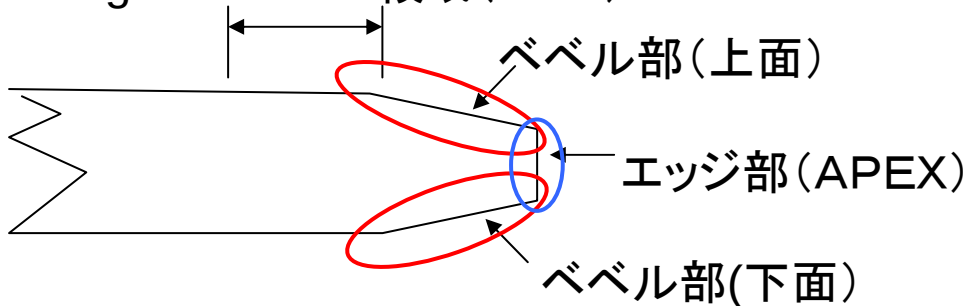
エッジ検査_1/3

エッジ検査装置の仕様を追加。
 歩留への影響は増大中との認識。(Key Challenge)
 検査速度、感度、欠陥の自動分類性能、に関する数字の見直し。
 量産適用時の処理能力の要求値追加。

Table YE7a 1 Bevel Inspection Technology Requirements —Near-term Years

Year of Production	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	65	57	50	45	40	35	32	28	25
Flash ½ Pitch (nm) (un-contacted Poly)(f)	54	45	40	36	32	28	25	22	20
after inspection on multilayer product wafer of top and bottom bevel, APEX and 3 mm wafer edge exclusion[U]									
PSL spheres at 90% capture rate, Equivalent sensitivity (nm) [N, O]									
Sensitivity [nm] without speed requirement at 50 % capture rate	325	225	200	180	160	140	125	110	100
Sensitivity[nm] at 100 wafer/hrs	2000	2000	1250	1125	1000	875	800	700	625
Defect classes, ADC [P]	5	5	10	10	10	10	10	10	10
Toolmatching (%variation tool to tool)	10%	10%	10%	10%	10%	5%	5%	5%	5%
CoO [\$ /300 mm wafer]	1	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7

Edge Exclusion領域(2mm)



- 検査領域
上下ベベル、APEXとWEE
- 要求検査感度 5xDR w/o
- 100枚処理時の感度を修正
- ADCの欠陥数
- Toolマッチング、CoO等

エッジ検査 2/3

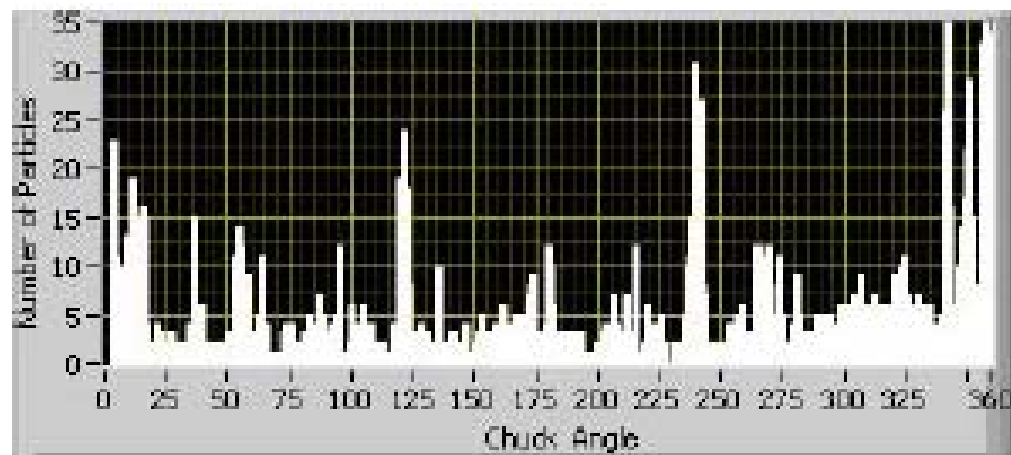
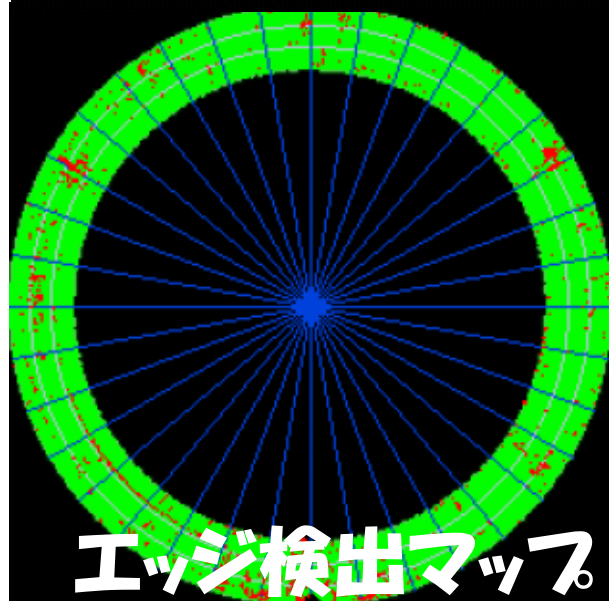
致命欠陥(クラック)

膜剥がれ

エッジの画像

致命欠陥(チッピング)

資料提供: 株式会社東京精密

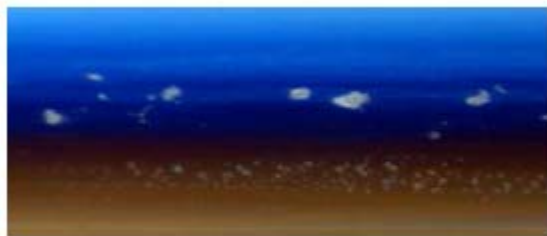


欠陥ヒストグラム

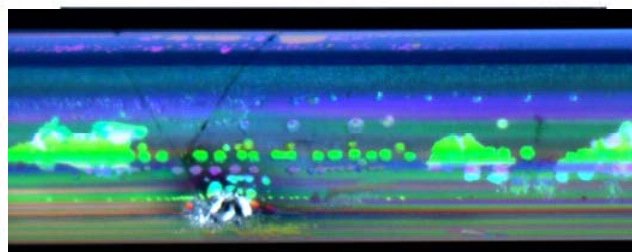
エッジ検査_3/3

ADC(Auto Defect Classification)の要求
分類すべき欠陥としては、下記のようなものがある。

資料提供:株式会社東京精密



明るい点欠陥(膜剥がれ)



巨大膜剥がれ、クラック



付着異物



暗い欠陥(異物)



巨大な剥がれ欠陥

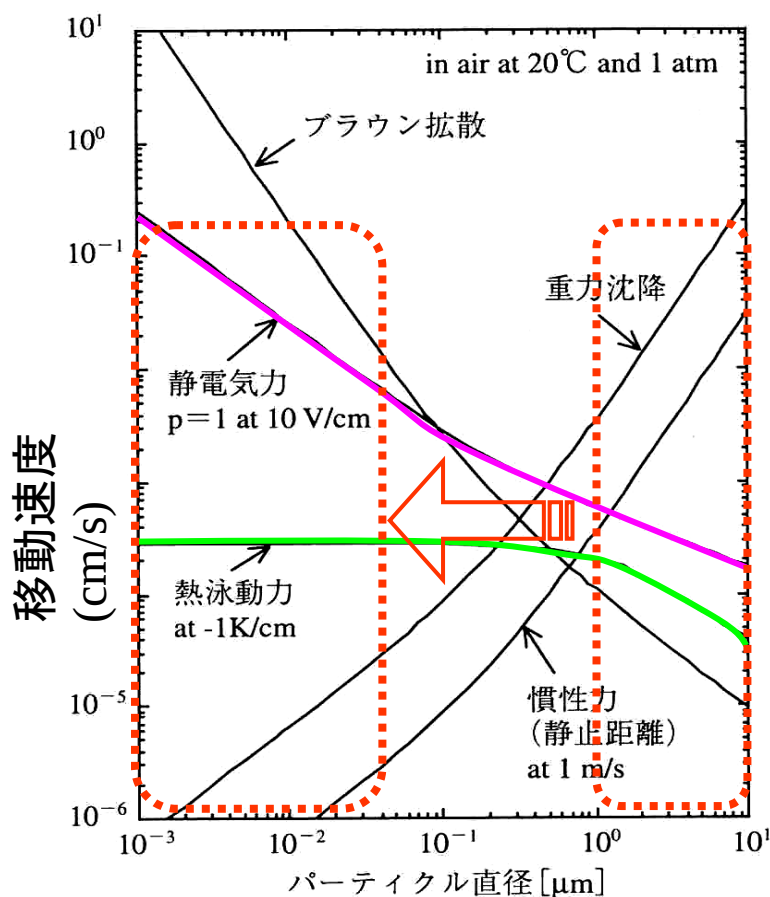


チッピング

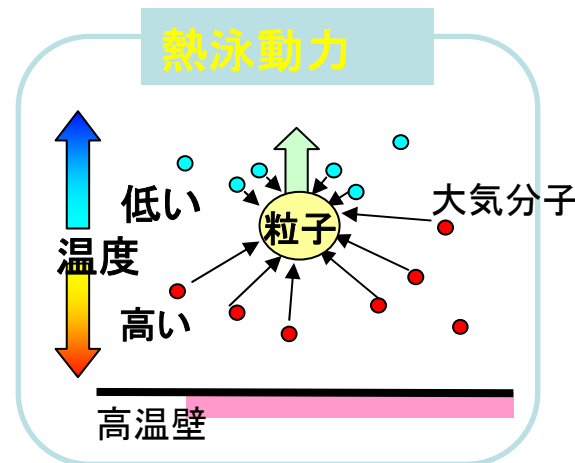
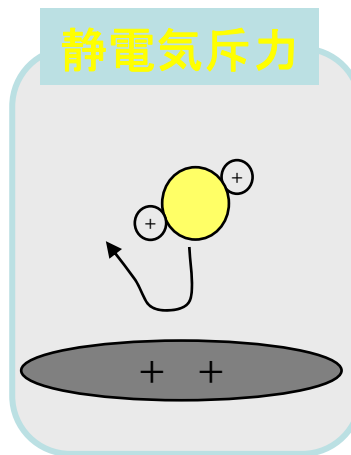
これら欠陥を検査と同時に自動分類することが求められる。

微小Particleの特性

小さくなるにつれて 重力/慣性力より静電気力/熱泳動力が支配的となる

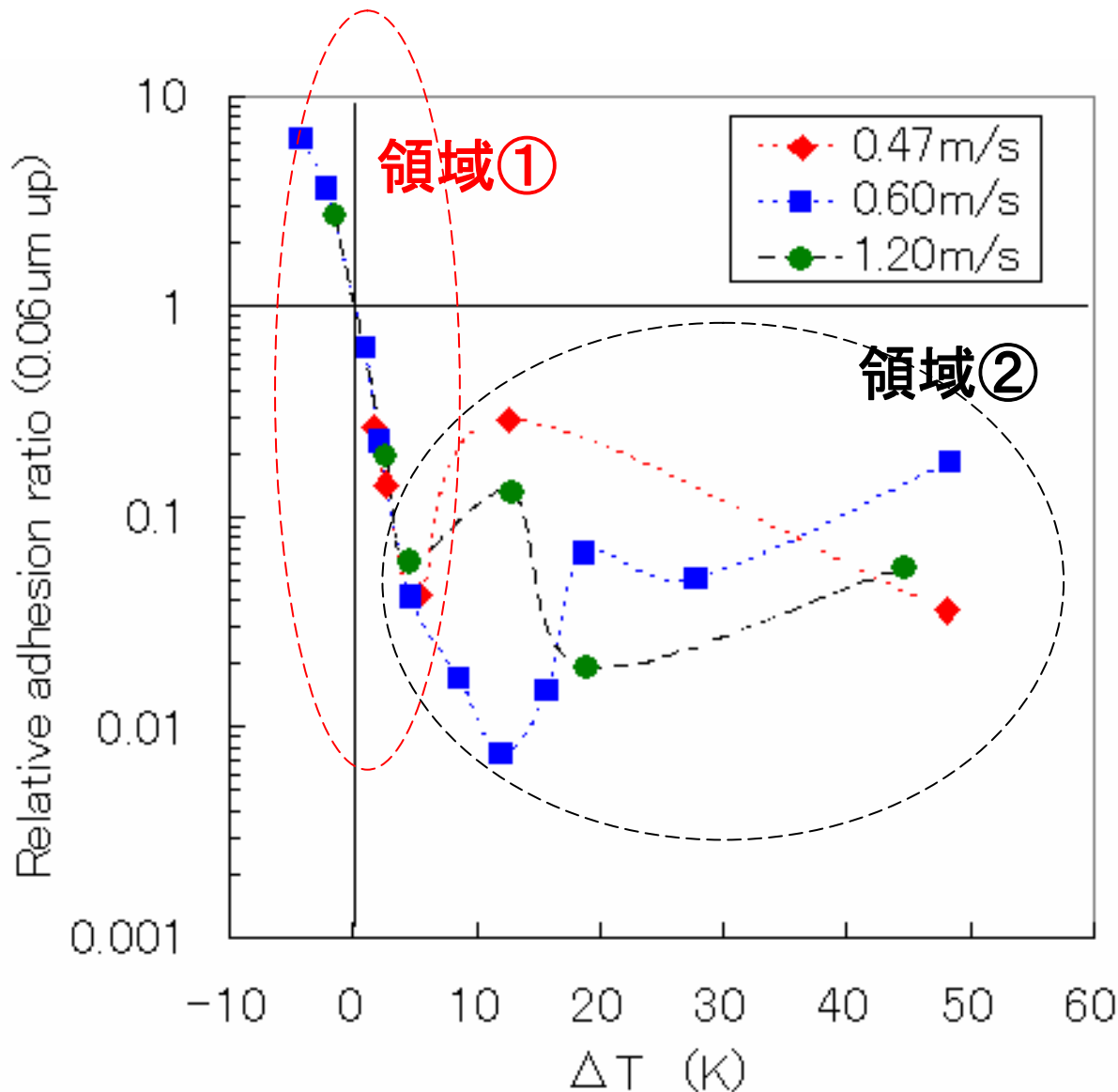


資料提供: 東京エレクトロン株式会社



付着制御手法	特徴	問題点
静電気斥力	・微小なパーティクルほど有効と考えられる。	・パーティクルとウェハの帯電コントロール ・静電気放電の問題
熱泳動力	・導入が容易	・静電気と異なり、微小なパーティクルに対するアドバンテージがない

熱泳動力による微小Particle付着防止

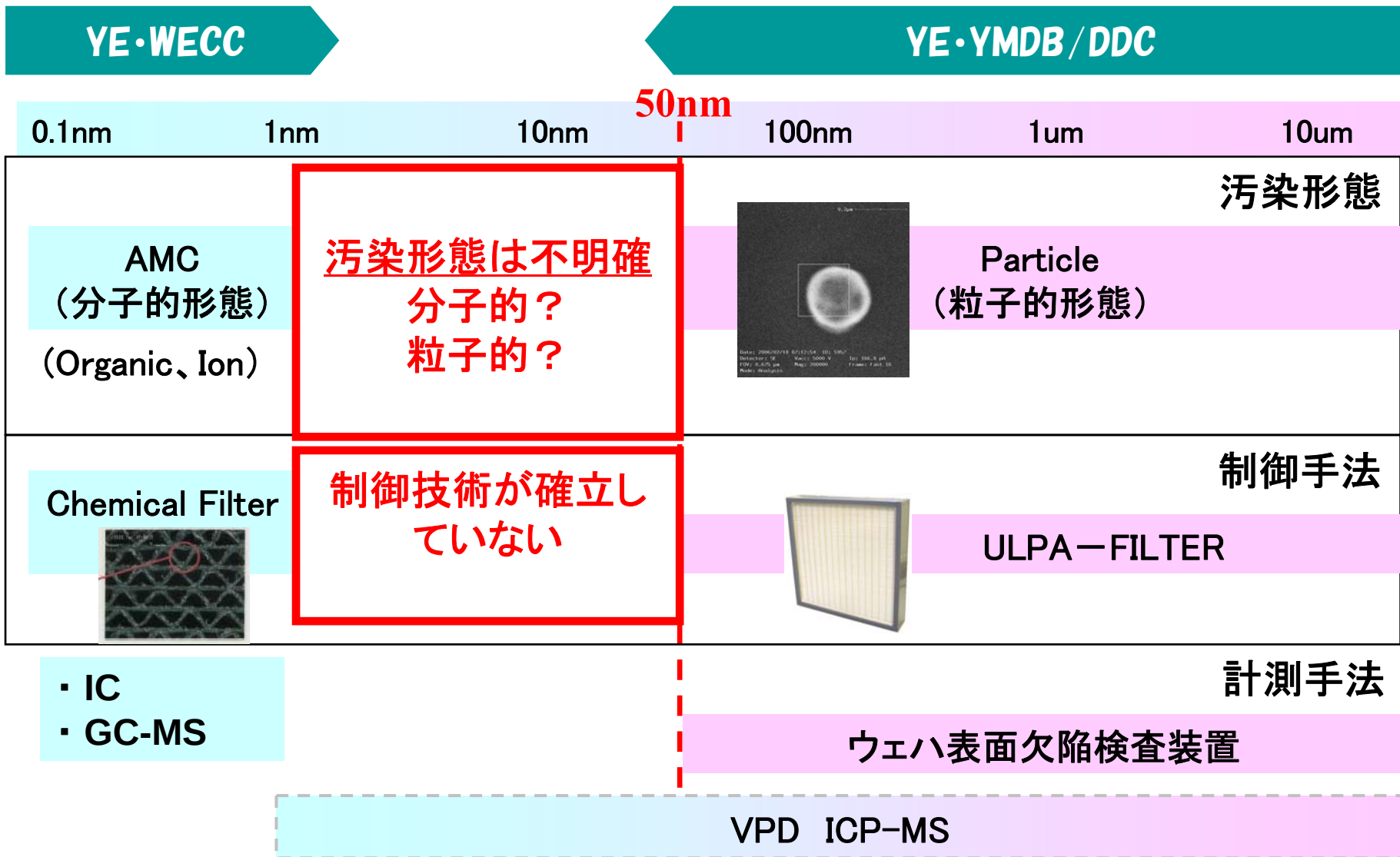


熱泳動による60nm
以上のパーティクル
の付着制御は非常
に有効

挙動の異なる2つの
領域が存在

資料提供: 東京エレクトロン株式会社

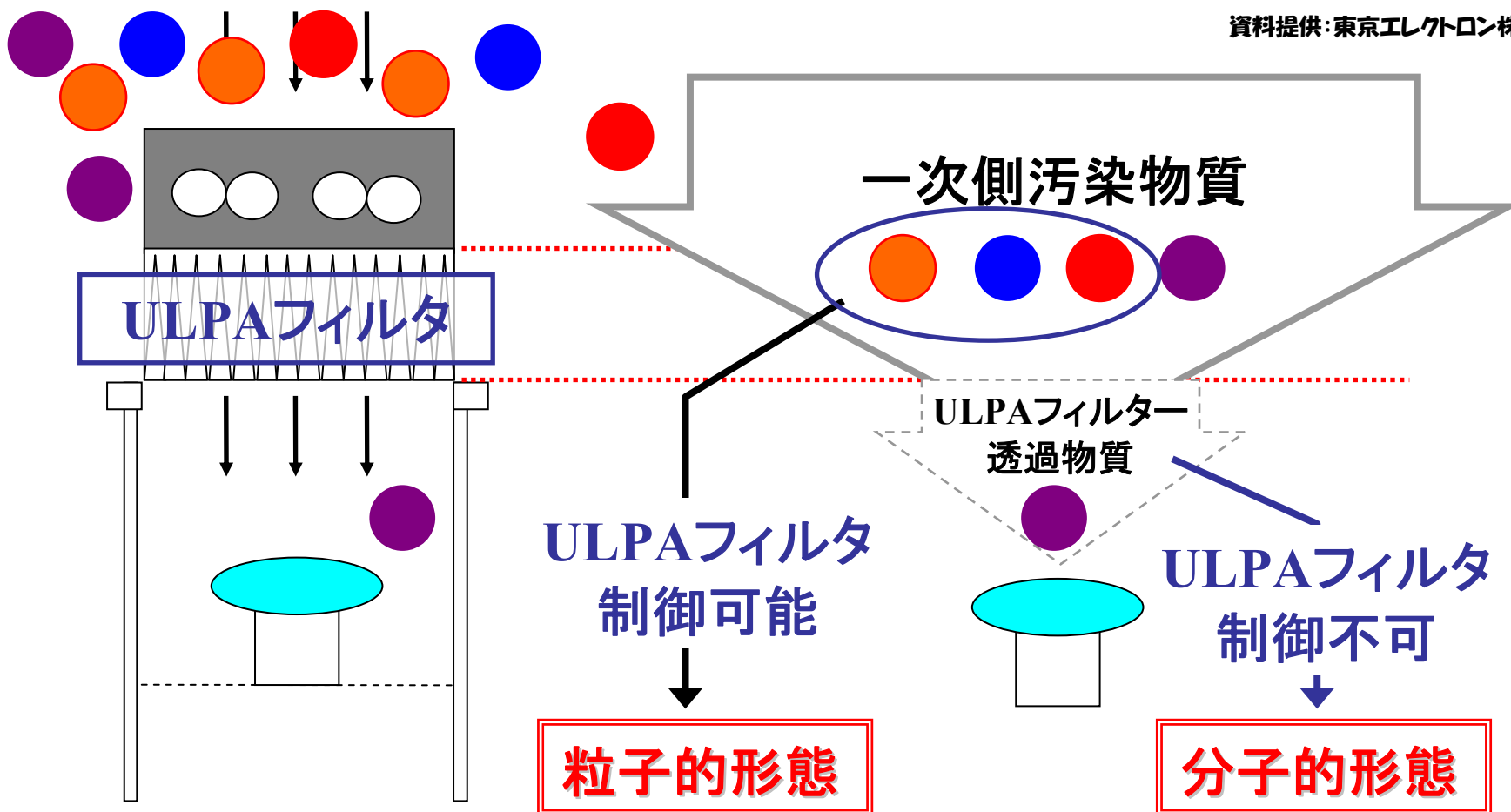
微小Particleの汚染形態と制御



資料提供: 東京エレクトロン株式会社

汚染形態評価方法

資料提供: 東京エレクトロン株式会社

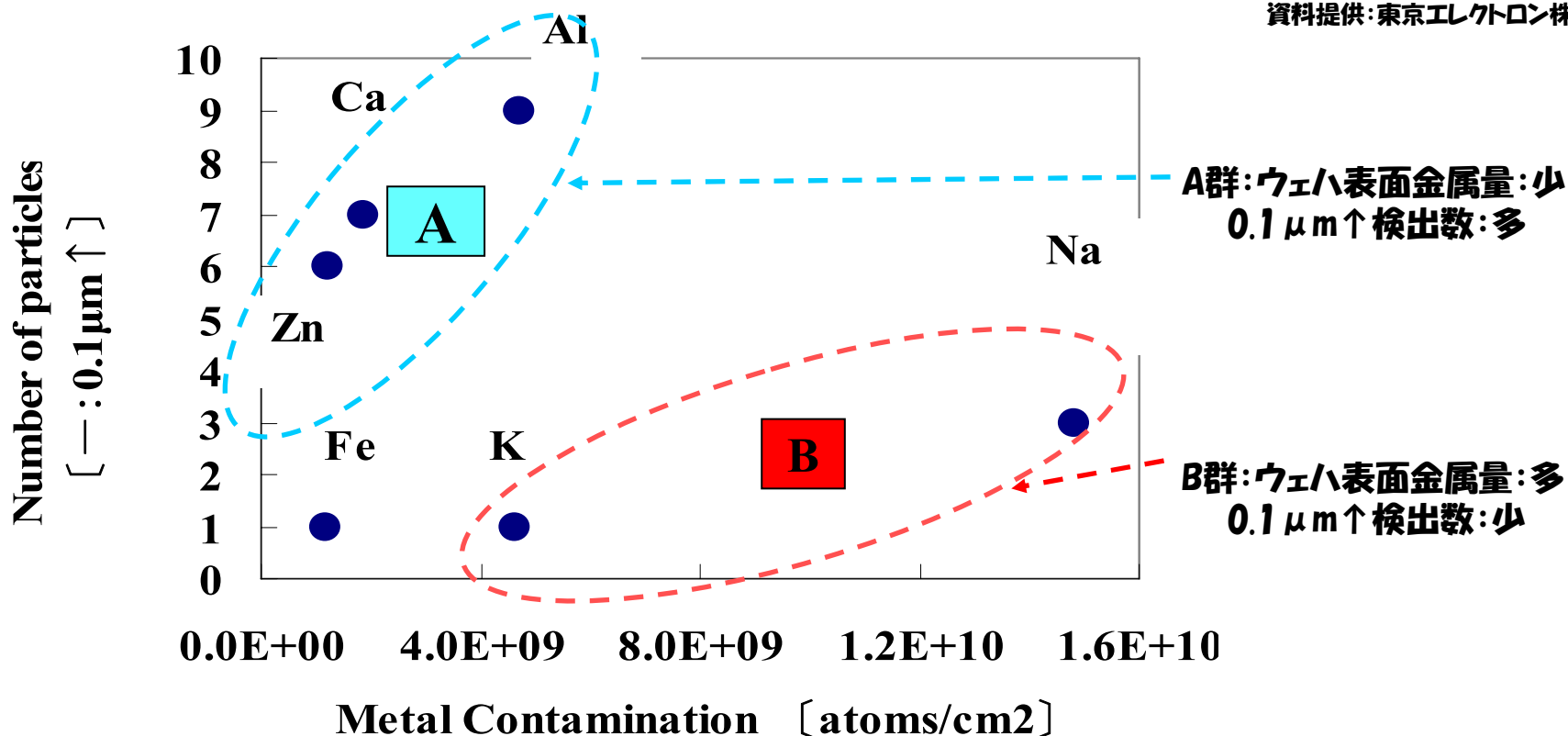


ULPA フィルター透過金属汚染の挙動を解析する事で
50nm以下の金属汚染の形態を検証

金属含有パーティクルと金属汚染量

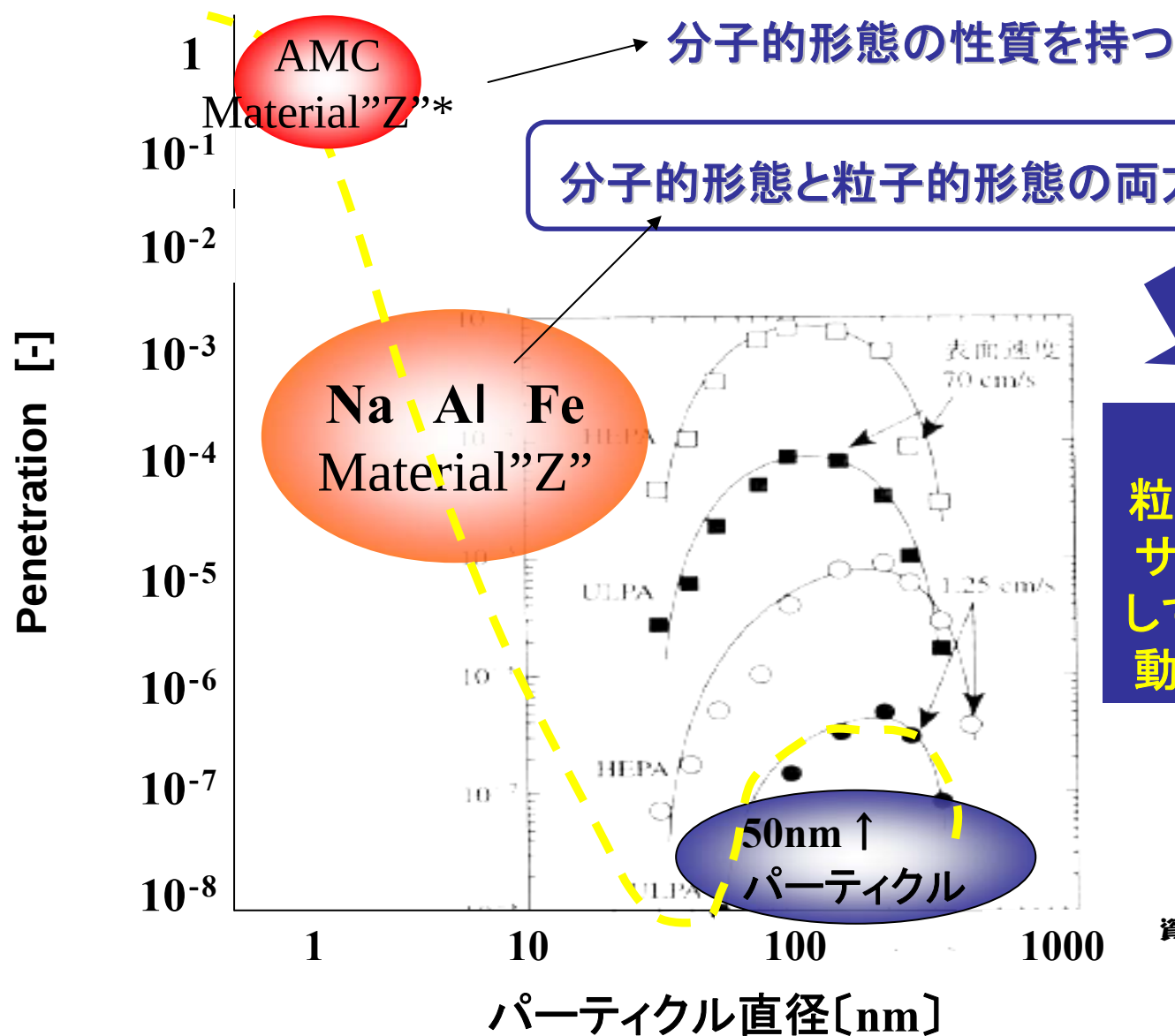
< 金属含有パーティクル数とウェハ上金属汚染量の比較 >

資料提供: 東京エレクトロン株式会社



B群は 0.1μm↓パーティクルまたはその他の形態で存在

微小パーティクルの性質



分子状物質と
粒子状物質の間の
サイズの粒子に関
して、初めてその挙
動を実験的に解析

資料提供: 東京エレクトロン株式会社

- ・ 08年YE重点活動

SEMATECH/各極とのYE章全体の見直しに関する議論

謝辞

07年度WG11活動を 講演/資料提供等で御支援頂いた下記の皆様に深謝します。

産総研、東京エレクトロン、玉川大学、キヤノン、DNP、凸版、ニコン、アデカ
(kk/敬称略)

御静聴 有難う御座いました

參考資料

ばらつきに関する近年のトレンド

設計/モデリング

SSTA (Statistical Static timing analysis) ツールの充実

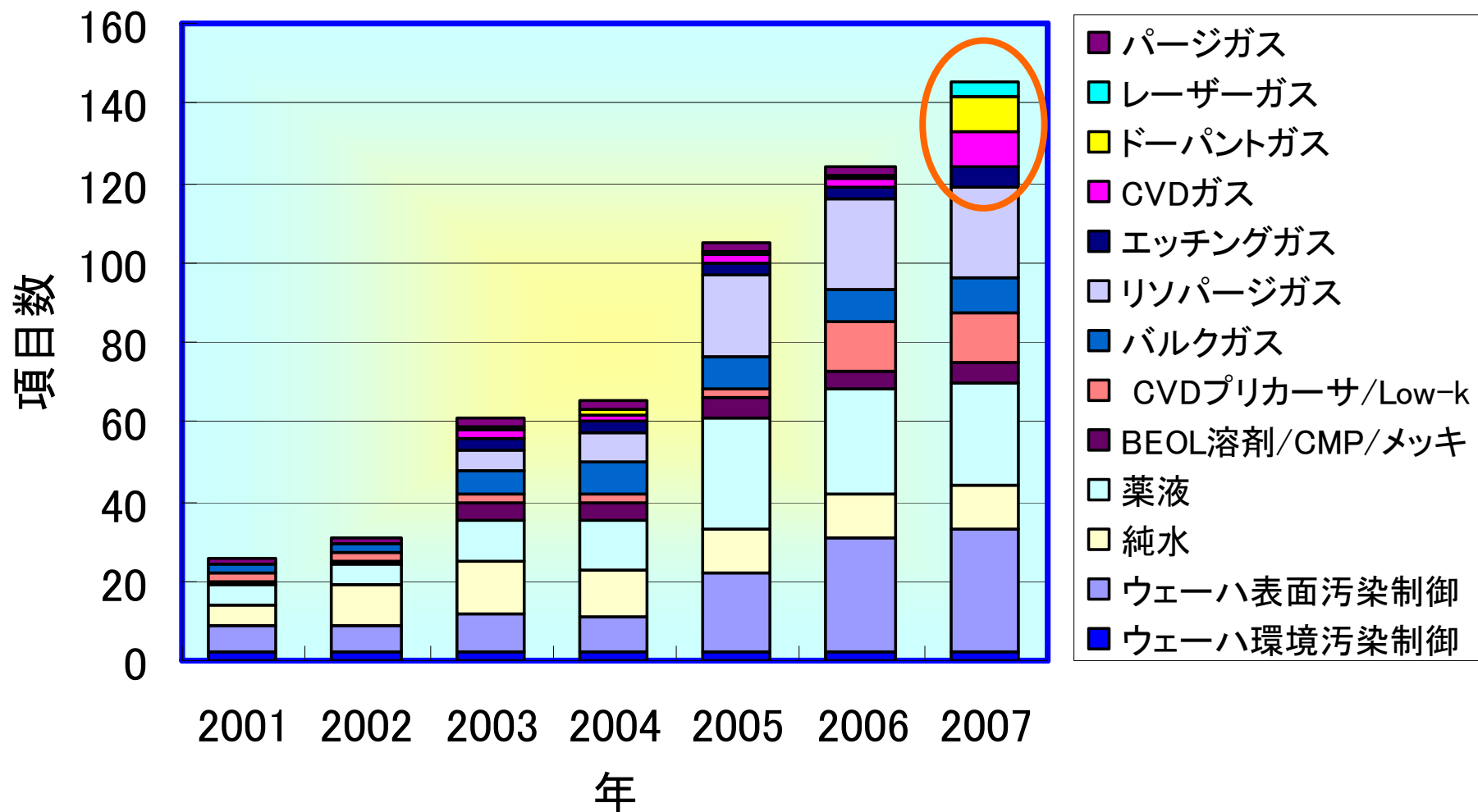
CMC (Compact Model Council) において、TSMCよりProcess Variabilityを考慮したモデリング環境の必要性をプレゼン

先端プロセス開発/量産

各学会 (VLSI Symposium, IEDM, ICMTS) における、ばらつきをキーワードとした発表

45nm以降のプロセスにおいて、Process/Manufacturing Varianceデータもプロセスデザイン用データとして提供することを大手Foundryが宣言

WECC要求項目数の推移

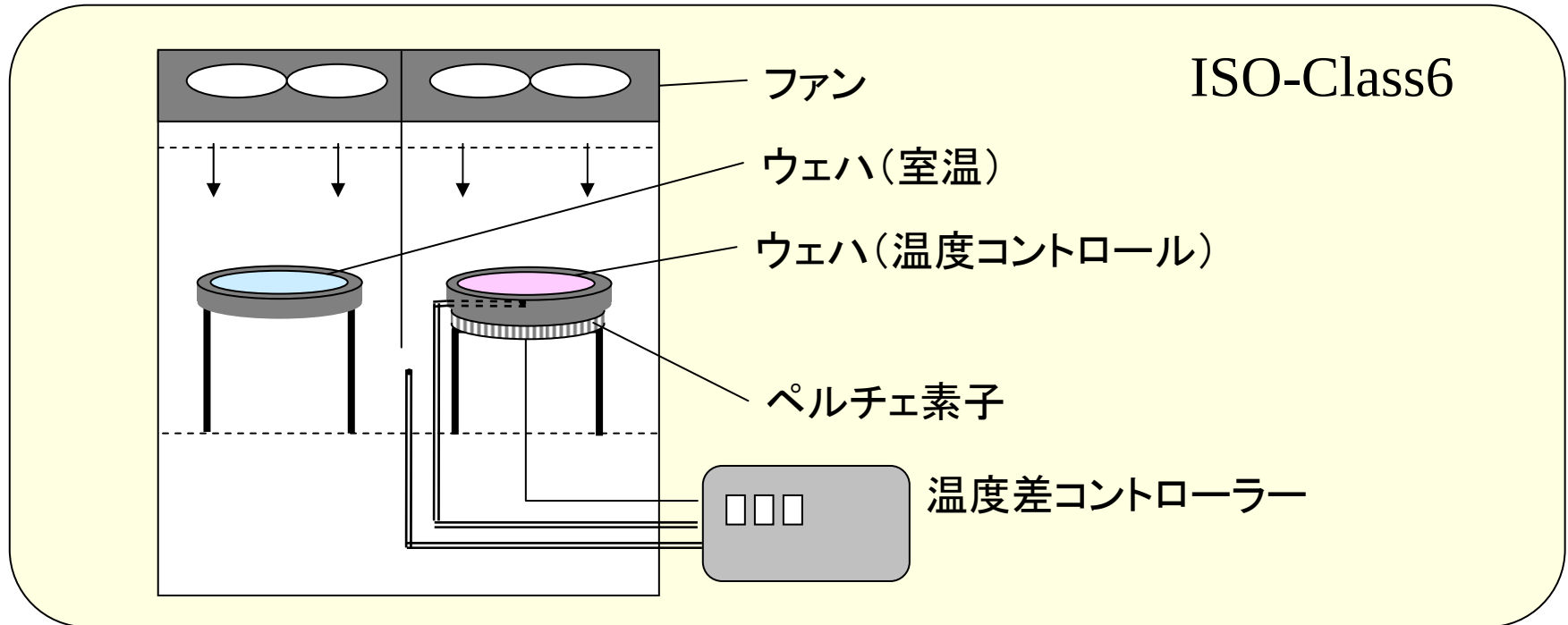


特殊ガス要求項目が増加

熱泳動力による微小パーティクル付着防止

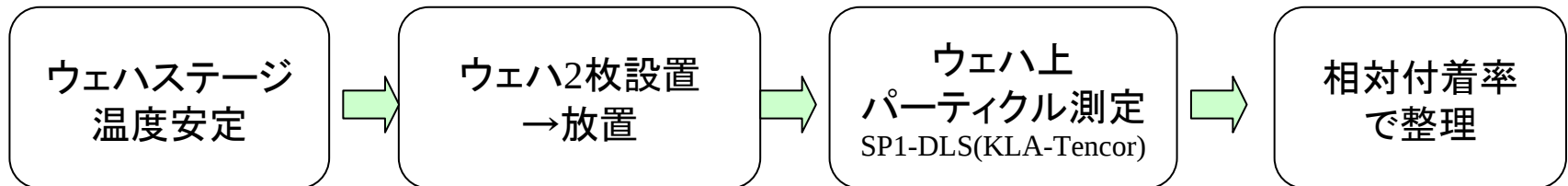
評価装置

資料提供: 東京エレクトロン株式会社



評価手法

$$\text{相対付着率} = \frac{\text{温度コントロールウェハのParticle増加数}}{\text{室温ウェハのParticle増加数}}$$



WECC国内活動まとめ

- 1. 2008年度の活動は、2007年度改訂版の作成、FEPとの整合性確保、必要性を考慮した要求値の緩和、プロセス仕様要求値の確立、WEPC要求値の導入などを図る。**
- 2. 東京エレクトロン林氏他の講演で、**
 - 1) ULPAフィルター透過金属汚染の挙動を解析することで50nm以下の金属汚染の形態を検証した。**
 - 2) 熱泳動力による60nm以上のパーティクル付着制御が有効である事が示された。**