

# Non-visual defect & Contaminationへの挑戦

- 2009改定内容説明
- 2009年度活動報告

STRJ WG11 YE (Yield Enhancement)

# 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  
NVD (Non-Visual Defect) 見えない欠陥  
NVF (Non-Visual Fault) 見えない不良  
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  
AMC : Airborne Molecular Contaminants 大気分子汚染  
ILD : Inter Layer Dielectrics 層間絶縁膜  
FOUP : Front Opening Unified Pod ウェーハ格納・搬送容器  
TOC : Total Organic Carbon/Total Oxidizable 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  
TOA : Total Organic Acids 総有機酸量  
TOCS : Total Other Corrosive Species 他の総腐食性物質  
SMC : Surface Molecular condensable ウェーハ表面凝集性分子汚染  
FMEA : Failure Mode and Effect Analysis 故障モード影響解析

# WG11 メンバー表



氏名	会社名	Y E 役割分担案	
白水好美	NECエレクトロニクス	リーダー・WECC	半導体メーカ 8 アカデミア 1 コンソーシアム 0 サプライヤ 8 計 17
桑原純夫	NECエレクトロニクス	YE国際 YMDB	
嵯峨幸一郎	ソニー	委員・YE国際・WECC	
永石 博	ルネサステクノロジ	委員 DDC	
松本康彦	ローム	委員 WECC	YMDB 1.5 DDC 5 WECC 10.5 計 17
橋爪貴彦	パナソニック	委員 DDC	
槌谷孝裕	富士通マイクロエレクトロニクス	委員 DDC	
津金賢	日立製作所	サブリーダー・YE国際・WECC	
水野文夫	明星大学	特委_アカデミア・DDC WECC	
西萩一夫	堀場製作所	特委_SEAJ計測WG委員 WECC	
達本剛隆	レーザーテック	特委_SEAJ計測WG委員 DDC	
池野昌彦	日立ハイテク	特委_サプライヤ YMDB DDC	
北見勝信	栗田工業	特委_サプライヤ・WECC	
二ツ木高志	オルガノ	特委_サプライヤ・WECC・幹事	
林輝幸	東京エレクトロン研究所	特委_サプライヤ・WECC・	
杉山勇	野村マイクロサイエンス	特委_サプライヤ・WECC・	
近藤郁	リオン株式会社	特委_SEAJ計測WG委員 WECC	

## WECC/AMC (Air-borne Molecular Contaminants)改定概要

	<i>Year of Production</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>2015</i>	<i>2016</i>
	<i>Gate/Furnace area wafer environment (cleanroom/POD/FOUP ambient)</i>								
	Total metals [8]	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<u>Add</u>	<u>Total surface metals on wafers, 1e10 atoms/cm2/day</u>	<u>2</u>	<u>0.5</u>	<u>0.5</u>	<u>0.5</u>	<u>0.5</u>	<u>0.5</u>	<u>0.5</u>	<u>0.5</u>
	<i>Exposed Copper Wafer Environment (Cleanroom/POD/FOUP ambient)</i>								
Was	H2S	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Total sulphur compounds	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
<u>Is</u>		<u>2500</u>	<u>2500</u>	<u>2500</u>	<u>2500</u>	<u>2500</u>	<u>2500</u>	<u>2500</u>	<u>2500</u>
	<i>Reticle Exposure (Cleanroom/POD/Box ambient)</i>								
Was	Total Inorganic Acids	500	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD
<u>Is</u>		<u>500</u>	<u>500</u>	<u>500</u>	<u>500</u>	<u>500</u>	<u>500</u>	<u>500</u>	<u>500</u>
Was	Total bases	2500	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD
<u>Is</u>		<u>5000</u>	<u>5000</u>	<u>5000</u>	<u>5000</u>	<u>5000</u>	<u>5000</u>	<u>5000</u>	<u>5000</u>

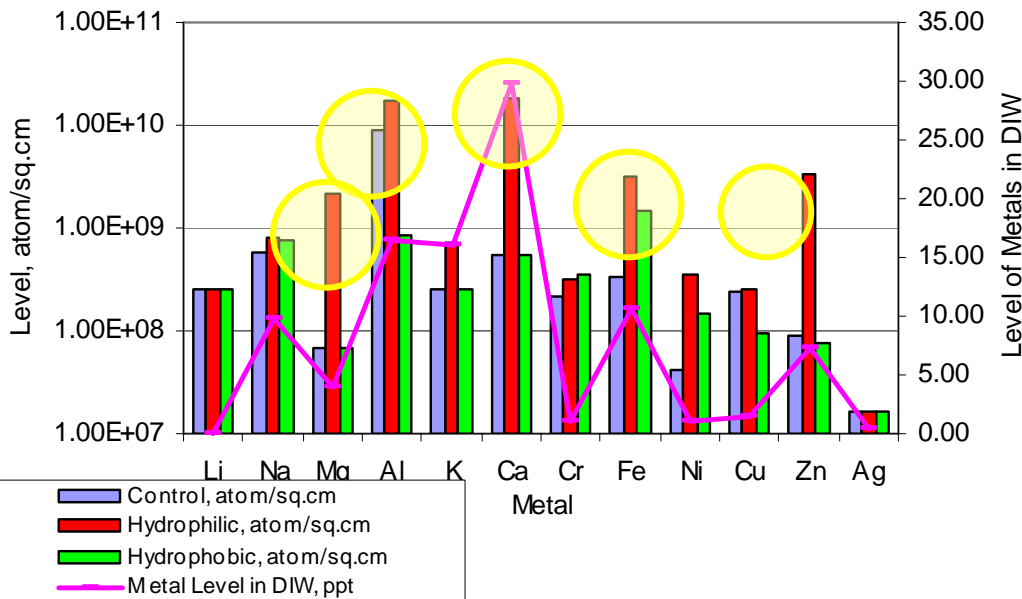
Gate/Furnaceエリアで気中メタルの定義に加えてウェーハ表面の定義を追加  
CuエリアでH2S濃度変化はないが、トータルのイオウ化合物の値が厳しくなった  
レチクル環境の酸と塩基の値が改定された。⇒リソエリアに比較して10倍厳しい値

# Critical Metalsの改定 (UPW)

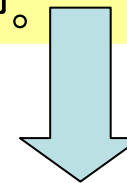
Critical metals : Al, As, Ba, Ca, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sn, Ti, Zn.

Level of Metals deposition on Hydrophilic Silicon Wafer from DI Water at 60 C

## UPWへ吸着しやすさの実験(UPWチーム)



左記データよりMg, Al, Ca, Zn, Feが選択されPbを加えてCritical Metalとする予定で議論中。



2008年の改定には間に合っていない

※今度の改定にあわせてFEP等のcritical metalと整合が取れていないので整合をとるよう  
に要求した。

## FEP Metals

Critical GOI surface metals:⇒ Fe, Ca, Ba, Sr,

Critical other surface metals :⇒ Fe, Ni, Cu, Cr, Co, Hf, Pt,

Mobile ions:⇒ Na, K, ..

# 純水中のCritical Metalsの決め方を提案

Table : Critical Metals in UPW

2009.3.6 by J-WECC

	FEP critical metals	Occurrence in UPW	Deposition probability	Points	WECC critical metals in UPW	Comments
Ag	No	No	Low	1	no	
Al	No	Yes	High	81	no	
As	No	No	Unknown	#####	Unknown	
B	No	Yes	Unknown	#####	Unknown	
Ba	Critical	Seldom	Unknown	#####	Unknown	less critical ?
Ca	Critical	Yes	High	729	Critical	
Co	Critical	Seldom	Unknown	#####	Unknown	Critical ?
Cr	Critical	Yes	Middle	243	Critical	
Cu	Critical	Seldom	Unknown	#####	Unknown	Critical ?
Fe	Critical	Yes	High	729	Critical	
Ga	No	No	Unknown	#####	Unknown	
Ge	No	No	Unknown	#####	Unknown	
Hf	Critical	No	Unknown	#####	Unknown	
K	Mobile	Yes	Middle	81	less critical	
Li	No	No	Low	1	no	
Mg	No	Seldom	High	27	no	
Mn	No	Seldom	Unknown	#####	Unknown	
Na	Mobile	Yes	Middle	81	less critical	
Ni	Critical	Yes	Middle	243	Critical	
Pt	Critical	No	Unknown	#####	Unknown	less critical ?
Sr	Critical	No	Unknown	#####	Unknown	
Ti	No	Seldom	Unknown	#####	Unknown	
Zn	No	Yes	High	81	less critical	

FMEA的手法を用い  
金属の影響度を評価

Classification	Based on FEP table	Based on hearing from UPW suppliers	Based on experiments by US WECC WG	Product	Classification Definition	Specification
	Point Definition				No; <81	10ppt
	Critical; 9	Yes; 9	High; 9		Critical; >=243	0.5ppt
	Mobile; 3	Seldom; 3	Middle; 3		Less critical; 81=<x<243	1ppt
	No; 1	No; 1	Low; 1		No; <81	10ppt

2009年版に反映

3つのFactorにより評価する

- デバイス影響
- ウェハへの付着確率
- 存在確率

Table YE9 Technology Requirements for Wafer Environmental Contamination Control

Year of Production		2009	2010	2011
	Flash 1/2 Pitch (nm) (un-contacted Poly)(f)	38	32	28
	DRAM 1/2 Pitch (nm) (contacted)	52	45	40
	Process Critical Materials [5,7]			
	Ultrapure Water [29]			
Was	Critical metals (ppt, each) [6]	<1.0	<1.0	<1.0
Is	Critical metals (ppt, each) (Ag,Au,Ca,Cu,Fe,Na,Ni,Pt)	<1.0	<1.0	<1.0
ADD	Metals (ppt each) (Al,Ba,Co, Cr,Ga,Ge,Hf,K,Li,Mg,Mn,Mo,Sr,Ti,Zn)	<10	<10	<10
	Other critical ions (ppt each) [24]	<50	<50	<50
	Boron (ppt) [24]	<50	<50	<50

# ITRS 2009 Difficult Challenge

<u>Difficult Challenges <math>\geq 16</math> nm</u>	<u>Difficult Challenges <math>&lt; 16</math> nm</u>
多様な致命欠陥の高S/N検出	<b>Non-Visual Defects</b> および プロセスバラツキ
3次元構造の欠陥検出	インラインでの欠陥解析
プロセス安定性と コンタミネーションレベル (ガス、薬品、CR雰囲気、 プリカーサー、純水)	450mm ウエハへの対応
エッジ/ベベルのモニタリング および汚染の制御	

# Non-visual defect & Contaminationへの挑戦

汚染・欠陥を見える化し、それらのデバイスへの影響を論理的に解明し、これを確実に制御することで、デバイス性能・歩留まりの向上を目指す。

(これまで)

微粒子、金属など汚染物質そのものを計測して、検出、制御

(問題点)

- ・ 検出が極めて困難な微細物質(粒子→分子)の影響が顕在化
- ・ 空気中やプロセス中で反応・結合して、悪影響のある不純物が生成

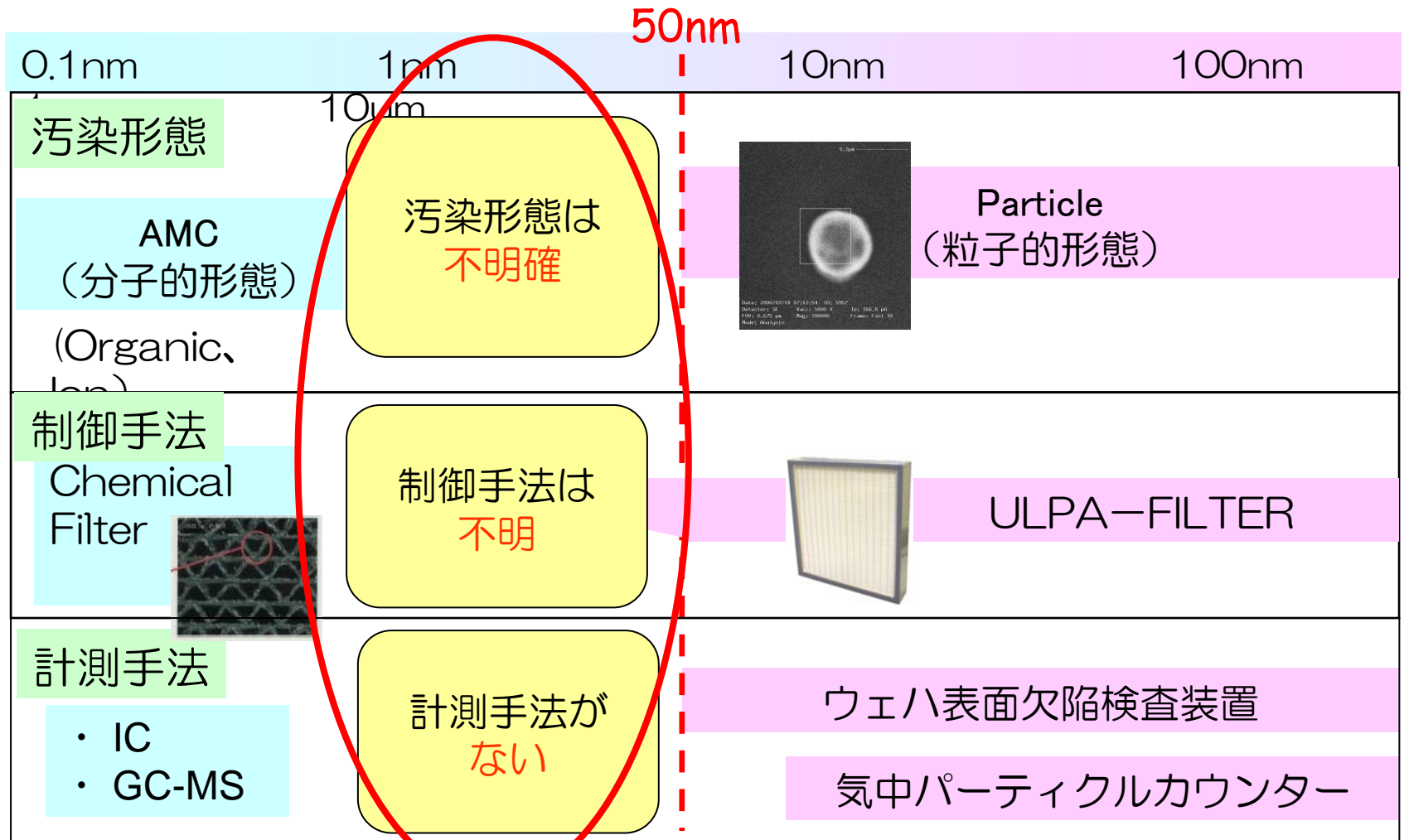
(今年度の取り組み)

「**Non-visual defect & Contamination**」 への挑戦として

- ・ 欠陥「そのもの」でなく、何らかの指標で検知できないか
  - ・ 悪影響物質の生成機構の明確化
- に取り組み、新たな観点でYEを進めた。



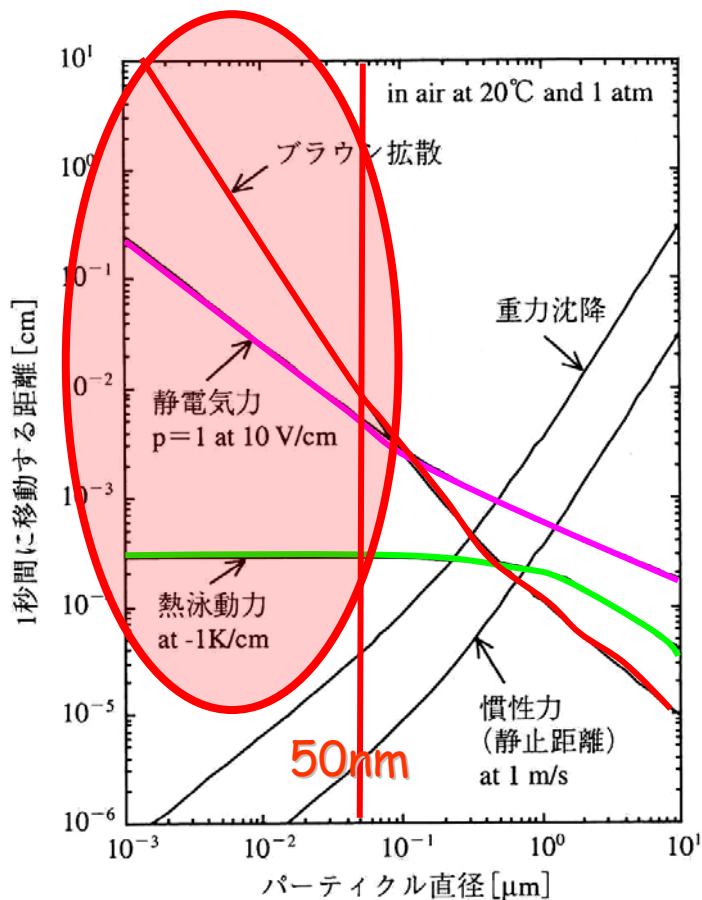
# 50nm以下パーティクル制御技術の現状



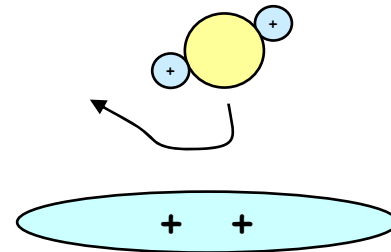
東京エレクトロン(株) 提供資料

# 50nm以下パーティクル制御技術

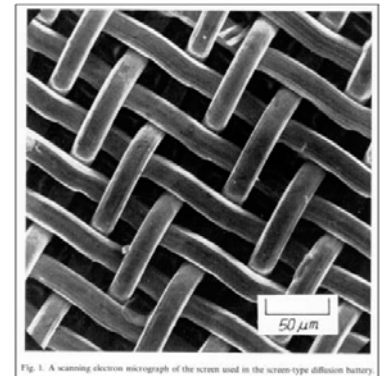
微小領域にて有効な3つの効果を、理論的に解釈することで、原理原則に基づく制御手法を開発する



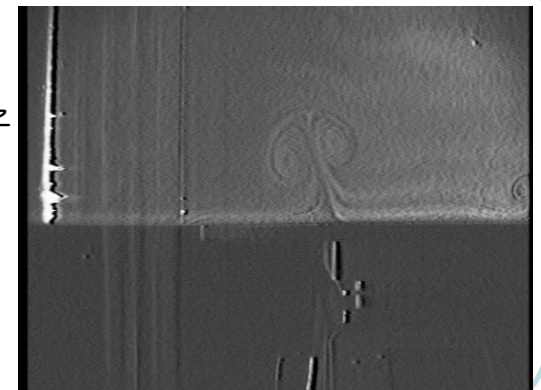
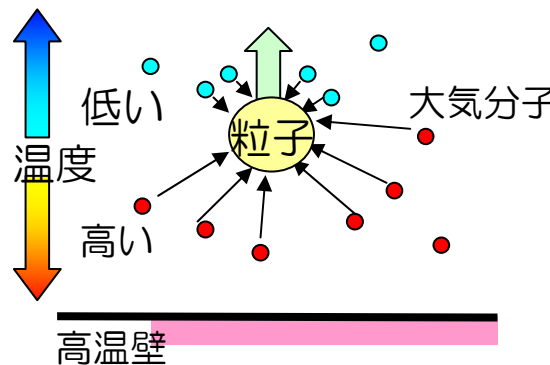
## 静電気力



## 拡散バツテリ



## 熱泳動力

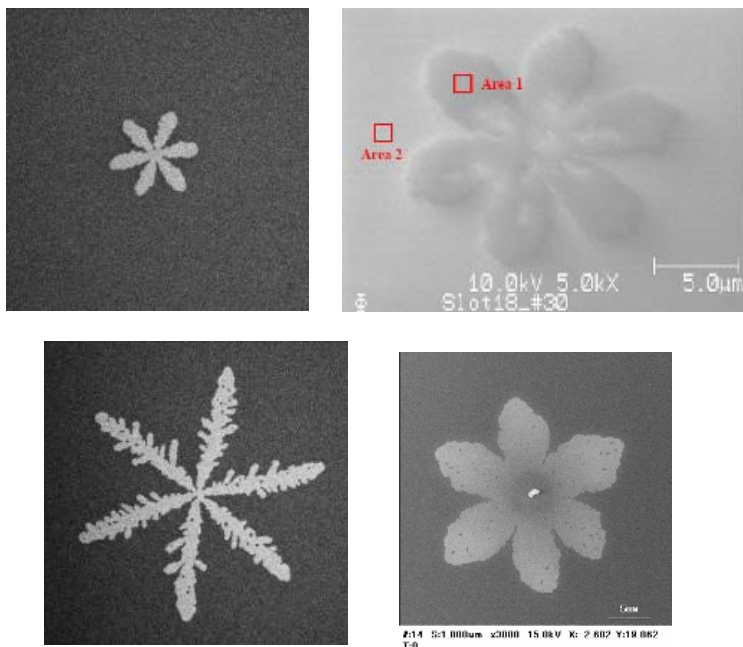


東京エレクトロン(株) 提供資料

# Stellar Defect on Vacuuming

## 分子の粒子化現象1

### Defects on Silicon



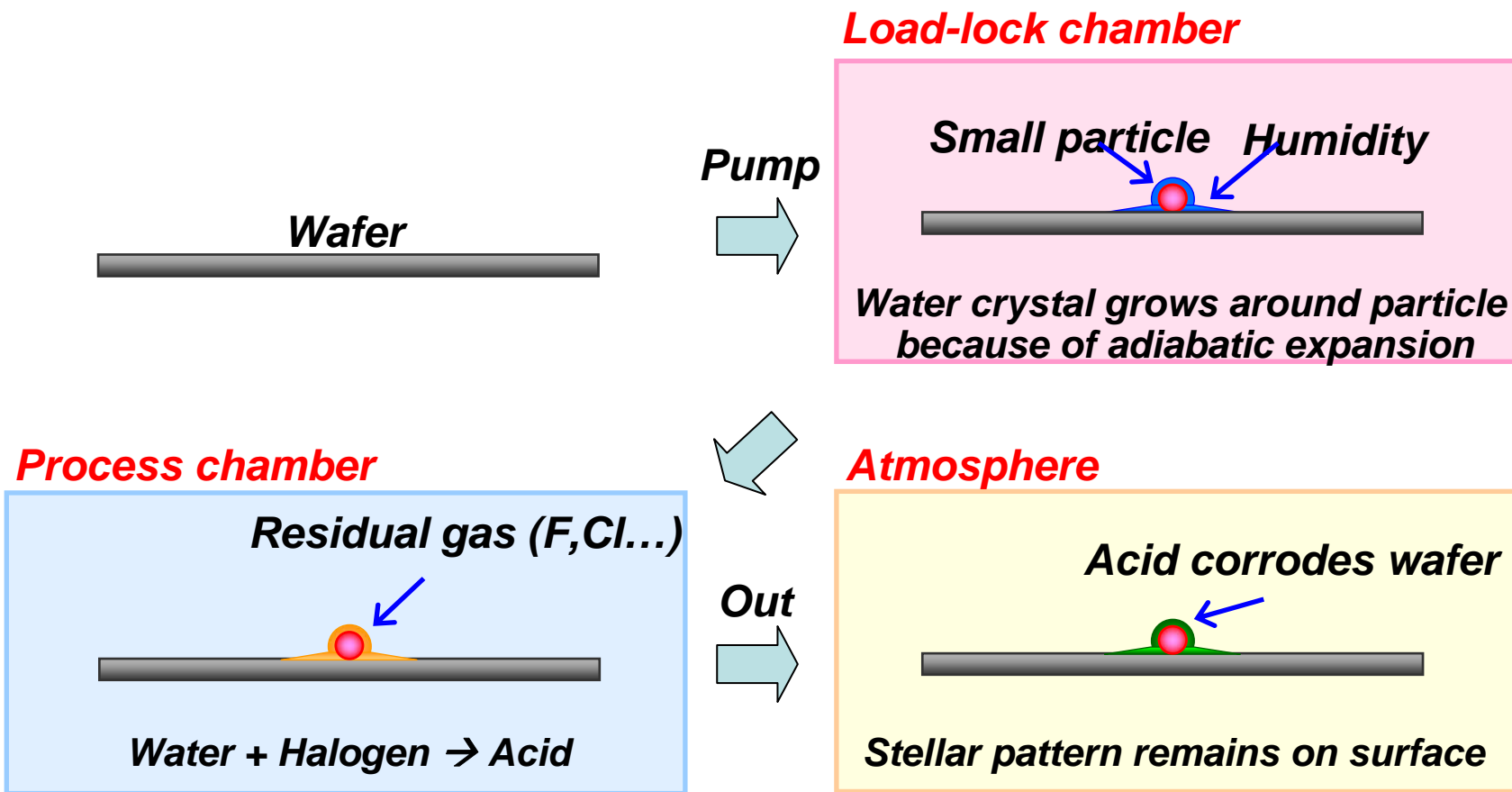
### Video Image of Defect Generation



***Ice crystals generates on vacuuming the wafer***

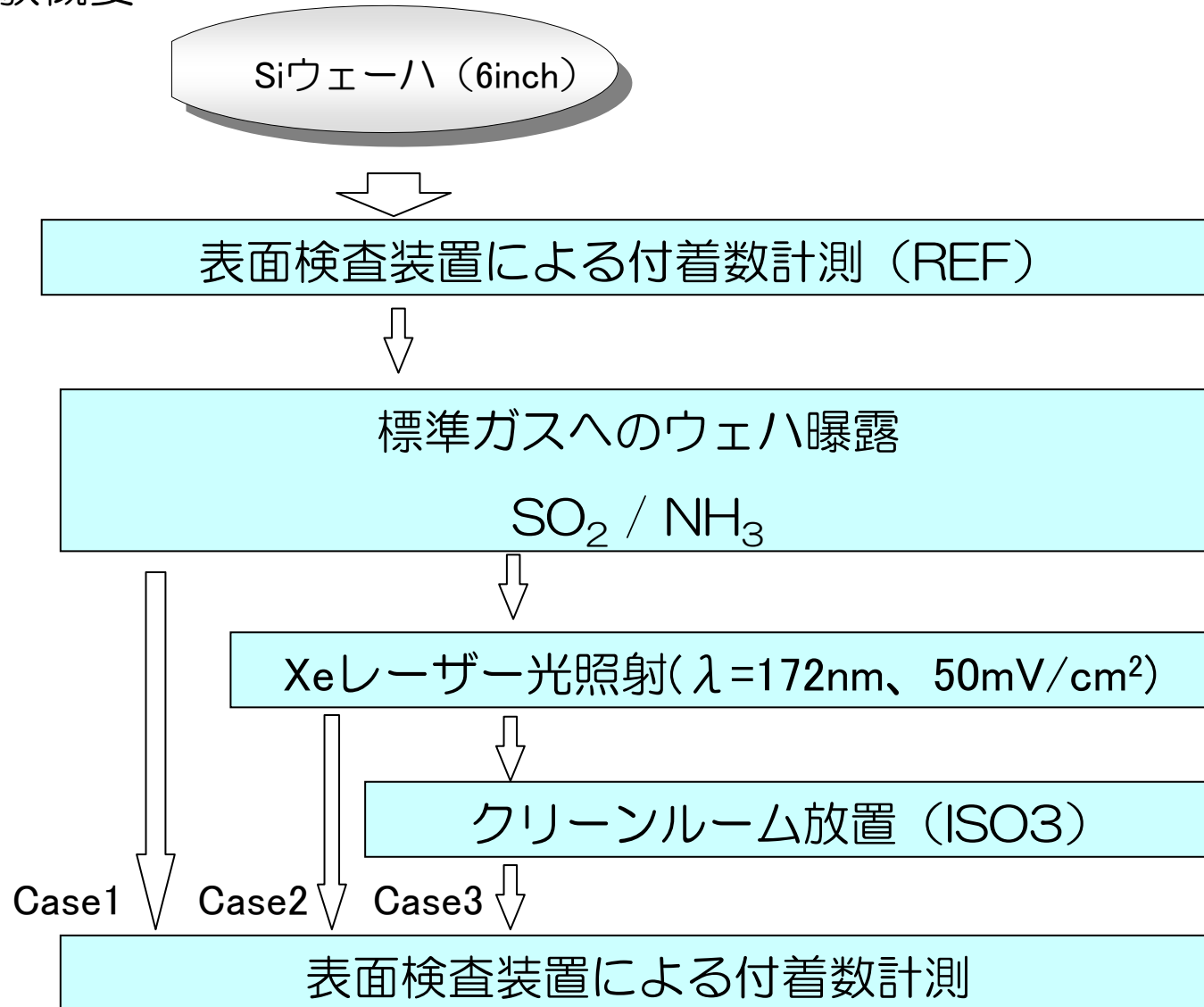
# Model of Stellar Defect

## 分子の粒子化現象2



東京エレクトロン(株) 提供資料

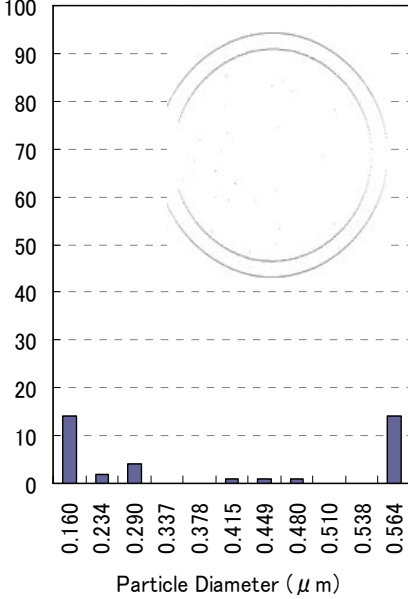
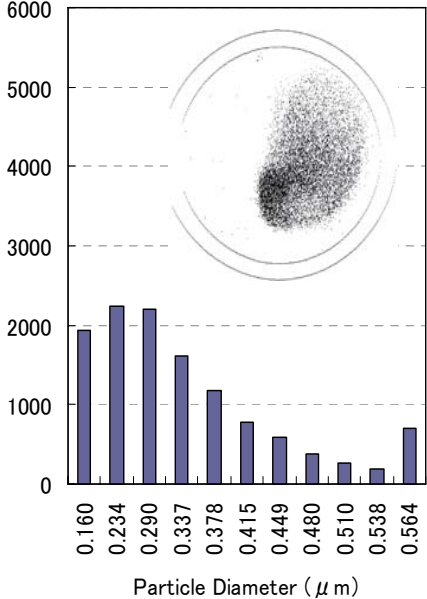
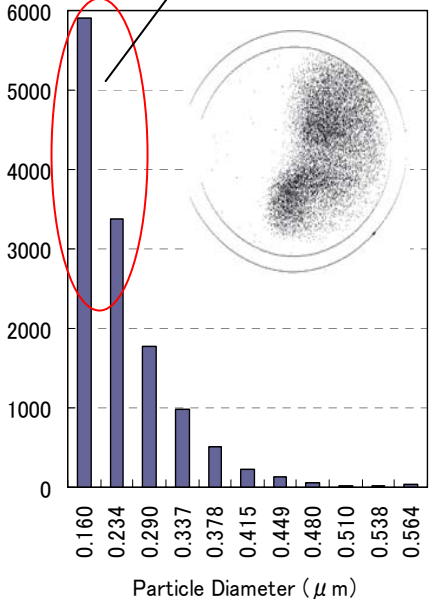
## ■ 実験概要



# マスクヘイズ生成～光照射によるナノ粒子生成

曝露したウェーハ表面に付着する粒子数

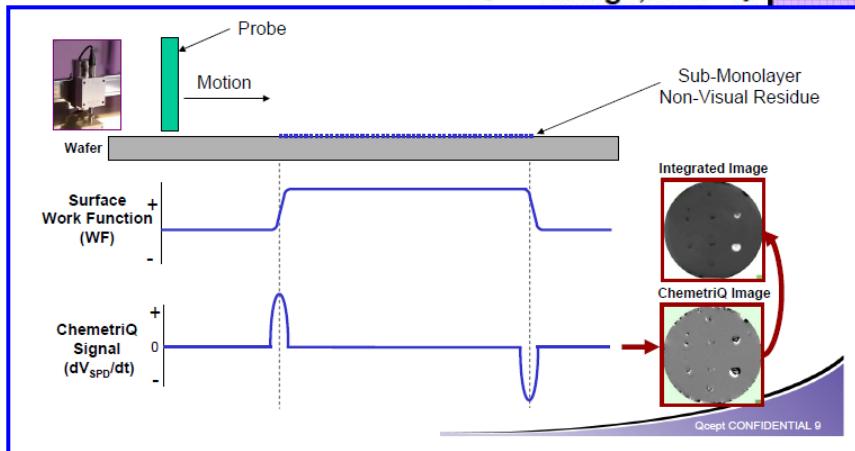
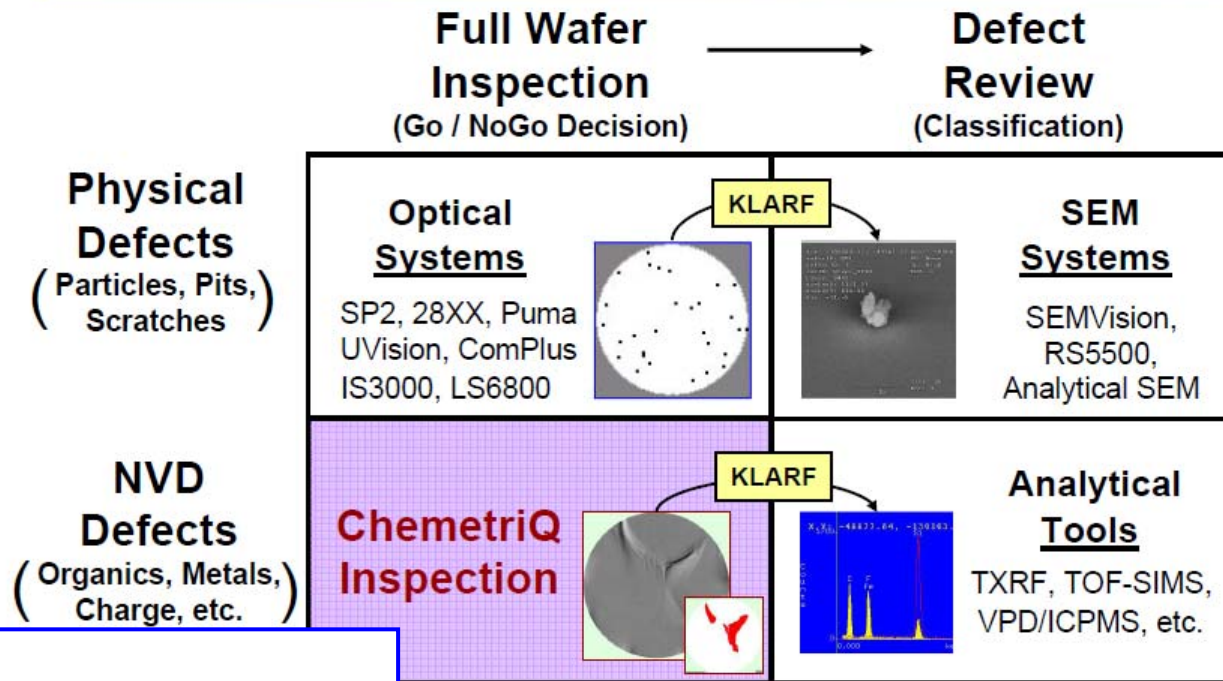
左:照射無し 右:照射あり

ウェーハ表面の付着粒子数 (particle/wafer)	付着なし 	照射部分にのみ付着 	パーティクルの増加 
	Case1	Case2	Case3
Xeランプ	OFF	ON	ON
曝露時間	12時間	1時間	1時間
クリーンルーム放置	無し	無し	24時間

(株)竹中工務店提供資料

# NVDの見える化への取り組み

## ChemetriQ Fills the NVD Inspection Gap



ChemetriQ is Complementary to Optical Inspection Tools

Qcept CONFIDENTIAL 7

Qcept提供資料

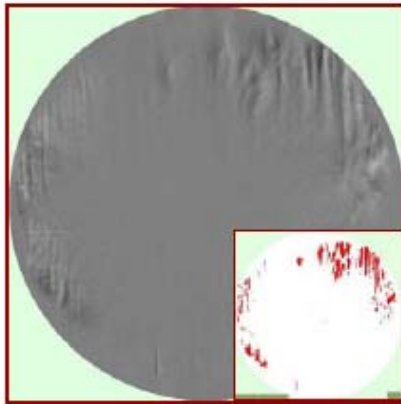
SPDI: Surface Potential Differential Imaging  
Work in Progress - Do not publish

## ChemetriQ Applications for NVD Inspection



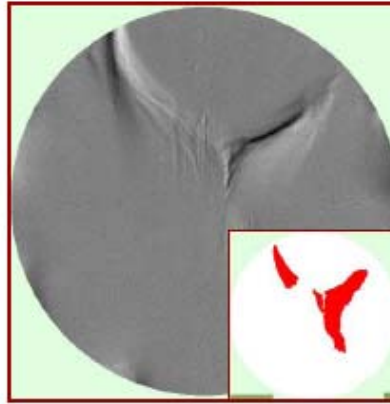
### Organic Residues

Post Via Etch Clean (ST250)



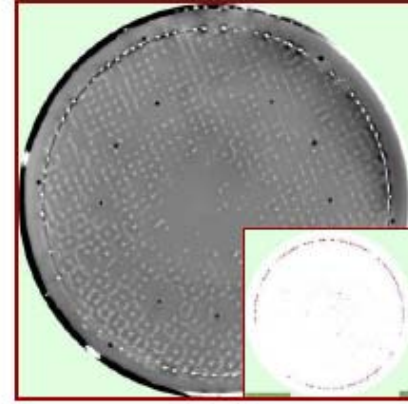
### Metallic Residues

Copper at  $5E11$  atoms/cm<sup>2</sup>



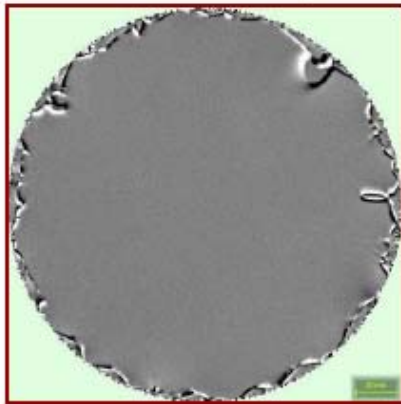
### Backside Residues

Aluminum & Fluorine Residues



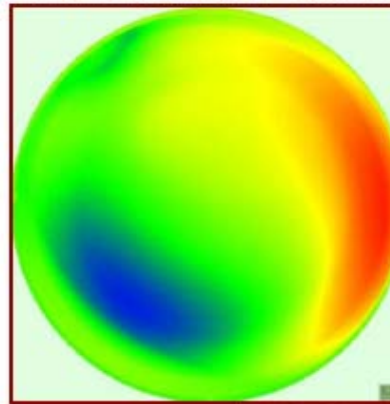
### Edge Defects

Backside Clean Wrap Around



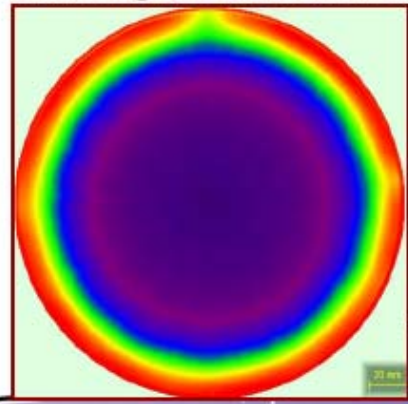
### Charge Maps

Post Plasma Etch / ESC Issue



### Charge Maps

Post Single Wafer Wet Clean



INITIAL 15

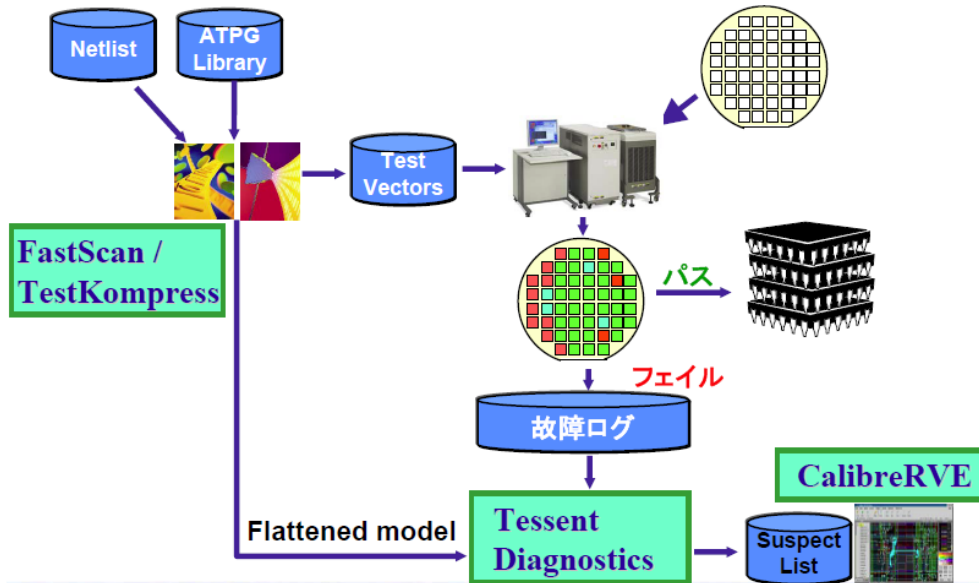
Qcept提供資料



# 故障診断システムによるNVFの抽出

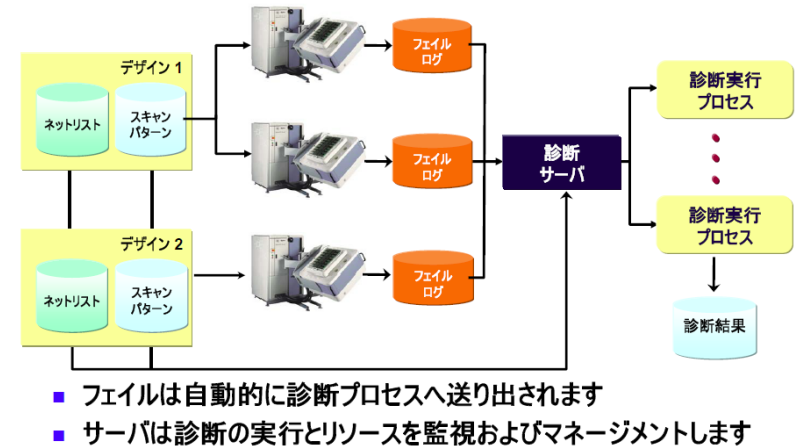
不良解析には不良個所の物理解析が必須だが、NVDの場合には...

## 故障診断のフロー



## 診断のオートメーションとサーバシステム

24時間 365日 ボリューム処理



メンター・グラフィックス・ジャパン (株) 提供資料

#Chip内のNVDは、Wafer Testで不良になるとNVF (Non Visual Fault) に変化する

#Chip内に潜むNVFは、故障診断システムで場所の絞込みが可能

# 故障診断システムでNVFを見える化する

計測限界近傍では、複数手法の組み合わせによる見える化が有効

## 隠れたシステムティック故障を見つける

- Diagnosis results for all failing die
  - Logic, layout, and at-speed diagnosis
- Pareto plot different signatures
  - Fail file signatures
  - Diagnosis signatures
- Plot and perform statistical test of independence zones
  - X Y R R2 Theta Reticle Wafer Lot
- Guided exploration for systematics
 

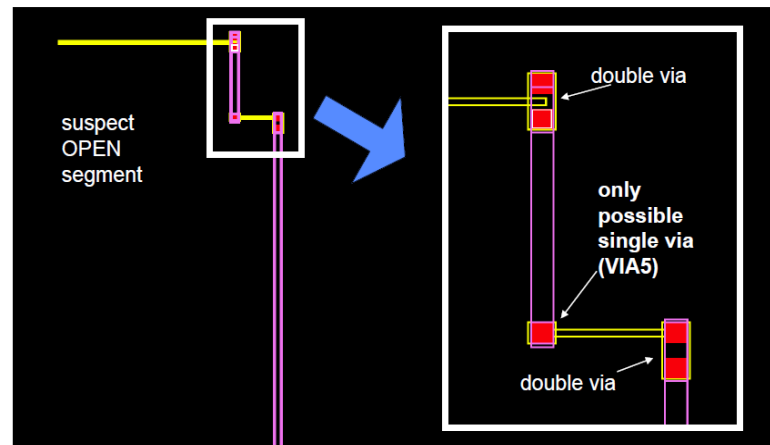
#	Die	Type	X	Y	R	R2	Theta	Reticle	Wafer	Lot
0	Channel	Count of Unique								
1	Channel	Fail Bt Ratio								
2	Channel	Set of Unique								
3	Channel	Count of Die								
4	Offset	Minimum								
5	Offset	Count of Unique								
6	Offset	Fail Bt Ratio								
7	Offset	Set of Unique								

Bridge type

Bridge type highlighted due to zone excursion

Metal 2 Bridge

故障診断より得られたNet Segmentと静的解析で Systematicな故障原因の解析のためのVIAを特定



メンター・グラフィックス・ジャパン(株)提供資料

#故障診断システムが生成する不良詳細情報とゾーン解析の組み合わせで、隠れたシステムチック不良を把握

#故障診断結果と設計データとの照合で、物理解析候補の優先順位付けが可能

1. 純水中金属の付着に関しFMEA的手法を提案しWECCテーブルの改定に反映させた。
2. NVDをテーマに取り上げ1年間活動した。生成メカニズムや制御方法、計測方法、故障診断などの手法に関するヒアリングを行った。
3. NVD計測技術や診断技術などでは、今後もITRS/STRJを活用して、日本としてキャッチアップしていく必要性を感じた。

1. 酸性ガスモニタ  
徳島大学 竹内准教授
2. クリーンルームにおけるナノパーティクル生成に関する研究  
株式会社竹中工務店
3. パーティクル対策の科学的アプローチ  
東京エレクトロン株式会社
4. 歩留まり向上に貢献できる先端DFTテクノロジー  
メンター・グラフィックス・ジャパン株式会社
5. 液中パーティクル計測技術  
リオン株式会社
6. ChemetriQ® Inspection for Non-Visual Defect Detection  
Qcept Technologies Inc. (代理店：プレミアテクノロジーズ株式会社)

## 謝辞

2009年度WG11活動に対して講演/資料提供等で御支援頂いた上記の皆様  
に感謝します。