

歩留向上活動報告 ～ウェハ処理プロセスのロードマップへ～

WG11リーダ 白水好美 ルネサスエレクトロニクス(株)

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
CIA: Characterization, Inspection & Analysis 検査、分析、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
FDC : Fault Detection and Classification
VM : Virtual Metrology
CR : Clean Room クリーンルーム
AMC : Airborne Molecular Contamination 大気分子汚染
HEPA Filter : High Efficiency Particulate Air Filter ヘパフィルター
CF : Chemical Filter ケミカルフィルター
UPW : Ultra Pure Water 超純水
UF : Ultra Filter 限外ろ過フィルター
IEF: Metal Ion Exchange Filter 金属イオン除去フィルター
TOC : Total Organic Carbon/Total Oxidizable Carbon 全有機体炭素
WET Station: ウェハ洗浄装置
POS : Point of Supply 供給ポイント
POD : Point of Delivery 受渡ポイント
POC : Point of Connection 接続ポイント
POE : Point of Entry 入口ポイント
POU : Point of Use 使用ポイント
POP : Point of Process プロセスポイント

WG11 メンバー表(2013.2現在)



白水好美	ルネサス	リーダ・WECC	
嵯峨幸一郎	ソニー	サブリーダ・YE国際・WECC	半導体メカ 8+1
富田 寛	東芝	委員 WECC	アカデミア 1
玉置真希子	東芝	委員 WECC	コンソーシアム 1
永石 博	ルネサス	委員 CIA	サプライヤ 8
松本康彦	ローム	委員 WECC	計 19
槌谷孝裕	富士通セミコンダクタ	委員 CIA	YMDB 0
津金賢	日立製作所	委員・YE国際・WECC	CIA 5.5+1
水野文夫	明星大学	特委_アカデミア・CIA WECC	WECC 12.5
桑原純夫	STARC	委員 コンソーシアム CIA	計 19
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 CIA	
池野昌彦	日立ハイテク	特委_サプライヤ CIA	
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	特委_サプライヤ・WECC・	
杉山 勇	野村マイクロ	特委_サプライヤ・WECC・	
近藤 郁	リオン	特委_SEAJ計測WG委員 WECC	
★ 粉谷直樹	パナソニック	委員 CIA	

★ アドバイザー

Yield Enhancement(歩留向上) 分担領域

- ✓ CIA(Characterization, Inspection & Analysis)
検査、分析、特徴づけ
- ✓ WECC (Wafer Environmental Contamination Control) ウェハ環境汚染制御

歩留向上の章では、次の2つのトピックスに焦点を当てる。

- ・ CIA（検査、分析、特徴づけ）
- ・ WECC（ウェーハ環境汚染制御）

これら2つのトピックスは、フロントエンドプロセス技術、配線プロセス、リソグラフィー、計測技術、設計、プロセスインテグレーション、テスト、および工場基盤技術と横断的に取り扱うべきである(ITRS2011より)。

歩留向上活動 (YE) の変化

外部環境

IDM(自社Fab)⇒ Fablite化、Foundry活用が活発
今後、Foundryに部分工程委託が重要になってくる。
⇒未完成ウエハのFab間搬送が必要となる。



歩留制御(欠陥制御/クリーン化技術)の論点の変化
YE(CIA/WECC)の活動が重要な役割を担う!!

自社Fab⇒コストを意識した必要な欠陥・汚染レベルのガイドラインが必要
Foundry⇒一定レベルの歩留が得るための欠陥・汚染・検出のガイドラインが必要

Fab間搬送ウエハのクリーン化(通常のごみ・不純物に加え、ベベル・裏面・ウエハ搬送形態・洗浄)の視点も含め議論を進めてゆく。

ITRS歩留向上の技術課題

短期

- 1.複数種類の致命欠陥検出
- 2.3D検査技術
- 3.ウェハ表面有機物の検出
- 4.プロセスの安定性 vs. 絶対的な汚染レベル
- 5.ウェーハエッジとベベルのモニタリングと汚染制御

長期

- 1.見えない欠陥とプロセスばらつき
ウェーハ歩留りに対する各汚染源の相対的重要度、歩留や特性への影響と管理限界
- 2.インラインでの欠陥の特徴付けと解析
- 3.次世代リソグラフィ

活動内容(国内&海外)
CIA(検査、分析、特徴づけ)

**半導体各社へのアンケート実施と課題のまとめ
(国内STRJへの情報展開)
ITRSへの提案内容、提案新テーブルへの対応検討**

欧州提案CIAに対するWG11の対応

- ◆ 2011/04 欧州会議でDDC(Defect Detection & Characterization)⇒ CIAに変更するとの報告あり
内容は、従来のDDCにウェハ表面汚染関連、More than Moore領域、Packaging & Assembly領域を加えたい意向
- ◆ WG11/CIA及び技術領域の近いWG14(Metrology)と合同で対応を協議した結果、DDCからの拡張では無く、**歩留向上に何が必要か？を原点に帰り議論することから始めることとした**
(More than Mooreの台頭など半導体を取り巻く環境の変化を考慮)
- ◆ **半導体各社(日本)の歩留向上に関する課題の抽出を実施**
- ◆ 欧州提案の新テーブルについても対応を議論
- ◆ テーブルとPotential Solutionsの整備は2013目標
(2011 YE edition final に記載あり)

CIAに関する議論の経緯

◆WG11&WG14での合同議論及びITRS国際会議でのweb会議で内容を検討(計12回)

日付	内容
2011.09.27	WG14との合同検討会議(第1回)
2011.09.30	9/27WG14との打ち合わせ結果報告(WG11)
2011.11.18	WG14との合同検討会議(第2回)
2012.02.09	各社歩留課題リスト紹介(WG11)
2012.03.22	各社歩留課題レビュー(第1回、WG11&14)
2012.04.23	CIA 電話会議(ITRS2012欧州会議時)
2012.06.19	CIA webex(EU、US、日本)
2012.06.29	各社歩留課題レビュー(第2回、WG14)
2012.07.03	各社歩留課題レビュー(第3回、WG11)
2012.07.10	CIA webex(ITRS2012米国会議時)
2012.08.07	CIA取り組み内容議論(第1回、WG11)
2012.09.28	CIA取り組み内容議論(第2回、WG11&14)

STRJ加盟デバイスメーカーの特徴と歩留課題調査の動機

各社の主力製品

フラッシュメモリ
マイコン
CMOSセンサー
アナログ&パワー
SOC

各社の注力技術

微細化
高信頼性
汚染低減
カスタム化

従来の“More Moore”指向から
各社の注力技術は分散

活動内容明確化のため
改めて各社の歩留課題を調査、整理

各社歩留課題全体まとめ

分類	課題
検査	<ul style="list-style-type: none">・微小異物の検出（表面、液中、材料中）・レジストプロセス（微小異物/残渣の検出、感度向上）・高アスペクト、NVDの検出・欠陥フィルタリング、分類精度（欠陥種、分布）の向上・全数検査
検査、計測	<ul style="list-style-type: none">・形状ばらつき（STI, Gateなど）の管理・表面ラフネスの歩留相関・Via品質のモニタ
ベベル	<ul style="list-style-type: none">・ベベル管理方法とデータフォーマットの統一
汚染分析	<ul style="list-style-type: none">・製品影響度の定量化・金属汚染検出感度の高感度化・空気中有機物濃度のインラインモニタリング・局所汚染の検出（現状1cm²程度）
早期発見	<ul style="list-style-type: none">・異常発生時の検出短時間化とその最適手法（FDC, VMなど含む）
材料	<ul style="list-style-type: none">・結晶起因欠陥の検出感度向上・SiC/GaN対応検査技術の確立
不良位置特定	<ul style="list-style-type: none">・ロジック回路の不良位置特定困難
コスト	<ul style="list-style-type: none">・ROIの最適化（投資vs検査/測定頻度）
YE体系	<ul style="list-style-type: none">・データ解析システム、歩留モデル、DFMなどの体系再構築

各社歩留課題（補足）

NVD(Non Visual Defect: 見えない欠陥)の種類
膜中のボイド/ショート、コンタクト底の非開口、
高アスペクト比の穴底欠陥、微小欠陥、高抵抗欠陥、
リーク欠陥、インプラダマージ、表面電荷など

FDC : Fault Detection and Classification

VM : Virtual Metrology

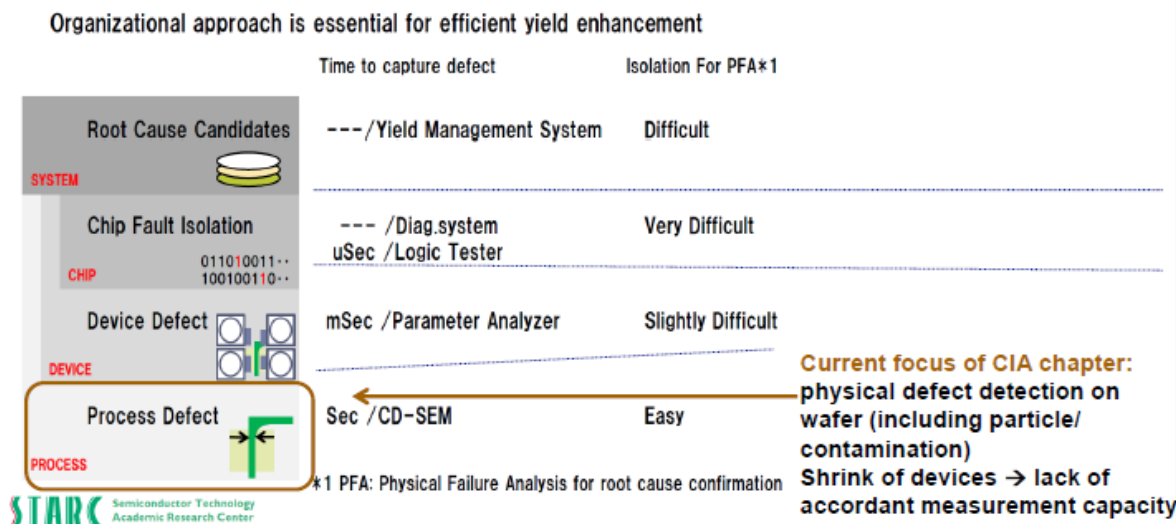
STRJ-WG11-CIA取り組み内容と進捗状況

分類	内容	進捗状況
ITRSへの提案内容	YE(歩留向上)体系再構築	検討中
	ウェハ表面汚染関係テーブル (金属/有機)の作成	提案済
	局所汚染検出技術 (Potential Solutionsに追加要求)	
STRJ-WG11-CIA 取り組み内容	不良箇所特定方法の本文記載内容検討	検討中
	EB検査技術 (反射顕微鏡など)に関するヒアリング	実施済 (WG14共同) ⇒技術的報告はWG14より
	形状ばらつきと歩留 (特性)に関するヒアリング	電子線トモグラフィ技術応用 実施済 (WG14共同) その他は2013年度検討
	マクロ検査に関するヒアリング	2013年度検討

ITRS2012米国会議でのCIA報告内容

- ◆ Web会議でのSTRJ提案内容がYE-ITWGの検討事項として採択された。
- ◆ これから次回のITRS改定をターゲットとして議論を進める。

Proposed example of classification for CIA methodologies



Objective of CIA: Identification of critical extra/ missing materials based on integration of physical, electrical, functional or statistical observation



International Technology Roadmap for Semiconductors

San Francisco July 12, 2012

ITRS2012米国会議
報告内容の一部

CIA再構築_STRJ案

背景

FabLite化：IDM個別の製品群のみでは工場投資&回収が困難となった。**生産の社外委託化で、YEに必須のインラインの実状把握が困難になっている。**

微細化：**デバイスの微細化進行により、検査装置による効率的なプロセス欠陥検出が困難となっている。**

基本方針

プロセス/デバイス/製品及び統計の各領域の検査技術を、歩留向上の為の統合的活用が出来る様に、整理/見える化する。

上記の整理/見える化により、**FabLite下で必要となるファンダリ等との共同作業に対して共通理解の基盤を提供する。**

CIA再構築_STRJ案

FabLiteにおけるYEは、インライン情報の入手が困難になる
 ので他領域からの補完が重要
 FoundryとYEに関するWin-Winの協力関係を築くのが理想

工程	従来	今後
プロセス開発	IDM	Foundry
設計インフラ整備	IDM	Foundry
製品設計	IDM	FabLite
製造	IDM	Foundry
プロセス歩留解析	IDM	Foundry/FabLite
製品歩留解析	IDM	FabLite

Foundryのプロセス/設計インフラの完成度は充分か？

Foundryから、製品不良解析結果と重ね合わせたインラインデータを手出来るか？

Foundryから、解析に必要なとなるインラインデータを手取できるか？

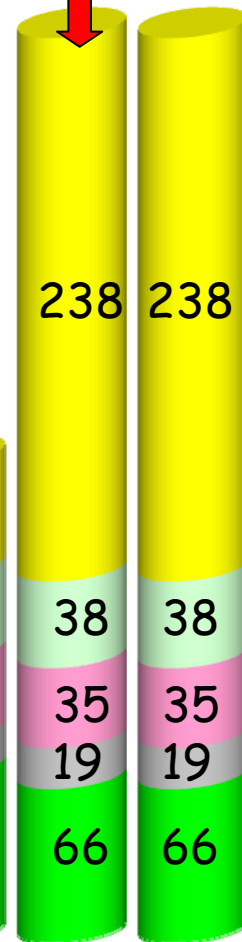
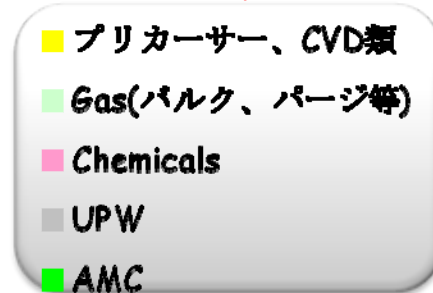
活動内容(国内&海外)
WECC(ウェーハ環境汚染制御)

歩留改善に汚染制御観点からできること
⇒YE3表を半導体各社のアンケートをもとに議論
⇒日本版実用的な表を作成してSTRJ内への情報展開

WECC(ウェハ環境汚染制御)-YE3表推移

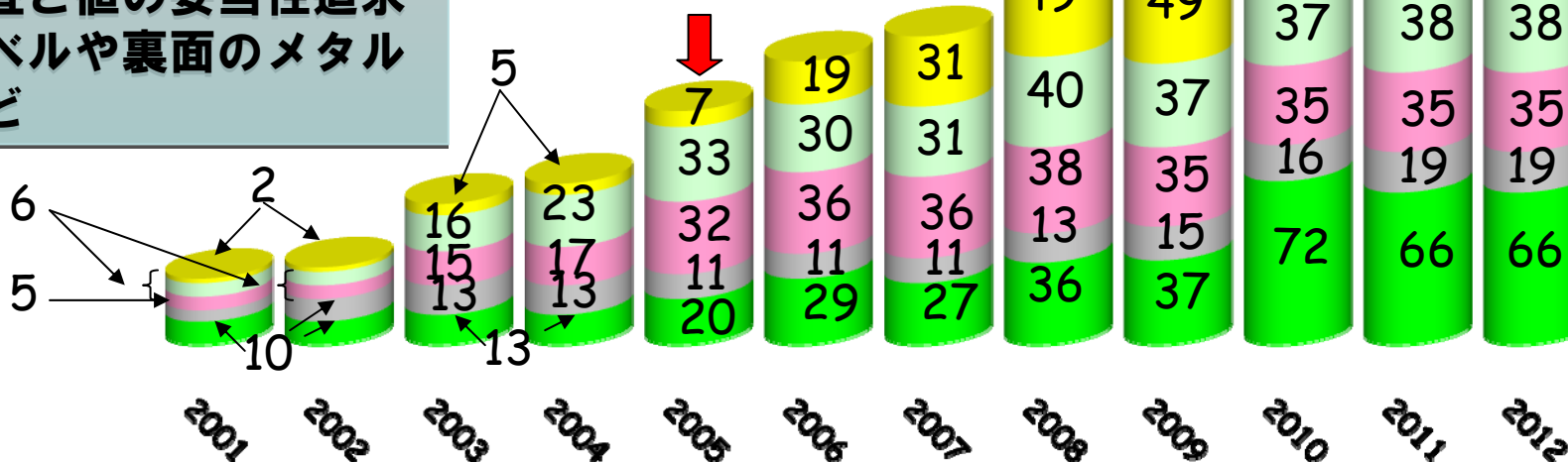
- **AMC(雰囲気汚染):増加顕著 日本側の提案 2010⇒2011で減少 値なし減**
- **AMCはオンライン、オフラインモニタリング表追加(YE4,YE4a)**
- **Chemicals(薬液): Gas(バルク、パージ):2005年以降横這い**
- **UPW(純水):横這い パーティクル、TOC(総有機炭素)議論活発**
- **プリカーサー:増加の一途(値なし増)**
2008年にChemicalsから分離
2010⇒2011 大幅増(約4倍) 議論無し
- 2011-2012は項目の変化なし。

説明無しに増加



EU_AMCチーム活発化

日本WECCとして活動開始



日本としては影響大の項目に注力して、値の議論を進める。項目の精査と値の妥当性追求
Ex. ベベルや裏面のメタルの追加など

どこの値で定義すべきか？

デバイスメーカーとしてはここが必要！

	POS 供給ポイント	POD 受渡ポイント	POC 接続ポイント	POE 入口ポイント	POU 使用ポイント	POP プロセスポイント
Interfaces	SEMI Standards Focus Area	ITRS Factory Integration Facilities Group Focus Area		ITRS Factory Integration Equipment Group Focus Area	ITRS FEP, Litho, Interconnect TWG Focus Area	
純水	Raw water	Outlet of final filtration in UPW plant SEMI UPW	Outlet of submain take off valve	Inlet of wet bench or subequipment ITRS	Inlet of wet bench bath, spray nozzle, or connection point to piping, which is also used for other chemicals	Wafer in production
薬液	SEMI Chem	Outlet of final filtration of chemical distribution unit	Outlet of VMB valve	Inlet of wet bench or intermediate tank	Inlet of wet bench bath or spray nozzle	Wafer in production
特殊ガス	Gas cylinder or bulk	Outlet of final filtration of gas cabinet	Outlet of VMB valve	Inlet of equipment	Inlet of chamber (outlet of MFC)	Wafer in production
バルクガス	SEMI Gas	Outlet of final filtration/purification	Outlet of submain take off valve or VMB valve	Inlet of equipment/subequipment	Inlet of chamber (outlet of MFC)	Wafer in production
雰囲気	Outside Air	Outlet of make-up air handling unit	Outlet of filters in Cleanroom ceiling	Inlet to mini-environment or sub equipment for AMC, outlet of the tool filter for particles SEMI AMC	Gas/Air in vicinity to wafer/Substrate	Wafer/Substrate in production (AMC/SMC)

ITRSは入口ポイントで定義されているが、実際はその手前の供給のところの値が多数ある。受渡や入口で低減することが目的ではなく、プロセスポイントで問題になる欠陥や不良となる因子をPOUで低減化することが目的である。⇒議論を開始している。

プロセスにおける欠陥及び汚染低減に向けた取り組み

各ポイントでの確認の前に・・・

デバイスの歩留向上にとって重要な項目の絞り込み



歩留向上に向けて、**改善が必要となる要因**の明確化



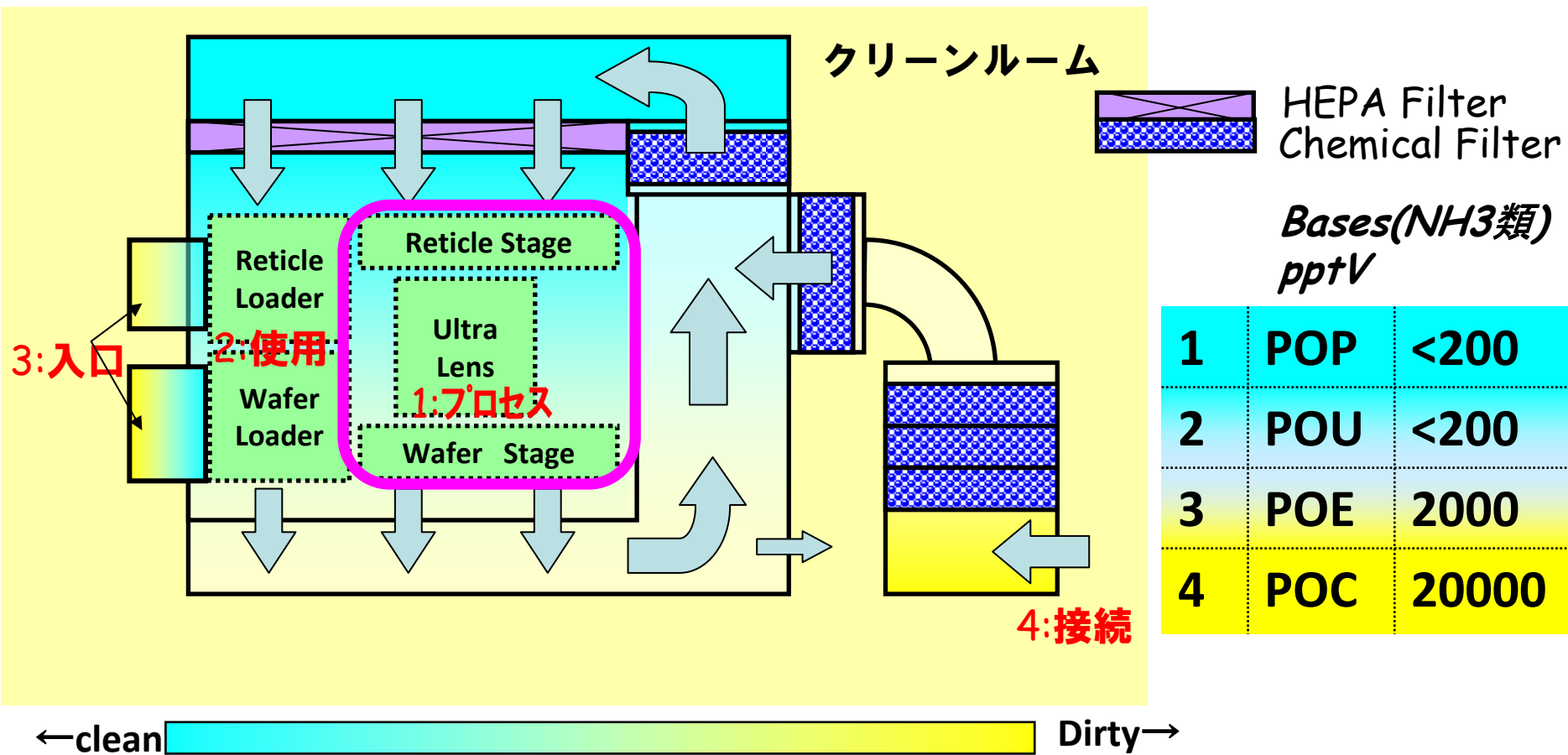
プロセス中における欠陥及び汚染低減に向けた
ロードマップの策定



- 1 影響が小さい
- 2 影響が大きい
- 3 影響が大きい(数値議論要)

クリーンルーム雰囲気、純水の検討を開始している。

SCANNER (which requires AMC control)



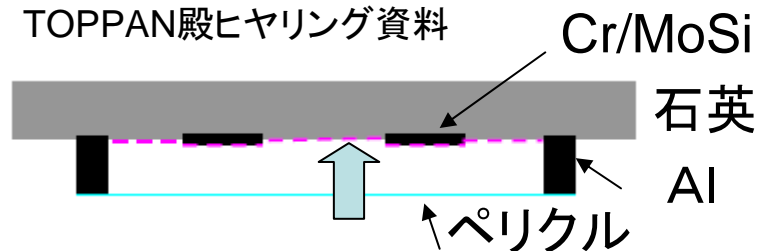
実際のウェハ環境で定義すべきである。

フィルターの効果を示すものではない。デバイスメーカーが必要な項目としていく。⇒ プロセス内で歩留低下原因を回避

ArF露光で、顕在化したマスクへのヘイズの発生

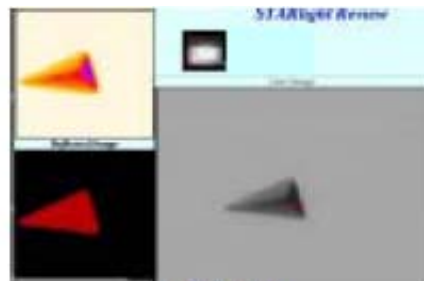
TOPPAN殿ヒヤリング資料

- 世界的に短期間でヘイズ発生
(以下の3つのパターンが有る)



硫安系Haze

- KrF、ArF露光で発生したHaze
- 結晶質、非結晶質の異物がある。



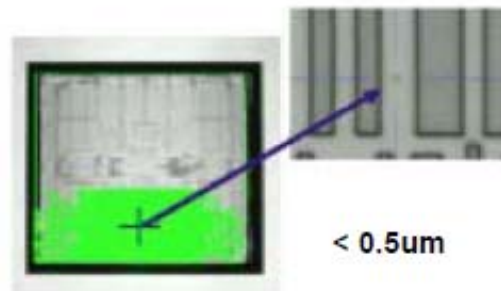
結晶質



非結晶質

有機系Haze

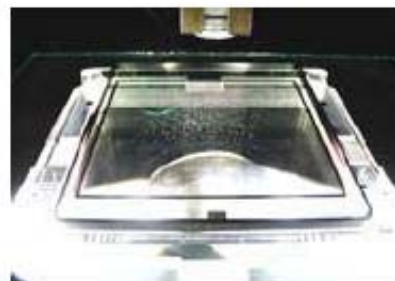
- ArF露光のみで発生するHaze
- 微細異物が、パターン面上に多発する。



< 0.5um

シュウ酸Haze

- KrFペリクルで発生するヘイズ
- 大きな結晶異物が、ペリクル膜上に発生する。

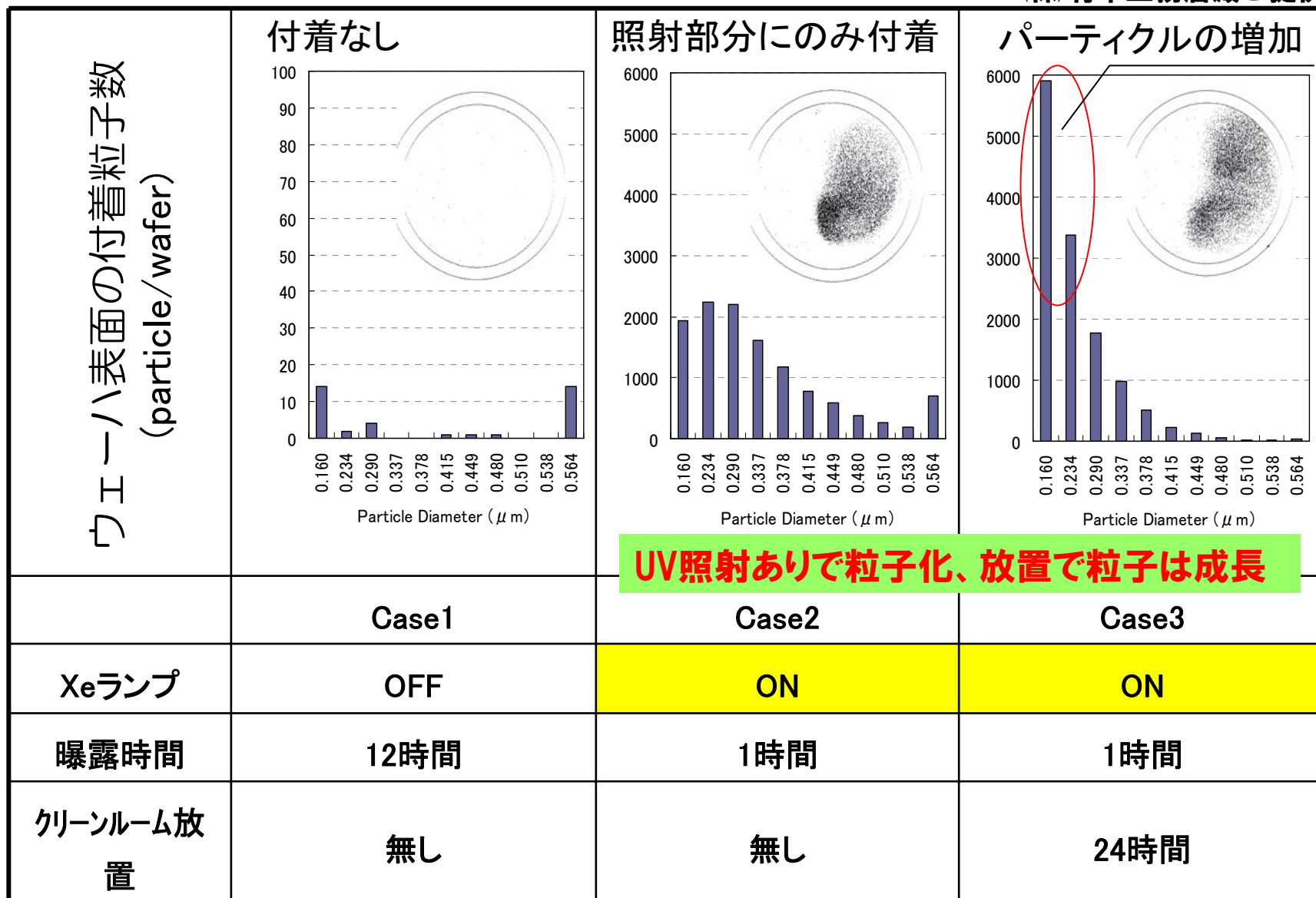


数十um

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

(株)竹中工務店殿ご提供資料



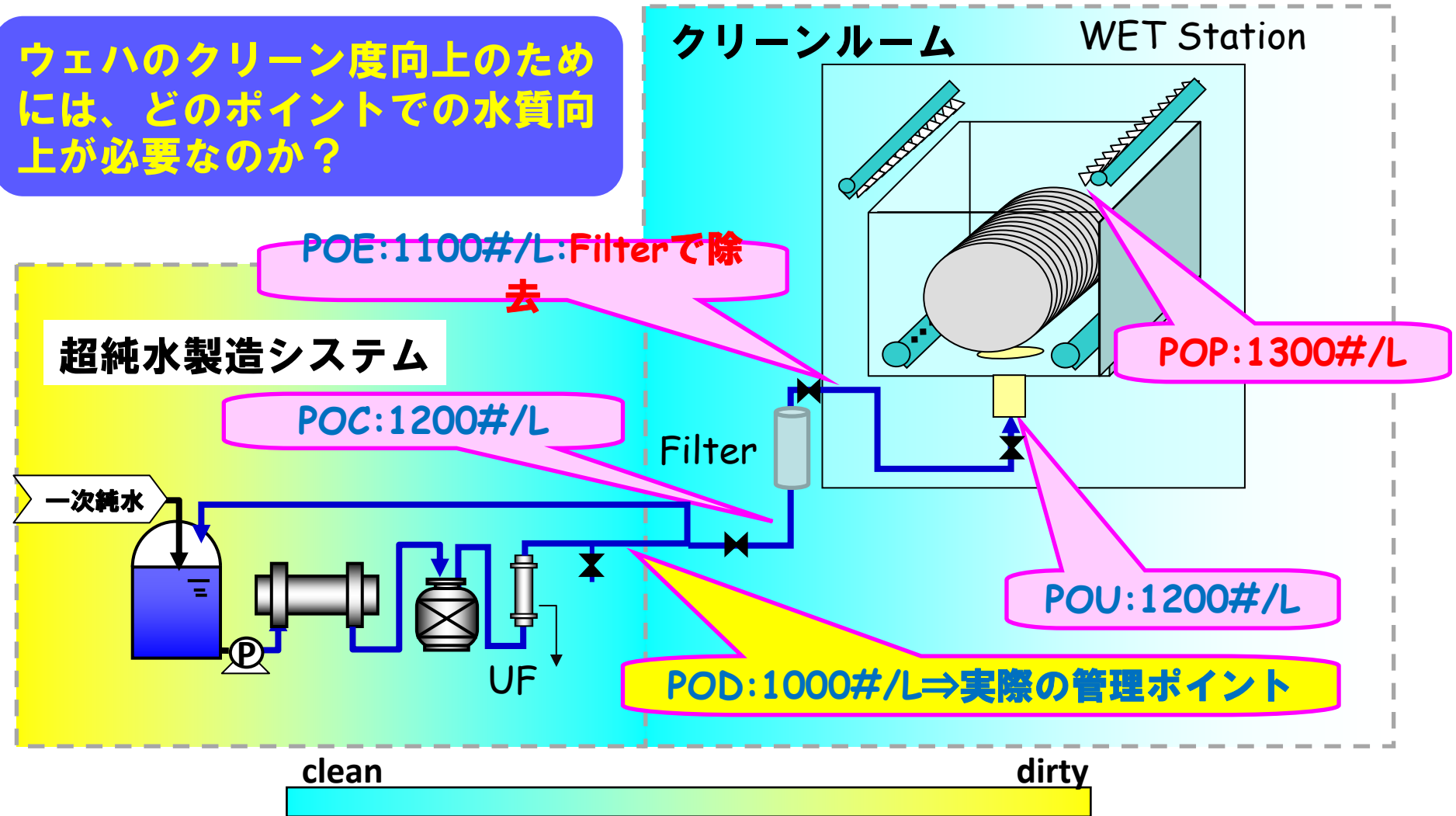
リソグラフィー(ITRS2012)

2013年抜粋pptv	POC 装置設置環境	POE 保管、移送、入口	POP/POU 装置内環境
無機酸Total Inorganic Acids	5000	2000	<200
有機酸Total Organic Acids	2000	2000	<200
塩基 Bases	20000	2000	<200
PGMEA 乳酸エチル	5000	5000	<200
有機物	20000 (揮発性)	1000 (難溶性)	<100 (難溶性)
Si, P, Si含有 有機物	100	TBD (値なし)	<100
WG11内議論結果	1 (影響小)	2 (影響大)	3 (影響大_数値議論要)

2014年抜粋 (2012版)	POE クリーンルーム		POU/POP FOUP内	
	Cu	Al	Cu	Al
無機酸 Total Inorganic Acids	500	500	500	TBD
HCl	設定なし		200	100
HF	設定なし		5000	200
HBr	設定なし		TBD	TBD
HNOx	設定なし		TBD	TBD
有機酸 Total Organic Acids	500	TBD	100	TBD
塩基 Bases	2000	TBD	TBD	設定なし
腐食性物質	1000	1000	TBD	1000
H2S	1000	TBD	TBD	設定なし
全イオウ	2500	TBD	5000	設定なし
WG11内議論結果	1(影響小)	1(影響小)	2(影響大)	2(影響大)

POU/POPは項目としては必要であるが、値の議論はしない。

ウェハのクリーン度向上のためには、どのポイントでの水質向上が必要なのか？



ITRSはPOEで定義されているが、超純水サプライヤはPODを保証している。
本来は、ウェハに超純水が接するポイント(POU, POP)を管理すべきではないか。

UPW どのポイントで管理すべきか

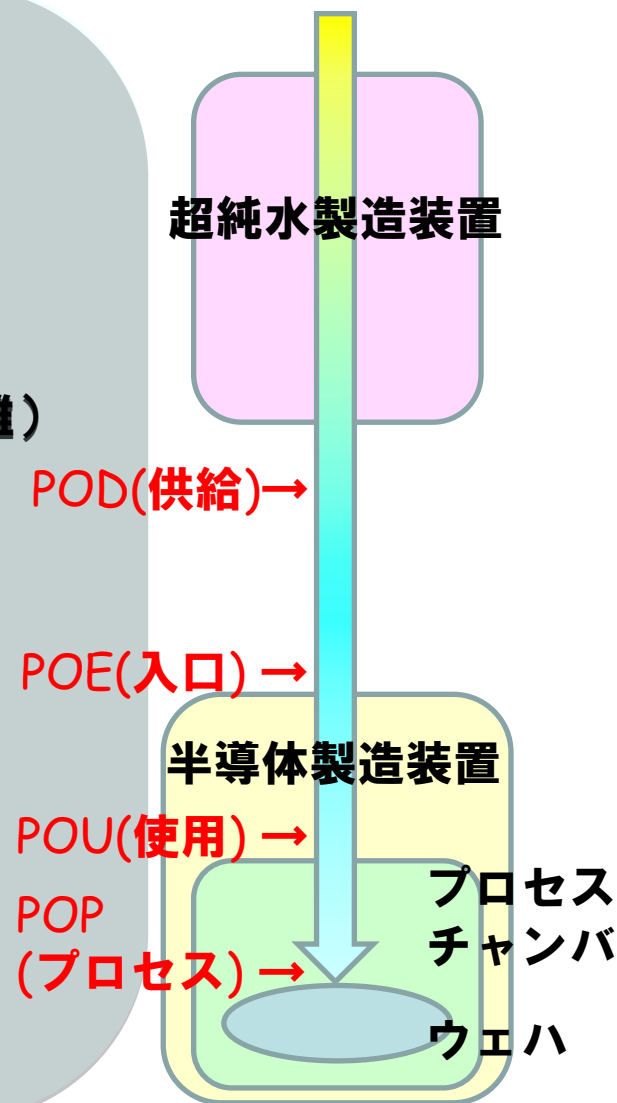
現状のUPWはPOD（超純水製造装置出口）で管理
（超純水サプライヤが保証できるのはここまで）

実際にプロセスが行われるのはPOU/POP
（半導体製造装置の中、ウェーハが晒されるポイント）
POU/POPにおけるUPW水質は不明
（現状の洗浄装置、露光装置等ではサンプリングが困難）

POD～POU/POPの間でUPWが汚染される機会が多い
（配管部材/バルブ等からの溶出、雰囲気からの汚染）

装置メーカーへ協力要請して、POU/POPにおける
UPW実力を分析し、正しい管理値・管理ポイントを
明らかにする
（SEMI JAPANの場で検討、当面日本国内に留める）

並行してUPW水質項目の優先順位を決め、優先度の
高い項目について妥当な数値（濃度）を議論する



UPW(ITRS2012版)



2013年抜粋	POU/POPとしての 値が重要	POD(供給ポイント)	WG11内議論結果
抵抗率		18.2 MΩ・cm	2:影響大
全有機炭素(TOC)		<1 ppb	2:影響大
クリティカルな有機物		TBD	2:影響大
極性/非極性で分類した有機物		TBD	1:影響小
バクテリア		<1 CFU/L	1:影響小
全シリカ		<0.3 ppb	3:影響大(数値議論要)
コロイダルシリカ		TBD	3:影響大(数値議論要)
微粒子(クリティカルサイズ以上)		1000 #/L	3:影響大(数値議論要)
溶存酸素		<10 ppb	2:影響大
溶存窒素		8-18 ppm	1:影響小
金属		<10 ppt	3:影響大(数値議論要)
クリティカルな金属		<1 ppt	3:影響大(数値議論要)
その他のクリティカルなイオン		<50 ppt	1:影響小
温度ばらつき		±1 K(液浸±0.1K)	1:影響小

まとめと今後の活動内容

CIA
検査、分析、
特徴づけ

- **CIAの再構築(ITRS)**
各領域(プロセス、デバイス設計、製品、統計)での検査
技術の統合的な運用⇒歩留低下要因の見える化
- **各社歩留課題の調査と整理**
⇒各社が**共有できるアイテム**抽出、情報展開

WECC
ウェーハ環境
汚染制御

- **国内デバイスメーカー の立場から日本版として再構築**
⇒POP/POU(プロセスポイント/ユースポイント)で問題
となる欠陥や不良因子を低減化する。
⇒各社に情報展開
⇒**影響度大と分類したものの値の議論開始する。**

ITRS活動

ウェーハ汚染関係テーブル(金属/有機)の作成提案
⇒ウェーハの表面裏面およびベベルを含んでいる。
局所汚染検出技術構築の要求(WECC/CIA)