

STRJ-WG11-YE (Yield Enhancement)

飽くなき歩留向上をめざして

-ウェーハ表面汚染低減に向けた超純水への期待-

- ・ 2008update改定骨子内容説明
- ・ 2008年度活動報告
- 純水からのメタル汚染と純水の要求値-
- ・ 今後の活動計画

NECエレクトロニクス株式会社
白水好美

用語集

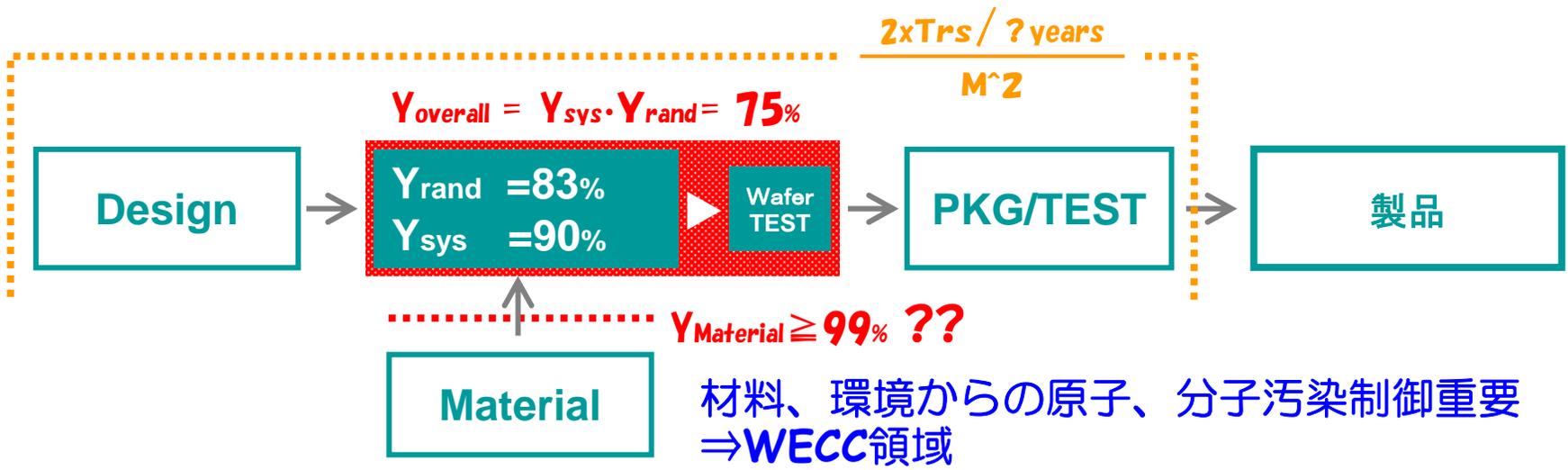
- YMDB (Yield Model & Defect Budget) 歩留りモデルと装置許容欠陥数
- DDC (Defect Detection & Characterization) 欠陥検出と特徴付け
- WECC (Wafer Environmental Contamination Control) ウェーハ環境汚染制御
- YL (Yield Learning) 歩留り習熟
- PWP (Particles per Wafer Pass)
工程での処理(Wafer Pass)により増加するパーティクルの事
- ADC(Auto Defect Classification) 欠陥自動分類
- DFM (Design for Manufacturing) 製造容易化設計
- 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

WG11 メンバー表

出席率	氏名	会社名	Y E 役割分担
80%	桑原純夫	NECエレクトロニクス	YE国際
100%	白水好美	NECエレクトロニクス	リーダー・WECC
100%	嵯峨幸一郎	ソニー	委員・YE国際・WECC
0%	櫻井光一	ルネサステクノロジ	委員
0%	長塚義則	セイコーエプソン	委員
10%	中川義和	ローム	委員
30%	橋爪貴彦	パナソニック	委員
100%	槌谷孝裕	富士通マイクロエレクトロニクス	委員
			半導体メーカー 9 アカデミア 1 コンソーシアム 0 サプライヤ 8 計 18
80%	津金賢	日立製作所	サブリーダー・YE国際・WECC
80%	水野文夫	明星大学	特委_アカデミア・WECC
90%	西萩一夫	堀場製作所	特委_サプライヤ・WECC
90%	塩田隆	アジレント	特委_SEAJ計測WG委員
70%	達本剛隆	レーザーテック	特委_SEAJ計測WG委員
60%	池野昌彦	日立ハイテク	特委_サプライヤ
100%	北見勝信	栗田工業	特委_サプライヤ・WECC
100%	二ツ木高志	オルガノ	特委_サプライヤ・WECC・幹事
80%	林輝幸	東京エレクトロン研究所	特委_サプライヤ・WECC・
80%	杉山勇	野村マイクロサイエンス	特委_サプライヤ・WECC・

Yield Enhancement 分担領域

Cost/Tr低下は△-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

Sumio Kuwabara (NECEL)

DDC:EU
 インラインでの
 欠陥検出/分類

Ines Thurner (EU)

WECC:US
 コンタミネーション
 使用ガス・液体...

Kevin Pate(US)
Andreas Neuber (EU)

YL : 台湾
 歩留習熟の
 モデル&要求事項

Table削除

YMDB改定2008 updateの主な変更点

YE3 Product	MPU	DRAM	Flash
Yield Ramp Phase	Volume Production	Volume Production	Volume Production
YOVERALL	75%	85%	85%
YRANDOM	83%	89.50%	89.50%
YSYSTEMATIC	90%	95%	95%
Ymaterial	>99%	>99%	>99%
Chip Size	140mm ²	107mm ²	144mm ²
Cluster Parameter	2	2	2

- Table内容の更新/再計算
 - DRAMチップサイズ、MPUゲート長変更
 - FlashについてはITRS内で未整合
 - ランダム欠陥数の改定
- ## Random Faults/Mask

Year of Production	2007	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
YE4 DRAM 1/2 Pitch (nm) (contacted)	68	MPU/ASIC Metal 1 (M1) 1/2 Pitch (nm)	68	59	52	45	40	36	32	28	25
Flash 1/2 Pitch (nm) (un-contacted Poly)(f)	54	MPU Physical Gate Length (nm)	32	29	27	24	22	20	18	17	15
Critical Defect Size (nm)	34	Critical Defect Size (nm)	34	30	26	23	20	18	16	14	13
DRAM Chip Size (mm ²) [B]	140	Chip Size (mm ²) [B]	140	111	88	140	111	88	111	88	140
Cell area (mm ²) [C]	3606	Overall Electrical D0 (faults/m ²) at Critical Defect Size Or Greater [C]	2210	2210	2210	2210	2210	2210	2210	2210	2210
Random Electrical D0 (faults/m ²) [D]	2430	Random Electrical D0 (faults/m ²) [D]	1395	1395	1395	1395	1395	1395	1395	1395	1395
Random Faults/Mask	101	Random Faults/Mask	42	40	40	40	40	40	38	38	38
CMP clean	1157	MPU Random Particles per Wafer pass (PWP) Budget (defects/m ²) for Generic Tool Type Scaled to 34 nm Critical Defect Size or Greater	840	600	455	345	274	217	163	129	103
CMP metal	1374	CMP insulator	149	107	81	61	49	39	29	23	18
CVD insulator	991	Coat/develop/soak	986	704	534	404	321	255	191	152	121
Dielectric track	499	CVD oxide mask	421	301	228	173	137	109	82	65	51
Furnace fast ramp	643	Furnace CVD	245	175	133	100	80	63	48	38	30
Implant high current	598	Furnace oxide/anneal	299	214	162	123	98	77	58	46	37
Inspect PLY	781	Implant low/medium current	328	234	178	135	107	85	64	51	40
Lithography cell	668	Inspect visual	240	172	130	99	78	62	47	37	29
Measure CD	667	Lithography stepper	245	175	133	100	80	63	48	38	30
Measure overlay	610	Measure film	449	321	243	184	146	116	87	69	55
Metal electroplate	477	Metal CVD	1012	723	548	415	330	262	196	156	124
Metal PVD	690	Metal etch	919	656	497	377	299	237	178	142	112
Plasma strip	942	Plasma etch	272	195	148	112	89	70	53	42	33
RTP oxide/anneal	449	RTP CVD	69	49	37	28	22	18	13	11	8
Vapor phase clean	1308	Wafer handling	28	20	15	12	9	7	5	4	3
Wet bench	92	Wafer handling	102	84	64	48	36	28	22	17	13
Chip Size (mm ²) [B]	144	Non-core Area (mm ²)	46	32	26	41	32	26	41	32	26
Random Electrical D0 (faults/m ²) [D]	2502	Random Electrical D0 (faults/m ²) [D]	2502	2502	2502	2502	2502	2502	2502	2502	2502
Random Faults/Mask	74	Random Faults/Mask	74	78	78	83	83	72-89	72-89	72	72

再計算

再計算

YMDBトピックス

DB Survey再実施検討中

- 各IDMの考えるPWPの歩留への影響度や期待値をベースにしたテーブルに変更
- 将来テクノロジーに使用するモデルについては従来モデルを含めて検討
- 装置Type毎のPWP実力や歩留への影響度⇒IDM各社のアンケート結果を元に設定

Rough Draft of Defect Budget Survey for ITRS YE 2009 revision

Dec. 3, 2008
JEITA STRJ-WG11

Particles per Wafer pass (PWP) Budget (defects/m²) for Generic Tool Type Scaled to XX nm Critical Defect Size or Greater

Process Area		Sensitivity to yield			PWP control limit @XXnm		
		Highly sensitive	Sensitive	Less sensitive	<1000	1000 - 1999	>=2000
Lithography	Coat/develop/bake						
	Lithography stepper/scanner						
	Lithography cell						
	Coat/develop/bake						
Furnace	Furnace oxide/anneal						
	Furnace CVD						
	Furnace fast ramp						
RTP	RTP oxide/anneal						
	RTP CVD						

各装置Type (Litho-SCAN, T-Ox-Depo etc) 毎に歩留影響度 (高、中、低) と、PWP管理レベル実績 (<1000, 1000<, >2000 etc) @Technologyないし各装置の上/下限PWPの希望値を選択記入

DDC改定

2008 updateの主な変更点

- ✦ 要求検査感度の基準DR値をflash基準に完全移行
⇒DRAM基準値は削除
- ✦ エッジ検査での欠陥座標精度の要求値を追加
⇒自動欠陥分類タイプ数についてはレビュー装置要求テーブルに移動
- ✦ エッジ検査欠陥のSEMおよびOpticalレビューでの要求値を追加
⇒座標精度、再検出感度、処理速度、自動欠陥分類タイプ数
- ✦ 最新のツールに対応した要求値と達成状況の見直し
⇒EB検査装置でのVC欠陥検出感度見直し（厳しく）
⇒エッジ検査感度の見直し（緩く）
⇒SEMレビューでの座標精度、再検出感度見直し（厳しく）

2009/2/12現在ITRSホームページで公開されている、2008UpdateのDDC
関連テーブル（YE6~8）は不完全なものであり、差し替えを依頼中です。

DDC トピックス

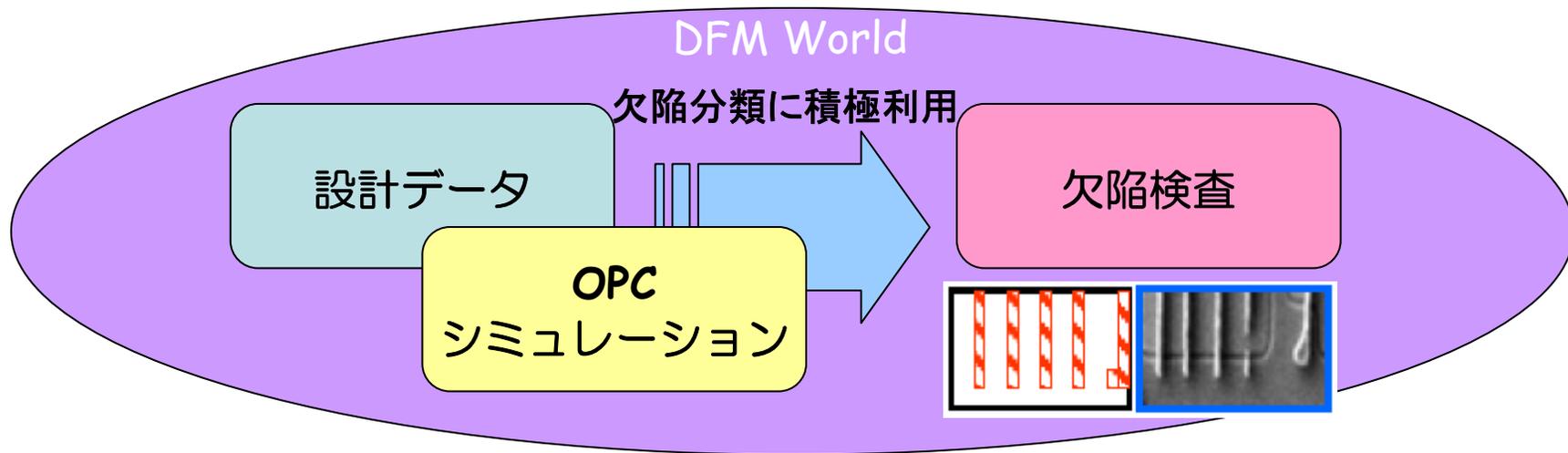
微細化の進行に伴い欠陥検査でのシステム欠陥の検出要求が増加している。

欠陥検査装置⇒マーシナルなパターン不良を検出する感度はある

↓ マーシナルなシステム欠陥(決まった場所に発生しない)

擬似欠陥を含む大量の検出欠陥の中から、いかにして抽出し分類するか??

最近、欠陥検査装置での欠陥の検出や分類 (**Filtering**) に設計情報を利用する手法が開発されてきており、有効な方法として期待されている。

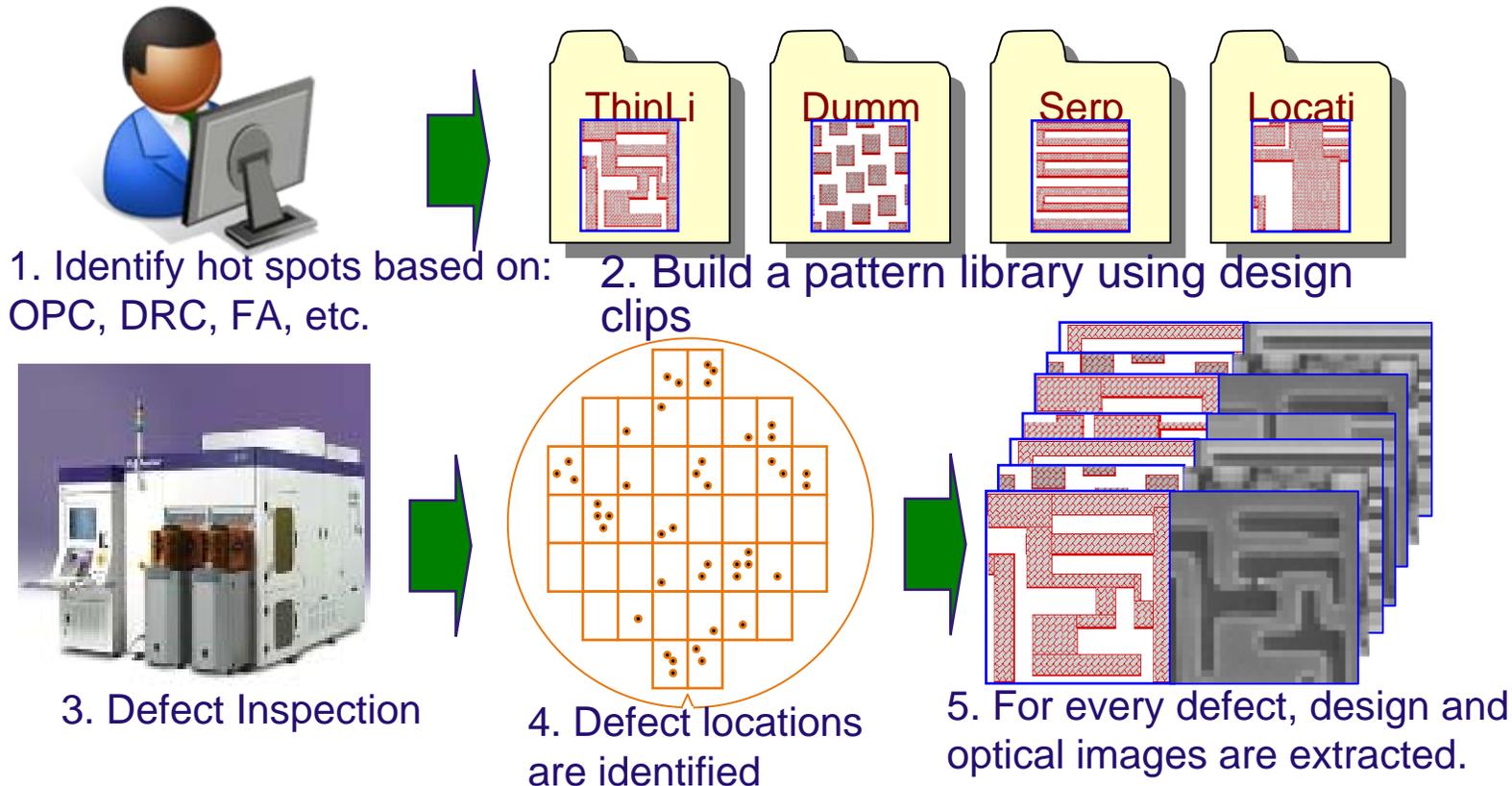


関連Difficult Challenges : 複数種類の致命欠陥の検出/SN 比

システマティックな歩留まり低下とレイアウトの関連付け

DDC デザイン情報を使った欠陥検出・分類

- 新たなDFMパス ~ 設計(Hot Spot)情報を利用したシステムチック欠陥の抽出 —
欠陥検出座標の背景設計データをあらかじめ登録しておいたパターンと照合し分類する。



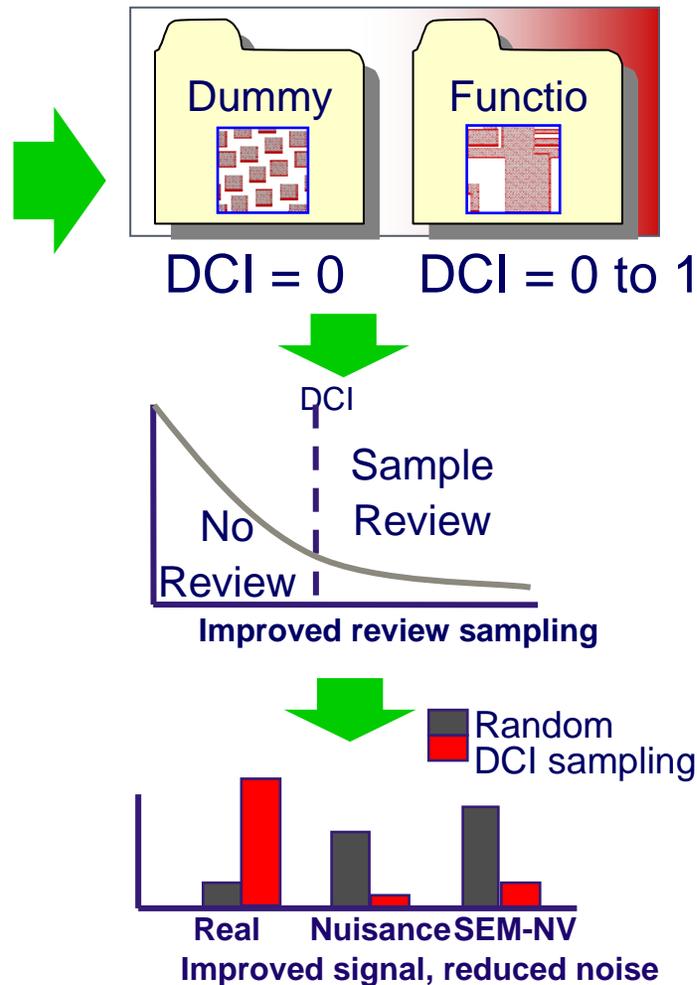
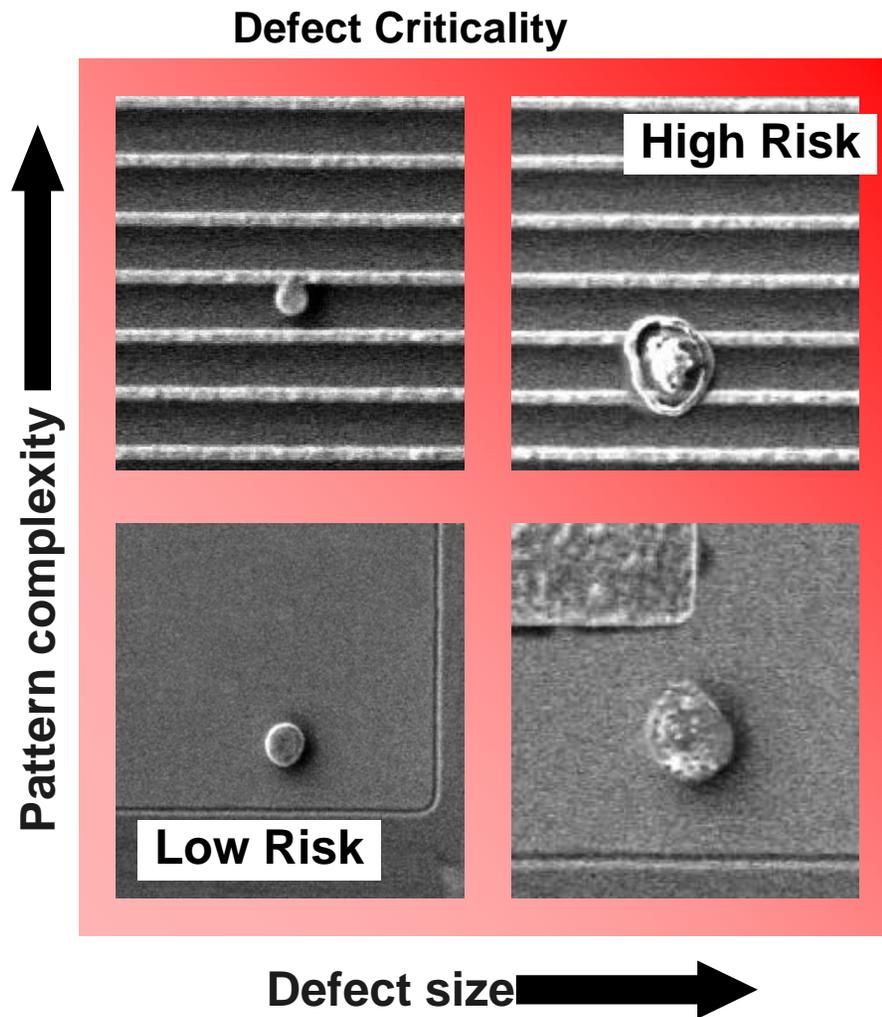
6. Defects are classified according to pattern background

2008 ISTF KLA Tencor/青木様資料からの抜粋

- 欠陥サイズや欠陥形状等の検査装置で取得した情報と合わせて分類
- ダミーパターンの検出(歩留への影響の無い欠陥)
- 背景パターンの感知面積をオン・ザ・フライで計算する
⇒ ランダム欠陥のキラー率を見積もる等の応用も考えられる。

DDC デザイン情報を使った欠陥検出・分類

- 設計情報(背景感知面積)からの欠陥危険度判定による、欠陥サンプリング効率化
背景パターンの感知面積をオン・ザ・フライで計算することで、ランダム欠陥のキラー率を見積もる



2008 ISTF KLA Tencor/青木様資料からの抜粋

WECC改定

★2008updateWECCの主な変更点

UPW

パーティクル critical sizeで定義metalの分類 critical metal の項目追加予定(実験データ)※critical metals (Fe, Ca, Zn, Mg, Al, Pb)ウェハに吸着しやすいもの⇒議論中

ボロン(B)追加 <50ppt

Gas

プリカーサはChemicalsの分類から、Gasの分類へ移動

Chemicals

パーティクル critical sizeで定義

エチレングリコール追加⇒HFに入れて最終洗浄に使用(US)

H2O2 TOC数値インプット 20ppm

AMC

Cu工程雰囲気としてH2S,全イオン化合物項目追加

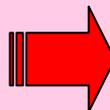
Critical metrologyのクリーンルーム雰囲気追加

WECC改定①液中パーティクルの改定(UPW, Chemicals)

FEPに合致

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
Particles							
	Add Critical particle size (nm) [1]	<u>32.5</u>	<u>28.3</u>	<u>25</u>	<u>22.5</u>	<u>20</u>	<u>17.9</u>
UPW	WAS Number of particles > 0.05 µm (/ml) [26]	<0.9	<0.9	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.2
UPW	IS Number of particles >critical particle size (see above) (#/L) [26]	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>300</u>
Chem	49% HF: number of particles/ml >0.065µm [1] [11]	<u>10</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>3</u>
Chem	ADD 49% HF: number of particles/ml >critical particle size	<u>80</u>	<u>50</u>	<u>70</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>140</u>
Chem	37% HCl: number of particles/ml >0.065µm [1] [11]	<u>10</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>3</u>
Chem	ADD 37% HCl: number of particles/ml >critical particle size	<u>80</u>	<u>50</u>	<u>70</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>140</u>
Chem	WAS 30% H2O2: number of particles/ml >0.065µm [1] [11]	1000	400	400	400	300	300
Chem	IS 30% H2O2: number of particles/ml >0.065µm [1] [11]	<u>10</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>3</u>
Chem	ADD 30% H2O2: number of particles/ml >critical particle size	<u>80</u>	<u>50</u>	<u>70</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>140</u>
Chem	29% NH4OH: number of particles/ml >0.065µm [1] [11]	1000	400	400	400	300	300
Chem	ADD 29% NH4OH: number of particles/ml >critical particle size	<u>8000</u>	<u>5000</u>	<u>7000</u>	<u>10000</u>	<u>10000</u>	<u>14000</u>

液中パーティクルカウOUNTERの現状と高感度化に向けた問題点

 ソナック殿、リオン殿へヒアリング

☆LPCの粒径感度（現状超純水：50nm, 薬液:65nm）は
Critical Sizeに達しておらず向上が望まれる。

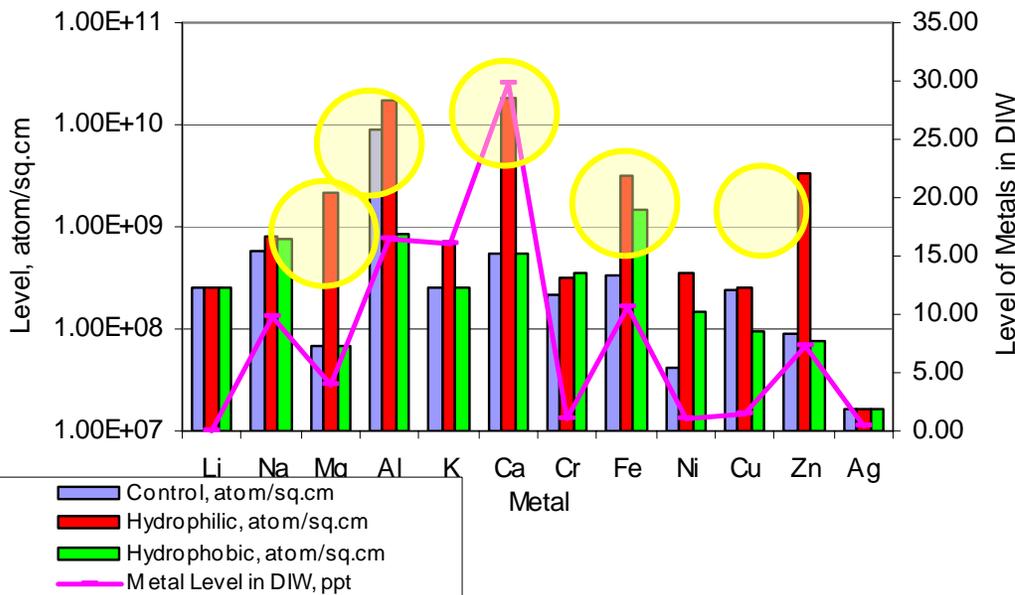
- ⊕ パーティクルカウンターの測定種類、特徴
粒径により検出方式（全量/一部）が異なる。
⇒部分測定による高感度化<0.1 μmに適用
- ⊕ 現状のパーティクルカウンターの問題点
偽計数(自己ノイズ、気泡、外部環境等起因)
「粒径感度」と「有効試料流量及び偽計数」はトレード ough の関係にある
⇒今後の更なる高浄化に対応するには、粒径感度の向上とともに有効試料
流量の維持・増大が必要
- 実用的な測定時間もしくは試料容量で統計的に信頼できる粒子計測を稼ぐ為
- ⊕ 取り組み中および今後の取り組み技術
微粒子計測は、技術的には30nm程度までは光散乱での計測可能性
低濃度対応は困難になる。
20nm以下は光散乱では困難。
光源の改善とノイズ低減が必要

ソナック社、リオン社のヒアリング内容から(6/26, 9/25)

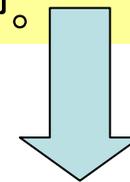
Critical metals : Al, As, Ba, Ca, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sn, Ti, Zn.

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, ..

純水からのメタル汚染の研究事例

研究内容	研究機関	トータル内容、解決策
<p>①Siウェーハ上微量不純物分析用固定法 1993年</p>	日本分析化学会第42年会	<p>超純水で標準溶液を既知濃度に希釈して、Siウェーハ上に30分間浸漬させてスピナー乾燥。 汚染濃度範囲 10ppb-10ppm Fe, Mn, Zn, Ca 10ppbで3×10^{10}atoms/cm² Al 10ppbで1×10^{11}atoms/cm² Cr, W, Ti 10ppbで1×10^{12}atoms/cm²</p>
<p>②Influence of Very-small-quantity Metal Contamination on Device Yield 2002年</p>	ISSM2002	<p>超純水中1-2ppt 流水汚染 GOI影響 $< 1 \times 10^{10}$(Ca, Mg) Ca $< 1 \times 10^9$atoms/cm²(15分) 3×10^9atoms/cm²(45分) Zn 3×10^9atoms/cm²(15分) 1.2×10^{10}atoms/cm²(45分)</p>
<p>③純水中の低濃度メタルによるウェーハの付着挙動 2002年</p>	応用物理学会 2002 オルガノ	<p>Fe 5ppt, Al 30ppt汚染水 流水汚染10分 ベアシリコンと自然酸化膜での比較 自然酸化膜の方が吸着しやすい。</p>
<p>④ウェーハ表面メタル付着の純水リンス時間依存性</p>	栗田工業	<p>超純水接触時間とウェーハ付着金属濃度の関係 流水汚染0-120分 < 1pptで9乗レベル維持 疎水性ウェーハでの評価</p>

Siウェーハ上微量不純物分析用固定法

事例1

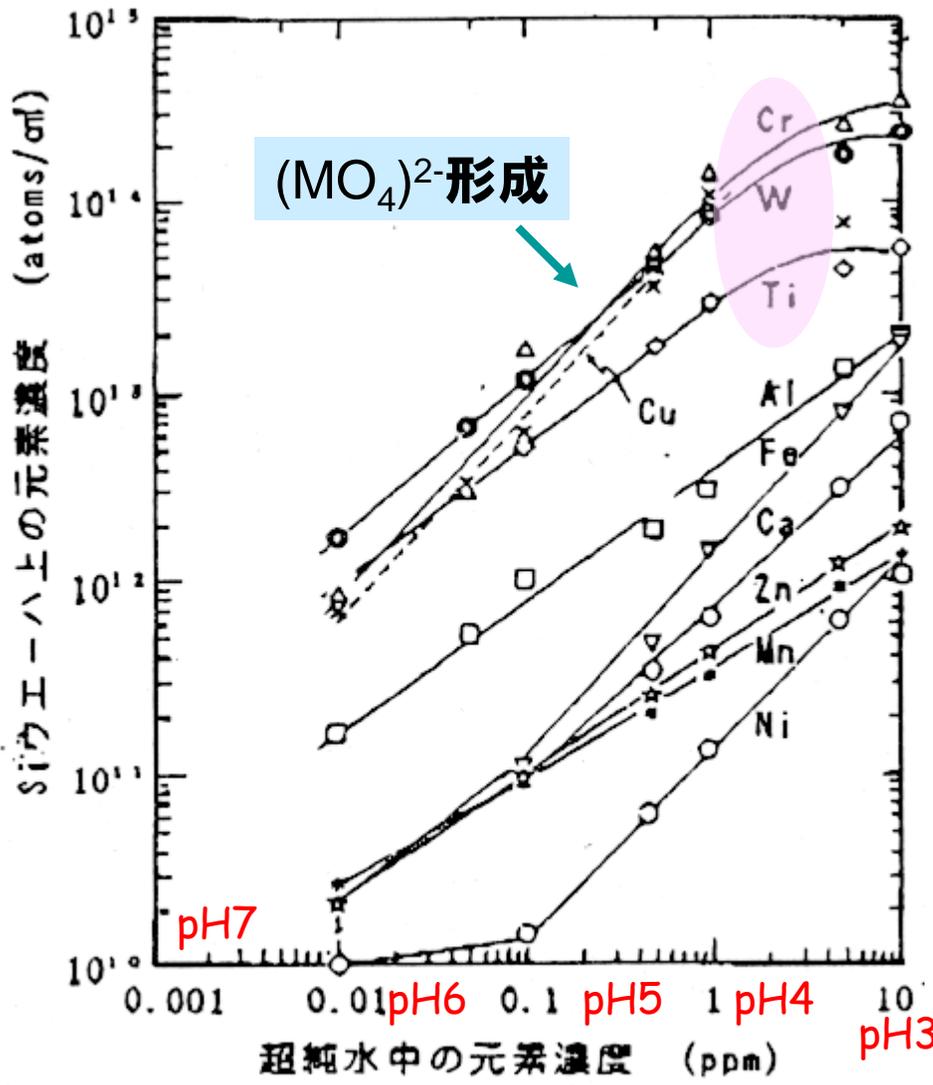
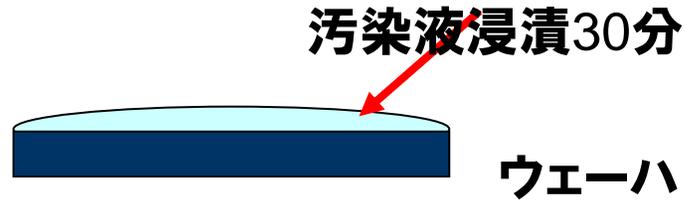


図1 超純水中の元素濃度と固定量



10ppb-10ppmでの吸着(pH6-3)

Cr, W, Ti(オキソ酸形成する)は酸性領域で吸着しやすい(アルカリ側で安定)

Ni, Mn, Zn, Caは酸性領域では吸着しにくい。

Alは両方の性質があるため吸着は中間的

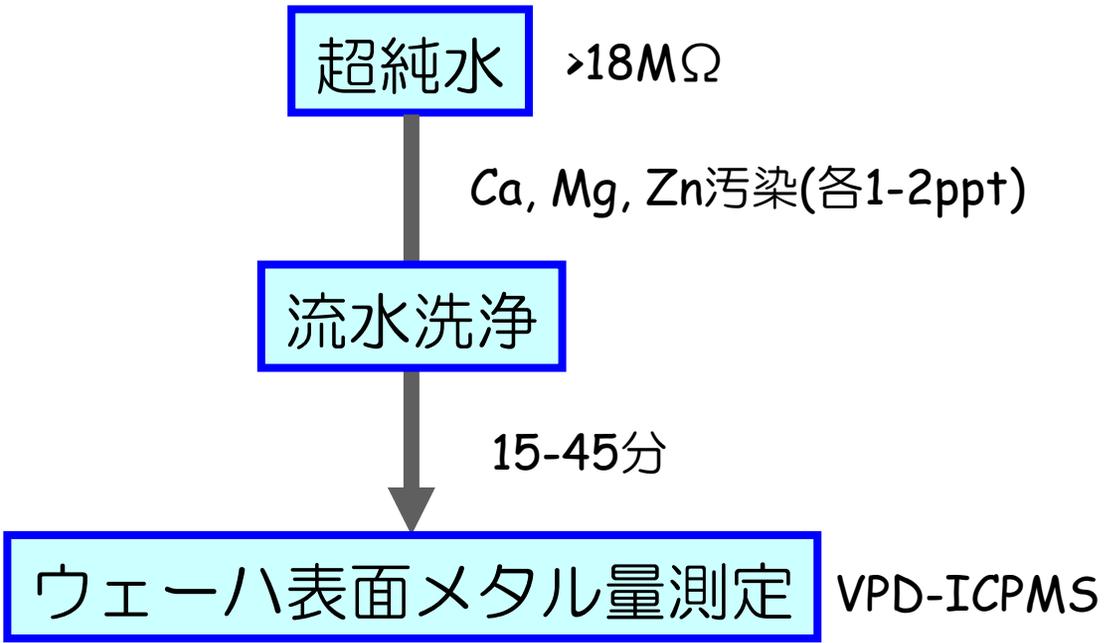
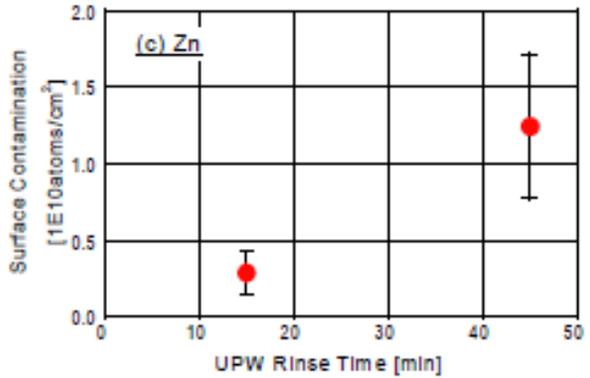
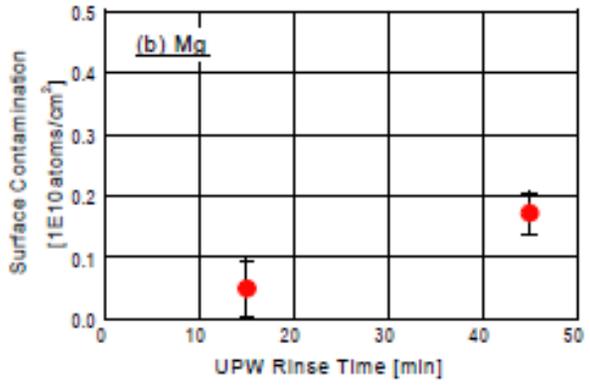
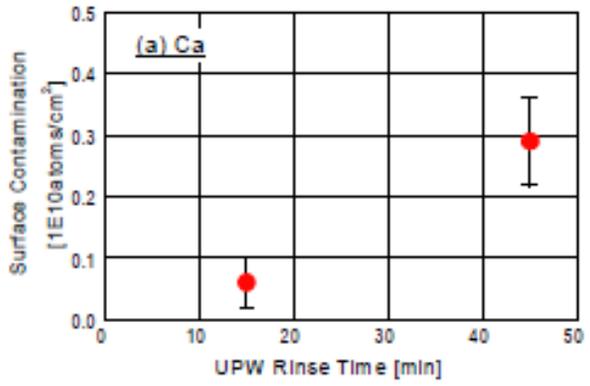
分析方法

VPD-AAS, VPD-ICPMS, TREX

分析方法: OK >1e10atoms/cm2
TREX vs. VPD-AAS, ICPMS 互換性
pHの影響受けている。超純水の汚染でない。

事例2

Influence of Very-small-quantity Metal Contamination (Ca, Mg, Zn) on Device Yield



純水洗浄時間長でメタル汚染濃度増加

Zn 45分 1.2e10atoms/cm²

1-2pptでも吸着量しやすい。

各事例における吸着量の違い

事例1

このデータは純水中の付着量としているが実際には酸性領域の実験となっている。

標準溶液は1000ppm/0.1M硝酸

よって 10ppm → pH3 酸性溶液、1ppm → pH4 酸性溶液

0.1ppm → pH5 酸性溶液、0.01ppm → pH6 酸性溶液

酸性溶液下ではイオンとしての存在の方が安定のためウェーハへの吸着はしにくい。

事例2

ウェーハ上の測定法にはいささか難はあるが、**純水中の汚染**である。流水汚染のためより吸着しやすいと予想される。

事例3 オルガノ(純水プラント)

純水中の汚染である。ベアシリコンと自然酸化膜ウェーハをpptレベル汚染した超純水でオーバーフロー通水(流水汚染)。

自然酸化膜の場合にはpptレベルでも $1e10$ レベル以上のメタルが吸着する。

事例4 栗田工業(純水プラント)

純水中の汚染である。純水中の1 ppt以下の金属濃度でも通水条件、元素によっては、 $1 e9atoms/cm2$ レベルの汚染がある。

ウェーハ上の金属汚染量を $1e9atoms/cm2$ レベル以下で管理
純水中の金属濃度は $< 1 ppt$ に低減する必要がある。

ITRSに見る純水中メタルの濃度推移と妥当性

超純水	1999(ITRS)	2001(ITRS)	2003(ITRS)	2005(ITRS)	2007(ITRS)	2008(ITRS)
抵抗率	記述なし	記述なし	18.2MΩ・cm	18.2MΩ・cm	18.2MΩ・cm	18.2MΩ・cm
微粒子						
大きさ(μm)	0.09	0.065	0.05	0.04	0.05として	32.5nm
個数(個/ml)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.9	<100
生菌(個/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1
TOC(μg/L or ppb)	2	1	<1	<1	<1	<1
溶存酸素(μg/L or ppb)	10	記述なし	3	<10	<10	<10
SiO ₂ (μg/L or ppb)	0.1	0.1	1	<0.5	<0.5	<0.5
critical metals(ppm/ng/L)each	20	<20	1	<1	<1	<1
アニオン	20	<20	<50	<50	<50	<50
溶存窒素(ppm)	記述なし	記述なし	8-12	8-12	8-12(メガソニック)	8-12(メガソニック)

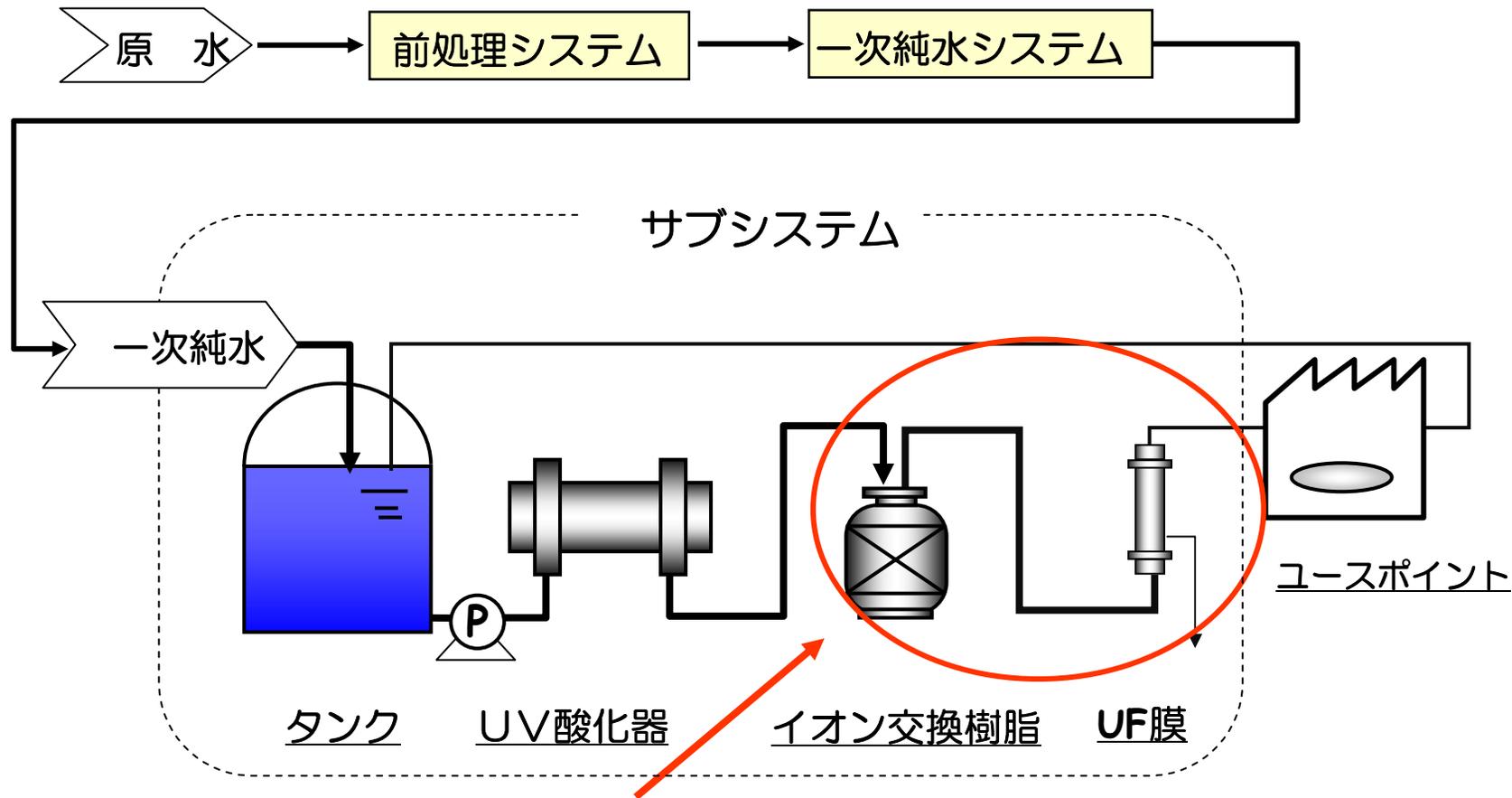
純水グループの実験データより

大幅変更

メタル<20ppt⇒1ppt⇒<1ppt
 <0.5ppt⇒<1ppt緩和(ITRS2007)⇒<1ppt(critical(吸着しやすい)-ITRS2008)

ウェーハ表面メタル汚染量⇒1ppt(Fe)で1e9レベル(計算-浸漬汚染)
 実際はリンス液として使用する(流水汚染)と1pptでもリンス時間長で1e10レベルまで達する懸念あり。FEPでは<5e9と規定している。
 今後は<1pptで続くのではなく、0.5ppt, 0.1pptまでの低減は必要と考える(日本)。

メタル濃度 0.1pptに向けての改善点



金属濃度0.1pptに向けて・・・
・イオン交換樹脂、以降の清浄度向上

YMDB

- ✚ DB Survey再実施を検討する。
DB Tableの基礎データ更新方法を検討
- ✚ DFMに関する記述追加を検討する。
JEITA・生産技術委・DFM-PM小委と協議

DDC

- ✚ 見えないシステム欠陥と歩留の関係調査
- ✚ ベベル、エッジ検査技術調査

WECC

- ✚ 各種汚染と歩留の関係を調査する。
- ✚ 液中パーティクル、メタル⇒付着確率等の調査
- ✚ UPW, chemicalsの汚染物質のサンプリング手法、測定法の標準化検討(SEMI)

2008年度ヒアリング実績

WG11

1. 微小パーティクル制御方法 東京エレクトロン
2. ITRSを考慮した超純水の分析関連技術 野村マイクロサイエンス
3. 液中パーティクルカウンターの最新動向 ソナック
4. 各種フィルター技術(液、ガス、雰囲気) 日本インテグリス
5. 液中パーティクル計測技術 リオン
6. 検査技術(フォトマスク欠陥等) レーザーテック
7. Evolution of Wafer Inspection Methodology KLAテンコール

WECC

1. 微量メタル含有純水通水時のウェーハへのメタル吸着挙動 オルガノ
2. 超純水接触時間とウェーハ表面金属付着濃度の関係 栗田工業

謝辞

2008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
様に感謝します。