

ウェーハ大口径化

－ 300mm化の経緯と450mm化に向けての課題 －

窪田 通孝 (WG3リーダー: ソニー)

渡辺 正晴 (WG3特別委員: ニューフレアテクノロジー)

北島 洋 (WG3委員: NECエレクトロニクス)

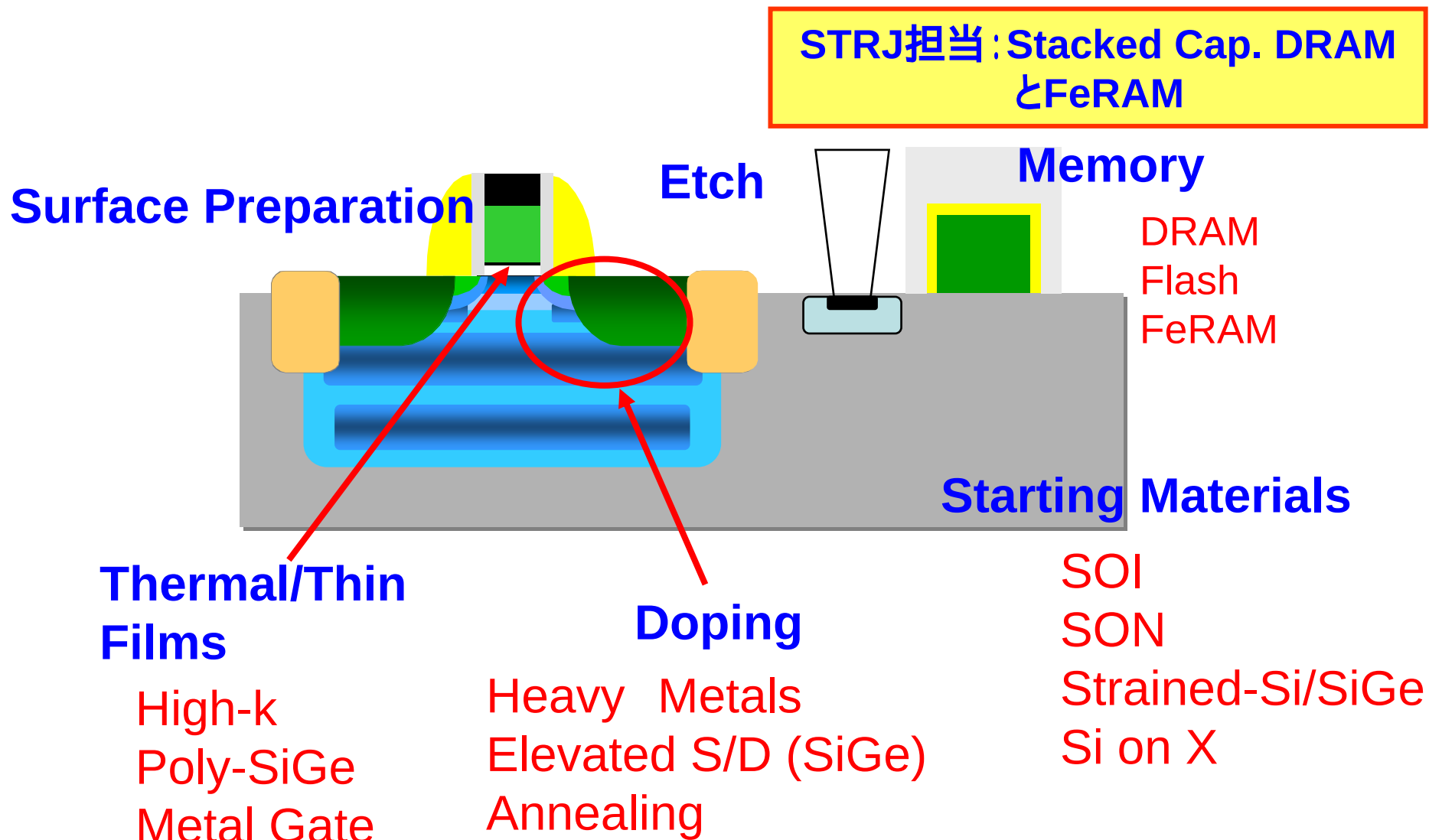
Outline

- (1) 2004年度FEP WG活動概要: 窪田
- (2) ウェーハ大口径化技術と課題: 渡辺
- (3) 大口径化の影響、課題と対応案: 北島

Front End Processes (FEP) WG メンバー

- リーダー: 窪田通孝 (ソニー) * : 国際対応
- 副リーダー: 丹羽正昭 (松下)*
水島一郎 (東芝)*
- 幹事: 中西俊郎 (富士通研)
- 委員: 藤原伸夫 (ルネサステクノロジ) 小田真弘 / 井原良和 (三洋)
池田修二 (トレセンティーテクノロジーズ) 内田英次 (沖)
北島洋 (Selete / NECエレクトロニクス) 奈良安雄 (Selete)
北野友久 (NECエレクトロニクス) 三富士道彦 (ローム)
- 特別委員: 河村誠一郎 (産総研)* 大形俊英 (日立ハイテクノロジーズ)
中嶋 定夫 (日立国際電気) 渡辺正晴 (ニューフレアテクノロジー)

--- Starting MaterialsからSilicidationまで + Memory



2004年度活動方針

技術動向調査

担当領域が広範囲に及ぶため、各分野の
ヒアリングを積極的に行い、最新技術動向を把握。
(ヒアリング14回実施)

2004 Update

Stacked DRAMとFeRAMをPIDSと協力し改訂。

他WGとの情報交換

→ FEPとしての新テーマ(切り口)探し

液浸リソ(WG5) ウェーハ

CDの測定技術(WG11) Etch 等

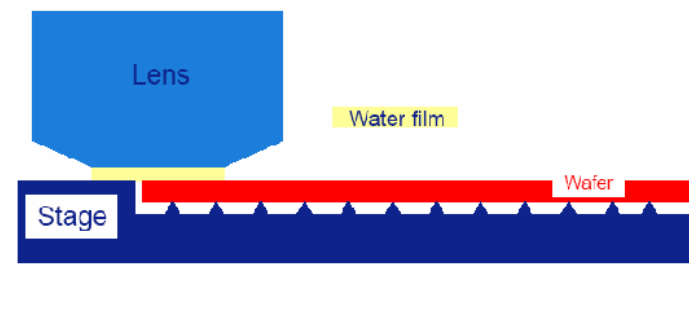
Wafer Flatness

• 次世代ウェーハの最重要課題：平坦度はどうなるか？

– 液浸リソグラフィー関連

ニコン 龜山雅臣氏

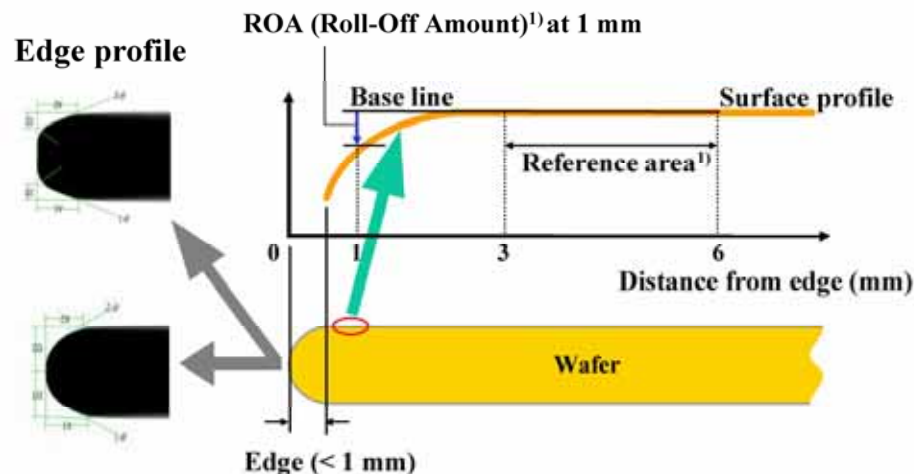
- ウェーハエッジ部での液漏れに対する懸念があったが、大きな問題はなさそう。
- 同じ線幅なら液浸はDryよりDOFは大きくなるが、ウェーハ平坦度(要求)は緩くならない。



– JEITA次世代ウェーハ技術専門委員会

富士通 福田氏

- 300mmウェーハでは周辺部の平坦度(Edge roll-off)が問題。ウェーハ内部の平坦度は45nm世代にも対応できる。
- Edge roll-offの定量化に注力。定義と現状把握を進める。



High-k

High-kの学会動向は、TiO₂、Ta₂O₅、BST、STOからZr系、Hf系 (HfO₂、HfSiO、HfAlO) に移ってきている。

High-kはtrap-assist tunneling、trappingによるIon低下、キャリア/フォノン散乱、またV_tシフト等が課題となっている。

今後の展望：

65nm世代

LSTP

HfSiON HfAlO

微細化と信頼性確認を経て実用化可能

LOP

低V_t化のための構造・プロセスが必要。一般的な動向としてはmetal gate。

HP

poly-Si/SiON → metal gate/high-k探索。

45nm世代

LSTP

(HfSiON) (HfAlO) HfO₂ (ZrO₂) (La系)

poly-Siゲートでの微細化。あるいはmetal gate。

LOP、HP

空乏化対策でmetal gate。Dual metal + Si sub., single metal + SOI。

ITRS 2004 Update: 大きな修正はなし



CDコントロールの配分改定

20% etch; 80% litho → 25% etch; 75% litho

<i>Year of Production</i>	<i>2003</i>	<i>2004</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>
Old: MPU Printed Gate Length (nm)	65	53	45	40	35	32	28
New: MPU Printed Gate Length (nm)	75	62	53	47	42	37	33
MPU Physical Gate Length (nm)	45	37	32	28	25	22	20
Old Trim Reduction (nm)	20	16	13	12	10	10	8
New: Trim Reduction (nm)	30	25	21	19	17	15	13
Old: Etch Tolerance	2.01	1.65	1.43	1.25	1.12	0.98	0.89
Old: Etch Tolerance/Trim Amount	10.1%	10.3%	11.0%	10.4%	11.2%	9.8%	11.2%
New: Etch Tolerance	2.25	1.85	1.60	1.40	1.25	1.10	1.00
New: Etch Tolerance/Trim Amount	7.5%	7.4%	7.6%	7.4%	7.4%	7.3%	7.7%
Old: Lith Tolerance	4.02	3.31	2.86	2.50	2.24	1.97	1.79
New: Lith Tolerance	3.90	3.20	2.77	2.42	2.17	1.91	1.73

Backside Particle

記載なし → 記載を追加

ITRS 2004 Update: Stacked Capacitor DRAM

StackDRAMのロードマップ (72b) において 2011年, 2014年, 2017年の項目追加

基本的 2つの方針

Hp45,32,22を区切りにしてそれより後では新しい技術に変わるとする
セル面積などの数値目標はある程度連続的に変化するとする

72aは修正なし

【代表値】

Table 72b DRAM Stacked Capacitor Films Technology Requirements—Long-term

Year of Production		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Technology Node		hp45			hp32			hp22		
DRAM ½ Pitch (nm)		45	40	35	32	28	25	22	20	18
Cell size factor a	WAS	6		6	6		6	6		5
	IS		6			6			5	
Cell size (μm^2)	WAS	0.012		0.007	0.006		0.004	0.003		0.0016
	IS		0.010			0.005			0.002	
Storage node size (μm^2)	WAS	0.004		0.002	0.002		0.001	0.001		0.0005
	IS		0.003			0.002			0.0006	
teq@25fF (nm)	WAS	0.7		0.6	0.5		0.4	0.4		0.25
	IS		0.7			0.5			0.3	
HAC diameter (μm)	WAS	0.05		0.04	0.04		0.03	0.03		0.02
	IS		0.05			0.03			0.02	

2005年に向けて:

『Cell size factor a』等の見直しを進めている。

ITRS 2004 Update: FeRAM

2005年を0.13 → 0.15 μm に。

2011、2014、2017年追加。

製品ではなく“Demonstrator”ベースであることの説明を表に追加。

表の計算ミスを修正。

	Year of Production	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	Technology Node		hp90			hp65		
WAS	DRAM $\frac{1}{2}$ Pitch (nm)	100	90	80	70	65	57	50
WAS	Demonstration Sample Density (standard memory) [A]	32Mb	64Mb	128Mb	256Mb	256Mb	512Mb	512Mb
IS								
WAS	Feature Size (μm): F1 (standard memory) [B]	0.25	0.18	0.13	0.13	0.12	0.11	0.1
IS				0.15				
WAS	Feature Size (μm): F2 (embedded memory) [C]	0.18	0.13	0.12	0.11	0.1	0.09	0.08
IS								
WAS	Access time (ns) [D]	55	40	30	30	20	20	15
IS								
WAS	Cycle time (ns) [E]	80	70	50	50	32	32	25
IS								
WAS	Cell area factor a (standard memory) [F]	15	15	12	12	12	10	10
IS								
WAS	Cell size (μm^2) (standard memory) [G]	0.938	0.486	0.203	0.203	0.173	0.121	0.1
IS				0.270				
WAS	Total cell area (mm^2) for standard memory [H]	3.93	8.15	6.8	13.61	23.19	32.48	53.69
IS		31.46	32.61	36.24	54.44	46.39	64.96	



STRJ Workshop報告

→ 過去2年は新材料にフォーカス

2003年

新材料導入によるブレークスルーとその課題

2004年

How can we share the pain?
— 新材料開発がもたらすもの —

I a	II a	III a	IV a	V a	VI a	VII a	VIII			I b	II b	III b	IV b	V b	VI b	VII b	0
1	2	3	4	5	6	7	8			9	10	11	12	13	14	15	16
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

使用中

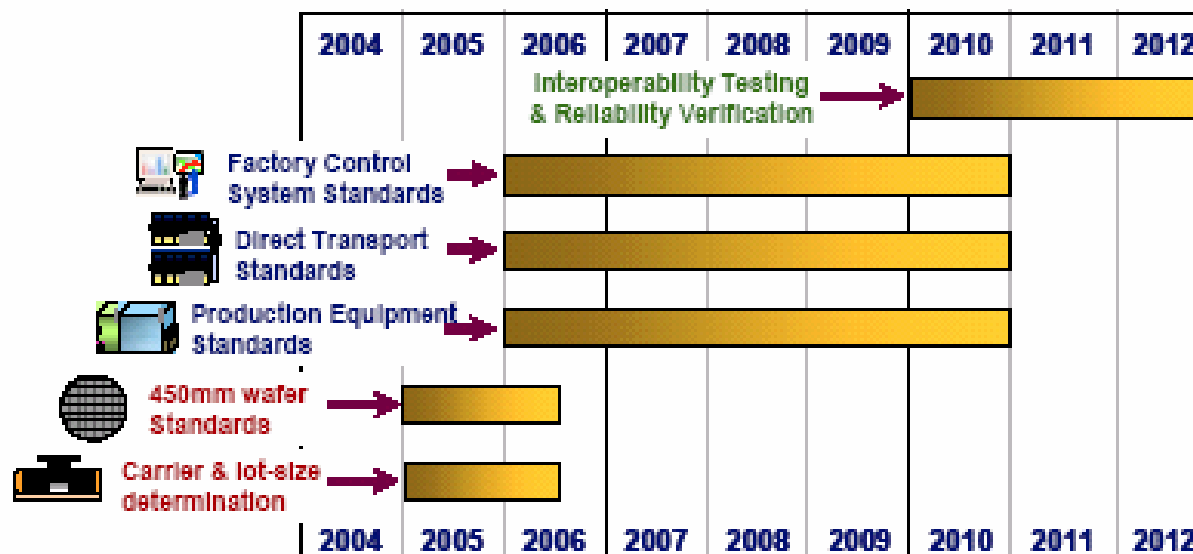
導入を検討中

今回：300mm化の経緯と450mm化の課題

450mm：導入する際の課題をそろそろ検討すべき時期

ITRS：2012年 (hp35) から量産で利用

→ 2005年にはウェーハ、キャリア、2006年には装置、AMHSなどのスタンダード化に着手との提案あり



J. Pettinato et al.
(ISSM2004)

Figure 1. Proposed 450mm Wafer Transition Timeline.

(2) ウェーハ大口径化技術と課題

Starting Materials

2004 updateと2005年改定

450 mm 大口径化の議論が始まった

主要項目についてアンケート調査

ウェーハエッジ問題

300 mm大口径化の経験

2005年版の改訂

- Starting materials表の項目と数値の見直し

1. 450mm

- 日米ともに最も関心の高いトピックス
 - US starting materials sub TWG で集中的な議論
 - 2月3 - 4日、4月6 - 7日、 2005
 - 日本SSiのみが実データを持っている

2. 1mm Edge Exclusion

- 2004東京会議でFIから要請があった
 - 張り合わせSOIはで実現できない
 - なにが問題か？ 測定技術？

3. Wafer Edge Shape

- 平坦度(SFQR)、ナノトポグラフィー、エッジロールオフ(ERO: Edge Roll-Off)などのウェハ形状パラメータ
- リソグラフィーとCMPに関する重要なパラメータ
 - JEITA / SEMIが実ワークをしている

重要な項目について
のアンケート調査



現実的な数値

ウェーハ450mm化議論開始

(US Starting materials Feb.3-4, 2005)

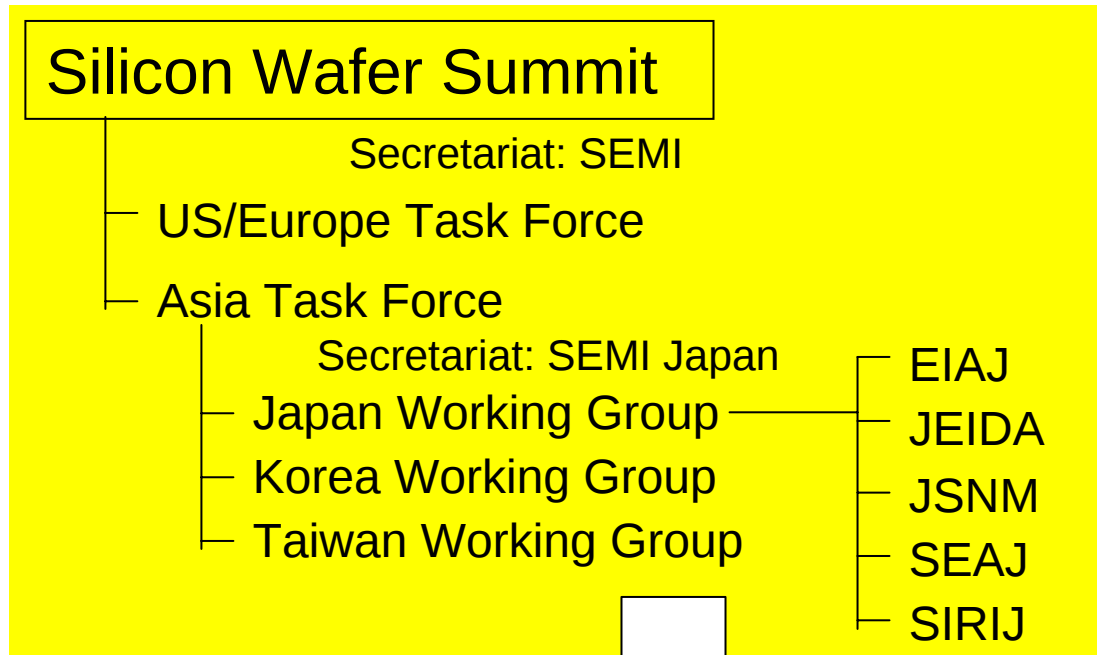
- Starting materials 2005
改訂作業のメインテーマ
 - 問題の洗い出し論議
 - White paperを作成
 - 問題点の共通認識
 - 大口径化によりウェーハ面積単価は上がる
 - ウェーハ厚は300mm並でもよいのでは？
 - などなど
 - 共同開発によるコスト低減
 - 国際協調が必須
 - 300mmの経験を学ぶ
 - 国際協調の組織と期間
- 情報リスト
 - FIでの450mm化議論
 - R & Dコスト
 - メーカー単独では無理
 - コンソーシアム
 - ハンドリングコスト
 - プロセスの変更
 - スパーシリコンプロジェクト
 - 技術的可能性の実証した
 - 日本からの寄与が期待できる
 - 公になっている情報
 - Global Economic Symposium
 - Micro 2005 Jan. and April

450mm化白書(案)

共通認識の出発点

- 概要
- 線表
 - なにをいつやらなければならないか
 - クリティカルパスはなにか
- 標準化
 - ウェーハ仕様の議論
 - 直径
 - 厚さ
 - FOSB、自動化等の情報
- 技術
 - SSi成果を活用して議論
 - 詳細を米国は知らない
 - ウェハプロセスの枚葉化
- コストモデル
 - ポリシリコン利用効率(g/wafer)
 - ウェーハ厚さ依存性
 - 感度分析
- 300mm化時の教訓を学ぶ
 - 国際協調と標準化
- いつ始まるか
 - 2012?
 - ITRS通りに始まるか?
 - 450mm化の条件はなにか
- 450mm以外の選択肢
 - 生産性をアップする他の手段
- SOI化
 - 450mm時代のSOI技術

ウェーハサミットと標準化



#1 94.7 San Francisco

直径 = 300mm

#2 94.11 東京

量産開始 = '99 - 2000

#3 95.4 Geneva

ウェーハ外形仕様

#4 95.12 東京

#5 96.7 San Francisco

国際標準化

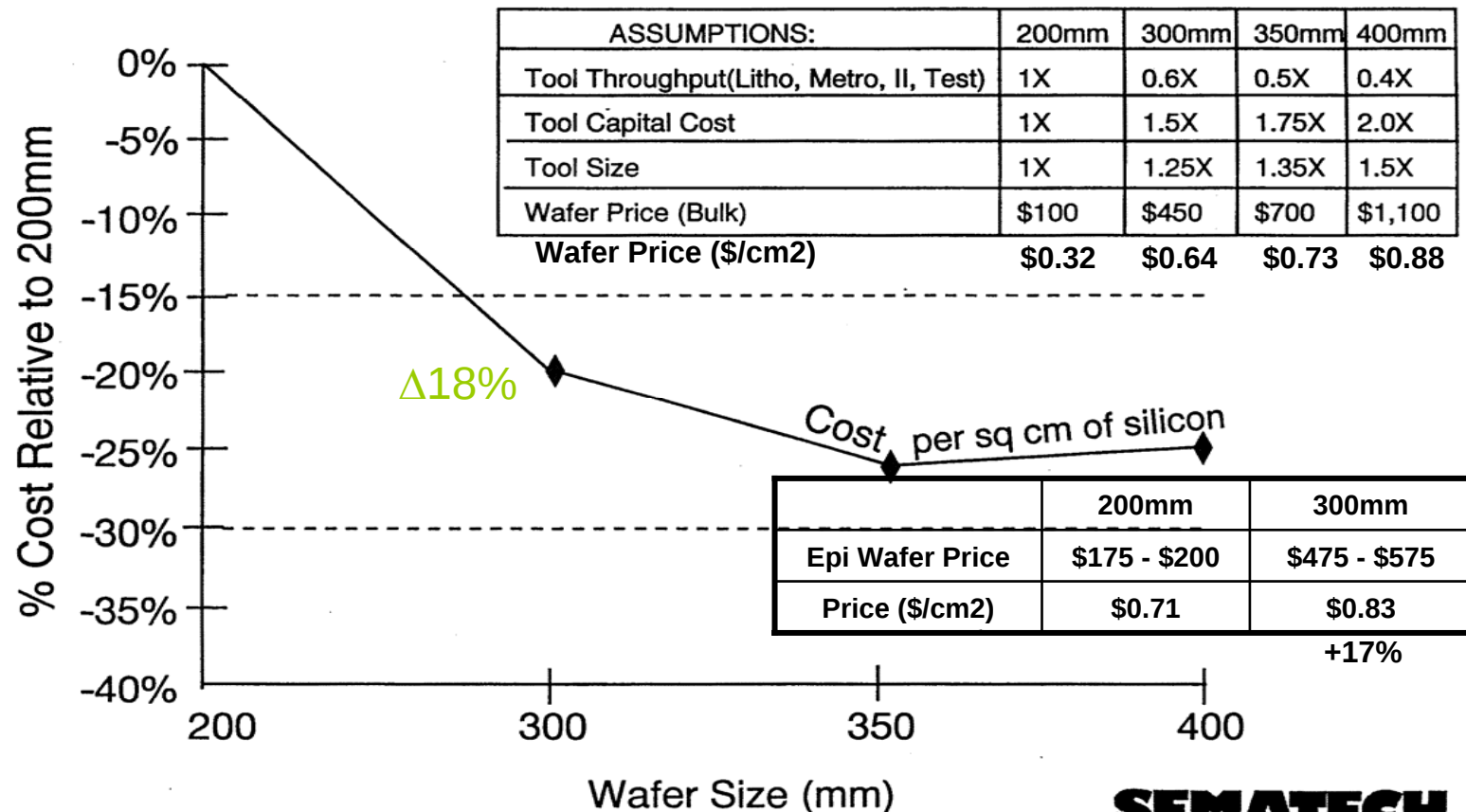


装置評価

I300I
Selete

ウェーハコスト問題のシナリオ

PERCENT DECREASE IN COST FOR PRODUCTION ON LARGE WAFERS



ウェーハサミット資料から抜粋

ウェーハ大口径化 150→200

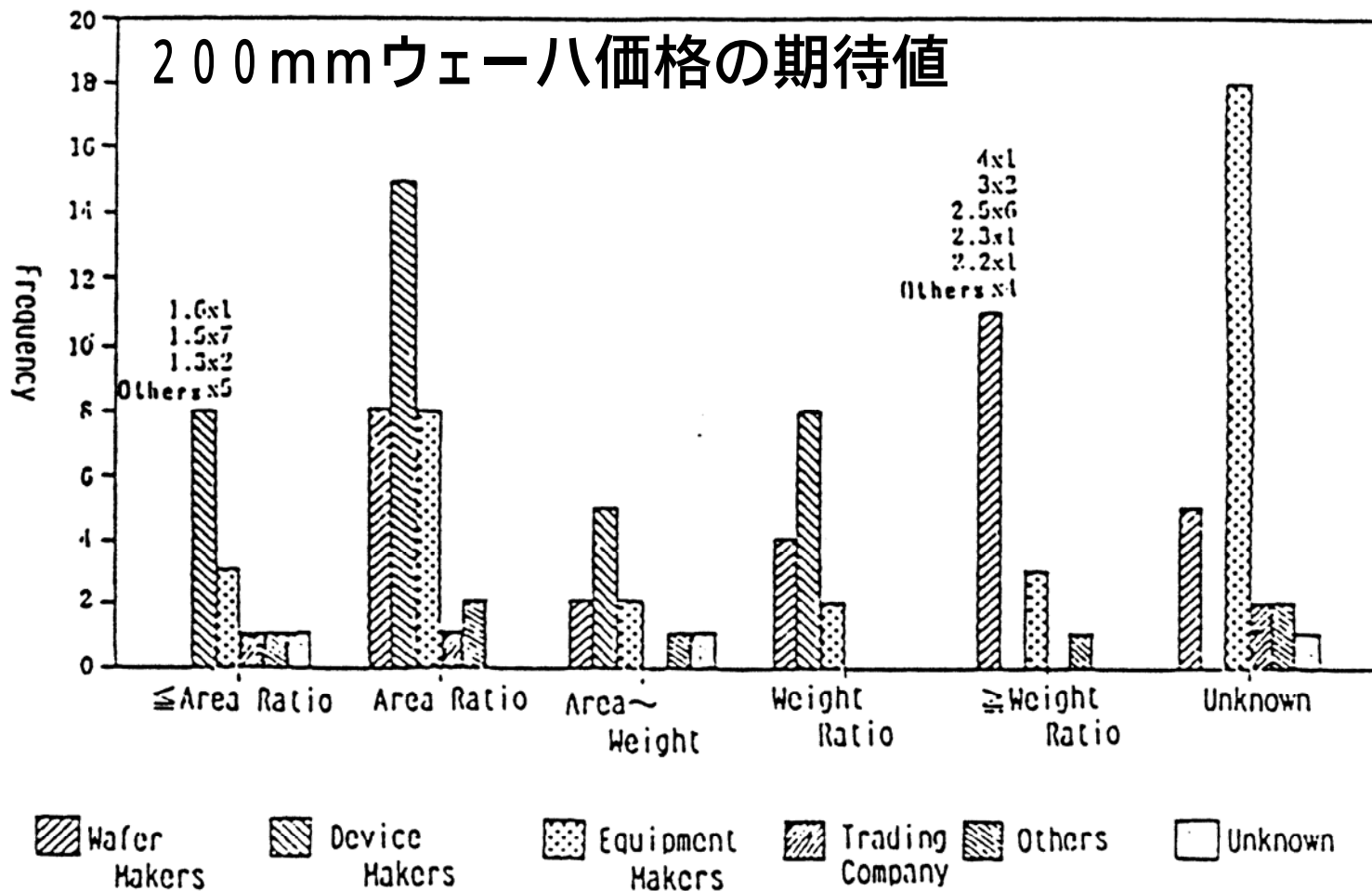


Fig. -6 Price Comparison between 200mm and 150mm wafers

ウェーハ大口径化技術動向に関する調査報告書 平成元年3月 日本電子工業振興協会

国際的な検討: ウェーハのスリップ

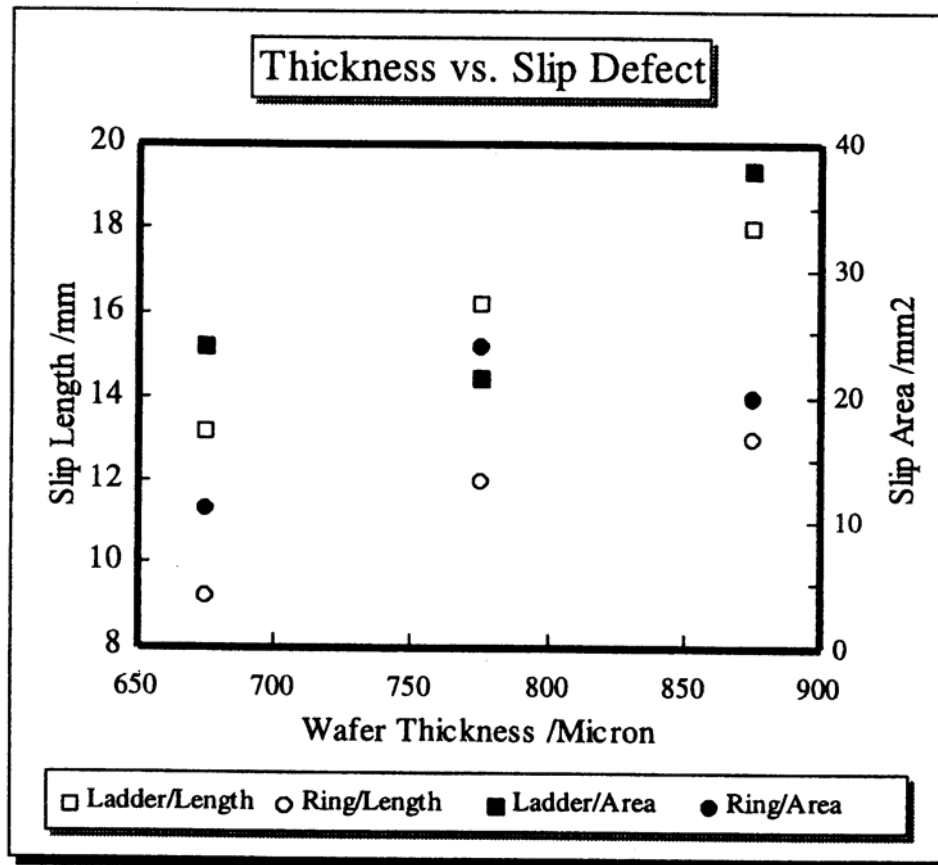


図3.2 ウェーハ厚さと縦型炉での熱処理で発生するスリップとの関係

JEIDA データ

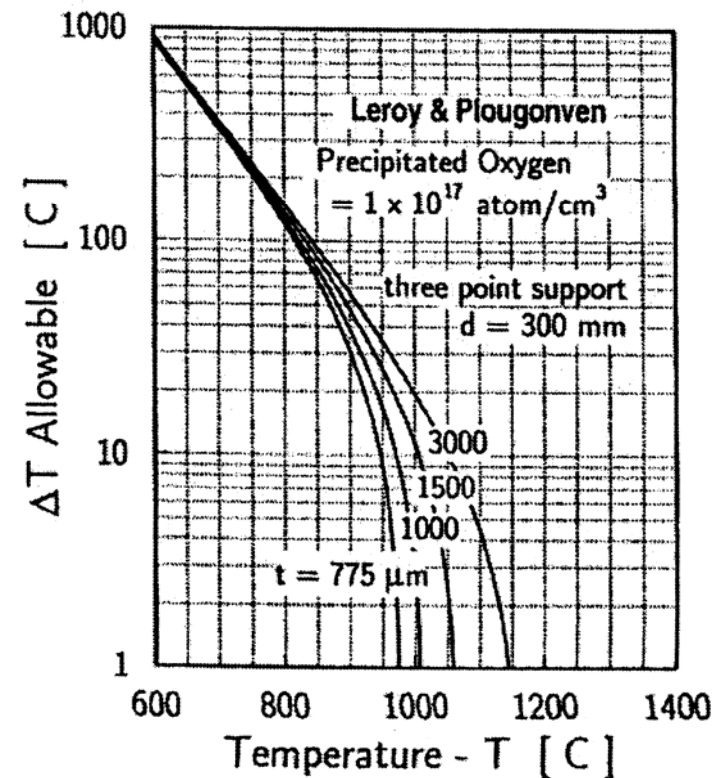


図6.9 ウェーハのスリップ限界 (Sandiaデータ)

Sandia theory

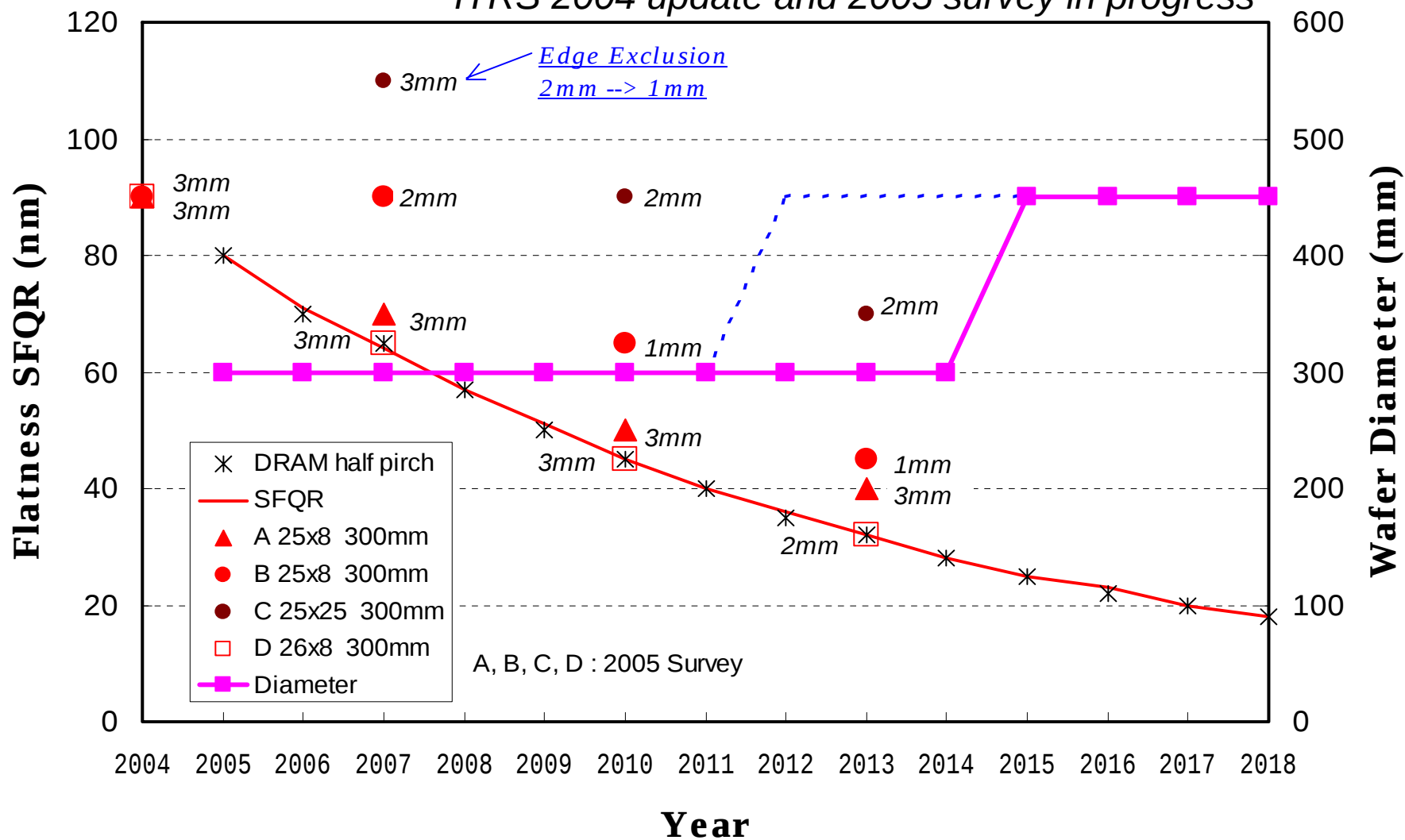
Starting Material重要項目

2005アンケート調査(進行中)

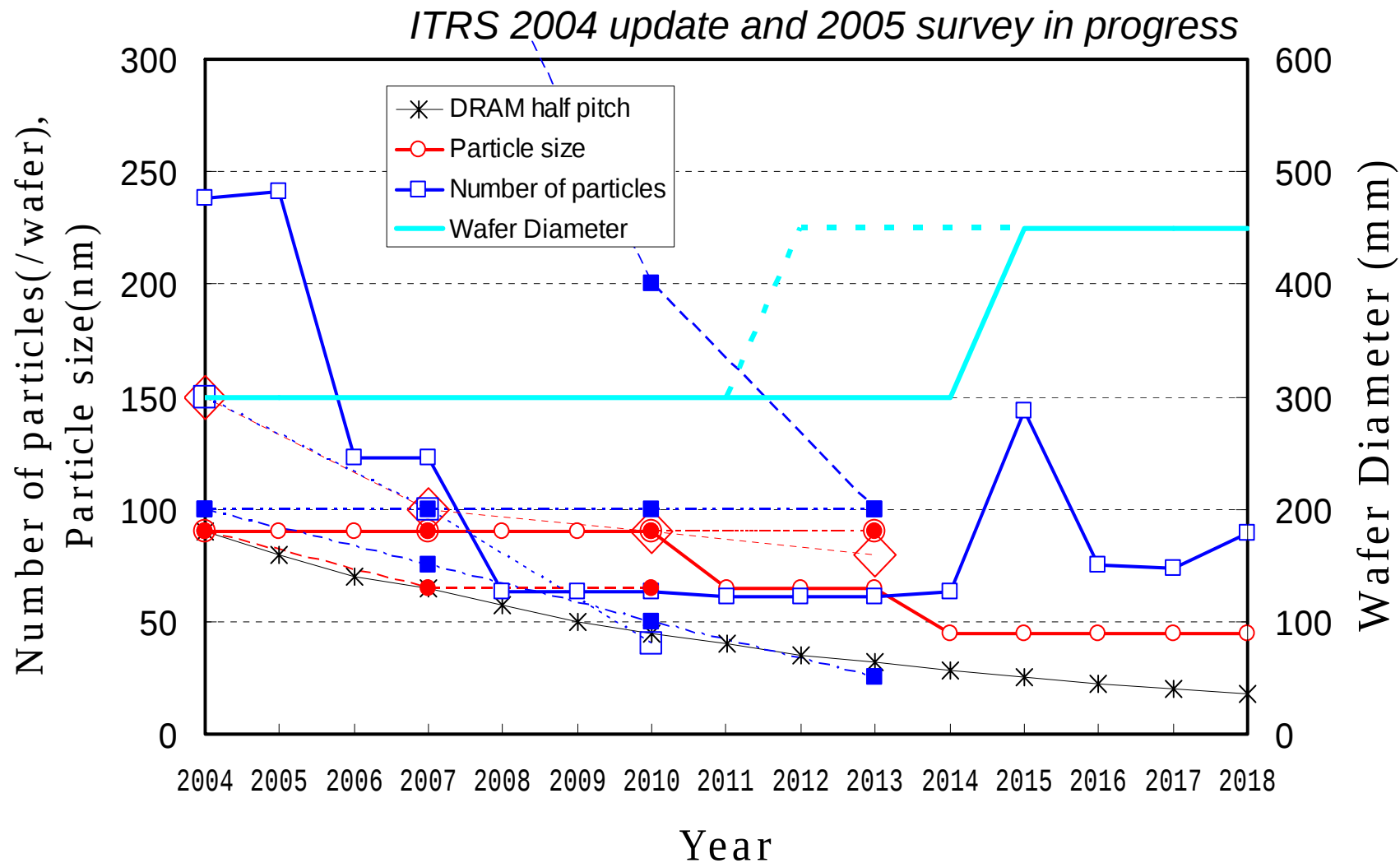
項目分類	仕様項目	重要度ランク	問題となる工程
平坦度	サイトフラットネス	1	
	サイトサイズ	2	
	測定空間分解能	3	
	ナノポグラフィー	3	
	裏面平坦度	3	
	エッジロールオフ	3	
エッジ除外	ポリッシュウェーハ	2	ウェーハ周辺部加工
	エピウェーハ	2	
	SOIウェーハ	2	
表面パーティクル	パーティクルサイズ	2	ウェーハ洗浄
	パーティクル数	3	
COP	COPフリー	2	結晶育成 アニール エピ
	サイズ	3	
	密度	3	
その他	ゲッターリング	3	引き上げ・エピ・アニールの条件出しができるか？
	エピ欠陥関連項目	2～3	
	SOI厚さ関連項目	2	
	SOI欠陥関連項目	2～3	

大口径化と高平坦度化

ITRS 2004 update and 2005 survey in progress



大口径化とパーティクル



ウェーハ技術まとめ

- 2004 updateと2005年改定
 - 450mm 大口径化の議論が始まった
 - 大口径化に対する認識共通化や問題点の洗い出し
 - 450mm white book
 - » 直径、厚さ、コストモデル etc
 - » 開始時期、国際協調、標準化、etc
 - 主要項目についてアンケート調査
 - ウェーハ特性項目の重要度とその数値の見直し
 - 平坦度(最重要)、エッジ除外、パーティクル、SOI厚と欠陥、COP、
 - ウェーハエッジ問題
 - 1mm Edge Exclusion(外周から1mmまで品質保証できるか)
 - Edge Roll-off(ウェーハ周辺部の微妙な平坦性の最適化)
- 大口径化の経緯
 - 300mm大口径化の経験

(3) 大口径化の影響、課題と対応案

内容

1. 300mm化
 - ・300mm化の課題
 - ・プロセスや環境の変化
 - ・300mm化の実績
2. 450mm化
 - ・450mm化の技術課題
(大口径化起因、微細化起因)
 - ・対応案
3. まとめ

300mm化の流れ(装置関連)

1994年7月：第1回 Silicon Wafer Summit会議

『装置には基本的な問題はないから、問題はシリコン
ウェーハの製造』

(小宮啓義 監修『グローバルスタンダードへの挑戦』より)

1996年2月：(株)半導体先端テクノロジーズ(Selete)設立

1997年12月：プロセス装置統一メトリックス(I300IとSelete)
以降 '98,'99,'00,'02に改版

2001年3月：トレセンティ 150nmLogic量産

2001年12月?: TSMC 130nm量産

2001年12月：Infineon 170nm/256MDRAM量産

2002年2月：Intel 130nm 6層Cu MPU量産

200mm → 300mm : ウェーハの変化

- 1) 表面積が2.25倍 → スループット低下、均一性の悪化
- 2) 厚さは直径ほど増加しない → 強度低下(耐熱性)
- 3) 重量増加 → 自動化が必要
- 4) 裏面光沢度増(← 平坦度改善の要求)

その他: 水平搬送・水平保管

エッジハンドリング装置増加

1995-6年頃のFEP装置の状況

熱処理・酸化装置	バッチ装置 / 枚葉装置
エピ成長装置	枚葉装置
イオン注入装置	枚葉装置 (中電流) バッチ装置 (高電流、高エネルギー)
洗浄・ウエット装置	バッチ装置 / 一部枚葉化
エッチング装置	枚葉装置
LPCVD装置	バッチ装置
プラズマCVD装置	枚葉装置

枚葉装置は大口径化が比較的容易と考えられた

300mm化でのFEP装置の問題

共通課題：面内均一性悪化、スループット低下

熱処理装置：温度分布→スリップの発生

エピ成長装置：同上

イオン注入装置：ばらつき低減のための枚葉化

洗浄装置：洗浄/リンス効率、薬液・純水使用量

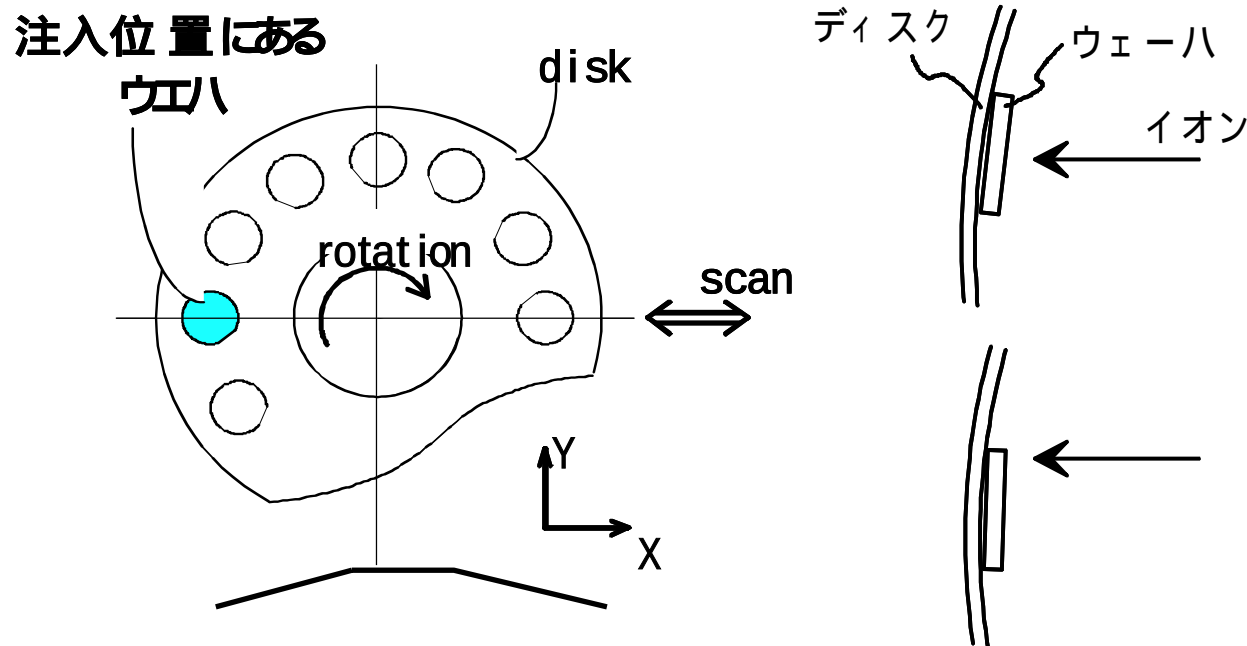
エッチング装置：共通課題

CVD装置：共通課題

バッチ式イオン注入装置

ビームスキャン+ディスク回転(高電流装置、高エネルギー装置)

- ・利点: バッチ + 高速回転(=スキャン)で帯電や温度上昇抑制
- ・欠点: 大口径化によりウェーハ面内の**角度ばらつき**増加

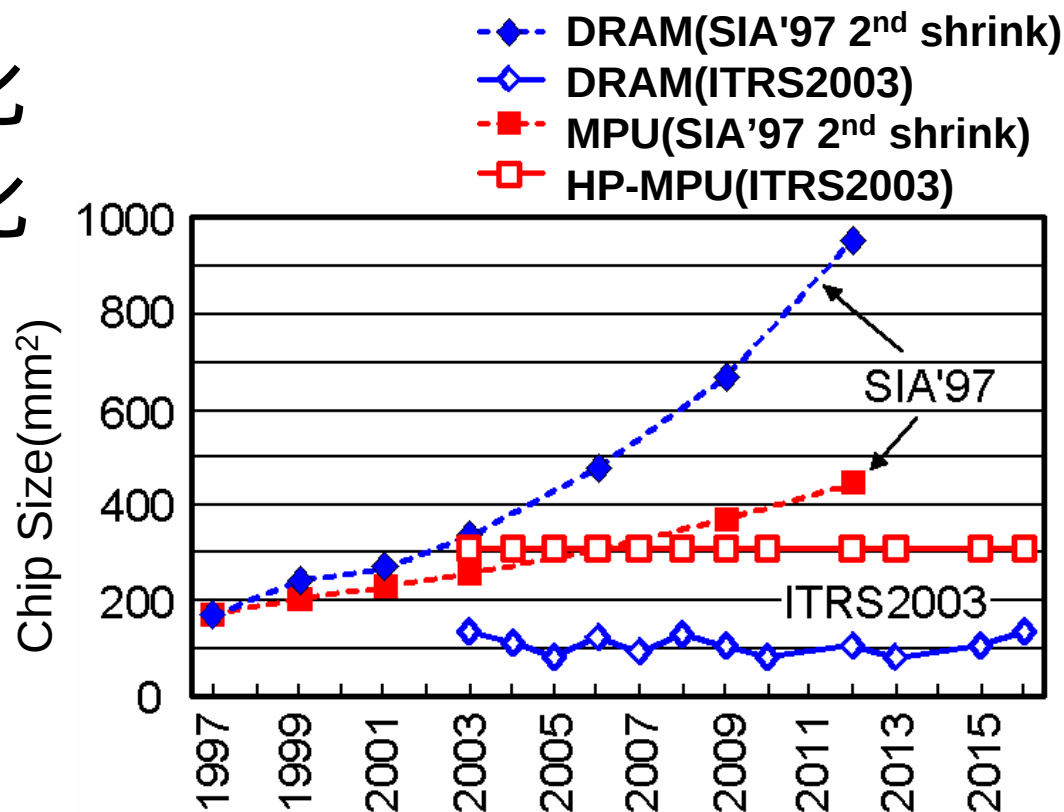


200mm同様のスリーブット → ビーム電流増加が必要

+単純な枚葉化 → **温度上昇や帯電増加**の可能性増加(同一ビーム電流で1桁Up)

プロセスや環境の変化

- ・少品種大量生産 → 多品種少量生産の傾向増
- ・急速な微細化 = プロセス低温化
- ・素子分離のSTI化
- ・ミニエンバイロメント化
- ・Chip Size予測の変化



300mm化の実績

スループット、均一性は200mm装置レベル

バッチ式熱処理装置

スリップ: ウェーハ保持法・低温化 (← 高エネルギー-I/I, CMP)

RTP, エピ装置

温度は200mmと同等、保持法などによる改善

洗浄装置

ピッチや条件の最適化で洗浄・リンス効率200mmレベル

プロセス装置統一メトリックス

- I300IとSeleteの協調 -

スループット (Wf / H)

Selete最終報告会
(2002.3)

	200mm	300mm	評価結果
Plasma Etch (SiO ₂)	30	30	○
Plasma Etch (Poly-Si)	40	40	○
Plasma Etch (Metal)	36	36	
RTP (1000 10s)	60	60	○
Thermal Oxide (5nm)	33	33	○
LP-TEOS (300nm)	29	26	○
中電流I/I (As:180keV, 2e12)	180	170	○
大電流I/I (B:10keV, 3e15)		120	○
高エネI/I (P:600keV, 1e13)		170	
洗浄	158	158	○
KrF	75	60	省略
PVD	37	37	省略
CVD-W (400nm)	90	90	省略

(SeleteのHP)

ウェーハ径450mm化に向けた課題

- ・現在の300mm装置の性能を450mmで実現すれば良いというわけではない
- ・新プロセスや新材料の導入にも対応する必要がある

大口径ウェーハの搬送

- ・ 300mm化での検討内容と液晶プロセスでの経験が役に立つと考えられる

但し

- ・ 液晶製造プロセスは精度が緩いので、プロセス装置に関しては新たに開発が必要。

現在 ~ 450nm化に向けた技術課題

- ・大口径化によるスループット低下、均一性悪化
- ・枚葉化進展によるスループット低下
洗浄：枚葉化による洗浄効率確保、微細化対応
高温ウエット処理の枚葉化に課題
- ・低温化によるスループット低下 (例.CVD → ALD)
- ・低エネルギー化によるスループット低下 (高電流注入)
- ・プロセス方向性が不透明
例.ドーパント活性化 (高温超短時間化 or 低温化)
- ・32nm世代のトランジスタ構造が不透明 (プレーナ or 3D)

ドーパントの(高)活性化

- 選択する技術によりウェーハへの影響は大きく異なる -

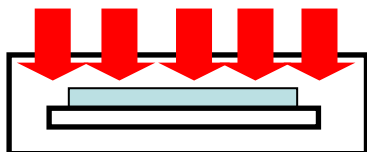
(1)高温短時間
ウェーハ一括加熱

(2)高温短時間
ウェーハ部分加熱

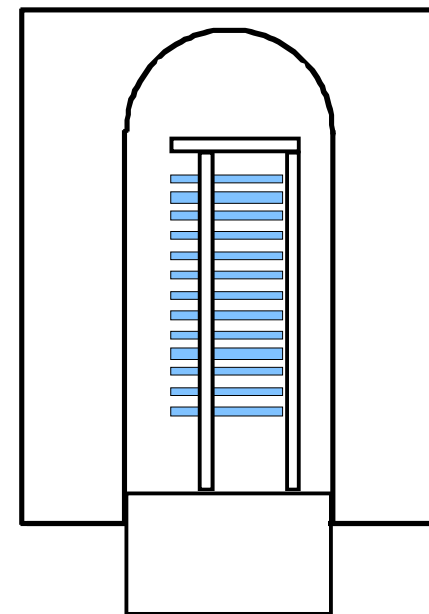
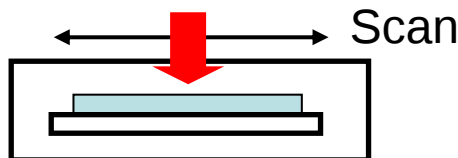
(3)低温(長)時間
ウェーハ一括加熱

(ウェーハ強度への要求大)

ランプ



レーザ



(必ずしもバッチの必要は無い)

450mmウェーハ対応の洗浄

バッチ式洗浄

メリット

・少品種大量生産向き

枚葉式洗浄に移行

・大口径化向き
・多品種少量生産向き
・クロスコンタミが少ない

450mmウェーハ導入5年前から洗浄装置開発が必要

枚葉式洗浄の課題と対策

サイクルタイム短縮

処理温度の低温化

新洗浄液・方式の開発

ランニングコスト低減

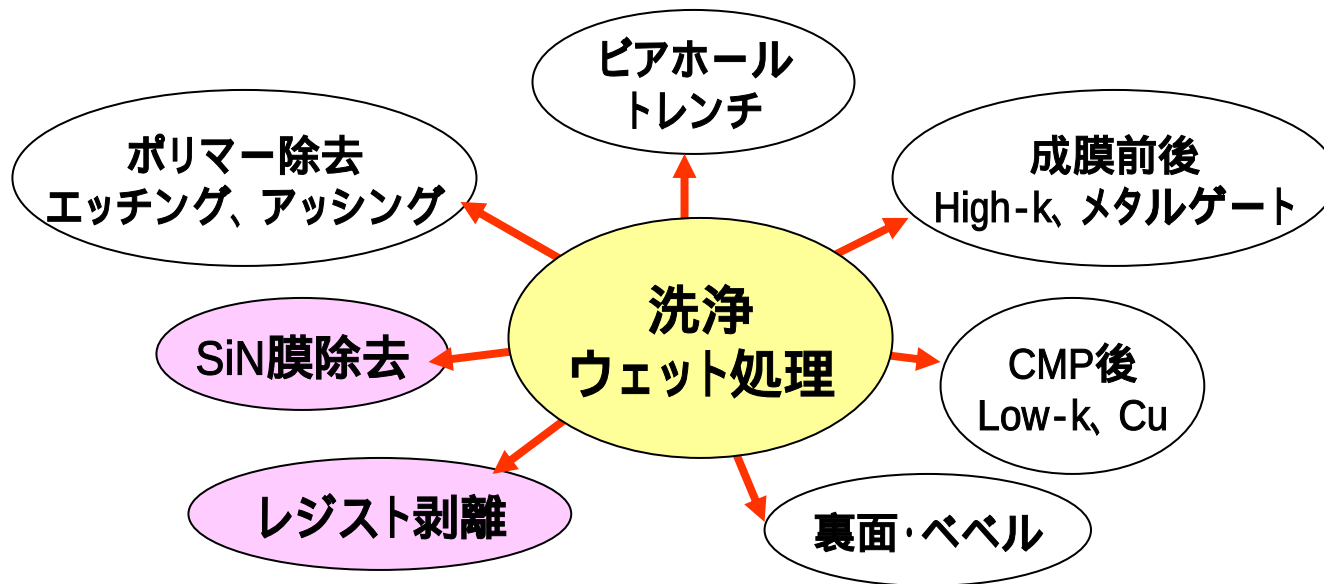
純水使用量の削減

電力使用量の削減

リンス方式の改善
新洗浄技術の開発

高温処理の代替技術
(室温での洗浄)

450mmウェーハ対応の洗浄(続)



高温長時間処理のSiN膜除去(燐酸)・レジスト剥離(硫酸+過酸化水素水)はバッチ式装置が継続して使用される

450mm対応SiN膜除去(燐酸)の課題と対策

- 大口径化に伴い一度の処理で燐酸中に溶け込むSi量が増加するため、
- ・析出によりパーティクルが発生しやすくなる
 - ・SiN膜とSiO₂膜の選択比のコントロールが困難となる

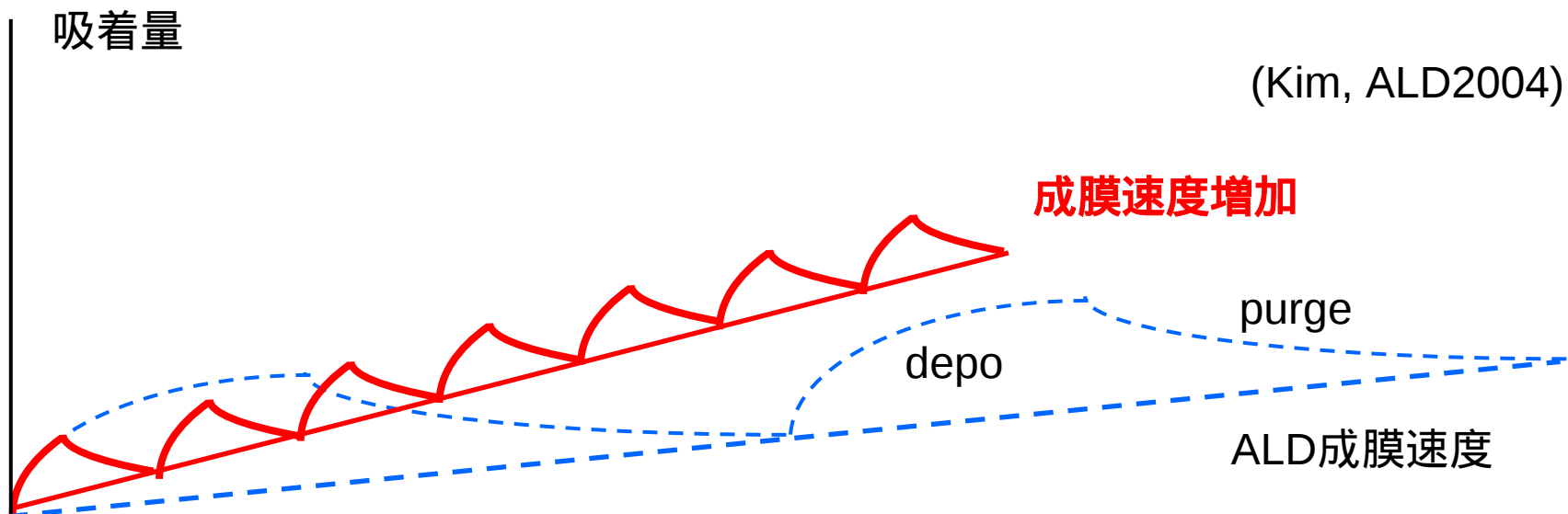
→ 燐酸の再生・補充の自動化

Atomic Layer Deposition

- ・プロセス低温化要求に対して採用が拡大する傾向
- ・大口径化 → Depo./Purge時間増加 (=スループット低下)

【スループット向上案】

- ・枚葉処理 → バッチ処理
- ・成膜プロセスの改善 (例. 下記)



その他、微細化の影響

- 多くのプロセスでスループット低下の可能性 -

【ドーピング】イオン注入低加速化

対策：クラスタイオン注入、プラズマドーブなどの見直し

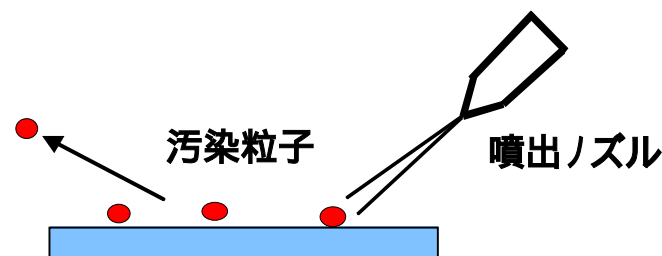
【新規プロセス】メタルゲート、SiGe(SD)選択成長

【High-kゲート、容量膜】ALDプロセスの拡大

対策：バッチ化、成膜プロセス改良(前述)

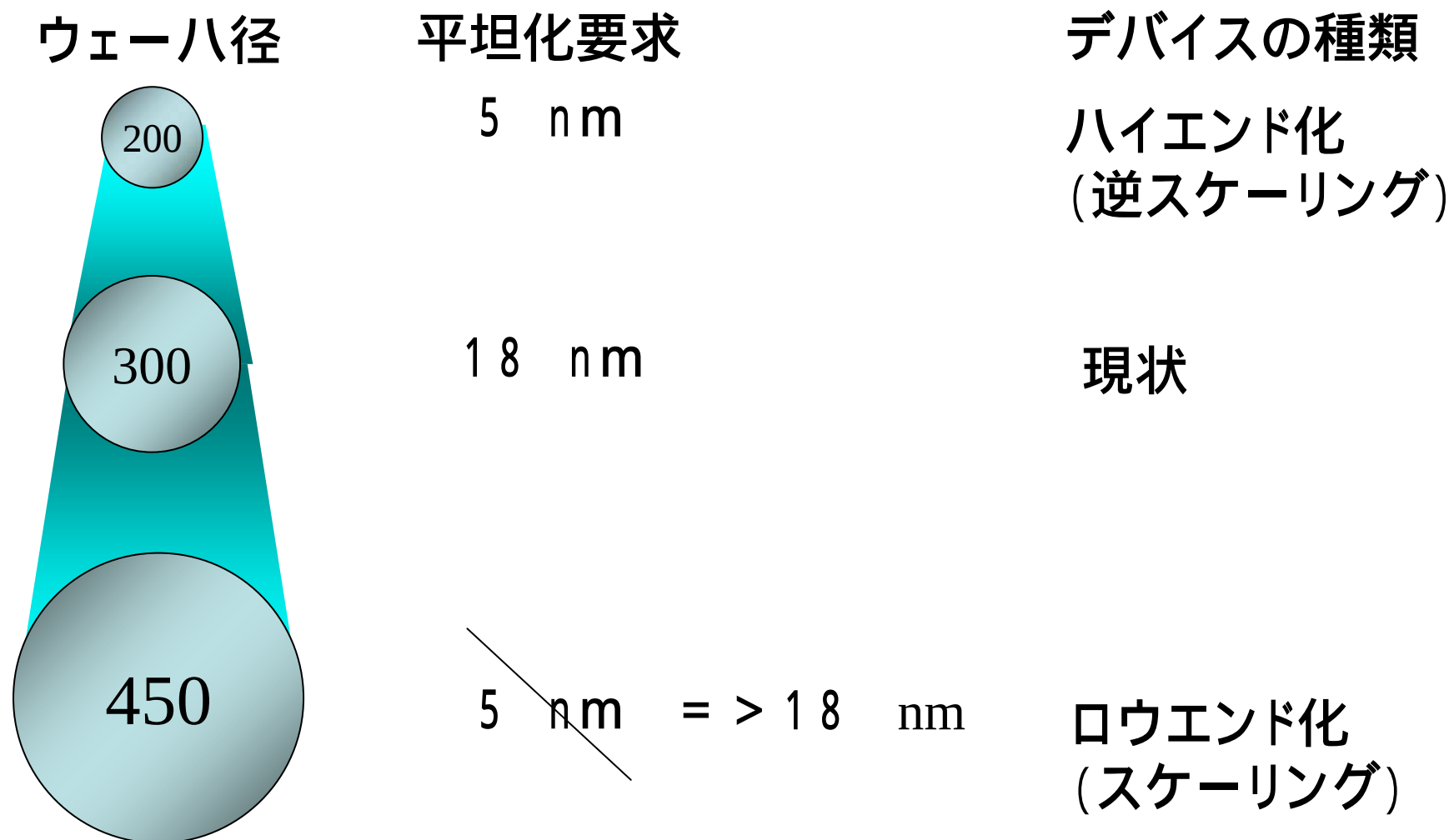
【洗浄】パターン破損対応で枚葉化の必要性増加

低温化対策：ドライ洗浄の見直し



厳しい微細化要求に対する対策

ウェーハ'の逆スケーリング proposed by 辻村さん (WG4)



まとめ

1. 200mm (1997頃) 比較で、300mm装置の要求レベルは達成されたと考えられる。
2. 450mm対応プロセス装置の課題は、大口径化起因の均一性やばらつきの改善に加えて、hp32nm以降の高精度化対応が重要。
3. 今後予想される低スループットの改善検討が必要。
例. イオン注入: クラスト注入やプラズマドーブ
ウェット: 物理洗浄などの新洗浄方式
ALD: バッチ化や成膜方法の検討
4. 450mm化
・装置のスループット改善 + 450mm装置による生産性改善
別案: **ウェーハ**の逆スケーリング; 450mm = ロウエンド特化