

# 450mm Position Paper 2005

450mmウェーハ白書2005年版

2006.3.9

次世代大口径ウェーハ検討小委員会

ウェーハ・SOI分科会

渡辺正晴

# The world's first Si single crystal weighing more than 400Kg in a 400mm diameter



スーパーシリコン研究所

1996-2000

133億円 / 5年間

39名(研究者24名)

400mm Si single crystal, which has a straight length of 110cm and a total weight of 411kg, is shown in contrast with normal 200mm crystal.

# 概要

- シリコンウェーハビジネスの推移
  - 生産のトレンドと450mmウェーハ見通し
- 結晶技術
  - 450mm結晶の概略と問題点
- ウェーハ加工技術
- SOIウェーハ
- 標準化
  - メカニカルウェーハ仕様
- 今後の課題
- まとめ

# ウェーハ・SOI分科会、450mm白書

## 共通認識の出発点

- 分科会メンバー
  - STRJ WG 3(渡辺、河野)
  - JEITA次世代ウェーハ技術専門委員会(福田委員長、渡辺)
  - JEITA SOIウェーハ関連技術専門委員会(小椋委員長、渡辺)
  - 新金属協会(桐野、河野、今井)
- 450mmウェーハ白書2005年日本版
  - メンバーのフリーディスカッションにより纏めた
    - メカニカルウェーハ関連: Electrochemical Societyで発表予定
- ITRS版白書(HPから入手できる)

## Advantages and Challenges Associated with the Introduction of 450mm Wafers

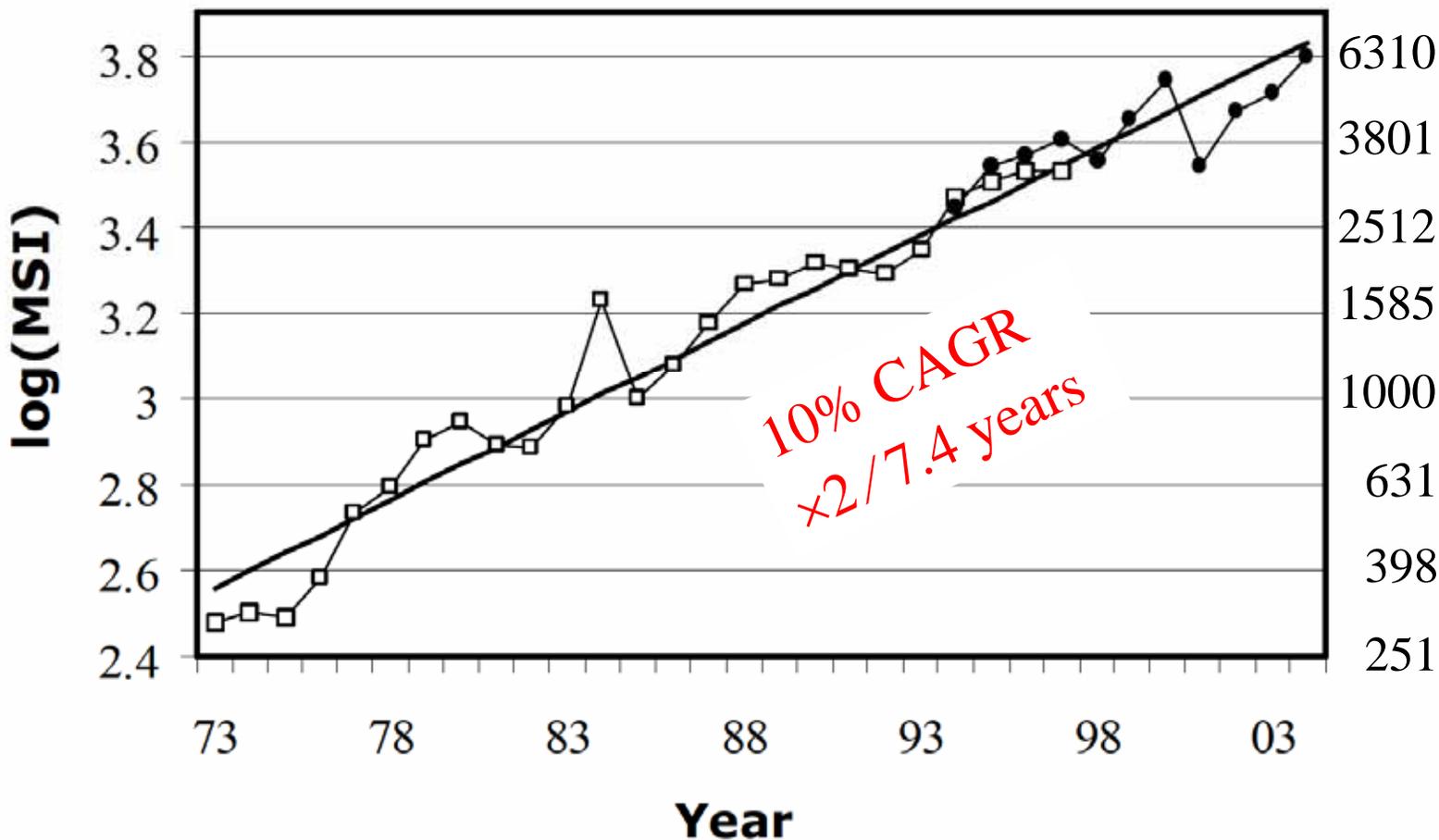
(A position paper report submitted by the ITRS Starting Materials Sub-TWG)

# 450mmウェーハ白書2005年版

- Introduction
- Historical Perspective
- Economic Considerations
- The nature of the 450mm starting wafer
- The technical challenges of 450mm wafer development
  - Crystal growth
  - Wafering
  - Poly utilization efficiency
- The economic challenges of 450mm wafer development
- 450mmウェーハの技術的課題
  - 結晶引き上げ工程
    - 寸法形状と重量の要因
    - 結晶化課程の要因
  - 加工工程
    - 研磨加工
    - 湿式ケミカル処理
  - その他の問題
    - ノッチレス化の可能性に関する問題点
    - 評価計測の問題

# シリコンウェーハ生産の推移

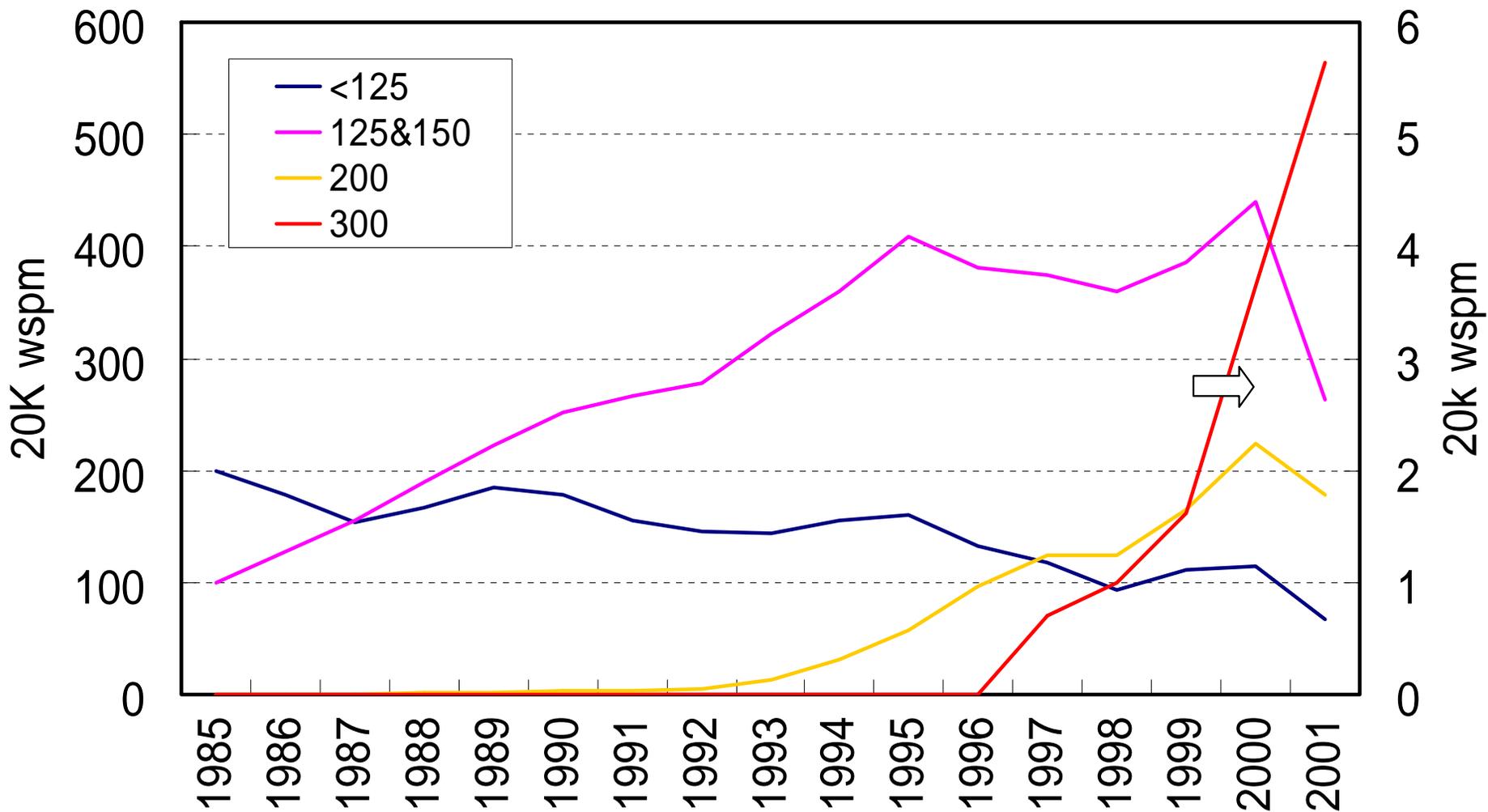
□ Data from Sematech (VLSI) ● Data from SEMI — Exponential Least Squares Fit



Wafer Shipments, Millions of Square Inches (Worldwide; All Types of Silicon Wafers).

# 実績枚数からの換算ライン数

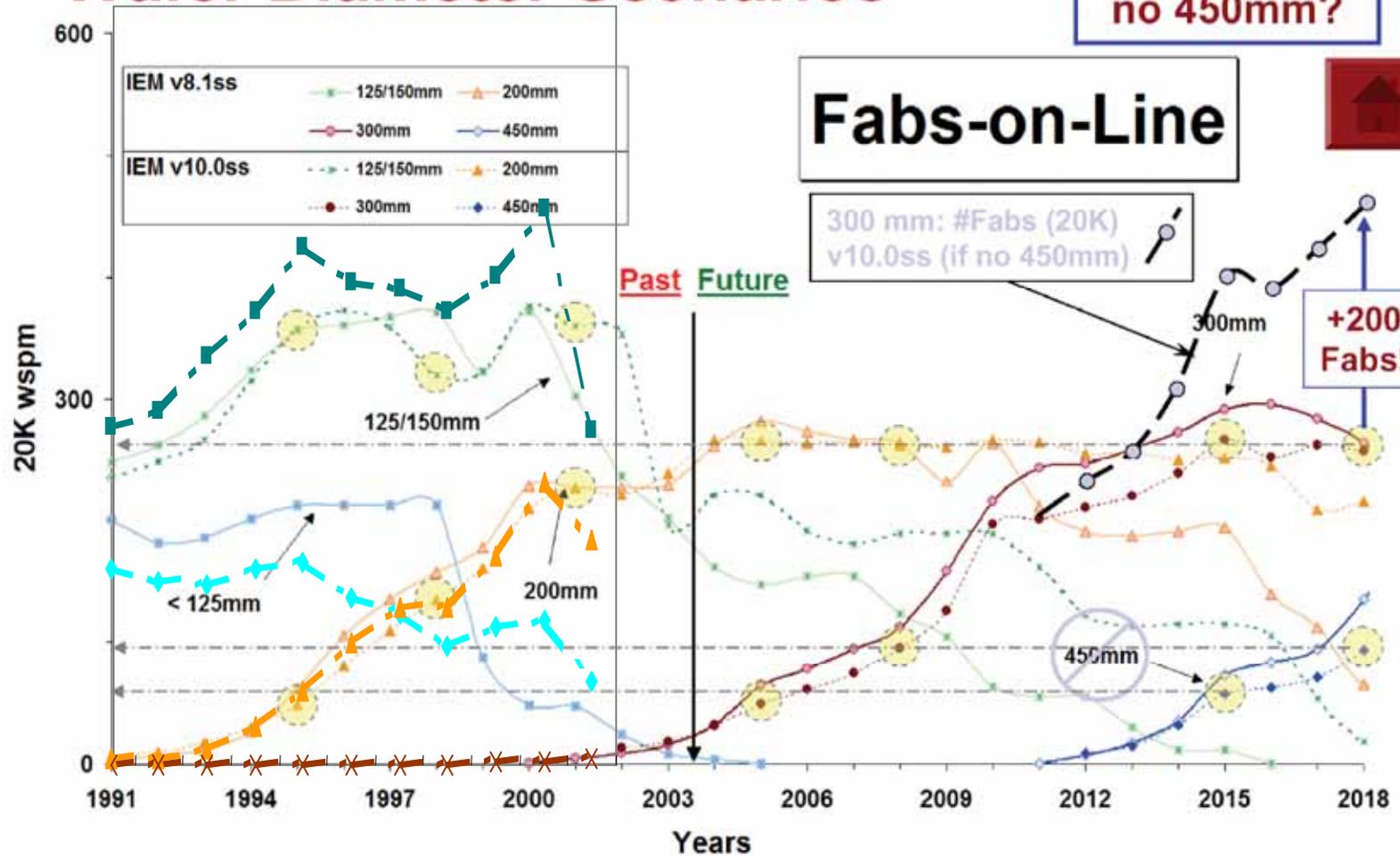
新金協2005.11.4



# Wafer Diameter Scenarios

What if...  
no 450mm?

Fabs-on-Line



Extended use of installed base



International Technology Roadmap for Semiconductors

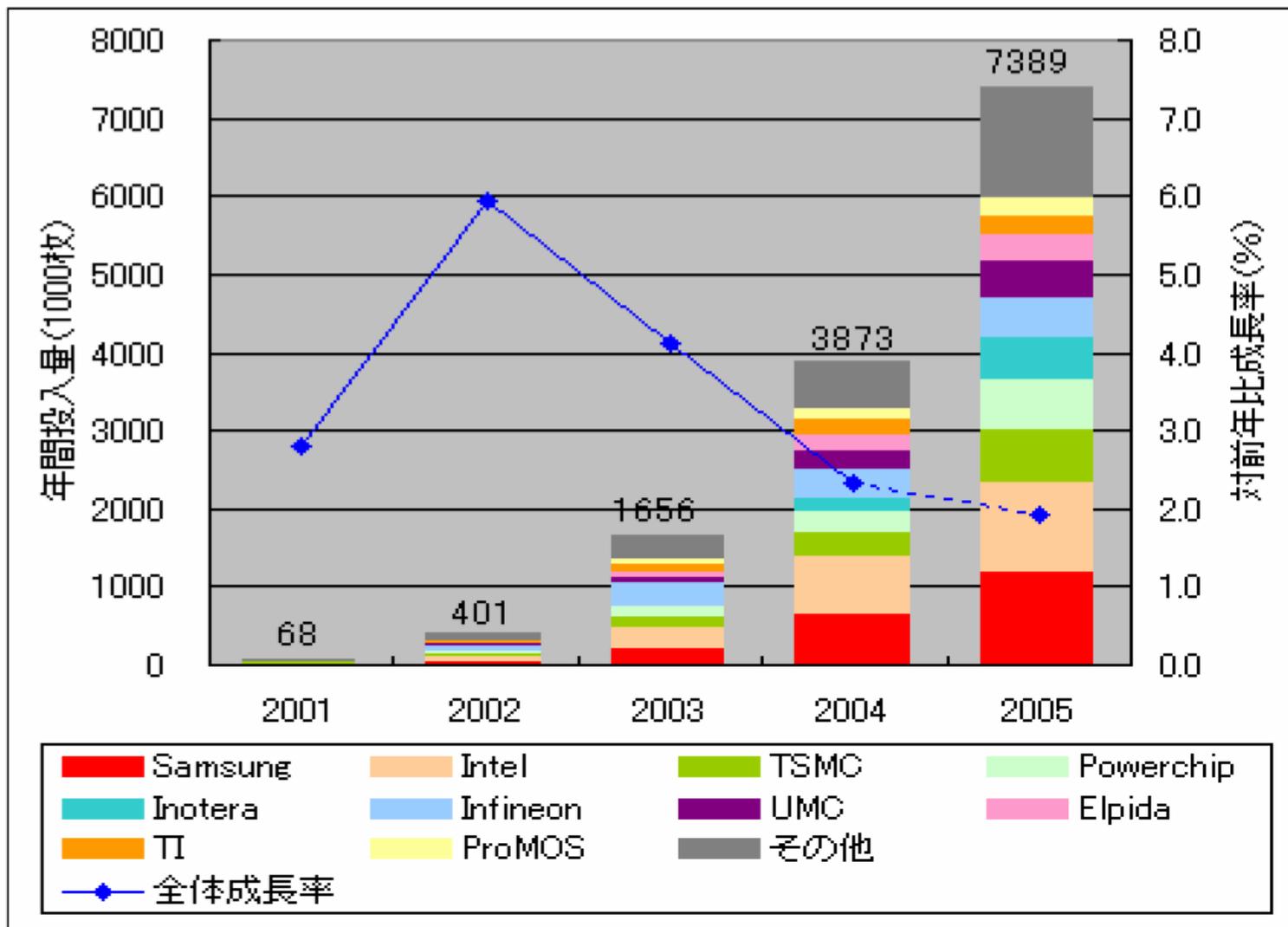


図1 ●メーカー別300mmウエハー対応ラインへの投入量の推移  
(2005年は予測)

Tech-On! 2005/5/31【キクタマのメモリ市場分析】

# 経済的側面

- もし、ウェーハ生産量のトレンドが続くなら、  
6262(トレンド=6737)MSI/年@2004 12500MSI/年@2013  
生産量(ウェーハ面積)の倍増にどう対処するか？
- “When the wafer **area** increases by **>2 times**, but the cost of the new **tool set** for the same number of wafer starts increases by only **30-40%** (which is typical), the **cost per area** decreases by **30-50%** - an annualized improvement of ~4% when wafer size changes occur about every 10 years.” ..... **300mm大口径化のシナリオ**
- 450mm大口径化の場合には、事情が違って、このモデルが成り立つという合意はない。
- 450mm大口径化は、誰も(全てのサプライチェーン)が経済的な利益を得られる状況でのみ起こり得る。

# 大口径ウェーハへの移行

- 現在のような貧弱な体力では、ウェーハ業界が、過去にあったのと同じようには、大口径ウェーハへの移行をサポートできない。
  - (1) 開発に対する他業界からの援助あるいは投資がほとんどない
  - (2) ウェーハの面積単価は上がらないという仮定
    - エピ、歪みシリコン、SOIなどは全体的なウェーハコスト構造の引き上げに影響する

## 300mm大口径化時のウェーハメーカー

300mm共同開発をJVで行い後に合併した会社があった  
経営危機に陥った会社もあった

# ウェーハコストと価格

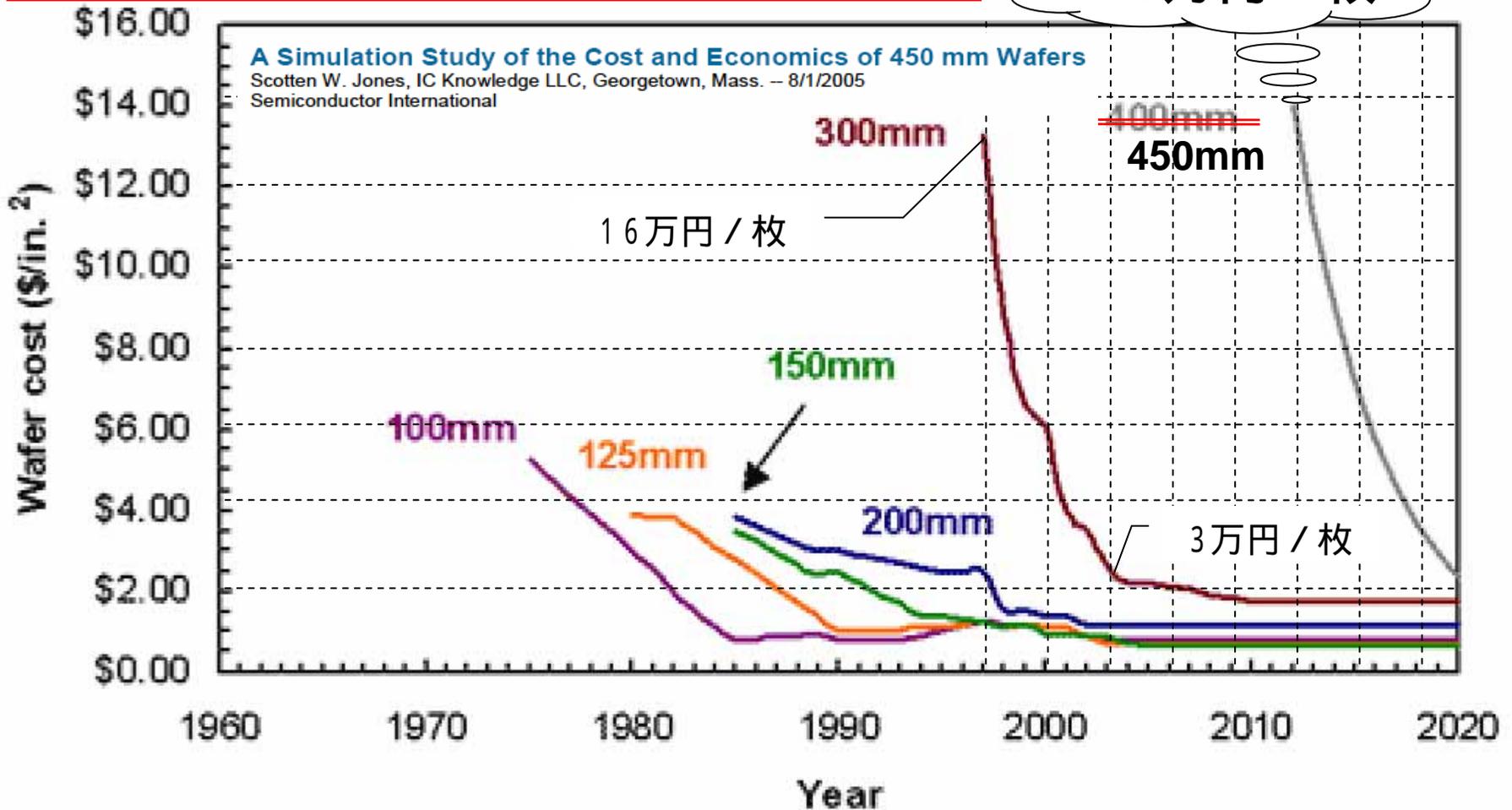
コストや歩留まりなどの機密に触れる議論は出来ないが  
単純なモデルによる一般的な議論の提示

- 大口径化に伴うウェーハコストアップ
  - 単結晶成長速度の低下
  - 多結晶シリコン利用効率(単結晶化率)の低下
    - ヘッドロス、テールロス、るつぼ残、外径研削ロスの増加
  - 引き上げ機価格の増加、部材(るつぼ・ヒーターなど)価格の増加
  - ウェーハ厚の増加
    - ウェーハ面積単価はウェーハ厚(ウェーハ体積)に依存する
- ウェーハコストと価格
  - コスト(製造原価)と市場価格は連動していない
    - 大口径化でもウェーハ面積単価は一定あるいは低下
    - ウェーハメーカーの体質を脆弱化

# COST PER SQUARE INCH vs. WAFER SIZE

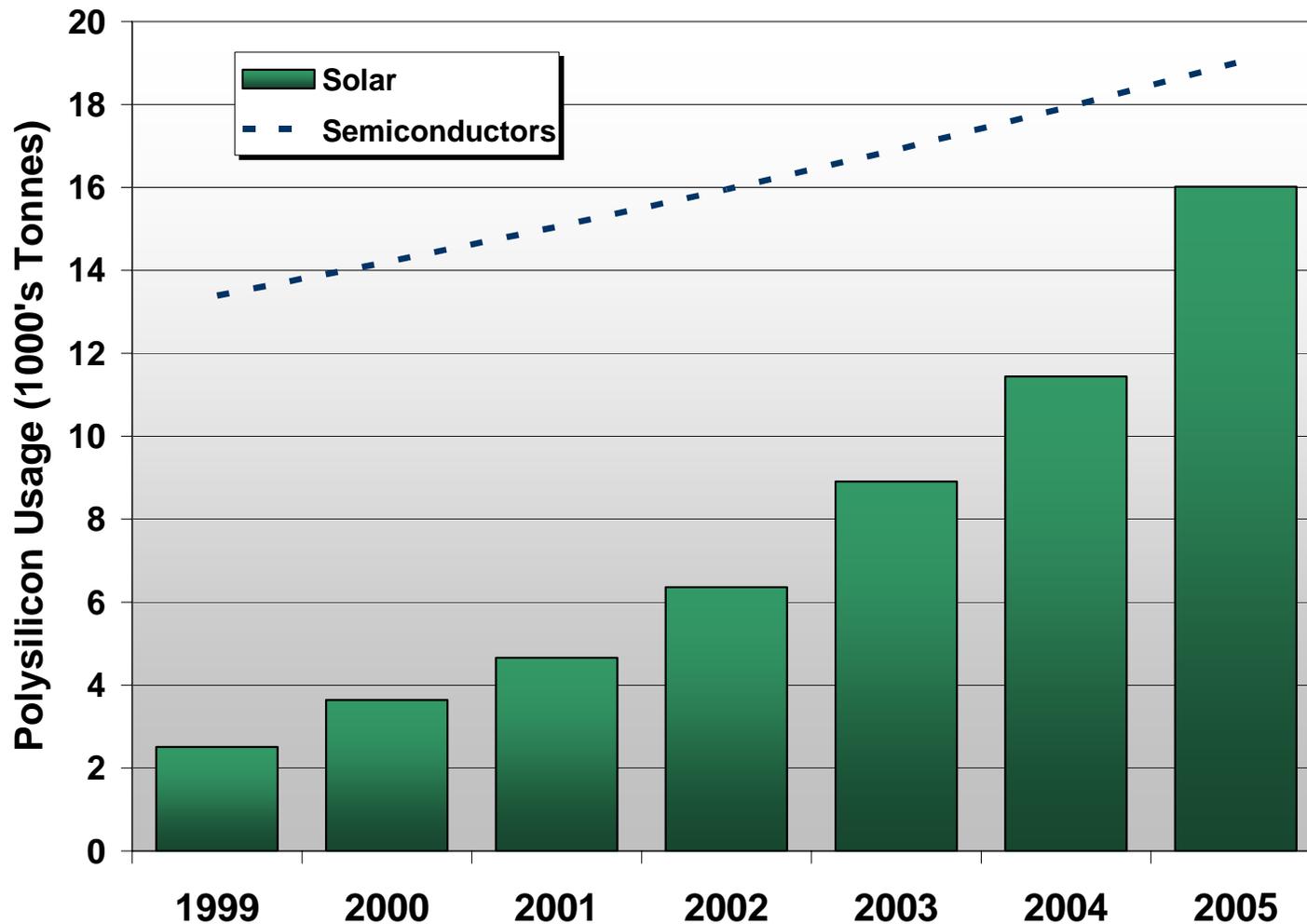
このシミュレーションはもっともらしいか？

40万円 / 枚



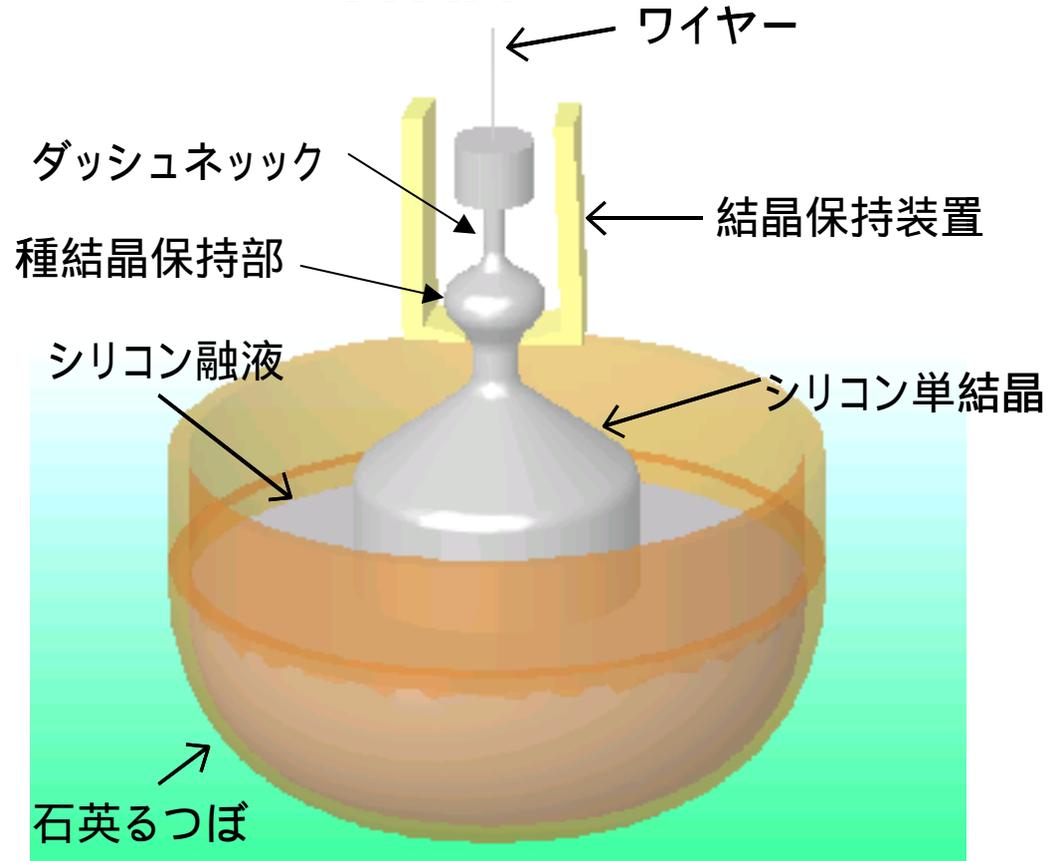
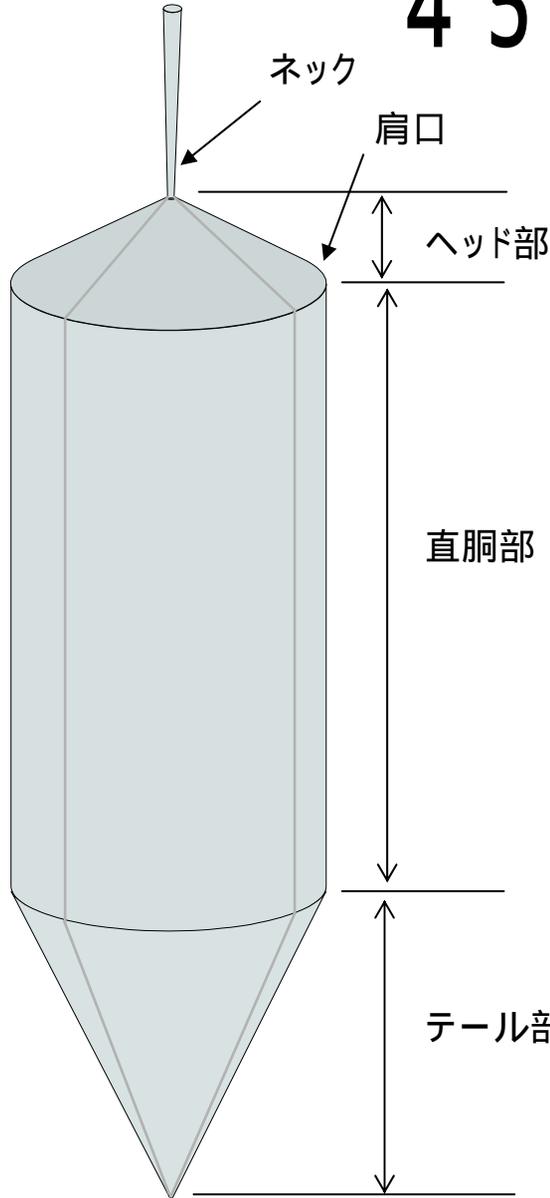
5. 300 mm wafer costs are higher than previous wafer size costs, and 450 mm wafers are expected to have a similar and more severe problem.

# 太陽電池向け多結晶シリコン生産量



# 450mm結晶

300mm: 120-140cm  
 450mm: 250-300cm 900kg  
**当初** 120cm 475kg



300mm: 28 - 32インチ、 300kgチャージ  
 450mm: 44 - 54インチ、 1000kgチャージ  
**当初**: 40 - 44インチ、 600kgチャージ

# 推定される450mm結晶

- ヘッドロス、テールロス、るつぼ残

- 300mm 17%ロス

- ヘッド、テールロス: 20kg
- るつぼ残: 30kg

- 450mm 25%ロス

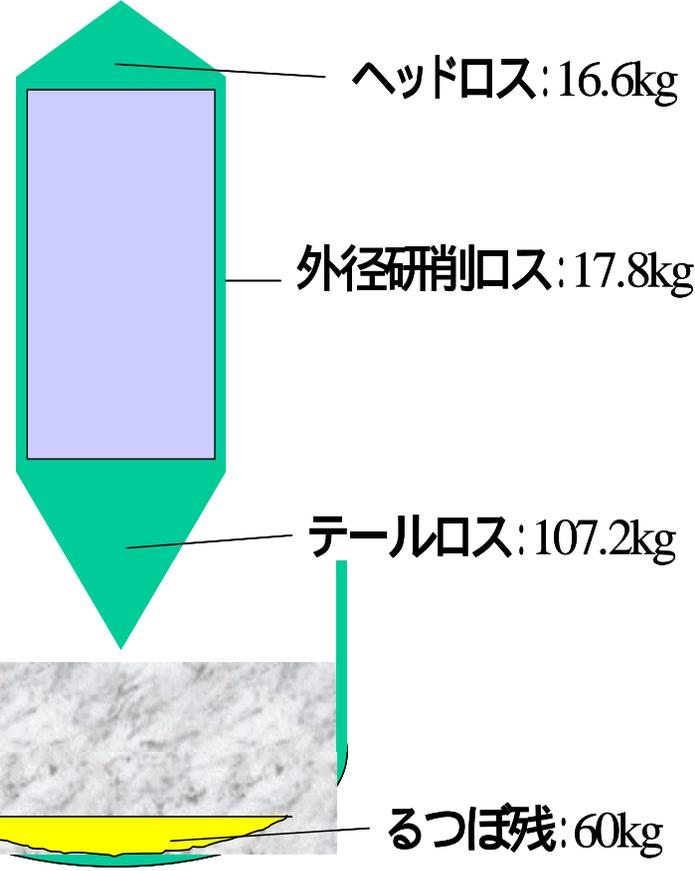
- ヘッド、テールロス: 125kg
- るつぼ残: 60kg

開発当初 30%以上ロス

- 600kgチャージ
- ヘッド、テールロス: 140kg
- るつぼ残: 60kg

ウェーハメーカーは詳細を公表できないので単純なモデルによる推定値を示す

全長: 215cm  
外径: 45.5cm  
重量: 798.4kg



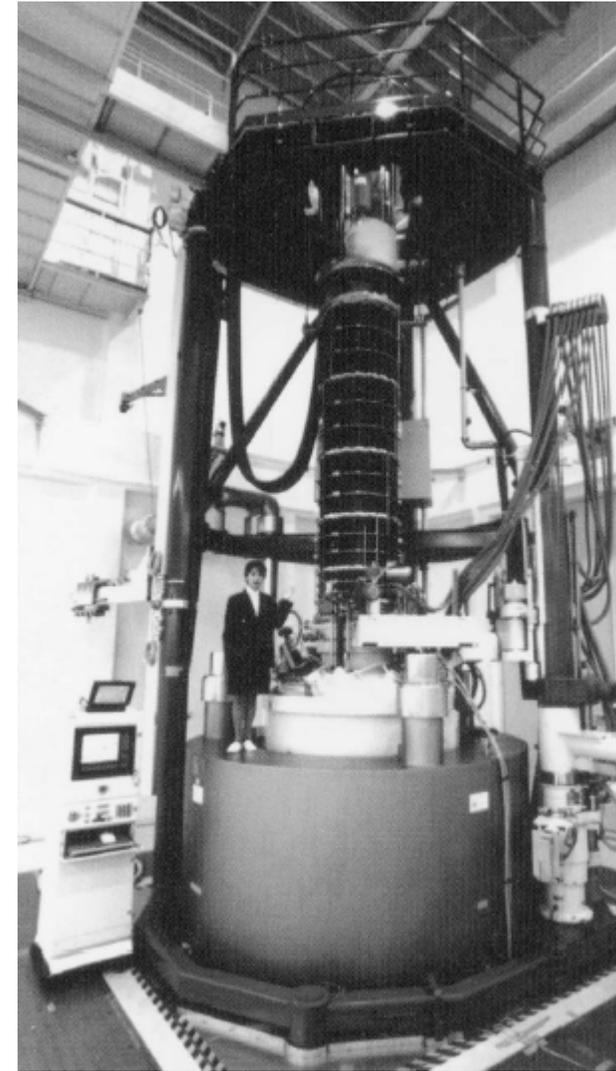
# 直径別結晶モデル

	<i>Wafer Diameter</i>				
	<i>100mm</i>	<i>150mm</i>	<i>200mm</i>	<i>300mm</i>	<i>450mm</i>
As-Grown Diameter (mm)	103	153	205	305	455
As-Grown Cross Section (cm <sup>2</sup> )	83.3	183.9	330.1	730.6	1626.0
Final Cross Section	78.5	176.7	314.2	706.9	1590.4
Crown Weight (Kg)	0.2	0.6	1.5	5.0	16.6
End Weight (Kg)	1.2	4.1	9.8	32.3	107.2
Pot Scrap (Kg)	2.4	6	9	19.2	60
Charge Weight (Kg)	40	100	150	320	1000
Typical Length (cm)	186	208	169	155	215
Grinding Losses (Kg)	2.1	3.5	6.2	8.6	17.8
Total Crystal Losses (Kg)	5.9	14.2	26.6	65.1	201.6
Crystal Yield (Kg/Kg)	85%	86%	82%	80%	80%

A simple generic model for CZ crystal yield

# 450mm結晶育成問題点

- るつぼにチャージするときの問題点
  - 石英るつぼに対する機械的な負荷
- 引き上げ速度
  - 結晶成長速度 直径<sup>-1</sup>
    - » 300mm結晶の67%以下に低下、  
< 0.5mm/min
  - 結晶成長に伴う潜熱 直径<sup>2</sup>、潜熱の放熱 直径
- 結晶育成時間
  - 6日/本
    - 直胴部育成(50時間)、ヘッド&テール(20時間)
    - 多結晶融解(1日)、冷却、取りだし(1日)
  - るつぼが高温(> 1410 )シリコン融液で変形変質する問題
- 結晶品質：
  - 現時点では全く推定できていない

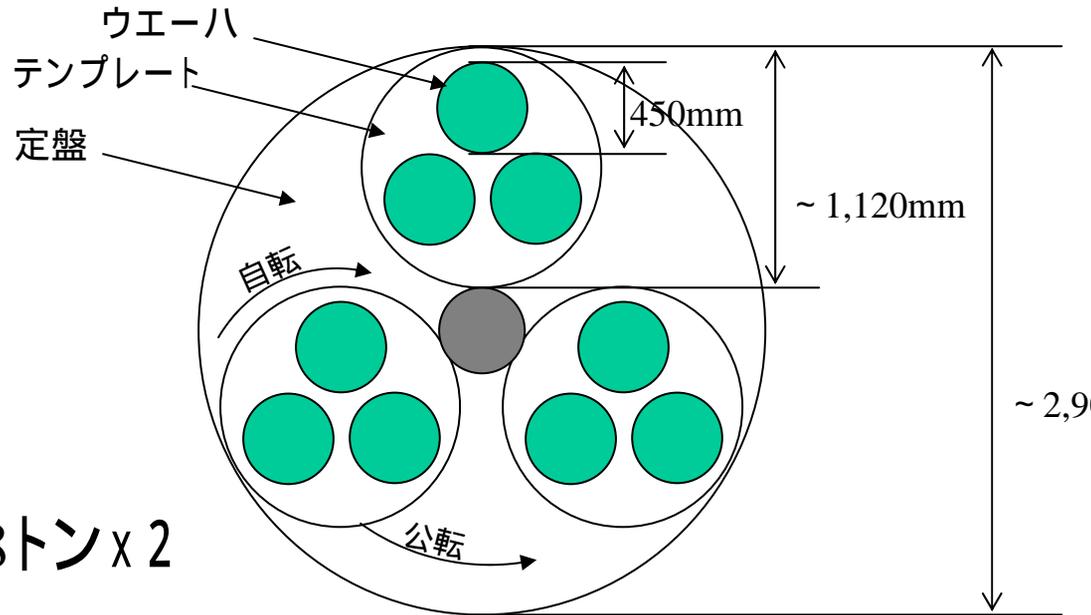


応用物理 73, No.5, 表紙, 2005

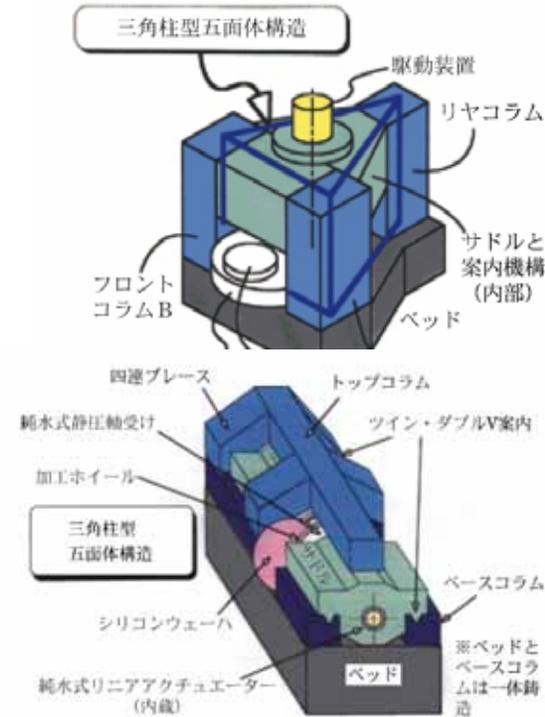
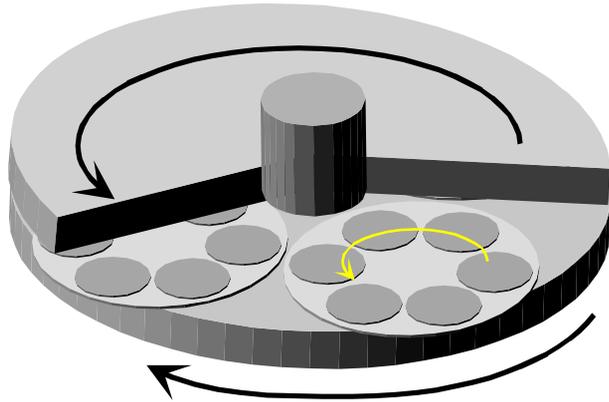
# 450mmウェーハ加工

- 加工工程
  - 300mmと変わらない
    - スライス、ラップ・グライダー研削、ケミカルエッチ、鏡面ポリッシュ、洗浄
  - 面内均一性とスループットが課題
  - 加工装置
    - 加工装置メーカーの開発と装置供給が未知
  - 検査・計測
    - 検査コスト(検査装置コスト)が加工コストに大きく影響する

# 加工装置大型化の例



定盤: 4.8トン x 2



研磨工程での平坦度を確保するにはウエーハ八面内の加工圧力(定盤に押しつける圧力)分布を均一にすることが重要である。そのため、研磨に際しては定盤上およびテンプレート内でのウエーハの配置が出来るだけ軸対象に均一になるように配置することが望ましい。そのような条件では図のような3×3の配置が最小寸法となる組み合わせになる。

SSiの加工装置  
応用物理、73,  
567 (2004)

# 研磨加工と湿式ケミカル処理

- 研磨装置

- 定盤直径 = 2.9 m、重量 = 4.8トン x 2

- 厚さ = 10 cm の定盤の温度制御が問題
    - 枚葉研削だとスループットが低下する

- バッチ式ケミカル処理

- 洗浄槽 = 65x65x45cm<sup>3</sup>, 190リッター、200kg

- 枚葉洗浄・エッチ

- ウェーハ端面形状制御が問題
    - 汚れたウェーハの洗浄がうまくできるか

# その他の問題

- ノッチレスウェーハ

- ウェーハ一枚毎に方位測定しレーザーマークを付与するので加工コストが増大する
- プリアライメントをレーザーマークのみで行えるか
- ノッチレスのメリットは何か？

- 評価・計測

- 評価・測定装置が何時から使えるか

- 開発段階から必要な測定が出来るか

- ウェーハをチャッキングして測定する場合の精度
- ウェーハをエッジグリップで測定する場合の精度

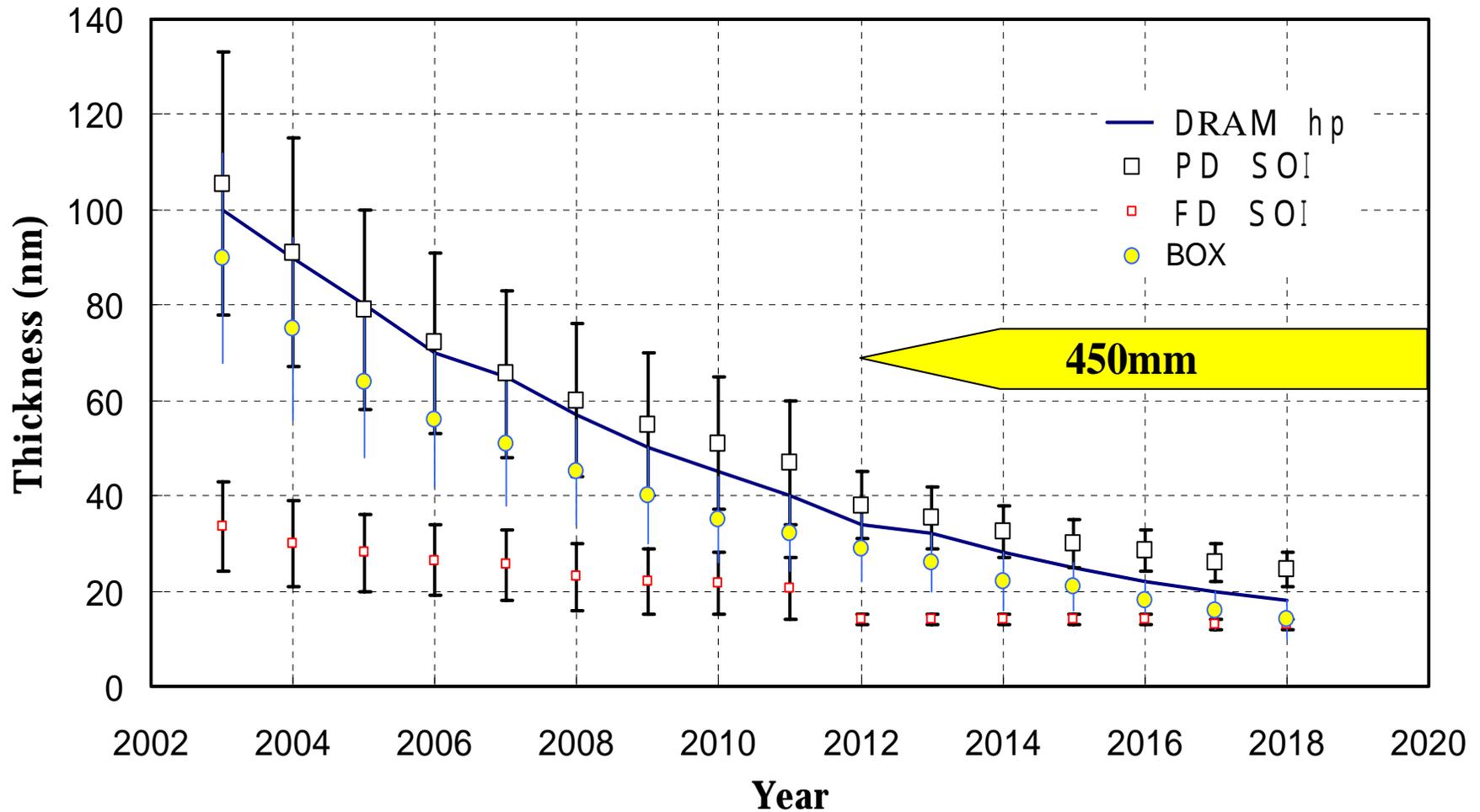
- 測定スループットの低下

# 歪みシリコン (SSOI) とSOI

- 450mm時代のSSOI・SOI
  - 450mmSSOI・SOIウェーハの構造は、同時代の300mmSSOI・SOIウェーハ構造と変わらない
    - 現在SOIを使うデバイスは今後ともSOIを使い続けるだろう
    - 先端的なデバイスが歪みシリコン・SOIを必要とするなら、450mmでも歪みシリコン・SOIを使うであろう
  - 450mmでも300mmでも同じプロセスで生産する
    - 現在のプロセスの延長線上
      - SOI厚、BOX厚などのスケージングは450mmにも適用
- 450mm開発は鏡面ウェーハ開発より遅れる
  - 開発ウェーハとインプランターなどのツールが必要
    - 450mm化に伴う本質的な困難さはないだろう
  - BOX熱伝導が低いので熱応力問題が顕在化しやすい

# SOI 厚さ ITRS 2005

## SOI Thickness



# 450mm: 導入する際の課題をそろそろ検討すべき時期

## Roadmap Decisions Needed

昨年のF E P

300' & 450mm Attributes		Key Technology Decisions
Wafer (450mm Only)		Material, Size, <u>Thickness</u> , ID, Registration, Edge Exclusion
Wafer Carrier		<u>Number of Wafers</u> , Size, Door Type, AMHS Strategy, ID
Production Equipment		
Factory		
Automated Material Handling Systems		
Manufacturing Systems		

ITRS 2005  
Factory  
Integration



J. Pettinato et al.  
(ISSM2004)

Figure 1. Proposed 450mm Wafer Transition Timeline.

# 標準化

1. メカニカルウェーハ: 装置開発に必要なウェーハ
2. テストウェーハ: プロセス開発に必要なウェーハ
3. デバイスウェーハ: デバイス生産に使われるウェーハ

## メカニカルウェーハ仕様の議論を始めた

- ウェーハ直径と公差
  - 450mm ± 0.2mm 公差はこれでよいか?
- ウェーハ厚と公差
  - 775 μm(300mm) + ウェーハ厚を決める要因?
- ウェーハ面方位 現行規格
- エッジ形状
  - 現在各社各様な形状を統一したい  
エッジ形状に敏感なプロセスは?
  - » ウェーハハンドリングロボット
  - » CMP
- そり そり規格を決める要因?
- ノッチ 現行規格
- 鏡面仕上げ 現行規格
  - 両面ミラーウェーハ
  - ミラーエッジ

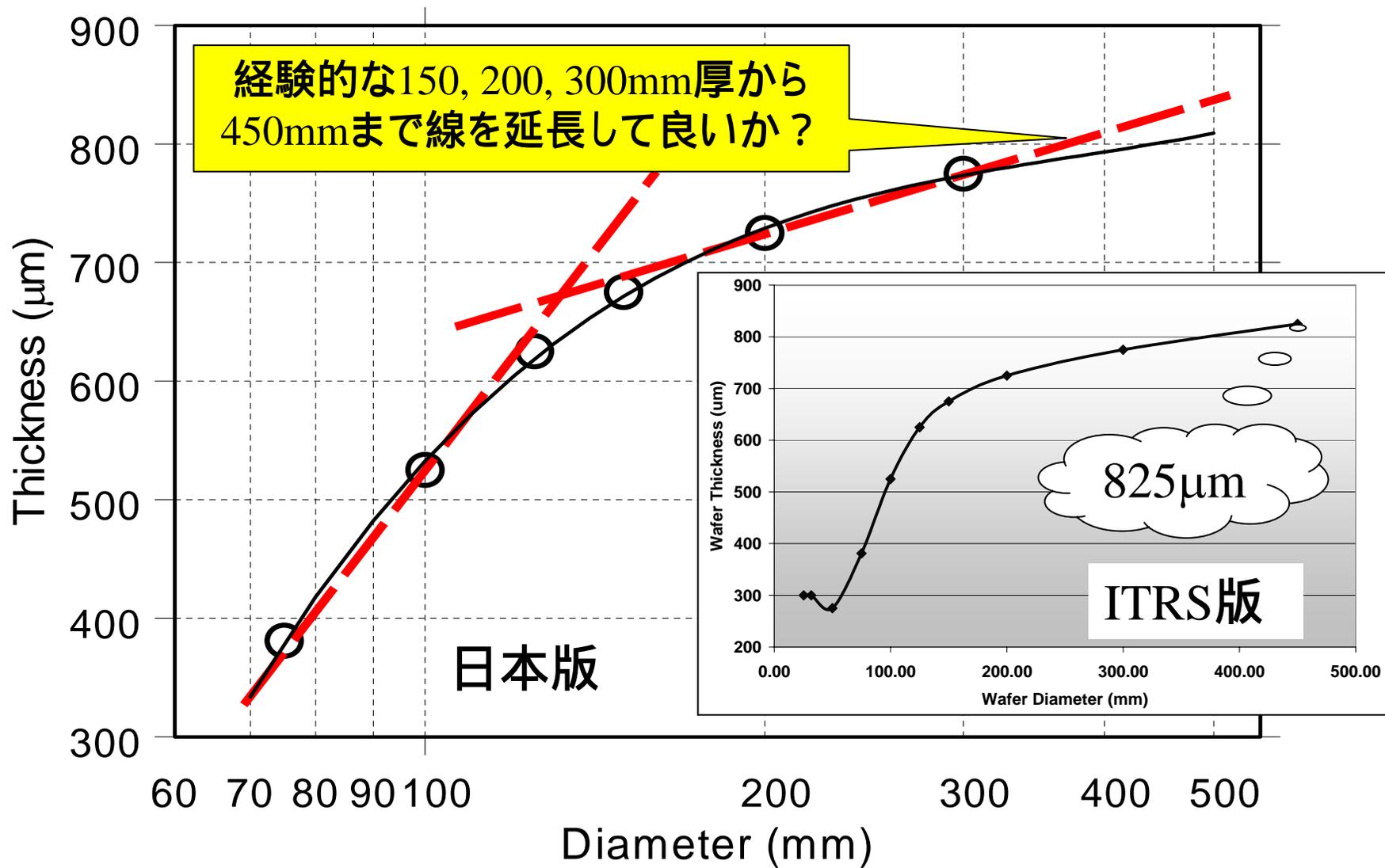
デバイスプロセス  
装置メーカーから  
のコメント・提案が  
欲しい

これ以外の項目はテスト・  
デバイスウェーハ規格

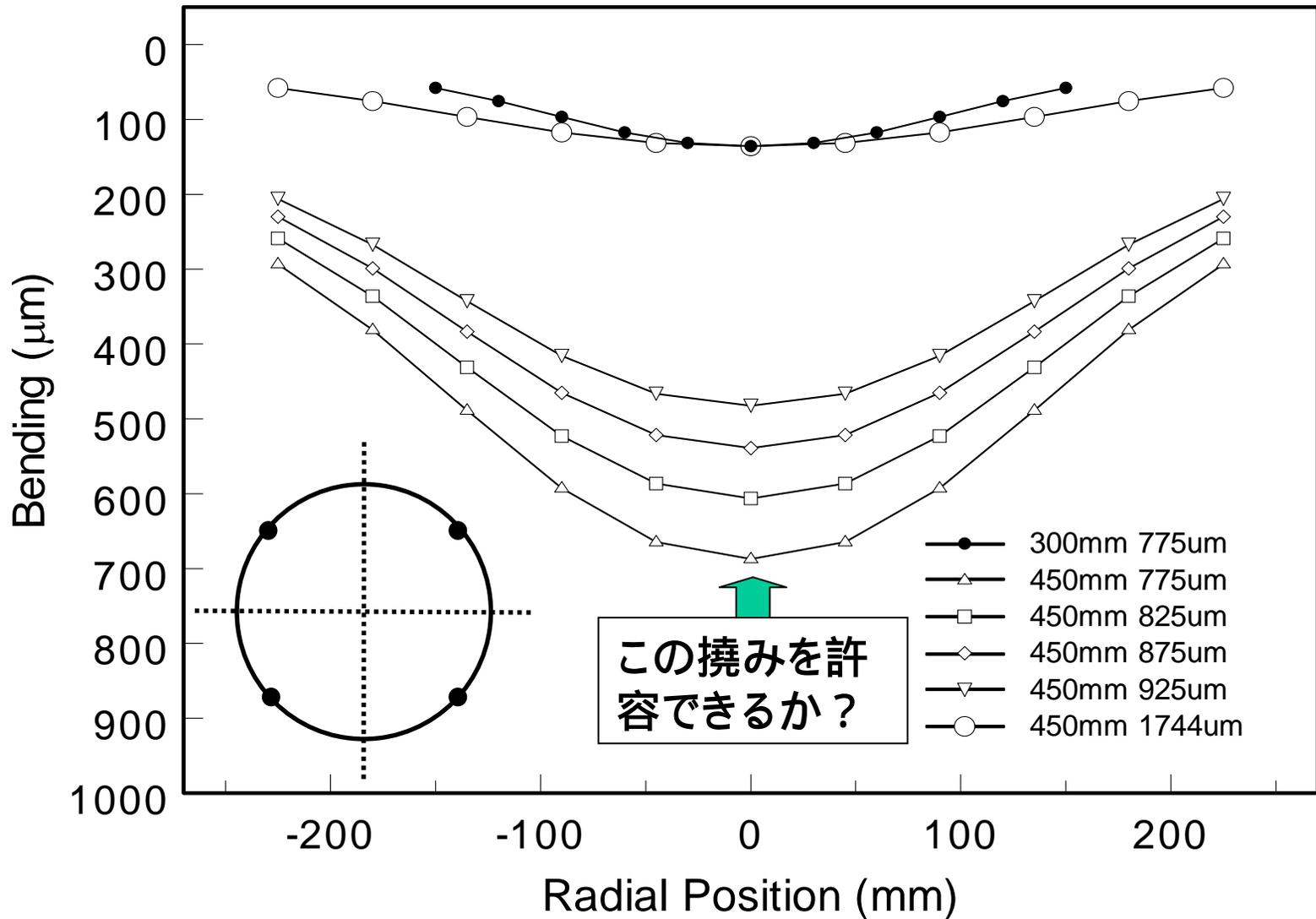
# ウェーハ厚さのスケーリング

- 経験的な厚さのスケーリング
  - 一見最もらしいけれど根拠がない
- 技術的根拠のあるスケーリング
  - 熱応力によるスリップの発生
    - フラッシュランプアニール時の剪断応力シミュレーション
    - フラッシュランプアニールによる欠陥発生実験
  - 熱応力あるいはハンドリングによるウェーハ割れ
    - フラッシュアニール時の引っ張り応力シミュレーション
    - ウェーハ支持応力
      - 薄いウェーハほど割れやすいか？
    - ウェーハ割れ強度データ不足 300mmと同じ応力ならOK？
  - ウェーハ自重による撓み
    - ウェーハ支持時の撓み
      - 撓みはどこまで許容できるか？
- ウェーハコストのウェーハ厚依存性
  - 検討できない

# 経験的な厚さのスケーリング

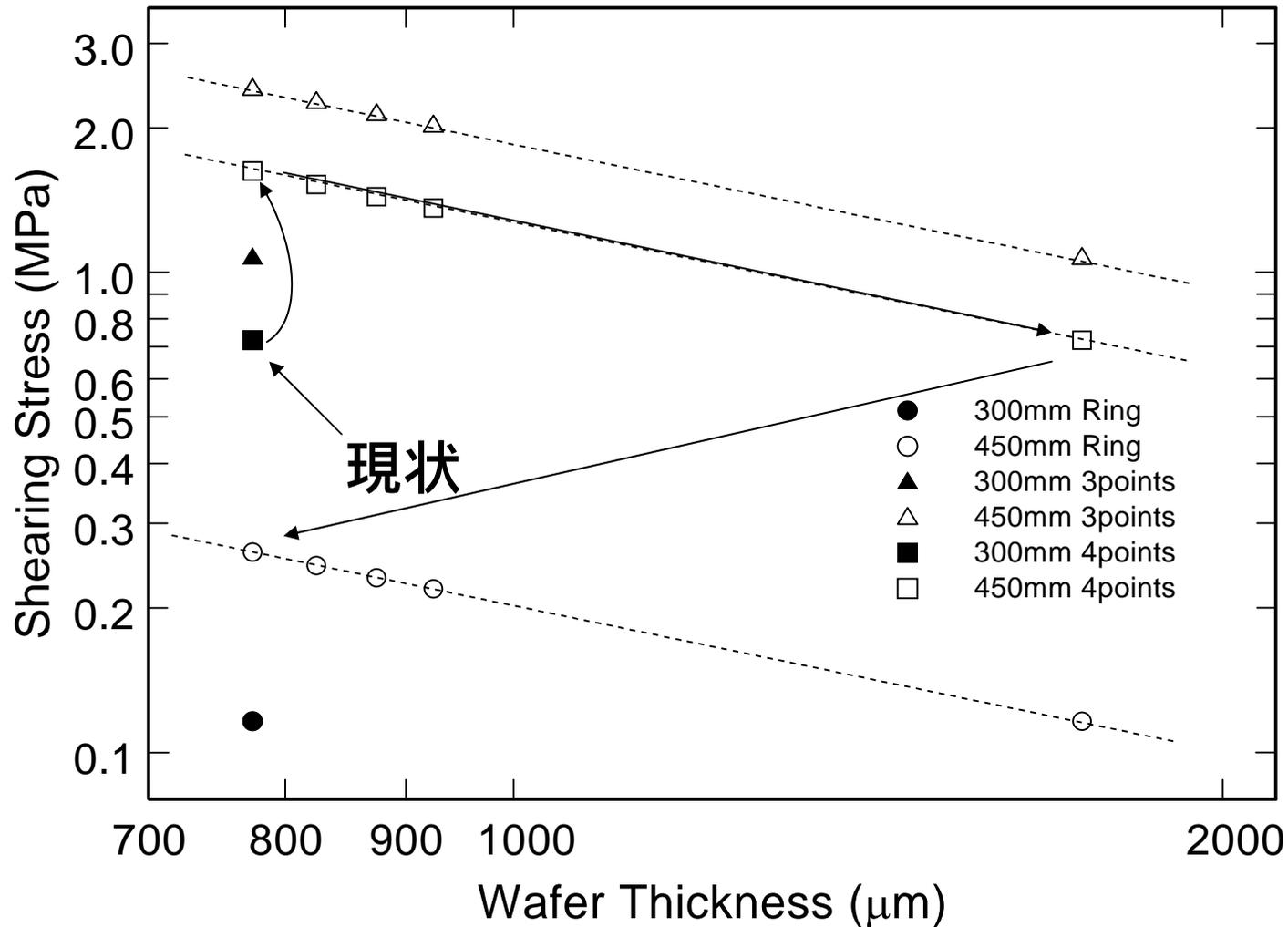


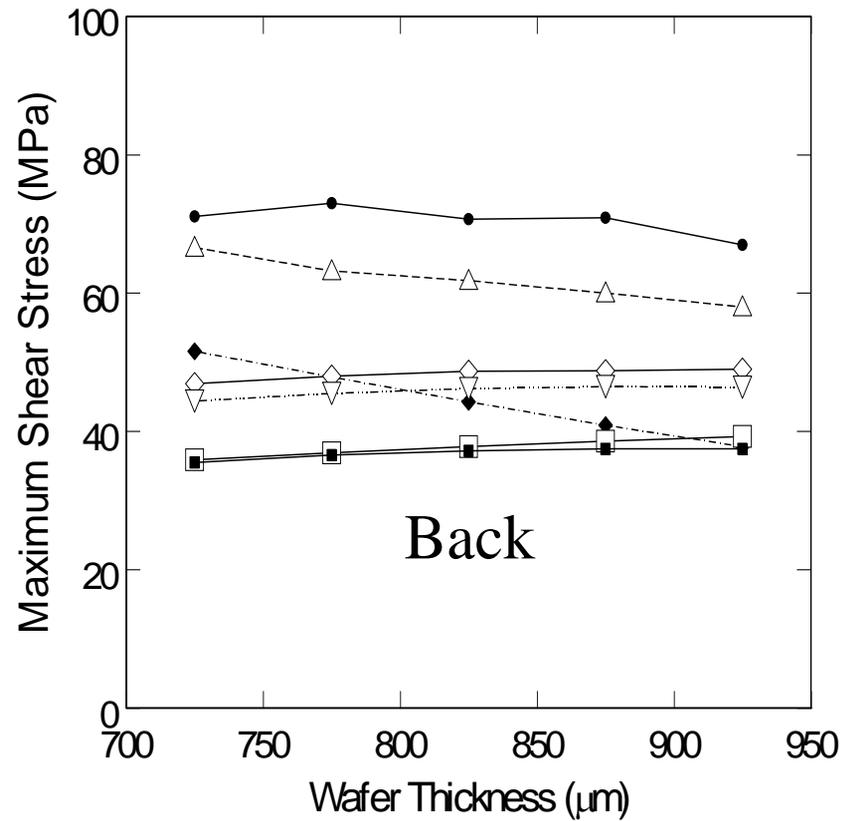
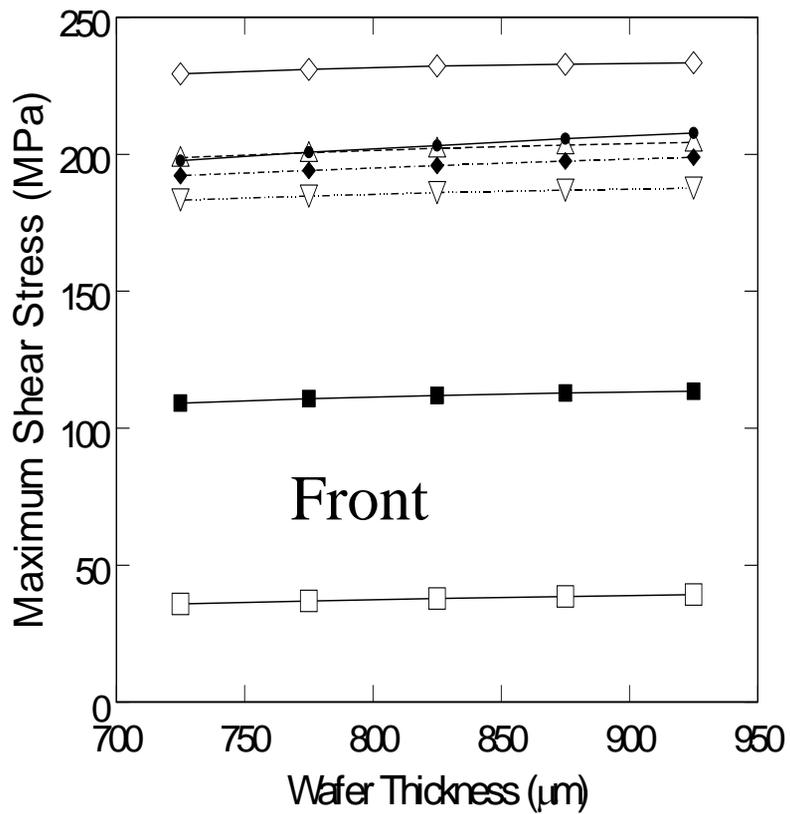
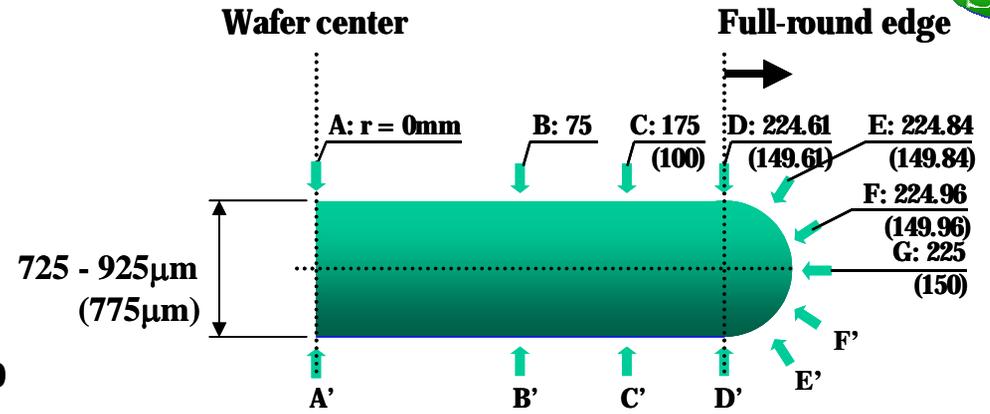
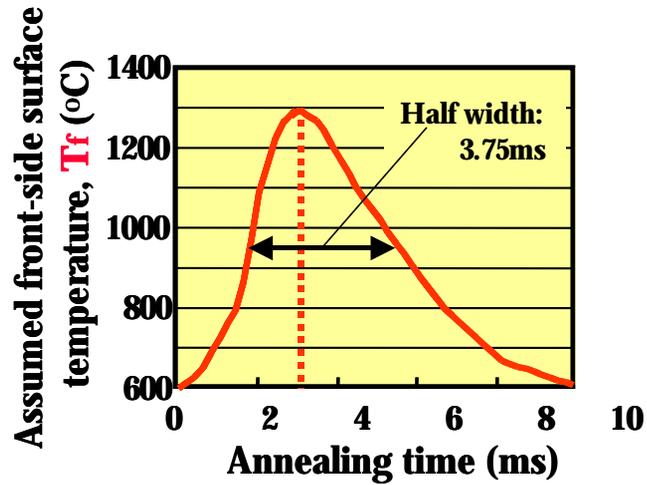
# ウェーハ外周4点支持時の撓み



# ウェーハのリング/4点支持応力

支持位置は半径の70%

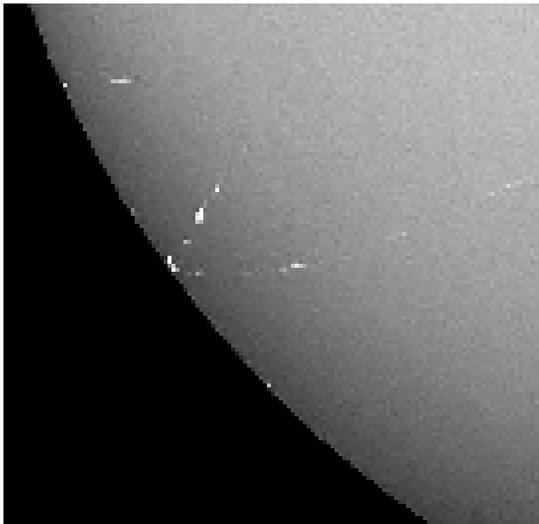




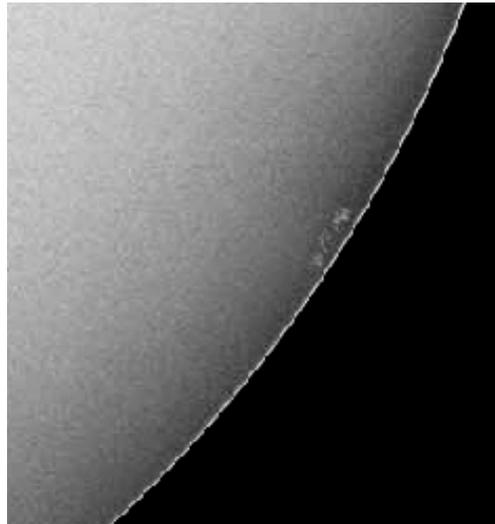
# フラッシュランプアニール (FLA)

## X線トポグラフィー観察結果

300mmBulk

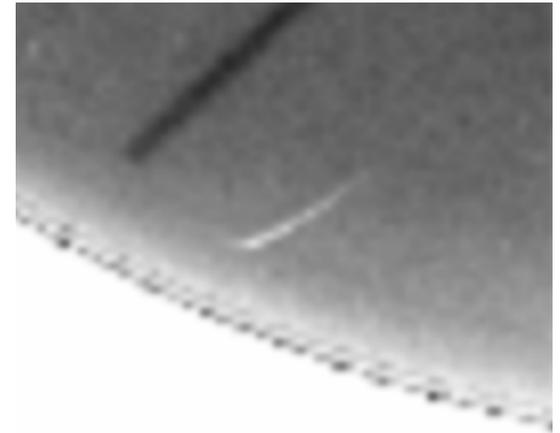


FLA 4回



FLA 1回

300mmSOI



FLA 1回

ベアウェーハのFLAではスリップの発生はない

# ウェーハエッジ形状の提案

- 2種類のエッジ形状を検討
  - テンプレートでなく形状パラメータと公差としたい



ラウンド型



テーパー型

ヒアリングの結果この2種類に大別された

# 今後の課題

- 450mm結晶・ウェーハ技術
  - 技術調査第1段回終了
    - 報告書とITRS position paper のupdate
  - ウェーハ測定・評価技術は未検討
  - 更なる技術調査を行えるかは不明
- メカニカルウェーハ
  - ウェーハ規格検討の継続
    - ウェーハ・SOI分科会はこの報告をもって終了
    - JEITA次世代ウェーハ技術専門委員会のWGを提案中
  - ウェーハ規格の提案
    - WGからSEMIに提案する
    - 技術的根拠などはドキュメントを残す
- 450mm開発・試作のビジネス側面：未論議
  - 開発体制とスケジュール
  - 試作ライン構築と投資の回収

# まとめ

- 450mm結晶・ウェーハの製造
  - 結晶育成とウェーハ加工は技術的には可能
    - メカニカルウェーハは問題ない
    - デバイスウェーハ(SOIを含む)の品質についてはこの後の検討課題
  - ウェーハのビジネス側面については不明
- 標準化
  - メカニカルウェーハ規格検討を開始した
    - ウェーハ厚さとエッジ形状がキーポイント
    - ウェーハ規格検討を継続するWGを提案中