

# 450mm工場移行の経済性

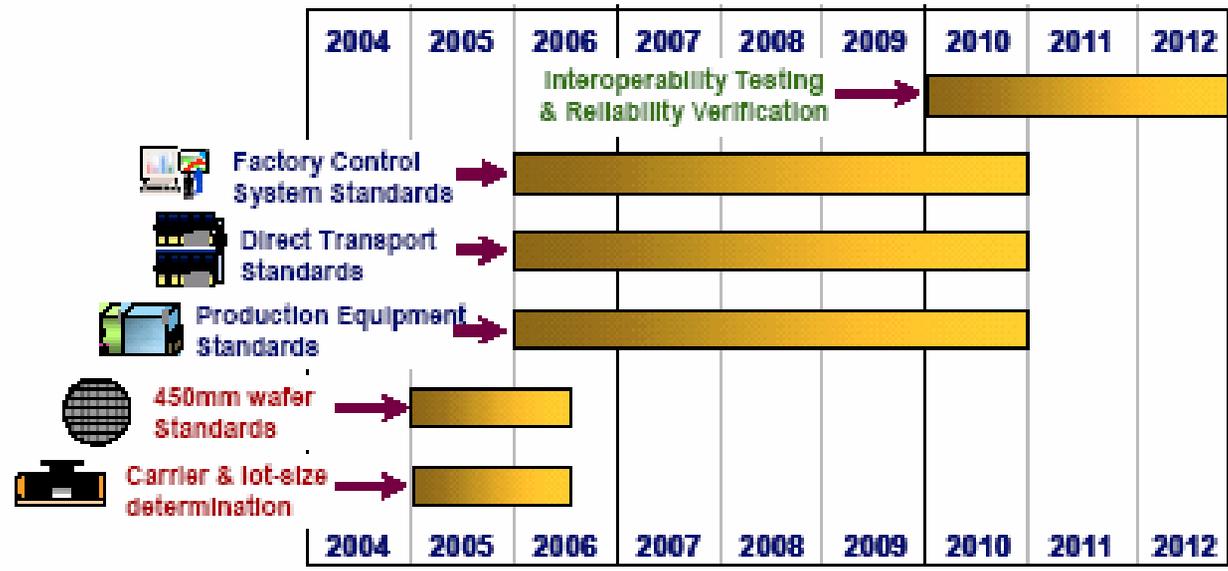
— 迫りくる工場高価格化の脅威 —

# 内容

1. 背景
2. 32nmデバイス
3. 450mm工場のメリット
4. 32nm450mm2万枚工場の規模
5. 2012年の日本の半導体産業の売り上げ
6. 事業の成長モデルと半導体産業の状況
7. 300mm化の教訓と450mm化の費用
8. まとめ

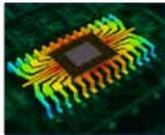
450mm: 導入する際の課題をそろそろ検討すべき時期  
「450mm化には \$ 50B かかる」とインテル発言

ITRS: 2012年 (hp32) 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

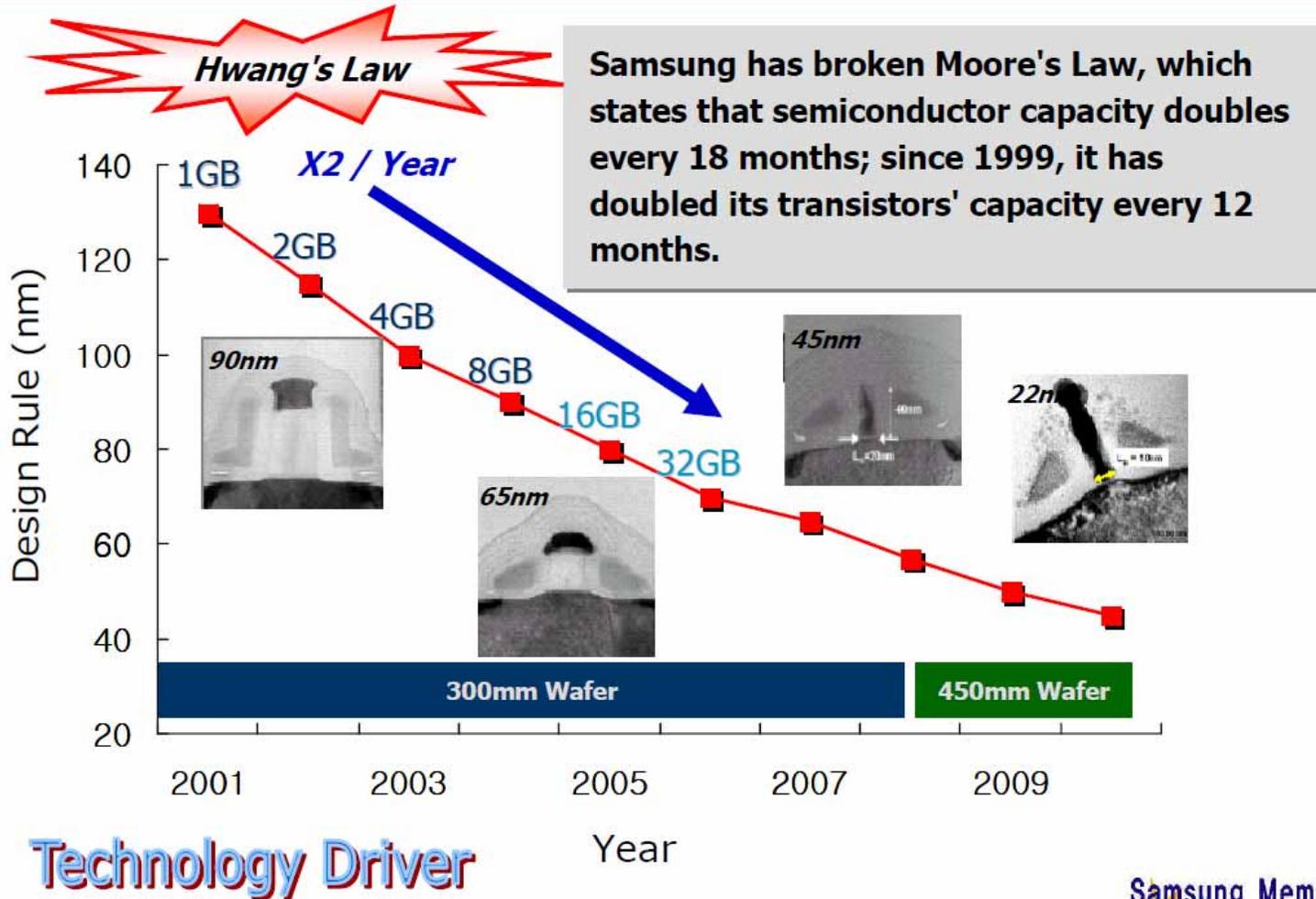


J. Pettinato et al.  
(ISSM2004)

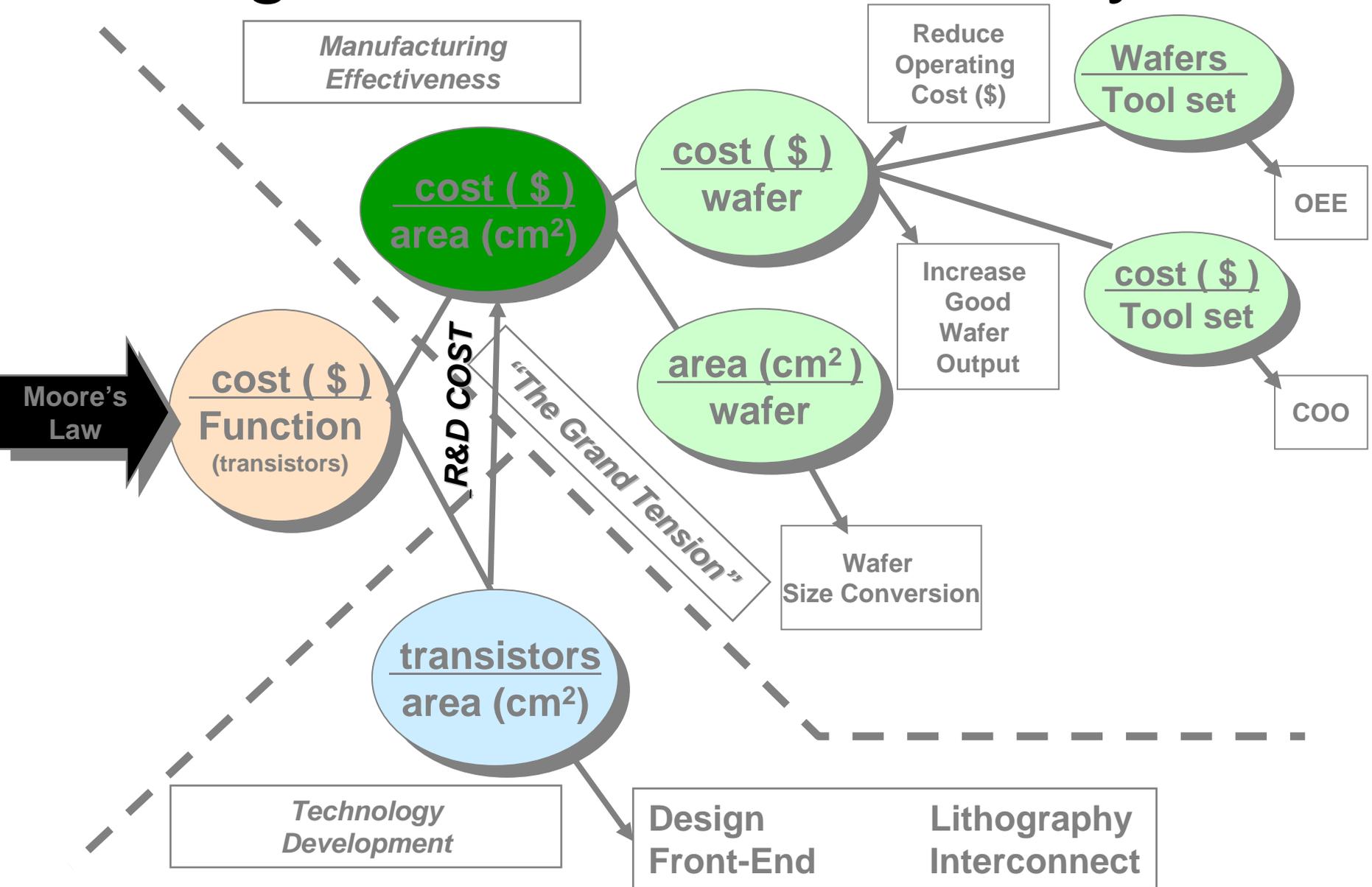
Figure 1. Proposed 450mm Wafer Transition Timeline.



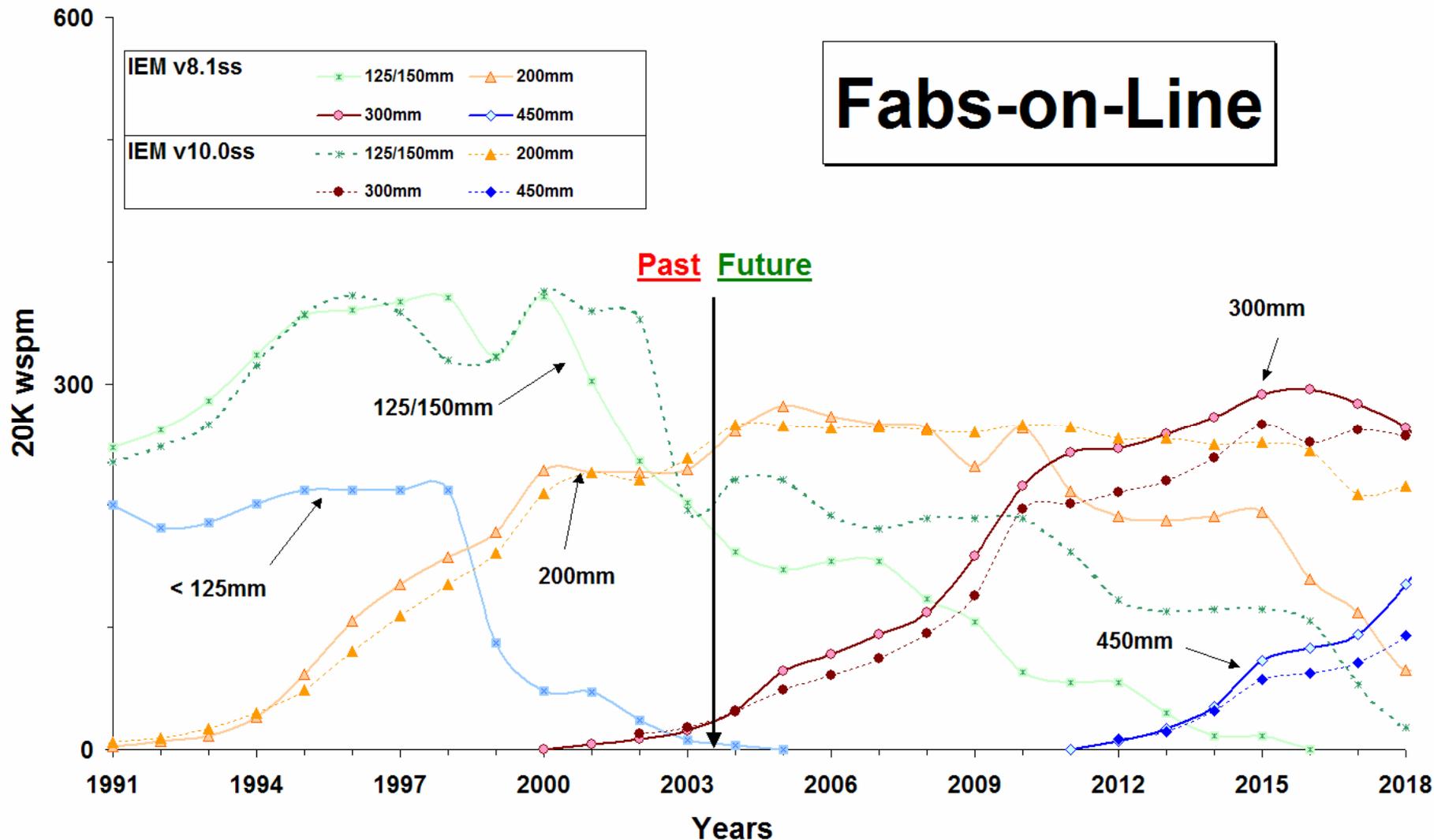
# Nano-scale Semiconductor Devices



# Big Picture of Productivity



# Wafer Diameter Scenarios



**Extended use of installed base**

# 450mmウェーハ

- 面積は $159,043\text{mm}^2$ で $140\text{mm}^2$ のチップは908チップ(歩留80%)
- 2万枚/月の工場で年間1.8億個を供給できる。これは年間のパソコン出荷台数1.75億台(2004年)とほぼ同数。
- インテルのMPU年間出荷個数は2.4億個
- 単一品種でこの工場を埋めることは不可能。複数品種を流す必要がある。

# 32nmデバイス

- 微細化、消費電力、バラツキの問題の問題はあるものの以下のデバイスがある
- MPU
- 16GFALSH
- 8GDRAM
- ASSP(Media Processor)
- ASICは？マスク費用(開発費)の問題もあり  
色々なICを作れない---\$24Mのマスク費用

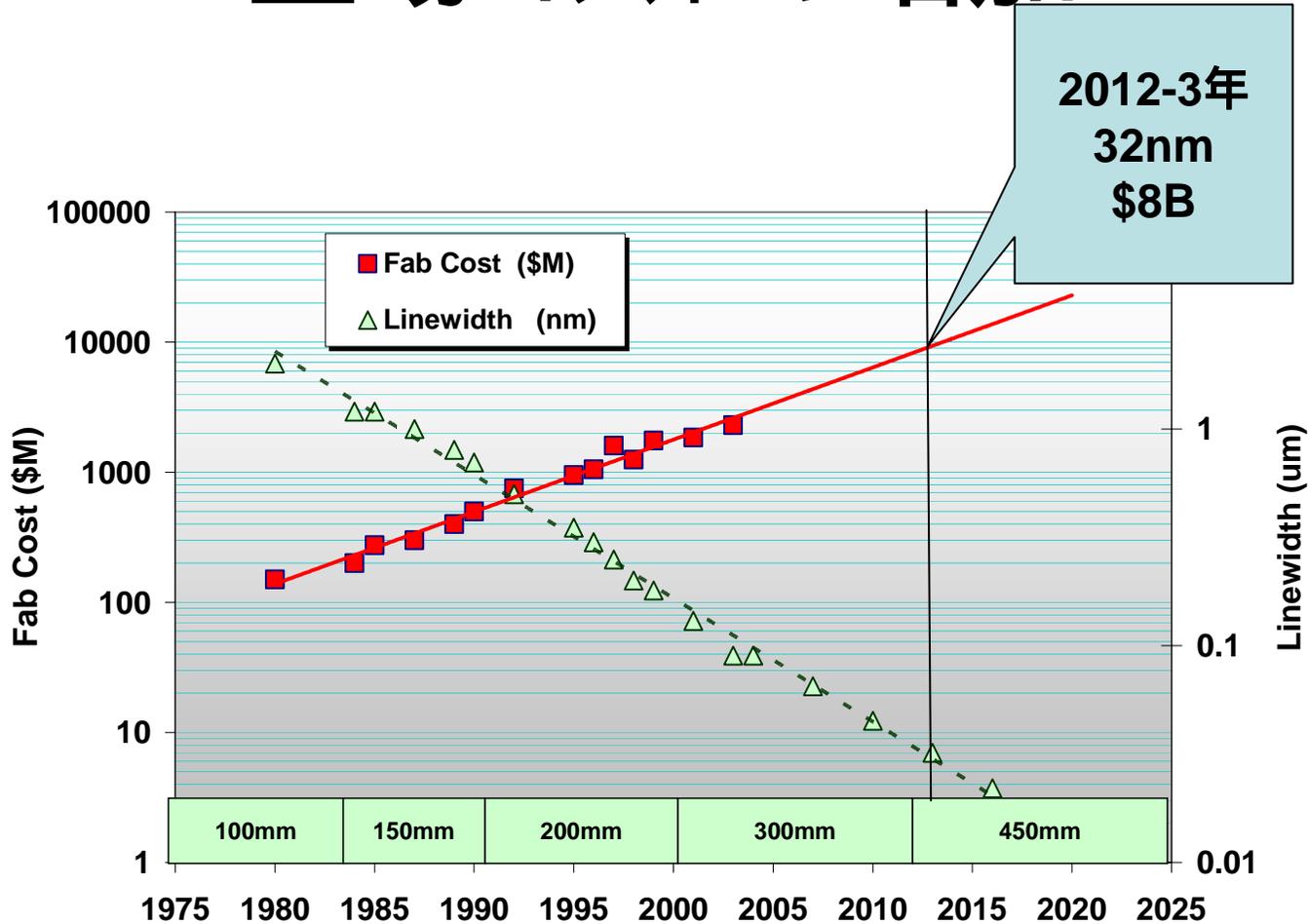
# 450mm工場のメリット

- 技術世代の進化に伴う、単位面積当りのプロセスコスト(単体プロセス及びステップ数)の増大を、大口径化により低減する。
- 径が1.5倍なら、シリコン面積は2.25倍大きくなる。
- 工場コストが1.5倍で出来れば、 $1/1.5 = 0.66$ 倍安くなる。
- シリコン単位面積当りのコストを下げる手段。
- 沢山の工場を作らなくて済む。

# 32nm450mm2万枚工場のコスト

- 大口径化は1.5倍のコストアップ
  - 200mm v s 300mmのIEM比をそのまま使う
  - 装置価格 ~ 1.3倍 (要求項目)
  - 装置Foot Print 1 ~ 1.2倍で建屋コストに反映 (要求項目)
  - 装置スループット ~ 1 ~ 0.8倍 (要求項目)
- 世代毎の工場建設費用は1.2倍のコストアップ
- 以上の仮定で、
  - 32nm世代の工場は65nmに比べて $1.2 \times 1.2 = 1.44$
  - 450mm化の $\times 1.5$ を入れて、 $1.44 \times 1.5 = 2.16$
  - 今65nm300mm2万枚の工場は2000億円とすると450mm32nm2万枚の工場は4320億円
- また、33万円が65nm300mmウェーハ加工費として、32nm450mmは72万円となる。

# 工場コストの増加

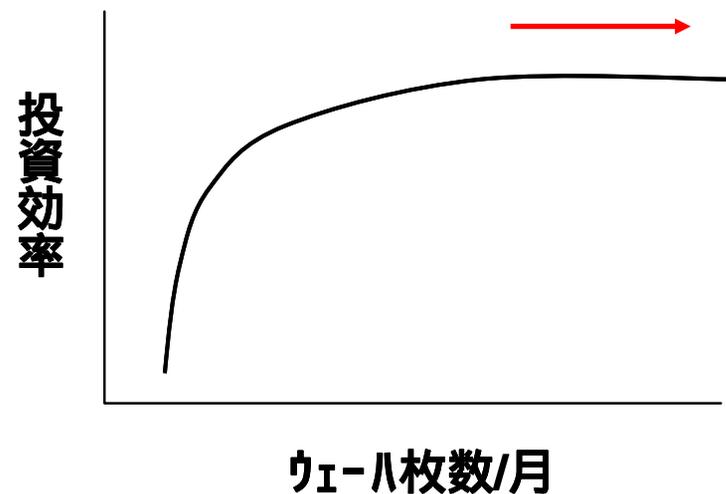


# シリコン単位面積当りのコストを下げる手段

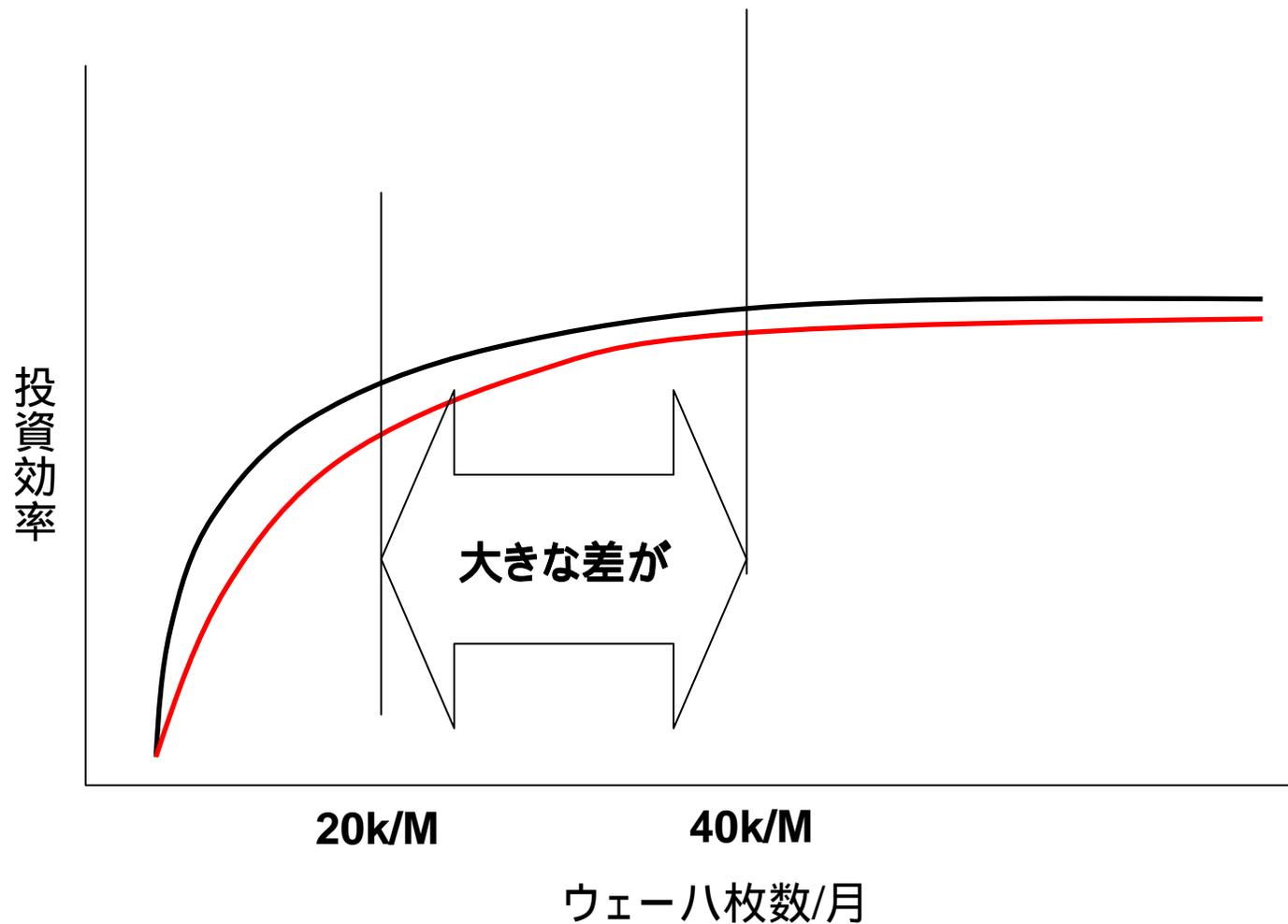
- ウェーハの口径を大きくする
- 工場の規模を大きくする
  - 工場の稼働率を上げる
  - 装置を安く買う
  - Large Fabが合言葉になっている
    - TSMC \$7.5B 100K/月45nm
    - Intel \$3.0B 40k/月 45nm
  - 日本のLogic Fabと大きく違い投資効率が～30%良い

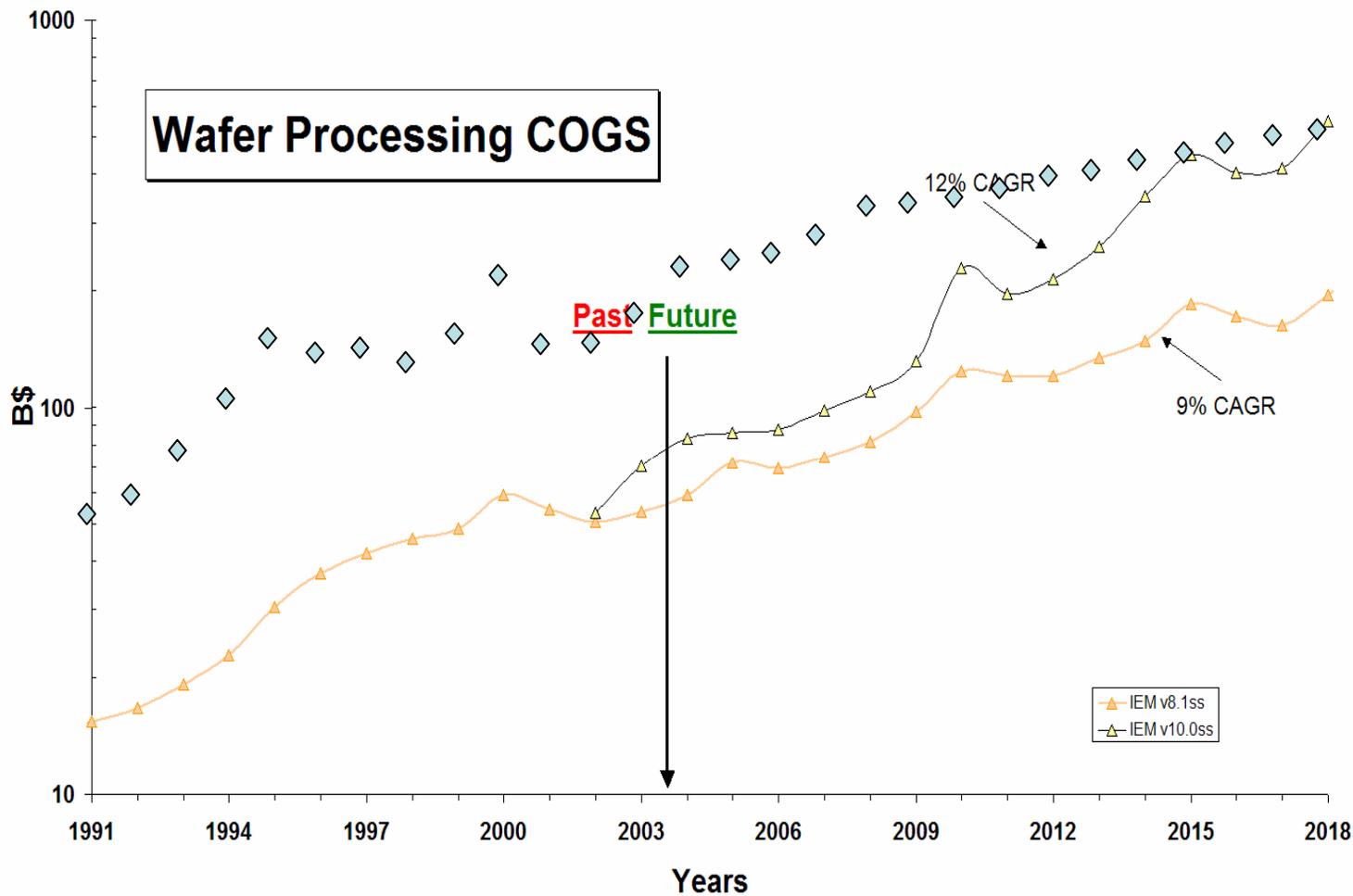
# 投資効率の良くなる工場規模

- 150mmで14k/月
- 200mmで20k-24k/月
- 300mmで32k-48k/月
- 450mmで50k-75k/月？
- 従って、効率的な工場規模は以下のように増加している
- 80年代初頭– \$200M
- 90年代中期– \$650M
- 2000年初期– \$1.0B
- 現在– 300mmで \$2B-\$3B
- 2012年-450mmで\$10B？

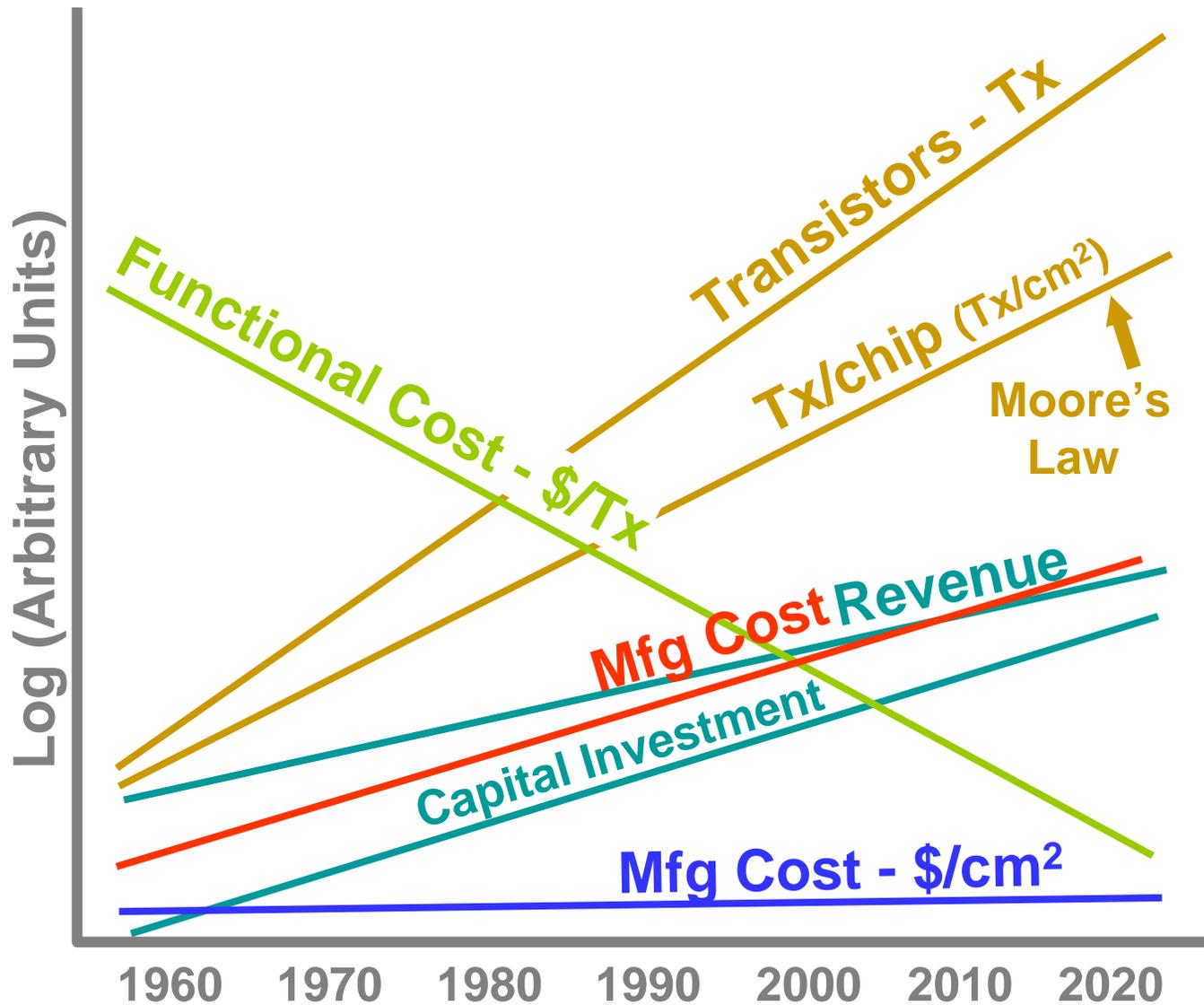


# 投資効率





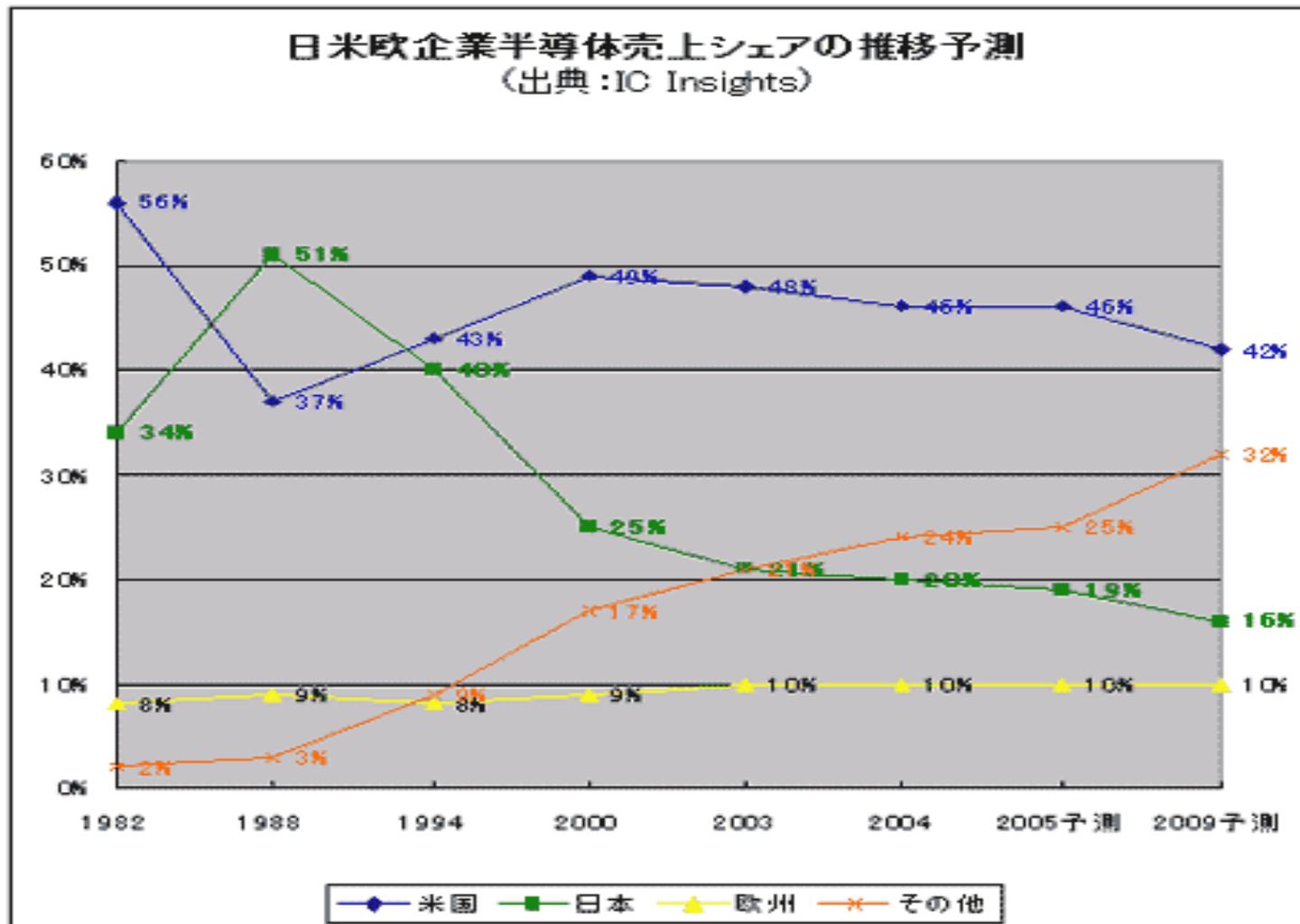
# Industry Economics – Basic View



# 2012年の日本の半導体産業の売り上げ

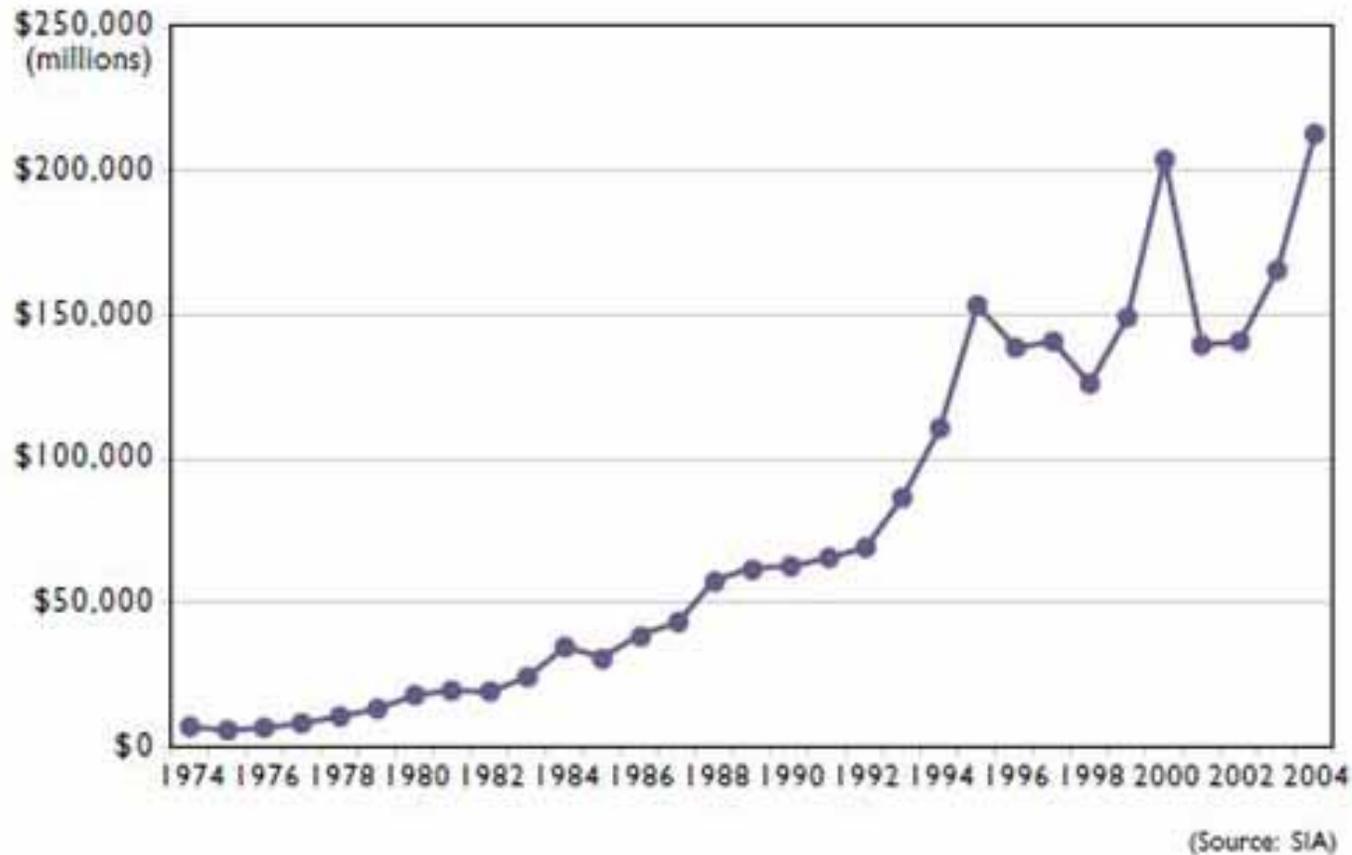
- 半導体産業全体は36兆円を超えて成長
- 地域メーカー別出荷金額比は  
アジア：日本：米国：欧州 = 35：14：40：11
- 地域メーカー別出荷金額は  
14兆：5.6兆：16兆：4.4兆  
(2004年の日本半導体の売り上げは4.7兆円)  
(2005年の日本半導体の売り上げは5.6兆円)  
(5.6兆 5.6兆/7年でゼロ成長)

# 2009年に日本のシェアー16% 含ファブリー生産

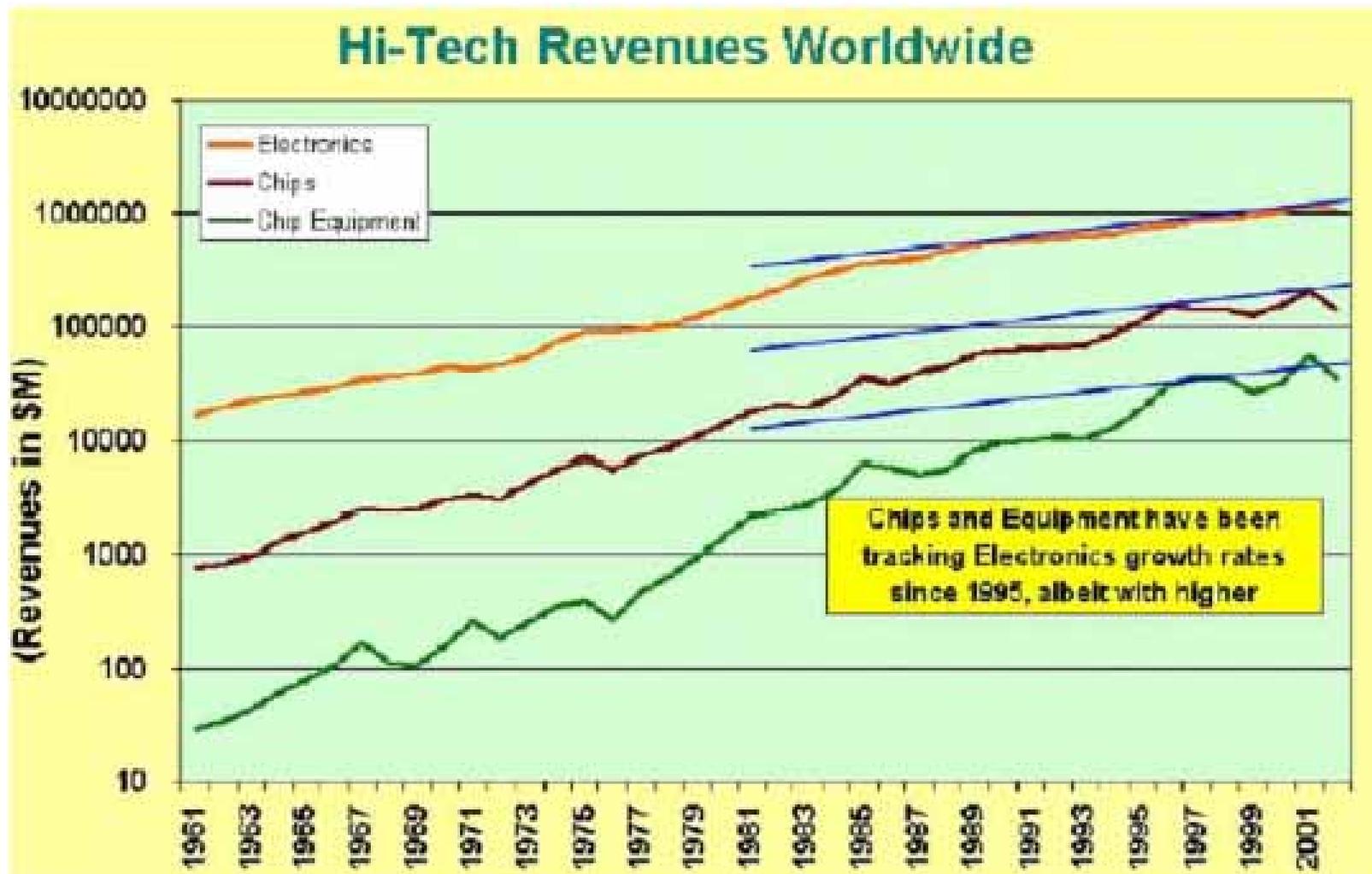


# 半導体産業の売り上げ推移

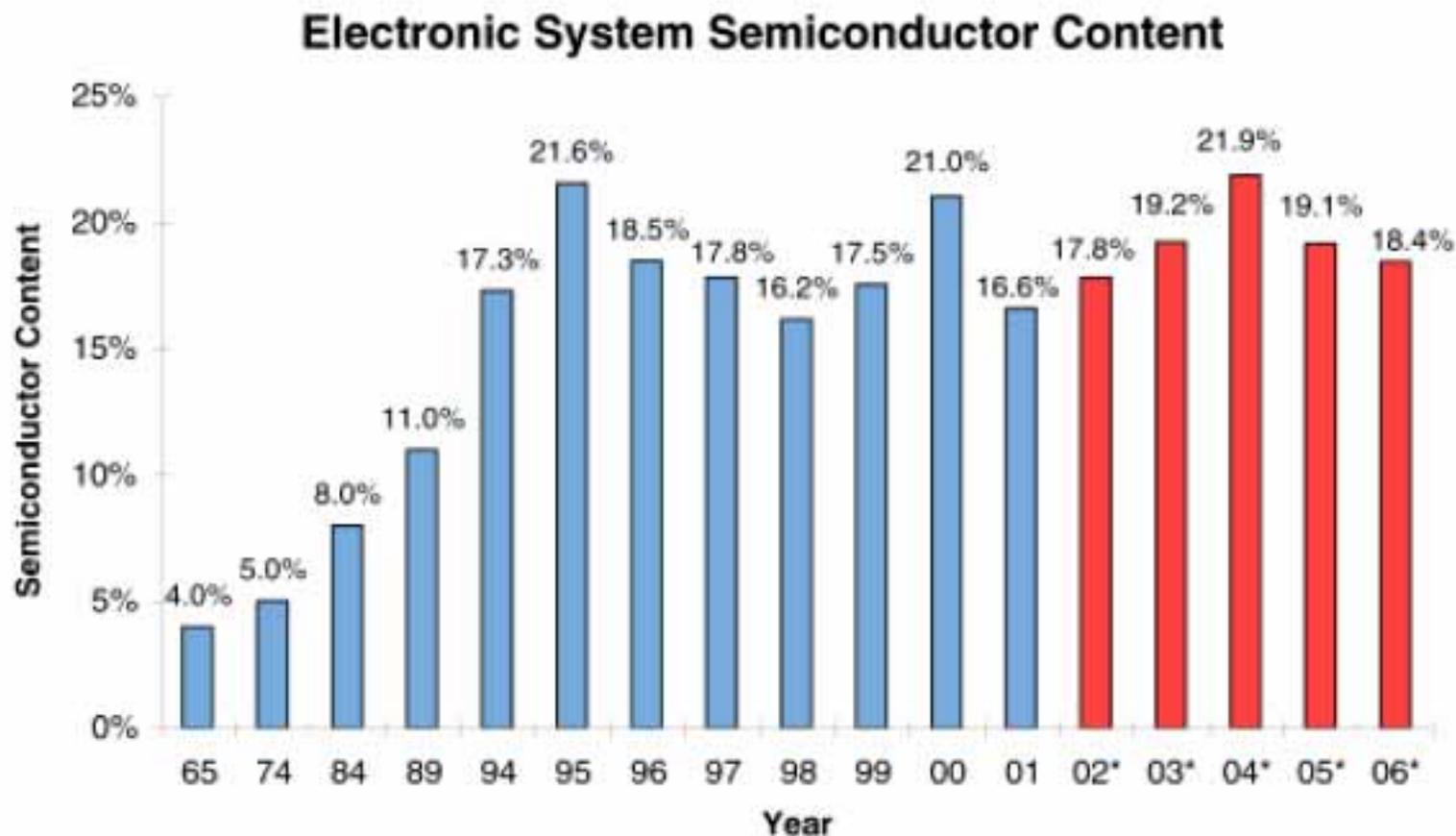
## Global Semiconductor Sales



# 電子、半導体産業、装置メーカーの売り上げ推移

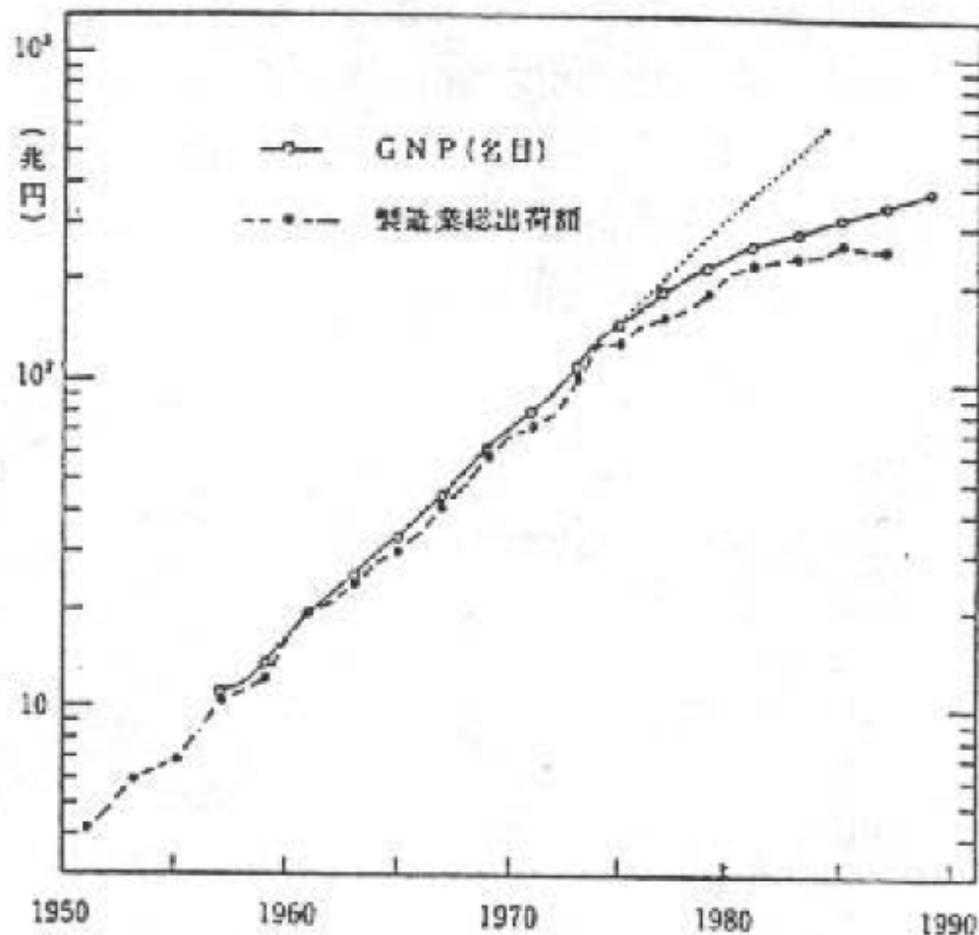


# 半導体産業の売り上は電子産業で決まる



# 事業の成熟

(日本のGNPと製造業総出荷額)



企業の成熟とイノベーション：「事業曲線則」で企業変身をはかる / 川口達郎著

図1 GNP, 製造業総出荷額の推移

# 各産業の例

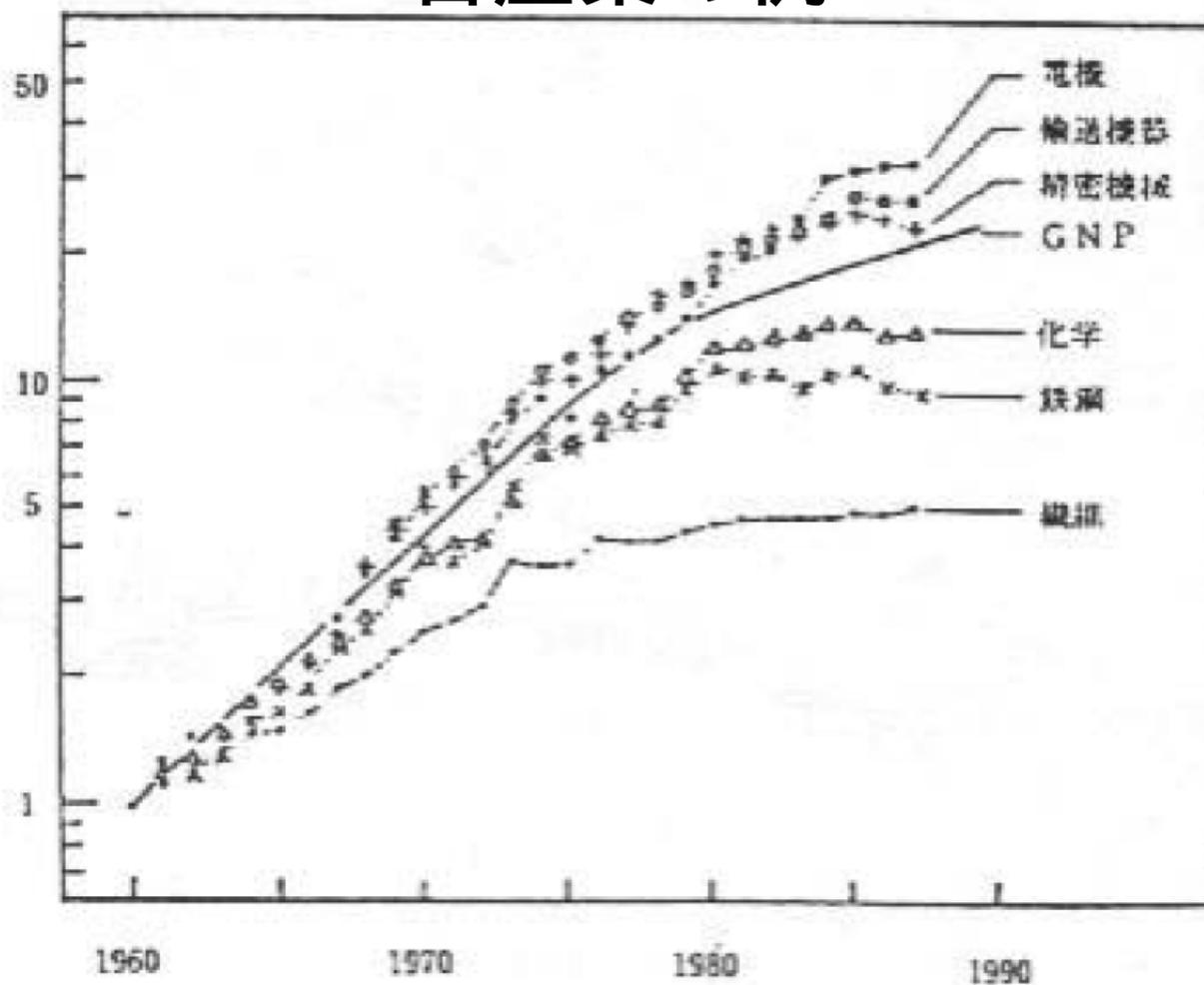
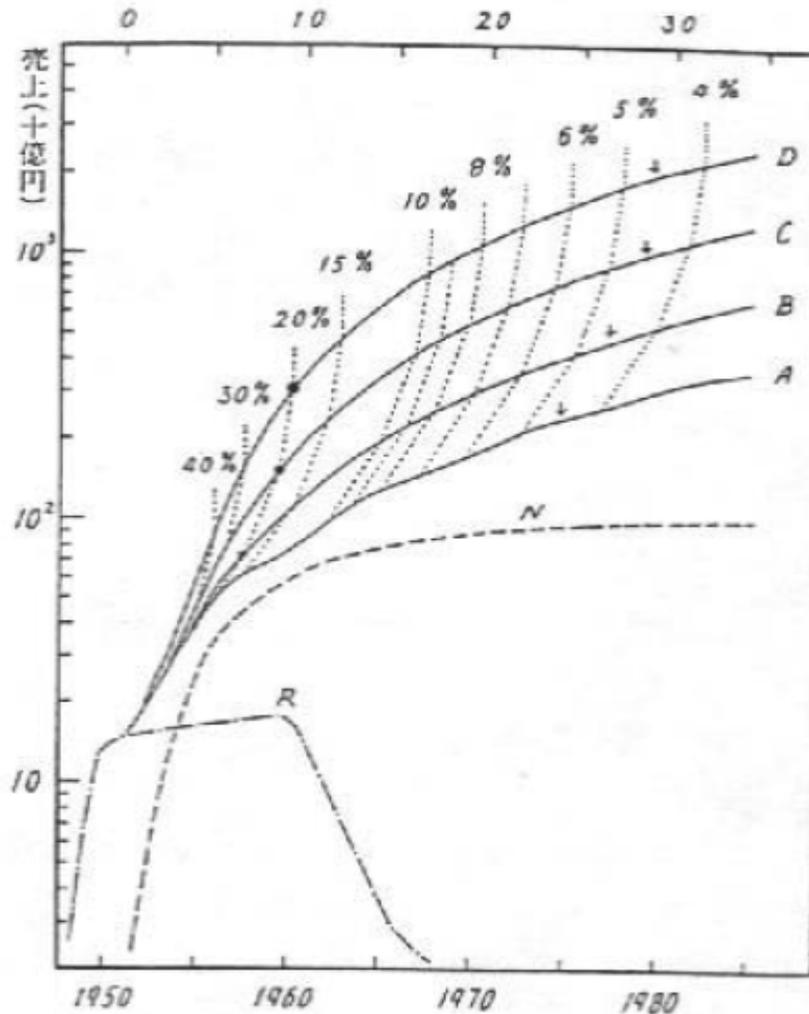


図2 産業別総出荷額成長係数(1960年基準)

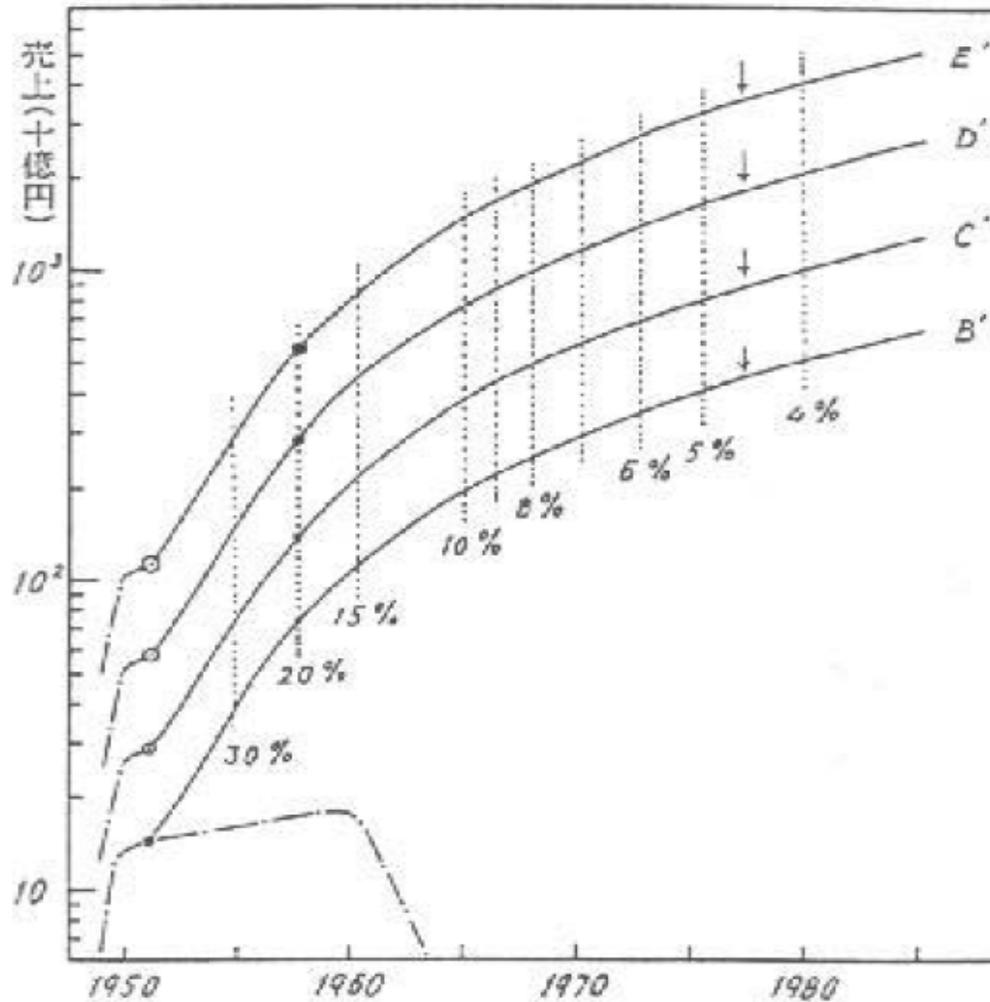
# 成長の維持にイノベーションは必須



	A	B	C	D
初期事業規模	R	R	R	R
イノベーション規模	N	N	N	N
イノベーション間期	8年毎	4年毎	2年毎	毎年

図7 II型成長曲線に対するイノベーション力の影響

# 規模によらず成熟



	B'	C'	D'	E'
初期事業規模	R	2R	4R	8R
イノベーション規模	N	2N	4N	8N
イノベーション周期	4年毎	4年毎	4年毎	4年毎

図 8 II型成長曲線に対する初期企業規模の影響

# 市場活性化で新たな成長

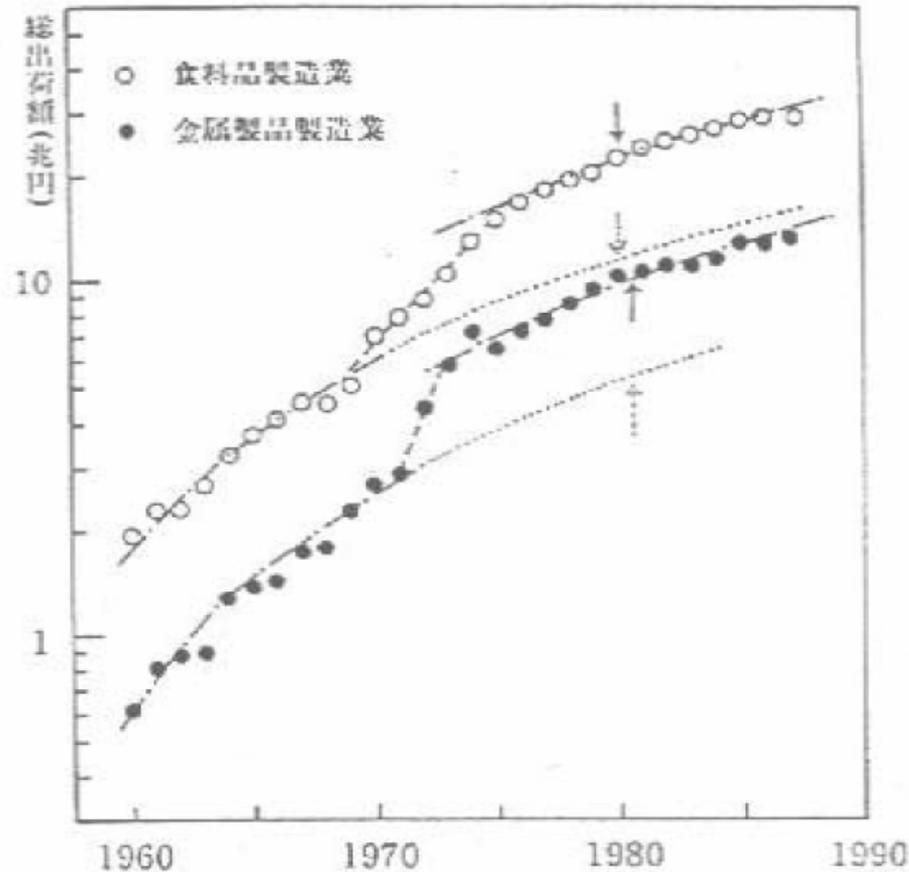


図9 市場活性化にもとづく成長曲線の変化

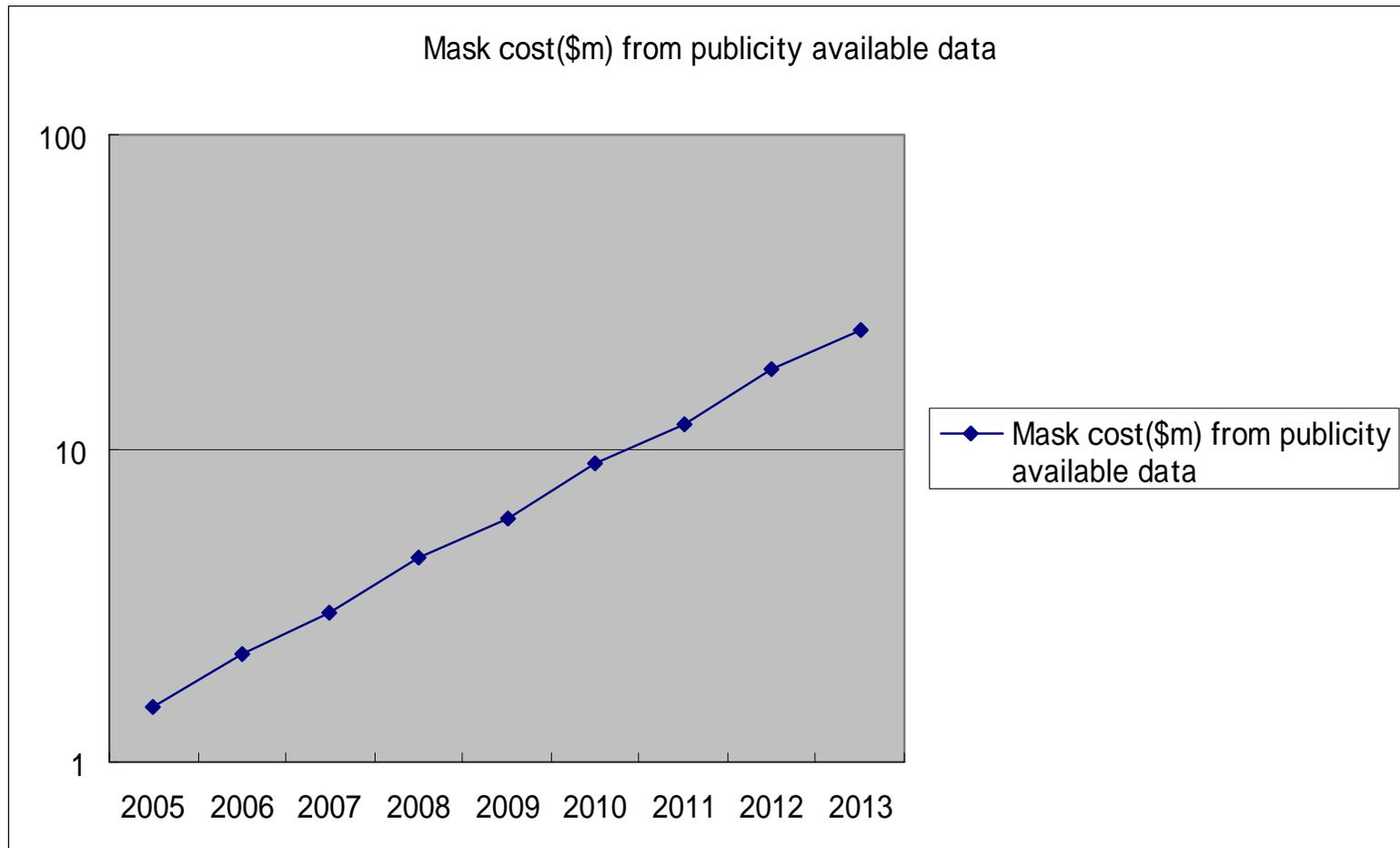
# 定額成長と定率成長

- 定額成長：毎年、定額の成長をする。世の中一般の成長モデル、30年で成熟する。
- 定率成長：毎年、定率の成長をする。成熟することは無い。定率の成長を維持するためのイノベーションが必要。しかも、定率で増えるイノベーションが必要。
- 技術が進歩するにつれ、進歩を促すためには、定率で増えるイノベーションが必要。

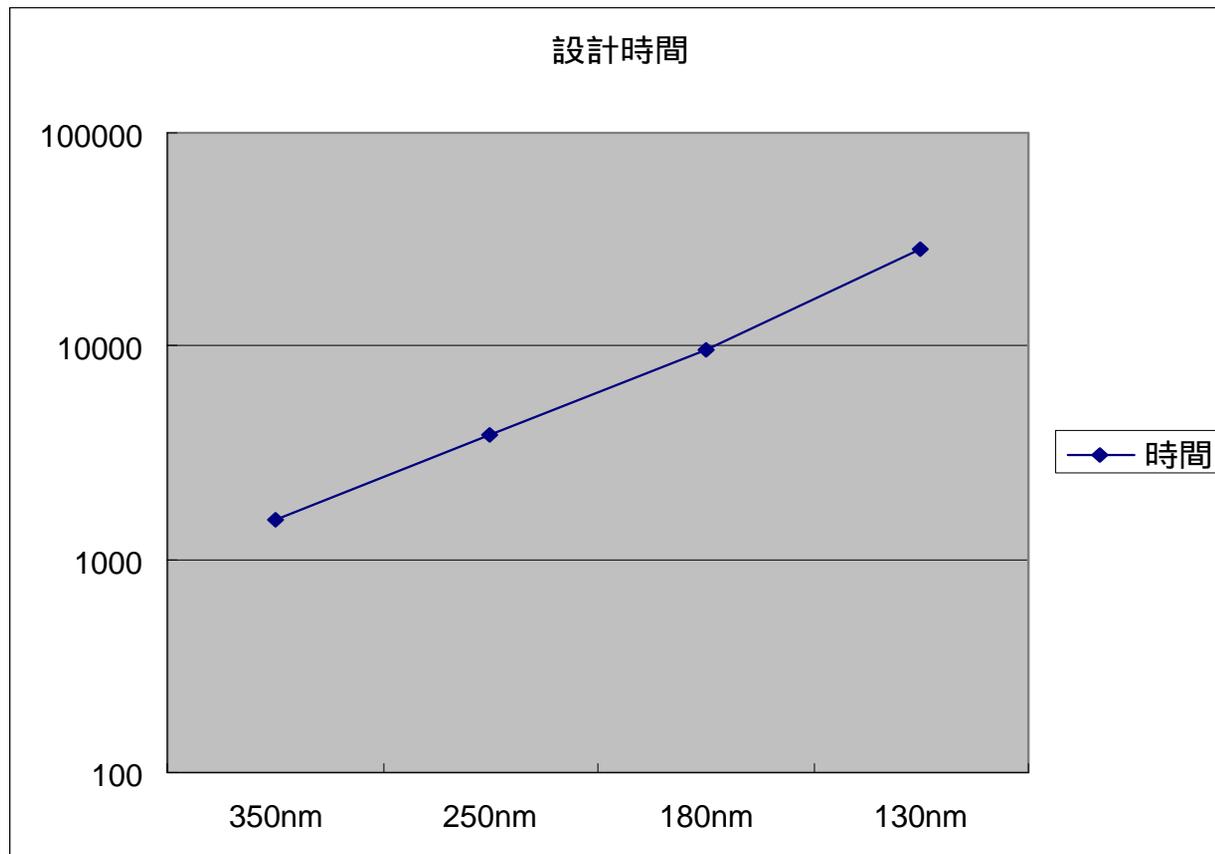
# ムーアの法則

- 「半導体に集積されるトランジスタの数は、2年ごとに倍増する」といういわゆる「ムーアの法則」は、1965年に米インテル社の共同創設者であるゴードン・ムーア氏が提唱した。以後約40年にわたり、半導体産業はこの法則に沿って発展してきた。

# マスクコストの定率増大

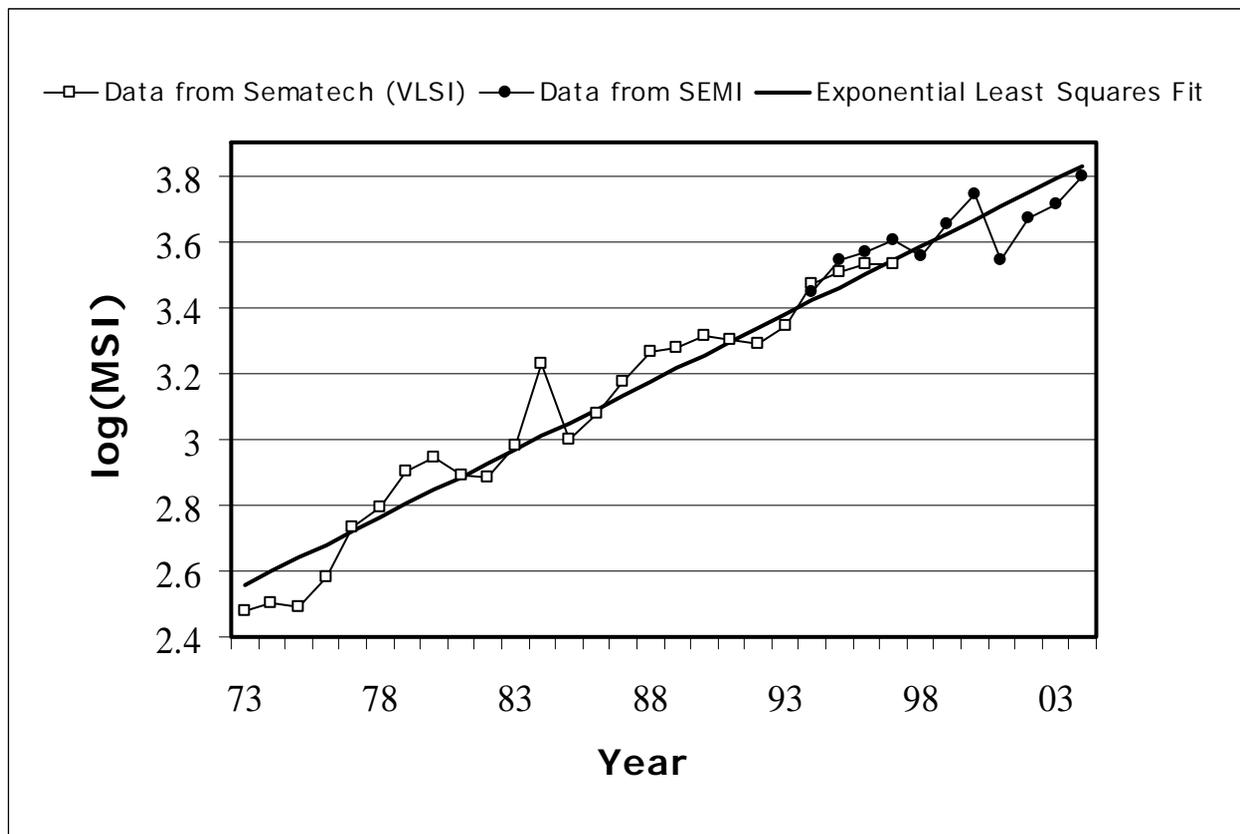


# 設計時間の定率増大



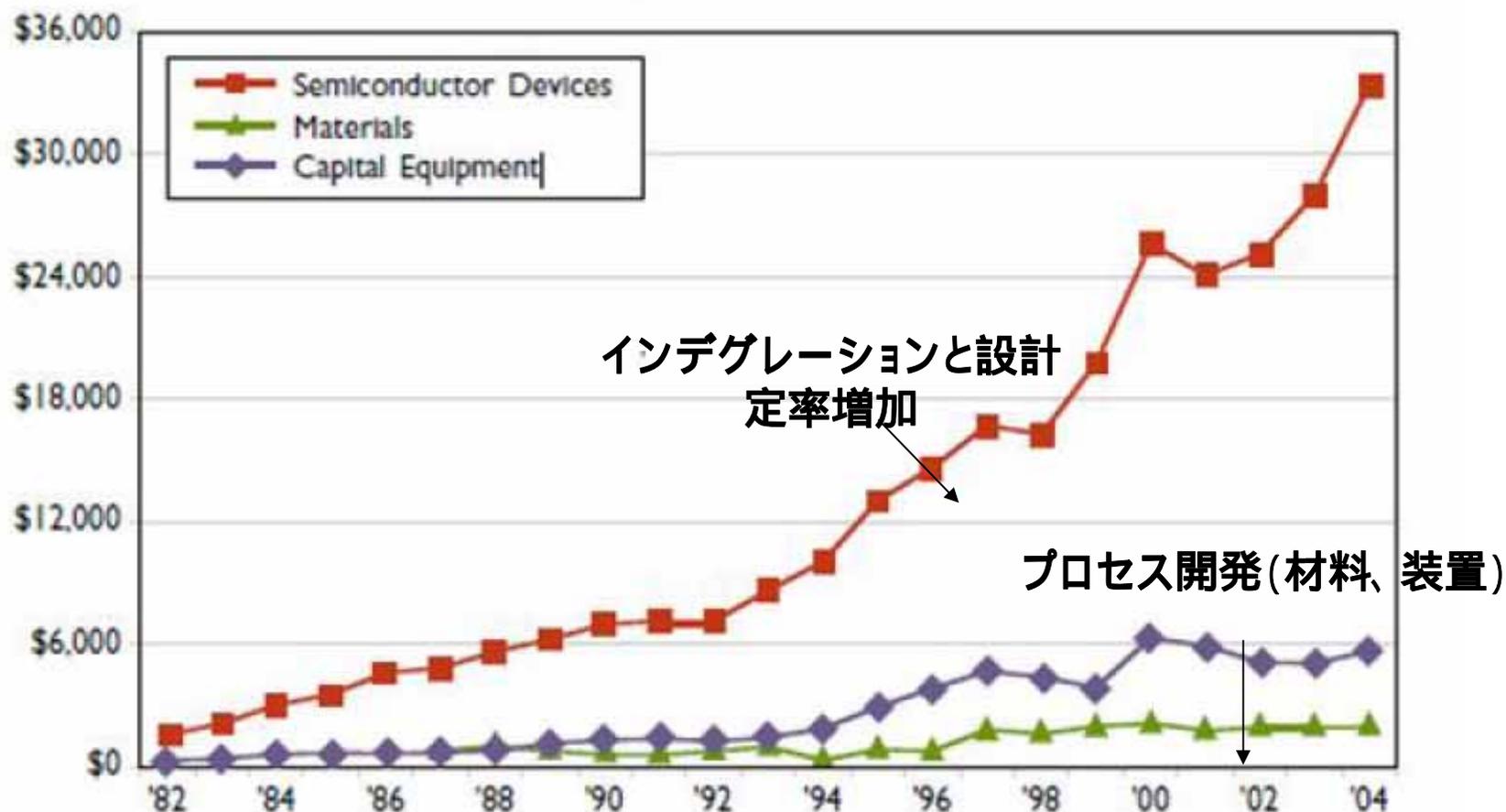
設計プラットフォームの協業などコスト削減策が必要

# ウェーハの総出荷量 (Millions of Square Inches) 全世界で全ての口径の定率増加



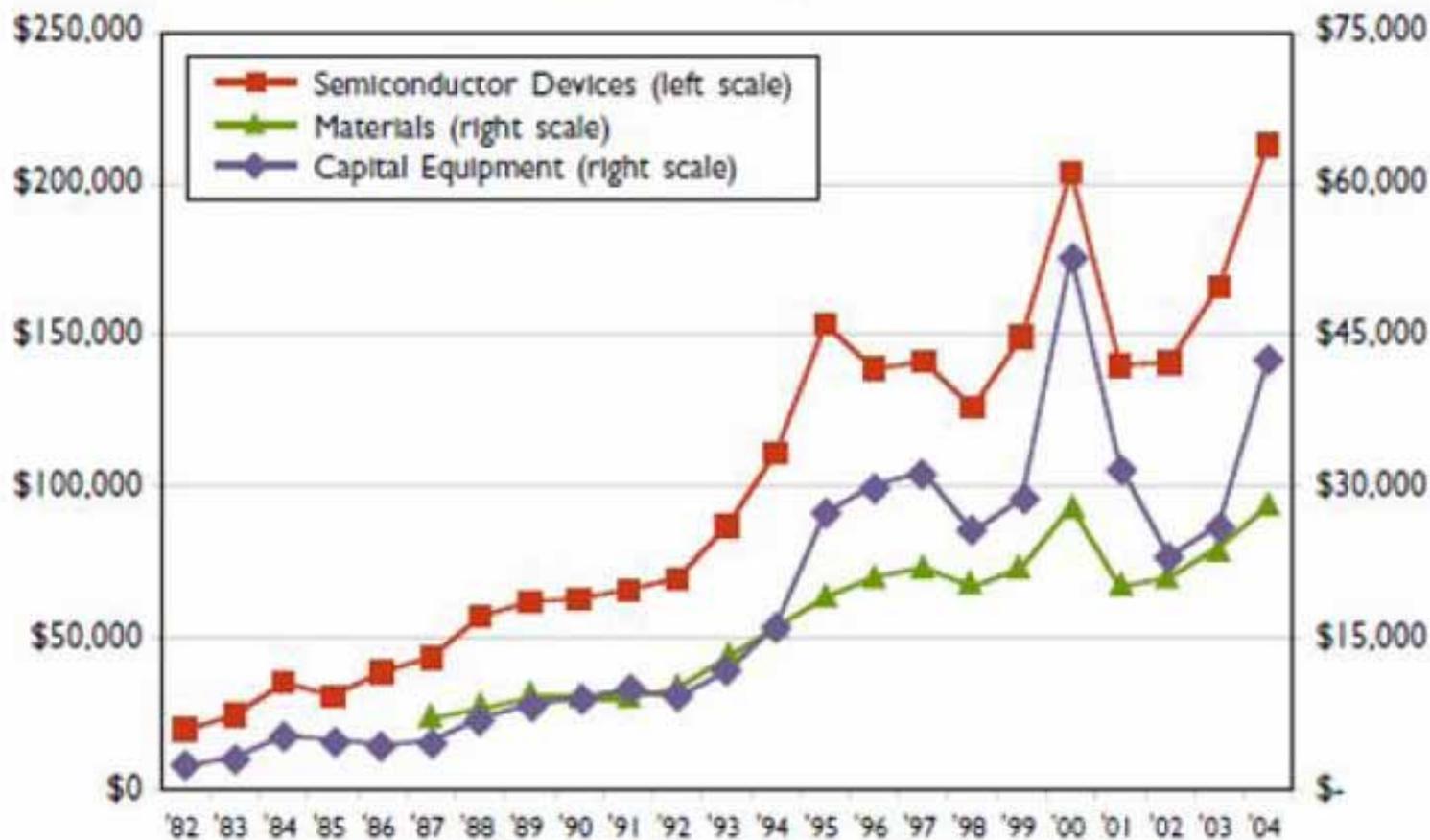
# 半導体産業、装置メーカー、材料メーカー の研究開発費推移

## R&D Spending (\$M)

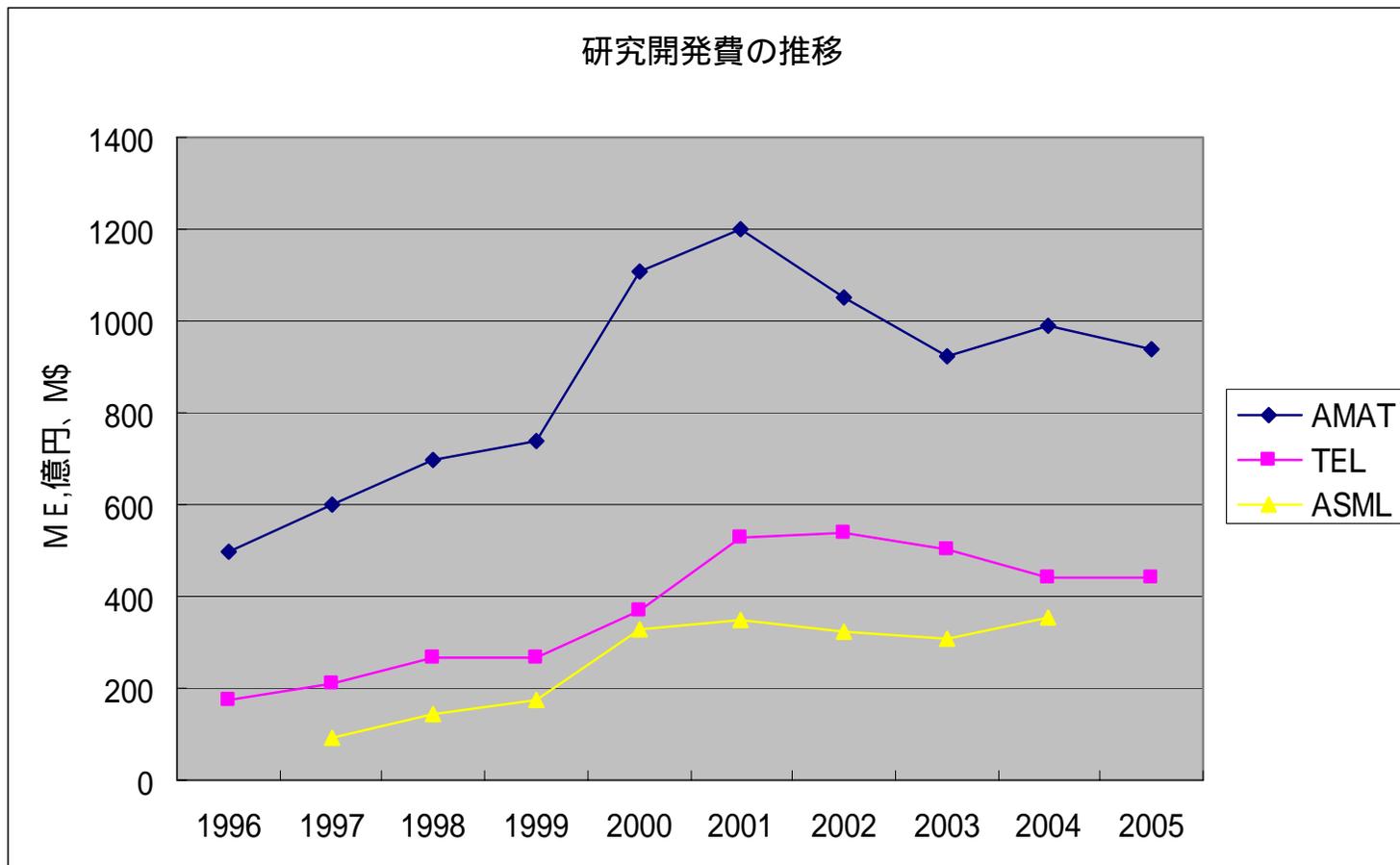


# 半導体産業の売り上と材料メーカー、装置メーカーの売り上げ推移

## Industry Revenues (\$M)



# 装置メーカーの研究開発費



# 製造業の費用バランス

- 売上げ 100%
  - 荒利 50%
    - 原価償却費、材料費、原動費、人件費
  - 研究開発費 15%
  - 販売と一般管理費 15%
  - 営業利益 20%
- 
- 研究開発費、工場投資は売上げで決まる

# イノベーションは成長の源泉

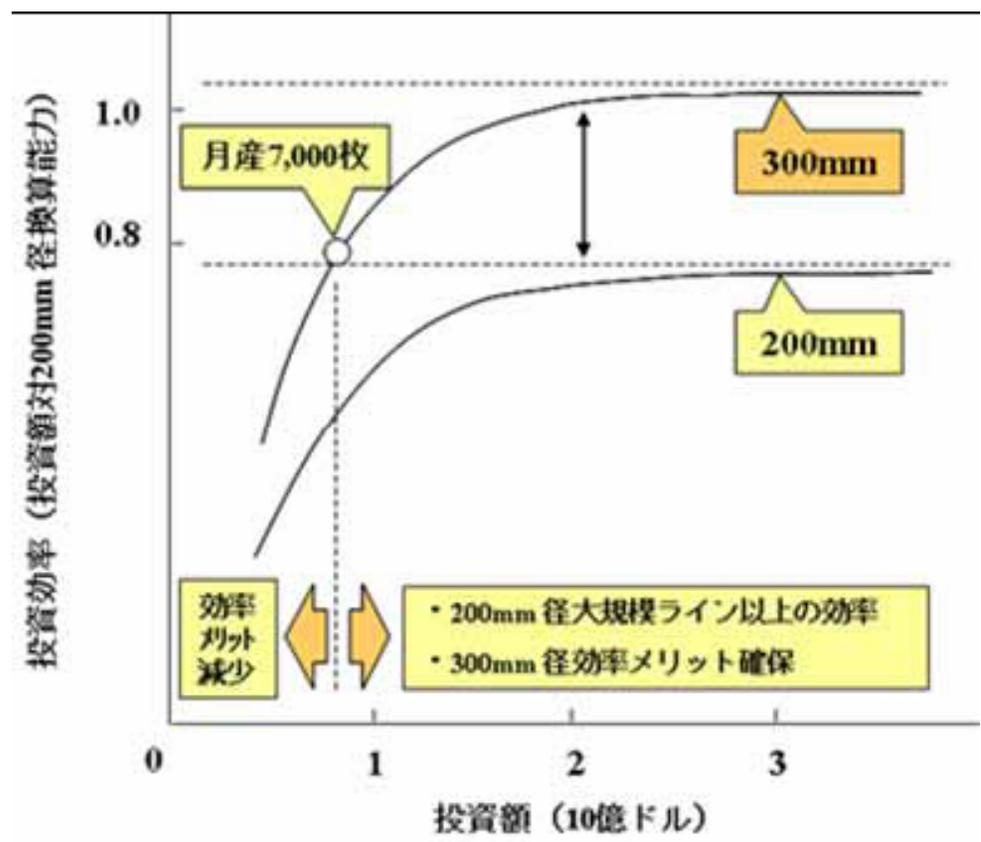
- プロセス・イノベーションの原資は装置・材料メーカーの開発費
- 設計イノベーションの原資はデバイスメーカーの開発費
- 売上げ高からの制限が来ている
- 標準化、プラットフォーム化、協業他による開発の無駄取りが必要

# 0.2umDRAM300mm化

- Semiconductor 300
- ジーメンスとモトローラでスタート
- ミッション : 0.2um以下のプロセス技術を用いて、200mmウェーハに対しチップ当りのコストを削減して、製造効率でブレークスルーを達成すること。
- 装置メーカーとパートナーとなって、半導体産業全体に利益をもたらす、コスト効率の良い次世代の製造装置を開発するために、早いフィードバックをする。
- 1998年1月にジーメンスとモトローラのJVを設立。1999年2月にドレスデンの300mmパイロットラインで64M DRAMを取得、6月には歩留まりが200mmでの60%を超え、信頼性試験の後、顧客に出荷された。
- 全R&D費用は\$595 millionを超えた。このインフィニオン、モトローラと18のパートナー会社とのプロジェクトはドイツの科学技術庁 (German Federal Ministry of Education and Technology (BMBF)) とサクソニー州 (the State of Saxony) の支援のもとに行われた。

# 0.18 (0.15) um ロジック 300mm 化 トレセンティ (スケラブル Fab)

## 全て枚葉装置で構成日米逆転を狙う



# Intel 300mm 工場移行と 300mm化費用

Daniel Seligson

Technology and Manufacturing  
Engineering (TME), Intel Corp.

# 初めにニーズがあった

- インテルのニーズを満たすために工場を作る
- しかし、沢山の工場を作る能力は無いので、300mm工場とした

# 社内での300mm検討があった

- コスト、寸法に関して目標を作った
- 300mmのガイダンスが社内で出来ていた
- それを、社外に持ち出し国際協力の下GJGを作った
- \$1Bを使う

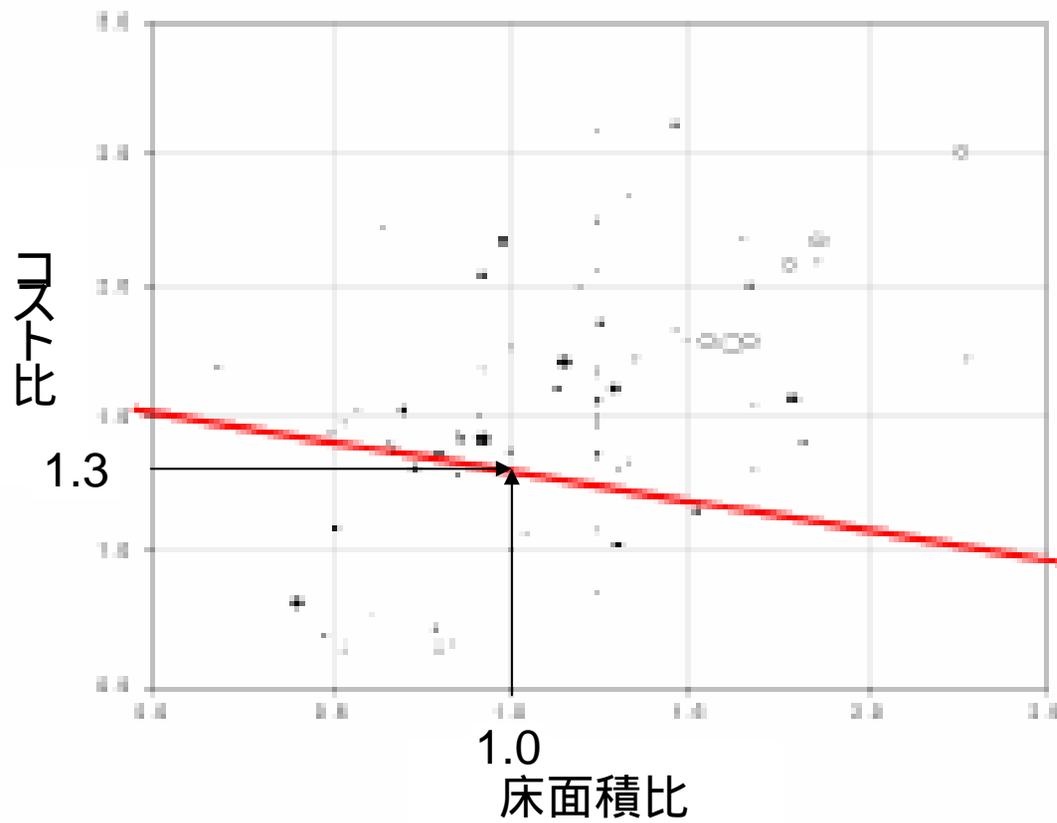
# I300IとSeleteを巻き込む

- ガイダンスに従って、装置の評価を行った
- Seleteは装置改造まで行った
- ISEMATECHの予算は2M\$/各社
- SELETEの予算は5倍 = \$ 10M/各社だった

## 評価指標が満たされるまで待つ

- 300mmの装置が成熟するまで待った  
0.25um 0.18um 0.13um
- 装置メーカーは潰れそうになった
- ウェーハメーカーも潰れそうになり、合併も起こった

# 床面積比対コスト比による指標



# 300mm化による改善

## Forecasting Productivity Improvement for new 300mm vs 200mm Fabs

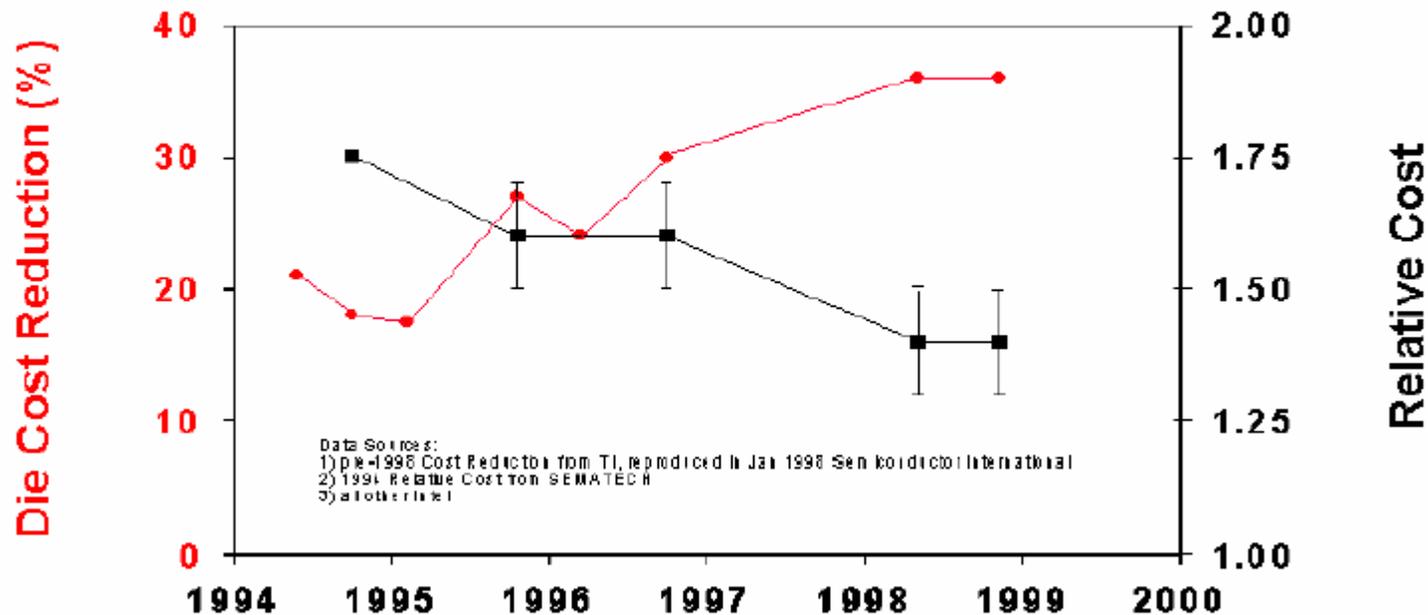
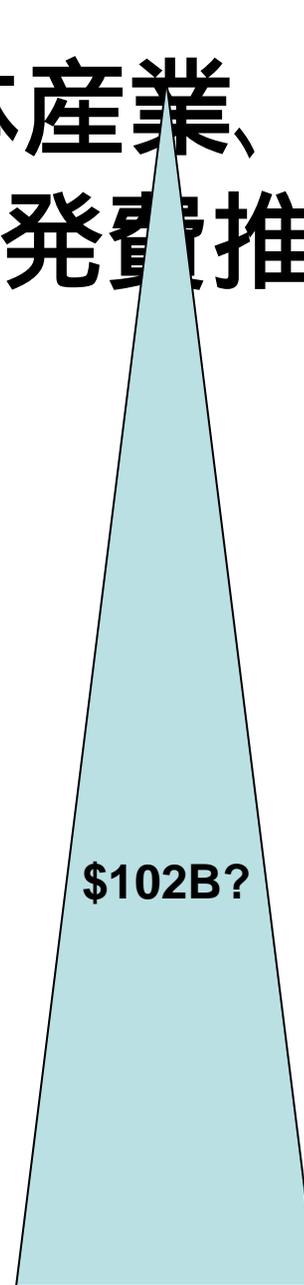
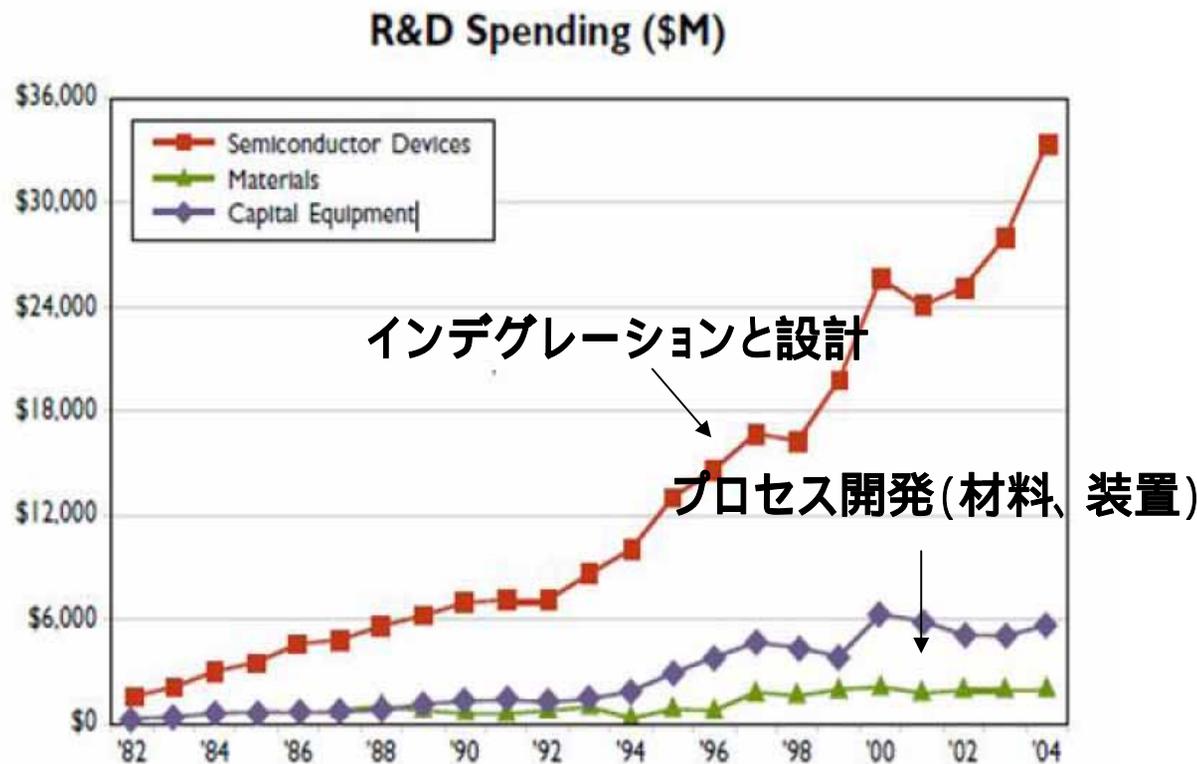


Figure 7: Forecasting productivity improvements for new 300mm vs. 200mm fabs

# 450mm化費用と半導体産業、 装置・材料メーカーの研究開発費推移



# 装置材料メーカーからの反発の声

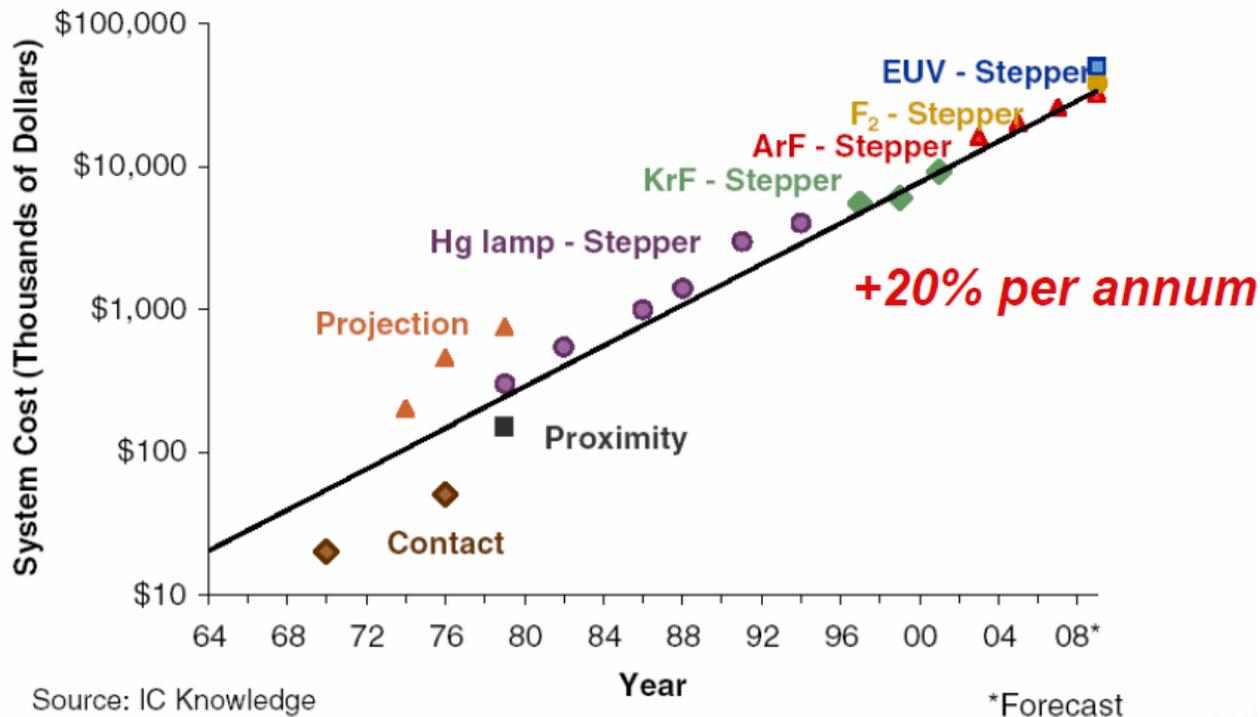
## 2005年8-9月

- 450mm化の費用(装置\$102B、ウェーハ材料\$1.5-2.5B)を負担できない
- 装置開発費のデバイスメーカー負担か、デバイスメーカー独自の装置開発を求める声
- 450mmウェーハを供給するに当たっての資金援助を求める声

# 露光装置の価格上昇 定率増加

## Continued Tool Cost Increase

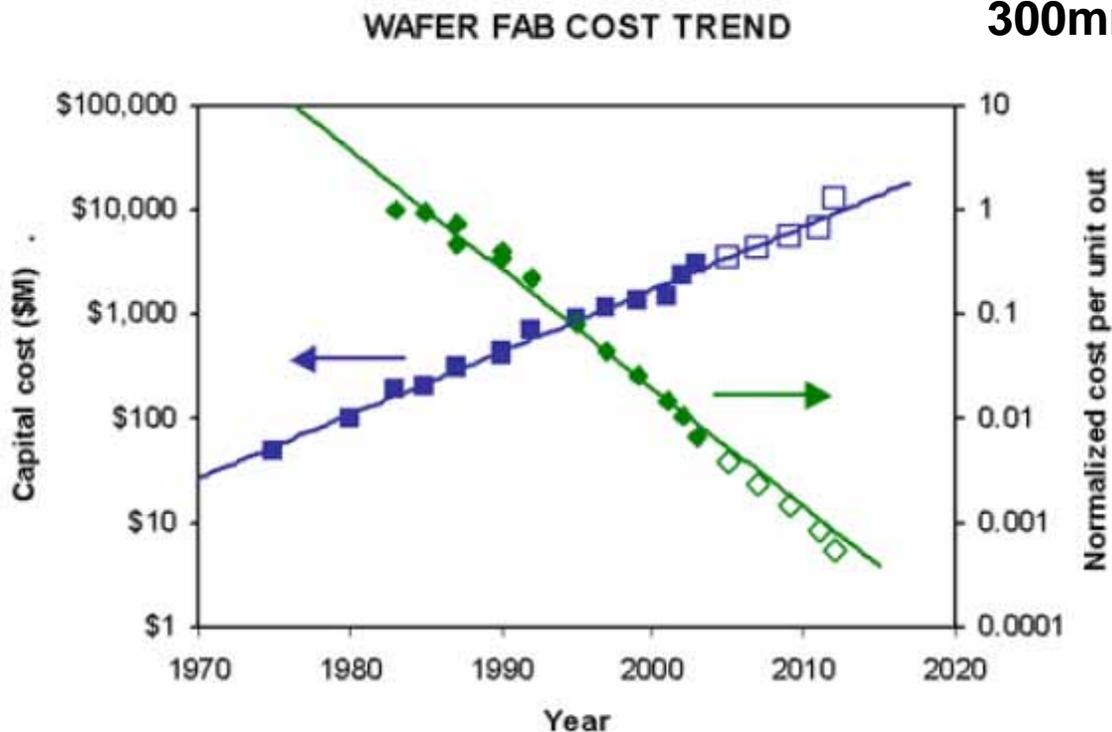
- Example: the lithography tool



# 半導体の工場の価格

## マクロには定率増加

200mmで上昇が止る  
300mmでまた上昇



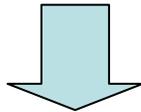
4. This figure illustrates the historical and projected cost for wafer fabs out to a 450 mm fab in 2012.

# 工場価格の上昇

- 工場に投資できる金額は売上げの20%
- IDMで恒常的に工場投資が可能な会社が減ってくる
  - $\$10\text{B}/0.2=\$50\text{B}$
  - $\$10\text{B}$ 毎年工場に投資するためには $\$50\text{B}$ の売上げ必要
- Fablessの増加とファンドリーの増加を招く
- 従って、工場投資は $\$10\text{B}$ 工場を持てるのは、IDMの上位とファンドリーのみ
- デバイスメーカーも450mmの負担は出来ない

# ITRSが求める技術開発

- イノベーションは成長の源泉
- 研究開発費、工場投資は売上げで決まる



- 共同開発によるコスト削減が必要
- 標準化によるコスト削減が必要
- 開発項目の優先順位付け、取捨選択が必要

# 結論

- 450mmに直接移行するのはコストがかかりすぎる。
- 450mm生産効率改善は、コストがかからない方法が必要。
- その後、450mm化の費用を見積もり、経済的にペイできるのであれば、着手すべき。