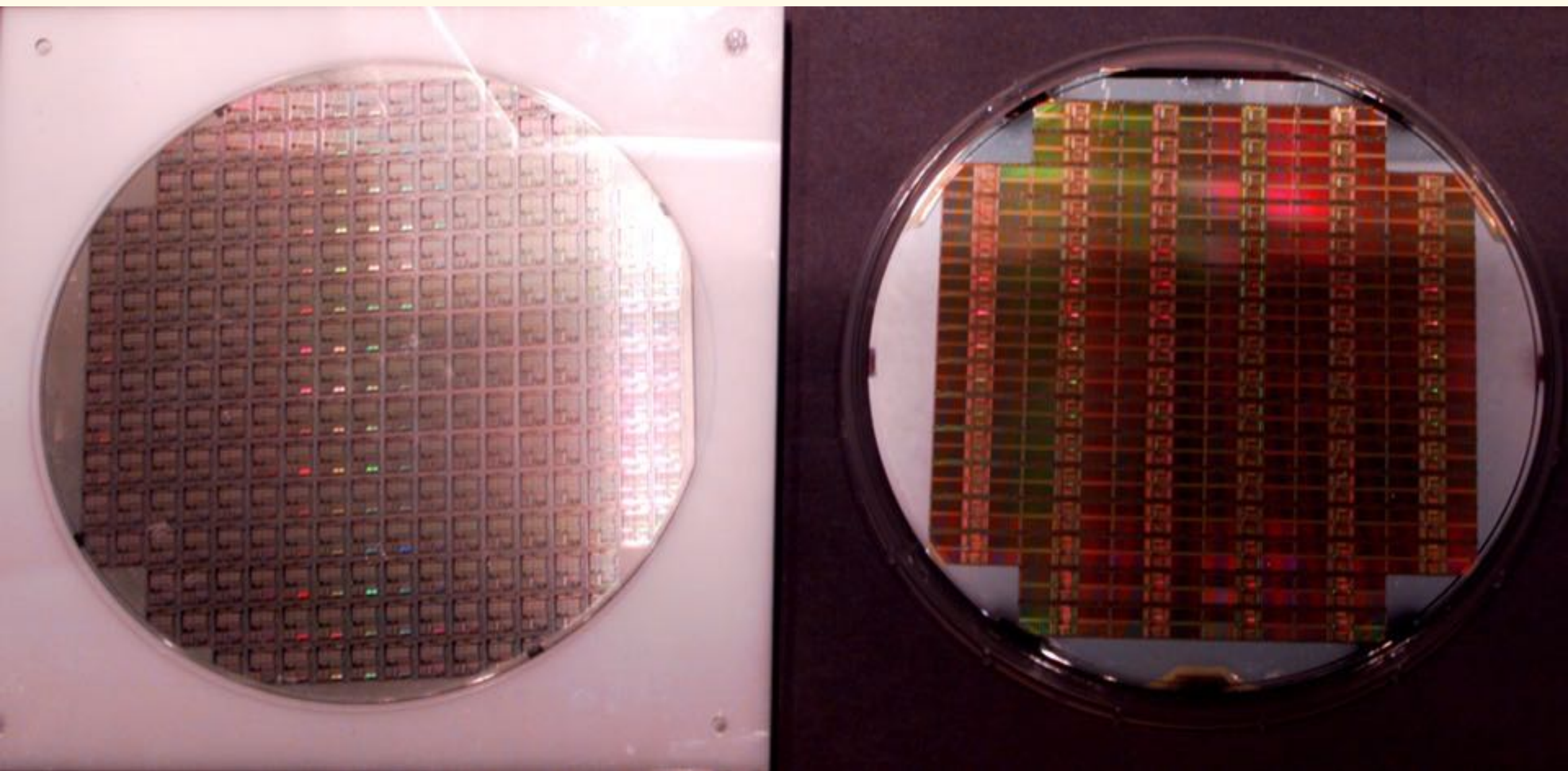


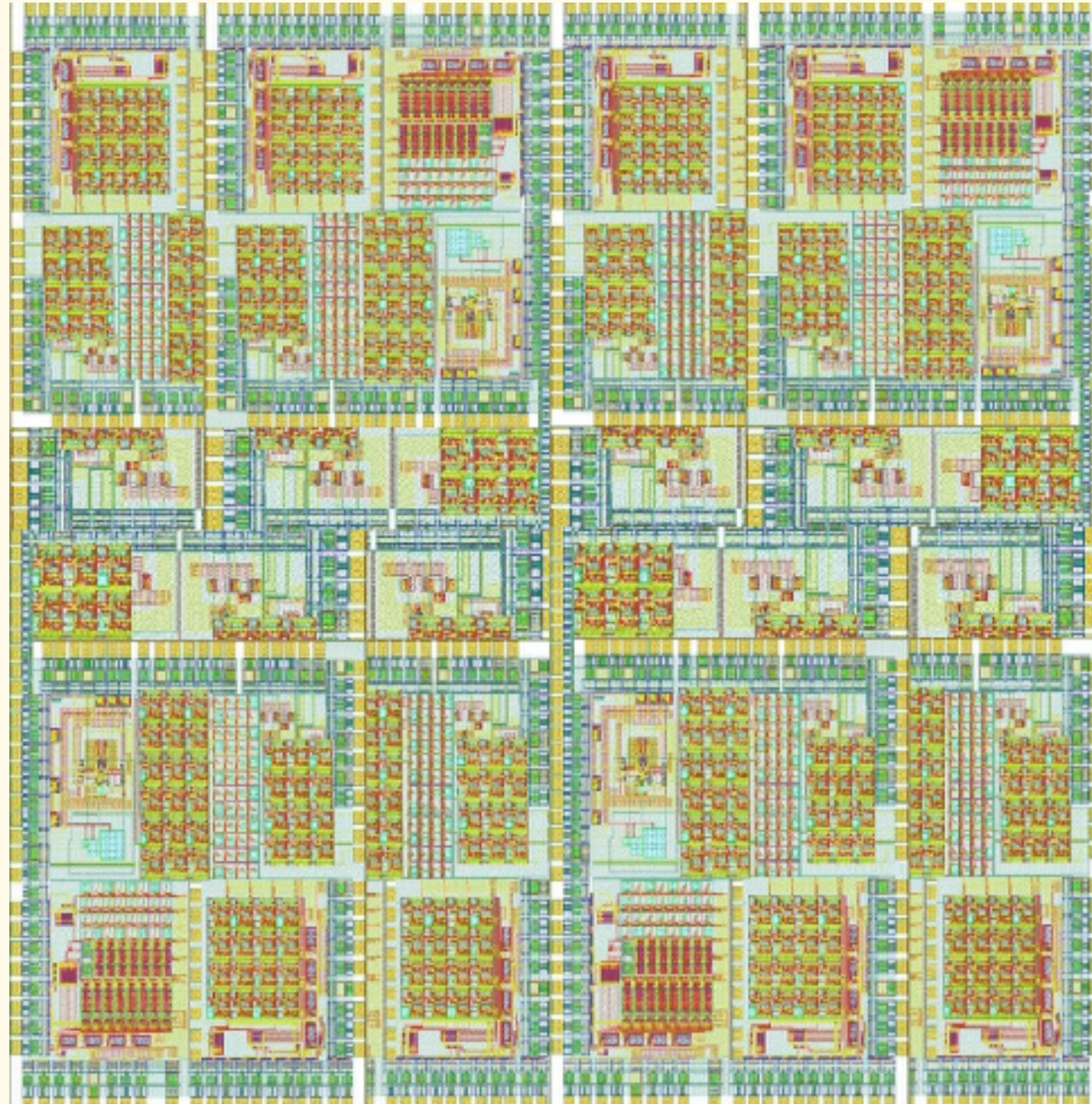
電子工学13

津山工業高等専門学校 情報工学科 講師
電気通信大学 先進理工学科 協力研究員
藤田一寿



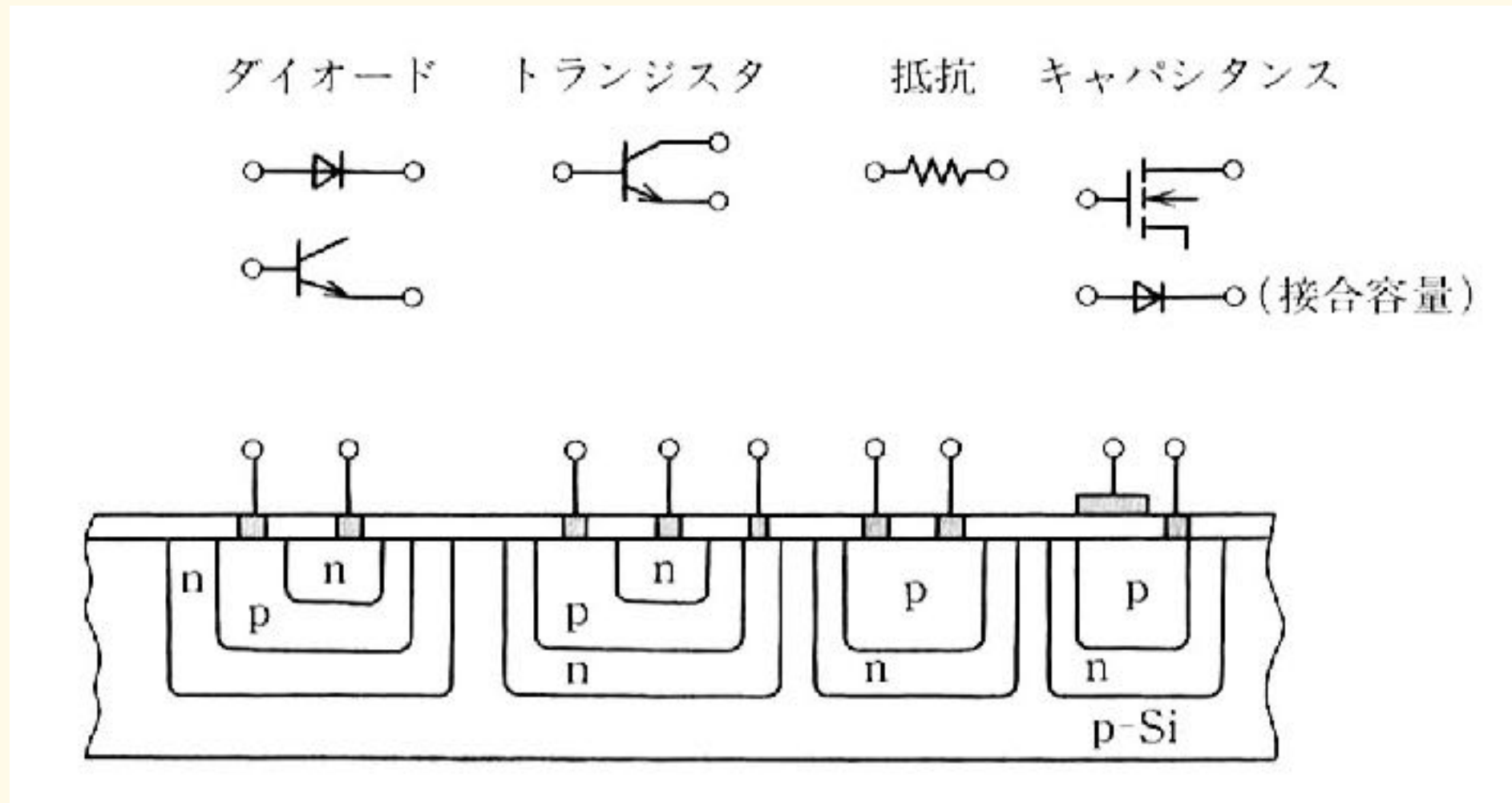
1枚のウェハで何個もICを作ることが可能だが、すべて動くわけではない。

回路の写真



ナノオーダーレベルの細密な構造をしているため、
少しの不良も命取り。

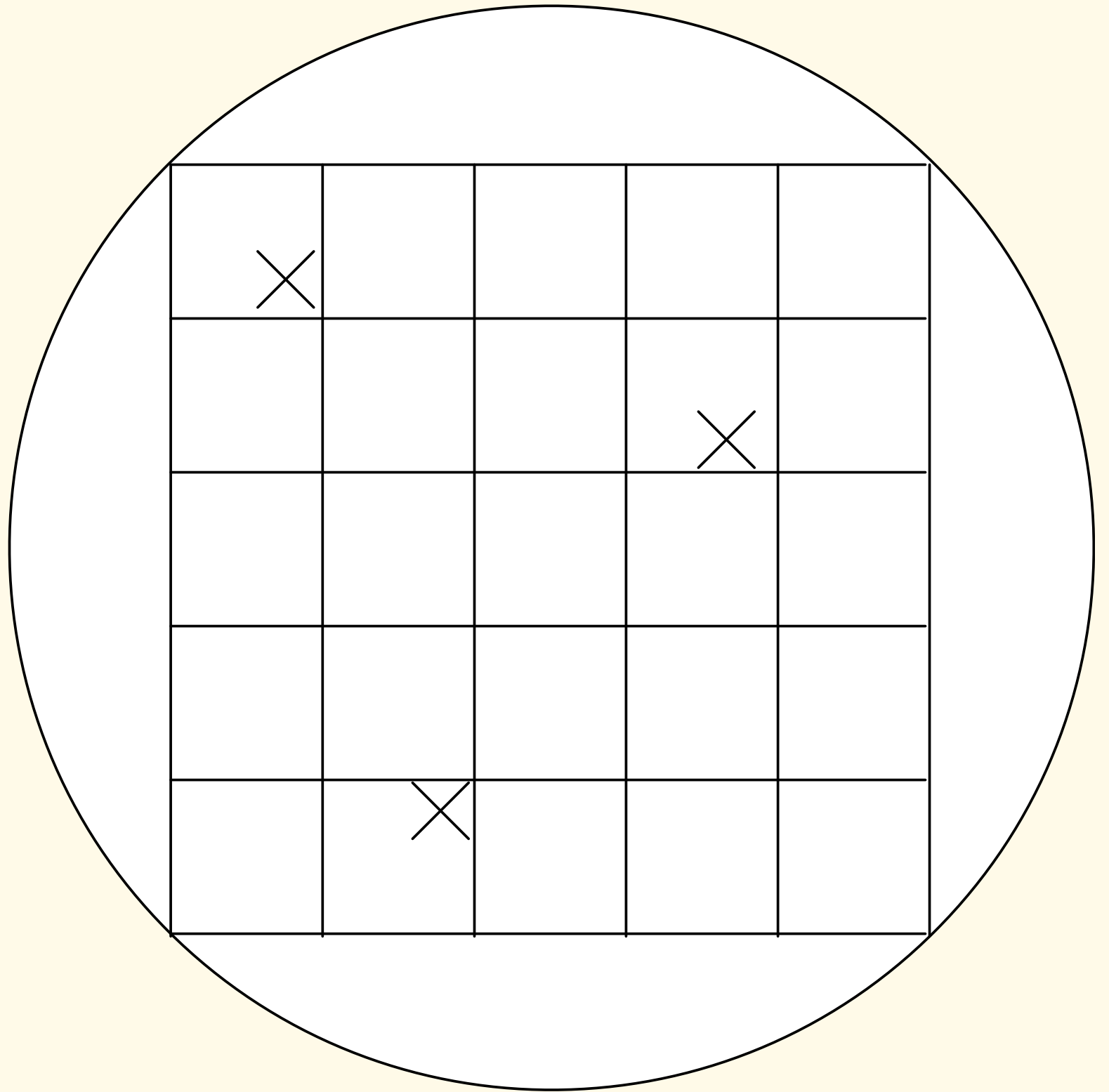
シリコン上での実装



歩留まり

- ▶ 生産ラインの性能を表す指標が必要
- ▶ 不良品率が価格に直接影響
- ▶ 生産されるすべての製品数に対する不良品を取り除いた製品の数の割合
 - ▶ 良品の割合
 - ▶ 高ければ高いほどよい
 - ▶ 歩留まりを上げることが重要

$$\frac{5 \times 5 - 3}{5 \times 5} = 0.88$$



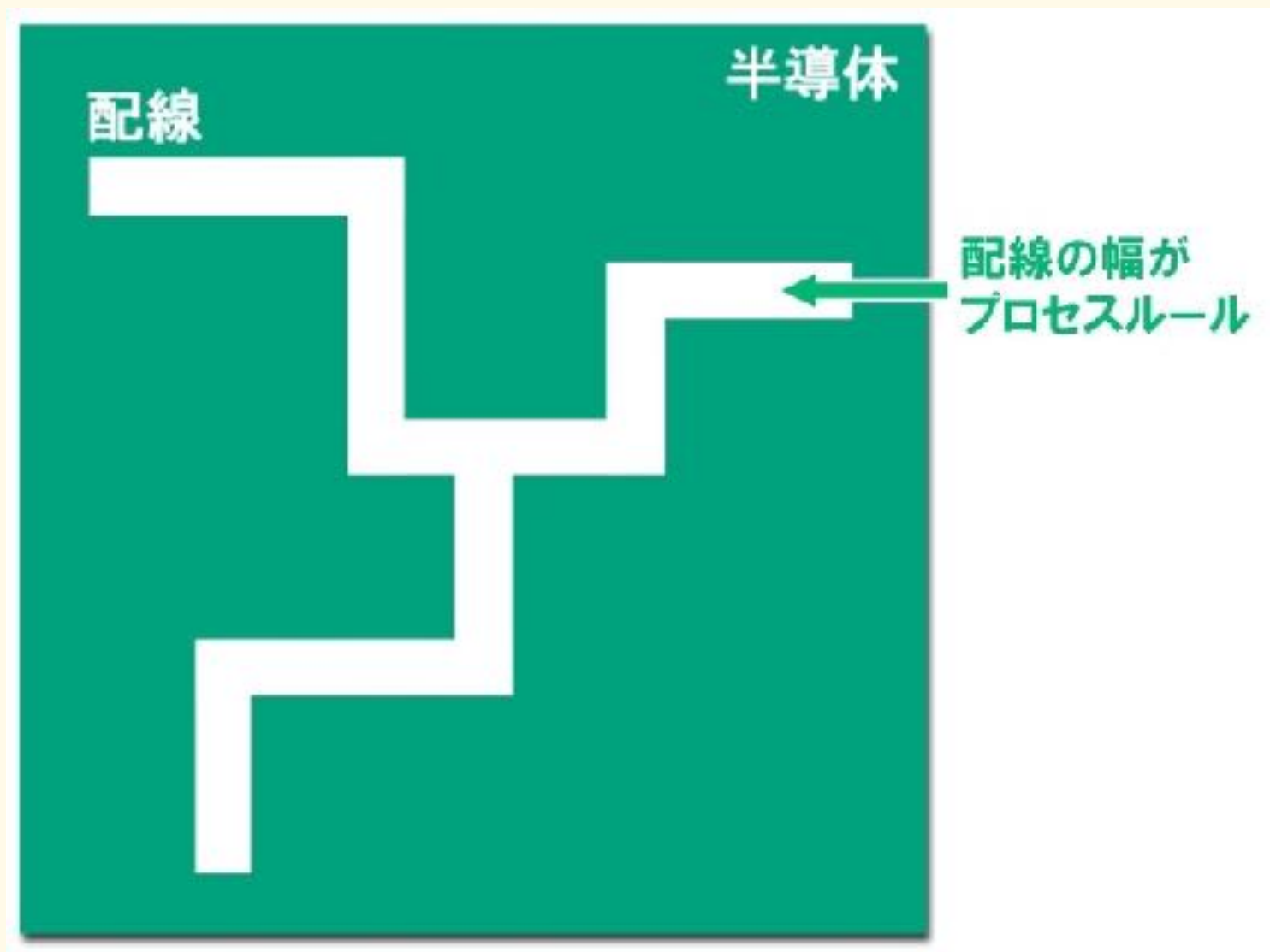
集積度

名称	素子数
SSI (Small Scale IC)	100以下
MSI (Medium Scale IC)	2千以下
LSI (Large Scale IC)	6万以下
VLSI (Very Large Scale	6万以上
ULSI (Ultra Large Scale	200万以上
GSI (Gigantic Scale IC)	600万以上

ICに組み込まれるトランジスタ数の変遷

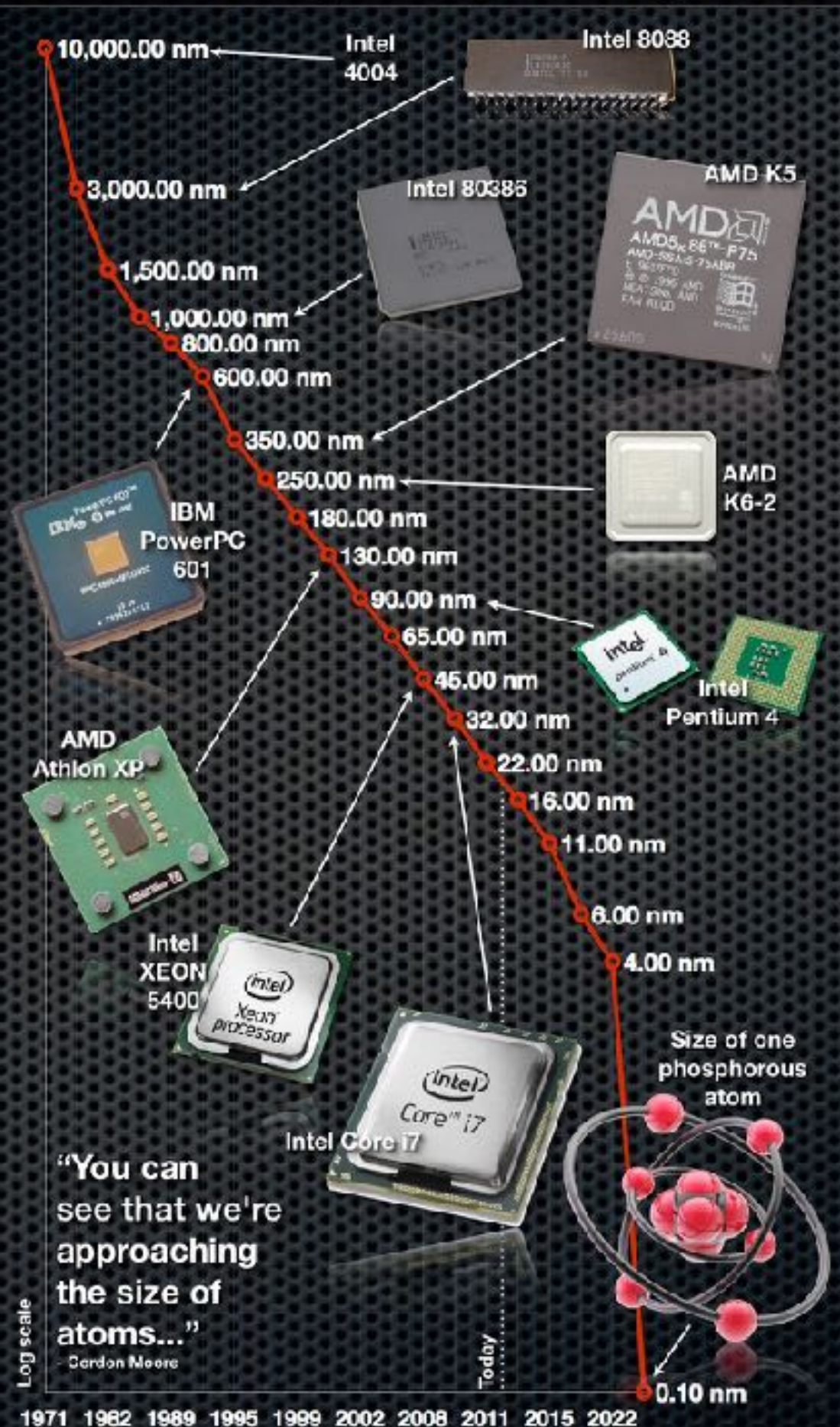
年	CPU	トランジスタの数	プロセス
1971	4004	2300	10 μ m
1985	I386	27万5000	1 μ m
1993	Pentium	310万	0.8-0.25 μ m
1995	Pentium Pro	550万	0.5-0.35 μ m
2000	Pentium4	4300万	0.18 μ -65nm
2006	Core2Duo	2億6100万	65-45nm
2008	Core i7	7億3100万	45-32nm

プロセスルール（最小加工寸法）



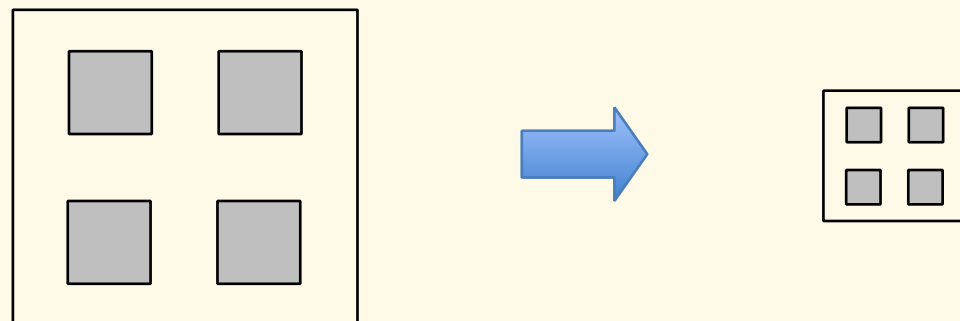
How small can a transistor be?

The evolution of microprocessor manufacturing processes



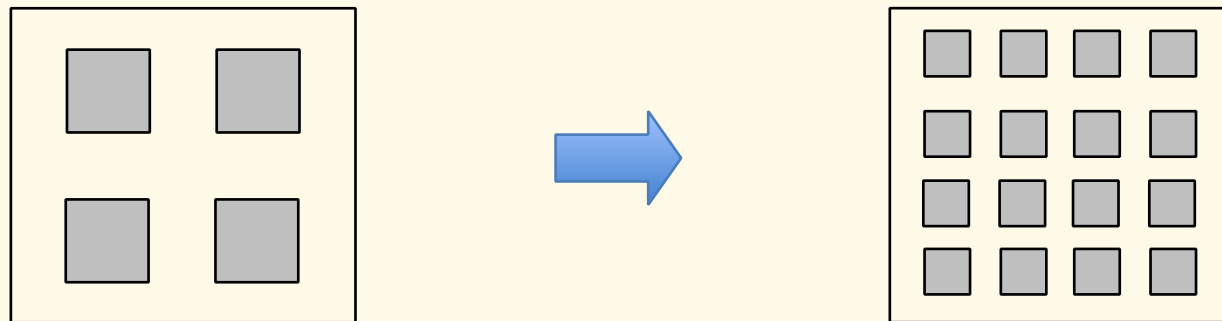
プロセスルールを小さくすると

- ▶ 同じ数の素子ならばダイサイズを小さくできる
 - ▶ シリコンウェハ1枚で作ることのできるICを増やせる
 - ▶ 歩留まりが良くなる
 - ▶ 使う材料が減る
- ▶ 機器を小さくできる

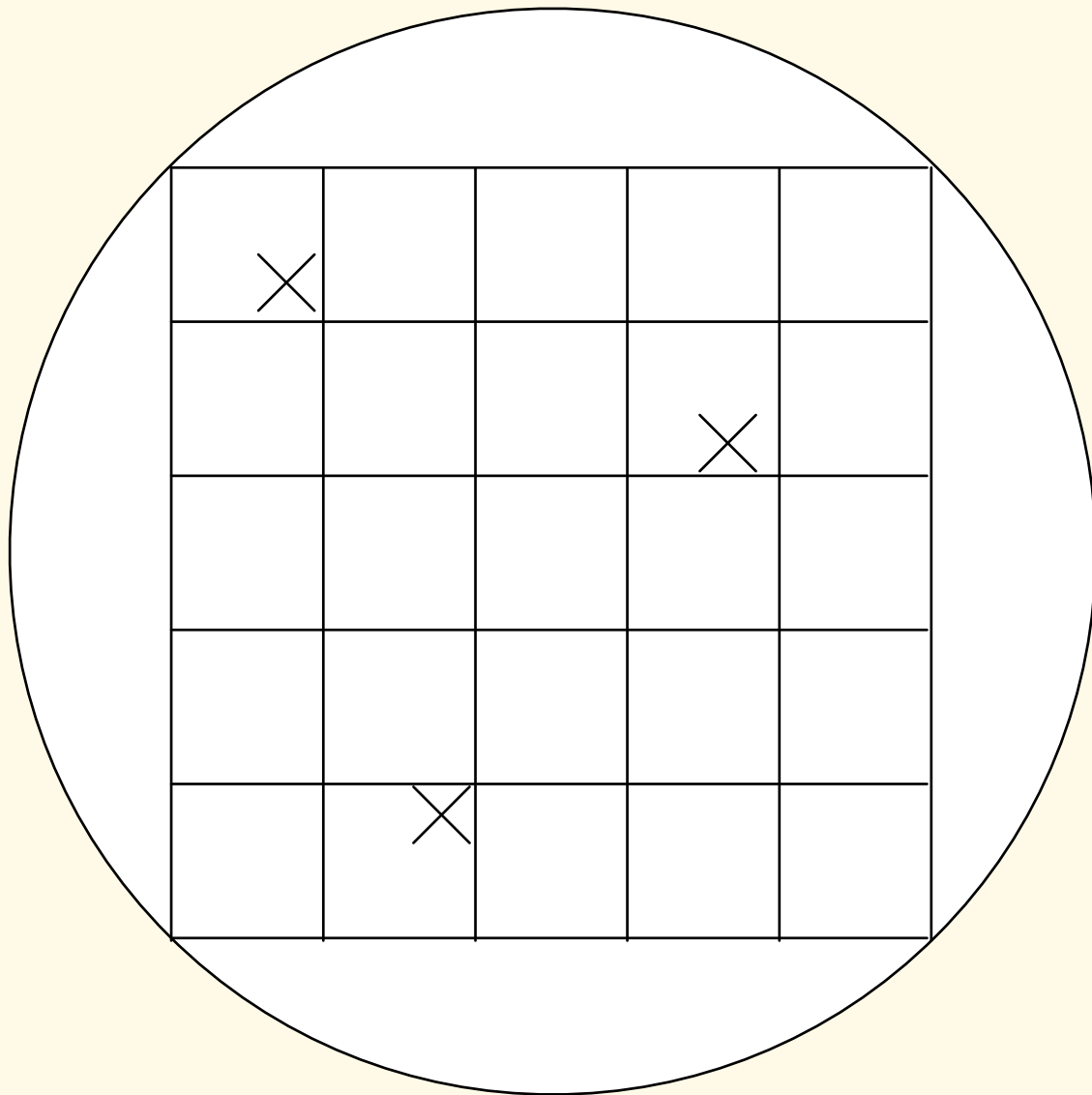


プロセスルールを小さくすると

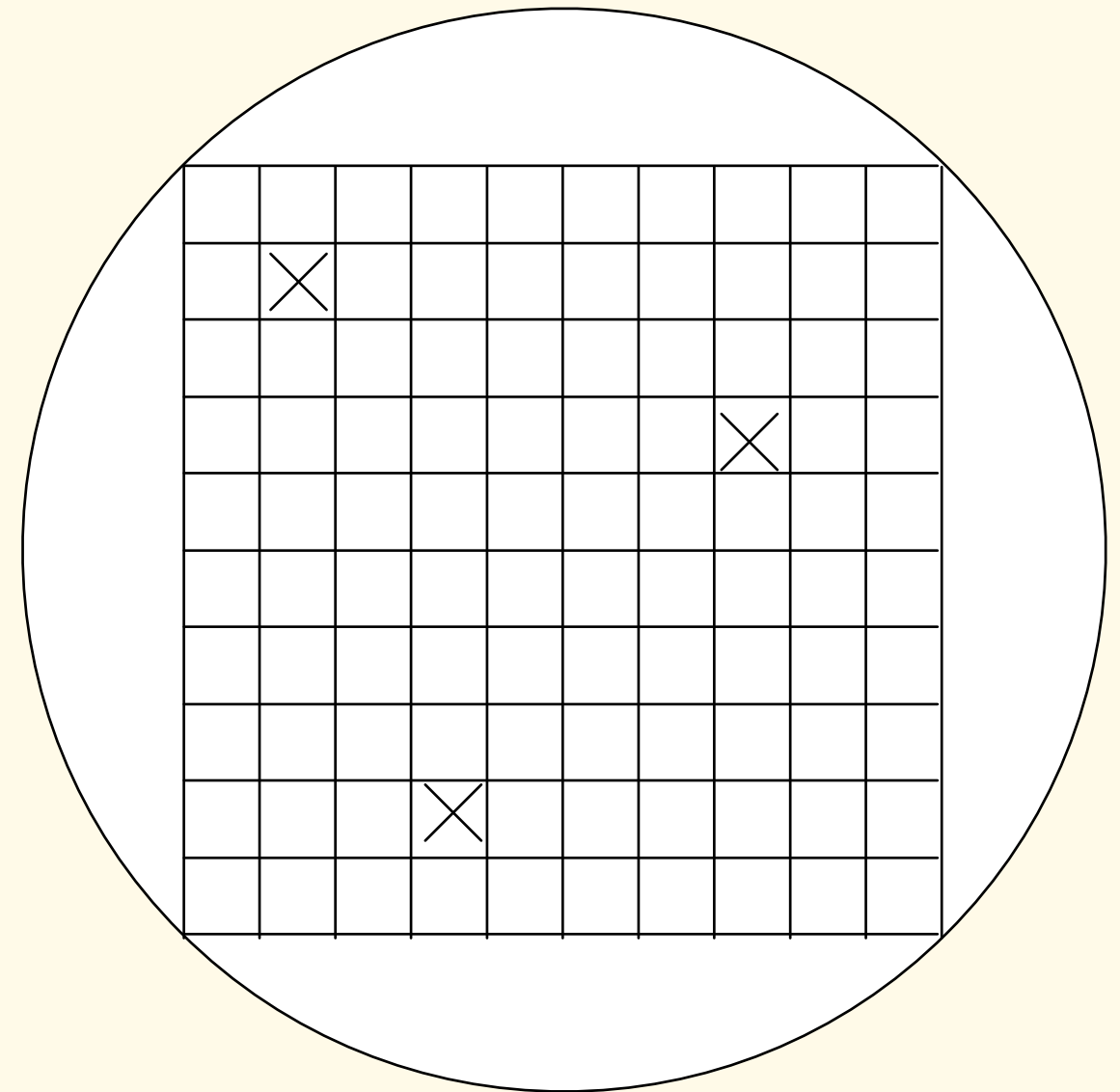
- ▶ 同じ大きさのダイに多くの素子を載せることができる
- ▶ 1つのダイに、沢山の機能を入れられる
- ▶ 同じ大きさでも高機能



ダイサイズを小さくすると



$$\frac{5 \times 5 - 3}{5 \times 5} = 0.88$$

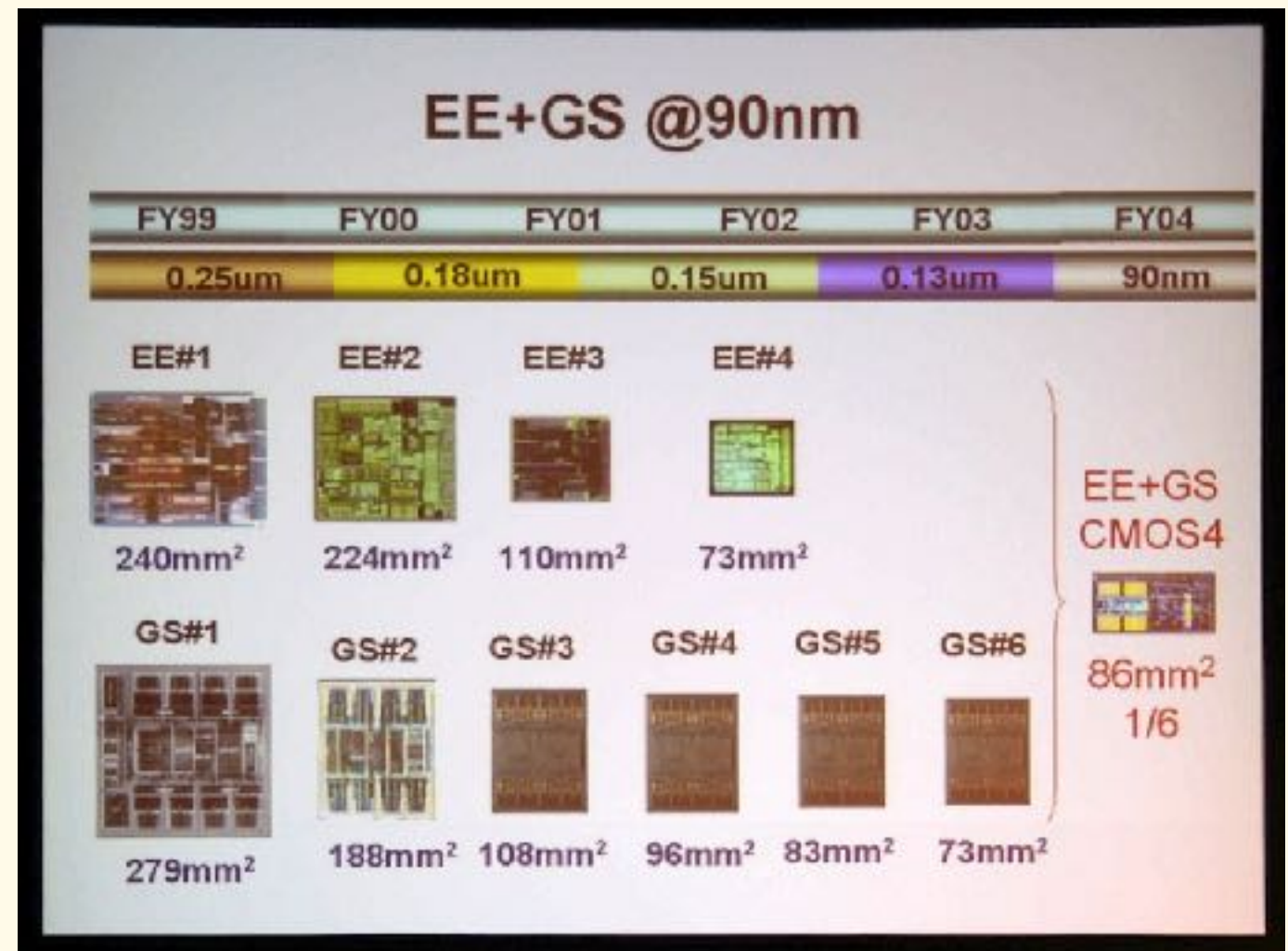


$$\frac{10 \times 10 - 3}{10 \times 10} = 0.97$$

同じ不良があるウェハでも、ダイを小さくし多くICをつくると歩留まりは良くなる。

ICを小さくすることは、歩留まりの点でも重要

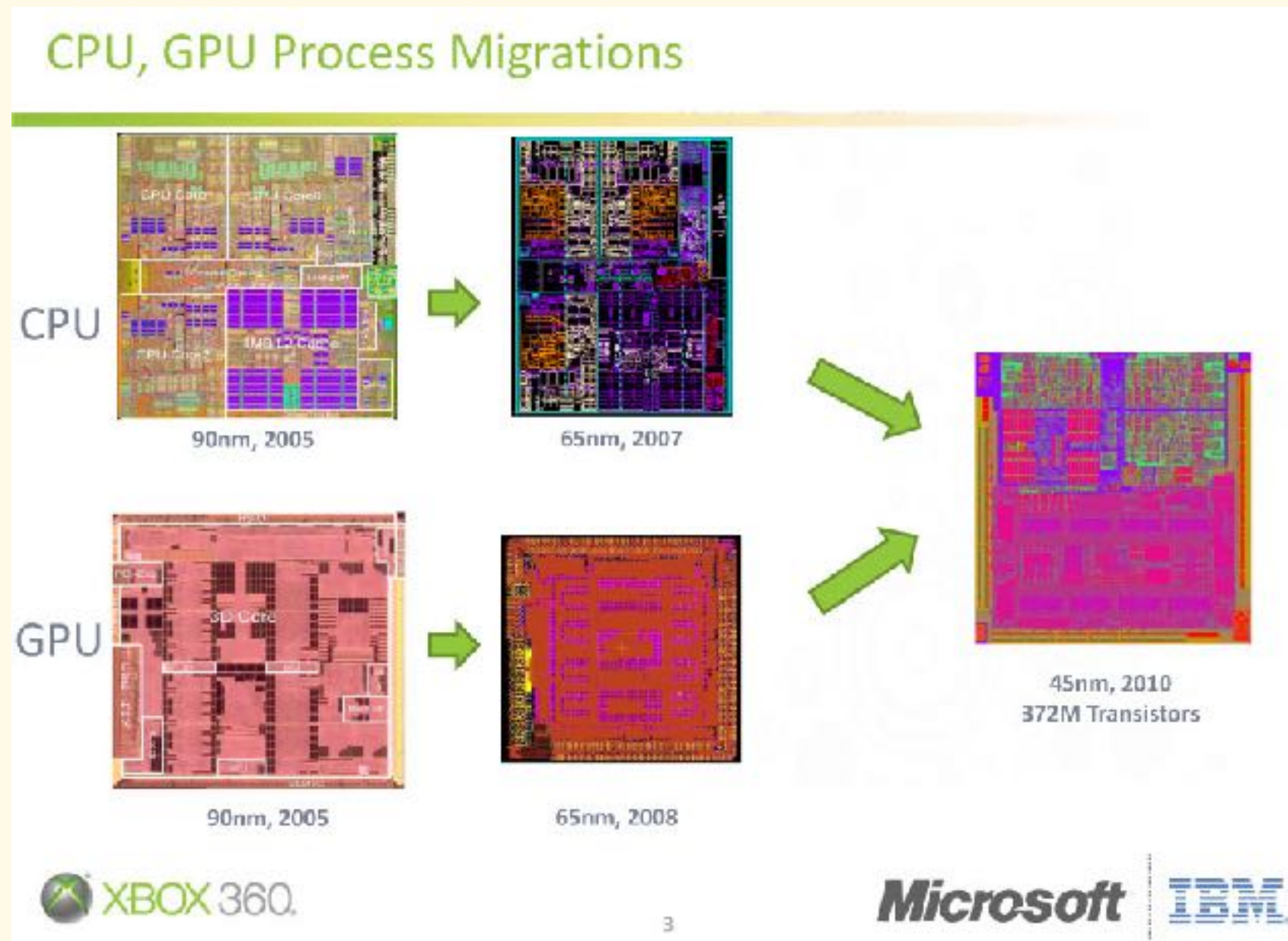
シュリンク



Impressより

シュリンクによりコスト削減を行う。

System on a chip (SOC)

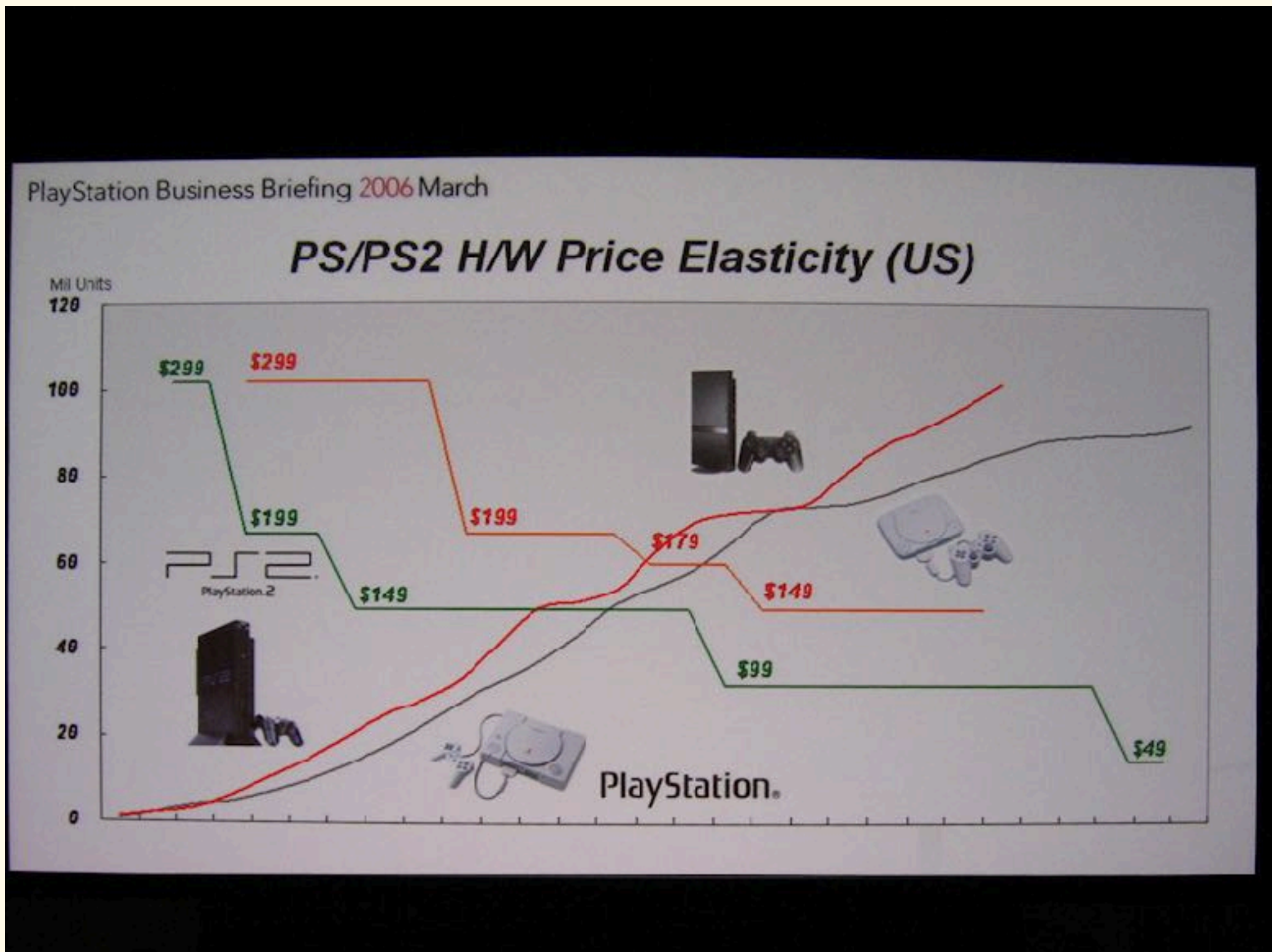


複数のチップに分かれていた機能を一つのチップに収める

ゲーム機は逆ざやで売る

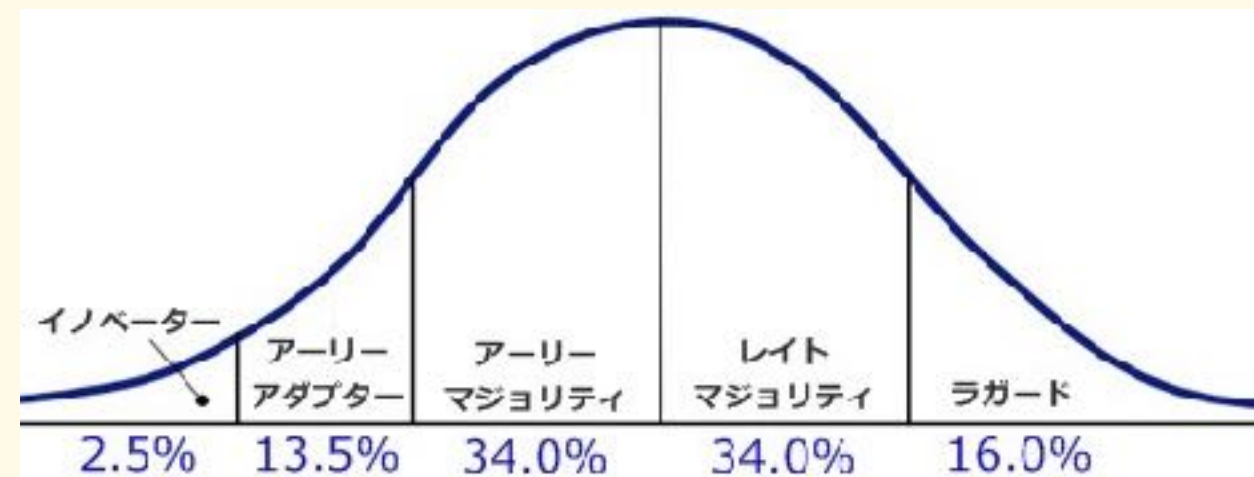
- ▶ 逆ざや
 - ▶ 原価(買値)が売値より高い
 - ▶ 要するに原価割れ
- ▶ ゲーム機販売はローンチ時逆ざやになっている場合が多い
 - ▶ 製造原価より販売価格のほうが安い

ゲーム機の販売価格



なぜローンチ時のゲーム機販売は逆ざやを生じさせているのか

- ▶ 高いと売れない
 - ▶ 赤字覚悟でアーリーアダプターを取り込む
- ▶ ソフト販売で回収
 - ▶ 普及させればさせるほどソフトでの収益が上がる
- ▶ 技術革新でコスト削減が見込めるため、後々黒字化できる(ムーアの法則)



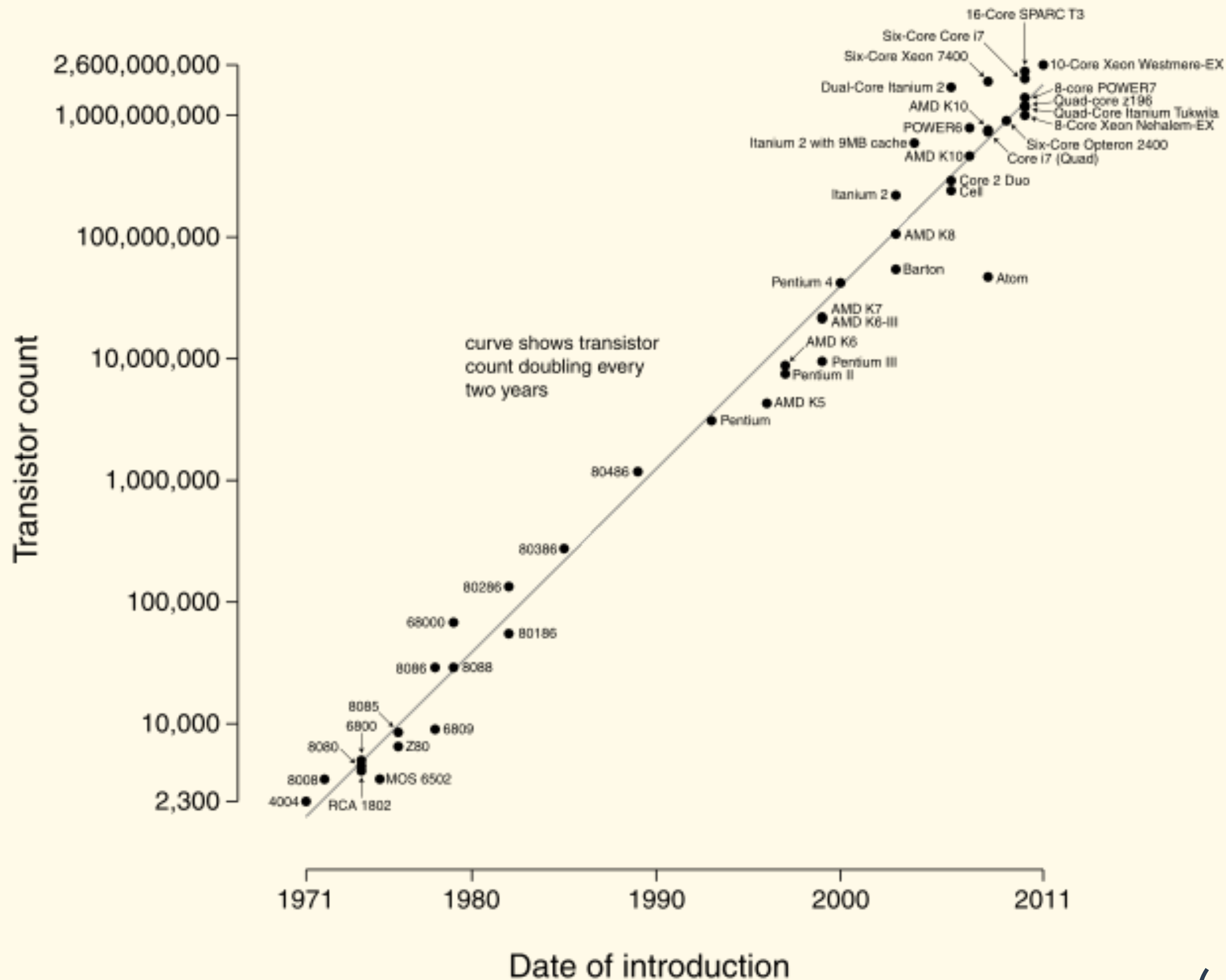
そうも行かない事情

- ▶ 近年のハードはハードディスクが搭載されている
 - ▶ ハードディスクはシュリンクできない
 - ▶ 原価が下がらない
 - ▶ PSやPS 2のように安くならない

ムーアの法則

- ▶ 1965年Intelの設立者の一人ゴードン・ムーアが提唱した経験則
- ▶ 半導体の集積度は18ヶ月から24ヶ月で2倍になる

Microprocessor Transistor Counts 1971-2011 & Moore's Law



(wikipedia)

ムーアの法則の限界

- ▶ リーク電流
 - ▶ 消費電力の増加
 - ▶ 回路が小さくなるとトンネル効果が起きやすくなる
- ▶ 露光精度
 - ▶ 半導体上に回路を作る際、光で回路を印刷する。その光の波長が大きいと小さな回路を作ることができない。

垂直統合と水平分業

- ▶ 垂直統合
 - ▶ 各企業が製品の開発、製造のすべての段階を統合的に担う
- ▶ 水平分業
 - ▶ 製品の開発、製造工程毎に専門の会社があり、それらがその工程を行う。

垂直統合

水平分業

A社

アプリ

OS

組立

部品

設計

販売

B社

アプリ

OS

組立

部品

設計

販売

アプリ

Apple, マイクロソフト,
Adobe

OS

Apple, マイクロソフト

組立

Foxconn, Compal,
Quanta

部品

INTEL, AMD, ASUS

設計

Apple, DELL, ASUS

販売

Apple, DELL, ASUS

垂直統合型のモバイルビジネスを取り巻く環境が変わりつつある

水平分業型の固定通信

インターネット

メール、IP電話、ビデオストリーミング、音楽、ポータル など

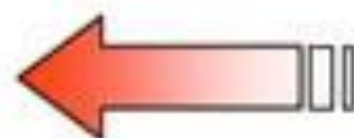
認証、課金、決済、顧客管理、セキュリティ、NW運用など

PSTN

ADSL

FTTH

電話、Fax、PC、PDA



アプリケーション
コンテンツ

プラットフォーム

ネットワーク

デバイス

垂直統合型のモバイル

ASPサービス

ISPサービス

モバイルネットワーク

モバイル端末

ファブレス

- ▶ 工場を持たない会社
 - ▶ Apple
 - ▶ AMD
 - ▶ nVidia
 - ▶ Qualcomm
 - ▶ Broadcom

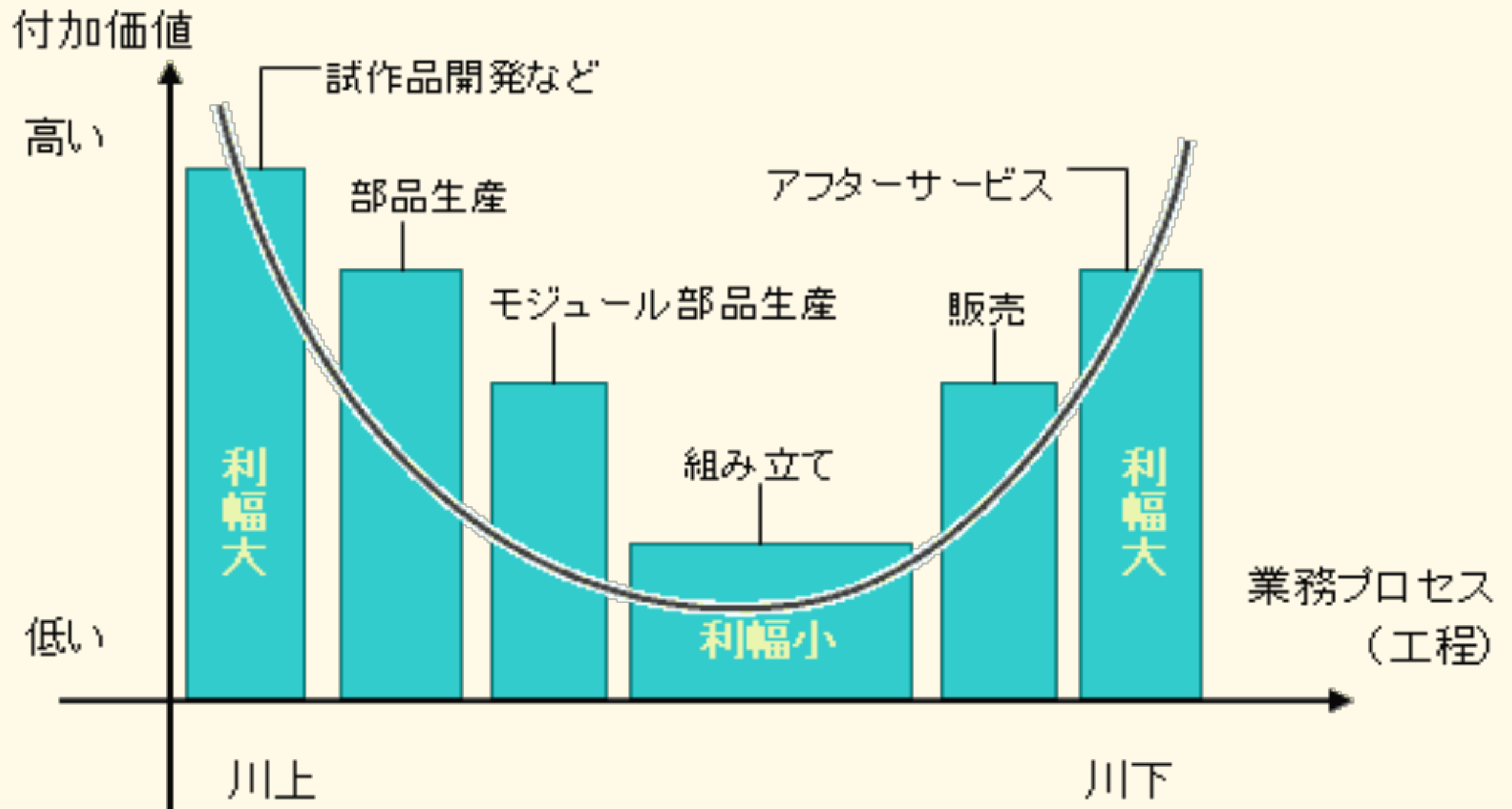
ファブ(ファウンドリ)

- ▶ IC製造を専門に行う会社
 - ▶ TMCS (台湾)
 - ▶ UMC (台湾)
 - ▶ Global Foundries (アメリカ)
 - ▶ Samsung (韓国)

EMS(Electric Manufacturing Service)

- ▶ 製品生産を受託するサービス
 - ▶ OEM(Original Equipment Manufacture)
 - ▶ 生産のみを任せる
 - ▶ ODM(Original Design Manufacture)
 - ▶ 設計から任せる
 - ▶ Amazon Kindle
 - ▶ Google Nexus

工程ごとの収益性(スマイルカーブ)



- ▶ 企画、設計、サービスは収益性は高い
- ▶ 素材も収益性は良い
- ▶ 製造は収益性は低い
 - ▶ 生産量の安定が重要
 - ▶ 生産設備のランニングコストと人件費をどう
ペイするかが問題

利点（ファブレス側）

- ▶ 生産施設を持った場合、その施設のイニシャルコストおよびランニングコスト、労働者の給料を回収する必要があるが、施設を持っていなければそれらのコストを考える必要がなくなる。
- ▶ 生産施設のコストを回収できるかどうかは生産量にかかってくるが、生産量が安定するかどうかはわからない。
- ▶ 特にIC製造の設備は高価なため、設備投資が難しい。
- ▶ 生産リソースを柔軟に調達できる。

欠点（ファブレス側）

- ▶ 力がない企業だとファブに主導権が行く
 - ▶ ファブの都合で仕様が決まる
 - ▶ 生産リソースの自由がきかない
- ▶ 生産技術と製品の性能が直結する場合、生産技術を他社に依存することになる。
- ▶ 情報および技術の漏えい
- ▶ 生産技術の蓄積ができない

ファンドリ視点

- ▶ 製造技術のみにリソースを割くことができ、製造技術を高められる
- ▶ 製造機器メーカーとの共同研究も盛ん
- ▶ 高いレベルの製品を安く提供できる

では企業はどうすべきか

- ▶ ブランド、企画、流通に特化
 - ▶ Apple、Amazon、Dell
- ▶ 素材、部品に特化
 - ▶ 旭硝子、オムロン、信越
- ▶ 組立に特化
 - ▶ Foxconn、Compal、Quanta
- ▶ 自社ですべてやる
 - ▶ Intel

水平分業から垂直統合へ

- ▶ 垂直統合から水平分業へ行き、更に水平分業から垂直統合へ
- ▶ OEMからODMへ、さらに製品の企画、マーケティングまでEMSが行うようになっている。
- ▶ ASUSやAcerのように、元々部品メーカーだったものが自社ブランドで完成品を売るようになる。



Google map

SILICON valley



シリコンバレーの歴史

- ▶ 1885年 スタンフォード大学
- ▶ 1939年 Hewlett-Packard
- ▶ WWII 軍事関連産業
- ▶ ターマン先生, 工業団地を作る
 - ▶ スタンフォード リサーチ パーク
- ▶ 1956年 ショックレー研究所設立
 - ▶ リサーチパーク1号
- ▶ 1957年 Fairchild (商用集積回路を実現)
- ▶ 1968年 Intel

Hewlett-Packard

- ▶ 1939年スタンフォード大学（ターマン先生）の支援を得て、HewlettとPacherdがシリコンバレーで会社を設立
 - ▶ 電子機器の開発製造
 - ▶ ガレージはシリコンバレーの聖地



ショックレーとシリコンバレー

- ▶ ショックレー半導体研究所はどこにあった
 - ▶ シリコンバレー
 - ▶ ショックレーの実家があった
- ▶ ショックレーから離れていった人たちがシリコンバレーで起業
 - ▶ さらにそこをやめた人がシリコンバレーで起業
 - ▶ さらに…

産業の変遷

- ▶ 軍需産業
- ▶ 半導体産業
- ▶ パソコン産業
- ▶ インターネット産業

集積することの効果

- ▶ いろいろな人が集まる
- ▶ 敵が身近にいる
- ▶ 少し移動するだけでビジネスの商談ができる
- ▶ 同業者が集まると、1社ダメでも他の会社に相談できる.
- ▶ とりあえずシリコンバレーに行こう

産業クラスタの手本？