



デバイスを一つ一つ製造する超小型 半導体生産システム・ ミニマルファブの開発と今後の展望

平成30年度 産業技術連携推進会議 製造プロセス部会
第2回 IoT ものづくり分科会

1 Nov., 2018

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 首席研究員 原 史朗
ミニマルファブ推進機構 ファブシステム研究会 代表

共著: 池田 伸一, 来見田 淳也, 石田 夕起, 前川 仁, クンパアン ソマワン

- ☑ 大量生産は、中国・発展途上国マター。
- ☑ 先進国は、**高付加価値の多品種少量ビジネス**。
- ☑ 少量生産は生産性が低く、工業製品製造
ビジネスとして極めて成立しにくい。
 - さあ、どうするか？
 - 産業の米：デバイスについて考える。

(1) 巨大投資

1600chips

2020?

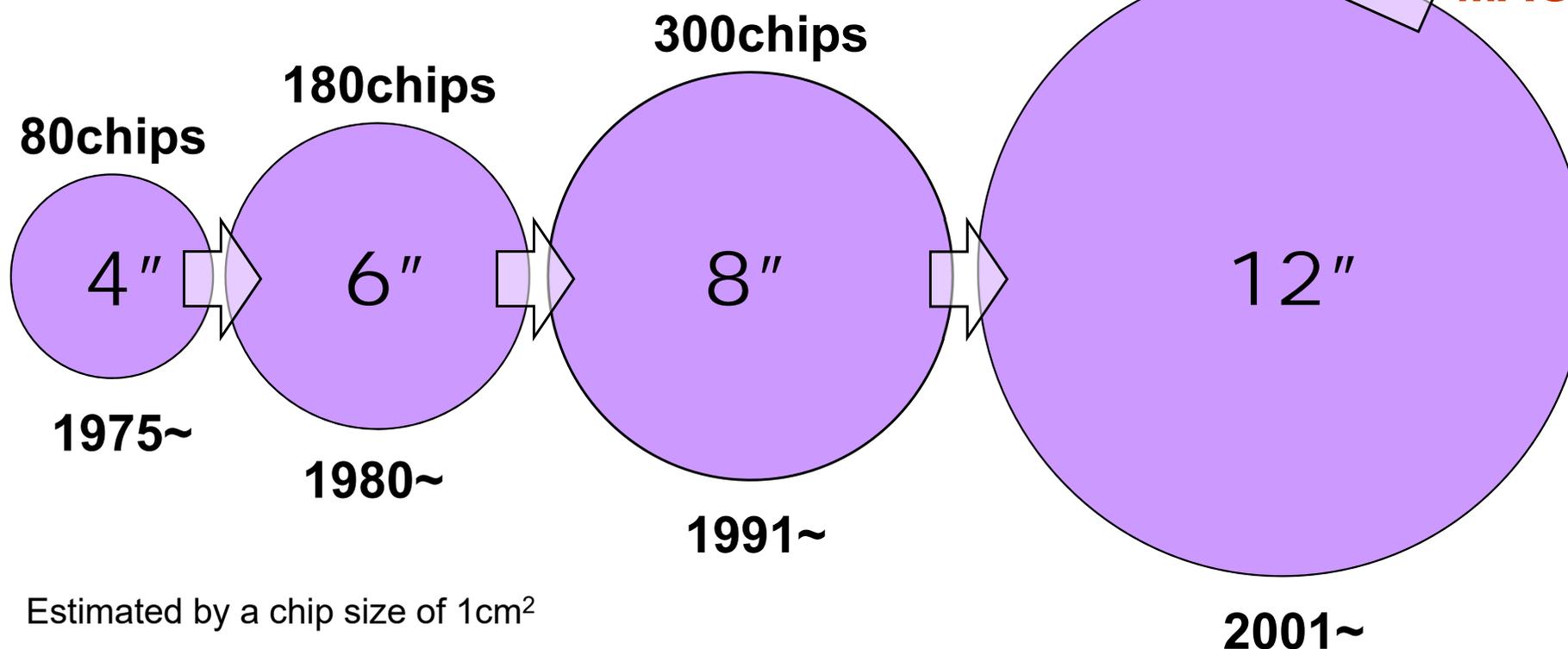
(2) メガシステムに内在する膨大なムダ

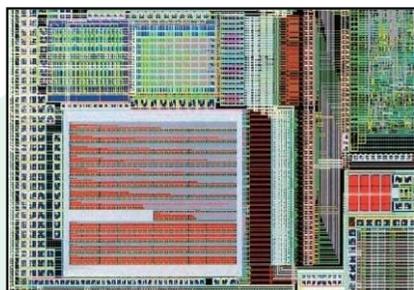
18"

(3) 産業応用への死の谷

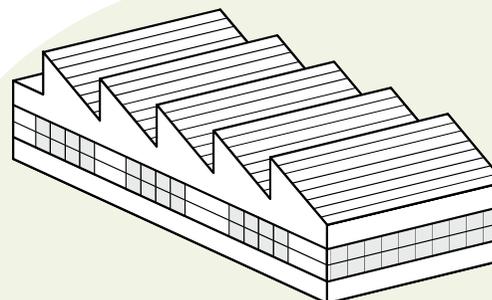
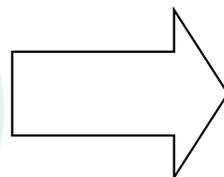
700chips

MAGA-trend





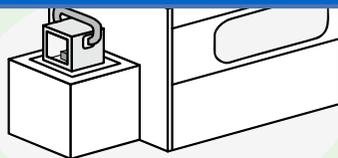
設計検証コストが
9割のムダ



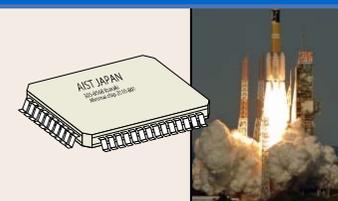
稼働率1~5割のムダ

これらのムダは工場を巨大化することで肥大化した。

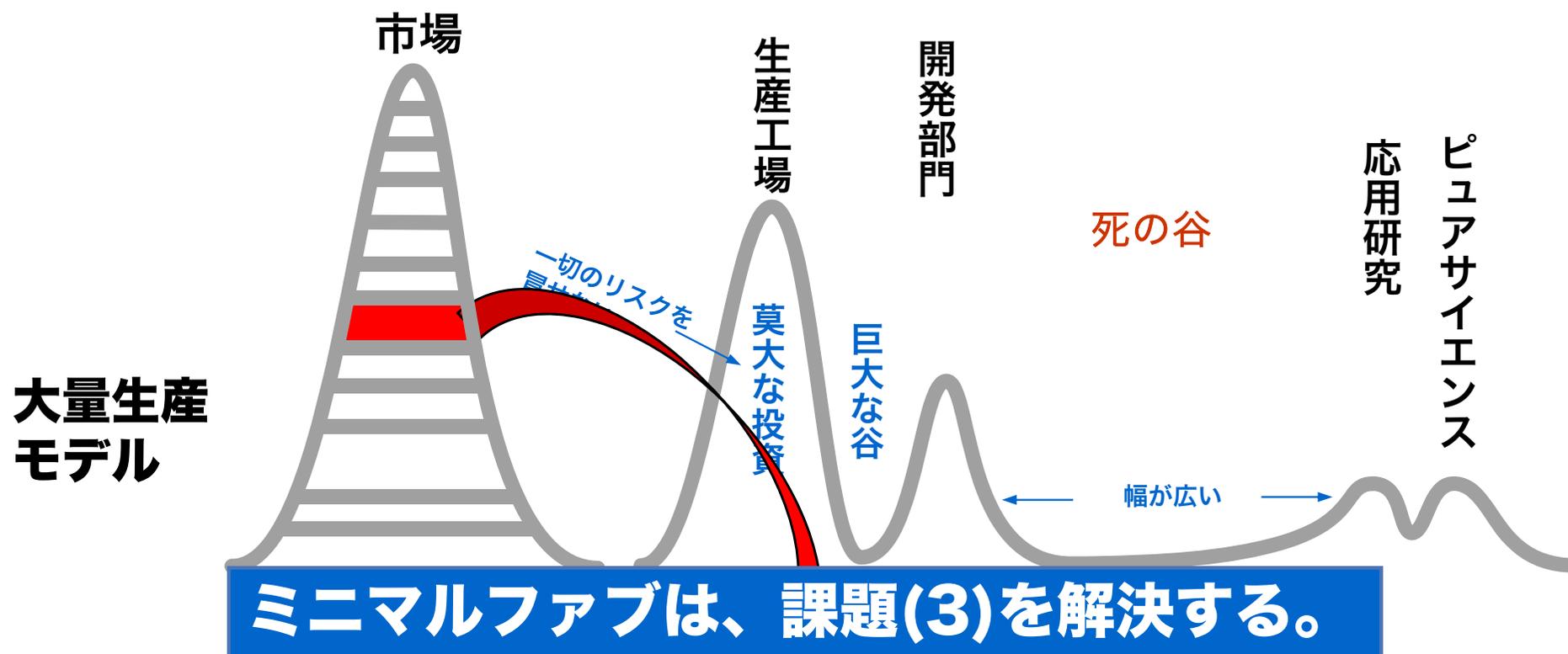
課題(2)を解決するには、工場を小さくすれば良い。



製造装置コストの
7~8割がソフト検証のムダ



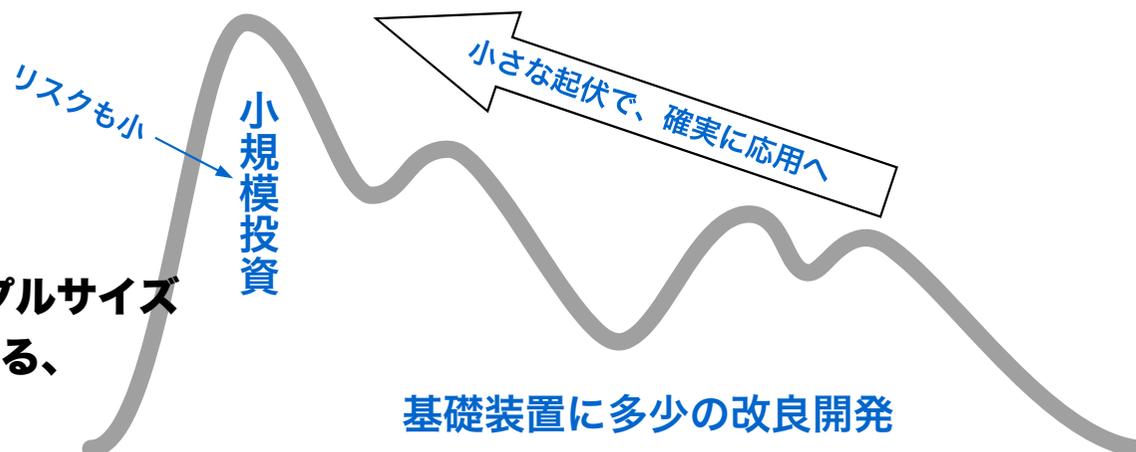
ユーザ利用率0.1~10%
“捨てられるムダ”



ミニマル生産モデル

研究システム = 生産システム

- (1) 生産サイズ = 研究者のサンプルサイズ
- (2) 局所クリーン化搬送技術による、
超高品質管理



デバイス工場では、

1日あたりの仕掛かり在庫の「種類」

→ ~ 1,000 種類/日

1種類/日が理想。

∴ 1/1,000規模の工場が
ユーザニーズに最も適した規模である。

この1/1,000のファブが、「ミニマルファブ」。

ミニマルファブの基本条件 1プロセス = 1分

1月の生産チップ数

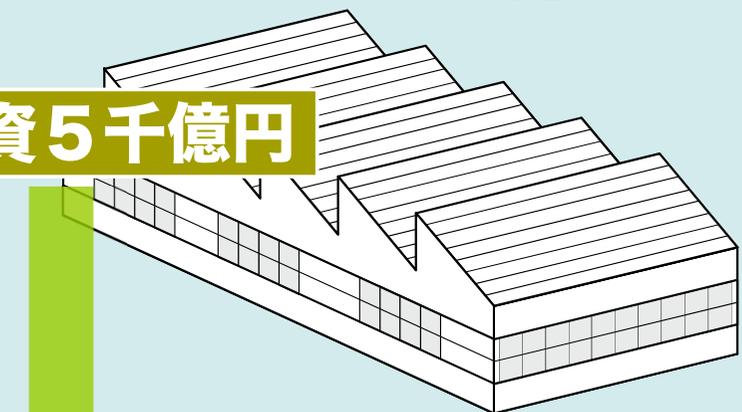
= 1分 x 60分 x 24時間 x 30日

= 43,200チップ

- おおよそ月産4万枚。
- 生涯生産個数10万個までのチップを2月程度で生産。

既存メガファブ

投資5千億円



200m

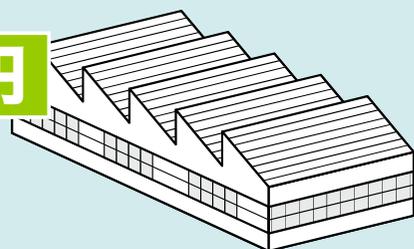


ウェハ 12"

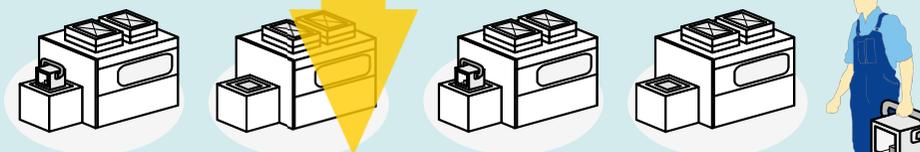
2m

ミニマルファブ

投資5億円



10m

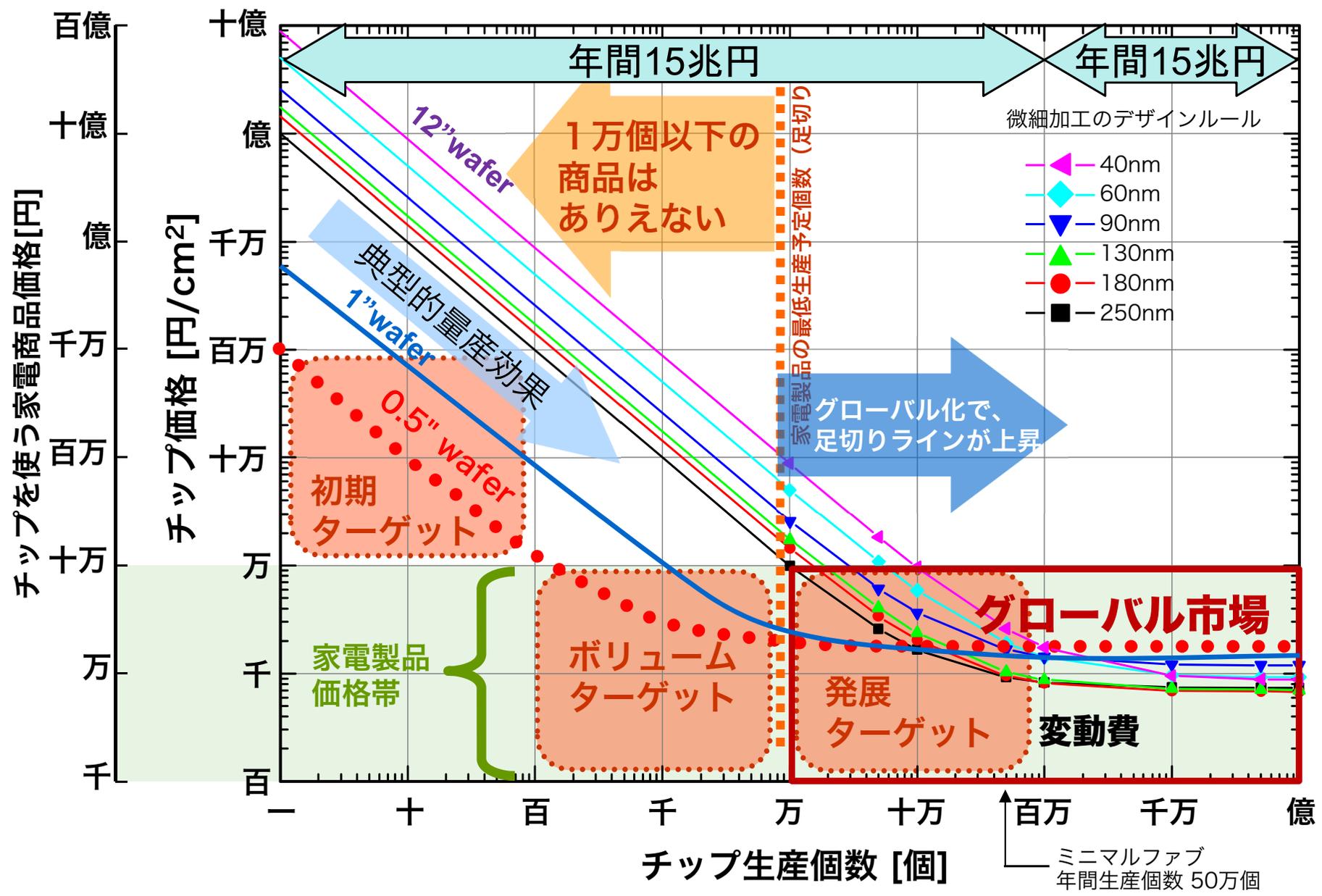


ウェハ 0.5"

0.3m

クリーンルーム不要

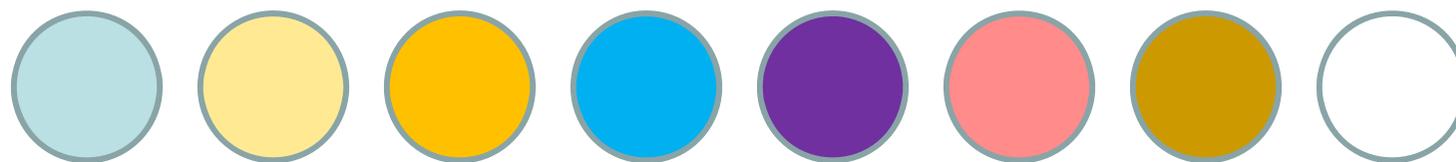
10 グローバルマーケットの原理とミニマルデバイスターゲット





ミニマルファブの開発と技術

**多品種少量市場は
儲からない。**



共通化・標準化が必須。

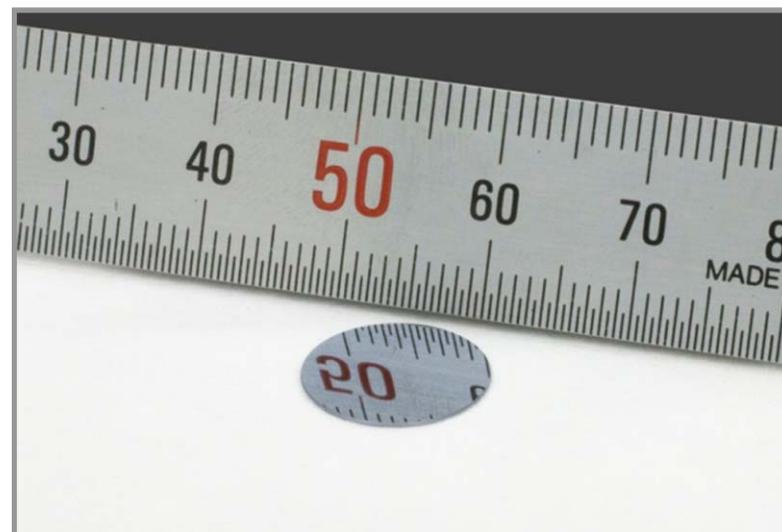


ミナル装置

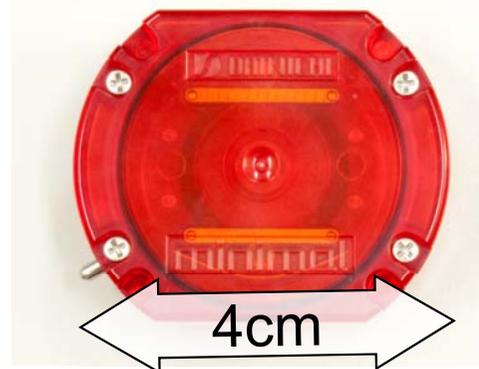


GOOD DESIGN AWARD 2014
未来づくりデザイン賞

ハーフインチウェハ φ12.5mm



ミナルシャトル

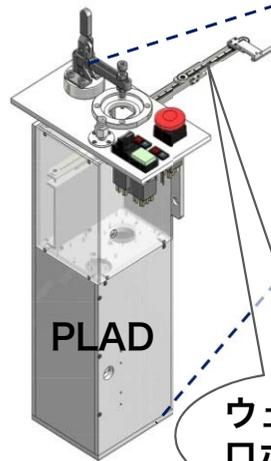


標準化：搬送系の統一

0.5"ウェハ搬送
ミニマルシャトル



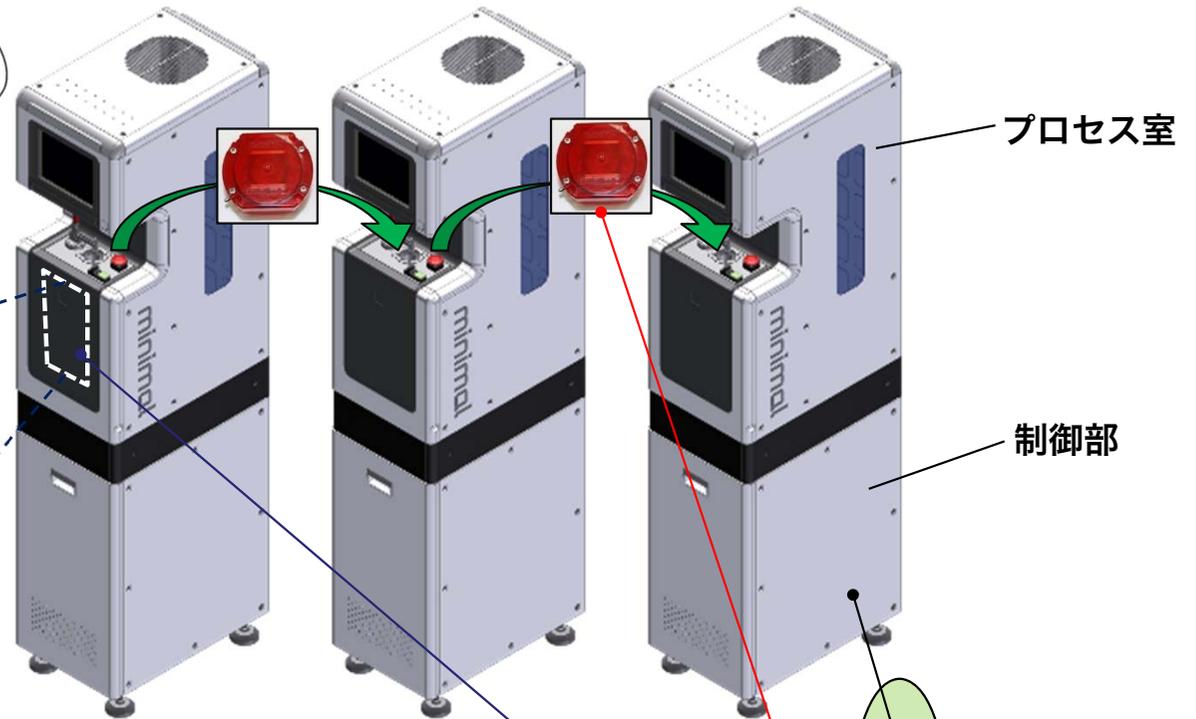
前室システム



ウェハ搬送
ロボット

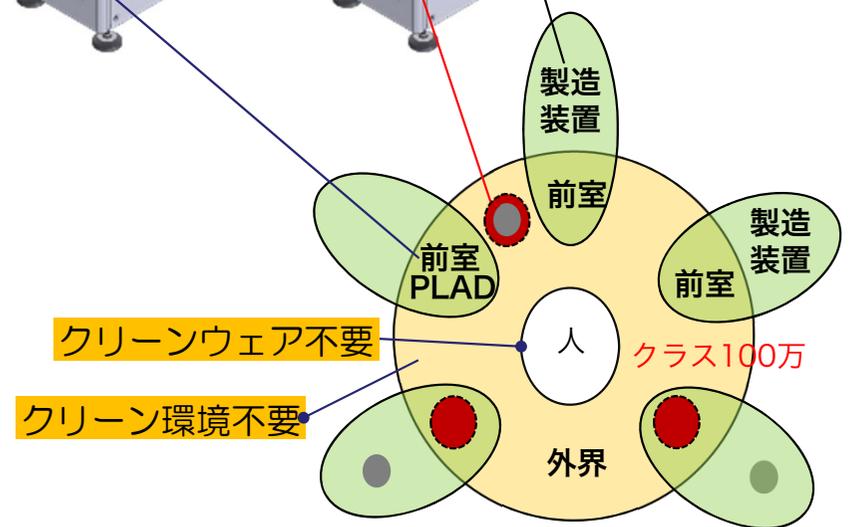
**PLAD: Particle Lock
Air-tight Docking**

微粒子とガス分子を同時遮断する
局所クリーン化前室システム



プロセス室

制御部



クリーンウェア不要

クリーン環境不要

クラス100万

ユーザー
インターフェース

統一は世界初

プロセス情報の
暗号化対応

世界初



世界最先端仕様

機器制御システム

- Windows10 embedded
- RealtimeOS
- PLCopen
- 最新Atom chip
- タッチパネル+PLC一体型
- EtherCAT

暗号化

- 製造情報
(回路設計, プロセス)
の暗号化

認証

- ロゴの発行
- ファブシステム研究会
という組織
- 「minimal®」商標
「ミニマル®」商標
- ミニマルプロダクト認証



ブランド

- 高いデザイン性
- ミニマルファブ構想という
21世紀型メッセージ性



GOOD DESIGN AWARD 2014
未来づくりデザイン賞

デファクト標準

- 搬送系の規格化
- ウェハの規格化
- 装置筐体の規格化
- 制御システム・UIの規格化
- 工場システムの規格化

知財

国内出願68件
基本特許登録済

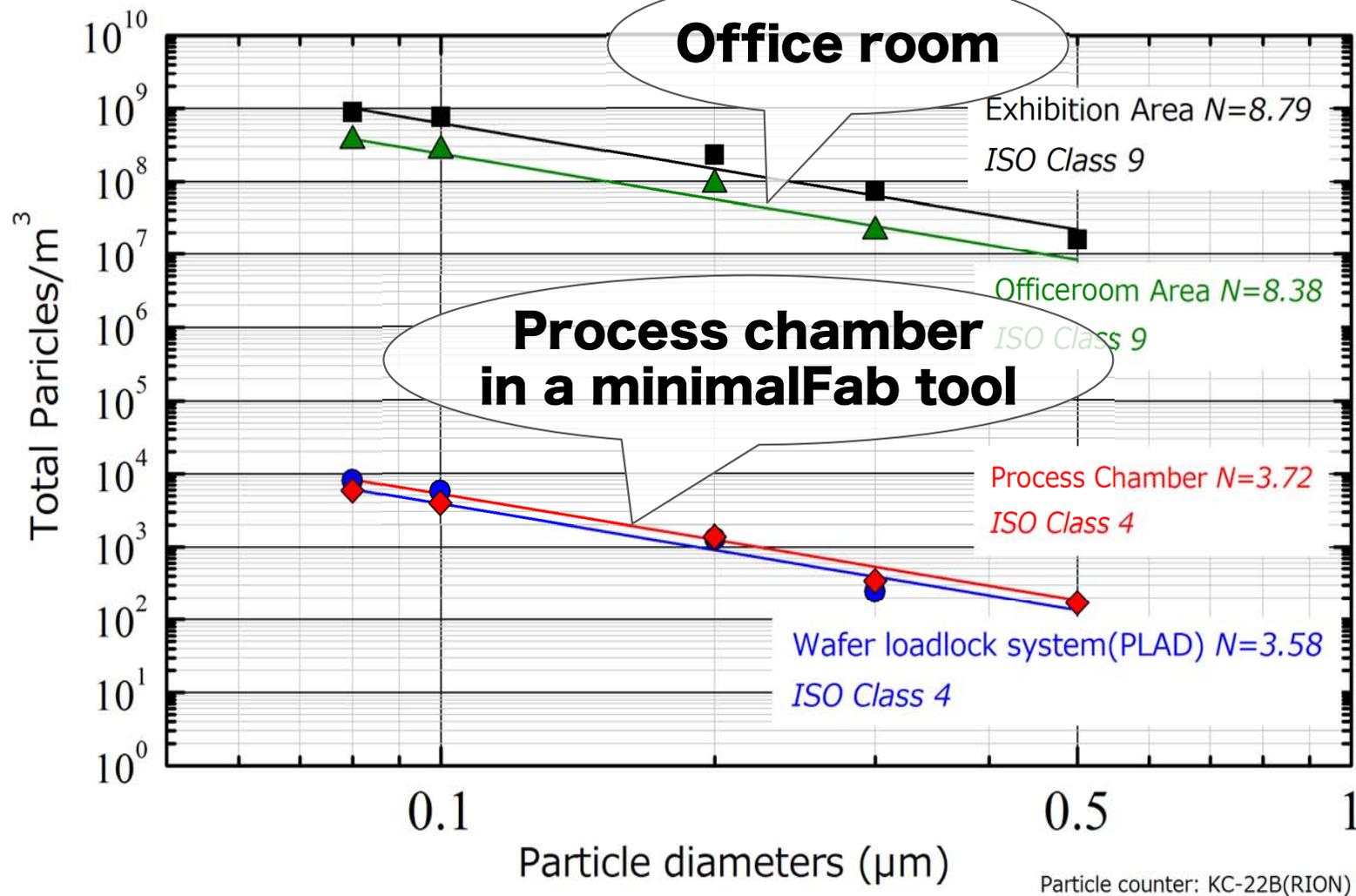
- ミニチュア搬送系コア技術
- クリーンルーム不要・
局所クリーン化技術
- 工場システム管理技術
- 装置毎の知財

1. 日本で生み出す
2. 日本の得意な小型化技術開発＋包括戦略
3. 世界へ

Measured Clean level of the system

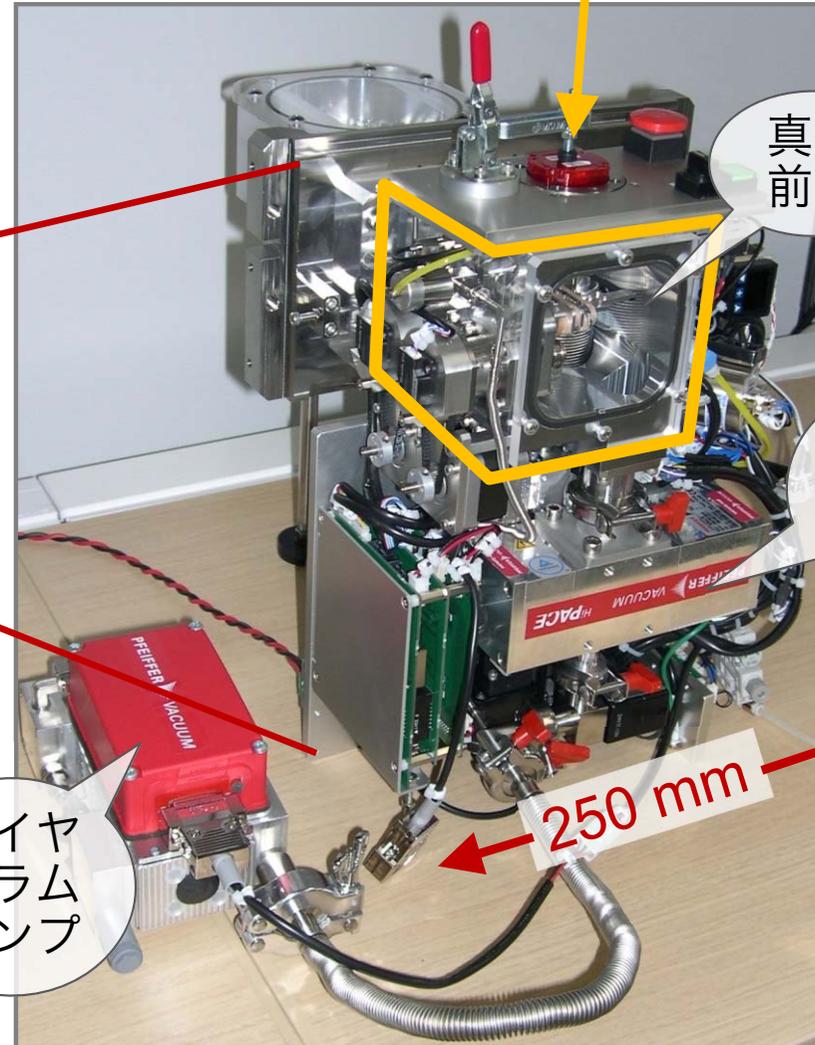


Particle number data of minimal system and environment



Particle counter: KC-22B(RION)

真空対応ローディング室 vacPLAD



シャトルを
ドッキング

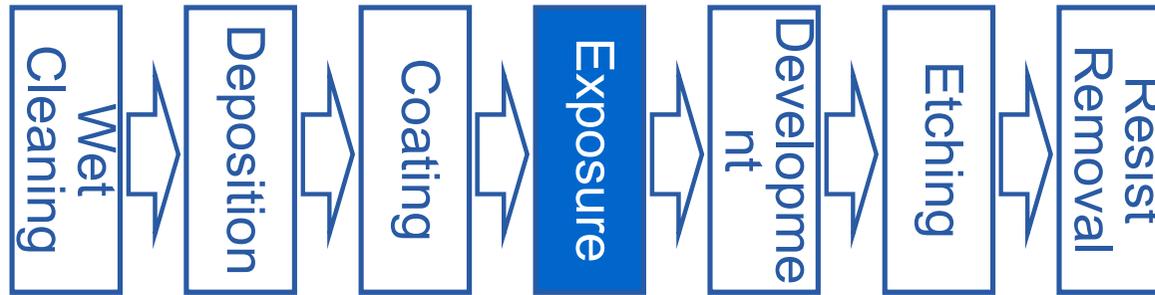
真空
前室

ダイヤ
フラム
ポンプ

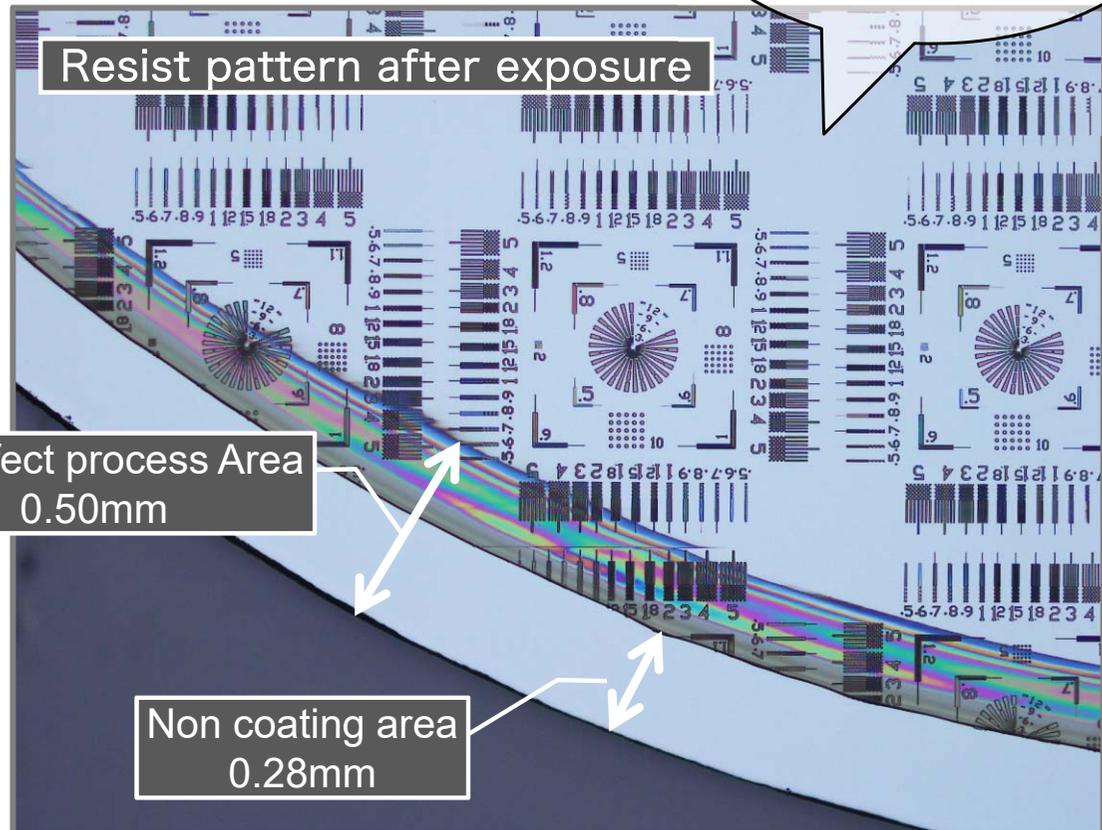
ダイヤ
フラム
ポンプ

250 mm

Mask-less DLP Exposure



No particle without clean room.

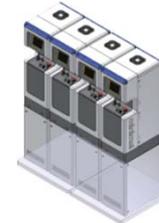


We have to develop:

[1] Materials, Parts, Modules



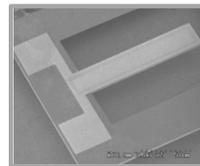
[2] Process equipment



[3] Process technologies



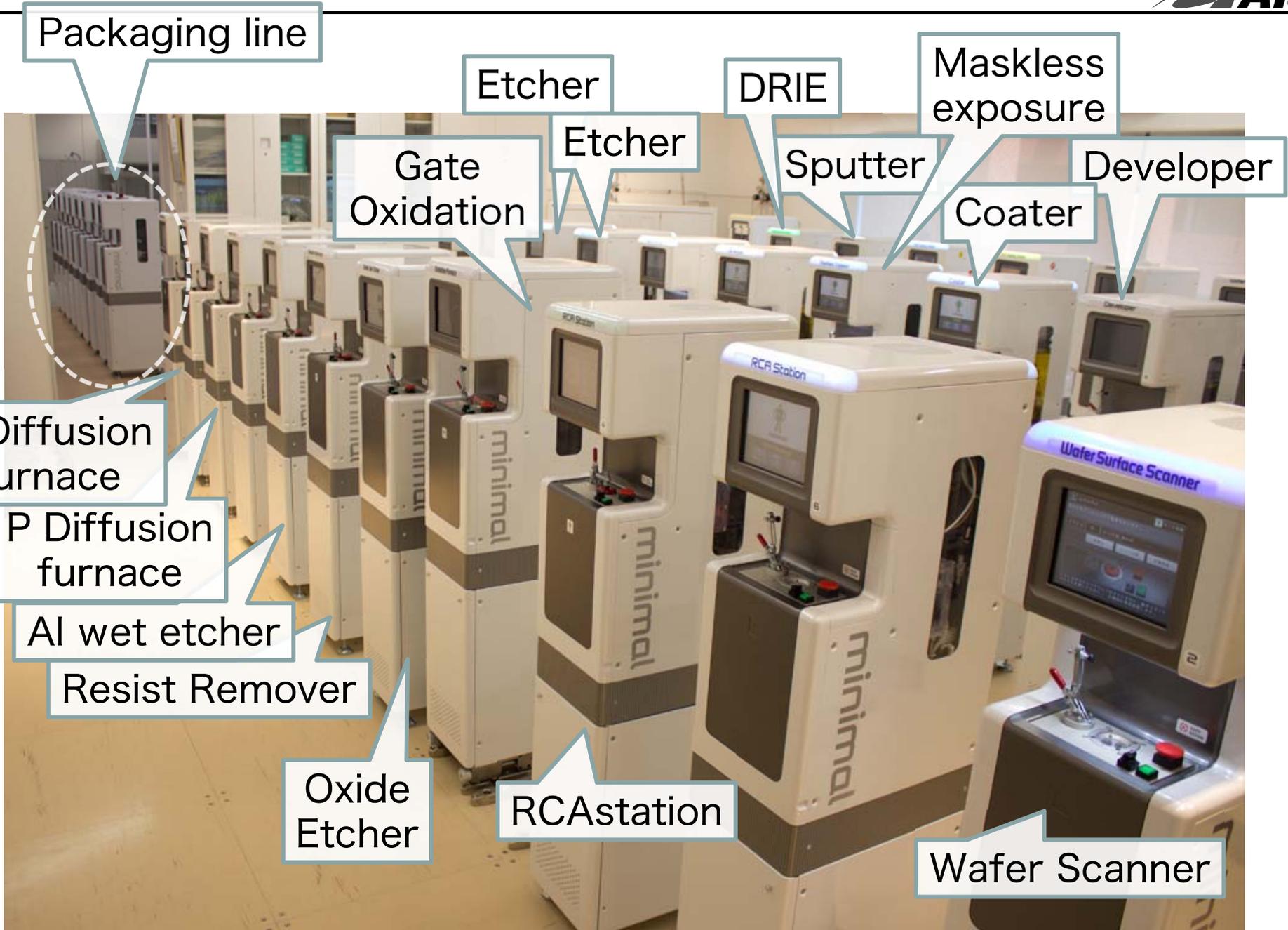
[4] Devices



[5] Factory system



Minimal fab@AIST



Packaging line

Etcher

DRIE

Maskless exposure

Etcher

Gate Oxidation

Sputter

Developer

Coater

B Diffusion furnace

P Diffusion furnace

Al wet etcher

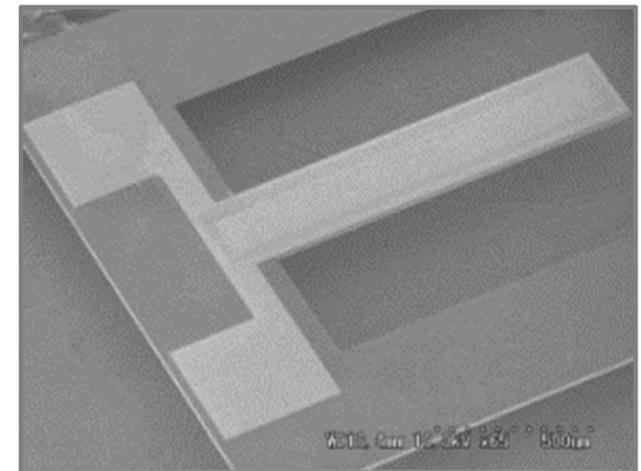
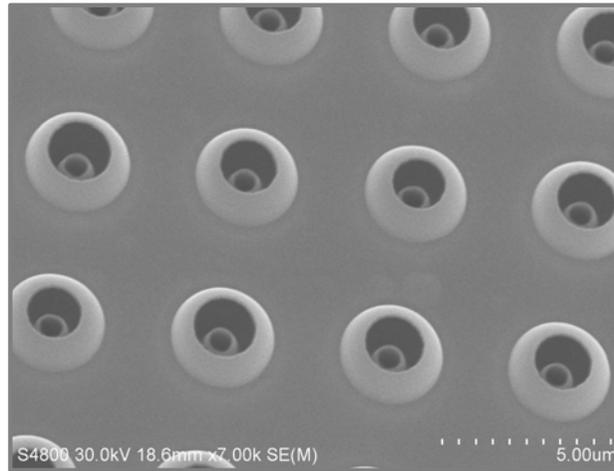
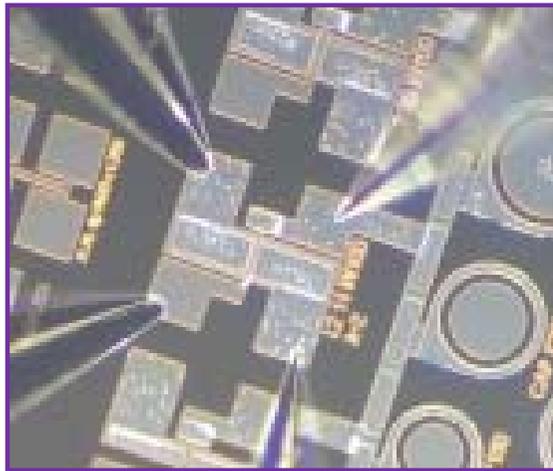
Resist Remover

Oxide Etcher

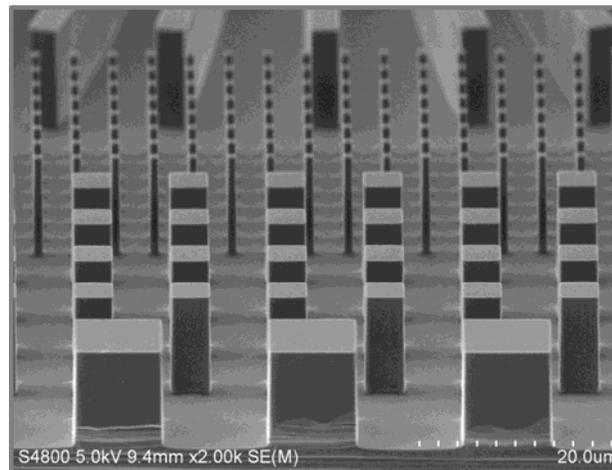
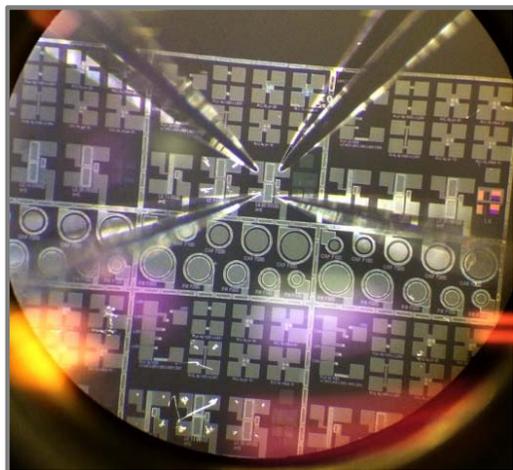
RCAstation

Wafer Scanner

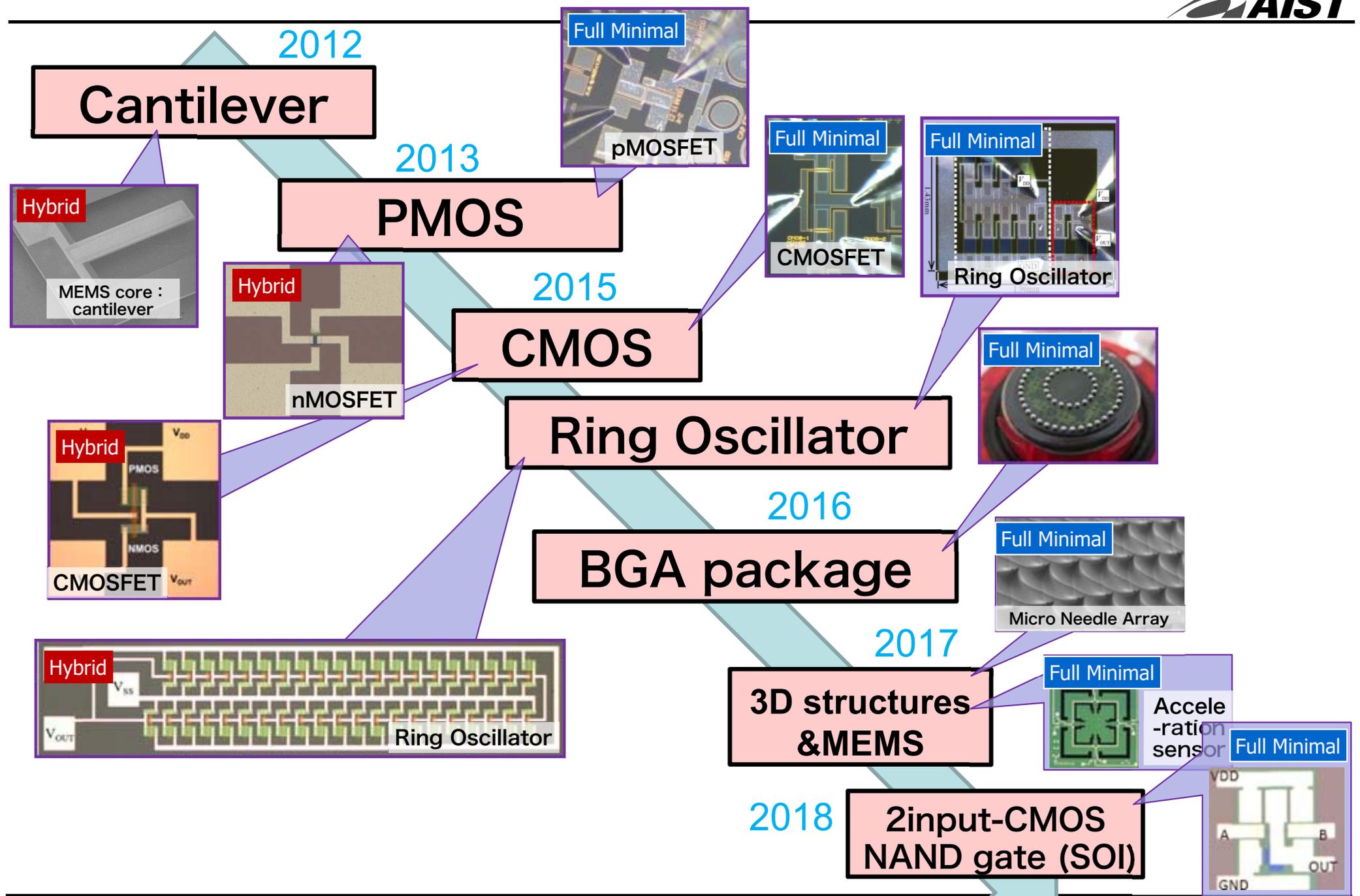
Wafer Surface Scanner

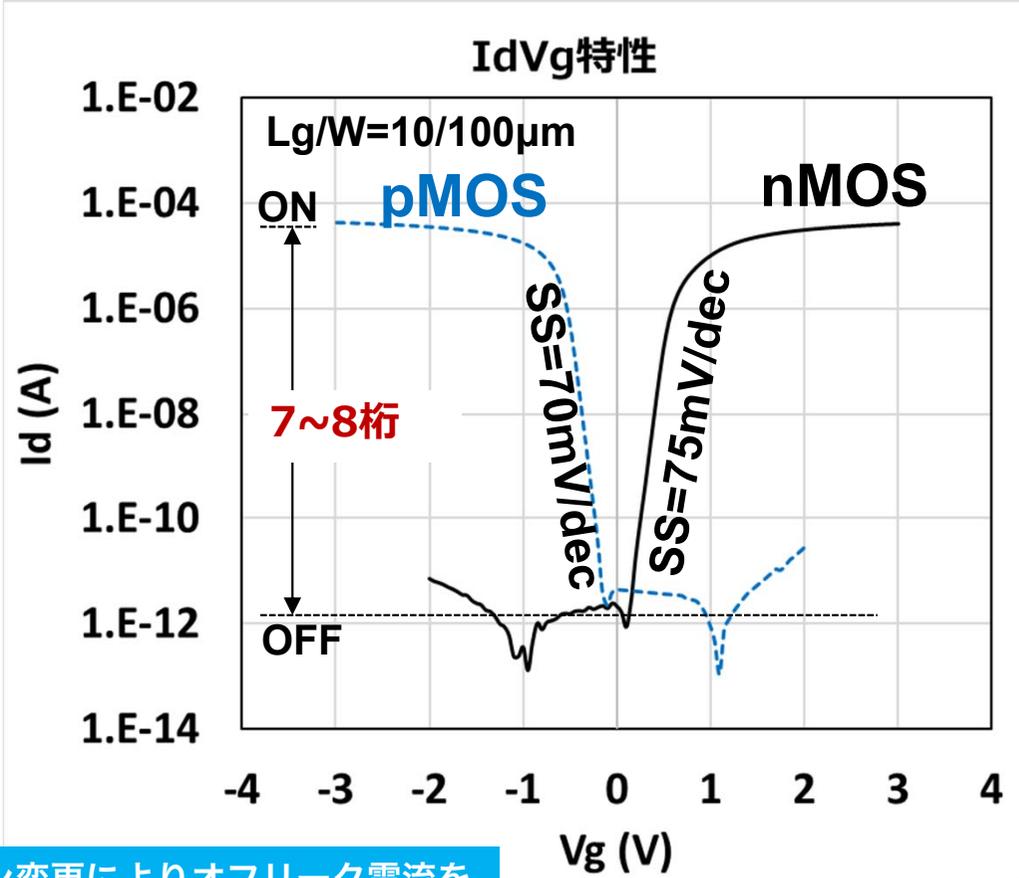
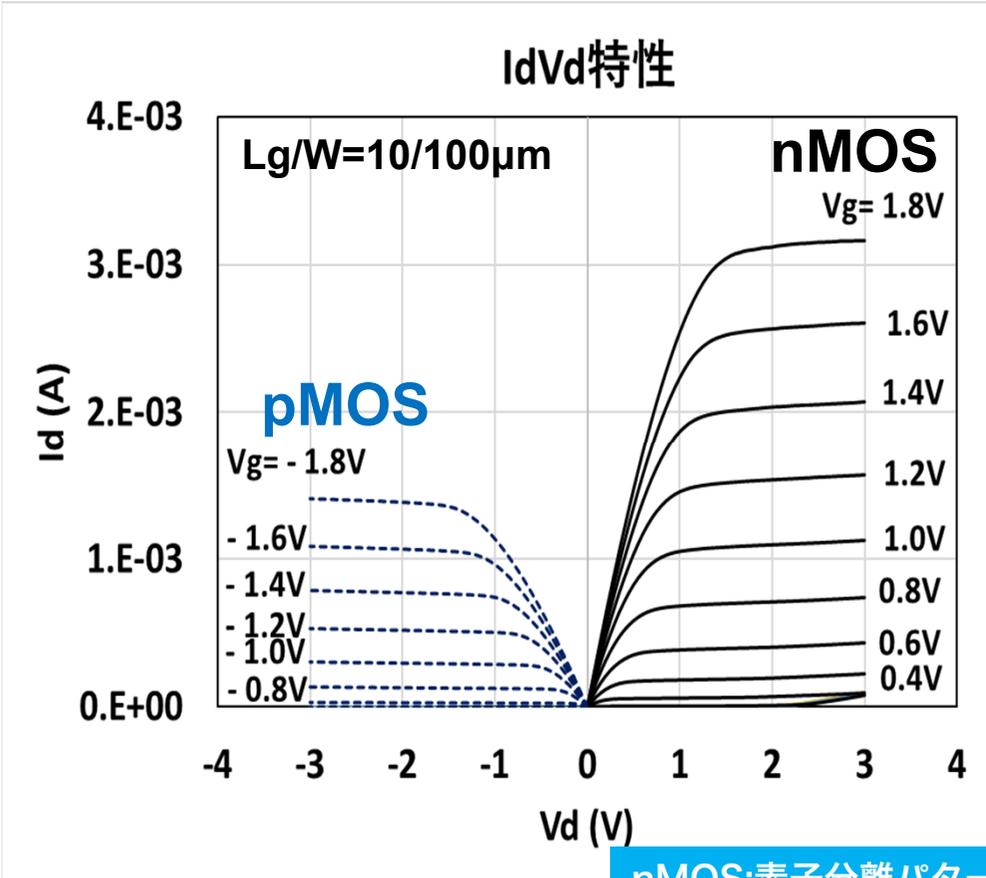


Device Applications



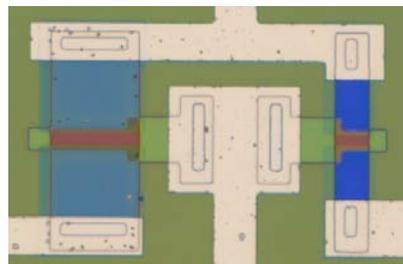
Device Fabrication History





nMOS:素子分離パターン変更によりオフリーク電流を $1e^{-6} \sim 1e^{-8}A$ から $1e^{-12}A$ レベルに低減

- ✓ nMOS,pMOSともノーマリーオフの良好なトランジスタ動作が得られ、nMOSのドレイン電流はpMOSの約2倍ほどの値である。
- ✓ オフリーク電流はpAオーダーでON/OFF比は7~8桁で良好。
- ✓ サブスレッショルド・スイング(SS)はpMOSが70mV/dec、nMOSが75mV/decで理論値60mV/decに近い値が得られた。





00名



Minimal Equipment for Transistors



p-MOSFET structure and IV characteristics measured by a minimal device tester

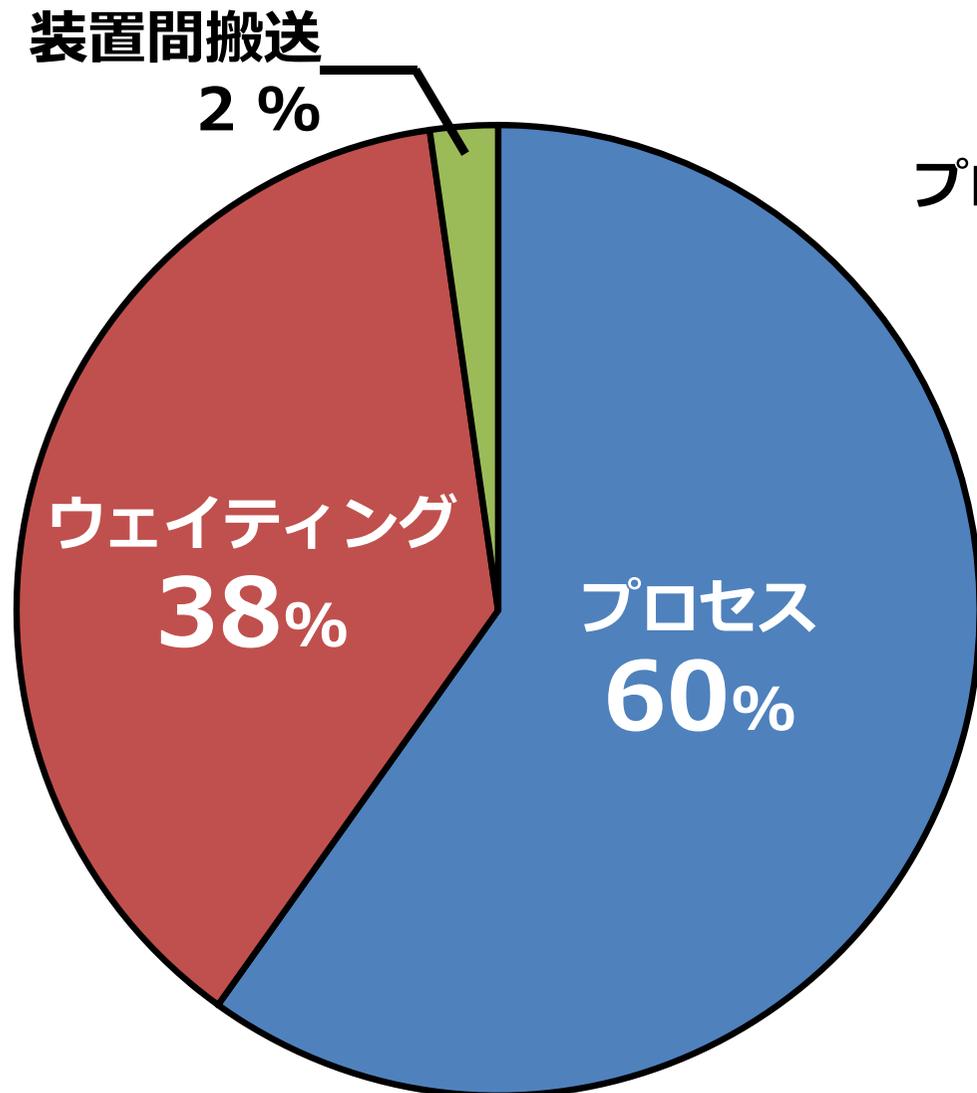
プロセス稼働率@セミコン2013



- MOSFET作製ウェハ 7枚
- 30工程 (アライメントマーク形成除く)



- 平均プロセス完了時間 10時間25分
- 平均プロセス稼働率 60%



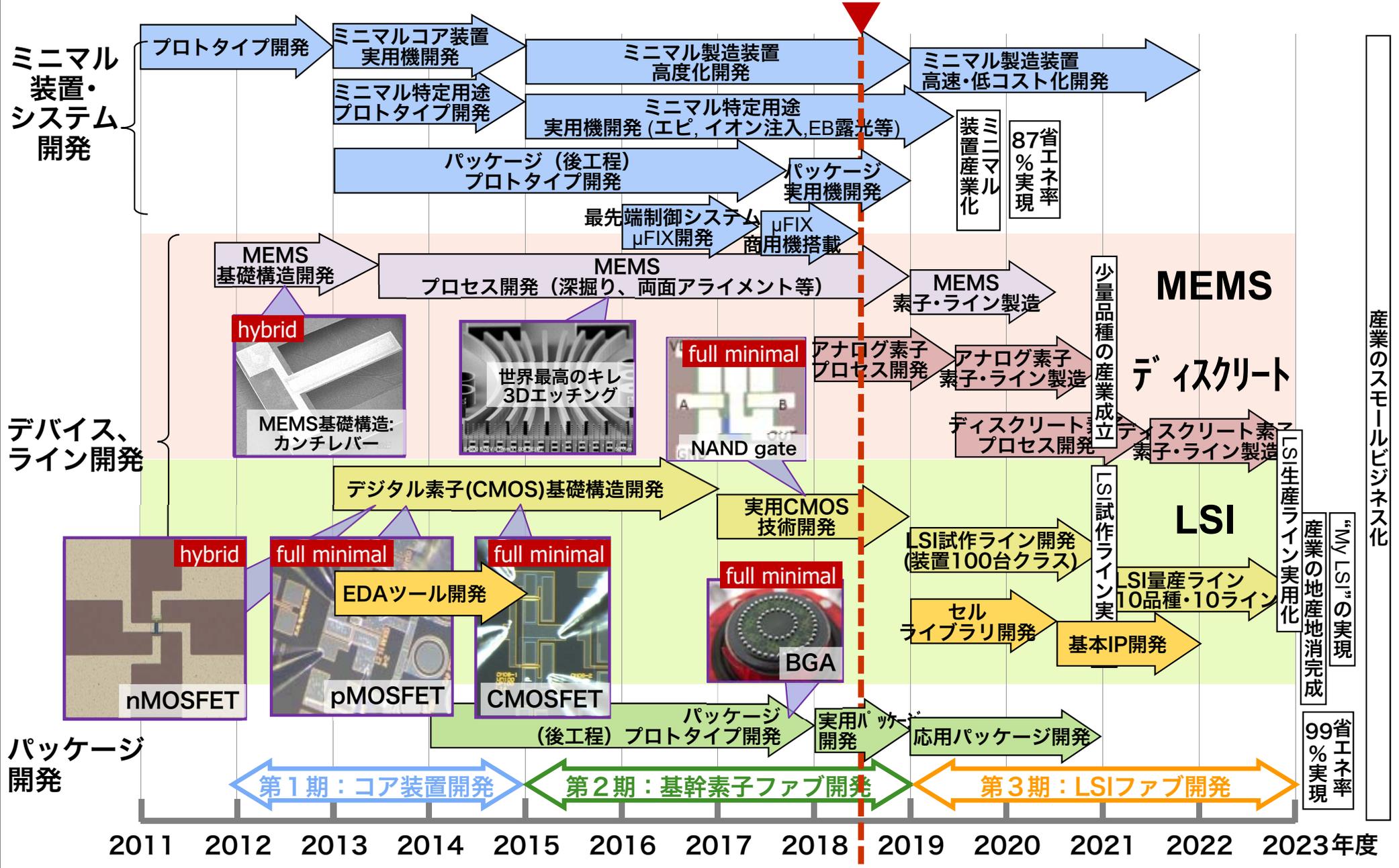
$$\text{プロセス稼働率(\%)} = \frac{\text{プロセスロータイム}}{\text{プロセス完了時間}}$$

- ・ 装置間搬送30秒
- ・ ウェハ反転時間37秒

普通の試作ライン

- ・ トランジスタ試作 1ヶ月
- ・ プロセス稼働率 ~1%

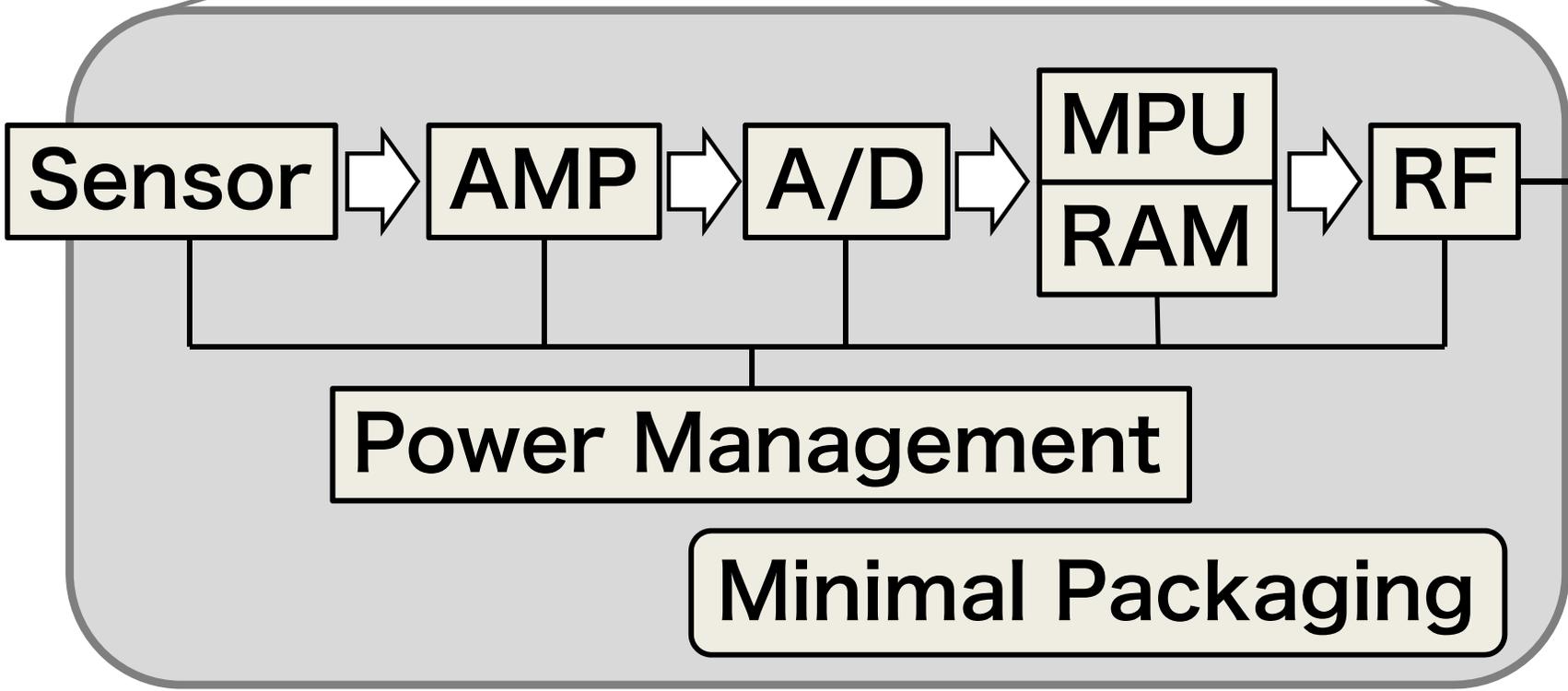
ミニマルファブ技術ロードマップ 2018



今後5年間で開発するIoTデバイス



CMOSとMEMS技術がキー



ミニマルファブを活用すれば、
一人一人が必要なデバイスを
自ら一人で作ることができる。

minimal
