



いつでも、どこでも
～みんなのミニマルファブ～

minimal

産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門

ミニマルシステム研究グループ

主任研究員

ミニマルファブ技術研究組合

プロセス開発チーム サブリーダー

クンプアン ソマワン

- **minimal** 概要
- **minimal** 開発ロードマップ
- **minimal** システム詳細
- **minimal** の実用化の事例
 - ★ ミニマル・メガファブハイブリッド
 - ★ フルミニマル
- まとめ～



• minimal 概要

Moore's Law

CPU
Memory

高性能化

大量生産

単純商品

メガファブ

- ・ 安い
- ・ 要求が多い
- ・ 無駄が少ない

More-than-Moore

diversification

高機能化

RFMEMS
光電子デバイス
パワーデバイス
バイオチップ
センサー

大量生産

ハイエンド商品

超多品種 少量生産

ローエンド商品

多品種 少量生産

ローエンド商品

メガファブ

- ・ 超高い
- ・ 要求少ない
- ・ 無駄が多い
- ・ 商品化期間が長い

ミニマル ファブ

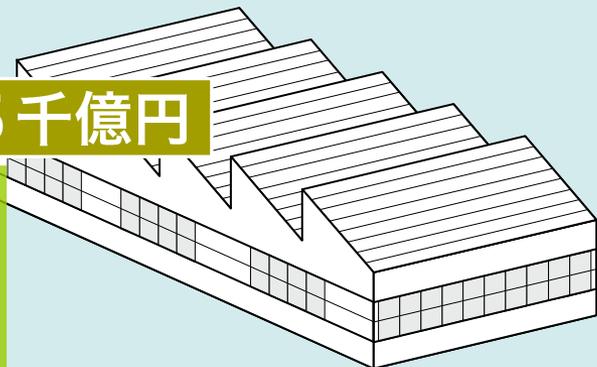
- ・ 安い
- ・ 要求が多い
- ・ 無駄がない
- ・ 商品化期間が短い

シャトル サービス

- ・ 高い
- ・ 要求が多い
- ・ 無駄がない
- ・ 商品化期間が長い

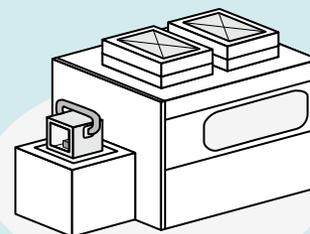
メガファブ生産システム

投資5千億円

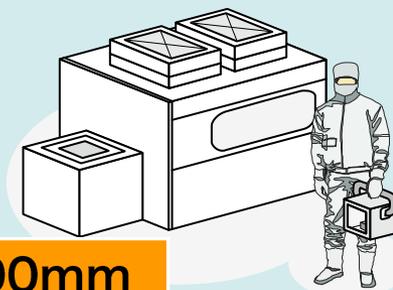


200m

クリーンルーム環境



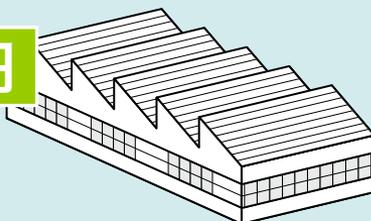
ウェハφ 300mm



2m

ミニマル生産システム

投資5億円



10m

クリーンルーム不要!



ウェハφ 12.5mm

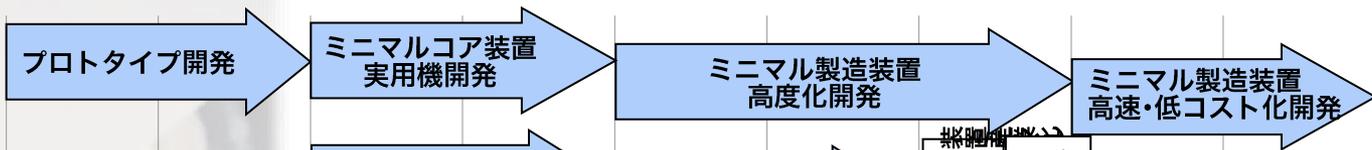
0.3m



minimal 開発ロードマップ

2014年1月4日

ミニマル装置開発



デバイス、ライン開発



MEMS基礎構造：
カンチレバー試作

ミニマル装置化率：27%

nMOSFET試作

ミニマル装置化率:17%



第1期：コア装置開発

第2期：基幹素子ファブ開発

第3期：LSIファブ開発

2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020年度

87% 省エネ率 実現

少量品種の産業成立

産業の地産地消完成

99% 省エネ率 実現

低炭素社会の具現化

ファブシステム

■ — ほぼ実用化 ■ — 開発中 ■ — 研究中

プロセス装置

(ハードリストのみ)

洗浄装置	RCA	SPM						
堆積装置+酸化炉	熱CVD	プラズマCVD	熱酸化炉	プラズマスパッタ	蒸着			
不純物導入装置	イオン注入	拡散	プラズマドーピング	アロイング				
レジスト塗布装置	スピン	スプレー						
露光装置	マスクアライナー	DLP	ステッパ	EB				
レジスト現像装置	ウェット							
エッチング装置	CCPエッチャー	μプラズマエッチャー	金属エッチャー	酸化膜エッチャー				
レジスト除去装置	ウェット	プラズマアッシング						
検査装置	CD-SEM	AFM	光学顕微鏡	エリプソ	IV	CV	ICテスト	TEM
特定プロセス専用装置	高速ドライエッチャー	イオンミリング	その他別紙参照					

搬送系

搬送容器	搬送容器	搬送容器洗浄機	マニュアルオープナー	ウェハソーター
容器-本体インターフェース	前室	ドッキング機構	ウェハ搬送ロボット	
装置間搬送網	搬送レール	経路切替機	ストッカ	

シリコンウェハ

結晶成長装置	CZ	FZ	薄膜形成	SOI
ウェハ形状形成	ラッピング	ポリッシング	ベベリング	洗浄
くり抜き装置	ワイヤーソー	レーザーカッター		
マーキング装置	ノッチ形成	レーザーマーキング		

ユーティリティ

原料供給装置	} 極力カートリッジ式などにしてミニマル化を図る 薬液混合装置、スクラバーなど、一部は開発予定
廃液・排ガス処理装置	

クリーンルーム技術

建屋技術	} 局所クリーン化を導入して、極力簡素化を図る 搬送系をミニマル化する
空調技術	
リソース供給排出技術	

部品技術

各種部品類	バルブ	継ぎ手	配管	モータ	その他
モジュール類	排気ポンプ	制御ユニット			

2014年1月6日

クリーンルーム不要!



加熱系装置群

プラズマ装置群

リソグラフィ
装置群I

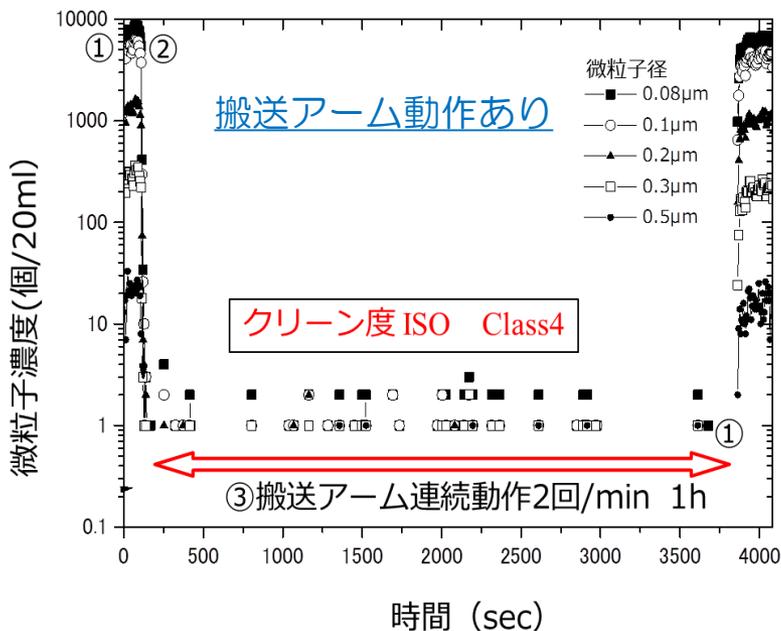
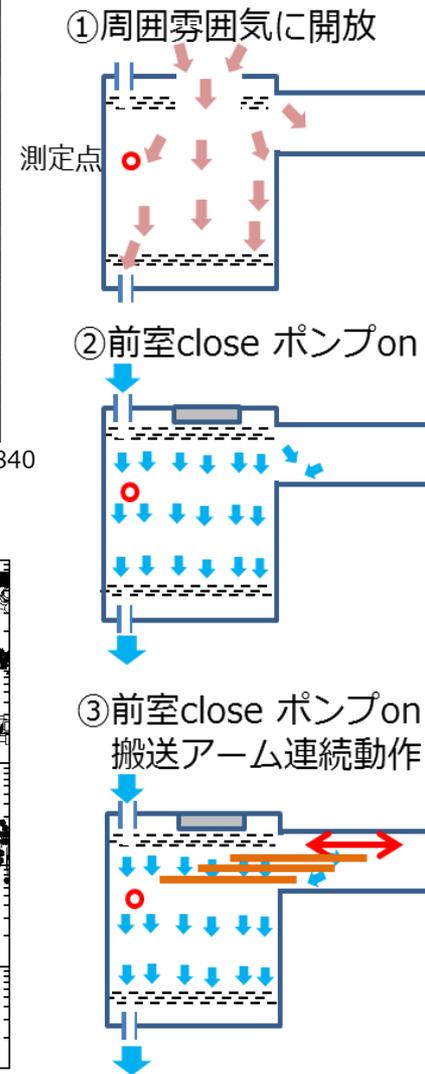
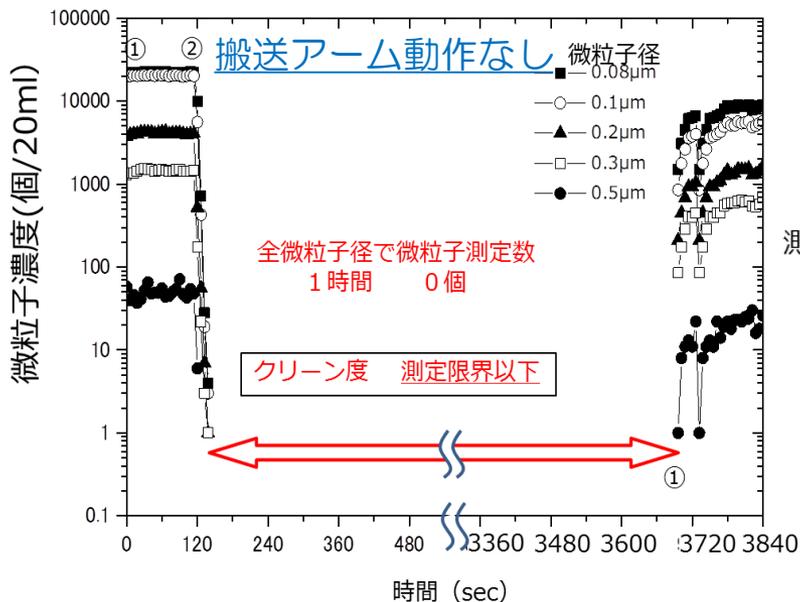
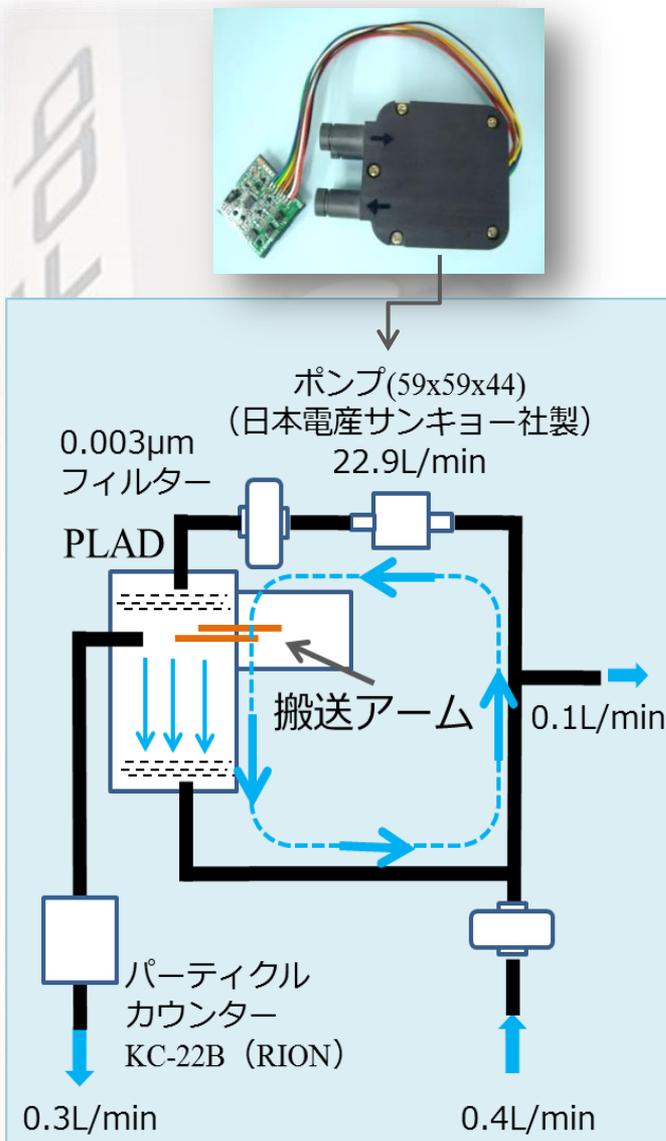
ドーピング
装置群

リソグラフィ
装置群II

洗浄装置群

・minimalシステム特長

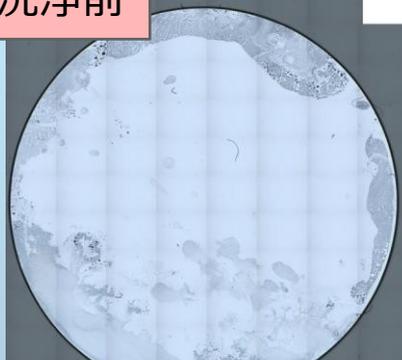
- ★局所クリーン化システム
- ★ミニマルリソグラフィシステム
- ★床ドッキングシステム



RCA洗浄装置

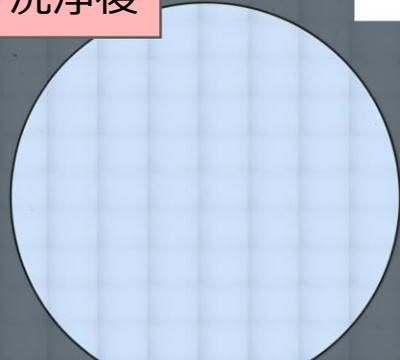
SC1、SC2 HF 80℃

洗浄前



0.152μm~0.3μm微粒子
784個

洗浄後



0.152μm~0.3μm微粒子
<10個

表面パーティクルスキャナー

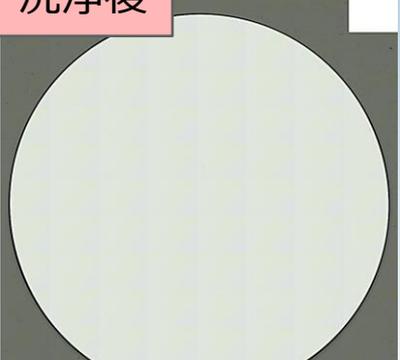
レジスト除去装置
硫酸過水 ~120℃

洗浄前



0.152μm~0.3μm微粒子
245個

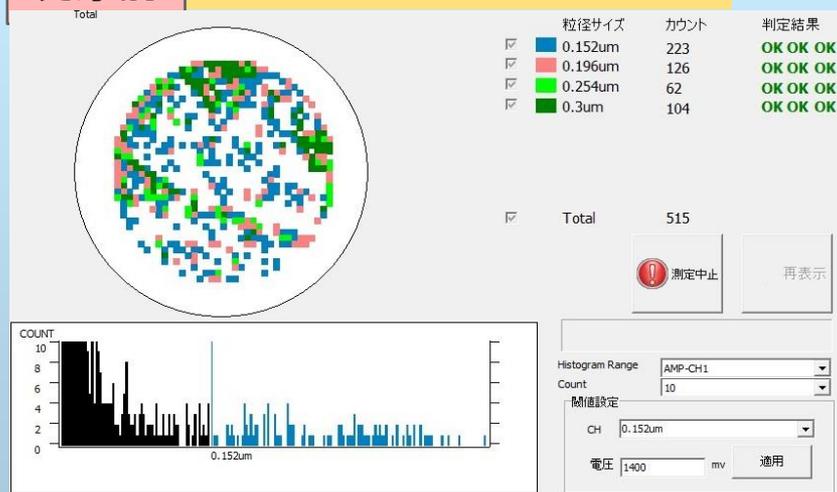
洗浄後



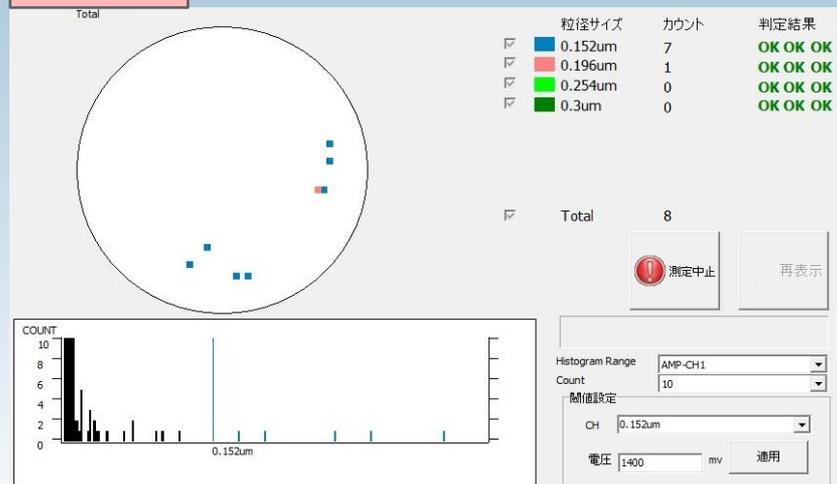
0.152μm~0.3μm微粒子
<10個

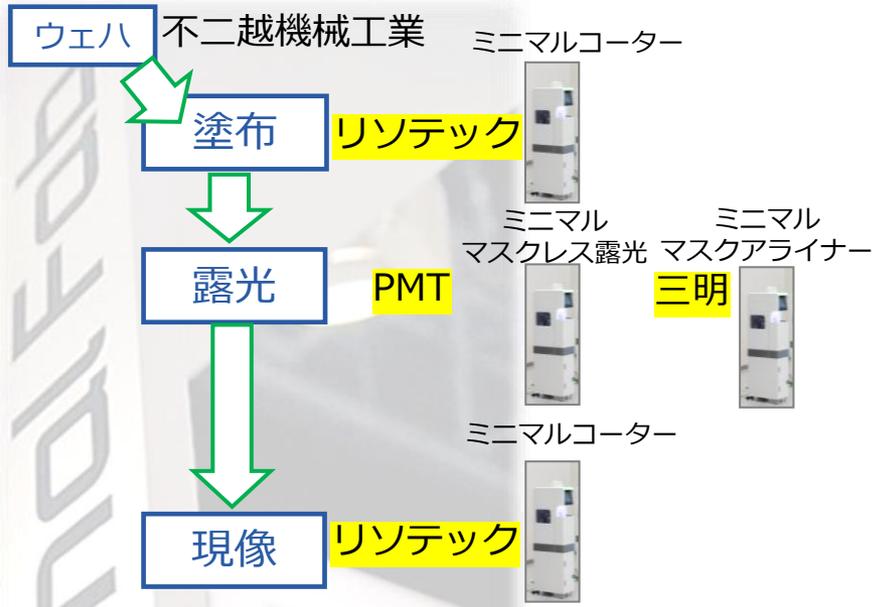
洗浄前

表面パーティクルスキャナー

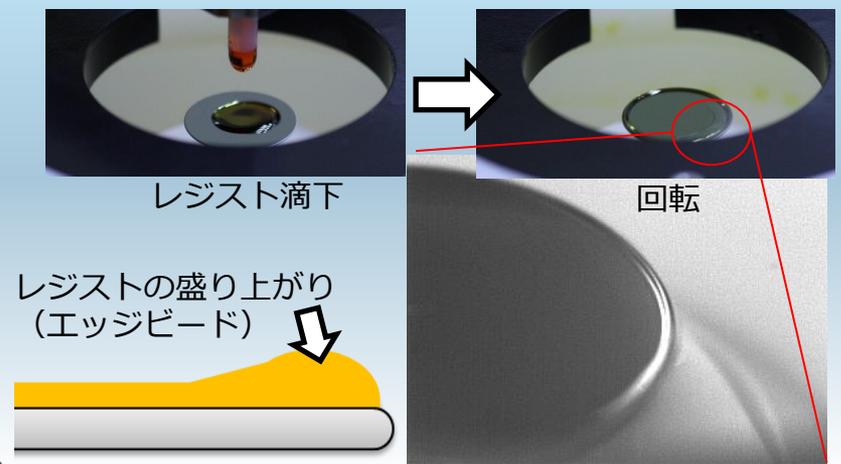


洗浄後

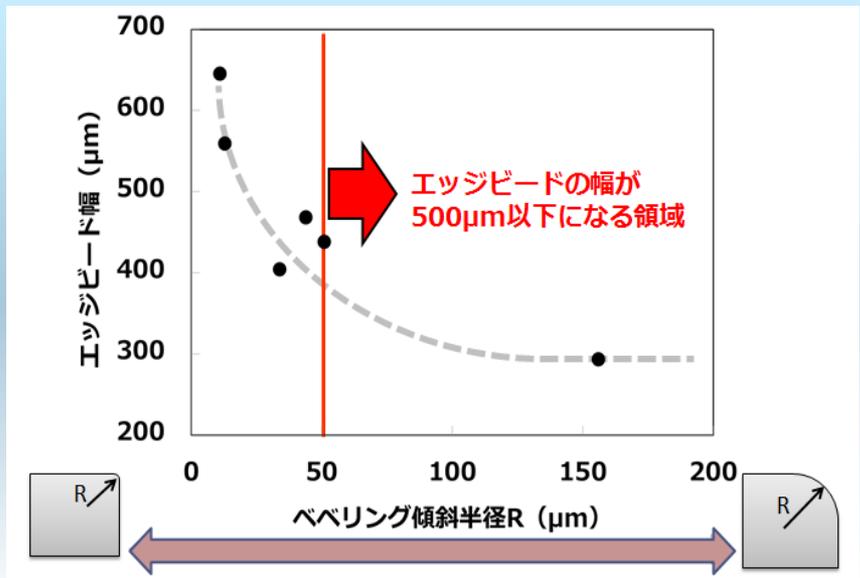
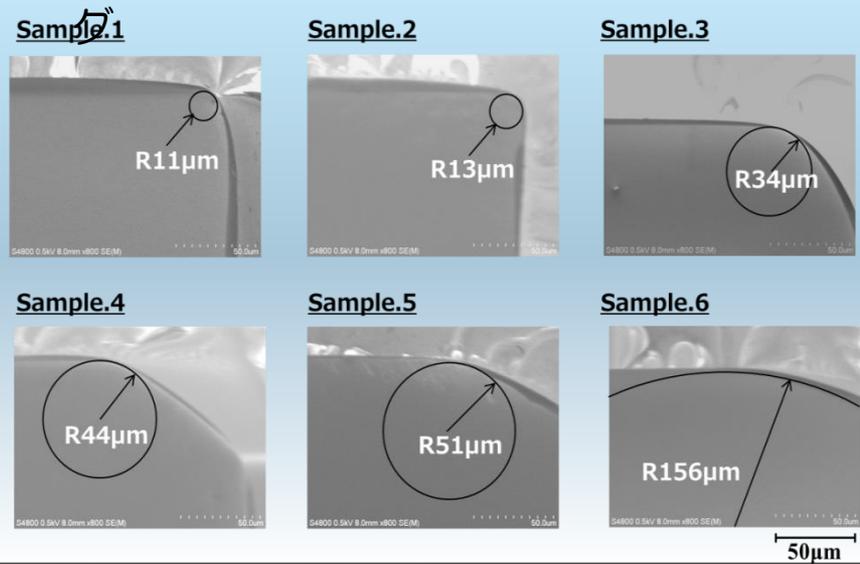


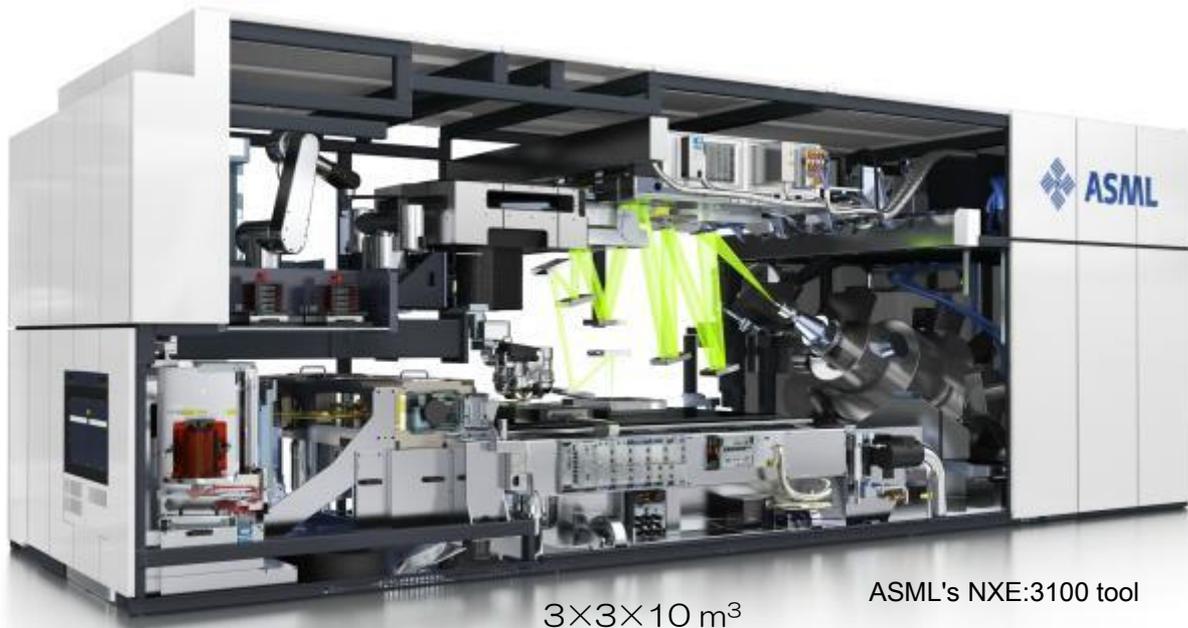


均一性に影響するパラメータ←エッジビード



エッジビード高さ←ウェハベベリン

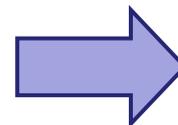




3×3×10 m³

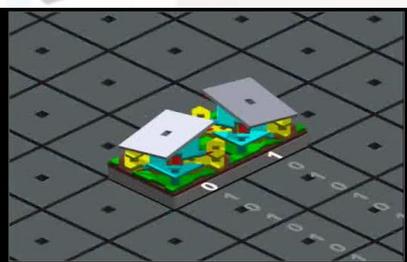
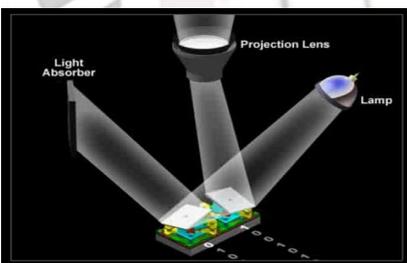
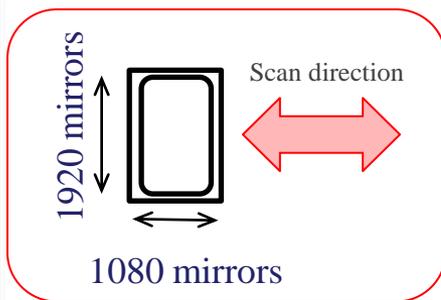
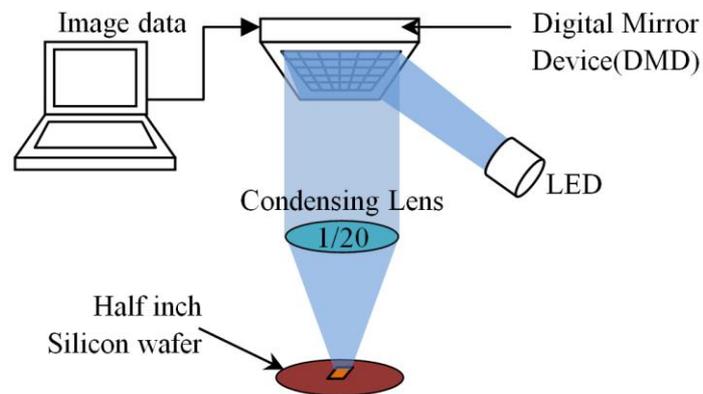
ASML's NXE:3100 tool

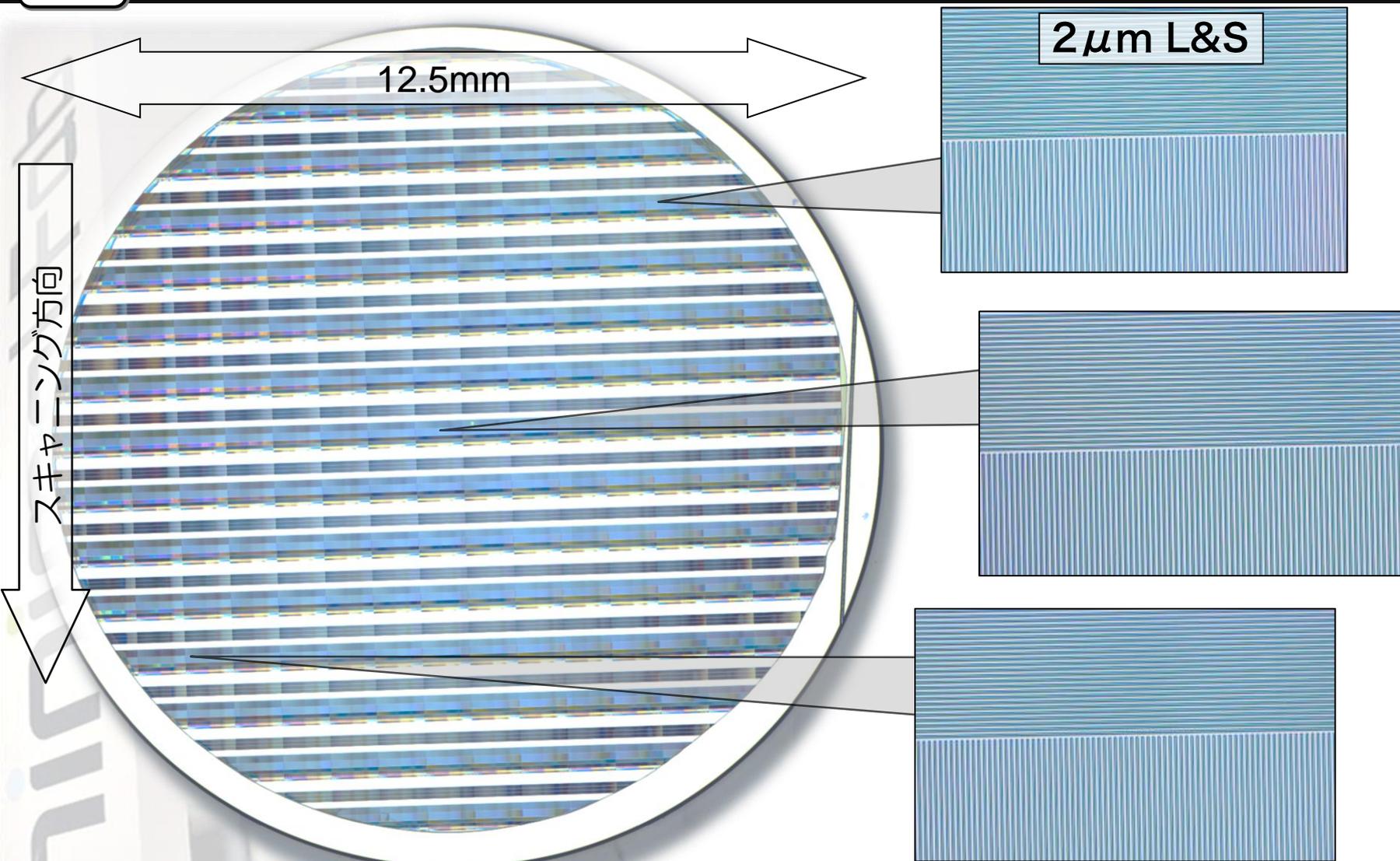
~1/100
Space down



0.3×0.45×1.44 m³

CAD(GDS)→BMP変換
TOOL社のソフト
LAVIS Plus





スキャン方向

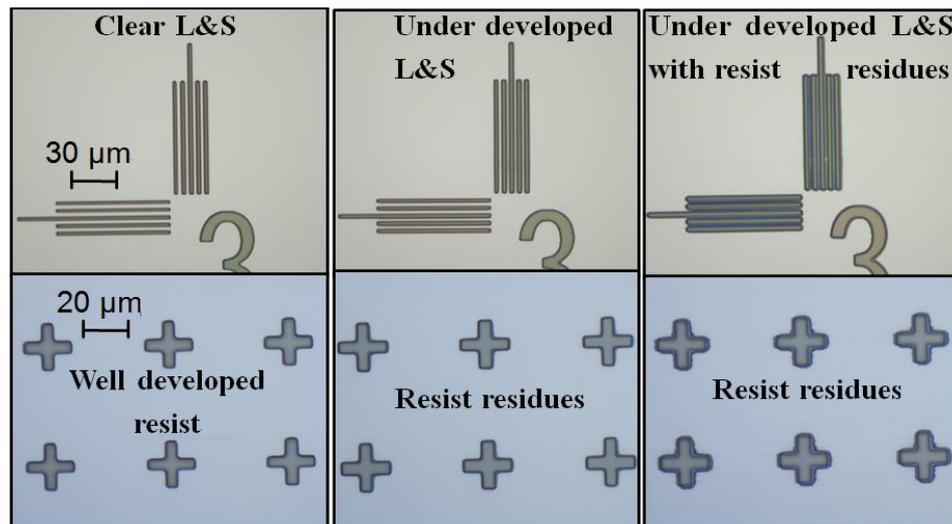
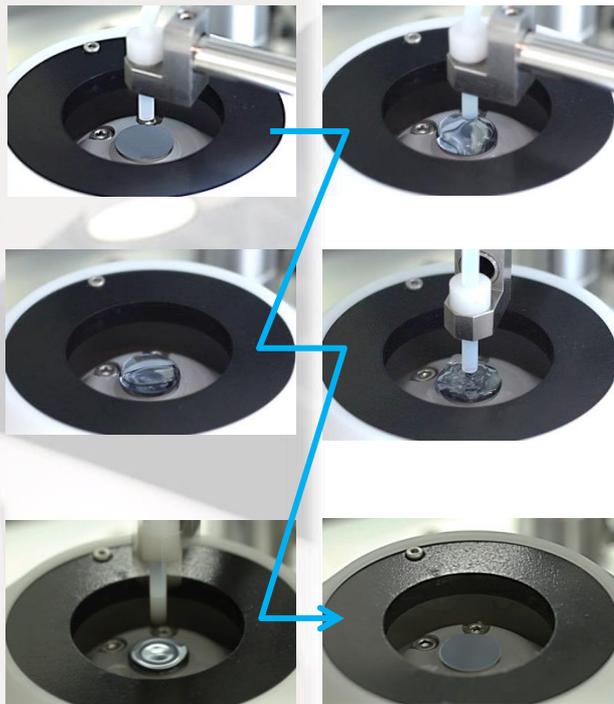
12.5mm

 $2\mu\text{m}$ L&S

実用レベルの面内均一性に近づきつつある。

ウェハ全面露光

スピン現像方法



スピン現像（1回供給） スピン現像（2回供給） パッドル現像

塗布・現像

- 温度制御 : 23°C~27°C
- ウェハ面内のレジスト厚み均一 : ±0.6%
- 課題 :
 - 清浄度、面内均一
 - レジストと現像液の劣化

移動可能な装置

10台で3m



ミニマル装置のドッキング時間

1分!

小学生でもできる



・minimalの実用化の事例

★ミニマル・メガファブハイブリッド

MEMSカンチレバーを試作
nMOSFET試作(イオン注入型)

★フルミニマル

pMOSFET試作(拡散型)

MEMSデバイスハイブリッドプロセスの流れ2011版

2"~12" wafer machines



リソが15分で終了
実験の確実化



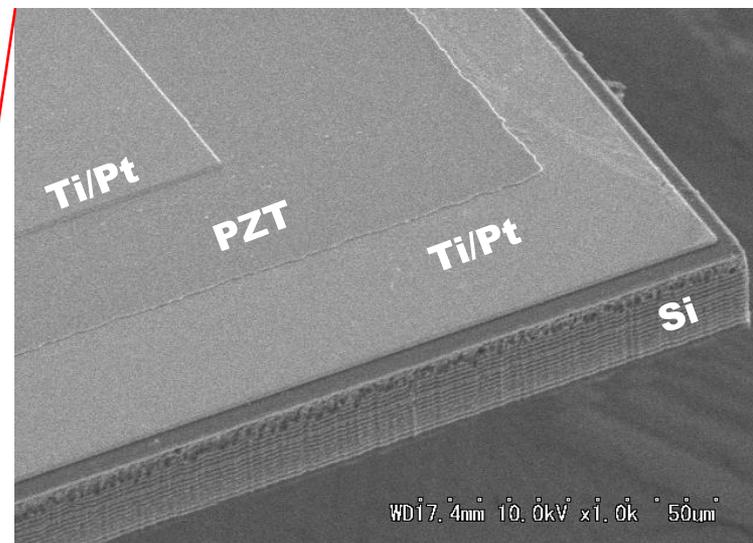
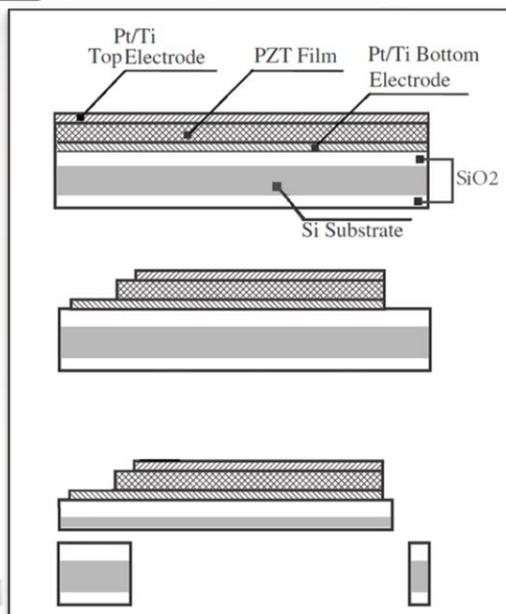
共同研究

★産総研・集積マイクロシステム研究センター

★産総研・新材料・機能インテグレーショングループ

0.5" wafer machines

ミニマル装置使用率 **27%**



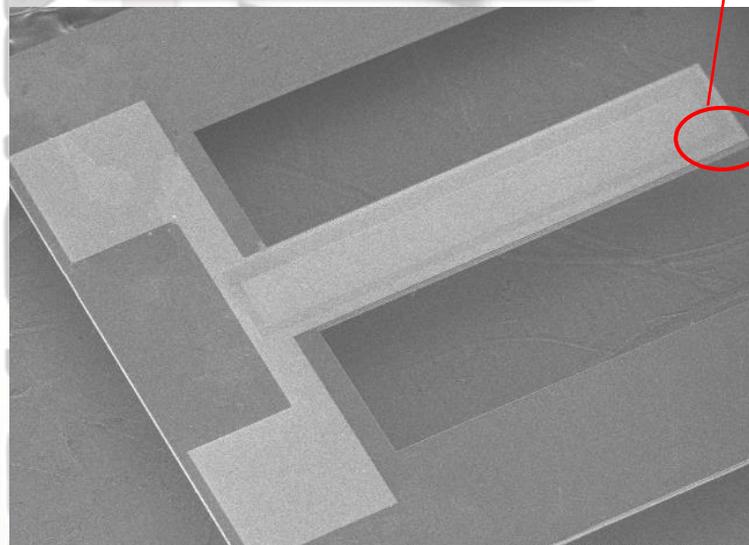
カンチレバー構造

Si: 20 μ m

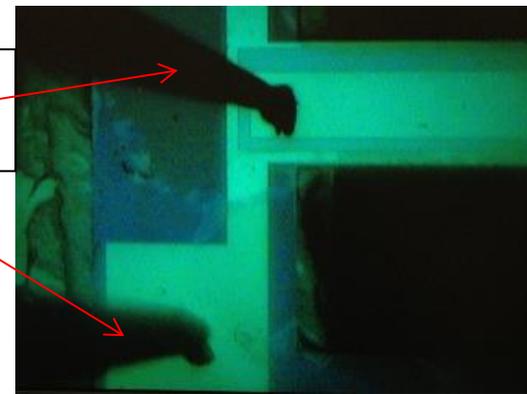
PZT: 400 nm

Bottom Ti/Pt : 500nm

Top Ti/Pt : 500nm



プローブ付ける
場所



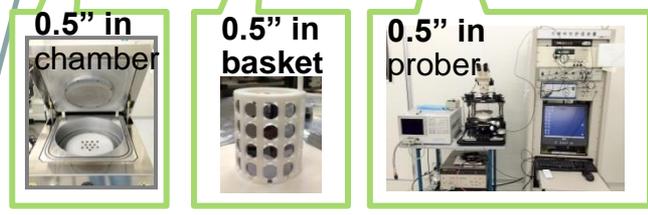
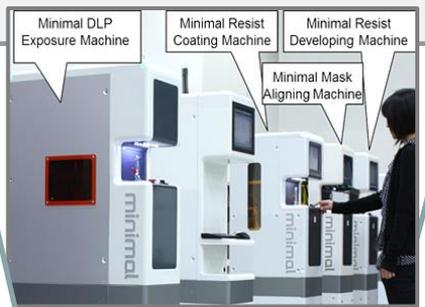
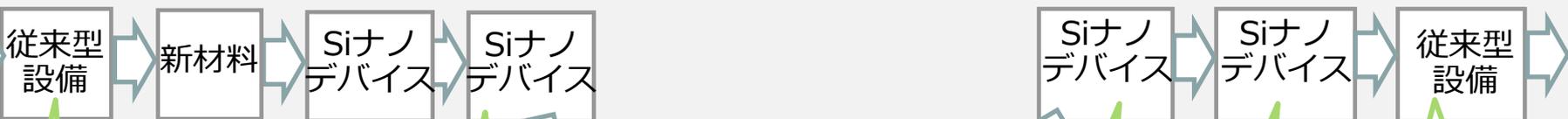
ハイブリッドプロセス技術は、開発をドラスティックに加速する。

MOSFETデバイスハイブリッドプロセスの流れ2013版

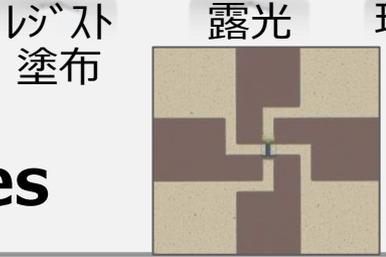
2"~12" wafer machines

洗浄 ドーピング Field酸化 ゲート酸化
Al-Siパターナー Poly-si

etcher リスト除去 分析



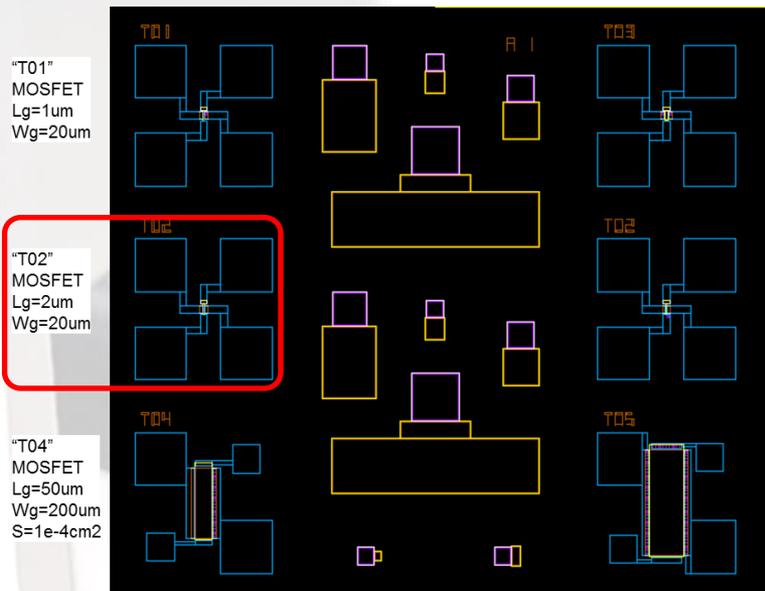
共同研究
★産総研・シリコンナノデバイスグループ
★産総研・新材料・機能インテグレーショングループ



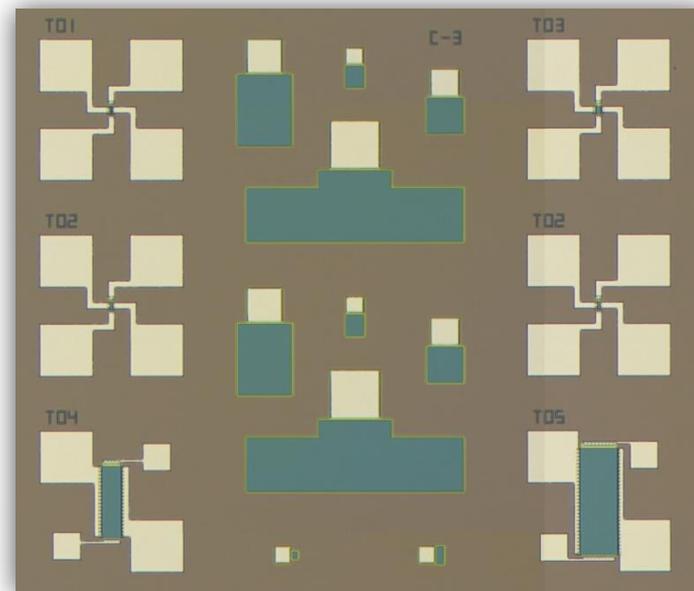
既存プロセスレシピを使う

0.5" wafer machines

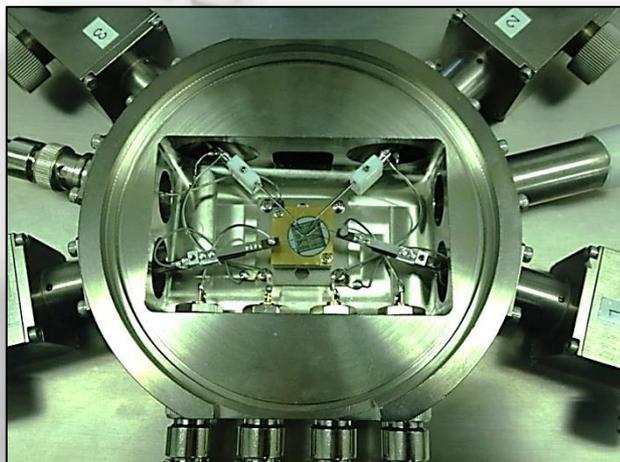
ミニマル装置使用率 **17%**



CADマスクパターン

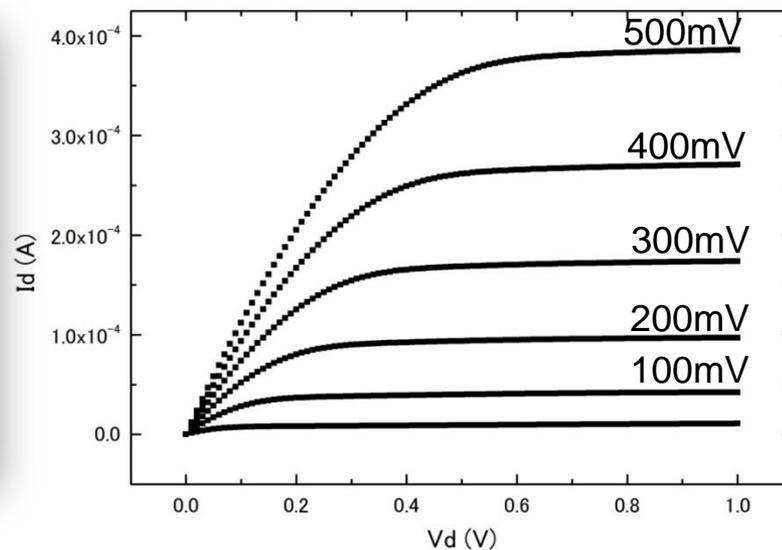


完成後の光学顕微鏡写真



プロービング中の写真

T02 Id-Vd





エッチング実演中



コーティング実演中



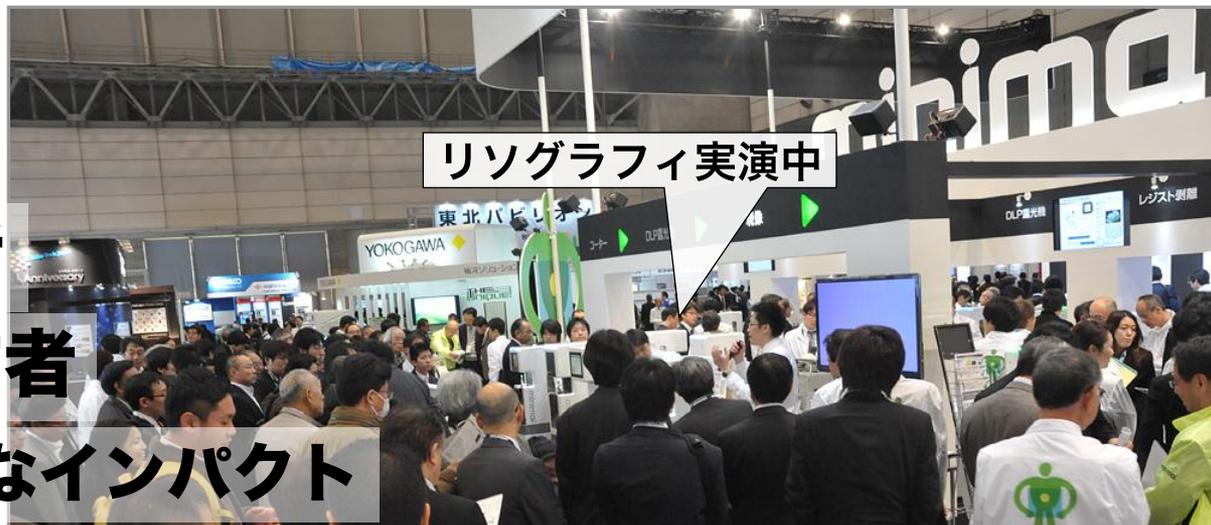
ブース内の様子

セミコン史上初めて、
クリーンルームでない、イベント会場に
て、リソの実演を成功させる

登録者は3,000名にのぼった！

4,000名の登録者
約7,000名の来訪者

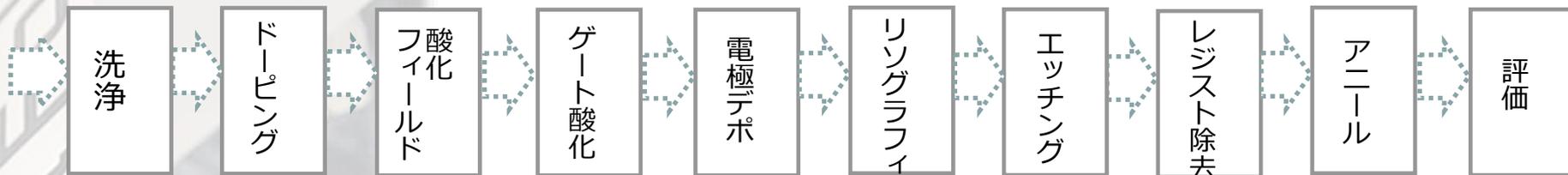
→ **半導体産業に強烈なインパクト**



**セミコン史上初めて、
クリーンルームでない、イベント会場にて、
トランジスタ製造を成功させる。工場立上げ 半日！**



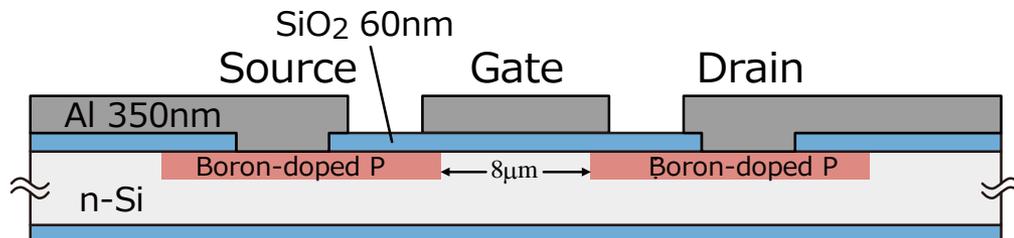
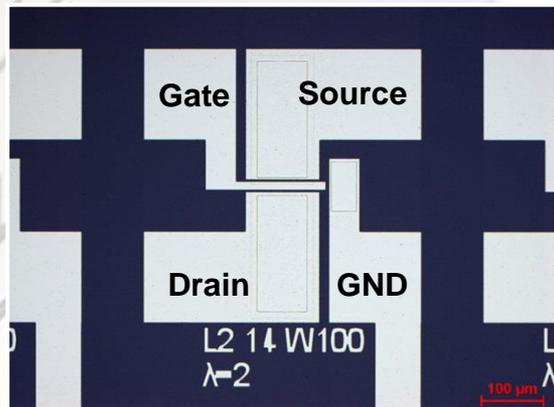
MOSFETデバイスオールミニマルプロセスの流れ2013版



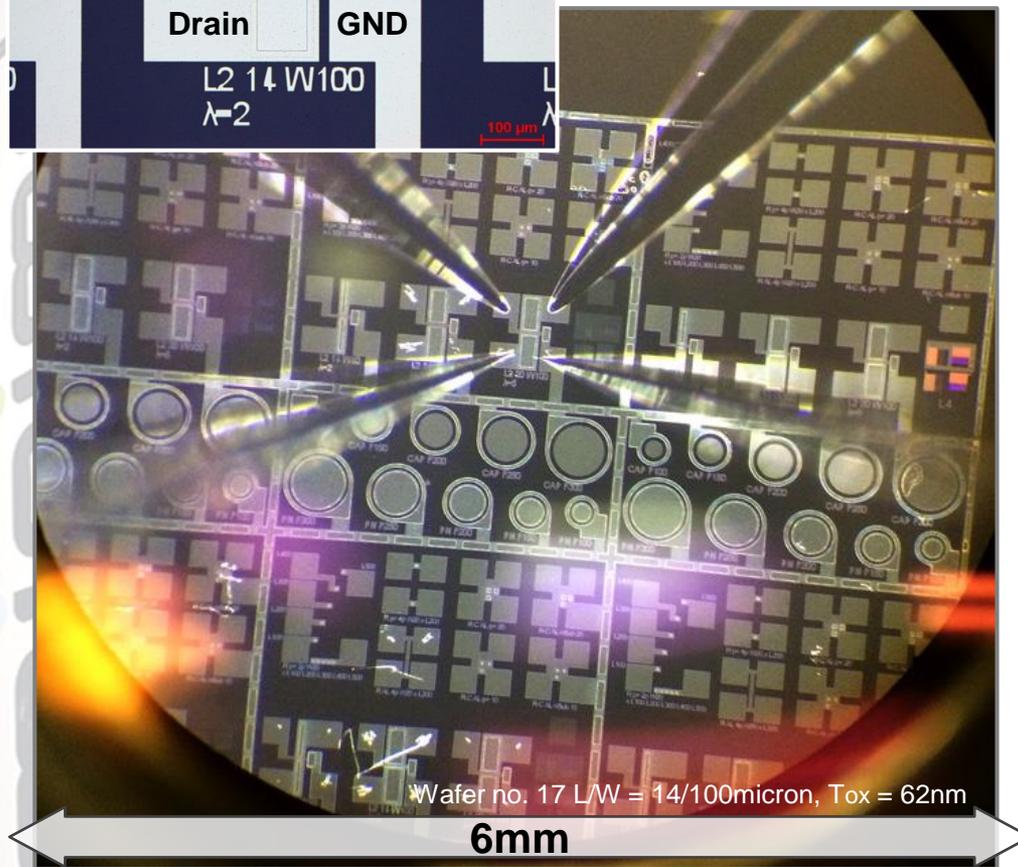
**ミニマル
オリジナル
プロセスレシ
ピ**

ミニマル装置使用率 95%

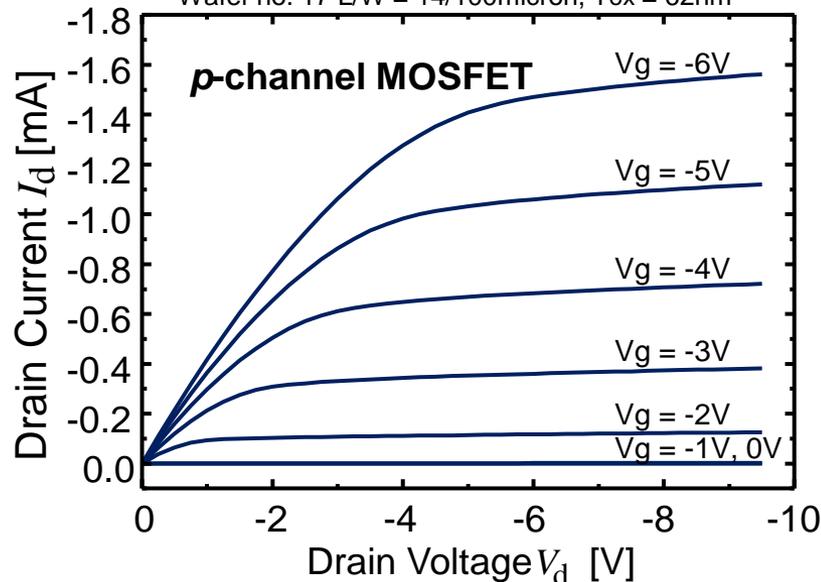
fabricated at Semicon Japan 2013.



7ウェハ, 35Tr.
→ 歩留り100%



Wafer no. 17 L/W = 14/100micron, Tox = 62nm



fabricated on Dec. 4, 2013.

fabricated at Semicon Japan 2013.

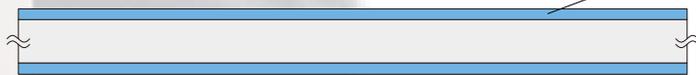
1-4. Si ウェハ洗浄 SPM→SC1→DHF→SC2→DHF



5-8. リソ #1 [アライメントマーク形成]



12. Si ドライ酸化 1100°C 60min 140nm



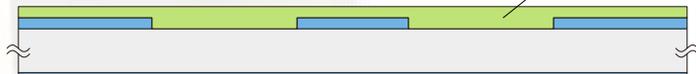
13-15. リソ #2 [ソース/ドレイン拡散領域形成]



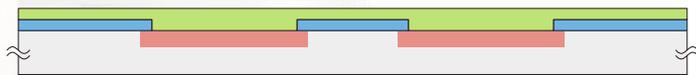
16-19. 酸化膜エッチング BHF → SPM → RCA



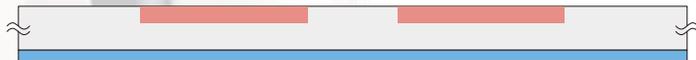
20. BSOG膜塗布 60nm → 200°C 5min



21. Boron 熱拡散 600°C 30min → 950°C 30min



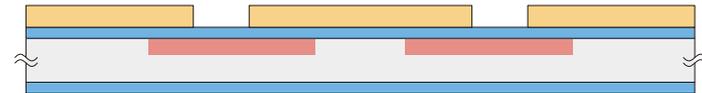
22-23. BSOG膜除去 BHF → (SC2 → DHF)x3



24. Si ドライ酸化 1100°C 15min 60nm



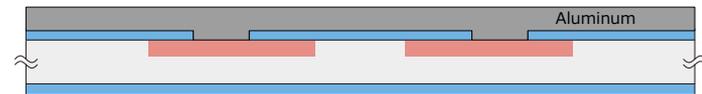
25-27. リソ #3 [コンタクト開口部形成]



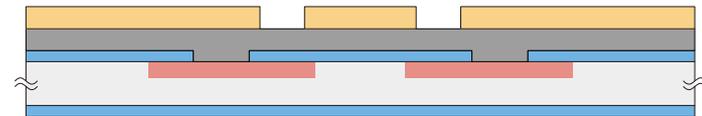
28-29. 酸化膜エッチング BHF → SPM → DHF



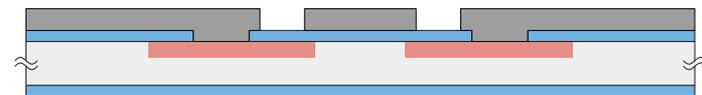
32. アルミスパッタ堆積 200nm



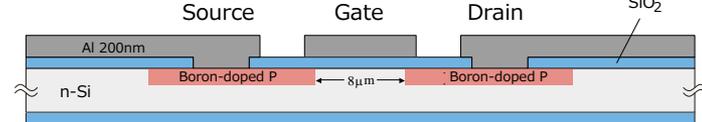
33-35. リソ #4 [電極形成]



37-38. アルミウェットエッチング → レジストアッシング



39. レジスト除去 [完成]



fabricated on Dec. 4-6, 2013.

- ミニマル装置を用いて、基本トランジスタが試作できる。
- ミニマルラインを立ち上げたい？
 - 部屋、AC100V電源、エアー、窒素 があれば OK！
 - 半日
- ミニマル装置を操作する？
レシピと身長130cm以上のオペレーターができる。
- ミニマル装置のトラブル中にプロセスラインが止まる？
1分があれば、続けられる*。

* (予備装置を入れ替える)



いつでも、どこでも
～みんなのミニマルファブ～