

武田先端知ビルスーパークリーン ンルーム・ナノテクノロジープラッ トフォーム関連活動報告

三田吉郎

東京大学 大学院工学系研究科 電気系工学専攻 准教授
文部科学省ナノテクノロジー・プラットフォーム 東京大学微細加工拠点
「超微細リソグラフィー・ナノ計測拠点」マネージャ
大規模集積システム設計教育研究センター 協力教員

mita@if.t.u-tokyo.ac.jp

東大武田先端知SCR微細加工拠点

- 「クラス1」スーパークリーンルームと
- 「高速大面積電子線描画装置」を始めとした一流の装置群を
- 登録650～750名、実利用400名の仲間と共に

利用できる微細加工拠点

さらに

- 微細構造解析拠点と隣接、密接な連携
- 大規模集積回路との融合プロセス開拓が順調
 - 商用プロセスによる安定したVLSI試作＋武田SCRでの先端微細加工の「いいとこどり」:世界的に注目

東京大学武田先端知ビル設立経緯

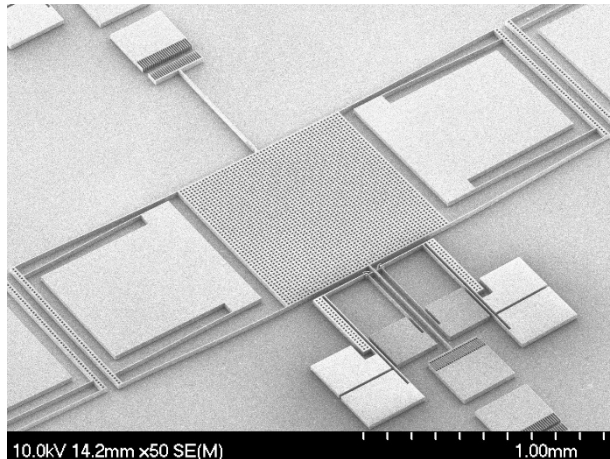


- 経済活動で得た富を生活者のための研究活動へ還元し、より豊かな社会を創りたいという趣旨により、武田郁夫氏（現アドバンテスト創業者・故人）による寄付
- 寄付先: 工学系研究科(小宮山宏研究科長)と大規模集積システム設計教育研究センター(浅田邦博センター長)

「武田を産学連携の出島にしたい」(小宮山先生(当時))

- 2003年竣工
- 東大初の個人名を正式名称に冠する建物
- 「工学部 先端知高度機能デバイスラボラトリーズ」積年の願い「開かれた共同利用スペースとしてのクリーンルーム」
- VDECと工学部の協力のもと自助努力的に運用を開始した
 - 2015.3までに2432名延べ登録。750名登録450名利用。
 - 2016年度年間決算1.86 億円

MEMS研究にはだかる壁：技術アクセス



単純に上記写真のような
面内振動MEMSデバイスを作
るのに必要な装置は...



MEMSは装置産業..

1st:土地確保



2nd:建物



3rd:Cleanrooms



4th:インフラ



長期間の投資が必要

6th:優秀なエンジニア



5th:装置



長期間投資の中身：

- 資金 (当然) と、時間 (より重要)

MEMSラインに必要な予算:

- クリーンルーム設置
- 装置導入
- エンジニアの雇用・訓練
- ...これを維持し続ける

時間:

- 最低2年
- 最低2年
- 最低2年
- 毎年...

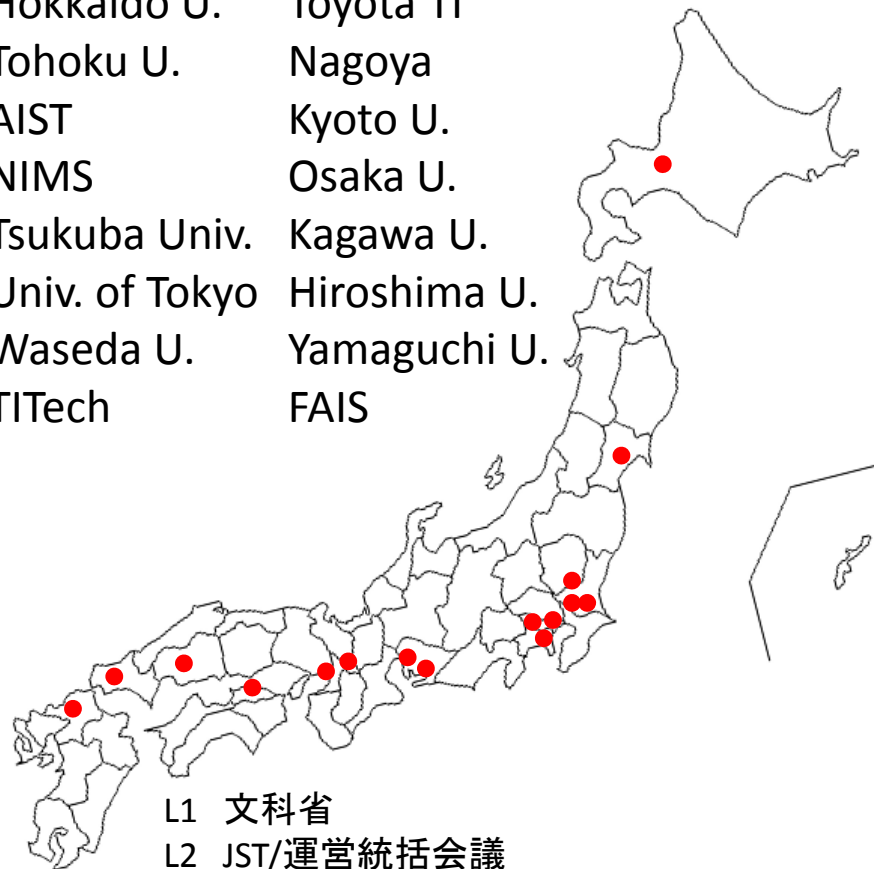
要するに,

新しいマイクロシステムのアイデアを試し実効性を示す前に
巨額の投資によるクリーンルームが
あらかじめ整備・維持できていなくてはならない
(YOU must) get prepared and maintained expensive cleanroom
BEFORE you try new idea on microsystems.

ナノテクノロジー・プラットフォーム

- 文部科学省10年プロジェクト
 - 1.67B yens/year
- Nationwide Open Facility Platform
 - Deeply inspired by US's NNIN (, RTB).
 - Fields: Fabrication, Analysis, Chemical Synthesis
- Open to Industry, Research Institutes and Universities
- 利用形態: 装置利用、技術代行、技術支援、技術相談 (各拠点の方針依存)
- 1st phase: 2002-2007 (5 拠点)
 2nd phase: 2007-2012 (13 拠点)
 3rd phase : 2012-2021(16 拠点)

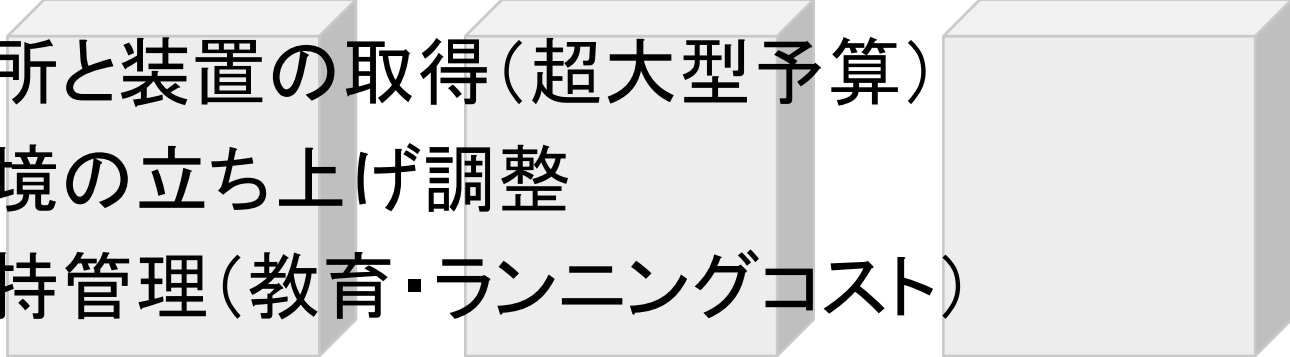
Hokkaido U.	Toyota TI
Tohoku U.	Nagoya
AIST	Kyoto U.
NIMS	Osaka U.
Tsukuba Univ.	Kagawa U.
Univ. of Tokyo	Hiroshima U.
Waseda U.	Yamaguchi U.
TITech	FAIS



- L1 文科省
- L2 JST/運営統括会議
- L3 センター機関(NIMS)
- L4 代表機関(京大)
- L5 代表者会議(北大・東北・東大・NIMS・AIST)
- L6 コーディネーター(京大・AIST)
- L7 実施機関(16機関)

【(ナノプラットのレゾナードトル(三田編))】

ナノテク新規事業にはだかる3つの壁

- 
- ①場所と装置の取得(超大型予算)
 - ②環境の立ち上げ調整
 - ③維持管理(教育・ランニングコスト)

大型予算が付いたとしても、軌道に乗るには軽く4, 5年かかる
維持には毎年億を超える費用が継続的に必要。

ナノテクプラットフォームにより

- 
- ①最新の装置を使える場所が公開され
 - ②装置は良く維持管理調整され
 - ③廉価に利用できる

研究開発の迅速な立ち上げが可能となった

The University of Tokyo Nanotechnet Platform Center

High-Throughput Fine Lithography



**可変整形ビーム
電子線描画装置**

(アドバンテスTF5112改造機)

- ・高スループット
(平均露光時間1時間未満)
- ・精度100nm以上
- ・各種サイズ・材質の基板に対応
(最大8インチ)



ウェットプロセス用ドラフト

各種ウェットプロセスに対応

**フォトマスク用自動現像装置
自動ウェットエッチング装置**

Submicron Deep-Structure



シリコン深掘りエッチング装置

(Alcatel AMS100)
アスペクト比100対応のMEMS
用エッチング



**汎用反応性プラズマ
エッチング装置**

(アネルバ L501D)
各種サイズ・材質に対応

Manager: Mita

Takeda SuperCleanroom (VDEC)

2017 MITA, Yoshio

&



超高压電子顕微鏡

(JEM-ARM-1250)

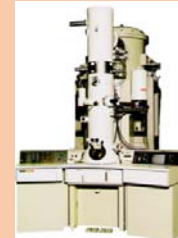
0.1nmの原子直視型超高压
透過型高分解能電子顕微鏡



**透過型
分析電子顕微鏡**

(JEM-2010F)

電解放出型電子銃。EDS, EELS,
STEM-HAADF観察が可能。



汎用透過型電子顕微鏡群



高分解能FE-SEM

(JSM 7000F)

東京大学・
日本電子産学連携室
装置を最高の状態にキープ

Manager: Dr. Nakamura

Nano Engineering Center

武田先端知スーパークリーンルーム

- 2004年稼動
- VDECと工学部に対する武田郁夫氏個人からの寄付
- 連邦基準「クラス1」600m² の《山手線内で唯一》都市型クリーンルーム
- 東大内で実質的に唯一の「共同利用を前提としたクリーンルーム」
- 工学系【53%】とVDEC【47%】で共同管理



Class 100 part

“Open² Cleanroom”

- Open-use
 - 整備されたクリーンルームを場所貸し提供
- Open-access (to apparatus)
 - 電子線描画装置などの「単独では取得維持困難な」装置
- Open-access (to technology)
 - 世界的にもユニーク・高性能なレシピを惜しげもなく公開



武田先端知装置増強のストラテジ

- 企業からの寄付



- 超純水装置
- 平行平板RIE

- VDEC運営費交付金
(まれに)補正予算



- 研究室・学科とのコラボレーション

- FIRSTプログラムやGlobal COE(電気系・機械系他)

- 企業からの貸与

- アンテナショップとしてのメリット



電子線描画装置



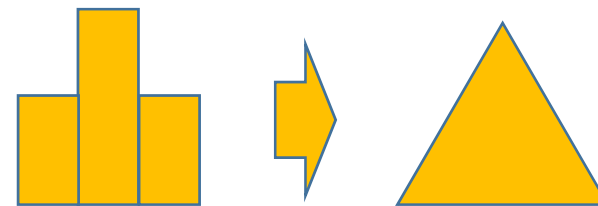
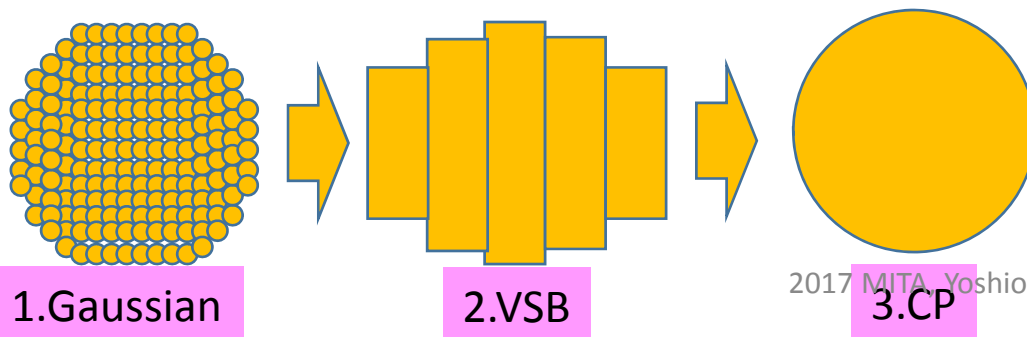
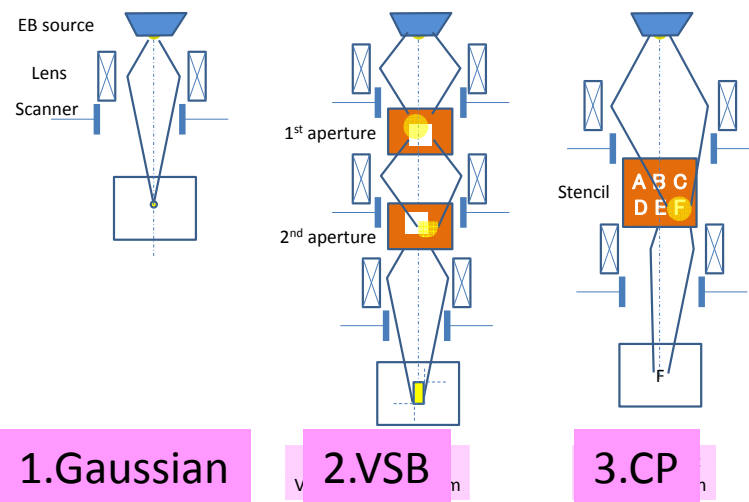
- ADVANTEST F5112+VD01
- アカデミック唯一・世界一の装置
- 欠片～8インチ対応
- レジスト種類豊富
(60nmL/Sから、2.6 μ m厚まで)

- 自動現像装置 (EVG101)
マスク自動エッチング装置
(APTCON)



2014.3 新型「大面積超高速電子線描画装置」導入

- ADVANTEST F7000S-VD02
 - 3rd Generation Machine: Character Projection
 - 1Xnm-node top resolution over 8-inch wafer (any materials OK)



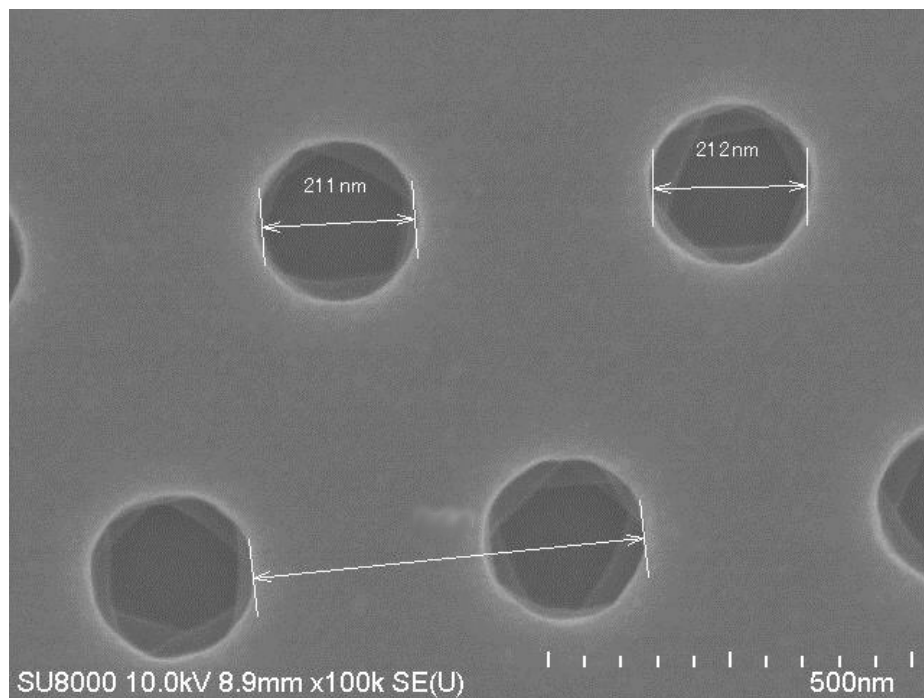
2017 MITA, Yoshio

描画例

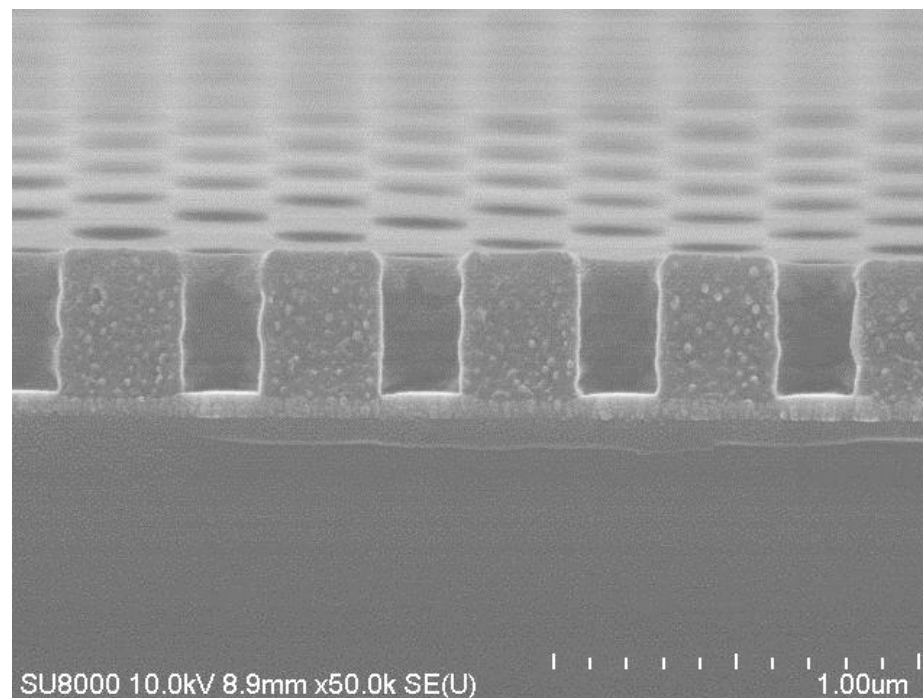
1mm角:20秒“入れたら出てくる”
6インチ角全面描画を
「当たり前」実行中

- $\phi 230\text{nm}$ のホールパターン(CP露光)
- 10mm角エリアにしきつめた露光時間30分以下
(ホール総数:7億個)

F7000S-VD02 (50kV) CP exposure



SEM写真



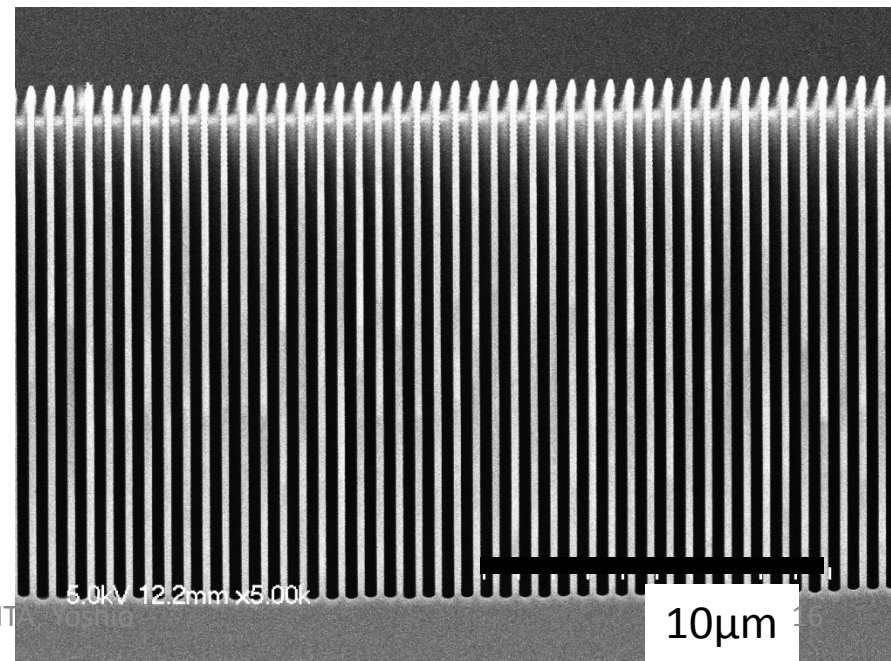
断面SEM写真

深掘りプラズマエッチャー



- SPTS MUC-21 ASE-Pegasus
- 4インチ対応 (8インチも導入可)
- レシピ豊富
(ウエーハ打ち抜きからサブ μm 迄)
(レシピ調整手法をほぼ習得)

+ 汎用ICPエッチャー3台
ULVAC CE-300I (4' フッ素系)
ULVAC NE-550 (4' 8' 汎用)
ULVAC CE-S (8' 塩素系)



武田先端知SCRの運営ポ リシー

L'union fait la force

数は力

仕組み:

- ・利用者の所属による「差別全くなし」
- ・VDEC管轄の装置は全て共同利用装置

の「Open²ポリシー」によって賛同者・利用者数を増やすことで、
全ての構成員に満足をもたらす。

メリット:

- ・無駄の削減: 高価な薬品もまとめ買いで使いたいときに使いたいだけ使う
- ・装置の効率的稼働: 個々人はめったに利用しない装置でも整備提供可能

究極:

- ・一人一人のユーザーに、産学連携のコアになってもらう(100人の10歩)¹⁷

※1本(1/4ガロン)150万円⇒1ピペット1550円で小分け

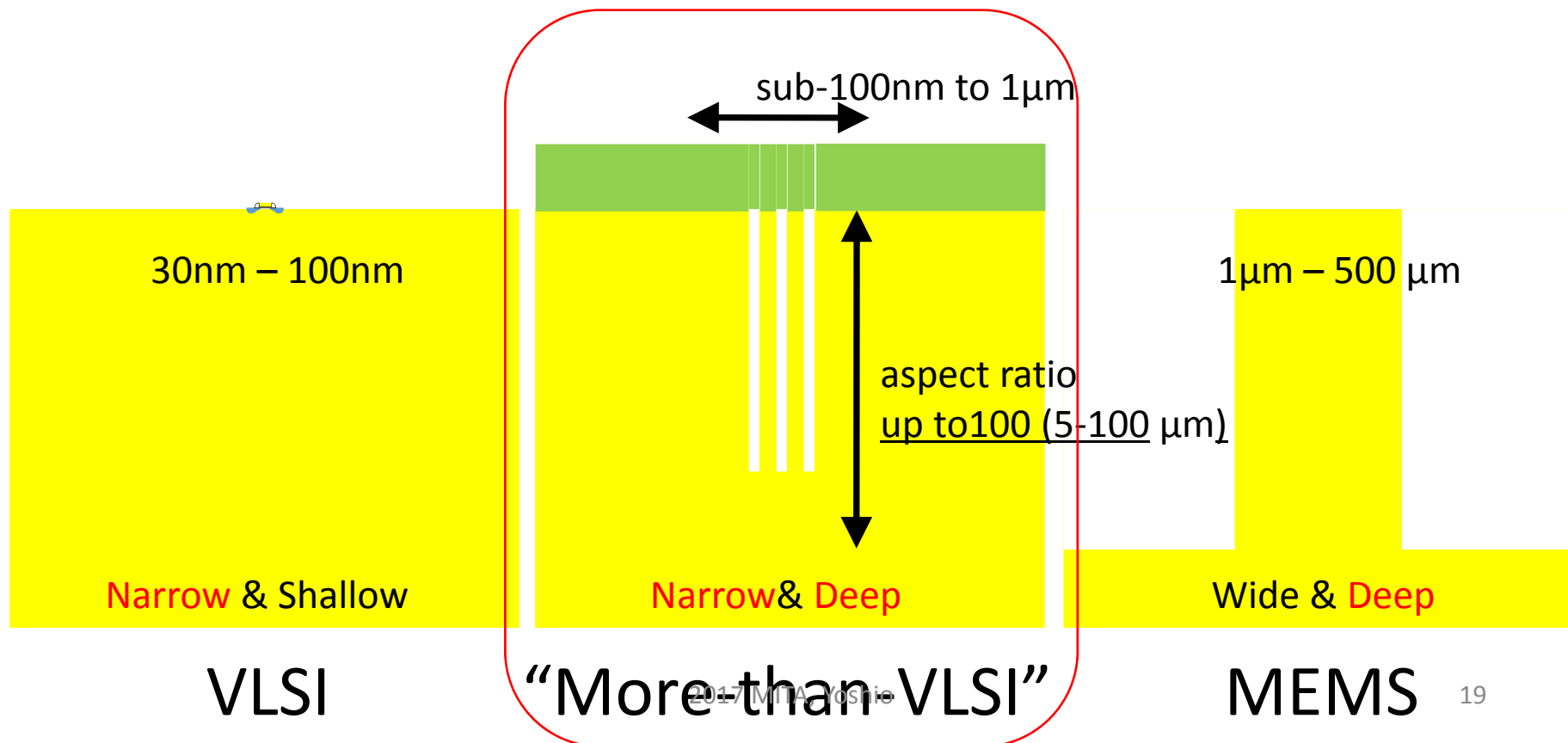
“数は力”のメリット例：電子線レジストの整備

F5112+VD01での描画例

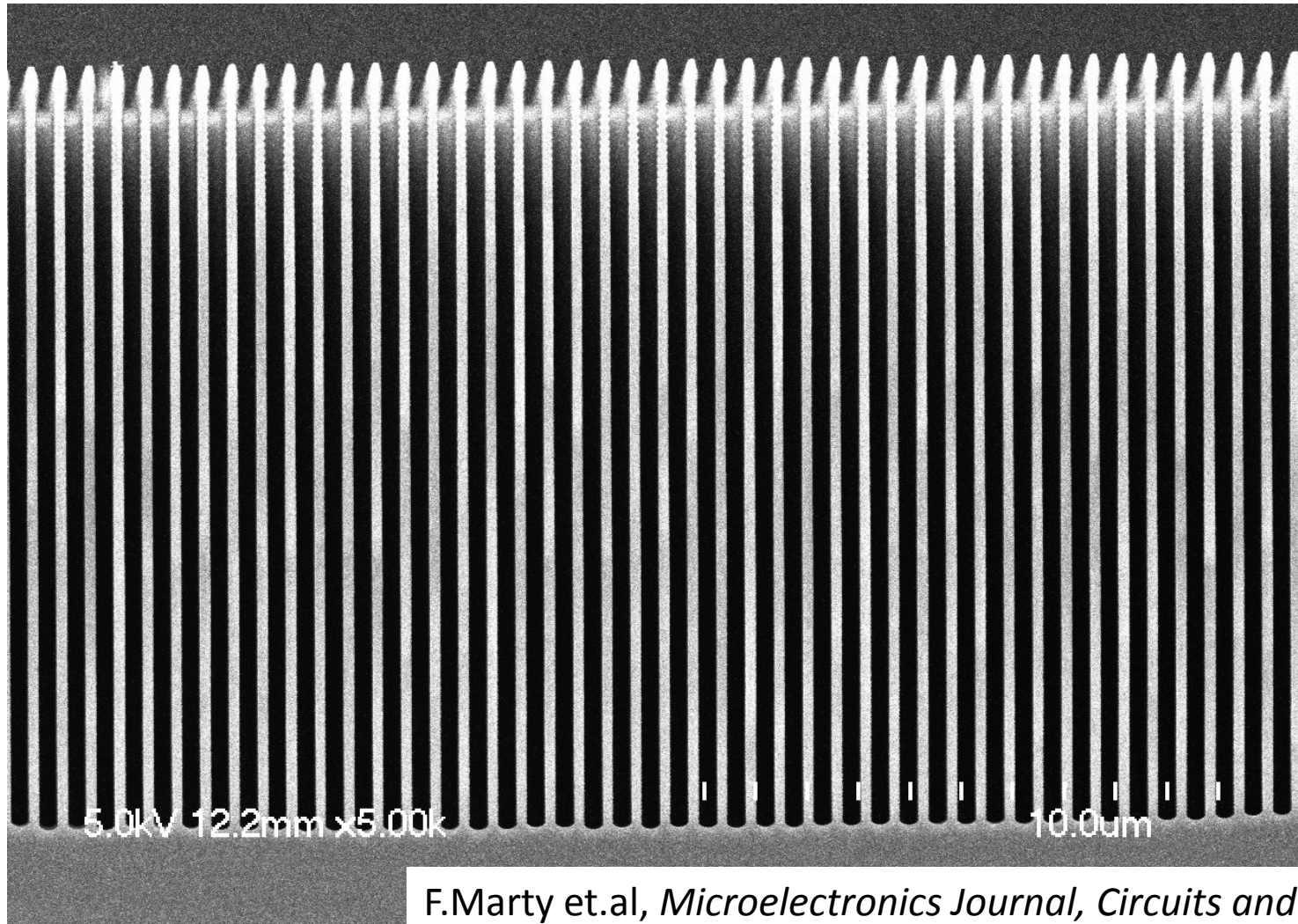
EB resist name	Type	Thickness	res. 1:1L&S	res. one trench
OEBR-CAP112	posi	1~2.5 μ m	500nm~	200nm
OEBR-CR01P	posi	100nm	80nm	50nm
FEP-171	posi	200nm	100nm	
OEBR-CAN028T2PE 2.2cP	nega	100nm	70nm	
OEBR-CAN028T2PE 3.1cP	nega	300nm	80nm	
ZEP520A	posi	400nm	100nm	50nm
ZEP520A-7	Posi	200nm	50nm	

東大拠点の特色2:新規テクノロジーの利用

- High Aspect Ratio *Nano* Structure (HARNS)

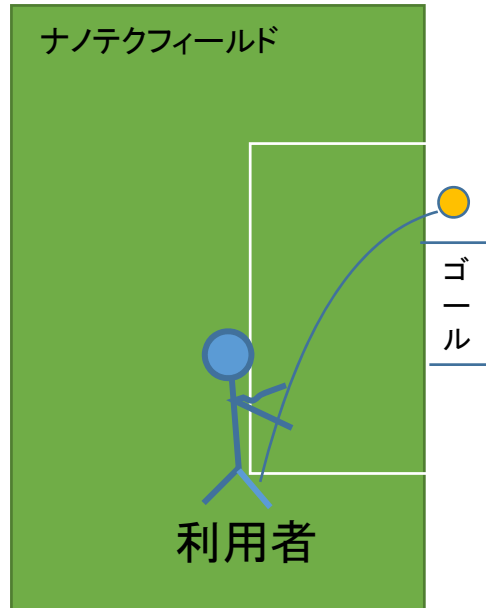


Sub-micron Silicon Grating at U.Tokyo-VDEC Platform



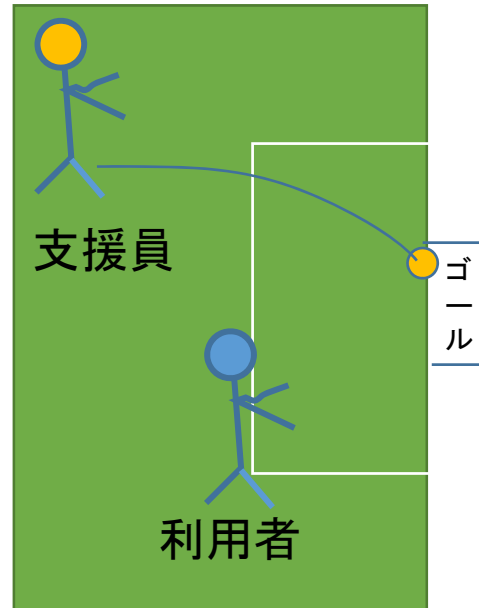
F.Marty et.al, *Microelectronics Journal, Circuits and Systems section*, Vol. **36**, pp.673-677 (2005.06)

ナノテク利用法



機器利用
自分で操作して
ゴールを直接狙う

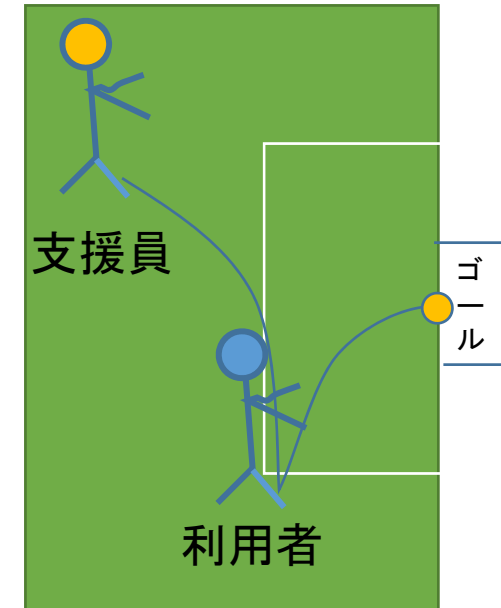
利点:自分で学べる・
時間の自由・安い単価
欠点:狙いが当たるま
ではそれなりに経験
(と失敗回数)が必要



技術代行
支援員が代理で
ゴールを狙う

利点:狙いがより正確
欠点:費用が上乗せ
自分自身のスキルアッ
プにつながりにくい

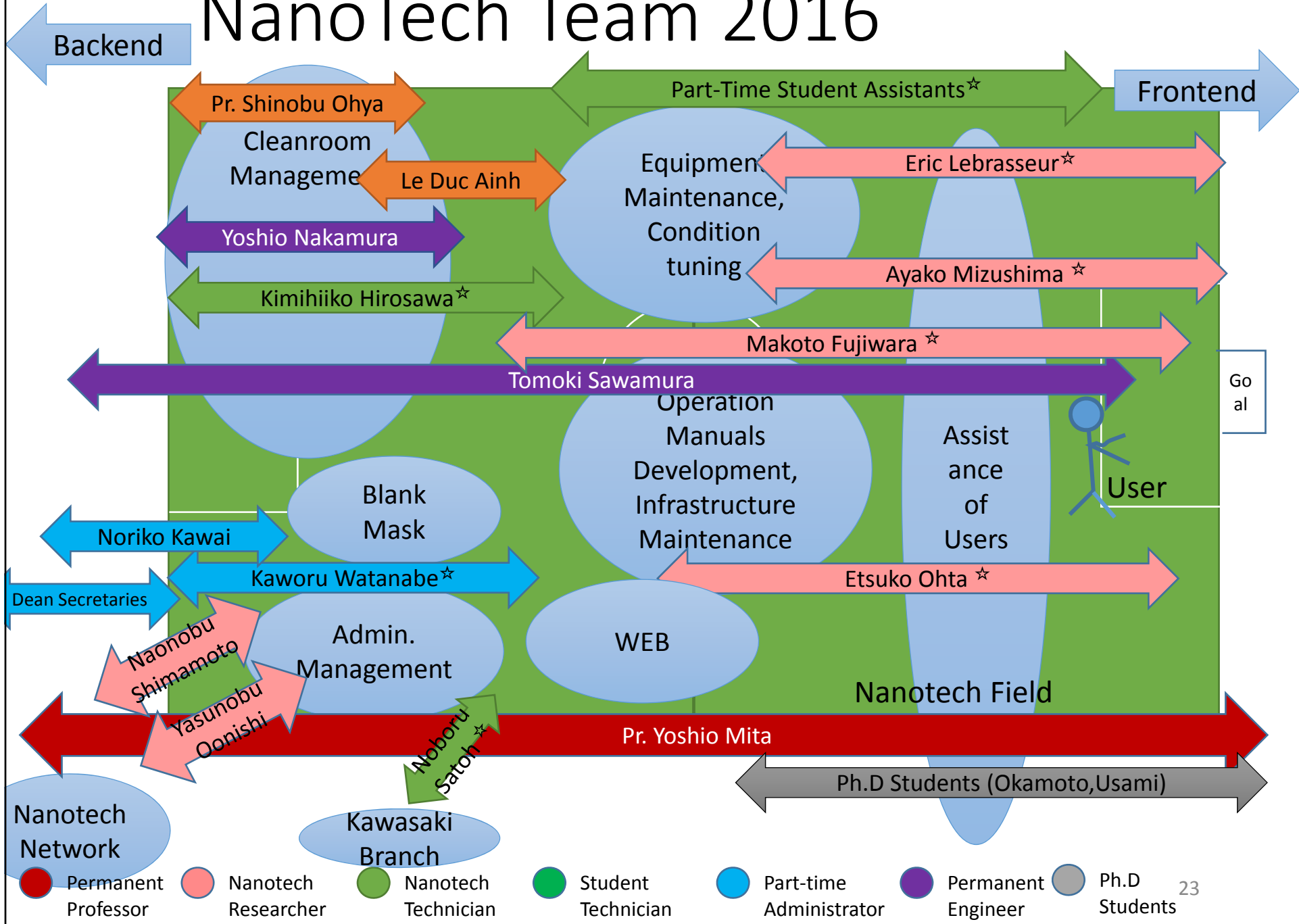
2017 MITA, Yoshio



技術補助
支援員のアシストで
ゴールを狙う

利点:機器利用+技術
代行のベストマッチ
欠点:費用が上乗せ
支援員との日程合わせ
支援員の継続雇用

NanoTech Team 2016



クリーンルームチーム組織図

東京大学総長

ナノテク加工拠点の長

大規模集積システム設計教育
研究センター長 浅田邦博

大学院工学系
研究科

総合研究機構

ナノ工学センター

CADサービス
部門

LSIファウンドリ
部門

LSIテスト部門

クリーンルー
ム部門

藤田教授
名倉特任准教授
松本助教

池田教授(協力講座)
高宮准教授(生研)
飯塚講師
新助教

池野特任講師
(寄付講座)

三田准教授
(協力講座)

河井哲子 事務補佐員
(教官室・予算処理)

クリーン
ルーム
管理室

電子
顕微鏡

島本直伸 研究員☆
大西廉伸 研究員☆

ナノテクノロジープラットフォーム 微細加工拠点

大矢忍 准教授
レディックアイン 助教
澤村智紀 技術職員
広沢公彦 学術支援職員☆
中村美雄 学術支援職員

低炭素
ハブ

全国コーディネータ

エリックルブラスール研究員☆
藤原誠 研究員☆
水島綾子 学術専門職員☆
太田悦子 学術専門職員☆
近藤尚子 技術補佐員☆

渡邊かをる 事務補佐員☆
(受付・請求・報告書・
フォトマスク blanks 作製)

(岡本有貴(MERIT)) 瀬戸口良太(M2学生)☆
竹城雄大(M1学生)☆ 山田健太郎(B4学生)☆
佐藤昇(新川崎) 技術補佐員☆
(宇佐美尚人(D1))

ナノプラット微細
構造解析拠点

CR維持管理

密接

連携

フルタイム技術支援

事務局・装置維持(+技術支援)

☆: ナノプラット雇用

2017 MITA, Yoshio

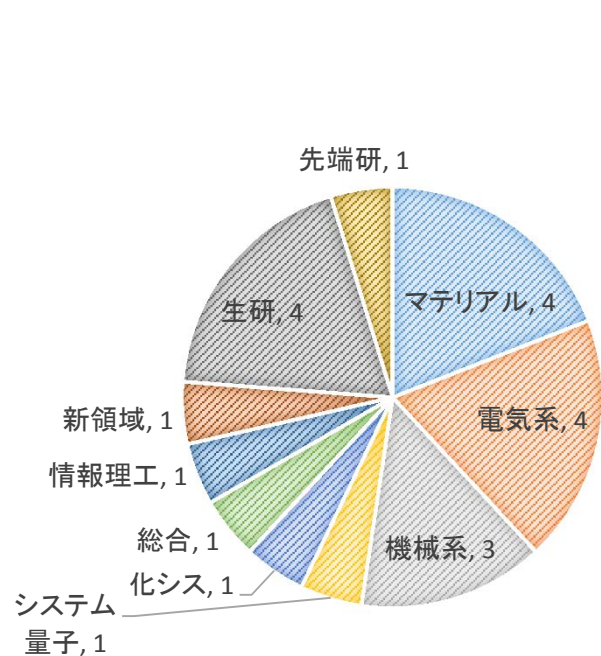
武田SCR現状での成果

15年で利用研究室規模×10倍(21⇒217)

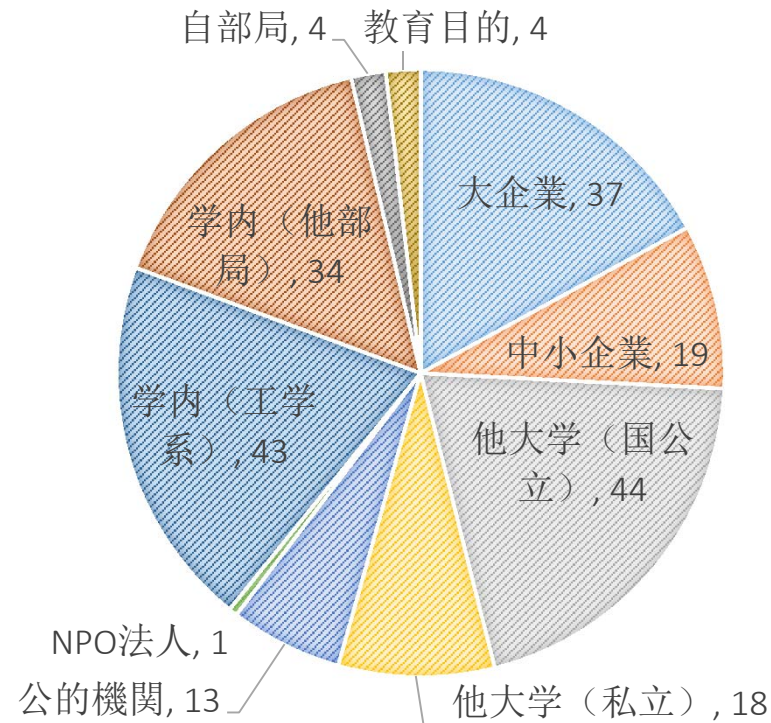
特に企業の申し込みが増加中

共用事業17年の成果①：研究室 × 10倍

- 2000-2004：学内21研究室
- 2012-2016：学内外217研究室（研究PJ：213，教育：4）



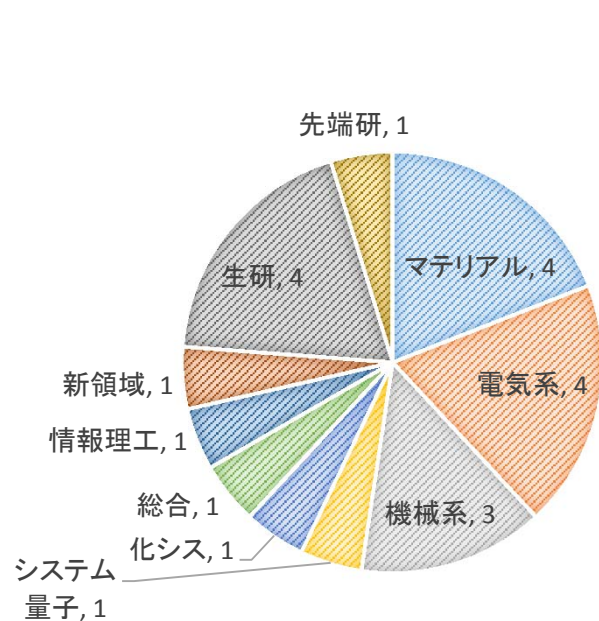
2000-2004：学内21研究室



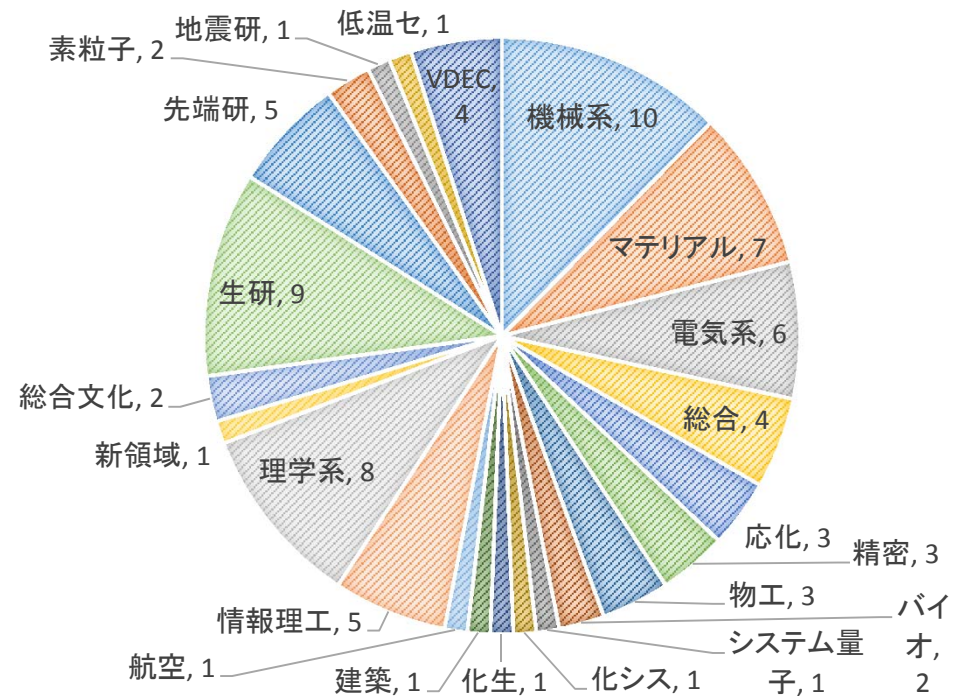
2012-2016：学内81研究室、学外132研究室

東京大学の登録研究室分布

- 2000-2004: 学内3部局2附置研
- 2012-2016: 学内5部局3附置研3センター



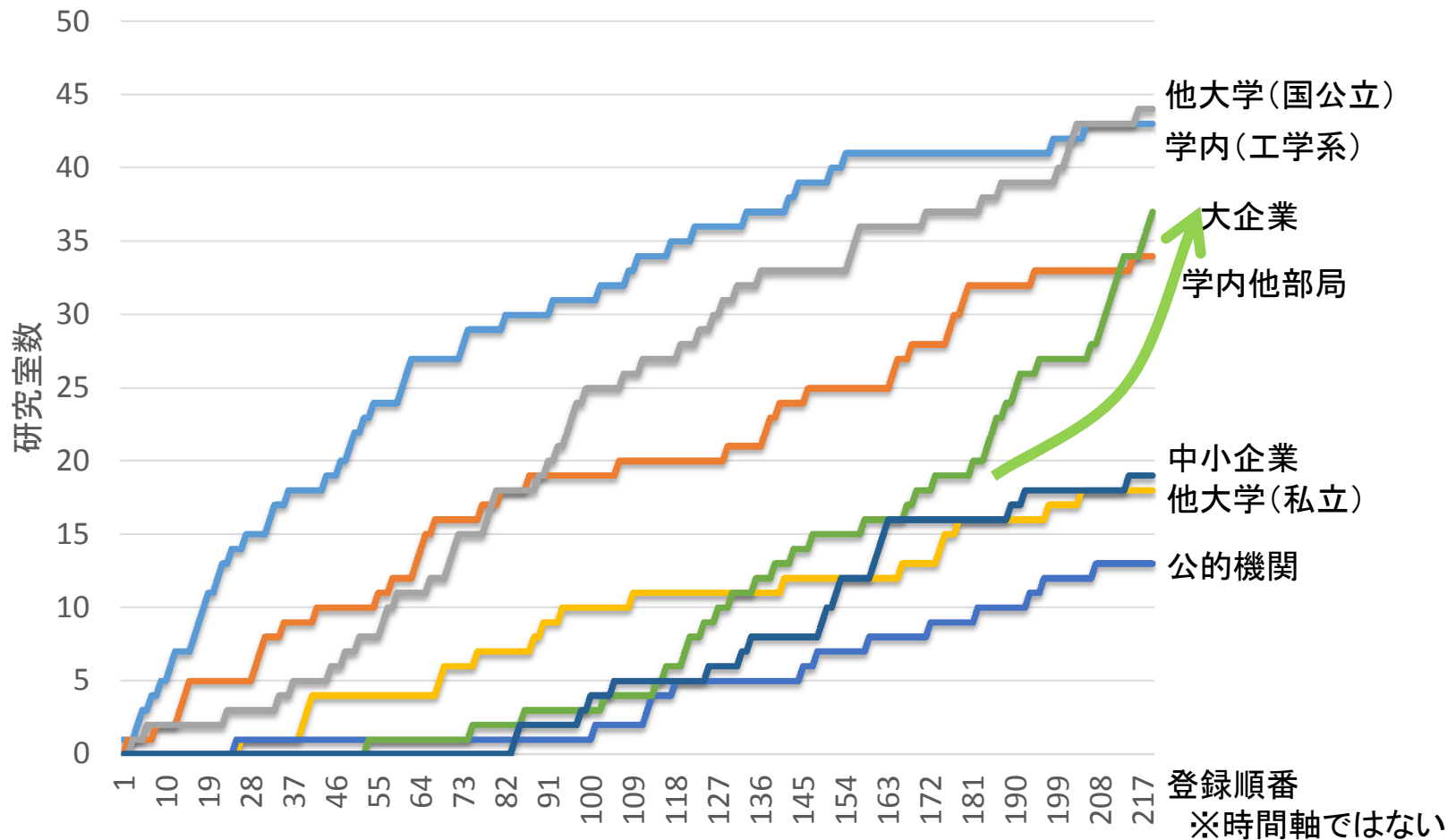
2000-2004: 学内21研究室



2012-2016: 学内81研究室

最近の傾向：他部局・学外・企業の登録が増加（特に企業）

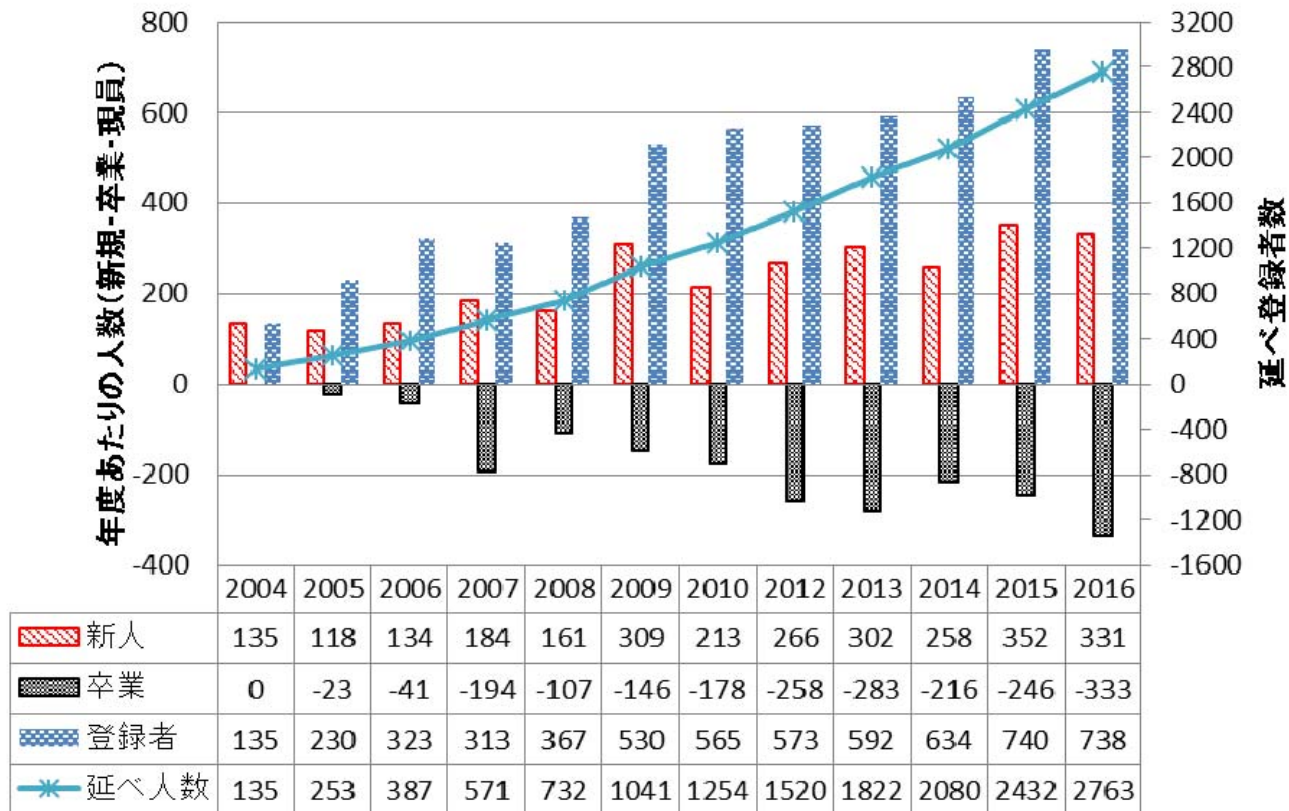
登録研究室の推移



ナノテク拠点としての認知度向上⇒産学連携に向けた内圧がいよいよ高まる！！

成果②産学官からの幅広い登録・利用

武田先端知クリーンルーム利用登録者の推移



- 研究室213 + 教育4
- 登録者740
- 新人331
- 計2763名/12年
(2017.01)

ポイント:

研究室がどこにあっても武田を使い続けることで切れ目なく学術成果が出る

- 研究の超高速スタートアップ
- 研究者のモビリティ確保
に大きく貢献

共用事業の成果③：多数の学術成果

(Counted on Declarations Base)

Year	Jounal	Conference	Patents	Press Releases	Awards
2012	114	118	7	4	6
2013	92	149	8	5	16
2014	75	210	9	10	7
2015	61	189	8	4	12
Total	342	666	32	23	41

世界的に注目される拠点へ成長中

Sweden: Myfab

Scotland: SMC, U. Edinburgh

England: U. Southampton

France : Recherche Technologique de Base
by Ministry of Higher Education and Research
5 RENATECH institutes (CNRS)+LETI(CEA)

US : National Nanotechnology
Coordinated Infrastructure
Head: Georgia Tech. 16 Universities

Japan : Nanotechnology Platform
Head : Kyoto Univ. 13 Univ.+2 Institutes+1 public

(ビデオレター1: エジンバラ大学)

- Anthony Walton教授
- Scottish Microelectronic Centre (2000-)

<http://www.vdec.u-tokyo.ac.jp/20shunen-data/VDEC-Walton20170120.html>

(ビデオレター2: 仏CNRS-RENATECH)

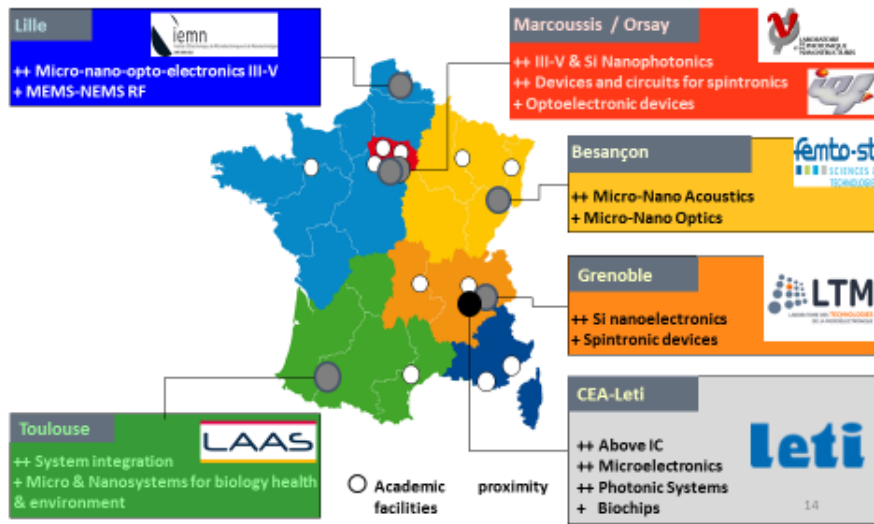
- Michel de Labachererie 教授
- CNRS/FEMTO-ST研究所元所長(ブザンソン市)
- RENATECHコーディネータ

<http://www.vdec.u-tokyo.ac.jp/20shunen-data/VDEC-Renatech20170120.html>

フランスCNRS-RENATECHから見た東大拠点

- 東京大学(三田)が先導しプラットフォーム国際交流
 - JSPS-CNRS二国間交流(セミナータイプ) 2015-2016
 - 日本の微細加工拠点の中で東大拠点は特に高評価
 - 評価点: クリーンルームのクラス(格)、利用数、運営

National map of the BTR network



2016.11.05 東大拠点訪問

フランスとのシステム比較：技術面

- フランス流：テクノロジーとサイエンスを分けて考える
 - テクノロジーを拠点に残す・学術成果は利用者のもの
 - 技術代行に安住する研究者が多い/学生には技術補助・機器利用



- (これまでの日本流)テクノロジーとサイエンスとが研究室毎に分散配置
 - 学生の卒業＝技術の断絶



- (東大武田流) 共通テクノロジーと個別先端テクノロジーの「いいとこどり」



武田「互助会活動」10年の結果と展望

- 学内外213研究室が「同じ釜^{チャンバー}で実験を行う」共同体が形成された
⇒ 潜在的研究コミュニティの自発的成長
- 150篇を超す「報告書」が毎年蓄積されている ⇒ 利用者のコアコンピタンスの自動収集スキーム（武田ポートフォリオ）

pros 一線の研究者が研究テーマと共に続々利用を求めてきている状態

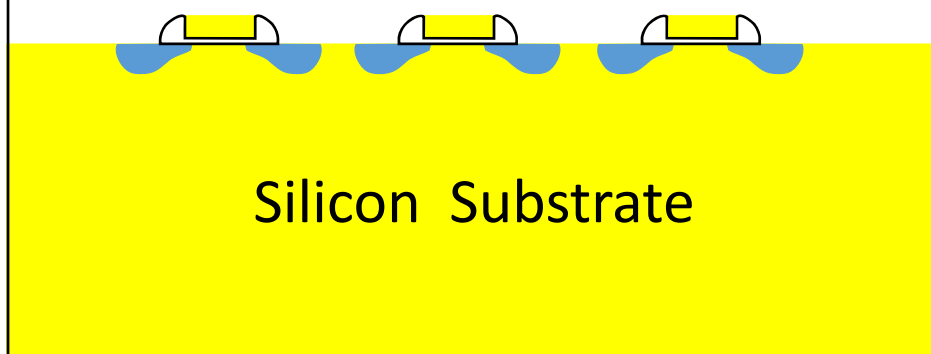
limit 定まった個別の利用目的を持っており、必ずしも利用者同士の交流は無い

これを利用して

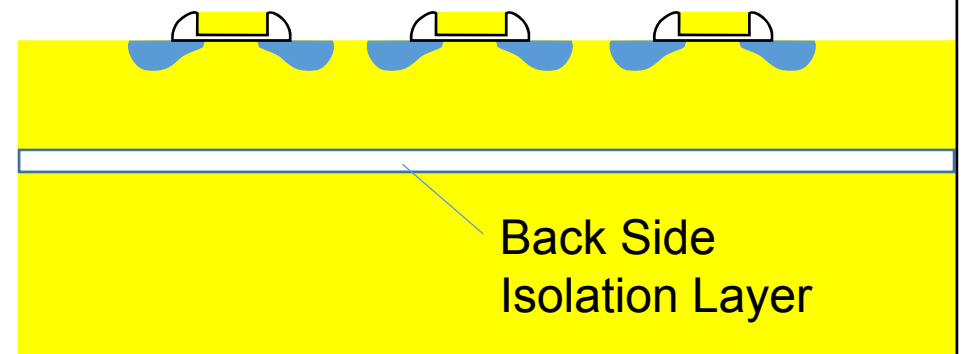
- 「上位レイヤー」としてのトップダウン研究を多数呼び込み
- 案件ごとにベストのフォーメーション「ドリームチーム」を形成し
- チーム構成員の学問的コンピタンスと、「利用支援」によって継続的に蓄積された運営チームの先端試作ノウハウとを融合「クロスブリッジ」することで
- 課題を短期間に解決する

新規方向を探索中： VDEC+武田SCRによる高性能集積化MEMS

- 0.6 μm 、5V系CMOS VLSI（最大15mm 角）
- 6インチウエーハで提供
 - CMOS回路を「ユーザが提供した」ウエーハの上に焼いてくれる
 - テスト済ウエーハ: 活性層厚9 μm 、25 μm 、50 μm SOI基板、オフセット基板
 - 廉価。相乗りによりさらに廉価。



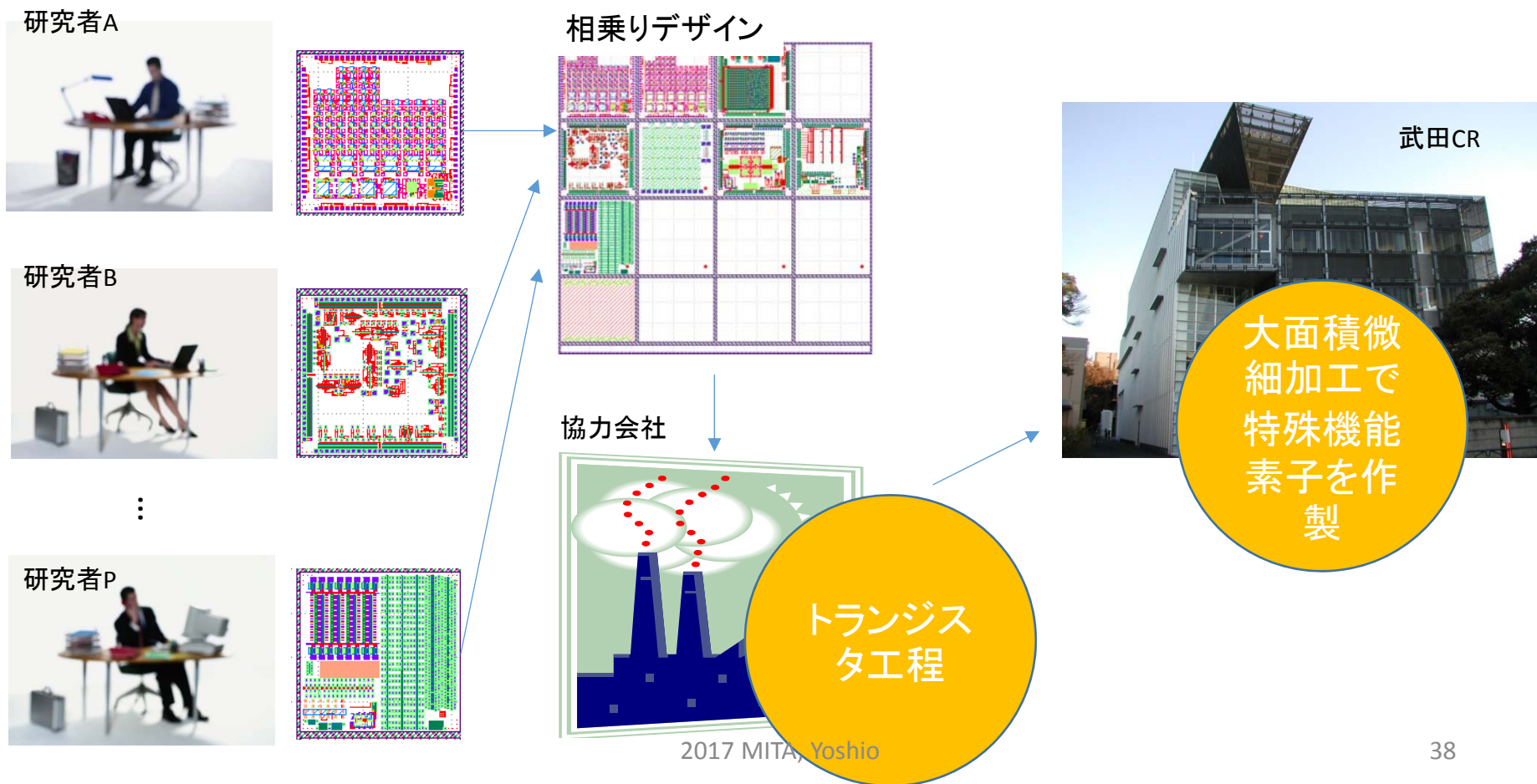
Standard Bulk VLSI



on SOI wafer

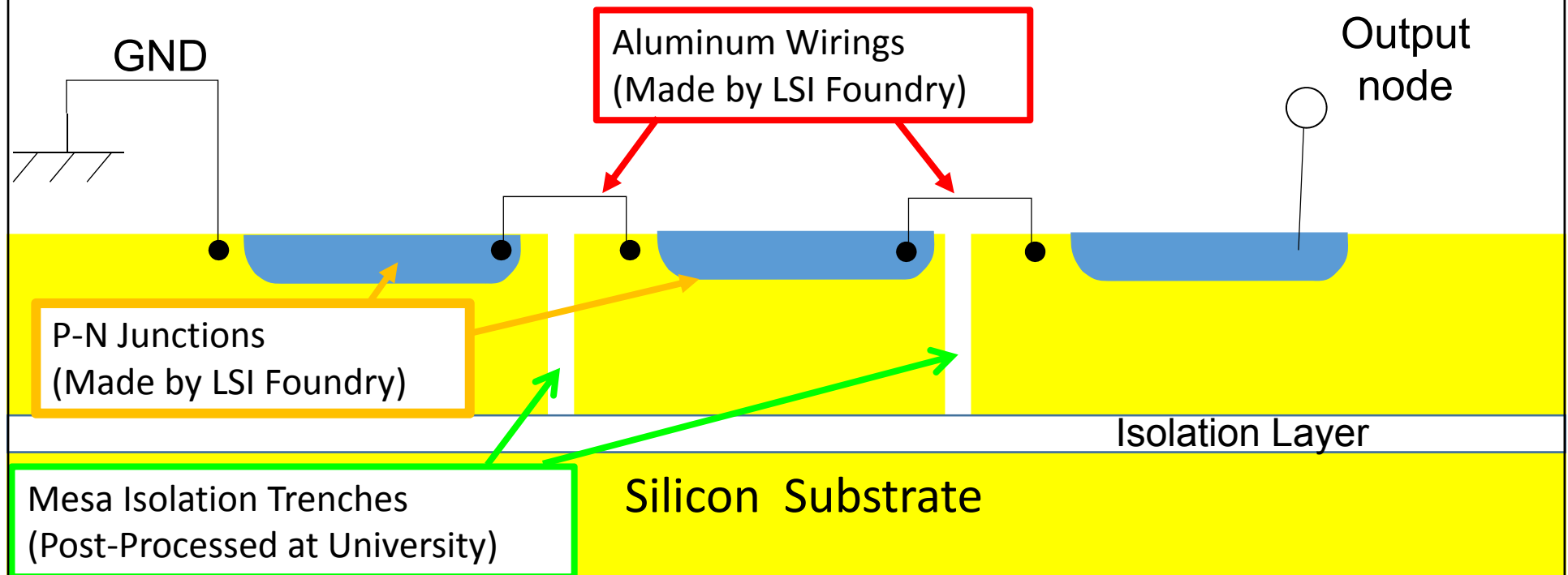
VDECの相乗り試作＋武田SCRオープンプラットフォームフォームでの後加工

- 新規デバイスの創造が可能
 - VLSIを「信頼性の高いp/n型半導体材料として利用」(逆転の発想)

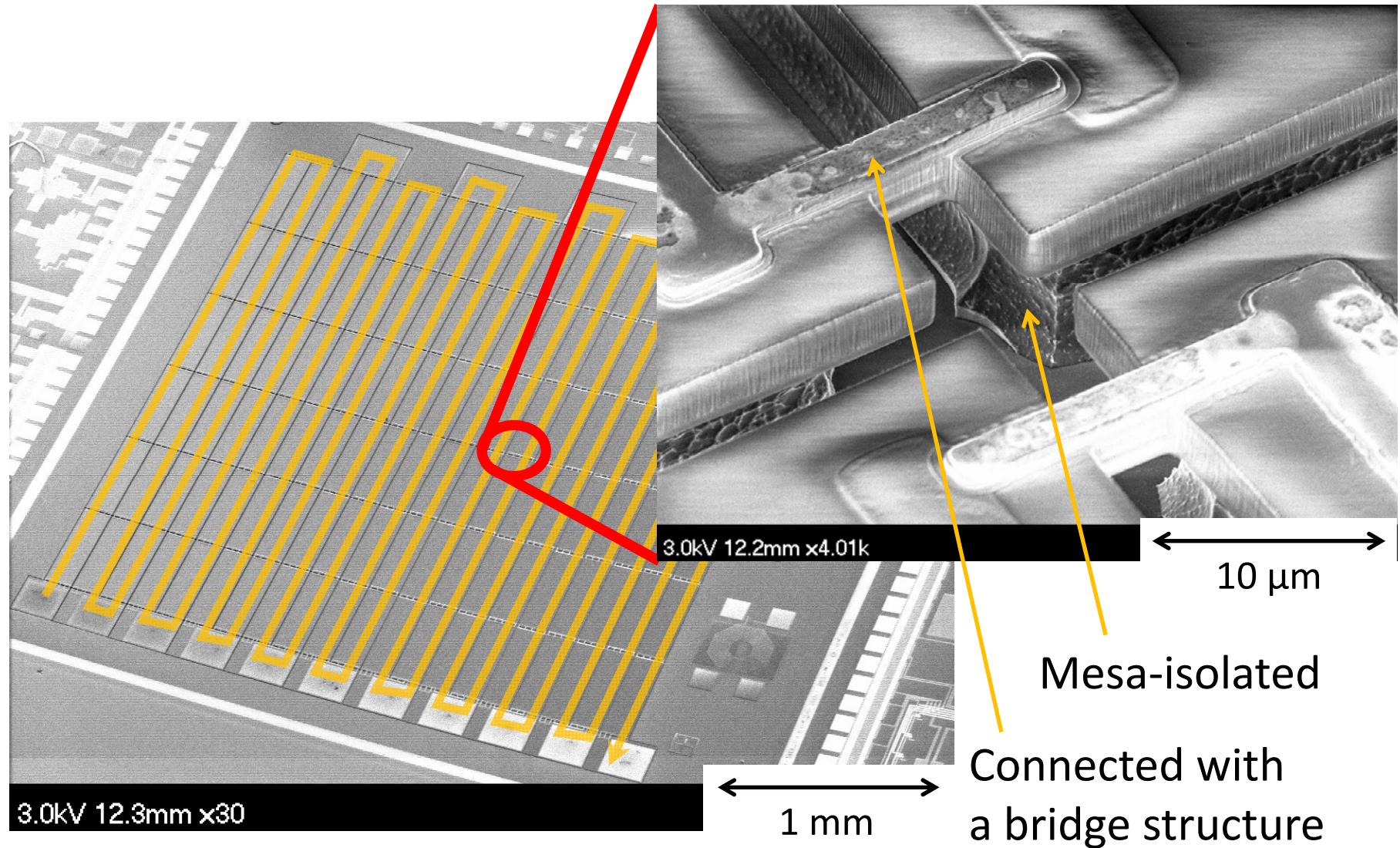


Application to Series Connected P-N Junction

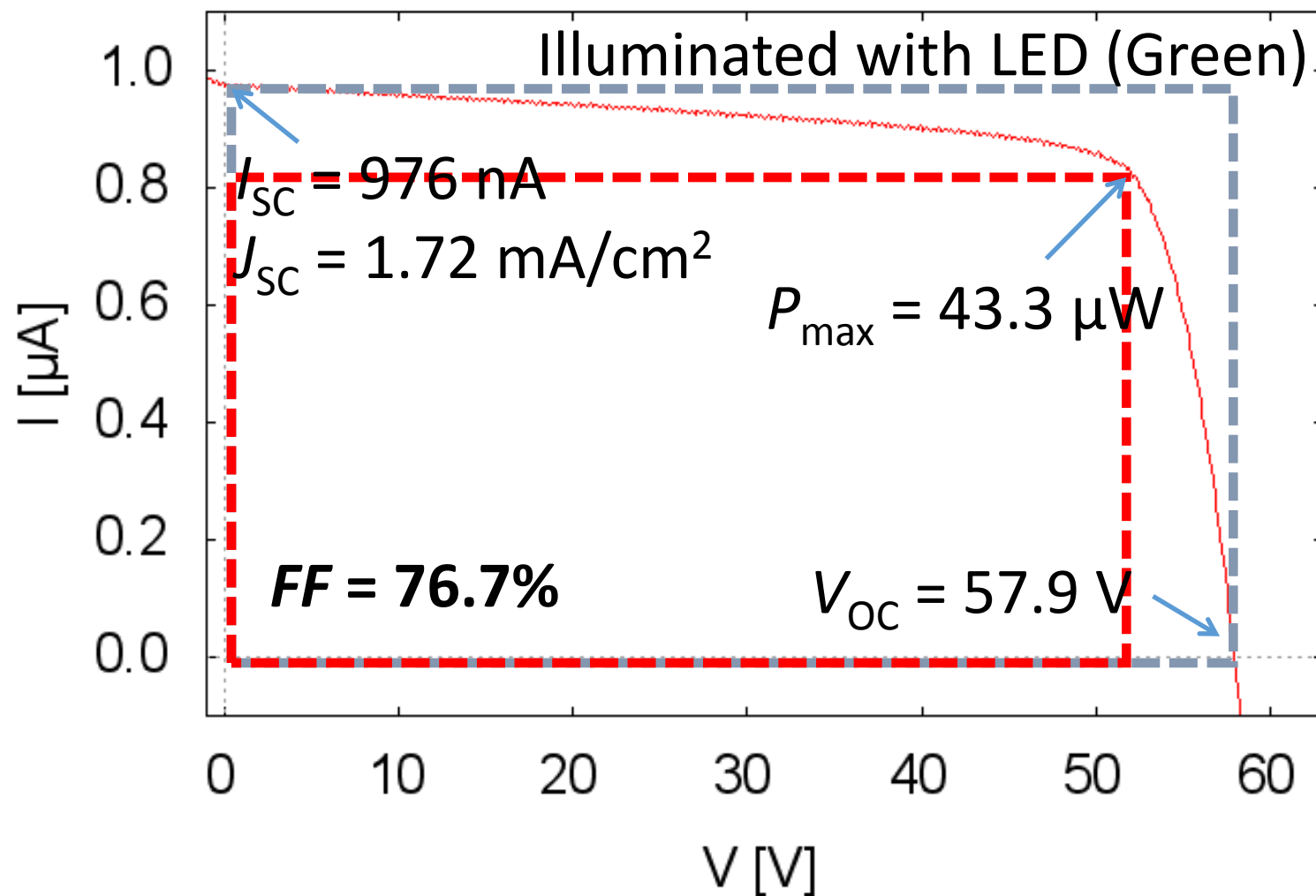
- Convert Low-V (0.4V) Junctions to High-V PV Cell ($n \times 0.4V$)



研究例：CMOS集積化高電圧太陽電池



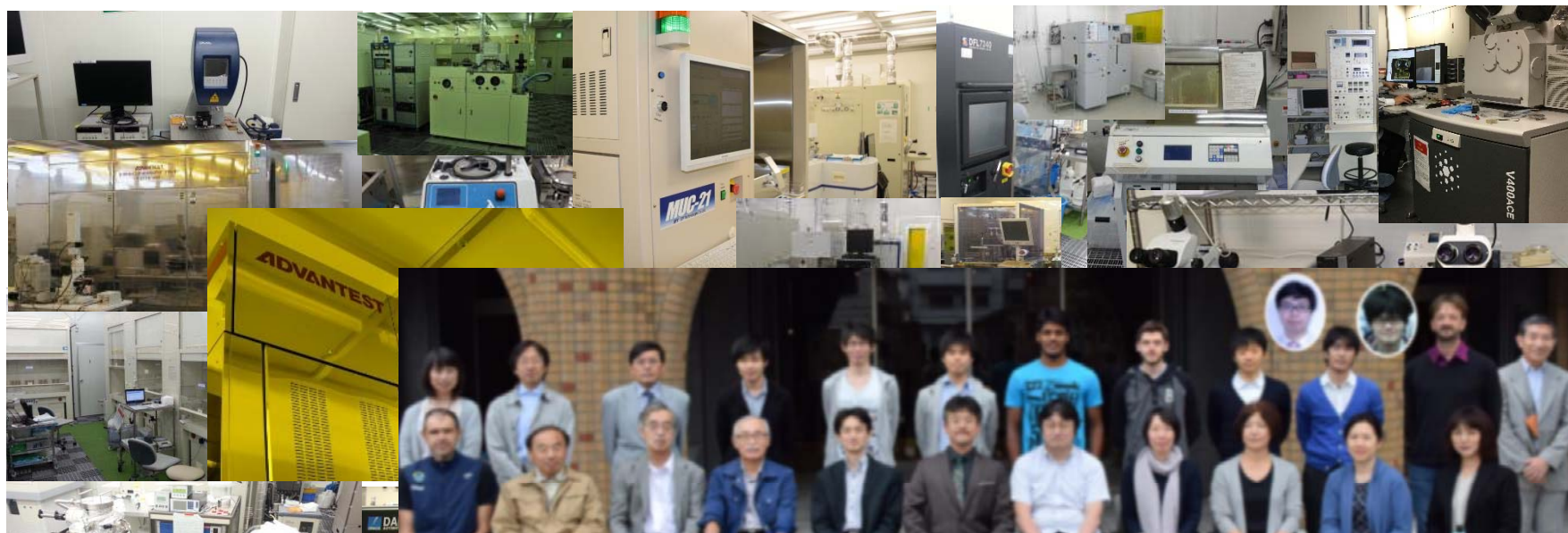
実用に足る素子特性 (開口率76.7%)を 大学のクリーンルームで得られる



ご利用・ご相談をお待ちしています

Mail: mita@if.t.u-tokyo.ac.jp

- ちょっとした化学処理をやりたい方(フッ酸処理、洗浄、RIE)
- ちょっとした微細描画をやりたい方(50nm→20nmへ。丸や曲線も可)
- ちょっとしたシリコン加工をやりたい方(深掘りRIE)
- ちょっとしたLSI融合システムを作りたい方(CMOS-MEMS)
- 要するに:一品ものの微小センサ・デバイスを作りたい方



一流の装置群と優秀なスタッフがお相手します