

兵庫県立大学大学院工学研究科付属

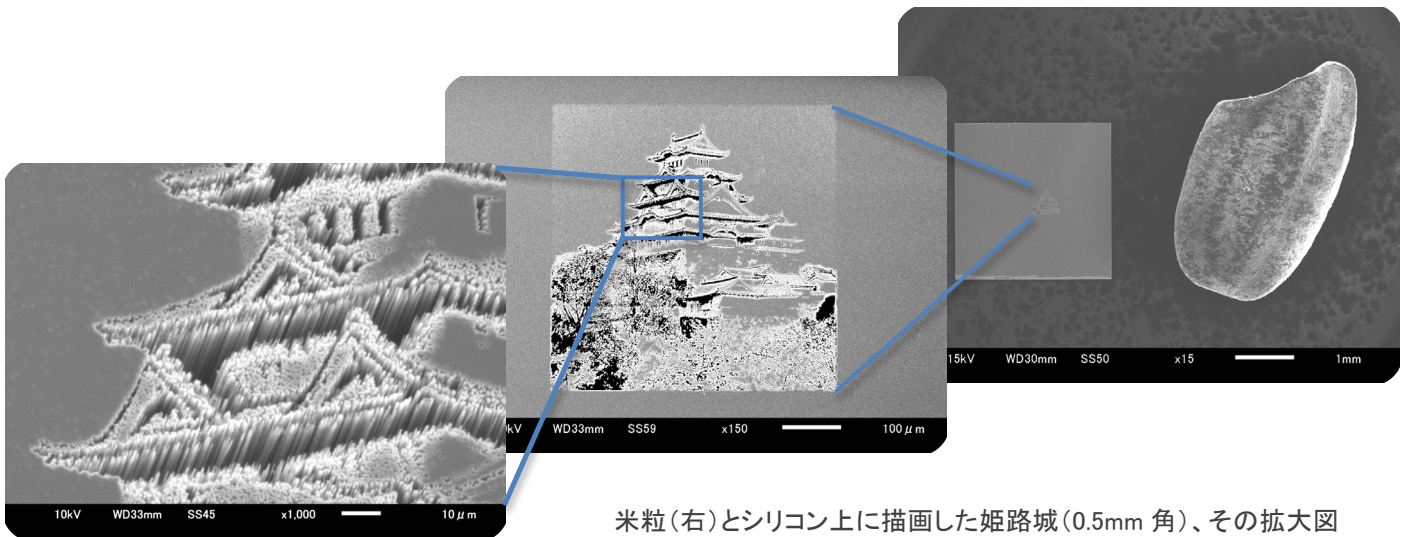
# MEMS デバイス 開発支援センター

ホームページ: <http://memskm.dip.jp/MEMSC>

Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) デバイスの開発を  
設計・試作・評価までバックアップします



シリコンに刻み込んだ兵庫県立大学学章と毛髪



米粒(右)とシリコン上に描画した姫路城(0.5mm 角)、その拡大図  
シリコンウエハをお城の形で 20 μm の深さ、エッチングしています

## 米粒のような、という形容があります 現在では、それは猛烈に巨大な、という意味になります

ごあいさつ

かつて我が国では産業の米、と呼ばれた半導体集積回路を中心に、品質の良いものを大量に低価格で生産し、世界を列席した時代がありました。時代は変わり、現在では高品質、低価格という条件は必須の要件として世界中の生産拠点に浸透しており、もはやこれだけをもってリーダーシップをとることは不可能です。したがって、我々が今後の 20 年、50 年を生きていくためには、高付加価値を持つ製品、自ら市場を開拓できる製品、環境に優しくサステナブルな製品、など、独自の特徴を持った開発が必須となります。

半導体集積回路の次の世代のテクノロジー (More than Moore と呼ばれます) として MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術が脚光を浴びています。この技術は、半導体集積回路技術をベースに、微小機械構造、センサやアクチュエータ、バイオ系システム、等々を実現しようとする技術で、分野としては微細加工、各種薄膜形成、電子回路との融合、などが含まれます。MEMS 技術の特徴のひとつに、バッチプロセスがあります。バッチプロセスとは、写真蝕刻の技術を中心に、同一品を同時に大量に作製する技術で、極端には 1 つの部品を製造するのと同じ手間、費用で 1 万個の部品を製造することも可能です。MEMS 技術を利用した製品の例として、加速度センサやジャイロ(角速度センサ)があります。従来は一品加工によって製造されていたこれらの製品は高価大型で、コンシューマ向けの製品への適用が不可能なものでした。ところがこれらが MEMS 技術で作製できるようになり、小型化、低価格化、さらには高機能化が進んで、現在では iPhone やゲーム機の端末、乗用車などに大量に使われています。

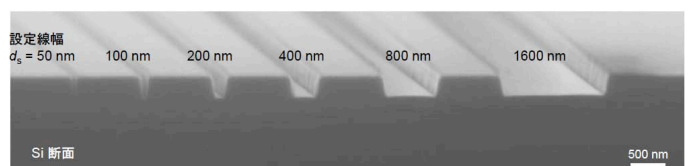
皆様が現在お持ちの仕事と MEMS は全く関係ない、とお考えの方も多いのではないかと思います。しかし、新しいアイデアを投入した機能デバイスを試作したい、製品を小型化したい(小型化には軽量化、低熱容量化、低エネルギー化など多くのメリットがあります)、生産の効率化や

大幅な量産化をしたい、などの場合、MEMS 技術がその解になることはおおいにあり得ることです。ご遠慮なく、ご相談ください。

MEMS 技術は敷居が高い、といわれることが良くあります。実際、MEMS デバイスを試作するためにはクリーンルームと高価な各種機材、そのうえノウハウなども必要となります。本センターは、ノウハウを含めこのような環境すべてを学内外の研究開発に提供するべく発足しました。研究用途として独自デバイスの試作が可能のほか、開発用途としては小規模生産にも対応できる、4 インチのウエハラインを備えております。企業の方にとっての製品開発の最適解として、本センターをご利用頂いて開発品や ES の試作を行い、レシピを確定した上で、生産のめどが付きましたら国内外のファウンダリにそのレシピを提示し量産に入るというスタイルが適切であると考えます。

まずは手を動かしてあるいは実物を手に持ってその技術の様子を実感する、これが新しい技術への最善の入り口であると考えます。今後、実習講座などの開催も視野に入れ、活動を進めたいと思います。

MEMS デバイス開発支援センター  
センター長 前中 一介



本センター機材での加工実施例  
ナノインプリント用テストパターン  
東北大学金属材料研究所  
早乙女研究室 ご提供

# 構造設計、回路設計から薄膜形成、微細加工、機械的評価・電気的評価まで

## MEMS デバイス開発支援センター設立の背景

2007 年度～2012 年度において、兵庫県立大学書写工学キャンパスに於いて科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業、ERATO 前中センシング融合プロジェクトが行われ、先進的な生体センシング MEMS デバイスについての研究が行われました。このプロジェクトでは、新しい材料、新しい MEMS プロセスに関する研究を含み、そのために MEMS 研究のインフラが整い、さまざまな技術、ノウハウが蓄積されました。本センターは、そのインフラおよびプロジェクトの成果を広く社会に還元しようと設立されたものです。現在、人的あるいは財政的な裏付けはなく、ボランティアベースに近い運用からスタートする予定ですが、利用の状況や社会の状況を見ながら有益なセンターとなるよう運営していく所存です。

さて、MEMS デバイスの試作評価には、構造設計、(集積)回路設計、プロセス設計、試作、機械的評価、電気的評価などの工程を一貫して進める必要があります。我々は下記のように、MEMS 設計・試作評価にかかわる一連の部門を擁しています。

- ・構造設計  
構造解析シミュレータ、パターン設計 CAD
- ・集積回路設計  
各種回路シミュレータ、論理合成ツールなど
- ・微細パターン形成  
5インチクロムマスク作成装置(最小パターン $>2\mu\text{m}$ )、電子線描画装置、プロキシミティマスクアライナ、両面マスクアライナ、DMD 露光装置、インクジェット装置
- ・薄膜作成  
PZT(チタン酸ジルコン酸鉛:圧電材料)専用成膜装置、各種メタル(Al、Cr、Ti、Ni、Au、Pt 等)用高周波スパッタ装置、Poly-Si/SiN 用 LPCVD 装置、電子ビーム蒸着装置
- ・エッチング  
シリコン専用深掘りエッチング装置、メタル等材料用汎用ドライエッチング装置、XeF<sub>2</sub>ドライエッチング装置、O<sub>2</sub>アッシング装置、各種ウエットエッチング
- ・熱処理  
拡散・酸化炉、赤外線急速熱処理炉、マッフル炉
- ・アSEMBル  
ダイシングソー、超音波ボンダ、金熱ボンダ、チップボンダ、ウエハボンダ、精密ウエハ研磨装置
- ・評価  
EDX 付き SEM、FE-SEM、白色干渉式表面形状測定装置、共焦点顕微鏡、触針式段差計、レーザドップラ振動計、ウエハプローバ、電気的評価装置各種

すべての試作プロセスには、4 インチウエハが使用できるよう組み立てておりますので、小ロットの生産も可能です。プロセス条件や試作結果など、可能な範囲で広く公開して技術の蓄積と公表に務める予定です。

以上の設備の他、当センターの施設以外の調査・使用に関する窓口も務めたいと存じますので、MEMS 関連のご相談がございましたらまずはご一報下さい。

## 代表的な設備の仕様



シリコン用 Deep-RIE 装置(住友精密工業、MUC-21)

Bosch プロセスを利用したシリコンの高速、垂直ドライエッチング装置。通称 DeepRIE などと呼ばれ、今日では MEMS 技術の核になる技術・装置のひとつ。エッチング速度最大 25 $\mu\text{m}/\text{min}$  で、レジストや酸化膜をマスクにしてほぼ垂直なエッチングが進む。対レジストエッチング選択比 200 以上、対 酸化膜エッチング選択比 300 以上。ウエハ貫通も可能であり良く行う処理のひとつだが、裏面をヘリウムで冷却している都合上、ウエハを貫通エッチングする場合は異形ウエハの処理と同様にダミーウエハに貼り付けて処理をする必要がある。4 インチ、シリコン専用。



PZT スパッタ装置(ULVAC、CS-200 特)

圧電材料である PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)をスパッタリング法によって基板上に堆積する装置。高い基板温度で膜形成し、アズデポの状態では膜が結晶化され分極されている。圧電素子を形成するための電極(Pt/Ti)形成チャンバも備えており、基板の導入から、下部電極形成、PZT 形成、上部電極形成が真空中で連続して行える。4 インチ基板用で、PZT の膜厚としては 3 $\mu\text{m}$  近辺の成膜を標準プロセスとしている。



汎用 ICP-RIE 装置(サムコ、RIE-101HU)

塩素系ガスも導入されている汎用ロードロック付き ICP-RIE 装置。ガス系は Ar、O<sub>2</sub>、CF<sub>4</sub>/CH<sub>4</sub>、BCl<sub>3</sub>、Cl<sub>2</sub> の 5 系統 6 ガス、アンテナパワー 1kW、プラテンパワー 500W、4 インチ仕様。汎用エッチャとして使用しているが、特に Pt/Ti 電極を備えた PZT 薄膜の微細エッチングに実力がある。搬送には 4 インチのウエハが必要であるが、4 インチ以下異形ウエハやチップは、試料を 4 インチダミーウエハ上に貼り付けることによって処理可能。



電子ビームマスク描画装置(Elionix、ELS-3700M)

電子ビーム源に LaB<sub>6</sub> を使用した比較的簡易な電子ビーム露光装置。加速電圧最大 30kV、最小線幅 100nm(小領域では 50nm)。試料カセットは小径チップ用以外に 4 インチ  $\Phi$ 、5 インチ角(マスク乾板用)が準備されている(露光エリアは最大 80x110mm 角)。1 $\mu\text{m}$  角が方形として解像できればよい程度の露光なら、ラスタースキャンで 500 $\mu\text{m}$  角が 1 分 30 秒程度で露光できる。レジストレーション(アライメント機構)、GDSII データ入力可能。



汎用5源 RF スパッタ(Eiko、ES-250B)

5 源の 4 インチ用汎用 RF マグネトロンスパッタ。基板加熱最大 500 $^{\circ}\text{C}$ 、自転機構付き、RF パワー 1kW。ターゲットは 2 インチ  $\Phi$ 。現在、金、アルミニウム、クロム、ITO、SiO<sub>2</sub> 等々の無機物のデポに使用している。RF 電源 1 機でターゲットを切り替えて使うため、複数ターゲットからの同時デポはできない。



ウエハ/チップ接合装置(アユミ工業、特注)

4 インチのウエハ同士、あるいは 5mm 角程度のチップ同士を赤外線透過アライメント機構によって位置あわせし、真空/大気中で最大 1t の荷重、500 $^{\circ}\text{C}$  の温度で押しつけ貼り合わせる装置。貼り合わせには接着性樹脂、低融点金属膜などを使用するほか、ガラスウエハ-シリコンウエハの接合の場合には昇温の上 高電圧を印加して接着剤無しで接合する(陽極接合)ことも可能。



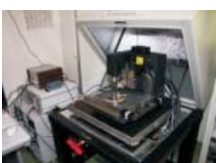
走査電子顕微鏡、SEM(JEOL、JSM6510LA)

LaB<sub>6</sub> を用いた簡易型の SEM 装置。EDS が付属し元素分析ができる。また、4 インチウエハホルダを有し、ウエハ全域は観察できないもののプロセス中のウエハ状態を非破壊で観察できる。加速電圧 0.5~30keV、分解能 3nm(30keV)、8nm(3keV)15nm(1keV)、低真空動作が可能で、導電処理しなくても観察可、また含水試料の観測も可能。



マスクアライナ(キヤノン、PLA501)

プロキシミティ型マニュアルマスクアライナ。5 インチマスクによる 4 インチウエハへの露光が可能。露光量は積算露光量をモニタし制御。別途両面アライメント可能なアライナも所持。

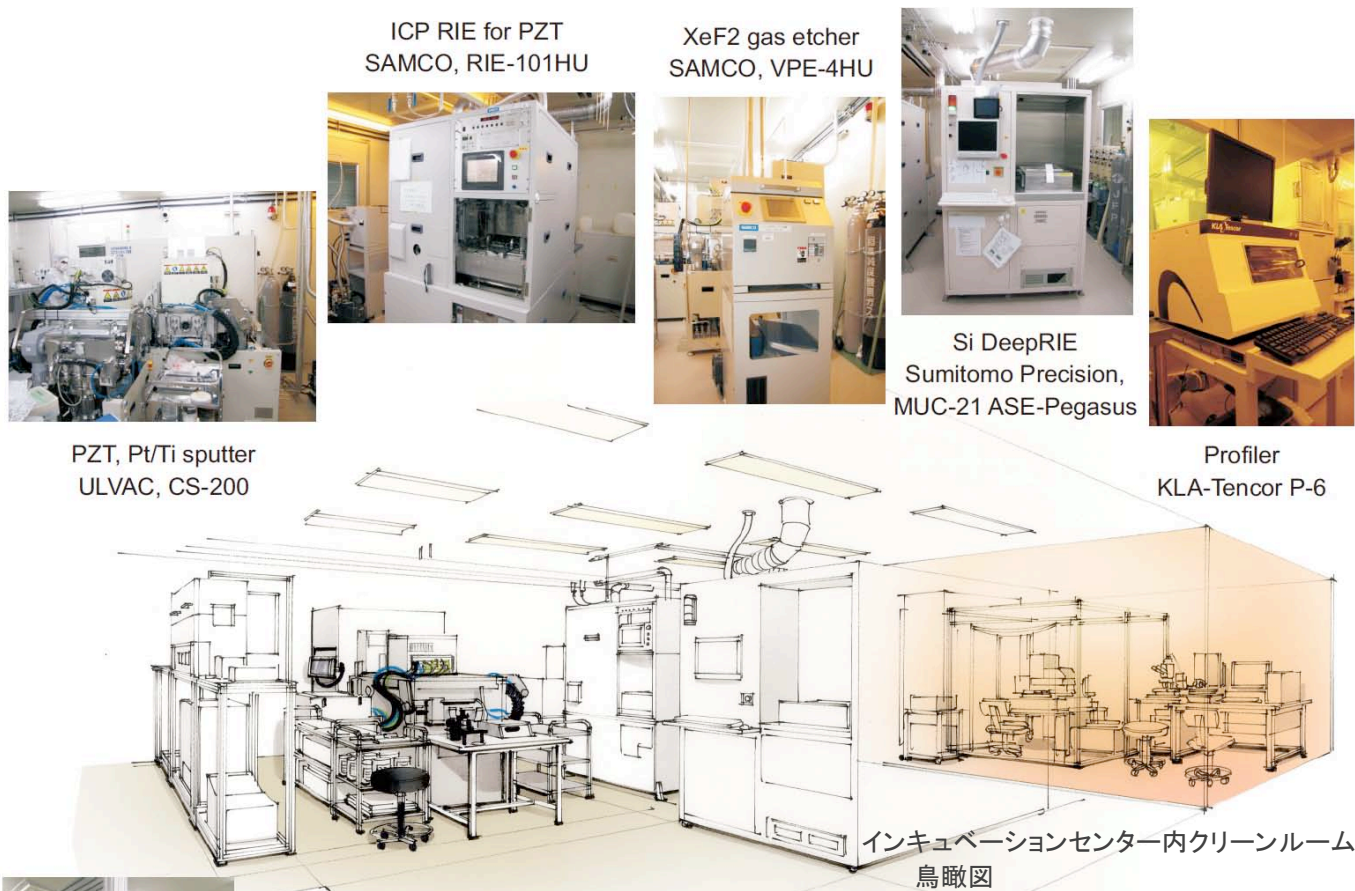


原子間力顕微鏡、AFM(Veeco、Nanoscope)

Veeco の AFM(NanoScope V)と aixAcct 社の圧電定数計測システム(TFA2000E)を組み合わせたシステム。圧電サンプルを AFM で観察しながら、圧電材料の分極ヒステリシス、圧電変位、リーク電流、C/V 計測などが可能。最大印加電圧 200V、電流測定レンジ 10pA~1A。AFM 部は xy スキャン領域 90 $\mu\text{m}$  角、z 方向 8 $\mu\text{m}$ 、ステージ駆動範囲 125mm x 100mm(8 インチ  $\Phi$  試料搭載可能)、光学顕微鏡による粗動機構付き、タッピング/ノンコンタクトモード可能。MFM プローブの使用実績有り。

# 書写工学キャンパス

インキュベーションセンター: デバイス試作用クリーンルームを設置  
 オープン実験棟: デバイス評価用 SEM、AFMなどを配置



ICP RIE for PZT  
SAMCO, RIE-101HU



XeF2 gas etcher  
SAMCO, VPE-4HU



Si DeepRIE  
Sumitomo Precision,  
MUC-21 ASE-Pegasus



Profiler  
KLA-Tencor P-6

PZT, Pt/Ti sputter  
ULVAC, CS-200



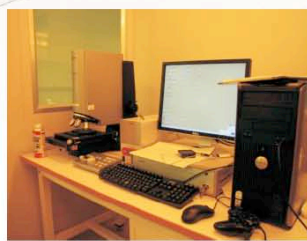
Furnaces



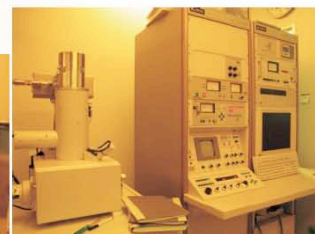
Multi-target sputter  
Eiko-engineering  
ES-250B



Wafer bonder  
Ayumi Industry  
VE-08-21



Confocal microscope  
Lasertec, H1200



E-Beam exposure  
Elionix, ELS-3700M

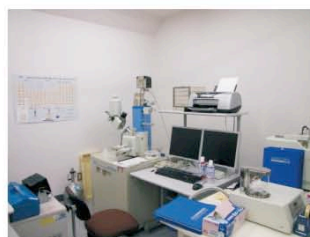
## other evaluation equipments



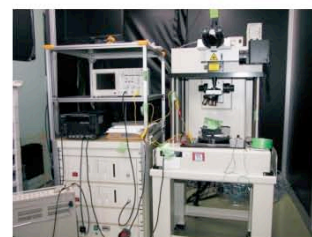
Atomic Force Microscope  
Veeco, Nanoscope



High resolution FE-SEM  
Hitachi, S-5000H



SEM with EDS  
JEOL, JSM6510LA



Laser Doppler vibrometer  
Neotec, MLD-103A

## 問い合わせ先

[郵便番号] 671-2280

[住所] 兵庫県姫路市書写 2167

[電話番号] 079-267-4876

兵庫県立大学工学研究科付属 MEMS デバイス開発支援センター  
代表 前中 一介

E-Mail: maenaka@eng.u-hyogo.ac.jp

詳細および利用申し込みホームページ

<http://memskm.dip.jp/MEMSC>