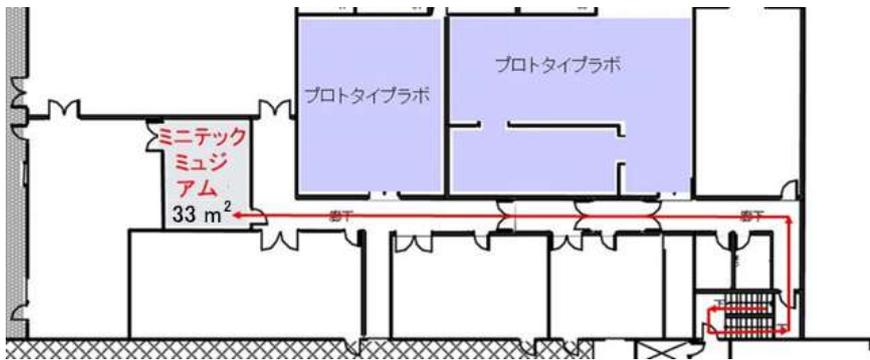


# 西澤潤一記念研究センター内の展示室紹介



仙台 MEMS ショールーム



近代技術史博物館



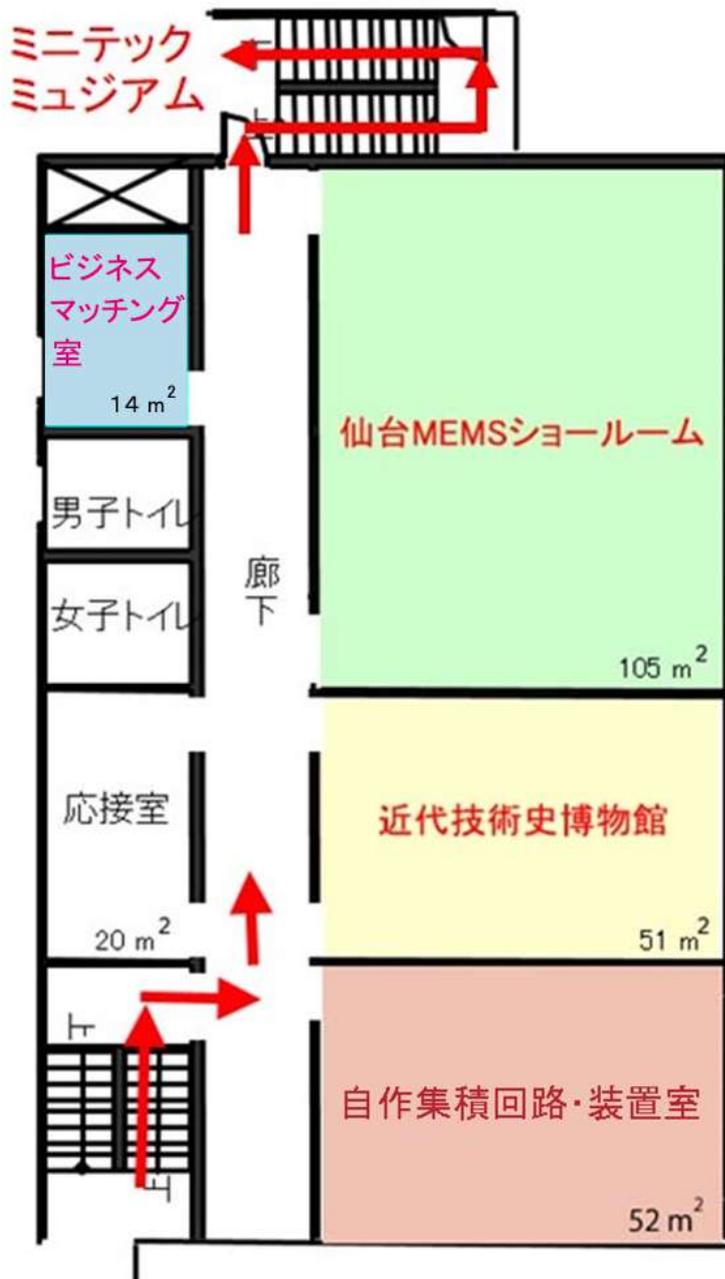
自作集積回路・装置室



ビジネスマッチング室



ミニテックミュージアム



2F 展示室

# 1 展示室 (Exhibition room)

日本語

1 西澤潤一記念研究センター内の展示室紹介(表紙)

英語 (English)

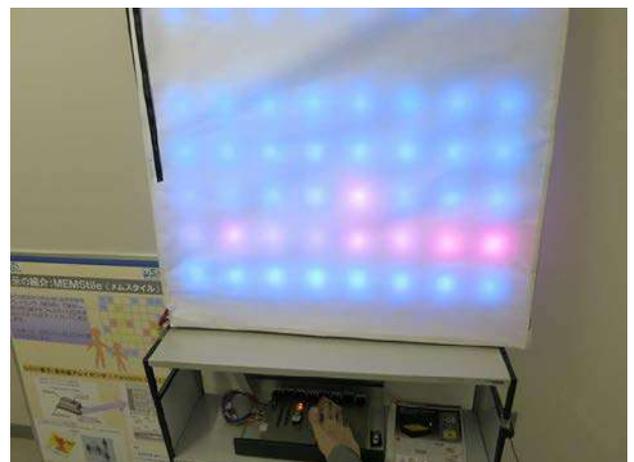
21 Exhibition rooms in Jun-ichi Nishizawa Memorial Research Center (cover)

2 仙台 MEMS ショールーム ポスター 0-25	7 カード A1-A14 8 カード B1-B14 9 カード C1-C14 10 カード D1-D14 11 カード E1-E14 12 カード F1-F14 13 カード G1-G4 14 カード H1-H7 15 カード I1-I2	22 Sendai MEMS showroom Poster 0-25	27 Card A1-A14 28 Card B1-B14 29 Card C1-C14 30 Card D1-D14 31 Card E1-E14 32 Card F1-F14 33 Card G1-G4 34 Card H1-H7 35 Card I1-I12
3 近代技術史博物館 ポスター 0-25	16 カード J1-J17	23 Historical Museum of Technology Poster 0-25	36 Card J1-J17
4 自作集積回路・装置室 ポスター 0-18	17 カード K1	24 In-house IC and equipment room Poster 0-18	37 Card K1
5 ビジネスマッチング室 ポスター 0-7	18 カード L1	25 Business matching room Poster 0-7	38 Card L1
6 ミニテックミュージアム ポスター 0-14	19 カード M1	26 Mini tech Museum Poster 0-14	39 Card M1
	廊下 20 カード N1-N4		Corridor 40 Card N1-N4

廊下展示写真 (Photo of exhibition in corridor)



以前の計測器と試作品(他の古い測定器などは別室に保管) 半導体研究振興会や西澤先生の書籍、MEMS 学会資料  
(Old equipment and prototype) (Books by Semiconductor Research Instit. and Prof. Nishizawa, and proceedings on MEMS)



MEMS 学会資料 (Proceedings on MEMS) 電子レンジ用赤外線センサアレイ (Infrared sensor array for microwave oven)

カード一覧（展示物は赤枠）

- A1 赤外線センサ・イメージャ
- A2 赤外線センサ
- A3 2軸ガルバノ電磁光スキャナ
- A4 DMD (ミラーアレイ)
- A5 DMD (ミラーアレイ) による映画のデジタル上映化
- A6 光エンコーダ
- A7 圧電型・熱型インクジェットプリンタヘッド
- A8 静電インクジェットプリンタヘッド
- A9 MEMS 共振子
- A10 MEMS 共振子 (ディスク、Lamb 波 他)
- A11 FBAR (Film Bulk Acoustic Resonator)
- A12 LSI 上の SAW デバイス
- A13 可変容量付帯域可変 SAW フィルタ
- A14 SAW パッシブワイヤレスセンサ

- B1 ピエゾ抵抗型圧力センサ
- B2 集積化容量型圧力センサ
- B3 振動型圧力センサ
- B4 容量型真空センサ
- B5 容量型真空センサ製品
- B6 MEMS マイクロホン
- B7 MEMS マイクロホン ウェハ
- B8 耐湿性 MEMS マイクロホン
- B9 自動車用容量型加速度センサ
- B10 表面マイクロマシニングによる加速度センサウェハ
- B11 各種加速度センサ
- B12 集積化容量型加速度センサ
- B13 3軸加速度センサ
- B14 静電浮上回転ジャイロ

- C1 電磁駆動振動ジャイロ
- C2 シリコンリング式ジャイロ
- C3 圧電ジャイロ
- C4 静電駆動容量検出ジャイロ
- C5 ヨーレート・加速度センサ
- C6 自動車・スマホ他用 加速度センサ・ジャイロ
- C7 パターニング
- C8 エッチング
- C9 堆積
- C10 走査プローブ顕微鏡(SPM)プローブ

- C11 近接場光プローブとボータアンテナ
- C12 薄膜共振子による高感度センサ
- C13 マルチプローブ記録
- C14 電子源

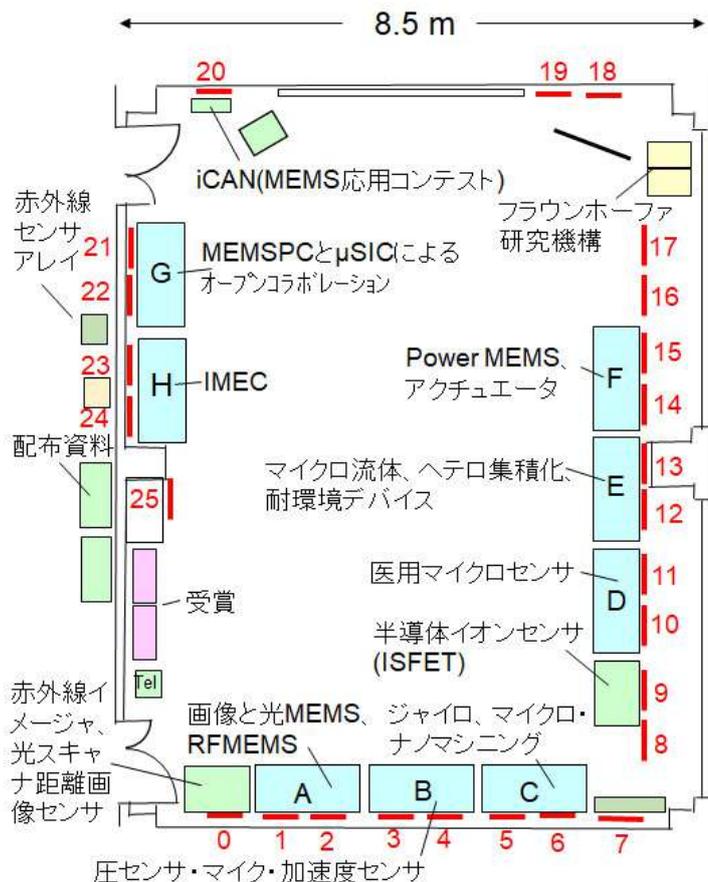
- D1 生体電位検出用電極
- D2 半導体イオンセンサ (ISFET)
- D3 カテーテル pH, CO<sub>2</sub> センサ
- D4 間欠・連続血液ガスモニタ
- D5 ISFET の歯学・深海・魚飼育等への応用
- D6 マイクロ ISFET と集積化マイクロプローブ
- D7 ガスセンサ
- D8 使い捨て化学分析チップ
- D9 バイオ LSI と触覚センサネットワーク
- D10 カテーテル血圧センサ
- D11 能動カテーテル
- D12 形状記憶合金を用いた多関節運動機構
- D13 低侵襲医療のイメージング技術
- D14 体内埋込刺激装置

- E1 LIGA プロセス
- E2 レーザプロセスとステルスダイシング
- E3 陽極接合
- E4 陽極接合できる LTCC 貫通配線基板
- E5 接合材料
- E6 乗り合い CMOS LSI ウェハ
- E7 レーザ消去ウェハプロセス
- E8 超並列電子ビーム描画装置
- E9 液体用マイクロポンプとマイクロバルブ・化学分析システム
- E10 マイクロミキサと粒子分析
- E11 気体用フローセンサ・マスフローコントローラ
- E12 ベーカブルマイクロバルブ、耐蝕マスフローコントローラ
- E13 耐環境センシング
- E14 ガラスプレス成形のための炭化珪素(SiC)モールド

- F1 小形ガスタービンエンジン発電機
- F2 Si マイクロタービンと熱電発電
- F3 ロストモールドプロセスの SiC と PZT, 反応焼結の Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>
- F4 マイクロ燃料電池
- F5 マイクロ燃料改質器
- F6 デジタルマイクロスラスタ (固体ロケットエンジンアレイ)
- F7 静電マイクロモータ・アクチュエータ

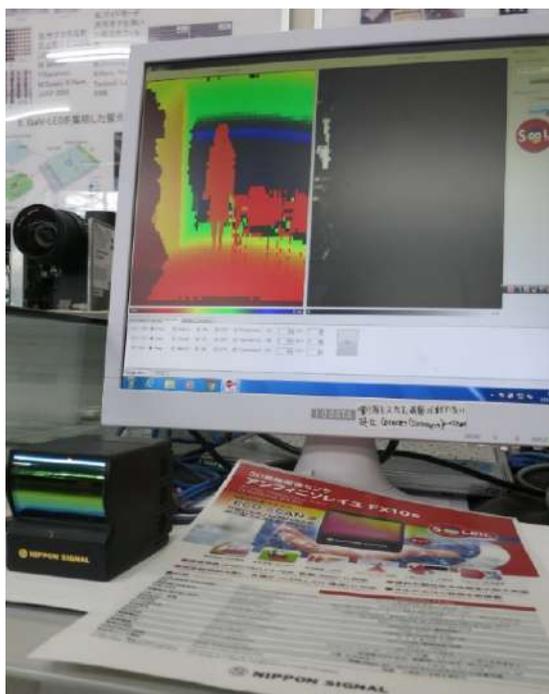
- F8 分布型静電マイクロアクチュエータ
- F9 圧電マイクロステージ
- F10 横方向駆動圧電マイクロアクチュエータ
- F11 触覚ディスプレイと触覚イメージャ
- F12 マイクロ磁気冷却機
- F13 熱型 MEMS スイッチ
- F14 静電・圧電型 MEMS スイッチ
  
- G1 波長掃引パルス量子カスケードレーザ
- G2 光学式溶融樹脂温度・圧力センサ
- G3 静電容量型微差圧センサ「マノスター」
- G4 SEMI MEMS セミナー10周年
  
- H1 東北大学とベルギーIMEC
- H2 Poly-SiGe の MEMS センサ応用
- H3 Poly-SiGe を用いた CMOS IC 上の MEMS ジャイロ
- H4 CMOS IC 上 SiGe ミラーアレイ
- H5 CMORE SiGeMEMS マルチプロジェクトウエハ
- H6 ホログラフィック ディスプレイ
- H7 エネルギーハーベスタ用 MEMS と電子嗅覚
  
- I1 圧電・静電光スキャナ
- I2 ピロリ菌ウレアーゼ測定器
  
- J1 海底電線ケーブルの電信通信
- J2 スーパーコンピュータ(大形計算機)用 CPU ボード
- J3 陽極分割マグネトロンによるマイクロ波レーダ
- J4 終戦前に高出力陽極分割マグネトロンを開発した  
島田実験所 (Z 計画)
- J5 鉱石検波器と点接触トランジスタ
- J6 新幹線車両に見るパワーデバイスの変遷
- J7 超並列電子ビーム描画装置
- J8 磁気浮上ランプ
- J9 磁気浮上リニアライナーの鉄道模型
- J10 超電導リニア中央新幹線と鉄道模型
- J11 車輪走行のリニア地下鉄(リニアメトロ)
- J12 マイクロカー
- J13 3G スマートホン分解
- J14 トノメトリ法による連続血圧波形測定装置
- J15 展示されてる書籍に関する話題
- J16 マイクロフライングロボット( $\mu$  FR)
- J17 プラニメータ(面積計)と比例コンパス
  
- K1 西澤潤一先生に関する本や写真他
  
- L1 サブミクロン Au 粒子を用いた低温封止接合
  
- M1 ガラス製五重の塔
  
- N1 赤外線アレイセンサ (パナソニック(株))
- N2 3次元 LSI (株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン  
宮川宣明)
- N3 押して発電するエネルギーハーベスタ式リモコン  
スイッチ (EnOcean GmpH)
- N4 電気泳動表示用薄膜スイッチアレイとオンロメトリック  
血圧計 ((E-pape, 東京三洋電機 泉田和夫)

# 0 仙台 MEMS ショールーム



## ポスター

- 0 仙台 MEMS ショールーム
- 1 MEMS とは
- 2 光 MEMS とマイクロ/ナノ光学 (羽根、金森)
- 3 RF MEMS
- 4 機械量センサ
- 5 マイクロマシニングとパッケージング
- 6 ナノマシニング・高感度センシング
- 7 MEMS 用 PZT 薄膜
- 8 センサネットワーク (桑野)
- 9 医用マイクロセンサ (松尾、江刺 他)
- 10 低侵襲医療とヘルスケアデバイス (芳賀 他)
- 11 触覚センサネットワーク
- 12 LSI 上への MEMS の転写によるヘテロ集積化
- 13 超並列電子ビーム描画装置の開発
- 14 Power MEMS
- 15 製造・検査・環境・安全関係 MEMS
- 16 産学連携による MEMS の製品化
- 17 Advantest 高周波、低電力による MEMS リレー
- 18 フラウンホーファ研究機構 (ドイツ)
- 19 東北大学のフラウンホーファプロジェクトセンタ
- 20 iCAN (International Contest of innovAtion) (戸津 他)
- 21 MEMS パークコンソーシアム
- 22 μSiC によるオープンコラボレーション
- 23 IMEC (Interuniversity Microelectronics Centre) (ベルギー)
- 24 μSiC 関連(スタートアップ)企業
- 25 西澤センター建物利用者の活動



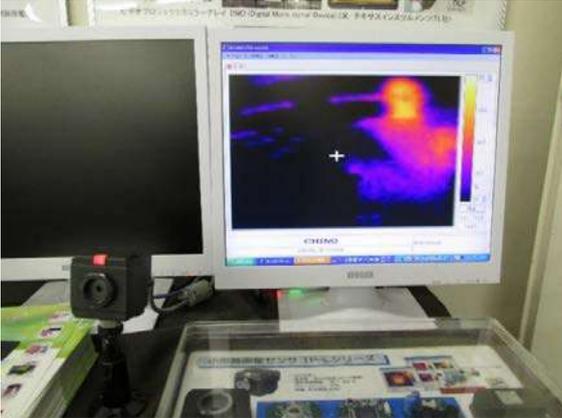
二次元光スキャナによる距離画像センサ(日本信号)



開所式 (2012/5/26)



フラウンホーファ研究機構の展示



距離画像センサ(日本信号)と赤外線イメージャ (Chino)



ミラーアレイ DVD (TI) (プロジェクタとウエハ)



2017 年度「電気の礎」として顕彰された ISFET



戸津健太郎や森山雅昭などの表彰状、TSMC 等からの贈呈品



iCAN (International Contest of InnovAtion)



量子パルスカスケードレーザ  
(試作コインランドリでの実用化例 (浜松ホトニクス(株)))

# 1 MEMS とは

**MEMS: 構造体 + センサ + 回路 + アクチュエータ**

**特長:**  
 小形 (高感度、高速応答、低消費電力、高空間分解能)  
 集積化 (低コスト、アレイ構造)

**1980年** エンジン制御用圧センサ(排気ガス規制対応)

**1990年** 血圧センサ (カラーテール, 圧カセンサ, poly-Si (1.5 μm厚), 回路 (3 μm BiCMOS), エアバッグ用加速度センサ (衝突検出))

**2000年** タイヤ圧モニタ, マイクロホン, デジカメ用ジャイロ (手振補正), ユーザインタフェース用加速度センサ, MEMSの端子, 発振器, MEMSスイッチ

**2010年** 加速度センサジャイロ (機械量センサ), 発振器・フィルタ・スイッチ (高周波・通信), 印刷・表示・撮像 (アレイMEMS), プリンタヘッド, ビデオプロジェクタ, 赤外線イメージャ

**MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 製品化の流れ**

**小形熱画像センサ (赤外線イメージャ) (株チノー)**

**スマホ用赤外線イメージャ (FLIR 社(米))**

約2000番子で価格は4万6000円(税別)

**2軸光スキャナ (日本信号(株), 東北大)**

**距離画像システム (日本信号(株))**

**プラットホームドアへの応用 (JR 恵比寿駅)**

**LIDAR への応用**

(N.Asada et.al., IEEE Trans. on Magnetics, 30 (1994) 4647) (石川智之、日本信号技報、33 (2009) 41)

**ビデオプロジェクタ用ミラーアレイ DMD (Digital Micro mirror Device) (米 テキサスインスツルメンツ(TI)社)**

ミラー -10°, ミラー +10°, ヒンジ, ヨーク, ランディングチップ, CMOS基板

光検出器, パルスレーザ, 光の飛行時間, 時間, 5 m, 0 m, 60°, 30°

カラーフィルタ, DLPチップ, 冷却, DLPボード, 光罩, 光学素子

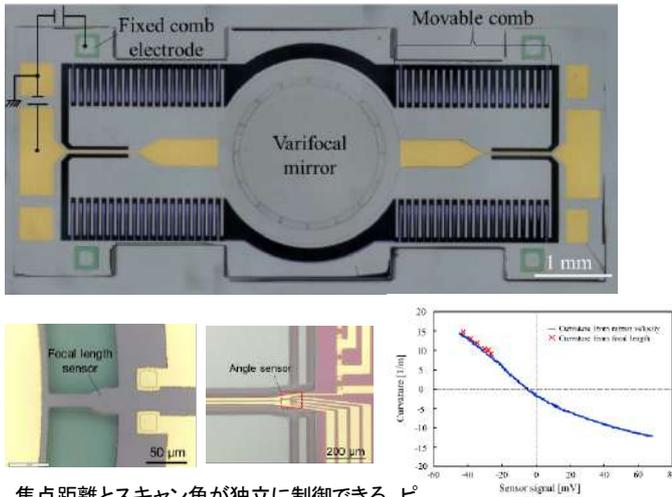
DLP DIGITAL LIGHT PROCESSING, A Texas Instruments Technology, DLP TEXAS INSTRUMENTS

## 2 光 MEMS とマイクロ/ナノ光学 (羽根、金森)

本研究室では光 MEMS とマイクロ/ナノ光学を研究しています。

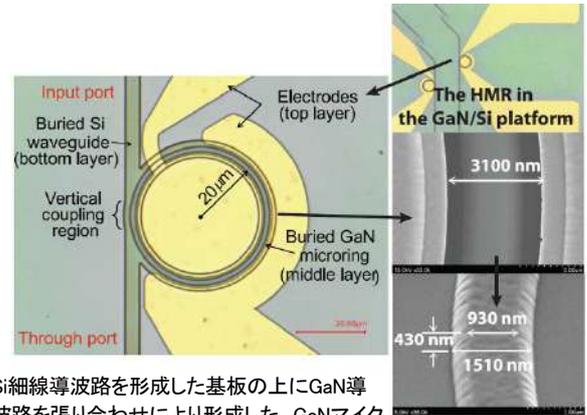
1. ディスプレイ、光通信、センシングのためのマイクロミラー,
2. メカトロニクス、分光のためのマイクロ光センサ,
3. 光通信用シリコン細線導波路デバイス,
4. GaN 材料を用いた MEMS,
5. ナノ構造光学とメタマテリアル (カラーフィルタ, 反射防止, プラズモニクス)

### 焦点可変機能を備えたマイクロミラーสキャナ



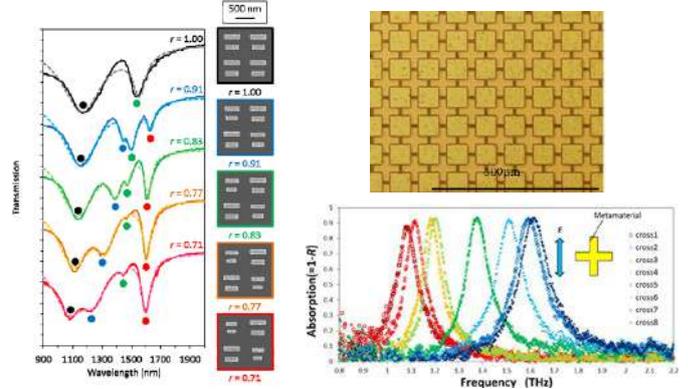
焦点距離とスキャン角が独立に制御できる。ピエゾセンサで検出できる。K. Nakazawa, J. J. MEMS, 26, (2017) 440

### シリコン導波路と結合したGaNリング変調器



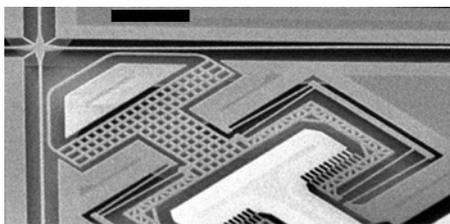
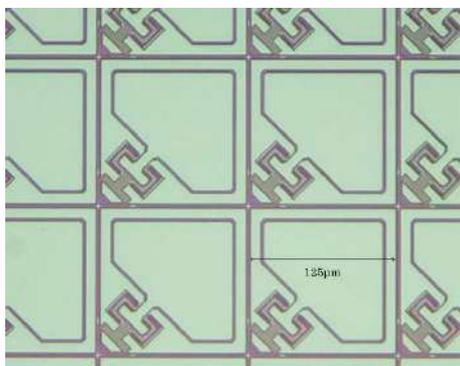
Si細線導波路を形成した基板の上にGaN導波路を張り合わせにより形成した。GaNマイクロリング導波路は電気光学効果により屈折率が変わられるので、高速変調器として動作できる。B. Thubthimthong, Appl. Phys. Lett. 122 (2018) 071102

### ナノ構造光学(メタマテリアル)



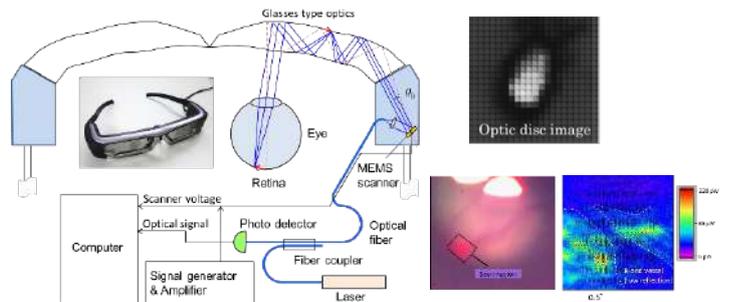
ファノ共鳴メタマテリアルフィルタ Y. Moritake, Opt. Exp. 24 (2016) 9332  
 テラヘルツメタマテリアルによる吸収フィルタ Y. Ishi, 電論誌 136-E (2016) 172

### シリコン細線光導波路を用いたマトリクススイッチ



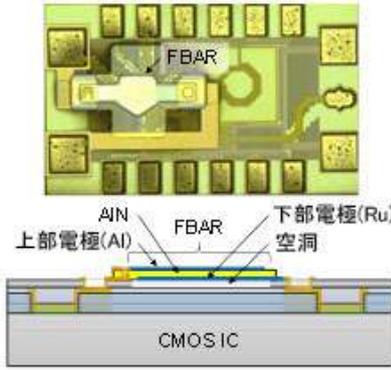
Si細線導波路を用い、静電くしアクチュエータにより導波路カップラーの間隙を変えて、光路を変える。マトリクス状の導波路の交点部分に2つの可動カップラーがあり、駆動される。データセンター用のクロスコネクタとして開発した。関連文献: S. Abe, Photon. Technol. Lett. 26 (2014) 1553

### MEMSミラーを用いた眼鏡型眼底検査装置

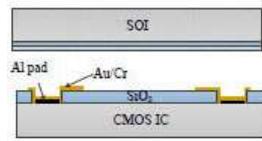


スマートグラスを用いた眼底検査装置, 豚の眼を用いた網膜の測定像 N. Kaushik, International Display workshops, Dec. 6-8, 2017, Sendai

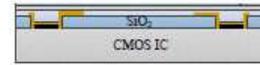
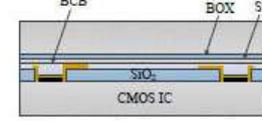
### 3 RF MEMS



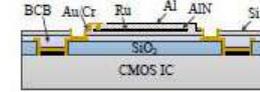
1. SOIウェハおよび CMOS集積回路 3. Handle層とBox層をエッチング



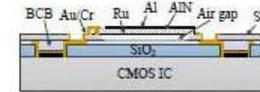
2. SOIウェハをBCBで樹脂接合



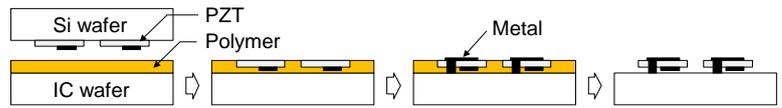
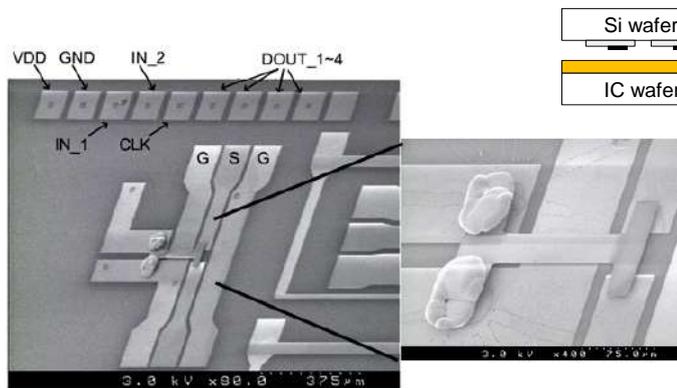
4. FBAR形成およびICとの接続



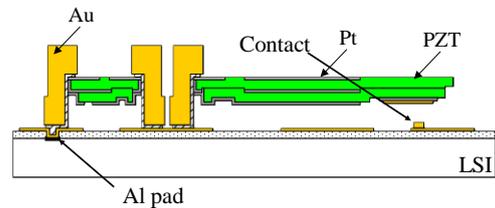
5. FBAR下のSiをエッチング



LSI 上に製作した FBAR (film bulk acoustic resonator) (Kochhar et. al, 2012 IEEE Internl. Ultrasonic Symp. (2012) 1047)

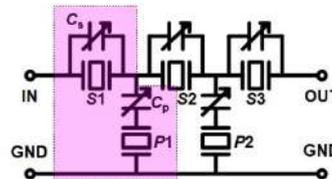
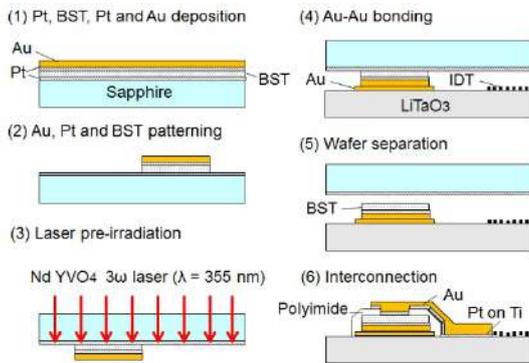


IC 上への PZT MEMS の集積化プロセス



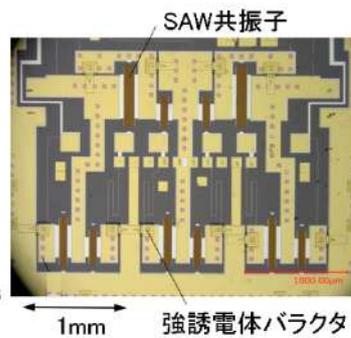
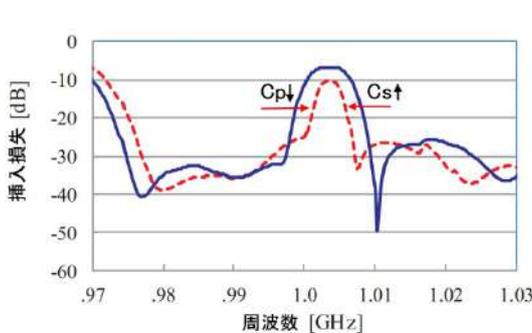
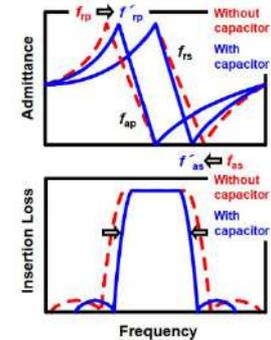
0.35 μm CMOS 上に作製した PZT 圧電駆動 MEMS スイッチ (Matsuo et al., IEEE MEMS 2012, pp. 1153-1156)

PZT 圧電駆動 MEMS スイッチの断面構造



$$f'_{ip} = f_{rp} \sqrt{1 + \frac{C_{ip}}{C_{op} + C_p}}$$

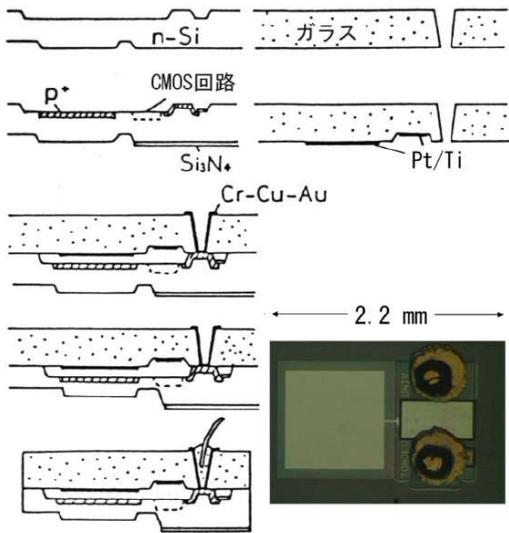
$$f'_{as} = f_{rs} \sqrt{1 + \frac{C_{is}}{C_{os} + C_s}}$$



SAW デバイスへの強誘電体可変容量素子の選択転写による可変帯域フィルタ

(H.Hirano et.al, J. of Micromech. Microeng., 23, 2 (2013) 025005(9pp))

## 4 機械量センサ



**静電容量形モノリシック  
圧力センサ**

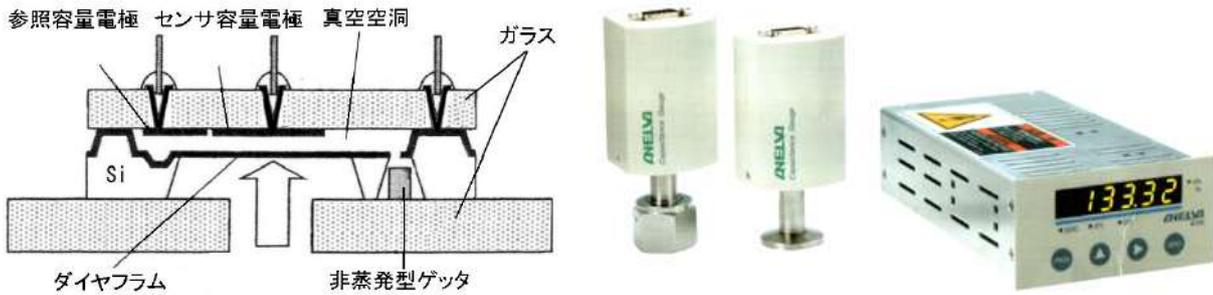
**TOYODA  
CS 2000  
SERIES**

- 超微圧測定に最適  
測定定格は10mmH<sub>2</sub>O。超微圧領域まで測定できます。
- 超小形

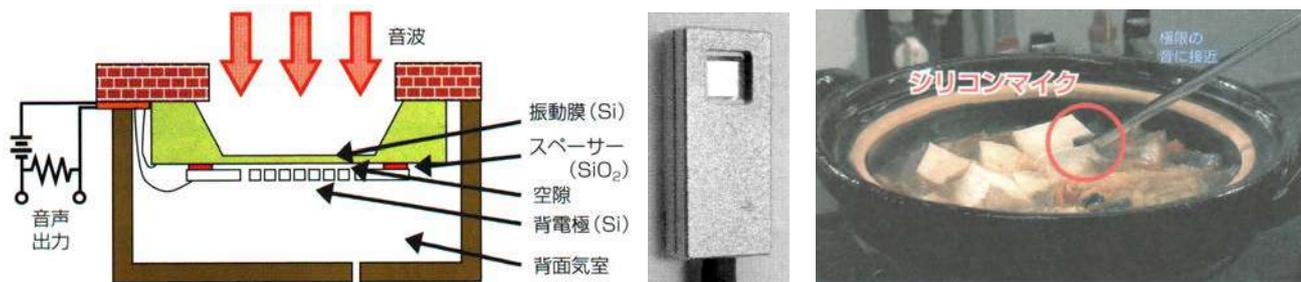
- プロセス制御機器
- 医療機器
- 空圧制御機器
- 家電製品
- コンピュータ周辺機器

集積化容量型圧力センサ

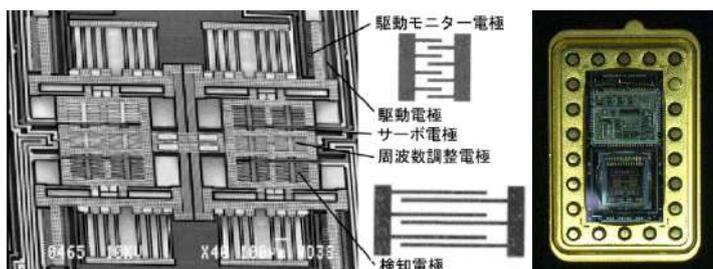
(Y.Matsumoto, S.Shoji & M.Esashi, Ext. Abstracts of the 22nd Conf. on Solid State Devices and Materials (1990) 701)



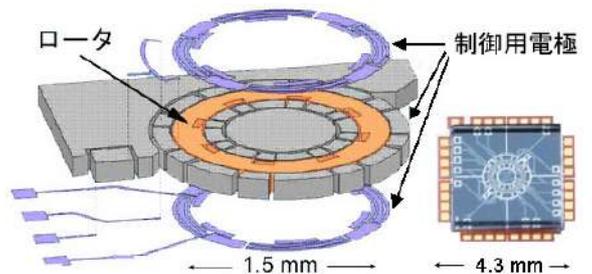
シリコン容量型真空計 (宮下治三、北村恭志、アネルバ技報, 11 (2005) 37)



シリコンマイクロホン (NHK) (T.Tajima, N.Saito, M.Esashi et al., Microelectronic Engineering, 67-68 (2003) 508)



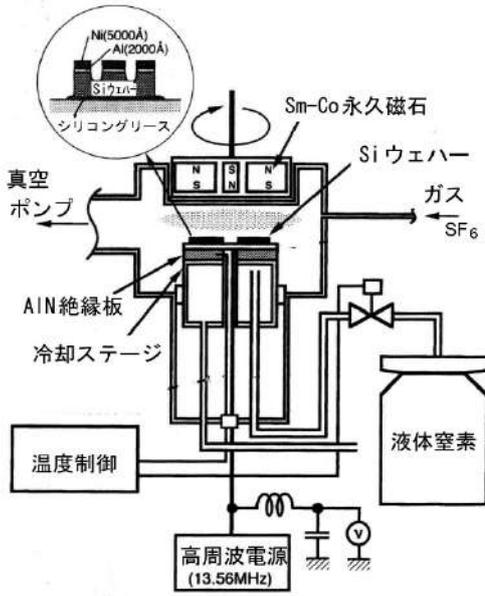
ヨーレート・加速度センサ (トヨタ自動車株)



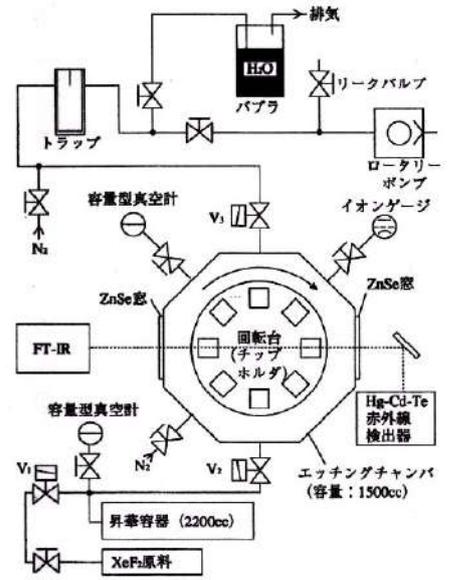
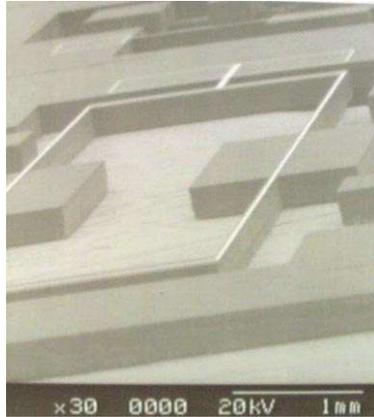
静電浮上回転ジャイロ (東京計器株)

(M.Nagao, et al., 2004 SAE World Congress, p.2004-01-1113 (2004)) (T.Murakoshi, et al., Jpn. J. Appl. Phys., 42 (2003) 2468)

## 5 マイクロマシニングとパッケージング

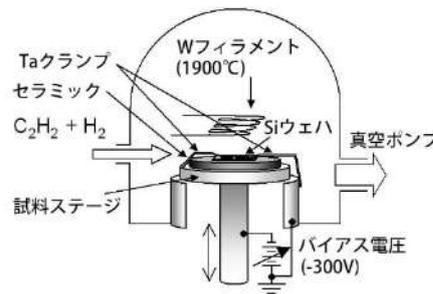
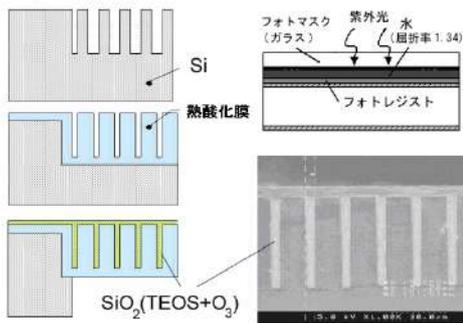


Deep RIE 装置とそれによる振動ジャイロ



XeF<sub>2</sub>による Si エッチングの装置

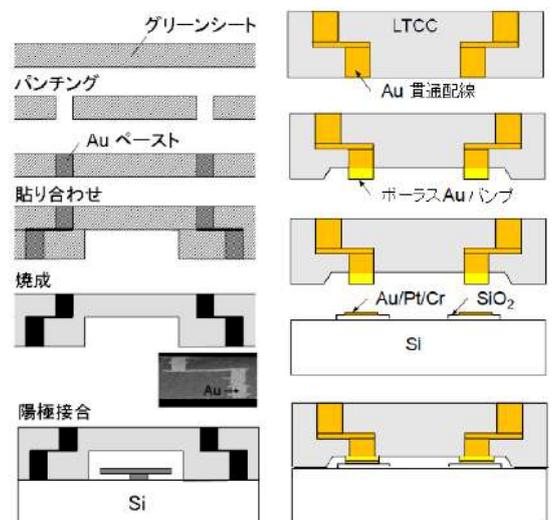
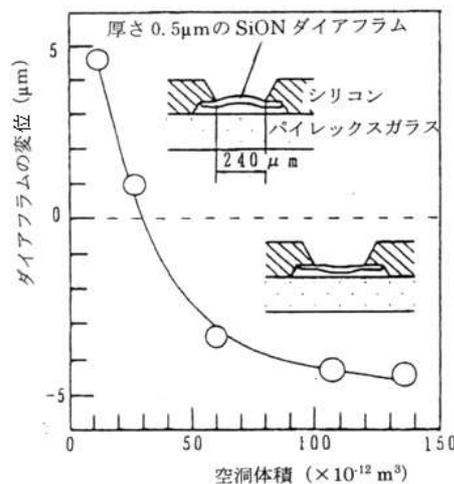
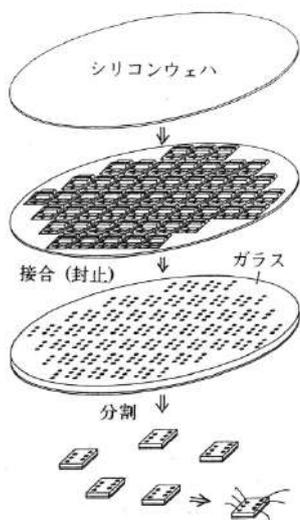
(M.Takinami, Tech. Digest of the 11th Sensor Symp.(1992) 15) (R.Toda, Sensors & Actuators, A66 (1998) 268)



液浸コンタクトリソグラフィとトレンチリフィル カーボンナノチューブ成長(やダイヤモンド薄膜堆積)に用いられるホットフィラメント CVD

(K.S.Chang, et.al, J.of Micromech. Microeng., 15 (2005) S171)

(T.Ono et.al., Nanotechnology, 13 (2002) 62-64)



ウェハレベルパッケージングと陽極接合時の酸素発生検証 貫通配線付 LTCC によるウェハレベルパッケージング

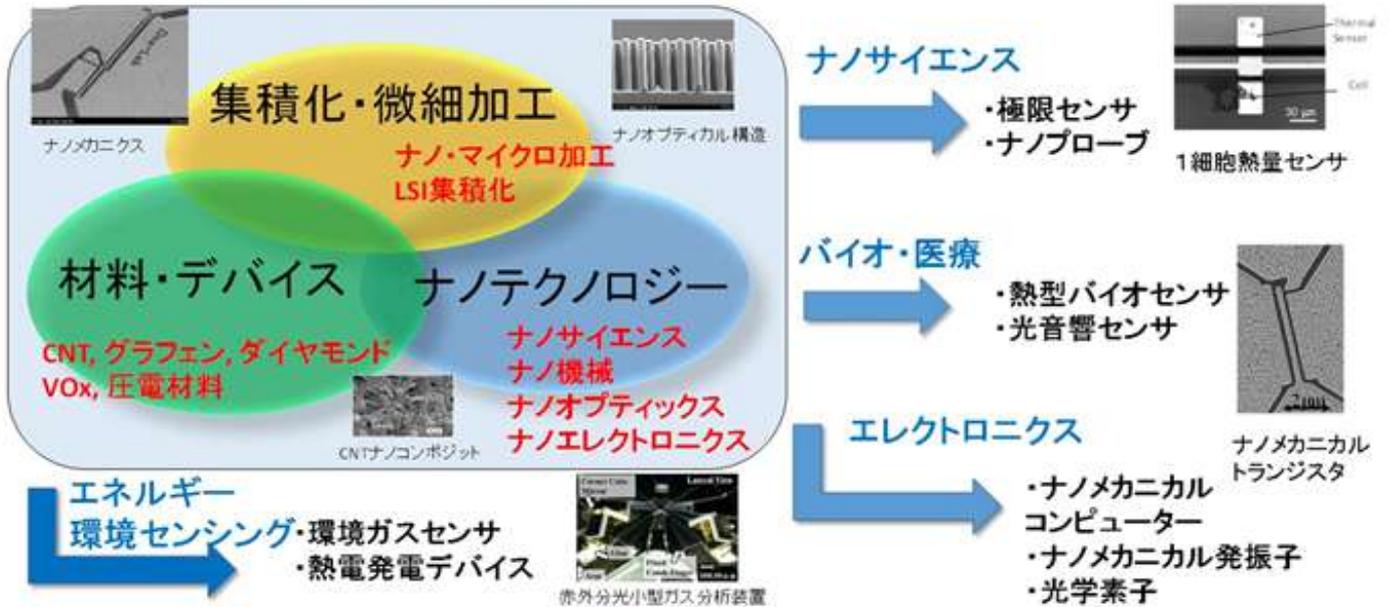
(M.Esashi, J.of Micromech. and Microeng., 18 (2008) 073001) (S.Tanaka et.al., Technical Digest IEEE MEMS, (2012) 369)

## 6 ナノマシニング・高感度センシング

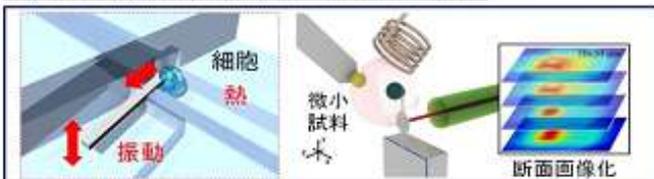
東北大学工学部機械システムコース  
東北大学大学院工学研究科 機械機能創成専攻

# 小野・トアン研究室 / 戸田研究室

本研究室ではナノテクノロジーやマイクロシステム技術を基盤とし、IT、医療、エネルギー、環境やナノサイエンスのための微小機械、マイクロ・ナノシステムの開発を行っています。また、極限の感度を目指した極限センサを開発し、従来には困難であった新しい応用を開拓しています。



### ◎極限センシング・スピントロニクス



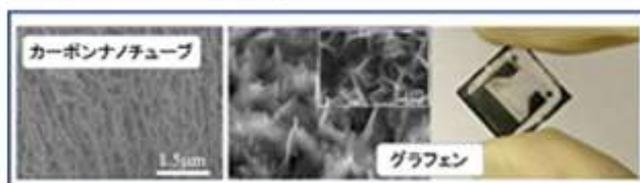
新技術を切り拓く！

### ◎小型エネルギーシステム, ウェアラブル



ミクロな構造で高性能化！

### ◎機能性ナノ材料



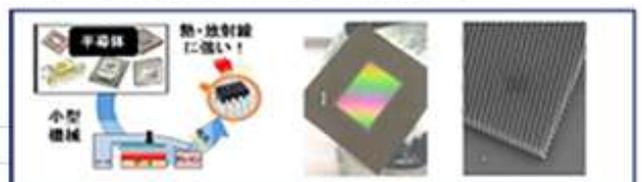
ナノ構造がもつ新たな機能を応用する！

### ◎IoT センサー, 集積化小型システム



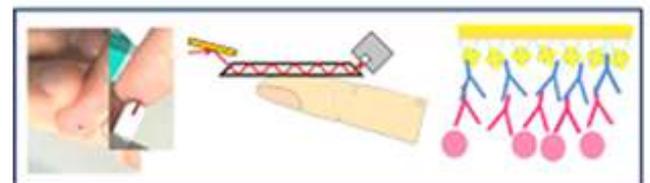
微小機械でいろいろミニチュア化！

### ◎ナノ機械素子・量子電気機械



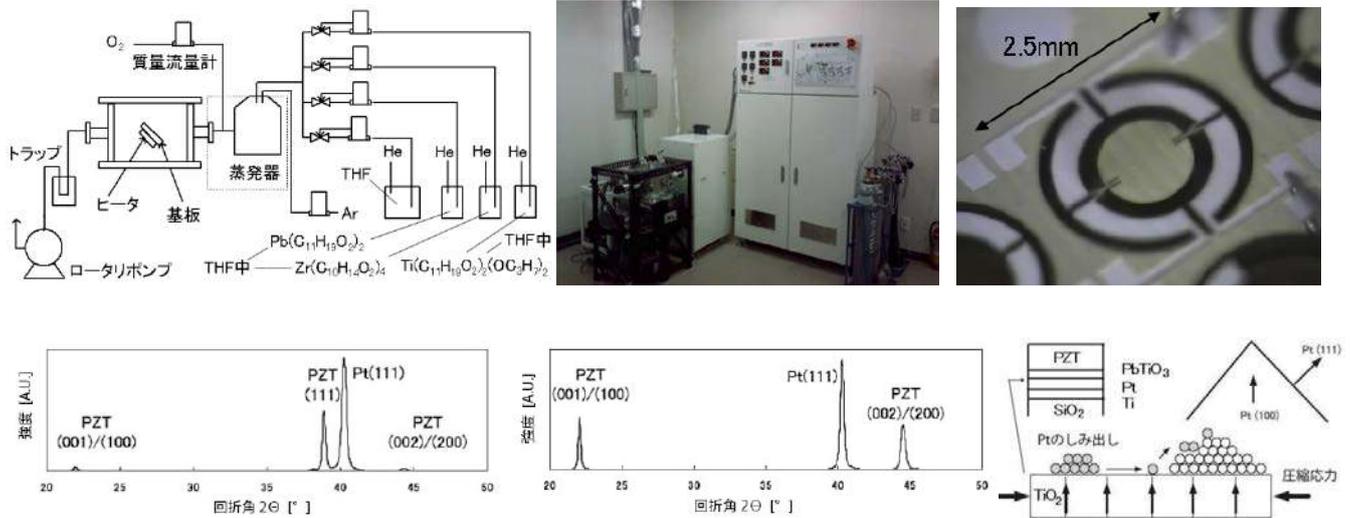
小さな機械でコンピューティング！

### ◎ヘルスケア, バイオ応用

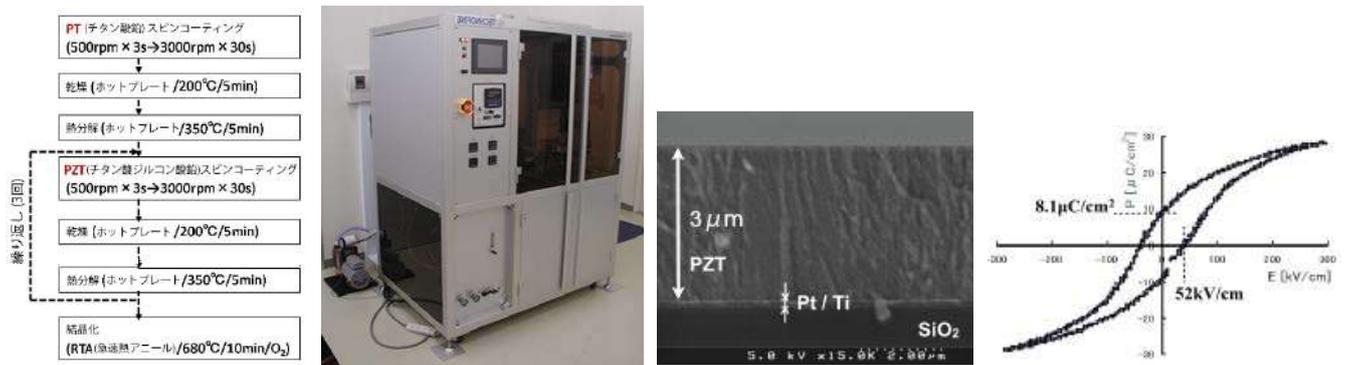


マイクロシステムが社会を豊かにする！

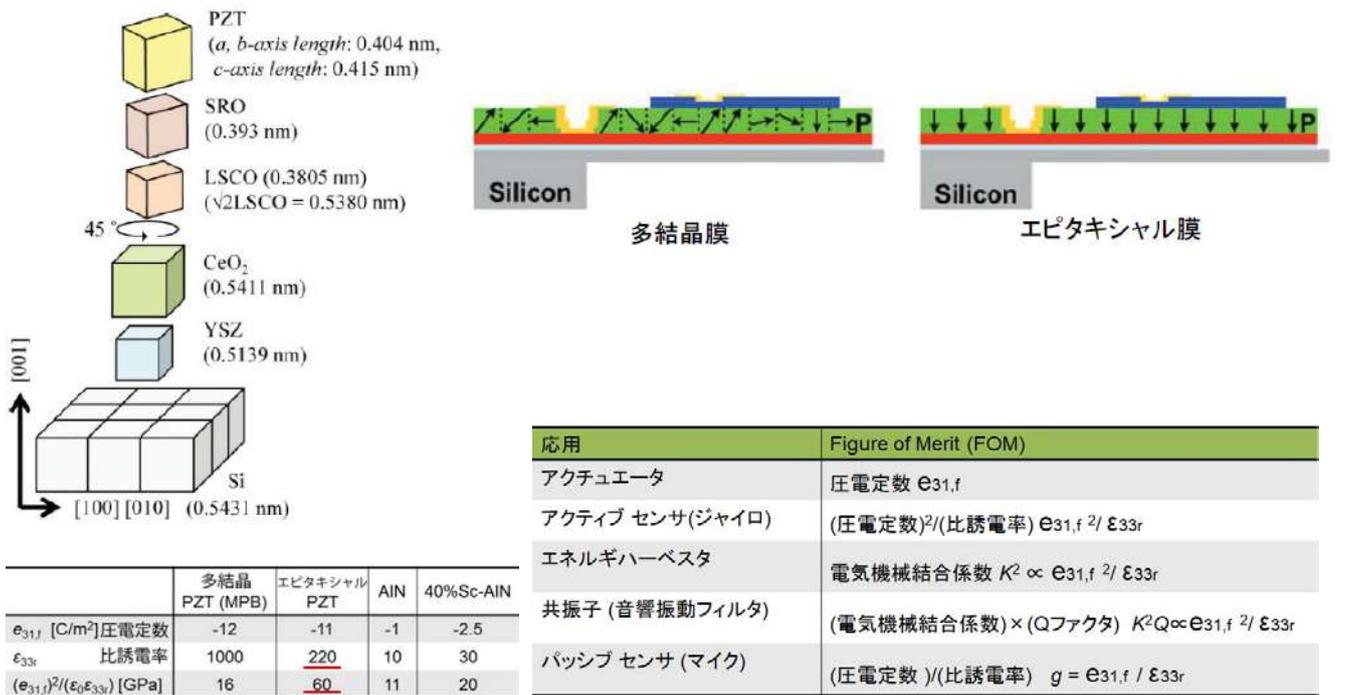
# 7 MEMS 用 PZT 薄膜



MOCVD による PZT 薄膜 (H.Matsuo, Y.Kawai, S.Tanaka and M.Esashi, Jap. J. Appl. Phys, 49 (2010) 061503)



ゾルゲル法による PZT 薄膜 (Y.Kawai, N.Moriwaki, M.Esashi and T.Ono, Proc. of the 27th Sensor Symp. (2010) 21)



スパッタ法によるバッファ層付エピタキシャル PZT 薄膜 (S.Yoshida, et al., IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 61, 9 (2014) 1552)

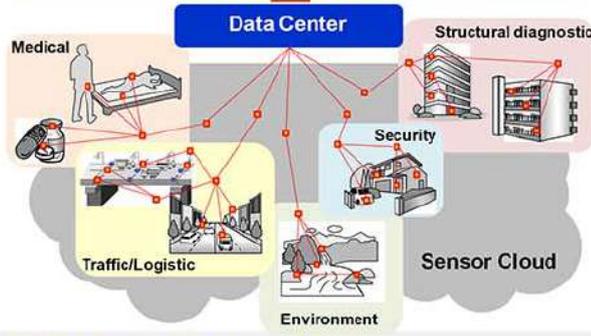
# 8 センサネットワーク (桑野)



## 桑野研究室 研究トピック

### 1. Introduction センサ・コミュニケーション・ソサエティ

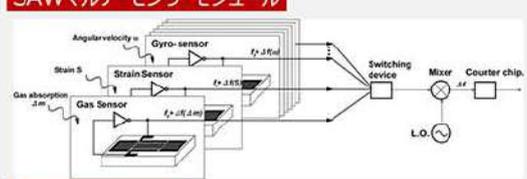
New applications, New data services, and New infrastructures



- 社会インフラとしても情報システム  
⇒ 防犯・防災・減災
- オープンソースとしての情報システム ⇒ 新たなビジネスの創出
- 広域分散型の無線センサーノードの開発
  - RFシステムのためのセンサ開発
  - マイクロエネルギー源の開発
  - 新しい加工技術の提案

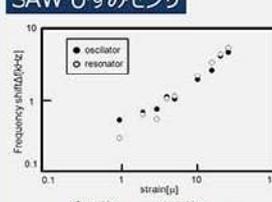
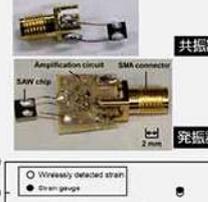
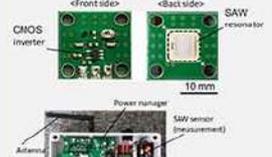
### 2. RFシステムに適したセンサノードの開発

#### SAWマルチ・センサ・モジュール

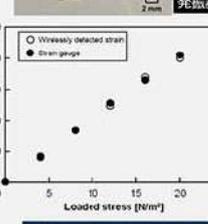




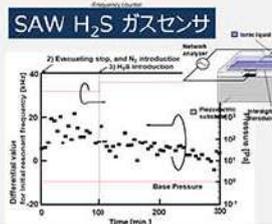
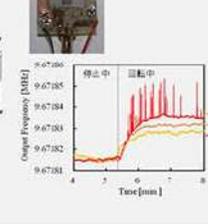
#### SAW ひずみセンサ

#### SAW 角速度センサ




#### SAW H<sub>2</sub>S ガスセンサ

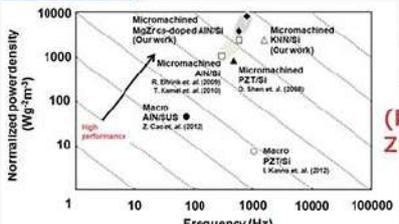
#### Wireless module



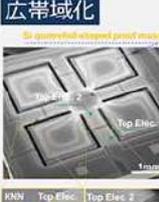
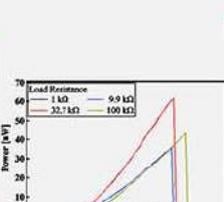
### 3. マイクロエネルギー源の開発

#### 圧電型ハーベスタ

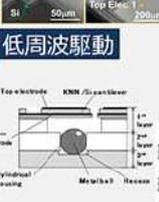
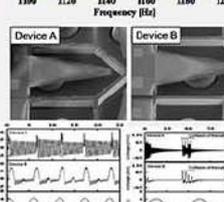
##### 圧電材料検討



#### 広帯域化

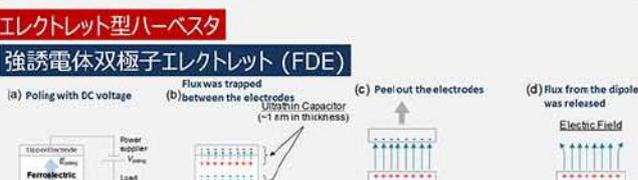



#### 低周波駆動

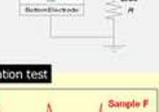



#### エレクトレット型ハーベスタ

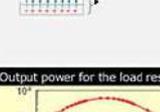
##### 強誘電体双極子エレクトレット (FDE)



(a) Poling with DC voltage



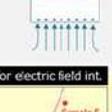
(b) Flux is trapped between the electrodes



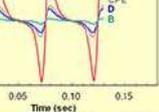
(c) Peel out the electrodes



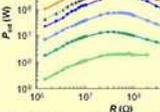
(d) Flux from the dipole is released



#### Vibration test



#### Output power for the load resistance



#### Output power for electric field int.



### 4. 新しい加工技術の提案

#### ナノパーティクルの合成



#### マイクロFIBシステム



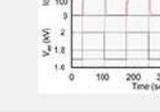

#### D. I. water の霧化実験



#### アセトンの霧化実験

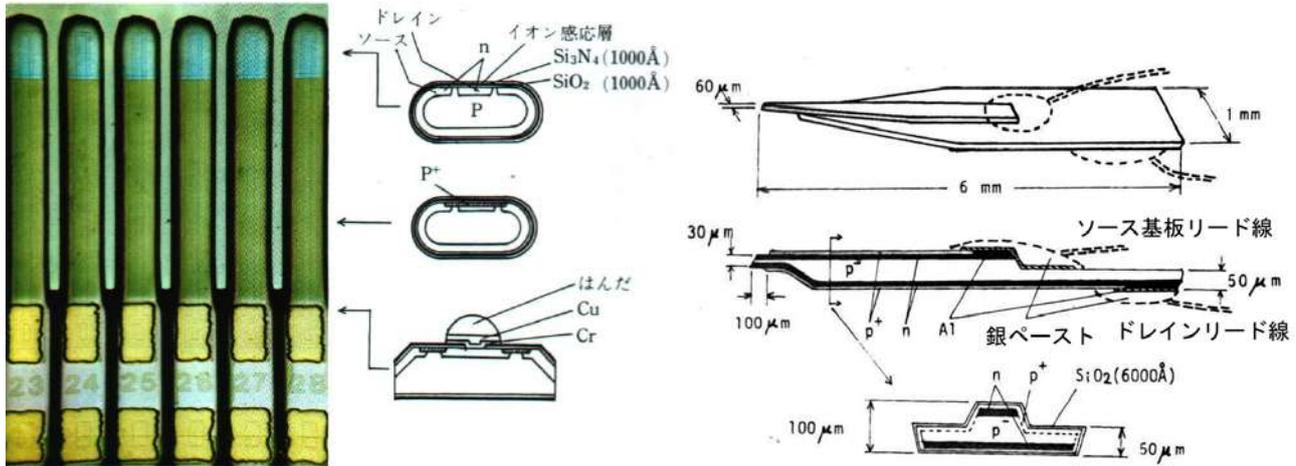


#### Etching mark of silicon sub.



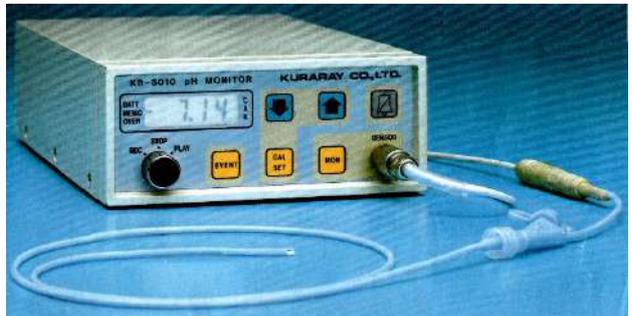
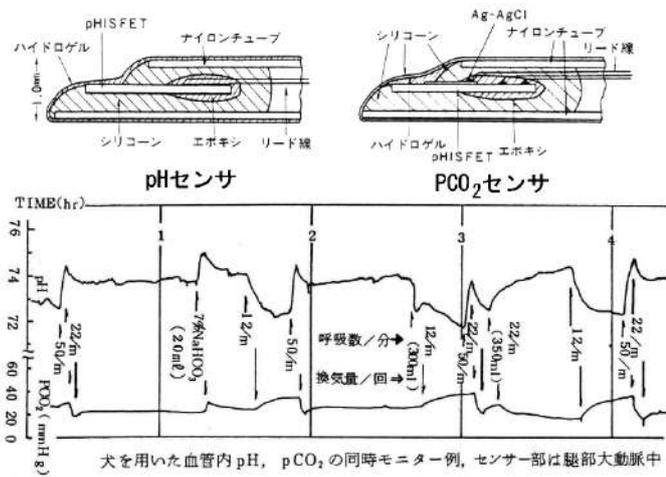
10

## 9 医用マイクロセンサ (松尾、江刺 他)



ISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor) と マイクロ ISFET (右)

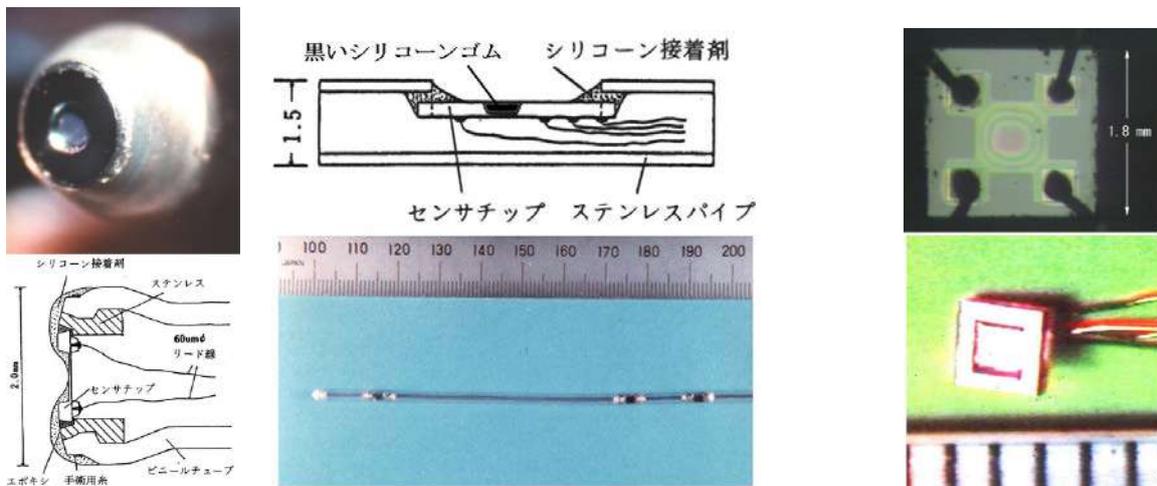
(M.Esashi and T.Matsuo, J.of the Japan Soc. of Applied Physics, 44, Supplement (1975) 339)



2.4mmにISFETと比較電極を一体化

商品化された pH, CO<sub>2</sub> モニタ用カテーテル (1980 年 (株)クラレ、日本光電(株))

(K.Shimada, M.Yano, K.Shibatani, Y.Komoto, M.Esashi and T.Matsuo, Med.& Biol.Eng. & Comput.,18 (1980) 741)

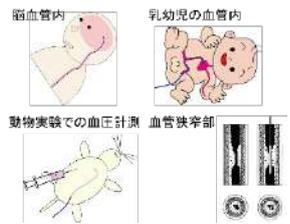
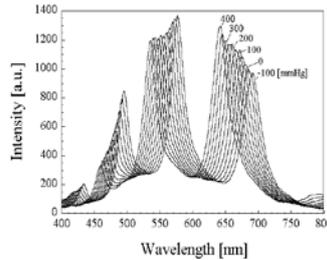
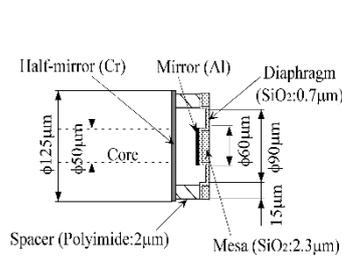
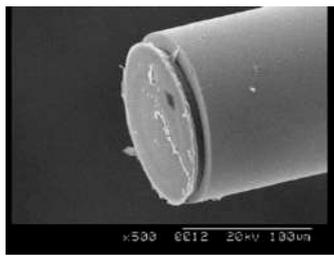


ピエゾ抵抗型血圧センサ (カテーテル先端用、カテーテル側面用、埋込用(絶対圧))

(M.Esashi H.Komatsu, T.Matsuo, M.Takahashi, T.Takishima, K.Imabayashi and H.Ozawa, IEEE Trans. on Electron Devices,ED-29 (1982) 57)

(M.Esashi, Y.Matsumoto and S.Shoji, Sensors and Actuators, A21-A23 (1990) 1048)

# 10 低侵襲医療とヘルスケアデバイス (芳賀 他)



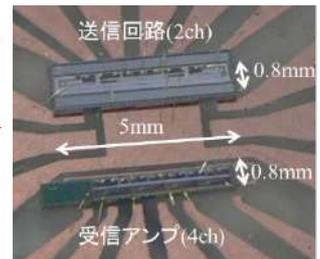
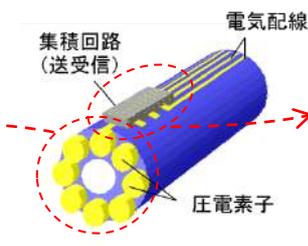
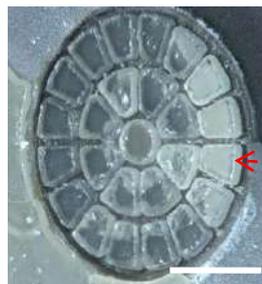
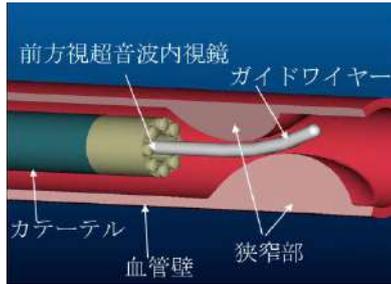
極細径光ファイバ圧力センサ

圧力センサ構造

圧力に対する干渉波長変化

応用例

(K. Totsu *et al.*, J.of Micromech. Microeng., 15 (2005) 71-75)



前方視超音波内視鏡

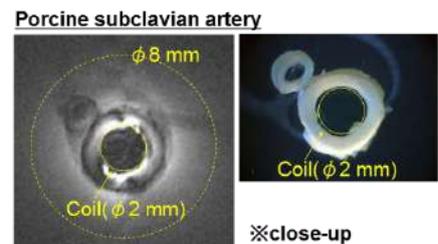
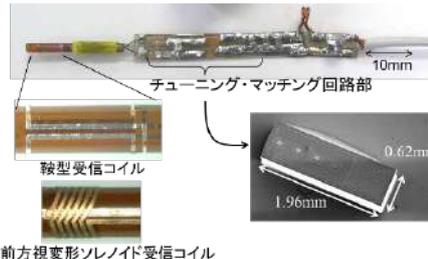
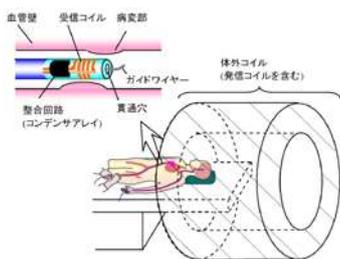
24 分割された PMN-PT

集積回路の搭載

試作した超音波送信、受信回路

(J. J. Chen *et al.*, Proc. of MEMS (2004))

(先端融合乗り合い wafer)



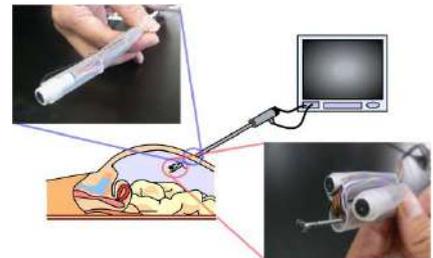
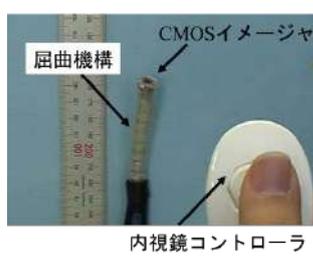
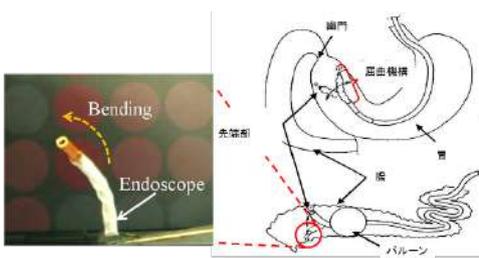
体腔内細径 MRI プローブ

受信コイル(φ1.9mm)とバラクタ(乗り合い wafer)

撮像結果

(S.Goto *et al.*, Proc. of MEMS (2007))

(S. Ichimura *et al.*, Proc. ISMRM (2010))

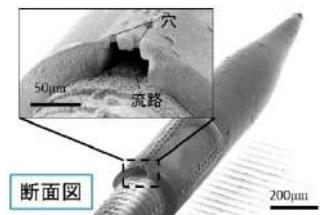
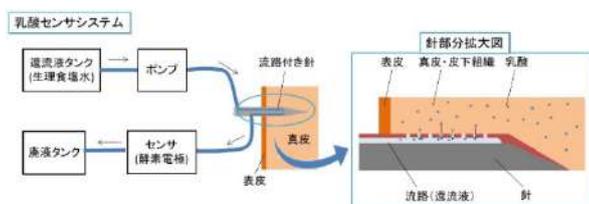


形状記憶合金を用いた使い捨て内視鏡 大腸用内視鏡(φ9mm)

折れ曲がり変形内視鏡

(Y. Haga, *et al.*, IEEJ Trans. SM, 131 (2011) 102-110)

(S. Suda, *et al.*, J.JSCAS, 17 (2015), 83-90)



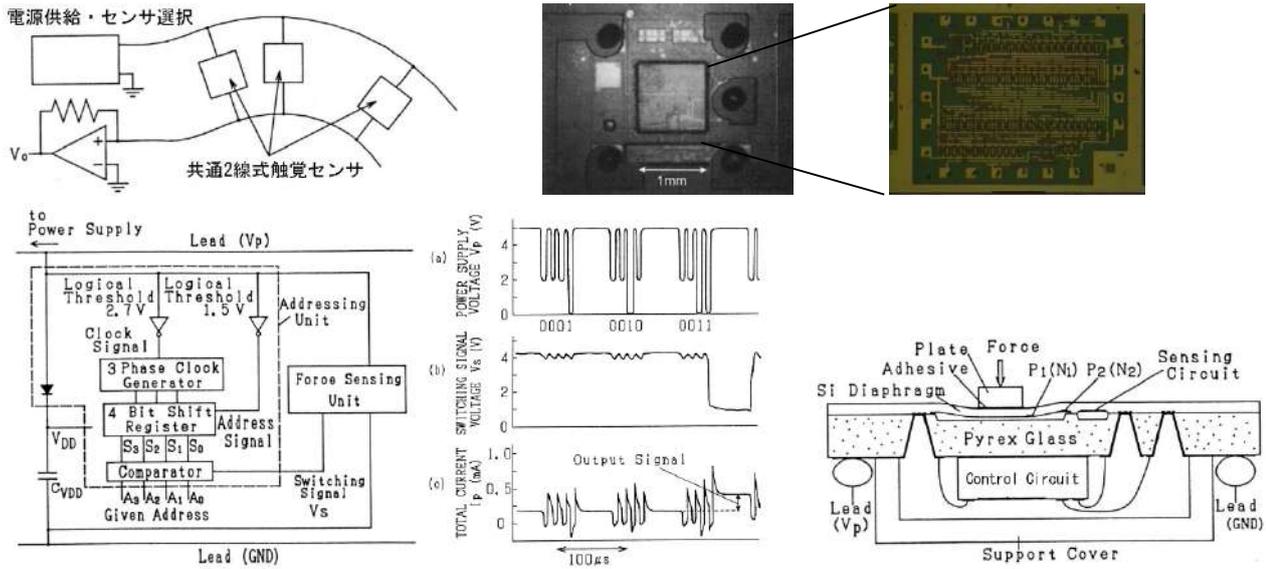
ウェアラブル生体センサ(例:乳酸)

φ200 μm 鍼灸針に作製された流路

流路断面像(SEM)

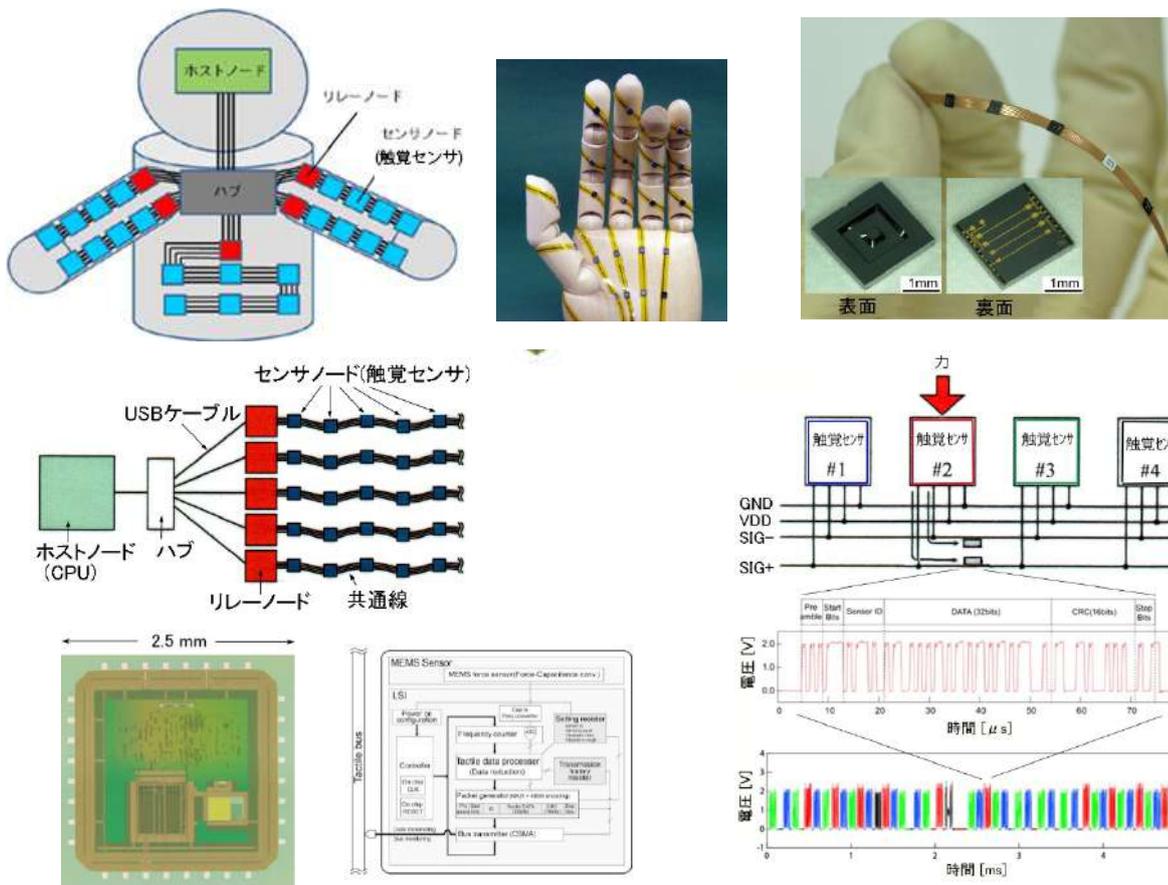
(N. Tsuruoka *et al.*, Biomed. Microdevices (2016) 18:19)

# 11 触覚センサネットワーク



共通 2 線式触覚センサアレイ (ポーリング型) トランジスタ数は最大 1000 個/チップ  
(企業では、当時 100 万個/チップ、現在 100 億個/チップ)

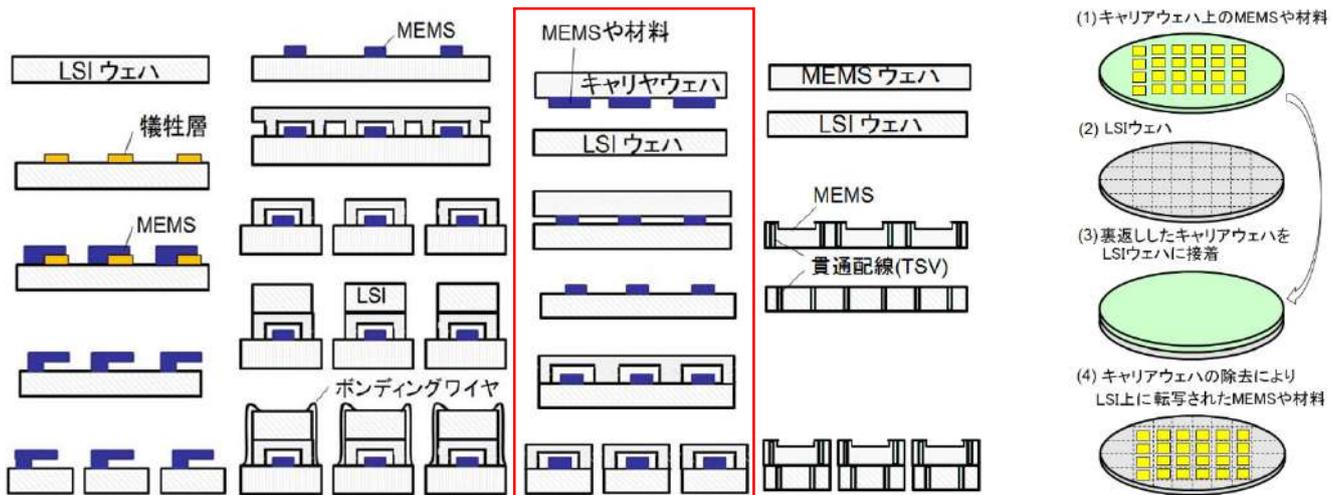
(S.Kobayashi, T.Mitsui, S.Shoji and M.Esashi : Two-Lead Tactile Sensor Array Integrated CMOS Interface Circuits, Using Piezoresistive Effect of MOS Transistor, Technical Digest of the 9<sup>th</sup> Sensor Symposium,(1990) 137-140)



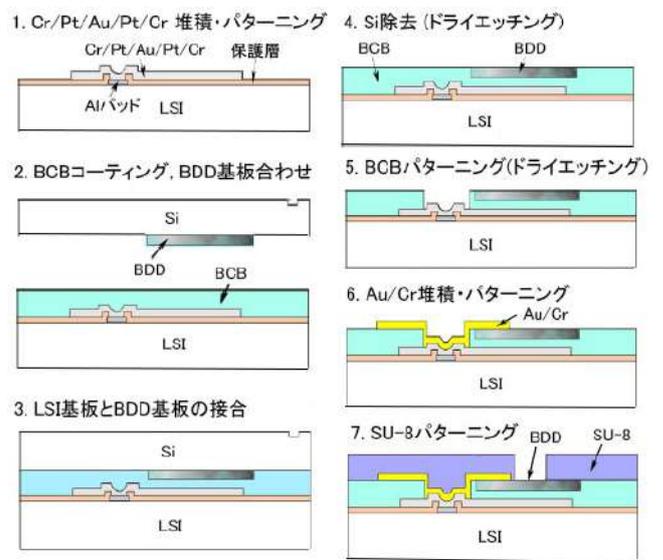
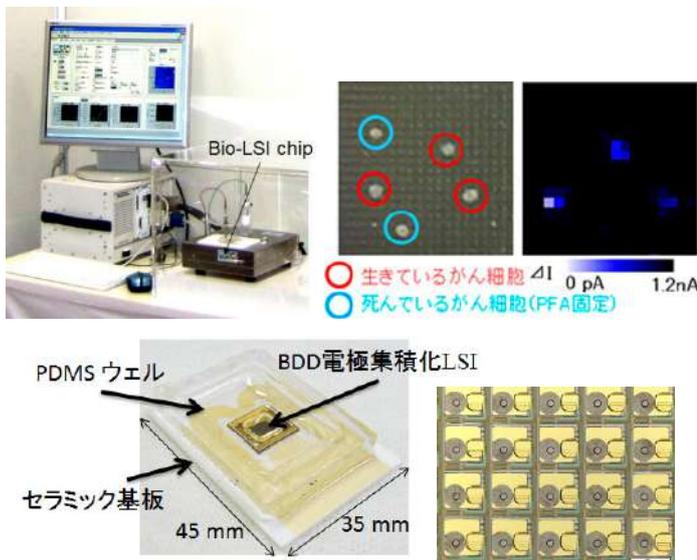
触覚センサネットワーク (イベントドリブン型) (トヨタ自動車、豊田中央研究所との共同研究)

(M.Makihata, S.Tanaka, M.Muroyama, S.Matsuzaki, H.Yamada, T.Nakayama, U.Yamaguchi, K.Mima, Y.Nonomura, M.Fujiyoshi and M.Esashi : Integration and Packaging Technology of MEMS-on-CMOS Capacitive Tactile Sensor for Robot Application Using Thick BCB Isolation Layer and Backside-grooved Electrical Connection, Sensors and Actuators A, 188 (2012) 103-110)

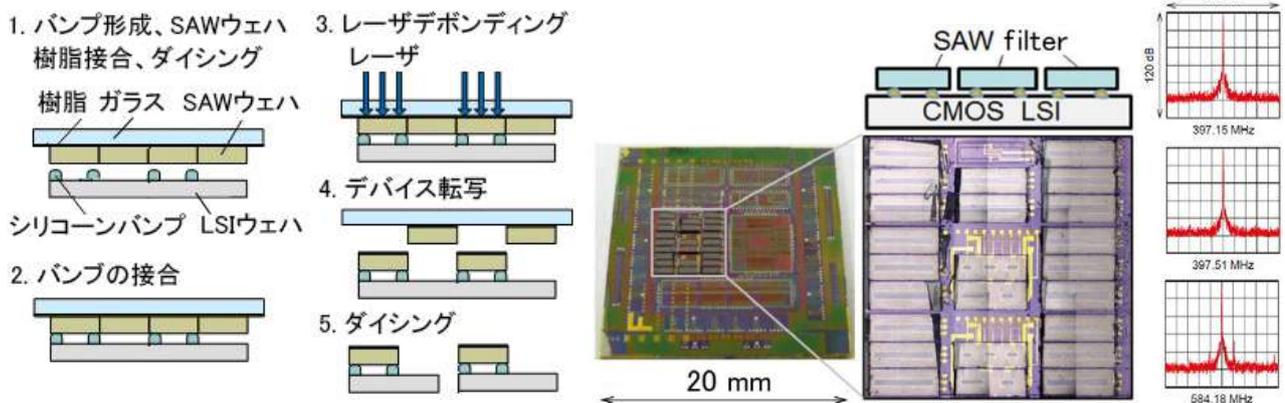
## 12 LSI 上への MEMS の転写によるヘテロ集積化



(a) 表面マイクロマシン (b) 別チップの MEMS と (c) LSI 上への MEMS (d) 貫通配線(TSV)による接続  
 (MEMS 工程の制約) LSI の組立 (配線の制約) や材料の転写による接続

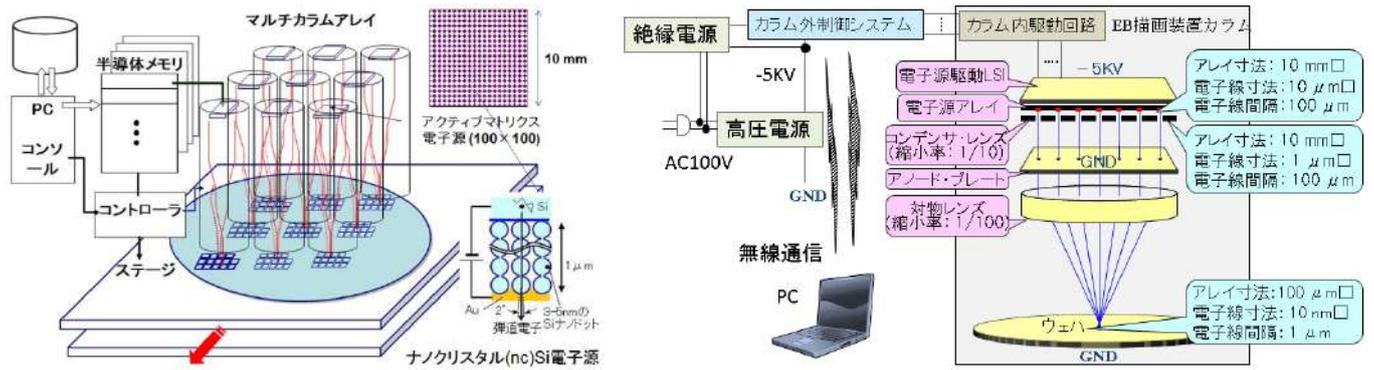


ボロンドープダイヤモンド(BDD)膜を LSI 上に転写したバイオ LSI (末永教授)



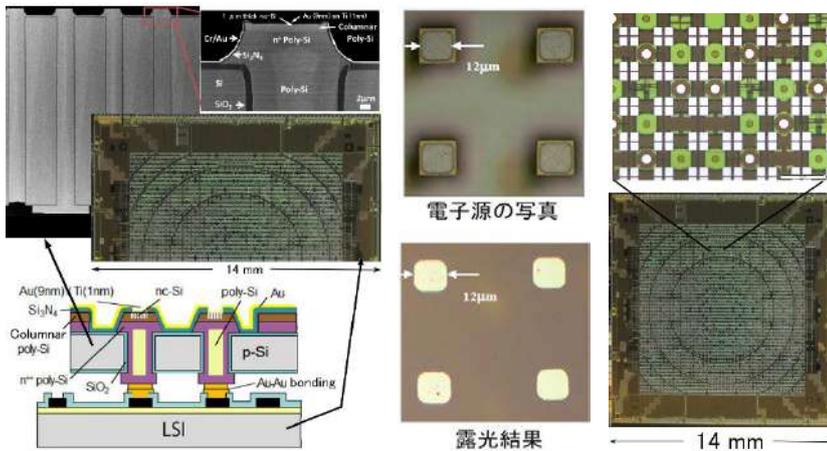
選択転写工程とそれを用いた LSI 上マルチ SAW フィルタ

### 13 超並列電子ビーム描画装置の開発

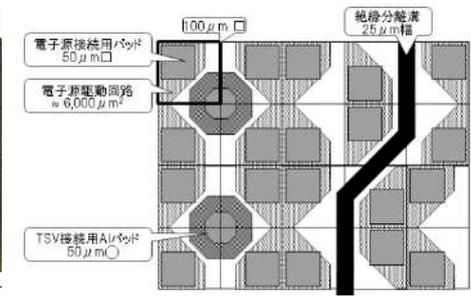


アクティブマトリクス電子源アレイによる電子ビーム描画装置

単一カラムの構成 (試作システムは横型)

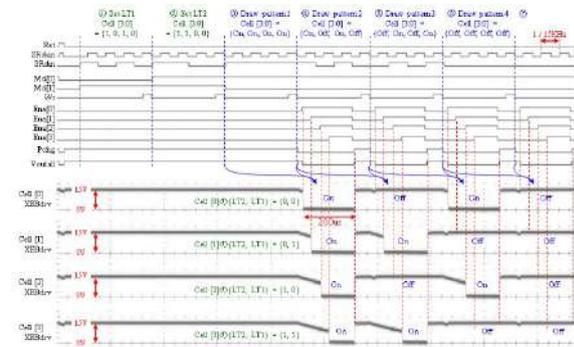
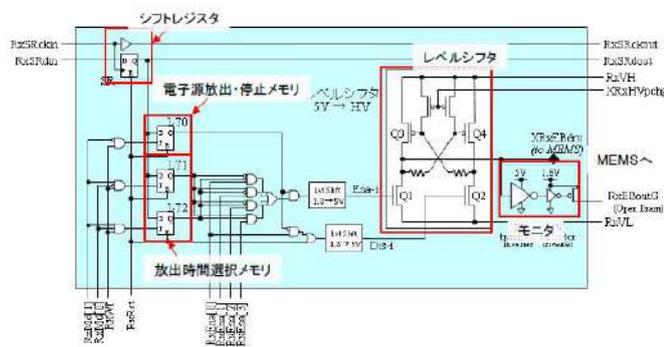


アクティブマトリクス電子源アレイのチップや試作システム、および出版した本「超並列電子ビーム描画装置の開発」は隣室(近代技術史博物館)に設置

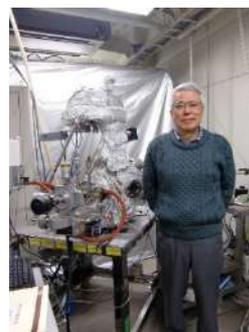


LSIと貫通配線で接続したナノクリスタル(nc)Si 電子源

駆動用 LSI (100×100 セル)



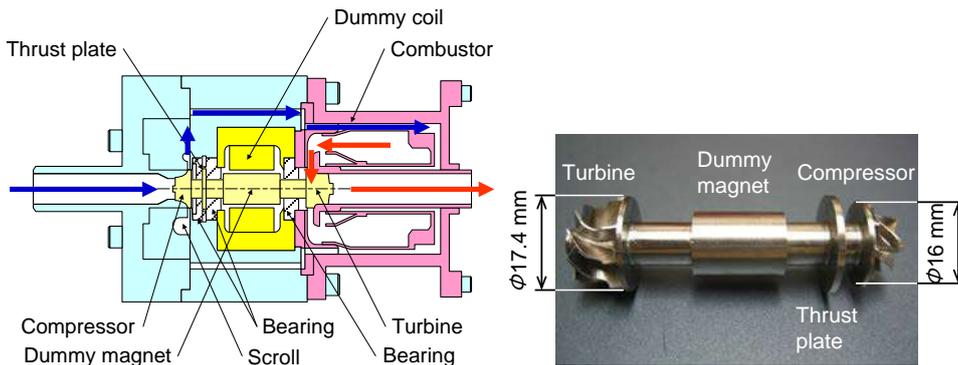
M.Esashi, A.Kojima, N.Ikegami, H.Miyaguchi and N.Koshida : Development of Massively Parallel Electron Beam Direct Write Lithography Using Active-matrix Nanocrystalline-silicon Electron Emitter Arrays, *Microsystems & Nanoengineering* (2015) 1, 15029(1-8)



(左から 宮口裕、江刺正喜、小島明、池上尚克、大井英之、菅田正徳)(越田信義) (東北大学出版会 2018)  
(プロトタイプのエビ露光装置は近代技術史博物館に展示)

## 14 Power MEMS

### 超小形ガスタービン発電機

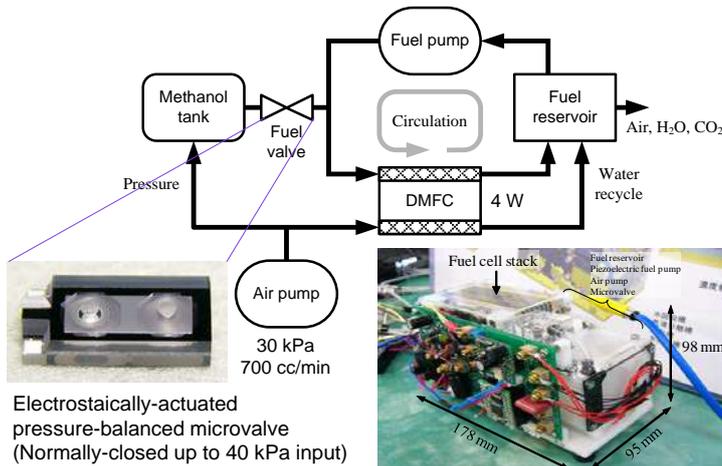


2007年に実証した世界最小のガスタービン  
(IHI, 東北学院大学などとの共同研究)  
(Tanaka *et al.*, PowerMEMS 2007, pp. 359-362)

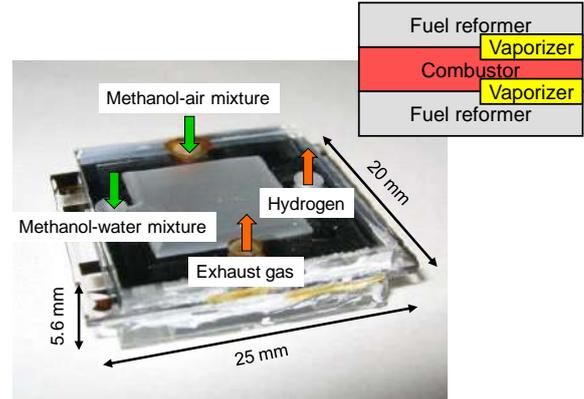
世界最小のガスタービンのロータ  
(インコネル製, 東北大学で作製)

2012年にIHIが試作した超小形ガスタービン発電機  
(2007年の成果に基づくもの)

### 携帯型燃料電池



### リアクタの内部構成

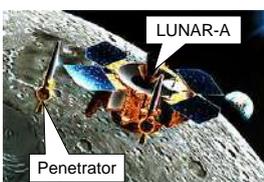
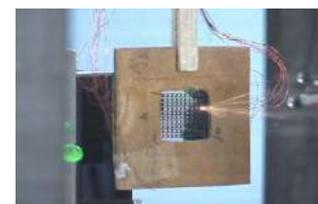
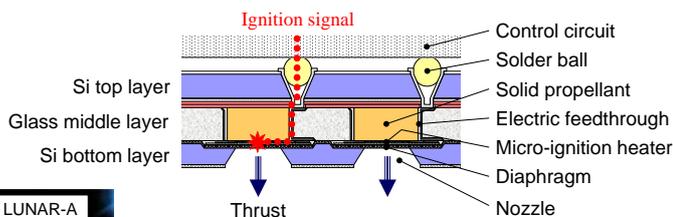


静電 MEMS バルブとそれを搭載した小形直接メタノール燃料電池システム  
(パナソニック電工との共同研究)  
(K. Yoshida *et al.*, Sensors and Actuators A, 157 (2010) pp. 290-298, pp. 299-306)

集積化マイクロ燃料改質器  
(パナソニック電工との共同研究)

(K. Yoshida *et al.*, J. Micromech. Microeng., 16 (2006) pp. S191-S197)

### マイクロ固体ロケットアレイスラスタ

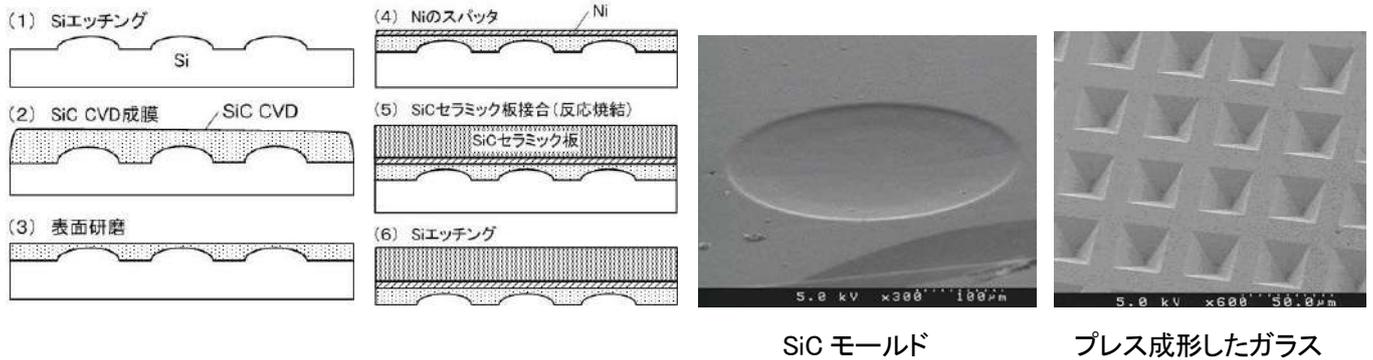


マイクロ固体ロケットアレイスラスタの構造  
(JAXA/ISAS, 日油技研工業との共同研究)  
(S. Tanaka *et al.*, Trans. Jpn. Soc. Aeronautical Space Sci., 46, 151 (2003) pp. 47-51)

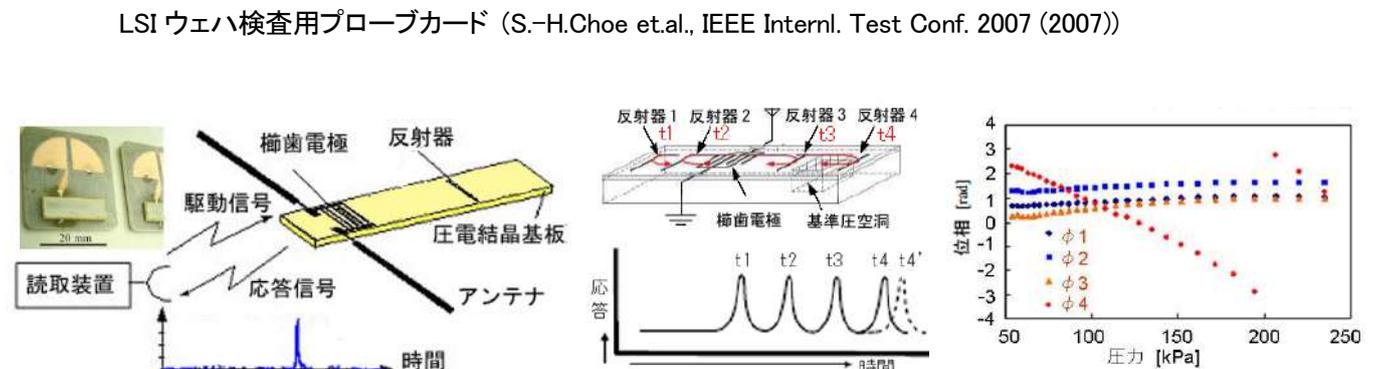
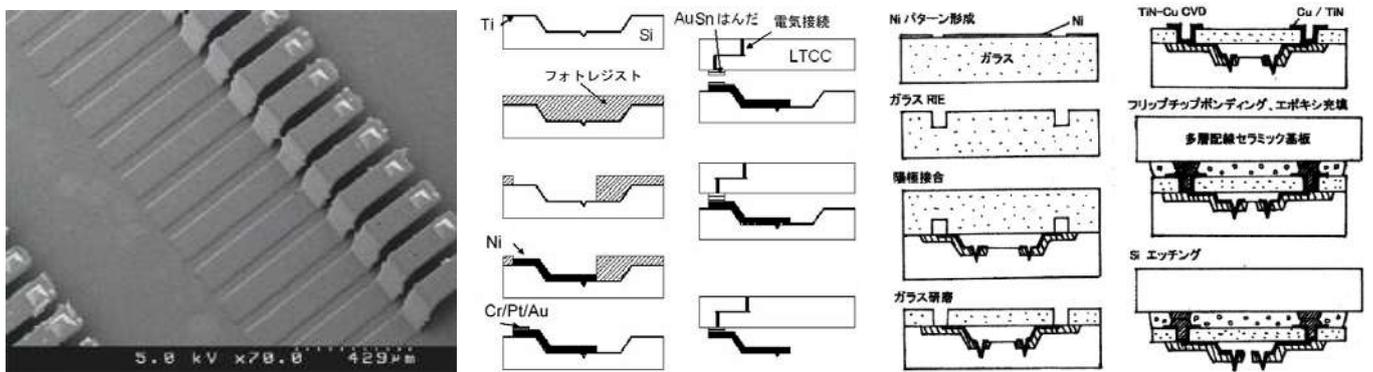
点火試験中のマイクロ固体ロケットアレイスラスタ

LUNAR-A から月面に打ち込む Penetrator の姿勢制御を想定して開発

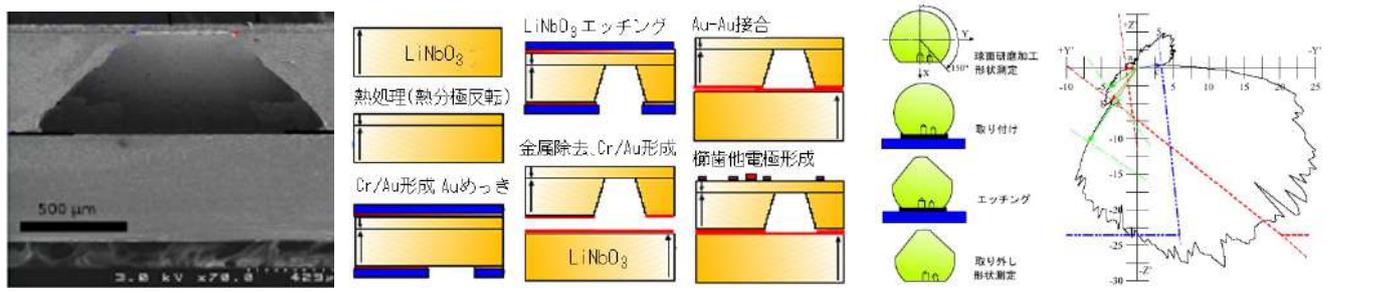
# 15 製造・検査・環境・安全関係 MEMS



ガラスプレス成形用 SiC モールド (T.Itoh, J.of Microelectromechanical Systems, 15 (2006) 859)



表面弾性波(SAW)ワイヤレスパッシュセンサ それを用いたタイヤ圧モニタ (S.Hashimoto et.al (日産自動車), 電気学会論文誌E, 128-E (2008) 231)



LiNbO<sub>3</sub> ダイアフラム、および熱分極反転と結晶異方性エッチングによる製作法 LiNbO<sub>3</sub> の結晶異方性エッチング (A.B.Randles et.al, Jap. J. of Applied Physics, 46,45 (2007) L1099-1101) (A.B.Randles et.al, IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 57, 11 (2010) 2372-2380)

# 産学連携によるMEMSの製品化

**KR-5010**

OK. Shimada (フク), M. Esashi and T. Mitsuho et al.  
Application of catheter-tip ILS for continuous in vivo measurement, Med. & Biol. Eng. & Comput. Vol.18, No.11, pp.741-745 (1980).

型番	主な用途	測定範囲	精度	応答時間	構造	
PH-2123	胃内・腸内のpH連続測定	PH-2123	±0.1	1.1	KH-5000	圧電薄膜型
PH-2118	胃内・腸内のpH測定	PH-2118 (高感度)	±0.1	2.4	KH-5000	圧電薄膜型
PH-2121	胃内・腸内のpH測定	PH-2121 (高感度)	±0.1	2.4	KH-5000	圧電薄膜型
PH-4810	口腔内のpH測定	PH-4810	±0.1	1.0	KH-5000	圧電薄膜型
PH-4811	口腔内のpH測定	PH-4811	±0.1	1.1	KH-5000	圧電薄膜型
PH-1121	呼吸・気管のPCO2連続測定	PH-1121	±0.3	0.5	KH-5000	圧電薄膜型

カテーテル pH, PCO<sub>2</sub> モニタ (クアレ, 日本光電)

半導体センサーのpH計  
新電元pH BOYシリーズ

**KS701 KS723**

簡単・高安定・生活防水 / 寿命が見える交換可能な電極

携帯型 pH センサ (新電元)

**Helicotac**  
ピロリ菌クォンタレーション ヘルコタック PYL-1100

PYL-1100は、胃液中中のヘリコバクターピロリ菌(Helicobacter pylori)をモノクローナル抗体を用いて検出する。迅速かつ高感度でピロリ菌の数を検出します。検体採取と検体チップの処理時間から約10分以内で結果を得ることが可能です。

ピロリ菌 測定器 (日本光電)

MEMS-100 (Micro Electrostatically Suspended Accelerometer Gyro) (東京地下鉄使用)

運動制御や軌道制御、自立運動ロボットなど(回転軸と3方向の加速度を高精度同時検出) (T.Murakoshi, Jpn. J. Appl. Phys., 42, Part1 No.4B (2003) p.2468)

静電浮上 回転ジャイロ (東京計器)

**TOYOTA**  
VSC (Vehicle Stability Control, 車体安定性制御システム)

100万台以上で使用

(M. Nagao et al. SAE World Congress, (2004))

振動形ジャイロ, 加速度センサ (トヨタ自動車)

**ECO SCAN**  
3次元距離画像センサ

(N. Asada, M. Esashi et al., IEEE Trans. on Magnetics 30 (1994))

電磁式 2軸 光スキャナ (日本信号)

TOYOTA **CS 2000**

集積化容量形圧力センサ

(Y.Matsumoto, M. Esashi, 22nd Conf. on Solid State Devices and Materials (1990))

集積化容量形圧力センサ (JTEKT)

シリコンダイアフラム真空封止

(宮下治三, アネルバ技術, 11 (2005) p.37)

シリコンダイアフラム真空封止 (キヤノンアネルバ)

シリコンマイクロホン

(T.Tajima (NHK), M. Esashi et al., Microelectronic Engineering, 67-68 (2003) 508)

シリコンマイクロホン (NHK, パナソニック)

貫通配線付 LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic) (ニッコー)

(毛利謙, 江刺正重, 田中秀治, LTCC基板によるMEMSウェアレブルパッケージング技術, 電気学会論文誌E, 132-E, 6 (2012) 246-253)

貫通配線付 LTCC基板 (ニッコー)

小形無音ガスタービン発電機

(S. Tanaka, K. Isomura (IHI), M. Esashi et al., Power MEMS 2007, Freiburg, pp.359-362)

小形無音ガスタービン発電機 (IHI)

LSI テスタ用 MEMS スイッチ (アドバンテスト)

アドバンテスト  
MEMSスイッチ, MEMS受託生産工場(仙台市青葉区)

LSI テスタ用 MEMS スイッチ (アドバンテスト)

# 高周波、低消費電力 MEMSリレー

当社の高周波MEMSリレーは、圧電駆動方式を採用しており、低消費電力、高信頼性を兼ね備えています。当社独自の成膜技術により、薄さ1 $\mu\text{m}$ の圧電膜を実現したことで、低電圧駆動が可能になりました。半導体試験装置で実績を重ねてきた接点制御技術により、動作は信頼性が高く、高周波計測技術により、最大20GHzの高周波伝送に対応します。

## MEMSリレーの用途



半導体検査装置、高速通信機器、高周波計測器など

## MEMSリレー製造工程



## 当社の持つMEMS開発/製造力

**開発拠点:** アドバンテスト群馬R&Dセンター(群馬県邑楽郡利根町)  
アドバンテスト研究所(仙台市青葉区)  
東北大学江刺教授の指導の下で実用化。

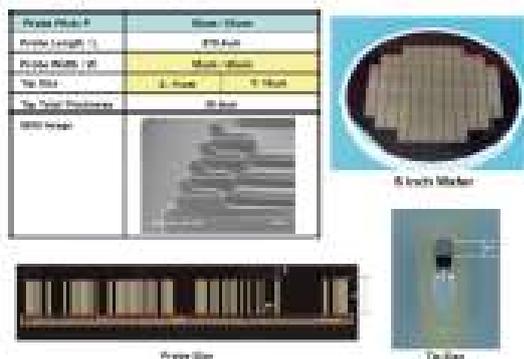
**製造拠点:** アドバンテスト コンポーネント(仙台市青葉区)  
自社工場でMEMS製造製品や化合物半導体、高周波モジュール向けSIP等を量産。

## MEMSリレーの主な仕様値 (参考値)

- 周波数範囲: DC~20GHz
- 駆動電圧: 12V
- 接点構成: SPDT
- サイズ(mm): 5.4x4.2x0.9 2.9x3.4x0.9 の2種類
- アイソレーション: >20dB(〜20GHz)
- 挿入損失: <1dB(〜20GHz)
- 特性インピーダンス: 50 $\Omega$

## MEMSプローブピン

半導体ウエハ試験に使用されるプローブカード用の針をMEMS技術を用いて作成しています。



## アドバンテストについて

「計測と試験」における世界のリーディングカンパニとして、エレクトロニクス、情報通信、半導体製造といった、最先端の計測技術が必要とする産業で活躍しています。半導体・部品テスト・システム事業では、各種半導体デバイスの信頼性を支えるテスト・システムを提供し、世界で50%近くのシェアを持っています。



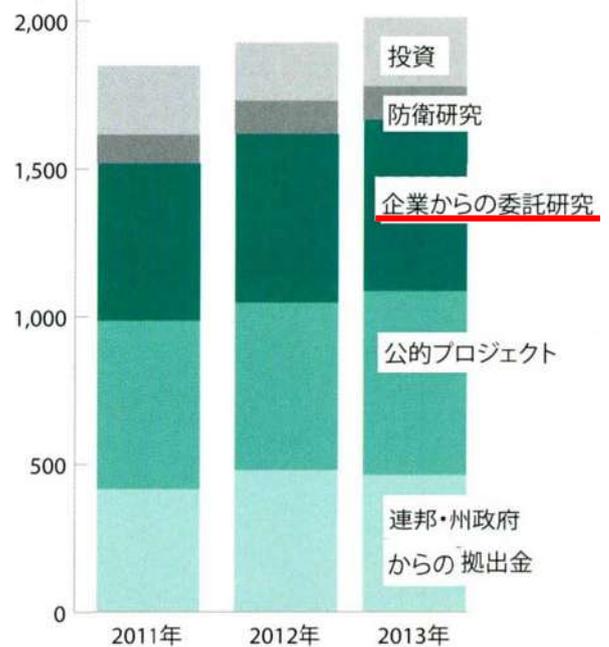
## 18 フラウンホーファ研究機構 (ドイツ)



67のフラウンホーファ研究所および研究ユニットがドイツ各地に点在しています。各大学に隣接し協力

### Fraunhofer-Gesellschaft (FhG)

年間予算総額内訳 (単位:百万ユーロ)



ケムニッツ工科大学構内にあるフラウンホーファ ENAS (Electronic NAno System) 研究所

フラウンホーファ日本代表部 : 107-0052 港区赤坂 7-5-56 ドイツ文化会館 代表 三木 英哉

Tel. 03-3586-7306, E-mail : [info@fraunhofer.jp](mailto:info@fraunhofer.jp) [www.fraunhofer.jp](http://www.fraunhofer.jp)

役割 : 企業とフラウンホーファの研究所を繋ぐ窓口、プロジェクトのサポート、フラウンホーファの技術を紹介

## 19 東北大学のフ라운ホーファプロジェクトセンタ



ドイツ フ라운ホーファ研究機構と仙台市の  
交流協定調印式(ミュンヘン)(2005/7)



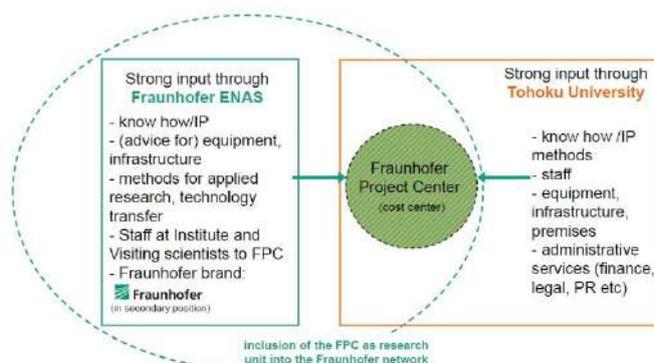
第1回フ라운ホーファシンポジウム in 仙台 (2005/10/19)



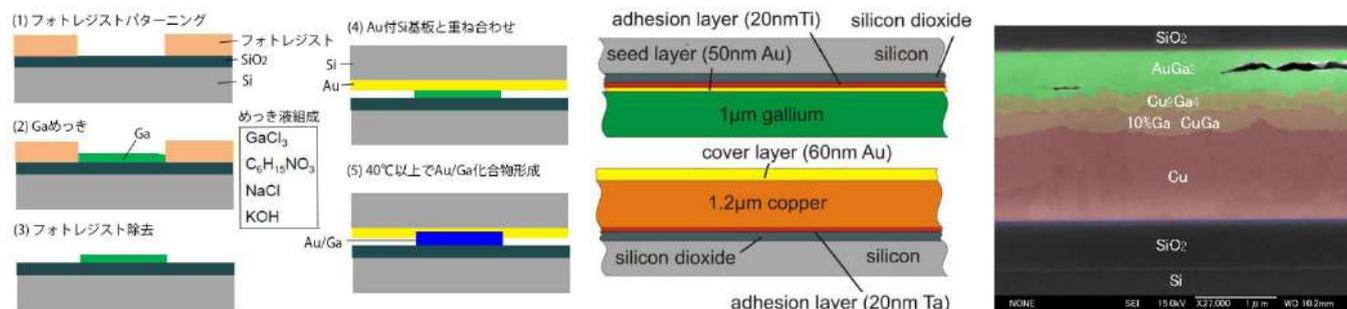
フ라운ホーファ研究機構と東北大の交流協定調印式(仙台) (2011/11)

フ라운ホーファ研究機構と東北大のプロジェクトセンター発足 (2012/4)

### Fraunhofer Project Center Model Key aspects of cooperation – Mutual contributions



Assoc. Prof. Joerg .Frömel



Cu – Ga の低温 SLID (Solid-Liquid Inter-Diffusion) 接合 (歯を補修する以前の方法 (現在は紫外線硬化樹脂)

Cu 粉末 を Hg と直前に混合 ⇒ 歯の研削した部分に補填 ⇒ 金属間化合物を形成し固化)

(J.Froemel et.al. (ENAS, Fh.G), J.Of Microelectromechanical Systems, 24 (2015) 1973)



国際イノベーションコンテスト(International Contest of innovAtioN (iCAN)) <http://www.ican-contest.org>

(1回 (iCAN' 09) - 7回 (iCAN' 16) は International Contest of Application in Nano / micro technologies)

【国内主催】 仙台MEMSパークコンソーシアム、東北大学マイクロシステム融合研究開発センター

【概要】 MEMSデバイスを用いたアプリケーションを提案し、試作した成果を競う国際コンテスト。対象は、中学生、高校生、高専生、専門学校生、大学生、大学院生のチーム。世界各国・地域で予選を行い、世界大会開催。

問合せ先: 東北大学マイクロシステム融合研究開発センター 戸津健太郎

Tel:022-229-4113 E-mail: [totsu@mems.mech.tohoku.ac.jp](mailto:totsu@mems.mech.tohoku.ac.jp)



指文字翻訳機 (京都大)

(加速度センサ等で手話を音声に変換)

iCAN' 11 で優勝



どこでも茶道 (東北大、阪大、natural science)

(センサ付茶釜でお点前を評価)

iCAN' 15 で優勝



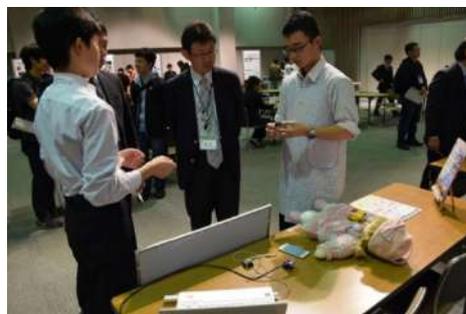
CES (Consumer Electronics

Show) (ラスベガス)に出展



ホームセキュリティロボット、第6回ものづくり日本大賞 内閣総理大臣賞受賞、

iCAN' 14 優勝、郡山北県立工業高校



ベビーインフォーマー (郡山北工業高校)

(センサで赤ちゃんのうつ伏せ寝を検知)

iCAN' 16 で3位



iCAN' 17 (北京)におけるデモ



ぼすちやー (natural science)

(パソコン使用時の姿勢を改善)



わかがえりの靴 (natural science)

(バランス力を計測し鍛錬) (片麻痺患者のリハビリアプリ)



ハイテクけん玉 (東北大)

(片麻痺患者のリハビリアプリ)

## 21 MEMS パークコンソーシアム

### MEMS パークコンソーシアムとは？

産官学の連携により、国内外の研究開発支援機関等の支援組織とのネットワークを構築し、MEMS を中心としたマイクロデバイス分野の研究開発・産業化支援を行うことを目的とする任意団体です。活動の目的に賛同する団体及び個人で構成されます。

### MEMS パークコンソーシアムの組織

代 表：戸津 健太郎（東北大学マイクロシステム融合研究開発センター 准教授）

発起団体：東北大学、仙台市、宮城県、東北経済産業局等

会員数等：一般会員／61 社、提携会員／11 団体(R2 年 4 月 1 日現在)

### MEMS パークコンソーシアムの活動

#### ◆情報発信

MEMS 集中講義、公開セミナーの開催、Web サイト、メーリングリスト、展示会等を利用した各種情報発信。

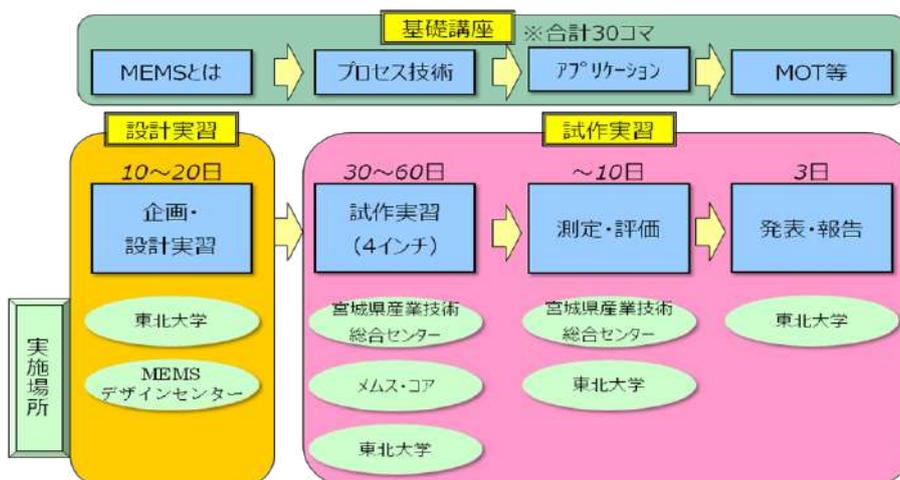
#### ◆MEMS 人材育成

実務者を対象とした人材育成(随時)

- ① e-Learning による基礎講座
- ② 4/6インチファブを使った MEMS デバイス試作実習(仙台に 3ヶ月滞在)



MEMS 集中講義 in 京都



受講生が3ヶ月で試作した容量型3軸加速度センサ

<これまでに人材育成を受講した企業>

アドバンテスト研究所、アルプス電気、日本電波工業、ペンタックス、システック井上、ヤマハ、凸版印刷、コニカミノルタ、積水化学工業、アドバンテスト、村田製作所、富士機械製造、山本電機製作所、JAXA

<受講した企業が試作したデバイス>

加速度センサ、RF スイッチ、ジャイロ、圧力センサ、微動ステージ、可変インダクタなど

若手(高校生、高専生、大学生、大学院生)を対象とした人材育成

国際イノベーションコンテスト(iCAN)国内予選の主催

#### ◆技術相談(試作支援ネットワーク)

会員企業が MEMS 技術の研究開発・産業化を推進する上で障壁となっている課題について、大学、公的研究機関等の橋渡しを行う。

#### ◆ネットワーク活動

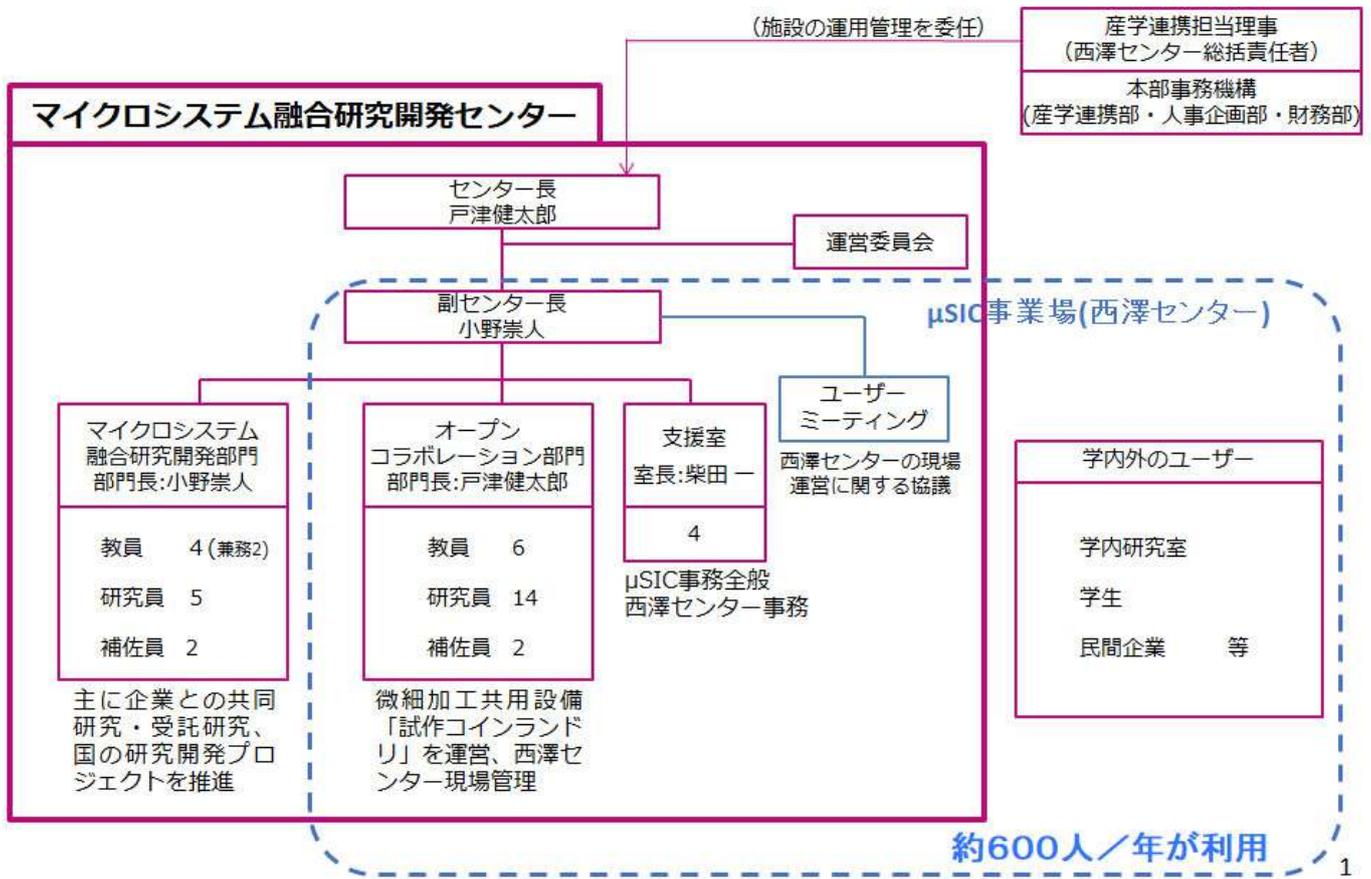
会員企業相互、講演者等とのネットワーク構築、情報交換を行う交流の場を提供する



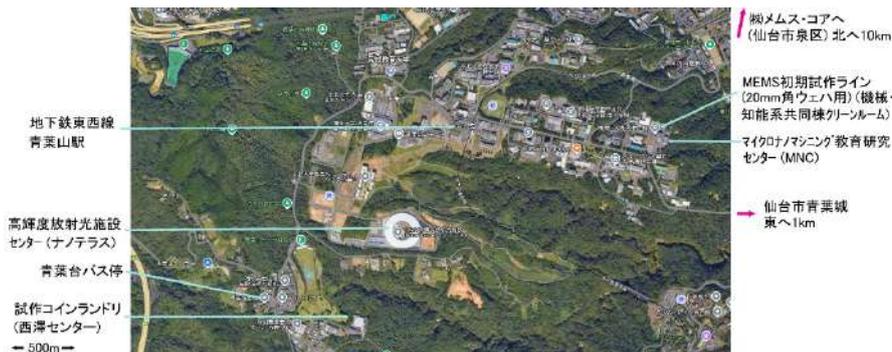
iCAN'11 国内予選の様子

μSIC (Micro System Integration Center) : マイクロシステム融合研究開発センター

2025年4月

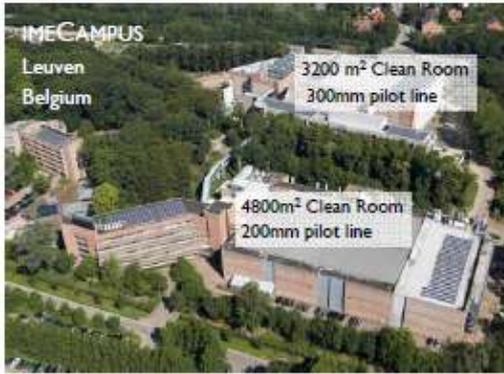


マイクロナマシニング研究教育センター (MNC) MEMS 初期試作ライン (20mm 角ウエハ) 試作コインランドリー (西澤センター内)



(株)メムス・コア

## 23 IMEC (Interuniversity Microelectronics Centre) (ベルギー)



### SiGe MEMS の拠点

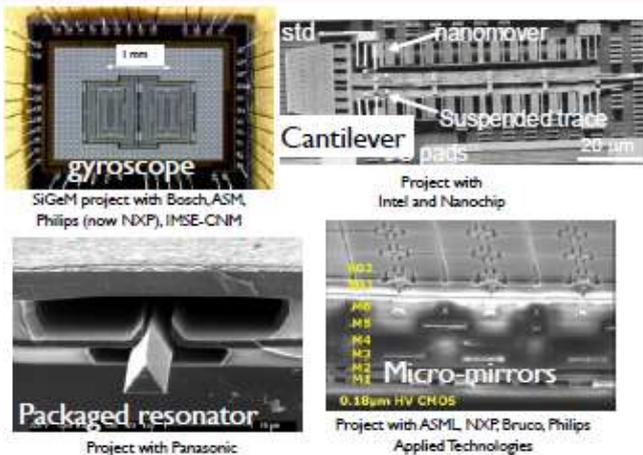
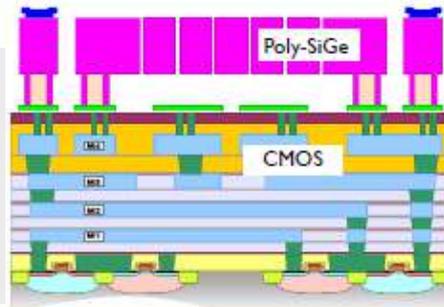
**IMEC:  
HOME OF SIGE  
MEMS**

#### Background

IMEC では、ポリ SiGe による MEMS と、読出回路や駆動回路を同一チップに集積化する、**IC 上ポリ SiGeMEMS** プラットフォームを、200mm ウェハ用ファブで準備しました。このモノリシックによる集積化 MEMS は、小形化、組立・実装の低コスト化および高性能化で、現在のハイブリッドによる方法よりも優れています。

#### Platform

この **SiGeMEMS** のプラットフォームは、CMOS 保護層、MEMS への接続部と SiGe 電極、SiGe 構造層、さらにはポリ SiGe による薄膜パッケージ構造など、いくつかの標準モジュールから成ります(右図)。これに加えてピエゾ抵抗の機能を追加することも可能です。



#### Demonstrators

このプラットフォームで、左図のような SiGe による MEMS デバイスを、共同研究機関と一緒に開発してきました。これには自動車に応用できる集積化ジャイロスコープ、高度産業機械用の 2 百万個の可動鏡を配列した高信頼性ミラーアレイ、マルチプローブデータ記録装置のため片持梁アレイ、SiGe 薄膜パッケージによる Q が 20 万以上の SOI 共振子などがあります。



#### CMORE service

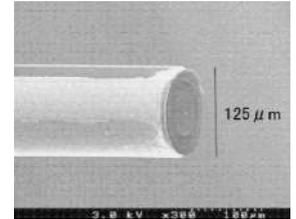
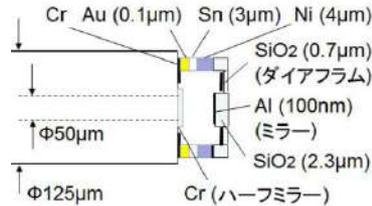
この SiGe プラットフォームは IMEC が産業界の皆様にご提供できる技術の一つです。CMORE によって革新的なコンセプトを製品にすることができます。大学・研究機関の皆様には **Europractice** 内の **SiGeMPW**(マルチプロジェクトウェハ)サービスをご利用頂けます。

**imec**

## 24 $\mu$ SIC 関連(スタートアップ)企業

**MEMSAS(株)** (加藤和哉、芳賀洋一、松永忠雄 他) <http://www.memsas.co.jp>

低侵襲医療用カテーテルなど MEMS の医療応用を目的としたベンチャで 2004 年 9 月に設立。  
光ファイバを用いた極細血圧センサの実用化などを目指しています。



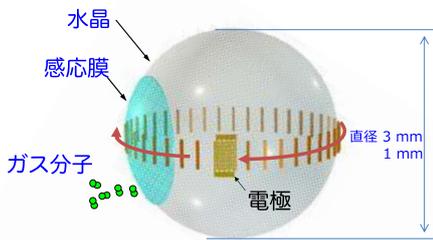
**ボールウェーブ(株)** (赤尾 慎吾、山中一司、竹田宣生、塚原祐輔) <http://www.ballwave.jp/company.html>

代表者名: 赤尾慎吾 設立年月日: 2015 年 11 月 10 日 資本金: 1 億円 (払込資本 869 百万円)

### ボール SAW センサによる革新的ケミカルセンシング

基本特許:

- 電極に高周波電圧を加えて小さな水晶球の表面に振動を起こすと、拡散することなく表面を100周以上ぐるぐると伝搬する。
- 薄い感応膜にガス分子が吸着・吸収されると振動の伝わる速度が変化し減衰が大きくなる。
- その変化を同じ電極によって電圧変化として捉えることで極微量な分子の存在量を測定する。

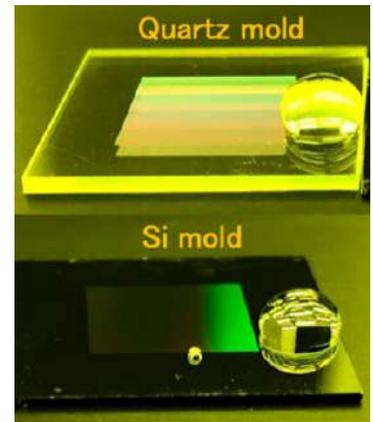


測定ガス	水蒸気	有機混合ガス	水素
感応膜	非晶質シリカ	ジメチルシロキサン (カラム材料)	パラジウム合金 (Pd Ni Pd Pt)
方式	単一センサ	ガスクロ	単一センサ
プロダクト	微量水分計	ポータブル・ガスクロ	水素センサ

異なる感応膜で広範なケミカル・センシングが可能

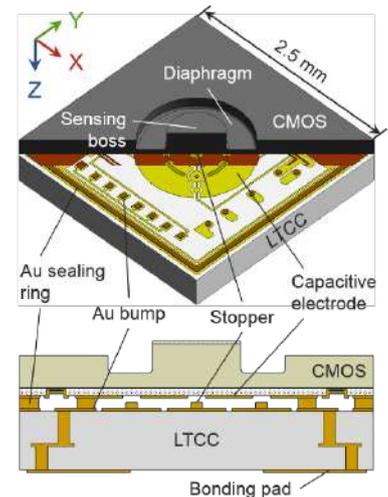
**(株)デアネヒステ** (中尾正史) <http://www.dernaechste.com/>

定年退職後に起業したシニア会社です。 $\mu$ SIC の設備やファンドリメーカーなどを利用して、研究開発段階の、各種作製プロセスの検討支援、及び試作協力を主に行っております。特に長年携わってきた高スループット、低コストでナノパターン転写が可能なインプリント技術に関しては総合的なプロデュースを実施しております。インプリント転写プロセスでは写真のような石英モールドや Si モールド (画像には離型性確認のための水滴あり) を EB リソグラフィとドライエッチングで作製し、モールドからレジストへパターン転写するのが一般的でした。プロセスの簡便化と転写精度の向上を目指し、UV 硬化型 PDMS を利用したエッチングフリーの新たなパターン転写技術も開発中です。



**(株)レイセンス** (田中秀治、室山真徳、平野栄樹) <https://reisense.co.jp/>

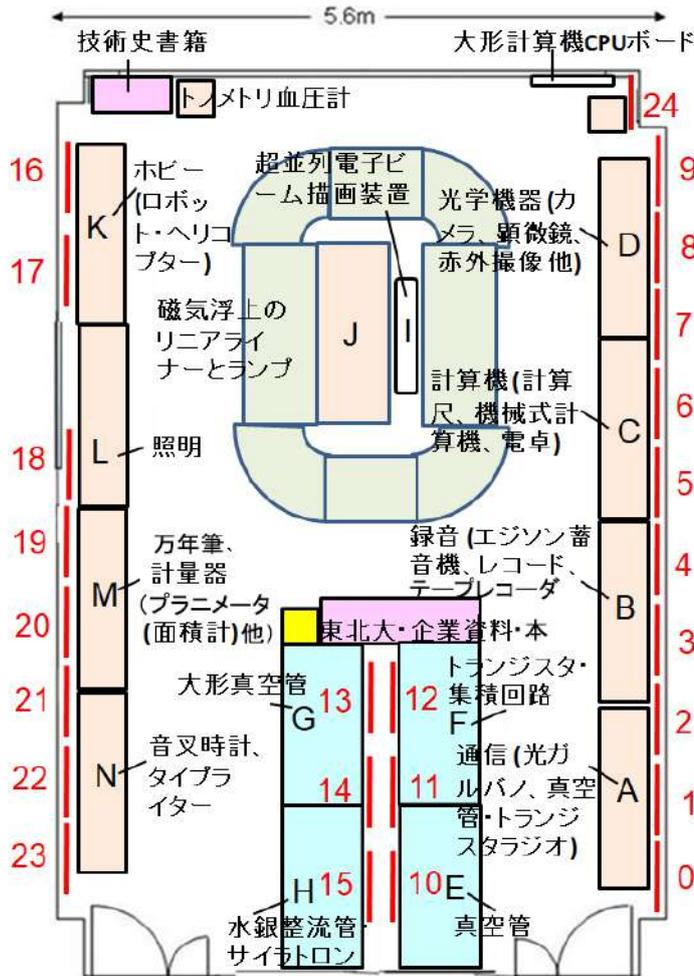
次世代ロボットなどに触覚機能を付与する MEMS-CMOS 集積化触覚センサならびにそのネットワークシステムを提供します。独自設計したセンサ・プラットフォーム LSI を TSMC0.13 $\mu$ m プロセスで製造し、この LSI をウエハレベル MEMS 技術により加工し、2.7mm 口サイズの 3 軸力検出可能な静電容量型触覚センサデバイスを 90% 以上の高い製造歩留りで実現しました。集積化した LSI 内のイベントドリブン応答とシリアルバス通信の機能を用いることで、100 個の集積化デバイスをたった 6 本の配線で接続しつつ 100 個のデバイスから高速にデータを取得することに成功しています。さらにセンサ・プラットフォーム LSI を用いることで、触覚センサに限らず各種センサをスマートにネットワーク化できます。







# 近代技術史博物館

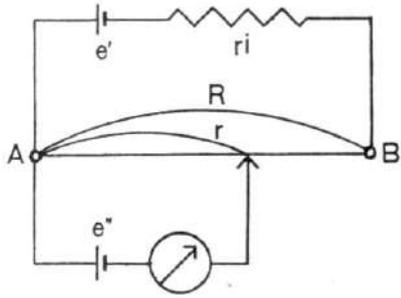


## ポスター

- 0 近代技術史博物館
- 1 電気計測
- 2 有線通信
- 3 無線通信
- 4 録音
- 5 計算機 (1) (アナログ)
- 6 計算機 (2) (デジタル)
- 7 光学機器 (1) (カメラ)
- 8 光学機器 (2) (光計測 他)
- 9 光学機器 (3) (赤外線計測)
- 10 真空管
- 11 トランジスタ・集積回路
- 12 バガディの予測 (1964)
- 13 大形送信管
- 14 真空管を用いた高射砲の砲弾 (VT 信管)
- 15 水銀整流管・サイトロンからパワー半導体へ
- 16 ホビー (1) (ロボット)
- 17 ホビー (2) (車、ヘリコプター)
- 18 自動車
- 19 照明、ライター
- 20 万年筆
- 21 計量器
- 22 時計
- 23 タイプライター
- 24 清田製作所



# 1 電気計測



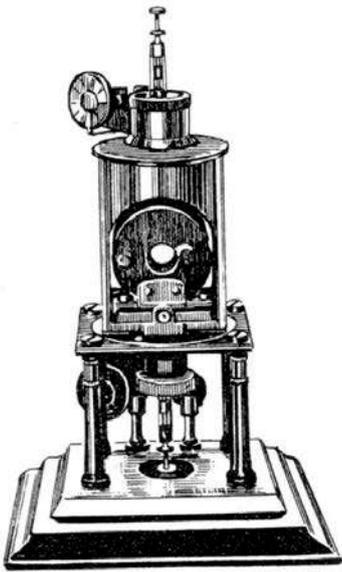
デュ・ボア・レモンの回路

$$R, r_i \dots \text{constant} \quad e'' = \frac{r e'}{R + r_i}$$

ポテンショメータ (電流ゼロで起電力を測定)



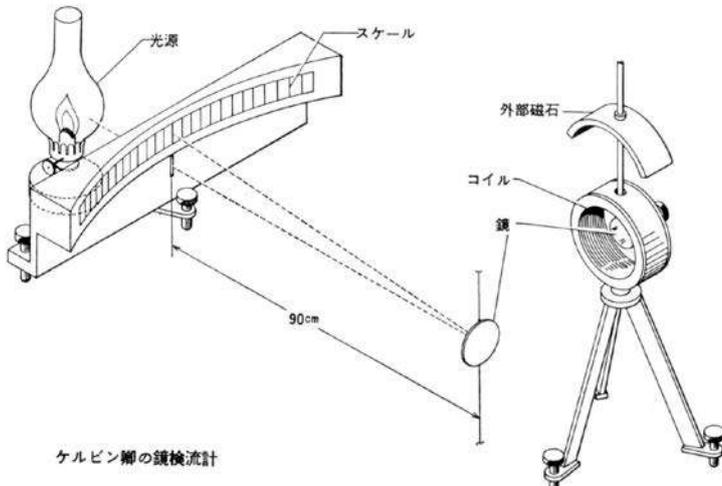
William Thomson教授  
(1824-1907、後のKelvin卿)  
Glasgow大学



ケルビン卿の最初のガルバノメータ



光ガルバノメータ (1)



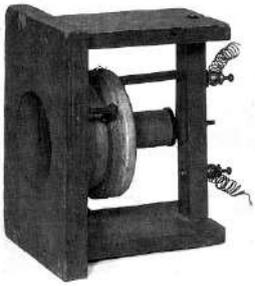
ケルビン卿の鏡検流計

光ガルバノメータ (2) (感度 0.02  $\mu$ A)

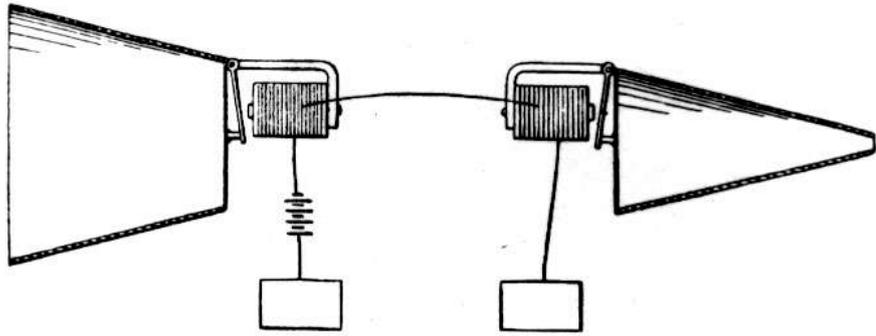


(高木純一, "電気の歴史", オーム社 (1967))

## 2 有線通信



19世紀最大の発明「電話機」  
A. ベルは補聴器の研究から電話機を発明した。「Mr. Watson, Come here. I want you.」が第一声だった。

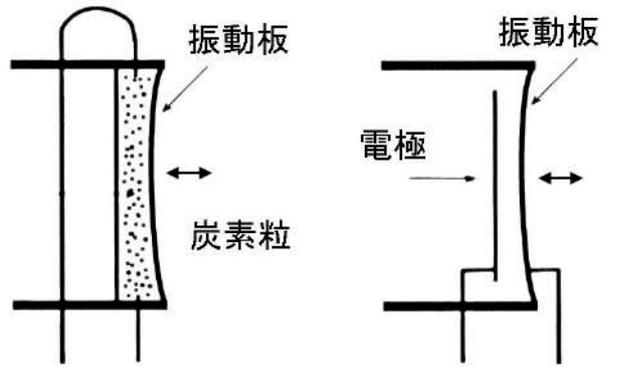


ベルの電話機 (1876) 電磁式送受話器

(相良岩男, 20世紀エレクトロニクスの歩み: 日経エレクトロニクス(1996))

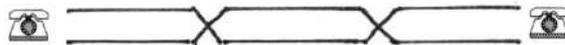


電磁式ヘッドホンと炭素粒マイクロホン[1]

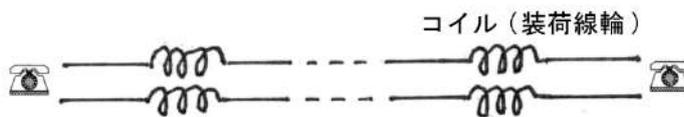


炭素粒マイクロホン コンデンサマイクロホン

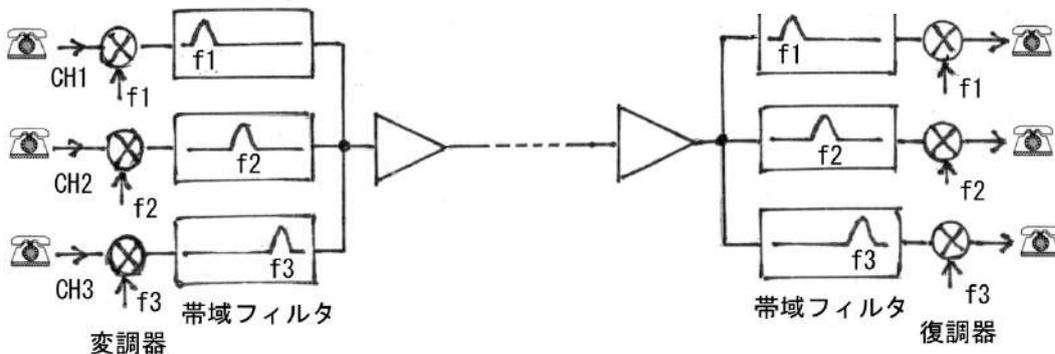
エジソン(1877)



(a) 平衡対撚ケーブル



(b) 装荷ケーブル, M.I.Pupin (1899)

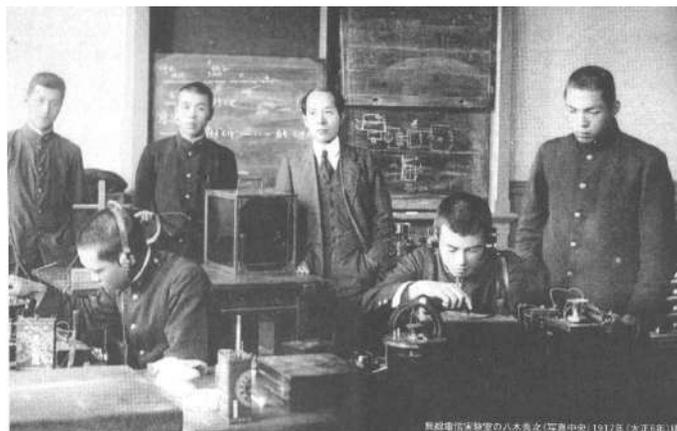
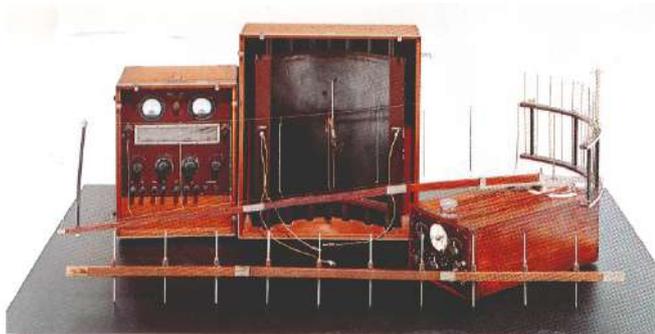


(c) 無装荷ケーブルによる多重通信

無装荷ケーブルによる多重通信 (1932) (逓信省の松前重義(東北大卒))

[1] 東京工業大学 名誉教授 肥後矢吉 氏 寄贈

### 3 無線通信



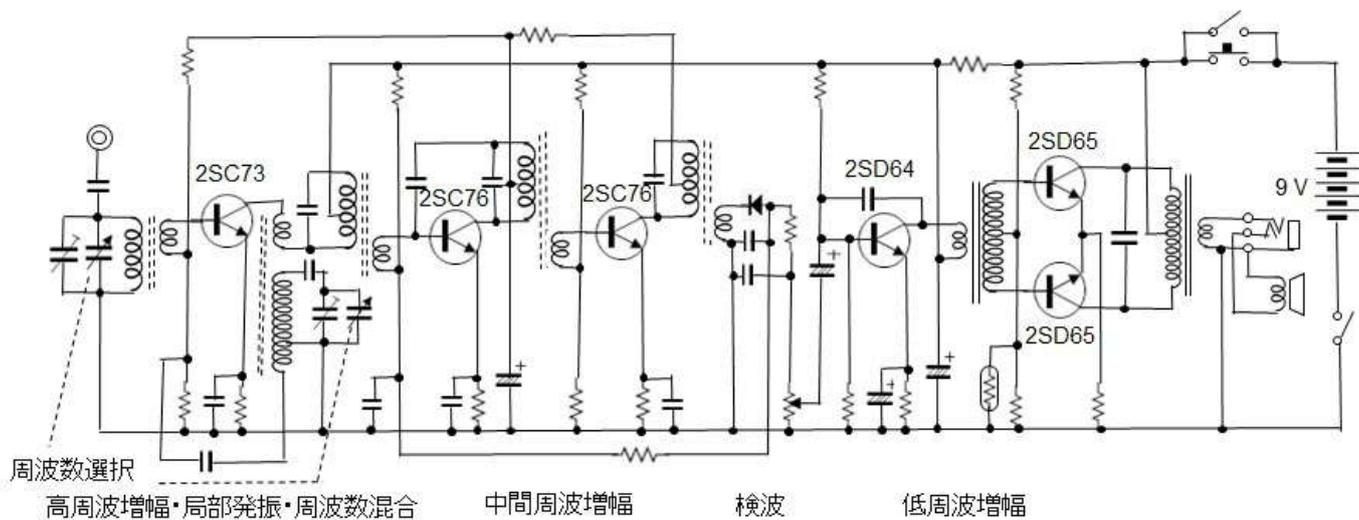
八木アンテナ (1928) (非展示) (「東北大学」編集委員会編、「東北大学」 2007/8/1)



真空管ラジオ[1]



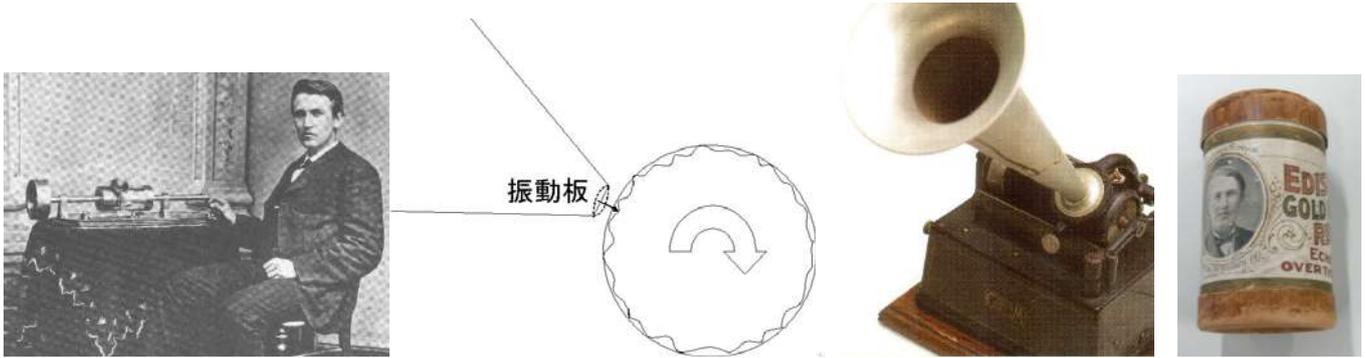
トランジスタラジオ(ソニー TRW-621)(1960)  
(時計はタイマーとして使用可) [2]



トランジスタラジオ(ソニー TRW-621)の回路図 [https://www.radiomuseum.org/r/sony\\_TRW\\_621](https://www.radiomuseum.org/r/sony_TRW_621)

[1] オプトエレクトロニクス 俵政美 氏 寄贈、[2] 東京工業大学 名誉教授 肥後矢吉 氏 寄贈

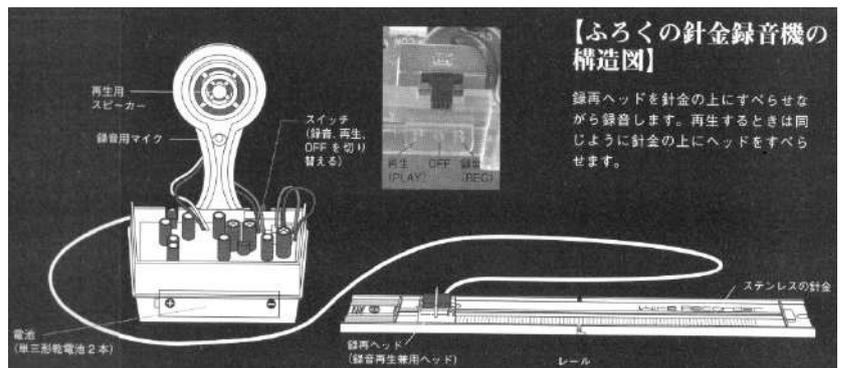
# 4 録音



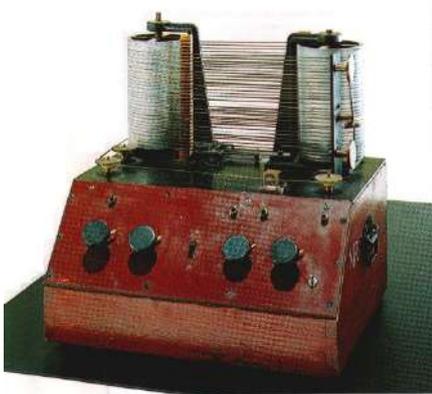
エジソンと蝋管記録 (フォノグラフ) (1877)[1]



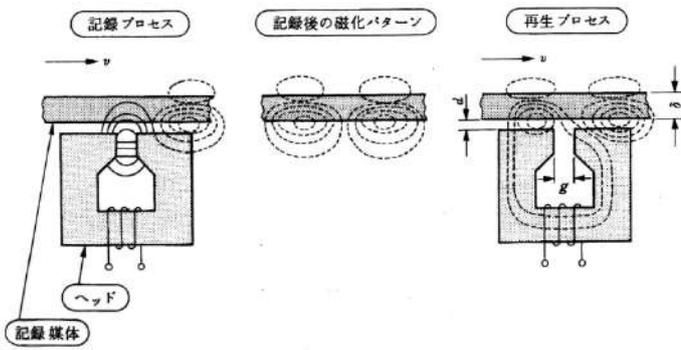
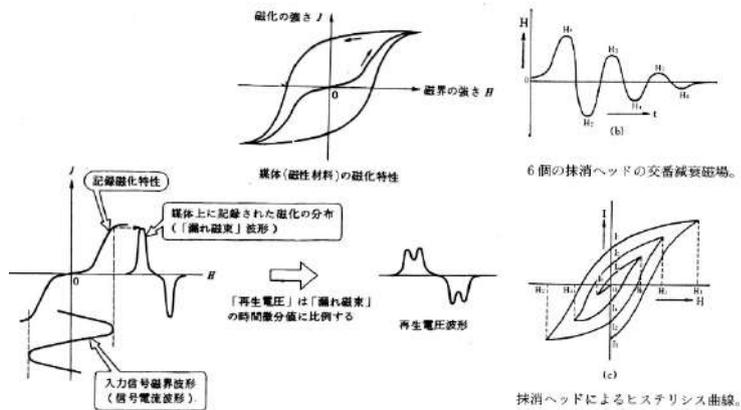
ポールセンの磁気記録 (1898) (非展示)



針金録音機 (学研)



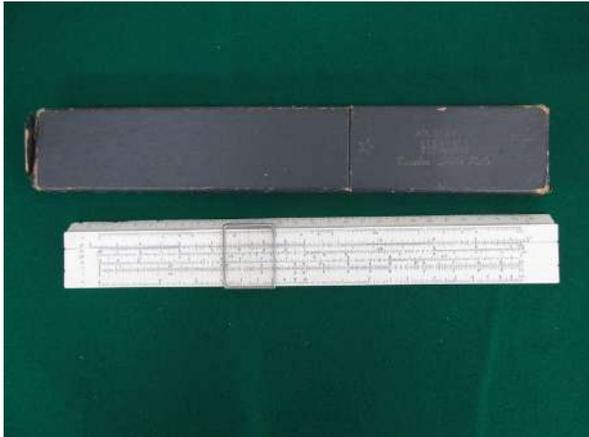
交流バイアス法 (東北大 永井健三) (非展示)



真空管テープレコーダ (東京通信工業(ソニーの前身))

[1] オプトエレクトロニクス 俵政美氏 寄贈

## 5 計算機 (1) (アナログ)



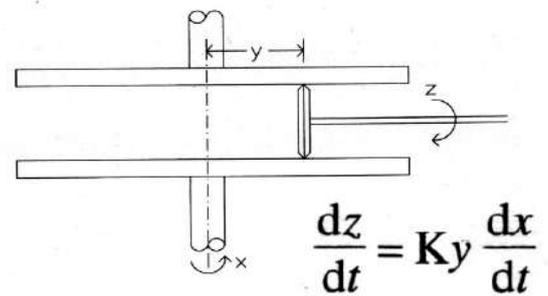
計算尺[1] (logAB = LogA+LogB)



これは遊びで、技術ではありません。対数目盛を応用してMEMSの寸法を肉眼で見える物に換算し、学生さんに感覚的に判ってもらうのに使ったりします。丸善で売っていた。

時空間換算尺 [1]

[1] 東京工業大学 名誉教授 肥後矢吉 氏 寄贈

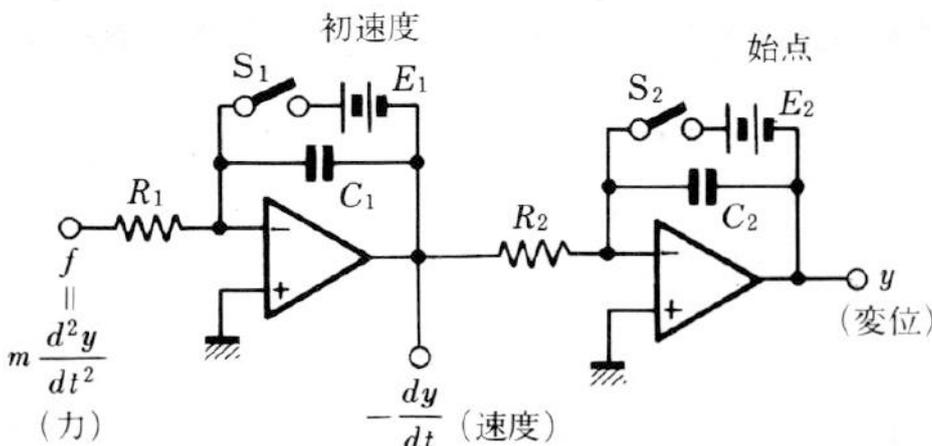


機械式アナログ計算機の要素例

(Hermann integrator) (A. Ben Clymer, The mechanical analog computers of Hannibal Ford and William Newell, IEEE Annals of the History of Computing, 15, 2 (1993))

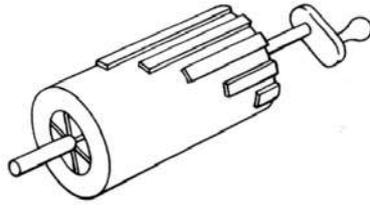
微分解析器は、1931年にV.Bushによって考案されたもので、本展示品は、70年ほど前に、本学の数学科、清水研究室で実際に使用されていたものである。微分解析器の原理は、機械的に面積を描くことによる「積分器」をつくり、これらを複数組み合わせることによって微分方程式を実現し、これによって、微分方程式の解をグラフの形で得るもの。(東京理科大学近代科学資料館のホームページ)

運動方程式は、変位を  $y$  質量を  $m$  力を  $f$  とすると、 $f = m \frac{d^2y}{dt^2}$ 。図のように積分回路を組み合わせれば  $f$  を入力すると、1段目の積分回路の出力として速度( $dy/dx$ )の負の値が得られ、さらに2段目の積分回路の出力として変位( $y$ )が得られる。 $f$  に重力を用い、質量  $m$  は1段目の積分回路定数  $C_1R_1$  で与える。回路の  $S_1, S_2$  を閉じて、速度の初期値(初速度)、変位の初期値(始点)に相当する電圧  $E_1, E_2$  を  $C_1, C_2$  に充電しておき、 $t = 0$  でスイッチ  $S_1$  と  $S_2$  を開くと、速度や変位の時間変化が出力される。

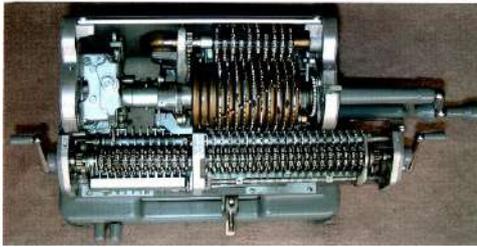


アナログ計算機 (質量  $m$  の物体を落下させた時の各時刻の速度と変位を求める例)

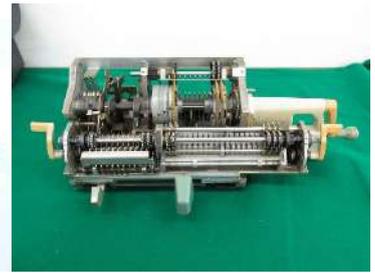
## 6 計算機 (2) (デジタル)



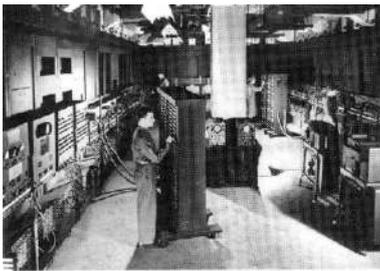
ライプニッツの段付歯車を用いた計算機 (1700 年頃) (非展示)  
 (コンピュータ開発史 大駒誠一 共立出版 (2005))



手回し機械式計算機 (1960 年頃)



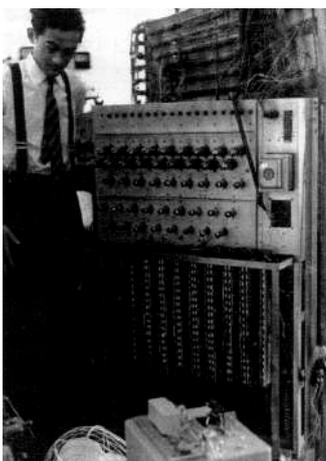
原理学習用モデル



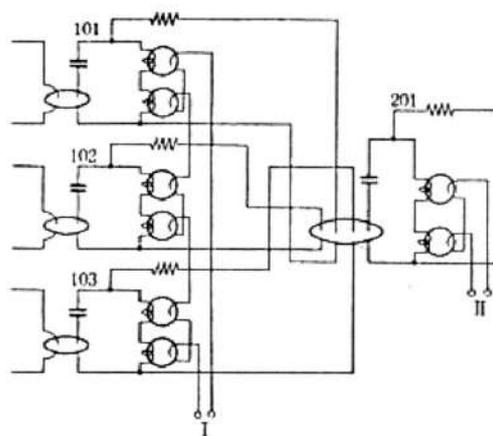
最初のコンピュータとされる「ENIAC」



(志村幸雄、「誰が本当の発明者か」 トランジスタ電卓(早川電気「CS-10A」) カップブックス B1525、講談社 (2006)) (非展示) (現シャープ) (1963) テンキー式トランジスタ電卓 (キヤノン「Canola130」) (1964)



後藤英一 氏



101	102 の位相	103	201への 駆動信号	201の発振位相	
-1	-1	-1	-3k	-1	AND
-1	+1	-1	-1k	-1	
+1	-1	-1	-1k	-1	
+1	+1	-1	+1k	+1	
-1	-1	+1	-1k	-1	OR
-1	+1	+1	+1k	+1	
+1	-1	+1	+1k	+1	
+1	+1	+1	+3k	+1	

パラメトロン計算機

(C&C 振興財団、コンピュータが (長森享三、エレクトロニクス、1958 年 3 月、p.918) 計算機と呼ばれた時代、ASCII)

[1] 東京工業大学 名誉教授 肥後矢吉 氏 寄贈

## 7 光学機器 (1) (カメラ)



リコー35カメラ (1950年代) 初期の理研光学のレンズシャッター35mmフィルム用カメラ[1]



二眼レフカメラ[2]



カメラ用機械式セルフタイマー[1]



自動焦点カメラ (世界初) [1]



アナログ記録カメラ



8mmカメラと映写機



デジタルビデオカメラ

[1] 東京工業大学 名誉教授 肥後矢吉 氏 寄贈 [2] 東北大学 名誉教授 伊藤弘昌 氏 寄贈

## 8 光学機器 (2) (光計測 他)



初期の生物顕微鏡



オリンパスの顕微鏡 1号機(複製)



携帯形顕微鏡[1]

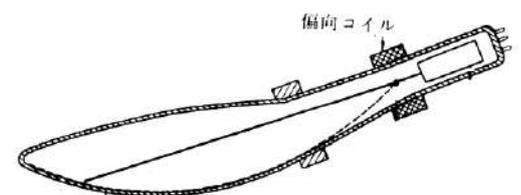


望遠鏡(1930年代)[1]

(東京工業大学 名誉教授 肥後矢吉 氏 寄贈)



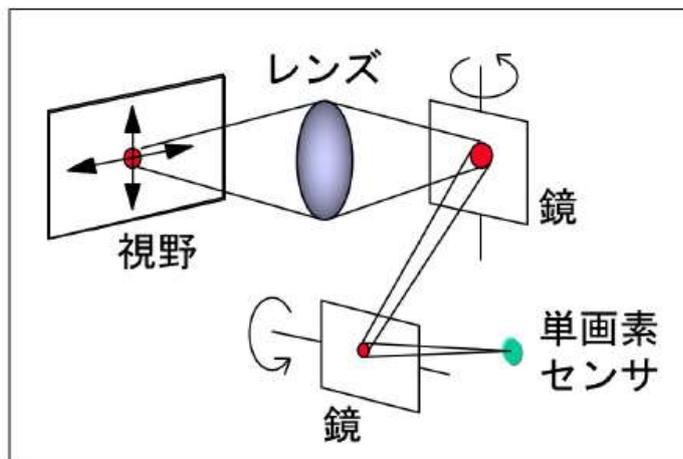
コーナーキューブ



使用されてる扁平ブラウン管

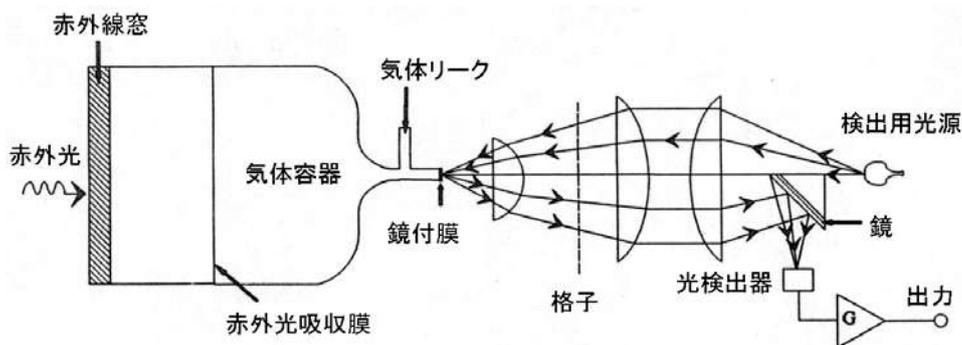
ブラウン管式インターホン  
(谷川 紘 氏 (元 日本電気、立命館大学) 寄贈)

## 9 光学機器 (3) (赤外線計測)

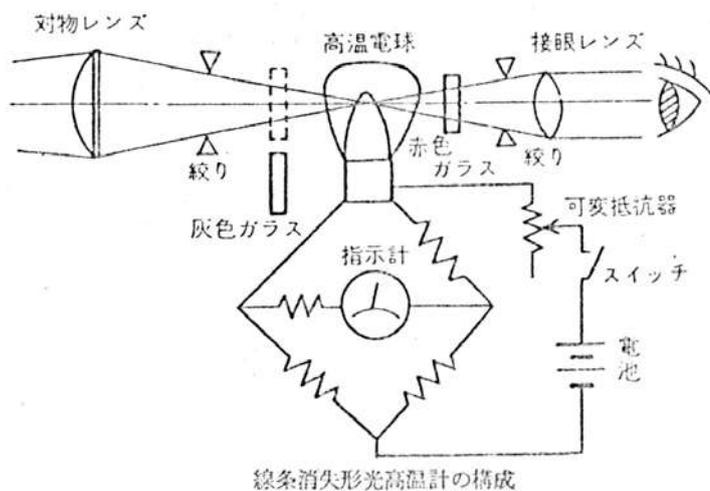


振動鏡で単画素センサが見る領域を  
機械的に走査して画像を取得

米国バーズ社の機械走査式赤外線撮像装置 (立命館大 木股先生提供 ← 元近畿大 江藤先生)



ゴーレーセル (気体の熱膨張による赤外光の検出)

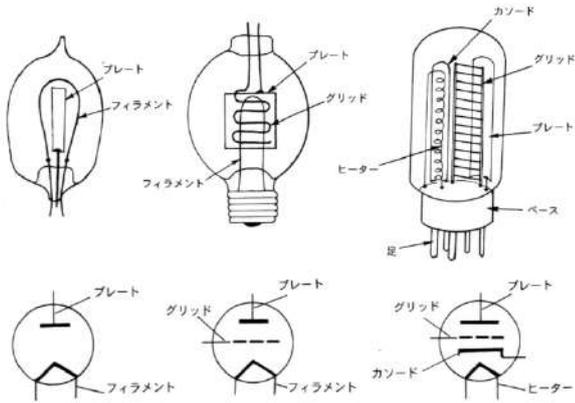


線条消去形光高温計の構成



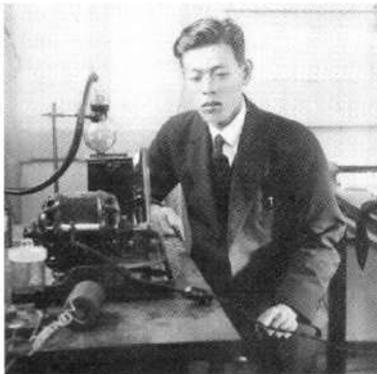
線条消去形光高温計 (展示 廊下)

# 10 真空管



二極真空管 三極真空管 三極真空管 MT 管 GT 管 ST 管 メタル管 ニュービスタ

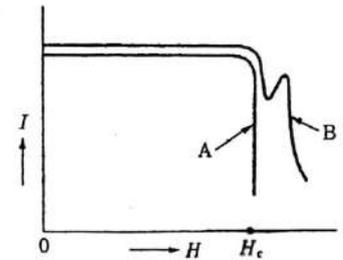
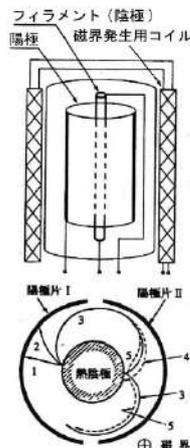
Fleming (1904) de Forest(1906) (傍熱型)



岡部金治郎:東北帝大助教授,名古屋高工教授,大阪帝大教授などを歴任,1944年文化勲章受章



岡部が発明した分割隔極型マグネトロンを試作品



ハルの発表したマグネトロンの特性 (図中の A) 学生の実験したマグネトロンの特性 (図中の B)

陽極分割マグネトロン (1932) (エレクトロニクス発展の歩み (東海大学出版会 1998)) (非展示)



電子レンジ用マグネトロン



クライストロン



灯台管



赤外線画像変換管

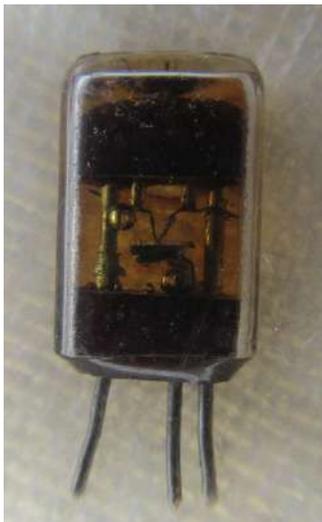


カルニコンと AP イメージャ (浜松ホトニクス)



計測用ブラウン管

# 11 トランジスタ・集積回路



点接触トランジスタ (1947年ベル研)  
(ウェスタン・エレクトリック社製)

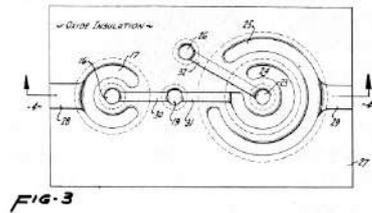


FIG-3

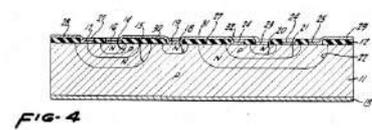


FIG-4

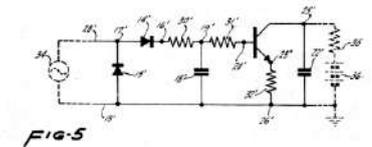
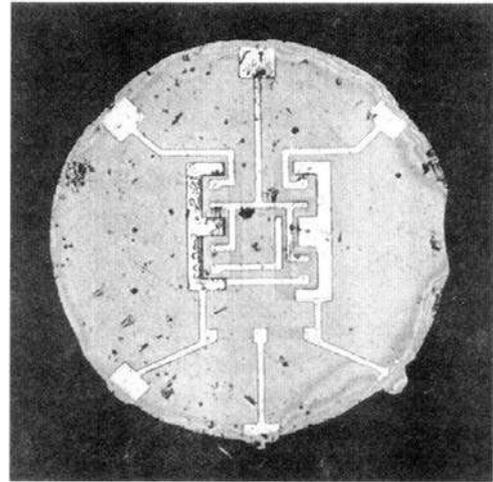
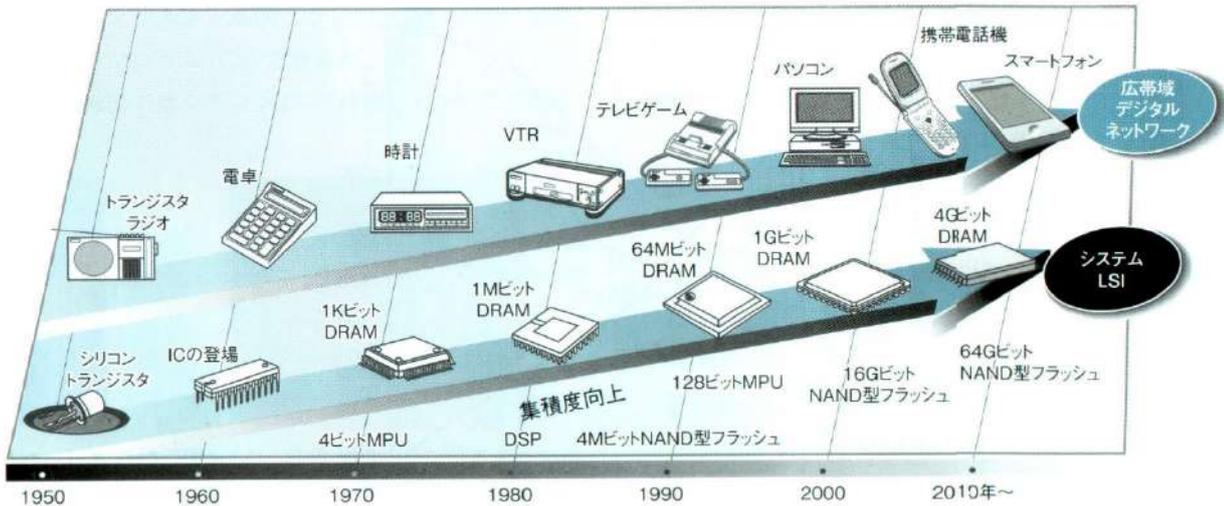


FIG-5

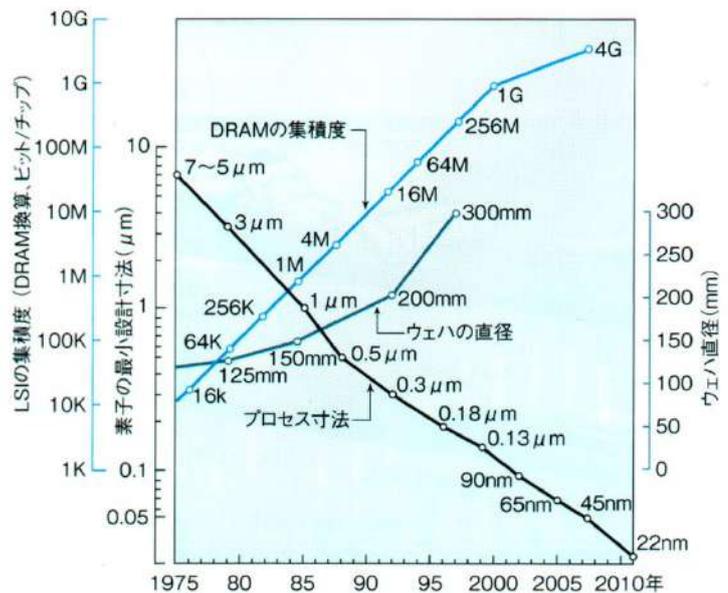


フェアチャイルドによる最初のプレーナ型集積回路のひとつ

プレーナ集積回路 (1959年フェアチャイルド社)



集積回路とホームエレクトロニクスの進歩



集積回路技術の進歩

(未来を創る半導体 IC Guide Book 2、電子情報技術産業協会(編)、産業タイムズ、2012)

## 12 ハガティの予測（1964年）

この付録はハガティ（Patrick E. Haggerty）の著書「テキサスインストゥルメント社の実践」（ダラス，テキサスインストゥルメント社，1965年）から転載したものである。

### 普及への障害

知識と方法が適切であるにもかかわらず，エレクトロニクスの本質的な力と完全な普及を実現するためには，知識と方法の応用にあたっていくつかの基本的制限がある。最も重要なものは，

- (1)信頼性の制限，
- (2)コストの制限，
- (3)集積度と複雑さの制限，
- (4)エレクトロニクスの科学・工学・技術の属性と相対的な未成熟さによって生ずる制限，である。



ハガティ（Patrick E. Haggerty）  
TI社長

### 将来の成功のために基本的に必要なこと

エレクトロニクスが広がってゆく最後の段階に入ることを確認するための基本的な必要条件は三つある。

1. 集積回路を供給し，その他のエレクトロニクス工業の個別部品を代替し，さらに一般工業に密接に関係する集中的で高度に自動化された工業的構造が存在しなければならない。 ほんの数社（五つ程度）が工業の必要全需要の90%かそれ以上を供給する。 このためには計算機制御されたプロセス工場をもつ資本集中型の企業が必要となる。エレクトロニクス全需要の50%かそれ以上を充たす幅広い用途の集積回路を作る柔軟性を持たなければならない。要するに，これは集積回路に関する電子工業の基本材料分野となり，顧客の要求を満足させるための非常に大きな包括的電子工業により使われる基本材料を製造する。現実の問題として，鉄鋼の生産者が自動車工業に対して生産し，あるいは銅の生産者が電気工業に，また，アルミニウムの生産者がこの物質を使う無数の企業に役立っているように，集積回路の生産者は他の工業に貢献しなければならない。

2. 集積回路工業はその製品を説明する入出力パラメータのためにやさしい言葉確立しなければならない。 それは広く多様性のあるコンピューター・プログラムを作ることである。すなわち，我々が現在知っている従来の工業ハンドブックを置き換えるものである。使いやすく説明された入出力パラメータの言葉で計算機による設計をするために，電子材料，集積回路，個別部品の代替品等をユーザーに供給することもある。

3. 今日よりもずっと多くの企業が彼ら自身と顧客の要求を満足するために電子材料を使用するであろう。これらの機関は社会の全ての分野に存在し，従来の電子部品の代替として上述の四つの限界を打破る非常に高度化された集積回路を利用できるであろう。これは入出力パラメータのやさしい言葉で作られた計算機設計を可能とし，無数のコンピューター・プログラムによって実現されよう。将来は非常に才能ある多くの電子技術者が，エレクトロニクスそれ自体の研究開発よりも社会の需要に応じたエレクトロニクス応用研究にその時間を費やすようになるだろう。

（フレデリック サイツ、ノーマン アインシュプラッハ、シリコンの物語（2000）内田老鶴圃）

## 13 大形送信管



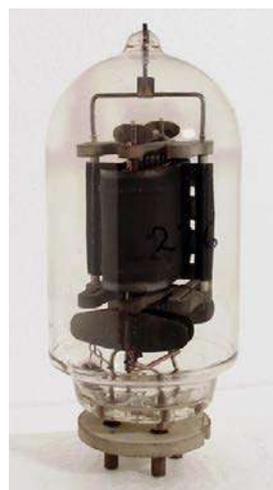
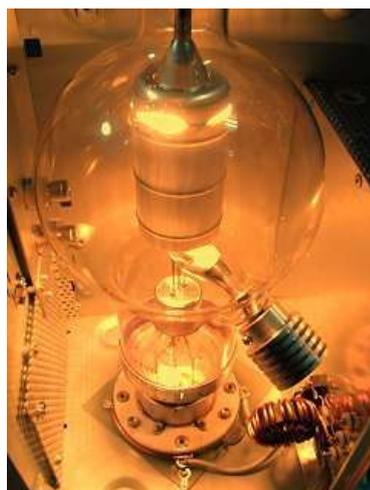
3 極送信管(直熱型) (7T40)



送信用水冷 3 極管 (8T72A)



3 極送信管(直熱型) (5T31)



パワー3 極管



送信用 5 極管 (4P60)



パルス変調管 (3F21P) レーダ、ソナー用

## 14 真空管を用いた高射砲の砲弾 (VT 信管)

ジョンホプキンス大学では、高射砲の砲弾が目標の飛行機に近づくだけで爆発するようにして命中率を上げた近接信管(VT 信管)を開発しました<sup>1)</sup>。砲弾から出る 100 MHz 程の電波が飛行機で反射されたとき、それを受信して速度の違いによるドップラー効果で生じた送信波と反射波の周波数差を検知します。目標の飛行機と砲弾が 20 m 以内に接近すると、それが検知されるため時限タイマーを用いなくすみ、命中率が 20 倍向上しました。



高射砲の砲弾

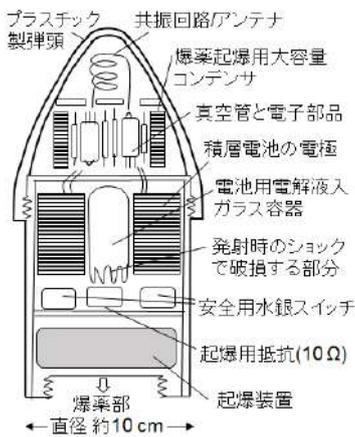


VT 信管のエレクトロニクス

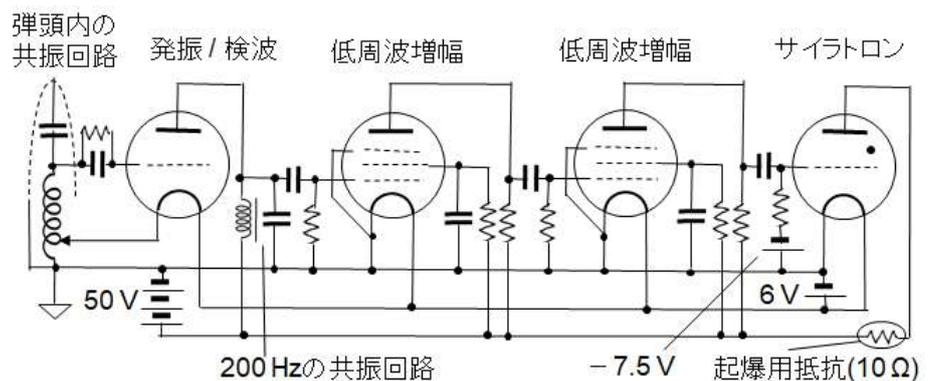


航空機の撃墜実験

その構造と回路図を下に示します<sup>2)3)</sup>。送信器がそのまま反射波の検波器となり、周波数差による 200 Hz の信号を増幅し、サイラトロンで爆薬に点火します。砲弾発射時の 10,000 G 程の加速度や激しい回転に耐える必要があり、真空管には図(上中央)に示したサブミニチュア管が用いられ、その長手方向を砲弾の進行方向と一致させて壊れなくしてあります。電池の自己放電を避けるため、ガラスカプセルに入った電解液が砲弾発射の衝撃で破れ、積層電池の電極間に入って電池が起動するようになっていますが、これは保管時に爆発しないようにする安全装置の役目も果たしています。1944 年 6 月のマリアナ沖海戦から全艦装備され、第二次世界大戦中に 2,200 万個製造されました<sup>1)</sup>。これは不発弾が回収されて技術が漏洩しないよう、海上でだけ使用されました。



砲弾の構造



回路図

1 NHK 取材班編：“太平洋戦争 日本の敗因 電子兵器 カミカゼを制す”，角川文庫（1995）。

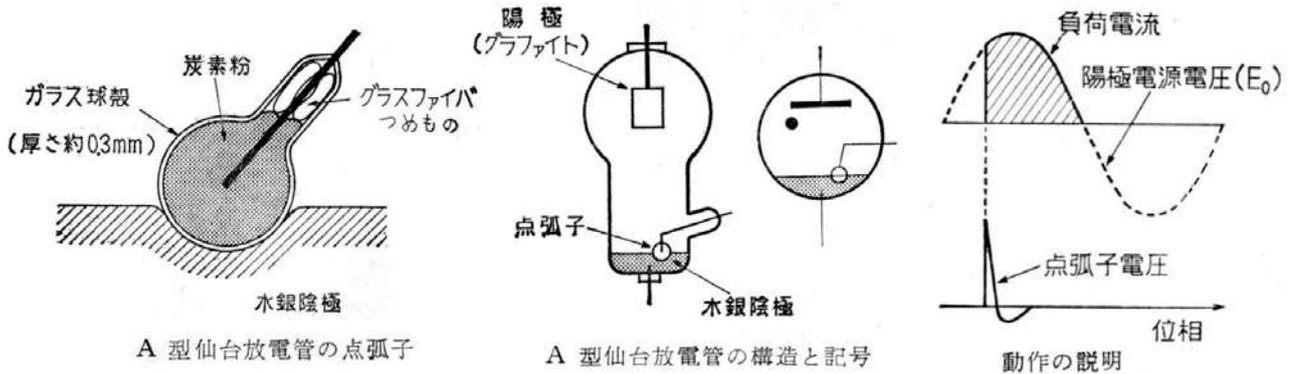
2 貞重孝一：真空管時代のリーディングエッジ電子機器，映像情報メディア学会誌，55，1（2001）70-75。

3 VT 信管(近接信管)回路図， <http://home.catv.ne.jp/ss/taihoh/vacuumtubes/radar/vtcirct.htm>。

# 15 水銀整流管・サイラトロンからパワー半導体へ



水銀整流管 5H69                      872A                      4H72                      2H66                      サイラトロン(電力制御用) (5G69)



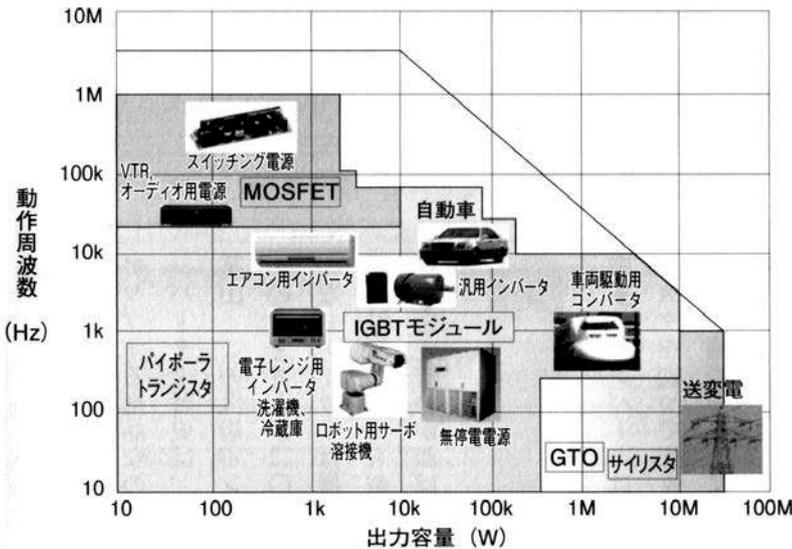
A 型仙台放電管の点弧子

A 型仙台放電管の構造と記号

動作の説明

## センダイトロン (渡辺、八田、河合、電工論、1 (1949) 21)

GTO : Gate Turn-Off transistor, IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor



動作周波数と出力容量で分けたパワー半導体デバイスの応用分野 (世界を動かすパワー半導体、電気学会(2008))



0系 (1964年~)  
ダイオード + 変圧器  
端子切り替え



300系 (1992年~)、  
500系  
GTO + PWM 制御  
電力回生ブレーキ



700系 (1998年~)  
IGBT インバータ

16 ホビー (1) (ロボット)



AIBO (ソニー)



からくり人形 (学研)



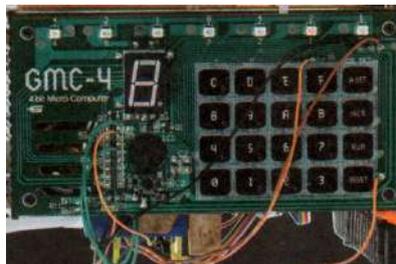
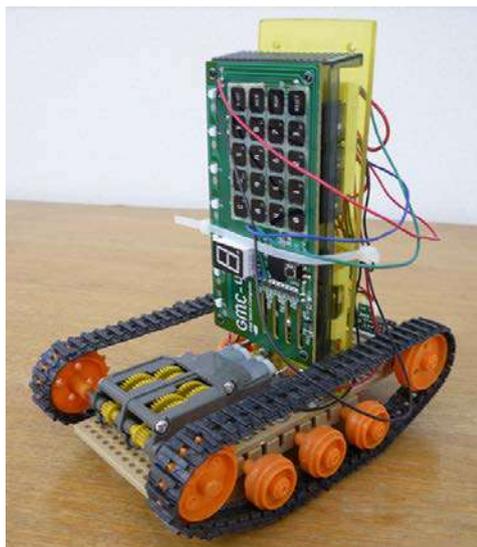
小形ロボット



MANOI (Kyosho)



## 17 ホビー (2) (車、ヘリコプター)



4ビットマイコン (学研)を用いたプログラマブルキャタピラ車 ラジコン車 (マッドチューン(キーエンス))



マイクロフライングロボット (セイコーエプソン)



赤外線操縦ヘリコプター (シー・シー・ピー)



ラジコンヘリコプター (キーエンス)



ラジコンマルチコプター (キーエンス)

18 自動車



(工学研究科キャンパス東端)



教員や学生らの手で、修復作業が続くT型フォード



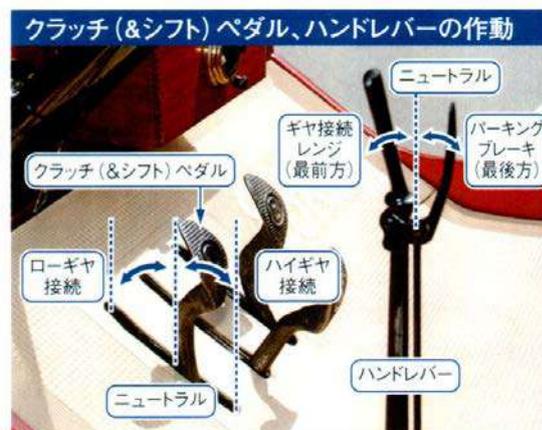
T型フォード (1908年-1927年 1500万台)



A型フォード (1927年-1931年 400万台)



T型フォードのハンドル廻りとペダル



(オプトエレクトロニクス 俵 政美 氏 寄贈 2005年12月14日)

## 19 照明、ライター



40W 白熱電球



40W 相当蛍光灯(8W 消費)  
電流測定比較実験



40W 相当 LED(4W 消費)



第二次大戦中の防空用電球 [1]

第二次世界大戦末期には日本が米軍の激しい爆撃を受けた。特に夜間、光が漏れている施設や住宅は爆撃や機銃掃射された。そのため電球を暗くするとともに電球の真下にしか光が出ない電球が使われていた。この光の下で食事や勉強をしていた。電球はマツダ製5W、2・3畳用である。



ライターの点火と燃料 [1]

ライターは古くは火打石(フリント)が始まりであり、点火燃料はモグサが用いられていた。その後火打石と火縄、火打石と石油、白金黒とエチルアルコール(自然発火するので非常に危険、発売は短期間)、火打石とガス、電池を用いた火花とガス、圧電素子とガスへと変化する。左はタニタ製の電池とガス(1970年代)の時代で、ケースは当時非常に高価であったチタンが用いられている。右は火打石と火縄(火縄は古く劣化しているため着火しない)。ケースは蓋や鎖も含め銀製である。製造時期 1965年以前である。

[1] 東京工業大学 名誉教授 肥後矢吉 氏 寄贈

## 20 万年筆



- ① 三越ブランド(大正末～昭和初期製)スポイト、外付レバー
- ② アテナ(丸善)(大正末～昭和初期製)スポイト、外付レバー
- ③ シェーファー(米国製)(昭和初期製)スポイト、外付レバー
- ④ パイロット製(昭和30年代製)スポイト、内蔵レバー
- ⑤ ペリカン(ドイツ製)ポンプ方式
- ⑥ モンブラン(ドイツ製)ポンプ方式
- ⑦ シェーファー(米国製)スポイト方式
- ⑧ パーカー(米国製)A: スポイト方式, B: カートリッジポンプ方式, C: カートリッジ方式
- ⑨ パーカー(米国製)毛細管吸引式

ゴム製のスポイトでインクを吸引する。スポイトを押しつぶすのはペン本体の側面にあるレバーを引き起こしてスポイトを押しつぶし、元に戻す時にスポイトが膨らみインクを吸引する(①, ②, ③)。④はレバーが本体の内部に内蔵されており、後ろの赤いレバーが同様の役割をする。

その後ドイツでは⑤、⑥のようなポンプ吸引式になり、本体後部のを振じるとポンプが押され、元に戻す時にインクを吸引する。いずれも本体の一部が透明になっており、ポンプの稼働状態やインクの状態を外部から見える。

アメリカ製のシェーファーは見かけはポンプ式であるが構造はスポイト式で、後部を引出して元に戻すと内蔵するゴムのスポイトが潰されて元に戻りインクを吸引する。

⑧はアメリカ製のパーカーでありこのモデルはスポイト式からカートリッジ式への過渡期の3種類の吸引方法が使える。⑧Aはスポイト式である。⑧Bと⑧Cはカートリッジ式であるがBはポンプでありCはカートリッジである。

⑨はアメリカ製のパーカーで、全く新たな毛細管を用いた吸引方法である。長く使うと吸引量が減ってくる欠点があり、カートリッジ式へと移行した。

## 21 計量器



化学天秤（戦中）[1]



毛髪湿度計・温度研 [1]



最高最低温度計 [1]



晴雨計（大正～昭和初期製）[1] 携帯方位磁石 [1] 歩距離計（1930年代アメリカ製インチ表示）[1]

大正から昭和初期に売り出された晴雨計である。左側にあるガラス管内の液体が結晶する状態を観て天候を判断する不思議な装置。



比例コンパス（長さ、面積、体積、円などの拡大や縮小）[1] グラニメータ（地図など平面上の図形の輪郭をなぞることにより、その面積を計測する装置）

[1] 東京工業大学 名誉教授 肥後矢吉 氏 寄贈

## 22 時計



交流モータ駆動 機械式ネオン管表示時計 (1970年代 田村電機製)  
(1970年代 田村電機製) [1]



モータ時計(ゼンマイ駆動の代わり)  
(年代不詳 東京時計製) [1]



音叉置時計 H型の音叉を使用 (1974年 精工舎) [1]



音叉腕時計 (1960年 スイス Bulova Accutron 製) [2]



グラフィック・クロック  
(1985年 シチズン製) [1]



クォーツペンダント時計  
(1979年 シャープ製) [1]



卓上ニキシー管時計 (GPS付)  
(2015年 Charonix Design Works 製)

[1] 東京工業大学 名誉教授 肥後矢吉 氏 寄贈、 [2] (株)高純度化学研究所 小島穰 氏 寄贈

## 23 タイプライター



携帯タイプライター（戦前）[1]

（一橋大学 経済研究所長 学長 都留重人 教授が、ハーバート大学博士課程に在学中に使用）



電動初期 デージー型タイプライター（コロナ社）（一橋大学 経済研究所長 学長 都留重人 教授 使用）[1]

[1] 東京工業大学 名誉教授 肥後矢吉 氏 寄贈

「世界一の町工場」と呼ばれる清田製作所



**世界**  
 最小の道具を  
 最高の技術で  
 一位の町工場  
 1000分の1の精度  
 半導体プローブ  
 従業員十数人

**清田製作所**  
 社長 (85)

「小さな巨人」の異名をとる半導体プローブ（検査針）のトップメーカー、清田製作所。半導体プローブとは、半導体に電流が正常に流れるかどうかを測る道具で、1000分の1の精度が求められる。これまでその域に達することができたのは、清田茂男社長を含めて世界で2人。発明大賞など数々の賞に輝く業界の有名人でもある。

**トップ直撃**

【会社メモ】1963年創業。本社・東京都北区。プレス加工によるカメラ・電機通信部品等の製造業でスタートし、82年、電子部門に進出、電子デバイス検査用コンタクトプローブの研究を始めた。86年、国産初シリコンウエハー用4探針プローブの開発に成功し、発展の基盤をつくる。資本金600万円、売上高約1億4000万円（2012年5月期）。従業員16人と社の規模は小さいものの、技術力の高さから「世界一の町工場」と呼ばれる。

タ刊フジ  
 2013/1/29

- レコード針 ①
- スプリングプローブ ④

**特殊コンタクトプローブ**

平成7年4月  
 科学技術庁長官賞「科学技術振興功績賞」受賞

ケルビン4探針プローブ  
 昭和61年製品化に成功。世界で2名だけの開発製品

**「産・学・官」連携開発製品**

GSG    ピッチ 20μm    周波数 40GHz    測定成功

高周波（ミリ波）プローブ

■2004年  
 (社)エレクトロニクス実装学会 (JIEP)

■第14回  
 マイクロエレクトロニクスシンポジウムにて発表

更に先端部分の拡大    拡大    およそ実物大

(約)1000倍    (約)×10    GSG基板

積層型プローブ ⑤

キヨタ、NTT-AT共同開発製品世界初！  
 ケルビン100μm4探針プローブ

ピッチ100μm(0.1mm)  
 タングステンカーバイド製  
 (長さ:0.05mm)

φ110μm    R1,000μm    05 NEW

次世代半導体測定用  
 シリコン表面1μmコーティング、1μA測定用プローブ先端(拡大)  
 プローブ特性=合金  
 特徴 超精密加工  
 多くの大学研究室で採用

慶應大学・産総研の協力による産学官連携で成功。積層型技術と四探針技術の複合化で実現。

積層型プローブ搭載測定治具 ③

●ファインピッチ/高電流対応可能

ハードディスク GMR磁気ヘッド対応プローブ

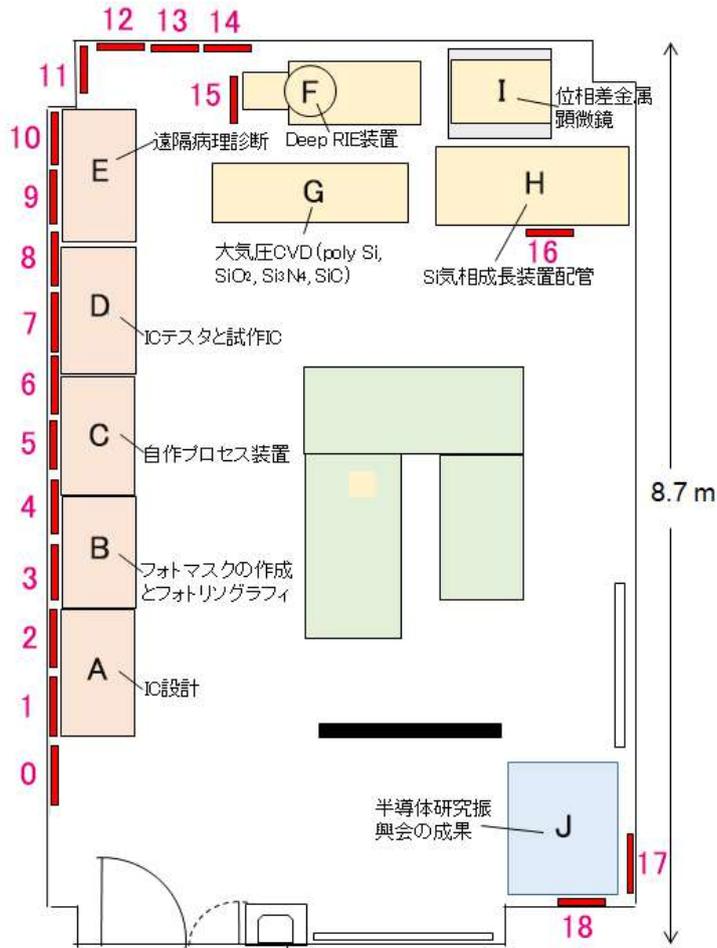
プローブ数:48Pin  
 ピッチ:150μm可能

ハイブリッド車専用開発プローブ

●100A~400A    パワーデバイスプローブ



# 0 自作集積回路・装置室



## ポスター

- 0 自作集積回路・装置室
- 1 設計 (1) CAD
- 2 設計 (2) レイアウト
- 3 フォトマスク作製、フォトリソグラフィ
- 4 ウェハプロセス (1) (工程、エッチング)
- 5 ウェハプロセス (2) (酸化・拡散、CVD)
- 6 ウェハプロセス (3) (イオン注入、蒸着・スパッタ)
- 7 IC テスタ
- 8 試作 IC (1)
- 9 通信速度と遠隔病理診断の進化
- 10 遠隔医療の革命
- 11 ハイビジョン動画による遠隔診断デモンストレーション
- 12 後工程と検査・測定
- 13 試作 IC (2) 並列画像処理、集積化容量型圧力センサ
- 14 深い反応性イオンエッチング (Deep RIE (Reactive Ion Etching))
- 15 正しいプロセスチャートの書き方
- 16 Si 気相エピタキシャル成長と欠陥の光学的検査 (半導体研究振興会)
- 17 半導体研究振興会から西澤潤一記念研究センターへ
- 18 西澤記念資料室



自作集積回路・装置室 (入口より)



西澤先生の教え (財)半導体研究振興会と西澤記念資料室



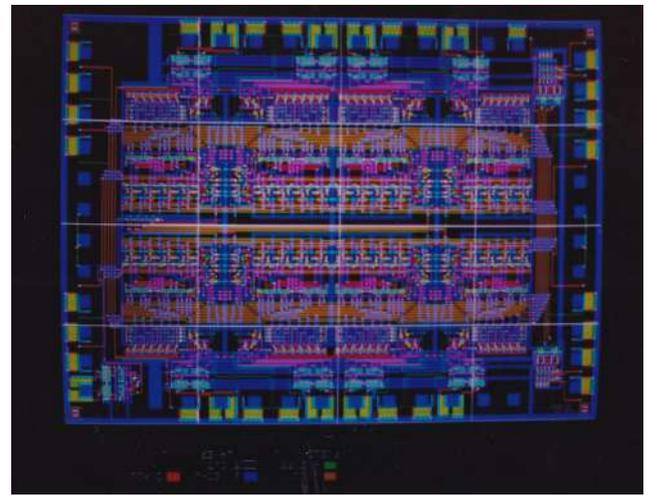
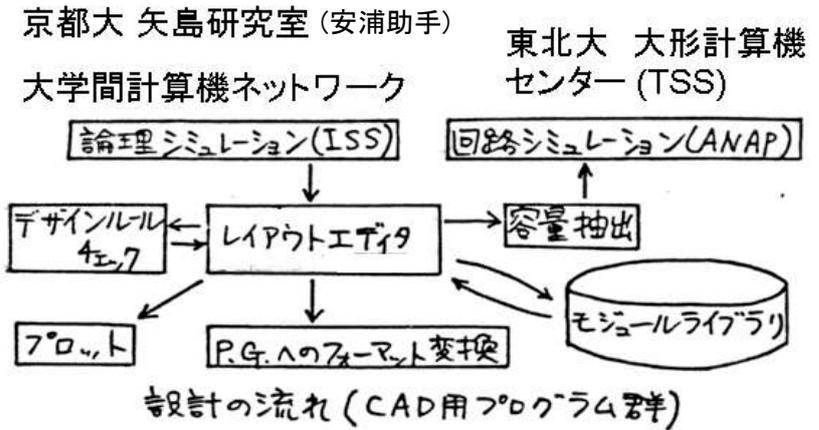
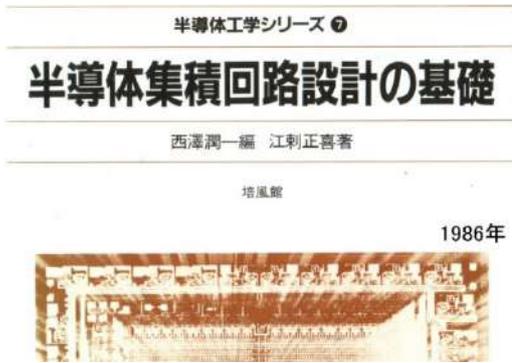
自作集積回路の設計・製作 (パネルと資料)



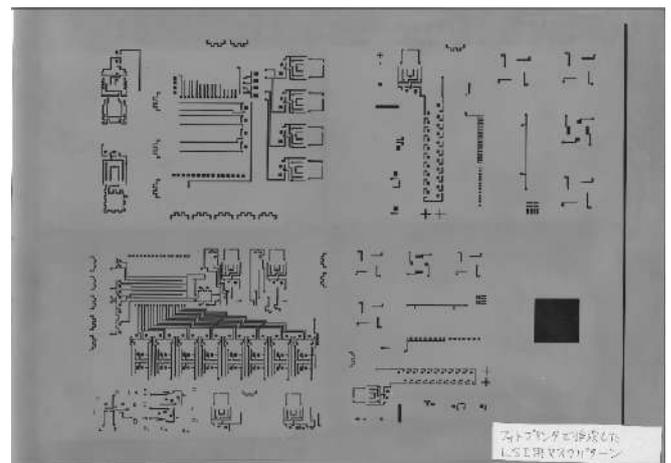
自作装置(Si 成長装置用ガラス配管(右)、大気圧 CVD 装置(左))

# 1 設計 (1) CAD

## 自作装置による CMOS 集積回路の設計・試作



DEC 社 LSI11 に接続したディスプレイ (ヤマハ社 SIT 使用) レイアウトエディタは Fortran で自作(プログラミングの勉強)



設計したレイアウトを出力するはフォトプリンタ

フォトプリンタで透明フィルムに出力したマスク原板

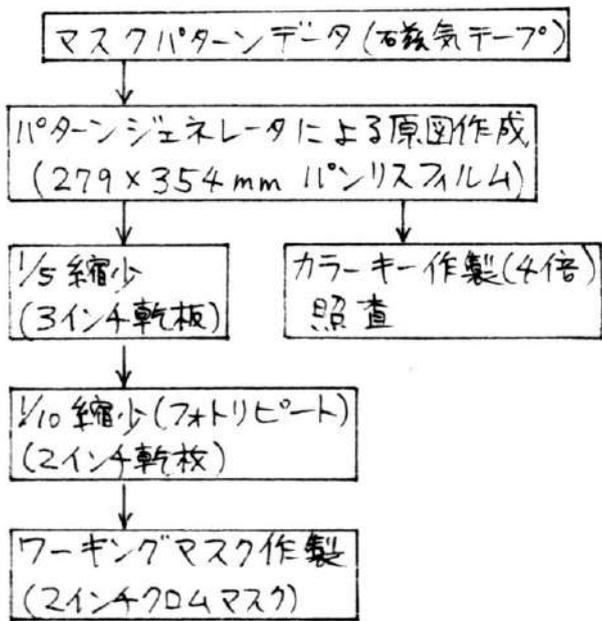
(江刺正喜 : 大学での LSI 製作と教育, 電子通信学会誌, 68, 1 (1985) 50-52)

(江刺正喜, 小松昭雄, 芦部稔, 大友雅彦 : カスタム LSI 設計・作製システムの試み (1) (システムの概要), (2) (設計環境), (3) (NMOS プロセスと評価), 昭和 58 年電子通信学会総合全国大会, 401-3 (1983))

(江刺正喜, 増田篤司, 松尾正之 : LSI 設計用 CAD システム, 電気関係学会東北支部連合大会, 2D-13 (1985))



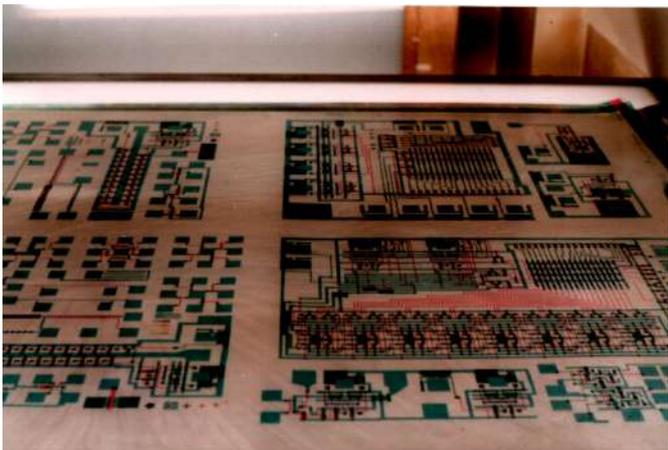
### 3 フォトマスク作製、フォトリソグラフィ



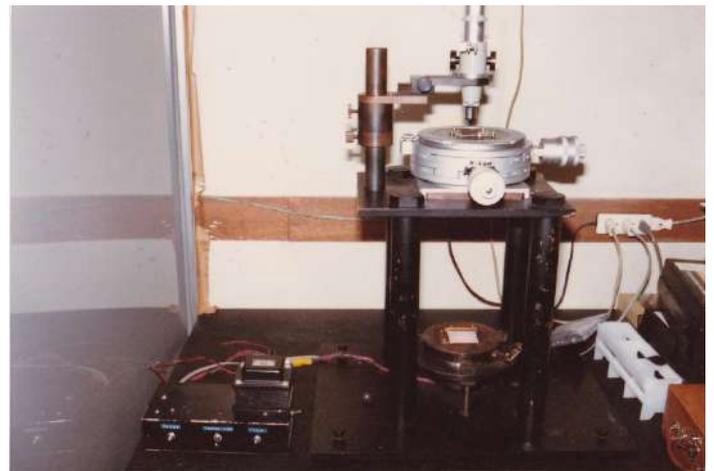
マスク作製システム.



縮小カメラ



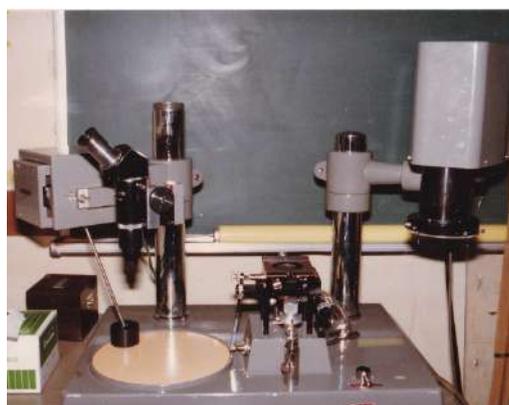
パターン検査用カラーキー



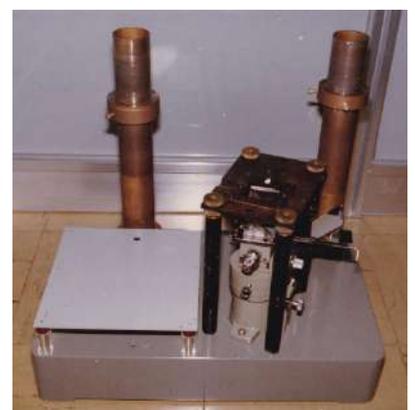
フォトリポータ



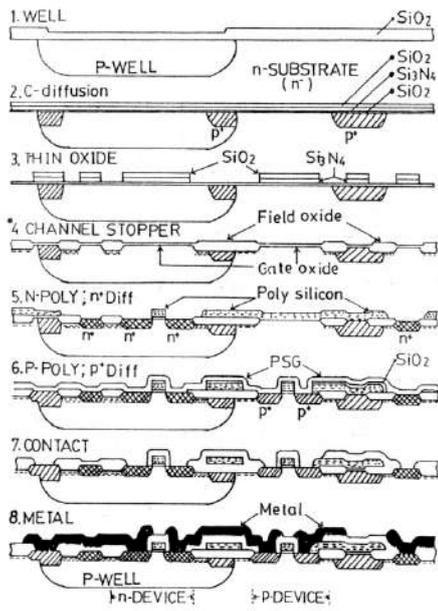
スピナ (レジスト塗布)とベーキング炉



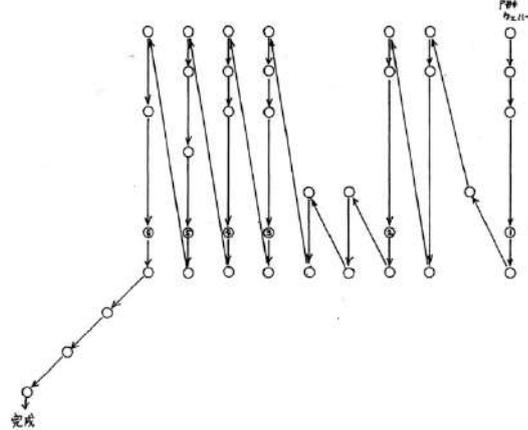
マスクアライナ(左)と両面露光用ステージ(右)



#### 4 ウェハプロセス (1) (工程、エッチング)

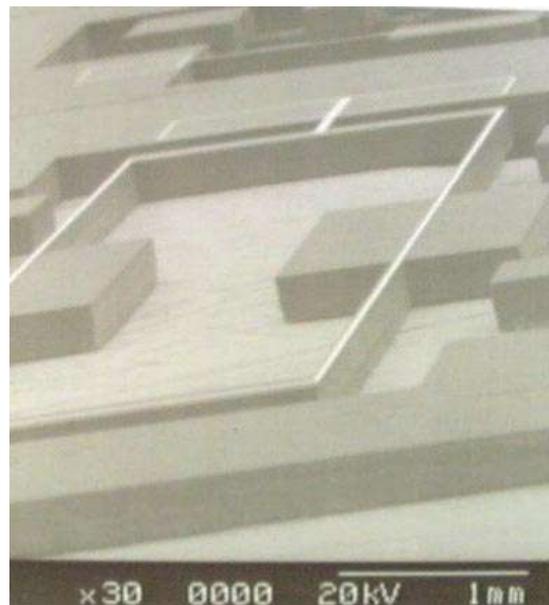
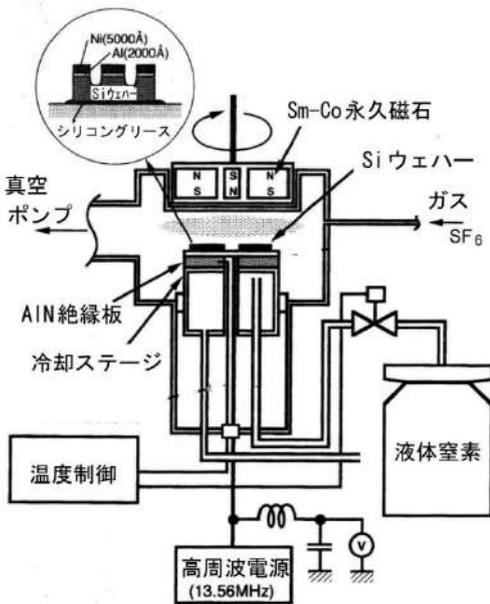


組立封止	ウェハ分割	プロセス	保護膜形成	酸蝕形成	絶縁層形成	ゲート形成	イオン注入	イオン注入	イオン注入	選択酸化	薄膜形成	選択酸化	設計マスク作成	製作工程	加工技術	使用する主な設備	設置場所 (部屋番号)
														設計		CADシステム (ミニコン機)	712
														マスク作成		ネットプリンタ 線画機、リソグラフ	712 708
														洗浄		純水製造装置 ドラフト	808
														拡散炉、酸化炉		拡散炉、酸化炉	808
														蒸着装置		CVD炉 (窒化シリコン、ポリシリコン)	808
														イオン注入		蒸着装置	706
														レジスト加工		イオン注入装置	128
														エッチング		スピナー マスク台設置	808
														ウェハテスト		エッチング装置 レジスト除去	808
														分割		マイクロプロセッサ 特性測定装置	714
														組立封止		ダイニングソー	702
																超音波ボンダー	704



EPW による Si エッチャ、熱リン酸による Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> エッチャ、Si 電解エッチング装置

純水製造装置



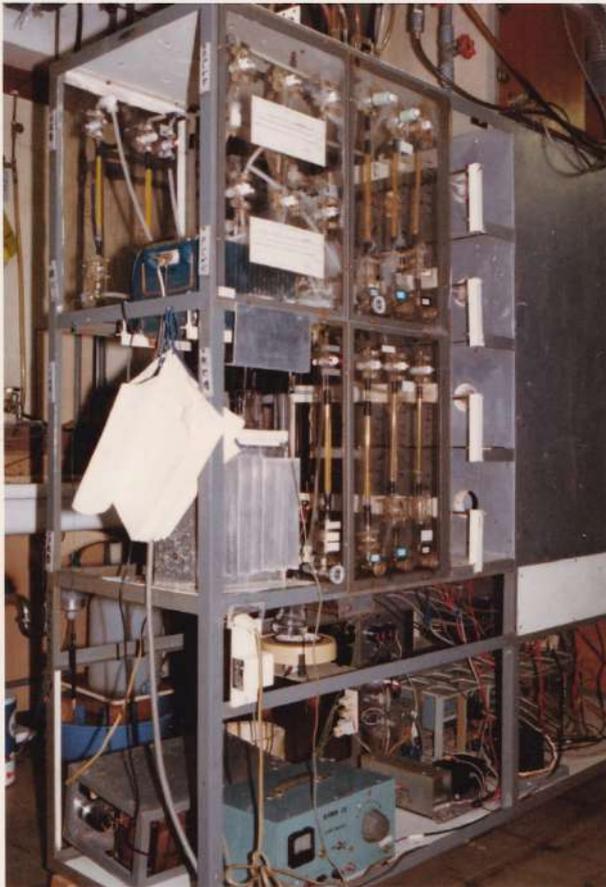
Si Deep RIE (深い反応性イオンエッチング)装置 (1992)

Si Deep RIE のウェハ貫通エッチングによる振動ジャイロ

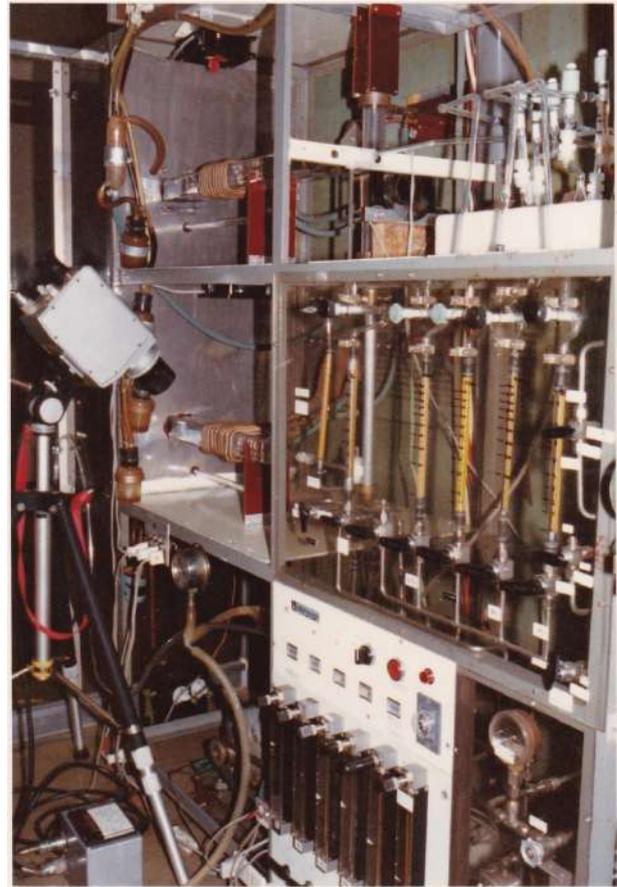
(M.Takinami, K.Minami and M.Esashi : High-Speed Directional Low-Temp. Dry Etching for Bulk Silicon Micromachining, 11th Sensor Symp. (1992) 15-18)

(J.Choi, K.Minami and M.Esashi : Application of Deep Reactive Ion Etching for Silicon Angular Rate Sensor, Microsystem Tech., 2, 4 (1996) 186-199)

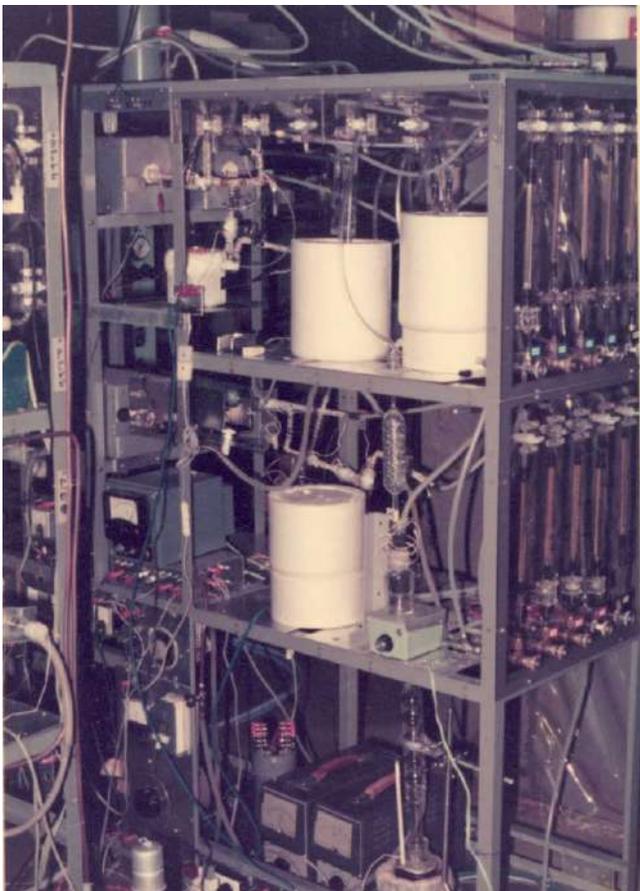
## 5 ウェハプロセス (2) (酸化・拡散、CVD)



酸化拡散炉



RF加熱常圧CVD炉 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiO}_2$ 、Poly-Si) (現物展示)

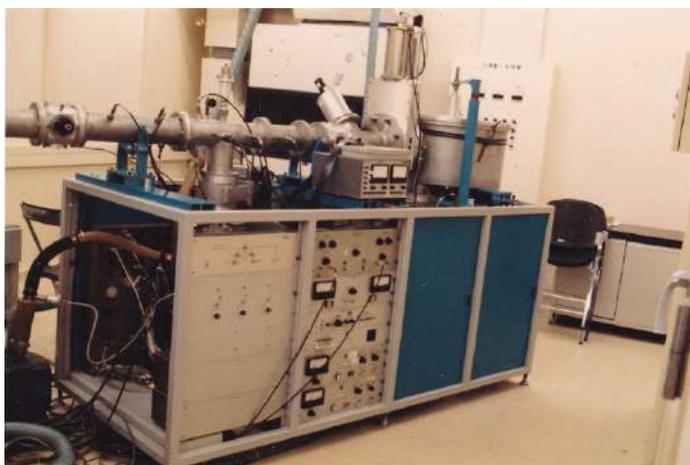
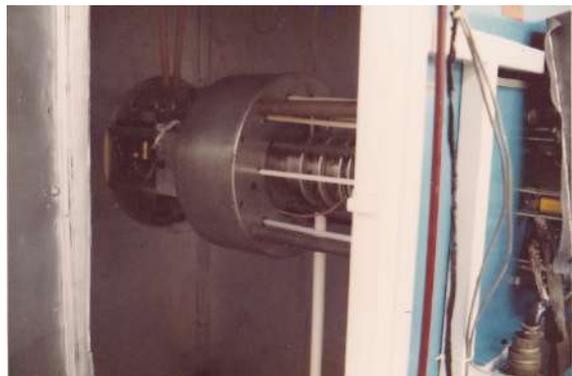
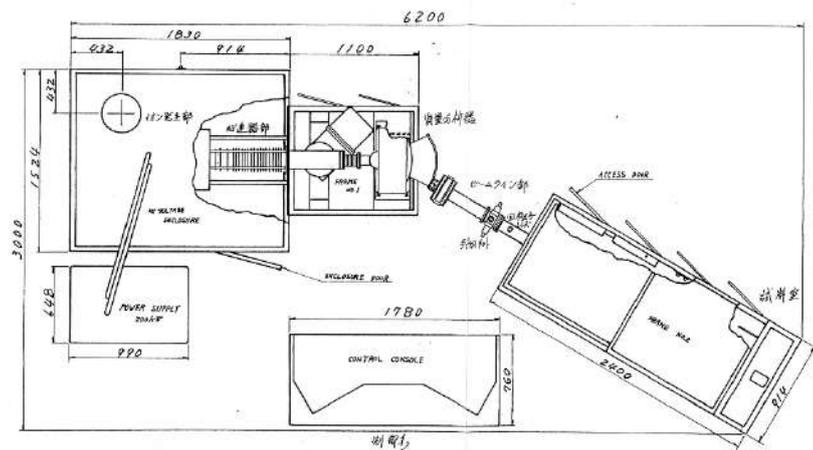


TEOS (テトラエトキシシラン)ソース  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  CVD 炉

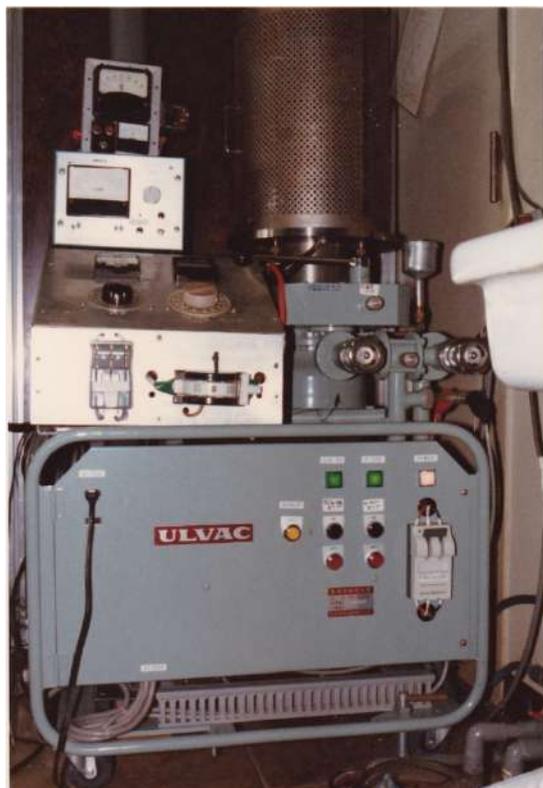


$\text{SiO}_2$ 用 低温CVD炉

## 6 ウェハプロセス (3) (イオン注入、蒸着・スパッタ)



イオン注入装置 (アクセレータ社 200MP 中古)

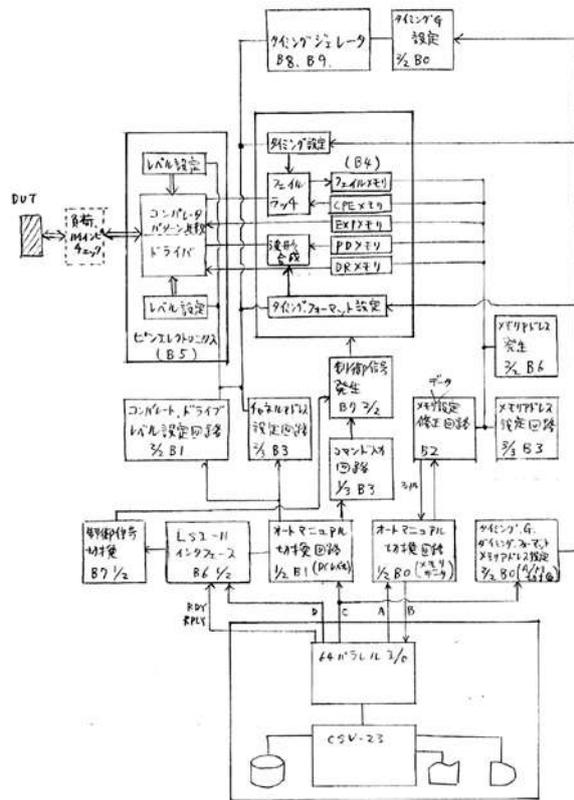
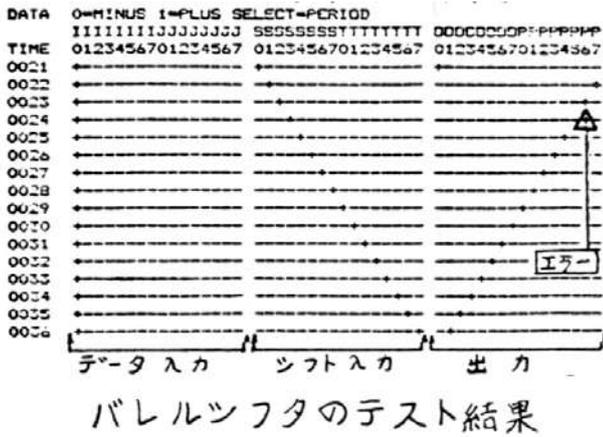
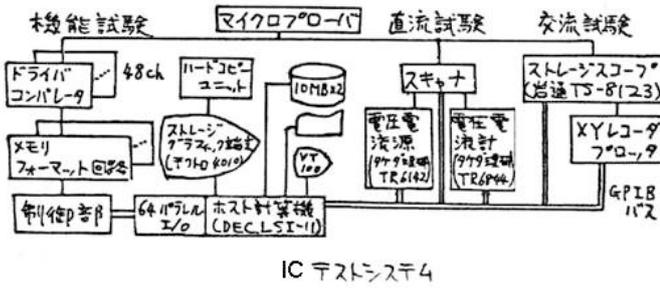


Al, Cr-Cu-Au 蒸着装置

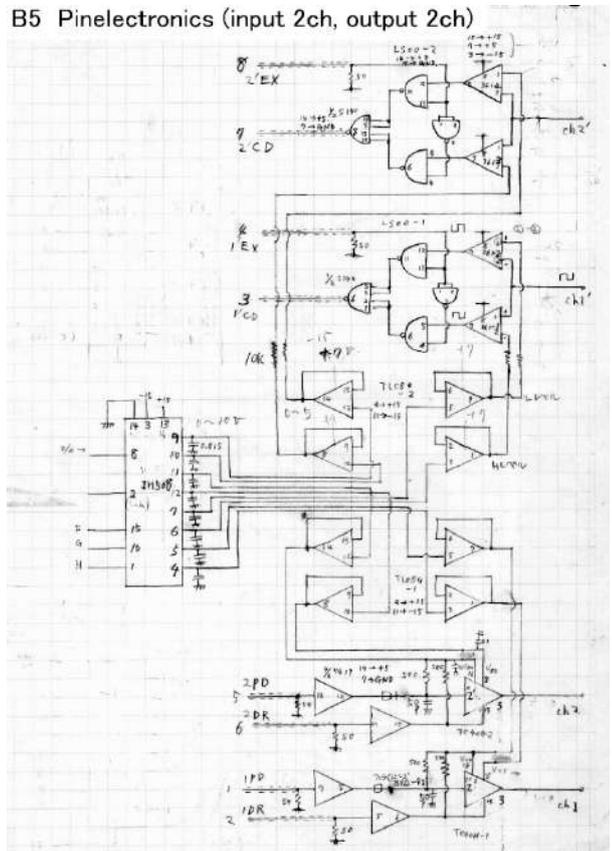


マグネトロンスパッタ堆積装置

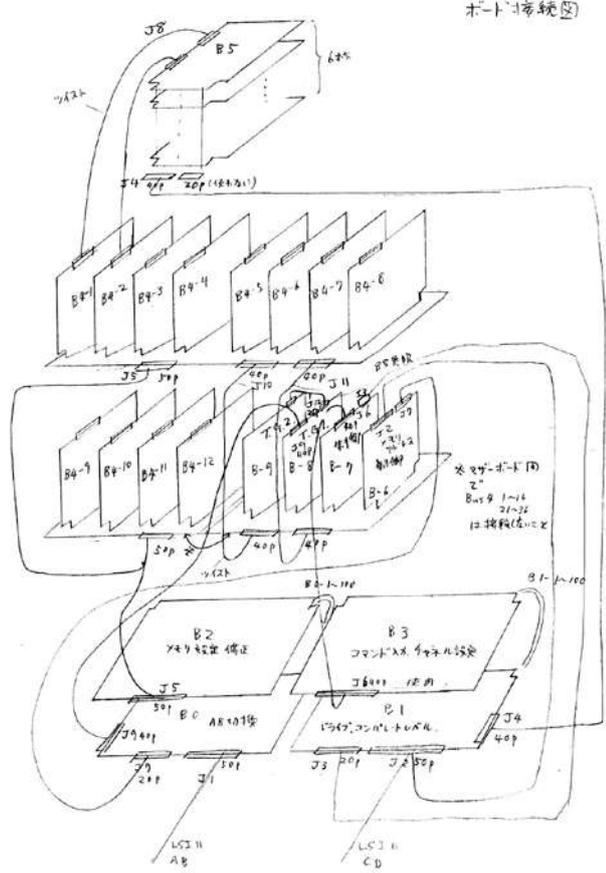
# 7 IC テスタ



自作ICテスタのブロック図



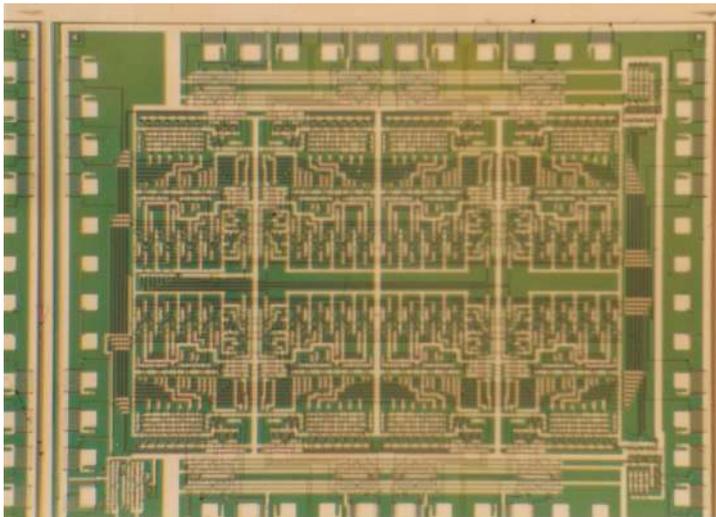
ピネレクトロニクス (IC 端子への接続部)



ボード接続図

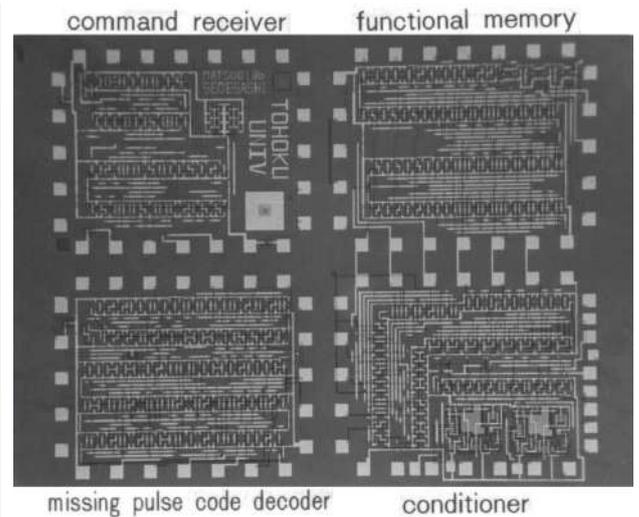
(江刺正喜、大友雅彦：機能試験用LSIテスタの製作，昭和59年電気関係学会東北支部連合大会、2D21 (1984))

## 8 試作 IC (1) (チャンネル長 10 $\mu\text{m}$ )



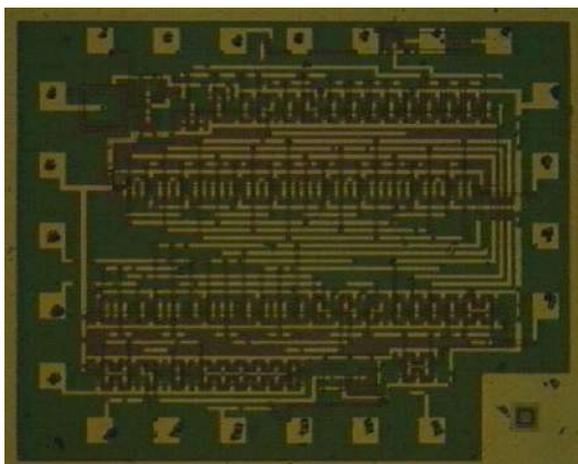
ビットシリアル並列画像処理 IC

(江刺正喜 : 「半導体集積回路設計の基礎」1986 年 培風館)



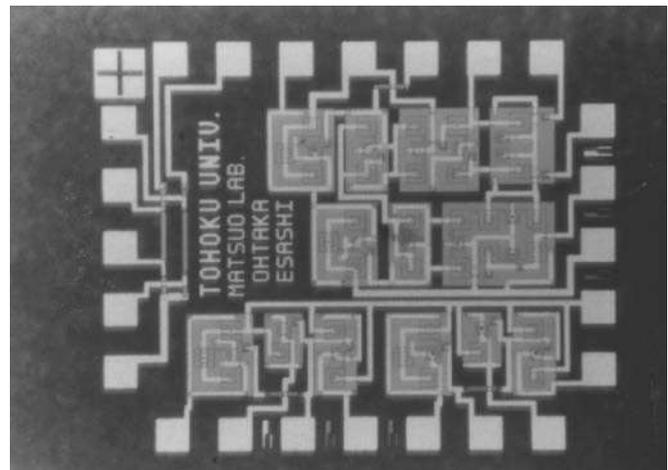
体内用テレメータ用 IC

(徐 敦、江刺正喜、松尾正之 : 体内埋込みテレメトリシステム用 CMOS カスタム LSI の試作, 医用電子と生体工学, 25, 2 (1987) 128-134)



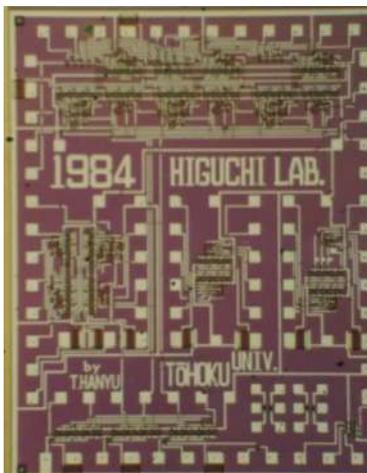
共通二線式触覚センサアレイ用 IC

(M.Esashi and Y.Matsumoto : Common Two Lead Wires Sensing System, Transducers'91, San Francisco, USA (1991) 330-333)



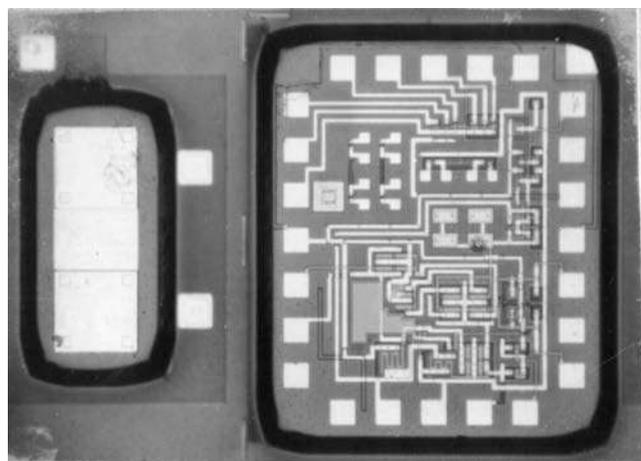
高温用 SOS (Si on Sapphire) CMOS オペアンプ IC

(江刺正喜、大高章二、松尾正之 : 高温用集積回路と高温用圧力センサの試作, 電子通信学会半導体トランジスタ研究会, SSD86-57 (1986) 67-74)



多値論理 IC

(M.Kameyama, T.Haniyu, M.Esashi and T.Higuchi : An NMOS Pipelined Image Processor Using Quaternary Logic, IEEE Int. Solid-State Circuit Conf., San Francisco, USA (1985) 86-87)



スイッチトキャパシタ IC による直接接合容量型圧力センサ

(S.Shoji, T.Nisase, M.Esashi and T.Matsuo : Fabrication of an Implantable Capacitive Type Pressure Sensor, The 4th Int. Conf. on Solid State Sensors and Actuators, Tokyo, Japan (1987) 305-308)

# 通信速度と 遠隔病理診断の進化

## ■ 病理診断とは

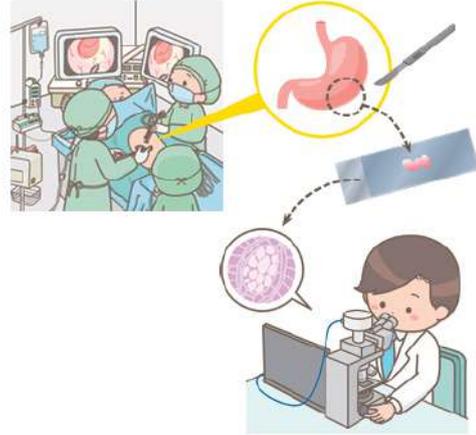
臓器等の組織から標本を作製し顕微鏡にて診断を行うものであるが、病理医の数は医師の専門分野で最も少ない。

## ■ 迅速診断とは

手術中に切除範囲の決定を行う、ここを誤ると悪性腫瘍の再発や死につながることから病理医不足を遠隔診断にて補われている。

## ■ 通信速度と遠隔病理診断

病理標本全体をデジタル画像情報に置き換えると断層情報を除いても数 GB バイトもの大きなデータとなる為、通信速度が遅い時代には最小限の画像を選択して送信し遠隔診断を行っていた。



	通信回線の歴史	テレパノロジー（遠隔病理診断）の沿革	通信速度
1964	西澤潤一 集束型ガラスファイバーを、光伝送線路として特許出願		
1970	米国コーニング社 通信用光ファイバーを実用化		
1981	日本電信電話公社 光ファイバー伝送方式の商用を開始		
1984		アナログ電話回線を使用した静止画送信によるテレパノロジー実証（遠隔病理診断）	300bps
1988	ISDN（デジタル電話回線）サービス開始		
1992		東北電力の光ファイバーを用いたアナログフル HD（1920×1080）動画+顕微鏡の遠隔操作によるテレパノロジー実証実験 東北大学病院 - 旧仙台市立病院	デジタル換算で 178Mbps
1994	テレパノロジーシステムの普及が始まる	東北大学病院と気仙沼市立病院間で ISDN（デジタル電話回線）を用いた XGA（1024×768）静止画による遠隔診断開始	64Kbbs
1999	国内初の商用 ADSL（高速アナログ回線）インターネット接続サービス開始		
2001	NTT 最大 10Mbps の光アクセスを本格提供へ		
2002	NTT 最大 100Mbps の光アクセスを本格提供へ		
2004		VGA（640×480）動画+顕微鏡の遠隔操作によるテレパノロジー実証実験	8Mbps
2008		フル HD（1920×1080）動画+顕微鏡遠隔操作によるテレパノロジーシステムが商品化され導入が始まる	16Mbps
2009		病理ガラス全体標本を高倍率でデジタル化した Whole Slide Imaging（WSI）を用いた遠隔病理診断が普及する	10～70Mbps
2010	NTT 光ファイバー伝送と JAXA 高速インターネット通信（きづな）の比較実験を行う	通信衛星を用いた遠隔病理診断の実証実験を行う	

動画（30 枚 / 秒）

## 光ファイバーが変えた病理診断

通信速度が遅い時代は情報量が少ない上、送信時間もかかり、診断に時間を要していた。

1992 年、光ファイバーの出現によって顕微鏡画像の伝送容量の増大と速度の高速化が実現。これにより遠隔診断が可能となり、地方の病院での外科手術も安心して行うことができるようになった。

この光ファイバーの医療における利用は、病理診断の分野や遠隔手術だけでなく、CT、MRI 画像の伝送や在宅医療の分野でも広く利用されるようになった。

# 遠隔医療の革命

- 西澤先生が基本原理を考案した光ファイバーによって高速通信が可能となり遠隔医療にも革命をもたらした。
- 汎用光通信サービス開始の約10年前となる1992年に、光ファイバーを使った遠隔病理診断のデモを東北電力の協力の元、東北大学病院と旧仙台市立病院間で行った。
- 1992年の病理学会総会でおこなわれた東北大学病院（仙台国際センター）－旧仙台市立病院によるデモンストレーションは我が国における高速通信による遠隔医療の実用の始まりとなった。



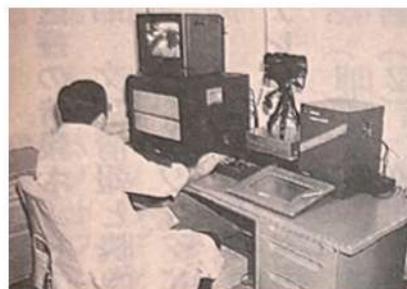
デモを視察する西澤潤一東北大学学長

## 旧仙台市立病院（五橋）

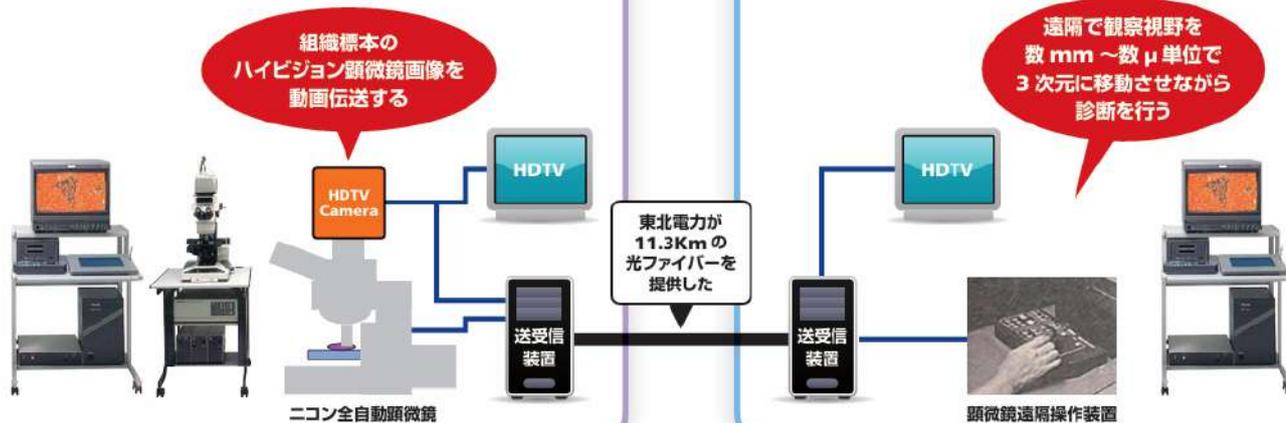


顕微鏡画像を送る仙台市立病院長沼部長

## 東北大学病院



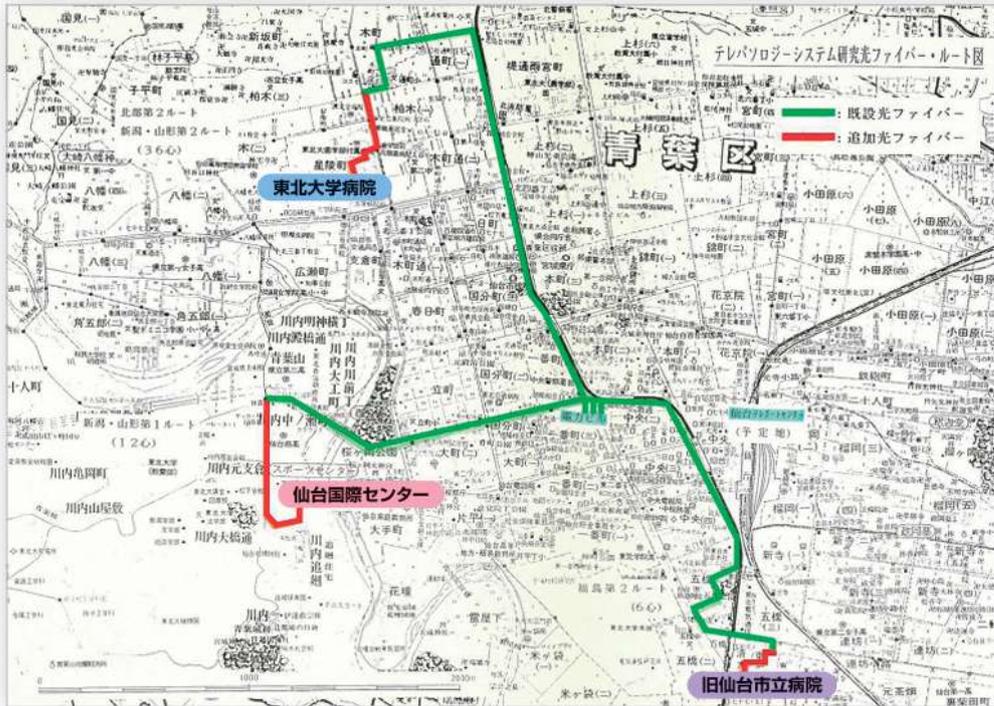
受信画像を見ながら顕微鏡を遠隔操作し病理診断する東北大学病院澤井副部長



- 仙台国際センター（300 inch 大型スクリーン）と旧仙台市立病院間を東北電力が光ファイバーで接続
- ニコンが顕微鏡システムを提供
- 松下電器が伝送装置を提供
- 旧仙台市立病院の長沼副部長が標本画像を送信し、若狭教授（福島医大）が解説
- NHKはデモ状況をHi-VISIONで全国にリアルタイム放映実施

# ハイビジョン動画による 遠隔診断デモンストレーション

## 研究に使用した光ファイバーのネットワークルート



東北大学病院 - 旧仙台市立病院（五橋）、仙台国際センターを結ぶ 11.3Km の光ファイバーネットワークは東北電力が提供した（既設光ファイバー：8.4Km、新設光ファイバー：2.9Km）

## 配電線に添架した難着雪形の光ファイバーケーブルの実物展示

（東北電力が開発した自己支持形難着雪光ファイバーケーブル）



### ■ プレハンガ吊り形

吊線とケーブル本体を約 50cm 毎にプラスチック結合体（ポリエチレン製ハンガ）で一体化させた構造。ポリエチレン製ハンガにより着雪が筒状に成長するのを阻止できる。また、ケーブル本体に弛みをつけることにより、吊線に張力が印加されても本体には影響がない構造。

### ■ 紡錘形

吊線とケーブル本体をポリエチレンシースにて一体化させた構造。表面が平滑な構造のため、管路引込の際に抵抗なく敷設することが可能。

### ■ 自己支持巻付形（SSS 形）

#### 波形鋼管付

吊線に波形鋼管付のケーブル本体を巻き付けて一体化させた構造。

### ■ 二重ラッシング形（SSF 形）

吊線とケーブル本体をバインド線にて一体化させた構造。

### ■ ノンメタリックプレハンガ吊り形

FRP（繊維強化プラスチック）製の吊線とケーブル本体を約 50cm 毎にプラスチック結合体（ポリエチレン製ハンガ）で一体化させた構造。金属材料を使用しないことにより無誘導である。

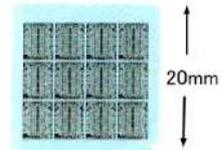
仙台テレビジョン研究



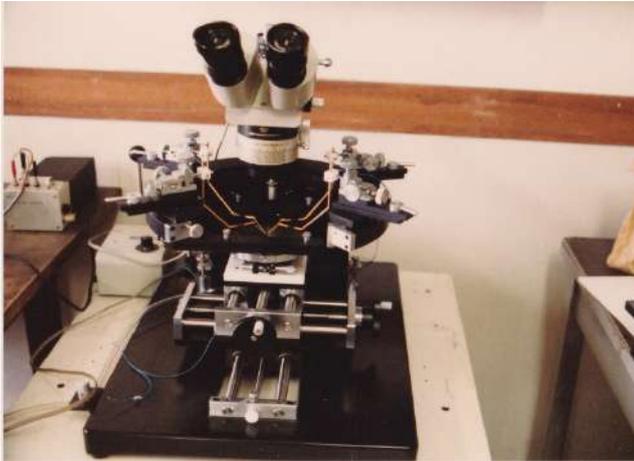
この実験研究は

「仙台テレビジョン研究：光ファイバーによるハイビジョン遠隔病理診断の提言」（株式会社ニューメディア・1994）として出版された。

## 12 後工程と検査・測定



20mm 角ウェハ上に製作した CMOS LSI



ウェハプローバ



ダイサー



超音波ワイヤボンダ



微小はんだ付け(導電性接着)装置

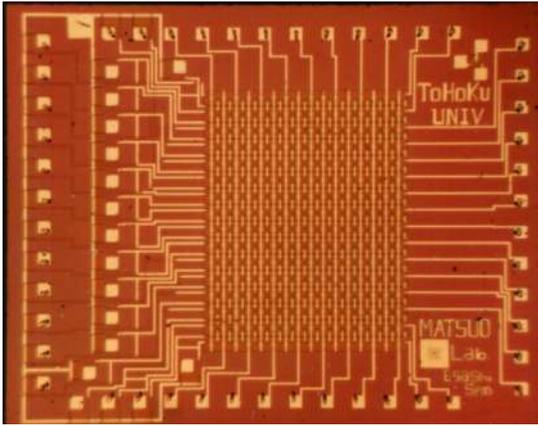


表面段差計

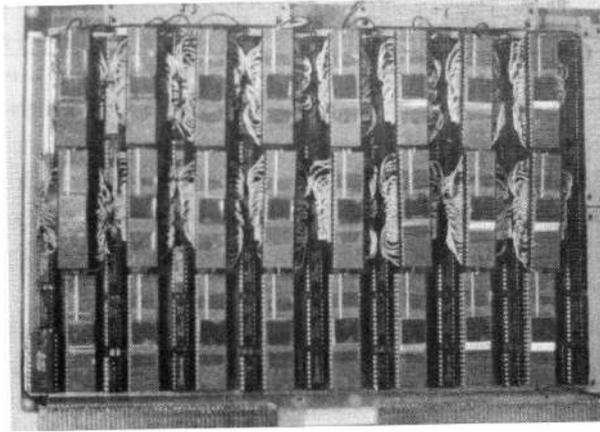


オージェ電子分光計

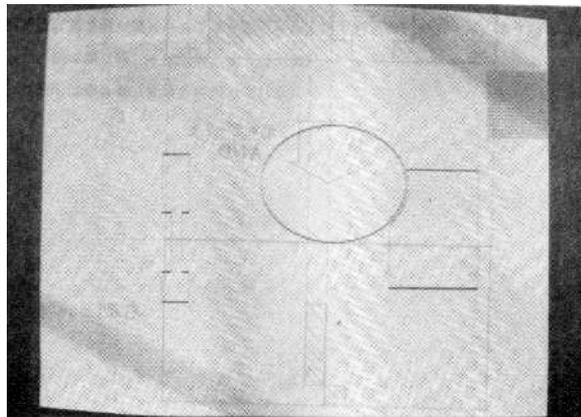
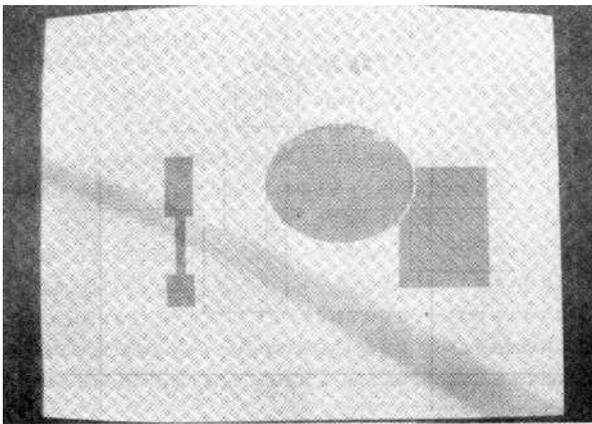
### 13 試作 IC (2) 並列画像処理、集積化容量型圧力センサ



パレルシフト IC



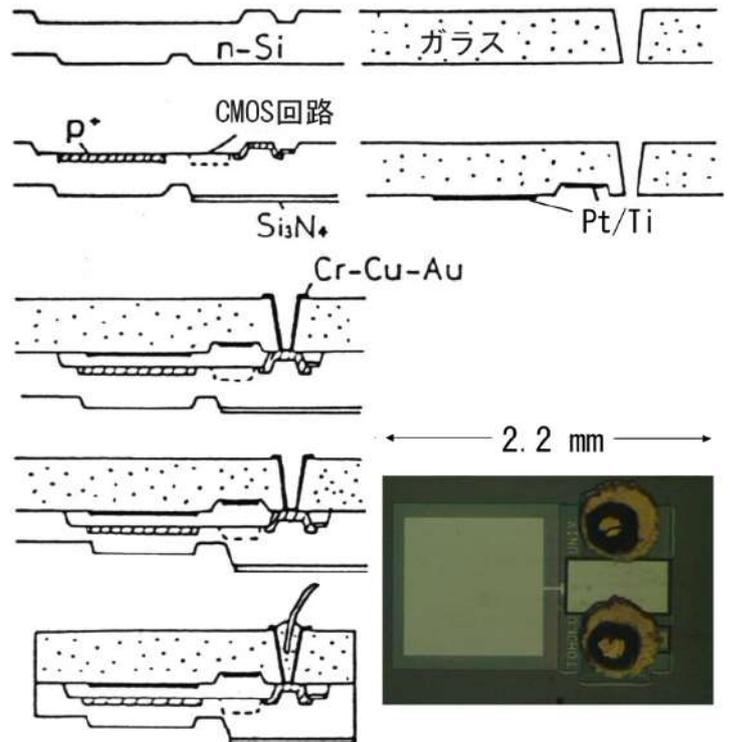
パレルシフトによるメモリ・プロセッサ間スイッチングネットワーク(展示)



並列画像処理による輪郭抽出の例

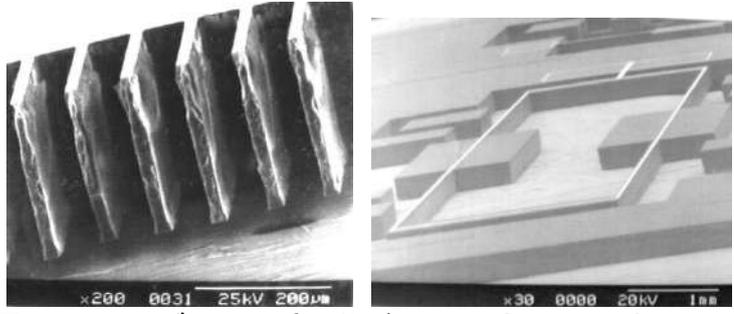
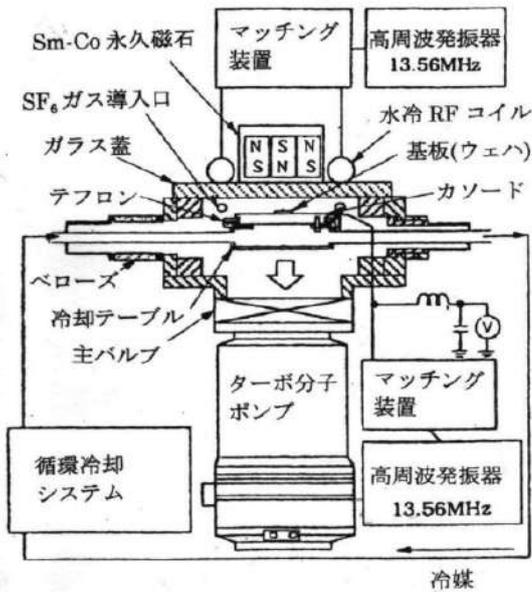


DEC 社 LSI-11 接続パレルシフト利用並列画像処理装置  
(江刺正喜、松尾正之：カスタム LSI を用いた LSI パターン設計用ワークステーション，昭和 59 年電子通信学会総合全国大会，404 (1984) 67-74)

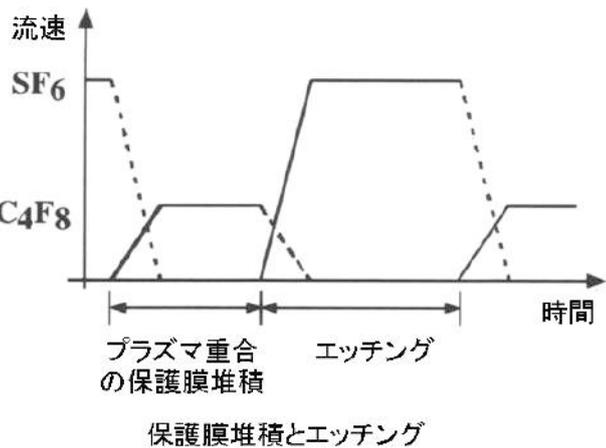
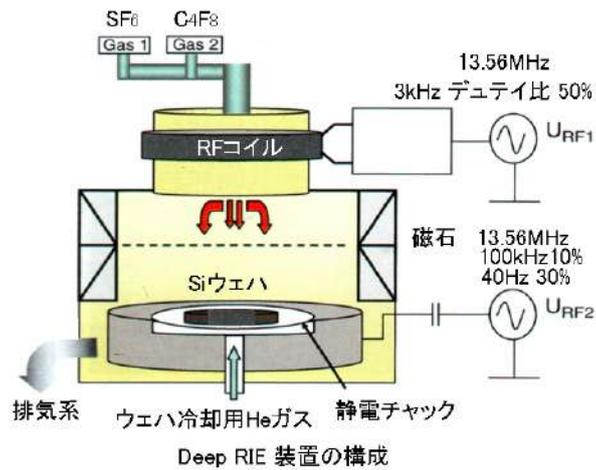


ウェハレベルパッケージングによる集積化容量型圧力センサ  
(松本佳宣、江刺正喜：絶対圧用集積化容量形圧力センサ，電子情報通信学会論文誌 C-II, J75-C-II, 8 (1992) 451-461)

14 深い反応性イオンエッチング (Deep RIE (Reactive Ion Etching))



東北大学の低温 Deep RIE 装置と貫通エッチングによる振動ジャイロウエハ (右)  
(M.Takinami, K.Minami and M.Esashi, 11th Sensor Symposium, (1992) 15)

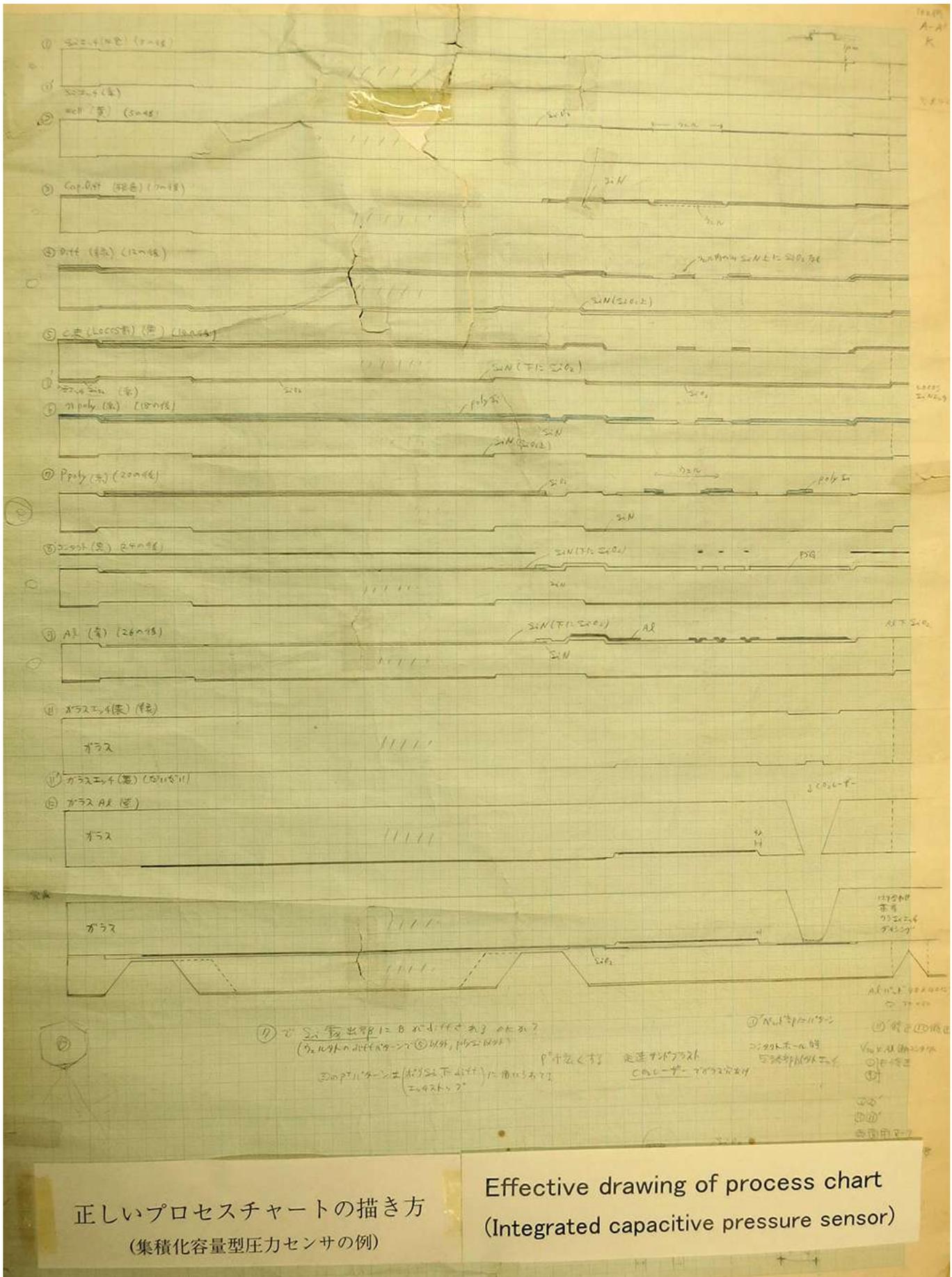


(F.Laermer (R.Bosch), Comprehensive Microsystems, Elsevier (2007) .217)



アルカテル社の Deep RIE 装置 (展示) SPP Technologies (住友精密工業)社の装置

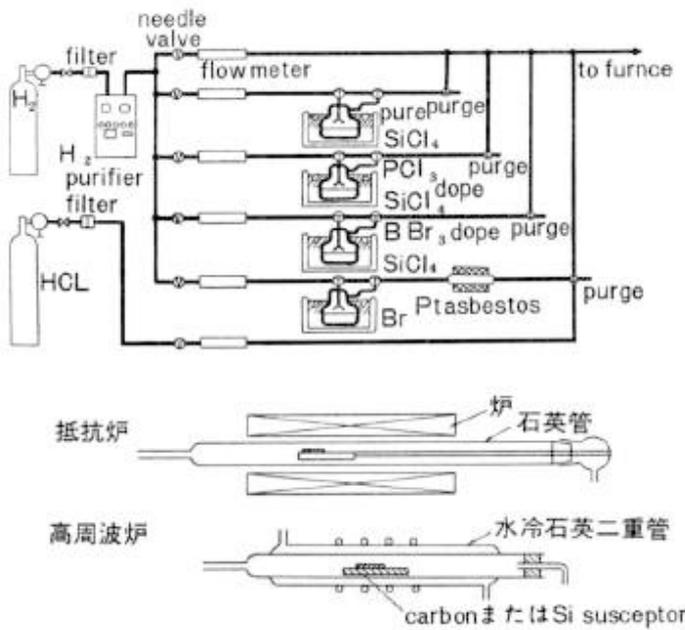
# 15 正しいプロセスチャートの書き方



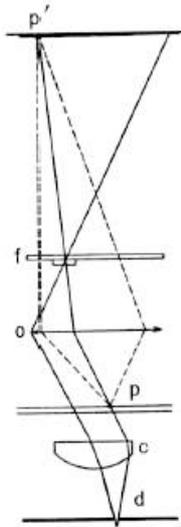
正しいプロセスチャートの描き方  
(集積化容量型圧力センサの例)

Effective drawing of process chart  
(Integrated capacitive pressure sensor)

16 Si 気相エピタキシャル成長と欠陥の光学的検査 (半導体研究振興会)



Si 気相エピタキシャル成長装置 (配管部展示)



d : 絞り  
 f : 対物レンズの後焦点 (ここに位相板を置く)  
 c : コンデンサ  
 p : 被検体  
 o : 対物レンズ  
 p' : 被検体の像  
 実線 : 絞りからの直接光束  
 破線 : 被検体に光があたって生じた回折光

位相差法の原理



Reichert 社製 位相差顕微鏡

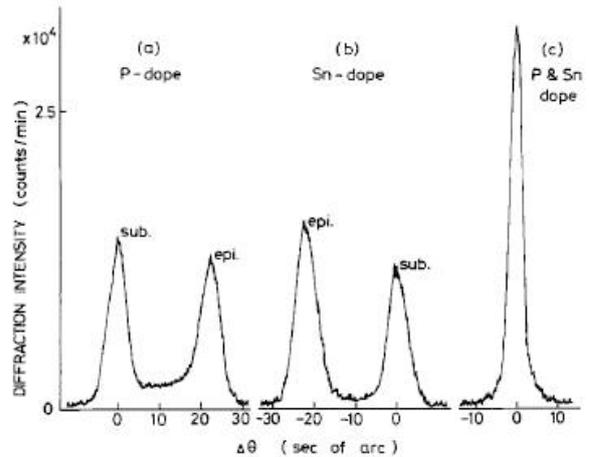


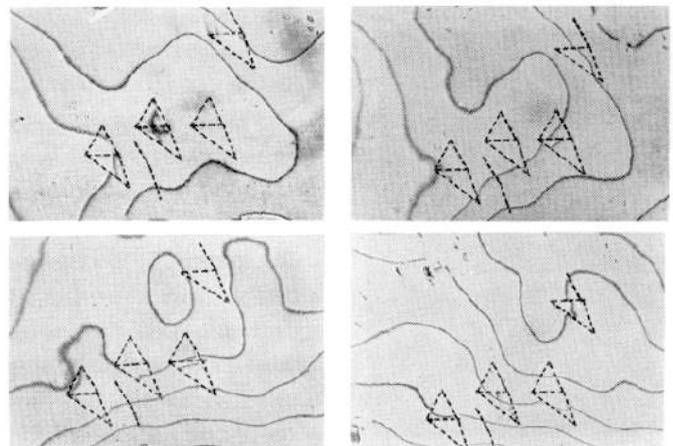
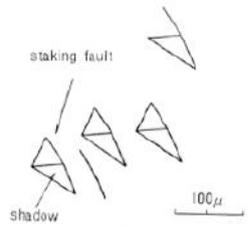
Fig. 10. X-ray rocking curves of  $\{(511)^v, -(333)^n\}$  for compensated specimens by simultaneous doping of tin and phosphorus. (a) Phosphorus doping;  $N_i = 4 \times 10^{19}$  atom/cm<sup>3</sup>;  $t_f = 10\mu$ . (b) Tin doping;  $N_i = 2 \times 10^{19}$  atom/cm<sup>3</sup>;  $t_f = 11.5\mu$ . (c) Simultaneous doping of tin with phosphorus, concentrations of phosphorus and tin are  $4 \times 10^{19}$  atom/cm<sup>3</sup> and  $2 \times 10^{19}$  atom/cm<sup>3</sup>, respectively;  $t_f = 16\mu$ .

Perfect Crystal Growth of Silicon by Vapor Deposition

Jun-ichi Nishizawa  
 Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan  
 Takeshi Terasaki  
 Semiconductor Research Institute, Sendai, Japan  
 and Kunihiko Yagi and Nobuo Miyamoto  
 Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan



dark phase contrast (a) 位相差像



(b) 多重干渉像 (点線により積層欠陥および shadow の位相を示す) stacking fault shadow の存在

位相差顕微鏡による結晶欠陥の観察 (寺崎健 : 5.欠陥の光学的方法による観察、半導体研究 7 (1971) 工業調査会)

## 17 半導体研究所から西澤記念研究センターへ

財団法人「半導体研究振興会」は、産学共同のパイオニアとして、1961年に設立され、以来半世紀近く、賛助会員からの支援のもと独創的な研究を重ね、その「半導体研究所」で半導体電子工学の分野で多くの成果を上げてきた。

2008年から東北大学の「西澤潤一記念研究センター」として、「試作コインランドリ」を含む「マイクロシステム融合研究センター(μSIC)」の拠点となっている。



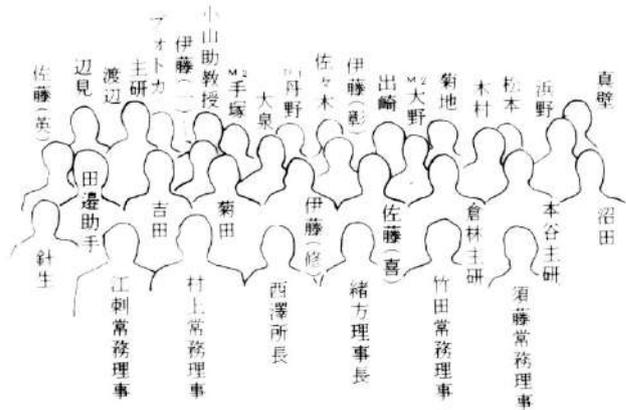
仙台市川内に在った「半導体研究所」



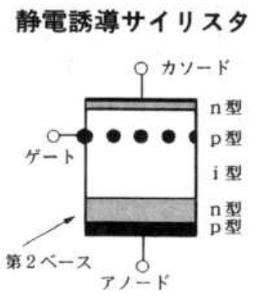
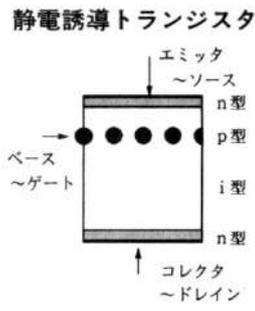
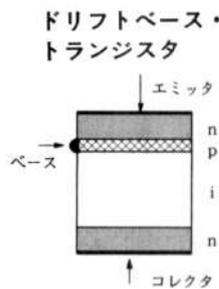
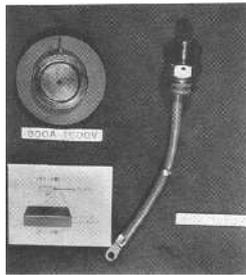
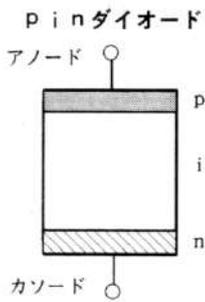
現在の「西澤潤一記念研究センター」



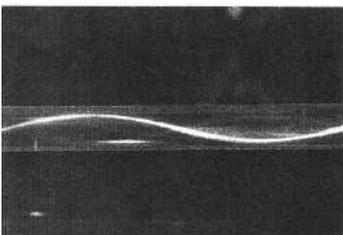
西澤潤一 名誉所長



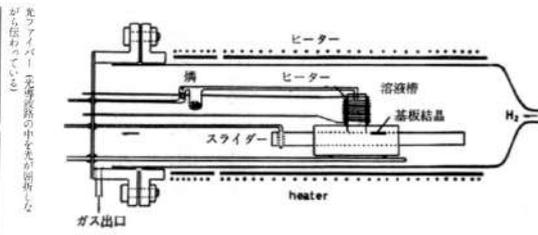
半研職員・須藤研究室



pin ダイオードから静電誘導トランジスタ(SIT)や静電誘導サイリスタ



屈折率分布型光ファイバ

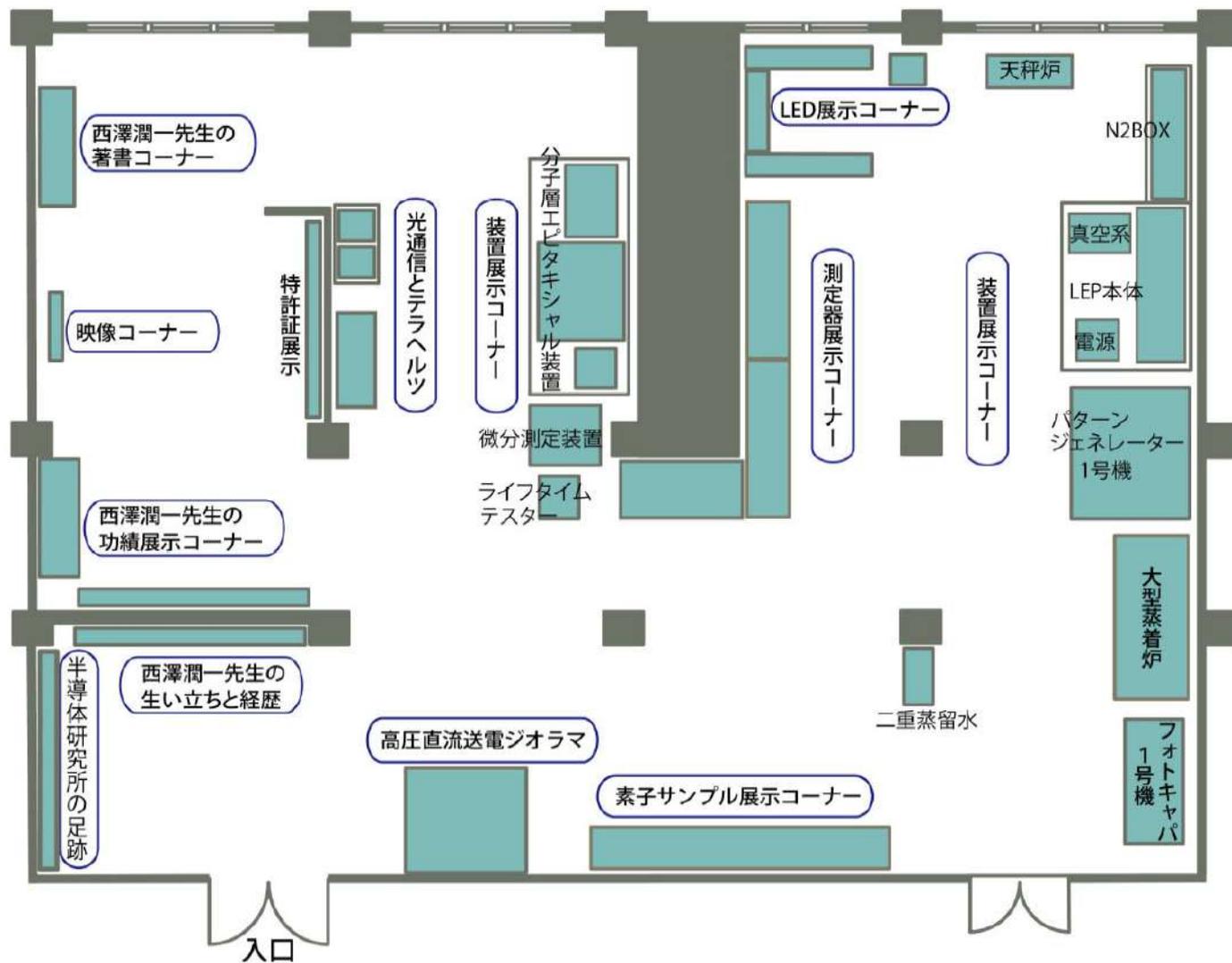


蒸気圧制御温度差法による液相結晶成長 (高輝度発光ダイオードなどの製造)



フォトキャパシタンス自動測定装置

## 18 西澤記念資料室

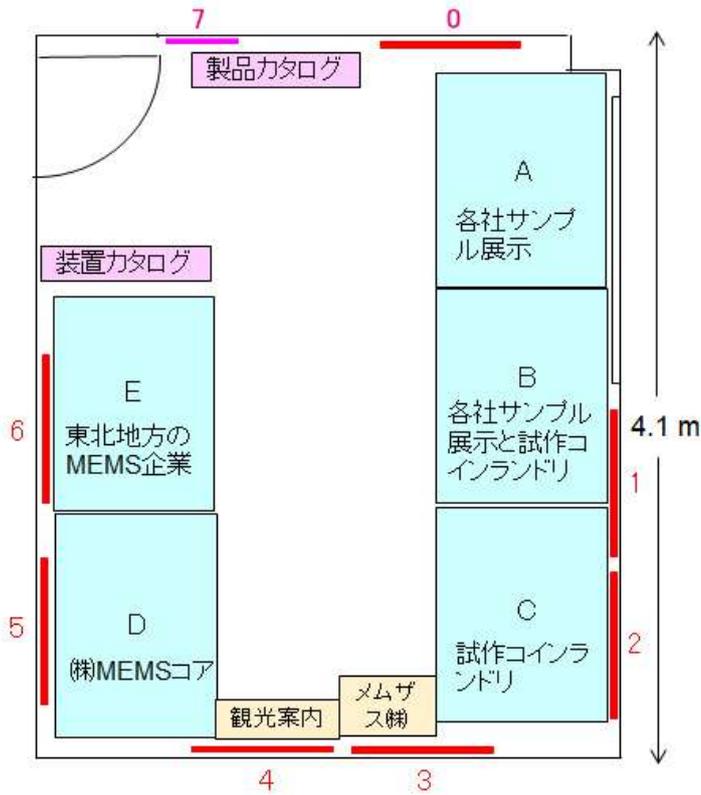


西澤記念資料室は、西澤潤一先生が半導体材料の技術開発を行った研究場所である旧半導体研究所内に、「光通信発祥の地」ゆかりの資料等を保存・展示し、今後の教育研究に活用するとともに、広く一般に公開するための施設です。仙台市川内、東北大学入試センター内。(開館時間 9:00 ~ 16:00 問合せ 022-795-4804)

<http://www.tohoku.ac.jp/japanese/profile/establishment/01/establishment0107/>



# 0 ビジネスマッチング室



## ポスター

- 0 ビジネスマッチング室
- 1 試作コインランドリ (戸津健太郎 他)
- 2 主要装置一覧
- 3 メムザス(株)
- 4 (株)メムスコア (1)
- 5 (株)メムスコア (2)
- 6 東北地方の MEMS 関連企業マップ
- 7 MEMS パークコンソーシアム会員企業



入り口から見た内部



製品カタログ



装置カタログ(ALD、接合、CATCVD) (株)テクノファイン)



各社(田中貴金属、日本特殊陶業、ニッコー他)サンプル展示



試作コインランドリ関係展示



ナノインプリント、サンドブラスト加工、ウォータレーザ加工



試作コインランドリの各工程のウェハ



メムザス(株) (低侵襲医療)



仙台市関係の観光案内



MEMS コア(株) (MEMS の受託開発)



東北の MEMS 関連企業マップ

L

# 1 試作コインランドリ (戸津健太郎 他)

共用設備で、ユーザが必要な装置を必要な時に利用可能(利用分課金)。技術は保有しているが、試作開発設備がなくて困っている企業などが、人を派遣して自分で試作を行うことで、開発のコスト、リスクを軽減でき、実際の経験を持つ技術者が育つ。これまで大学で蓄積されたノウハウにもアクセス可能。経験を有する技術者が設備維持と使い方の支援。製品製作も行える。

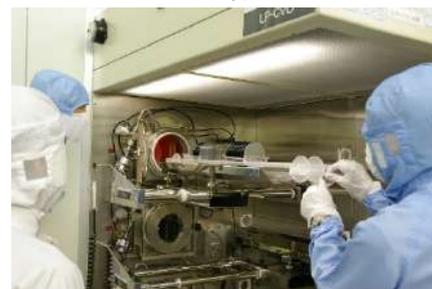
以前パワーTrの製造、組立に使われていた4インチラインにMEMS設備を導入し、4/6インチの試作コインランドリとして使用。<http://www.mu-sic.tohoku.ac.jp/coin/index.html>

問い合わせ先： マイクロシステム融合研究開発センター(西澤記念研究センター内) 戸津健太郎

Tel. 022-229-4113, [totsu@mems.mech.tohoku.ac.jp](mailto:totsu@mems.mech.tohoku.ac.jp)



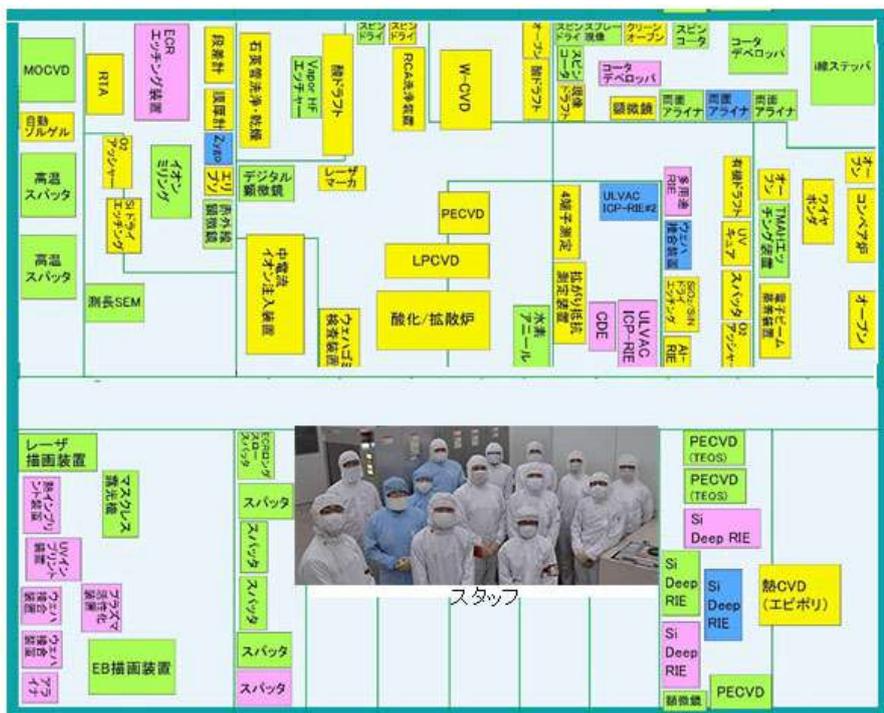
パターニング (i線ステッパ)



酸化・拡散



ドライエッチング (DRIE)



- 2008年にトーキンから引継いだ装置
- 2010年以降に国費(23億円)で新規導入した装置
- 企業や国研等から寄付などで受け入れた装置
- 学内から移設した装置

2F CR 1,800 m<sup>2</sup> クラス1~1,000

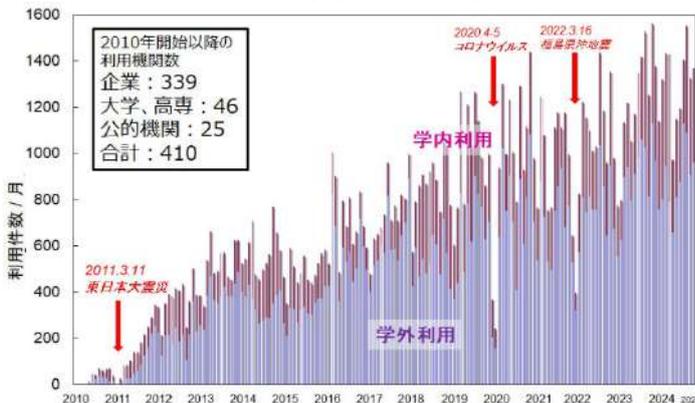
- 熱電子SEM、XRD  
マイクロフォーカスX線CT
- 断面FE-SEM  
EB描画装置
- FTIR、FIB
- AFM



スタッフ



収支の推移



利用件数の推移

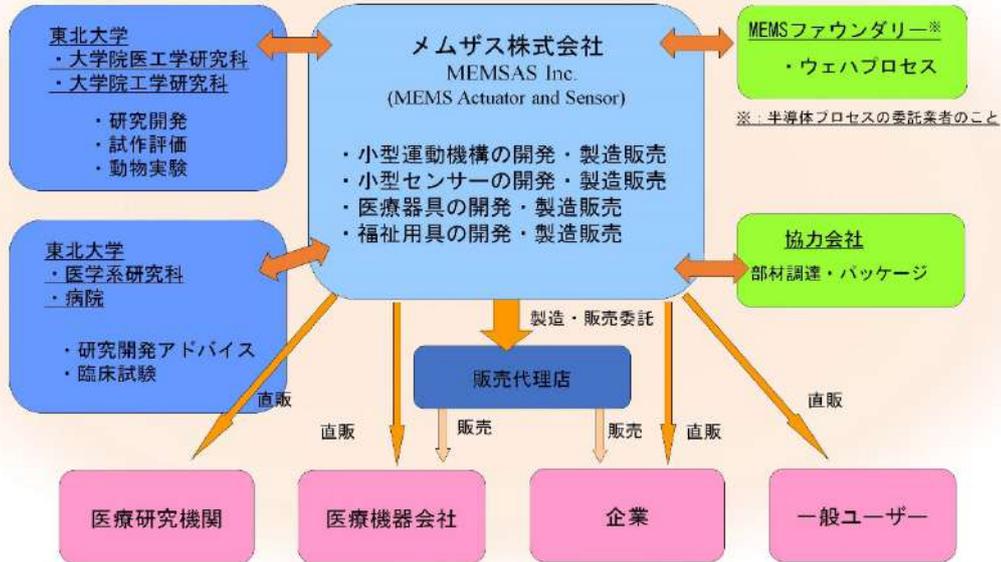
## 2 主要装置一覧

							
ドライエッチ (酸・有機) ~6" フッ酸/リン酸/硝酸/塩酸等 有機洗浄/レジスト剥離等	真空オーブン ~6" ヤマテ科学 DP31	プラズマスクラバ ~6" 全線化学 研徳院のウェア洗浄用	スピンド乾燥機 4", 6" SEMITOOL PSC101等3台 カセット式	LP-CVD ~6" システムサービス SiN, Poly-Si, NSG	熱CVD ~6" 国際電気 Epi-Poly Poly Si, 1100°C	PECVD ~6" 日本生産技術 YDG-5600 SiN, SiO <sub>2</sub>	PECVD ~6" 住友精密 MPX-CVD SiN (強力制御可), SiO <sub>2</sub>
							
スピンド乾燥機 ~6" 東邦化成 ZAA-4 2台 平置式	イナートオーブン ~6" ヤマテ科学 DN63H	UVキュア装置 ~4" ウシオ電機 コニハート UMA-802	ポリイミドキュア炉 ~6" ヤマテ科学 DN43H	PECVD 住友精密 MPX-CVD TEOS/SiO <sub>2</sub>	スパッタ装置 ~8" アネルバ SPF-730 8インチターゲット×3 Al, AlSi	スパッタ装置 ~8" 日本生産技術 CF4/CF <sub>4</sub> /B <sub>2</sub> 3インチターゲット×3 基板加熱1台、基板冷却1台	スパッタ装置 ~8" 日本生産技術 Miller 3インチターゲット×3、基板加熱1台、 ローロック、自動排気1台(100℃まで)
							
パターンジェネレータ ~6" 日本精工 TZ310 エマルジョン/ガラスコート	レーザー描画装置 ~6" ハイデルベルグテクノシステムズ DWL2000CE	スピンドコータ ~6" アクセス ASG-4000 2台 ミカサ 1H-DX8 2台	クリーンオーブン ~6" ヤマテ科学 DE82 2台	W-CVD 4" アプライマリアルズ Precision 5000	電子ビーム蒸着装置 ~6" アネルバ EVC-1501	ゾルゲル自動成膜装置 ~4" テクノファイン PZ-804	MOCVD ~8" コロム研究所 PZT
							
EB描画装置 ~6" エプシコス ELS-G12SS Max130keV, 4mm	ステッパ 4", 6" キヤノン FPA1500M4W @R. 0.65μm	表面アライナ ~6" Suss MA6/BA6 2台	スプレー成膜装置 ~6" アクセス ADE-3000S 真空/ガジェット	高温スパッタ 8" ユークテック 21-8804	ALD ~6" テクノファイン ALJ-800	ICP-RIE ~6" ULVAC NE-550	CDE ~4" 芝浦メテロロニクス CDE-7
							
酸化・拡散炉 ~6" TEL XL7P P形用、N形用それぞれ1台	中電流イオン注入装置 ~6" 日新イオン機器 NH-205R 200keV, 0.6mA	ランプアニール装置 ~6" AG Associates AG4100 1000°C	メタル拡散炉 ~6" 光研リファイン Mode270 全量、任意基板等の熱伝導	Si Deep-RIE 4台 住友精密 MUC-21 SF <sub>6</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	ドライエッチング装置 ~6" アネルバ DEA-506 CF <sub>4</sub> , CHF <sub>3</sub> (SiN, SiO <sub>2</sub> 用)	ドライエッチング装置 4" アネルバ L-507DL SF <sub>6</sub> (Ga用)	A1 RIE 4" 芝浦エレクトロニクス HARRIE-100 Cl <sub>2</sub> , BCl <sub>3</sub>
							
アッシング装置 ~6" プラゾック IPC4000 13.56MHz, 600W	プラズマクリーナ ~6" ヤマテ科学 POC210	サーフェイスプレーナ ~6" ディスク DAS8929	ウォーターレーザー ~8" 遊谷工業 LAMCS AQL-1900	多用途RIE ~6" アネルバ RH-1515Z Cl <sub>2</sub> , BCl <sub>3</sub> , SF <sub>6</sub> , CF <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> , Al, Si, Ni	ECRエッチング装置 3" アネルバ ECR6001 Cl <sub>2</sub> (GaAs用)	Vapor HF ~8" 住友精密 Primax uEtch	KOH-TMAHエッチング槽 ~6" 住友精密 Primax uEtch
							
ウェハ研磨装置 ~6" BNFテクノロジー Bn52, Bn62	めっき装置 ~6" 日本冶金材料社 Au, Ni, Cu, Sn	ウェハ接合装置 ~6" Suss SB96	ガイサ ~6" ディスクDAD522, DAD216T 突き詰定	イオンミリング装置 6"×4枚, 4"×6枚 エクス/エス/エー 20BE-C	ウェハコミ検査装置 ~6" トプコン WM-3	膜厚測定装置 ~6" Nanometric NanoSpec 3000	段差測定装置 ~6" DektaK8 Tenchro AlphaStep 500
							
ワイヤボンダ 小片 West Bond (2社) Al/Au超音波、Al/Au超音波	コンパイル ~4" 神池精機 FB 260H/TE	レーザーマーカ ~4" GSM/モニクス WM-8	サンドブラスト ~6" 新東工業	深さ測定装置 ~6" ユニオン光学 Isomet	4探針測定装置 ~6" トプコン WM-3	引っ張り抵抗測定装置 小片 Solid State Measurements SSM150	赤外線顕微鏡 ~6" オリンパス 添研ホトニクス
							
ウェハアライナ 8" EVG Smart View	ウェハ接合装置 8" EVG 520	ウェハ間接接合装置 8" EVG 520	UVインプリント ~4" 東芝機械 ST50	レーザー/白色光 共焦点 顕微鏡 (表面形状測定) ~8" レーザテック OPTELICS HYBRID L3-SD	デジタル顕微鏡 ~8" キーエンス クローテック/クワット	電子顕微鏡 ~12" 日立 S3700N 熱電子SEM, EDX付属	電子顕微鏡 小片 日立 S5500 インテンスビームSEM
							
熱インプリント ~50mm角 ホリソン電気 Repina-150A MAX 65°C, 30kN	TOF-SIMS CAMECATOF-SIMS IV	FIB 小片 SI SM8200	大口径AFM ~8" Digital Instruments Dimension3100	エッチング ~8" フォニックテック SE-101 ULVAC	マイクロX線CT ~6" コムコネクト Scan/mate D160TS110	超音顕微鏡 ~12" インサート IS350	直接集束ビーム超音 波材料解析システム

### 3 MEMザス(株)

# MEMSAS MEMザス株式会社 MEMSAS Inc.

→センサ・アクチュエータ開発  
→技術移転支援サービス



私たちはMEMS(微小電子機械システム)を中心とした微細加工技術を応用して製作された小型アクチュエータおよび小型センサのアプリケーション開発、販売を目指した東北大発ベンチャー企業です。

東北大学で開発した低侵襲医療用カテーテルやガイドワイヤなどを屈曲させる小型アクチュエータや実装ノウハウや、髪の毛程度の太さしかない極小(直径約0.1mm)の医療用圧力センサなどの技術移転や、応用開発を進めております。また、小型アクチュエータを応用した視覚障害者用2次元触覚ディスプレイなども開発しております。

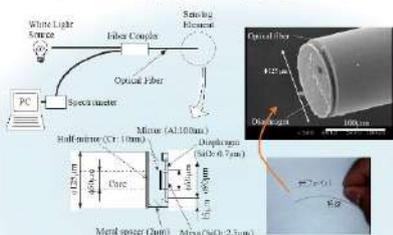
東北大学大学院医工学研究科との共同研究の基、大学の研究環境を積極的に活用し、基礎研究、試作評価、動物実験なども行っており、円滑な技術移転を目指しております。

## 会社概要

<b>名称:</b>	MEMザス株式会社 MEMSAS Inc. <a href="http://www.memsas.co.jp">http://www.memsas.co.jp</a>
<b>設立日:</b>	平成16年9月29日
<b>本社:</b>	〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町1丁目6番22-1003号
<b>役員構成:</b>	代表取締役: 加藤 和哉 取締役: 江刺 正喜、芳賀 洋一、松永 忠雄、戸津 健太郎 監査役: 三品 伸夫

## 開発一例

### MEMSを用いた小型センサ



#### 極細径光ファイバ圧力センサ

カテーテル治療などにおいて血管内局所内圧などを測定する目的で、外径125µmの非常に小さな圧力センサを開発しています。  
MEMS技術によって光ファイバの端面に薄いダイヤフラム(膜)が形成されており、圧力によるダイヤフラムのたわみを光の干渉現象を用いて計測します。この光ファイバ圧力センサは電気や経気による影響を受けないという利点があります。

### 形状記憶合金を用いた小型アクチュエータ



#### 能動屈曲イレウスチューブ

胆管癌(イレウス)治療に用いられるチューブです。チューブ先端に形状記憶合金(SMA)コイルを用いた能動屈曲機構を付加し、曲門通過を容易にするイレウスチューブの開発を行っています。

#### 能動屈曲電子内視鏡

小型電子イメージャと形状記憶合金(SMA)アクチュエータを組み合わせた使い捨て可能な能動屈曲電子内視鏡です。小腸などのこれまで観察・治療が困難だった部位で使用できる利点があります。



#### 2次元触覚ペンディスプレイ

文字情報や図形情報などを2次元に配列されたピンを上下させ、凹凸により表示する2次元触覚ペンディスプレイを開発しています。ピンの上下動作に形状記憶合金(SMA)コイルを使用し、永久磁石によりピンが上がったまま、あるいは下がったまま固定(ラッチ)されます。

問い合わせ先  
東北大学発ベンチャー企業  
MEMSAS Inc.  
〒980-0811 仙台市青葉区一番町1丁目6番22-1003号  
TEL: 022-261-1111 FAX: 022-261-1112  
E-MAIL: [info@memsas.co.jp](mailto:info@memsas.co.jp)



**MEMS CORE**

# MEMS開発受託サービス

## MEMS development services

**開発・試作・生産受託**



The diagram shows a circular flow of services: 
 

- アイディア (ユーザー) Idea** (Idea (User))
- 設計/解析 Design/Analysis** (Design/Analysis)
- 3次元微細加工 3DFineProcessing 4 & 6inch Line** (3D Fine Processing 4 & 6 inch Line)
- 少量生産 Pre Production** (Pre Production)
- 大量生産 Mass Production (OUT SOURCE)** (Mass Production (OUT SOURCE))

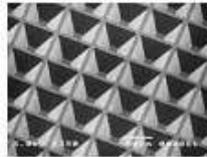
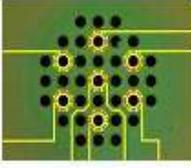
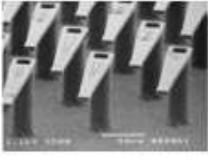
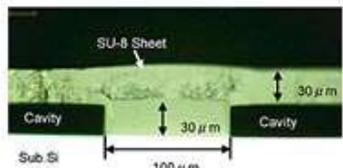
### 会社概要

**社名:** 株式会社メムスコア (MEMS-CORE Co. Ltd.)  
**資本金:** 6,000万円 **設立:** 2001年12月  
**代表者:** 代表取締役 本間 幸治  
**所在地:** 宮城県仙台市泉区明通3-11-1 Tel:022-777-8717 Fax: 022-777-8718

### MEMS開発受託サービスの特徴

- ◇幅広いサポート力  
単一工程は勿論のこと、デバイス設計・シミュレーション・原理試作・プロトタイプ試作・量産までをトータルでサポートいたします。また、外部ファブ、大学機関との連携により、競争力の高い価値あるサービスをご提供いたします。
- ◇多種多様なMEMS特有プロセスに対応  
半導体プロセス技術ではなれないMEMS製造特有のプロセス(マイクロマシニング)を保有します。
- ◇スピーディーな対応  
お問い合わせ回書、見積り提示、プロセス提案、試作(加工)までをお待たせすることなく迅速に対応いたします。  
お客様の開発LTに合わせ、より価値の高いサービスを提供いたします

### 要素技術の一例

 <b>DRIE加工 掬繰膜形成</b>	 <b>ステルスダイシング</b>	 <b>TSV製作</b>	 <b>犠牲層エッチング</b>	 <b>厚膜感光性DFプロセス</b>
 <b>接合技術</b>	 <b>各種Siエッチング技術</b>	 <b>複合配線パターン形成</b>	 <b>3D構造形成</b>	 <b>ラミネート技術</b>

## 5 (株)メムスコア (2)

### メムス・コアの試作プロセスメニュー

分類	工程	プロセス材料・装置
成膜	絶縁膜形成 (SiO <sub>2</sub> , NSG, PSG)	酸化炉、AP-CVD、P-TEOS、
	金属膜形成 (Au, Pt, Cr, Ti, Cu, 他)	スパッタ、EB蒸着、めっき
フォトリソ	レジスト塗布 露光 現像	スピナー、スプレーコーター、ラミネーター、 両面アライナー、直接露光装置、パターンジェネレーター
	マスク製造(Grマスク)	CAD、パターンジェネレーター
エッチング	ドライエッチング (Si, SiO <sub>2</sub> )	Deep RIE、RIE、ICP-RIE、犠牲層(SiO <sub>2</sub> , Si)、 イオンミリング、O <sub>2</sub> アッシャー
	ウエットエッチング (Si, SiO <sub>2</sub> , 各種金属)	TMAH, KOH, 各種金属膜エッチング液
接合	ウエハ接合	陽極接合、熱圧着接合、
実装	ウエハ切断	ブレードダイシングソー、レーザーダイシングソー
	ボンディング	ワイヤーボンダー
研磨	ウエハ研磨	CMP、CMP後洗浄
評価		干渉式膜厚測定器、融針式段差測定器、SEM、シート抵抗測 定器、応力測定器、測定顕微鏡、レーザー顕微鏡
他フライ処理	洗浄、表面改質	UV/O <sub>3</sub> 処理、HMDS塗布

### メムス・コアの開発・受託サービス

	コンセプト	詳細設計	試作	評価	量産(小規模)	
自主開発						PNセンサー AEセンサー
開発受託					★	★
共同開発	★	★			★	★
試作受託					★	★



:カスタマ



:メムスコア



:ご相談

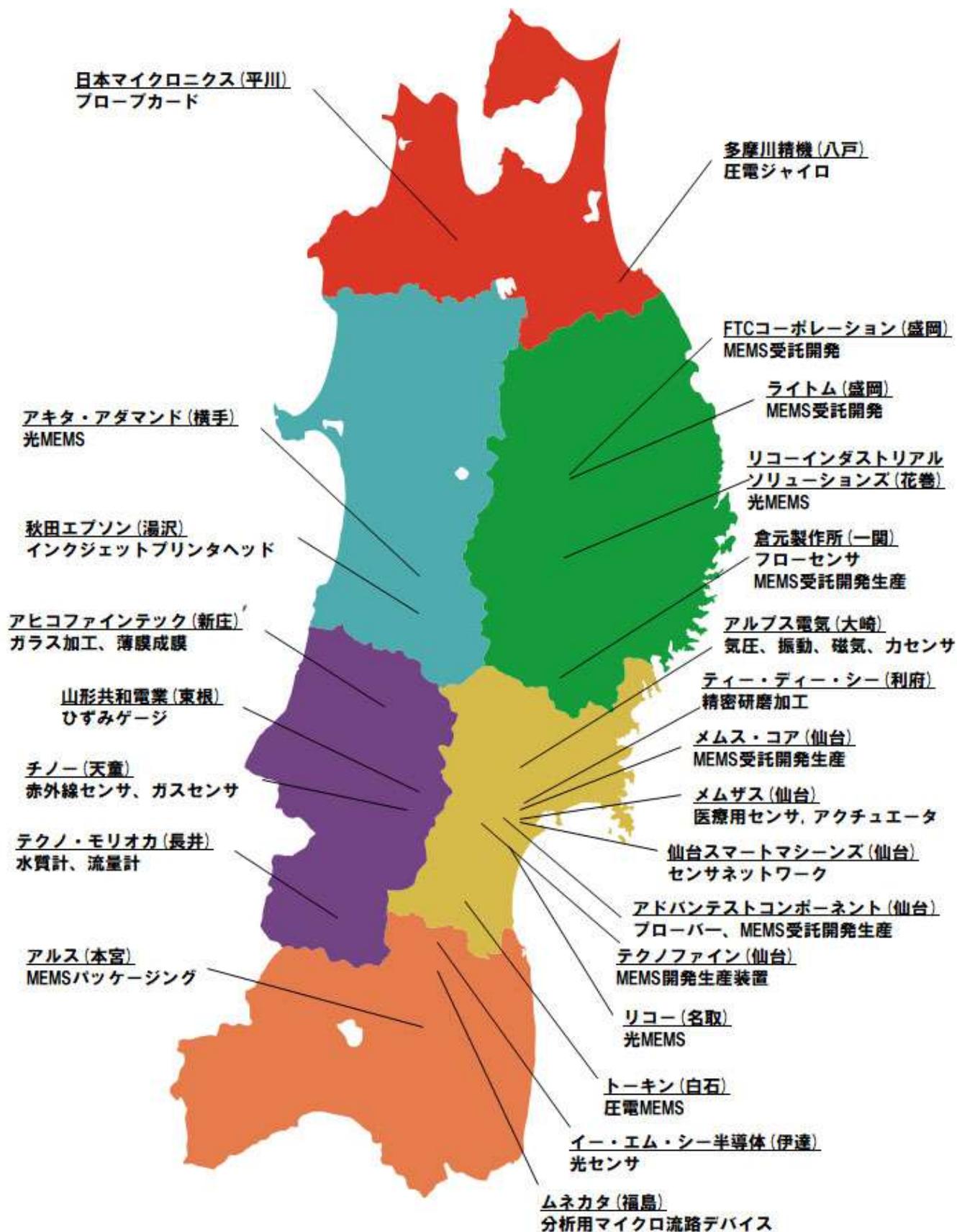
株式会社メムス・コア

URL: <http://www.memscore.com/>

e-mail: [info@mems-core.com](mailto:info@mems-core.com)

TEL: 022-777-8117 FAX: 022-777-8118

## 6 東北の MEMS 関連企業マップ



## MEMSパークコンソーシアム会員企業

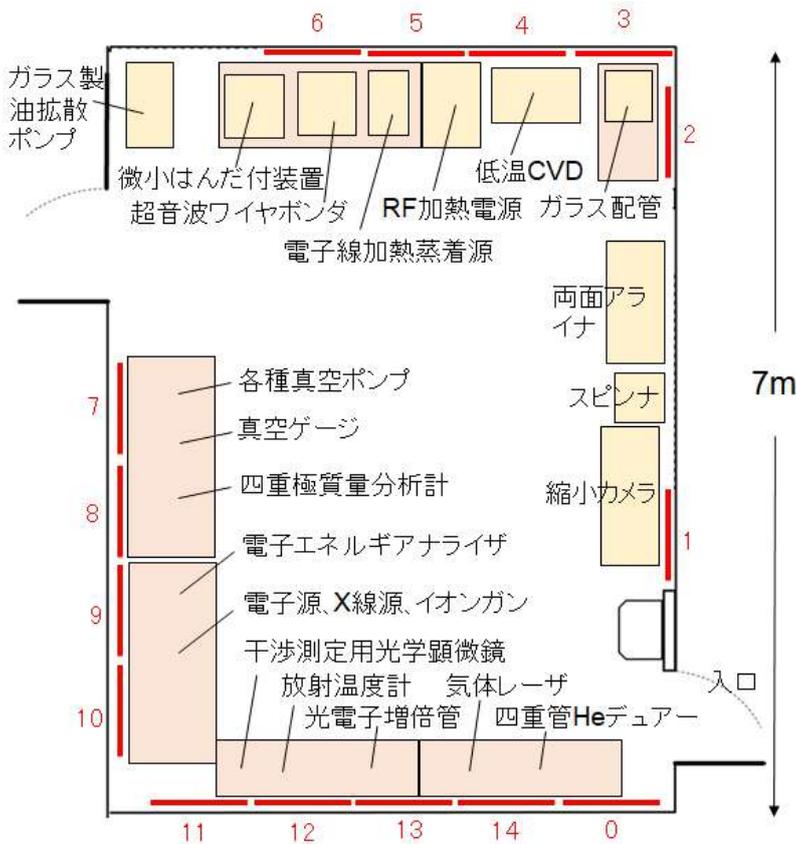


2024.6現

団体名	団体名
株式会社 アドバンテスト研究所	内藤電誠工業株式会社
株式会社 アドバンテストコンポーネント	長瀬産業株式会社
株式会社 アドバンステクノロジー	ナブテスコ株式会社
アヒコファインテック株式会社	ナミックス株式会社
アルプスアルパイン株式会社	ニデックコンポーネンツ株式会社
イーヴィグループジャパン株式会社	日本化薬株式会社
ウシオ電機株式会社	日本信号株式会社
SPPテクノロジーズ株式会社	日本電波工業株式会社
Orbray株式会社	日本特殊陶業株式会社
興研株式会社	株式会社 パーカーコーポレーション
シチズン時計株式会社	パナソニックインダストリー株式会社
芝浦メカトロニクス株式会社	浜松ホトニクス株式会社
ショット日本株式会社	株式会社 日立ハイテク
住友精密工業株式会社	富士電機株式会社
通研電気工業株式会社	藤倉化成株式会社
株式会社 ティ・ディ・シー	北陸電気工業株式会社
株式会社 テクニスコ	三菱電機株式会社
東京エレクトロン株式会社	株式会社 村田製作所
東京応化工業株式会社	株式会社 メムス・コア
東京計器株式会社	株式会社 リコー
一般社団法人 東北経済連合会	



# 0 ミニテックミュージアム



- ポスター
- 0 ミニテックミュージアム
  - 1 フォトマスク作成
  - 2 フォトリソ塗布とパターニングおよびエッチング
  - 3 ウェハ処理(酸化・拡散、イオン注入)
  - 4 化学気相堆積(CVD)と高周波加熱用電源
  - 5 物理気相堆積(PVD(蒸着、スパッタリング)) 他
  - 6 組立(ダイシング、ワイヤボンディング)とテスト
  - 7 各種真空ポンプ(回転式粗引きポンプ、ターボ分子ポンプ、拡散ポンプ、イオンポンプ、クライオポンプ)
  - 8 真空ゲージと四重極質量分析計
  - 9 X線光電子分光装置(XPS)
  - 10 オージェ電子分光装置(AES)
  - 11 光学顕微鏡と光測定法
  - 12 光以外の各種測定法
  - 13 気体レーザー、光電子増倍管および(赤外線)放射温度計
  - 14 4重ガラス管一体構造の liq.<sup>4</sup>He/liq.N<sub>2</sub> クライオスタットデュワー (1973年～)

米国西海岸のサンノゼ(San Jose)に以前在った「テックミュージアム」では、シリコンバレーでどのようにして集積回路などが作られるかを知ってもらうため工程の順序に装置を並べて展示していました。このミニ版を設置して工程を理解して頂くだけでなく、これらを参考にして装置を試作したりして新しい研究を生み出せるように、装置に関連する要素(真空ポンプや真空計、放射温度計など)、また関連する分析装置関係なども展示しました。



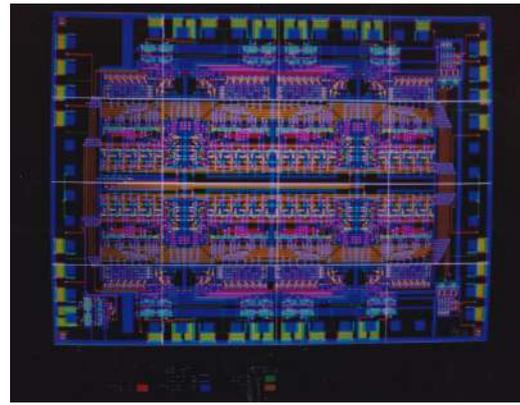
現在のテックミュージアム



# 1 フォトマスク作成



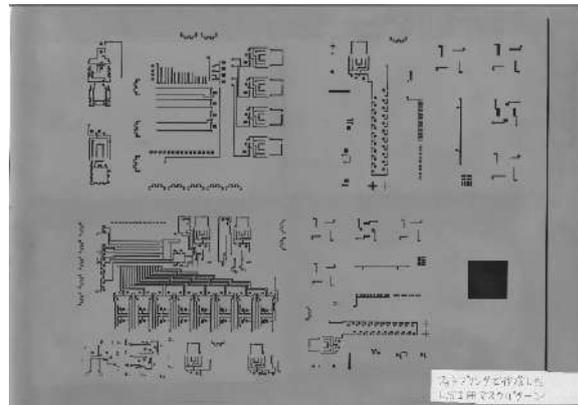
レイアウト設計用入力装置  
(DEC社 ミニコン PDP11)



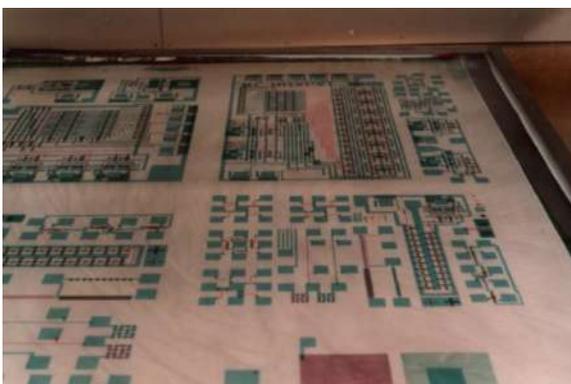
レイアウト図  
(グラフィックエディタは Fortran で作成)



出力装置 (フォトプリンタ)



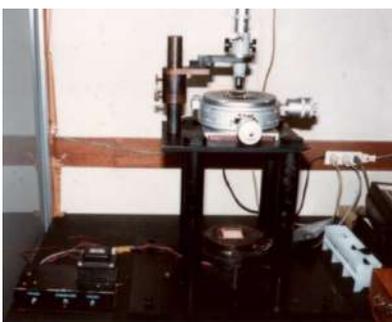
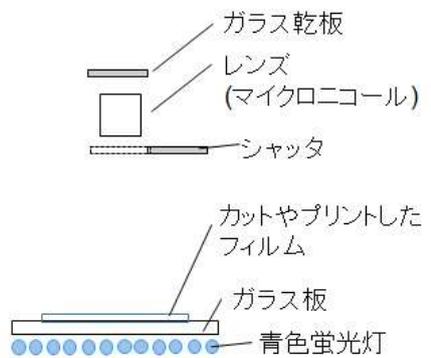
プリントした透明フィルム



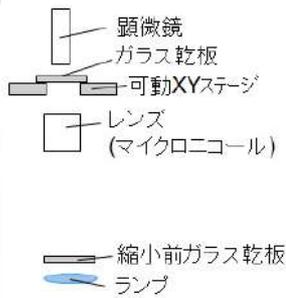
各層を異なる色で拡大し、重ねて確認



1/20 縮小カメラ(展示)でガラス乾板に焼付

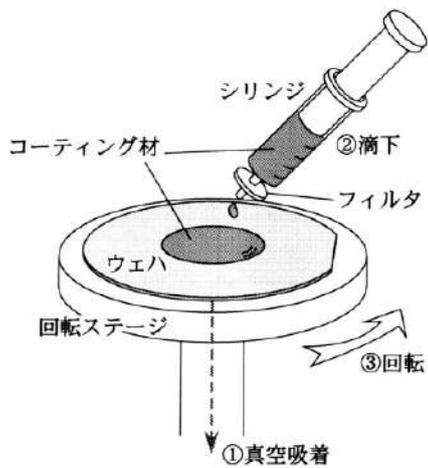


1/10 縮小カメラ (乾板上に並べて写す)

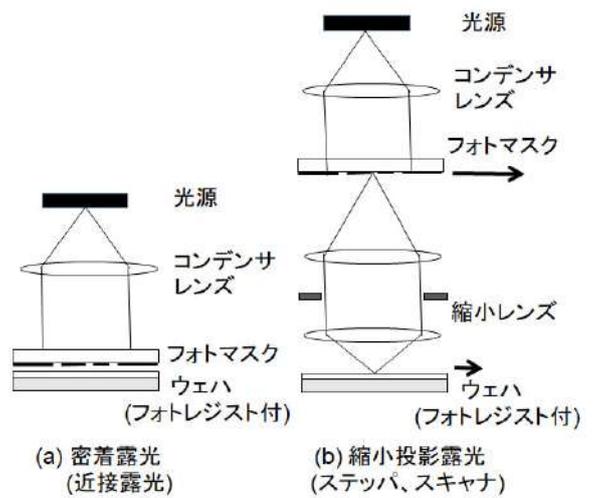


フォトマスク作製室

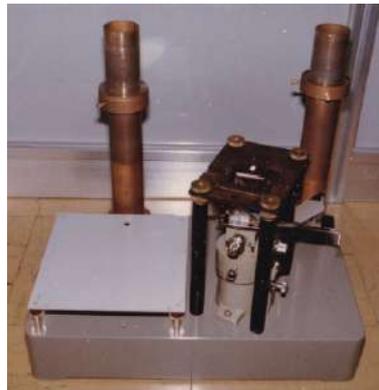
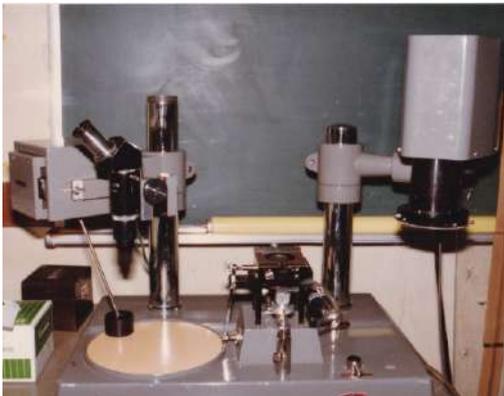
## 2 フォトリソ塗布とパターンニングおよびエッチング



スピコータ (展示)



露光装置の原理

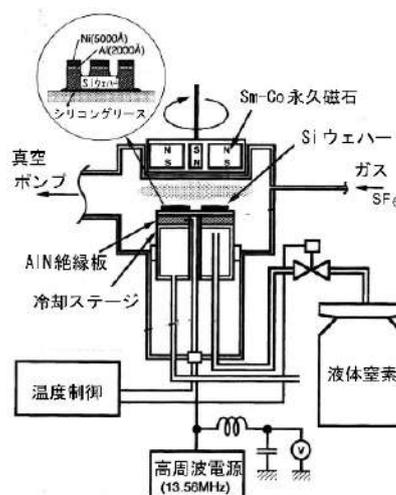


片面密着露光装置とそれを改造した両面密着露光装置

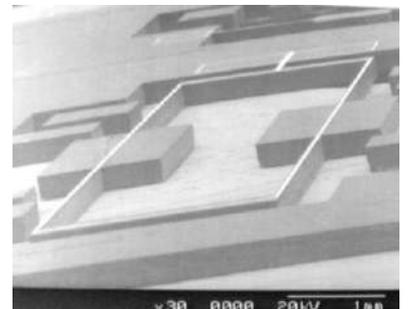
市販両面密着露光装置(展示)



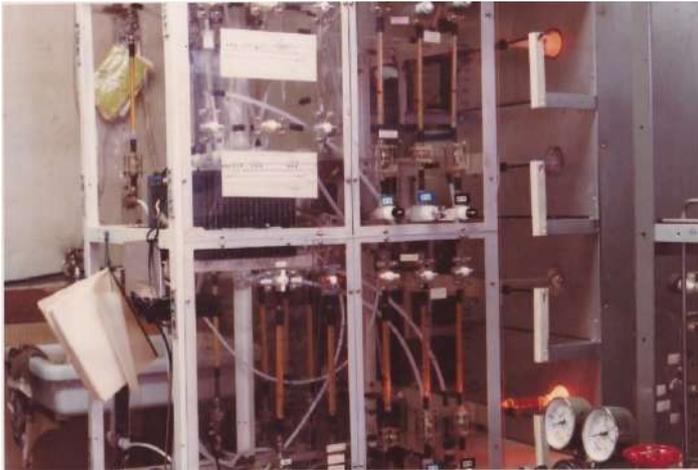
ウェットエッチング( $\text{Si}_3\text{N}_4$  他)



ドライエッチング(Si 反応性イオンエッチング(DRIE))

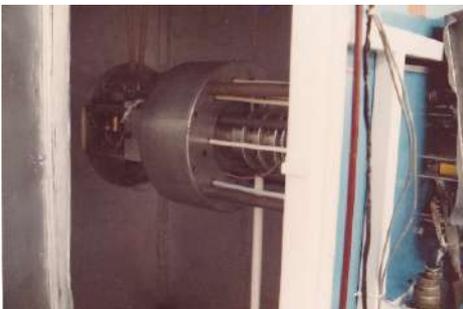
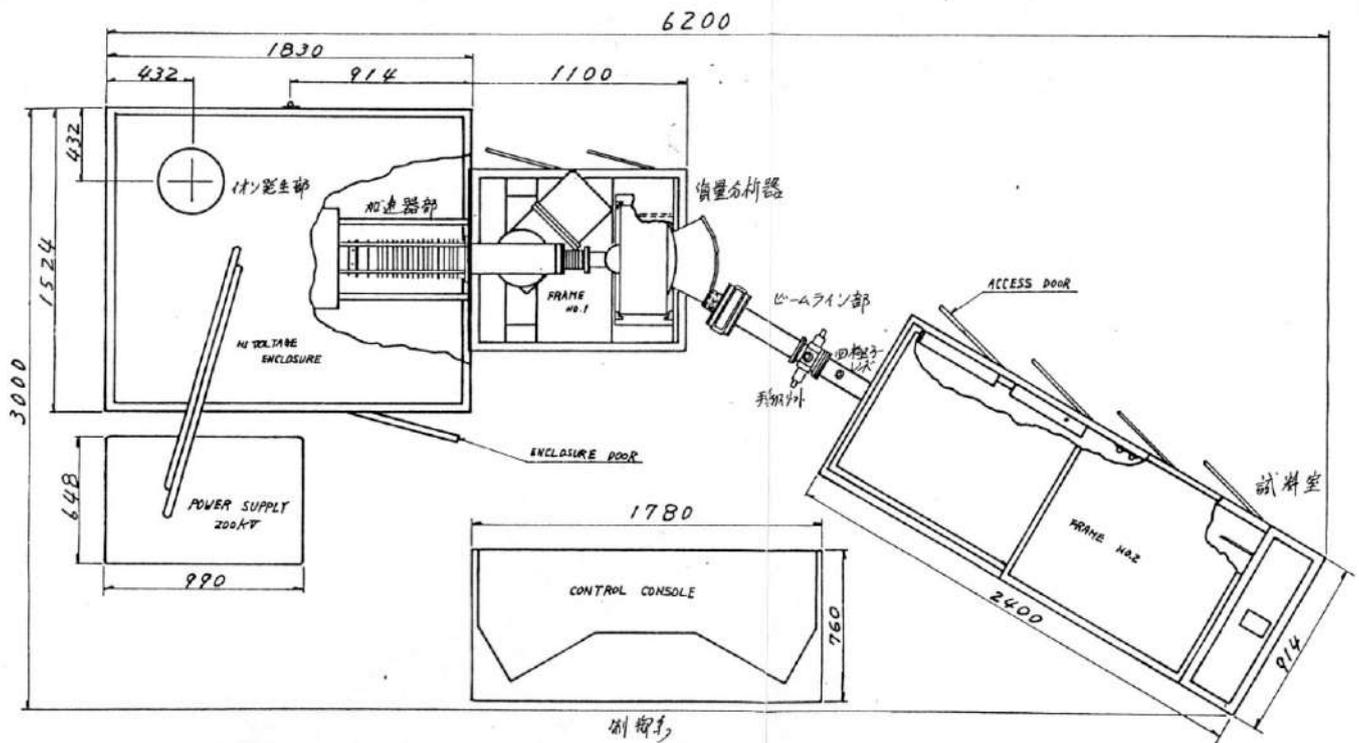


### 3 ウェハ処理（酸化・拡散、イオン注入）



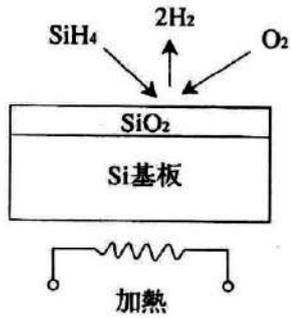
酸化炉、拡散炉（液体ソース  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{POCl}_3$ ）

ガラス配管（展示）

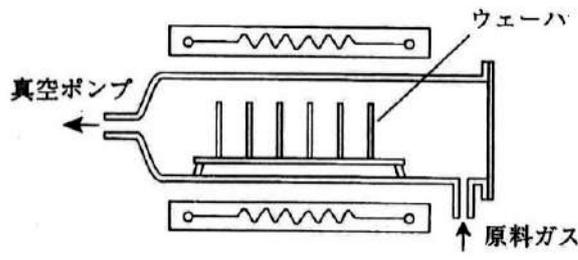


イオン注入装置（アクセルレータ社 200kV 前段加速型）

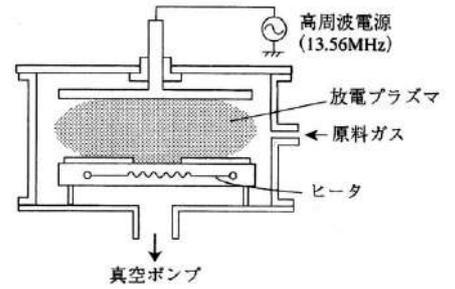
#### 4 化学気相堆積 (CVD) と高周波加熱用電源



化学気相堆積(CVD)の原理



減圧(LP)CVD



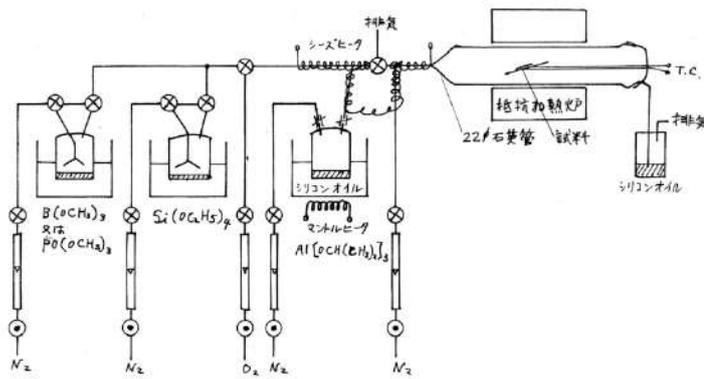
プラズマ CVD



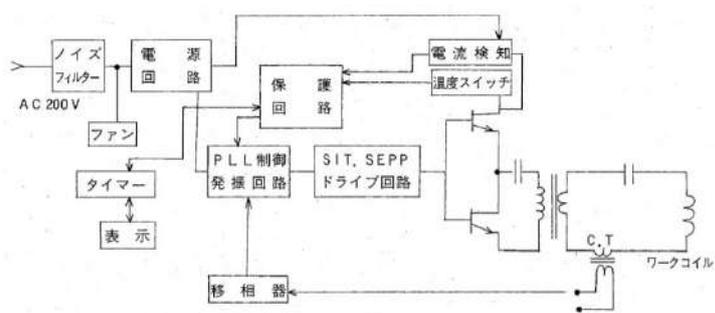
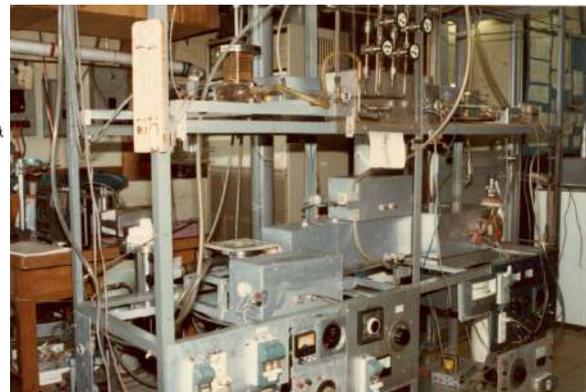
上段高周波加熱 poly Si, SiO<sub>2</sub> CVD  
下段赤外線加熱 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> CVD



低温 SiO<sub>2</sub>CVD 装置 (展示)

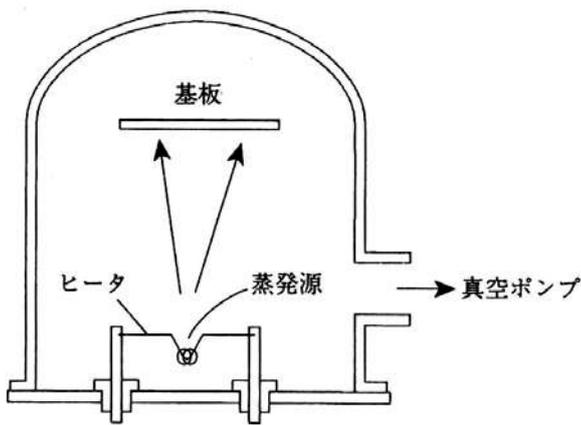


TEOS(テトラエトキシシラン)などの液体有機材料による P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> CVD

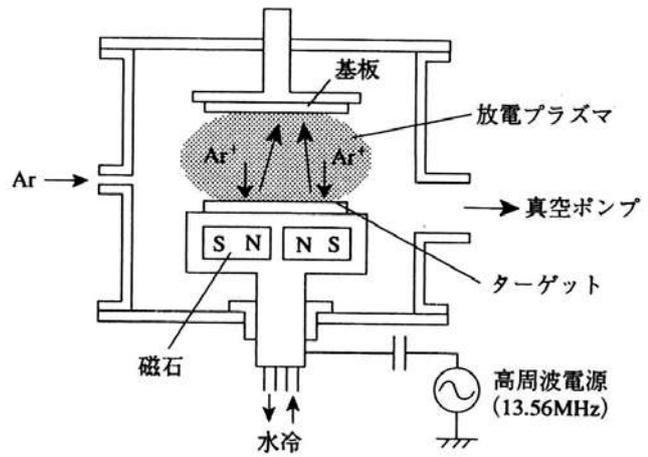


SIT (静電誘導トランジスタ)を用いた高周波加熱用電源 (トーキン) (展示)

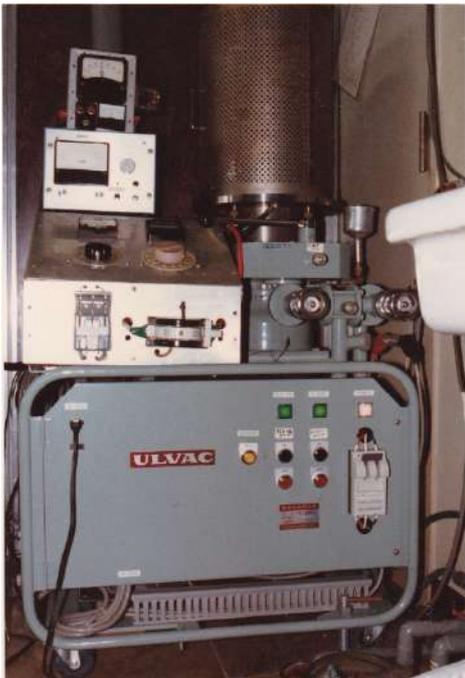
5 物理気相堆積 (PVD (蒸着、スパッタリング)) 他



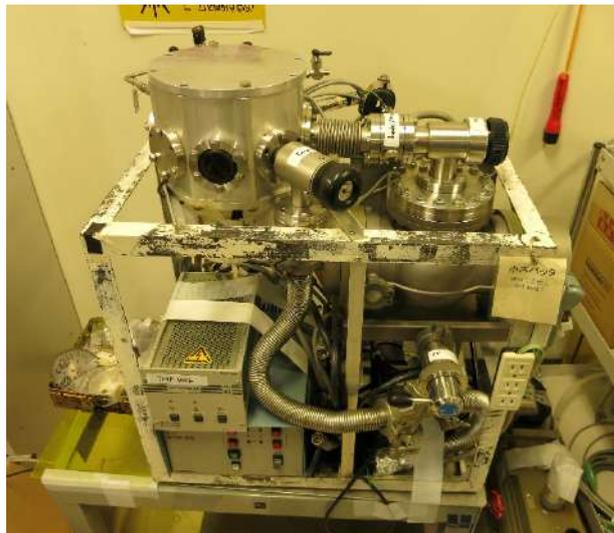
蒸着の原理



スパッタリングの原理



蒸着装置



スパッタリング装置



電子線加熱蒸着源 (展示)



ポリイミド (ポリイミド) 堆積装置

## 6 組立(ダイシング、ワイヤボンディング)とテスト



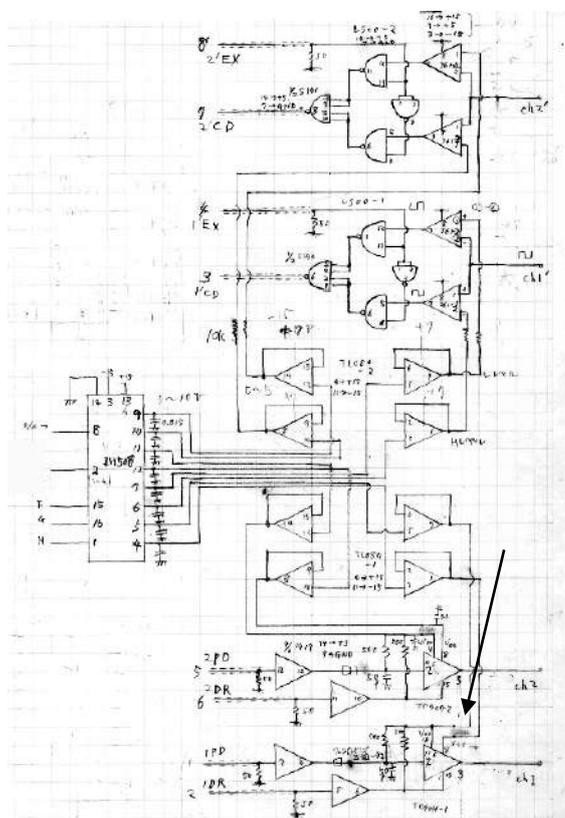
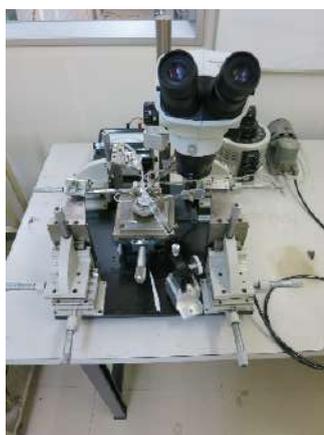
ダイシング装置 (ウェハからチップ分割)



超音波ワイヤボンダ (展示)



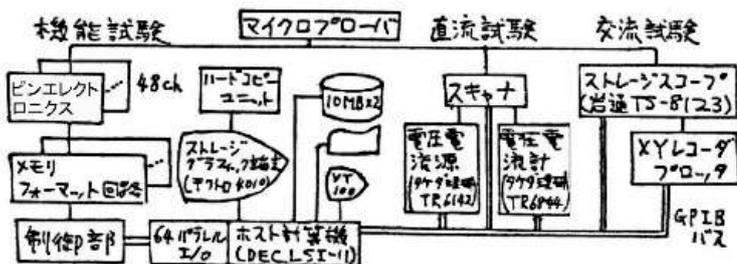
クリーム半田を用いた微小はんだ付け装置(右は展示品)



LSI テスト用ピンエレクトロニクス  
(端子接続部)(2ch 分)



テスト用マイクロプローバ

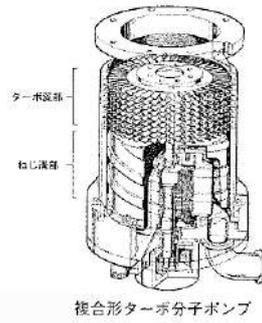


テストシステム

## 7 各種真空ポンプ（回転式粗引きポンプ、ターボ分子ポンプ、拡散ポンプ、イオンポンプ、クライオポンプ）



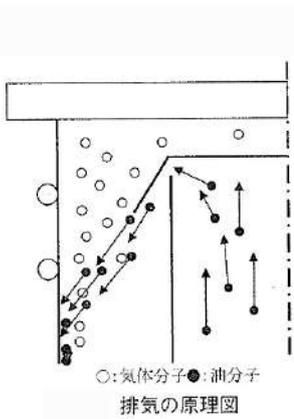
回転式粗引きポンプ



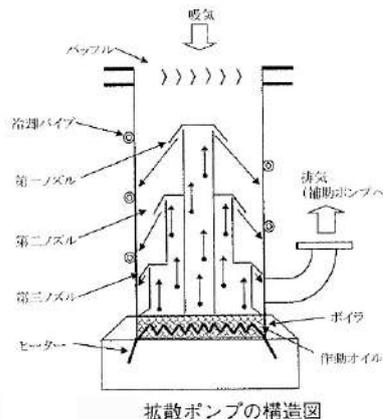
複合形ターボ分子ポンプ



ターボ分子ポンプ



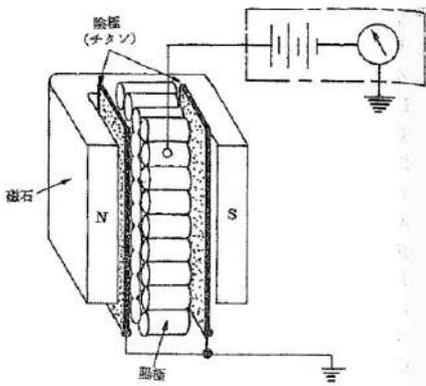
○:気体分子 ●:油分子  
排気の原理図



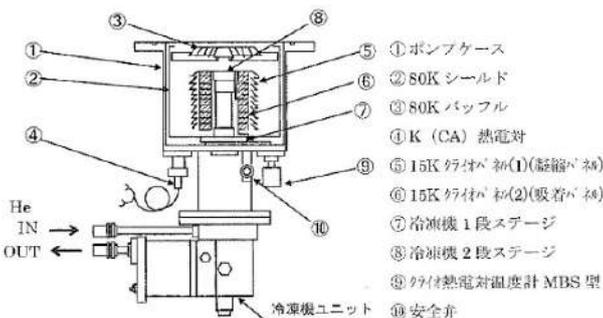
拡散ポンプの構造図



(油)拡散ポンプの原理・構造・写真（展示(ガラス製 熊野勝文氏製作)）



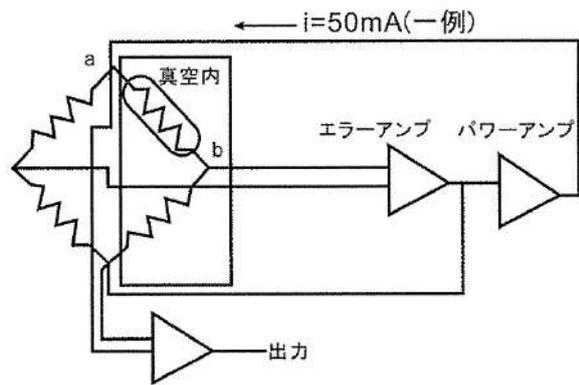
イオンポンプの構造と写真



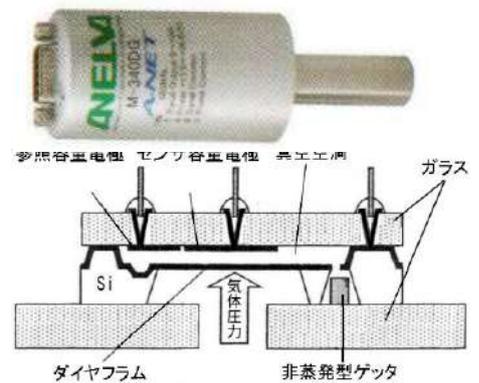
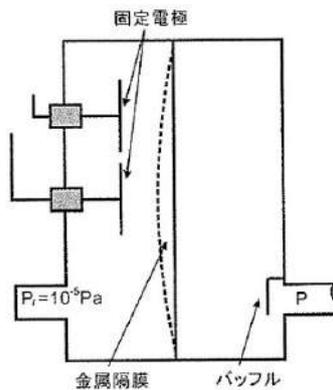
クライオポンプの構造と写真



## 8 真空ゲージと四重極質量分析計



真空度により抵抗が変化するピラニゲージ (展示)

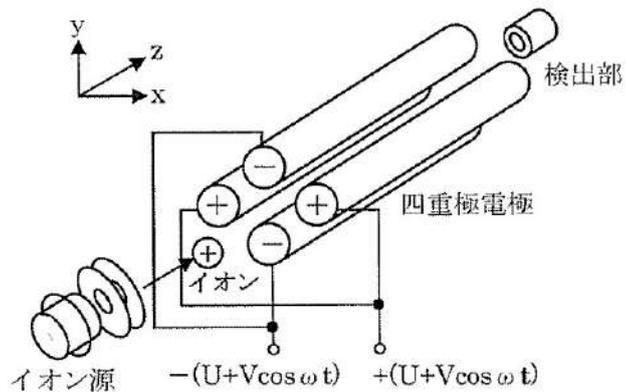
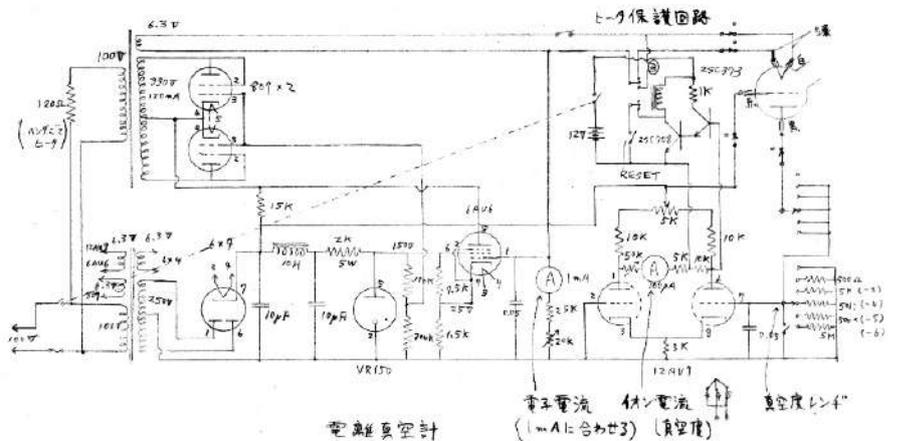


ダイヤフラム真空計 (左のものを展示)



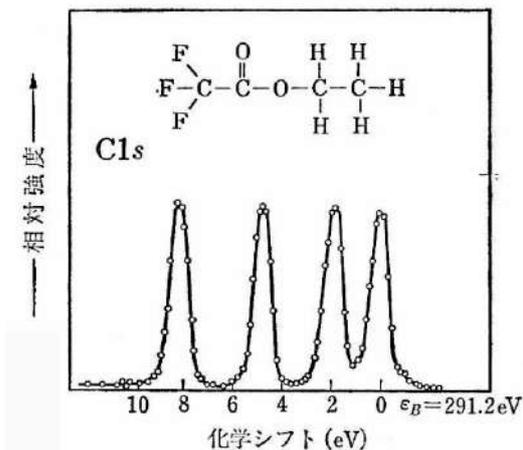
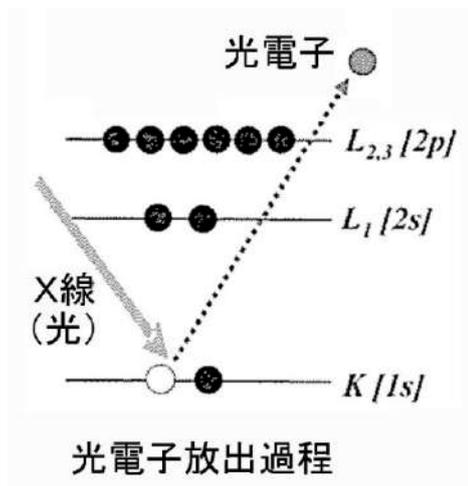
ヒータから熱  
電子放出  
↓  
衝突した  
分子をイオン化  
↓  
正極でイオン  
電流検出

電離真空計(展示)とその回路



四重極質量分析計 (Q-Mass) (展示)(気体分子を分圧として計測)

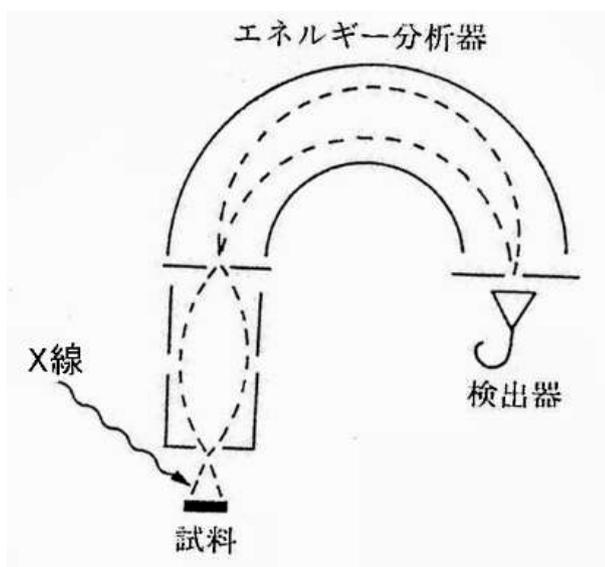
## 9 X線光電子分光装置 (XPS)



動作原理

X線光電子分光の例(トリフロ酢酸の C1s スペクトル)

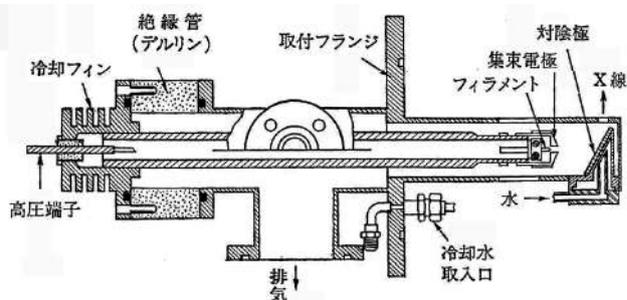
(K.Siegbahn : J. Electr. Spectry, 5, 3 (1974))



半球型電子エネルギーアナライザ(展示)を用いた X線光電子分光装置



X線源 (展示)

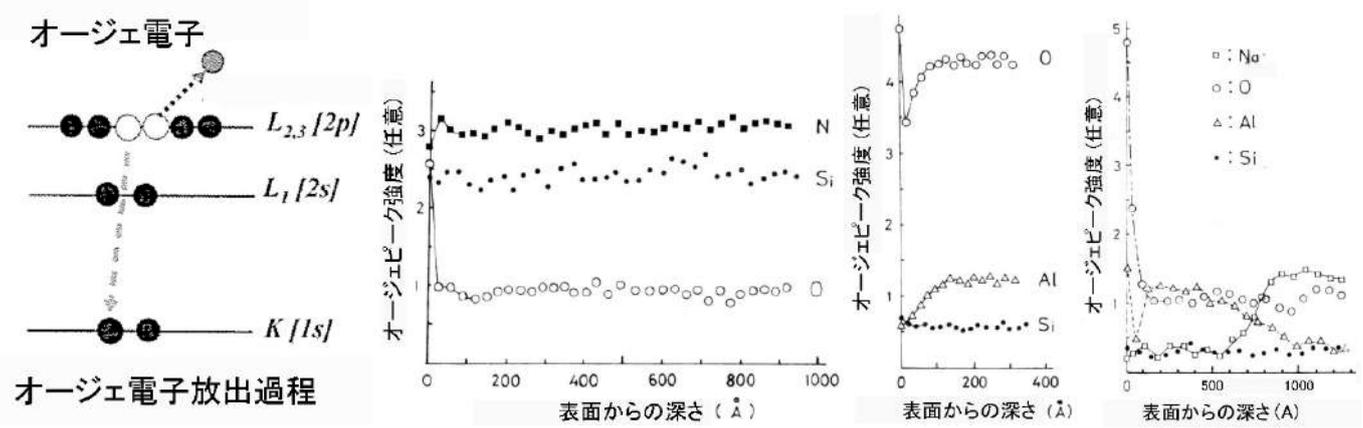


X線源の構造

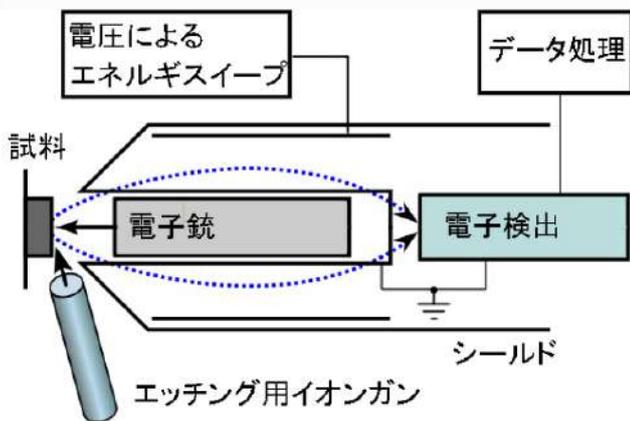
(相原淳一 他、電子の分光、共立出版 (1978))

各種材料の XPS 分析データ集を展示

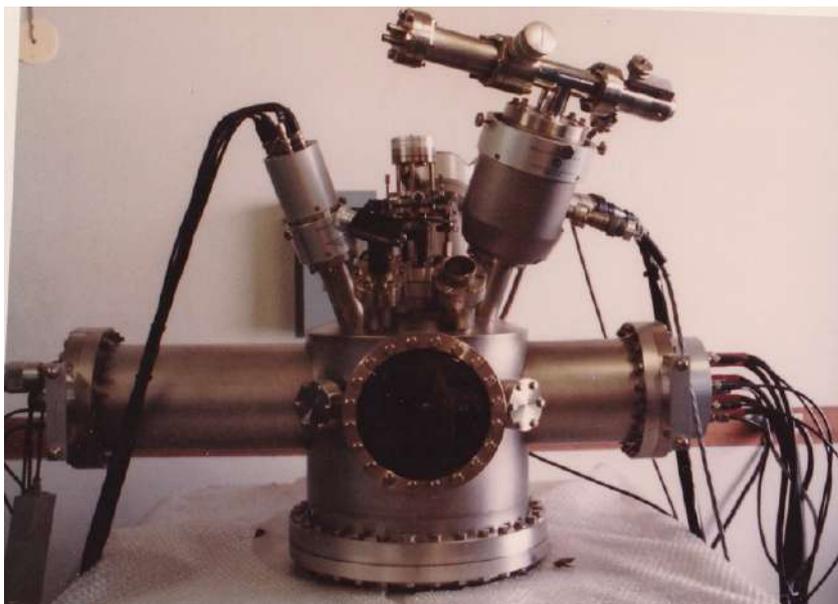
# 10 オージェ電子分光装置 (AES)



動作原理      pH 用  $Si_3N_4$       pNa 用  $Al_2O_3$       pK 用 Naドープ  $Al_2O_3$   
 オージェ電子分光の測定例(半導体イオンセンサ(ISFET)表面)



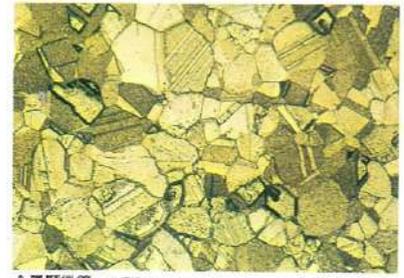
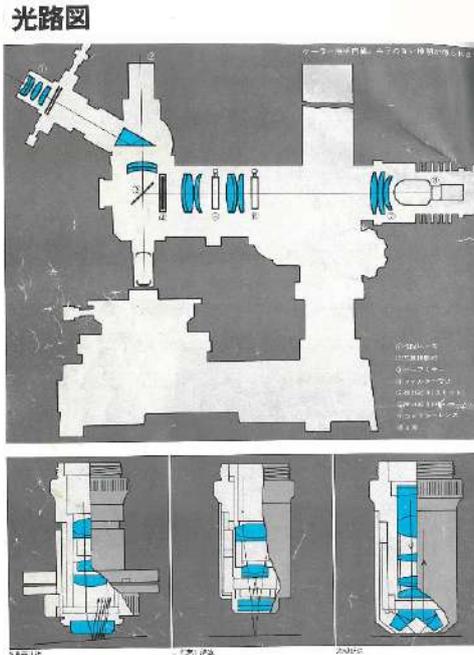
同軸電子エネルギーアナライザ(CMA)(展示)を用いたオージェ電子分光装置



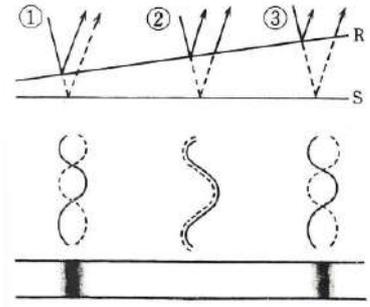
同軸型電子エネルギー分析装置を用いた XPS(左)と AES(右)

各種材料の AES 分析データ集を展示

# 11 光学顕微鏡と光測定法



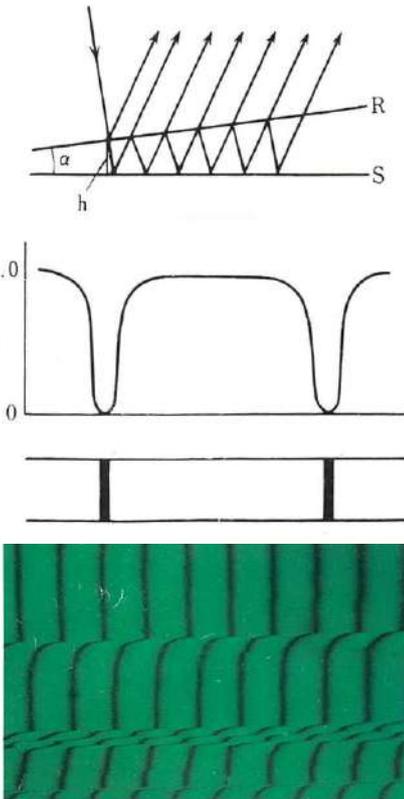
金属顕微鏡 実鋼板 M 10X CB155  
※干渉フィルターには2種類あり、半価幅の狭いものはNB、広いものがWBです。



光干渉の原理

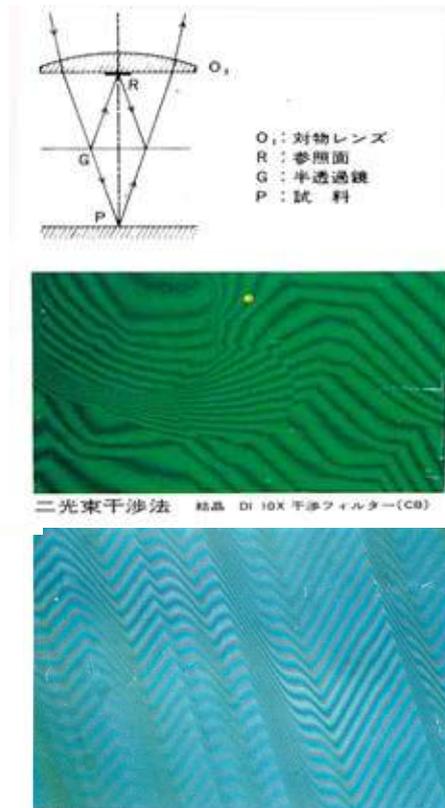
多重干渉法 二光束干渉法 光切断法

## サーフェスフィニッシュマイクロスコープ(ニコン)、金属顕微鏡像、光干渉



多重干渉法 結晶 MI 10X 干渉フィルター(NB) ※

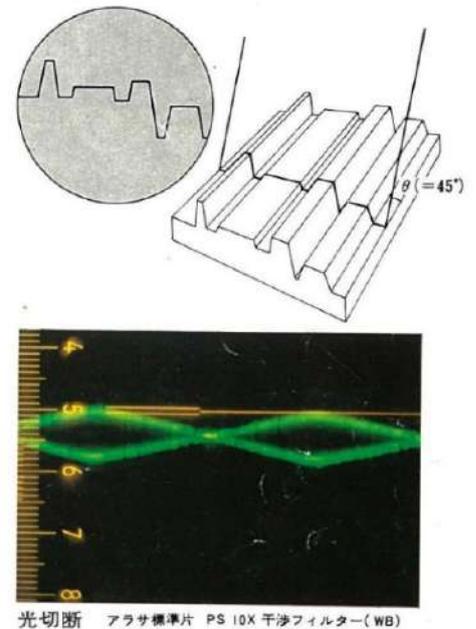
多重干渉



二光束干渉法 結晶 DI 10X 干渉フィルター(CB)

二光束干渉法 結晶 DI 20X

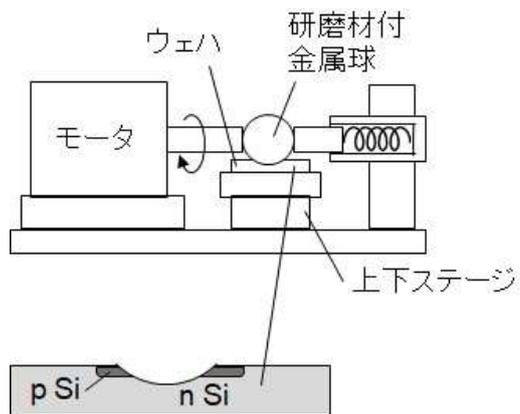
二光束干渉法



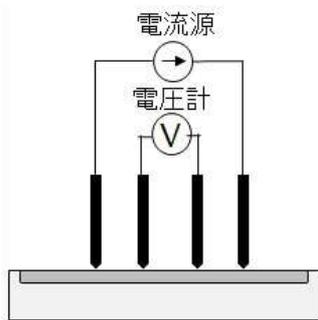
光切断 アラサ標準片 PS 10X 干渉フィルター(WB)

光切断法

## 12 光以外の各種測定法



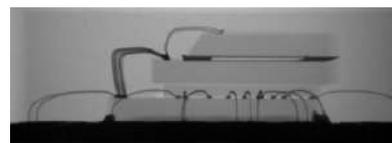
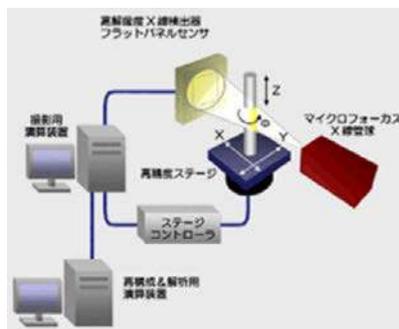
スフェリカルドリルで球面状に研磨後、p Si に着色し顕微鏡で拡散深さを測定



四探針法によるシート抵抗測定



原子間力顕微鏡 (AFM)  
(Park Systems NX-20)



マイクロ X 線 CT 装置 (クリーンルーム 1F) とそれによる 3 軸加速度センサの断面



走査型電子顕微鏡 (SEM)

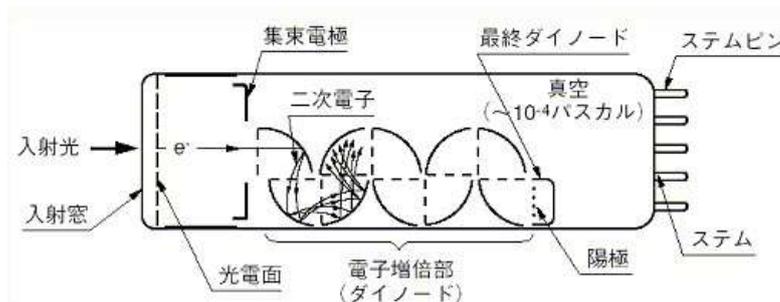


X 線回折装置

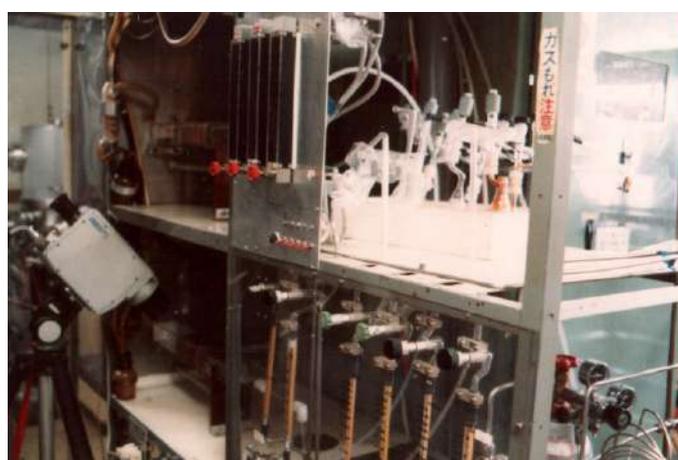
### 13 気体レーザー、光電子増倍管および(赤外線)放射温度計



気体レーザー（展示）（下は炭酸ガスレーザー）



光電子増倍管



(赤外線)放射温度計とその応用

## 14 4重ガラス管一体構造の liq.<sup>4</sup>He/liq.N<sub>2</sub> クライオスタットデューワー (1973年～)

東北大学の理化学ガラス機器の開発は創設時期に遡る。長い期間にわたり研究者との相互連携のもとガラス加工技術者が育ち、多くのユニークな実験器具が試作された。

ガラス製クライオスタットは高真空排気系とともに低温での物性、化学反応、動力学など基礎的研究に不可欠なものとして当時の非水溶液化学研究所(硝子研究所、非水研、現多元研)では、研究目的に適したデューワーが開発・製作されたが、なかでも石英・パイレックスガラス段継加工の高度なノウハウ確立により種々の型のガラス製クライオスタットが作られ極低温での赤外、紫外・可視吸収スペクトル、ESR スペクトル、交流磁化率計測などに用いられてきた。

展示の X バンド ESR 用ヘリウムデューワーは 1984 年頃松村善二郎作。4 重のガラス管を上部であわせ封着一体化した構造を持ち、石英とパイレックス両ガラス段継部は同軸胴体下部の 4 重絞り領域に形成されている。マイクロ波キャビティ挿入部の He 溜め石英管径が 5mm<sup>Φ</sup> と小さいことから液体ヘリウムの消費が少なく、長時間の測定を可能とした。

参考: 東北大学における理化学ガラス機器の開発(東北大学出版会)、

東北大理学部  
GlassShop



### 僅かな液体ヘリウムで長時間の測定を可能にした 4 重管構造のヘリウムデューワー

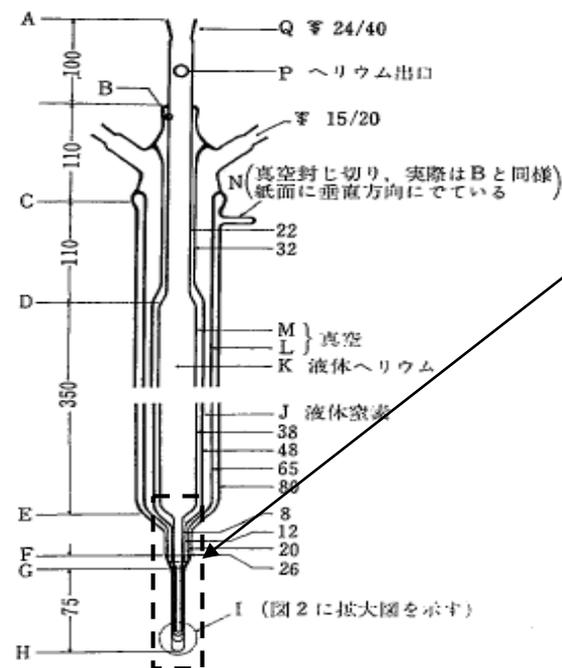
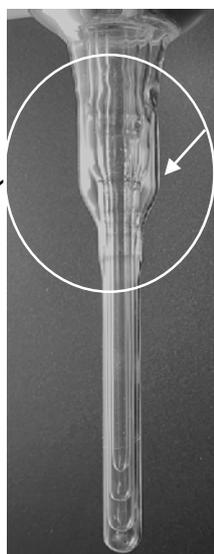


図 1 挿入型液体ヘリウムクライオスタット  
寸法の単位はすべて(mm)、ガラス管の径はすべて  
外径である



内管から外管まで4重の石英/パイレックス段継中間ガラス領域は垂直位置をずらして溶着されている。キャビティ挿入部石英直管の管壁肉厚と真空部間隙はいずれも 0.5 mm 前後と薄い。

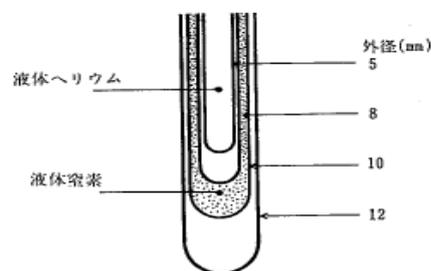


図 2 石英四重管の挿入部

石英管は研磨加工で薄肉化後、段継ガラス形成

出典: 松村善二郎ほか, *Rev. Sci. Inst.*, 45, 596 (1976); 非水研報告, 23, 165 (1973)