

MEMS の展望とBeans プロジェクトへの期待

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 江刺 正喜



1. はじめに
2. 自動車・家電(圧力センサ、加速度センサ、ジャイロ)
3. 情報・通信(ディスプレイ、データストレージ 他)
4. 製造・検査(マスクレス露光、プローバ 他)
5. 医療・バイオ他(極細光ファイバ血圧センサ 他)
6. 集積化MEMSと産業化の問題点

ST and ADI accelerometers power Nintendo controller



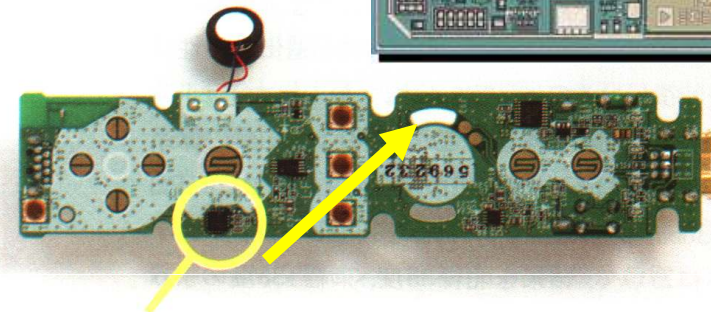
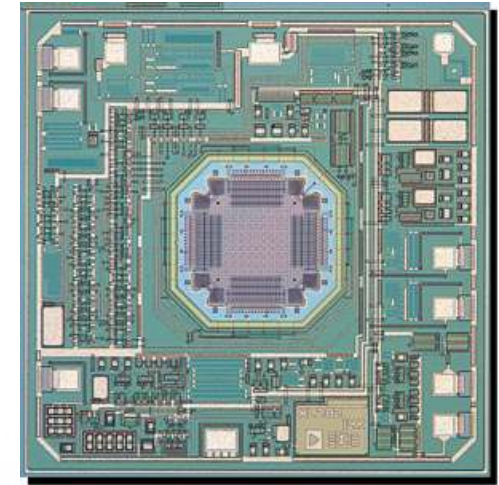
Wii (任天堂)のコントローラやiPhone (Apple)のユーザインターフェース

新しいWiiのコントローラにはインベンセンス社 (製造TSMC)のジャイロ搭載

加速度センサの応用

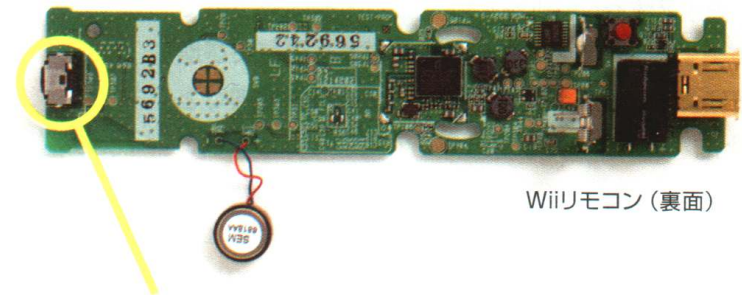
(多様化による高付加価値化の傾向、先端的な微細化では投資に対するリターンが少ない) ²

(a) 基板表面



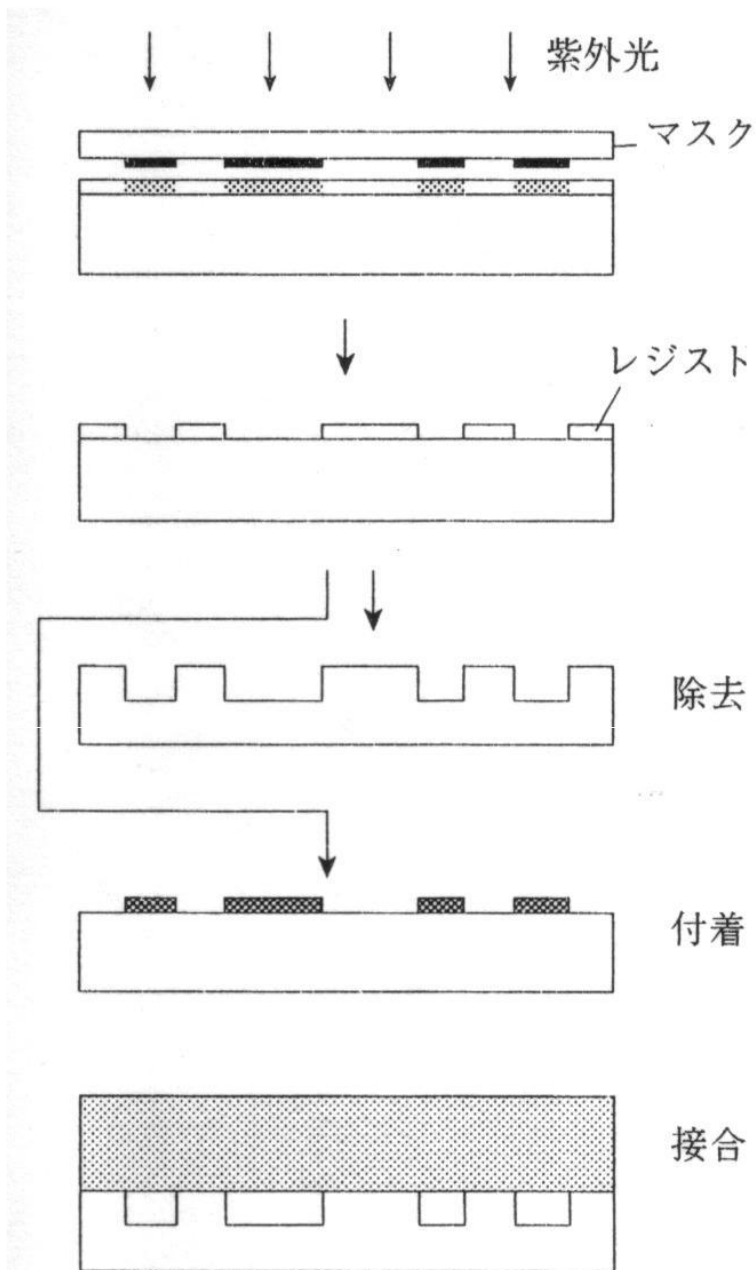
米Analog Devices社製3軸加速度センサ

(b) 基板裏面



Wiiリモコン (裏面)

米PixArt Imaging社製CMOSイメージ・センサ



MEMS

(Micro Electro Mechanical Systems)

回路＋構造体＋センサ＋アクチュエータ

多様な要素を集積化し高度な働きをする
小形システム。

・光・機械・電気・材料などの異分野を融合(**ヘテロ集積化**)。半導体微細加工技術(**マイクロマシニング**)で製作し、高付加価値基幹部品を供給。

特長:

小形 (高感度、高速応答、空間分解能)

集積化 (アレイ構造、回路内蔵)

低コスト (量産性)

フォトリソレーションとマイクロマシニング

1. はじめに

2. 自動車・家電(圧力センサ、加速度センサ、ジャイロ)

3. 情報・通信(ディスプレイ、データストレージ 他)

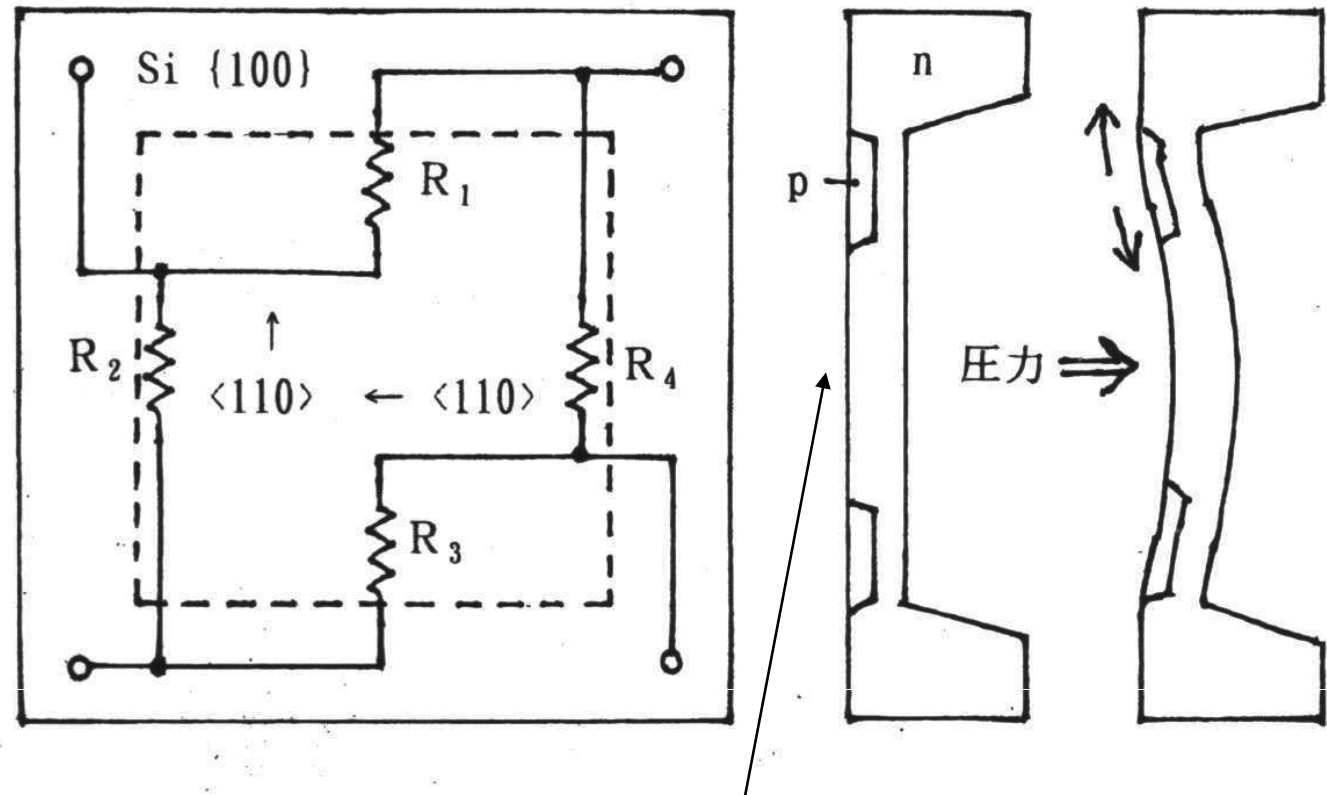
4. 製造・検査(マスクレス露光、プローバ 他)

5. 医療・バイオ他(極細光ファイバ血圧センサ 他)

6. 集積化MEMSと産業化の問題点



五十嵐 伊勢美 氏
(豊田中央研究所)



シリコン感圧ダイアフラム

1954 ピエゾ抵抗効果 (ベル研究所(米))

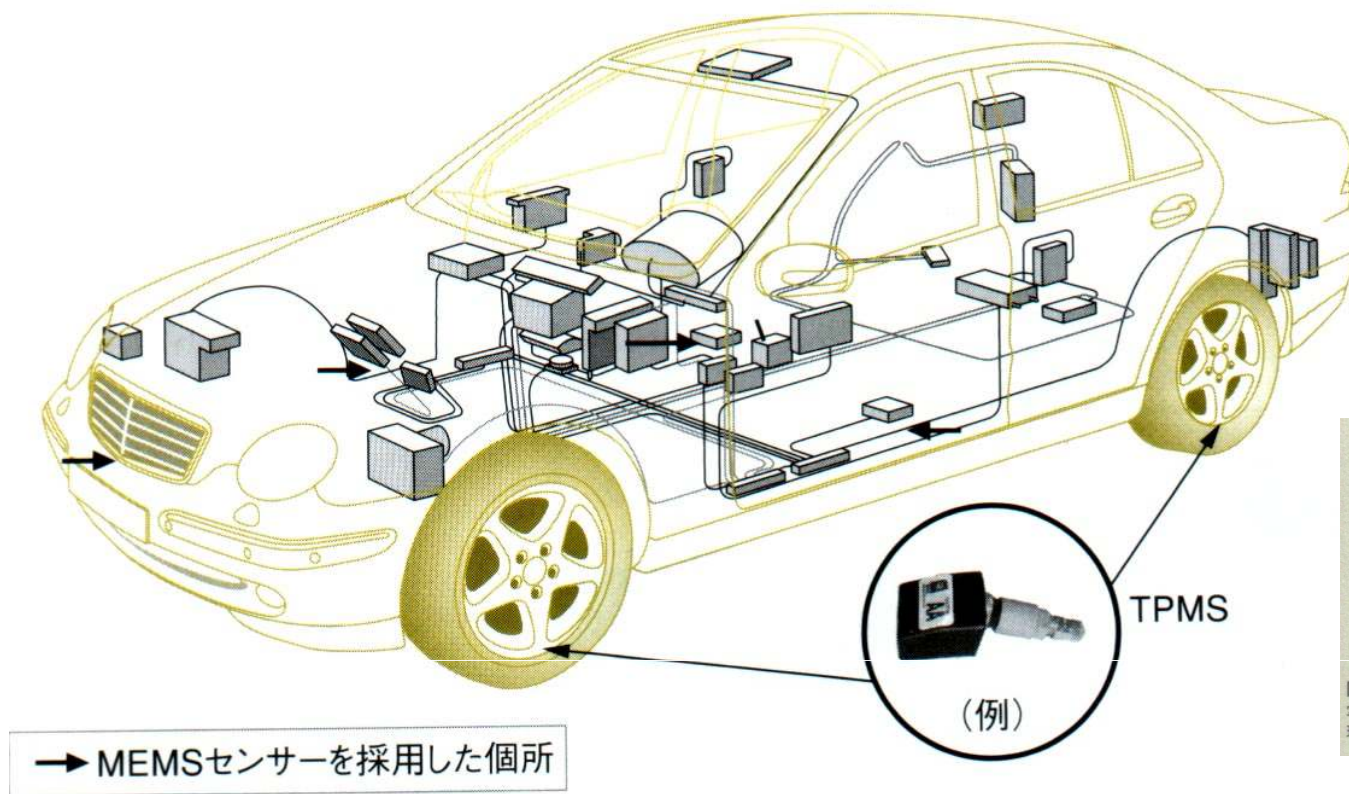
1963 シリコンダイアフラム圧力センサ (トヨタ中央研究所, ハネウエル社(米))

1980年代 自動車の排気ガス規制対策などに実用化

ピエゾ抵抗型圧力センサ

	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代	2000年代
	スタンフォード大学で研究 名称MEMS				
自動車					
圧力センサ		シリコン圧力センサ研究 (ハネウエル、トヨタ中研)	エンジン用圧力センサ (自動車排ガス対策)	血圧センサ	タイヤ圧モニタ (Bosch)
加速度センサ				自動車エアバック (ADI)	ハードディスク保護 ゲームユーザインターフェース
角速度センサ (ジャイロ)					自動車走行安全制御 デジカメ手振補正
マイクロホン				MEMSマイク研究・製品化	携帯電話用
RFMEMS				FBAR (アジレント 2001)	周波数源 (SiTIME 2006)
インクジェットプリンタ		プリンタヘッド研究 (IBM 1978)	熱型インクジェットヘッド (HP, キヤノン 1987)		
ディスプレイ		DMDプロジェクト研究 (TI社 1977)	DMDプロジェクト製品化 (TI社 1996)	ピコプロジェクト (TI社)	
熱型赤外イメージャ				実用化開始 (ハネウエル, NEC)	自動車ナイトビジョン (GM 2000)

主要なMEMS製品化 (製品個数10倍/年、売上+15%/年)



圧力以外に温度や
加速度のセンサも

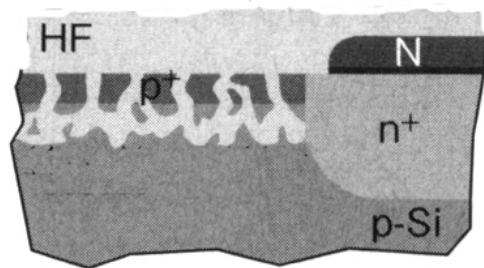
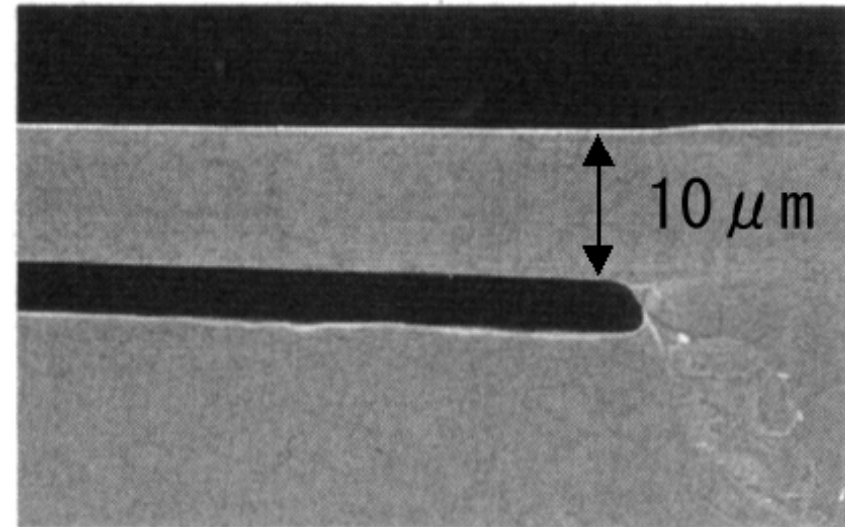
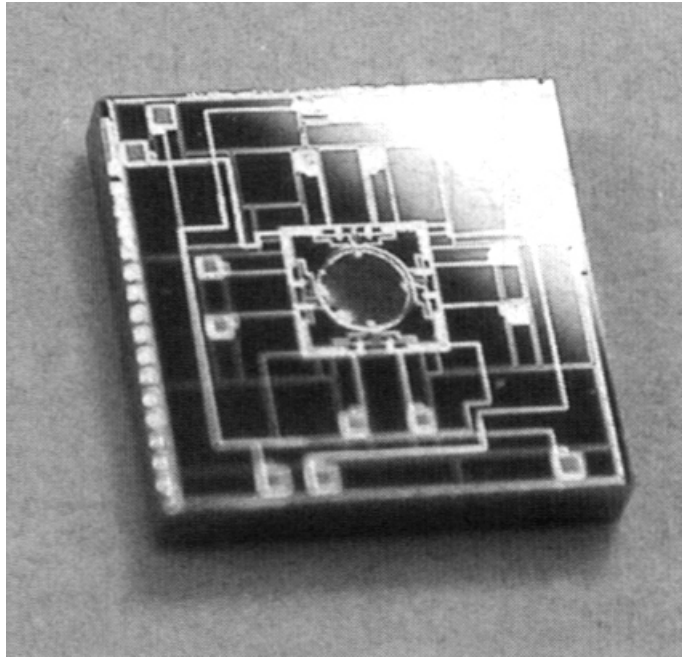


TPMS (Tire Pressure Monitoring System) → 安全、燃費向上

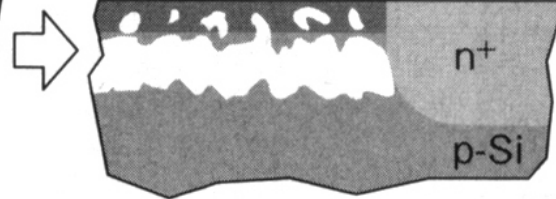
2000年 米国 Ford社のExplorerに装着したBridgestone/Firestone社のタイヤ剥離事故

→ TREAD法 (Transportation Recall Enhancement Accountability and Document Act) でTPMSの装着が義務付け

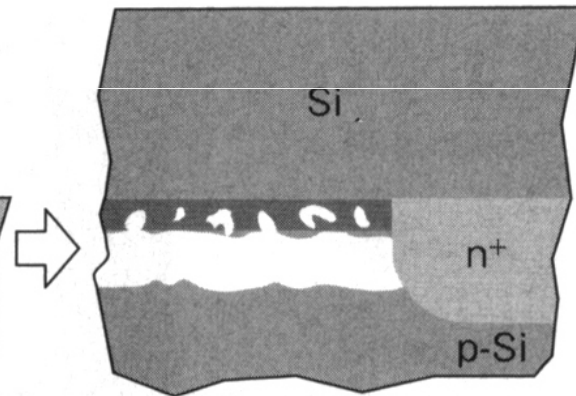
2005年10月 20%、2006年9月 70%、2007年9月以降100% 米国で販売される車両



ポーラス Si形成（陽極化成）

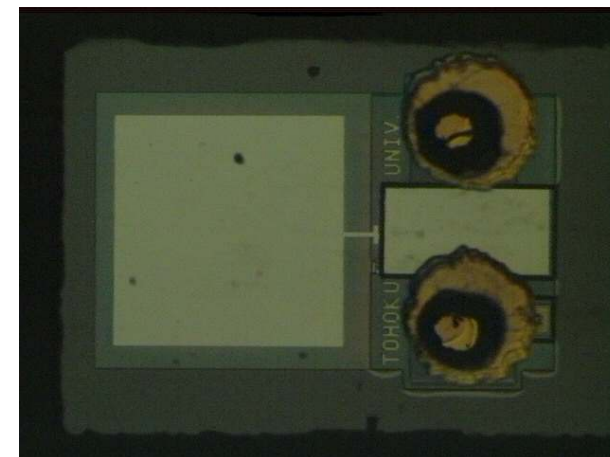
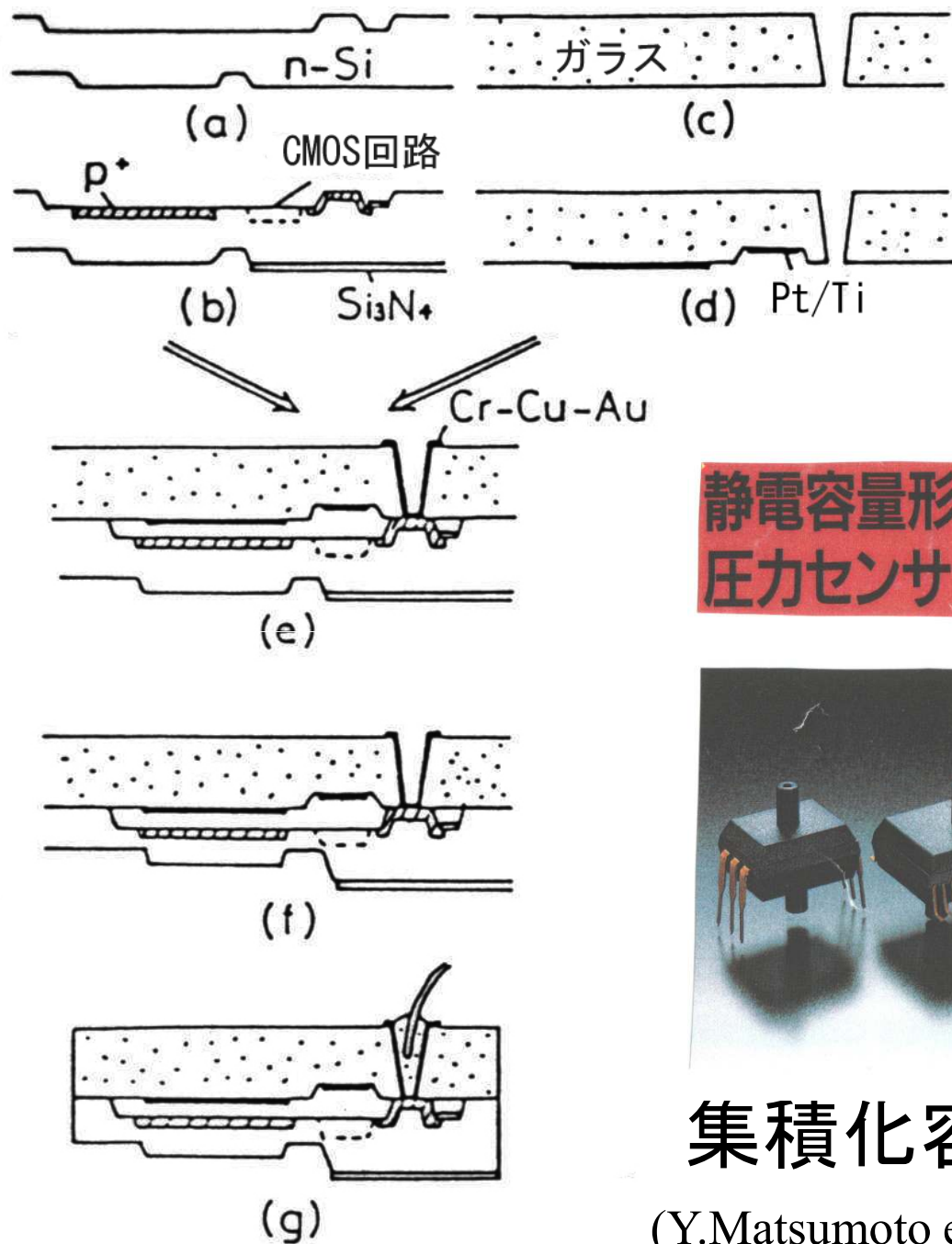


水素中熱処理



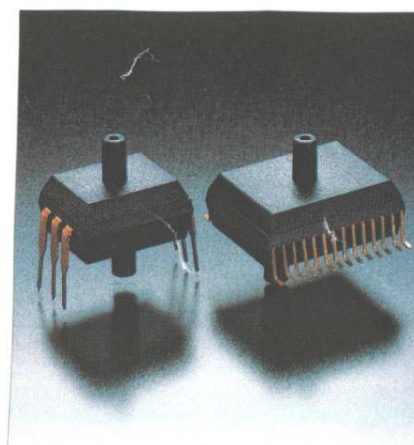
Siエピタキシャル成長

ボッシュ社の圧力センサ



静電容量形モリシック
圧力センサ

TOYODA
CS 2000
SERIES



●超微圧測定に最適

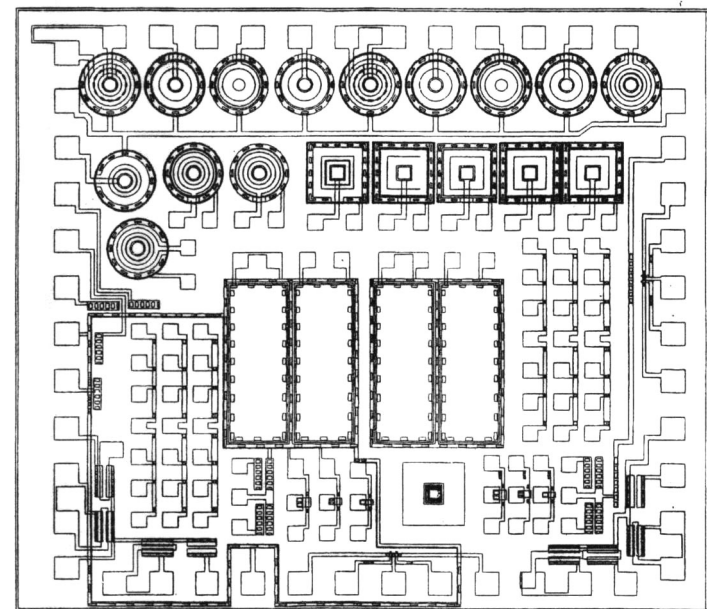
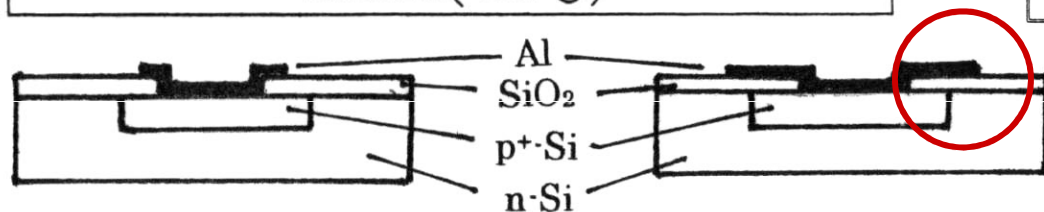
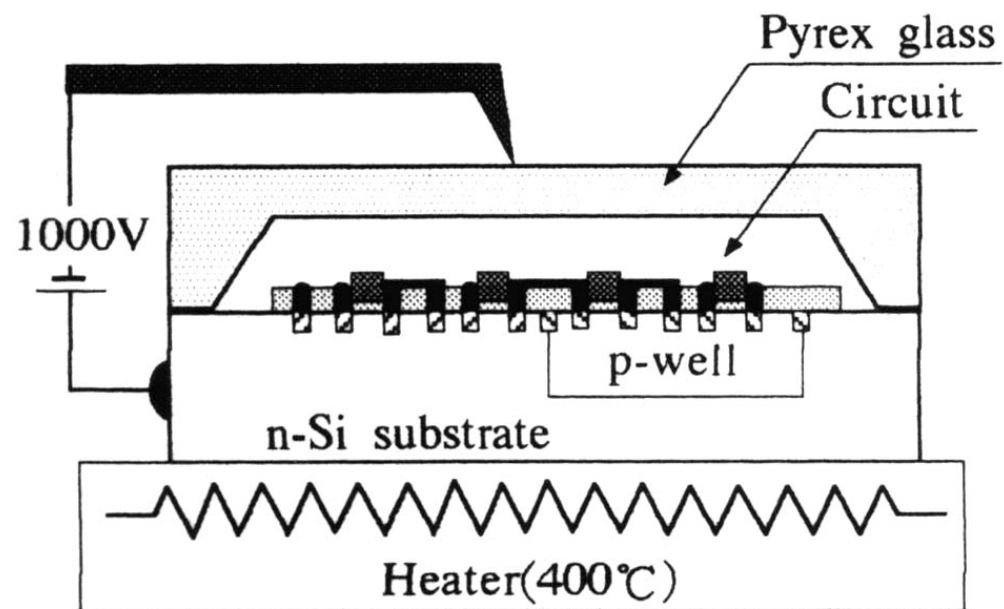
測定定格は10mmH₂O～。超微圧領域まで測定できます。

●超小形

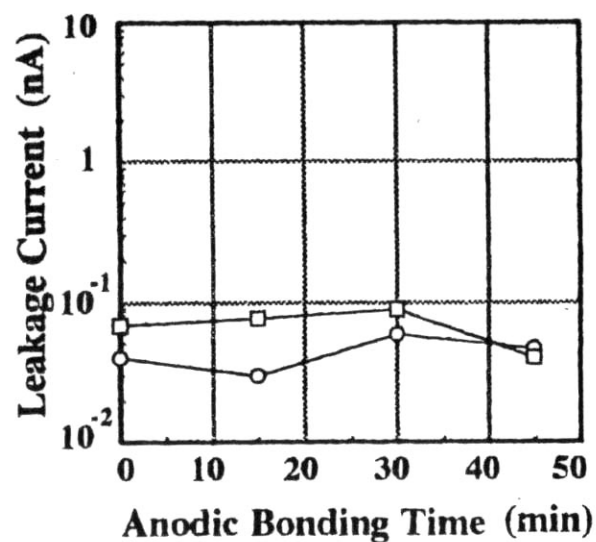
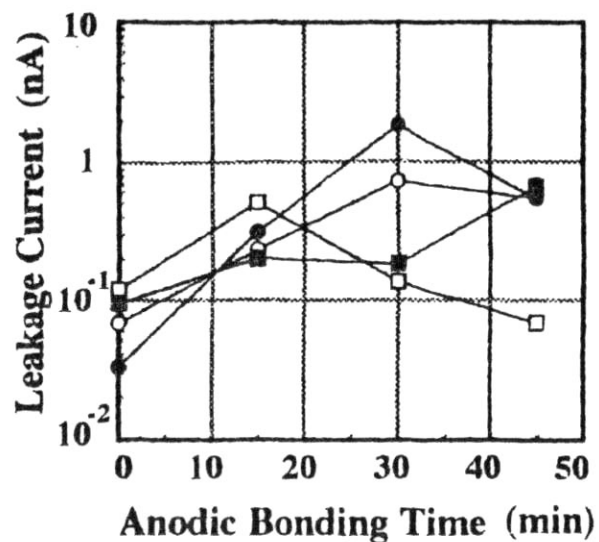
- プロセス制御機器
- 医療機器
- 空圧制御機器
- 家電製品
- コンピュータ周辺機器

集積化容量型圧力センサ

(Y.Matsumoto et.al.11th Biotelemetry, 1990)

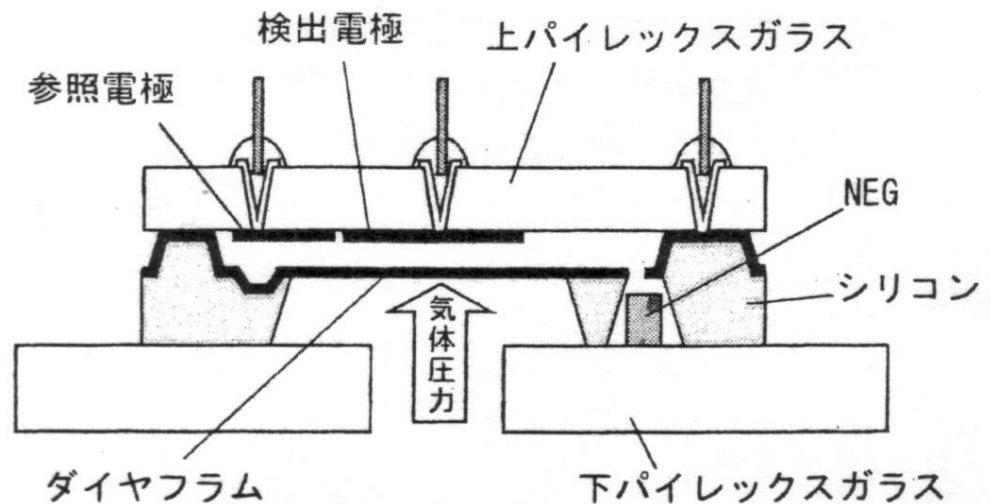
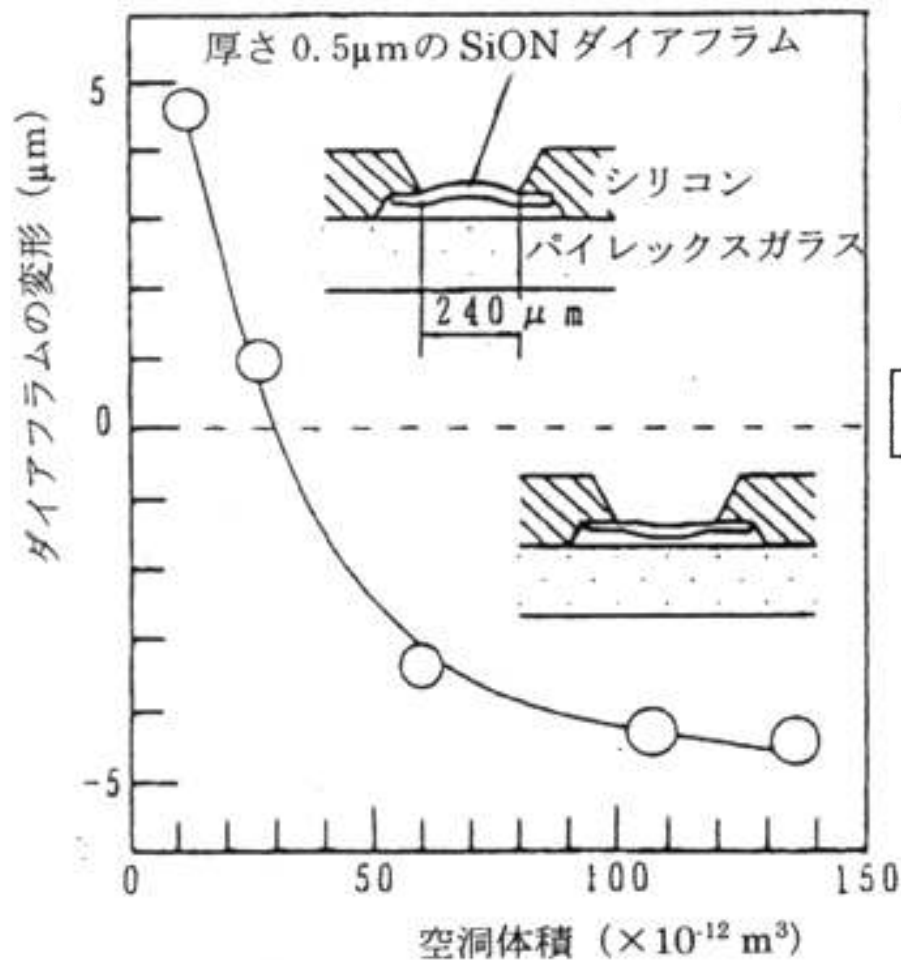


TEG



陽極接合工程の CMOS回路への影響

(白井、江刺：電気学会研究会
資料, ST-92-7, (1992) 9-17)



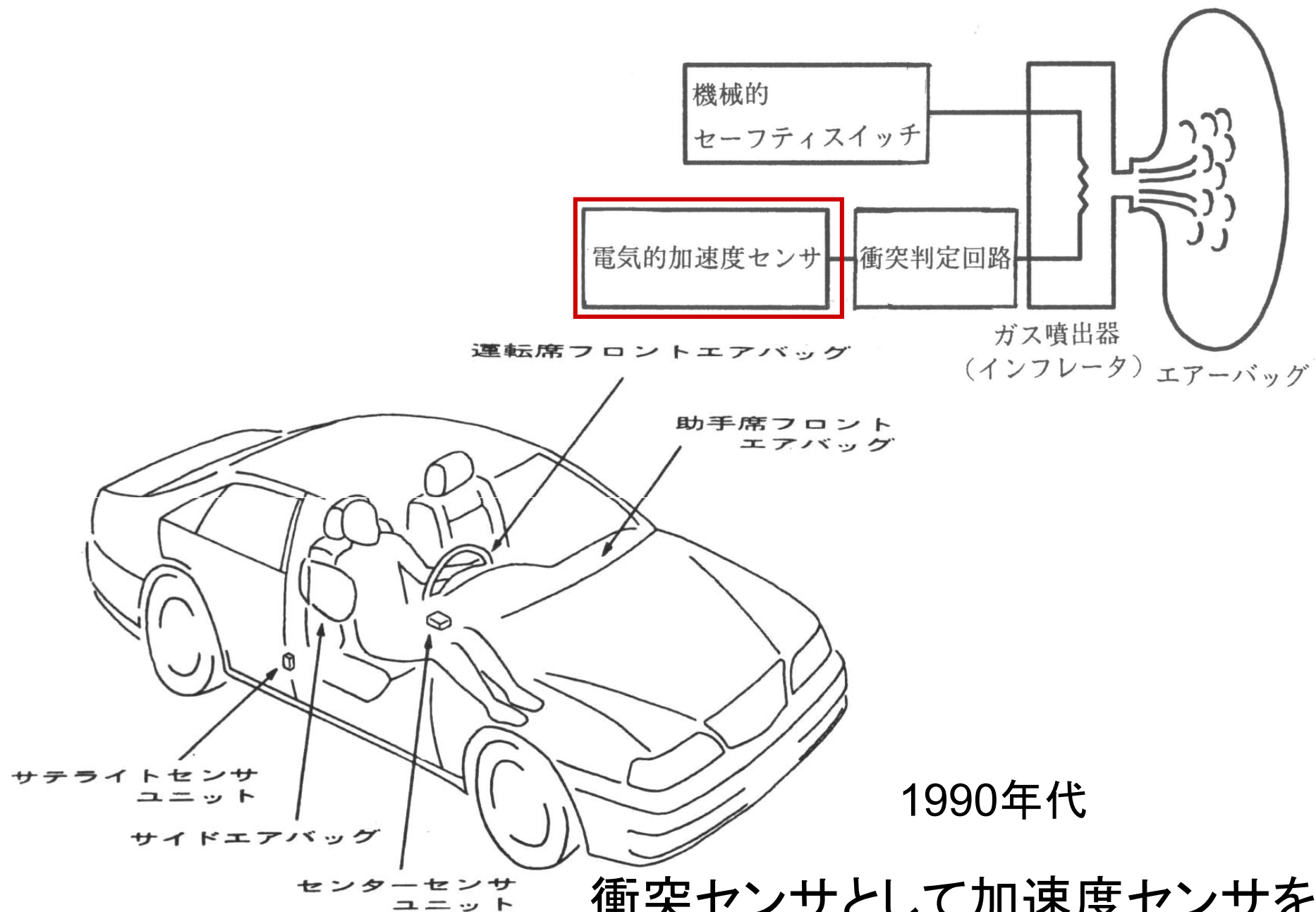
陽極接合時の酸素ガス発生



(裏則岳 他, 第11回センサの基礎と応用シンポジウム講演概要集, (1992), 63)

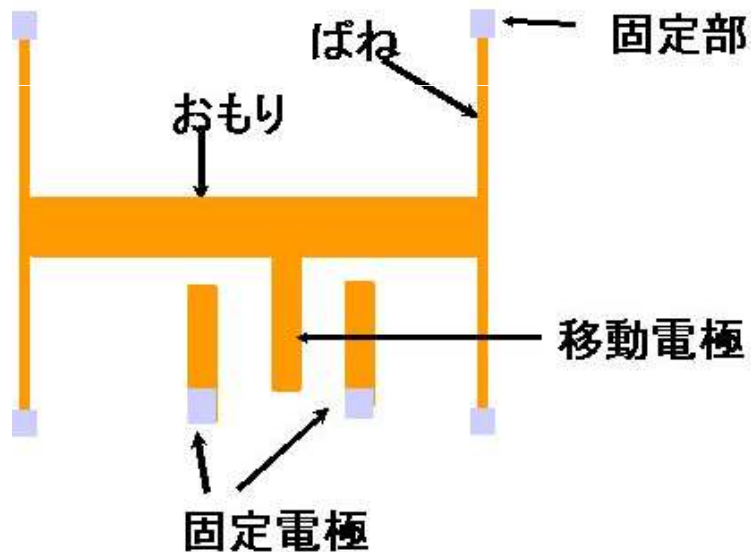
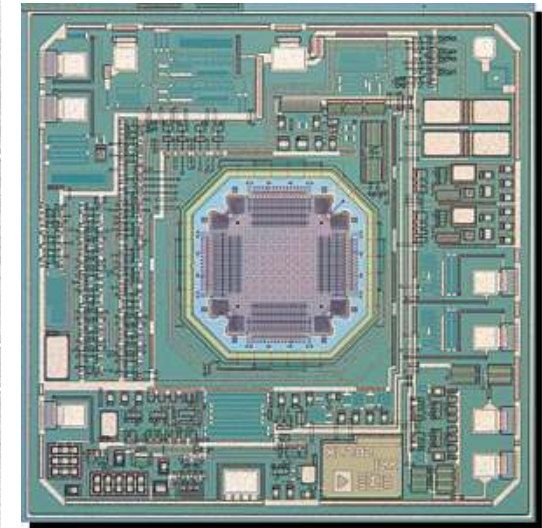
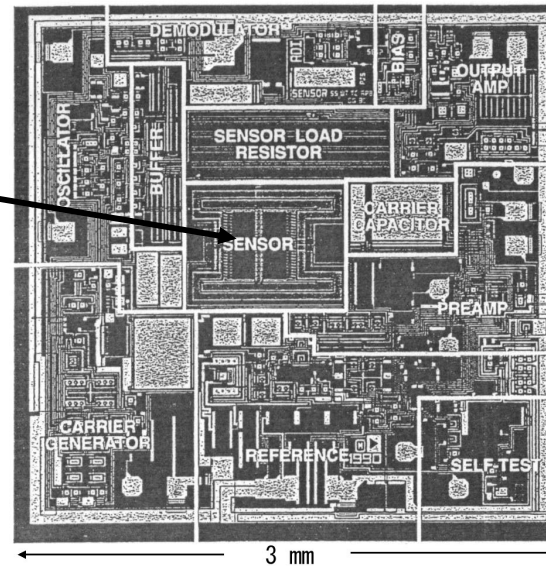
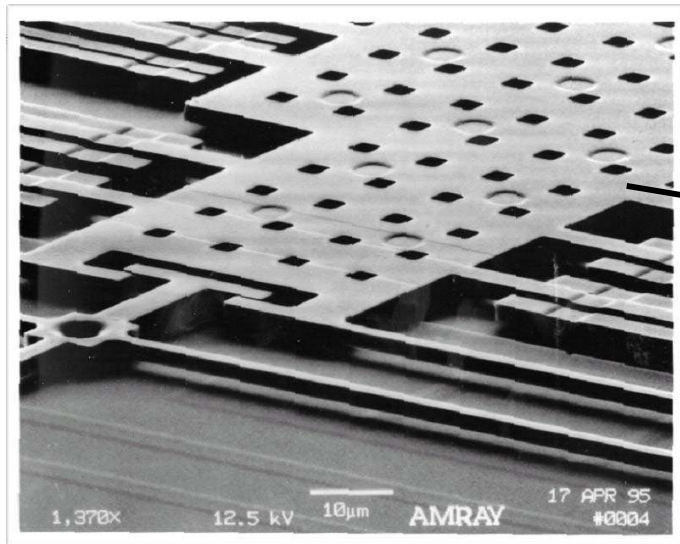
非蒸発型ゲッタ(NEG) を用いた容量型真空センサ

(宮下、アネルバ技報、11 (2005) p.37) ¹¹

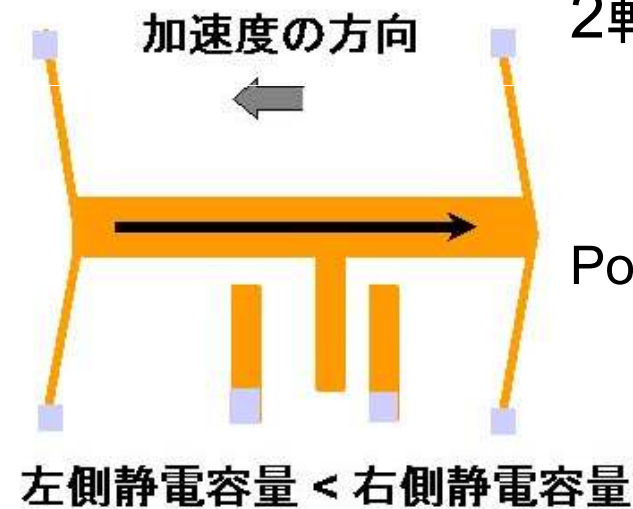


1990年代

衝突センサとして加速度センサを用いたエアバッグシステム



定常状態のセンサ

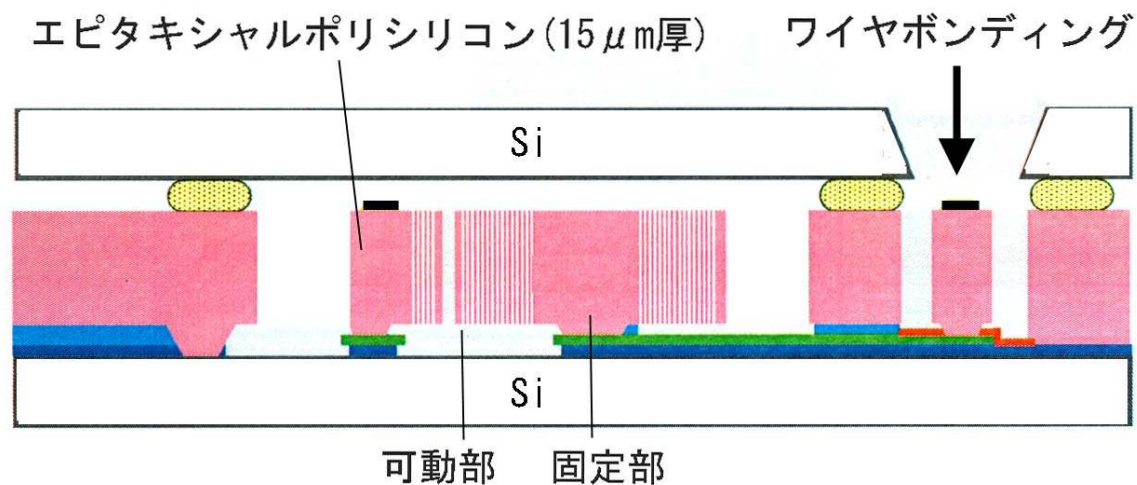
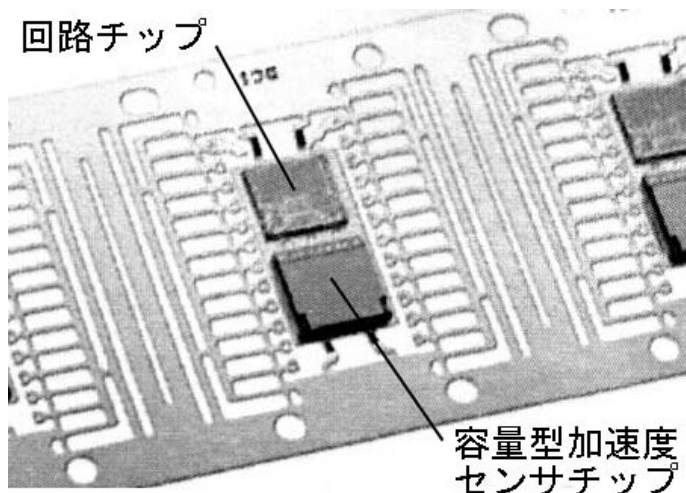


加速度印加状態のセンサ

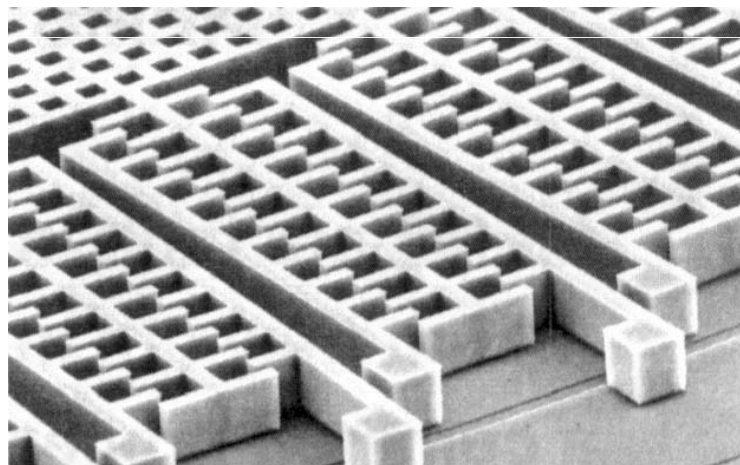
2軸加速度センサ

Poly-Si 厚さ1.5µm

集積化加速度センサ(アナログデバイス社)



加速度センサチップの断面構造



THELMA process

厚いポリSi (15 μm)

研磨、Deep RIE、
HFドライエッチング、
ウェハ接合

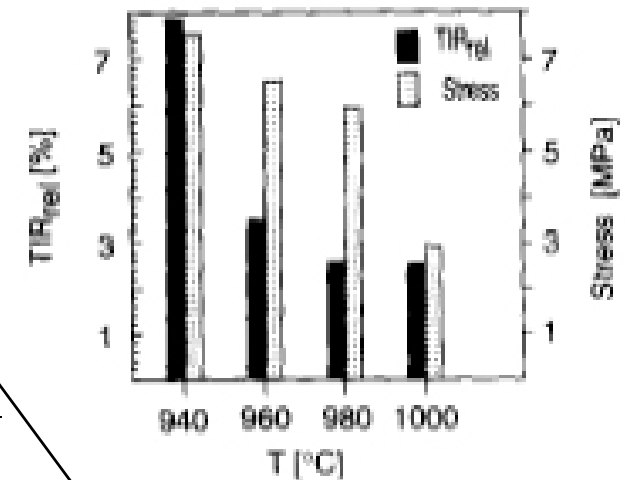
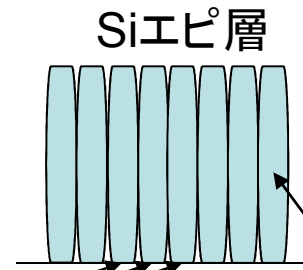
振動ジャイロのエピタキシャルポリシリコン構造
厚いポリシリコンを用いた横方向に動く容量型センサ

ST Microelectronicsの加速度センサ (Electronic Journal 2008)⁴

Table 1

Comparison of the deposition rate (Dep. R.), surface roughness (TIR_{rel}) and residual stress for process at atmospheric (ATM) and reduced (RP) pressure for three deposition temperatures. The negative sign for the stress indicates a compressive state, the positive sign a tensile state

	900 °C		950 °C		1000 °C	
	RP	ATM	RP	ATM	RP	ATM
Dep. R. ($\mu\text{m min}^{-1}$)	0.18	0.4	0.37	0.55	0.55	0.75
TIR_{rel} (%)	28.6	21.7	5.0	21.6	2.7	3.5
Stress (MPa)	—	-95.0	+7.0	-70.0	+3.0	-25.0



減圧(RP)での応力と平坦度

① SiO₂上にLPCVDで核形成 (650°C) 125nm厚

② エピタキシャル成長炉を用いたpoly-Si成長 (900-1000°C) 10μm厚

ジクロルシラン (SiH₂Cl₂)使用、装置はAMC7811 (Applied Materials) 縦型炉

常圧(ATM)と減圧(RP)、ドーピング時 (5%PH₃in H₂)

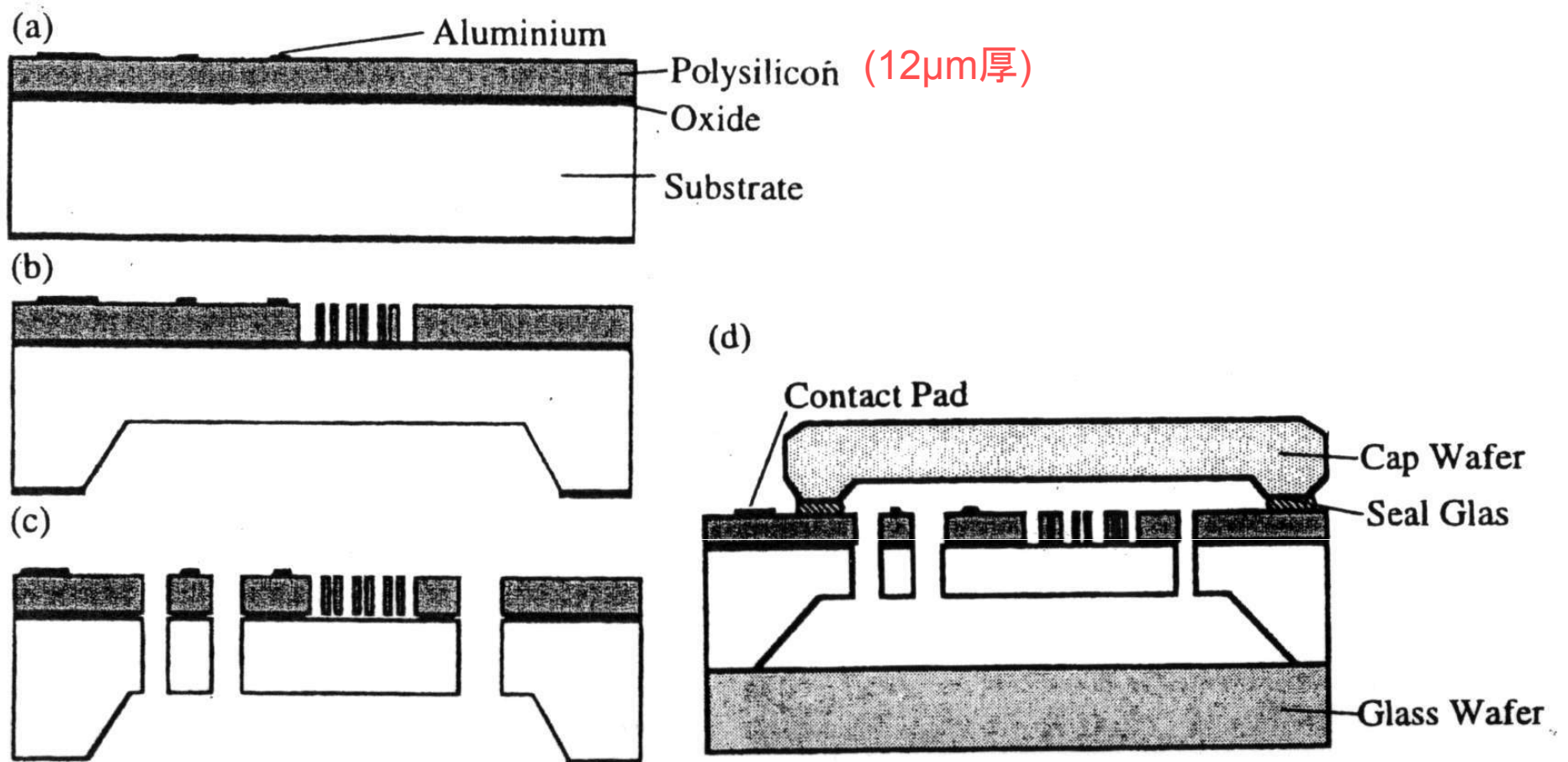
結果：堆積速度大(0.4 – 0.7μm / min)、ドーピングは影響なし。

温度1000°Cの時、減圧で低応力(3MPa)、表面粗さ 270nm / 10μm (約3%)(縦カラム)

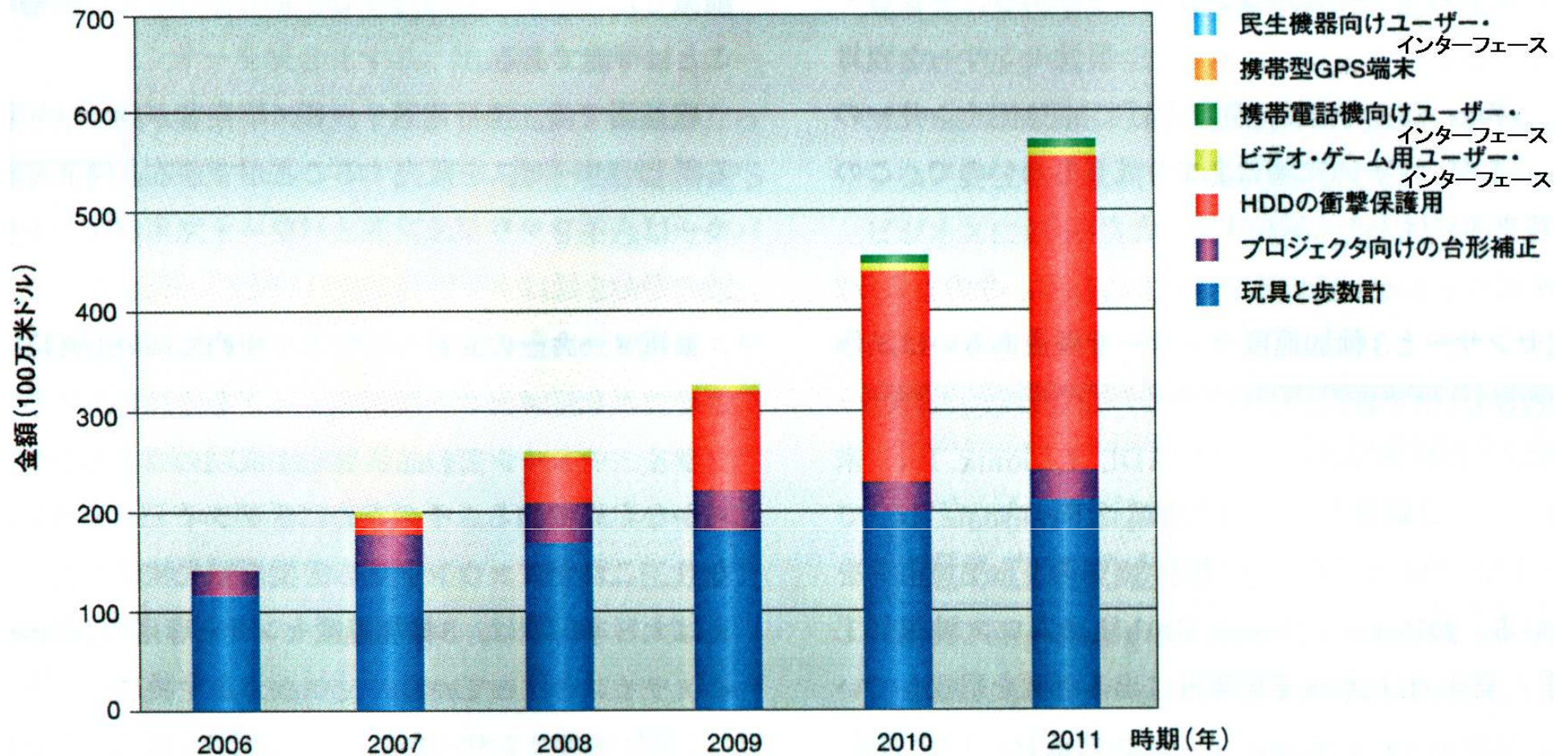
SiH₄をソースにして低温化すれば面粗さ減らせる？

エピタキシャル成長炉を用いた低応力厚膜poly-Si (エピポリ)

(M.Kirsten他 (Fraunhofer-Inst., Upsala Univ.), Thin Solid Films, 259 (1995) pp.181-187)

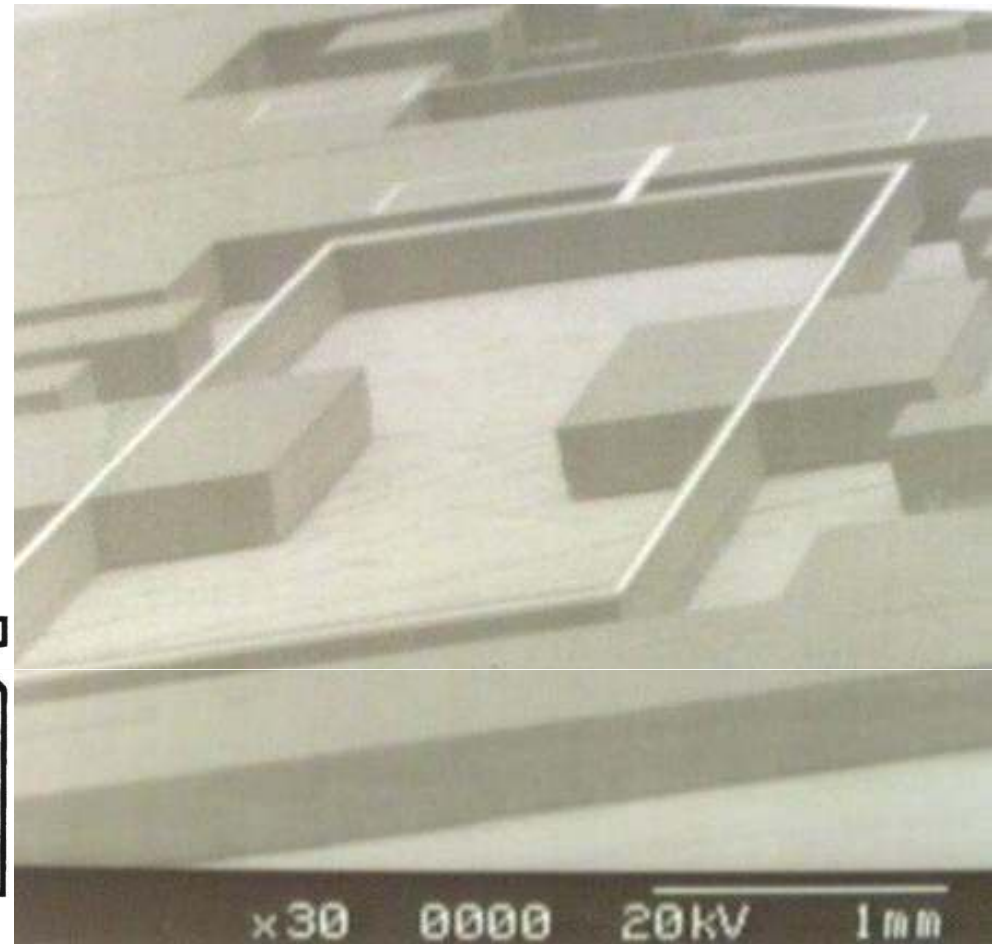
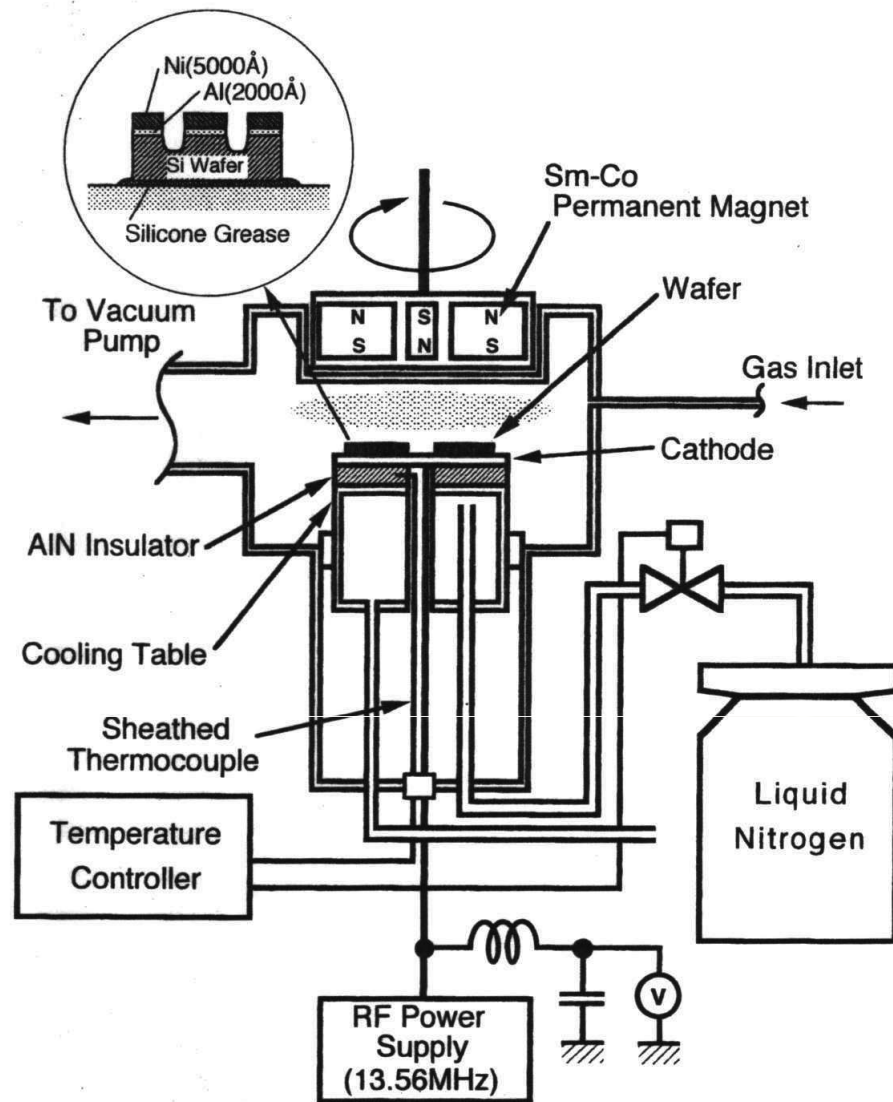


HFによるドライエッチングを用いたシリコン振動ジャイロの作製
(BOSCH)



民生用3軸加速度センサの市場(予測) (yole development)

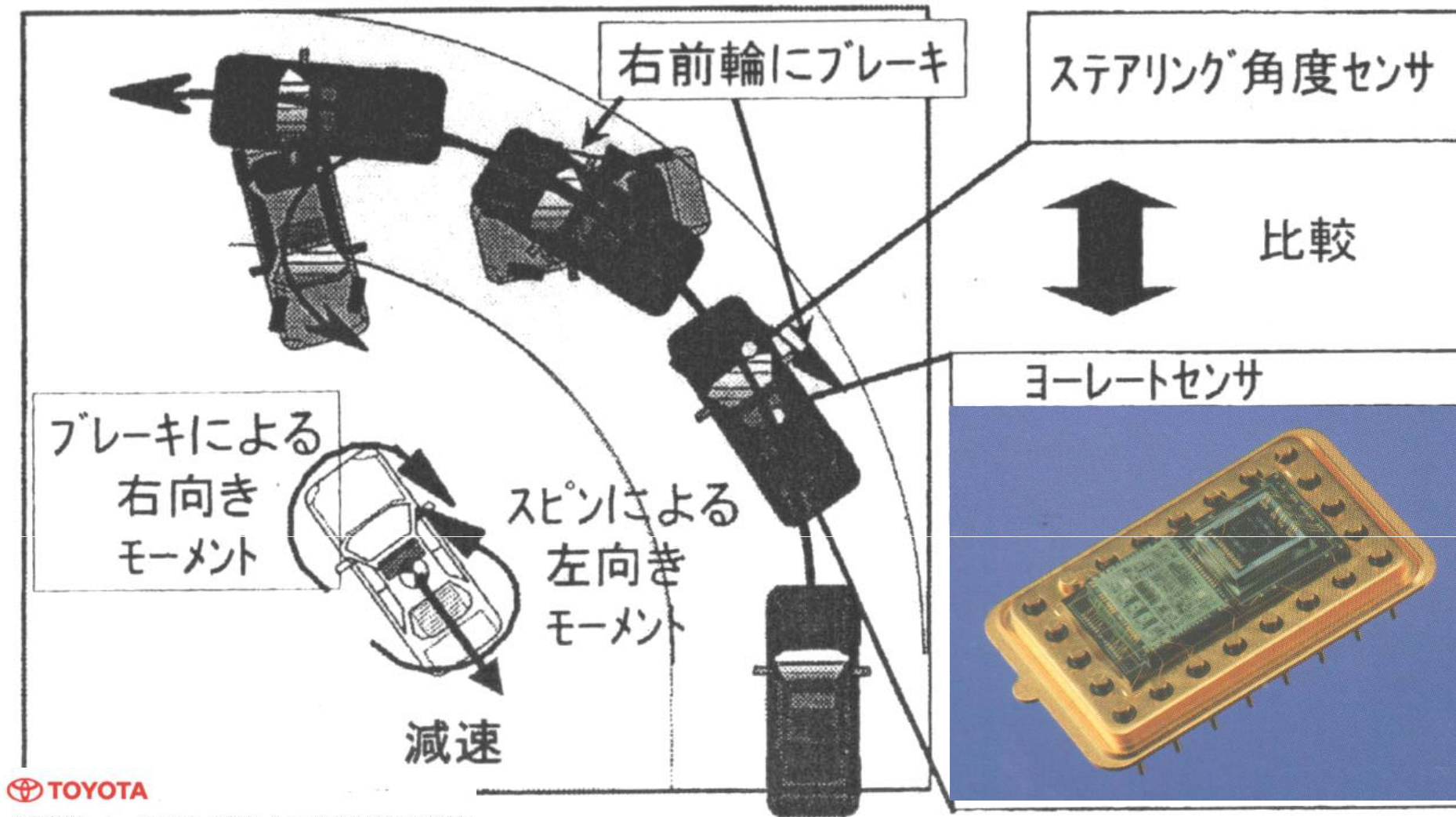
(日経マイクロデバイス、MEMSentury Japan, 2008/3)



Deep RIEで加工した電磁駆動容量検出シリコン振動ジャイロ

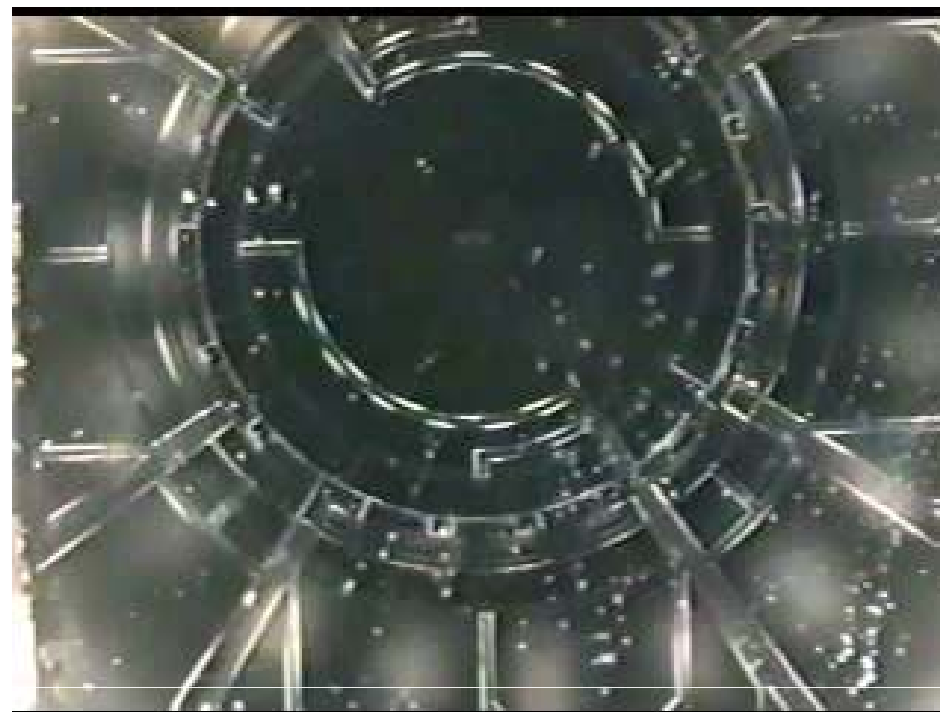
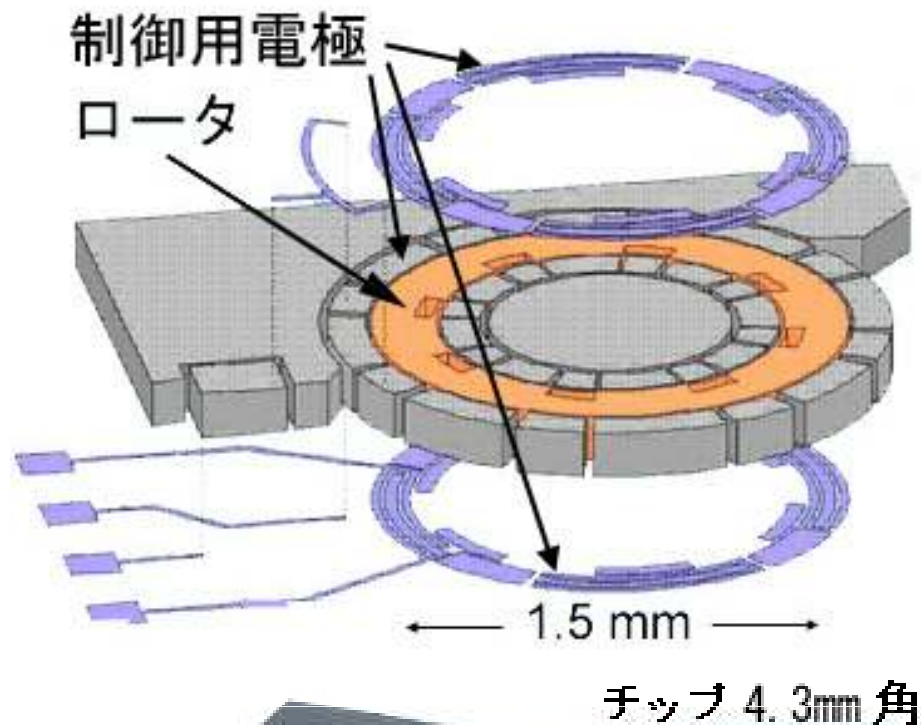
Si deep RIE システム

(M.Takinami, 11th Sensor Symposium, (1992) p.15)



自動車の走行安定性を向上させる ヨーレートセンサ (ジャイロ)

(川橋 憲 他: 計測と制御 40 (2001) p.848)



ロータ径1.5mm 毎分7.4万回転

静電浮上回転ジャイロ

(高速デジタル制御で静電浮上・回転)

(東京計器(株) **KEIKI** TOKYO 村越尊雄 氏、中村茂 氏)



MESAG-100 (Micro Electrostatically Suspended Accelerometer Gyro)

運動制御や航行制御、自立運動ロボットなど (2軸回転と3方向の加速度を高精度同時検出)

1. はじめに

2. 自動車・家電(圧力センサ、加速度センサ、ジャイロ)

3. 情報・通信(ディスプレイ、データストレージ 他)

4. 製造・検査(マスクレス露光、プローバ 他)

5. 医療・バイオ他(極細光ファイバ血圧センサ 他)

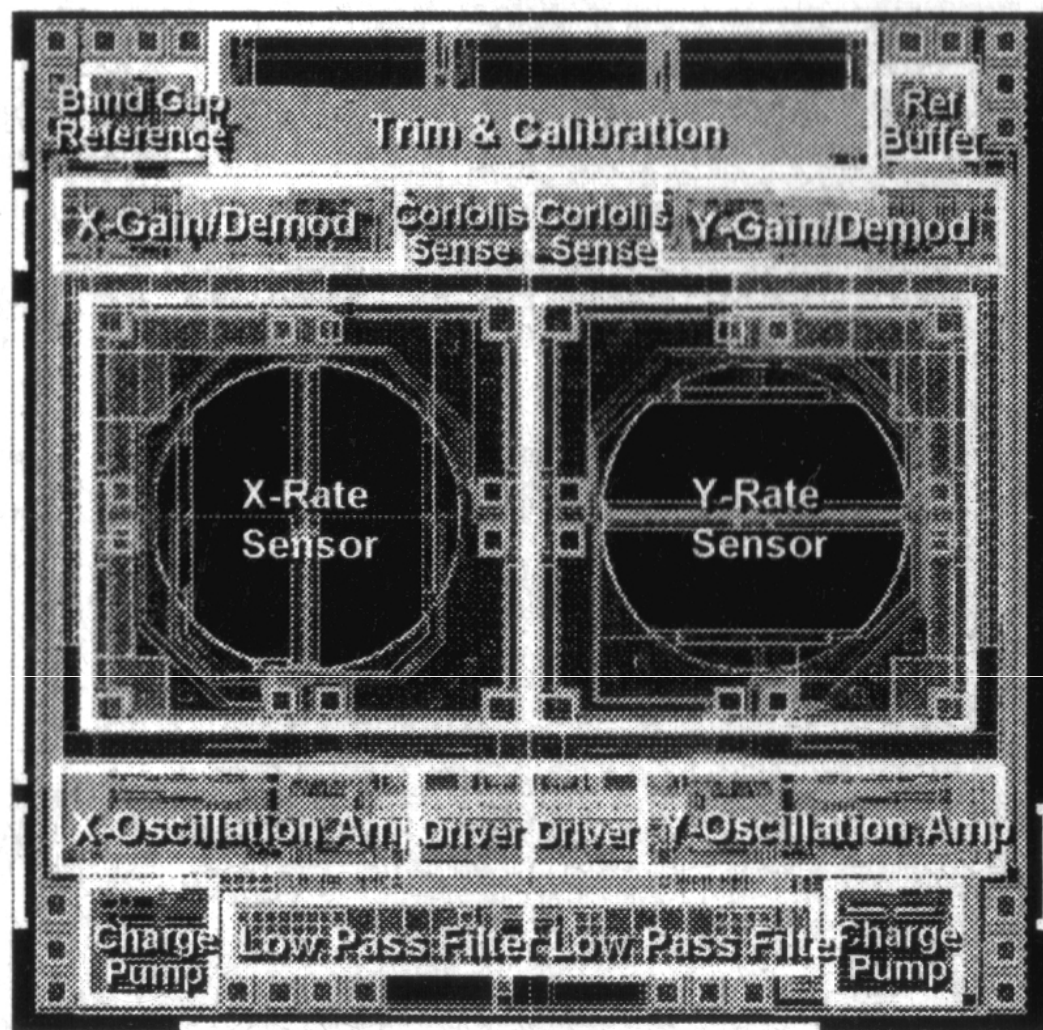
6. 集積化MEMSと産業化の問題点



iBOT

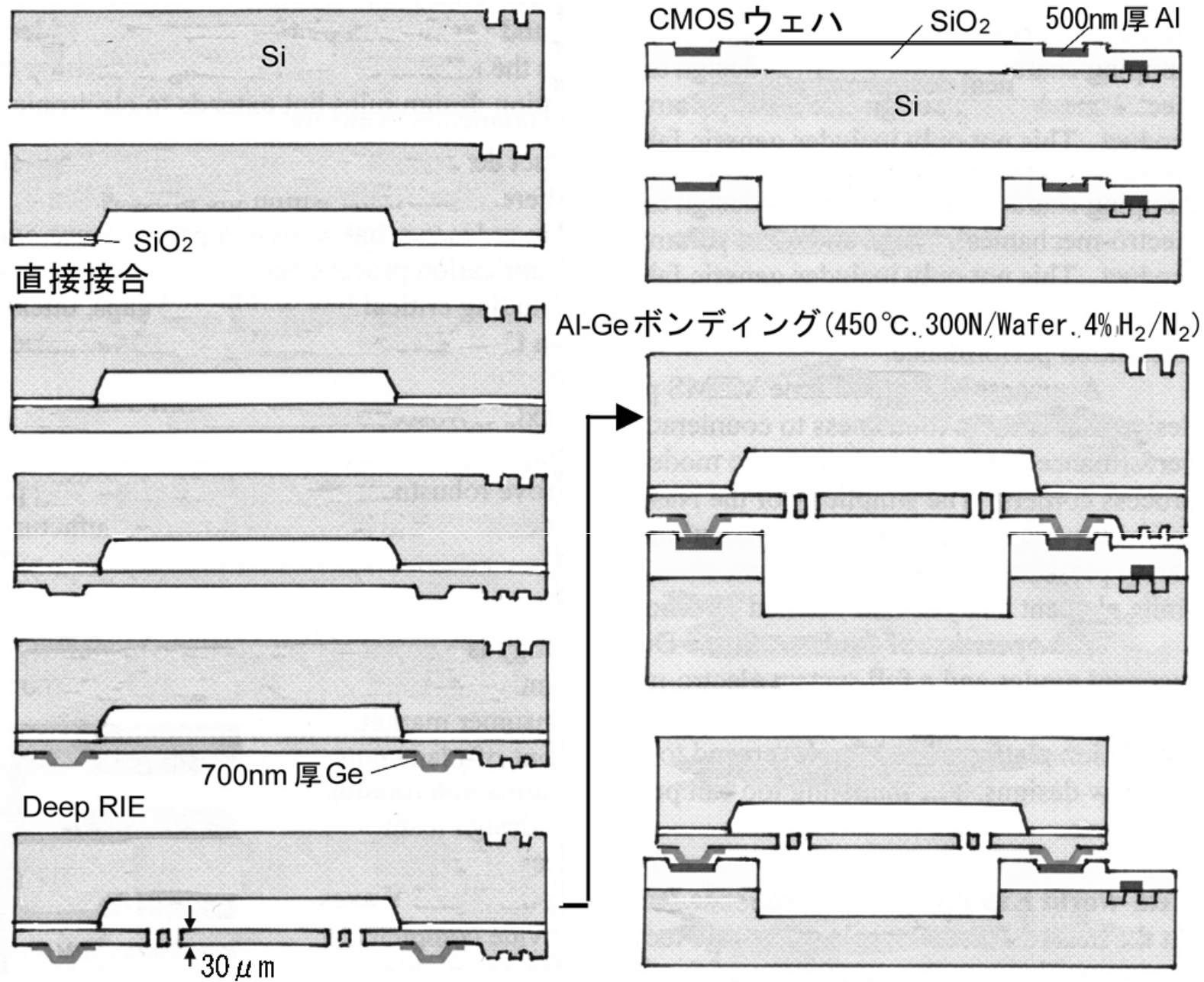


Segway

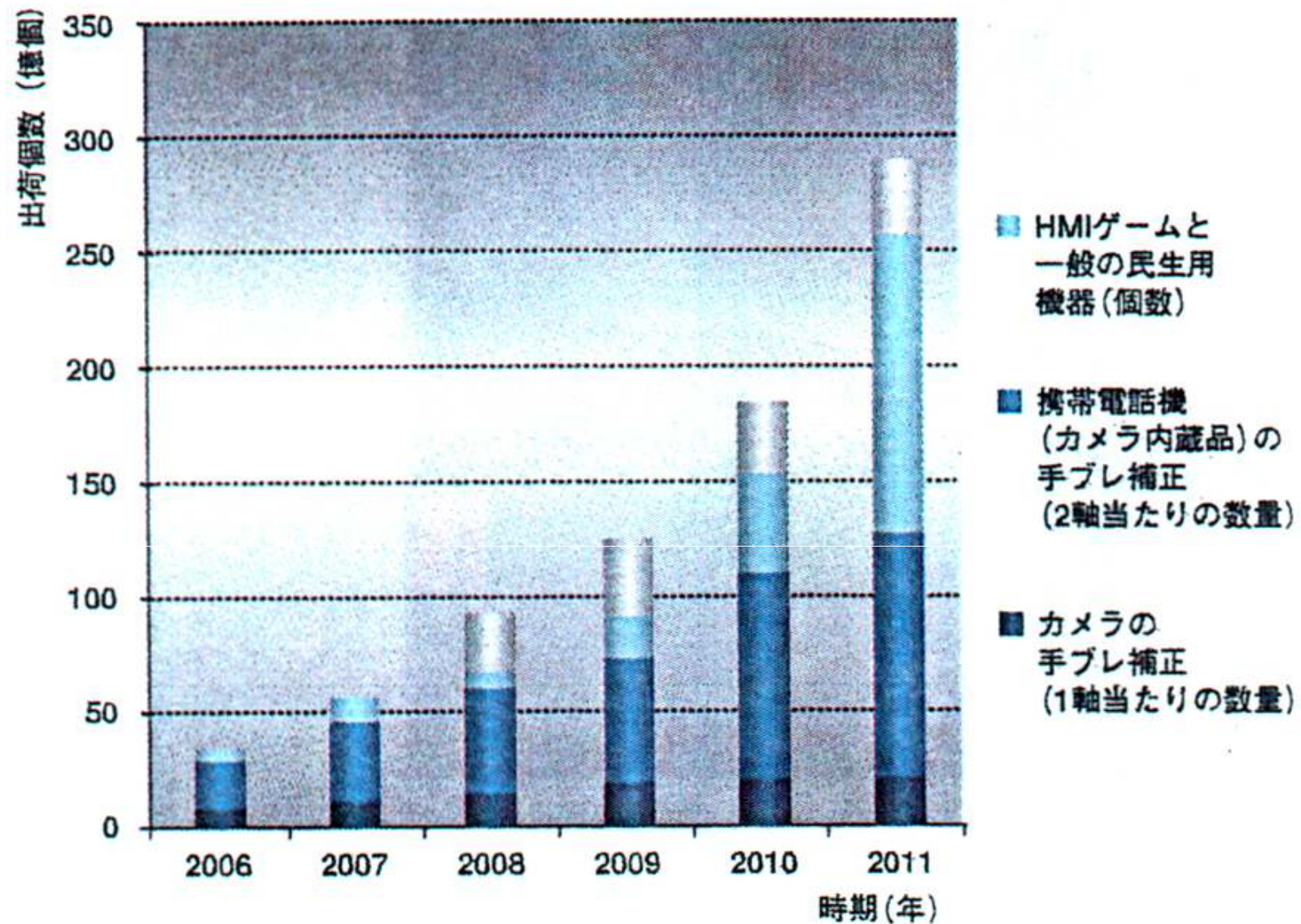


手ぶれ防止とインベンセンス社の2軸
角速度センサ (IDG-1000)

(三宅常之, 日経マイクロデバイス 2006年2月号,
pp.25-45)

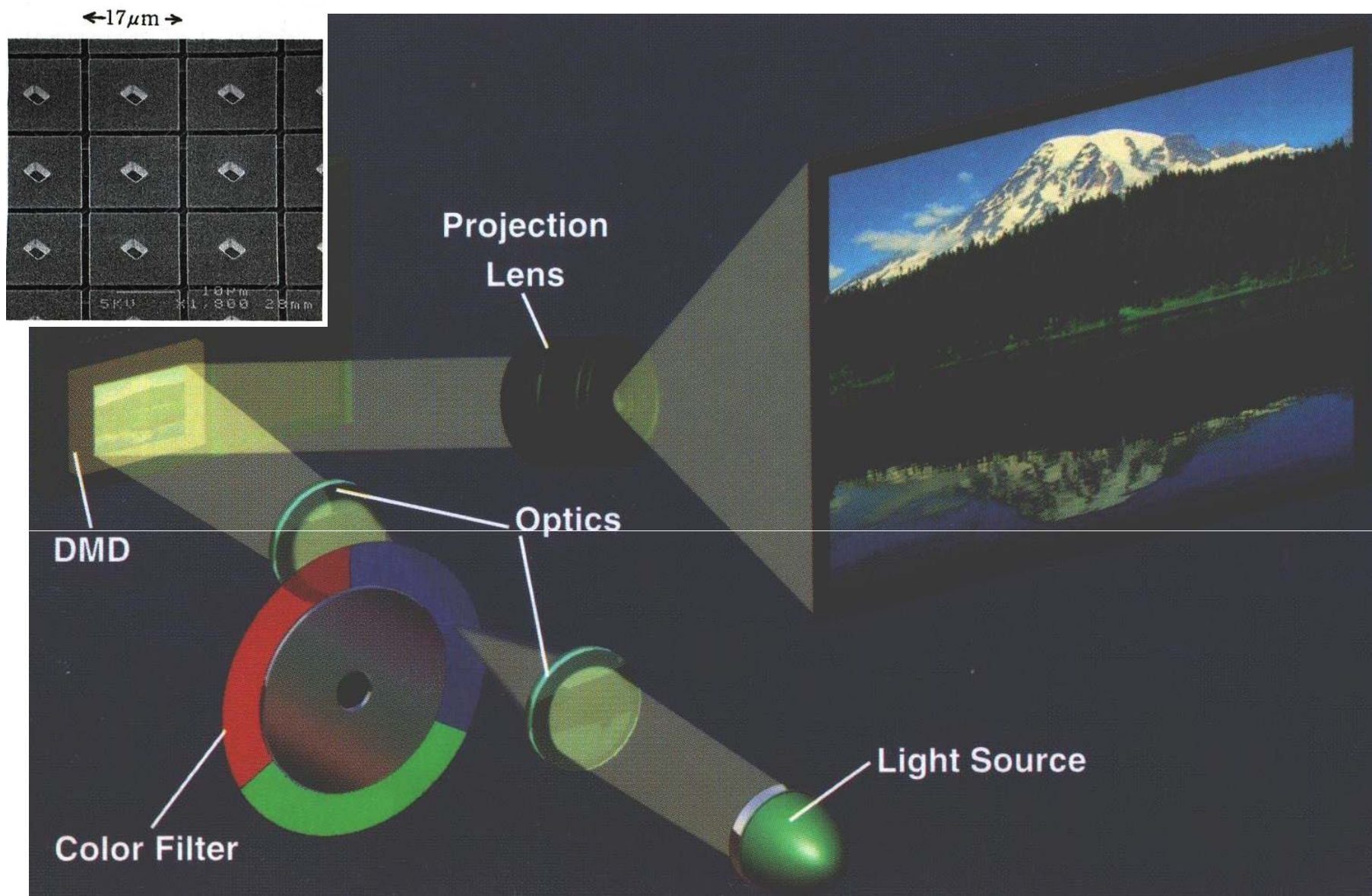


Ge-Al接合による集積化振動ジャイロの製作工程 (S.Nasiri (InvenSense Inc.))²³

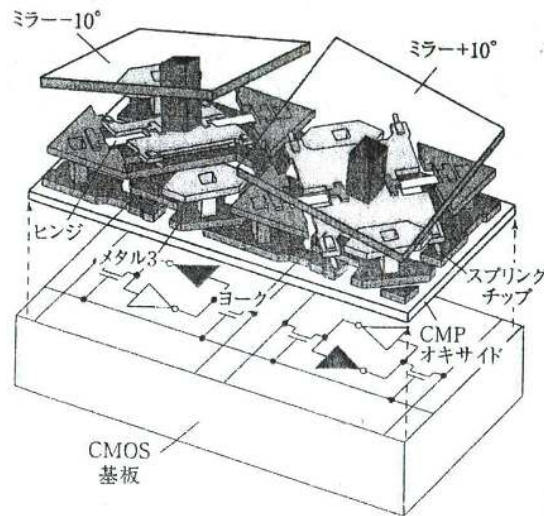


民生用角速度センサの市場(予測) (yole development)

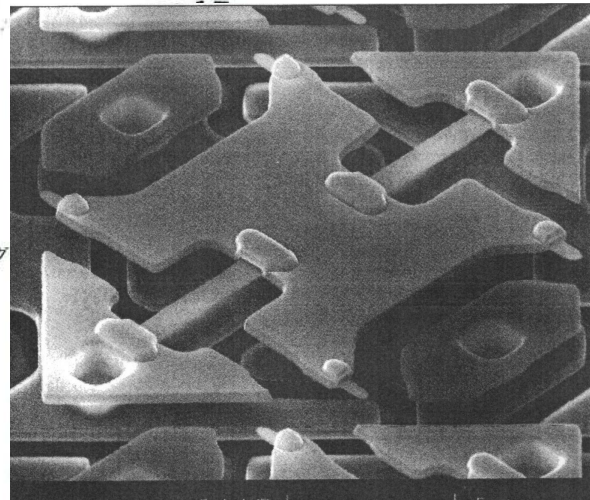
(日経マイクロデバイス、MEMSentury Japan, 2007/10) 24



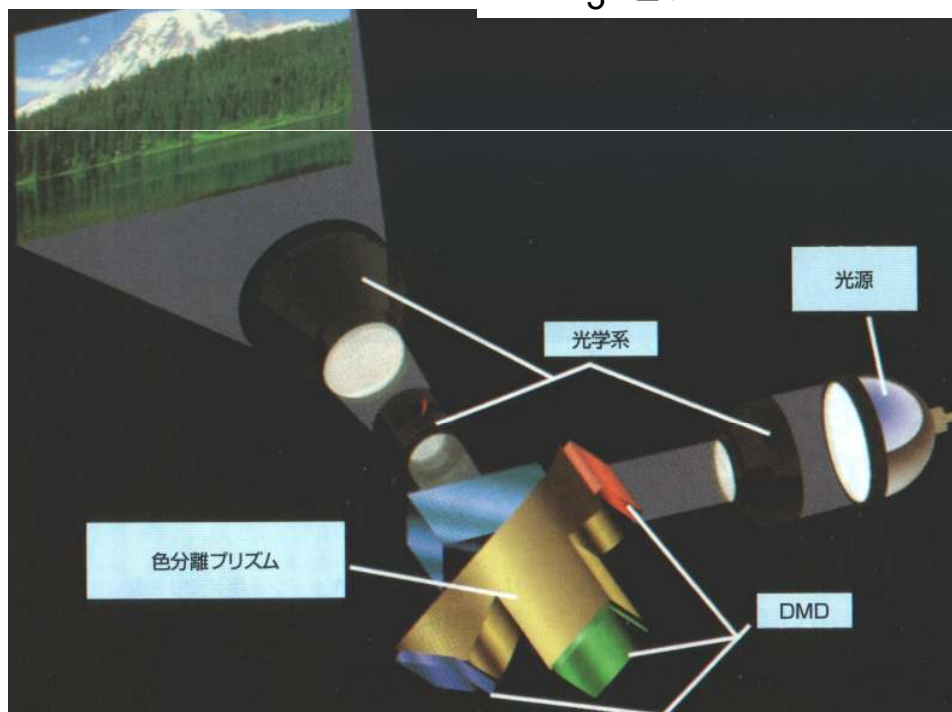
DMD (Digital Micromirror Device) (テキサスインスツルメンツ社) によるビデオプロジェクタ DLP²⁵
 (L.J.Hornbeck : Micromachining and Microfabrication'95(SPIE), Austin, 3 (1995))



DMDチップの基本構造



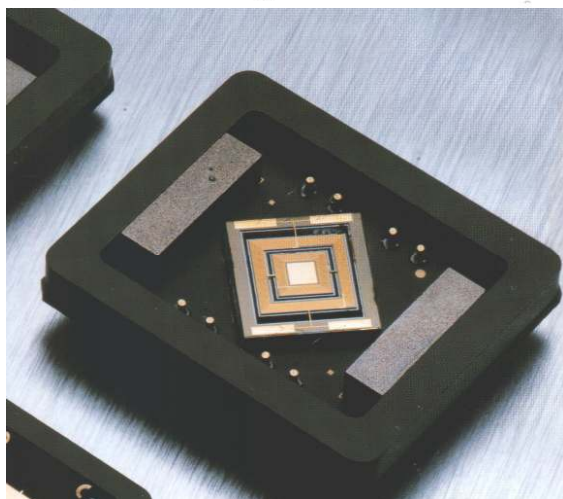
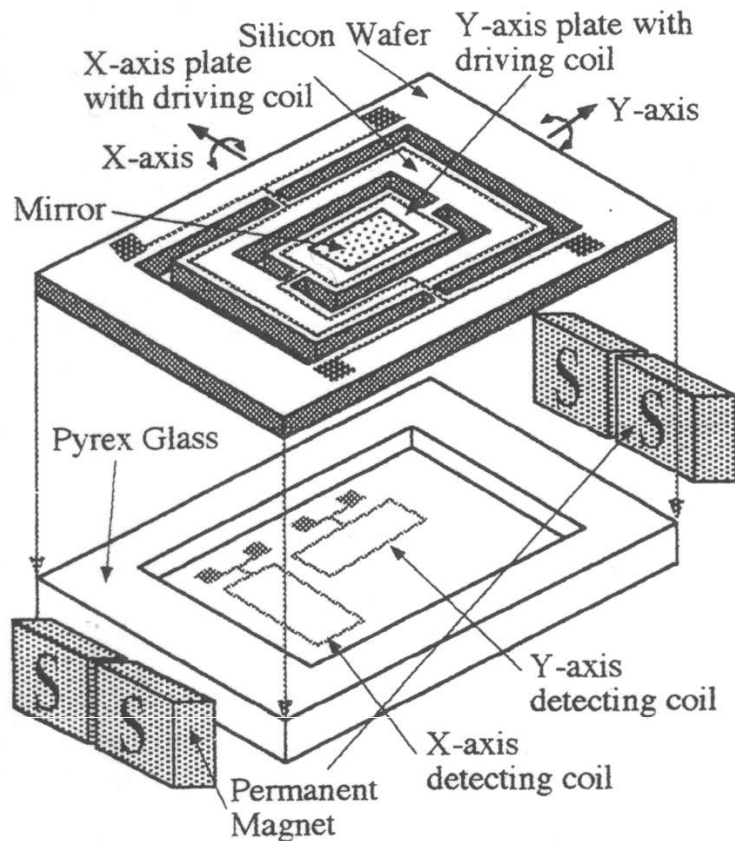
TiAl₃ を用いたDMDの構造



デジタル映写機
(1920 × 1080画素)

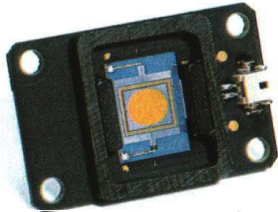
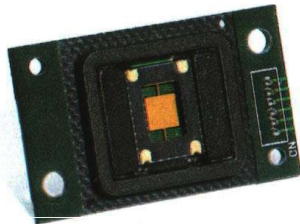
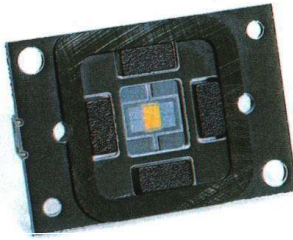
1999年 Star Wars : Episode 1
(George Lucas監督) がDLPによる
デジタルシネマでニューヨークとロサンゼルスで初上映

ビデオプロジェクタ用DMD (Digital Micromirror Device)(米TI社) ²⁶



ECO SCAN

MEMS技術を利用した共振ミラー“エコスキャン”

1次元タイプ One-dimensional type		2次元タイプ Two-dimensional type	
			
ミラーサイズ 5×6mm Mirror size : 5x6mm	ミラーサイズ 4×4mm Mirror size : 4x4mm	ミラーサイズ 3×4mm Mirror size : 3x4mm	
振幅 ±34度 (光学角) Amplitude : ± 34 degrees (Optical angle)	振幅 ±6度 (光学角) Amplitude : ± 6 degrees (Optical angle)	振幅 外側軸 ±20度 (光学度) 内側軸 ±20度 (光学度) Amplitudes : Outside axis : ± 20 degrees (Optical angle) Inside axis : ± 20 degrees (Optical angle)	
共振周波数 500Hz Resonant frequency : 500 Hz	共振周波数 4kHz Resonant frequency : 4 kHz	共振周波数 外側軸 350Hz 内側軸 1.5kHz Resonant frequencies : Outside axis : 350 Hz Inside axis : 1.5 kHz	

2003年10月現在 As of October 2003

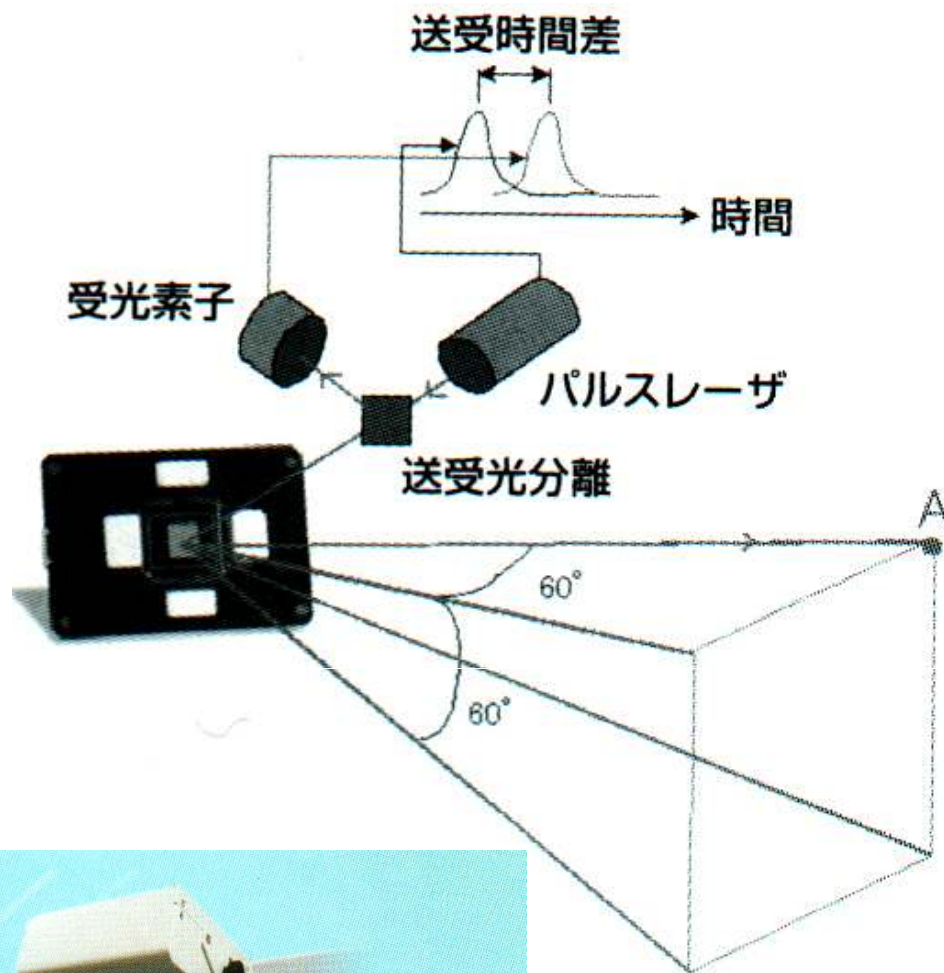
2軸電磁駆動光スキャナ

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

NIPPON SIGNAL
THE NIPPON SIGNAL GROUP

 日本信号株式会社

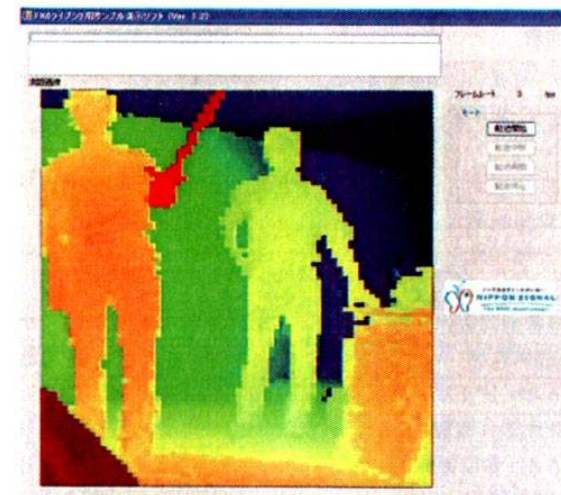
ビジョナリービジネスセンター MEMS事業推進部



3次元距離画像センサ

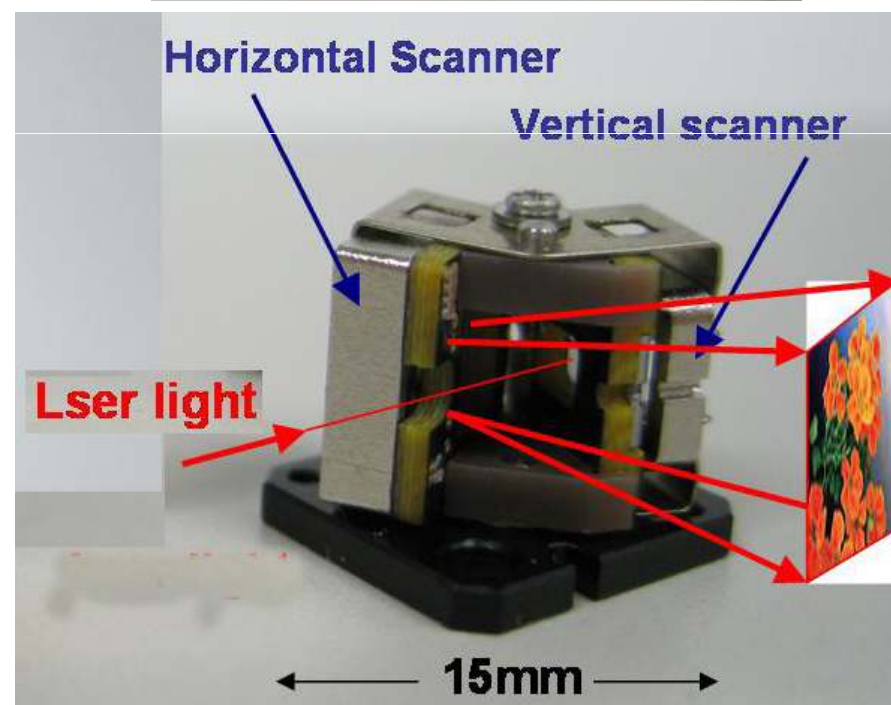
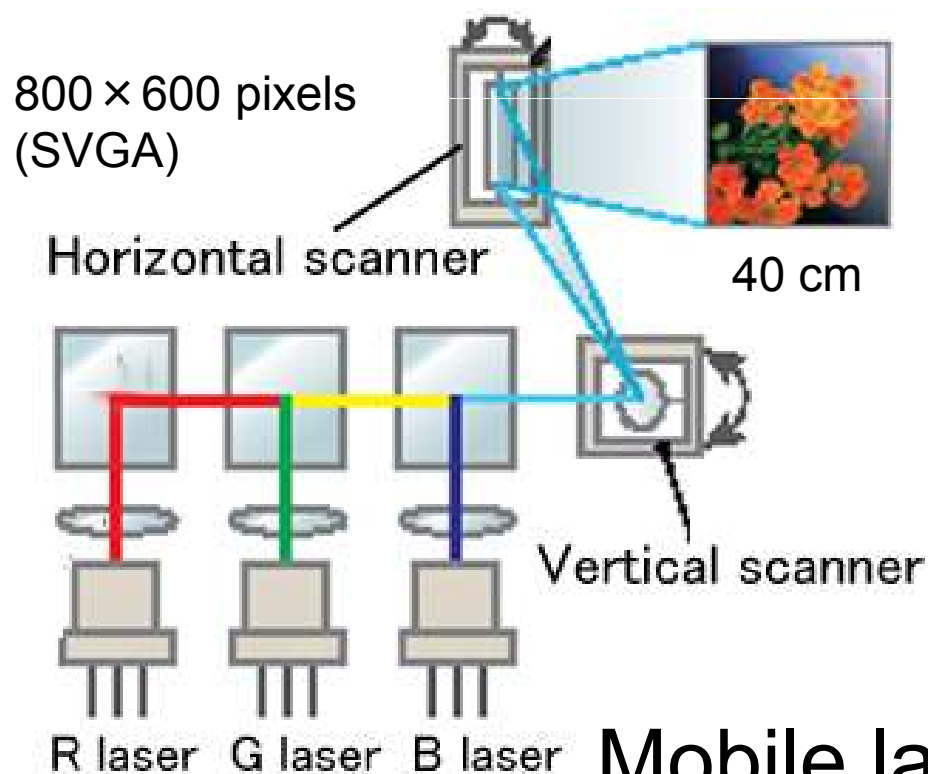


羽田空港第1ビル
■測距データ出力例





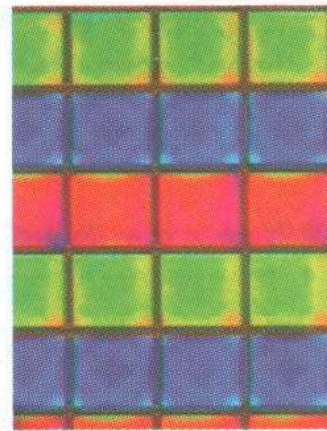
NIPPON SIGNAL
THE NIPPON SIGNAL CO., LTD.



Mobile laser projector (2008/10 シーテック)

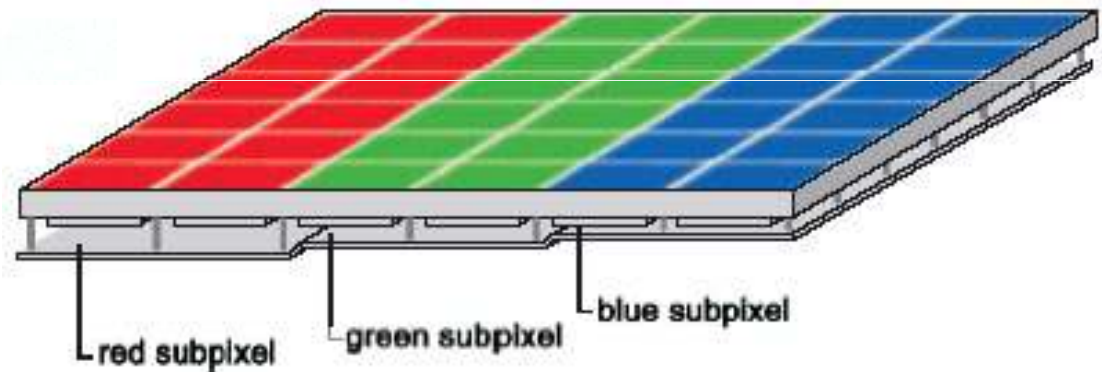
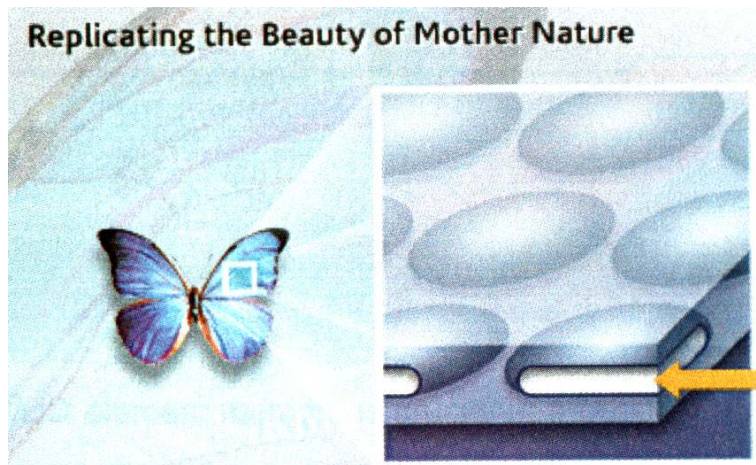
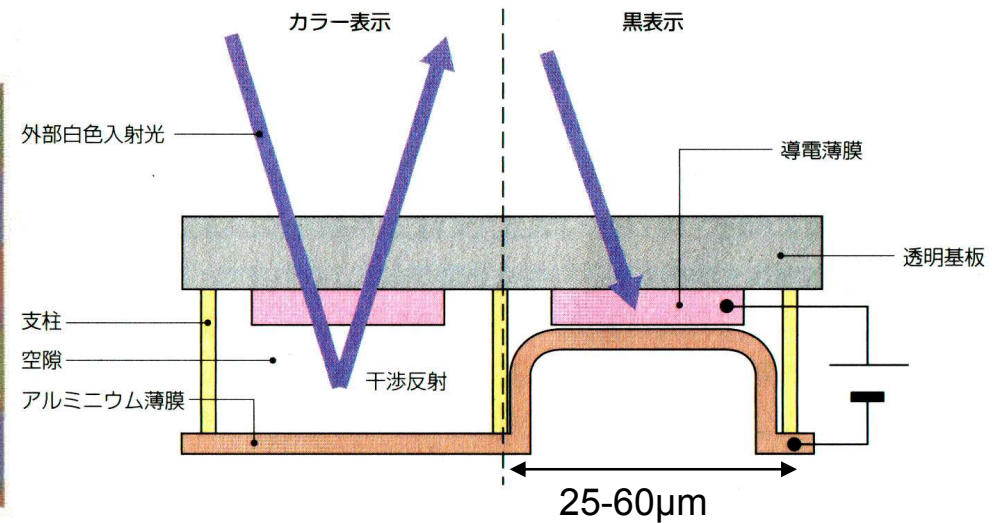


64色のカラー表示



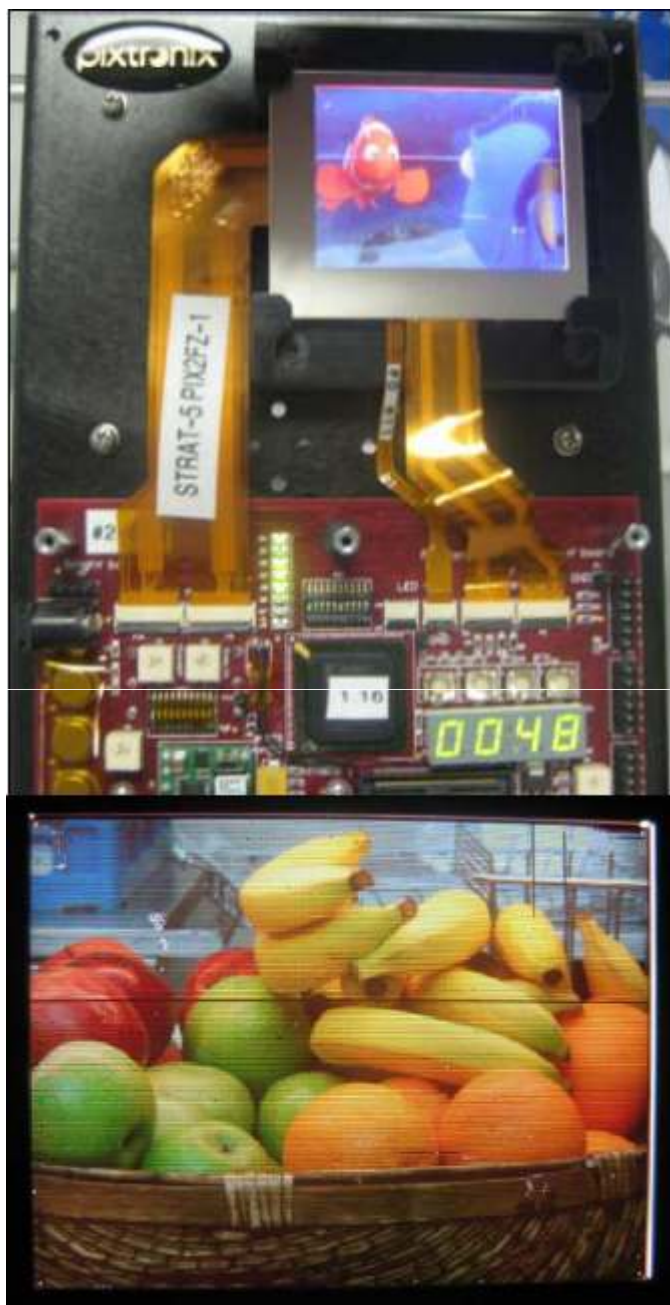
拡大写真

階調表現は面積(ON画素数)で

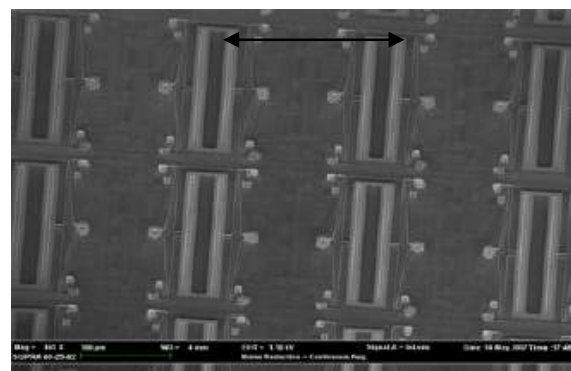


静電駆動型反射ディスプレイ (iMoD (Interferometric Modulator))

(M.W.Miles (Qualcom MEMS Tech.,USA), Solid-State Sensors Actuators and Microsystems, Workshop, Hilton Head (2006) p.1)

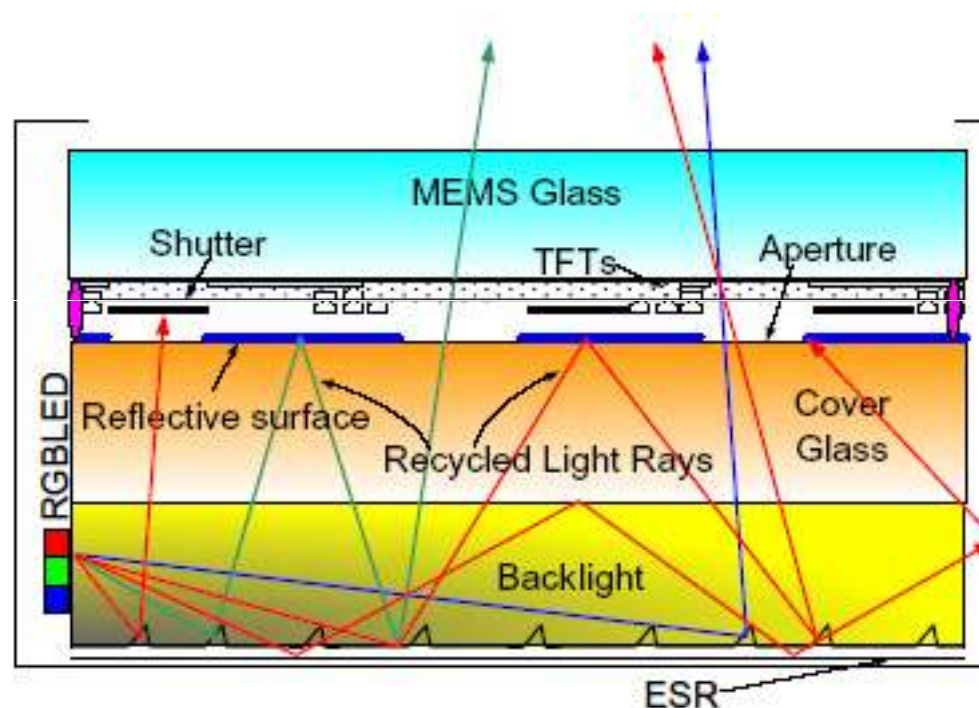


2.5インチディスプレイ



100μm

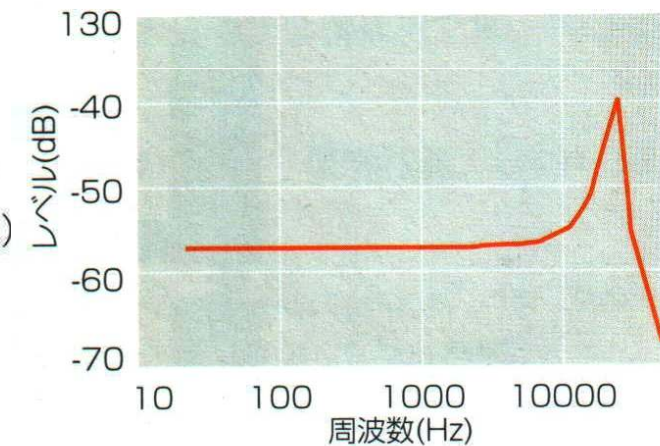
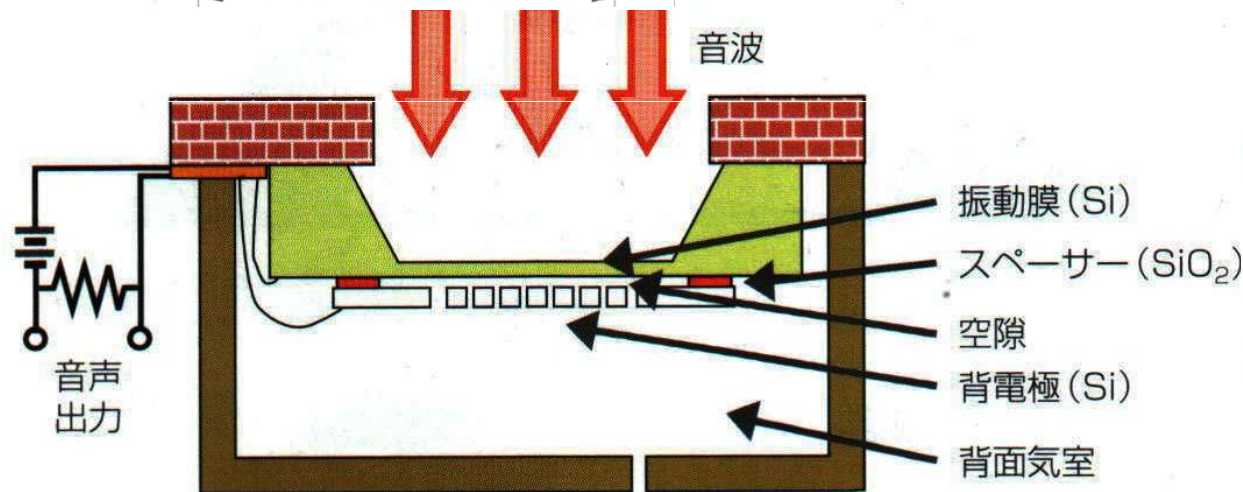
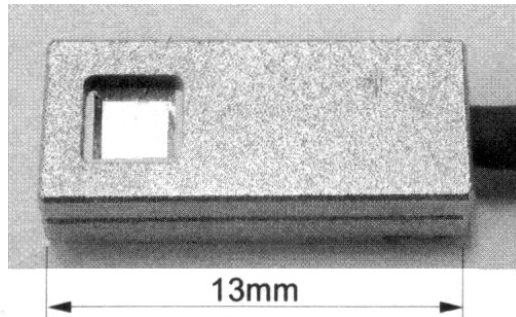
シャッターが静電力で動き、
RGBのLEDが交互に点灯



Pixtronix社のDMS™ (Digital Micro Shutter) display

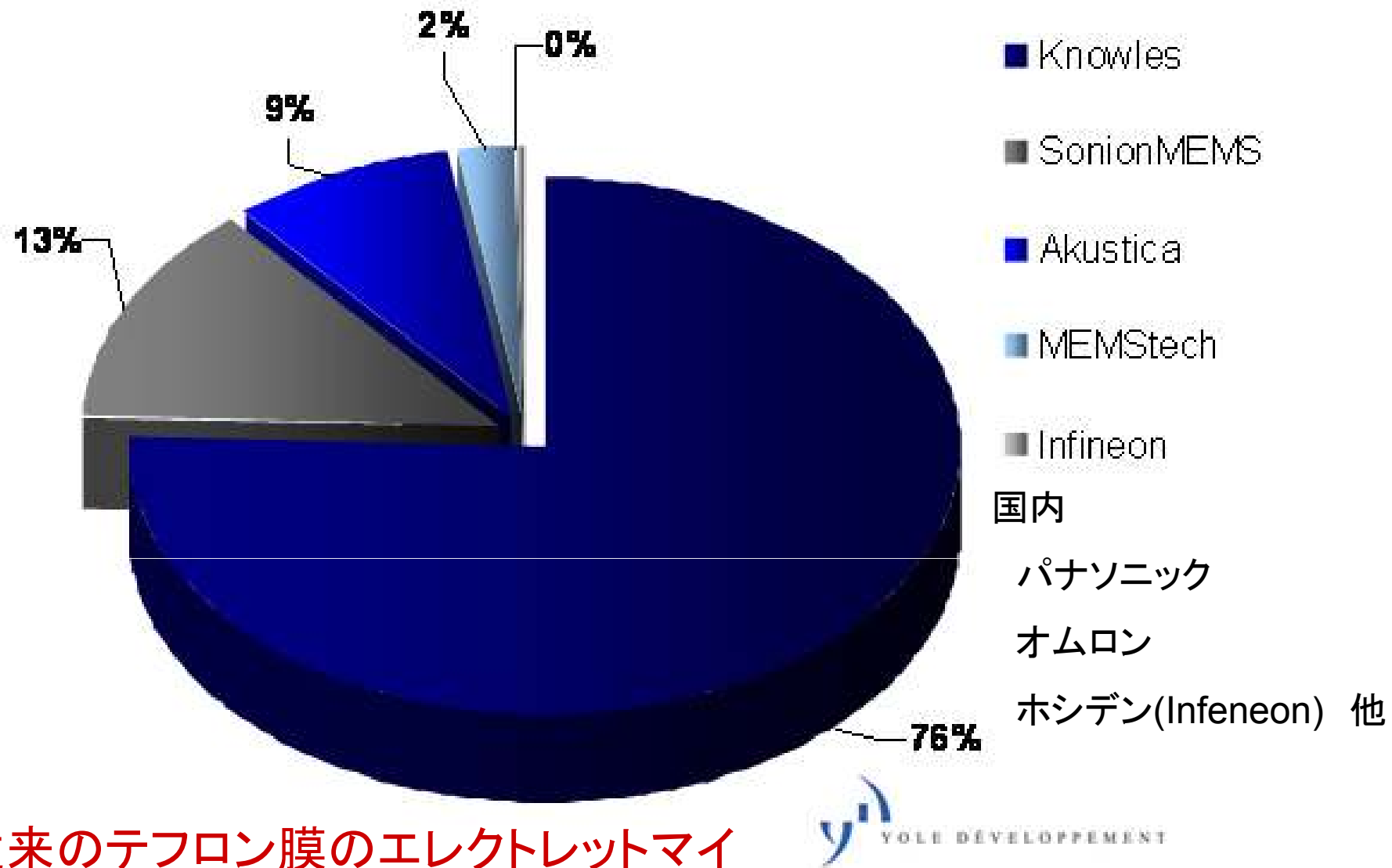
(N.Hagood et.al., IDW'08 (2008) 1345)

”ダーウィンが来た”、”北京オリンピック”の水泳競技など湿度が問題になる所で使用



マイクロマシニングによる容量型マイクロフォン(NHK,松下電器)

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



従来のテフロン膜のエレクトレットマイクは耐熱性不足で面実装のリフロー工程に耐えない

→ MEMSコンデンサマイク (電圧印加のためチャージポンプ回路が必要)

MEMSマイクロホンのシェア
(2007)

参入予備軍10社以上のMEMSマイク “Knowles特許”が新規参入阻む恐れ

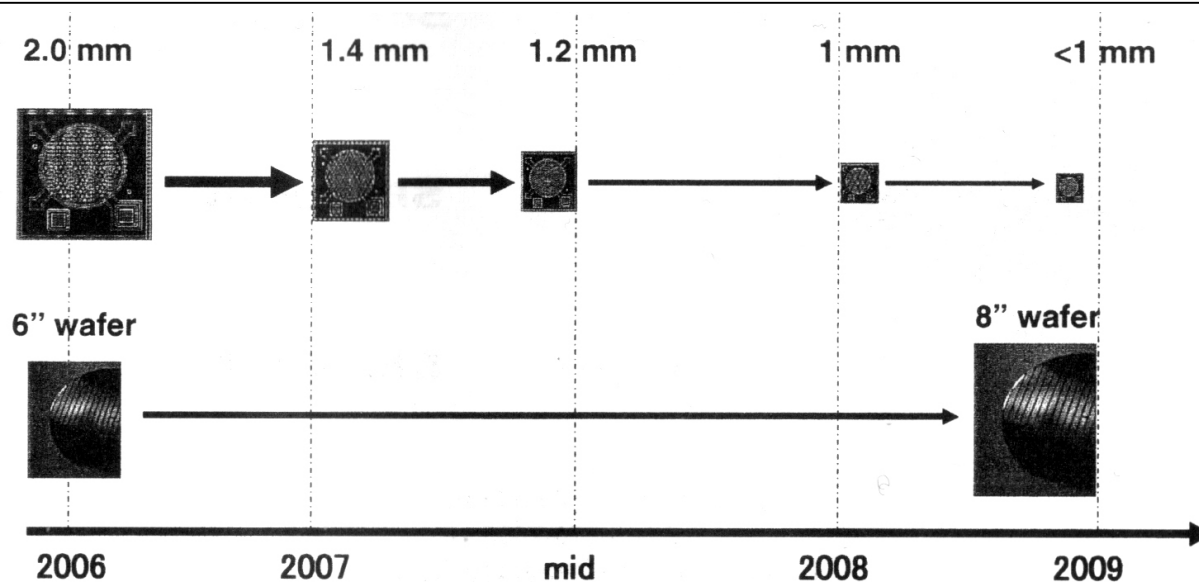
(日経マイクロデバイス
(2008年6月) p.94)

特許訴訟が頻発の可能性

撤退相次ぐMEMSデバイス Siマイクや加速度センサー

(日経マイクロデバイス
(2009年5月) p.80)

ヤマハや日立金属が撤退, 次は自社システム向けに注力



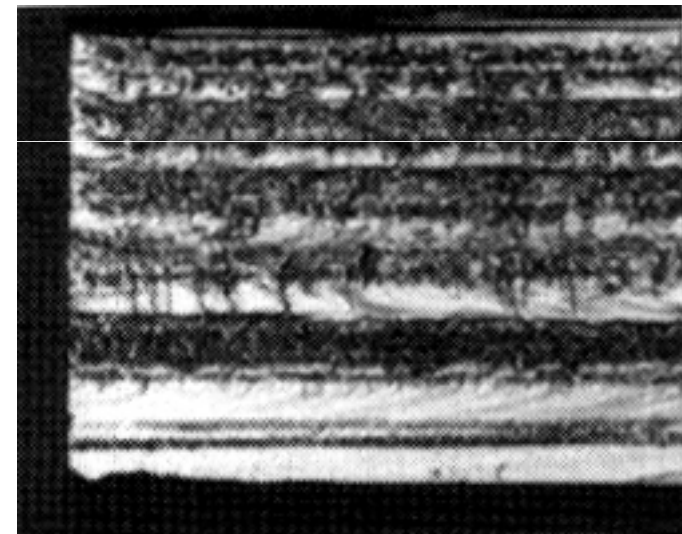
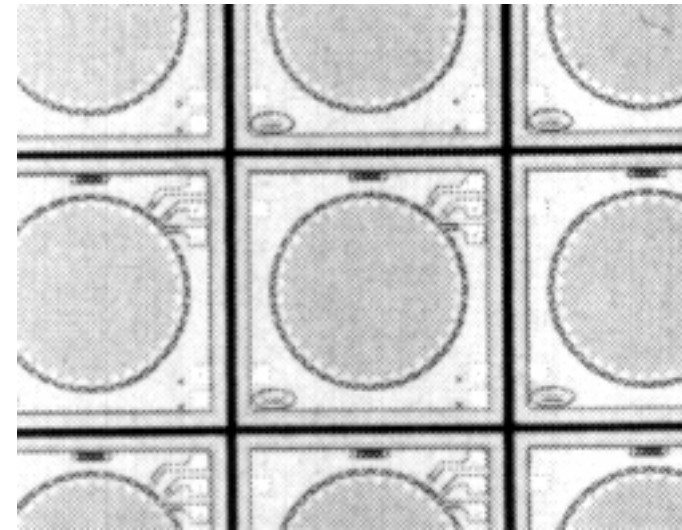
Memstech (シンガポール)MEMSマイクのチップの進歩

(MEMS International 2007 (日経マイクロデバイス他)、(2007/6))



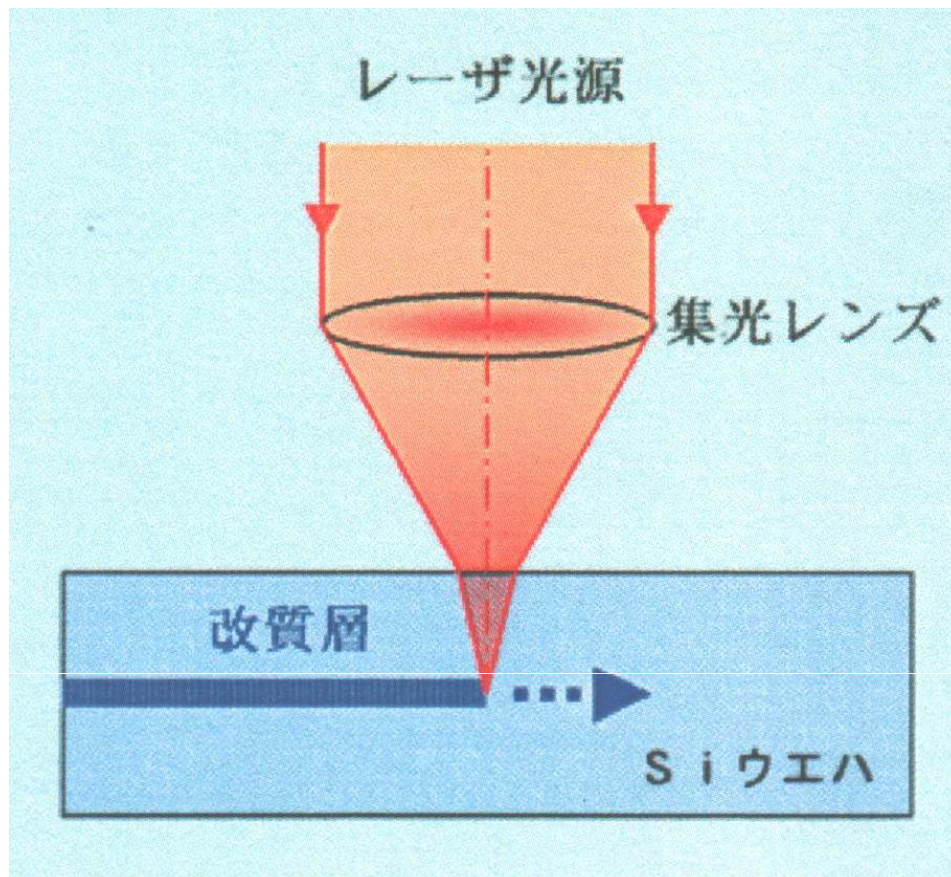
Laser Dicer
ML200
MAHO Dicing Machine

浜松ホトニクス(株)と東京精密(株)が
 (株)MEMSコアの工場に設置



レーザでダイシングしたマイクとその断面

(M. Fuedner (ドイツ Infineon Tech.AG),
 日経マイクロデバイス, 280 (2008/10) 53)



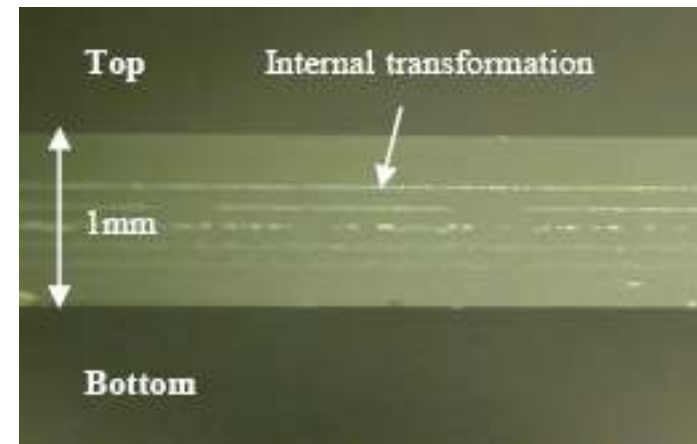
ステルスダイシング (浜松ホトニクス)

水をかけない分割

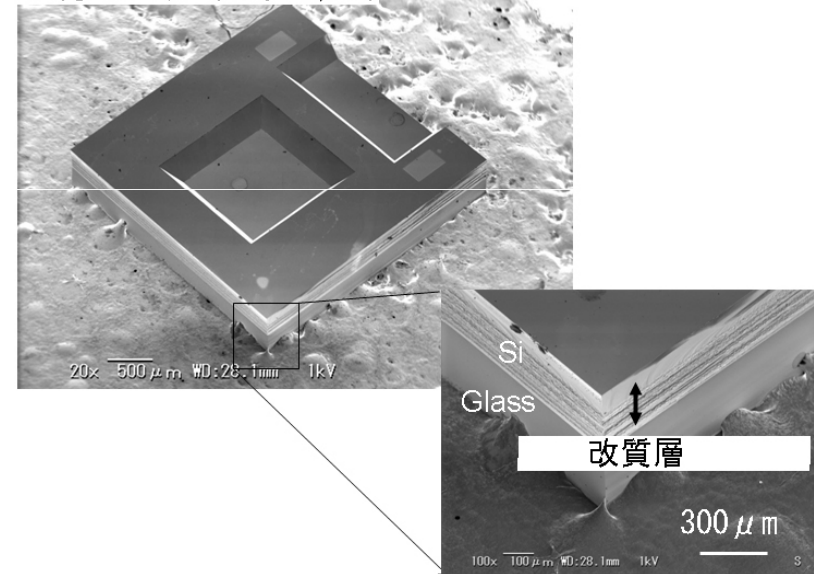
→ ごみが入る恐れのあるMEMS

切りしろの無い分割

→ IDタグチップのような小さなチップ



圧力センサ (ガラス/Si)



パイレックスガラス+Siのレーザダイシング

(Y.Izawa, Proceedings of the 24th Sensor Symposium, Tokyo, (2007), 19-23)

Si技術を使ったMEMS発振器 水晶発振器の置き換えを狙う

江刺 正喜

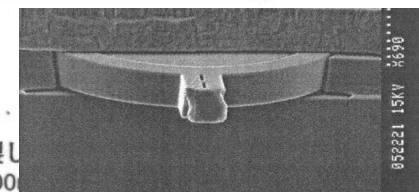
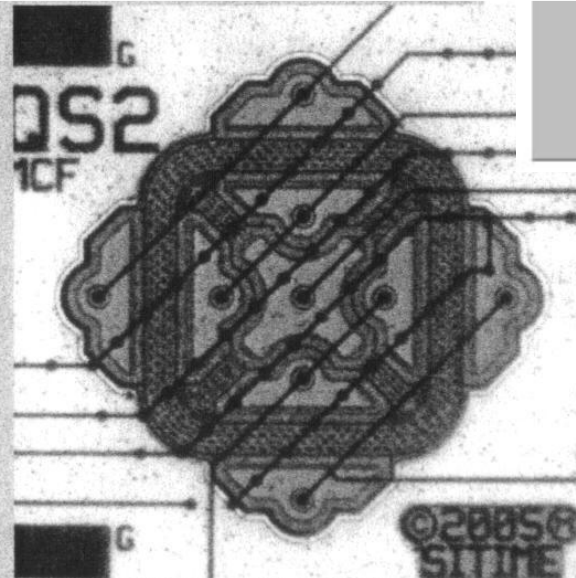
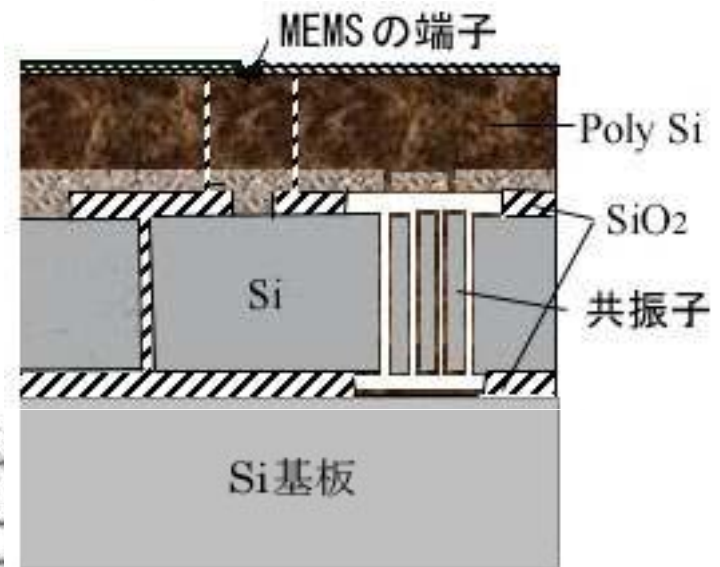
東北大学 大学院工学研究科 ナノメカニクス専攻 教授
米SiTime Corp. 技術顧問

John McDonald

米SiTime Corp., Vice President

Aaron Partridge

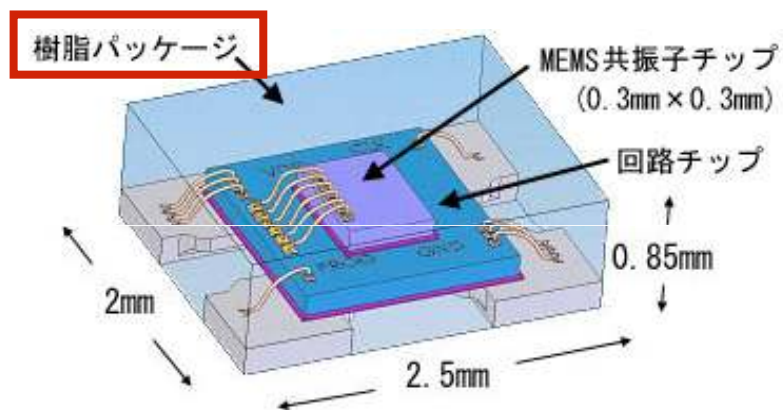
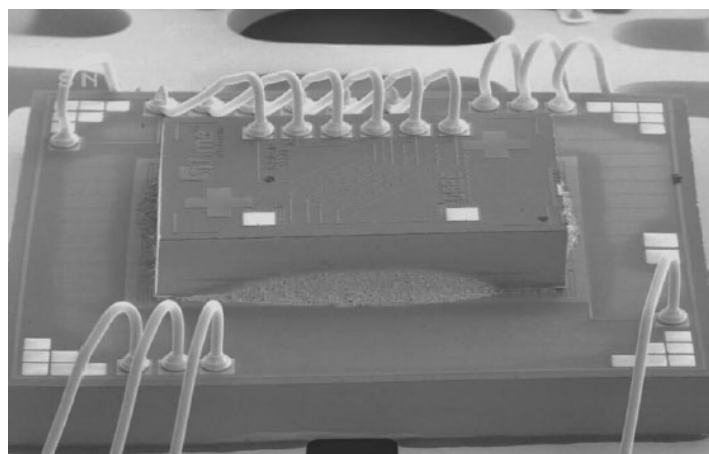
米SiTime Corp., Chief Technical Officer



SOI基板上に作製した共振器「MEMS-first」の表面を、赤外線撮影した写真。赤外線はSiを透過するため、基板内部に埋め込まれた共振器を観察できる。この共振器は「SiT8002」および「SiT11xx」シリーズに使うもの。これらの製品において、共振器はCMOS技術で作製した駆動回路とともに、マルチチップ・モジュールという形で1パッケージに収めている。

振動モード

日経エレクトロニクス,
No.923, 2006年4月10日

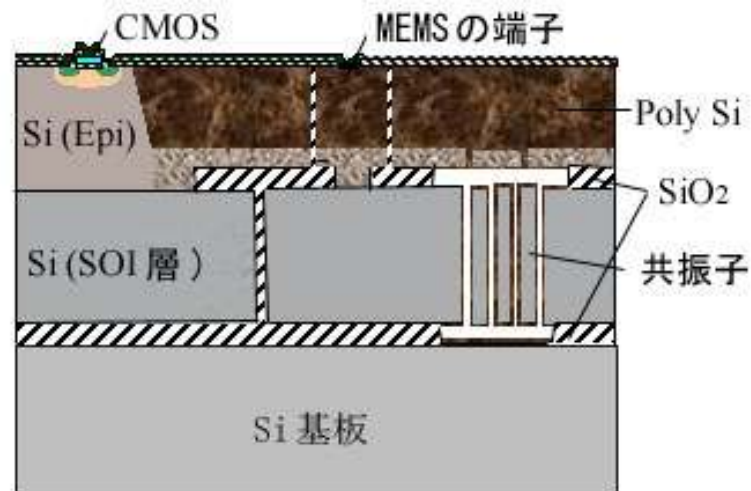
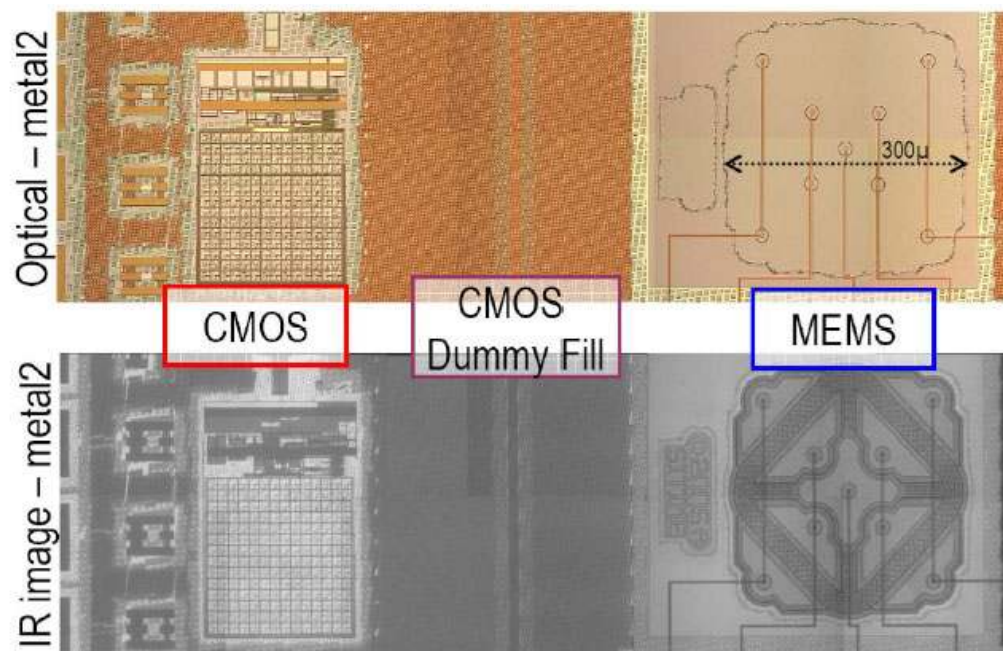


回路チップ (温度補償発振回路+プログラマブルPLL)上に共振子チップ (0.3mm角)を重ねた基準信号発生器

量産性：5万個/8インチウェハ

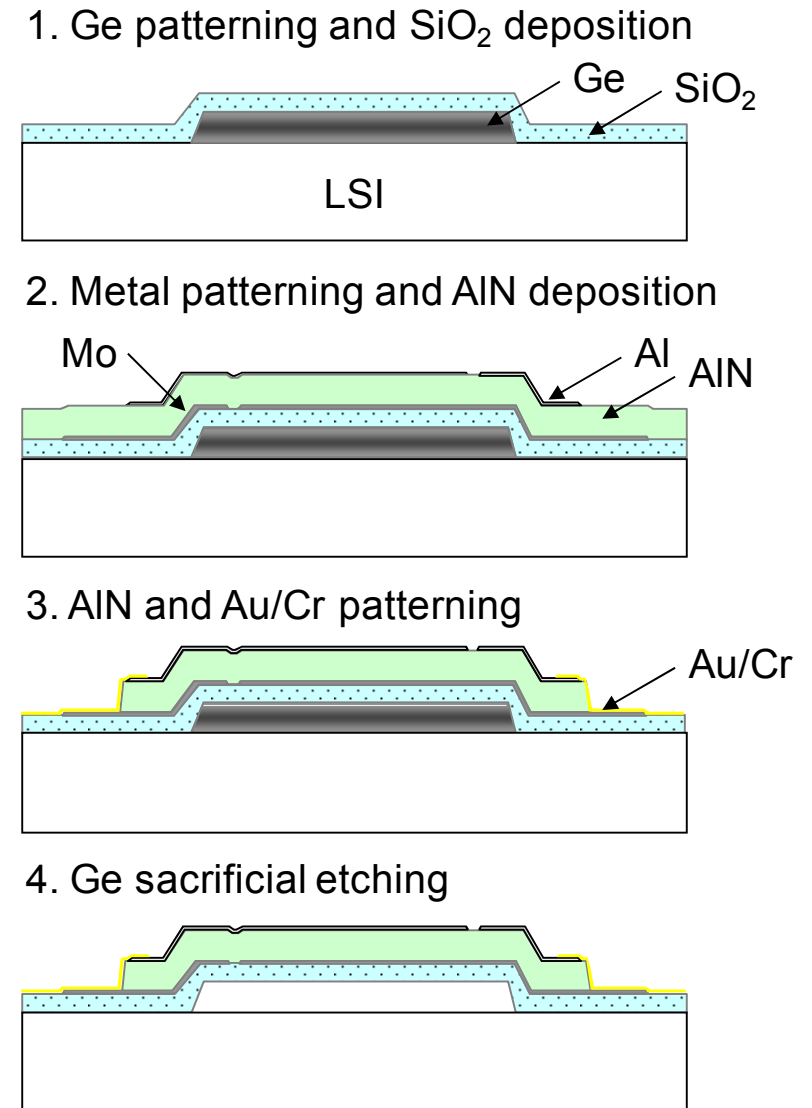
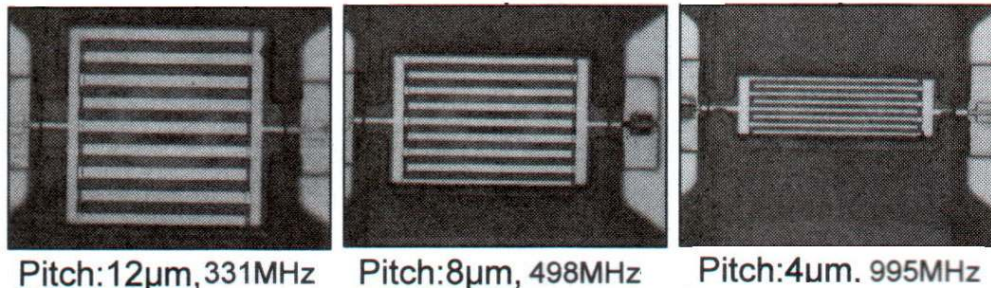
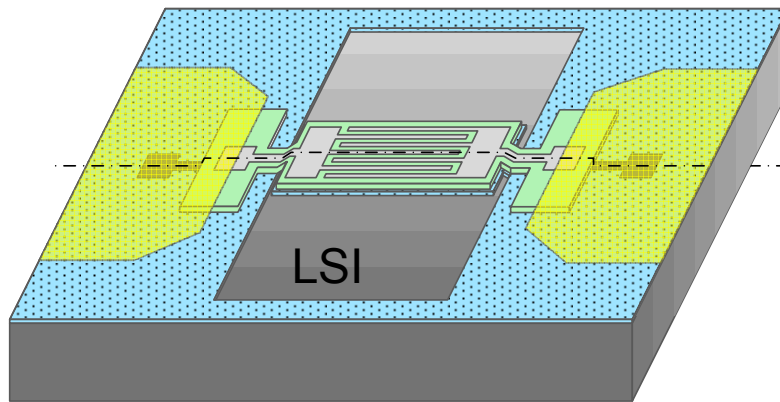
耐衝撃性: 6軸 3万G

極薄(厚さ0.38mm) → カードなど



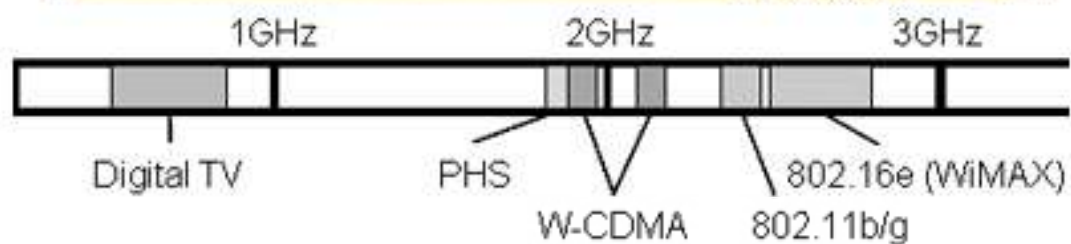
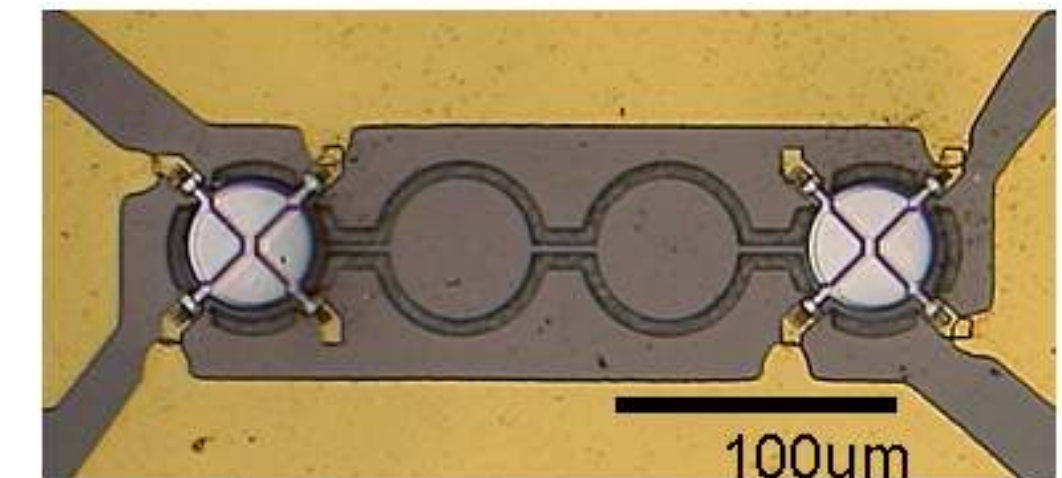
今後：MEMSと回路のモノリシック化
→ さらなる低ジッターの高性能化³⁸

- LSI上にモノリシックに形成するマルチ周波数高周波メカニカル共振子
- クロックを集積化したマルチバンド通信チップなどへの応用

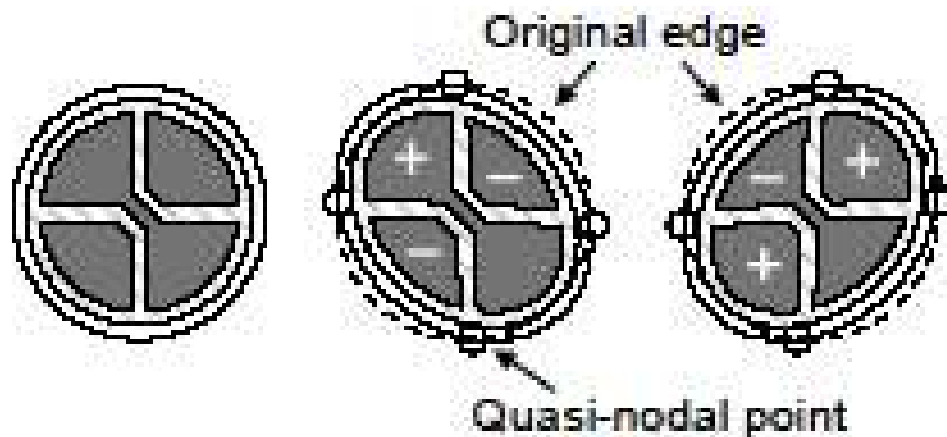


Geを犠牲層に用いるAlN圧電駆動Lamb波共振子

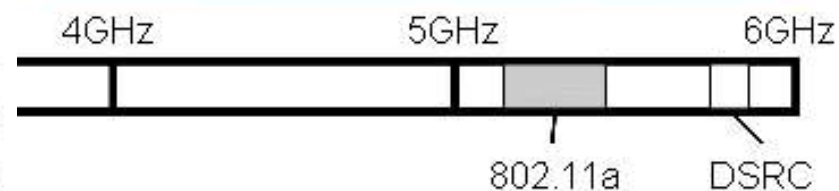
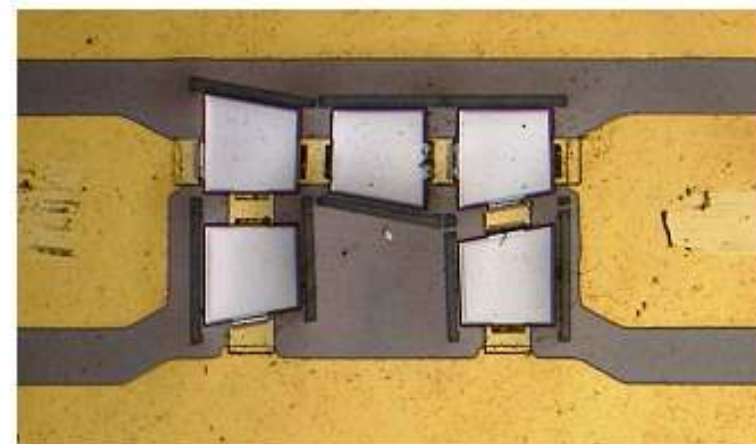
(K.Hirano (日本電波工業株)、2nd International Workshop on Piezo-devices
Based on Latest MEMS Technologies, Tokyo (2008, Sept.8) 111-117)



ディスク共振子フィルタ



ウィングラスモード振動



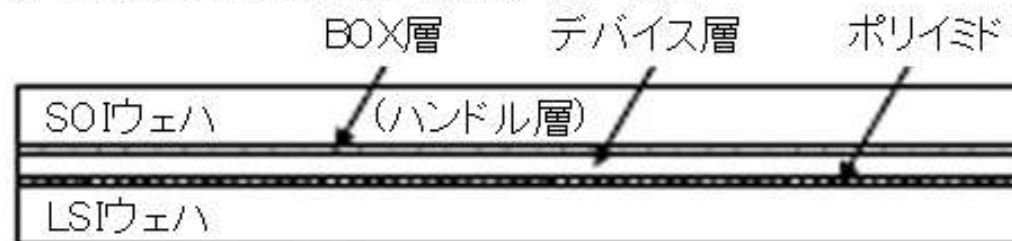
FBAR

(Film Bulk Acoustic Resonator)

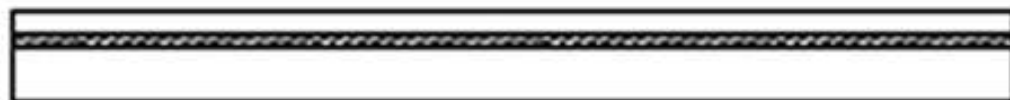
マルチバンド携帯通信器用

(松村武：圧電材料・デバイスシンポジウム2009, (2009年2月3日) p.59)

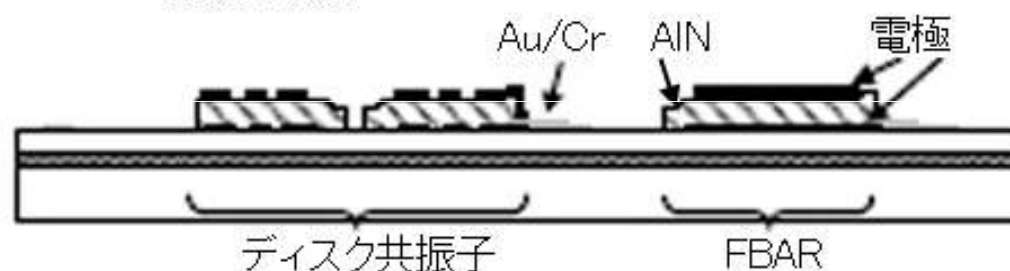
(1) LSIウェハとSOIウェハのポリイミド接合



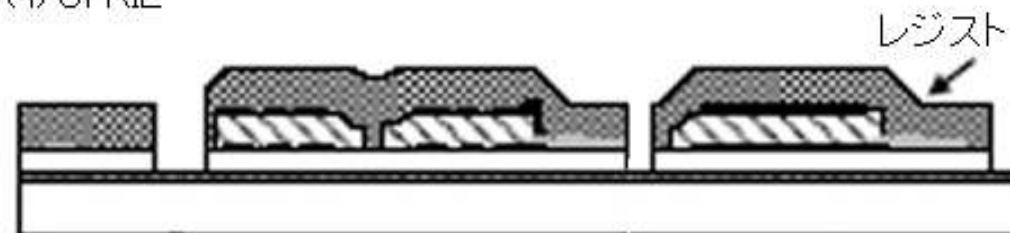
(2) Si (SOIウェハのハンドル層)とSiO₂(BOX層)のエッチング



(3) MEMS構造の製作



(4) Si RIE



(5) O₂プラズマによるポリイミドエッチング



LSIと集積化できるRFフィルタ
(製作工程)

3GHz以下：ディスク共振子

3GHz以上：FBAR

(松村武：圧電材料・デバイスシンポジウム2009, (2009年2月3日) p.59)

1. はじめに

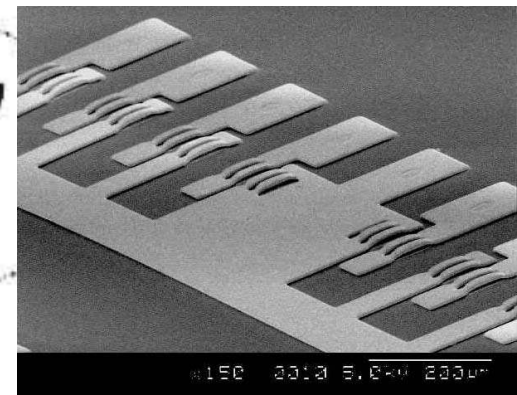
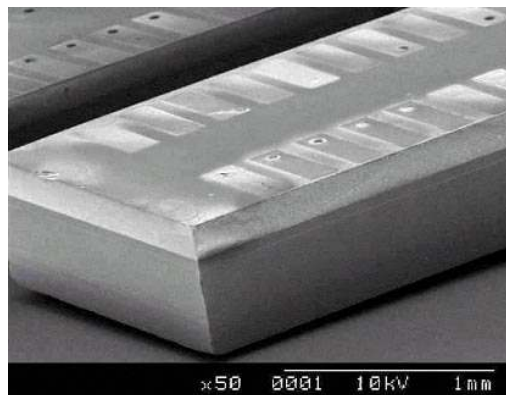
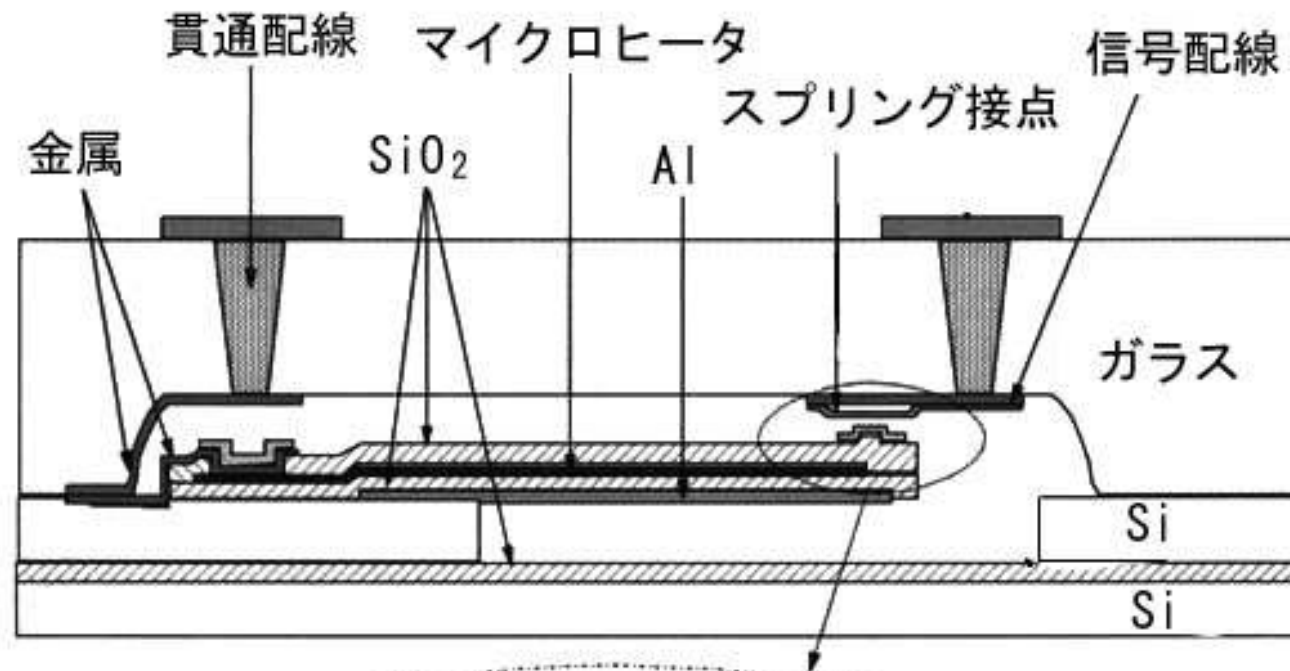
2. 自動車・家電(圧力センサ、加速度センサ、ジャイロ)

3. 情報・通信(ディスプレイ、データストレージ 他)

4. 製造・検査(マスキレス露光、プローバ 他)

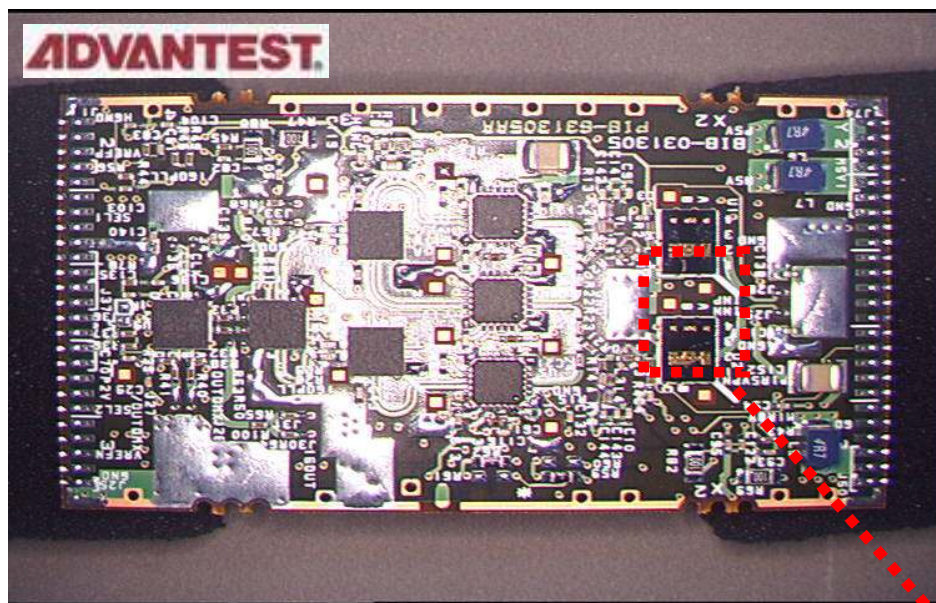
5. 医療・バイオ他(極細光ファイバ血圧センサ 他)

6. 集積化MEMSと産業化の問題点

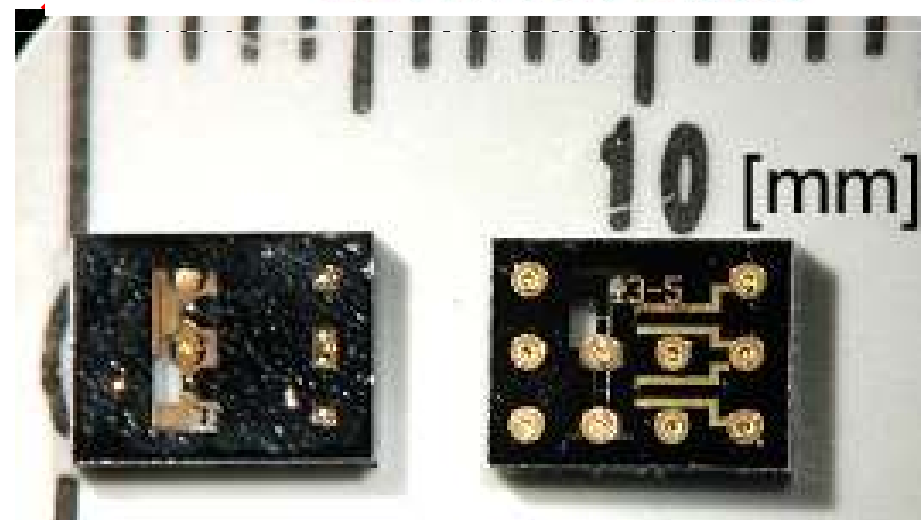
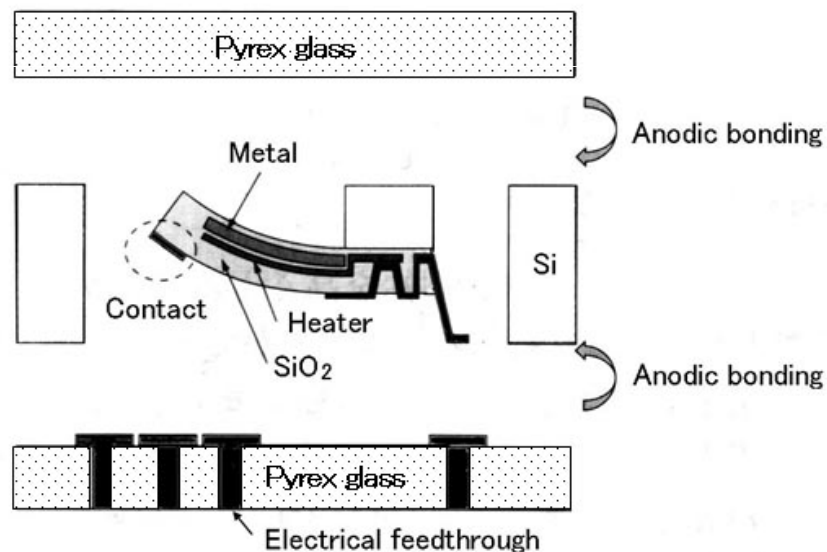


ガラス貫通配線を用いたマイクロリレー

(Y.Liu et.al., MEMS'01)



SoCテストシステム T2000

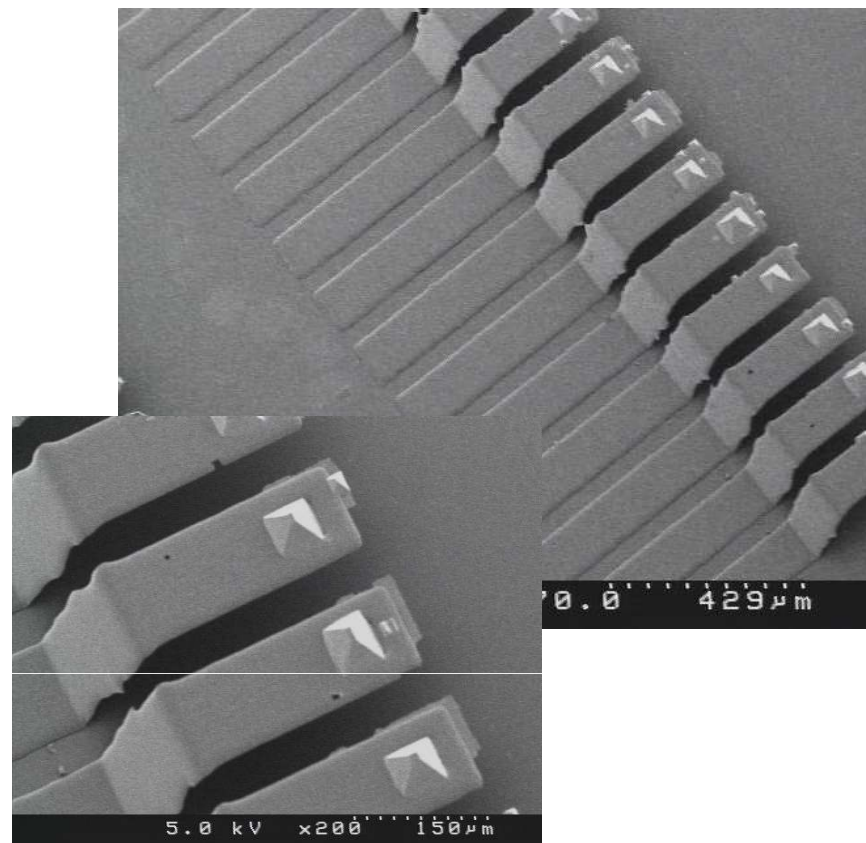
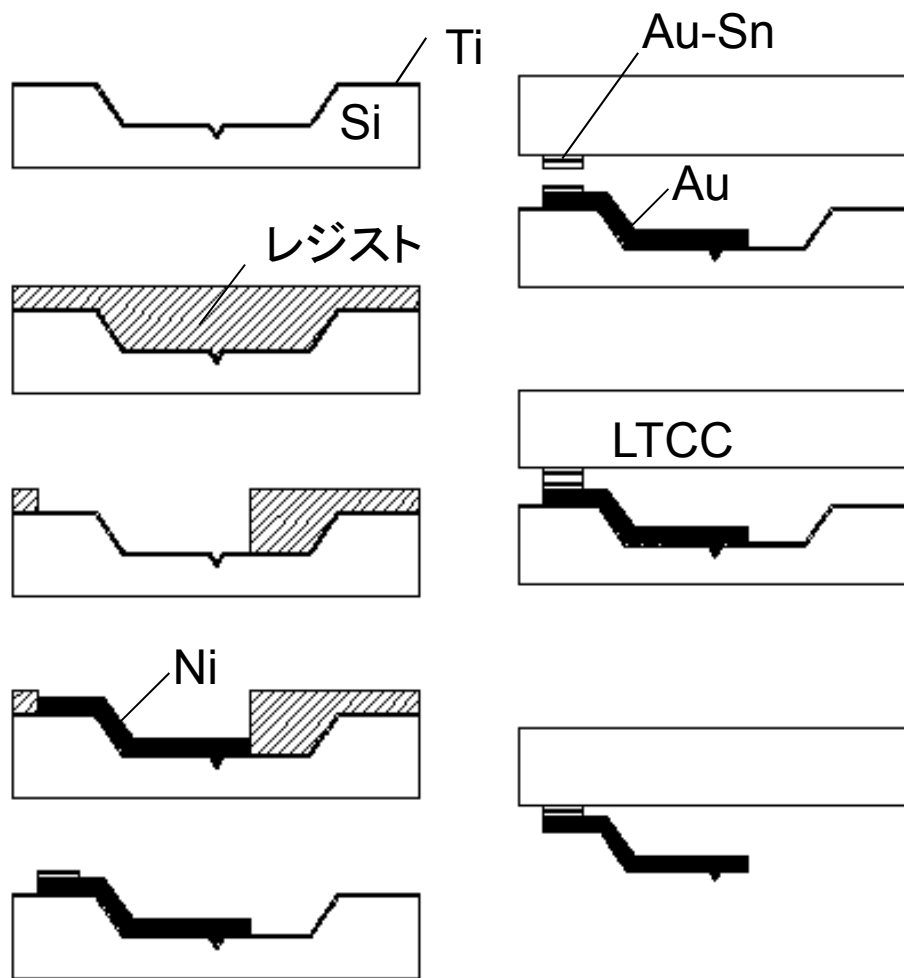


LSIテスト用MEMSスイッチ

(中村陽登 他、Advantest Technical Report, 22 (2004), 9-16)

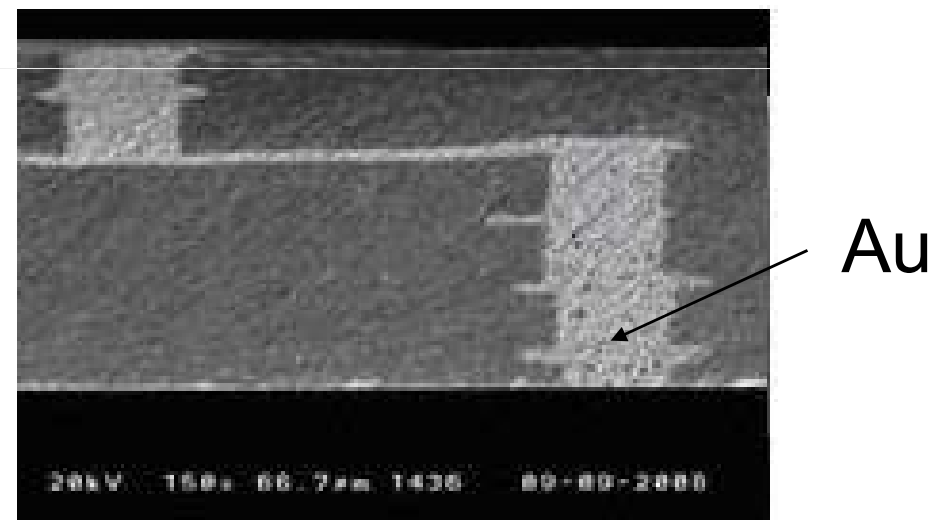
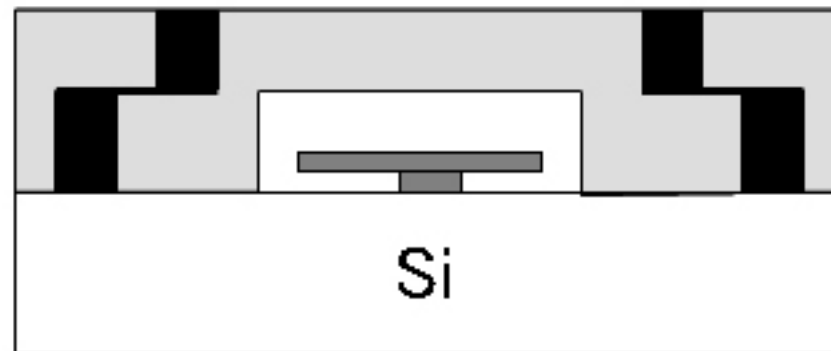
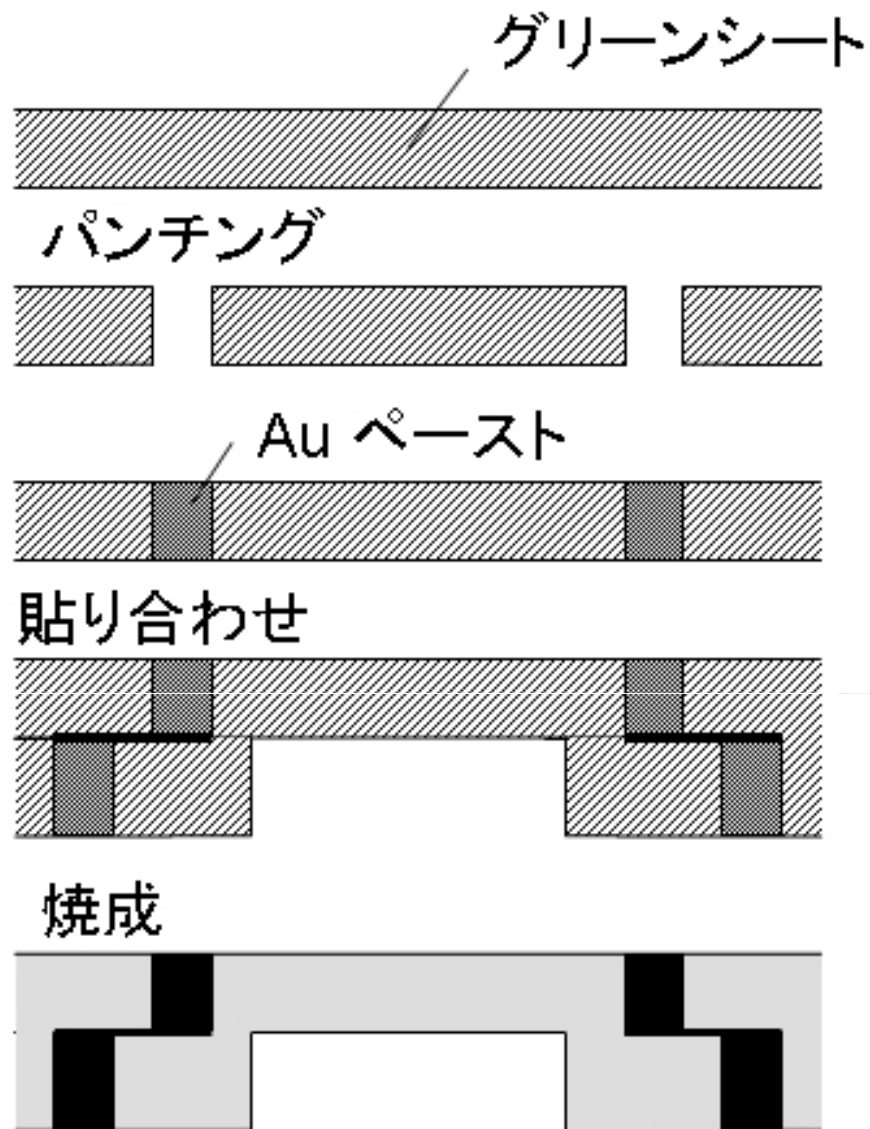


アドバンテスト研究所とアドバンテストコンポーネンツ(MEMSスイッチ工場)(仙台市愛子)



貫通配線付低熱膨張LTCC基板を用いたウェハレベルバーン イン用プローブカード

(S.H.Choe, IEEE Inter. Test Conf. 2007, Santa Clara, CA, Oct.21-26, 2007) 46



貫通配線付低熱膨張 LTCC

(M.Mohri, A.Okada, H.Fukushi, S.Tanaka and M.Esashi, 23th Convention on Electronic Packaging, Yokohama, p.51 (March 11,2009))

ASICの微細化に急ブレーキ 45nm世代で壁に直面

微細化を続けてきたASIC業界に異変が起きている。45nm世代を境に、先端プロセスの採用に急ブレーキがかかっているのだ。ASIC設計者は、微細化による利点が急速に失われていると指摘する。ムーアの法則に沿って発展を遂げてきたASIC業界は、今後どのように変化していくのか。

(木村 雅秀=本誌)

Richard A. Quinell
米Electronic Design 誌
Contributing Editor

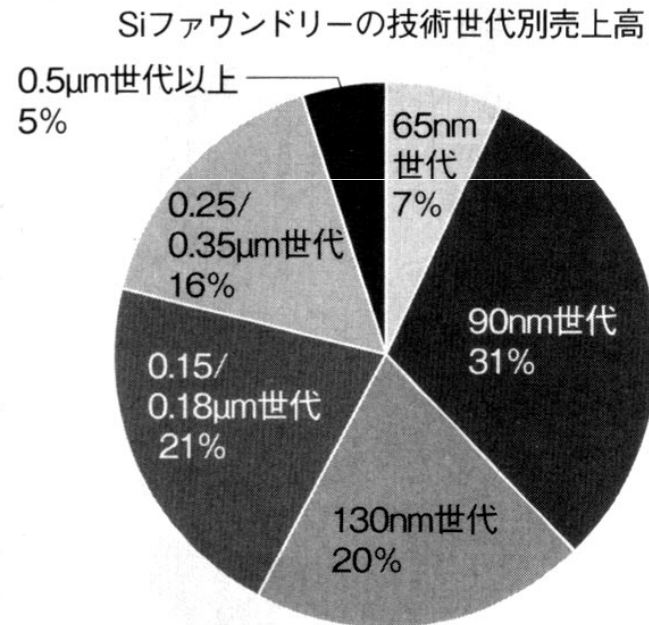
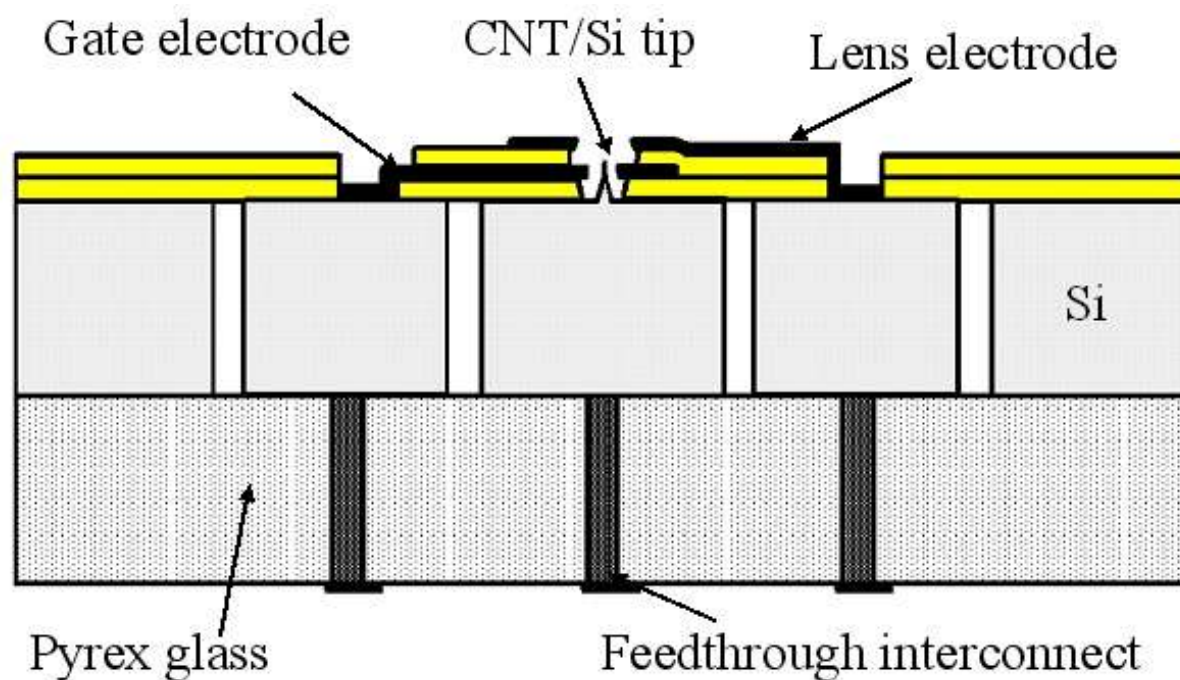
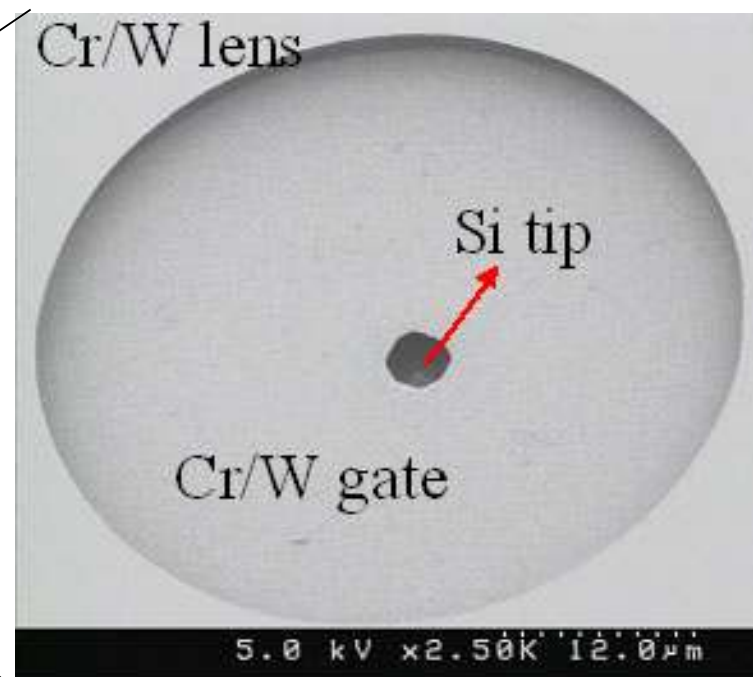
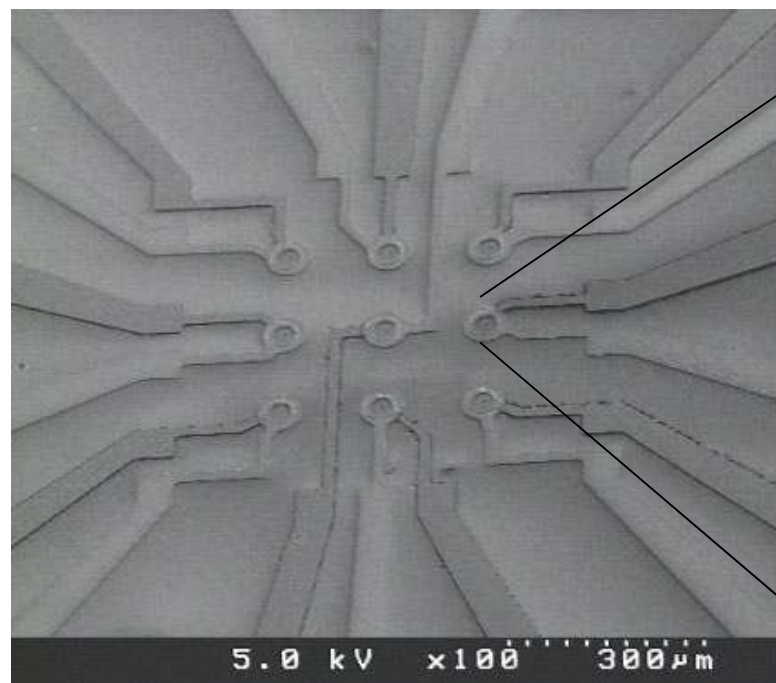


図1 先端プロセスの利用は停滞気味

現在、ASIC設計は幅広い技術世代にわたって均等に広がりつつあり、先端プロセスの利用は停滞している。この傾向は、Siファウンドリーの売上高に表れている。UMCの2008年第3四半期決算の資料。

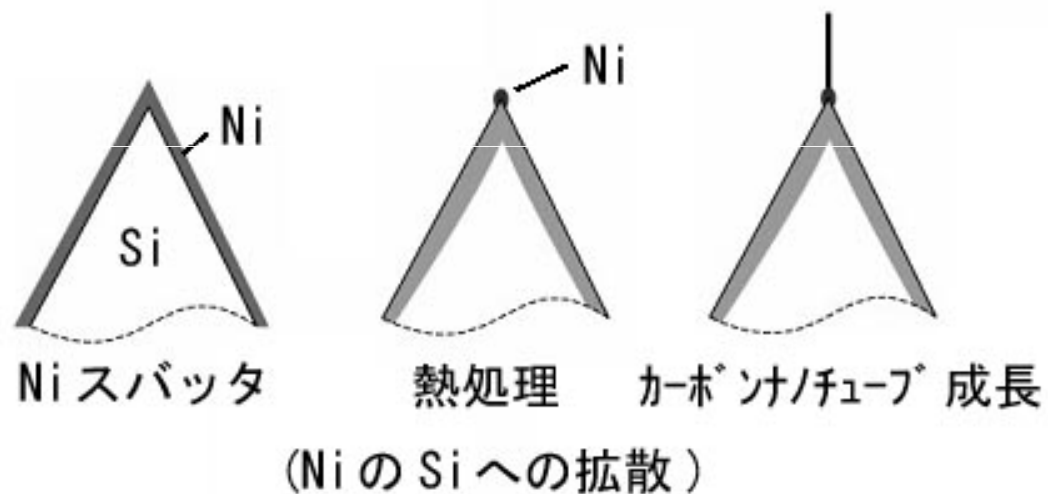
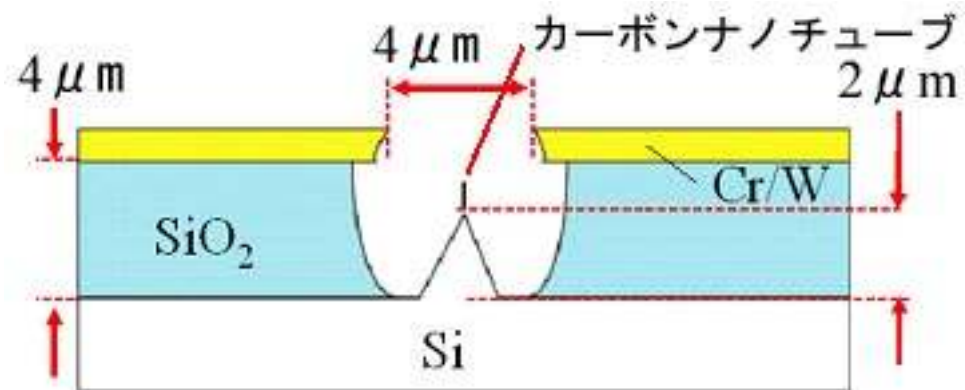
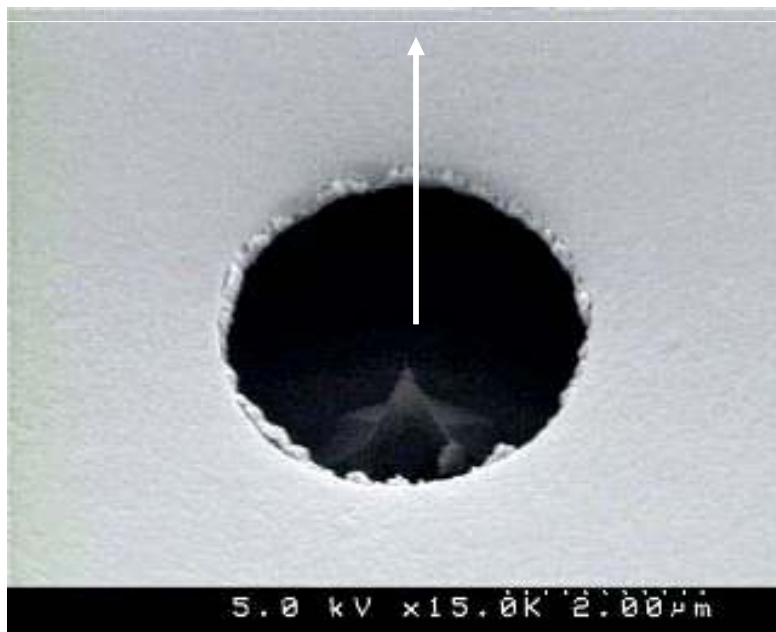
微細化の停滞はコストが原因

ASIC設計への新プロセスの採用が停滞している要因はさまざまだ。その一つとして、最先端プロセスに対応する露光マスクの価格が高騰していることが挙げられる。40nm世代向けのマスク・セットは200万米ドル近くもする。(2億円)



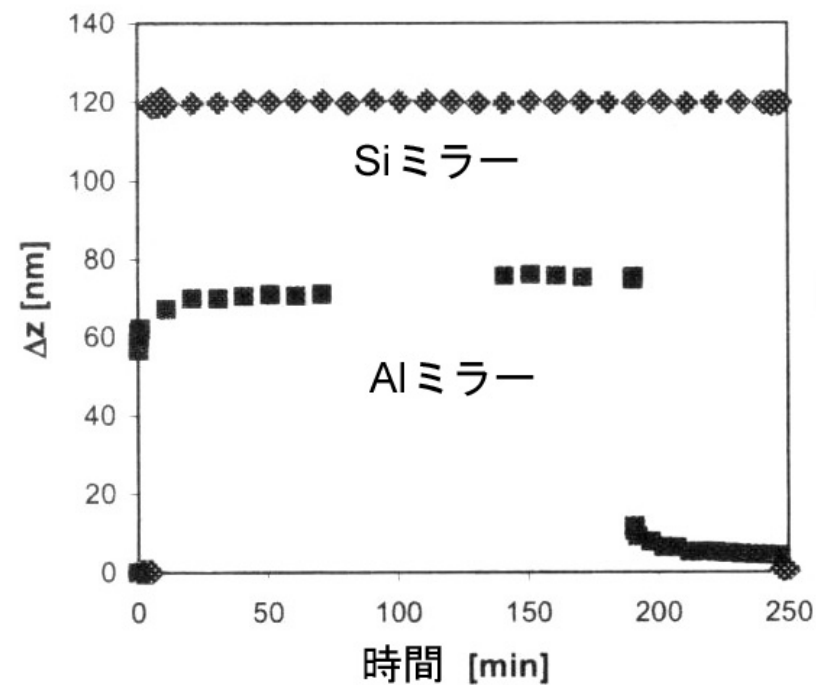
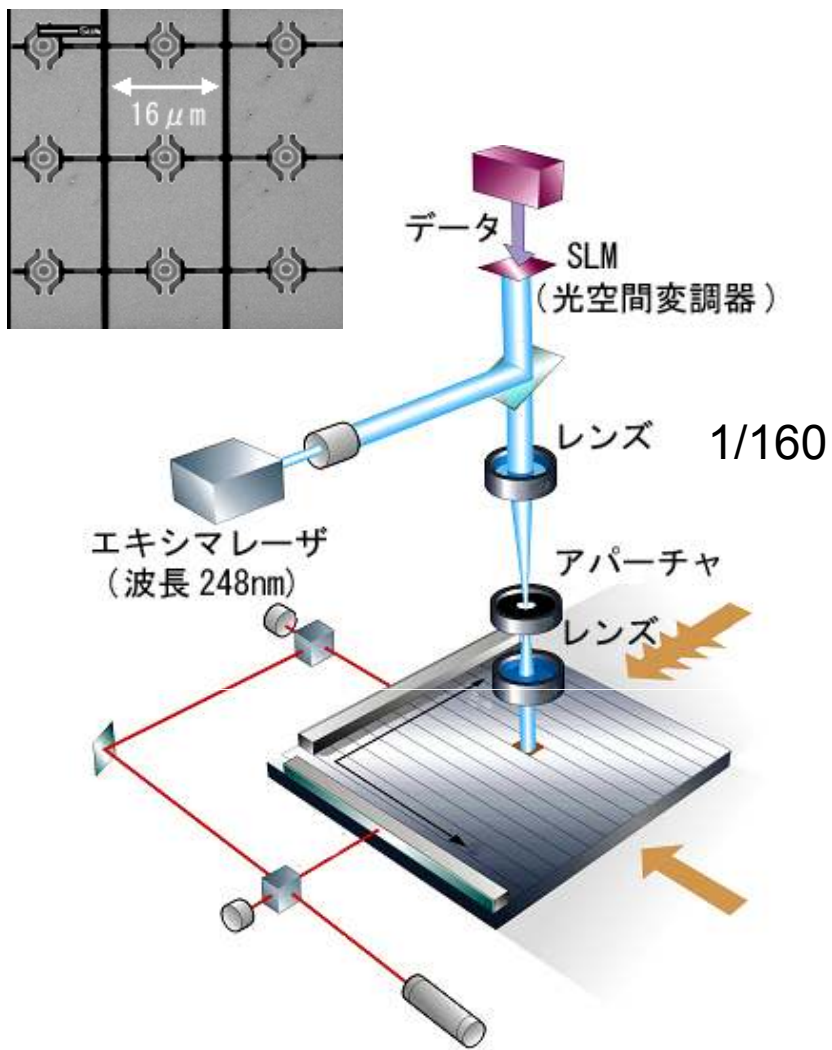
静電レンズ、ゲート
付カーボンナノ
チューブエミッタ

(C.H.Tsai, MEMS 2008,
p.355)



ゲート付カーボンナノチューブエミッタ

(J.Y.Ho, T.Ono & M.Esashi, 33th Intl. Conf. on Micro- and Nano-Engng., Copenhagen (Denmark), (2007/9/23-26))

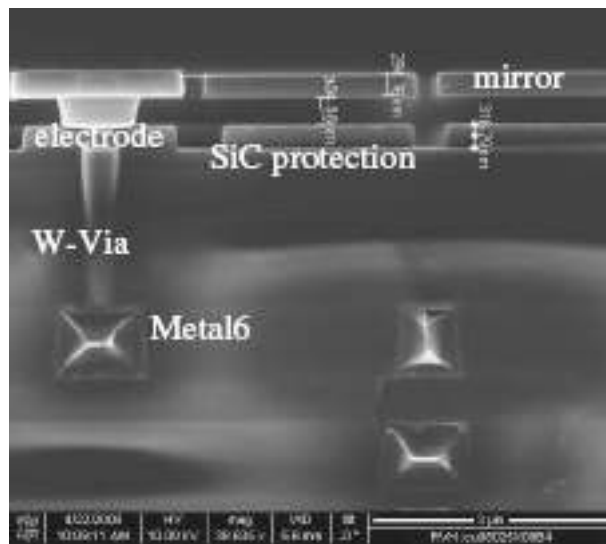


Optical Maskless Lithography –OML (Micronic Laser Systems,)

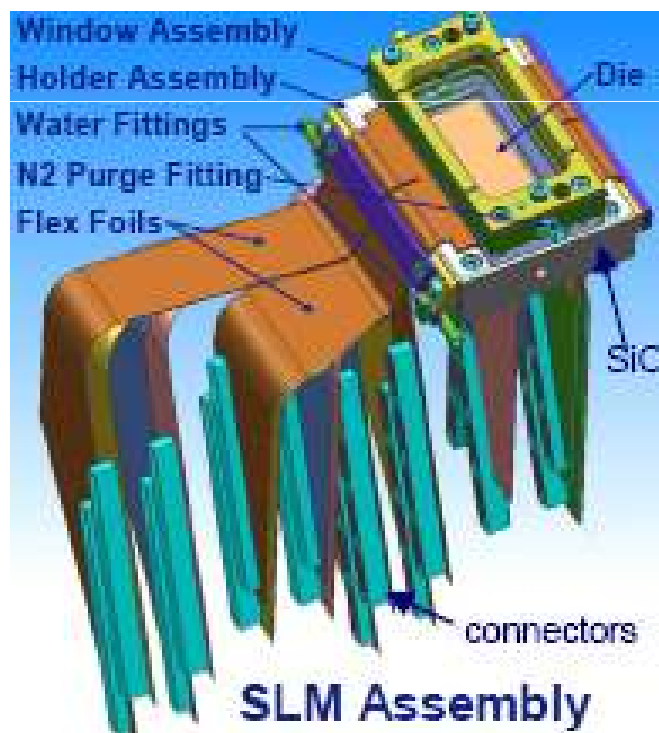
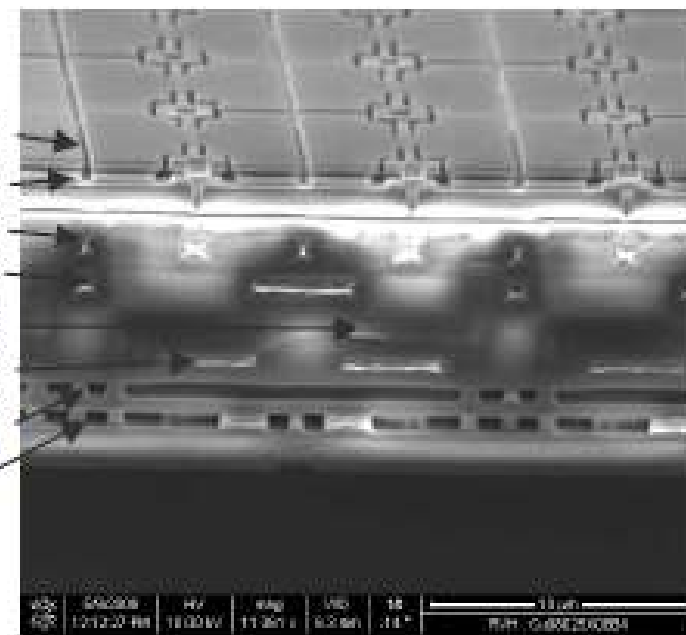
(J.Aman, SPIE 5256 (2003) 684-694)

Micronic Sigma7300

200nm以下の線幅で256×256のパター
ンを毎秒千フラッシュで高速に描画



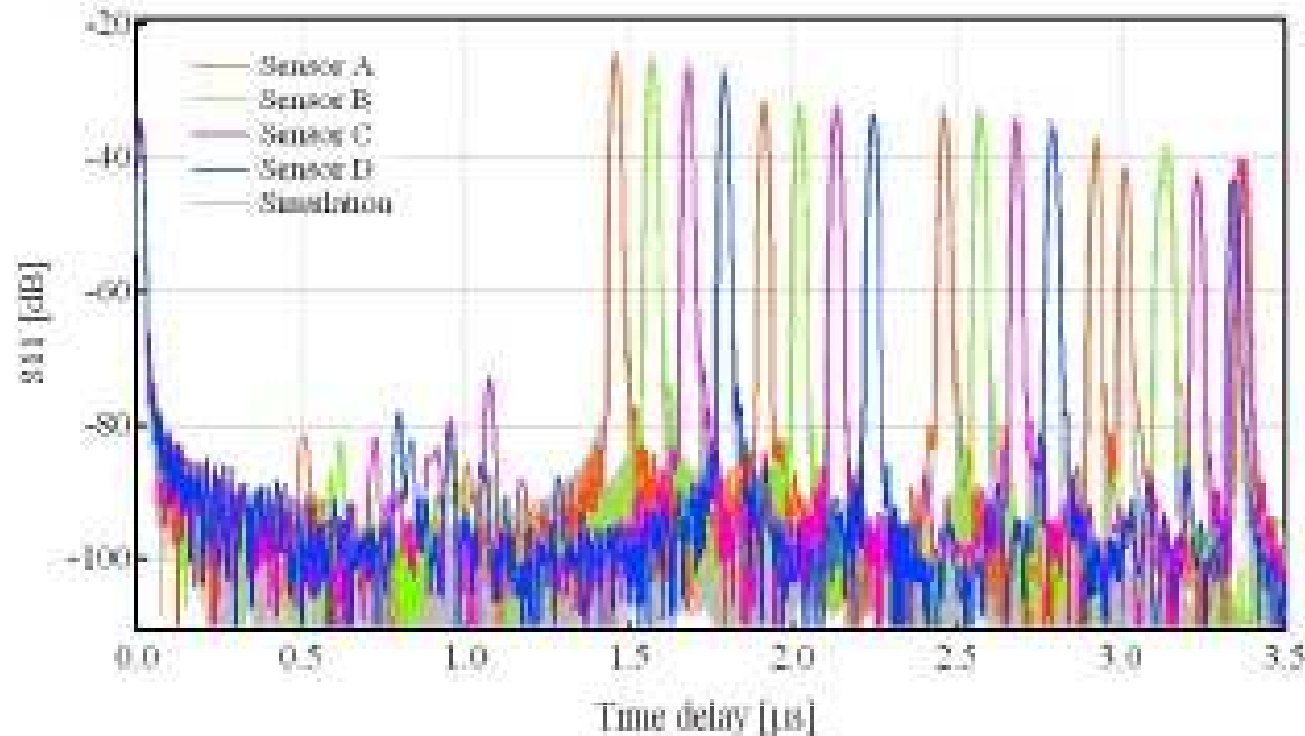
SiGe Mirror
SiGe Electrode
Metal6
Metal 5
Metal 4
Metal 3
Metal 2
Metal 1



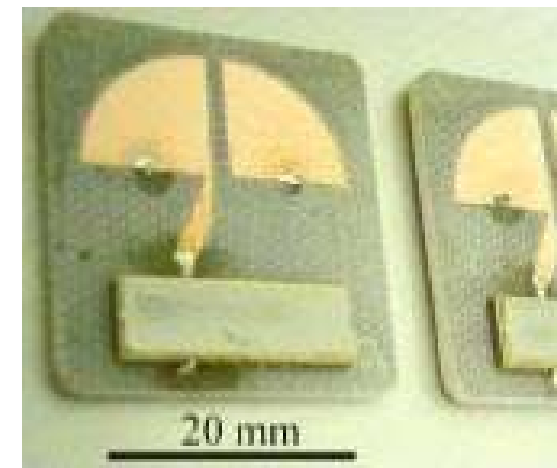
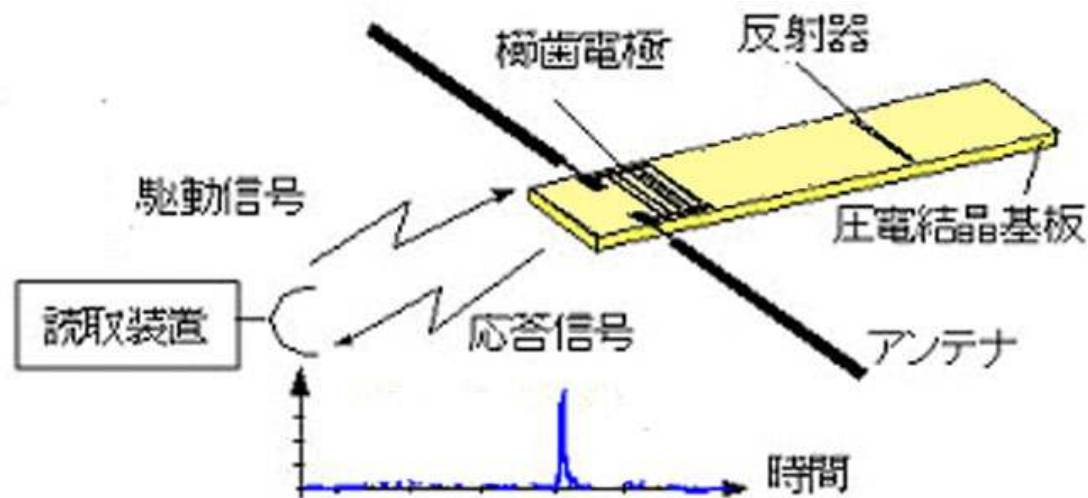
11M Pixel

CMOS整合 Si-Geミラーアレイ

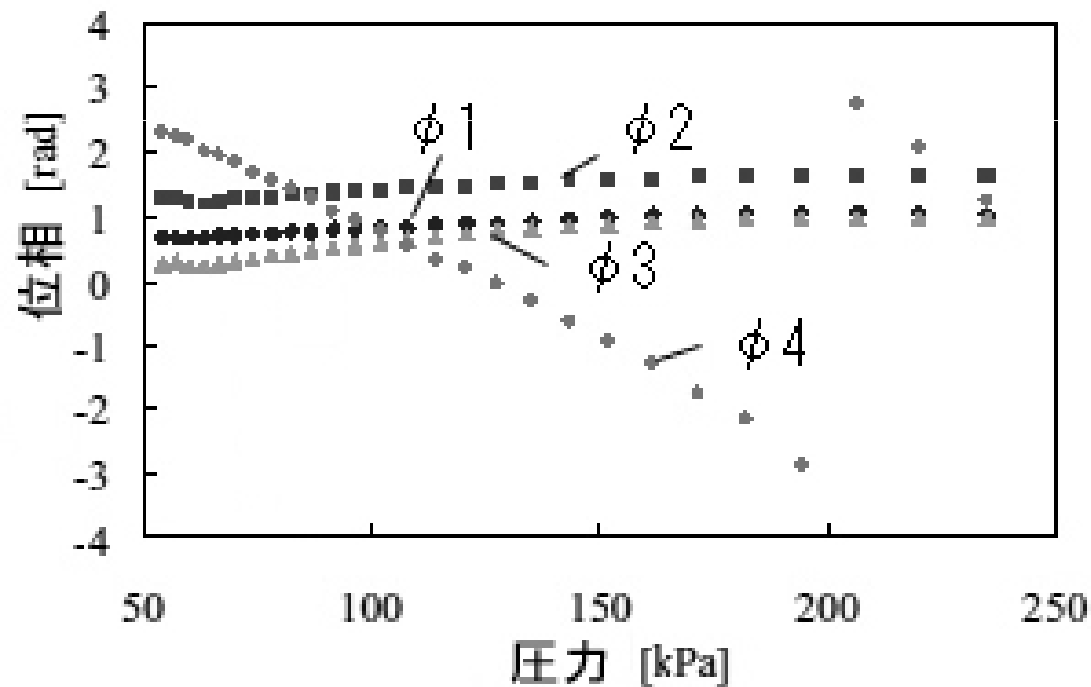
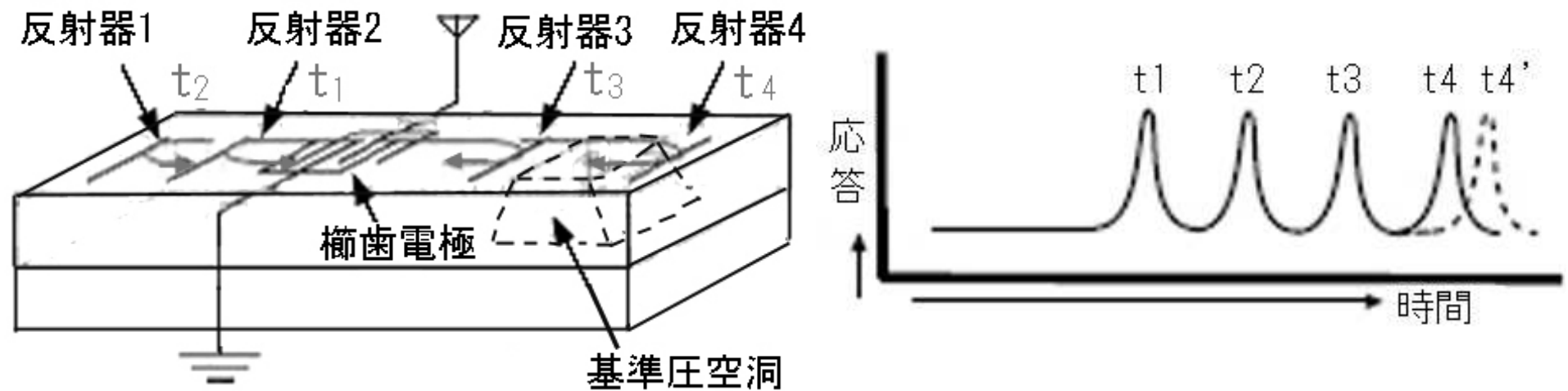
(A.Witvrouw et.al.(IMEC,Philips,ASML), MEMS2009, p.136)



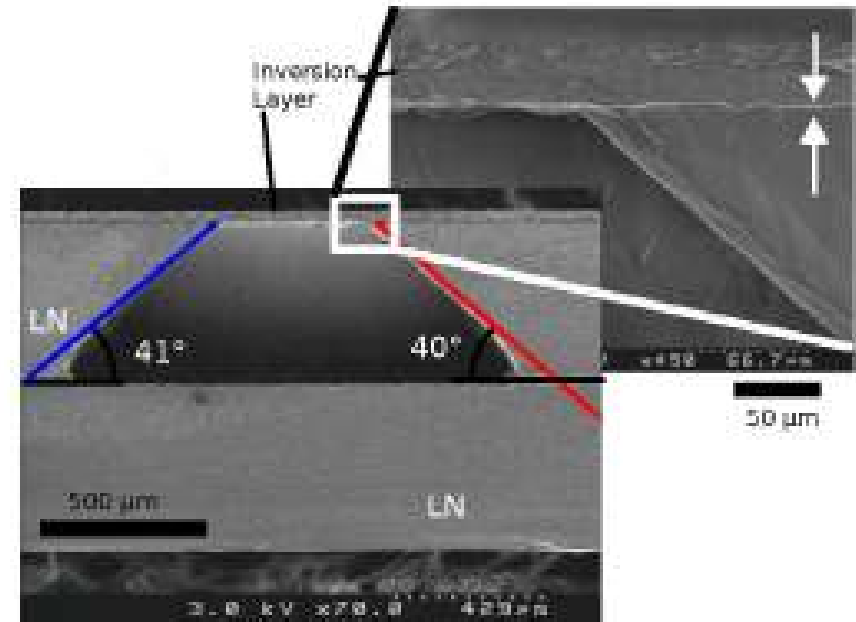
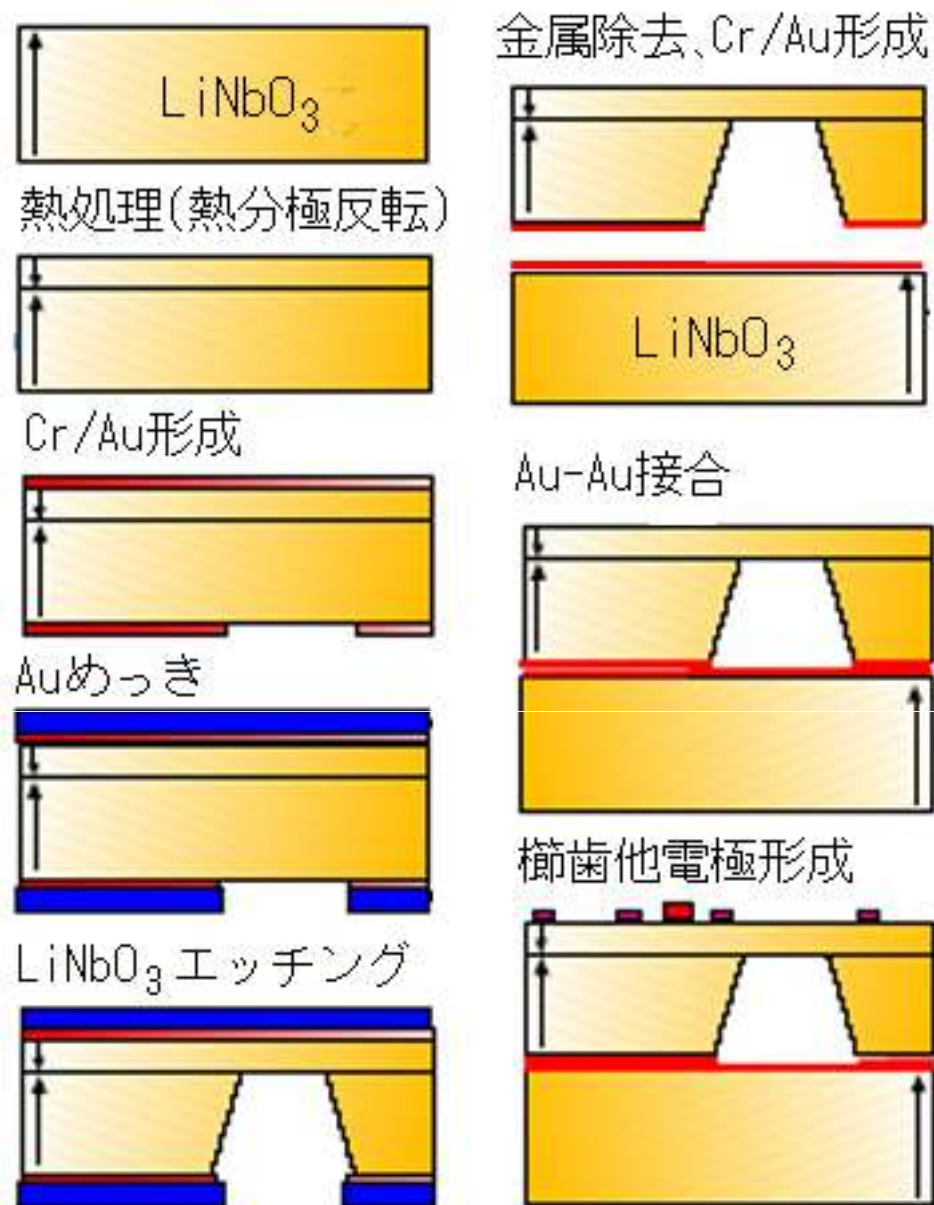
4 チャンネル同時検出例



SAWパッシブワイヤレスセンサ (J.Kuypers, APCOT2006 p.293)

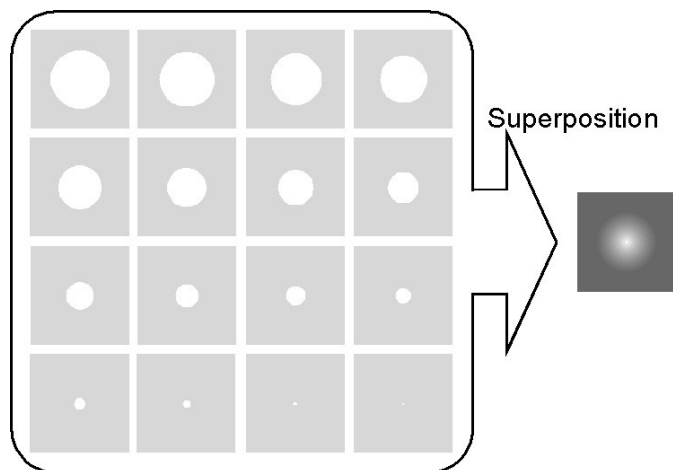


タイヤ圧モニタ用
SAWワイヤレス
パッシブセンサ

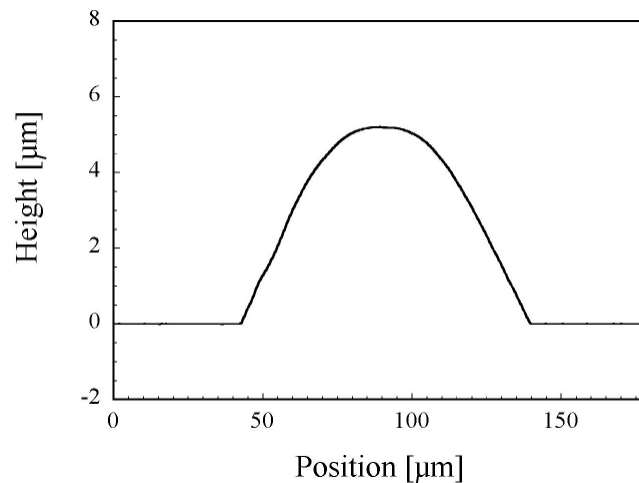


SAWワイヤレスパッシブ圧力センサの製作法

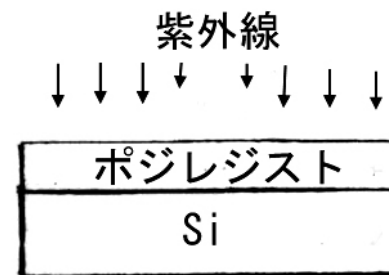
(A.Randles, 2008 IEEE International Ultrasonic Symposium (2008) p.1124)



複数の露光パターンの重畳
によるグレースケール露光



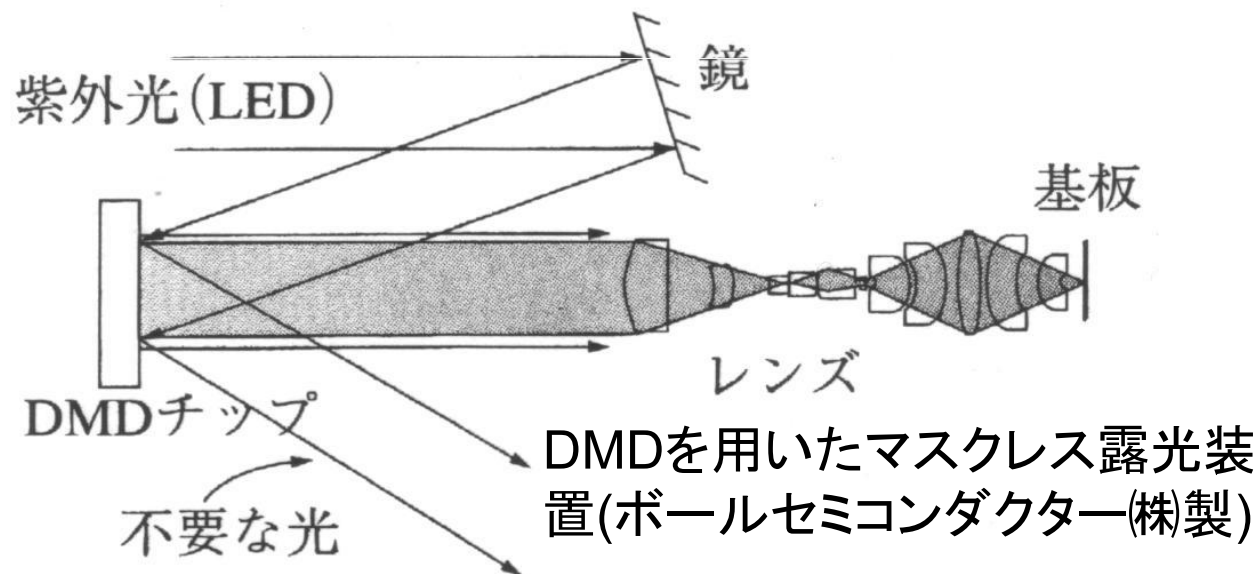
現像後のレジスト断面形状



反応性イオンエッチング
($\text{SF}_6 + \text{O}_2$ ガス)

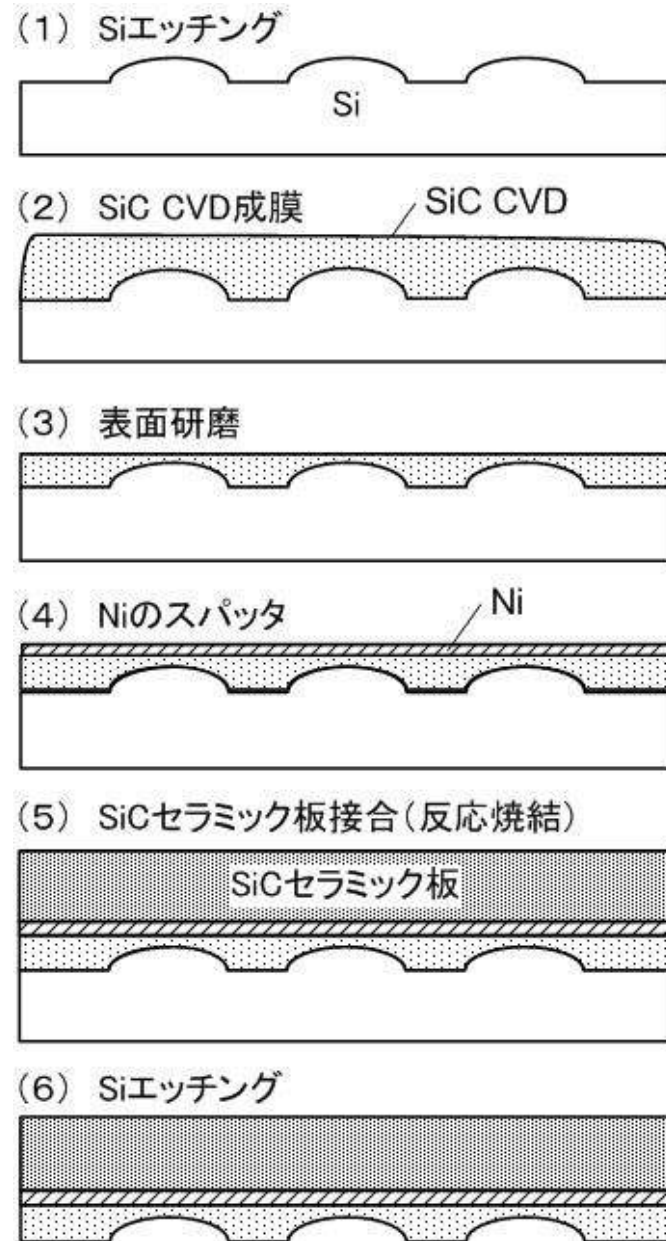


Si上でのレンズ形状の作製

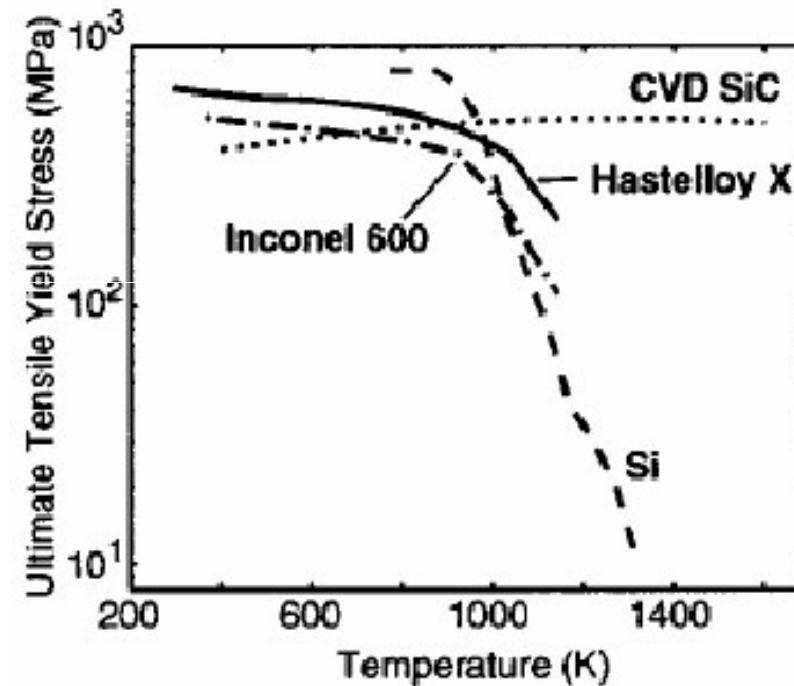
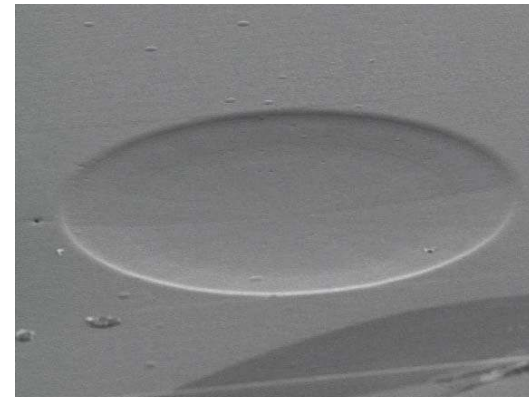


マスクレス露光によるグレースケールリソグラフィ

(K. Totsu et. al. J. Vac. Sci. Technol. B23, 1487 (2005))

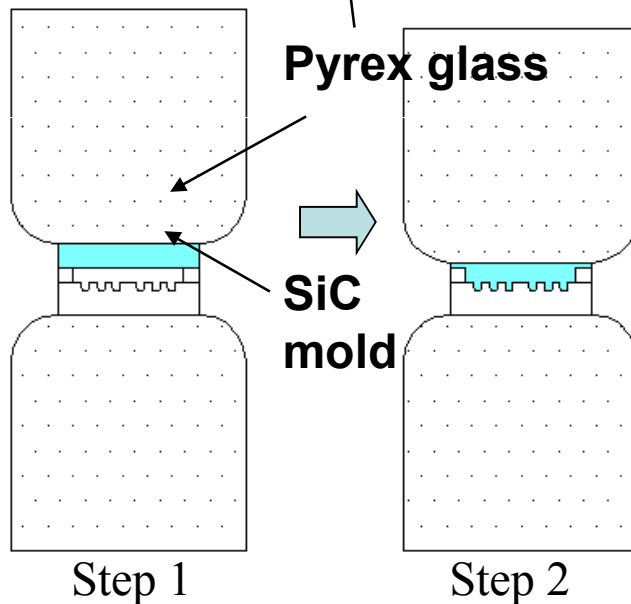
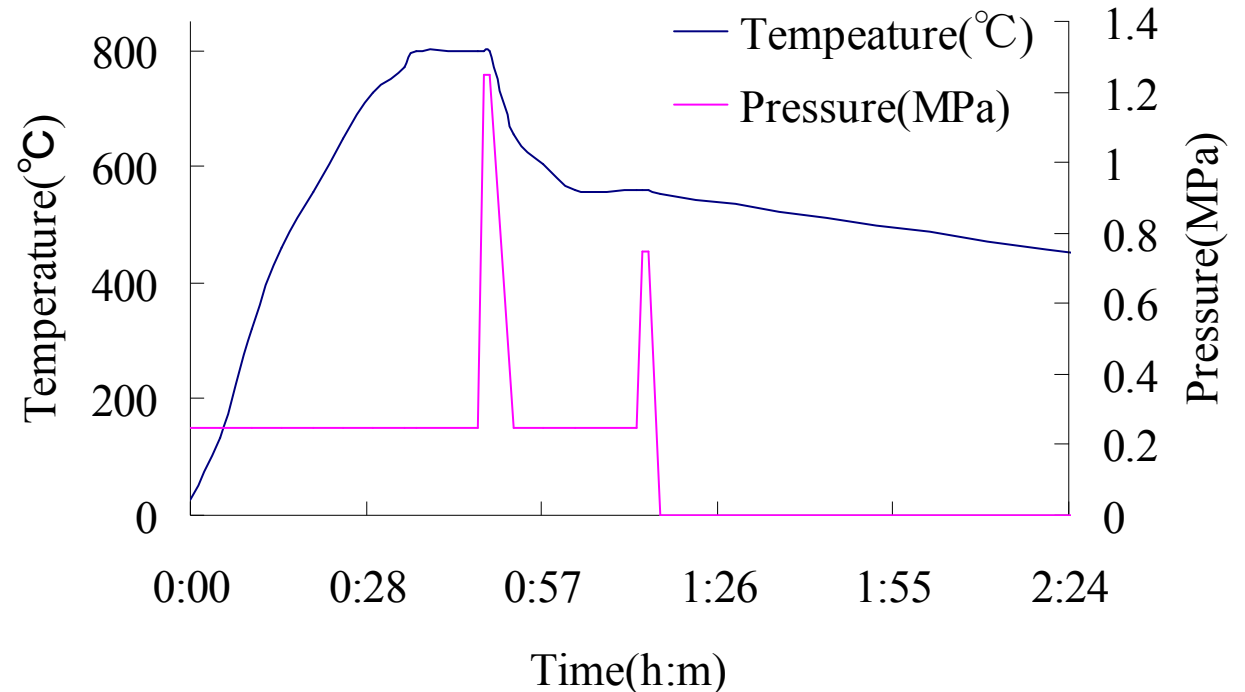
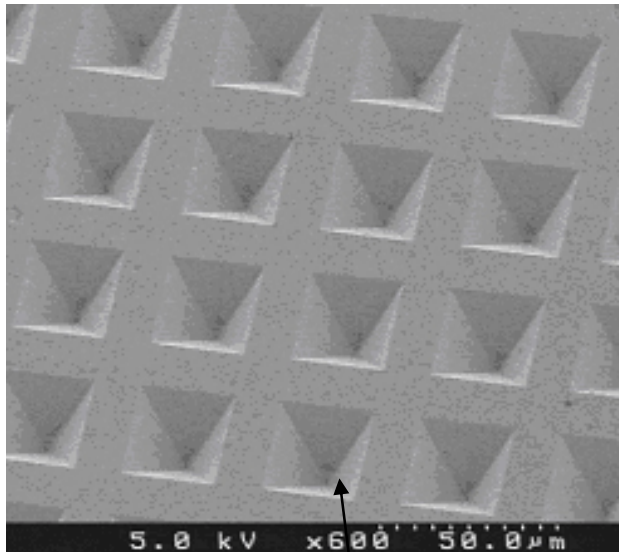


ガラスプレスモールド用SiC構造体
(T.Itoh, Transducers'03 (2003) p.254)



SiCの高温での強度

(A.H.Epstein, J.of Eng.for Gas Turbines and Power, 126, (2004) 205)



プレス中の温度と圧力

Step 1: ガラスの軟化点 (Sp 800°C) まで加熱

Step 2: プレス後、ガラス転移点 (Tg 528°C) まで冷却し、再度プレス

Step 3: ガラスをモールドから分離終了

ガラスプレスモールドイング

(K.-O.Min, MEMS'2005, 475) ⁵⁸

1. はじめに

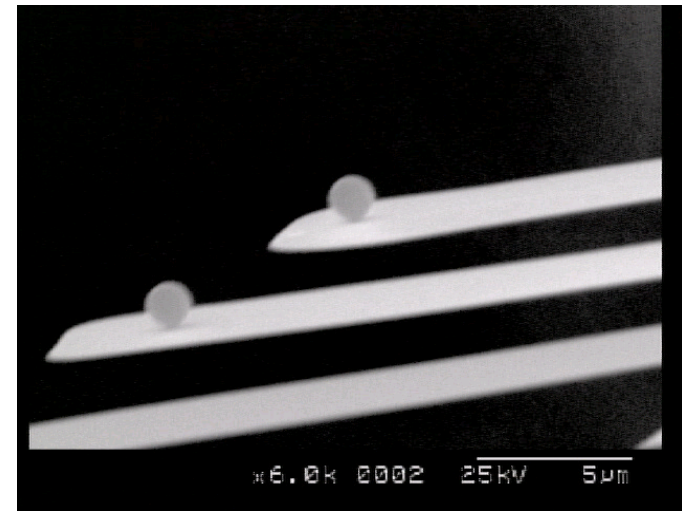
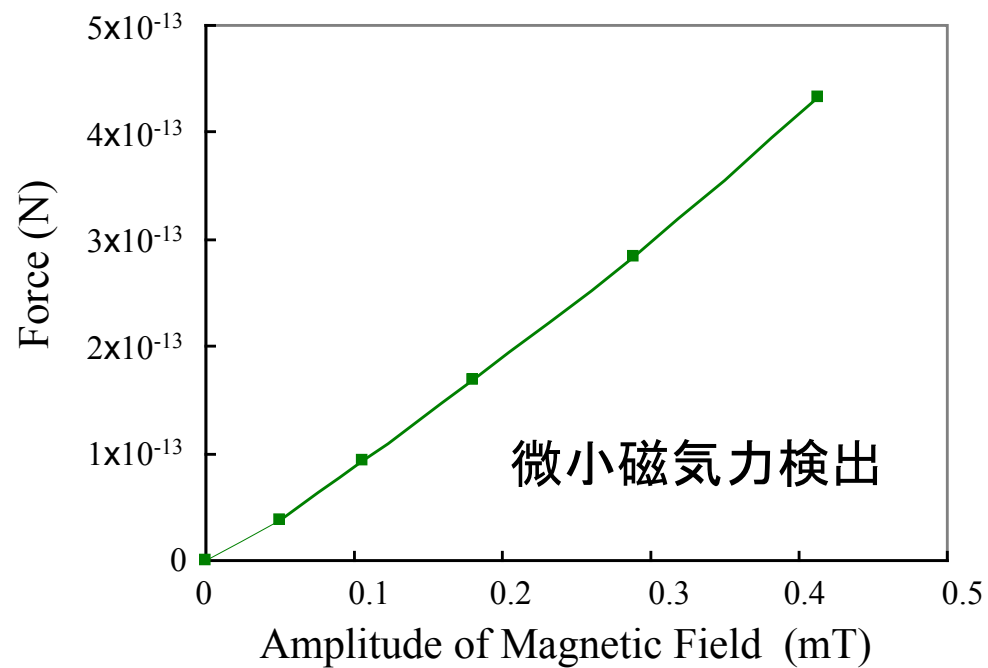
2. 自動車・家電(圧力センサ、加速度センサ、ジャイロ)

3. 情報・通信(ディスプレイ、データストレージ 他)

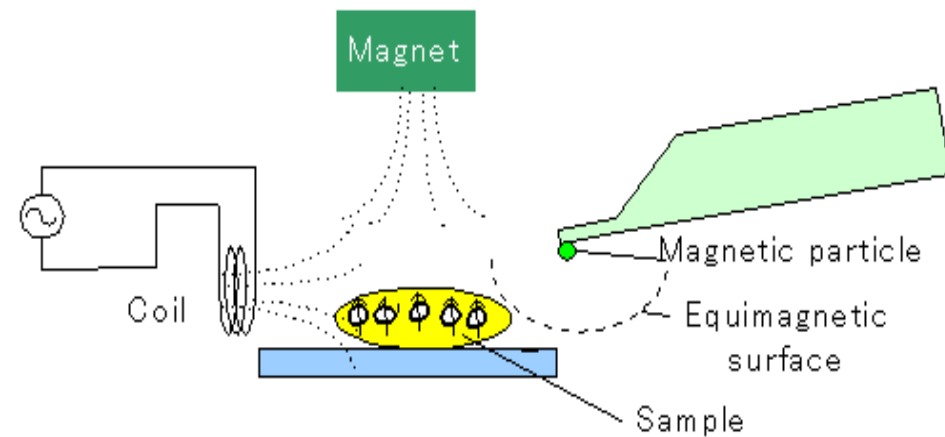
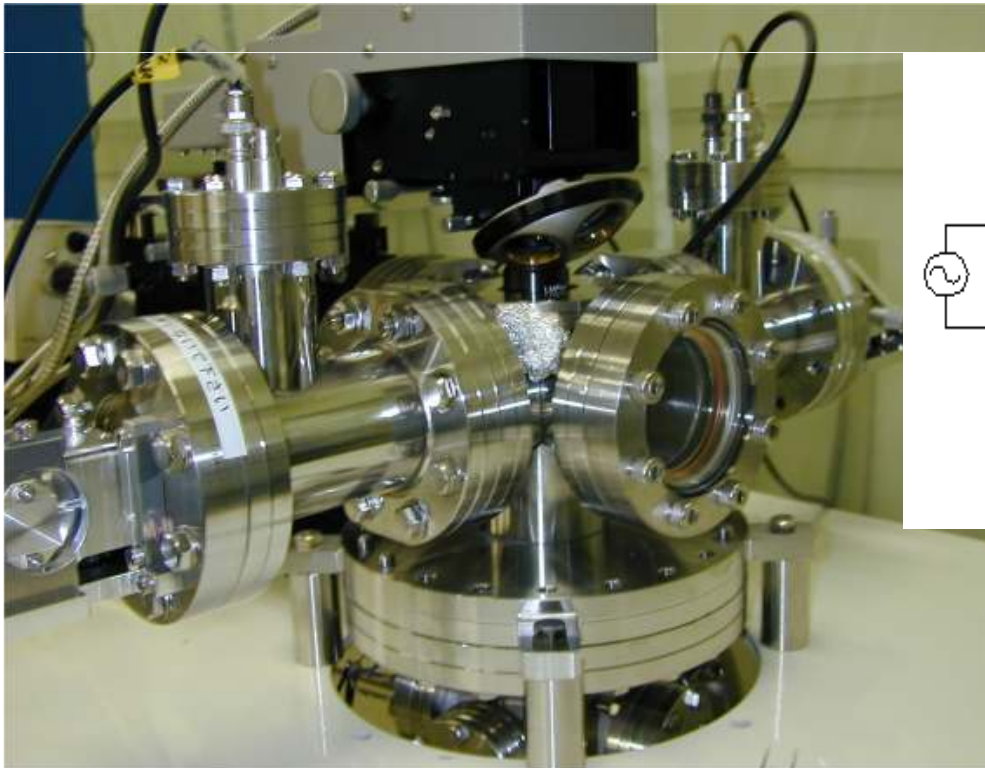
4. 製造・検査(マスキレス露光、プローバ 他)

5. 医療・バイオ他(極細光ファイバ血圧センサ 他)

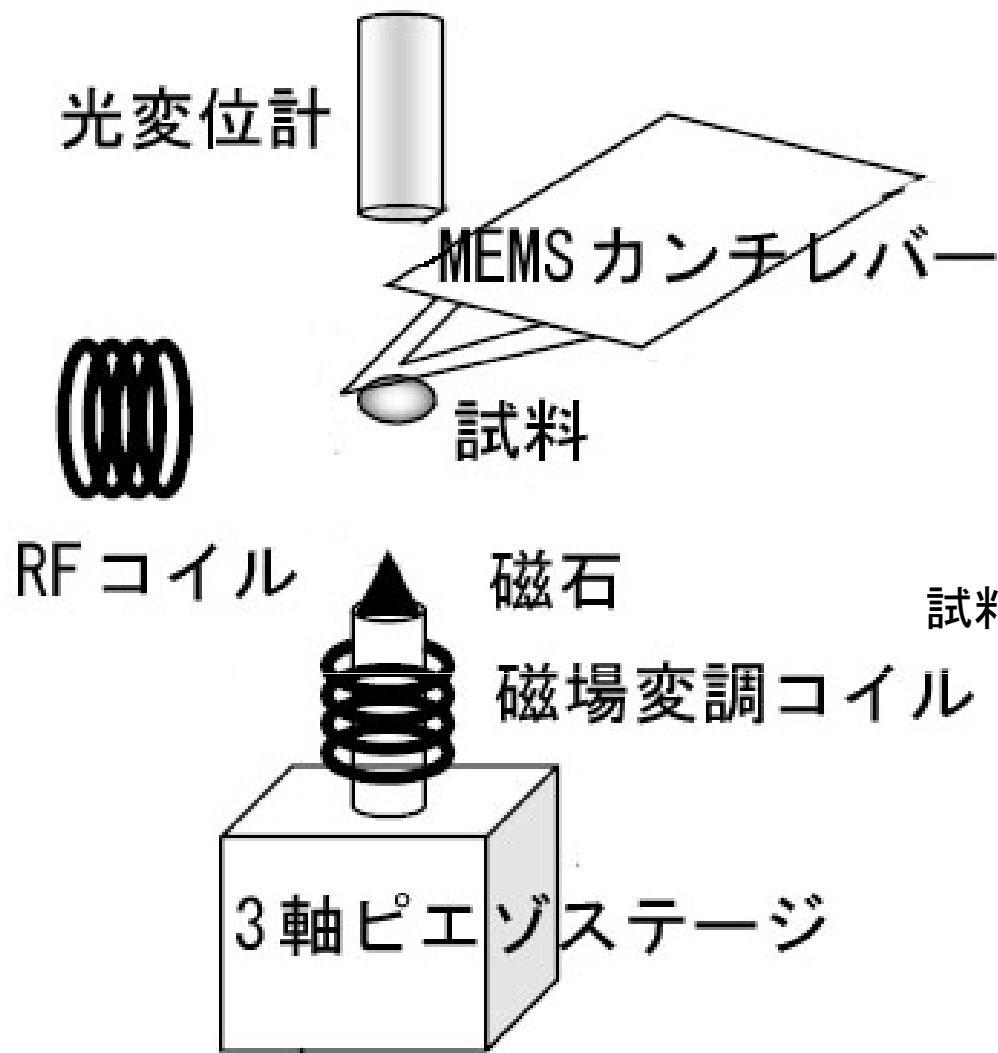
6. 集積化MEMSと産業化の問題点



厚さ50nmのSiカンチレバーに1.5 μ m
径のFe球を付けた振動子



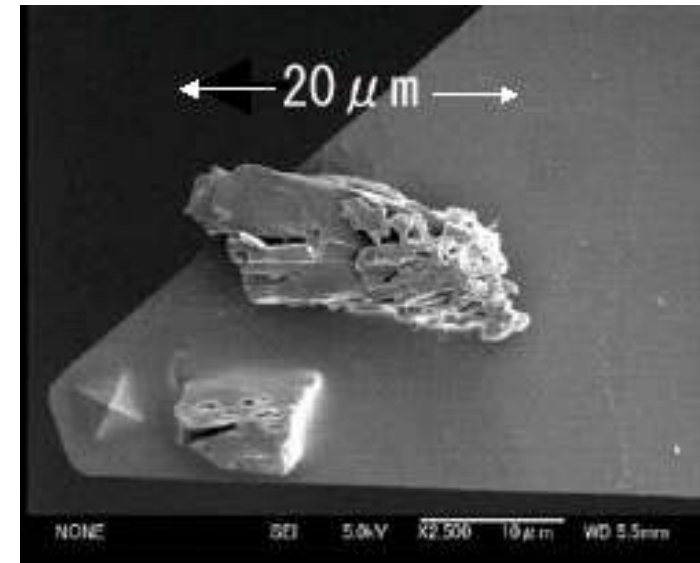
MRFM
(T.Ono et.al., MEMS'2001)



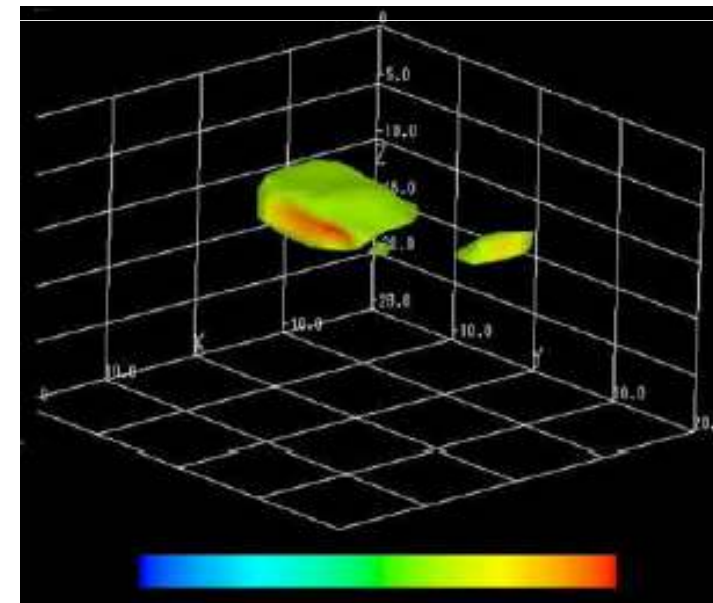
装置の構成

MRFM (Magnetic Resonance Force Microscope)
によるESR (Electron Spin Resonance) イメージング

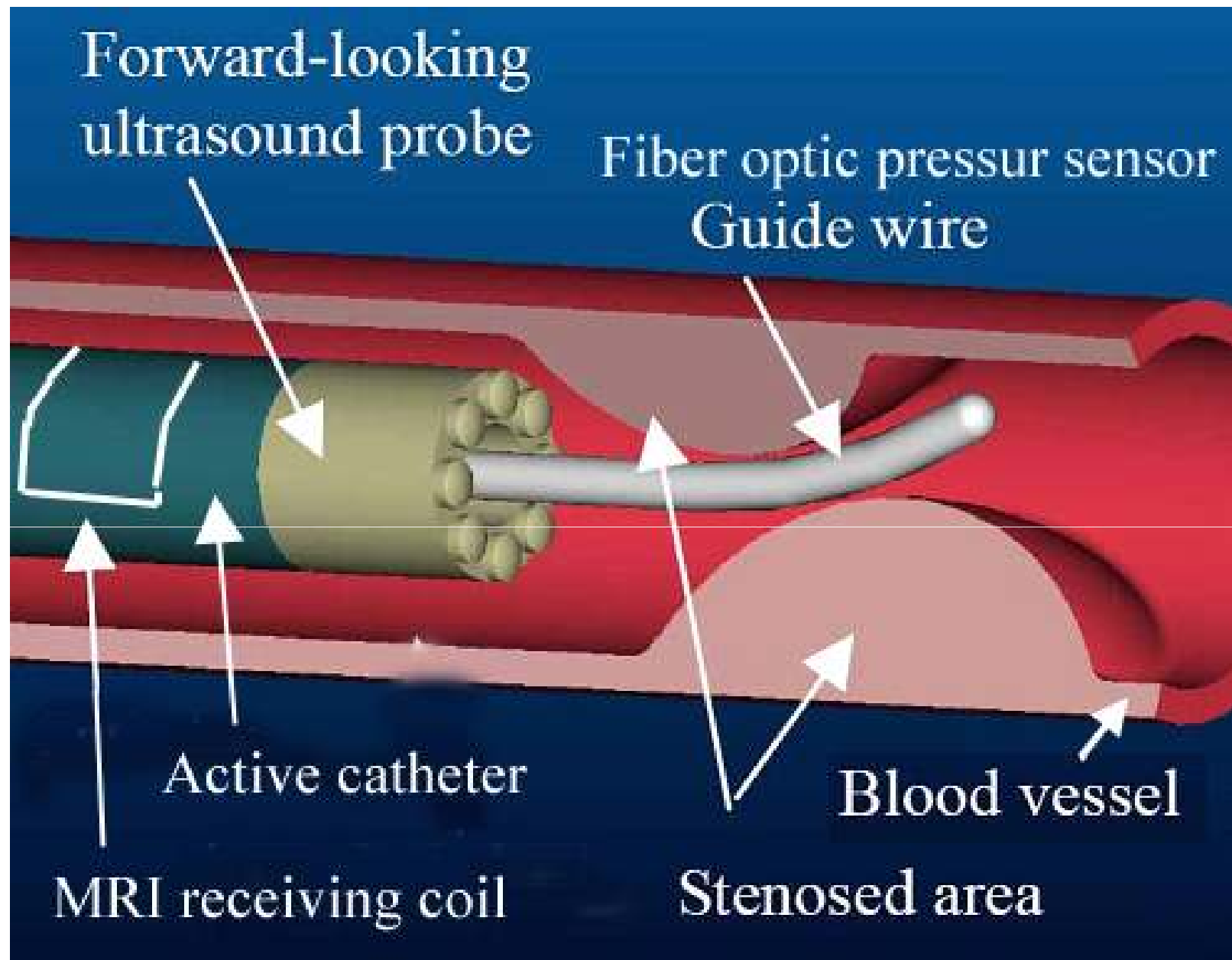
(S.Tsuji, J. of Magnetic Resonance, 167 (2004) p.211)



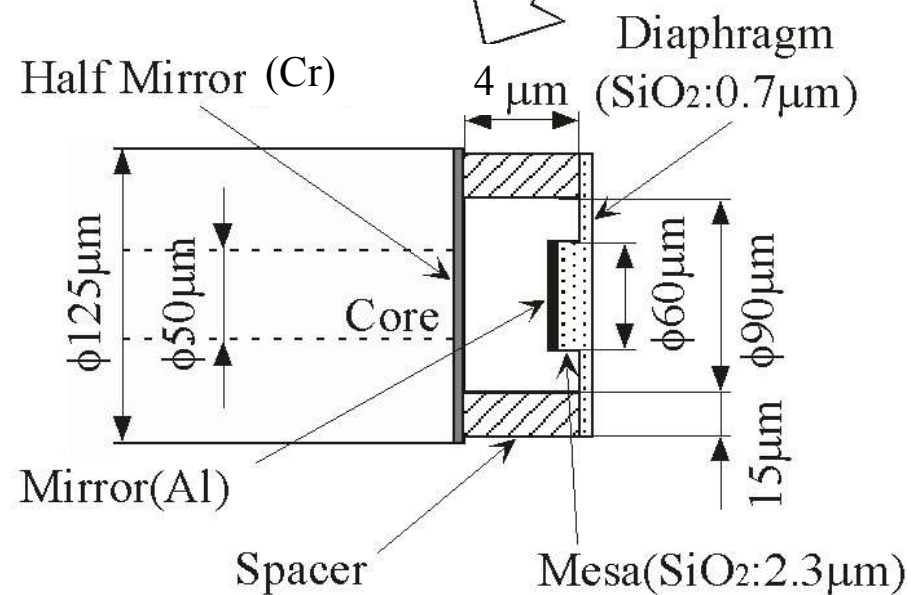
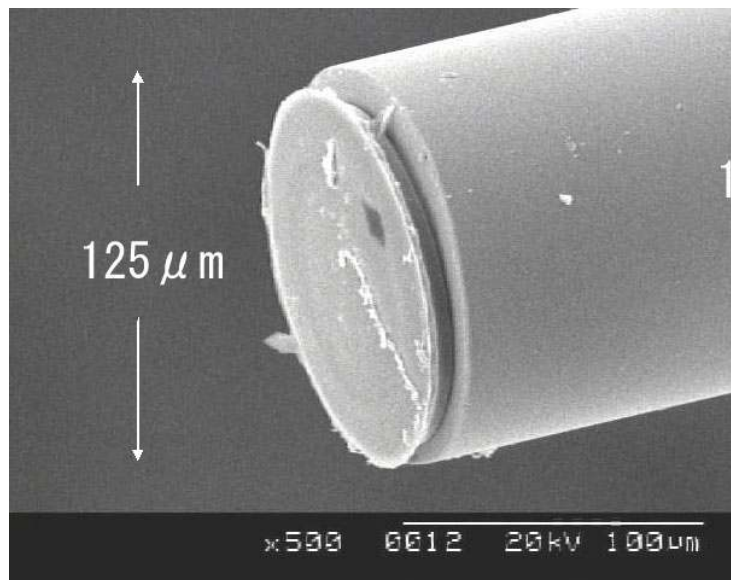
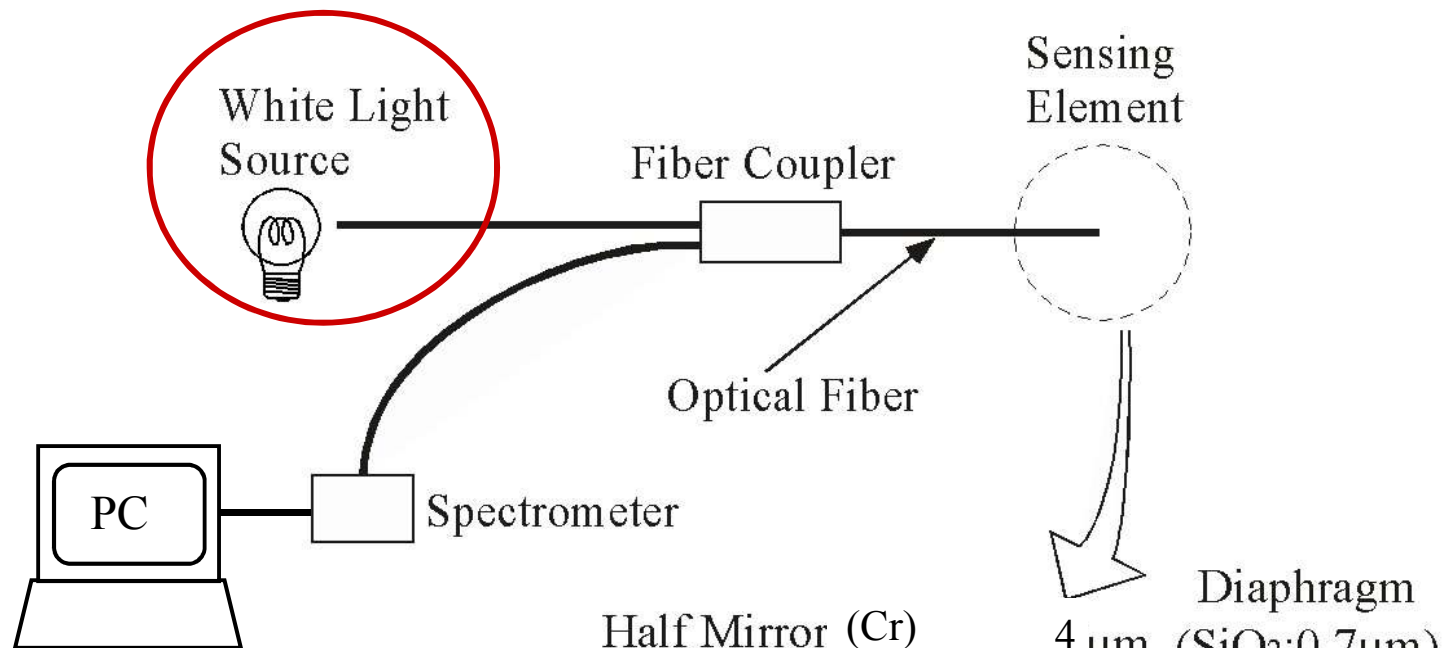
試料DPPH (diphenylpicrylhydrazil)粒子のSEM像



断面を含むMRFM像

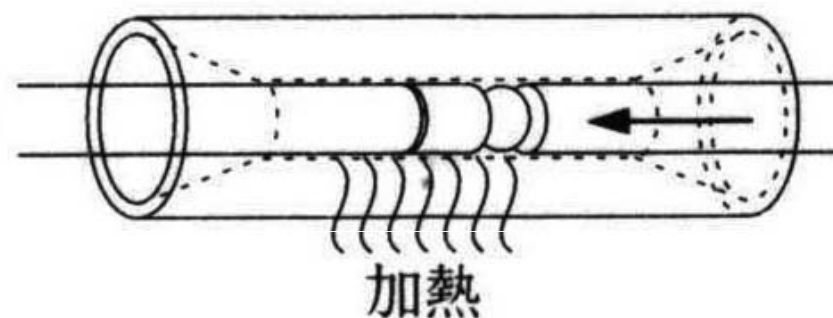
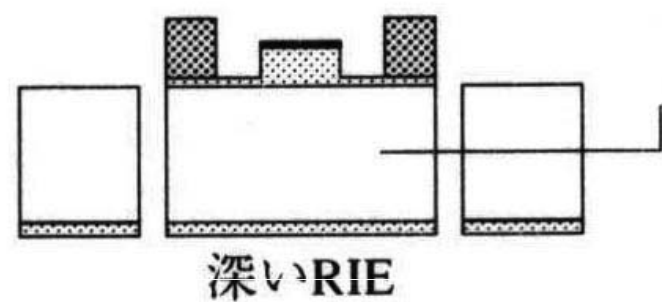
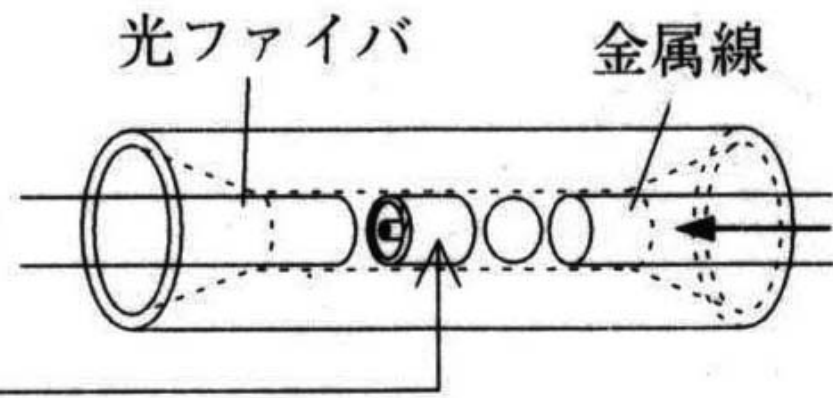
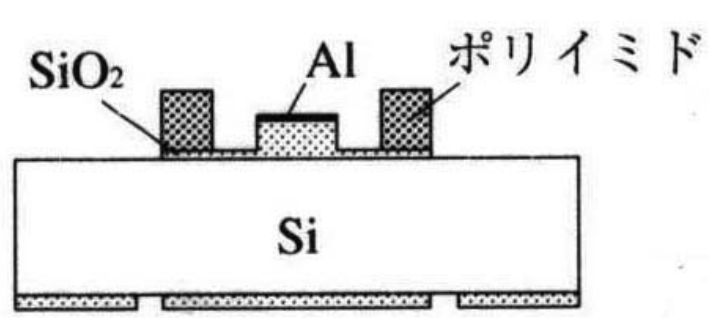


Concept of multifunctional active catheter

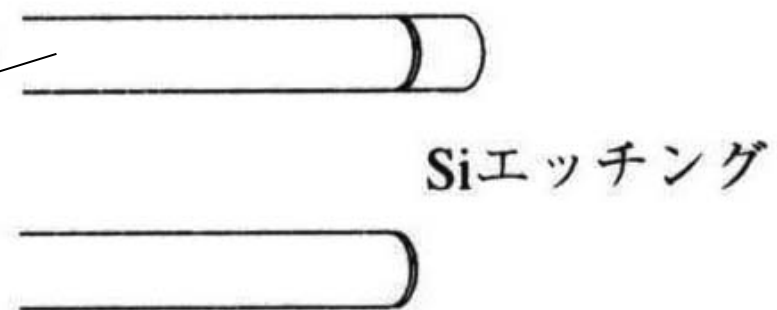
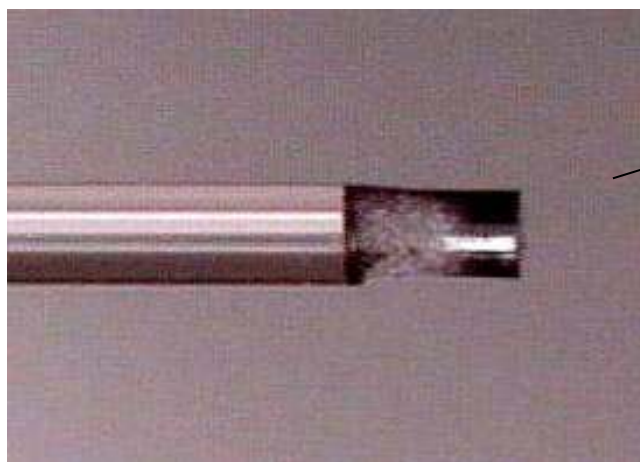


極細光ファイバー血圧センサ

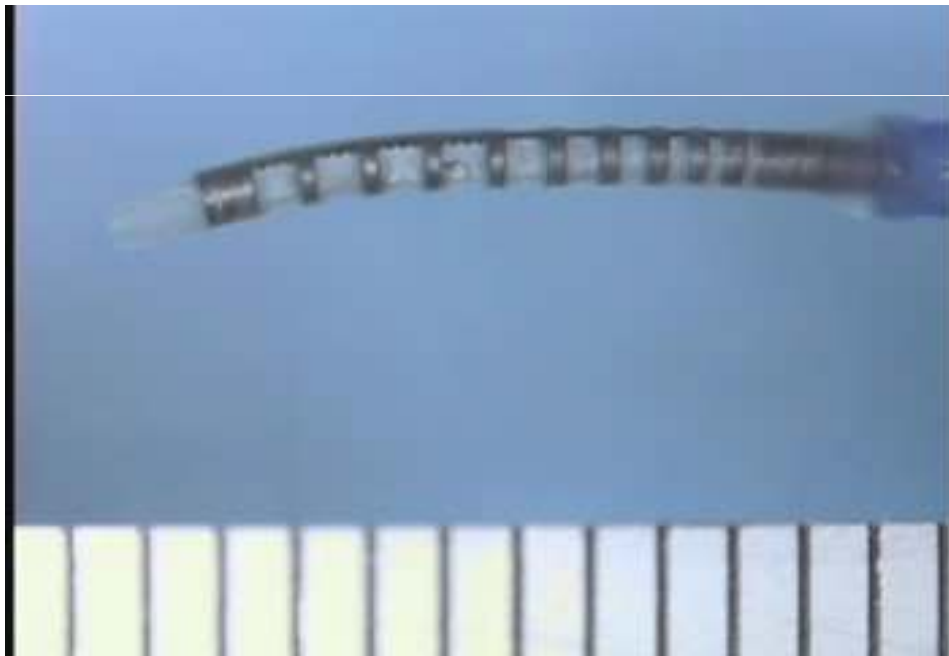
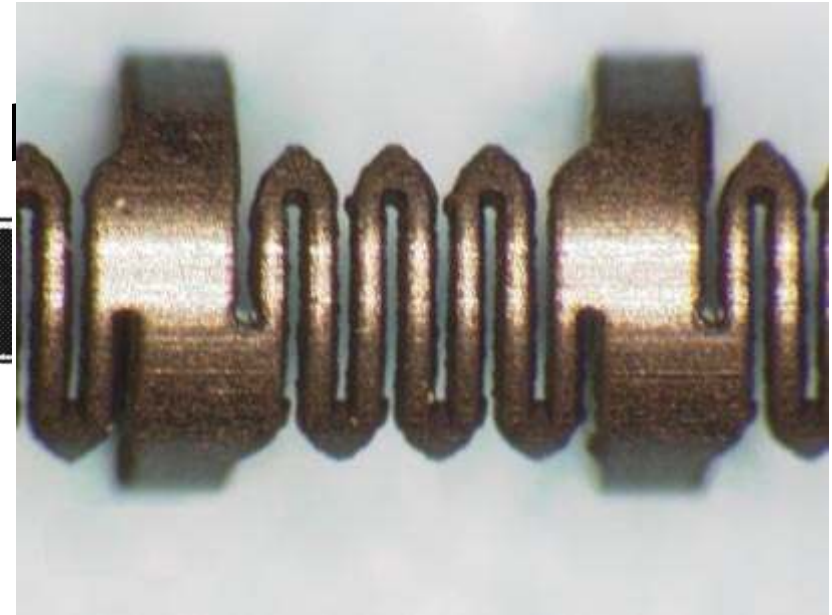
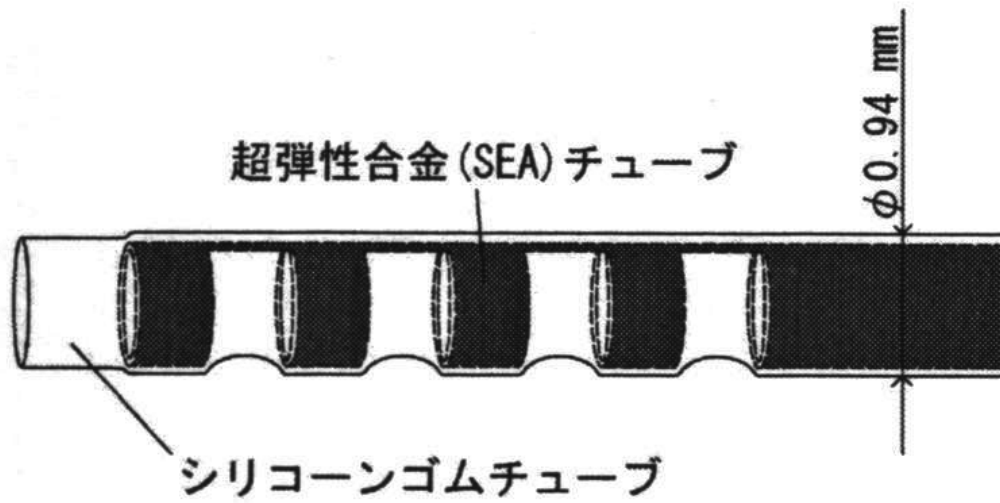
(T.Katsumata et.al., Optical MEMS'97) (K. Totsu et.al., Transducers'03 (2003))



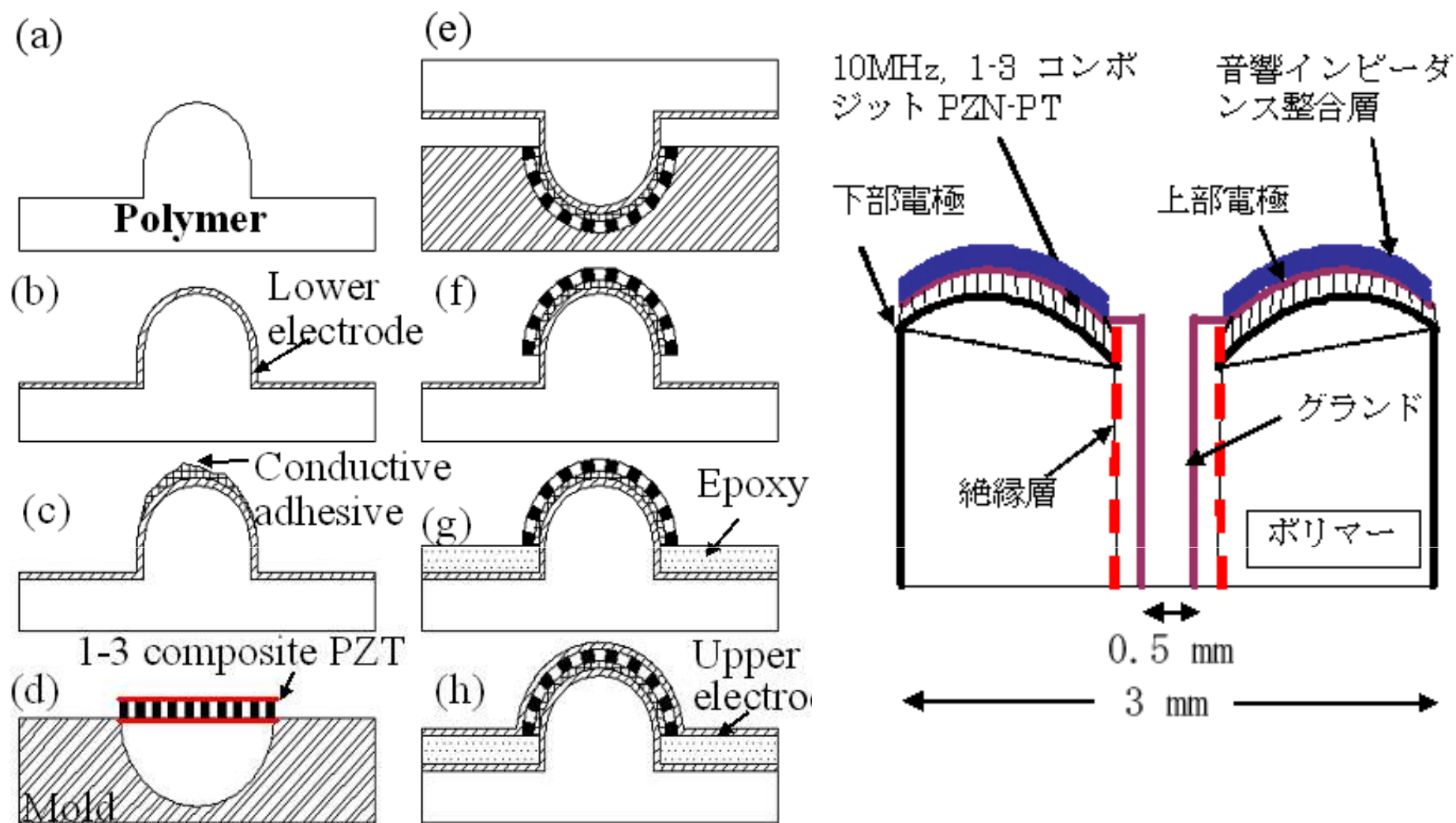
10万チップ / 4インチウェハ



極細光ファイバ圧力センサの製作法



(六鎗雄太 他、第42回日本エム・イー学会大会論文集, 札幌 (2003) p. 246)⁶⁵

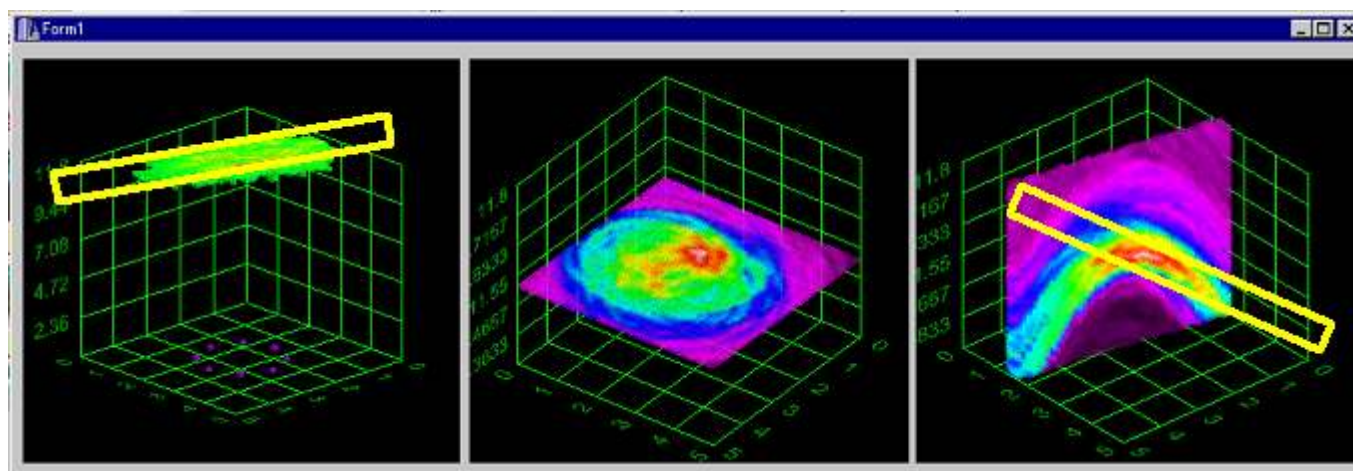
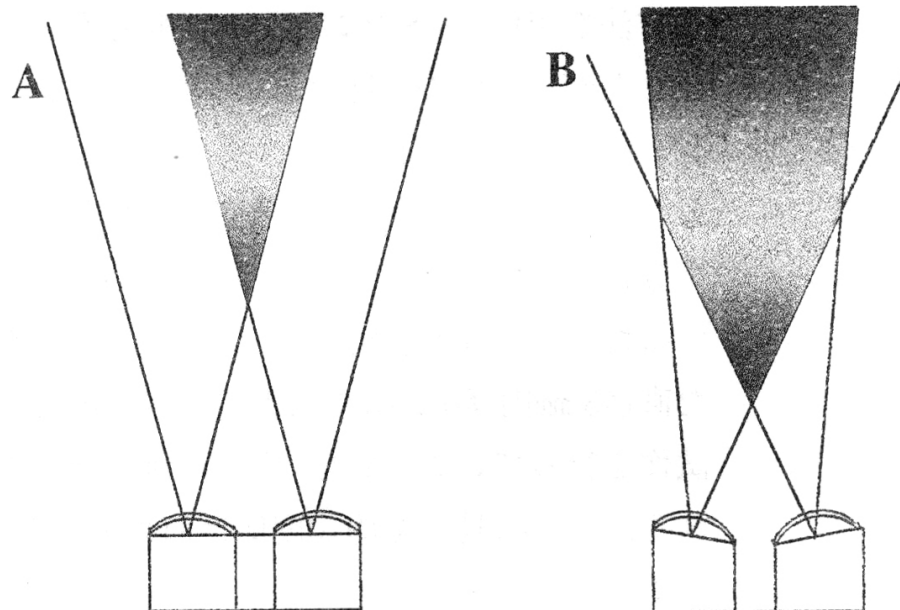


改良型前方視超音波内視鏡の構造と製作工程

(J.-J.Chen, IEEE Sensors 2005, 920)



3 mm



改良型前方視超音波内視鏡と金属棒のイメージング例

(J.-J.Chen, IEEE Sensors 2005, 920)

1. はじめに

2. 自動車・家電(圧力センサ、加速度センサ、ジャイロ)

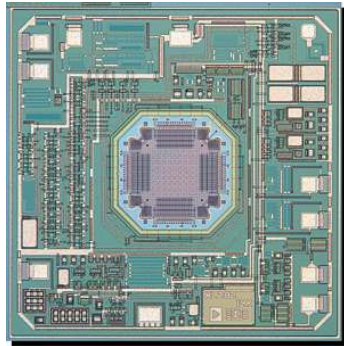
3. 情報・通信(ディスプレイ、データストレージ 他)

4. 製造・検査(マスクレス露光、プローバ 他)

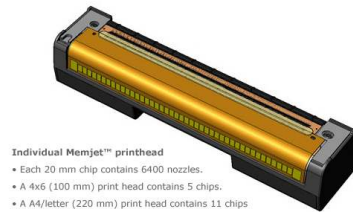
5. 医療・バイオ他(極細光ファイバ血圧センサ 他)

6. 集積化MEMSと産業化の問題点

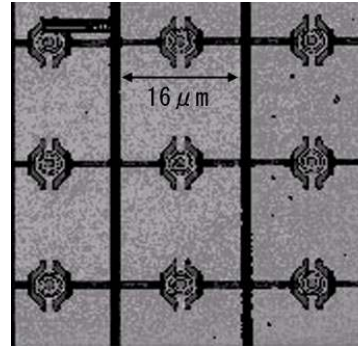
容量型センサ



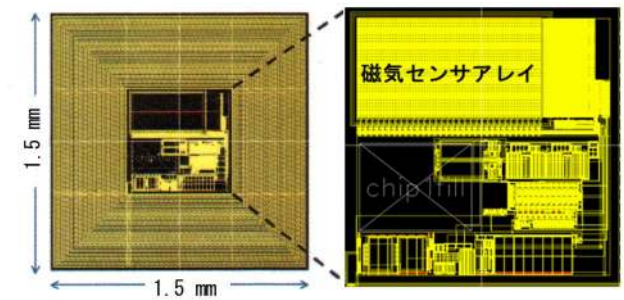
1次元アレイ



2次元アレイ



無線チップ



集積化加速度センサ

ST and ADI accelerometers power Nintendo controller



ゲーム機

ラインプリンタヘッド



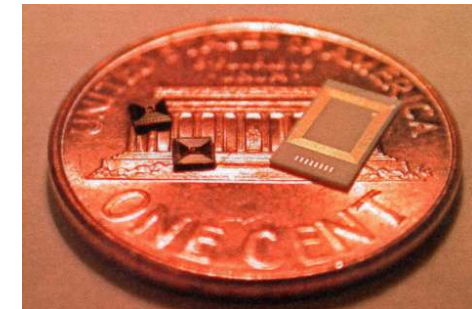
高速インクジェットプリンタ

光空間変調器



マスクレス露光機

ワイヤレス免疫センサ

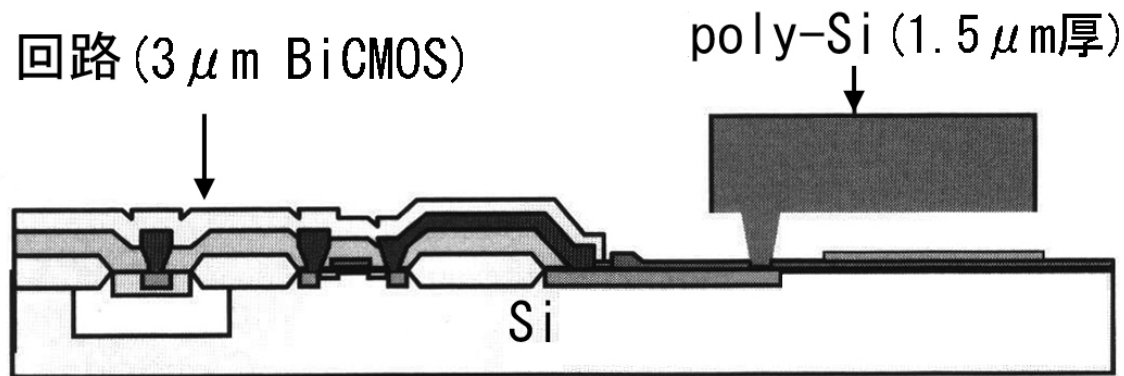


使い捨て診断チップ

現状 →

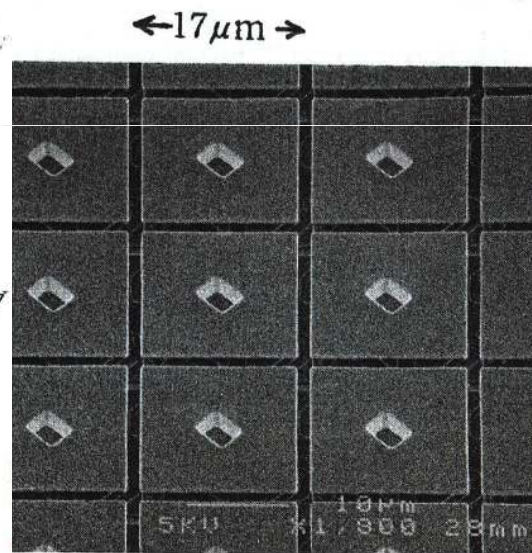
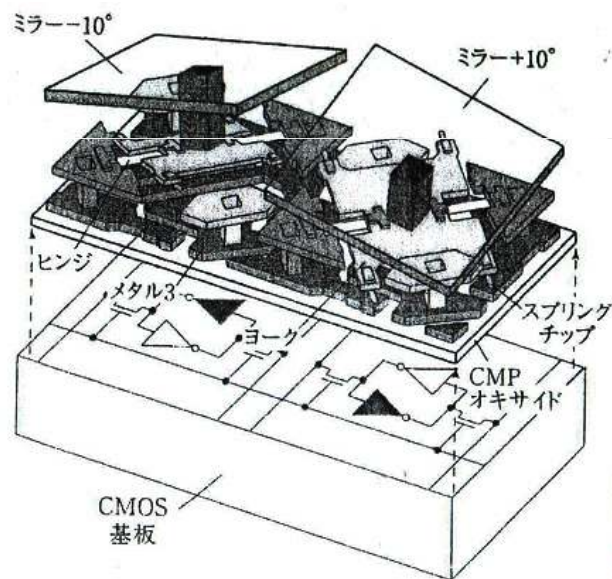
将来 (高性能MEMS + 微細LSI → 高速・高機能)
多様で高付加価値LSI → 競争力の高いシステム

集積化MEMSの進化 (例)



加速度センサ(アナログデバイス)

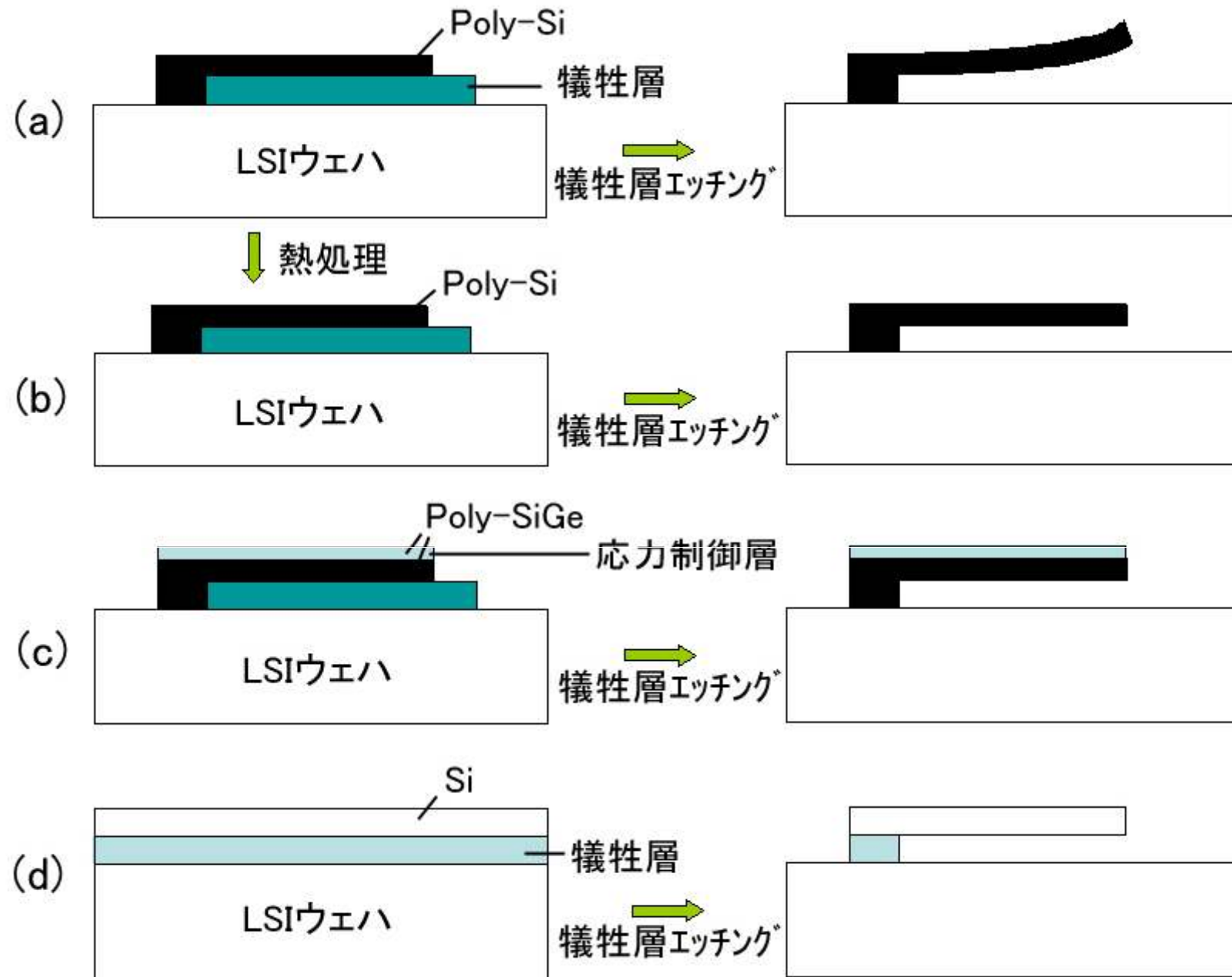
ばねとして優れた構造のMEMSにするため、ポリシリコンの応力制御に1100°C、3hの熱処理が必要。このため、**微細回路の上には形成できない。**



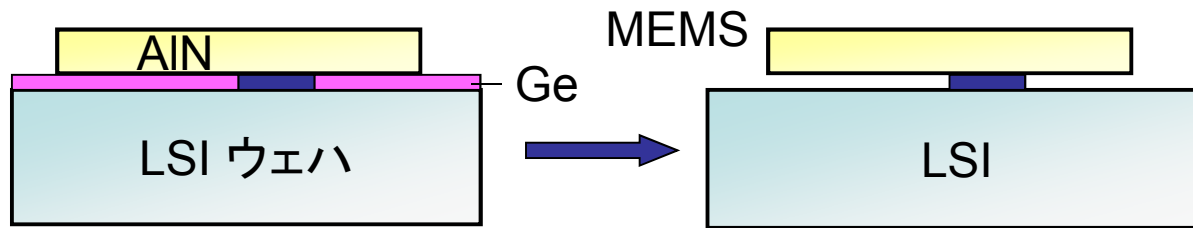
Al合金製のMEMSなため、低温で微細回路上にでも形成できる。しかし**MEMSはバネとしての性能が良くない。**

ビデオプロジェクタ用DMD(テキサスインスツルメンツ)

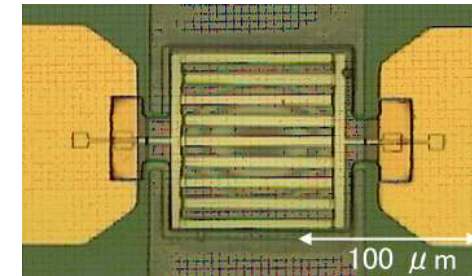
現在の集積化MEMS



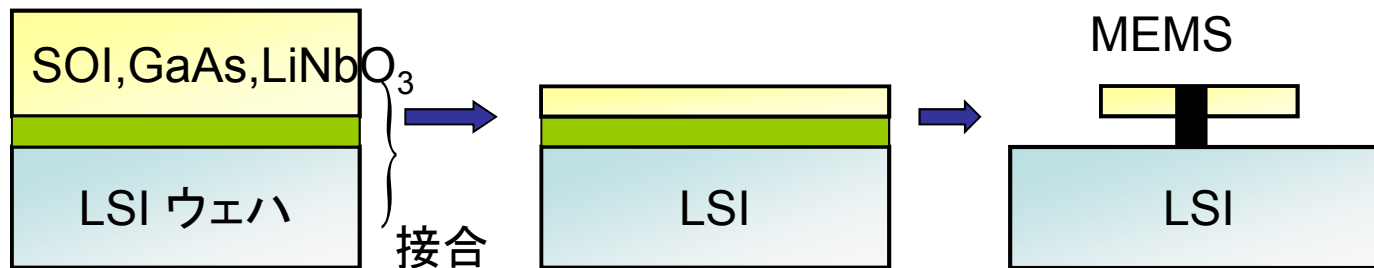
ばねとして優れた構造の表面マイクロマシニング 71



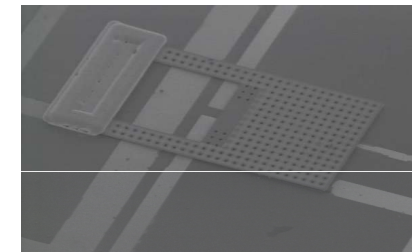
堆積したGe/AlNによる表面マイクロマシニング
(LSIが損傷・劣化しないようにMEMSを作製)



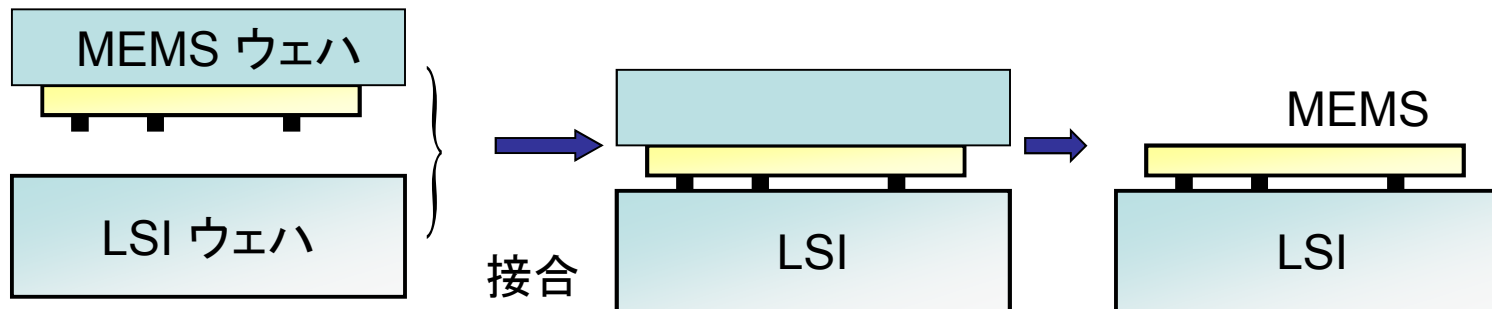
AlN ラム波共振子



単結晶材料接合後MEMS形成
(低温接合し、さらに LSIが損傷・劣化しないようにMEMSを作製)

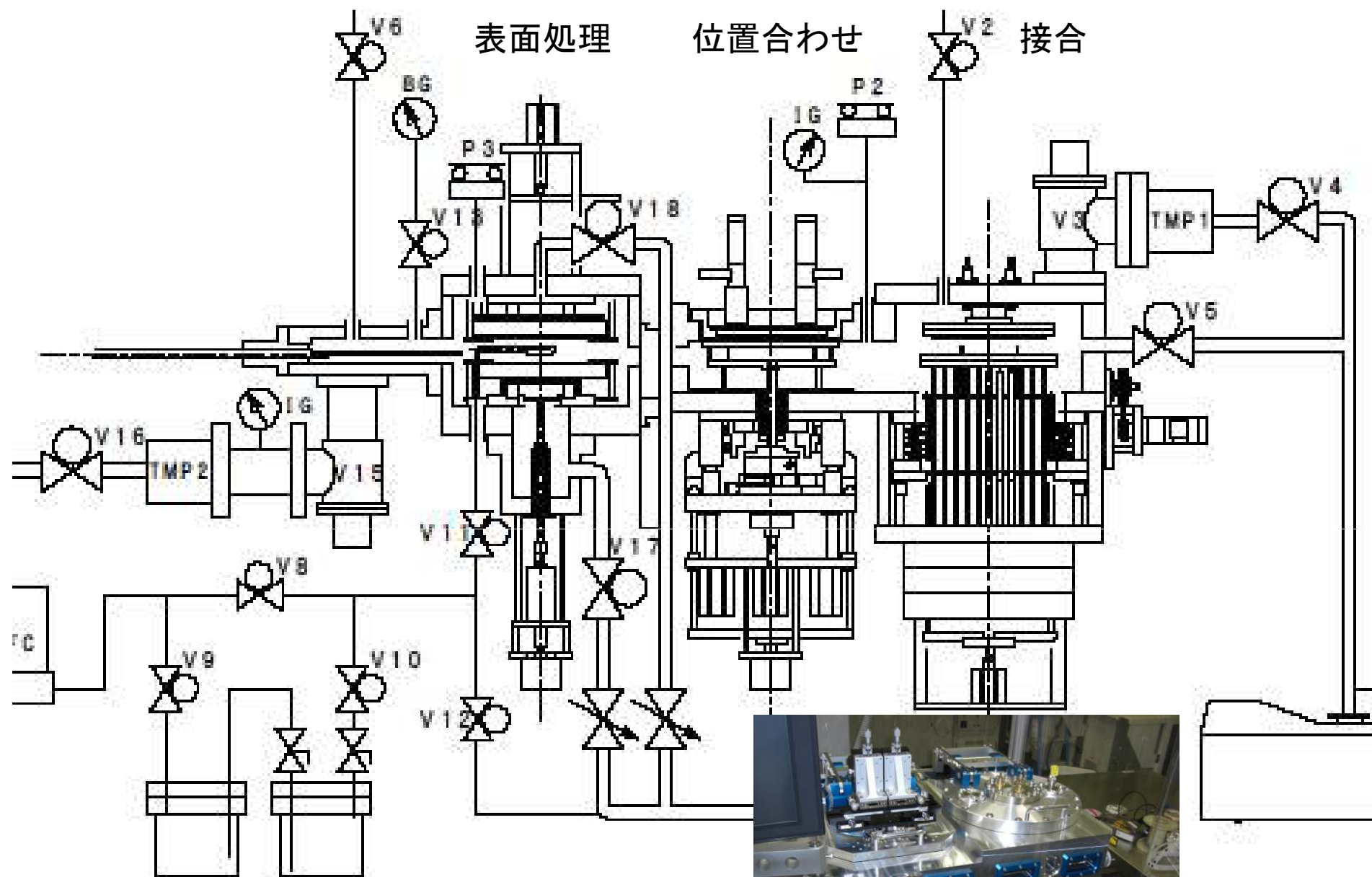


MEMS スイッチ



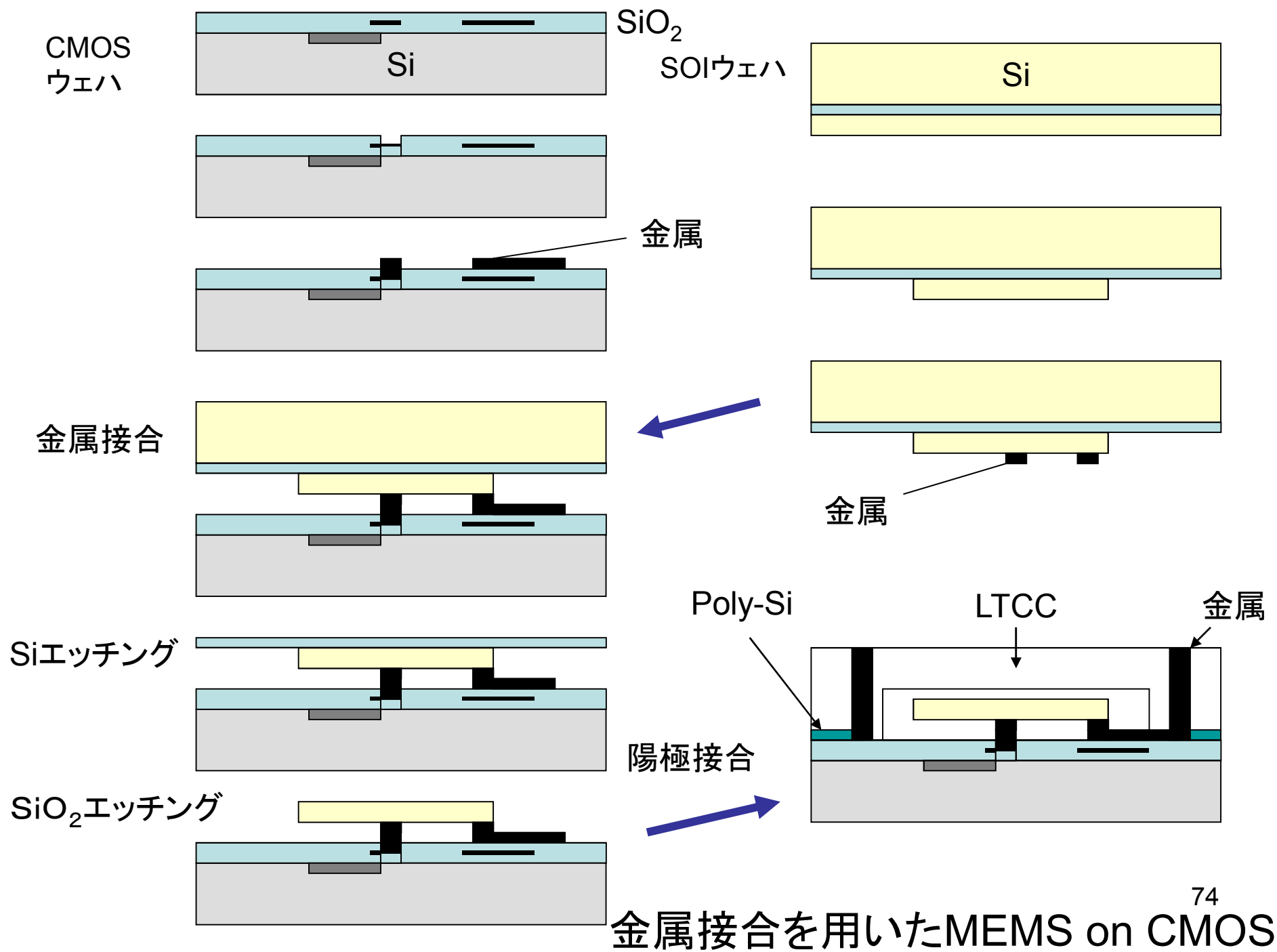
MEMSウェハとLSIウェハの接合 (金属を用いた低温接合で電氣的接続)

LSI上のMEMSによる集積化MEMSの構成法



開発中の接合装置

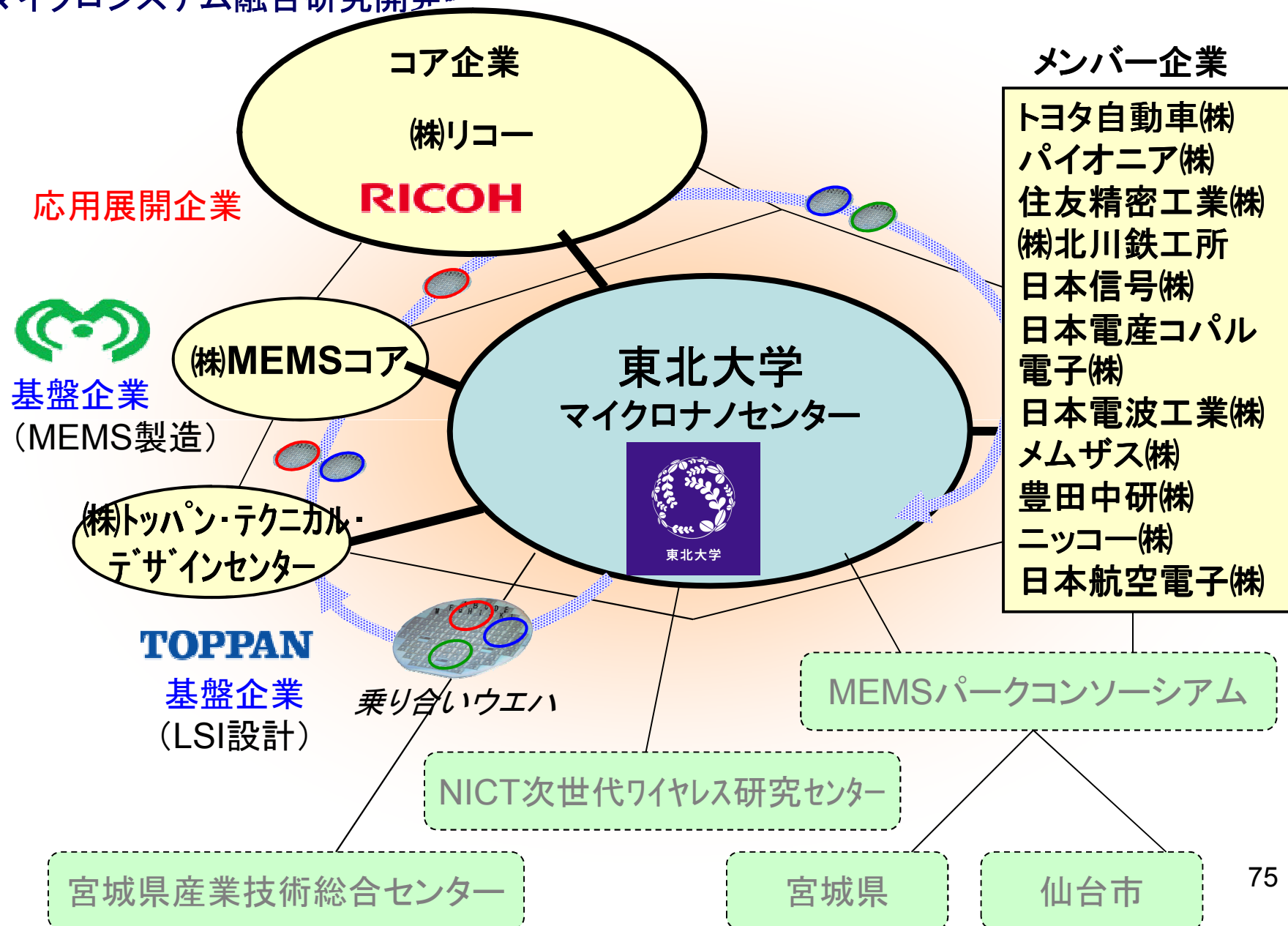




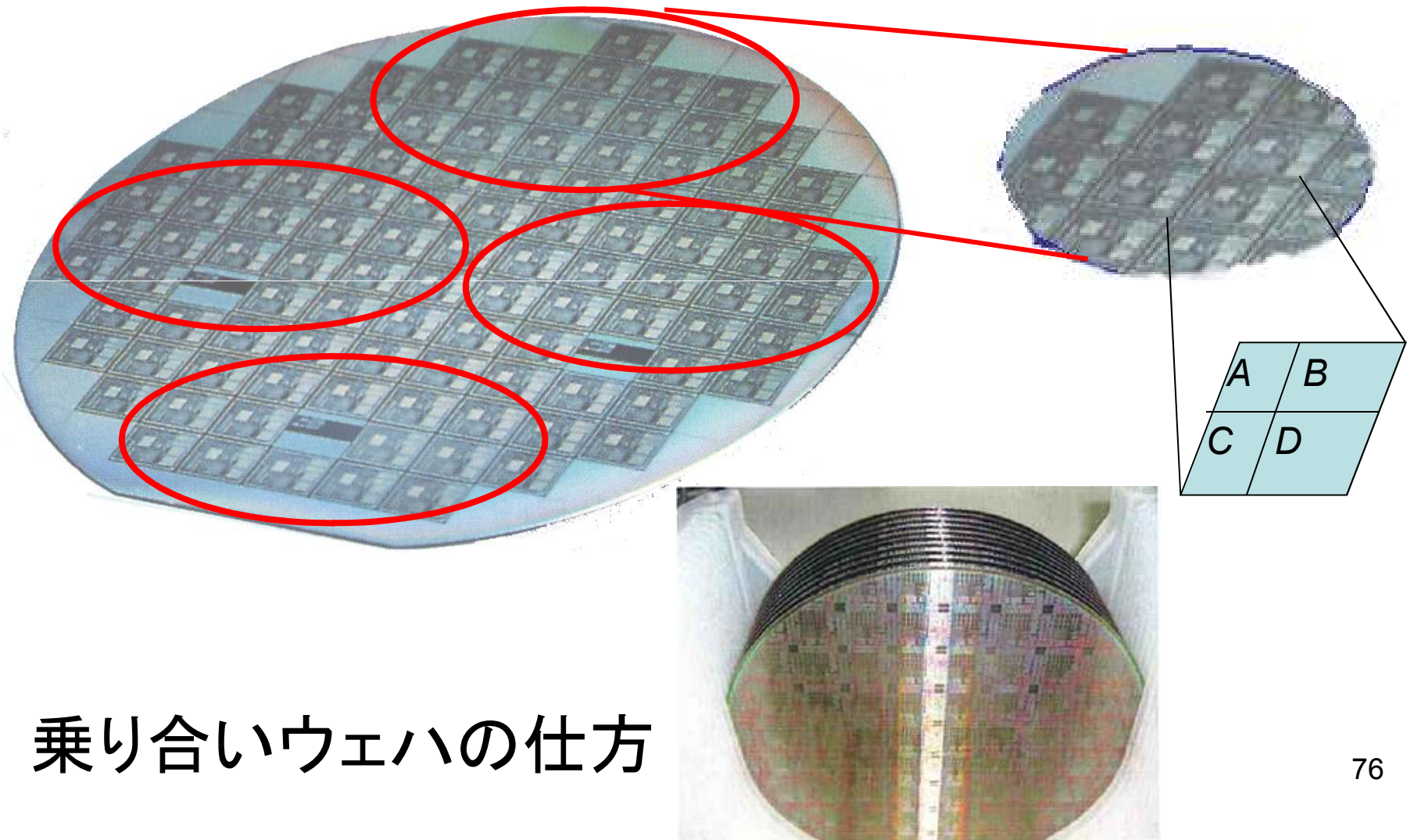
科学技術振興調整費 先端融合領域イノベーション拠点の形成

マイクロシステム融合研究開発拠点

産学連携



ステッパの露光面積に各プロジェクトのチップが入る乗り合いウェハ。
そのウェハに追工程(堆積、接合など低温プロセス)でMEMSを形成。
他社の分が同一ウェハに入っているグループ内で問題ない。



乗り合いウェハの仕方



手作りによる20mmウェハプロセス用の安上がりな半導体設備

危険なガスは使わない、壊れる部分が少ない単純な装置、 77
利用者 400名(40研究室)、通算約100社 常駐



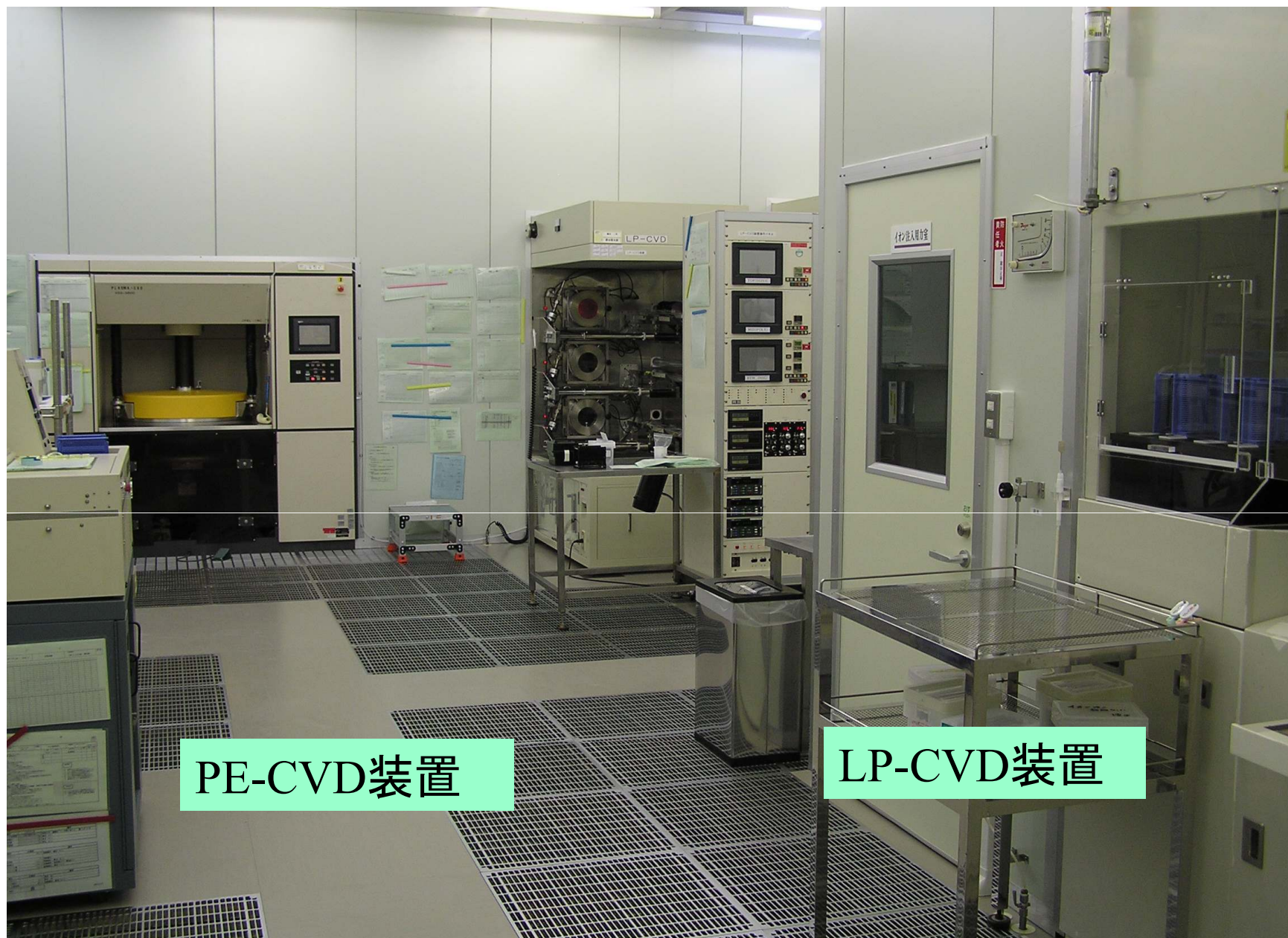
東北大 江刺研究室分室
(一般公開利用)



MEMSコア(株)

社長：本間孝治(ケミトロニクス会長)

役割：ニーズに応え試作品や少量生産品を供給、ファンダリへ発注する前のエンジニアリングサンプルの試作



PE-CVD装置

LP-CVD装置

東北大学 西澤潤一記念研究センター内4/6インチ 試作コインランドリ

The **1st** International Contest of Applications in Nano/Micro Technologies

IEEE Nanotechnology Council



IEEE



Chinese International NEMS Society

CINS

日本では日本信号(株)が2軸光スキャナ提供
スケジュール(予定)

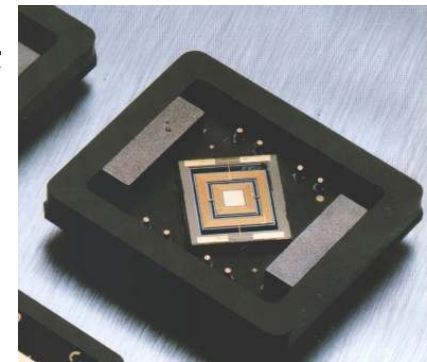
2009年4月 募集内容発表、

6月 書類審査(26グループ申込、16グループ採択)

6月～9月 16グループでそれぞれ試作

10月13日 国内予選開催(仙台) 養老孟司氏 特別講演

2010年1月20～23日 iCAN2009本選(中国Xiamen)



▪ PARTICIPANTS

- ❖ Undergraduate, Graduated Students can participant iCAN2009 by team from their country or region.
- ❖ The project of each team must use Micro/Nano Devices.

▪ IMPORTANT DATES

Jan.– Mar., 2009: Promotion

Apr.– Sep., 2009: Domestic Contest

Oct., 2009: Final list of iCAN2009

Jan., 2010: iCAN2009 Final

IEEE–NEMS'10, Xiamen

▪ AWARDS



www.iCAN2009.com

YES / CAN

▪ COUNTRY & REGION



China



USA



Japan



Germany



Singapore



Taiwan



Hong Kong

今後の方向： LSIとMEMSの融合、基礎(大学)と応用(企業)の融合

研究開発の効率化・低コスト化(オープンイノベーション)

↑ (オープンコラボレーション)

大学からの豊富な知識サービスの提供

(MEMSパークコンソーシアム <http://www.memspc.jp>)

MEMSセミナー

参加費、資料(印刷物、CD)代無料、参加申込不要

2006年 8/23-25 東京、参加者 280名

2007年 8/22-24 仙台、参加者 80名

2008年 8/20-22 福岡、参加者 150名

2009年 8/4-6 名古屋(豊田中央研究所) 予定

ハイテク多品種少量生産 → 産業競争力大,ハイテクベンチャ

↑
設備の共用・有効活用(スピンイン)

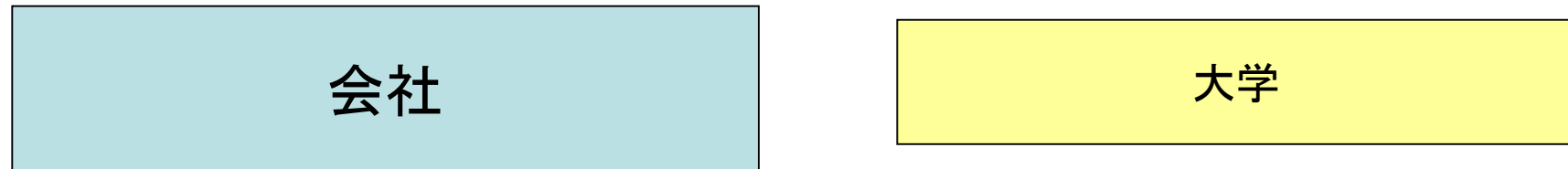
↓
委託生産、雇用創出

ハイテク多品種少量生産

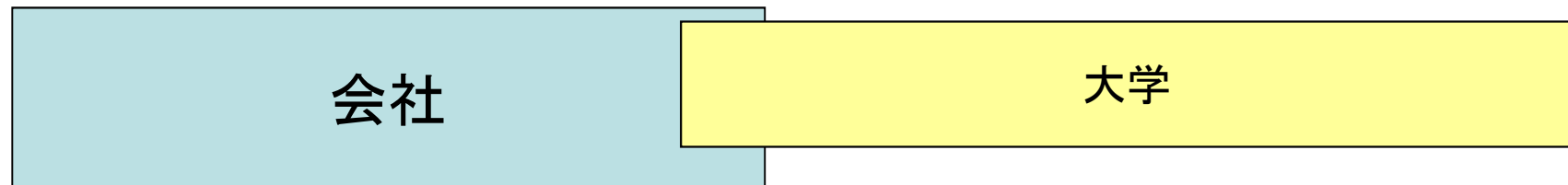
以前



現在



今後



試作品を作る共用設備が必要

理科少年シリーズ……⑧

検証

東北大学・ 江刺研究室 最強の秘密

esashi masayoshi
江刺正喜

聞き手

本間孝治
出川通



検証

東北大学・江刺研究室最強の秘密



9784779110498



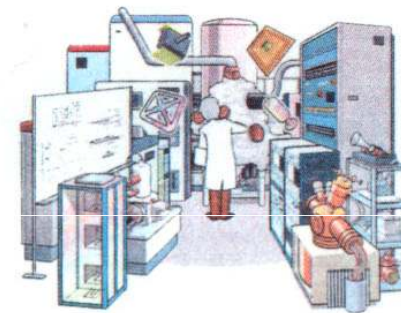
1920334016005

ISBN978-4-7791-1049-8

C0334 ¥1600E

彩流社

定価(本体1600円+税)



なぜ江刺研究室は、 世界中の企業から支持されるのか？

最先端技術MEMSの世界的権威が語る
人材育成、近代技術史と先端技術、勝つ戦略
キーワードは「理科少年」

彩流社

江刺正喜

聞き手

本間孝治
出川通

彩流社

第1章 ▶ 江刺正喜教授の「理科少年」時代

第2章 ▶ 江刺研究室の「強さ」

第3章 ▶ 近代技術史と先端技術MEMS

第4章 ▶ MEMSビジネス

- 1 驚異に伸びているビジネス
- 2 大型研究施設について
- 3 人材育成には時間がかかる
- 4 再びMEMSの特性と日本のシステムについて……結論

「はじめてのMEMS」 工業調査会 (2009年9月始め出版)