

MEMS技術・デバイスの最近の動向

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



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、
利用者 400名(40研究室)、通算約100社 常駐

研究員を常駐で派遣した企業 他 (1990-2007) [人数] 100箇所[136名] (国外 青色) 12箇所

自動車・家電 15社

ダイムラー・クライスラー(株)[1]

(株)日立製作所 日立研究所[1]

(株)日立製作所 中央研究所[1]

松下電器産業(株)[1]

情報・通信 32社

ボールセミコンダクター(株)[2]

(株)日立製作所 機械研究所[1]

(株)富士写真フイルム(株)[1]

松下通信工業(株)[1]

立山科学工業(株)[1]

ソニー(株)[2]

ジャパンハイテックス(株)[1]

宮城沖電気(株)[1]

製造・検査・宇宙・計測・部品

ダイムラー・ベンツ(株)[1]

日本たばこ産業(株)[1]

(株)長野計器製作所[2]

石川島播磨重工業(株)[2]

(株)アドバンテスト研究所[1]

東京エレクトロン(株)[1]

第一放射線研究所[2]

(株)オプトエレクトロニクス[1]

(株)エムジー[1]

医療・バイオ 6社

オリンパス光学工業(株)[2]

三菱電線工業(株)[2]

公立研究機関 11社

韓国電子通信研究院[1]

山形県工業技術センター[3]

富山県工業技術センター[3]

フォード自動車(株)[1]

自動車機器(株)[1]

曙ブレーキ工業(株)[1]

(株)豊田中央研究所[1]

三星電子(株)[1]

日本電波工業(株)[2]

スタンレー電気(株)[1]

国際電気(株)[1]

矢崎総業(株)[1]

(株)サムコン[1]

シャープ(株)[1]

(株)日立超LSIシステムズ[1]

36社

icurie lab[1](韓国)

(株)島津製作所[1]

セイコー電子工業(株)[2]

(株)リケン[1]

(株)アドバンテスト[3]

(株)サンギ[1]

(株)モリテックス[1]

住友精密工業(株)[1]

(株)ユカイインダストリーズ[1]

日本光電工業(株)[1]

井上アタッチメント[1]

トヨタ自動車(株)[2]

本田技研工業(株)[1]

北陸電気工業(株)[2]

日産自動車(株)[1]

三星総合研究院[4]

大宏電機(株)[2]

(株)日本アレフ[1]

ペンタックス(株)[2]

住友金属工業(株)[1]

秋田妙徳(株)[1]

スター精密(株)[1]

(株)MEMSコア[1]

ハネウェル[1]

(株)北川鉄工所[1]

(株)堀場製作所[1]

日本真空技術(株)[1]

(株)トキメック[2]

日本化薬(株)[1]

NECトーキン(株)[1]

TDK(株)[2]

サンケン電気(株)[1]

テルモ(株)[3]

シスメックス(株)[1]

デンソー(株)[1]

(株)ゼクセル[1]

(株)神戸製鋼[2]

(株)村田製作所[2]

アルプス電気(株)[1]

リコー[2]

日本信号(株)[2]

日立電線(株)[1]

パイオニア(株)[1]

松下電工(株)[1]

北日本電線(株)[2]

(株)エステック[1]

豊田工機(株)[3]

旭化成工業(株)[1]

アネルバ(株)[2]

キャノン(株)[2]

三菱重工業(株)[2]

しらかば農園[1]

エンブラス(株)[1]

ロールドロニクス[1]

日経産業新聞 2003年(平成15年)12月12日(金曜日)

江刺研究室(東北大)評価1位

産学連携特別調査

江刺正喜教授の研究室はMEMS研究の草分け(東北大)

企業が開発や開発を担う「21世紀COEプログラム」の研究テーマ

研究プログラム名	大学名	企業数
1 物質機能の科学的解明とナノ工学の創出	東北大	28
2 ナノテクノロジー基盤構築科学フロンティア	東北大	24
3 情報社会を担うマイクロナノメカトロニクス	名古屋大	20
4 グリーンエネルギー革命による環境再生	高岡技術科学大	14
5 微生物機能の創発的活用による生産基盤構築	京都大	12
6 地球環境を創る持続的発展の科学	筑波大	11
7 ものづくり基盤研究センター	東京大	11

企業の96%、大

大学のナノテクノロジー(「超」)研究に力を入れている大学は、産学連携特別調査で、分野が理工学、工学、情報科学、生命科学、社会科学、人文科学、農学、医学、法学、経済学、教育学、芸術学、総合学、その他、計12分野に分類された。このうち、理工学、工学、情報科学、生命科学、社会科学、人文科学、農学、医学、法学、経済学、教育学、芸術学、総合学、その他、計12分野に分類された。このうち、理工学、工学、情報科学、生命科学、社会科学、人文科学、農学、医学、法学、経済学、教育学、芸術学、総合学、その他、計12分野に分類された。

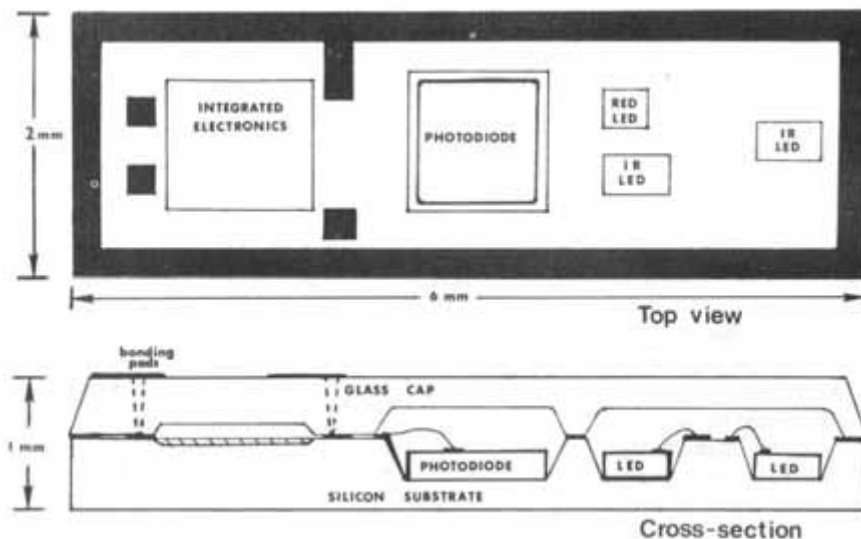
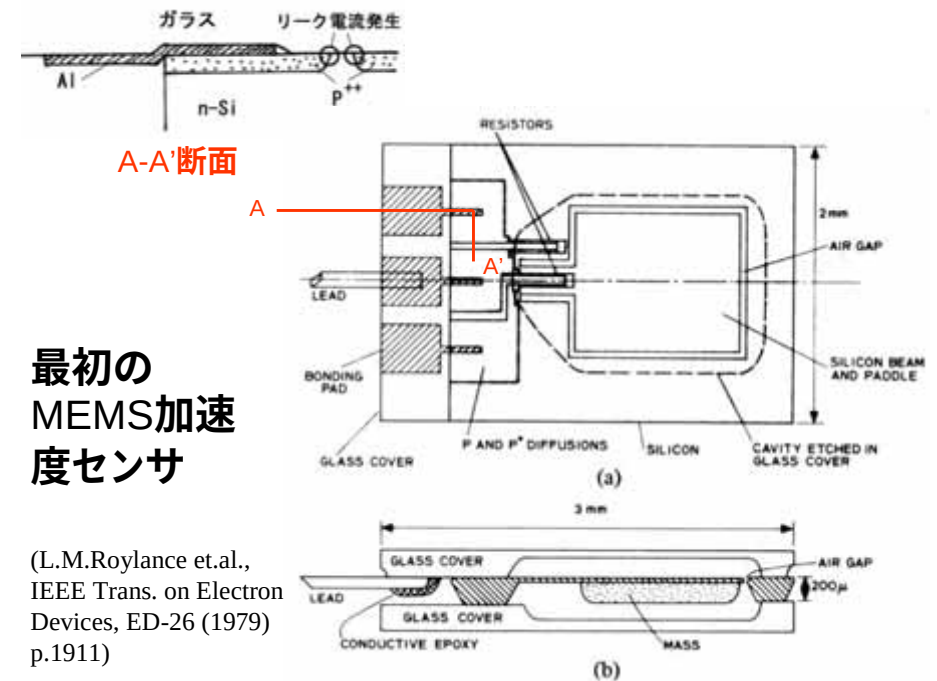
江刺研究室は「産学連携特別調査」は企業が多く評価されている大学の研究室について行われた。有数の産学連携の中心として、産学連携特別調査で、分野が理工学、工学、情報科学、生命科学、社会科学、人文科学、農学、医学、法学、経済学、教育学、芸術学、総合学、その他、計12分野に分類された。このうち、理工学、工学、情報科学、生命科学、社会科学、人文科学、農学、医学、法学、経済学、教育学、芸術学、総合学、その他、計12分野に分類された。

江刺研究室は「産学連携特別調査」は企業が多く評価されている大学の研究室について行われた。有数の産学連携の中心として、産学連携特別調査で、分野が理工学、工学、情報科学、生命科学、社会科学、人文科学、農学、医学、法学、経済学、教育学、芸術学、総合学、その他、計12分野に分類された。このうち、理工学、工学、情報科学、生命科学、社会科学、人文科学、農学、医学、法学、経済学、教育学、芸術学、総合学、その他、計12分野に分類された。

韓国科学技術研究院(KIST)[1] 台湾工業技術研究院(ITRI)[2]
工業技術院計量研究所[1] 広島県西部工業技術センター[1] 日本放送協会[1]
宮城県産業技術センター[1] 産業技術総合研究所[1] 情報通信研究機構[1]

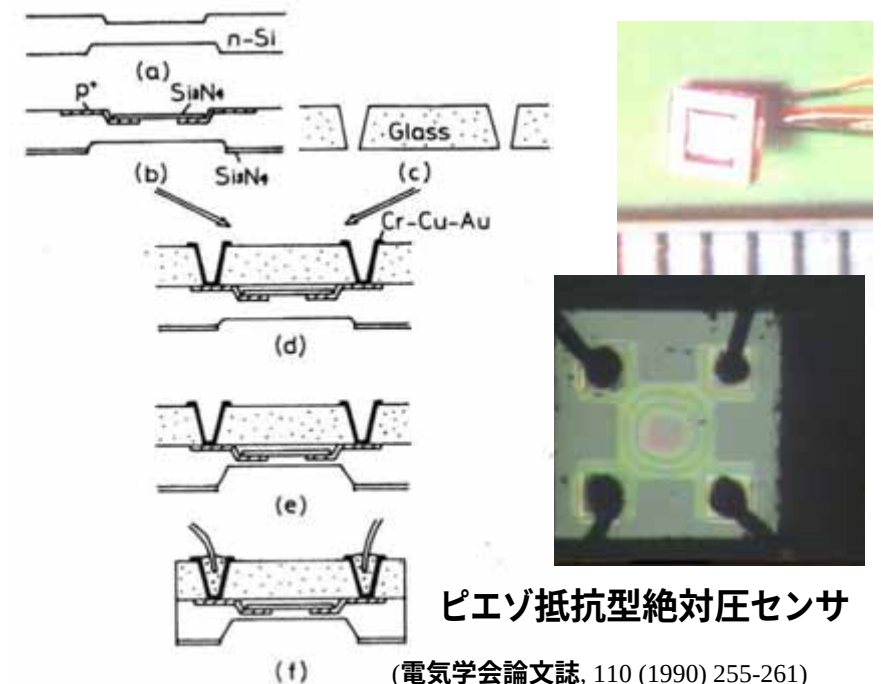
2. 自動車・家電

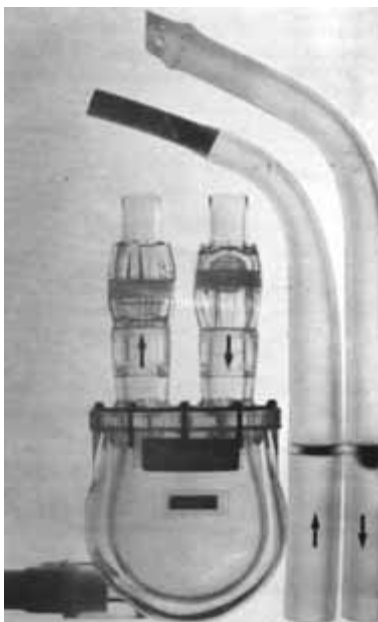
(圧力センサ、加速度センサ、ジャイロ)



ガラス貫通配線パッケージング (体内用酸素飽和度モニター(In-Vivo Oximetry))

(J.M.Schmitt,F.G.Mihm and J.D.Meindl, Annals of Biomedical Eng., 14 (1986) 35-52, Frontiers of Engineering and computing in health care-1984, Sixth Annual Conf. (1984) 703-707)





補助人工心臓のカニューレに用いたピエゾ抵抗型絶対圧センサ (仁田 他)

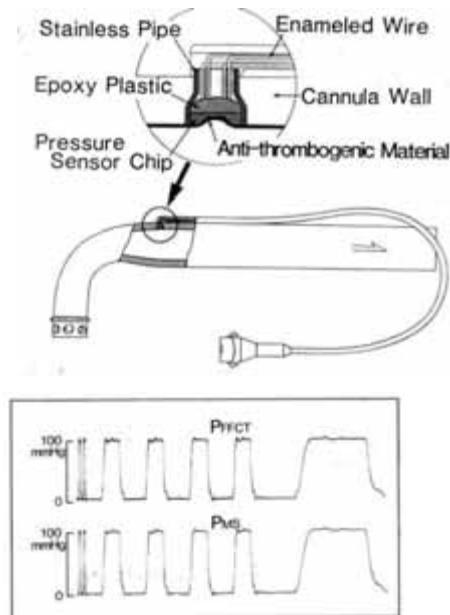
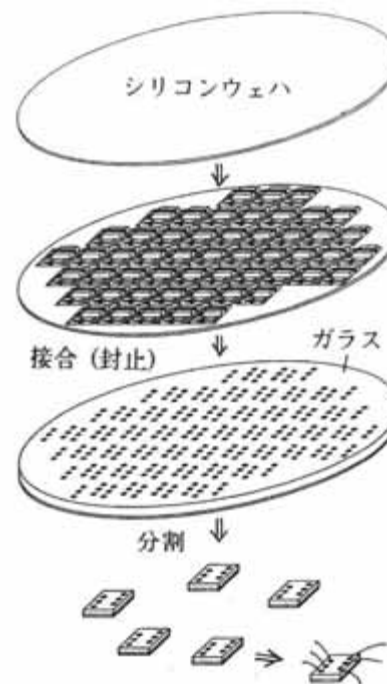


Fig. 8 - Evaluation of pressure sensitivity of a diaphragm sensor (PMS) after 4 weeks implantation, compared with a fluid-filled catheter sensor (PFFCT), showing no decrease of sensitivity.



MEMSの問題点：ハイクォリティー多品種少量でコスト高、製品化し難い。

・コストの80%はパッケージングとテスト。

→ ウェハレベルパッケージングによるMEMSデバイス開発。

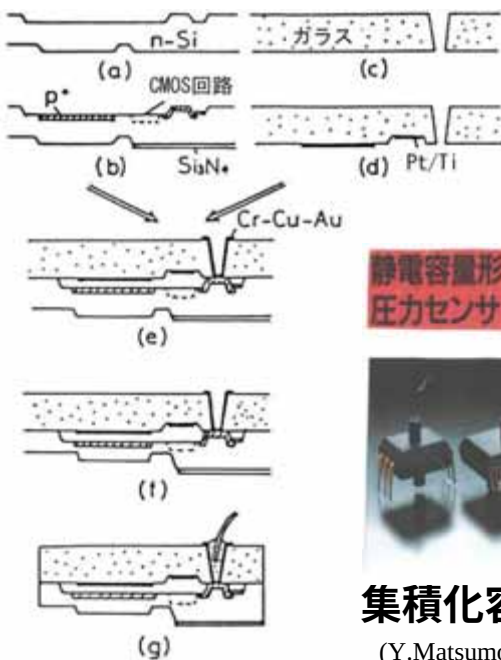
組立工程の設備が不要

MEMS部が分割時に保護される。

チップサイズに小形化できる。

テストの時に不良品を容器ごと捨てなくてもよくなる。

ウェハレベルパッケージング



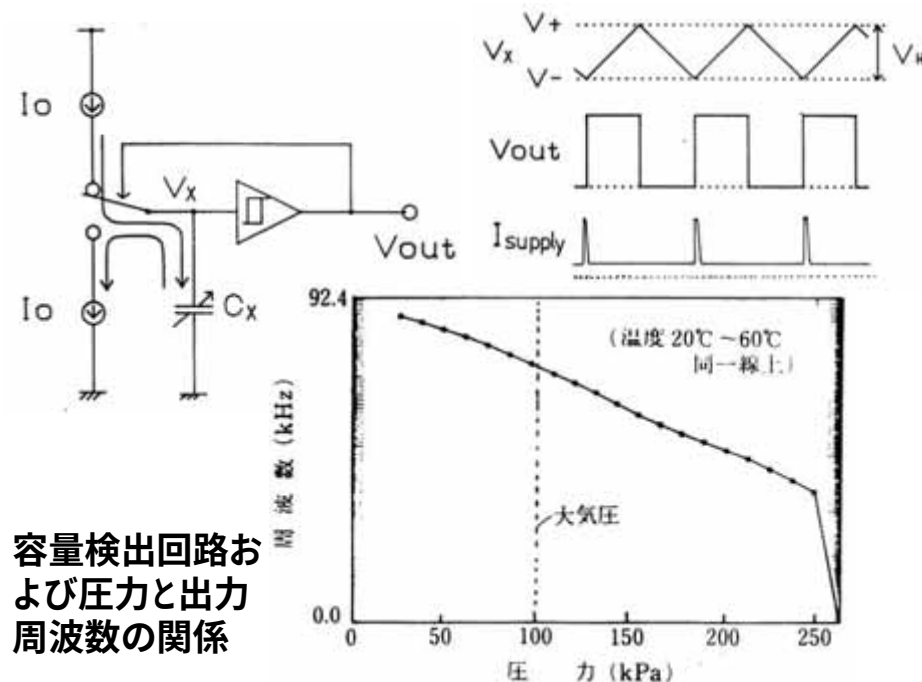
静電容量型モリフィック圧力センサ

TOYODA
CS 2000
SERIES



集積化容量型圧力センサ

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



容量検出回路および圧力と出力周波数の関係

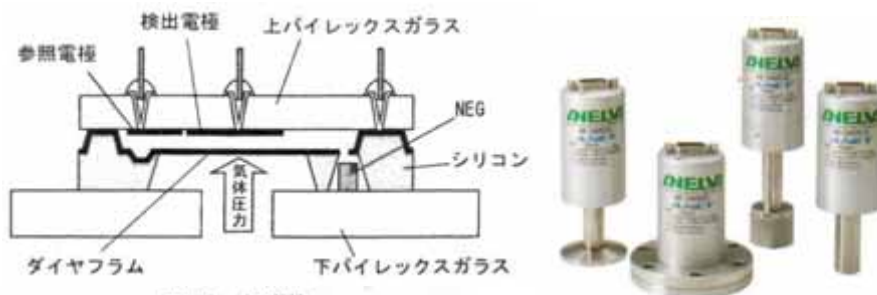


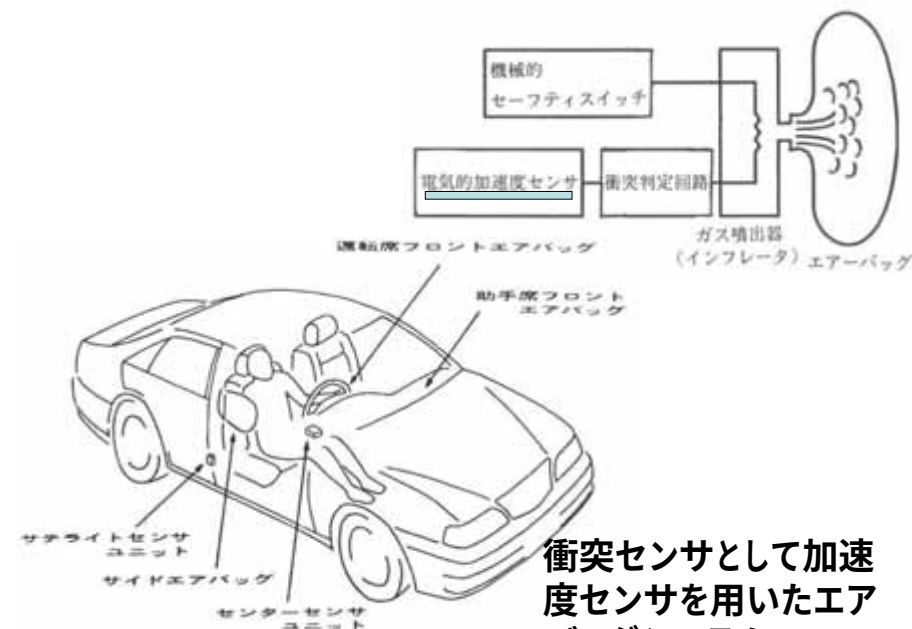
Table 1 主な仕様

測定レンジ	133.32Pa(1Torr)
精度	0.5% of Reading
ゼロ点温度係数	0.05%FS/°C
スパン温度係数	0.06%FS/°C
応答速度	20ms
センサ出力	0~10V
使用温度	15~35°C
センサヘッド大きさ	φ38×L66mm
センサヘッド重さ	約170g
入力電源	13.5~26.4VDC
消費電力	0.5W

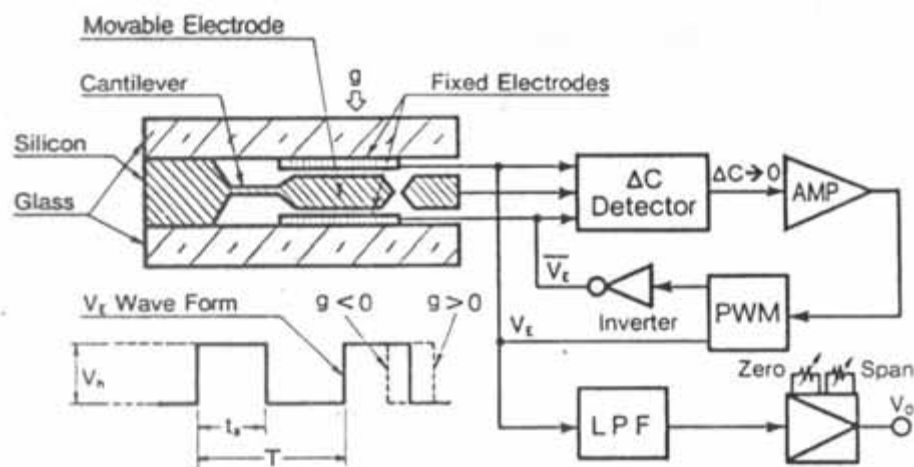
FS: フルスケール

製品化された容量型真空センサ

(アネルバ技報, 11 (2005) p.37)

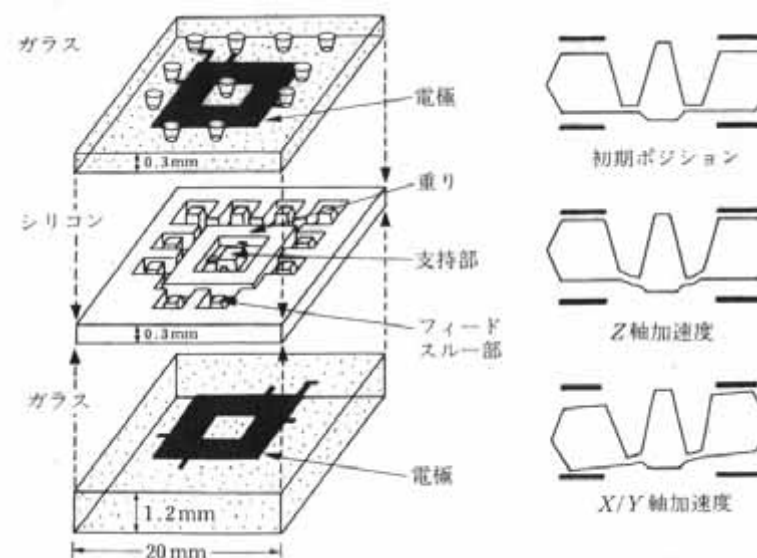


衝突センサとして加速度センサを用いたエアバッグシステム



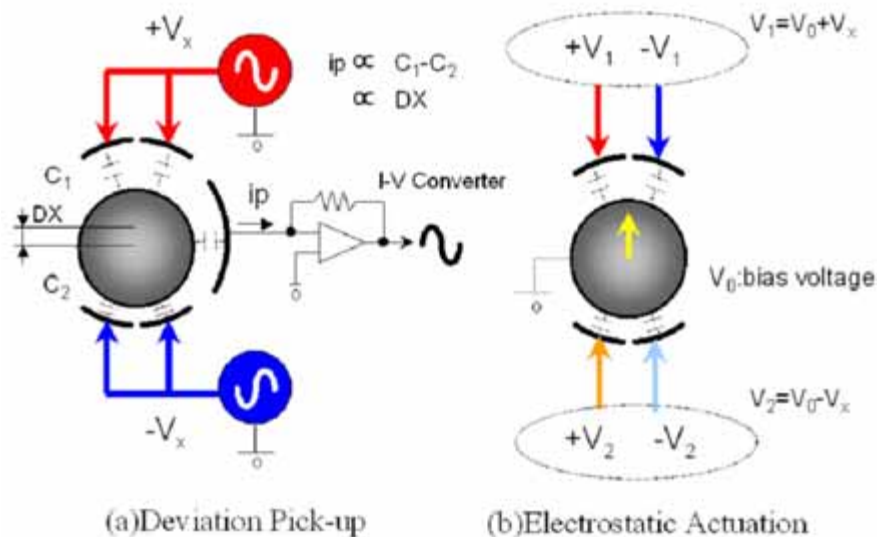
静電サーボ加速度センサ (日立)

(S.Suzuki et.al: Sensors and Actuators,A21-23,(1990) 316-319)

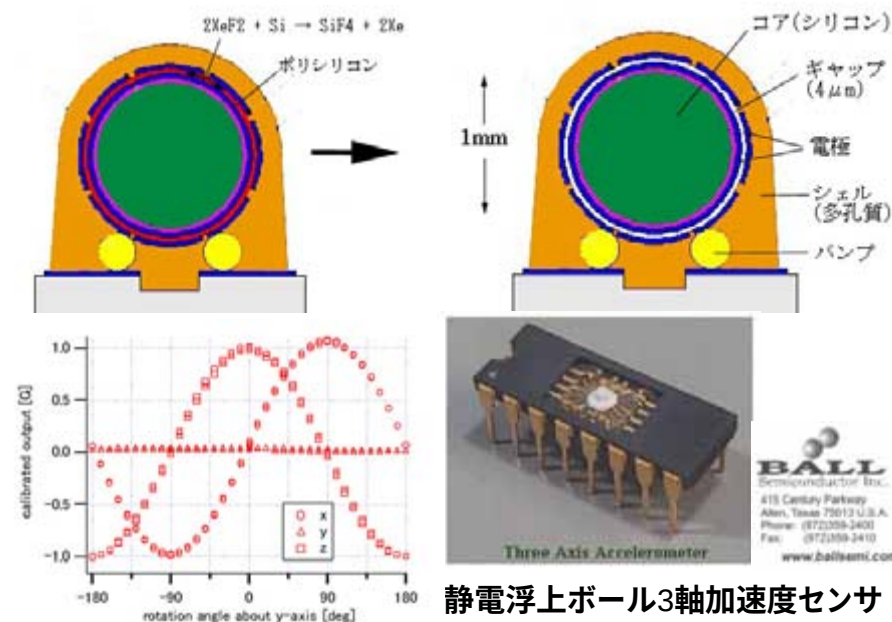


静電サーボ3軸加速度センサ

(K.Jono et.al.: Measurement Science and Technology,6,1 (1995) 11-15)

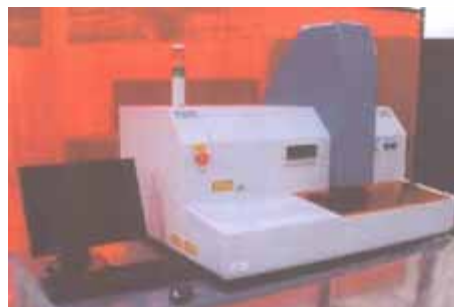
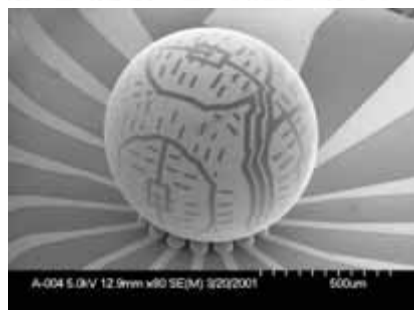
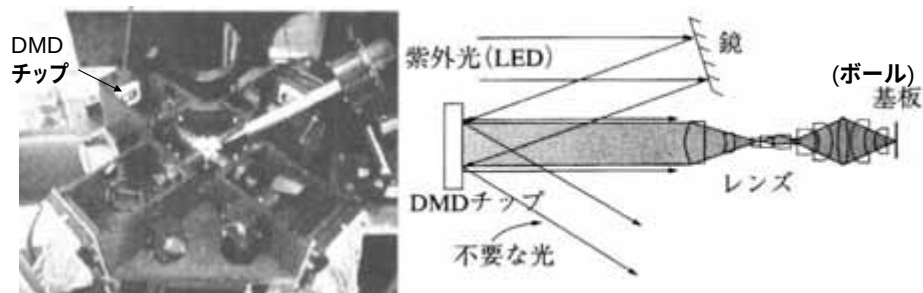


静電浮上の原理

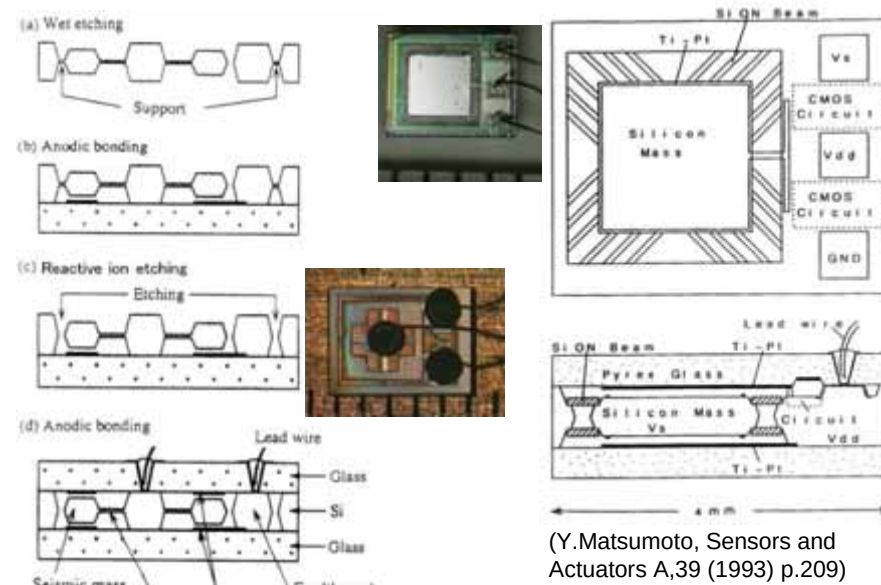


静電浮上ボール3軸加速度センサ

(R.Toda (Ball Semiconductor Inc.) et al., MEMS'02 (2002))



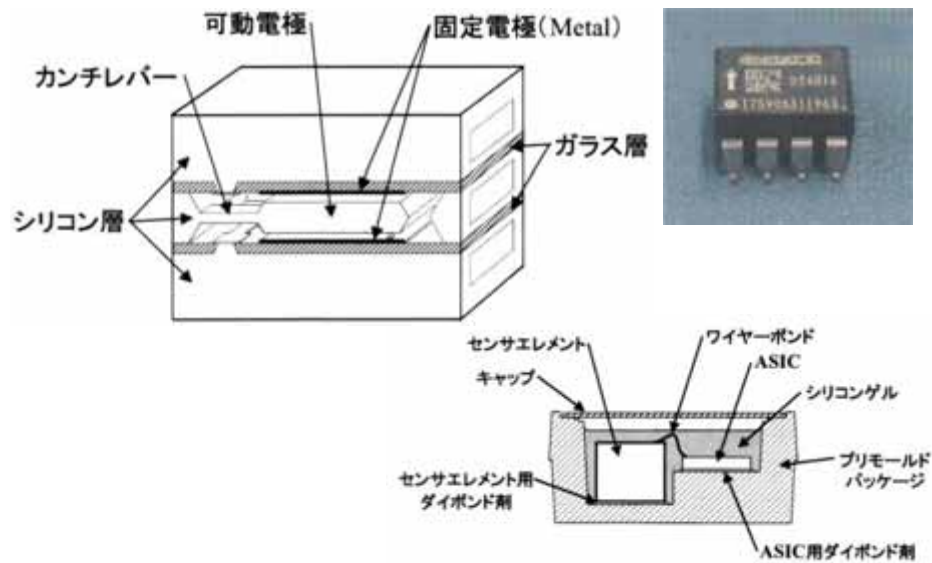
マスクレス露光 (INDEXテクノロジーズ社)



(Y.Matsumoto, Sensors and Actuators A,39 (1993) p.209)

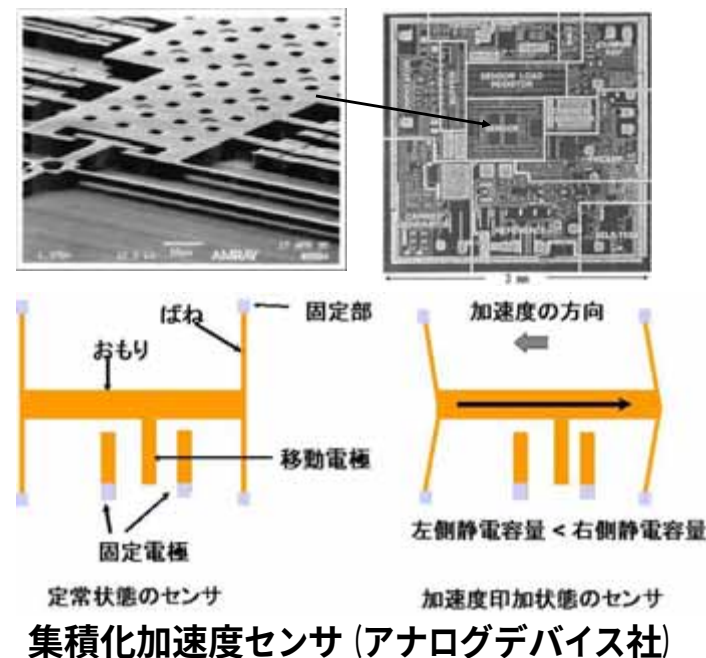
ウェハレベルパッケージングによる (集積化)容量型加速度センサ

(M.Esashi, Transducers'93 p.260)

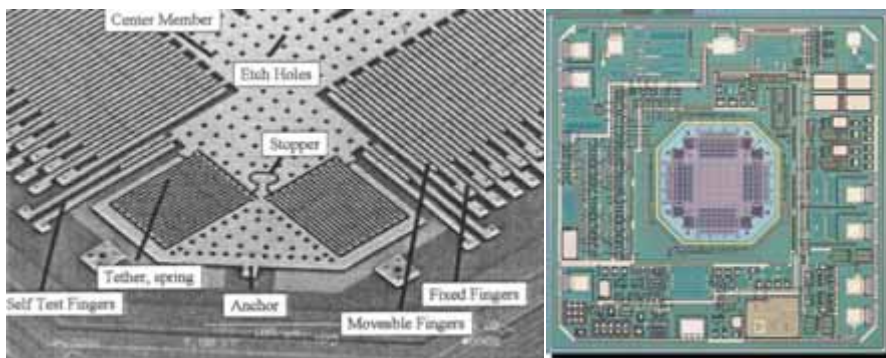


シャーンシ制御用低G加速度センサ

(VTI (フィンランド)、曙ブレーキ)



集積化加速度センサ (アナログデバイス社)



セルフ
テスト
機能

ST and ADI accelerometers
power Nintendo controller Wii

アナログデバイス社
ADXL202/210

ゲーム機のコントローラ、ノートパソコンの落下検知によるハードディスク保護など

集積化2軸加速度センサ



駆動検出方式の違い

電磁駆動 → 誘導起電力による電磁的検出

静電駆動 → 静電容量検出

その他 圧電材料(薄膜)による駆動・検出など

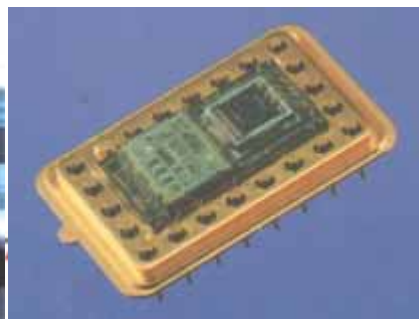
振動体形状・振動形態の違い

音片、音叉、円板、円環

シリコン振動ジャイロ



半導体式ヨーレートセンサを搭載したクラウン(2003年12月発売)



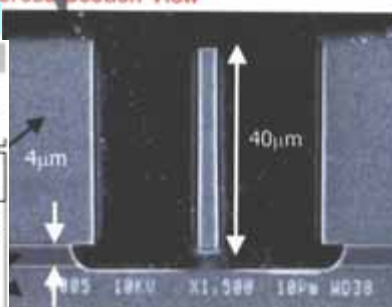
VSC (Vehicle Stability Control: 車両安定性制御システム)

開発経緯

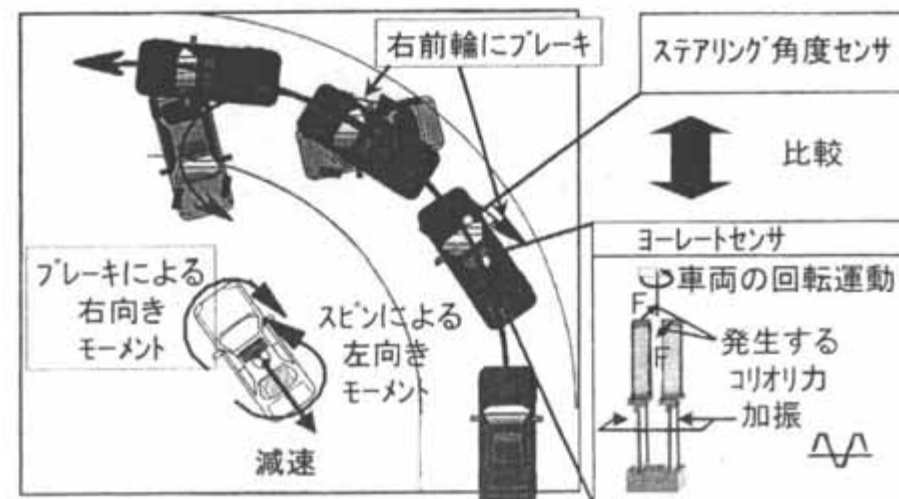
マイクロシシング技術の車両応用を目指し、92年から東北大学との共同研究実施。引続き社内開発を行い、03年、世界で初めて製品化。

先端研究と人材育成 (東北大学トヨタ自動車共同)	先行開発 (トヨタ自動車)	製品開発 (トヨタ自動車)
ヨーレートセンサの半導体化研究 (原理確認)	マイクロシシング 技術開発	車載性能実現、 低コスト化への製品開発
・江刺研究室との共同研究 ・社員派遣による ・マイクロシシング技術修得 ・人材育成と人脈形成	・高アスペクト比 マイクロ加工技術 ・高精度静電 容量検出技術等	・加速度センサ一体化 ・耐環境性能確保 等

加速度センサ内蔵 半導体式ヨーレートセンサ



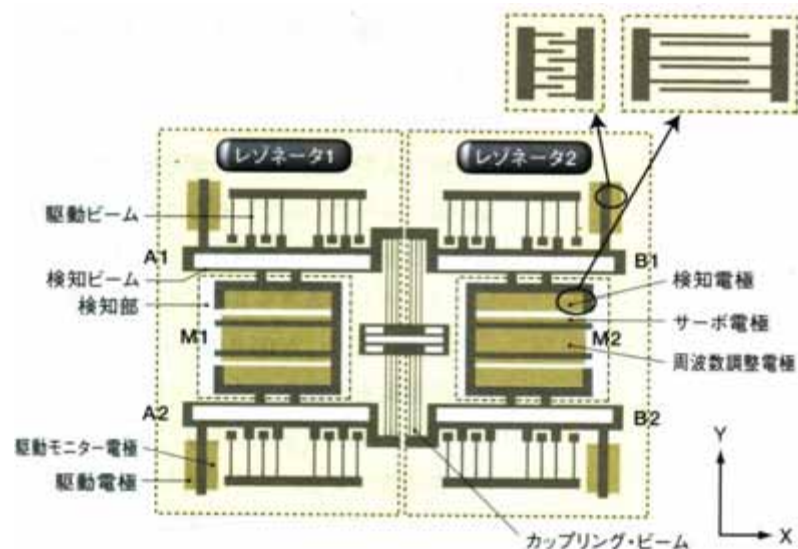
M.Nagao et.al., SAE World Congress, Detroit, (2004)



VSC (Vehicle Stability Control)

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)

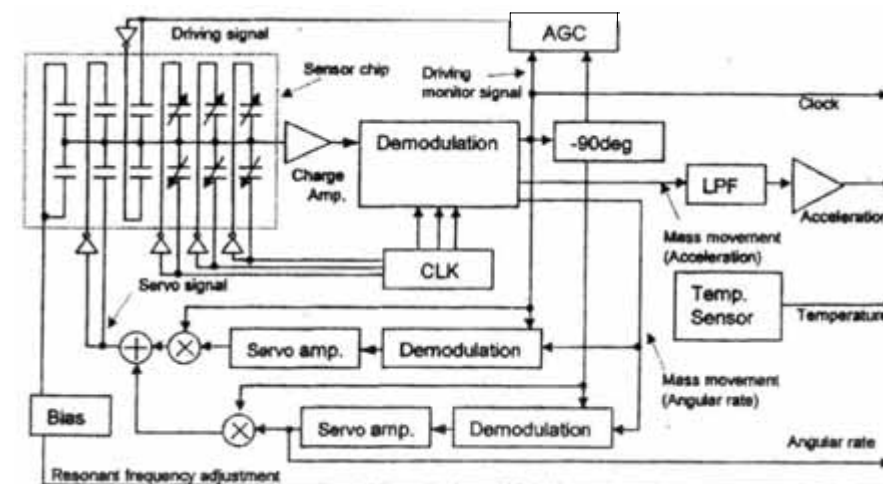
(川橋 憲 他: 計測と制御 40 (2001) p.848)



角速度・加速度センサ (トヨタ自動車)(静電駆動容量検出)

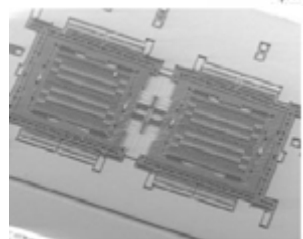
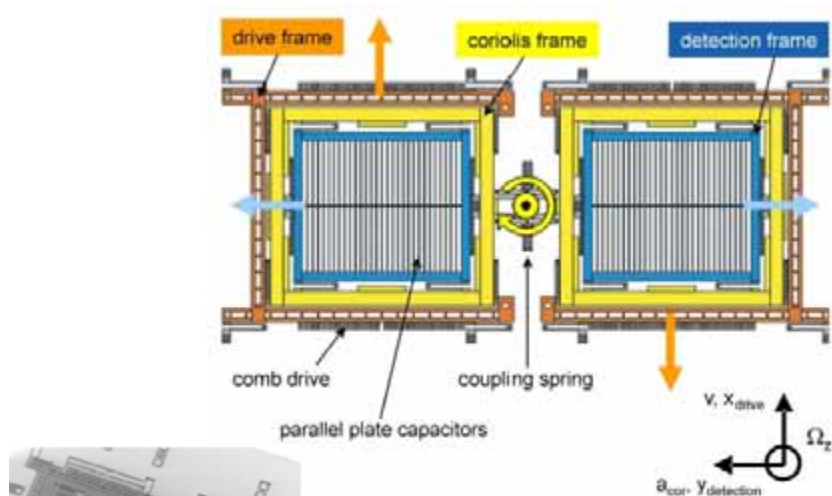
(野々村裕、日経エレクトロニクス 2004年9月号、p.75)

(M.Nagao et.al: 2004 SAE World Congress, Detroit, 2004-01-1113 (2004))



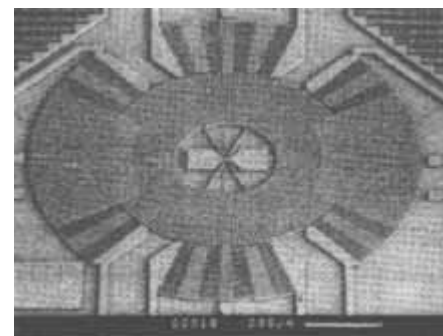
加速度センサ内蔵半導体式ヨーレートセンサの回路

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



Boschの第三世代ジャイロ)
(静電駆動容量検出)

(R.Neul et.al., 2005 IEEE Sensor, p.527 (2005))



ESP (Electric Stability Program)

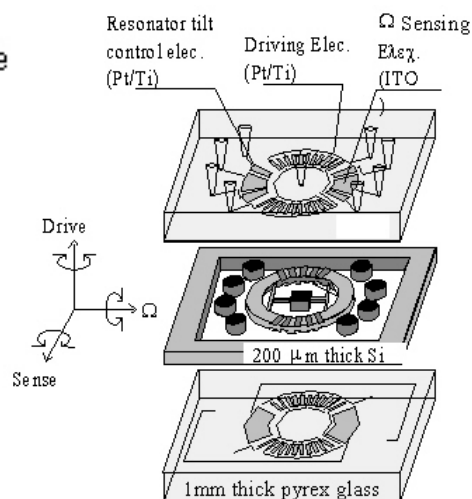
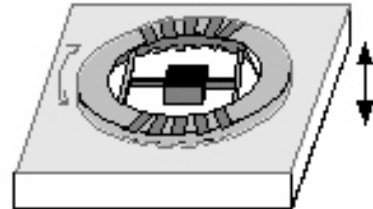
横滑り防止システム

Boschの第二世代ジャイロ 2001年~

(静電駆動容量検出円板ねじれ振動ジャイロ)

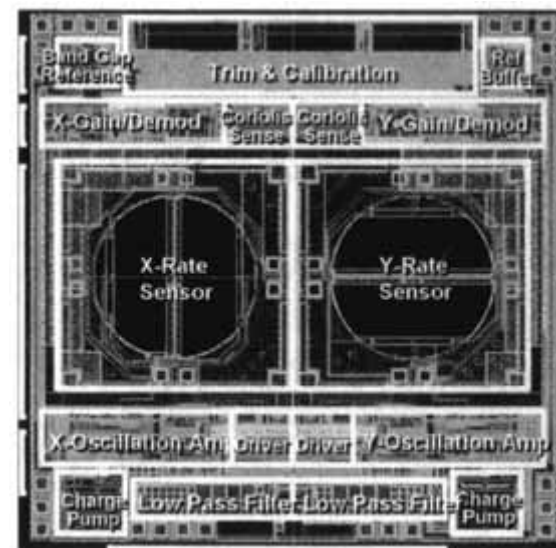
(R.Neul et.al., IEEE Sensors Journal, 7, p.302 (2007))

Drive mode Sense mode



静電駆動容量検出
円板ねじれ振動ジャイロ

(J.-J.Choi et.al.,電気学会論文誌 E,
118-E (1998), 641-646)



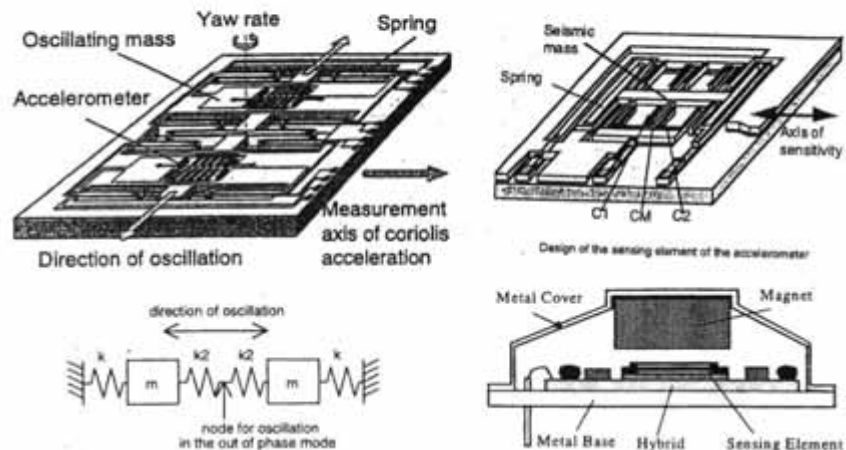
インベンセンス社の2軸角速度センサ IDG-1000
(三宅常之, 日経マイクロデバイス 2006年2月号, pp.25-45)

A Precision Yaw Rate Sensor in Silicon Micromachining

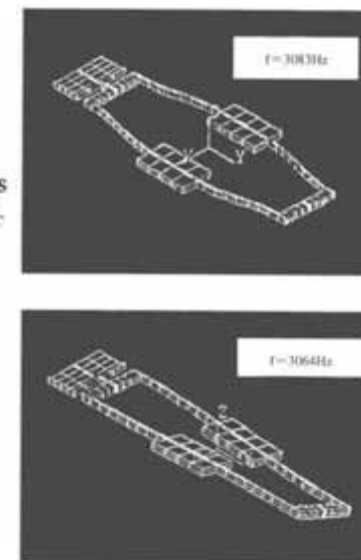
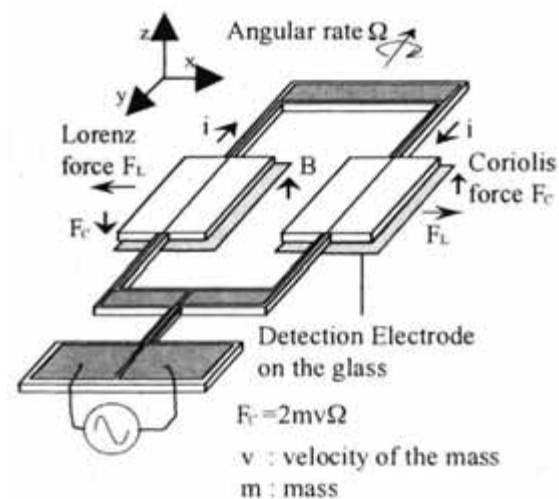
M.Lutz, W. Golderer*, J. Gerstenmeier*, J. Marek, B. Maihöfer, S. Mahler, H. Münzel and U. Bischof

R. Bosch GmbH

TRANSDUCERS '97



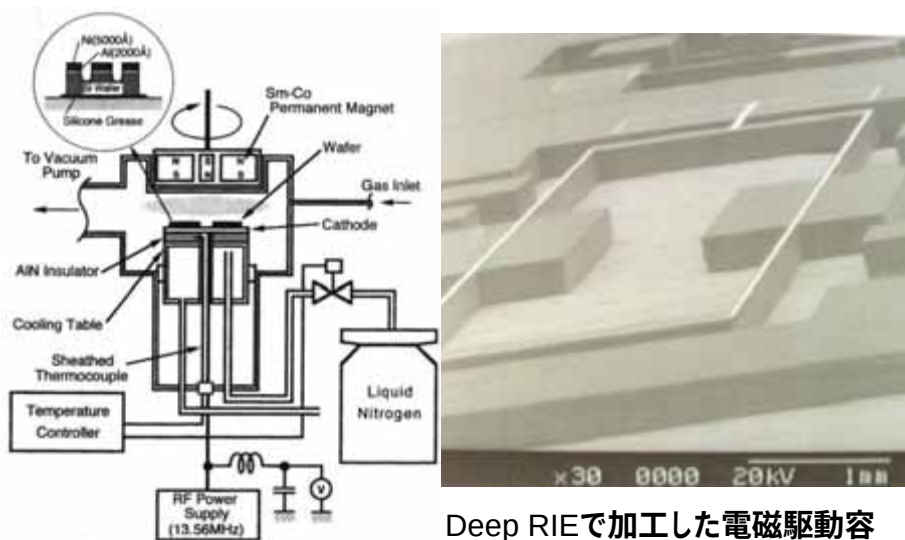
Boschの第一世代ジャイロ (電磁駆動容量検出) 1998-



(左) 駆動モード (上) と検出モード (下)

電磁駆動容量検出シリコン振動ジャイロ

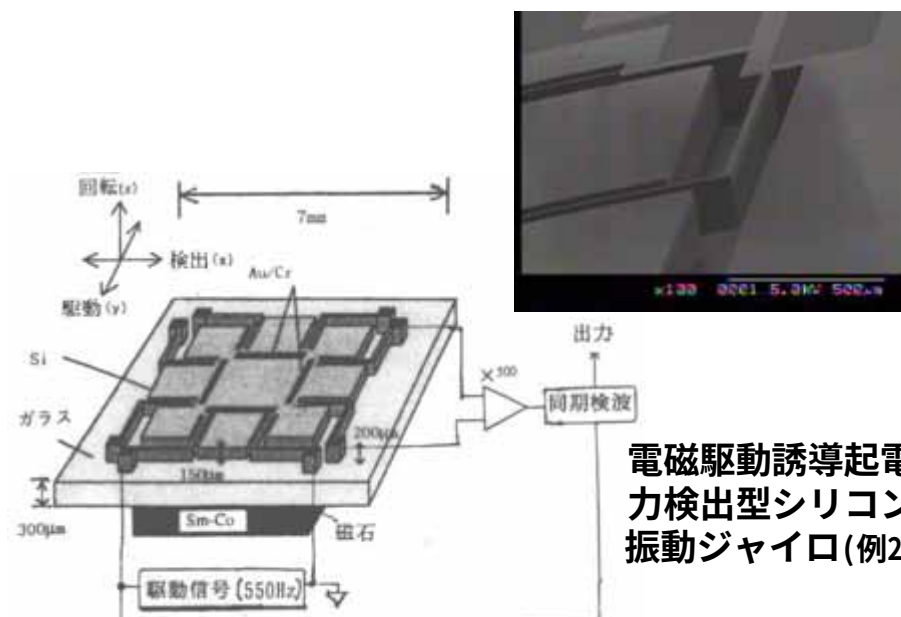
(J.Choi et.al.: Microsystem Technologies, 2 (1996) 186-199)



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

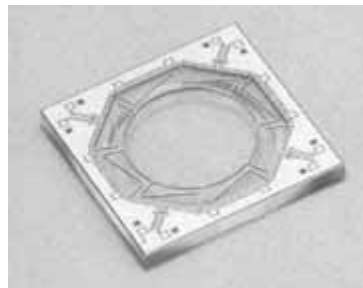
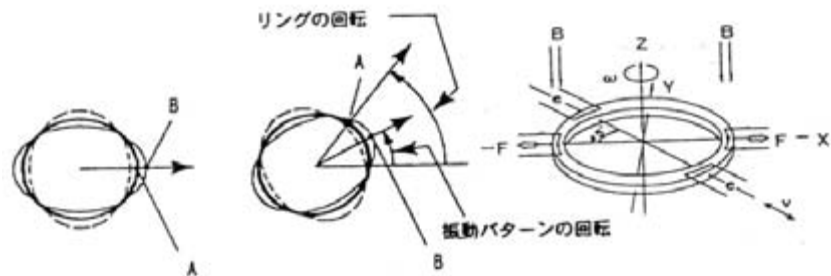
Si deep RIE システム

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



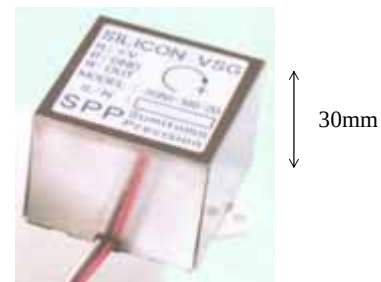
電磁駆動誘導起電力検出型シリコン振動ジャイロ(例2)

(J.-J.Choi et.al.:電気学会論文誌E, 118-E, (1998) 641-646)



円環振動
住友精密工業(株)

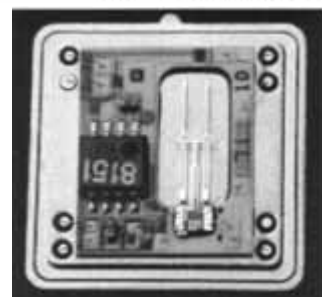
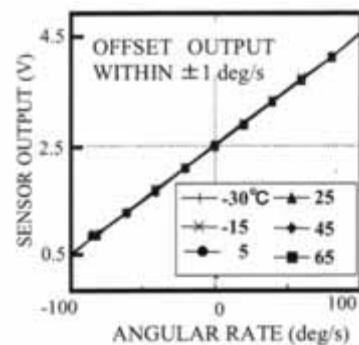
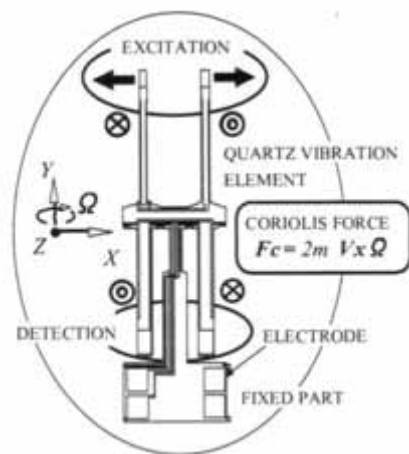
シリコンVSG (Vibrating Structure Gyroscope)



シリコンVSG (Vibrating Structure Gyroscope)
住友精密工業(株)



Segway

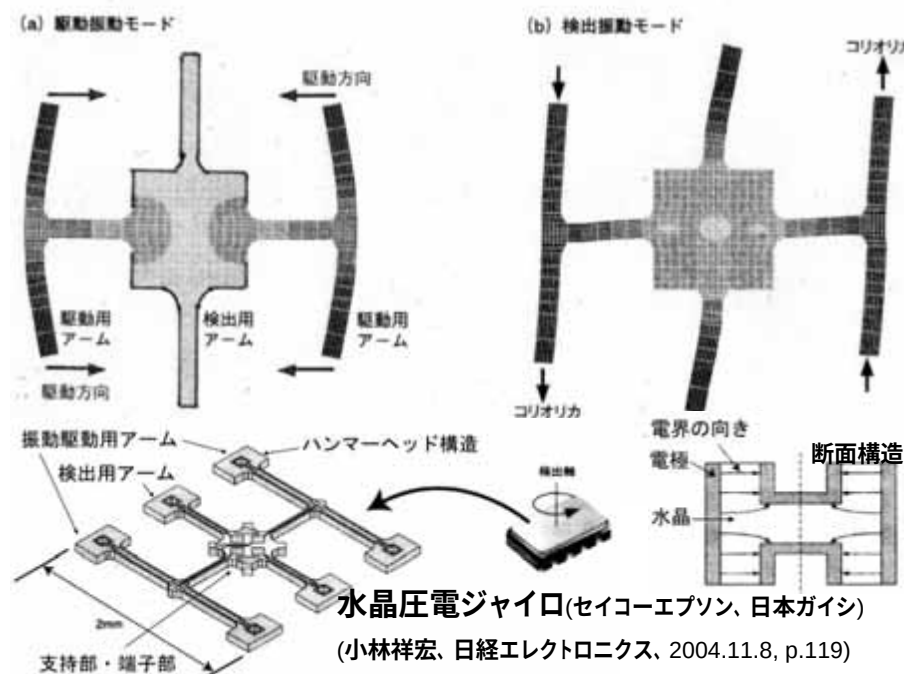


25mm

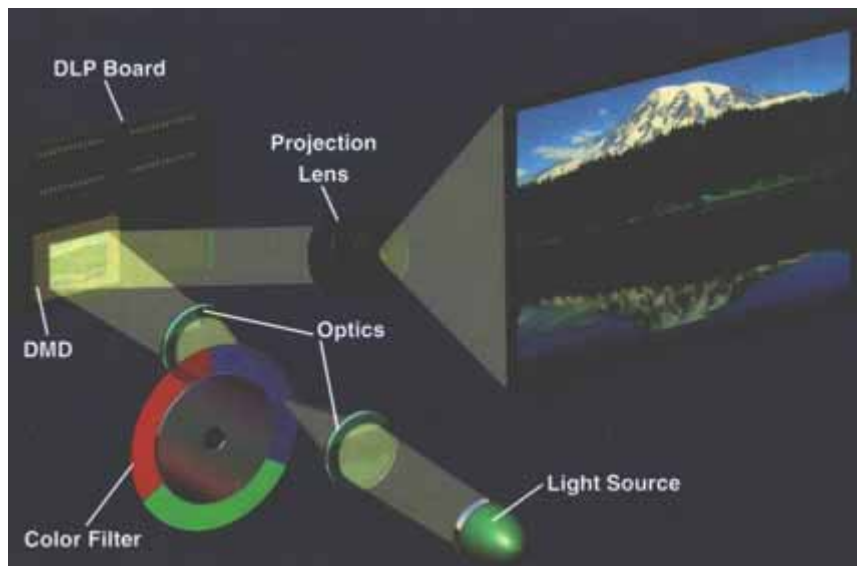
水晶振動式ヨーレートセンサ

トヨタ自動車

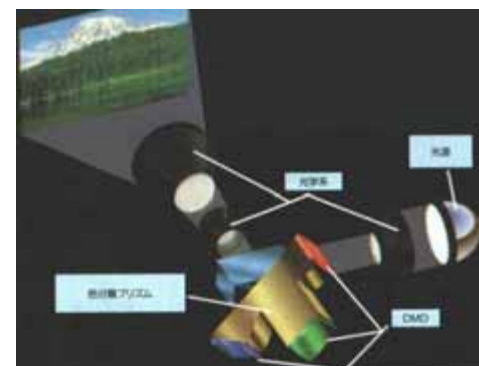
(Y.Nonomura et.al. The 16th European Conf. on Solid-State Transducers (2002) p.816)



水晶圧電ジャイロ(セイコーエプソン、日本ガイシ)
(小林祥宏、日経エレクトロニクス、2004.11.8, p.119)



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 DLP
(L.J.Hornbeck : Micromachining and Microfabrication'95(SPIE), Austin, 3 (1995))

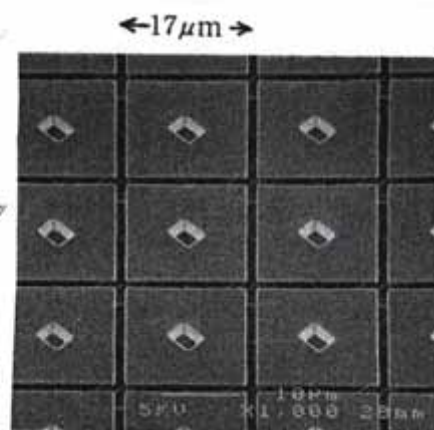
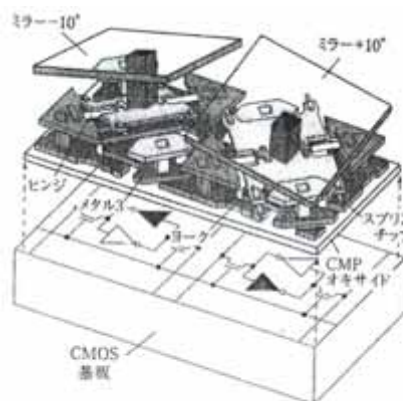


デジタルシネマ

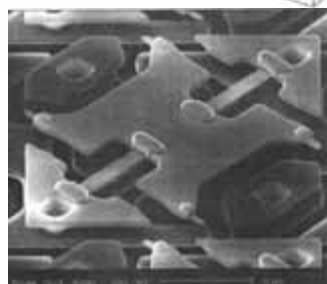
← 携帯型ビデオプロジェクタ



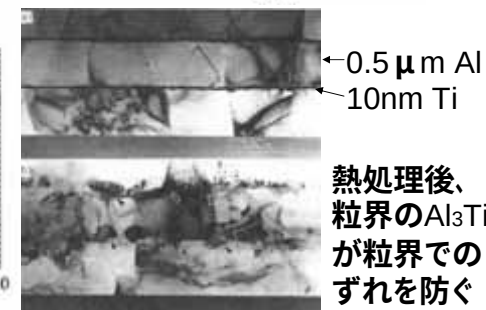
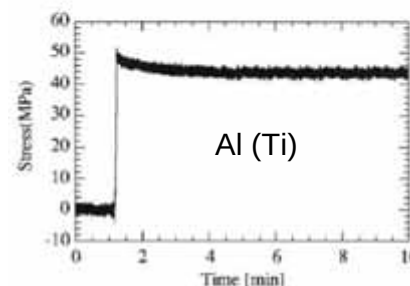
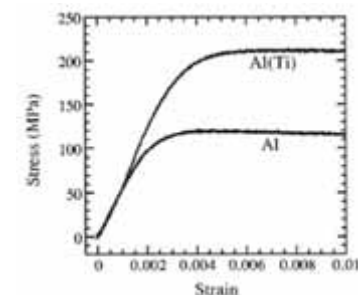
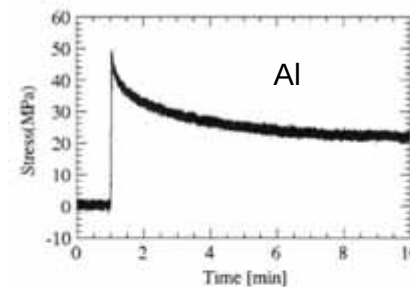
デジタル映写機



DMD (Digital Micromirror Device)のミラーと駆動回路
(テキサスインスツルメンツ社)



ミラーの下のねじりバネ



熱処理後、
粒界の Al_3Ti
が粒界での
ずれを防ぐ

(H.-J.Lee et.al.(Stanford Univ.), Applied Physics Letters, 76, p.3415 (2000))

Tech Tale

DLP

— 光を受け継ぐ者たち —

第1回

20年間あきらめなかった男

Tech Tale

DLP

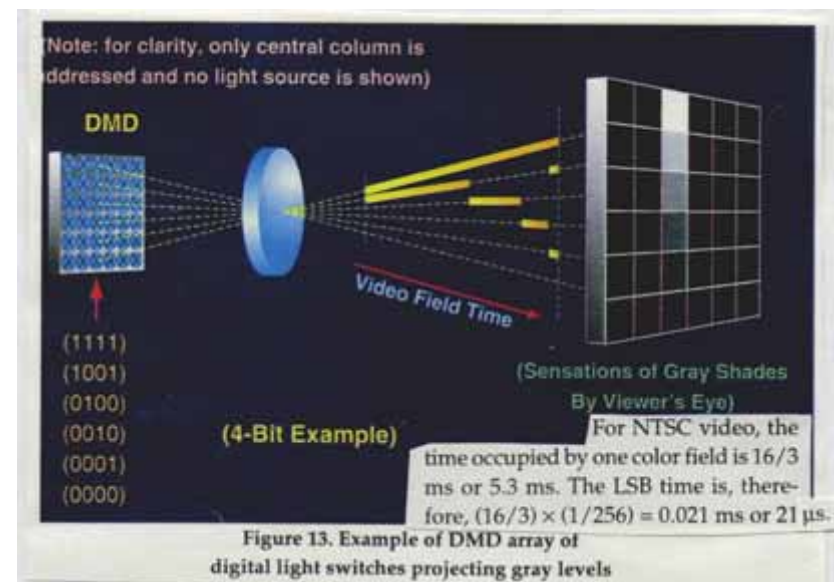
— 光を受け継ぐ者たち —

第2回

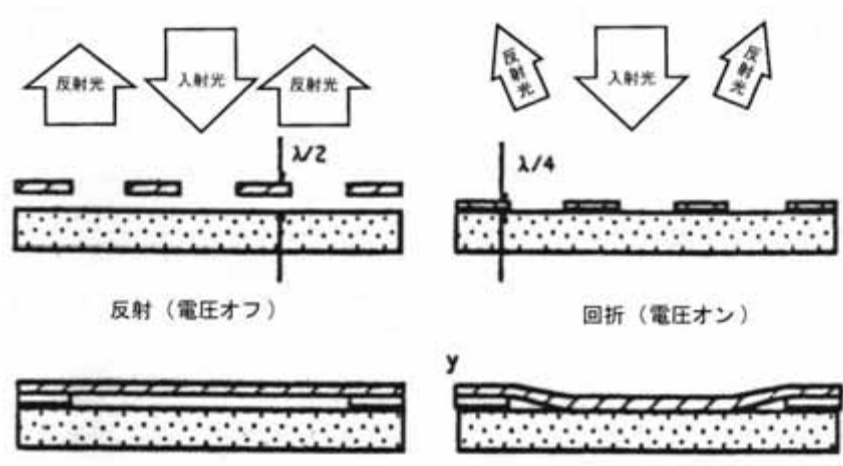
そうだ、デジタルだ

米Texas Instruments Inc., Larry J.Hornbeck

(日経エレクトロニクス, 2005年, 2/28, 3/14, 3/28, 4/11, 4/25, 5/9)

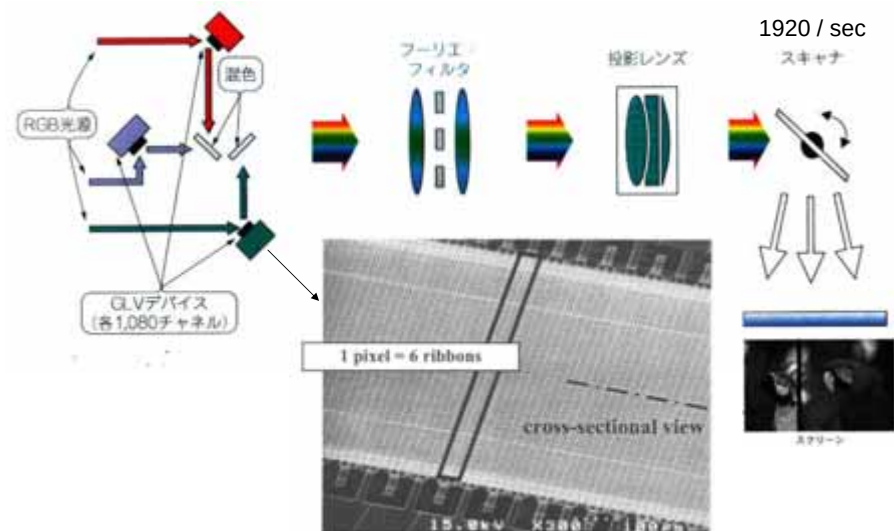


時分割による階調のある画像の表示
(DLP : Digital Light Processing)



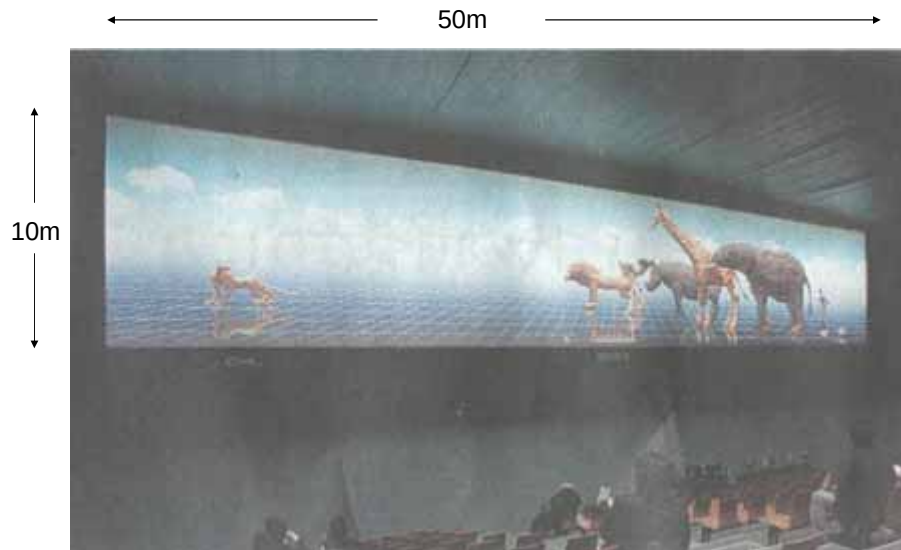
GLV (Grating Light Valve)

(R.B.Apte, D.M.Bloom et.al., Solid-State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head (1994) p.1)

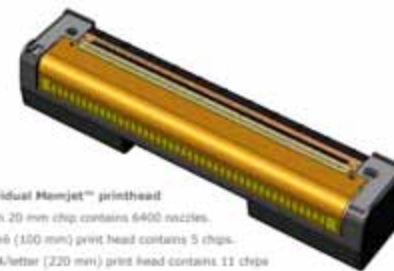


GLV(Grating Light Valve) による1080×1920 HDTVプロジェクタ

(MEMS開発&活用スタートアップ(CQ出版社)p.189 大石克己, 富田昭)



GLVを用いた2005インチ超ワイドディスプレイ (6百万画素)
(ソニー レーザードリームシアター)(愛 地球博) 朝日新聞2005/5/2



Individual Memjet™ printhead
 • Each 20 mm chip contains 6400 nozzles.
 • A 4x6 (100 mm) print head contains 5 chips.
 • A A4/letter (230 mm) print head contains 11 chips



A4 60枚/分



チップ組立



Suspended Heaterによる
サーマルインク
ジェットヘッド

Silverbrook Research社(オーストラリア)による高集積MEMSヘッドによる高速ラインプリンタ (A4の幅に11×6400のノズル)
http://silverbrookresearch.com/silverbrook_research.aspx

The Resonant Gate Transistor

HARVEY C. NATHANSON, MEMBER, IEEE, WILLIAM E. NEWELL, SENIOR MEMBER, IEEE,
ROBERT A. WICKSTROM, AND JOHN RANSFORD DAVIS, JR., MEMBER, IEEE

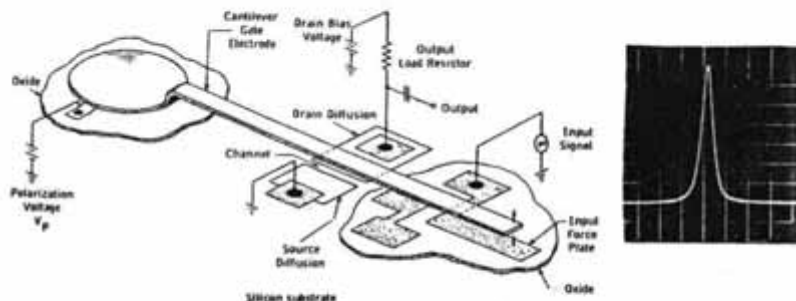
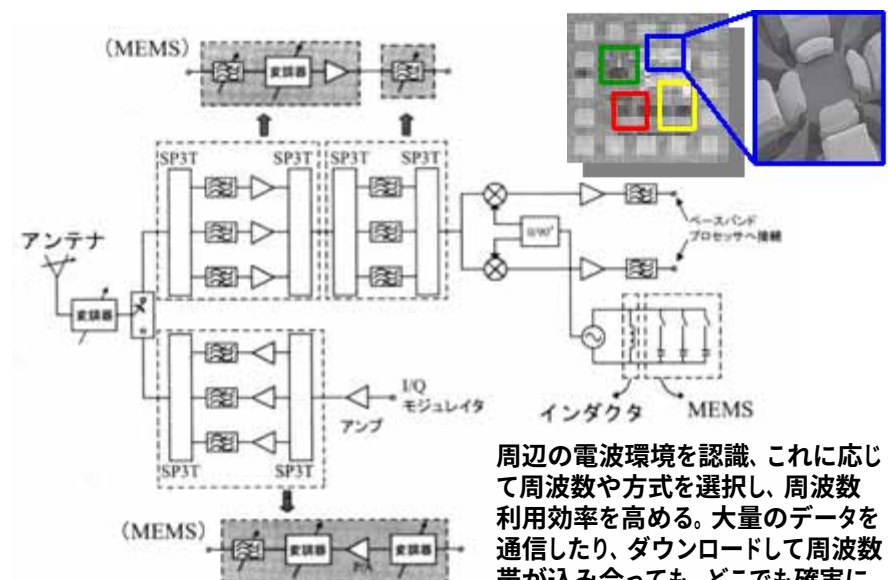


Fig. 1. Geometry and circuit connections of an RGT with a C-F resonant beam.

The authors are with the Westinghouse Research Laboratories, Pittsburgh, Pa.

IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. ED-14, NO. 3, MARCH 1967

マイクロマシニングによるオンチップのメカニカルフィルタ
 (最初の表面マイクロマシニング)
 (IEEE Trans.on Electron Devices,ED-14,3(1967))



周辺の電波環境を認識、これに応じて周波数や方式を選択し、周波数利用効率を高める。大量のデータを通信したり、ダウンロードして周波数帯が込み合っても、どこでも確実につながる本格的なユビキタスを実現。

コグニティブ無線

(鈴木健一郎: RF-MEMSの設計と製作技術 (Realize, 2006))

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 テクノロギクス専攻 教授
東谷Time Corp. 社長顧問

John McDonald
東谷Time Corp. Vice President

Aaron Partridge
東谷Time Corp. Chief Technology Officer

MEMSの端子
Poly Si
SiO₂
Si
共振子
Si基板

振動モード

日経エレクトロニクス,
No.923, 2006年4月10日

- 1) SiO₂をマスクにしてSiをエッチング
- 2) p-Si, p⁺-Si, p-Si, p⁺-Siを連続的に成長
- 3) SiO₂をエッチング
- 4) p-Siを選択エッチング
- 5) n-Siを成長し封止
- 6) N₂中で熱処理し空洞を真空にする

共振端子
真空室
ダイアフラム
検出端子
圧力

(K.Ikeda, Tech.Digest of the 7th Sensors Symposium (1988) p.55)

振動型圧力センサの製作工程(横河電機)

水晶発振子

MEMS発振器(MEMS共振子+回路)

樹脂パッケージ

MEMS共振子チップ
(0.3mm × 0.3mm)

回路チップ

0.85mm

2.5mm

2mm

VDD

Resonator

GND

1 to 125 MHz

OE/ST

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

SiT8002 プログラマブル発振器

周波数: 1-125MHz

小形: 2.0mm × 2.5mm × 0.85mm

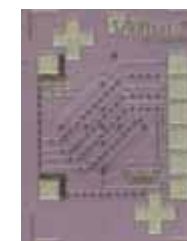
量産性: 5万個/8インチウェハ

耐衝撃性: 6軸 3万G

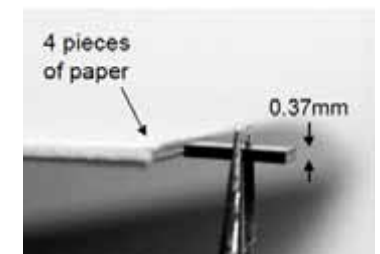
Q値: 約8万

経年変化: ダイ 0.05ppm、樹脂封止 ±0.15ppm/年

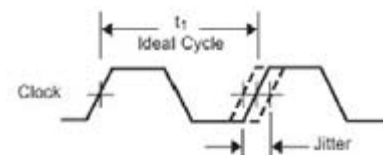
電源電圧: 1.8V, 2.5V, 3.3V



SiT0100 発振子(チップ供給)

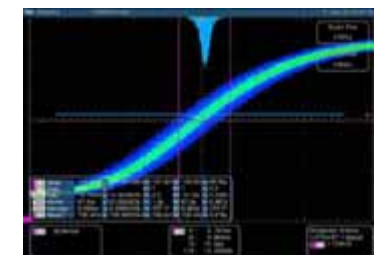


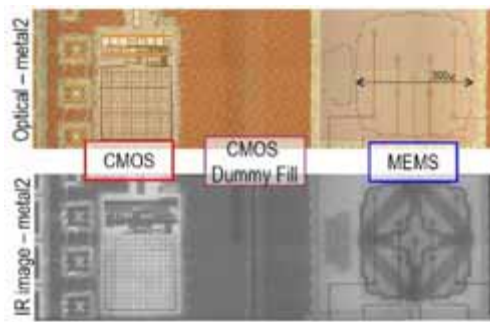
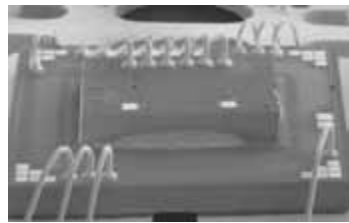
SiT8002UT 極薄(厚さ0.38mm) → カードなど



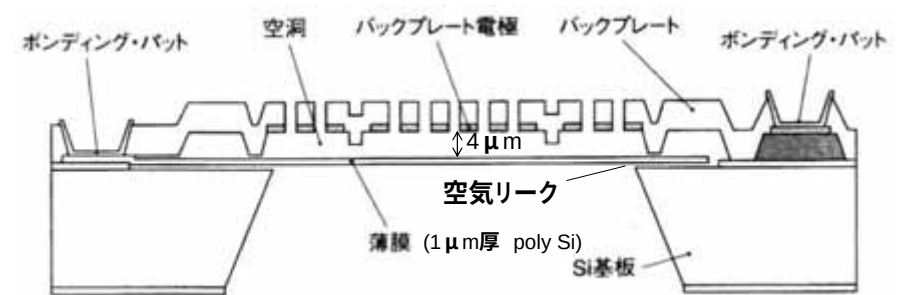
SiT8102 低ジッター(5pS rms)プログラマブル発振器(1-200MHz) クロックの安定性(従来 発振器で5-10pS rms、プログラマブル発振器で15-25pS rms)

→ 高速シリアル通信、高速メモリーなど

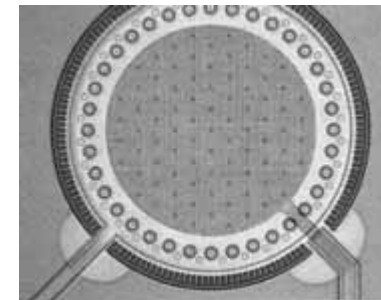




現状：MEMSチップと回路チップのスタック(SiP) 今後：MEMSと回路のモノリシック化
→ 低コスト → さるなる低ジッターの高性能化



外部からの応力を受けにくいフローティングダイアフラム構造



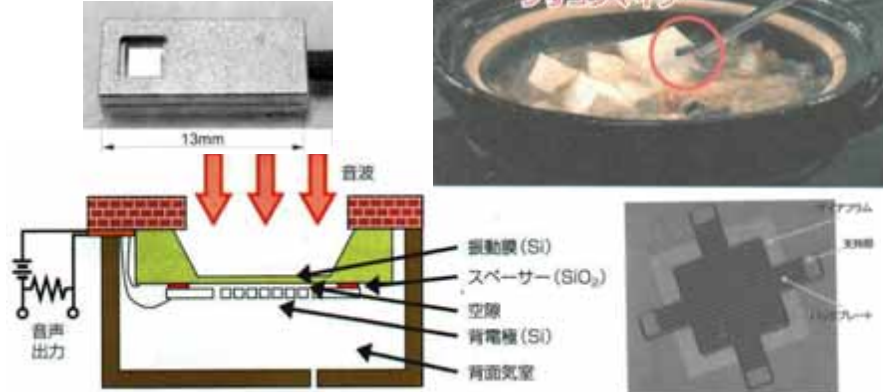
高温のはんだリフローに通ず(エレクトレットは止め容量型に)、小形・薄型化



Knowels Acoustics社のMEMSマイク
(日経マイクロデバイス, 248 (2006,2) p.38)

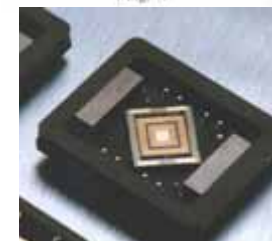
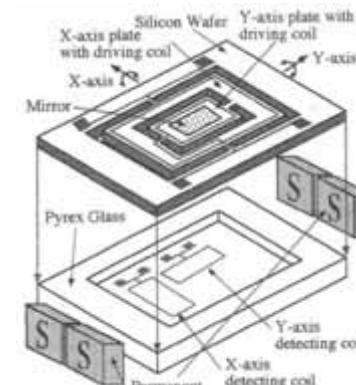
高性能MEMSマイクロフォン (NHK, 松下電器)

看板番組"ダーウィンが来た"でハチドリの羽音の録音など



マイクロマシニングによる容量型マイクロフォン

(T.Tajima (NHK 技術研究所), M.Esashi et.al., Micro and Nanoengineering 2002 Internal. Conf., Lugano Switzerland (2002))



2軸電磁駆動光スキャナ

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

ECO SCAN

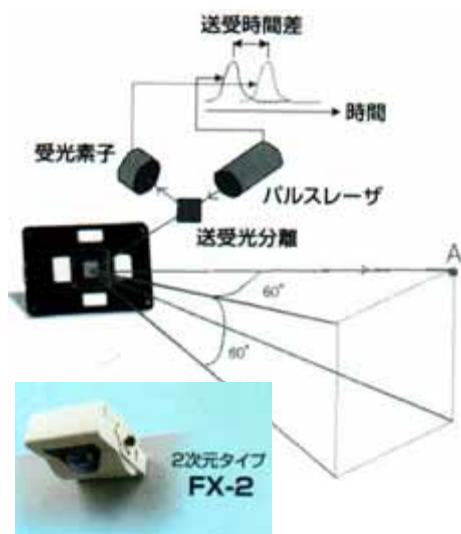
MEMS技術を利用した共震ミラー"エコスキャン"

1次元タイプ One-dimensional type		2次元タイプ Two-dimensional type	
1次元タイプ 1 (1次元)	1次元タイプ 2 (1次元)	2次元タイプ 1 (2次元)	2次元タイプ 2 (2次元)
共振子: 1.5次元 (1次元)	共振子: 1.5次元 (1次元)	共振子: 2次元 (2次元)	共振子: 2次元 (2次元)
共振子: 1.5次元 (1次元)	共振子: 1.5次元 (1次元)	共振子: 2次元 (2次元)	共振子: 2次元 (2次元)
共振子: 1.5次元 (1次元)	共振子: 1.5次元 (1次元)	共振子: 2次元 (2次元)	共振子: 2次元 (2次元)

NIPPON SIGNAL

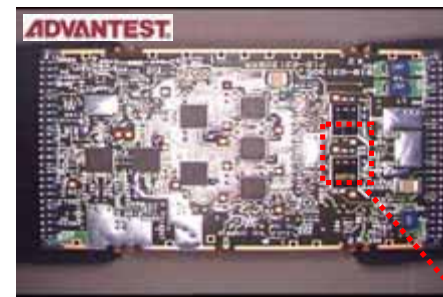
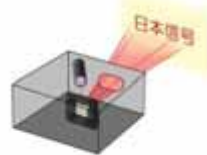
日本信号株式会社

上田 譲 氏



三次元カメラとレーザプロジェクタ

(日経マイクロデバイス
2007年2月号 p.24)



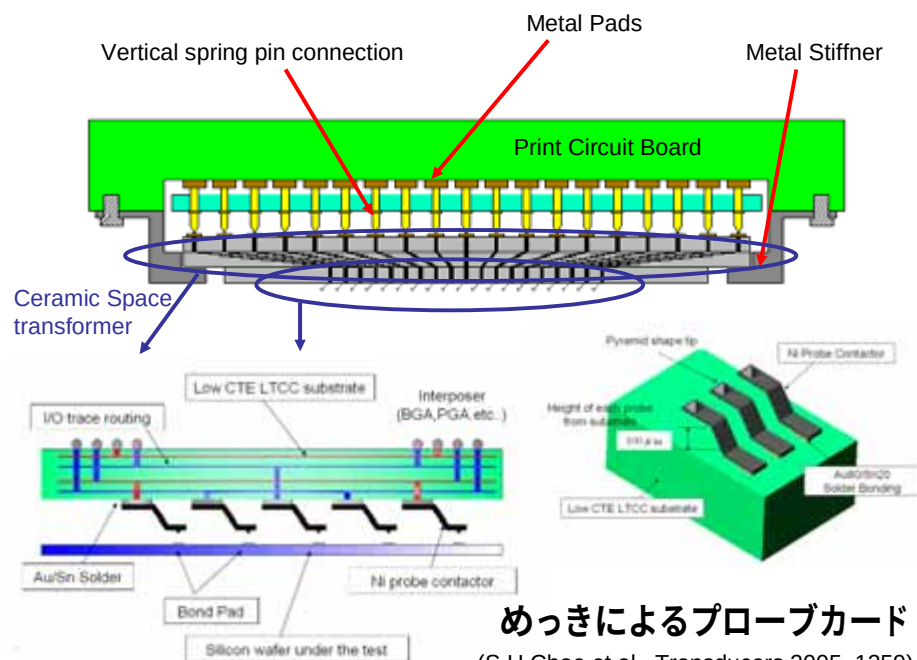
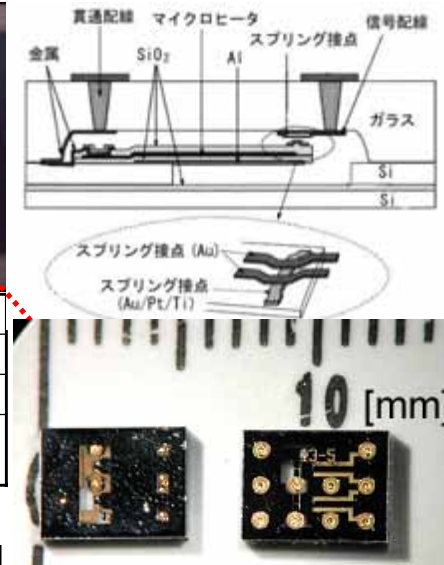
駆動電力	<160mW (6V駆動)
on抵抗	<0.3Ω (初期)
動作速度	<3ms
接点寿命	8000万回 (3V-15mA ドライ)

20GHz以上の帯域を確認

最新の高速LSIテスターに300個ずつ使用

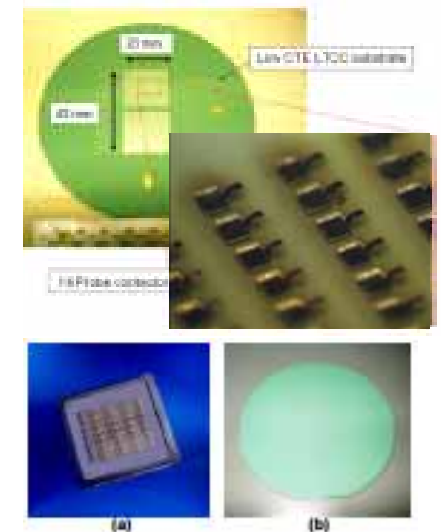
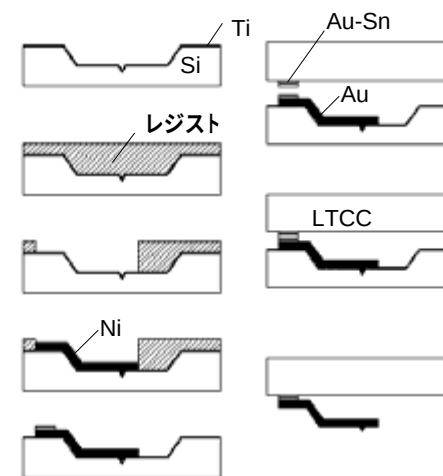
LSIテスタ用MEMSスイッチ

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



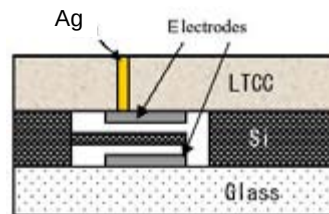
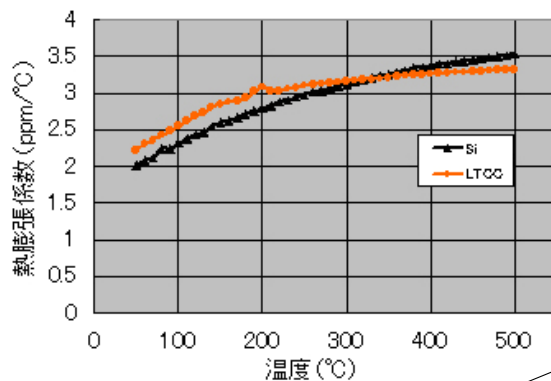
めっきによるプローブカード

(S.H.Choe et.al., Transducers 2005, 1259)



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

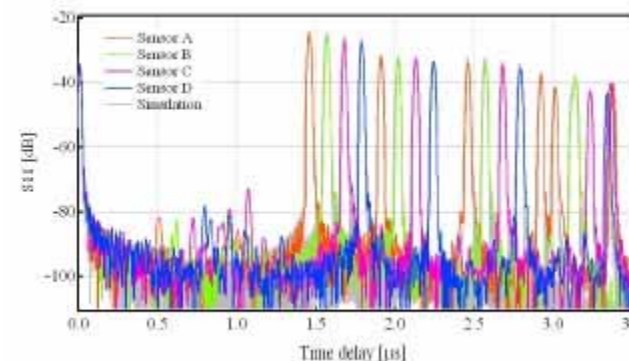
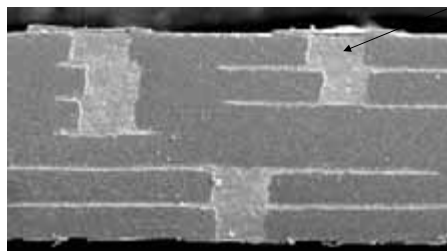
(S.H.Choe, IEEE Inter. Test Conf. 2007, Santa Clara, CA, Oct.21-26, 2007)



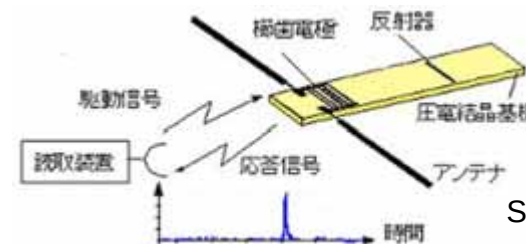
陽極接合可能

貫通配線付低熱
膨張LTCC

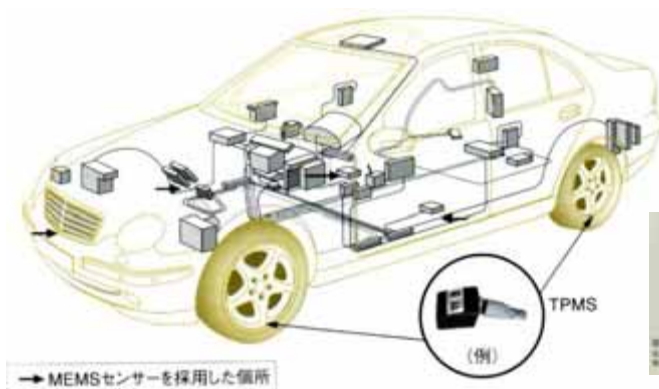
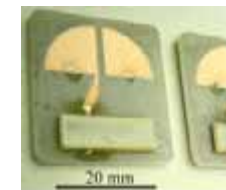
(毛利 護 (ニッコー株))
SEMICON Japan STSセ
ミナー, 2007/12/5)



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)



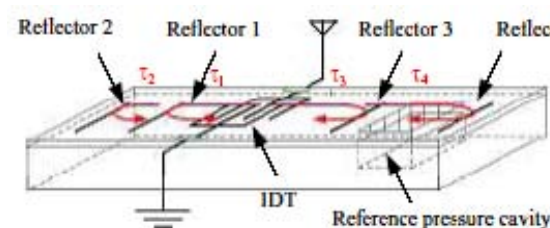
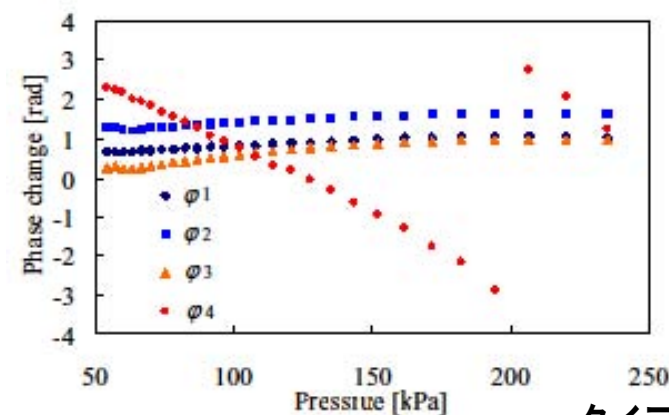
圧力以外に温度や
加速度のセンサも



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

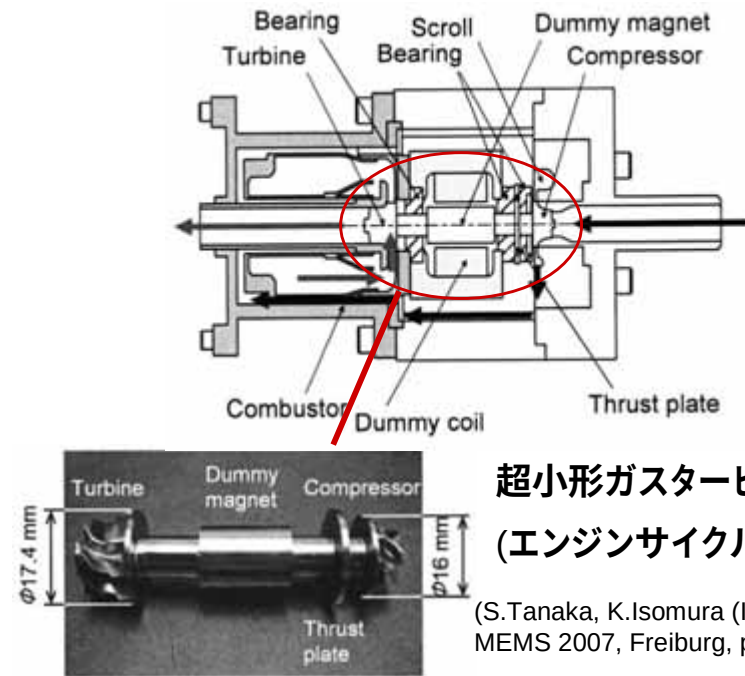


タイヤ圧モニタ用
SAWワイヤレス
パッシブセンサ

(S.Hashimoto (Nissan motor),,
Proceedings of the 24th Sensor
Symposium, Tokyo, (2007),
267-271)



小形大容量高出力電源の必要性

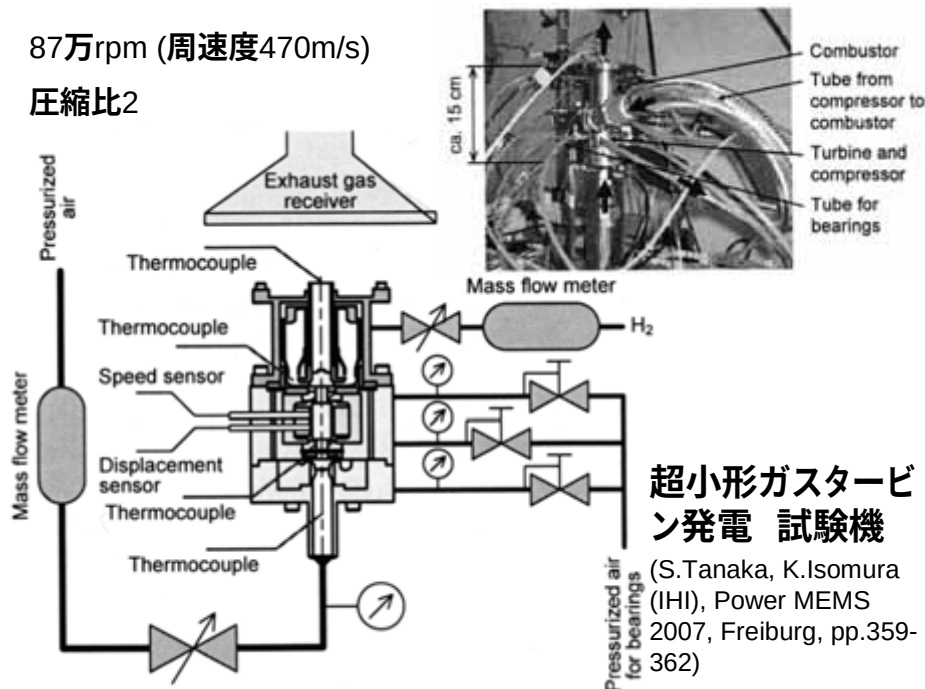


超小形ガスタービン発電機 (エンジンサイクル成立)

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

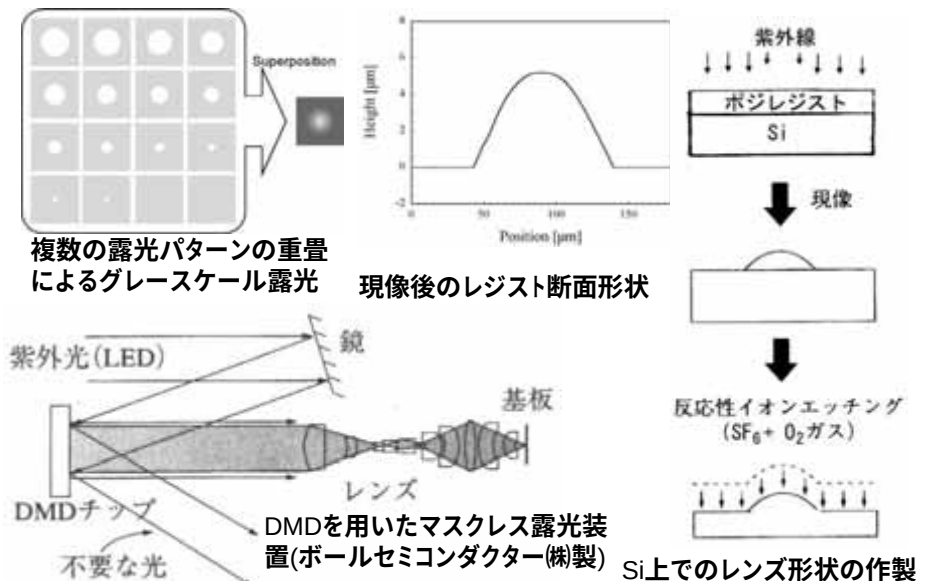
87万rpm (周速度470m/s)

圧縮比2



超小形ガスタービン発電 試験機

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



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

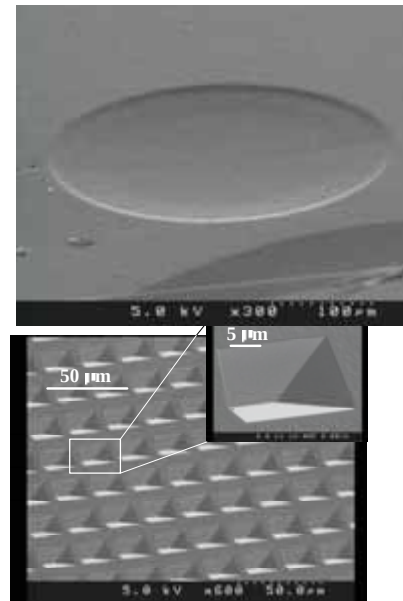
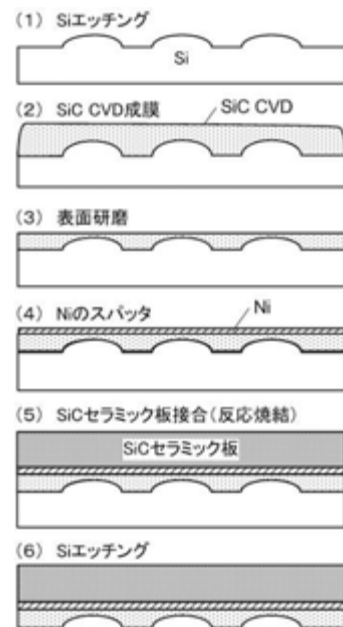
紫外光(LED) 鏡 基板 レンズ DMDチップ 不要な光

DMDを用いたマスクレス露光装置(ボール Semiconductor 網製)

反応性イオンエッチング (SF₆ + O₂ガス)

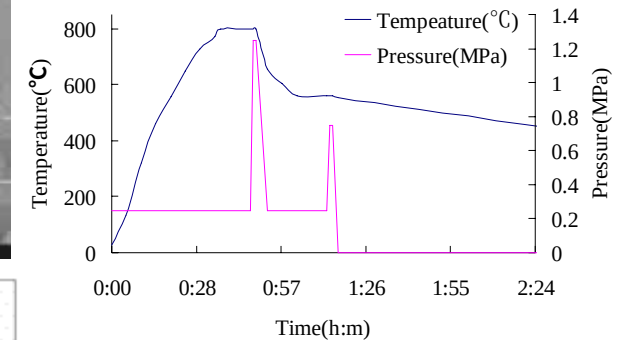
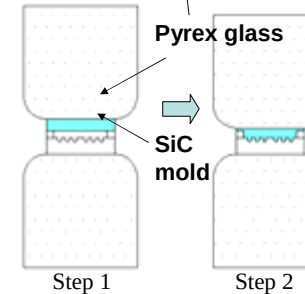
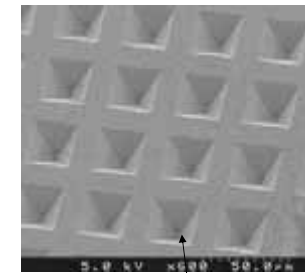
Si上でのレンズ形状の作製

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))



(T.Itoh, Transducers'03 (2003) p.254)

微細加工したシリコンの鋳型にCVDした SiC微細構造体の製作

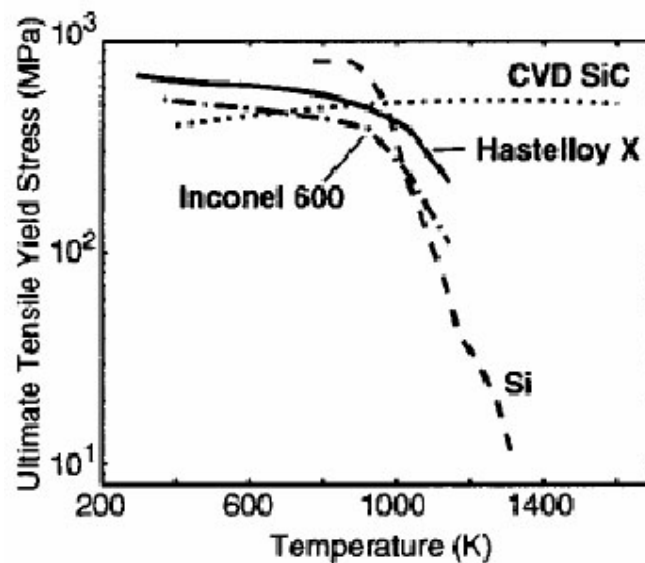


プレス中の温度と圧力

Step 1: ガラスの軟化点 (T_g 800°C) まで加熱
Step 2: プレス後、ガラス転移点 (T_g 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ニング

(K.-O.Min, MEMS'2005, 475)

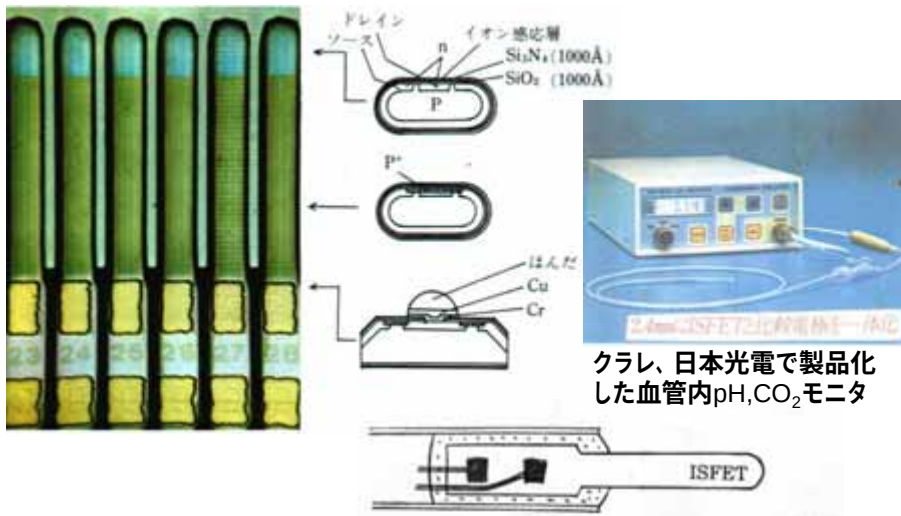


高温での材料の強度

(A.H.Epstein, J.of Eng.for Gas Turbines and Power, 126, (2004) 205-226)

5. 医療・バイオ他

(極細光ファイバ血圧センサ、前方視超音波内視鏡 他)

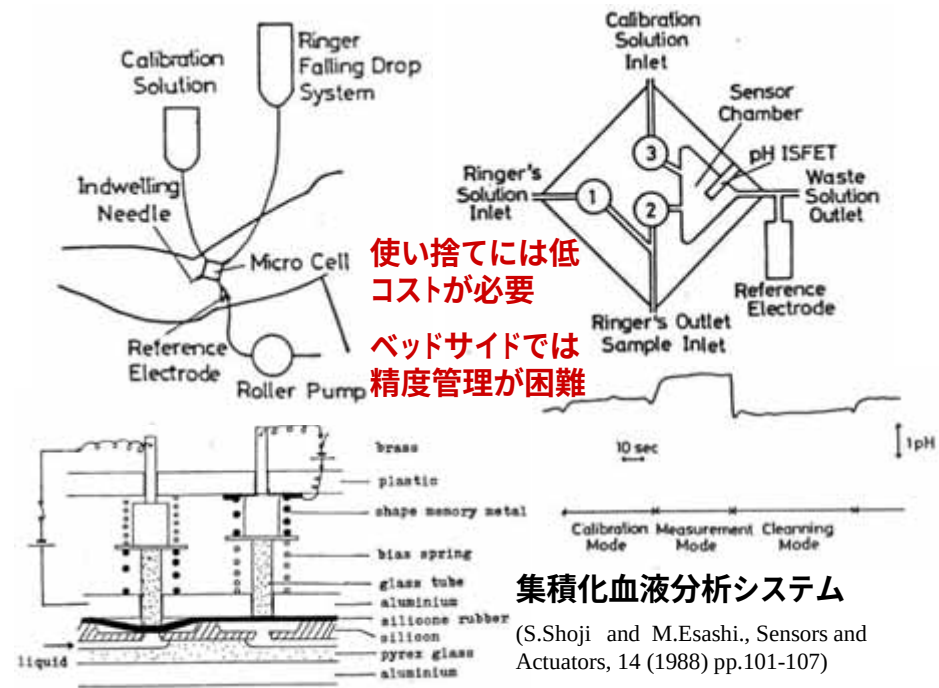


クラレ、日本光電で製品化した血管内pH,CO₂モニタ

血管内でキャリブレーションができない

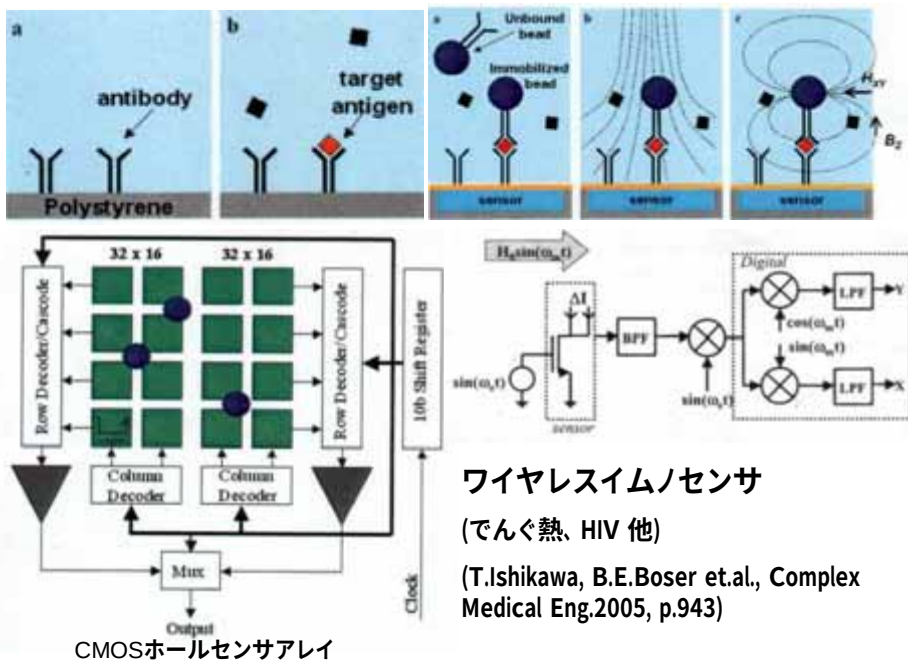
装着し易く工夫したISFET

(Supplement to the J.J.AP.,44 (1975),339-343)



集積化血液分析システム

(S.Shoji and M.Esashi., Sensors and Actuators, 14 (1988) pp.101-107)

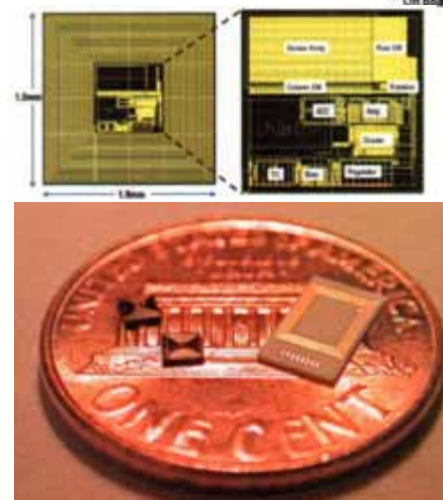


ワイヤレスイムノセンサ

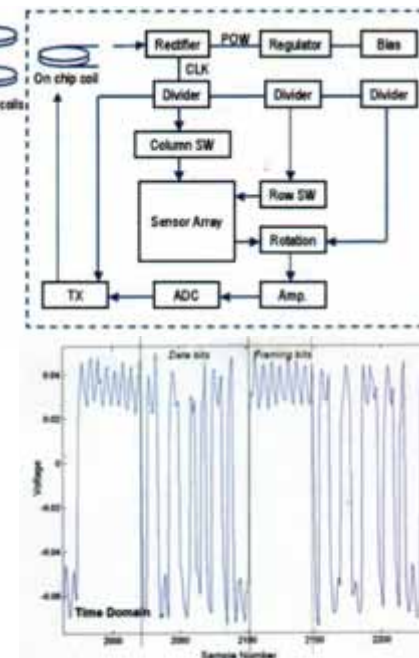
(でんぐ熱、HIV 他)

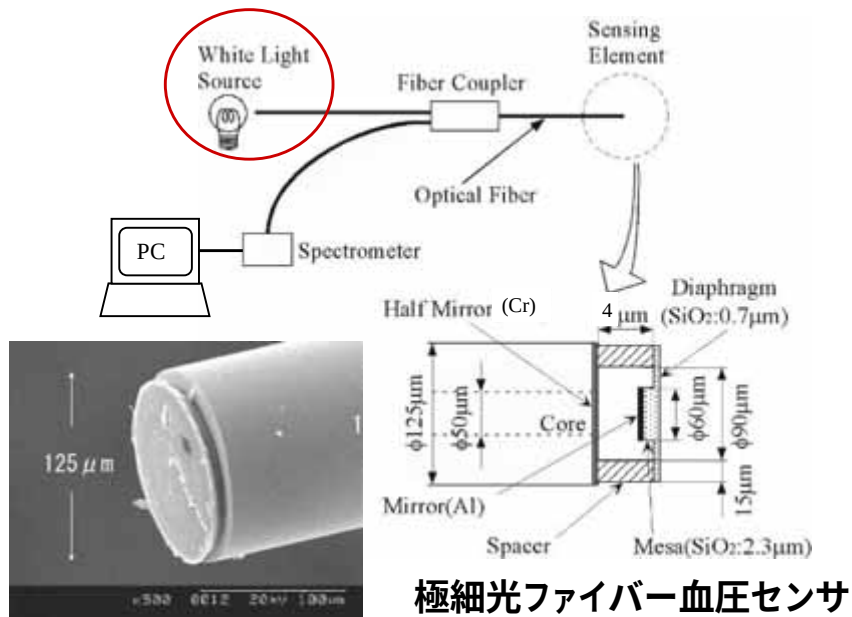
(T.Ishikawa, B.E.Boser et.al., Complex Medical Eng.2005, p.943)

使い捨てのヘルスケアチップだと、再検査するので精度管理上の問題が少ない

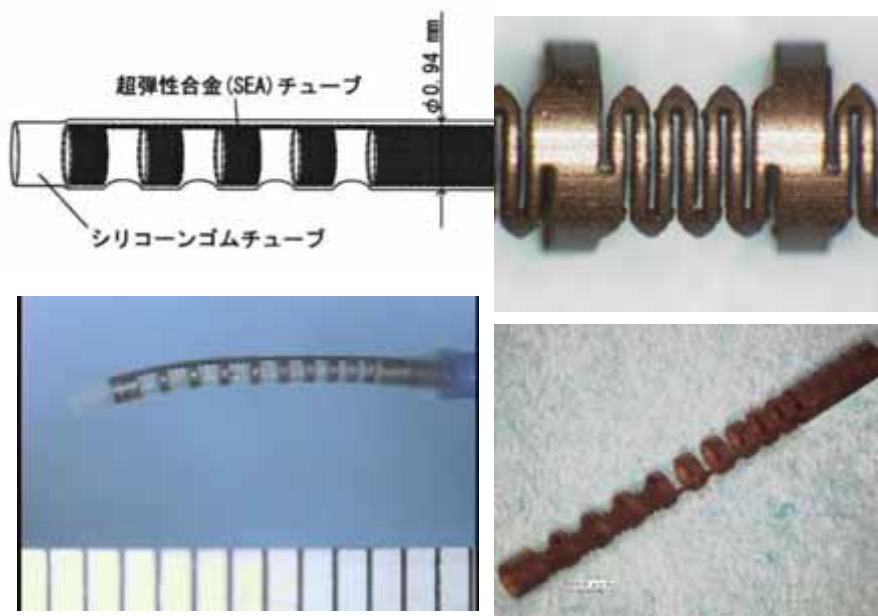
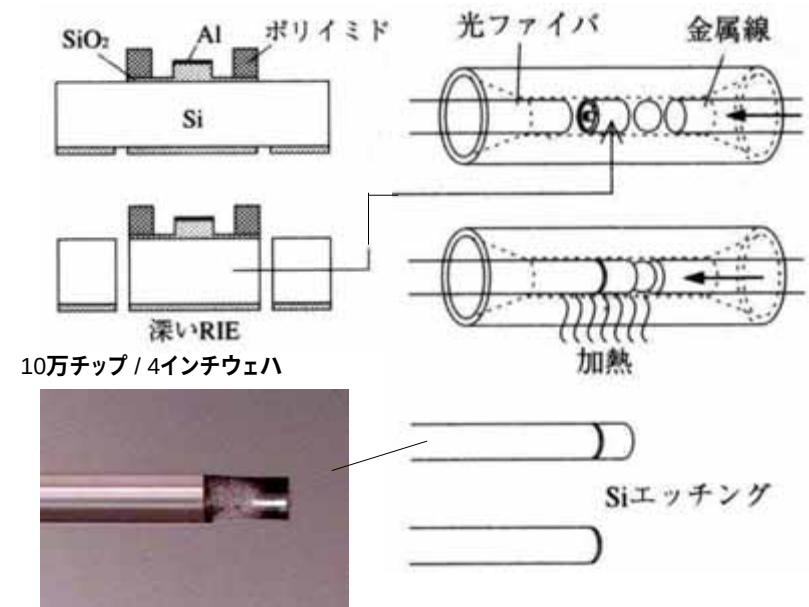


ワイヤレスイムノセンサ

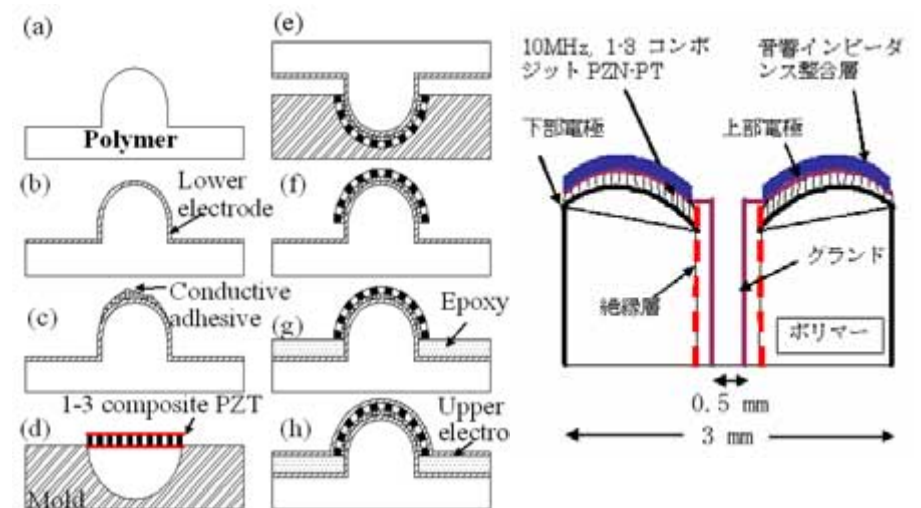




(T.Katsumata et.al., Optical MEMS'97) (K. Totsu et.al., Transducers'03 (2003))



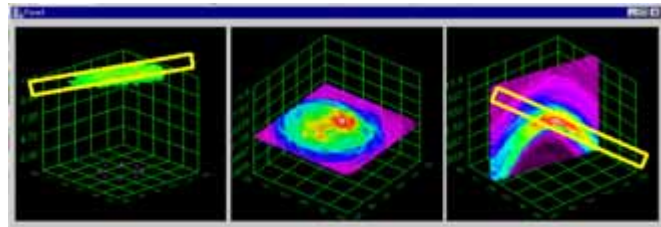
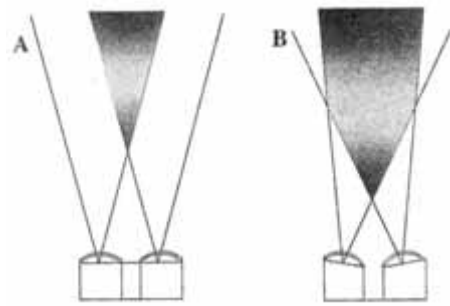
(六鎗雄太 他、第42回日本エム・イー学会大会論文集、札幌 (2003) p.246)



(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

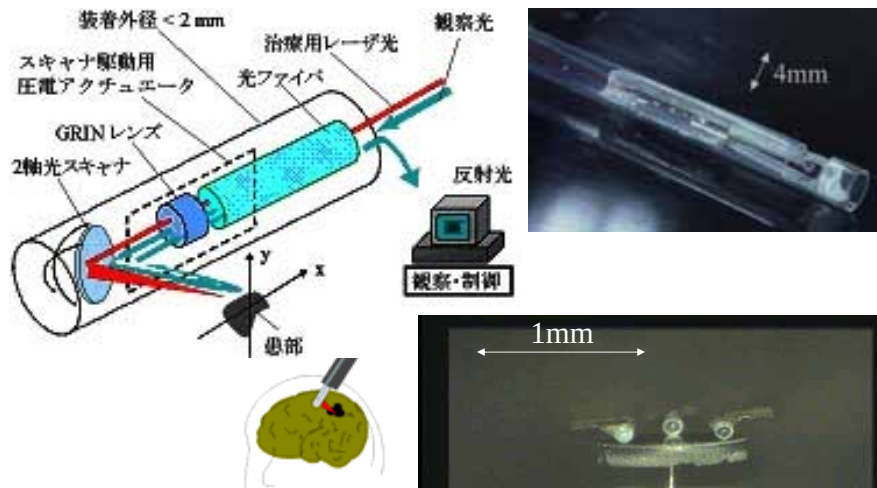
(J.-J.Chen, IEEE Sensors 2005, 920)



従来の超音波断層像



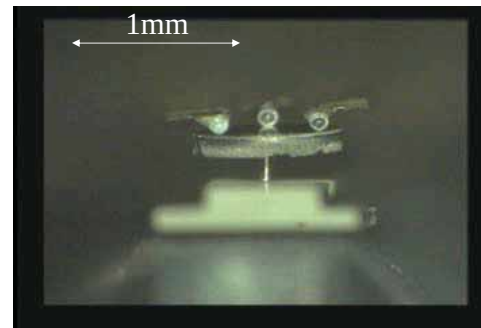
三次元超音波画像



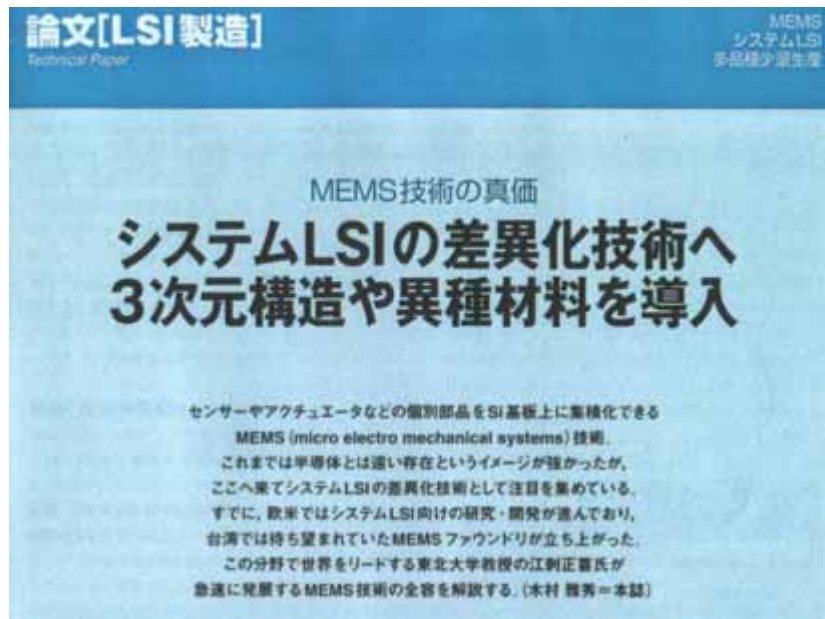
スキャナ式内視鏡によるレーザー治療

(N.Kikuchi, Transducers'03)

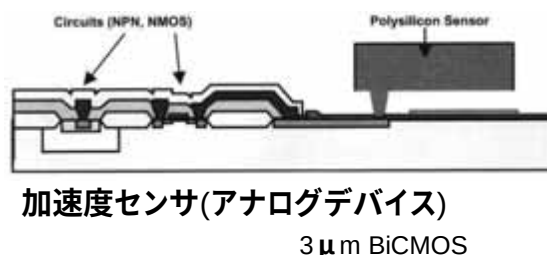
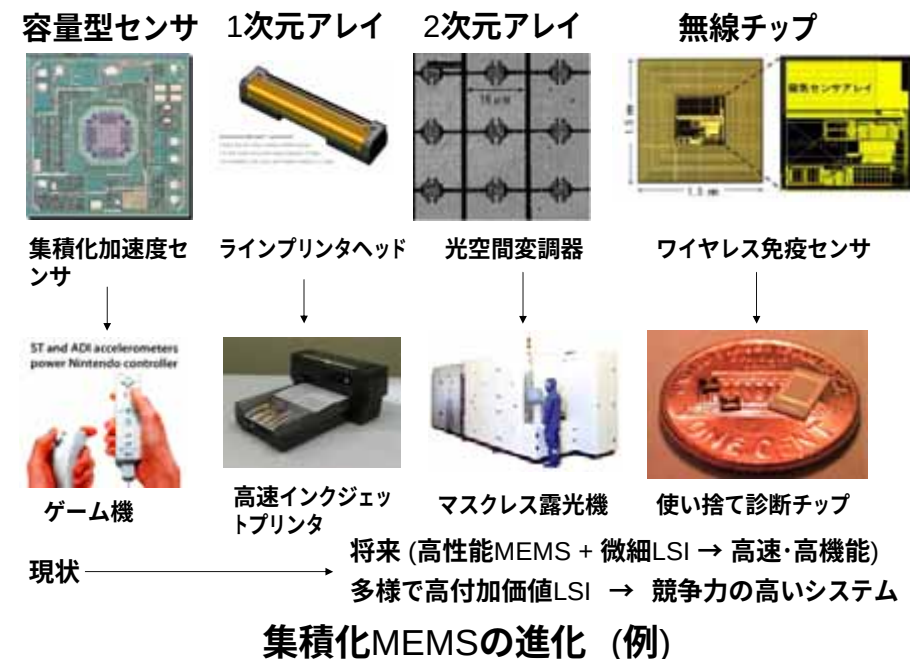
圧電ユニモルフアクチュエータによる鏡の駆動



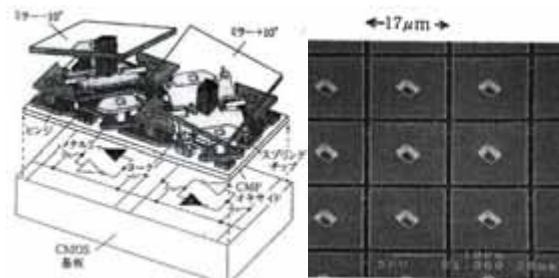
7. 産業化の問題点



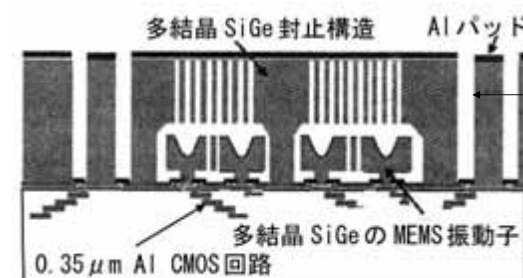
日経マイクロデバイス 2001年9月号



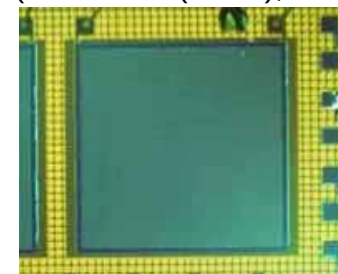
ばねとして優れた構造のMEMSにするため、ポリシリコンの応力制御に1100°C、3hの熱処理が必要。このため、微細回路の上には形成できない。



現在の集積化MEMS



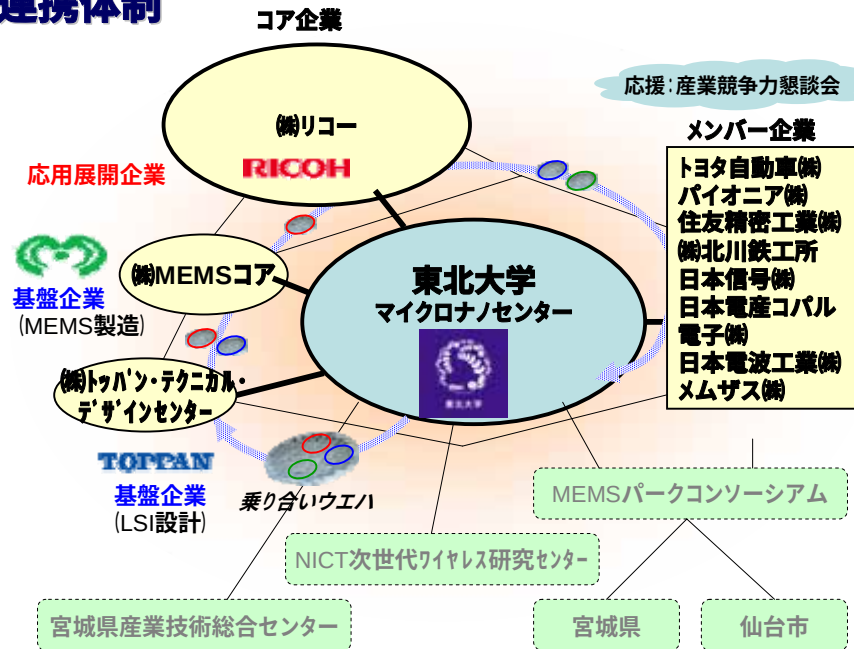
高性能CMOS回路上に形成したPoly-SiGe MEMS 振動ジャイロ (W.A.Mehta(IMEC),ISSC 2005, p.88)



IMECのSiGeミラーアレイ(MEMS2007)

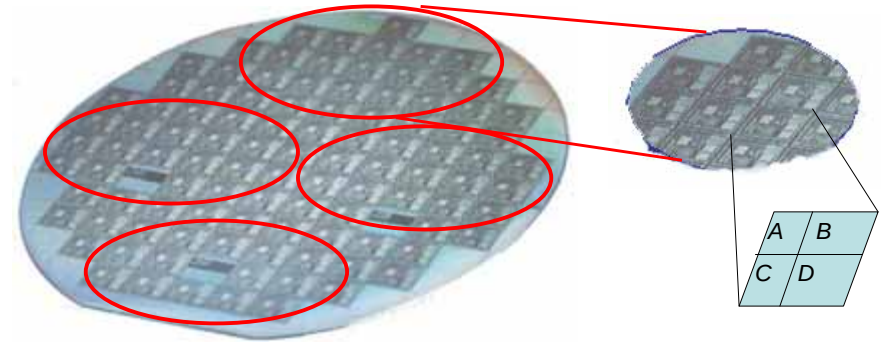
高性能CMOS回路上に高性能なばね構造を、**低温プロセス (< 400°C)**で形成

連携体制



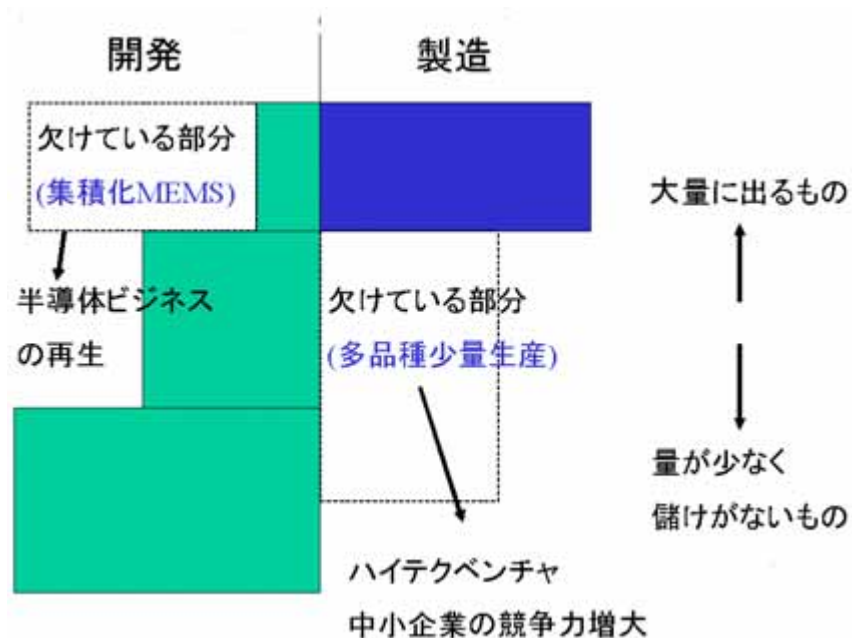
ステッパの露光面積に各プロジェクトのチップが入るシャトルサービスウェハ。⁹

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もグループ内で問題ない。



シャトルサービスウェハ

乗り合いウェハの仕方



MEMSコア(株) 泉工場

社長：本間孝治(ケミトロニクス会長)

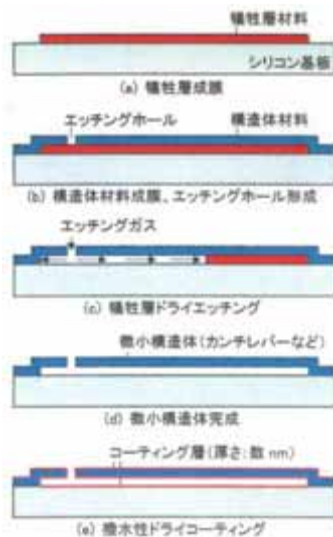
役割：ニーズに応え試作品や少量生産品を供給、ファンダリへ発注する前のエンジニアリングサンプルの試作



東北大 江刺研究室分室 (一般公開利用)



MEMSコア 4インチ製造ライン



MEMSコア(株)

犠牲層ドライエッチング装置 (XeF_2 によるSiエッチング、 $\text{HF}+\text{CH}_3\text{OH}$ による SiO_2 エッチング、撥水性ドライコーティング)

(開発: フォード自動車からの研究員 → 製品化: 豊田中央研究所 → 製造: MEMSコア)

東北大学 早稲田塾

Super Nanomechanics Program

最大連携プログラム 第5弾

日本初!
2006年12月、早稲田塾と東北大学が
現役高校生を対象とし、企業の人材育成のために
産学連携で「スーパーナノメカニクスプログラム」を実施します。

東北大学 工学部 教授 相川 秀希 代表
早稲田塾 代表 相川 秀希 代表

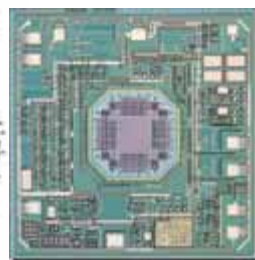
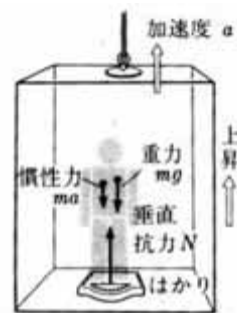
高1・2生対象

高校生のための教育(スーパーナノメカニクスプログラム)
(東北大学 - 早稲田予備校)



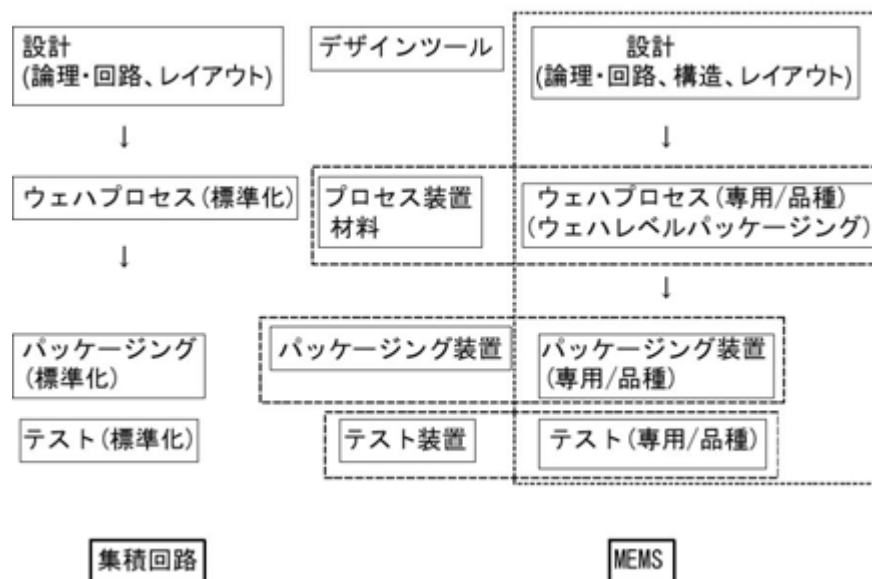
加速度センサ

TV ゲーム (任天堂 (Wii))



アナログデバイス社
2軸加速度センサ

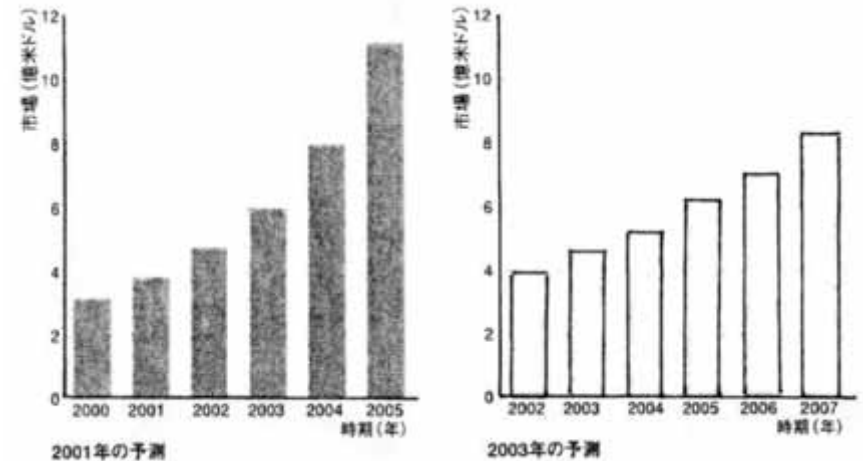
ST and ADI accelerometers
power Nintendo controller



- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| ・作業の独立性が高く分業可 | ・作業間に関係があり分業困難 |
| ・回路設計が中心 | ・機械・電気・光・材料などの融合 |
| ・要素数が膨大で複雑 | ・多様な知識が必要で複雑 |
| ・標準プロセス・標準パッケージング・標準テスト | ・専用プロセス・専用パッケージング・専用テスト |
| ・標準プロセス装置(微細・高額) | ・専用プロセス装置・パッケージング装置・テスト装置開発 |
| ・ウェハ状態でプロービングテスト可 | ・パッケージング後にしかできないテストが多い |
| ・巨額設備開発投資・量産、集中製造 | ・多品種少量・付加価値大分散製造 |
| ・短製品寿命・投資短期回収シリコンサイクル | ・長製品寿命・投資長期、技術流出小 |

集積回路

MEMS



MEMS市場の下方修正

(和賀三和子,日本のMEMS研究には何がかけているか, 日経マイクロデバイス, 2006 Sept.)

3軸加速度センサやマイクロフォンへの殺到

アナログデバイス(加速度センサ)やKnowles(マイクロフォン)などで、すでに勝負かあってから多数の国内メーカーが参入している。

原因

将来の産業に役立つ研究が不足 → 生き延びるだけだとジリ貧

大学や公的研究機関が論文のための出口の無い研究が中心で、将来の産業に役立たない。(米国では大学が、欧州では公的研究機関が貢献)

研究者を食わせるだけでなく、試作開発など総合力の必要な研究や、リスクをかけた先行研究で実際に役立つことが必要。異種技術による多様化でLSIの高付加価値化へ。

「ハードルは高いが、必要性和付加価値の高いMEMSの開発へ」

我が国でのMEMS開発の問題点

今後の方向:

研究開発の効率化・低コスト化 (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ハックコンソーシアム <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
昨年 8/23-25 東京、参加者 280名
今年 8/22-24 仙台、参加者 80名

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 (スピニン)

委託生産、雇用創出

ハイテク多品種少量生産