

## 立石賞功績賞の受賞記念講演概要

## 豊かで安全な社会を支える MEMS の研究と実用化

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 教授 江 刺 正 喜  
マイクロシステム融合研究開発センター長

立石科学技術振興財団より 1992 年度に「集積化加速度センサの開発」(図 1) で助成を頂きました。それ以来、安全な社会に役立つ技術の研究を行って参りましたが、多くの方に支えられ、今回第 3 回立石賞の功績賞を頂くことになりました。立石財団他関係者の皆様に厚くお礼を申し上げます。

## はじめに

半導体微細加工技術を用い、集積回路だけでなくセンサや運動要素などをつくることもできます。この技術はマイクロシステムや MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) と呼ばれ、いろいろなシステムの鍵を握る部品として使われています。私は学生時代から 45 年程この研究をしてまいりました。その中から企業と研究をしてきた安全のための研究をいくつか紹介します。

## 加速度センサ・ジャイロ

加速度センサは 1990 年頃から自動車のエアバッグシステムの衝突検出に使われています。またジャイロ (角速度センサとも呼ばれる) は 2000 年頃から自動車の安全システムに使われると同時に、デジタルカメラの手振れ防止などにも使われてきました。最近はスマートホンで、楽しく便利なユーザインターフェースを提供しています。

加速度による錘の動きを静電容量の変化として検出する静電容量型を開発しました (図 1) [1]。

内部に静電容量検出用の回路を集積化しています。またシリコンウェハにガラスを接合し、チップに分割すると封止した状態にできる

「ウェハレベルパッケージング」[2] を用いています。

自動車のスピンや横滑りを検出して防止する安全装備用のセンサがトヨタ自動車で開発され、100 万台以上の

車に使われています (図 2) [3]。このセンサは

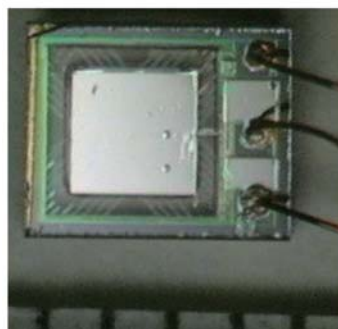
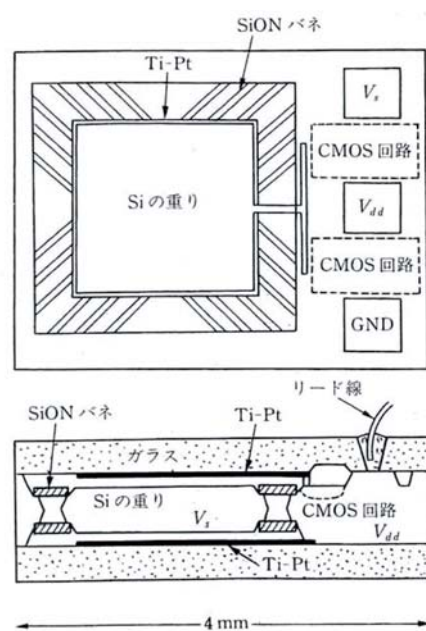


図 1 集積化容量型加速度センサ

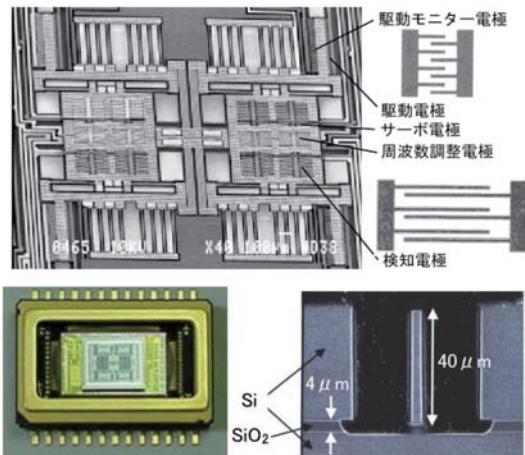


図2 ヨーレート・加速度センサ (トヨタ自動車㈱)

シリコン基板を垂直に加工した構造を静電引力で音叉振動させ、車の回転によるコリオリ力で生じる振動を静電容量変化で検出しています。

高精度な回転ジャイロが東京計器で開発されました (図3) [4]。直径 1.5 mm のシリコンリングを浮上させ、毎分 7 万 4 千回転させています。これによって 2 軸周りの回転を検出できるだけでなく、3 軸の加速度も同時に検出することができます。これは錘の位置を静電容量で検出し、電圧を印加して静電引力で浮上させることを、高速デジタル制御により全方向で行っているためです。このセンサはモーションロガーとして東京の地下鉄に使われています。

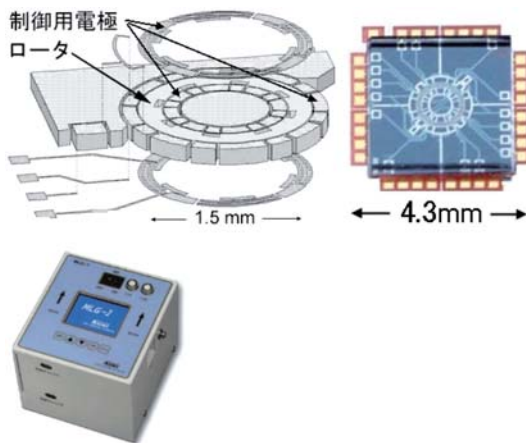


図3 静電浮上回転ジャイロ (上) とモーションロガー (左) (東京計器㈱)

## 光スキャナ

電磁力で鏡を動かす 2 軸光スキャナが開発されました [5]。光が対象物にあたって戻ってくるまでの時間を測ることによって距離を知る方法を、この光スキャナと組み合わせると、図 4 のような距離画像センサをつくることができます [6]。これは東京の JR 山手線のプラットフォームドアなどに使われて、安全に役立っています。

## 触覚センサネットワーク

介護ロボットの実用化を考えた時に、ぶつかったときの安全性が懸念されます。そこでトヨタ自動車や豊田中央研究所と一緒に、ロボットの体表面に多数の触覚センサを分布させて、人間と同じように接触を即時に検知する研究を行っています。図 5 のように柔らかいケーブルに通信機能を持つセンサを多数取り付け、接触を感じるとセンサが、信号をコンピュータに送るイベントドリブンというものです [7]。人間のように多数のセンサから、それぞれの神経が脳へつながっているわけではありませんが、インターネットと同様に共通の通信線で高速に信

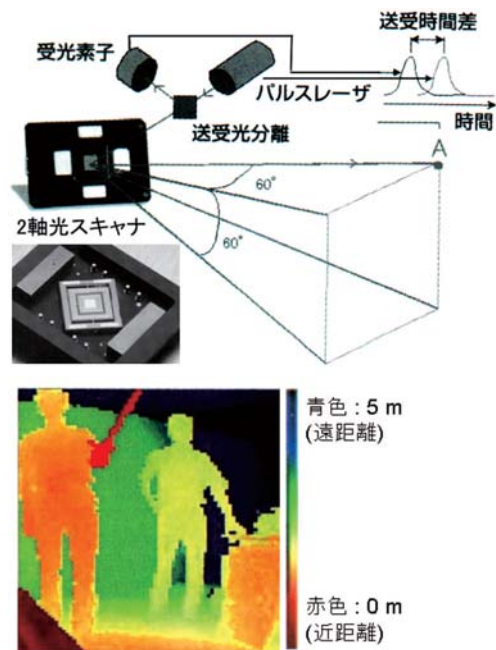


図4 2 軸光スキャナによる距離画像センサ (日本信号㈱)

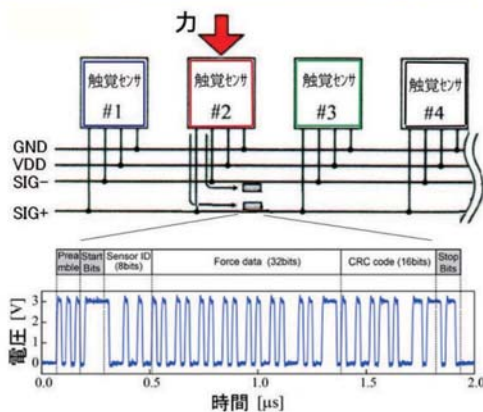
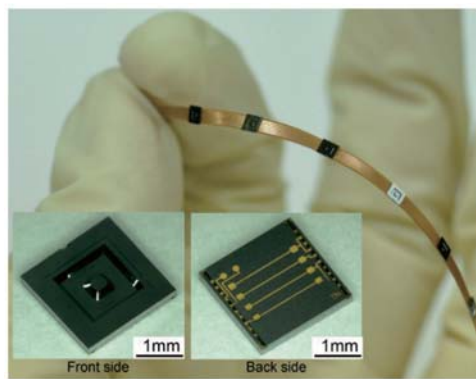


図5 触覚センサネットワーク

号を送ります。半導体技術は高度な機能を持つ多数のセンサを安価に作れるため、このようなシステムを可能にします。

#### 災害などでも途切れないワイヤレス通信

私達が暮らしている仙台は、東日本大震災で津波の被害を受けました。このような災害時にも、ワイヤレス通信が途切れないようにすることが求められています。またネット配信などでワイヤレスの通信量は毎年2倍以上の割合で増大しており、周波数資源が枯渇しないようにするためにも、電波帯を有効利用する通信モジュールの開発を、情報通信機構（NICT）や村田製作所、千葉大学と協力して行ってきました。

デジタルテレビには470 MHz から770 MHz が使われていますが、実際に使われている周波数は地域によって異なるため、その地域で使われていない周波数帯域を通信に使うコグニティブ無線が研究されています。集積回路を

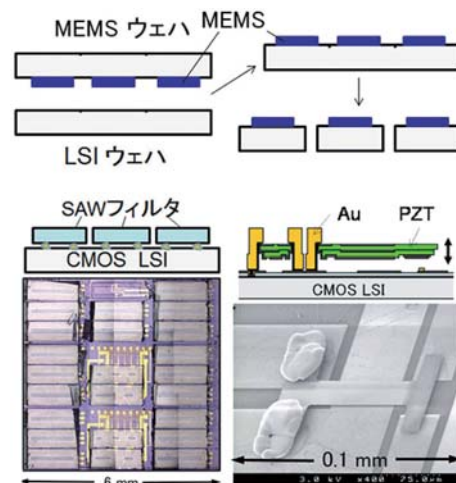


図6 LSI 上へのウェハレベル転写（上）によって作られたマルチ、SAW フィルタ（左）と圧電スイッチ（右）

壊さないでその上に形成するため、MEMSなどをウェハレベルで転写します[8]。図6のように、多チャンネルの弾性表面波（SAW）フィルタや、圧電スイッチ[9]などを集積回路上に形成しました。

#### おわりに

MEMS 技術による安全のためのシステムを紹介してきました。この技術には大掛かりな一連の設備を必要としますが、製品ごとに異なりしかも多様な技術を用いるため、大量に使われない限りはコストに見合わず、開発や設備の投資を回収できないことが多いのが現状です。このため東北大学にある4/6 インチウェハ用の遊休施設を有効活用し、会社が人を派遣して利用する「試作コインランドリ」を運営しています。[<http://130.34.94.150/coin/index.html>]これは以前トランジスタ工場として使われていた施設で、さらに企業から多くの設備が寄付されています。企業からの利用は毎月400件以上で、全国から150社以上の企業が利用に来ています。設備を借りて参入障壁を下げ、技術や人を育てながら製品化する、組織間の垣根を越えたこのような方法は、産業競争力向上や雇用創出に役に立つ一つの方法だと思っています。

文 献

- 1) Y. Matsumoto and M. Esashi : Integrated silicon capacitive accelerometer with PLL servo technique, *Sensors and Actuators A*, 39 (1993) 209-217.
- 2) M. Esashi : Wafer level packaging of MEMS, *J. of Micromechanics and Micro-engineering*, 18 (2008) 073001 (13pp).
- 3) M. Nagao, H. Watanabe, E. Nakatani, K. Shirai, K. Aoyama and M. Hashimoto : A silicon micro-machined gyroscope and accelerometer for vehicle stability control system, 2004 SAE World Congress, 2004-01-1113 (2004).
- 4) T. Murakoshi, Y. Endo, K. Sigeru, S. Nakamura and M. Esashi : Electro-statically levitated ring-shaped rotational-gyro/accelerometer, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 42, Part1 (2003) 2468-2472.
- 5) N. Asada, H. Matsuki, K. Minami and M. Esashi : Silicon micromachined two-dimensional galvano optical scanner, *IEEE Trans. on Magnetics*, 30 (1994) 4647-4649.
- 6) 齊藤徹夫, 松原達也, 池本善行, 笹川健一 : MEMS 光スキャナ「ECO SCAN」を用いた測距センサ 3次元距離画像センサの鉄道事業への応用, *日本信号技法*, 34, 2 (2010) 33-36.
- 7) M. Makihata, M. Muroyama, Y. Nakano, S. Tanaka, T. Nakayama, U. Yamaguchi, H. Yamada, Y. Nonomura, H. Funabashi, Y. Hata and M. Esashi : A 1.7 mm<sup>3</sup> MEMS-on-CMOS tactile sensor using human-inspired autonomous common bus communication, *Transducers2013 & EurosensorsXXVII*, Balcerona, Spain (2013, June 16-20) 2729-2732.
- 8) M. Esashi and S. Tanaka : Heterogeneous integration by adhesive bonding, *Micro and Nano Systems Letters*, 1, 3 (2013).
- 9) K. Matsuo, M. Moriyama, M. Esashi and S. Tanaka : Low-voltage PZT-actuated MEMS switch monolithically integrated with CMOS circuit, *Technical Digest IEEE MEMS 2012*, Paris, France (2012, Jan. 29 - Feb. 2) 1153-1156.