集積化ＭＥＭＳ技術による機能融合・低消費電力エレクトロニクス

English Version Available Here

東京大学　先端科学技術研究センター　年吉　洋

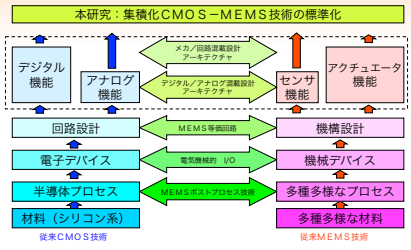
ところで ＭＥＭＳのことをよく ご存じですか？

YES → 本研究の学術的特色

NO → 本研究の出口イメージ（応用）

1．集積化ＭＥＭＳ分野の背景

本研究の目的は技術の標準化



集積化ＭＥＭＳとは、半導体加工技術により微小な機械構造・センサ・回路を集積化する高付加価値エレクトロニクス技術のことです。

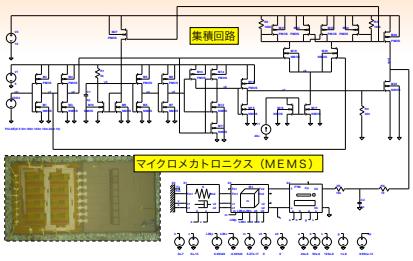
この技術は次世代の革新的製造技術・省エネデバイス技術として期待されていますが、従来は応用ごとの開発的要素が強く、設計・製造技術の標準化や理工学としての体系化が立ち遅れていました。

そこで本研究では、集積化ＭＥＭＳの設計・製造手法を標準化して、材料から応用までを見通しよく設計・製作する技術体系の構築に取り組みました。

年吉　洋、「集積化ＭＥＭＳのための解析・設計・製作技術プラットフォーム」　第２３回マイクロマシン／ＭＥＭＳ展同時開催プログラム「半導体企業のためのＭＥＭＳ講座」（専門講演）、２０１２年７月１１日、東京ビッグサイト

2．集積化ＭＥＭＳの統合設計法

回路シミュレータ上で等価回路解析



ＭＥＭＳ機械構造を有限要素法で解析しても、ノード点数が多すぎるために電気回路との統合設計ができません。

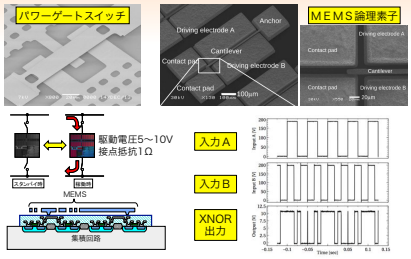
そこで本研究では、電気回路シミュレータ上でＭＥＭＳ機械構造の等価回路（運動方程式）を解く手法を構築し、フリーウェアとして一般公開しました。

また、世界標準回路設計ＣＡＤのCadenceにも移植しました。

T. Konishi, K. Machida, S. Maruyama, M. Mita, K. Masu, and H. Toshiyoshi, IEEE/ASME J. Microelectromech. Syst., vol. 22, no. 3, Jun. 2013, pp. 755-767.

3．集積化ＭＥＭＳの製作法

ポストCMOS－MEMSプロセス



幅広く使える集積化ＭＥＭＳプロセスとして、ＣＭＯＳ集積回路を製作した後のウエハに金属薄膜（スパッタ等）や金属メッキ膜を用いてＭＥＭＳ構造を製作する手法を開発しました。

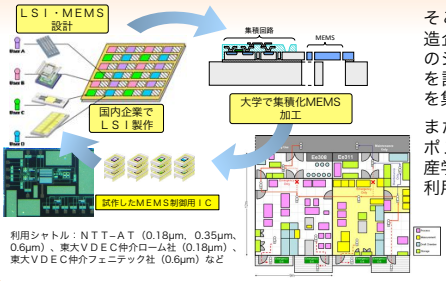
その応用例として、集積回路中の不要な電源を遮断する静電駆動型パワーゲートスイッチや、高周波無線通信用の可変容量などを設計・製作しました。

また、ＭＥＭＳ素子を用いてNOT、NAND、NOR、XOR、XNOR等の論理演算が可能であることを理論的・実験的に検証しました。

M. Mita, M. Ataka, and H. Toshiyoshi, "Microelectromechanical XNOR and XOR logic devices," IEICE Electronics Express, vol. 10, no. 8, 2013, pp. 1-12.　（ＪＡＸＡ宇宙科学研究所との共同研究）

4．集積化ＭＥＭＳ共同試作体制

ウエハ相乗りシャトルサービス



ＬＳＩウエハを丸ごと作ろうとすると膨大な費用が発生します。また、どこの大学にもＭＥＭＳプロセス施設があるとは限りません。

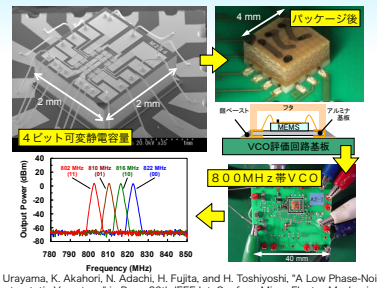
そこで本研究では国内のＬＳＩ製造企業が提供するウエハ共有方式のシャトルサービスを利用して回路を設計し、その上にＭＥＭＳ構造を集積化する手法を研究しました。

また、本研究経費によりＭＥＭＳポストプロセスの装置を導入し、産学の共同研究者グループが共同で利用できる体制を整備しました。

利用シャトル：ＮＴＴ－ＡＴ（0.18μm、0.35μm、0.6μm）、東大ＶＤＥＣ仲介ローム社（0.18μm）、東大ＶＤＥＣ仲介フェニテック社（0.6μm）など

A．コグニティブ無線通信

ＲＦ－MEMS周波数可変発振回路



コグニティブ無線通信とは、通信帯域の使用状況等をつねにモニタして、最適な通信条件になるように機器の周波数やアンテナ接続方向などをチューニングする通信方式のことです。

本研究ではＲＦ－ＭＥＭＳ（Radio Frequency - MEMS）技術により静電駆動型の可変デジタルキャパシタを製作し、それを800MHz帯の周波数可変発振回路に応用しました。

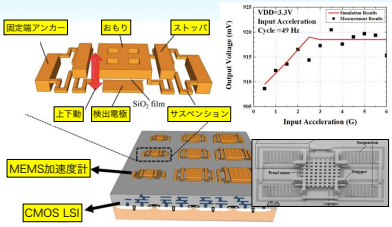
本研究は、日本無線株式会社との共同研究として実施しました。

駆動電圧35V、容量値0.55～0.73pF、１～４ビット構成、ＶＣＯのＱ値60、位相ノイズ -101dBc/Hz

K. Urayama, K. Akahori, N. Adachi, H. Fujita, and H. Toshiyoshi, "A Low Phase-Noise VCO for Multi-Band Transceiver using Fully Packaged MEMS Electrostatic Varactors," in Proc. 26th IEEE Int. Conf. on Micro Electro Mechanical Systems, Jan. 20-24, 2013, Taipei, Taiwan, pp. 737-740.

B．モノ・ひとモニタリング

高感度ＭＥＭＳ加速度センサ



加速度センサの応用先は、スマートフォンを超えてさらに広がります。近い将来には、すべての人工物に加速度センサをつけて、モノ・ひとの動きを検出することで人間の生活をアシストする時代が来るでしょう。

そこで本研究では、人間の動きに合わせて１Ｇ未満から数Ｇの広範囲の加速度を検出可能なセンサを集積化ＭＥＭＳで実現しました。

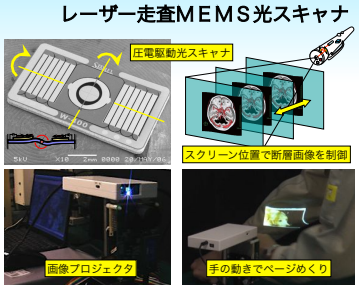
本研究は、ＮＴＴ－ＡＴ株式会社、東京工業大学・益研究室との共同研究として実施しました。

0.35umCMOS、Vdd=3.3V、検出範囲0.5G～6G、金メッキ構造によりブラウンノイズ低減11.7uG/√Hz

T. Konishi, D. Yamane, T. Matsushima, K. Machida, K. Masu, and H. Toshiyoshi, "An arrayed accelerometer device of a wide range of detection for integrated CMOS-MEMS technology," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 53, 027202, 2014, pp. 027202.1-027202.9.

C．どこでも画像ディスプレイ

レーザー走査ＭＥＭＳ光スキャナ



ＲＧＢのレーザー光をＭＥＭＳ光スキャナで走査すると、どこにでも焦点のあう超小型の投写型画像ディスプレイを構成できます。しかも、描画用のレーザー光源をそのまま用いて、レーザー距離計測も可能です。

この特徴を生かして、スクリーン位置やユーザーの身振り手振りを検出して画像を制御するタイプのインタラクティブ画像ディスプレイを作りました。

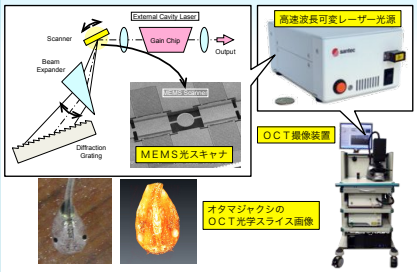
本研究は、スタンレー電気株式会社との共同研究として実施しました。

スキャナ駆動電圧40V、画像VGAクラス、測長距離20cm～60cm、距離分解能2cm

Sungho Jeon, Hiroyuki Fujita, and Hiroshi Toshiyoshi, "A MEMS Interactive Laser Projection Display with a Built-in Laser Range Finder," in Proc. IEEE Int. Conf. on Optical MEMS and Nanophotonics (OMN 2013), Kanazawa, Japan, Aug. 18-22, 2013, pp. 21-22.

D．医療用の光断層観察

ＭＥＭＳ波長可変光源



赤外光の波長可変光源は光ファイバ通信用途だけでなく、医療用の光断層観察（OCT=Optical Coherence Tomography）にも広がりつつあります。

本研究では高速で動作するＭＥＭＳ光スキャナを開発して、動画像も撮影可能なＯＣＴシステムを構成しました。

本研究は、サンテック株式会社との共同研究として実施しました。

スキャナ駆動電圧70V、スキャナ共振周波数70kHz、波長可変速度140kHz、中心波長1.3um、波長帯域100nm、出力20mW、観察深さ2mm、画像分解能5～10um、フレームレート50fps

諫本圭史、戸塚弘毅、酒井　徹、鈴木卓也、両澤　淳、鄭　昌鎬、藤田博之、年吉　洋、「高速ＭＥＭＳスキャナを用いた第三世代ＳＳ－ＯＣＴ用波長走査型光源」 電気学会論文誌Ｅ、vol. 132, no. 9, 2012, pp. 254-260.

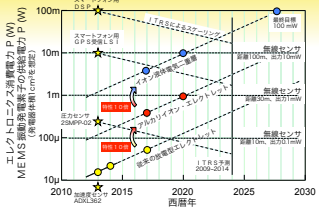
本研究の２０３０年頃の応用展開　トリリオン（１兆個／年）センサ時代の未利用エネルギー回収技術として

東京都
面積２，２００km²
人口１，３００万人
一人あたりセンサ数１５０個
→　センサ総数　２０億個
→　センサ間平均距離　１m

1. 振動発電でエネルギ回収
2. センサでデータ取り
3. ＧＰＳで時刻・場所特定
4. 無線でリレー通信

近い将来に、地球上で年間１兆個ものセンサを消費する「トリリオン・センサ」時代が到来すると言われています。これは東京都の面積と人口で言うと、距離１メートルに１個の割合でセンサが存在することを意味しています。

そのような時代に必要な技術として、本研究で実施したようなＭＥＭＳセンサ技術・無線通信技術のほかに、電力線や１次電池に頼らずにエネルギを供給する技術が挙げられます。



半導体集積回路の微細化にともなって、ＬＳＩの消費電力は年々低くなっています。一方ＭＥＭＳ分野では、風や振動などの環境から発電するエナジー・ハーベスト技術の研究が進められています。

現在研究代表者らが取り組み中の永久電荷（エレクトレット）形成技術や静電容量増大技術により、２０３０年頃には至近距離（１０メートル）無線通信型センサーノードのエネルギーは、ＭＥＭＳ型の振動発電機で供給できるようになるでしょう。