

MEMS応用グループ

教員



前中教授



神田准教授

スタッフ(R6予定)

技術員: 1名

M2: 5名

M1: 0名

研究生: 2名

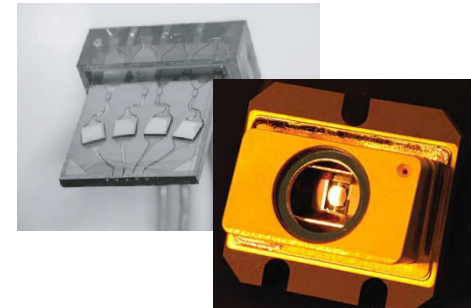
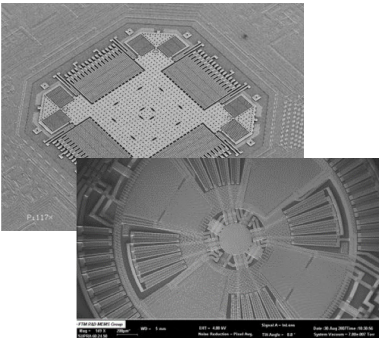
事務員: 1名

募集人員: 最大8名

研究内容: **MEMS (MicroElectroMechanical Systems, 電子回路と微小な機械構造体を融合したシステム)**
を基盤に材料からアナログ・デジタル回路まで幅広く研究

市販のMEMS例

- ・各種センサ(加速度、ジャイロ、温度、湿度、圧力...)
- ・インクジェットヘッド、ミラーデバイス、マイク...



最近の研究内容

機能性材料のMEMS応用/融合

MEMS素子

- ・コンボセンサ(多種集積センサ)
- ・ジャイロ(角速度センサ)
- ・エナジーハーベスタ(発電素子)
- ・触覚ディスプレイ
- ・MEMSミラー

(MEMS基礎)

- ・構造/設計
- ・製造プロセス

- ・圧電薄膜
- ・磁性体薄膜
- ・柔軟材料

IoT・システム

- ・人体活動モニタリングシステム
- ・要介護児モニタリングシステム
- ・フレキシブルエレクトロニクス
- ・BLEなど無線システム
- ・MOS集積回路
- (・ASIC回路設計)

MEMSのデバイス研究, 回路技術, システムまで幅広く研究

これまで開発してきたMEMSデバイス・回路など

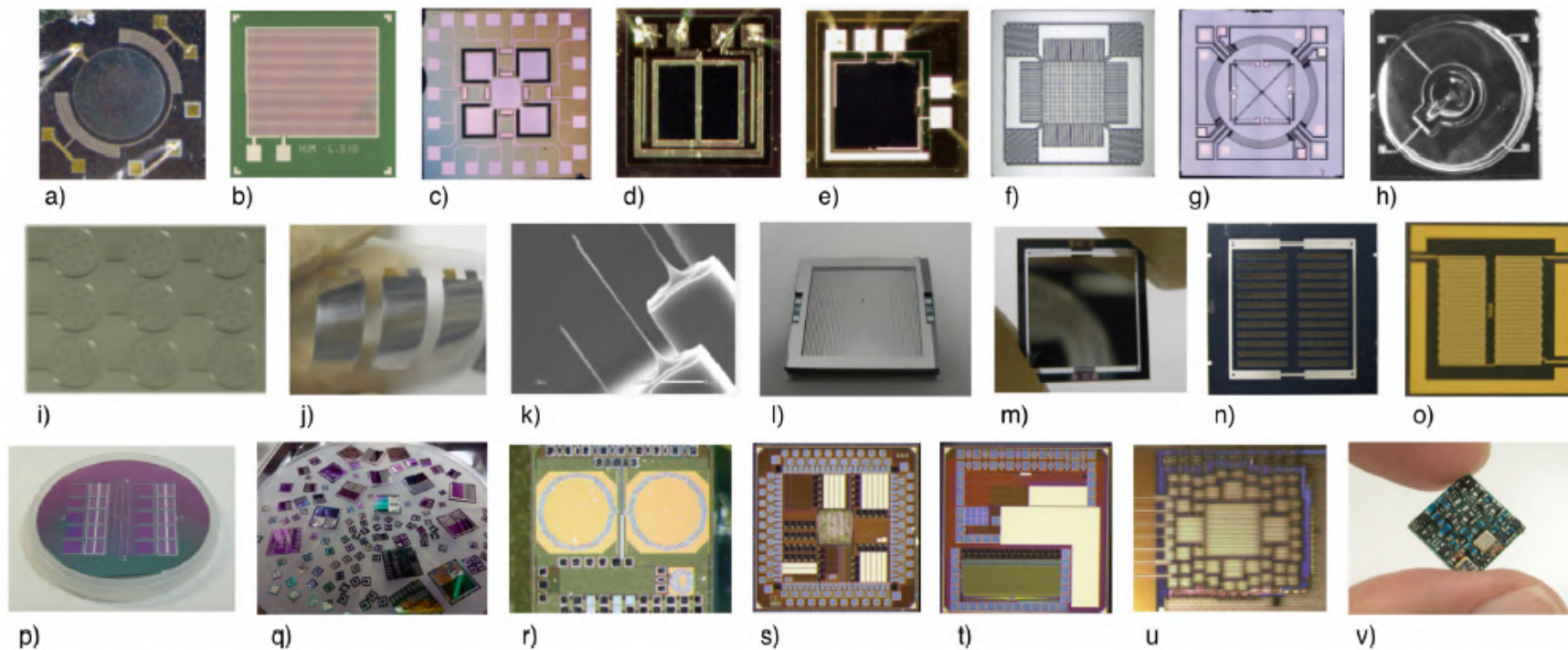
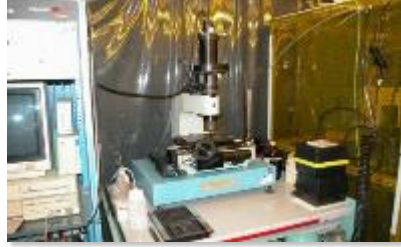


Fig. 2. Various devices; a) Pressure sensor⁽¹⁴⁾, b) Humidity sensor, c) 3D shock sensor⁽¹⁵⁾, d) Photo sensor, e) Magnetic Sensor, f) 3D Acceleration sensor⁽¹⁶⁾, g) 3D Gyroscope, h) Pulse wave/SpO₂ sensor⁽¹⁷⁾, i) Microphone, j) Flexible bend sensor, k) Nano-needle⁽¹⁸⁾, l, m) Electrostatic vibratory power harvester⁽¹⁹⁾, n, o) Magnetic vibratory power harvester⁽²⁰⁾, p) Solar cell, q) Various sensors using PZT film⁽²¹⁾, r) RF CMOS (LNA), s) 8bit Micro processor, t) Memory cell and RTC oscillator⁽²²⁾, u) Low-power ADC, v) 315 MHz transceiver module⁽²³⁾.

基本的にもものづくりの研究室です
電子回路・マイコン試作環境や3Dプリンタ、
レーザー加工機なども所持しています

MEMS試作設備 (B棟)



フォトマスク作製



プラズマ処理

薄膜形成・熱処理



フォトリソグラフィ



後工程

MEMS試作設備（インキュベーションセンター）

インキュベーションセンター（ク ーンス内）



PZTスパッタ装置
アルバック、CS-200特



PZT RIE
エッチング装置
サムコ、RIE-101HU



XeF2ガス
エッチング装置
サムコ、VPE-4HU



DeepRIEエッチング装置
住友精密工業
MUC-21 ASE-Pegasus



表面段差計
KLA-Tencor P-6



酸化・拡散炉



多元スパッタ装置
エイコー
エンジニアリング
ES-250B



接合装置
アユミ工業
VE-08-21



レーザー顕微鏡
レーザーテック、H1200

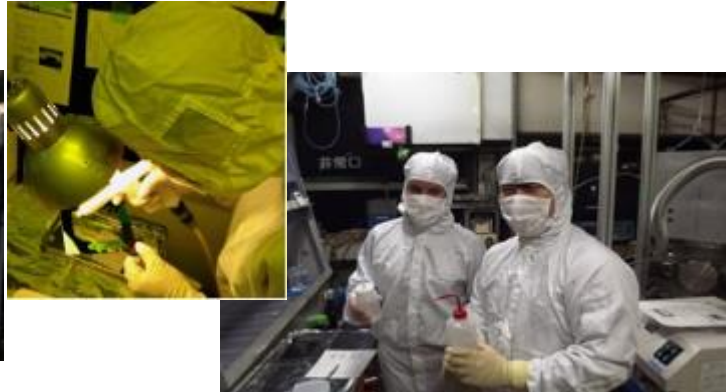


EB露光機
エリオニクス
ELS-3700M

研究室の風景



集積回路設計



MEMS試作@クリーンルーム



国際会議を主催

MEMSシミュレーション



ゼミ合宿



BBQ(OB会)



装置の引越



天井裏での作業

研究アクティビティ(学会関連)

学生の発表 ※)もちろん教員もこれ以外に色々発表しています

2023年11月 センサシンポジウム2件@熊本

2023年11月 応物集積化MEMSシンポ2件@熊本

2023年6月 電気学会E部門総研2件@名古屋

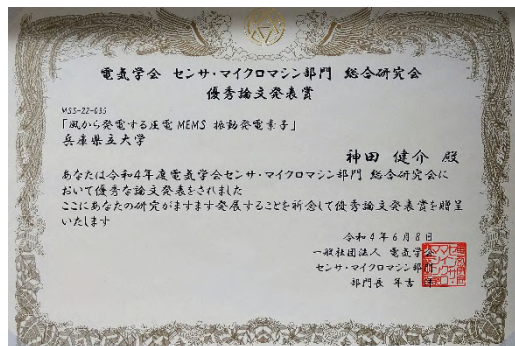
2023年1月 IEEE MEMS2023@ミュンヘン

2022年12月 PowerMEMS2022@ソルトレークシティ

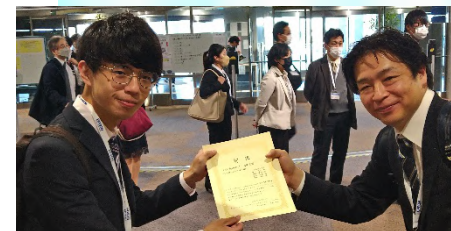
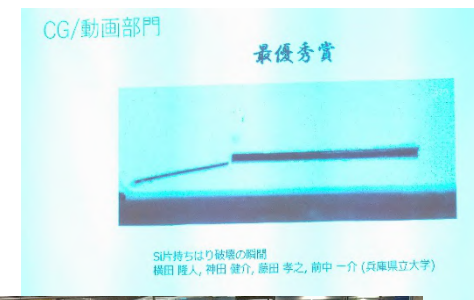
2022年11月 センサシンポジウム 2件@徳島

2022年6月 電気学会E部門総合研究会@金沢

他学術誌投稿論文2件(学生第1著者)

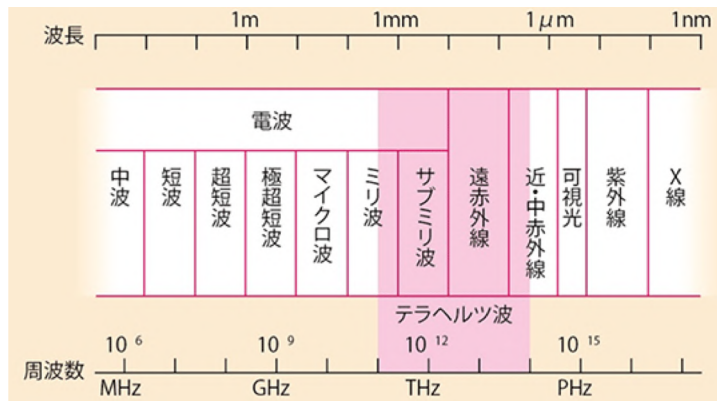


卒業生の研究が
研究会で受賞



学生の動画が学会のフォトコン
最優秀賞受賞

N4-1 MEMS技術を用いた振動型テラヘルツ波検出デバイス



https://www.riken.jp/press/2017/20170302_2/#fig1

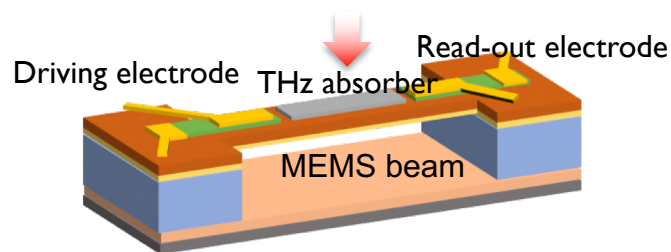
テラヘルツ波

電波と光の狭間の電磁波
両者の特徴を併せ持ち、今後の応用に期待
発生、検出共にいろいろ研究開発中

MEMSの加工領域 (μm~mm) サイズの波長！

振動型テラヘルツ波検出デバイス

テラヘルツ照射→吸収、温度上昇→振動体の膨張→共振周波数の変化
室温動作、高速応答、広帯域、小型高感度



GaAs版検出器

A-Stepプロジェクトで東大、東京農工大との共同研究
事前プロジェクト: GaAsを用いたデバイス

今回のプロジェクト: **Si-MEMSで実現、社会実装めざす**

第一次試作はできたけど
まだ未評価・・・
おまけにきたない・・・



N4-2 集積回路とMEMSデバイスのモノリシック融合

モノリシックとは？

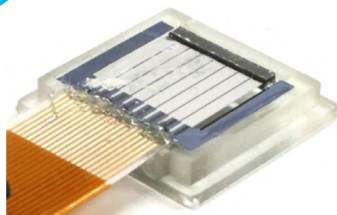
Monolithic=Mono(ひとつの)+Lithos(石)

ひとつのシリコンウエハに、違う材料、機能を組み込む

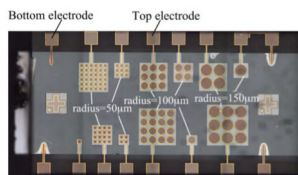
ここでは、本研究室の得意分野、PZT加工と集積回路をひとつのウエハ上で実現

具体的には？

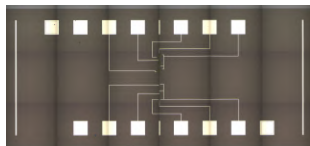
PZTのセンサ+nMOS増幅回路、PZTのハーベスタ+電力収集回路、
あわよくばテラヘルツ検出器+チャージアンプ・・・など想定



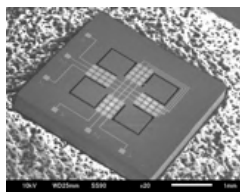
ハーベスタ



気圧センサ

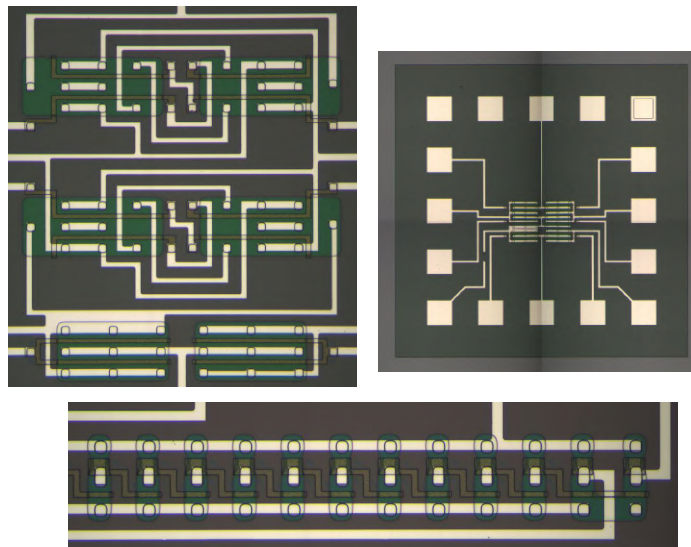


歪みゲージ



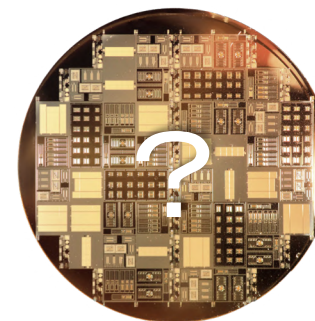
加速度センサ

+



集積回路

=



N4-3 世界一発電量の大きなMEMS振動型エネルギーハーベスタ

エネルギーハーベスタとは？

振動や熱、光、電磁波など、身の回りにある通常捨てられてしまうエネルギーを回収し、電気エネルギーに変換するデバイス

現状の世界一は？

MEMSで小型で大電力発電できる振動型ハーベスタは、東大の $20 \times 35 \text{mm}^2$ 、厚さ2mm程度のもので1.3mW、体積あたり発電量 $763 \mu\text{W}/\text{cm}^3$ と言われている

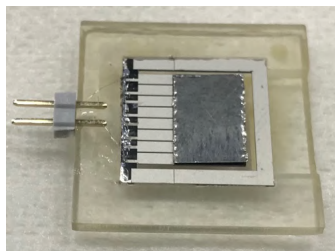
横田の予言

2022年3月に修士卒の横田君が出した予言・・・

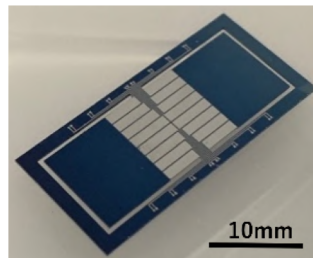
“23x34mmサイズで7.4mW、34Vが発生するだろう” 設計概念図有り

その実現は？

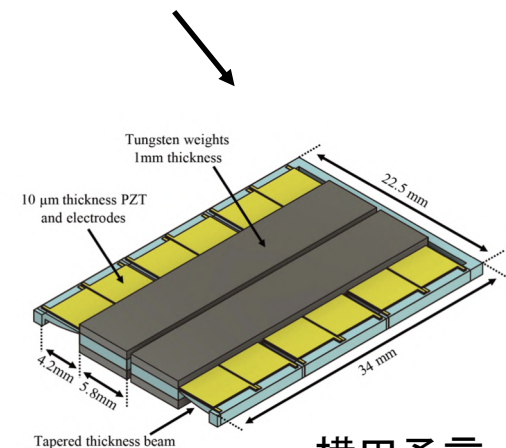
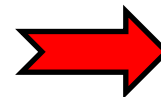
キーワード:PZT、応力緩和と均一化、並列運転



基本形



現MI設計試作



横田予言

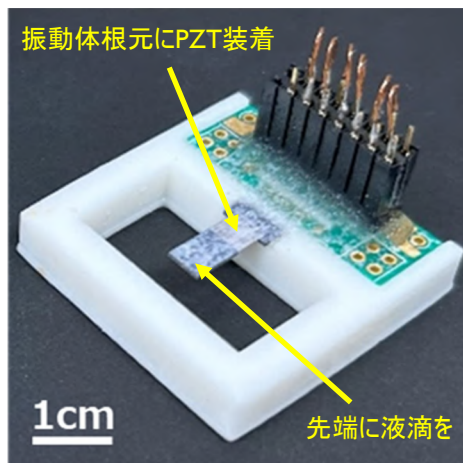
N4-4 液滴ハーベスタの出力向上

液滴ハーベスタとは？

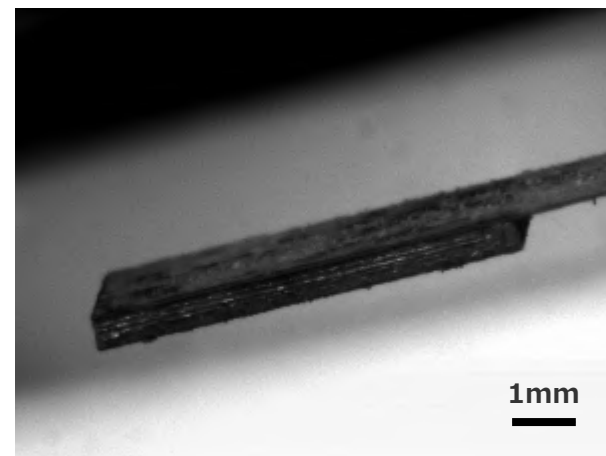
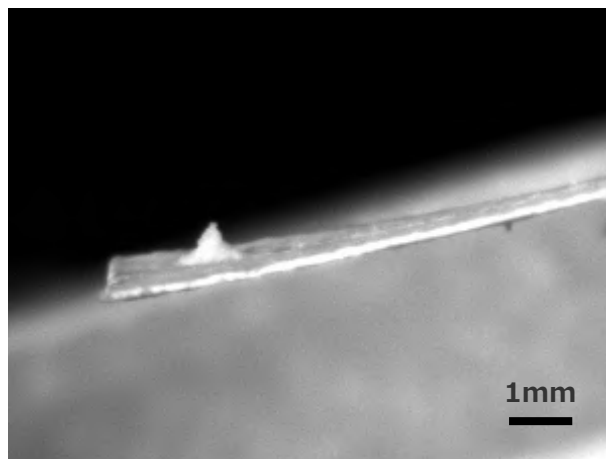
したたり落ちる液体が発生させる振動から電気エネルギーを回収するデバイス
我々はPZTによる発電を模索

現状

サンプル設計修了、初期特性計測終了
発電電力(エネルギー)微小、最適化手つかず、衝撃に弱い、防水手法不備
これらを大幅に向上させる



全体の外形



形状の違う2種類のデバイスに対する液滴落下による振動
高速度カメラで撮影

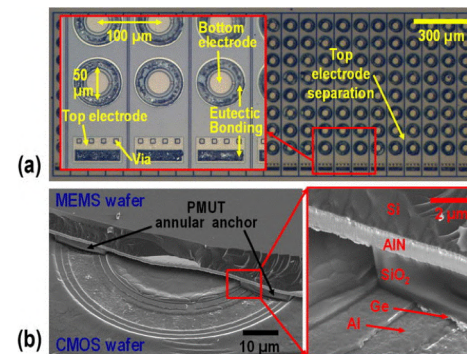
N4-5 単結晶PZT薄膜を用いたMEMS超音波素子

超音波素子

膜を高周波で振動させて超音波を発信

超音波を受けて膜が振動して電圧を検出(受信)

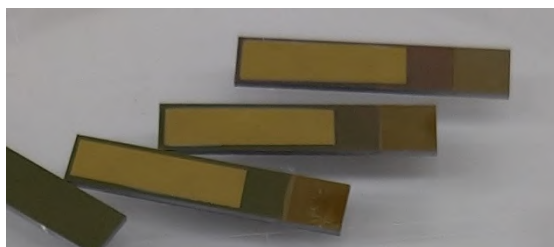
測距, 指紋, 医用超音波エコー...



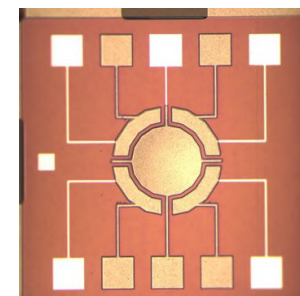
指紋センサ(TDK-InvenSense)

圧電材料である $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ を単結晶化することは一般に困難

共同研究先企業が非平衡プロセスにより薄膜単結晶化に成功



単結晶PZTテストピース



現B4の先輩作製
超音波素子

単結晶PZTを用いた高性能な超音波素子を作る

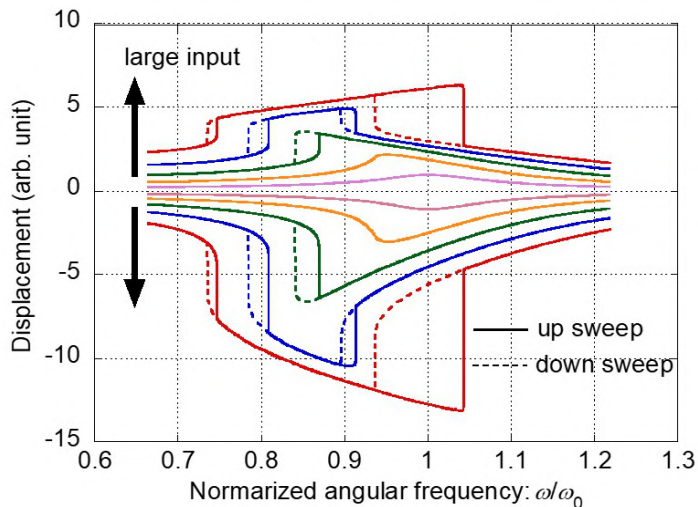
N4-6 初期ひずみによる機械変形とMEMS素子性能の 関係に関する基礎研究

MEMS振動子の例

MEMSミラー, 超音波トランスデューサ, ジャイロ, クロック, RF素子...

制御性向上のためには共振周波数や振幅を安定させたい

振幅の増加とともに共振周波数がずれる非
線形性が課題



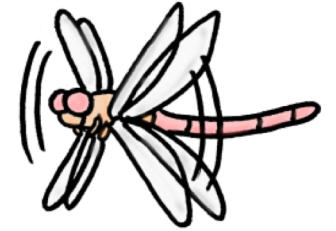
非線形性の原因の例

- ・プロセスや構造由来の**初期ひずみ**(変形)
- ・材料そのものの非線形性
- ・圧電効果
- ・塑性変形や圧電性由来のヒステリシス

原因と影響を数値計算と実測から考える研究

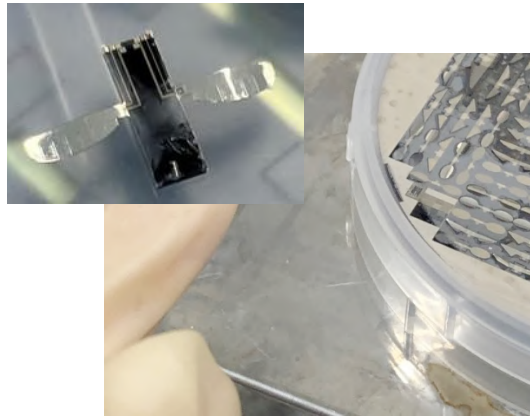
共振における非線形性の例

N4-7 超小型圧電薄膜飛翔素子

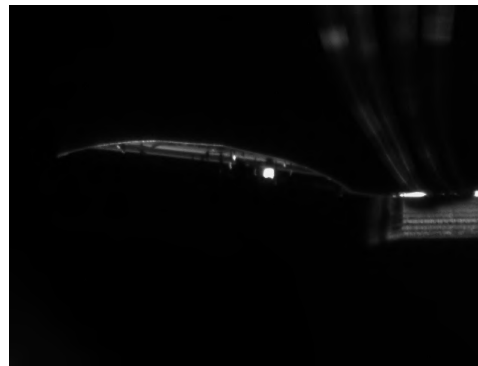


羽ばたきによって飛翔可能なマイクロロボットがMEMSで作れるか？

樹脂と圧電薄膜の組合せで大変位の運動は実現可能

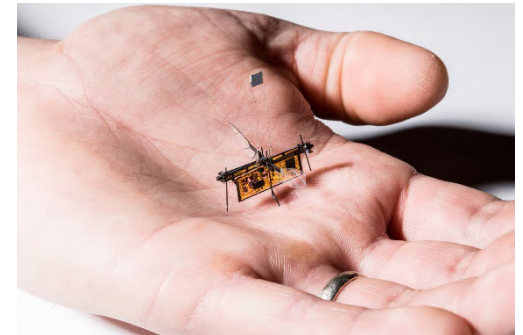


現M2先輩の試作品



高速度カメラと画像追跡
で動作評価

先行事例(2018)

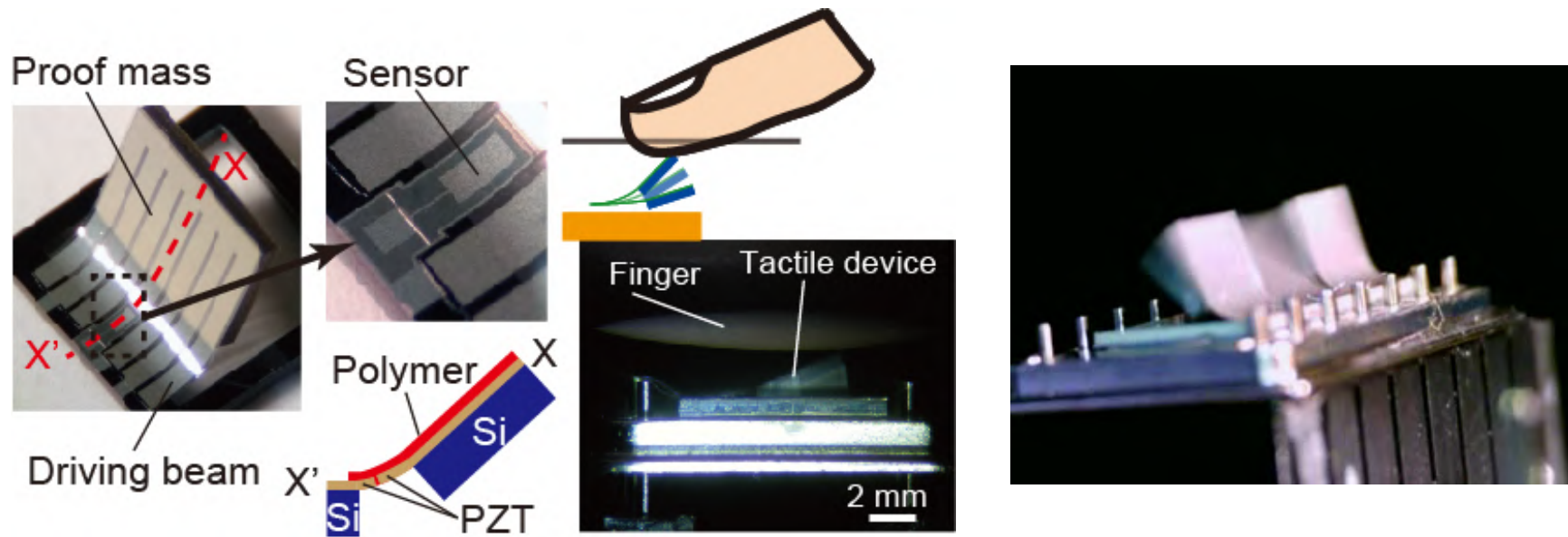


RoboFly (Univ. Washington)
赤外レーザーを電力源に
非MEMS・製造スループット？

先輩の遺した素子で流速分布測定などの評価あたりからスタート

コイン電池重量を超える揚力が達成できれば飛ぶセンサが実現可能？

N4-8 圧電MEMS触覚デバイス



人に振動で触覚の「絵や動画」を伝える触覚ディスプレイシステムを作る

- ・人の触覚認知能とデバイスの駆動パターンとの関係？
- ・どこまで小さいサイズでアレイ化可能か？

小型化ディスプレイシステムの構築

センサとの一体化・把持物体認識など

※新潟大との共同研究