

MemsONE技術交流会
[2012.12.18]

BEANS

MEMSとトランジスタの集積デバイスにおける ジュール熱影響評価

技術研究組合BEANS研究所
3D BEANSセンター
植木 真治

発表内容

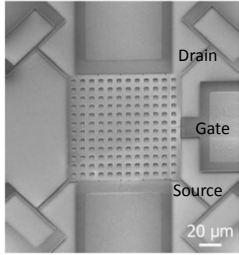
BEANS

- 背景・目的
 - ・ MEMSとトランジスタの集積デバイス
 - ・ 中性粒子ビームエッチング
 - ・ アプリケーションイメージ
- ジュール熱影響評価
 - ・ 熱伝導解析 (熱等価回路手法)
 - ・ 熱弾塑性解析 (MemsONE連成解析)
- まとめ

背景: 最近のMEMS研究動向

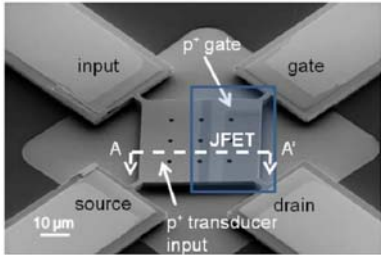
BEANS

Vibrating-Body Field-Effect Transistor (MEMS + MOSFET)



Grogg, D.; Tramador, D.; Badilla, N.D.; Ionescu, A.M., "Integration of MOSFET Transistors in MEMS Resonators for Improved Output Detection," *Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference, 2007. TRANSDUCERS 2007. International*, pp.1709-1712, 10-14 June 2007

RF MEMS Resonator (MEMS + J-FET)



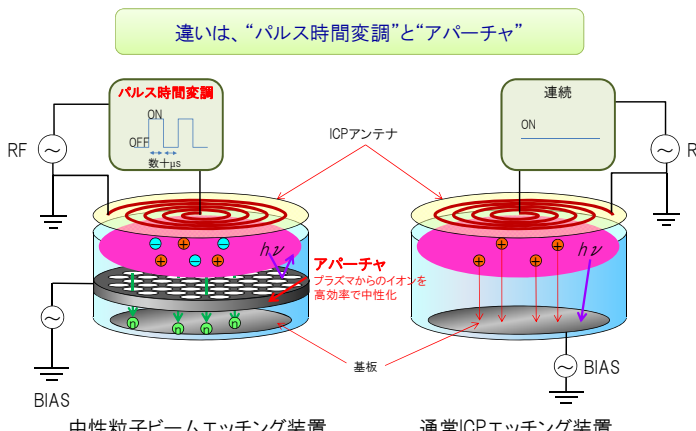
Hwang, E.; Driscoll, A.; Bhave, S.A.; , "Platform for JFET-based sensing of RF MEMS resonators in CMOS technology," *Electron Devices Meeting (IEDM), 2011 IEEE International*, pp.20.4.1-20.4.4, 5-7 Dec. 2011

中性粒子ビームエッチングとは①

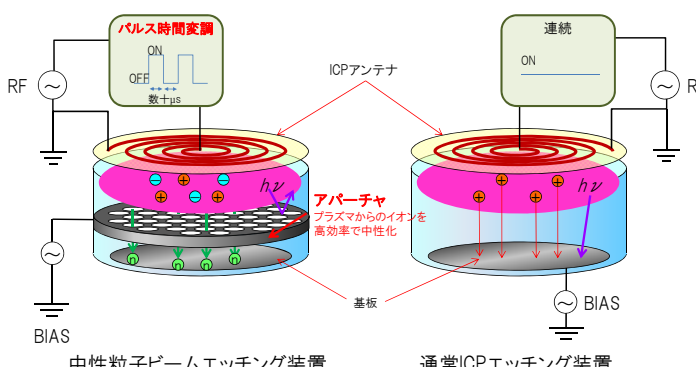
BEANS

違いは、“パルス時間変調”と“アパーチャ”

中性粒子ビームエッチング装置



通常ICPエッチング装置



アパーチャ
プラズマからのイオンを
高効率で中性化

中性粒子ビームエッチングとは②

プラズマUV低減とイオンの中性化

中性化の流れ

- ①パルス時間変調でプラズマを生成
- ②BIASと圧力差でイオンを基板へ
- ③イオンがアパーチャを通過し、中性化
- ④中性粒子でエッチング

パルス時間変調

- 概要
 - ・RFをパルスでON/OFFする。(数μsec)
 - ・OFF時にUVが消える(プラズマは残る)
- 効果
 - ・UVIによる欠陥を低減

アパーチャ

- 概要
 - ・カーボン製 Φ1mm 高さ10mmの穴
 - ・プラズマと基板の間に取り付ける
 - ・UVをカット
- 効果
 - ・イオンを中性化
 - ・UVIによる欠陥を低減

中性粒子ビームエッチング装置

中性粒子ビームエッチングの効用

超平滑加工と超低損傷加工

超平滑加工
～原子レベルの平滑性～

中性粒子ビーム
エッチング

プラズマエッチング

超低損傷加工
～試料にダメージを与えない～

ダメージレスによる選択比向上

8インチ対応中性粒子ビームエッチング装置

BEANSが研究を進める理由

MEMS側壁にMOSを有する集積デバイス

- **技術の強み**
 - ・MEMS等価回路設計技術
MEMSとトランジスタのトータル設計
 - ・無損エッチング技術
Si表面の欠陥数を抑制し、トランジスタ構築
- **デバイスの想定特性**
 - ・出カインピーダンス変換
 - ・振動信号の増幅
 - ・直流バイアスによる共振周波数変化
 - ・ピエゾ抵抗効果によるチャネル抵抗変化
 - ・機械振動のHigh-Qを有するgmの周波数特性

MEMSのHigh-Q*とトランジスタの増幅効果

VB-FETの動作メカニズム

MEMS vibrator + MOSFET

共振周波数

振動子の変位が最大
↓
ゲート/チャネル間ギャップが最小

VB-FETの特性

①共振周波数で相互コンダクタンスがピークを持つ。

②直流バイアス (VGS) によって共振位置が調節できる。

チューナブルバンドパスフィルタ

FROM

TO

- **小型化**
フィルタ機能、アンプ機能の集積化
- **低消費電力化・ローコスト化**
集積化による周辺部品の削減効果

モチベーション

● **実用化に向けた課題**

**ジュール熱による
チャネル部の温度上昇**

● **モチベーション**

VB-FETの温度がどれくらい上昇するのか？
その影響により共振位置がどれくらい変化するのか？
その影響によりどれくらい形状が変化するのか？

熱伝導解析手順(熱等価回路手法)

解析手順

1. 平行平板型VB-FETの定義
2. 熱等価回路モデルの導出
3. 熱抵抗の定義と計算
4. 温度上昇の評価
5. ヤング率と共振周波数の評価

解析モデル: 平行平板型VB-FET

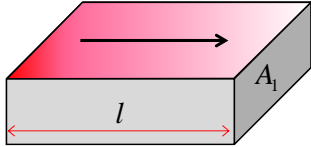
解析パラメータ (デバイス構造)

Resonance Frequency : 17.6 MHz

熱等価回路モデル

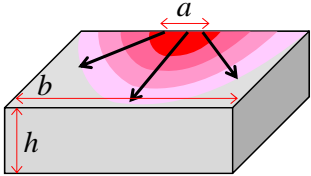
熱抵抗の定義①

The linear thermal resistance



$R_p, R_z, \text{ and } R_s \Rightarrow R_l = \frac{l}{\lambda A_1}$

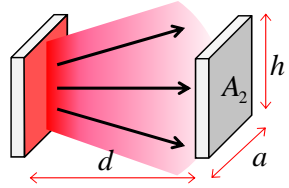
The concentric thermal resistance



$R_3 \Rightarrow R_c = \frac{1}{\pi \lambda h} \log \frac{b}{a}$

熱抵抗の定義②

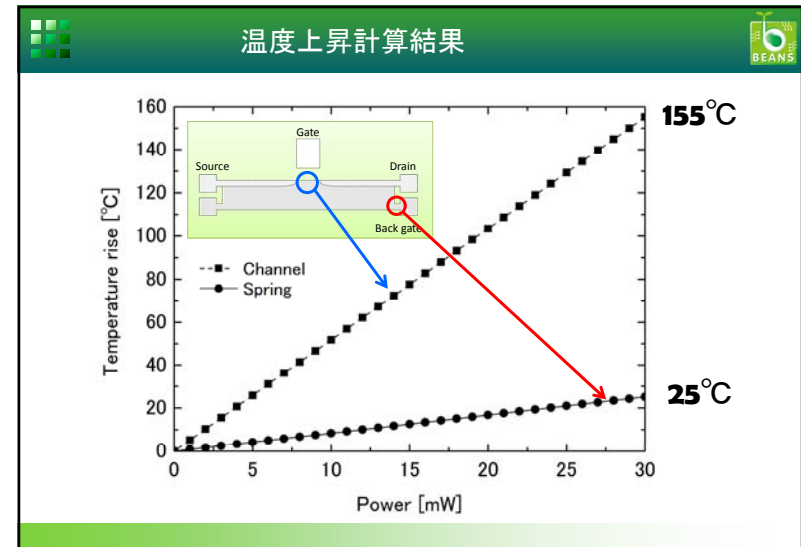
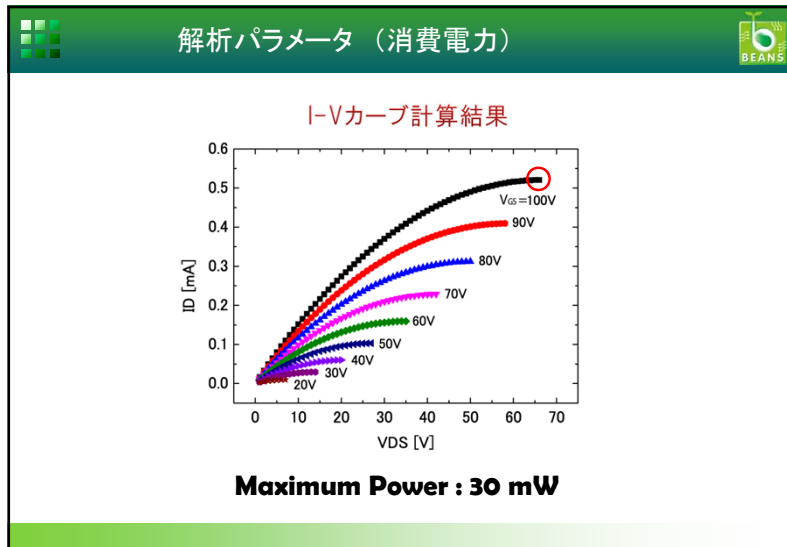
The thermal resistance of radiation

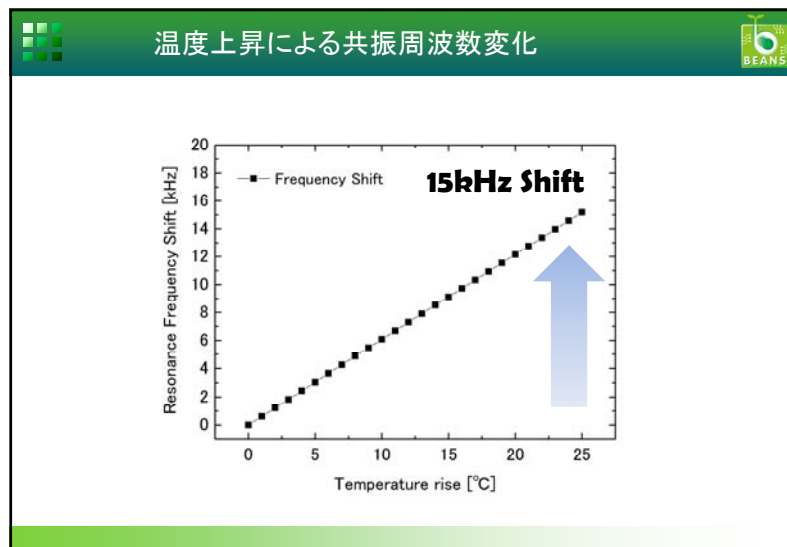
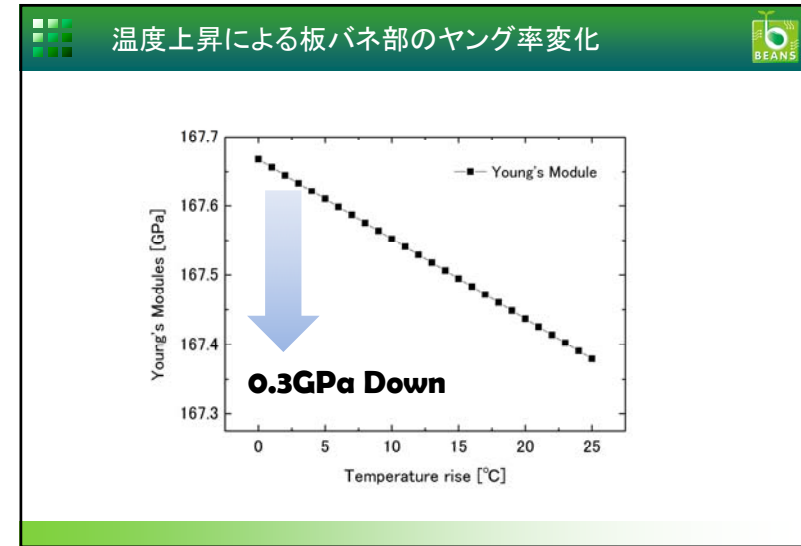
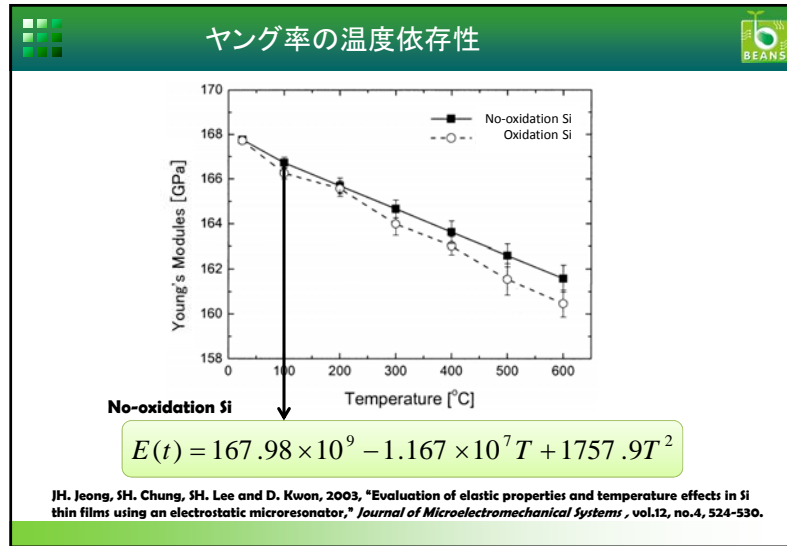


$R_4 \Rightarrow R_r = \frac{1}{A_2 F_{12}}$

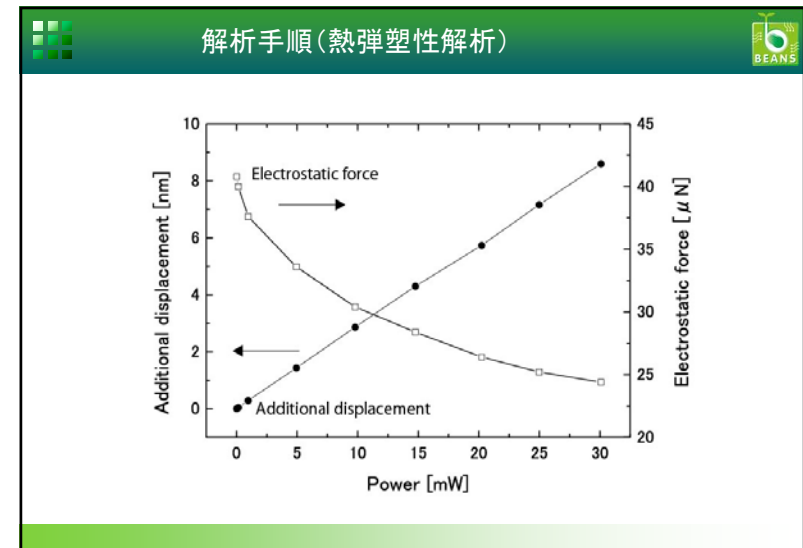
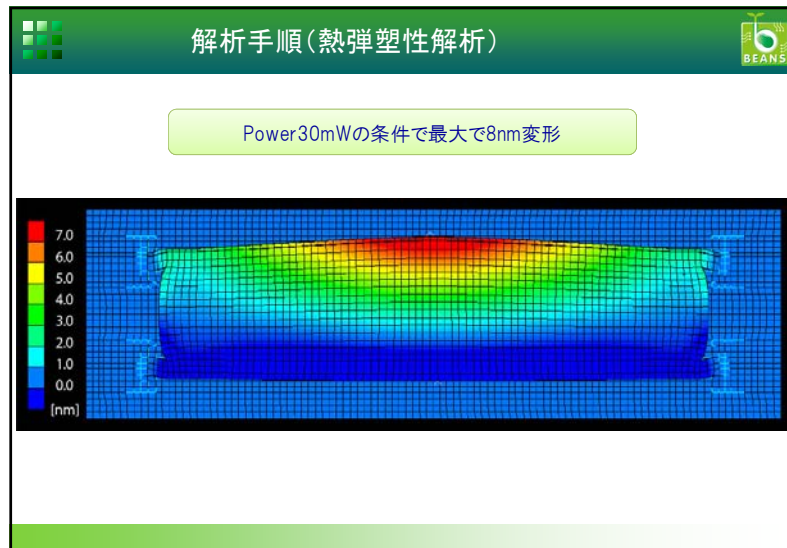
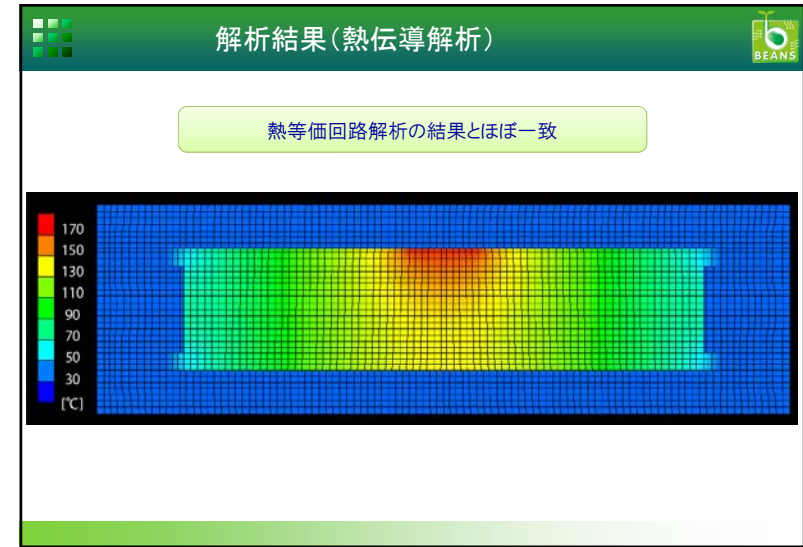
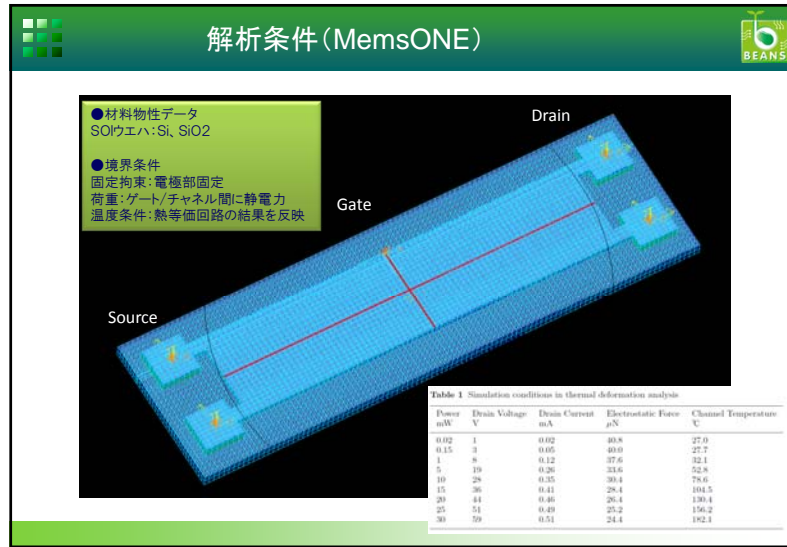
● 形態係数

$$F_{12} = \frac{2}{ah\pi} \left[h\sqrt{a^2+d^2} \tan^{-1} \frac{h}{\sqrt{a^2+d^2}} + a\sqrt{h^2+d^2} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{h^2+d^2}} - hd \tan^{-1} \frac{h}{d} - ad \tan^{-1} \frac{a}{d} - \frac{d^2}{2} \ln \frac{(a^2+h^2+d^2)d^2}{(a^2+d^2)(h^2+d^2)} \right]$$






- ### 熱弾塑性解析手順 (MemsONE連成解析)
- #### 解析手順
1. 平行平板型VB-FETモデルの構築
 2. 物性データ、境界条件の入力
 3. 熱弾塑性解析と熱伝導解析の連成解析
 4. 変形量の評価




まとめ



- 平行平板型VB-FETにおいて、チャンネルのジュール熱の影響評価を行った。
- 温度上昇が及ぼす機械特性の変化を熱等価回路とMemsONEを用いて解析した。
- 温度上昇の結果、共振周波数が15kHz変化した。
- 熱膨張による変形は、最大8nmに達した。
- 以上のことよりVB-FETの設計において“熱”は重要であると分かった。

謝辞



この成果は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものである。