

カリウムイオンエレクトレットを用いた新しいMEMS技術の展開

研究者：静岡大学 工学研究科
教授 橋口 原

説明者：橋口 原

従来技術とその問題点

既に実用化されている静電型MEMSセンサー、アクチュエータは、一般的に大きなバイアス電圧を必要とする。そのため、

- ✓ 昇圧回路が必要（消費電力の増大、ノイズ源、電気機械変換効率小）
- ✓ 低電圧では変位小

等の問題があるが、そのような特性のものであるとの認識の上で作製されている。

新技術の特徴・従来技術との比較

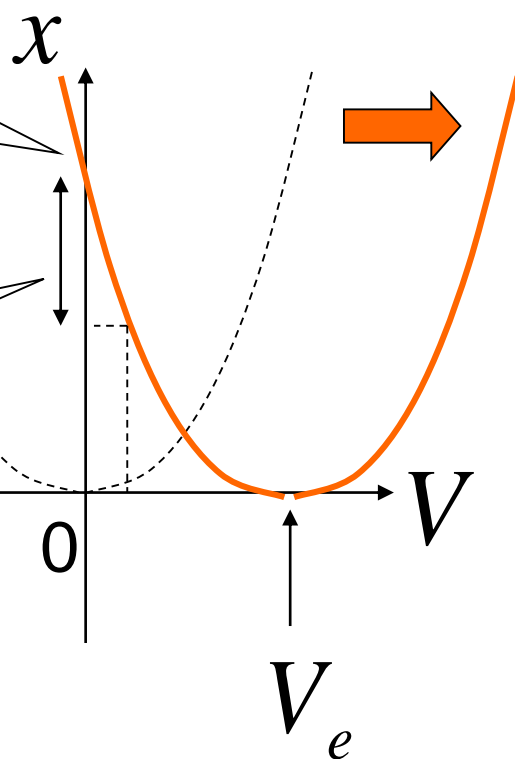
- シリコン静電型MEMSのエレクトレット化に成功。昇圧回路を必要とせず。
- 静電型アクチュエータは電圧の2乗に比例する変位を発生するが、局所的なエレクトレット化により電圧に線形な駆動が可能。
- 本技術の適用により、消費電力の削減、感度の向上、ノイズの低減が期待されるばかりでなく、新機能デバイスの開発も可能。

静電型MEMSをエレクトレット化すると

バイアス電圧なしでも高い電気・機械エネルギー変換効率

小さな電圧でも大きく変位

電圧軸が移動する。



エレクトレット電圧

静電型MEMSの弱
点が克服される！

実用的には:

➤昇圧回路がいらない。あるいは昇圧電圧を小さくすることができるので、**従来より省エネ。**

➤昇圧しても数10V程度であったものが、100V以上のバイアスを与えられる。

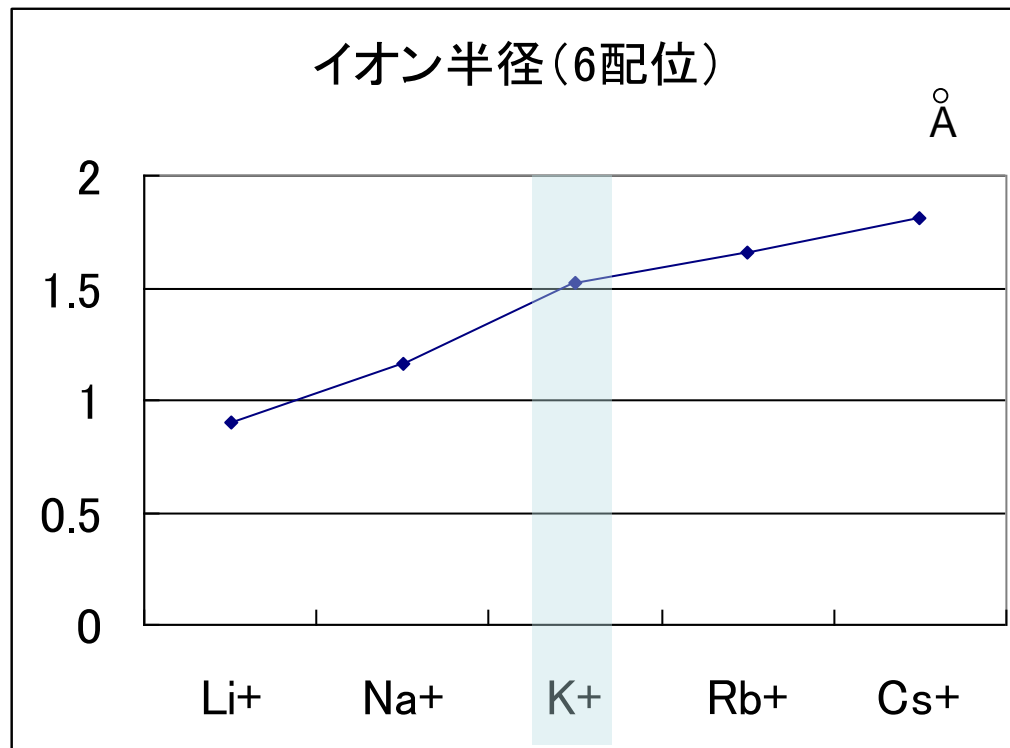
⇔**センサの感度向上**

⇔**振動型アクチュエータの
高効率化**

➤Built-in電界場があるので、**振動発電素子**や**静電トランス**などの新しい機能デバイスが実現できる。

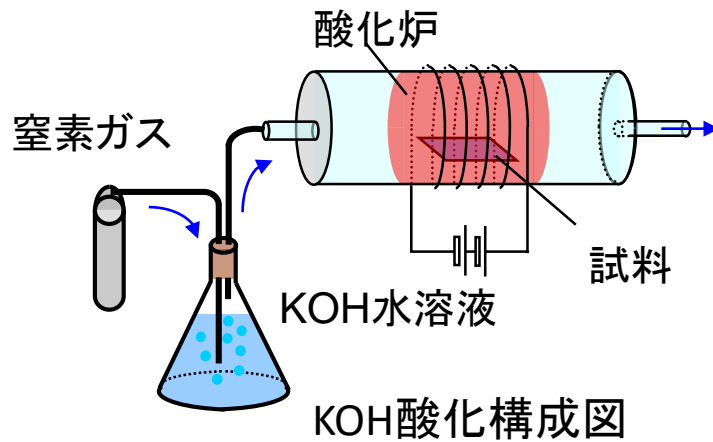
カリウムイオンを用いたMEMS用エレクトレットの提案

- シリコン酸化膜内のアルカリイオンは可動イオンとして知られ、MOSTランジスタでは混入を最も避けるべき粒子である。
- 閾値を変化させる。→電位をもつ。

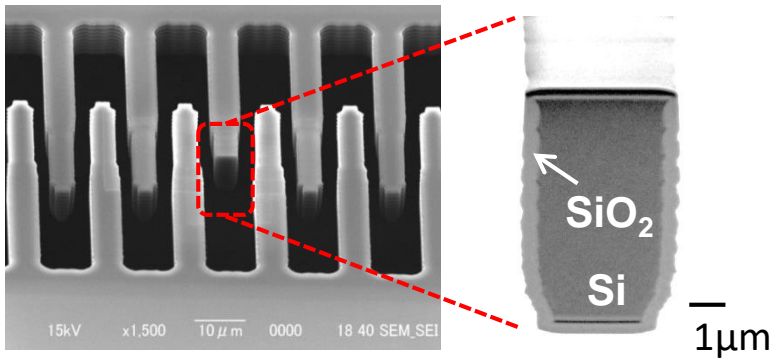


イオン半径の大きなカリウムイオンで、酸化膜のエレクトレット膜が形成できないか。

エレクトレット層の形成-酸化-



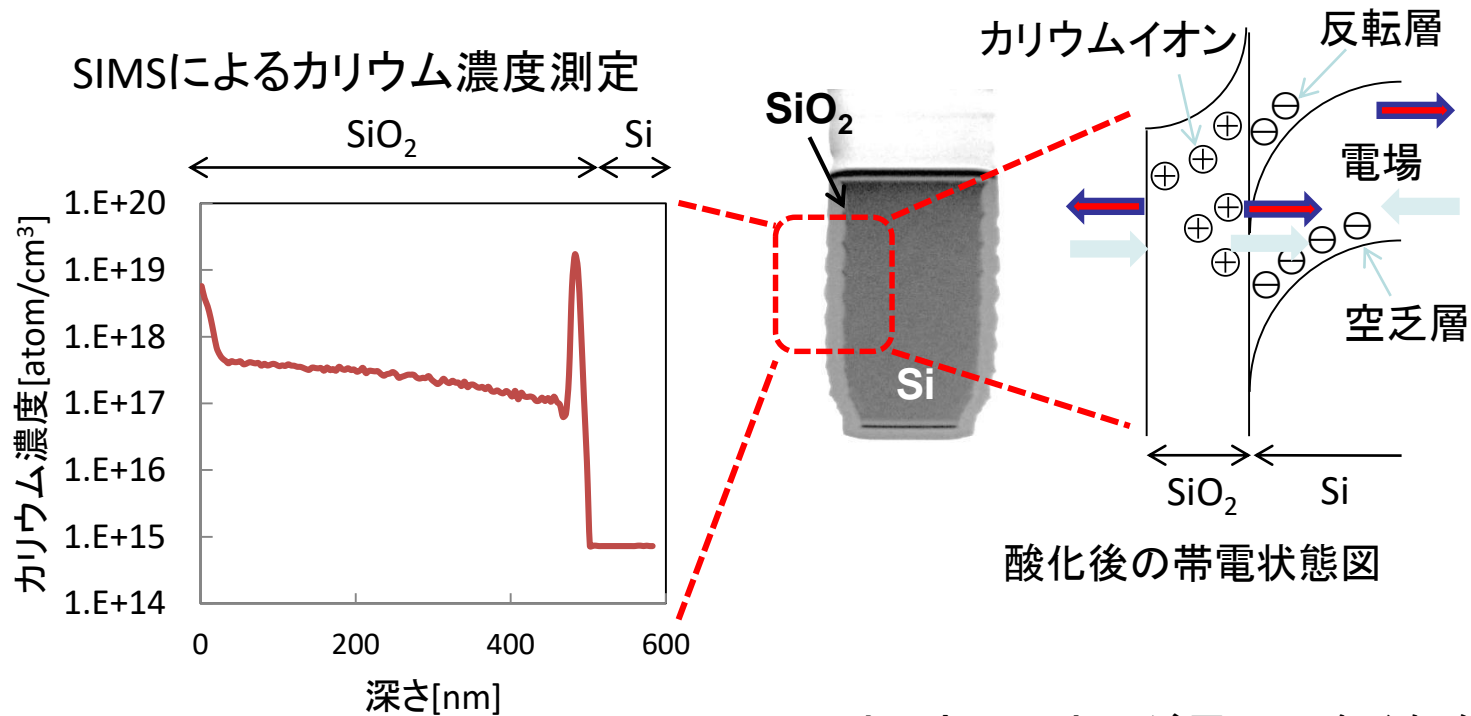
酸化条件
イオン: **カリウムイオン**
酸化温度: 1200 K
KOH水溶液濃度: 40 wt%
酸化時間10 h



酸化膜が均一に形成されていることがわかる

Gap: 2
μm くし歯拡大部のSEM像

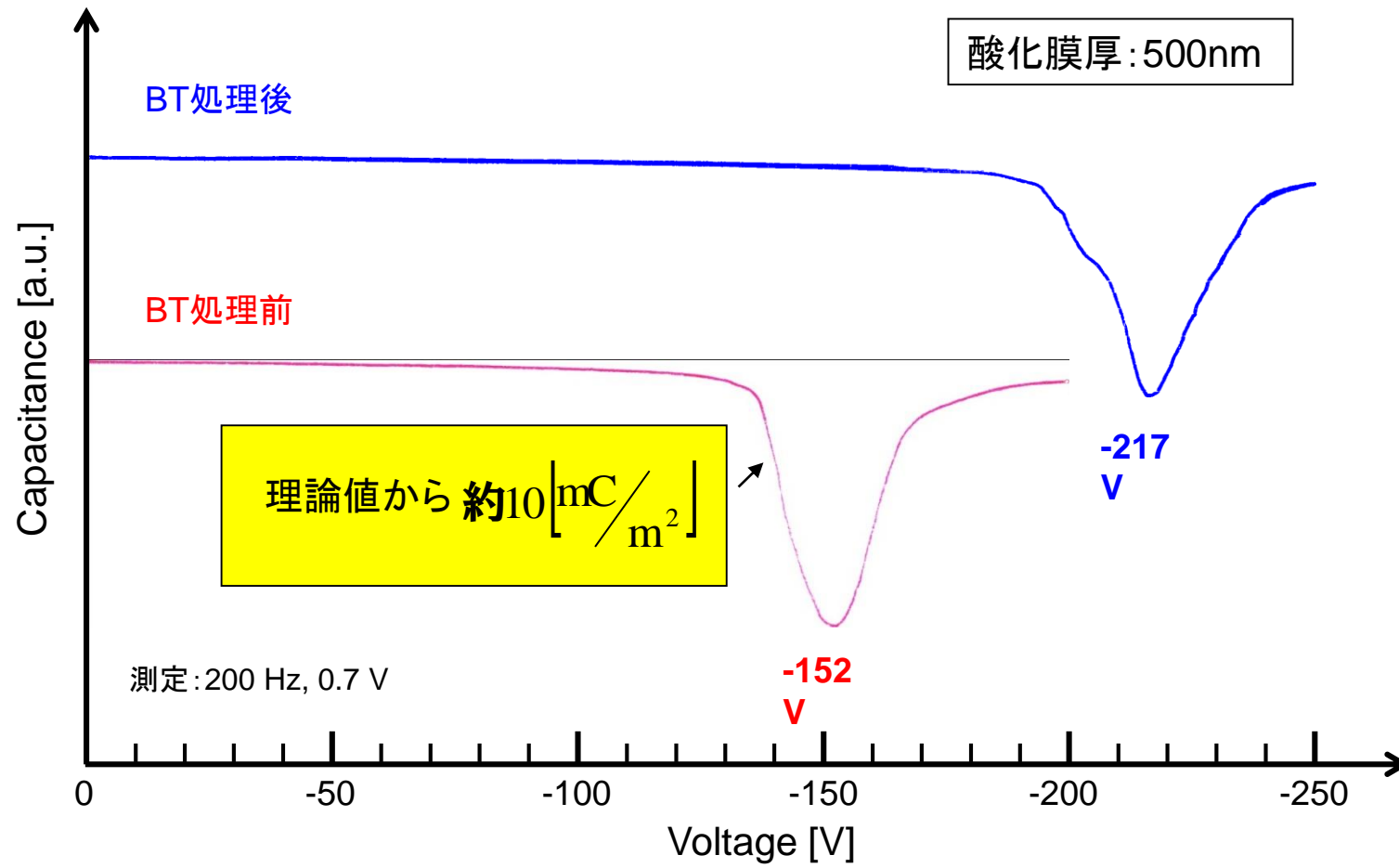
エレクトレット層の評価



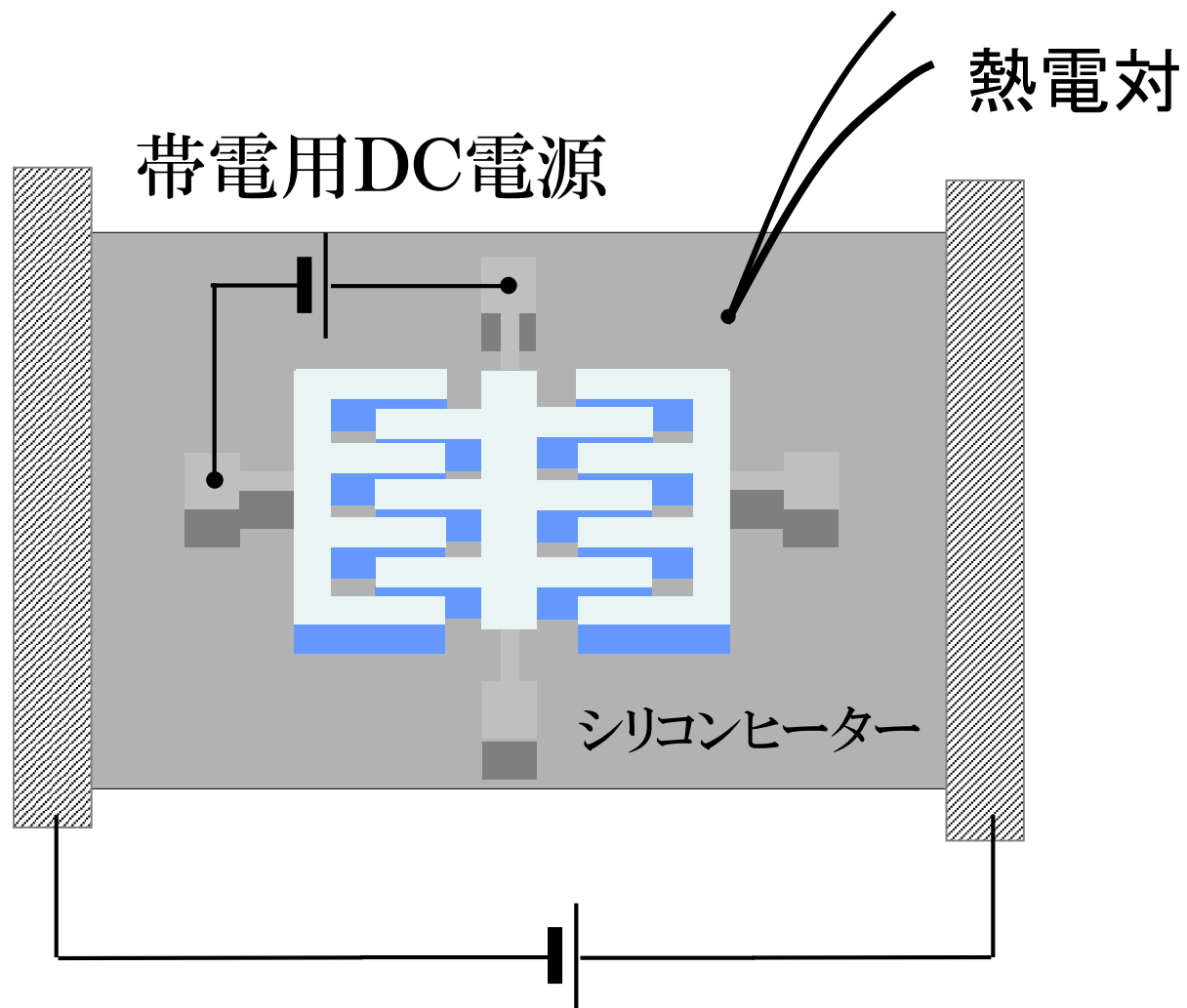
SIMS(Secondary Ion-microprobe Mass Spectrometer:二次イオン質量分析計)
深さに対するイオンの量を計測する

カリウムイオンが界面に多く存在する。
負電荷が静電誘導されSi側に反転層
と空乏層を形成する。

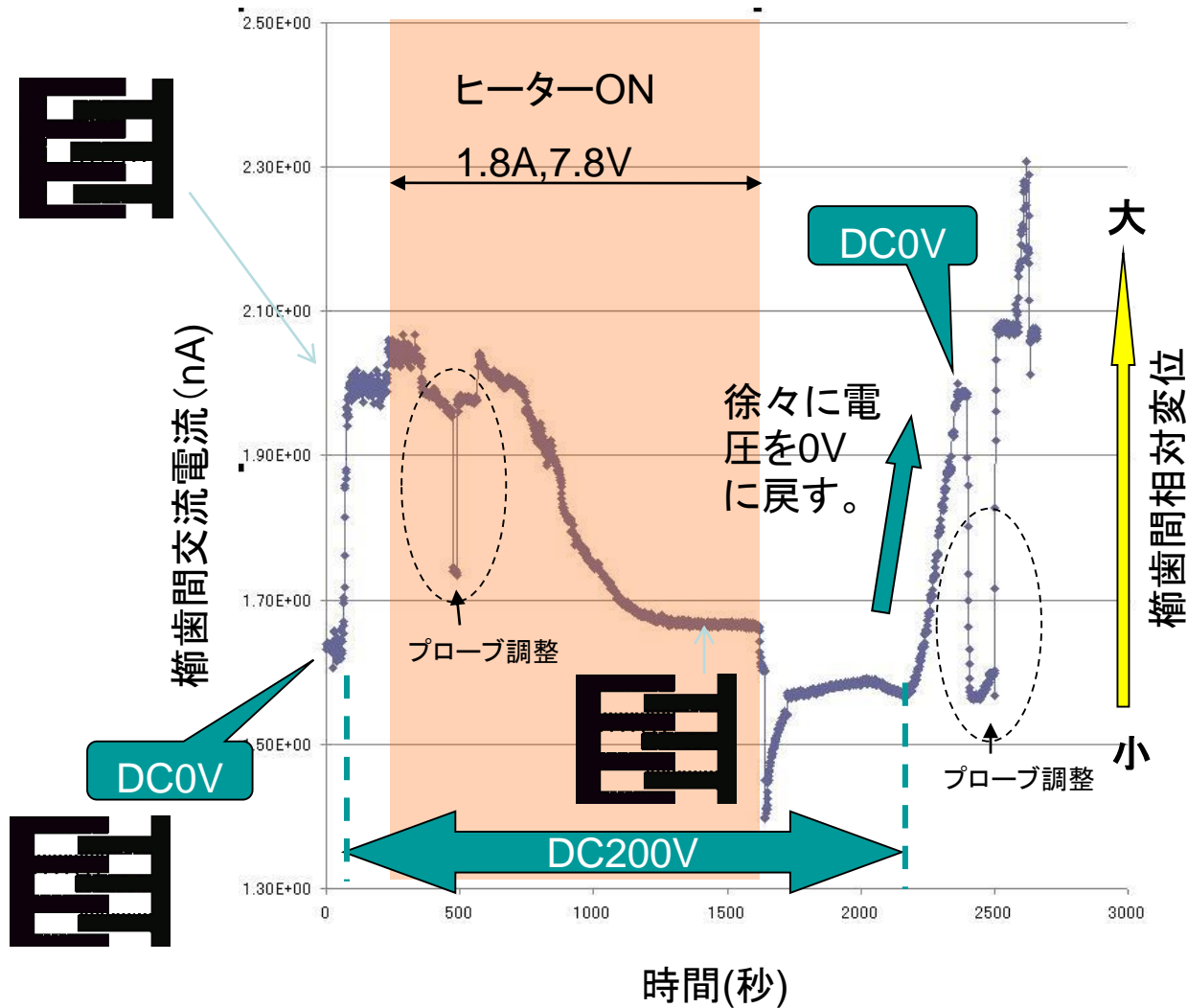
CV測定



帯電処理

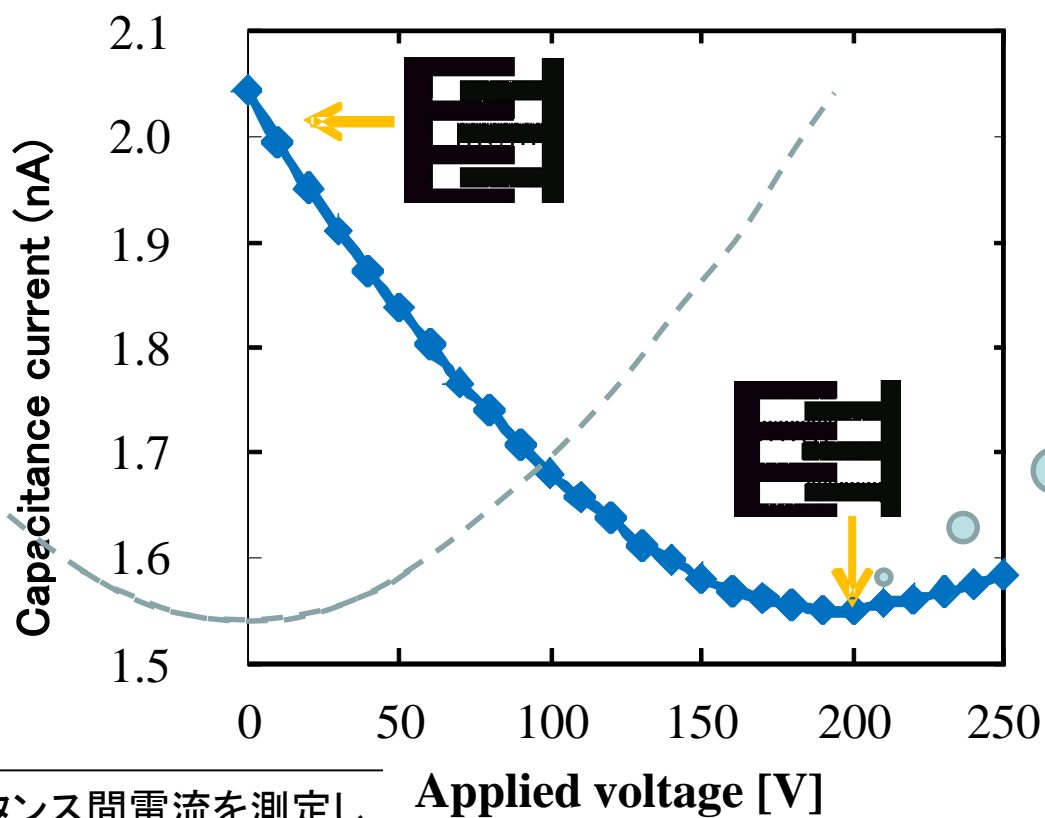


BT処理による帯電のその場観察



櫛歯間相対電流はIV変換器 ($\times 10^5$)を介してロックインアンプで測定。
1kHz, 0.1Vrms

帯電した楕歯素子の電圧-変位特性

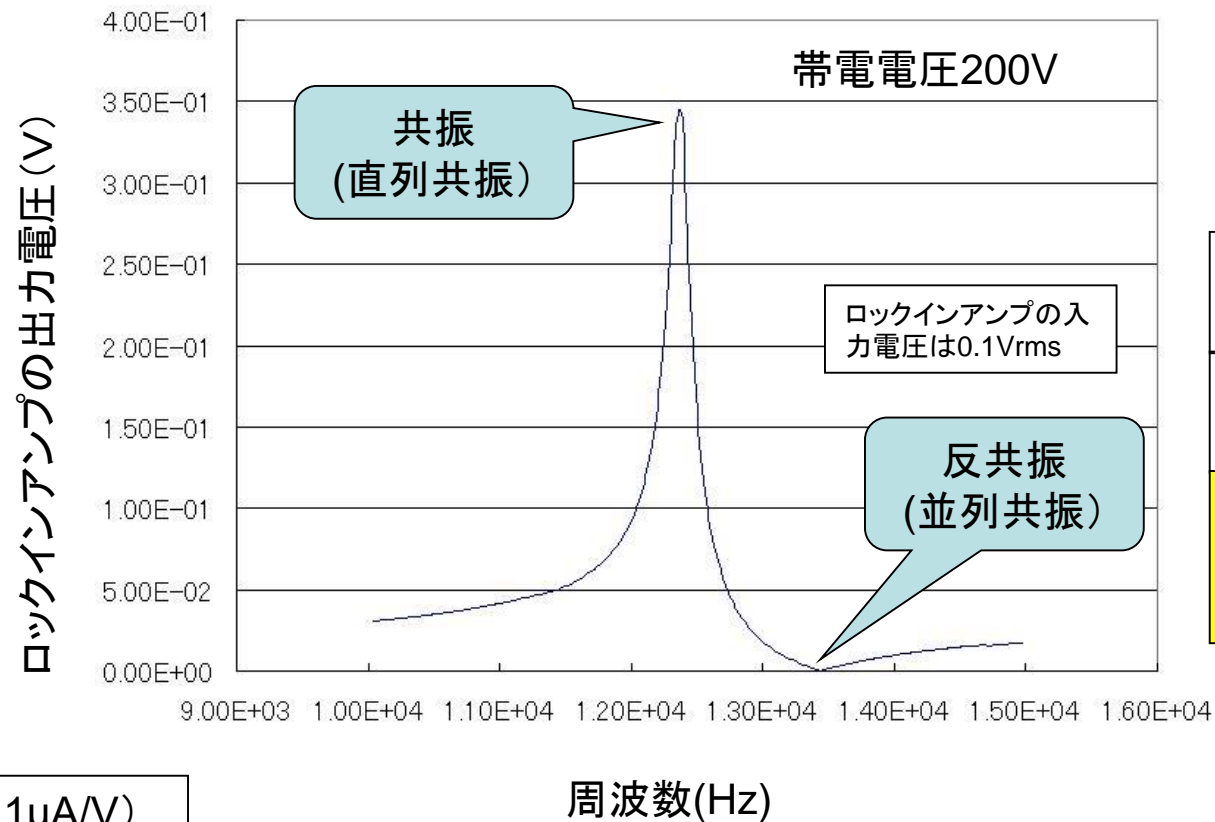


変位はキャパシタンス間電流を測定したもので、絶対値ではない。

Applied voltage [V]

200Vの
帯電

帯電後のIF特性



$$\omega_A^2 - \omega_R^2 = \frac{A^2}{mC_0}$$

帯電量が大きい。



力係数が大きい。



共振—反共振周端数の差が大きい。

今回提案する新技術

静電アクチュエータ及び電位差検出装置

特願2014-88379

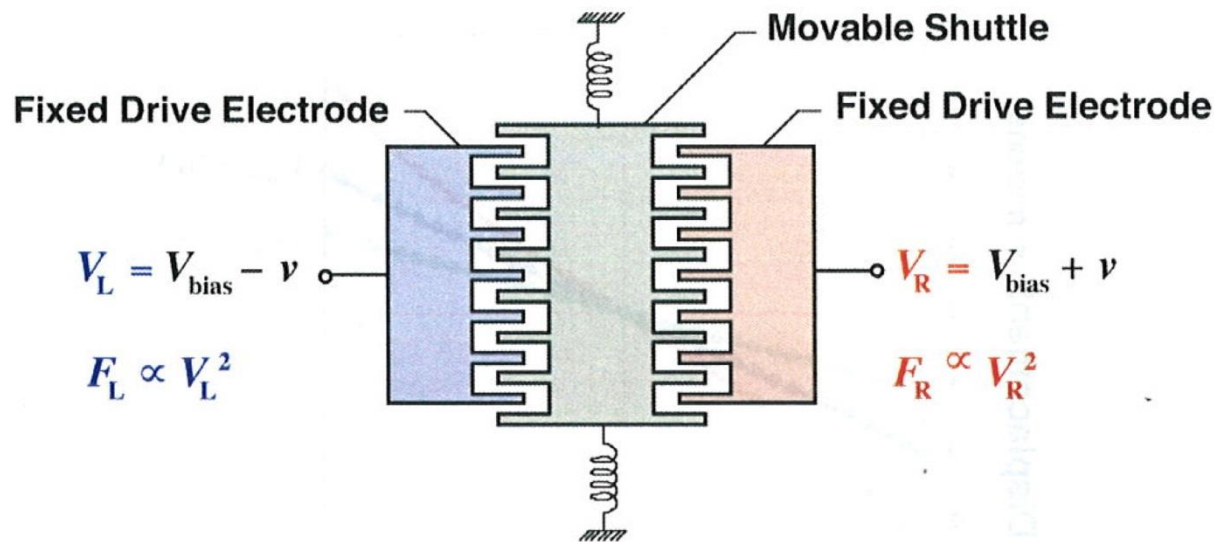
静大整理番号 13052HG008

発明者:橋口 原、杉山達彦

国立大学法人静岡大学

これまでに

差動電圧による駆動(東京大学 年吉先生)



逆位相の電圧を印加することにより
線形動作を実現

$$x = \frac{4AV_{\text{bias}}n}{k}$$

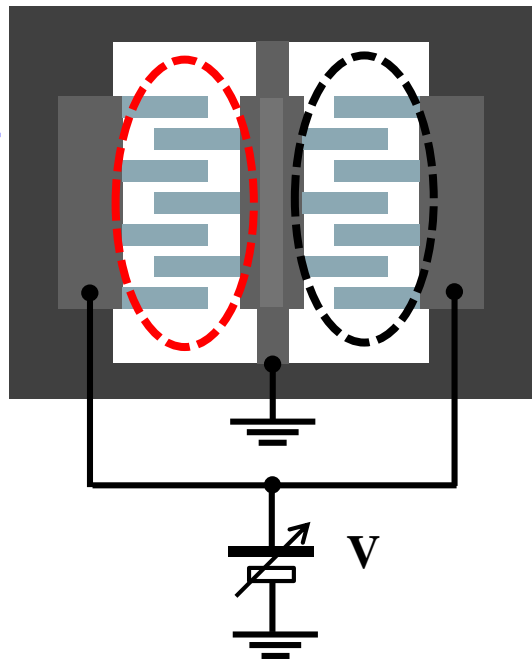
電圧センサに使用する場合、
バイアス電圧や位相反転回路が必要

エレクトレットを用いることでバイアスフリー
一かつ付加回路不要で線形動作

線形に動くエレクトレットアクチュエータ

3端子楕歯アクチュエータ

エレクトレットによる内部電位
 V_e



通常楕歯

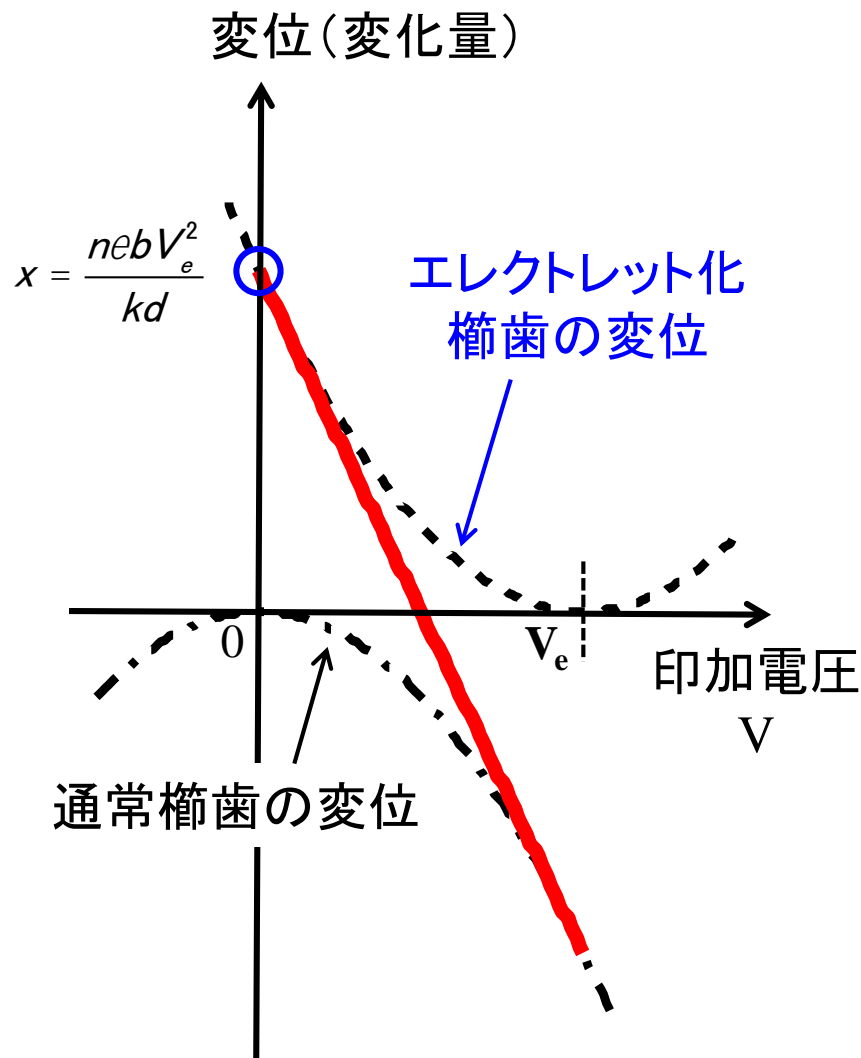
力の
つり合い

$$kx = \frac{neb(V - V_e)^2}{d} - \frac{nebV^2}{d}$$

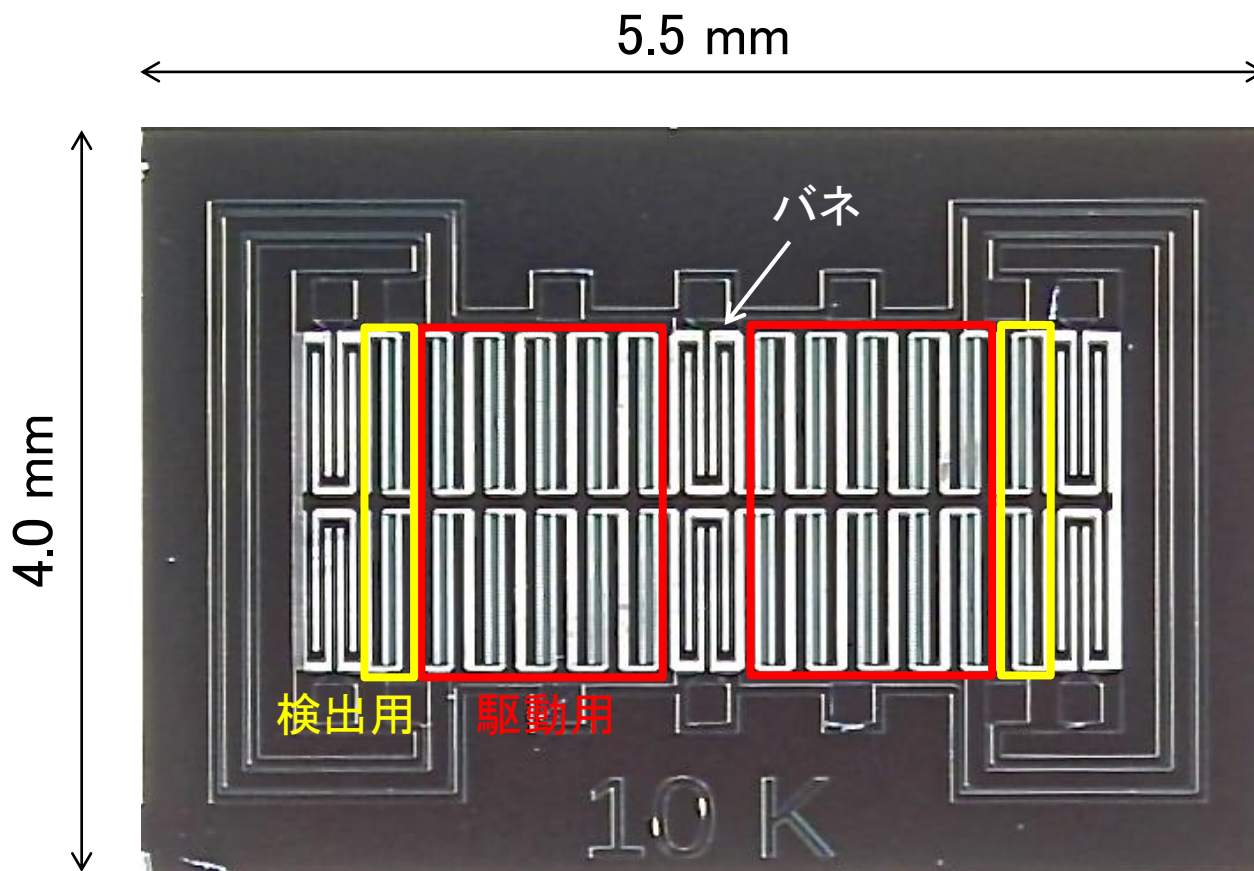


楕歯の変位 $x = \frac{neb(-2VV_e + V_e^2)}{kd}$

<変位と印加電圧の関係>



作製した3端子櫛歯アクチュエータ

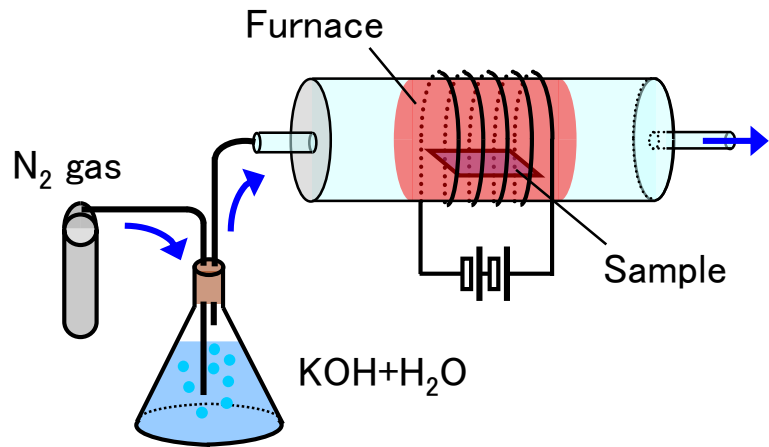


- 駆動用櫛歯と検出用櫛歯は電氣的に分離
- ハンドル層で機械的に接続

櫛歯深さ: 50 μm
櫛歯間ギャップ: 2 μm
初期重なり: 30 μm
櫛歯本数: 駆動用 500本、検出用 100本
共振周波数: 12.8 kHz

アルカリイオンエレクトレットの形成

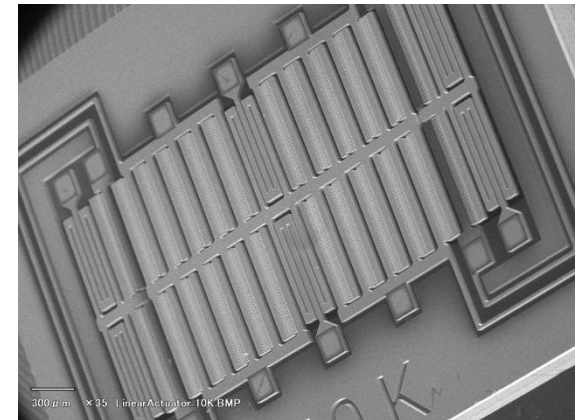
<アルカリイオン含有酸化膜の形成 – 熱酸化>



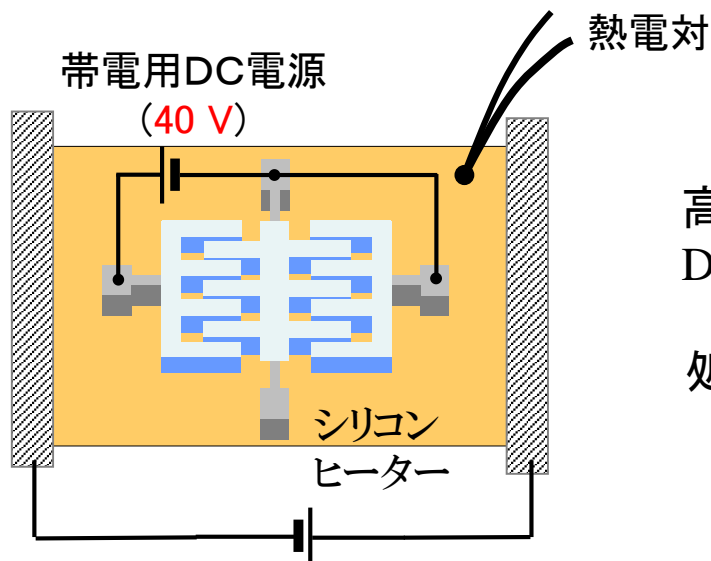
酸化条件

イオン: **カリウムイオン**
酸化温度: 1250 K
KOH水溶液濃度: 40 wt%
酸化膜厚: 1.3 μm

酸化後のアクチュエータ



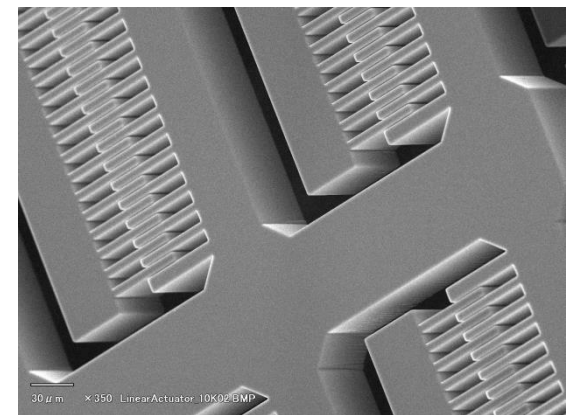
<荷電処理 – Bias Temperature >



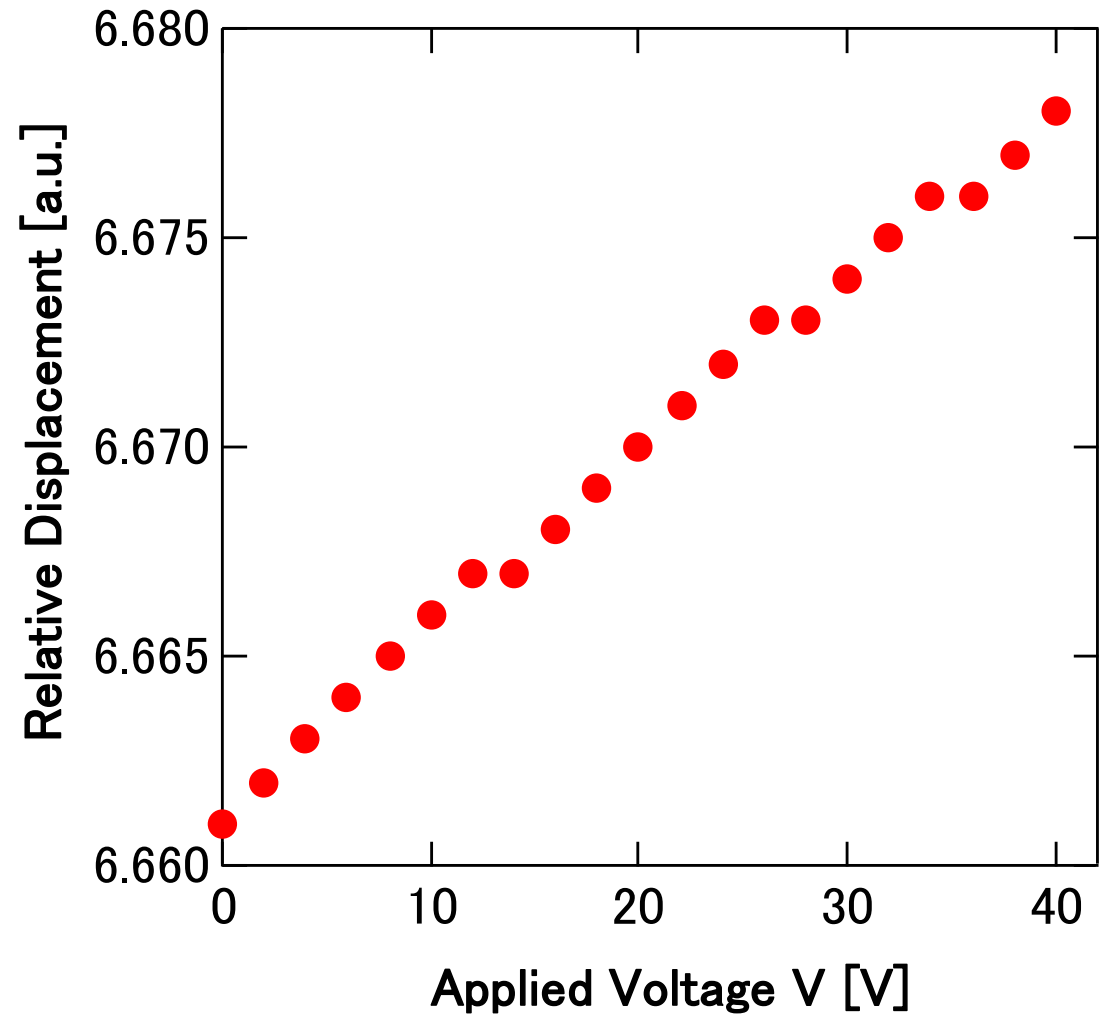
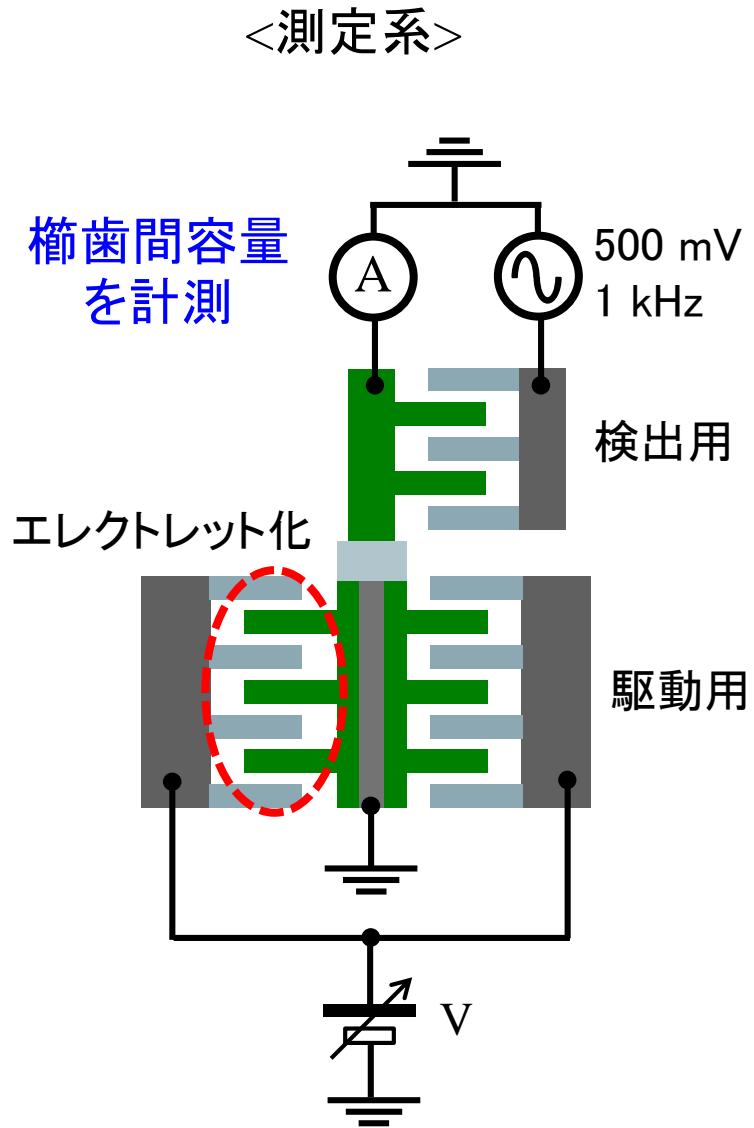
高温 (650 °C 以上) で
DC電圧を印加

処理時間 : ~3分

櫛歯部



特性例



印加電圧に比例した変位

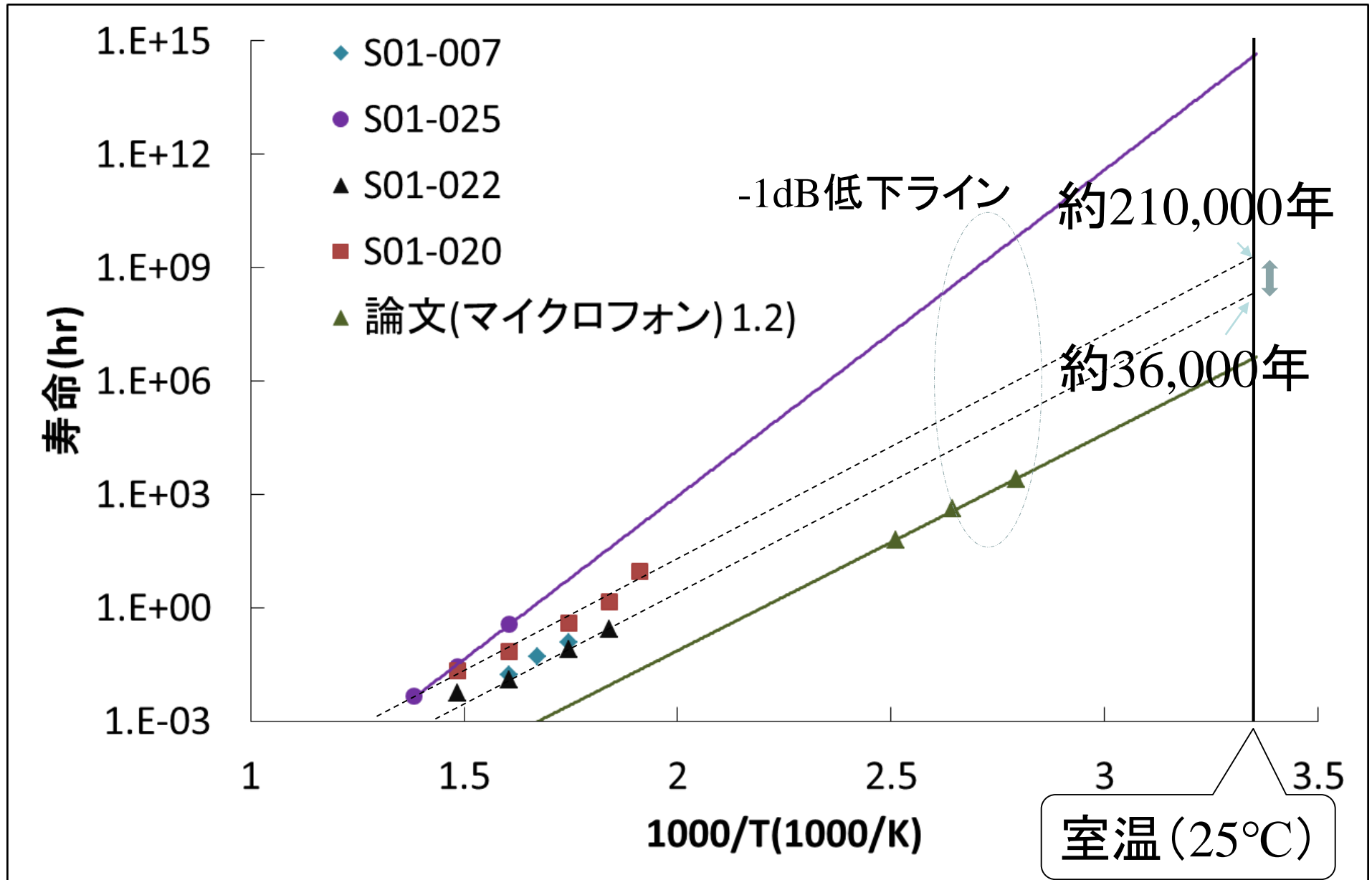
想定される用途

- 線形アクチュエータ→
 - 電圧基準フロアーの異なる系での電位計測
 - 印加電圧に線形な光スキャナ
 - 線形特性が必須の小型スピーカーなど
- 上記以外に、多くの静電型MEMSデバイスのバイアスレス駆動、感度向上
- また、電場があるので、振動発電素子や静電トランスといった新機能デバイスに展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、エレクトレットの長期信頼性を評価している。真空中における高温加速試験では、実用化できるデータが得られている。引き続き大気環境におけるデータを取得中である。
- 1素子辺りのエレクトレット化時間を短縮し、量産化できる技術を確立する必要がある。
- 実用的なデバイスを作製し、パッケージを含めた信頼性試験を実施する必要がある。

真空中での寿命予測



企業への期待

- 長期信頼性については、耐湿保護膜の形成により克服できると考えている。
- MEMS製造技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、振動型MEMSを開発中の企業、センサー分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権、問合せ先

- ・ 発明の名称
： 静電アクチュエータ及び電位差検出装置
(未公開)
- ・ 出願番号：特願2014-88379
- ・ 発明者：橋口 原、杉山 達彦
- ・ 出願人：国立大学法人 静岡大学

◎共同研究および関連する特許については、
静岡大学イノベーション社会連携推進機構にお問い合わせください。

TEL : 053-478-1702

Email: sangakucd@cjr.shizuoka.ac.jp



国立大学法人

静岡大学