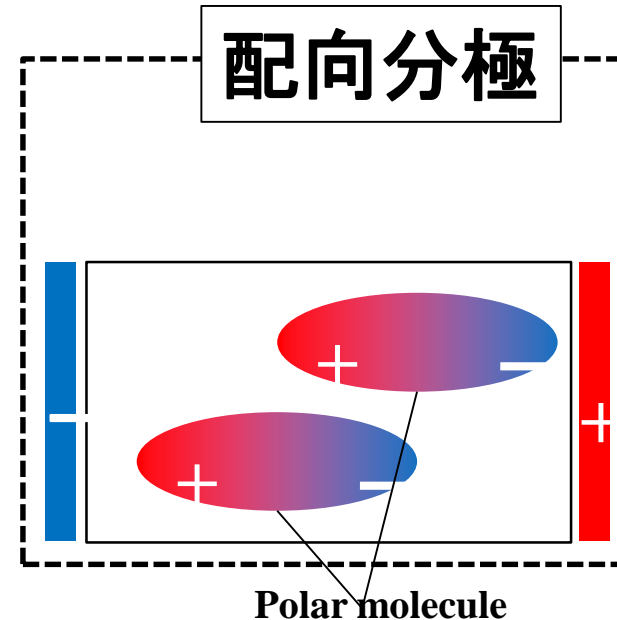
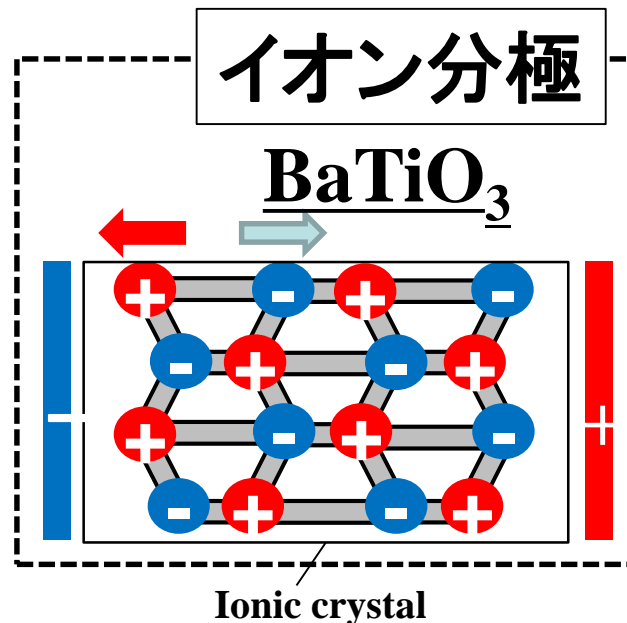
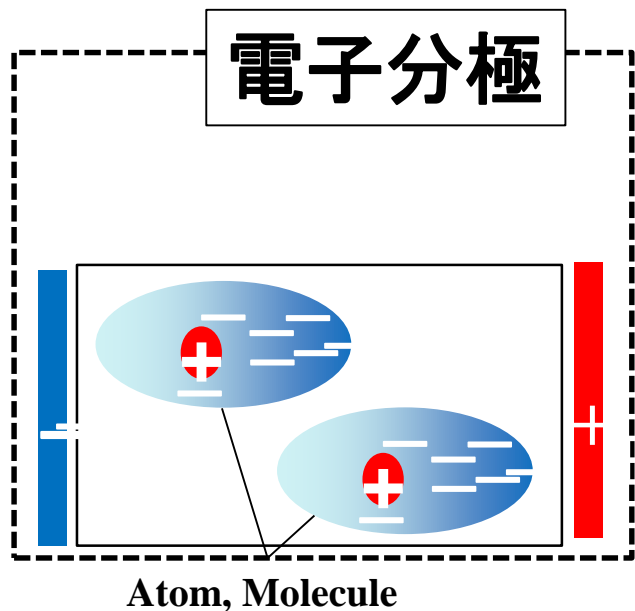


電気信号によって変形・変位するガラス素子 ～ガラスアクチュエータ～

東京工業大学 物質理工学院 材料系
教授 矢野 哲司

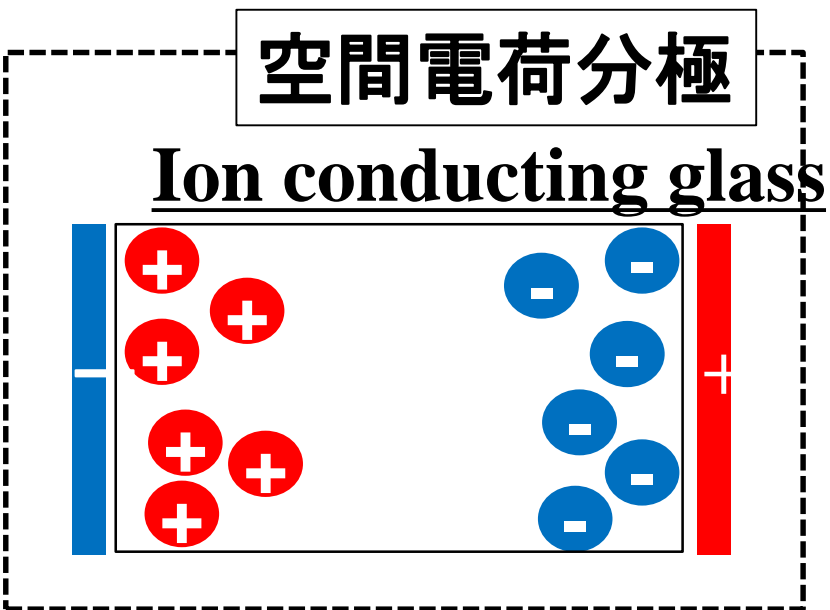
電界による物質の分極



電子分極、イオン分極、配向分極



空間電荷分極



空間電荷分極を生み出す材料
= イオン伝導性ガラス

電気-力学エネルギー変換

さまざまなエネルギーの変換機構におけるガラスの役割

光-光変換: レーザー・増幅器など

パッシブな機能が多く、アクティブな機能の実現例は少ない。

透明性など光学機能を保持し、力学的機能を付与したガラスは実現できないか？

固体電解質としての有望なガラスの イオン伝導性と力学応答機能 の実現

先行例: ポリマーアクチュエータ(ロボット等への利用)

従来技術とその問題点

電気-力学エネルギー変換(アクチュエータ)素子は、セラミックス、ポリマーなどが実用、研究されている。位置制御、人工筋肉などメカニクス部品への応用の期待

非常に大きな負荷電圧が必要

(圧電セラミックスでは数キロV)

構成素材の剛性が小さい

(大きな負荷を必要とする場合には適用できない)

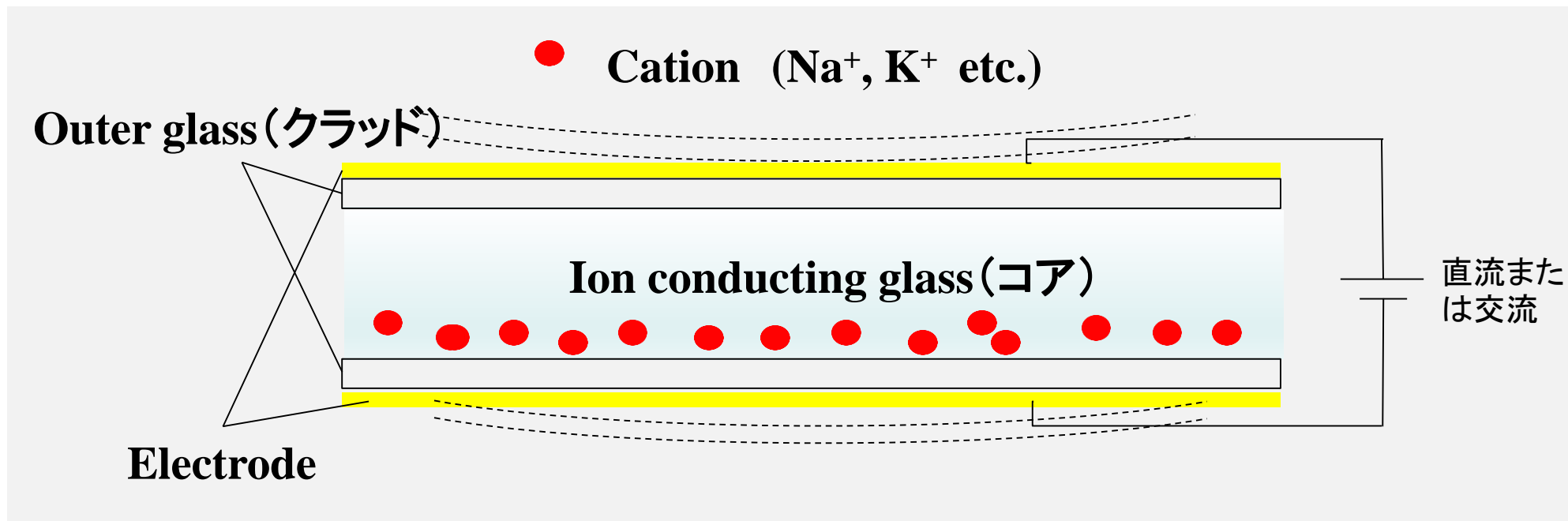
使用温度域が限られる

(キュリー温度、素材そのものの軟化)

等の問題があり、利用範囲は限られる。

ガラスによる空間電荷分極

● ガラスによるアクチュエータ機能の発現



● ガラス材料に求められるもの

・Ion conducting glass (コア)

高いイオン伝導性
低融点

・Outer glass (クラッド)

コアよりも低いイオン伝導性
コアと同程度の熱膨張係数

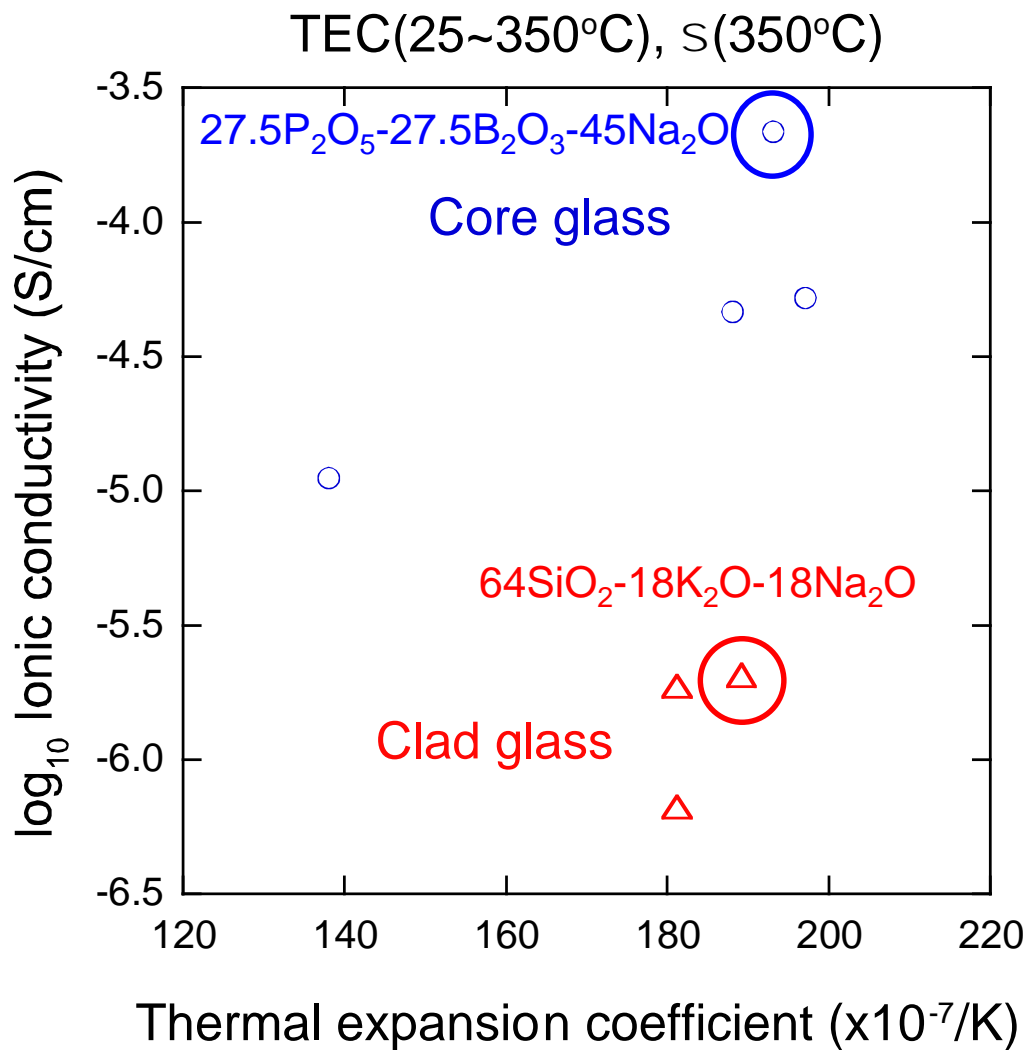
コアガラス・クラッドガラスの探索

コアガラスの満たすべき条件

- 適度なイオン伝導性
電界に対し、空間分極を生み出すイオンの移動
- イオンの移動による歪の生成
適度な体積弾性率
適度な空間(隙間)の確保

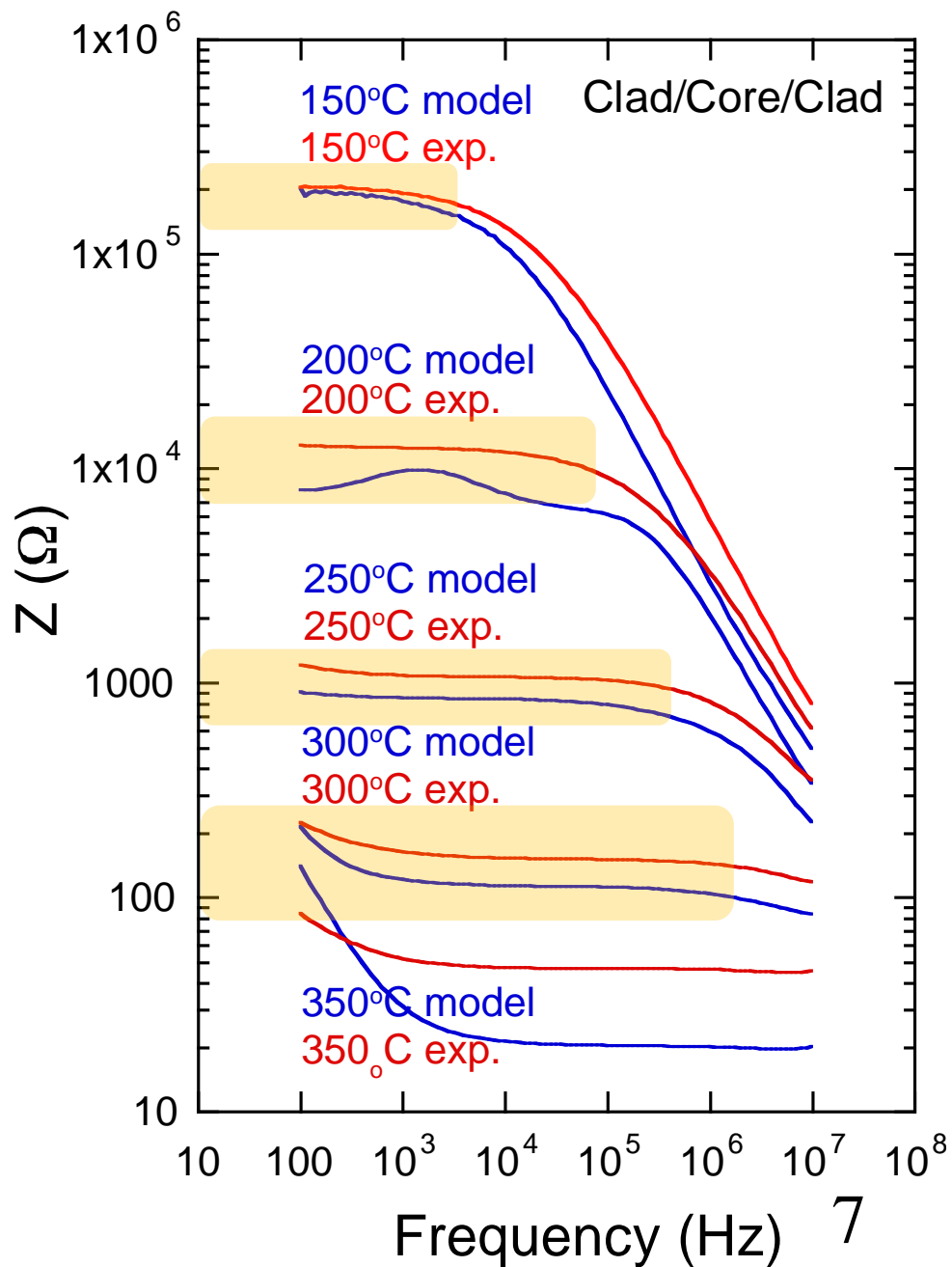
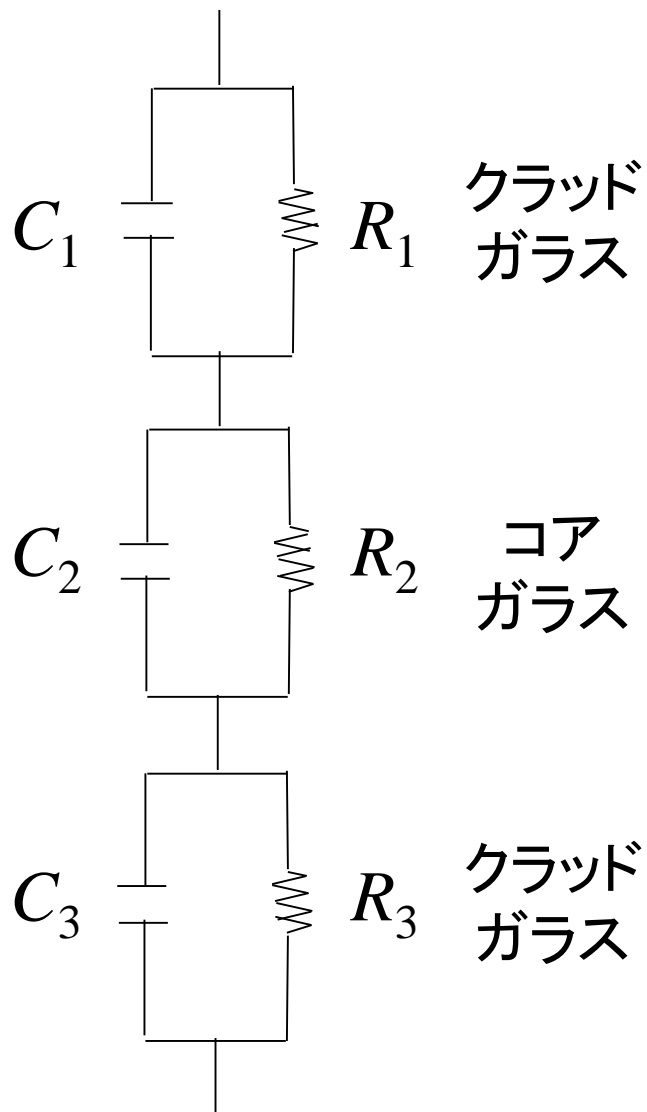
クラッドガラスの満たすべき条件

- コアガラスとのマッチング
熱膨張係数
コアガラスより高い比抵抗
コアガラスと同程度か高い比誘電率



ガラス探索結果の一例

単素子の等価回路



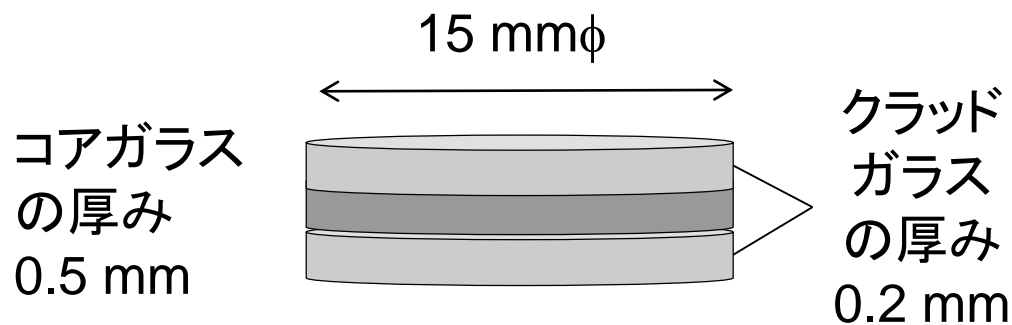
新技術の特徴・従来技術との比較

- 空間電荷分極のメカニズムでガラスを用いたアクチュエータ機能の発現が可能であることを初めて立証した。
- セラミックスと同程度の剛性を持ちながら、透明であり、ポリマーと同様の動作を実現できる。
- 使用温度域に幅を持ち、材料組成の検討により用途に応じた組み合わせが実現可能である。
- 本技術の適用により、従来素子では動作できない環境(温度など)で動作できる素子を実現できる。

Clad/Core/Clad単素子モデル

目標条件 (1st step)

印加電圧周波数:	100 Hz
動作温度:	350 °C
誘電率:	3.02x10 ⁻⁵ (コアガラス) 4.14x10 ⁻⁵ (クラッドガラス)
試料厚み:	0.5 mm(コアガラス) 0.2mm(クラッドガラス)
試料面積:	177 mm ² (15mmφ)



予測される静電容量
 $C = 6.74 \times 10^{-6} [F]$

アクチュエータ機能の予測

100nm変位を誘起するのに
必要な応力

$$S_y = \frac{E(y - l)}{r}$$

$$= \frac{6.82 \times 10^{10} [\text{Pa}] \times 0.25 [\text{mm}]}{2.81 \times 10^5 [\text{mm}]}$$

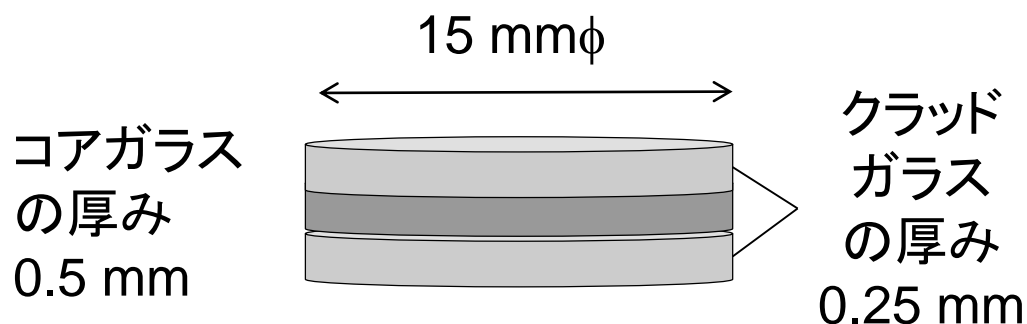
$$= \underline{60.7 [\text{MPa}]}$$

100V印加した場合に生成する応力
414[MPa]

10V印加した場合に生成する応力
41.4[MPa]

外側のガラス(クラッド)の厚みとヤング率を考慮すると、10~100Vの電圧(100Hz)を印加することで数10nmの変位を起こすことが可能と見込まれる。

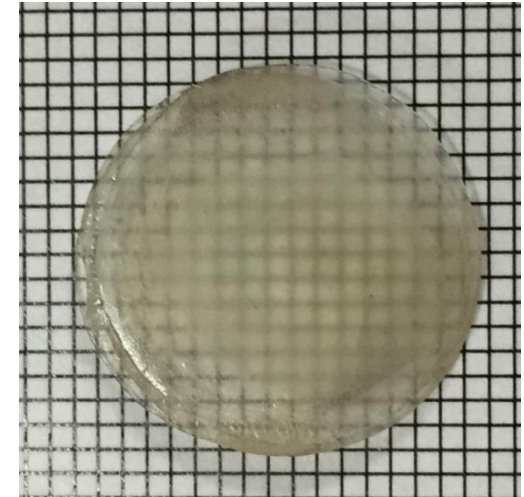
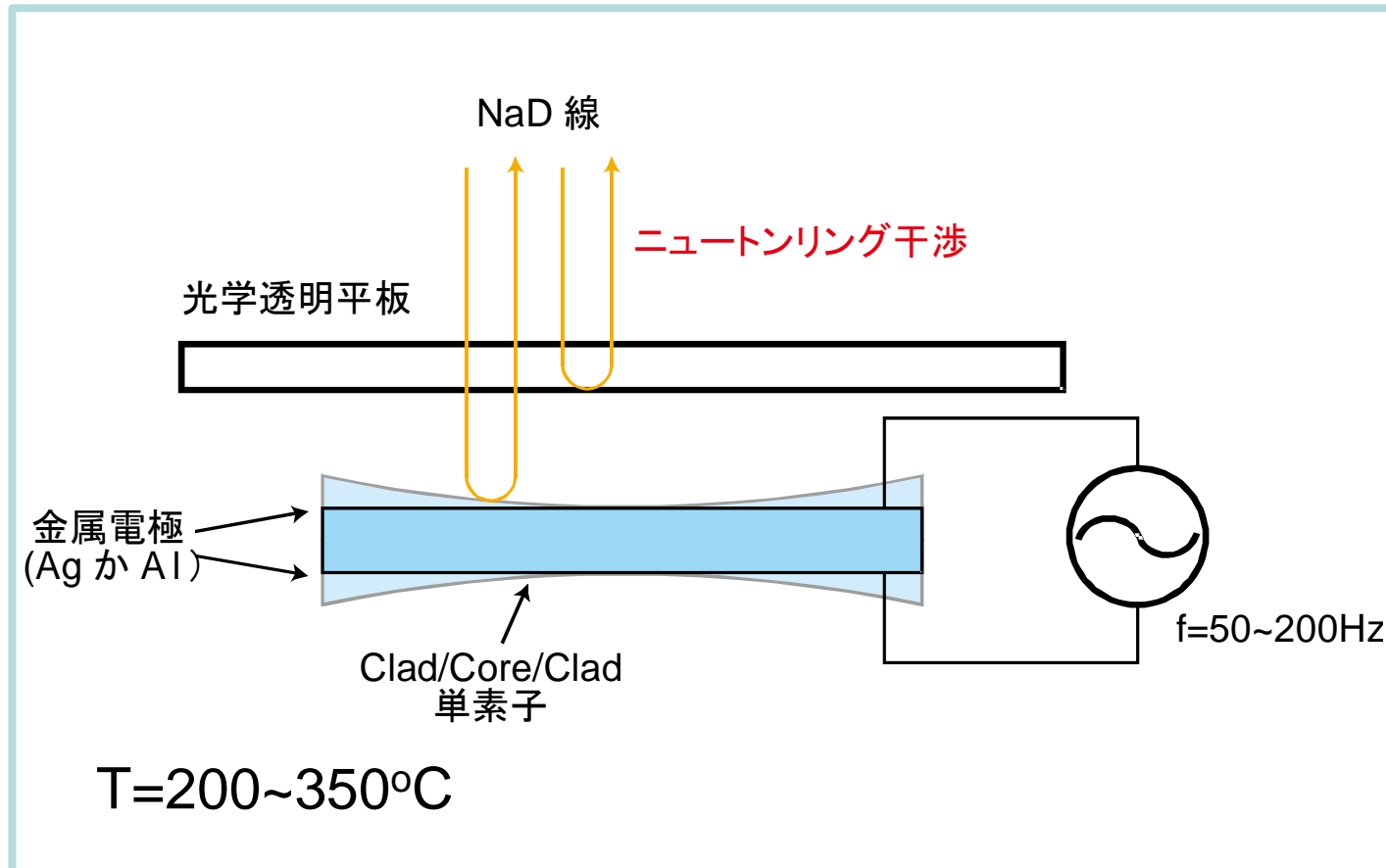
同程度のヤング率を持ち、半分の厚みのクラッドガラスでコアガラスを挟んだ場合、誘起される変位は約半分程度となる。
(クラッドガラスは薄いほど良い。)



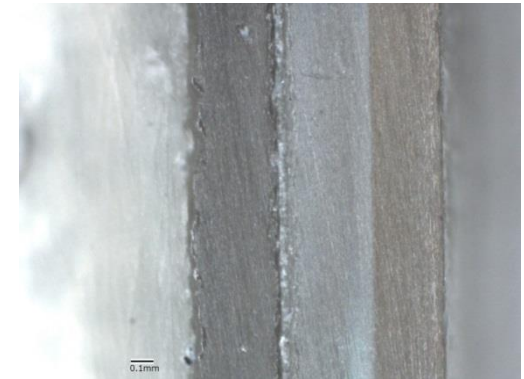
電場応答(アクチュエータ機能)の確認

干渉法を用いた変位の確認

高速度撮影による干渉縞(ニュートンリング)の移動を解析



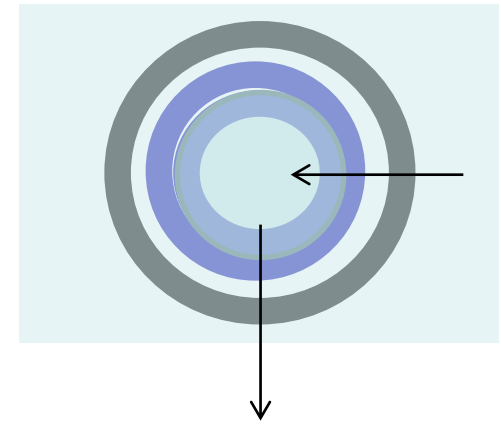
円板状Clad/Core/Clad
単素子



切断面

干渉実験装置

633nm



シリカガラス

アルミナ

加熱された
空気

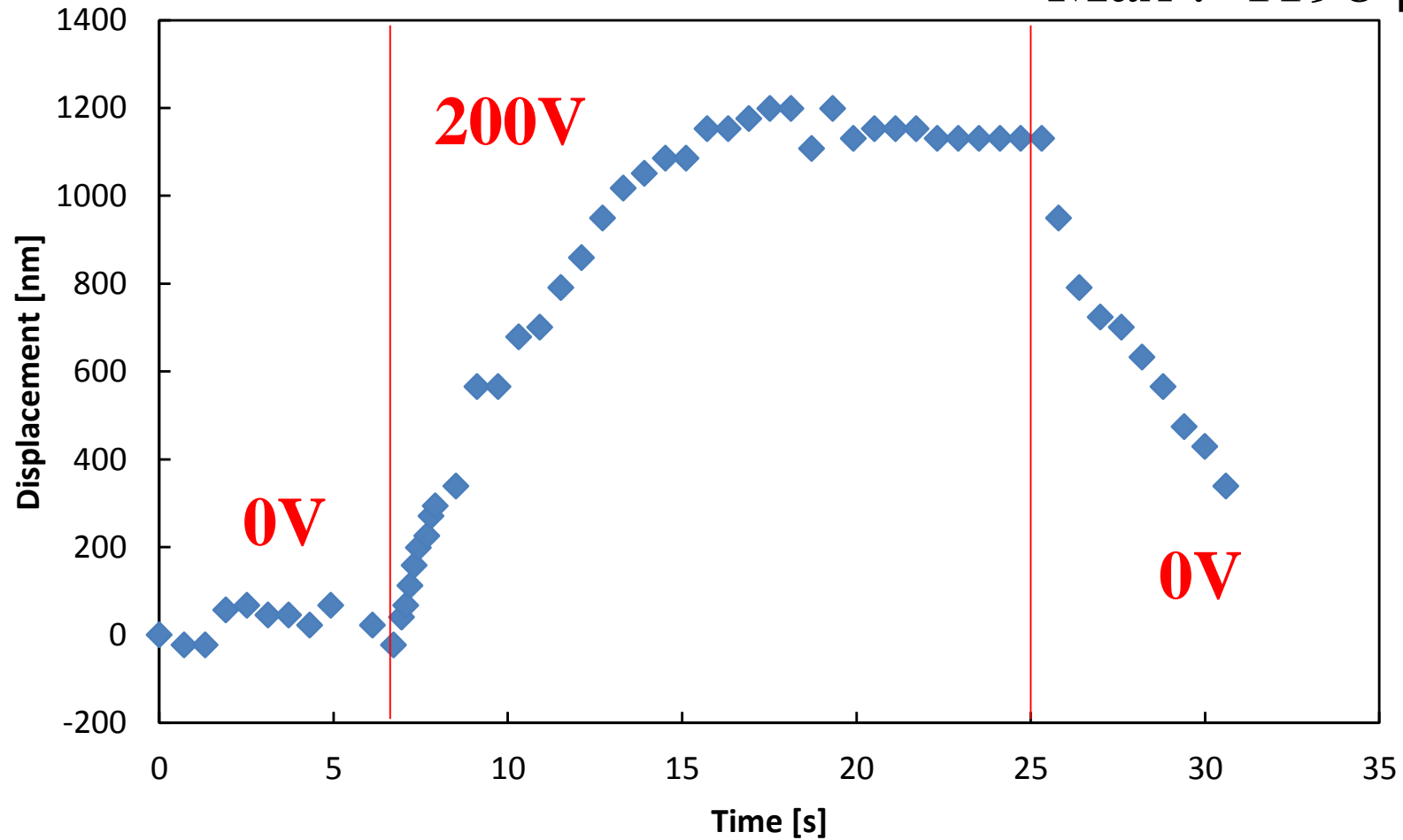
耐熱レンガ

熱電対

アクチュエータ動作の確認

Clad/Core/Clad 275°C DC 200V

Max . 1198 [nm]



想定される用途

- 原理と材料(ガラス組成)の選択により、常温以外の環境下での駆動を実現できる。(温度の高い状況が有利)
- 透明性を有しているため、光分野での利用(光MEMS等)への応用が期待できる。
- 静電場だけで数キロHzからサブMHzまでの範囲での交流場に応答し、振動子として機能する可能性を有する。

実用化に向けた課題

- 現在、150°C以上の温度で動作可能なガラス素材の開発を実施済み。しかし、静電場ではなく周波数応答の動作が未確認である。
- 今後、短冊形状素子について実験データを取得し、周波数応答生について実証と理論との比較を行っていく。
- 実用化に向けて、より低い温度で動作可能なガラス素材の開発を進め、広い温度範囲での動作確認、変位制御の精度を評価・向上できる材料・加工技術を確立する必要がある。

企業への期待

- 未解決の材料(ガラス組成)開発については、データベースの活用と物性評価の積み上げにより克服できると考えている。
- 素子作製に必要な薄膜作製や接着の技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、光MEMS等の光部品を開発中の企業、振動子・モータ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

- 発明の名称 : ガラスアクチュエータ素子
- 出願番号 : 特願2017-050219
- 出願人 : 東京工業大学
- 発明者 : 矢野哲司 他

産学連携の経歴(任意)

- 1997年 - 現在 ガラス、セラミックス、電子材料
関連会社との複数共同研究実施
- 2005年 - 2013年 NEDO事業(省エネルギー
ガラス溶融技術開発)主要メンバーとして参画
- 2016年 - 2018年 内閣府ImPACTプロジェクト
研究に参画

お問い合わせ先

東京工業大学

産学連携コーディネーター 西川文茂

TEL 03-5734-7637

FAX 03-5734-7694

e-mail nishikawa@sangaku.titech.ac.jp