

次々世代パワーエレ用受動素子の創製に向けた チタン石型誘電体材料の新規開発

名古屋大学大学院理学研究科

谷口 博基

慶応義塾大学理工学部

萩原 学

株式会社村田製作所

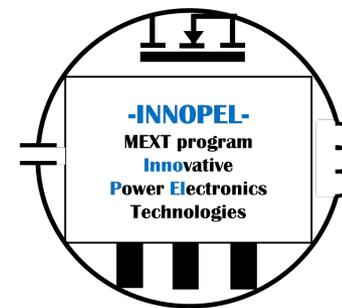
廣瀬 左京

千葉大学大学院工学研究院

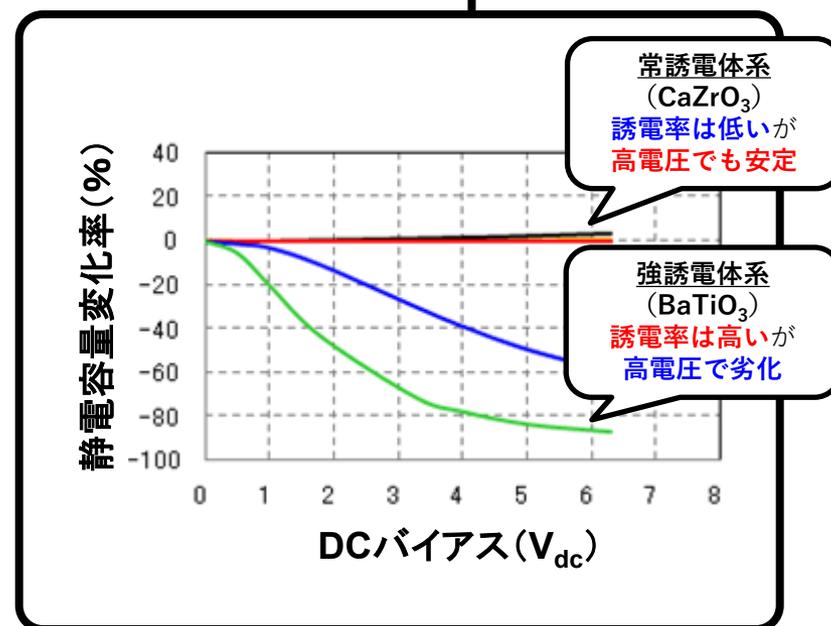
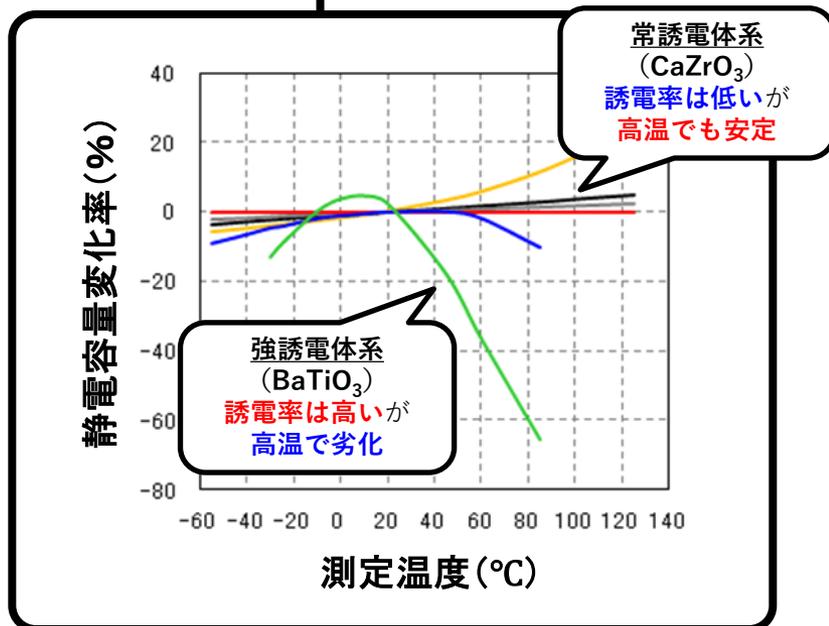
名取 賢二

東京工業大学物質理工学院

桑野 太郎

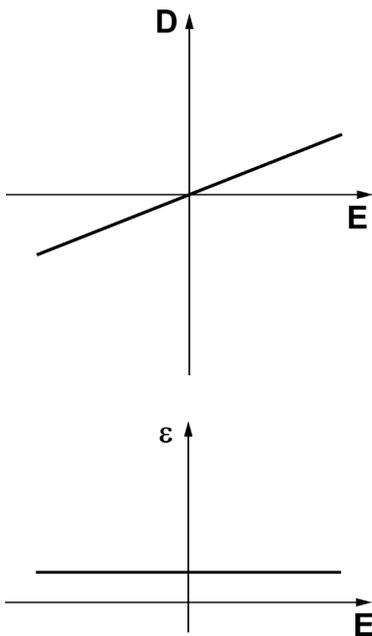


| | 常誘電体 | 強誘電体 |
|--------|------------------|------------------|
| 比誘電率 | $10^0 \sim 10^1$ | $10^3 \sim 10^4$ |
| 温度特性 | 微 | 強 |
| バイアス特性 | ほぼ無 | 強 |
| 圧電性 | 無 | 有 |

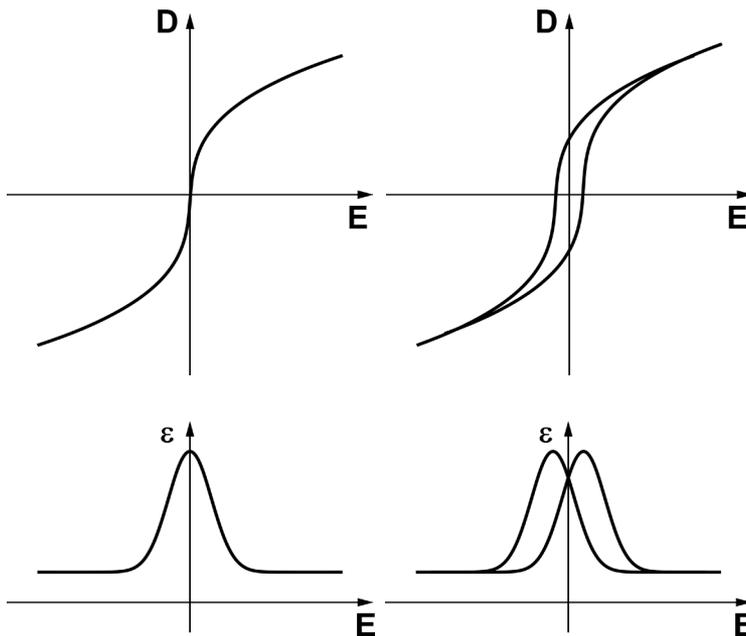


優れた性能と高電圧下の安定性を兼ね備えた革新的なセラミックコンデンサを開発

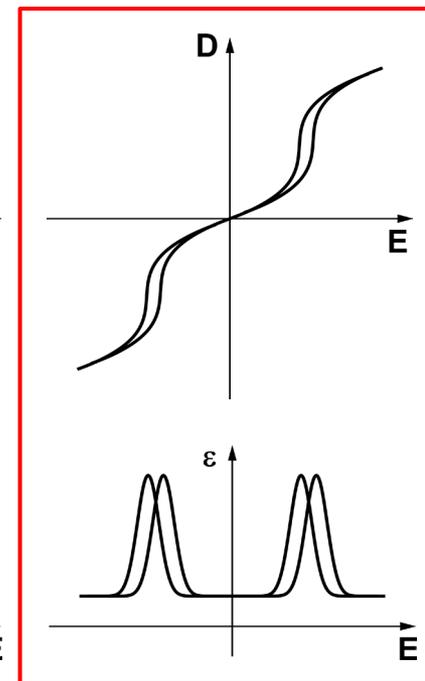
常誘電体



強誘電体

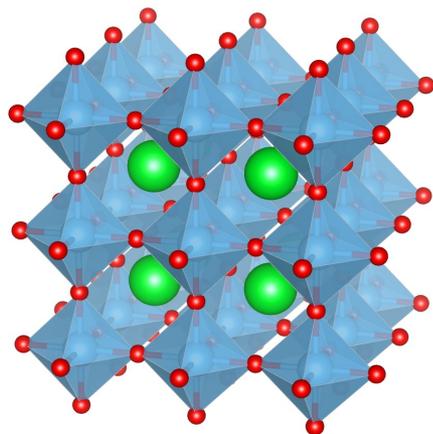


反強誘電体

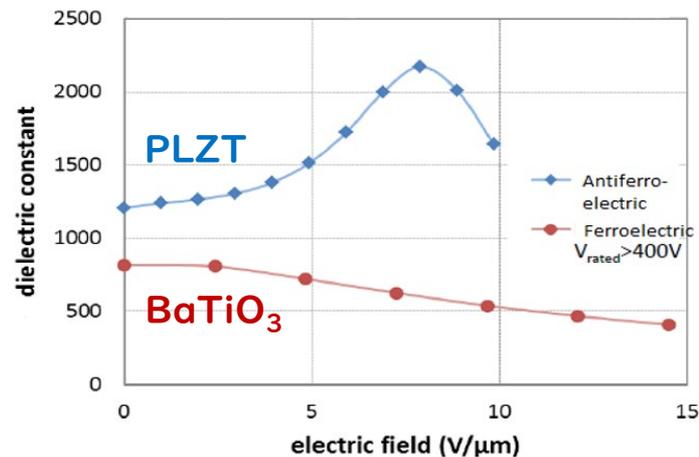


| | 常誘電体 | 強誘電体 | 反強誘電体 |
|--------|------------------|------------------|------------------|
| 比誘電率 | $10^0 \sim 10^1$ | $10^3 \sim 10^4$ | $10^1 \sim 10^2$ |
| 温度特性 | 微 | 強 | 中 |
| バイアス特性 | 無 | 強 | 特 |
| 圧電性 | 無 | 有 | 無 |

従来材料 ペロブスカイト型酸化物



- ✓ 酸素八面体の3次元フレームワーク
- ✓ BaTiO_3 (強誘電体) → 高誘電率
- ✓ CaZrO_3 (常誘電体) → 高信頼性
- ✓ PbZrO_3 (反強誘電性) → 高電圧用途



Proceedings: IMAPS/ACerS 11th International CICMT Conference and Exhibition (2015)

Pros

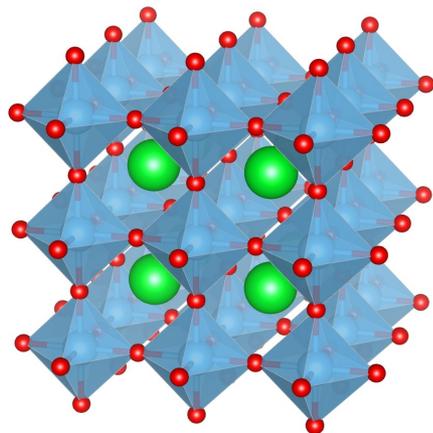
- 電場印加によって誘電率が増大
- 比誘電率1000以上

Cons

- 鉛系
- 誘電率が増大する電場領域が限定的

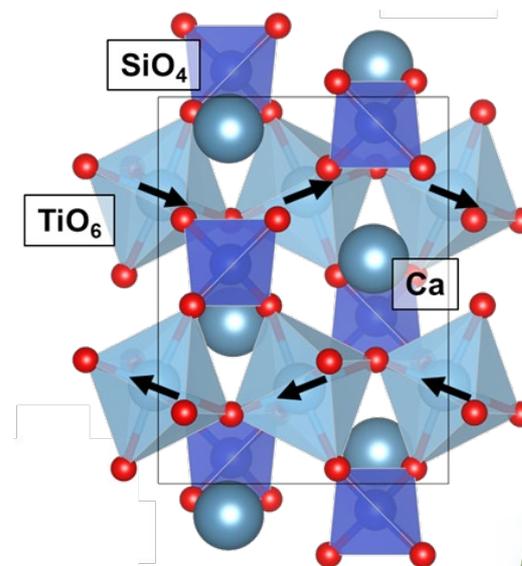
ペロブスカイト型酸化物では強誘電体と比較して反強誘電体の報告例が圧倒的に少ない。

従来材料
ペロブスカイト型 (ABO_3) 酸化物



- ✓ 酸素八面体の3次元フレームワーク
- ✓ $BaTiO_3$ (強誘電体) → 高誘電率
- ✓ $CaZrO_3$ (常誘電体) → 高信頼性
- ✓ $PbZrO_3$ (反強誘電性)

新規材料
チタン石 ($ABMO_5$) 型酸化物

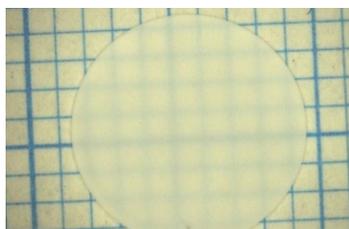


- ✓ 酸素八面体の1次元鎖
- ✓ 酸素八面体1次元鎖で優れた誘電特性を付与し、酸素四面体で信頼性を増強
- ✓ **結晶学的な観点で反強誘電体の新鉱脈**

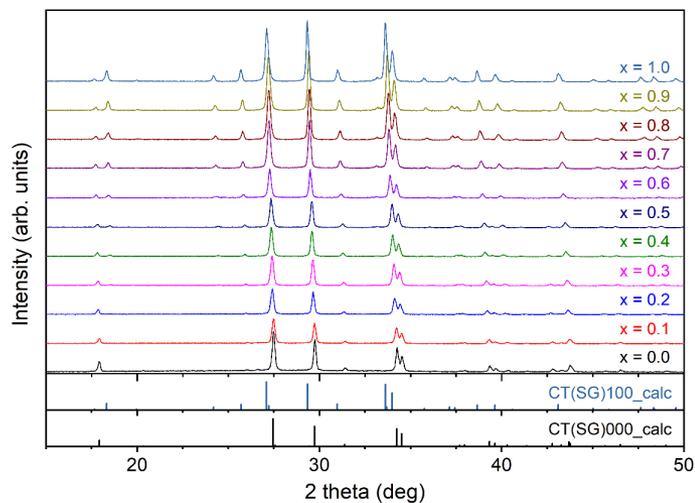
固相反応法 (大気中)

- ✓ 原料粉
CaCO₃ (4N)、TiO₂ (4N)、SiO₂ (3N)
- ✓ 焼成条件
900°C-12h (か焼)、1250°C-12h (本焼)

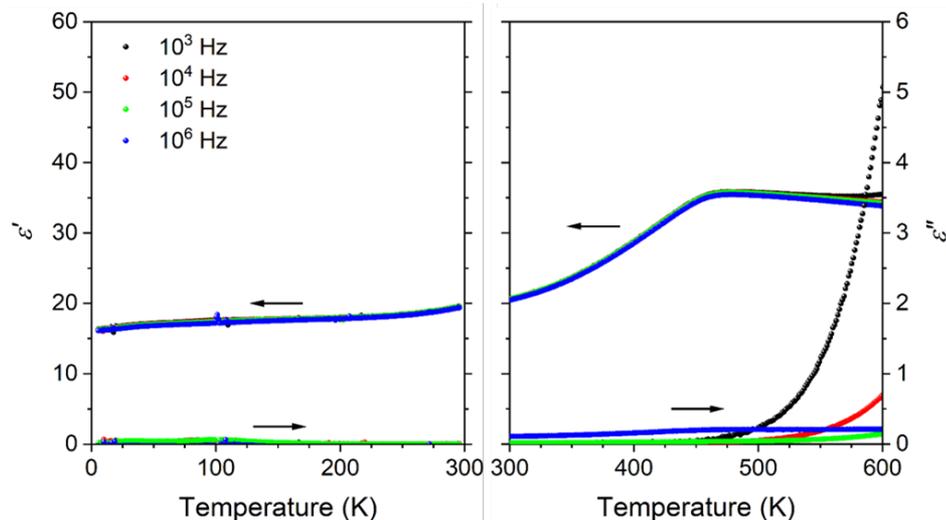
測定試料 (約100 μm)



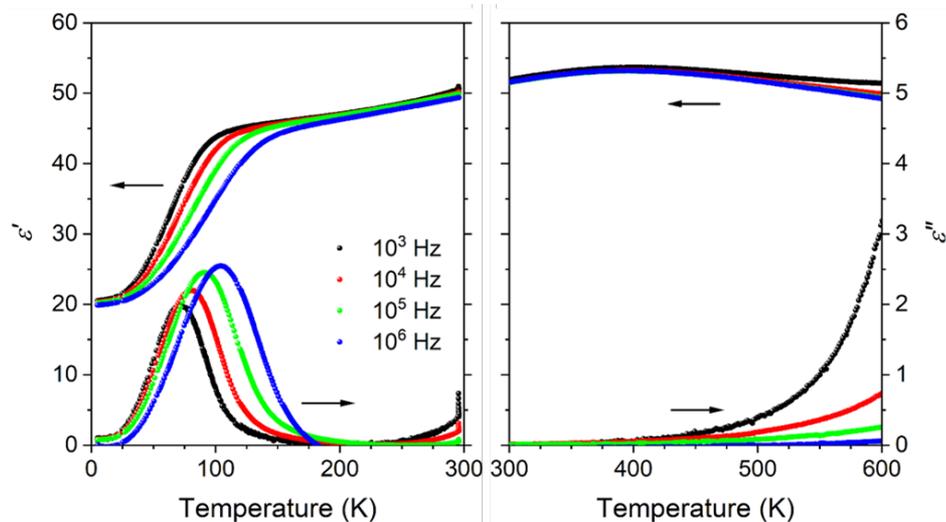
粉末X線回折パターン

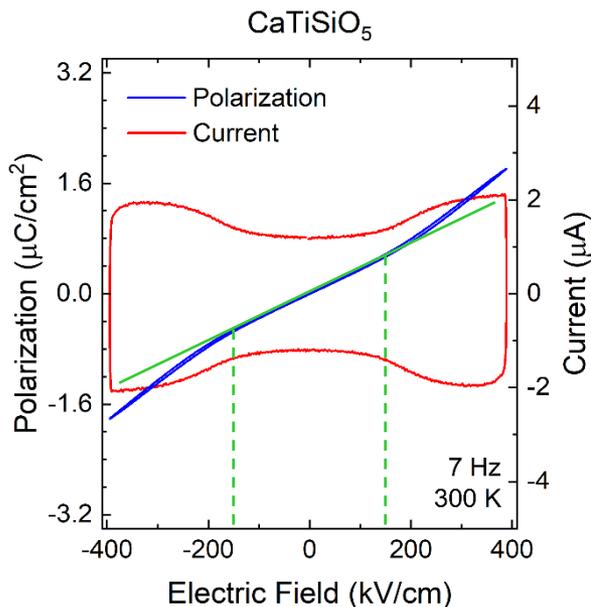


CaTiSiO₅の比誘電率の温度依存性



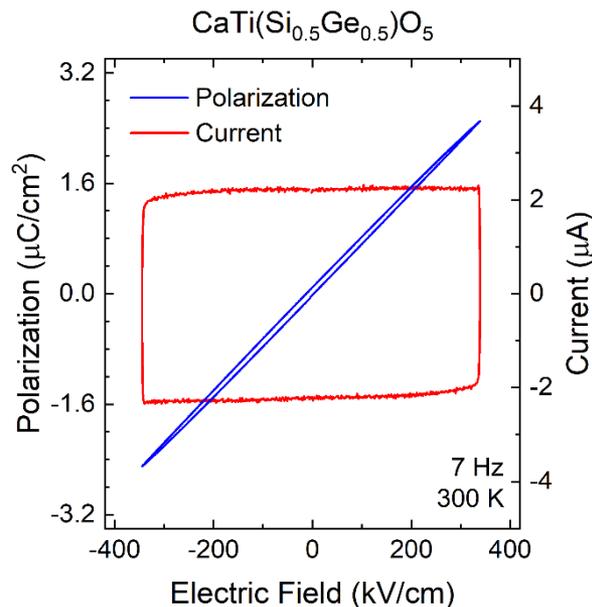
CaTi(Si_{0.5}Ge_{0.5})O₅の比誘電率の温度依存性





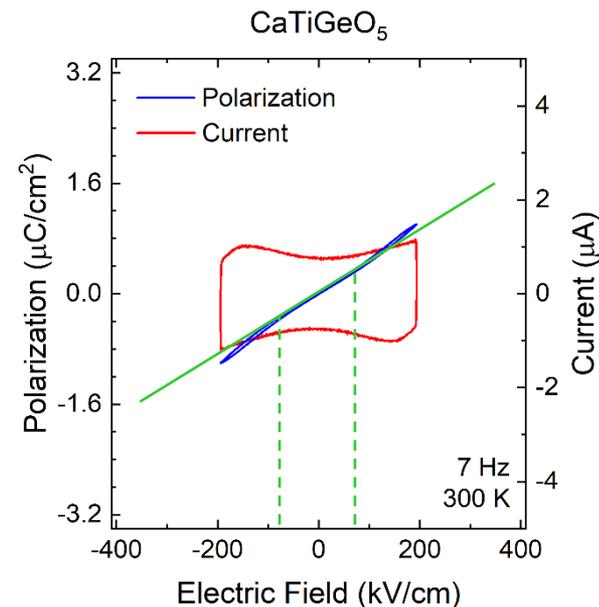
逆バイアス特性

誘電率上昇の閾値電場
~ 170kV/cm



線形応答

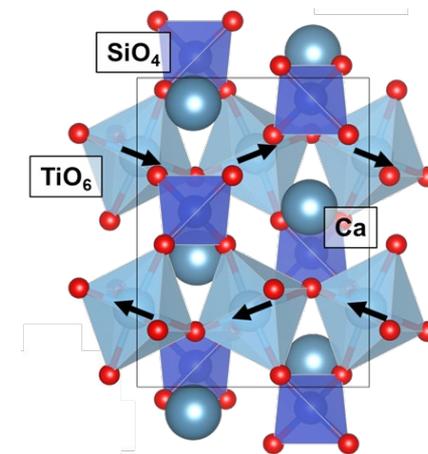
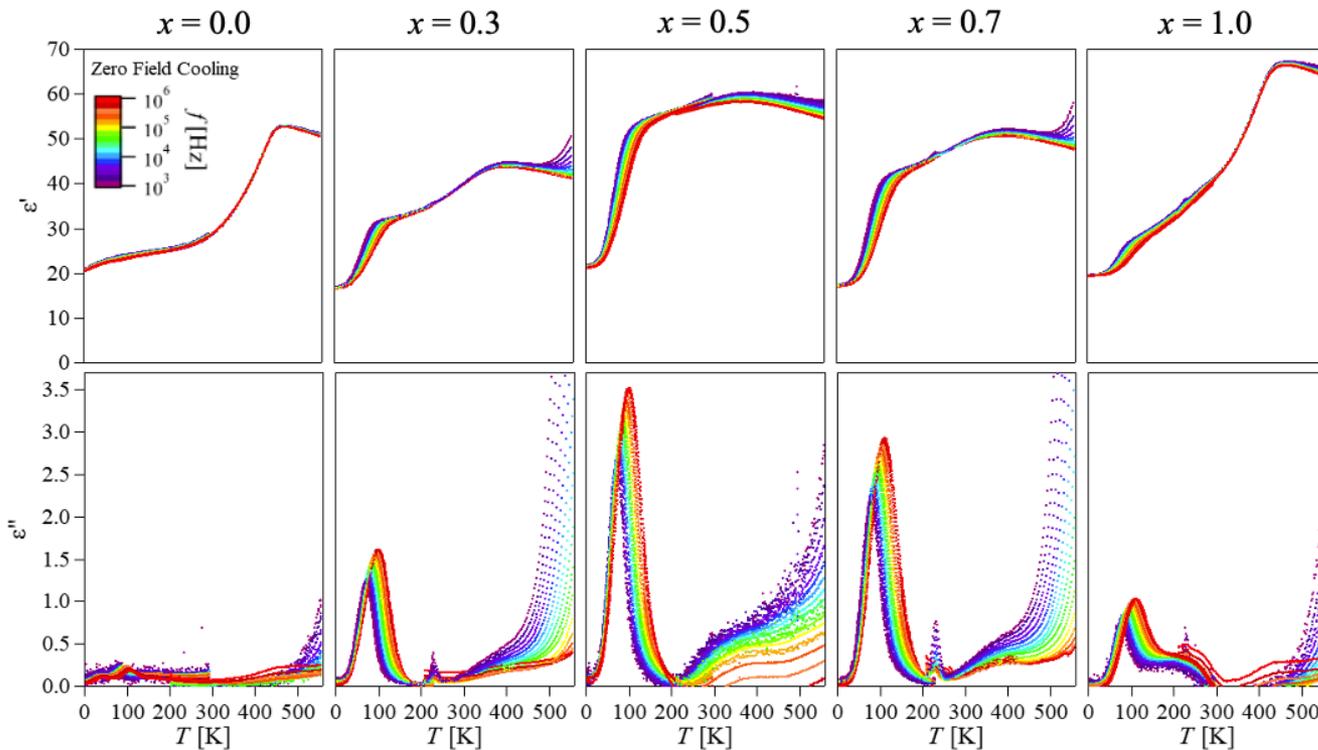
優れた線形性×高誘電率



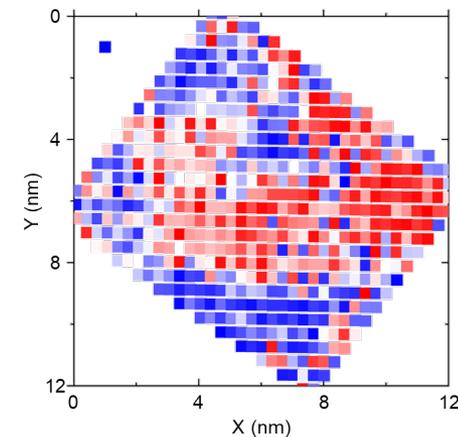
逆バイアス特性

誘電率上昇の閾値電場
~ 70kV/cm

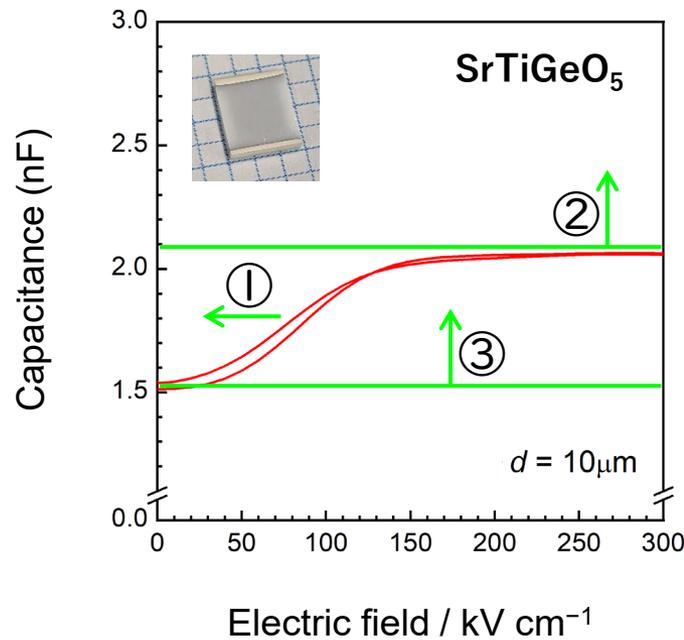
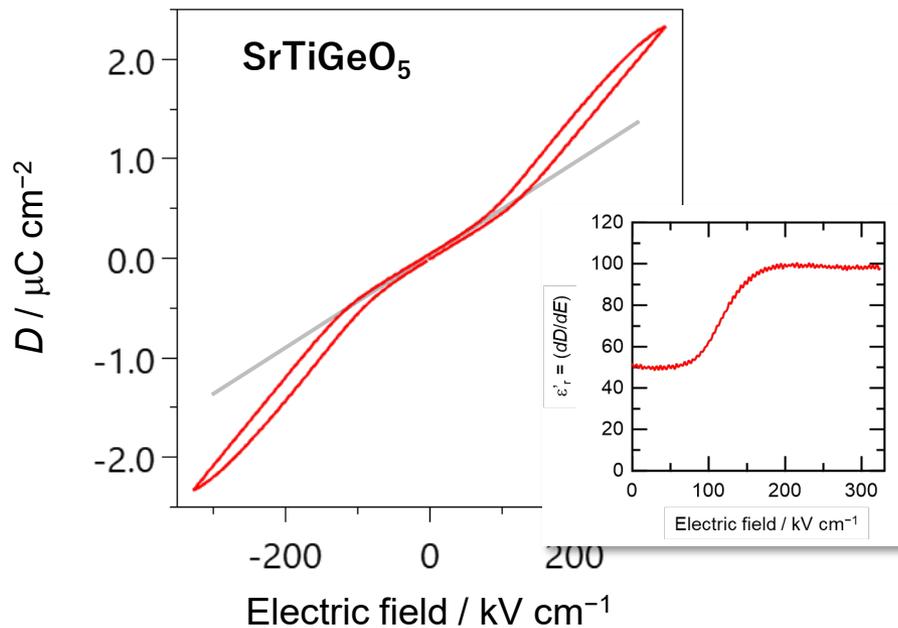
CaTi(Si_{1-x}Ge_x)O₅の比誘電率の温度依存性



CaTi(Si_{0.5}Ge_{0.5})O₅中に形成する極性局所領域



Ge置換によって生じる極性ナノクラスターによって誘電率が著しく増大



- ① 非線形性発現の閾値電場の低減
- ② 誘電率の増強率の向上
- ③ 誘電率の絶対値の向上

➡ 誘電特性の機構解明と材料設計指針の確立

- ✓ **誘電特性の機構解明と材料設計指針の確立**
- ✓ セラミックスの配向制御 (ポスター)
- ✓ 絶縁破壊特性制御 (ポスター)
- ✓ **新型MLCC開発**
- ✓ 新型MLCCのパワエレ回路応用 (ポスター)
- ✓ 新規有望組成探索

パワーデバイスの高電圧化を支える革新的セラミックスクャパシタの創製に向けて新しい反強誘電体物質系であるチタン石型酸化物に着目した。

- ✓ SrTiGeO₅バルクセラミックスにおいて150kV/cmで200%の誘電率増大（正バイアス効果）を観測した。
- ✓ CaTiSiO₅およびCaTi(Si_{0.5}Ge_{0.5})O₅の単結晶試料において、バルク領域および元素置換によって生じる極性ナノクラスターの異方的な誘電応答を明らかにし、配向セラミックス化による正バイアス効果増強の指針を得た。
- ✓ 第一原理計算によってCaTiSiO₅のフォノンダイナミクスを明らかにすることによって、異方的な誘電特性および極性ナノクラスターの起源を明らかにし、チタン石型酸化物における合理的な材料設計指針を得た。
- ✓ チタン石型酸化物における新型MLCCの信頼性の評価と改善に取り組み、高電圧下における安定性の向上に成功した。