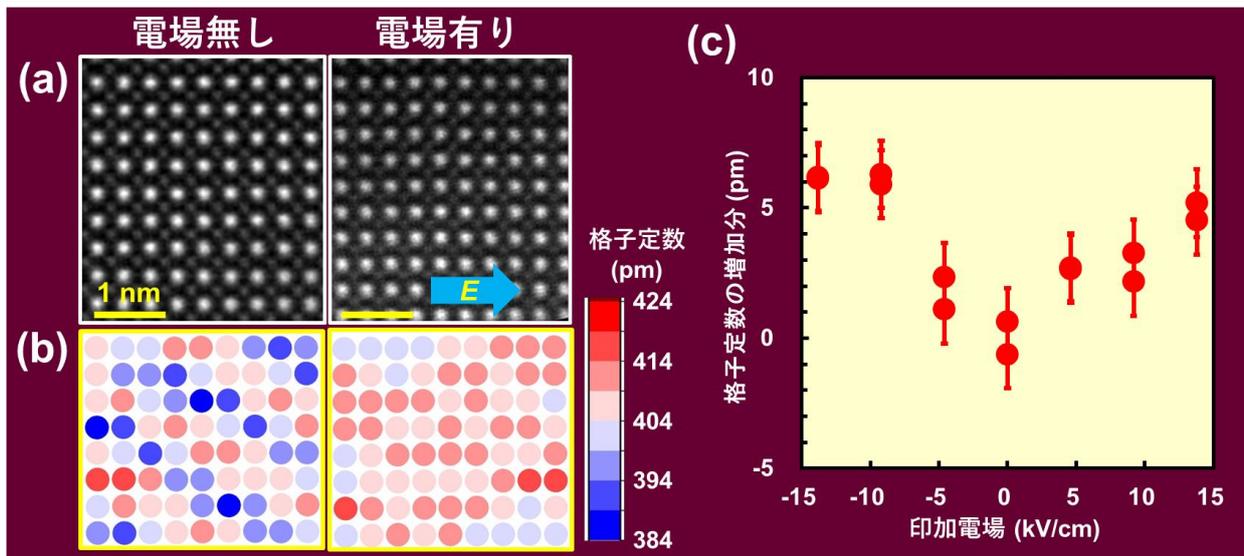




電子顕微鏡による 7 pm の電場誘起歪みの直接観察に成功 ～新手法で測定確度が格段に向上～

九州大学大学院工学研究院の佐藤幸生准教授は同研究院の寺西亮准教授、金子賢治教授らと共同で、7 p (10^{-12}) m の電場誘起歪み^{*}を原子分解能電子顕微鏡で直接観察することに成功しました。研究グループは 2017 年に開発した「原子分解能電場印加その場電子顕微鏡法」(https://www.kyushu-u.ac.jp/f/31256/17_08_09.pdf) および新開発の「2段階アフィン変換法」を用いて、1 cm あたり 1 万ボルト以上の電場を印加したままの状態では代表的な電子セラミックスであるチタン酸バリウムの原子配列を直接観察し (図(a))、結晶格子が最大で約 7 pm 大きくなっていることを明らかにしました (図(b)および(c))。この結果は今後、スマートフォンやコンピュータなどに用いられている (i) 多種多様な電子部品や電池などが動作する仕組みを原子のスケールで直接解明できることを示した点ならびに (ii) 電子セラミックスの電場誘起歪みを局所的に大きく増強できる可能性を示した点において非常に重要な成果です。本研究成果は 2019 年 11 月 4 日 (月) 付で独科学誌の Physica Status Solidi RRL 誌のオンライン版に掲載されました。



(参考図) (a) チタン酸バリウムセラミックスの電子顕微鏡像、(b) 結晶格子の大きさ (格子定数) の分布、(c) 印加電場と格子定数変化の関係



佐藤准教授

※電場誘起歪み：

MEMS (メムス) と呼ばれる微小な電子デバイスやインクジェットプリンタなどに利用されている性質。より大きな歪みを示す材料ほど性能が良いため、大きな電場誘起歪みを示す材料の開発が進められている。今回観察された異常に大きな電場誘起歪みは電子セラミックスの電場誘起歪みを局所的に大きく増強できる可能性を示しており、将来、NEMS (ネムス) と呼ばれるナノスケールの電子デバイスやインクジェット印刷の更なる微細化などに貢献する可能性がある。

研究者からひとこと：今回の研究成果は私達が開発した「原子分解能電場印加その場電子顕微鏡法」が実際の電子セラミックスの動作を捉えた初めての例になりました。今後、この方法を使って新材料の開発に貢献していきたいと考えています。

【お問い合わせ】 大学院工学研究院 佐藤 幸生 准教授

電話：092-802-2971 FAX：092-802-2979 Mail：sato@zaiko.kyushu-u.ac.jp

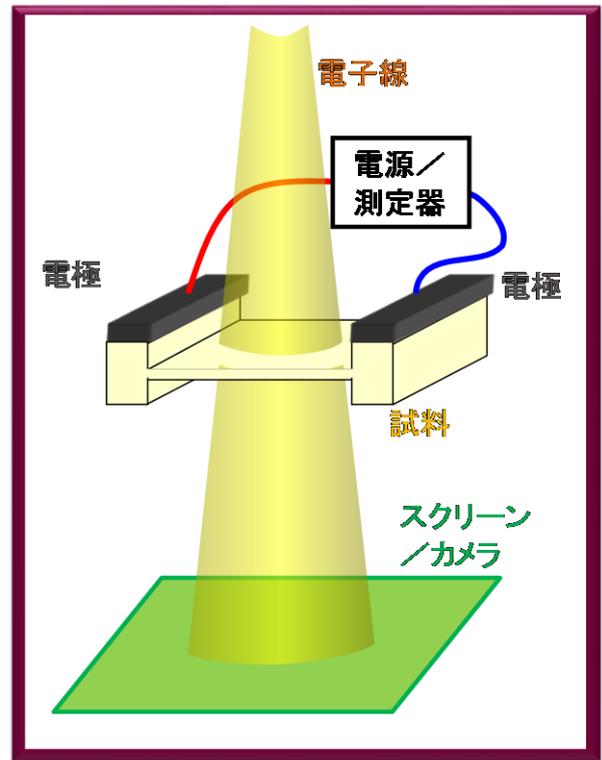
【別紙】

【研究内容の説明】

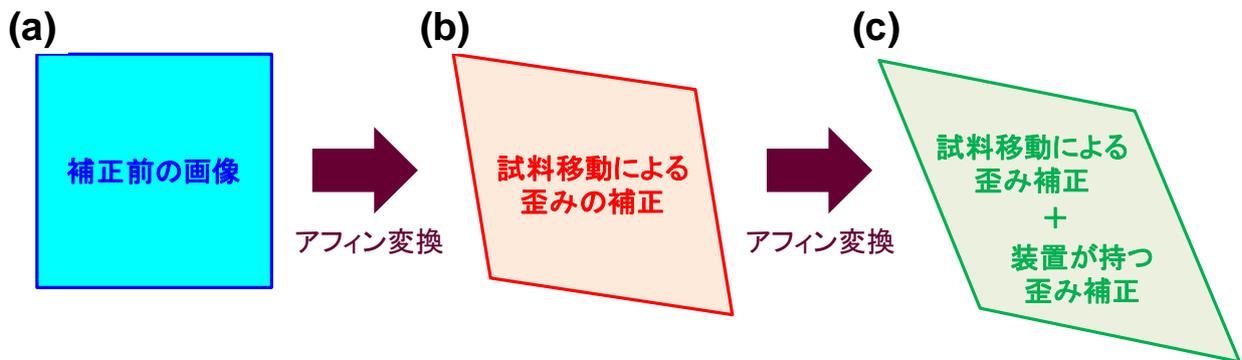
私たちの生活はたくさんの電気製品によって支えられており、その電気製品は数多くの電子セラミックス部品から成り立っています。私たちの生活をより良く便利で安全なものにするために電子セラミックスの研究開発が日夜進められています。新製品の開発を行うためには部品が動作する仕組みをよく理解する必要があります。電子セラミックスを使う際には電圧を加えて使うことが多いため、動作の仕組みをより良く知るためには電子セラミックスが電圧を加えた際にどのように変化するかを知る必要があります。

そこで私たちの研究グループは、試料に電圧を加えながら原子配列の観察を行うことができる「原子分解能電場印加その場電子顕微鏡法」(別紙図1)を2017年に開発しました。

しかしながら、当時は原子位置の測定精度に問題があり、1~2%程度の誤差を抱えたままの測定でした。そこで、今回私たちは誤差の主要因となっている電子顕微鏡画像の歪みを補正する新手法を開発しました。新手法では、測定ごとに毎回異なる試料の移動による画像の歪みと毎回ほぼ同じである元々装置が持っている画像の歪みを2段階に分けて、アフィン変換という数学的な処理で補正します(別紙図2(a)~(c))。これにより、原子位置の測定誤差が格段に減少し、1.3 pm程度になりました。



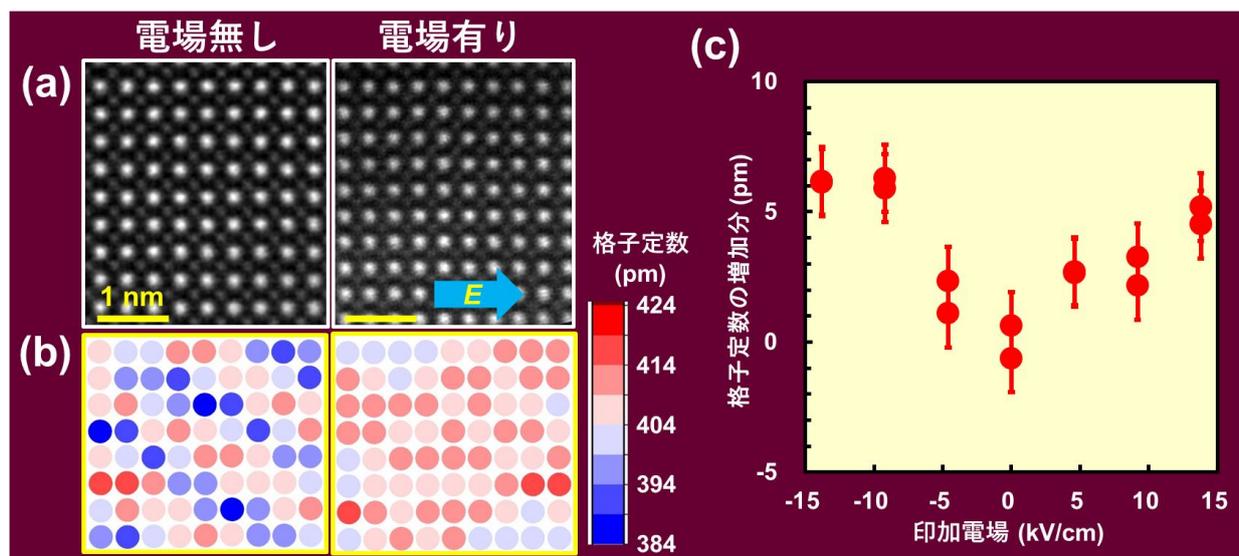
(別紙図1)「原子分解能電場印加その場電子顕微鏡法」の模式図



(別紙図2) 2段階アフィン変換法の模式図。(a)補正前の画像、(b)試料移動による歪みを補正した後の画像、(c) 試料移動による歪みと装置が持つ歪みを補正した後の画像

私たちはこの手法を用いて、代表的な電子セラミックスの1つであるチタン酸バリウムという材料の原子配列の観察を行いました。まず、電場を加えた状態と加えていない状態で電子顕微鏡観察を行い、原子の配列を観察しました(図3(a))。次に、画像中における原子の位置を計算して、格子定数(原子同士の間隔)を求めました(図3(b))。電場を加えていない状態では比較的青っぽい丸が多いのに対して、電場を加えた状態では赤っぽい丸が多く、格子定数が増加していることがわかります。格子定数の増加分を色んな電場の大きさに対して求めたところ増加分は最大7 pmであり(図3(c))、測定誤差より十分に大きいものでした。最大7 pmにも及んだ電場誘起歪みは通常では考えられない大きなものです。

このように、今回私たちは「原子分解能電場印加その場電子顕微鏡法」と「2段階アフィン変換法」の併用で、材料に電場を加えた時の歪みである「電場誘起歪み」を原子スケールで直接測定することに成功しました。この方法はスマートフォンやコンピュータなどに用いられている多種多様な電子部品、あるいは電池など数多くの電子セラミックスが動作する仕組みを原子スケールで直接解明できることを示す、非常に重要な成果であります。



(別紙図 3) (a) チタン酸バリウムセラミックスの電子顕微鏡像、(b) 結晶格子の大きさ (格子定数) の分布、(c) 印加電場と格子定数変化の関係

【本成果が発表された論文】

著者名 : Yukio Sato, Ryuki Miyachi, Mai Aoki, Syota Fujinaka, Ryo Teranishi, and Kenji Kaneko,
 論文名 : Large electric-field induced strain close to the surface in barium titanate studied
 by atomic-scale in situ electron microscopy
 掲載誌 : Physica Status Solidi (RRL) - Rapid Research Letters, 2019 年.
 DOI : <https://doi.org/10.1002/pssr.201900488>

【関連する研究プロジェクト】

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)「誘電体における光誘起物性の電子顕微鏡オ
 ペランド測定による微視的起源解明」(課題番号: 18H01710) および日本学術振興会科学研究費補助金
 挑戦的萌芽研究「電子顕微鏡観察に立脚した新規蛍石構造強誘電ナノ粒子の創成」(課題番号: 18K18952)
 の支援の下で行われました。