

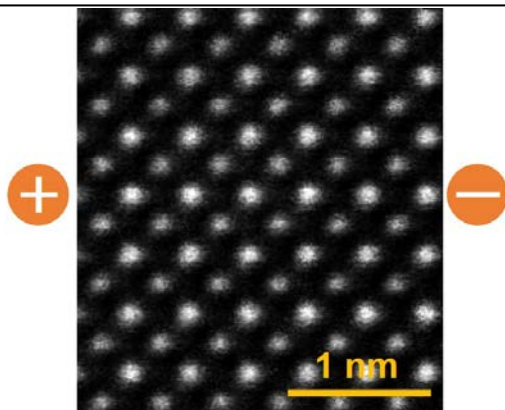


動作中の誘電体における原子位置を 0.01 nm の精度で直接観察

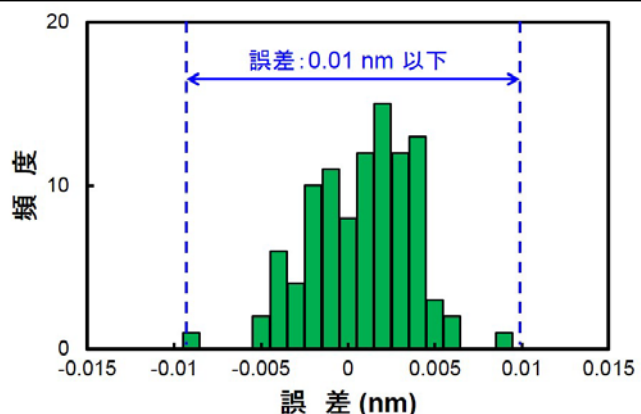
九州大学大学院工学研究院材料工学部門の佐藤幸生准教授は、同金子賢治教授および株式会社メルビルの権堂貴志博士らと共同で、電子顕微鏡を用いて動作中の誘電体内部における原子の位置を 0.01 nm の精度で直接観察することに成功しました。

誘電体と呼ばれる材料は電気を蓄える性質があり、携帯電話やパーソナルコンピュータなど身の回りの様々な製品に多数用いられています。したがって、その研究開発が日夜世界中で進められていますが、その材料開発においては動作時すなわち材料に電圧を加えた状態における内部の構造を正確に把握する必要があります。その際、動作中の誘電体内部の構造を解析する方法として「電圧印加その場電子顕微鏡法」がありますが、従来は良くても 0.1 nm 程度の構造までしか解析されてきませんでした。

今回の研究では、電子顕微鏡観察用の試料ホルダーを製作するなどして「電圧印加その場電子顕微鏡法」の高精度化を進め、動作中すなわち電圧を加えた状態での誘電体内における原子位置を 0.01 nm の精度で直接観察することに成功しました。この手法を用いると、誘電体内で電気を蓄えられる様子が原子レベルで直接観察されるだけでなく、電池材料やエネルギー関連材料などにも適用可能でその動作メカニズムが解明されることが期待されます。本研究成果は 2017 年 8 月 11 日（金）12 時（米国東部夏時間）に米国科学誌 Applied Physics Letters オンライン版に掲載されました。



(参考図 1) 1 cm あたり 570 V の電圧（左側が＋、右側が－。）を加えた状態で観察された誘電体の電子顕微鏡像。



(参考図 2) 電子顕微鏡像における原子位置の誤差を評価した結果の一例。

研究者からひとこと：



今回の研究成果はまだ萌芽的なものではありませんが、何回も実験を行って苦労してやっと測定できたデータです。これから様々な種類の材料に適用して、電子デバイスの性能向上や新製品の開発に繋げ、私たちの生活をより便利なものになりたいと考えています。私達の研究活動等についてはホームページでも紹介していますので、そちらもご覧くださいと幸いです。(<http://zaiko13.zaiko.kyushu-u.ac.jp/sato.html>)

【お問い合わせ】

大学院工学研究院 准教授 佐藤 幸生

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

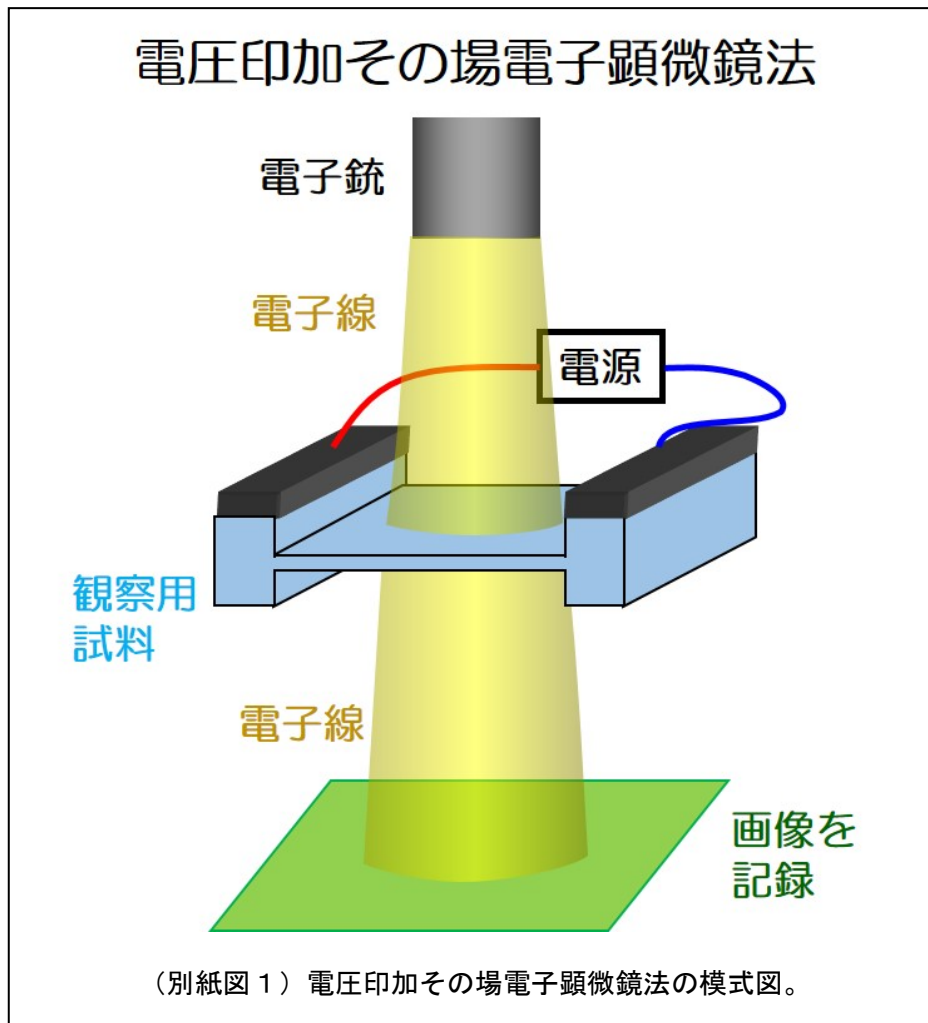
【別紙】

【研究内容の説明】

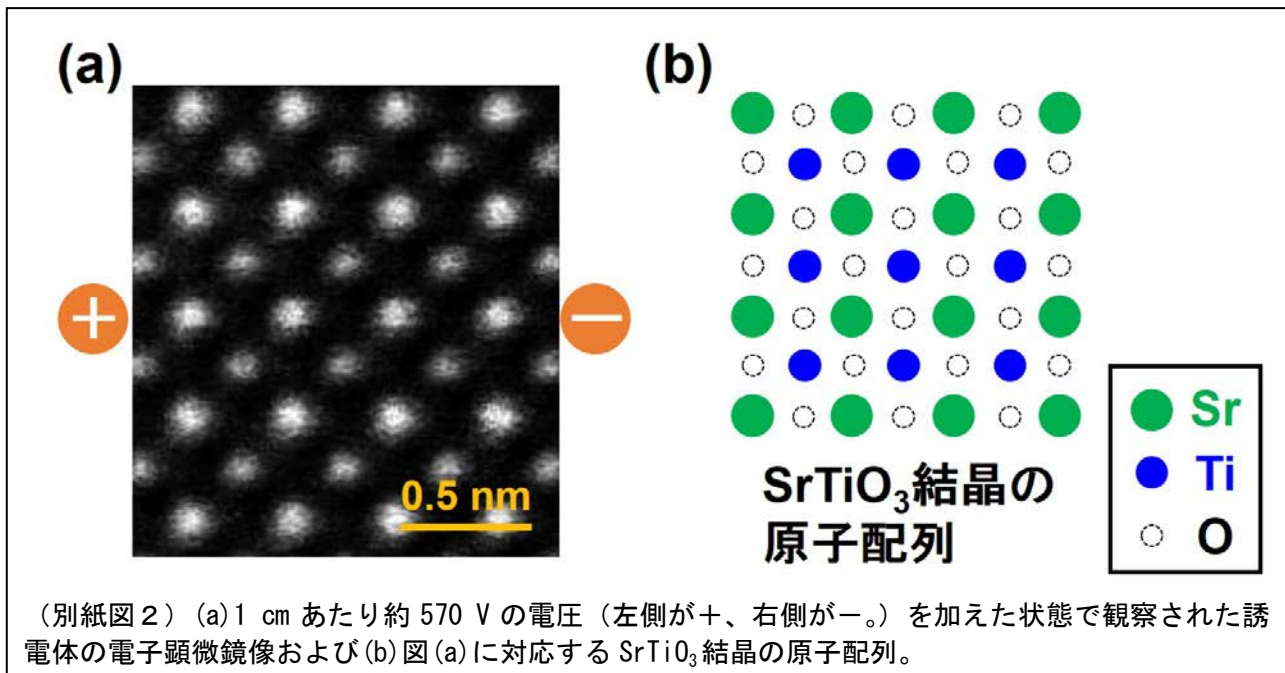
私たちの身の回りには非常に多くの電子デバイスが用いられています。その中の1つに電気を蓄える性質のある誘電体という材料があり、コンデンサ、センサ、メモリなど様々な電子デバイスとして用いられており、携帯電話やパーソナルコンピュータ、自動車など様々な製品に用いられています。

したがって、誘電体の材料開発は世界中で精力的に進められていますが、その際には、誘電体を実際使用している状態、すなわち、材料に電圧を加えている状態での材料構造を正確に観察して理解し、製品開発にフィードバックする必要があります。このような動作時の構造を解析する手段の1つとして、材料に電圧を加えながら電子顕微鏡による観察を行う「電圧印加その場電子顕微鏡法」があります。

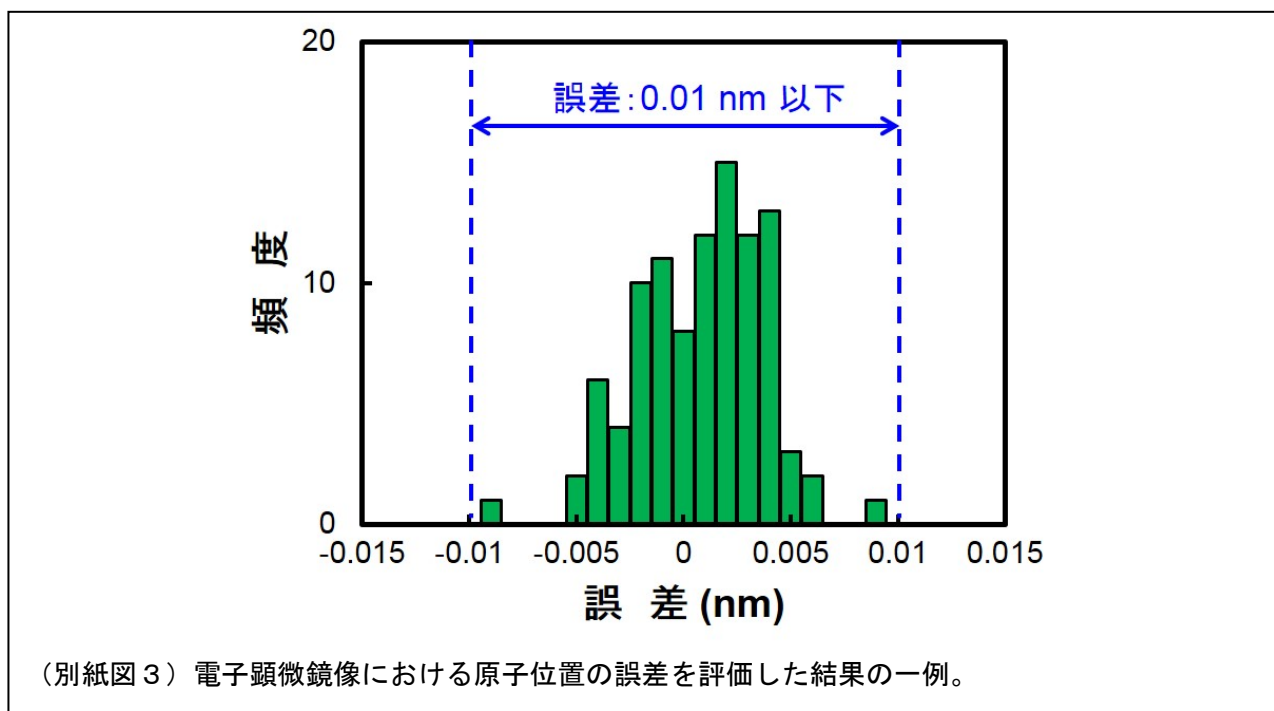
九州大学大学院工学研究院材料工学部門の佐藤幸生准教授の研究グループは、近年、「電圧印加その場電子顕微鏡法」(別紙図1)の確立および材料解析への適用を進めており、研究成果を発表してきました。(例えば、2011年に米国科学誌 Physical Review Letters 誌、日刊工業新聞、日経産業新聞に掲載など) しかしながら、従来の観察は良くても0.1nmスケールでの観察に留まっていました。



そこで、今回の研究では、株式会社メルビルと共同で専用の電子顕微鏡観察用試料ホルダーを制作するなどして、「電圧印加その場電子顕微鏡法」の高精度化を進め、代表的な誘電体の1つであるチタン酸ストロンチウム(化学式: SrTiO_3)をモデル材料として、原子分解能観察を行いました。実際に測定されたデータの一例を別紙図2に示しますが、1 cm あたり約 570 V の電圧を加えた状態で原子の配列を明瞭に観察することに成功しました。



このようにして測定された電子顕微鏡像において、Sr 原子同士の距離を評価することで原子位置の測定精度を見積もったところ、0.01 nm (10 pm) 以下の精度で原子位置が決定されていることが確認されました。(別紙図3) 多くの誘電体材料では、0.01 nm オーダーの原子移動で電気が蓄えられているとされておりますので、今後、「電圧印加その場電子顕微鏡法」を様々な誘電体に適用することで特性発現メカニズムの更なる詳細が解明されると期待されます。また、この手法は誘電体に限らずその他の各種電子デバイスにも適用可能で、例えば、電池材料やエネルギー関連材料においても特性発現メカニズムの解明をもたらすことが期待されます。



【本成果が発表された論文】

Yukio Sato, Takashi Gondo, Hiroya Miyazaki, Ryo Teranishi, and Kenji Kaneko,
“Electron microscopy with high accuracy and precision at atomic resolution: in-situ observation of a dielectric crystal under electric field”
Applied Physics Letters, 第 111 巻, 7 号, 2017 年.

【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若手研究(A)「原子分解能電圧印加その場 TEM 法による強誘電ドメインのダイナミクス」(課題番号:15H05545)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「強誘電体ナノ粒子の全領域原子位置解析」(課題番号:16K14389)の支援の下で行われました。