



研究課題名 原子膜技術による革新的蓄電デバイスの創成

名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授

おさだ みのる

長田 実

研究課題番号： 21H05015

研究者番号： 10312258

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 147,500千円

キーワード： 2次元材料、誘電体、原子膜技術、蓄電デバイス

【研究の背景・目的】

温室効果ガス排出削減、SDGs 達成など、環境・エネルギー分野の長中期的課題の解決には、蓄電デバイスのイノベーションが必要となる。誘電体を用いた蓄電キャパシタは、リチウム二次電池などの「化学電池」と異なり、充放電に化学反応を伴わず、高速充電、高出力密度など優れた特性を有するため、古くから究極の安全、全固体蓄電デバイスとして注目されてきた。しかしながら、誘電体キャパシタには、エネルギー密度が低い、すなわち一度に多くのエネルギーを蓄積できないという本質的問題点があり、これが実用化のネックとなっていた。

本研究では、革新的蓄電デバイスの開発を目指した試みとして原子膜技術を提案し、原子膜誘電体をベースとする高性能蓄電デバイスの開発を目指す。特に、研究代表者らが独自に開発してきた「分子レベルの厚さで巨大誘電率を示す高誘電性ナノシート」を対象に、原子層からナノ・メソスケールに至るマルチスケールな誘電材料・デバイスの開発を行うことで、2次元材料、ナノ誘電体の学理を探究し、最終的には、次世代蓄電デバイスを構成しうる革新的材料技術の開発につなげる（図1）。

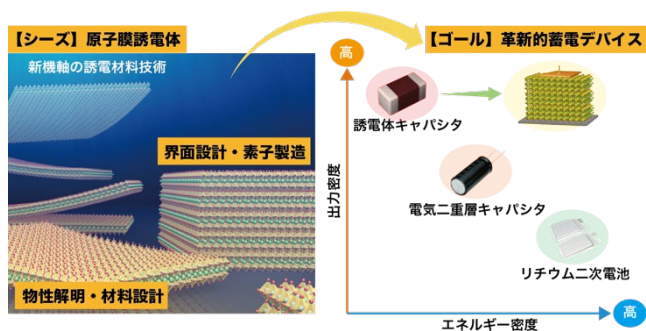


図1. 研究構想図

【研究の方法】

本研究構想にあたり、世界の誘電体蓄電研究（材料、構造、機能）を徹底的に調査した。その結果、本研究で対象とする高誘電性ナノシートは、表面歪みによる巨大分極（高誘電率化）とともに、量子サイズ効果によるワイドバンドギャップ化（高耐電圧化）が実現するという、他の誘電体に例を見ないユニークな特性が明らかになっている。また、さらなる高誘電率化 ($\epsilon_r >$

800) が実現すれば、リチウム二次電池に匹敵する高エネルギー密度 ($U > 10^3 \text{ J/cm}^3$) が実現可能というシーズの知見を獲得している。本研究では、これらのシーズの知見・技術を発展させ、従来の材料では実現できない誘電・蓄電機能を持つ材料・デバイスの開発と、それを推進するために必要な基礎研究を進める。

これまで開発してきた高誘電性ナノシート ($\text{Ca}_2\text{Na}_{m-3}\text{Nb}_m\text{O}_{3m+1}$; $m=3-6$) ($\epsilon_r=210\sim 470$) をモデルケースに、ナノ領域で実現する特異的誘電物性の機構解明と特性制御を実現し、蓄電デバイスに好適な高誘電率 (> 800) と高耐電圧を併せ持つ新規材料を開発する。さらに、ナノシートを1層ずつ精密集積する原子膜エンジニアリングにより、誘電体/電極界面を設計・制御した超薄膜キャパシタを構築し、従来の高誘電体、強誘電体で到達困難な高エネルギー密度の実現を目指す。以上、原子膜誘電体を対象に、物性解明、材料設計、界面設計、素子製造・評価など多角的な材料・デバイス研究を推進し、現行材料の性能限界を突破する革新的蓄電デバイスの開発につなげる。

【期待される成果と意義】

本研究のベースとなっている原子膜誘電体は研究代表者らオリジナルの材料であり、2次元材料分野における新技術として注目されている。本研究は蓄電デバイスが直面している課題に対して、材料・プロセスの基礎に戻って新たなコンセプトを創出しようとするものであり、このようなチャレンジ性の高いテーマこそが、次世代のエネルギー技術を下支えする革新的材料技術に発展するものと期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ Y. Shi, M. Osada *et al.*, “Single droplet assembly for two-dimensional nanosheet tiling”, *ACS Nano*, **14**, 15216–15226 (2020).
- ・ B-W. Li, M. Osada *et al.*, “Atomic layer engineering of high- k ferroelectricity in 2D perovskites”, *J. Am. Chem. Soc.* **139**, 10868–10874 (2017).
- ・ M. Osada and T. Sasaki, “Two-dimensional dielectric nanosheets: novel nanoelectronics from nanocrystal building blocks”, *Adv. Mater.*, **24**, 209–228 (2012).

【ホームページ等】

<https://mosada-lab-nagoya.com>
mosada@imass.nagoya-u.ac.jp