

「超空間制御に基づく高度な特性を有する革新的機能素材等の創製」
平成 27 年度採択研究代表者

H28 年度 実績報告書

一杉 太郎

東京工業大学物質理工学院
教授

界面超空間制御による超高効率電子デバイスの創製

§ 1. 研究実施体制

(1)「一杉(東工大)」グループ

- ① 研究代表者: 一杉 太郎 (東京工業大学物質理工学院、教授)
- ② 研究項目
 - ・微小極限における電気化学の妥当性の検証

(2)「一杉(東北大学)」グループ

- ① 研究代表者: 一杉 太郎 (東北大学原子分子材料科学高等研究機構、客員教授)
- ② 研究項目
 - ・新電子デバイスの実用化に向けた研究、動作原理の検証

(3)「渡邊」グループ

- ① 主たる共同研究者: 渡邊 聡 (東京大学大学院工学系研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・第一原理計算による、電圧記憶不揮発性メモリーの動作原理解明と材料最適化
 - ・量子力学に基づくナノ固体電気化学の構築

§ 2. 研究実施の概要

「固体中におけるイオン移動」を活用したデバイスの重要性が増している。これまでも、固体イオニクス分野において、センサーや電池(全固体 Li 電池、燃料電池)、ReRAM(抵抗変化メモリー)やアトムスイッチについての研究が盛んであった。そして、さらなる高機能化に向けて、イオン移動を精緻に制御して物性を引き出す研究が活発化し、エレクトロニクス応用を目指す研究が広がっている。これらの研究分野を総称して、“イオントロニクス”、あるいは、“Ionotronics”と呼び、新型メモリー、全固体 Li 薄膜電池、ニューロモルフィックデバイス、磁性の電圧制御、新型センサーなどの成果が出始めている。

本研究グループでは、上記の動きの中で、固体/固体界面の制御によるデバイス構築を先導してきた(Haruta, Hitosugi *et al.*, Nano Lett. (2015), Kasamatsu, Watanabe *et al.*, Adv. Mater. (2016)等)。本プロジェクトでは、そのような知見を活用し、新たな電子デバイス創製を目指している。

まずターゲットにしているのが、3種類の薄膜を積層したデバイス(Li 電極/固体電解質 Li_3PO_4 /Au 電極の縦型積層デバイス)におけるメモリー動作である。この積層デバイスの電極間に所定の電流を流すと、メモリー素子として働き、電圧記憶動作することを見出した。極めて小さな電荷量で記憶電圧の制御を行うことができることから、省電力・不揮発メモリーデバイスとなることが期待される。本デバイスはスパッタ装置を用いて、室温で作製することができる点で、半導体プロセスとの適合性が高い。しかし、下記の二点が昨年度の課題として挙げられていた。

1. 微小なデバイスにおける動作確認が必要
2. メカニズムの解明

そこで本年度、このメモリーデバイスについて深く検討し、実験、計算、論文作成を進めた(APL Materials 誌に掲載可となり、Editor's Pick に選ばれた)。そして、以下の成果を得た。

1. 小型デバイスを作製し(10 ミクロンサイズ)、メモリー動作することを確認した。したがって、本デバイスはサブミクロンサイズにおいても動作することが推察される。
2. Au 電極に Li が吸蔵されることが、デバイス動作の鍵だと当初考えていた。しかし、Li を吸蔵しない Ni 電極でも動作を確認することができ、動作メカニズムを考え直した。現在、極微量の Li が電極表面に付着することにより、標準電極電位が大きく変化することがメモリー動作メカニズムであると考えている。
3. 理論計算により、 Li_3PO_4 層において Au 電極との界面近傍で Li 濃度が高くなること、および、電圧印加による Li 濃度変化の領域は数 nm の範囲にとどまることを明らかにした。Au 電極と Ni 電極の場合に、どのような Li 配置が高電位状態・低電位状態に対応するか、具体的なモデルを絞り込み、提案することができた。