

第79回応用物理学会秋季学術講演会  
薄膜・表面分科企画シンポジウム 2018年9月18日(火)

## 超スマート社会に向けての固体イオニクスデバイス ～基礎から情報通信、人工知能、電池への応用まで～

世話人：寺部 一弥 (NIMS)、木下 健太郎 (東京理科大)、鶴岡 徹 (NIMS)  
秋永 広幸 (産総研)、新宮原 正三 (関西大)、田中 啓文 (九工大)、樋口 徹 (東京理科大)

情報通信機器の目覚ましい発展により、社会生活や経済活動は日々大きく変化している。今後も更なる情報通信機器などの発展により、世界に先駆けての「超スマート社会」の実現が国を挙げて求められている。その実現には、それを支える基盤技術である情報通信技術 (ICT) デバイス、人工知能 (AI) デバイス、エネルギーデバイスなどの革新的な進歩が不可欠である。これまで、ICT デバイスや AI デバイスの進歩は主に半導体トランジスタを代表とするエレクトロニクスデバイスにより、また、エネルギーデバイスの進歩は電解液を使用した溶液型電池などによって支えられてきた。近年、革新的進歩を可能にするそれらのデバイスとして、固体イオニクスデバイスが注目されている。例えば、ICT デバイスや AI デバイスとしての原子スイッチは、半導体デバイスとは全く異なる原理で動作するイオニクスデバイスであり、エレクトロニクスデバイスでは得られない性能や機能を実現できることがわかってきた。また、エネルギーデバイスとしての全固体電池は、電解液を使用しないため液漏れや発火などが生じず、しかも高エネルギー密度などが実現できることがわかってきた。本シンポジウムは、電子物性を専門とする多くの応用物理学会員の方に、今後の実現が期待されている高度情報化社会のためには、エレクトロニクスデバイスの更なる開発研究だけでなく、イオン物性を基礎とする固体イオニクスデバイスの開発研究も重要であることを紹介するとともに、幅広い分野の方々との学際的な議論を深めることを目的として開催した。

下記のように、シンポジウムは 14 件の講演によって編成され、その内訳は 11 件が招待講演、3 件が一般講演である。講演テーマは、講演順に固体イオニクスの総論 (3 件)、原子スイッチ (1 件)、全固体電池 (3 件)、ニューロデバイス (3 件)、X 線吸収分光法による解析 (1 件)、ダイポール効果 (1 件)、新規イオニクスデバイス (1 件) である。

1. 電子が動くエレクトロニクスから原子も動くエレクトロニクスへ  
青野 正和 (NIMS) (招待講演)
2. Function through Defects: From Solid State Ionics to Energy Research  
Joachim Maier (Max Planck Institute For Solid State Research) (招待講演)
3. 固体イオニクスを基盤とするナノイオニクスフロンティア：イオニックヘテロジャンクション  
山口 周 (東京大) (招待講演)

4. 原子スイッチを用いた不揮発プログラマブルロジック  
根橋 竜介、伴野 直樹、宮村 信、森岡 あゆ香、白 旭、岡本 浩一郎、井口 憲幸、  
沼田 秀昭、波田 博光、杉林 直彦、阪本 利司、多田 宗弘 (NEC) **(招待講演)**
5. 固体電池における界面と電池性能  
高田 和典 (NIMS) **(招待講演)**
6. 全固体リチウム電池はすべて固体でできているので固体物理で理解できるはず!?  
固体電解質-電極界面研究から見た課題と展望  
一杉 太郎、西尾 和紀、清水 亮太 (東工大) **(招待講演)**
7. 固体電解質  $\text{Li}_7\text{TaO}_6$  中の Li 拡散の第一原理計算による解析  
池田 稔, 大野 隆央, 三石 和貴 (NIMS)、濱寄 容丞、植田 紘一郎、稲熊 宜之 (学習院大)
8. イオンの拡散と酸化還元反応を利用したニューロデバイス  
長谷川 剛 (早稲田大) **(招待講演)**
9. 脳型ハードウェア実現へ向けた抵抗変化素子の応用  
西 義史、丸亀 孝生、ベルダン ラドゥ (東芝研開セ) **(招待講演)**
10. 動作電圧制御による  $\text{TaO}_x$  抵抗変化素子のアナログ抵抗変化特性の向上  
島 久、高橋 慎、内藤 泰久、秋永 広幸、(産総研ナノエレ部門)
11. 固体イオニクスデバイスにおける反応解析のための放射光オペランド計測  
雨澤浩史 (東北大) **(招待講演)**
12. 軟 X 線吸収分光と第一原理計算による  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  の酸素 p 軌道ホール観察  
丹羽 秀治, 東山 和幸, 天羽 薫, 小林 航, 守友 浩 (筑波大)
13. 酸化物絶縁膜界面に出現するダイポール層の理解・制御とその応用  
喜多 浩之 (東京大) **(招待講演)**
14. 固体イオニクスを基盤とする新機能ナノデバイスの創製  
土屋 敬志、鶴岡 徹、寺部 一弥、青野 正和 (NIMS) **(招待講演)**

シンポジウムは、秋季学術講演会の初日(18日)の午前と午後にかけて開催した。最初の固体イオニクス総論に関する講演において、青野氏(NIMS)は、原子スイッチの開発研究の足取りを紹介することにより、原子が動くエレクトロニクスから原子も動くエレクトロニクスへと新しい技術を切り拓くことの重要性を述べた。マイヤー氏(マックスプランク研究所)は、全固体電池などの固体イオニクスデバイスの開発研究を行うためには、ヘテロ界面でのイオン移動による欠陥構造の知見が不可欠であり、その影響を十分に理解した上でのデバイス設計が必要であることを述べた。山口氏(東京大)は、固体イオニクスデバイスの開発研究に不可欠であるヘテロ界面物性の理解が十分でなく、その解明のためには固体の欠陥化学と固体電気化学を基盤とする固体イオニクスの学理を究める重要性を説いた。次に、原子スイッチに関する講演では、根橋氏(NEC)は、原子スイッチを搭載したフィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)の実用化研究の現状について報告した。全固体電池に関する講演では、高田氏(NIMS)は固体電池の出力性

能は、イオン伝導体と他の物質が接触したヘテロ界面でのイオニクス現象の影響が大きく、その制御方法として  $\text{LiNbO}_3$  などの被覆膜が有効であることを紹介した。一杉氏(東工大)は、半導体物理の知見に基づく酸化物界面物性の研究とこれまでの全固体 Li 電池の研究との交差点から、電池材料のヘテロ界面に関わる新しい固体物理、固体化学、電気化学分野を切り拓いて行くことの重要性を説いた。池田氏(NIMS)は、固体電解質  $\text{Li}_7\text{TaO}_6$  の高温相と低温相での活性化エネルギーと熱力学性質について第一原理計算による解析結果を報告した。また、ニューロデバイスに関する講演では、長谷川氏(早稲田大)は、分子膜をギャップ層に利用した新規の原子スイッチを利用することにより、微細加工技術によって容易に優れた脳型機能を有するニューロデバイスが構築できることを示した。西氏(東芝)は、金属酸化物による抵抗変化素子を利用したニューロデバイスの開発状況を報告して、今後、抵抗変化素子の抵抗ばらつきや動作の確立性の議論が益々重要になってくると述べた。島氏(産総研)は、ニューロデバイスとして利用が可能である  $\text{TaOx}$  抵抗変化素子において、Set や Reset 操作時のアナログ抵抗変化特性が適切な電圧印加条件によって向上できることを報告した。X 線吸収分光法による解析に関する講演では、雨澤氏(東北大)は、燃料電池や全固体電池の動作時における電気化学反応の状態を直接に把握することを可能にする放射光 X 線オペランド計測に関する最近の取り組みについて紹介した。丹羽氏(筑波大)は、 $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  の電子状態を軟 X 線吸収分光法により調べ、第一原理計算との比較から Na 組成と酸素電子状態の相関を報告した。ダイポール効果に関する講演では、喜多氏(東京大)は、酸化物絶縁体界面における酸素イオンの分布変化によって生じるダイポール効果が物性に大きく影響するため、その制御がデバイスの設計において重要であることを述べた。最後に、新規イオニクスデバイスに関する講演では、土屋氏(NIMS)は、局所的なイオン移動の制御によって、意思決定デバイス、可変超伝導転移温度デバイス、可変磁気特性デバイスなど様々な機能を有するナノイオニクスデバイスが創製できることを報告した。

シンポジウムの聴講者は約 150 名であり、最大時では 180 名以上に達して立ち見も出る程に活況を呈した。さらに、シンポジウム後に講演者と世話人を含む懇親会を催し、活発な議論が引き続き行なわれた。本シンポジウムを通して、電子物性を専門する研究者とイオン物性を専門とする研究者との学際的な議論を深める機会やネットワークづくりに貢献できたと思います。このシンポジウムを弾みにして、今後、固体イオニクス分野が次世代の超スマート社会の実現に貢献することになれば幸いです。