

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05256

研究課題名（和文）全固体Li電池における超低抵抗界面創成：原子スケールで制御されたモデル界面構築

研究課題名（英文）Fabrication of atomically controlled interfaces with extremely low interfacial resistance in all-solid-state Li batteries

研究代表者

西尾 和記（Nishio, Kazunori）

東京工業大学・物質理工学院・特任准教授

研究者番号：60805117

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：全固体Li電池における硫化物固体電解質と正極間の界面抵抗の起源を解明するために、清浄かつ原子レベルで規定された理想モデル界面を形成し定量的に研究した。そのため、硫化物固体電解質Li₃PS₄と様々な正極材料における界面抵抗を定量的に評価した。LiCoO₂、NCA、LNMOなどの正極に対し、Li₃PS₄と界面を形成すると、正極側へSの拡散に伴う化学反応層が形成されることを元素分析から確認した。そして、そのような化学反応層の形成に伴い極めて高い界面抵抗を示し、電池動作しなかった。これらの結果から、界面抵抗の起源は、硫化物固体電解質と正極が接した際に形成される化学反応層であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに硫化物固体電解質と正極間の界面抵抗の起源として空間電荷層、化学もしくは電気化学的に生成される反応層などが提唱されコンセンサスが得られていなかった。しかし、本研究によって理想的な清浄な界面を形成した場合に、界面抵抗の起源が化学反応層の生成に由来することを明らかにできた。起源を明らかにすることで、抵抗起源となる反応層生成を抑制するための界面設計を能動的に行うことが可能となる。さらに、反応層を抑制して低抵抗な界面を構築できることも実証できたことから、高速充放電できる全固体Li電池の向けて重要な知見が得られた。

研究成果の概要（英文）：In this study, an ideal model interface with a clean and atomically well-defined interface structure was formed and quantitatively studied to elucidate the origin of the interface resistance between the sulfide solid electrolyte and the positive electrode in all-solid-state Li batteries.

The quantitative evaluation of the interface resistance between Li₃PS₄ and various cathode materials, including LiCoO₂ and LiNi_{0.8}Co_{0.15}Al_{0.05}O₂, revealed a crucial finding. We confirmed that the formation of the interface with Li₃PS₄ leads to a chemical reaction layer with S diffusion to the positive electrode side. This layer, in turn, results in an extremely high interfacial resistance, rendering the battery inoperable. These results underscore the importance of understanding the chemical reaction layer as the origin of the interface resistance, which could pave the way for improving the performance of all-solid-state Li batteries.

研究分野：固体物理、固体化学、全固体電池

キーワード：超低抵抗界面 全固体Li電池 硫化物固体電解質 - 正極界面 清浄界面 薄膜型電池 エピタキシャル薄膜

1. 研究開始当初の背景

次世代型蓄電デバイスとして重要な全固体リチウム(Li)電池を実用化させるために、さらなる高性能化が要求されている。その高性能化の鍵は、固体電解質/電極間の界面抵抗を低減することにある。特に重要なことは、界面にナノ層を導入することで界面抵抗を低減することにある。これまでに、実用化が期待される超イオン伝導体硫化物固体電解質と電極の界面にナノ層を導入して電池動作を改善させることが報告されてきた。しかし、界面抵抗起源やナノ層導入による界面抵抗低減のメカニズムは明らかにされてこなかった。その要因として、実用型の粉末電池材料を利用したバルク型全固体電池では、複雑な界面構造を有していることに加えて、埋もれた界面の情報を評価することの困難さがある。

2. 研究の目的

本研究では、原子レベルで平坦かつ結晶方位が規定できるエピタキシャル薄膜を活用し、定量的に界面抵抗を評価できる硫化物固体電解質/電極モデル界面を創成する。そして、界面抵抗起源となる界面の構造や構成元素の電子状態を明らかにする。さらに、界面に導入するナノ層の材料選択や厚みを調整し、 $10 \Omega\text{cm}^2$ 以下の超低抵抗界面形成を達成する。これにより、ナノ層導入による硫化物系固体電解質/電極間の超低抵抗界面設計指針を構築して実用研究にフィードバックする。

3. 研究の方法

理想的な界面を形成するために、全真空プロセスシステムを活用して大気に曝露することなく薄膜型全固体 Li 電池の作製から評価まで行った。これにより、不純物の影響を受けずに界面抵抗の起源を定量的に評価可能とした。正極として、代表的な LiCoO_2 や実用型の $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$ (NCA) に着目し、 Li_3PS_4 硫化物固体電解質との界面を定量的に評価した。次に、全固体 Li 電池の高エネルギー密度化を可能とする 5 V 級正極の $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ に着目し、 Li_3PS_4 と形成する界面における抵抗を定量評価した。これらの正極と Li_3PS_4 の界面に、電池動作を改善できるとして知られている Li_3PO_4 や LiNbO_3 をナノ層として導入し、電池特性を定量的に評価した。

4. 研究成果

(1) LiCoO_2 正極

$\text{LiCoO}_2(001)$ エピタキシャル薄膜を活用することで、図 1 (a) に示す薄膜電池を作製した。そして、界面抵抗を電気化学インピーダンス分光法によって定量評価した。図 1(b) に電池動作を行う前の Li_3PS_4 - $\text{LiCoO}_2(001)$ 界面構造の HAADF-STEM 像を示す。 Li_3PS_4 の S が LiCoO_2 側へ拡散し、界面に新たに化学反応で生成された層を確認した。そして、界面抵抗は $3.5 \times 10^4 \Omega\text{cm}^2$ を示し、電池動作しなかった。次に、 Li_3PS_4 - $\text{LiCoO}_2(001)$ 界面に Li_3PO_4 ナノ層(厚さ 10 nm)を導入して薄膜電池を作製した(図 1c) すると、界面抵抗が $1/2,800$ 低減し $12.6 \Omega\text{cm}^2$ を示し、電池が正常に動作した。このように、 Li_3PS_4 - LiCoO_2 間の高い界面抵抗の起源は化学反応層に由来することを明らかにした。そのような化学

反応層は、 Li_3PO_4 ナノ層を導入することによって抑制できることを明らかにした。そして、極めて低い界面抵抗を実現するために、原子レベルで秩序だった界面構造を維持させることが界面設計において重要であることを見出した。 LiNbO_3 の場合も同様に、 LiNbO_3 の電気抵抗が絶縁体の場合、化学反応層の形成を抑制して電池が正常に動作することを明らかにした。

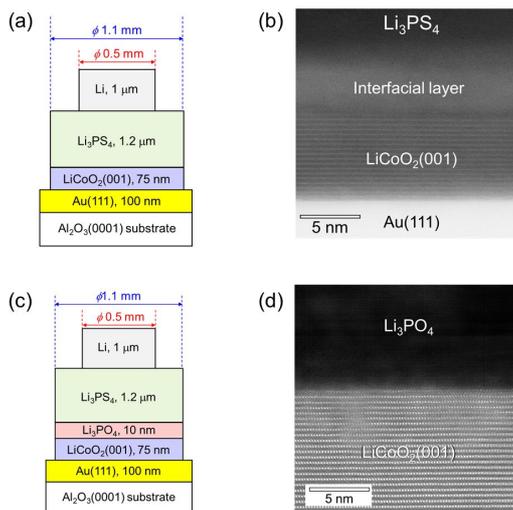


図 1. (a) 薄膜電池 . (b) Li_3PS_4 - $\text{LiCoO}_2(001)$ 界面の断面像 . (c) Li_3PO_4 ナノ層を導入した薄膜電池 . (d) Li_3PO_4 - $\text{LiCoO}_2(001)$ 界面の断面像.

(2) NCA 正極

次に、実用型正極材料の NCA に着目して Li_3PS_4 との界面抵抗を定量評価した。その際、図 2 (a)に示すように、 SrTiO_3 単結晶基板の異なる結晶方位を利用して、NCA(001)と NCA(104)の結晶方位を制御してエピタキシャル薄膜を作製した。図 2 (b,c)に電池動作させる前の Li_3PS_4 -NCA(104)界面の HAADF-STEM 像を示す。 Li_3PS_4 と界面を形成すると、化学反応層が形成される。NCA(001)の場合も同様に化学反応層を形成する。そして、極めて高い界面抵抗 ($> 3 \times 10^5 \Omega\text{cm}^2$) のために電池動作しない。しかし、NCA(104)との界面に Li_3PO_4 ナノ層を導入すると、化学反応層の生成を抑制する (図 2(d))、そして、界面抵抗は劇的に低減し ($5.5 \Omega\text{cm}^2$)、電池動作する。これらの結果は $\text{LiCoO}_2(001)$ と同様であり、さらに、2 種類の NCA 結晶方位に対して化学反応層の生成を確認できたことから、硫化物固体電解質と正極間の化学反応層の生成は結晶方位に依存しない普遍的な現象であることを示す結果が得られた。

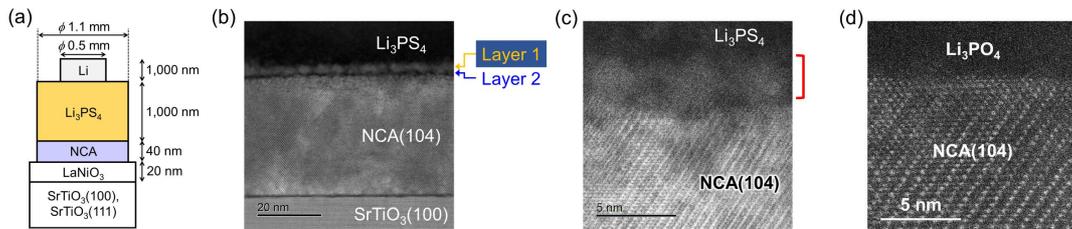


図 2. (a)薄膜電池模式図 . HAADF-STEM 像 : (b) Li_3PS_4 -NCA(104)界面 . (c)は(b)の拡大図 . 赤枠は化学反応層の領域を示している . (d) Li_3PS_4 - Li_3PO_4 -NCA(104)界面 .

(3) 5V 級 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.4}\text{O}_4$ 正極

$\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 正極と Li_3PS_4 の界面を形成して薄膜電池を作製し、電池特性を評価した。 Li_3PS_4 界面抵抗が極めて高い ($4 \times 10^5 \Omega\text{cm}^2$) ために、電池動作しなかった。しかし、 Li_3PO_4 緩衝層を導入 (図 3(a)) することで、その界面抵抗を $< 10 \Omega\text{cm}^2$ に低減し電池動作した。一方で、 30 mAcm^2 以上の高速充放電を行うと不安定な電池動作を示すことが明らかとなった (図 3(b))。この際、 $\text{Li} - \text{Li}_3\text{PS}_4$ 界面に見た目で分かる変質が生じていた (図 3(c))。このことから、高速に Li イオン伝導を行うと、負極側の界面が不安定化することが分かった。それに対し、 Li_3PO_4 や Pt ナノ層を導入 (図 3(d)) することで、 $\text{Li} - \text{Li}_3\text{PS}_4$ 界面の不安定な挙動を改善し、 30 mAcm^2 の電流密度においても安定して高速充放電できることを見出した (図 3(e,f))。これらの結果から、高エネルギー密度化できる 5V 級正極を利用した全固体 Li 電池の高速充放電には、負極側の界面に対しても電気化学的に堅牢な界面設計をすることが重要であることを明らかにした。

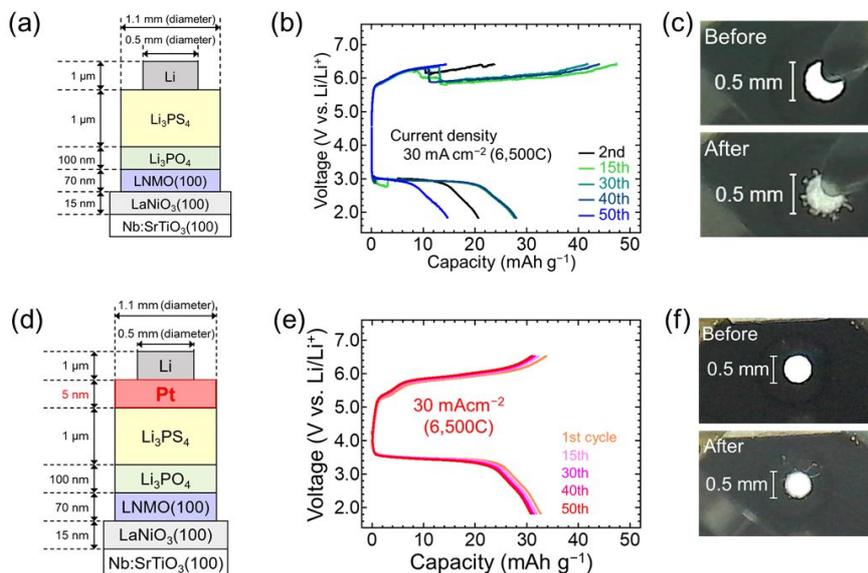


図 3 . (a)薄膜電池模式図 . (b)高速充放電サイクル試験 . (c)充放電試験前後の Li 金属の形状 . (d) Li - Li_3PS_4 界面に Pt ナノ層を導入した薄膜電池 . (e)安定化した高速充放電サイクル特性 . (f)充放電試験前後の Li 金属の形状 .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Leon Romano Brandt, Kazunori Nishio, Enrico Salvati, Kevin P. Simon, Chrysanthi Papadaki, Taro Hitosugi, Alexander M. Korsunsky	4. 巻 26
2. 論文標題 Improving ultra-fast charging performance and durability of all solid state thin film Li-NMC battery-on-chip systems by in situ TEM lamella analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 APPLIED materialstoday	6. 最初と最後の頁 101282
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.apmt.2021.101282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Shigeru Kobayashi, Elvis F. Arguelles, Tetsuroh Shirasawa, Shusuke Kasamatsu, Koji Shimizu, Kazunori Nishio, Yuki Watanabe, Yusuke Kubota, Ryota Shimizu, Satoshi Watanabe, Taro Hitosugi	4. 巻 14
2. 論文標題 Drastic Reduction of the Solid Electrolyte?Electrode Interface Resistance via Annealing in Battery Form	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials and Interfaces	6. 最初と最後の頁 2703
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acscami.1c17945	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kaidong Wang, Kazunori Nishio, Koji Horiba, Miho Kitamura, Kurei Edamura, Daisuke Imazeki, Ryo Nakayama, Ryota Shimizu, Hiroshi Kumigashira, Taro Hitosugi	4. 巻 22
2. 論文標題 Synthesis of high-entropy layered oxide epitaxial thin films: LiCr _{1/6} Mn _{1/6} Fe _{1/6} Co _{1/6} Ni _{1/6} Cu _{1/6} O ₂	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Crystal Growth and Design	6. 最初と最後の頁 1116
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.cgd.1c01076	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kazunori Nishio, Daisuke Imazeki, Kosuke Kurushima, Yuki Takeda, Kurei Edamura, Ryo Nakayama, Ryota Shimizu, Taro Hitosugi	4. 巻 14
2. 論文標題 Immense Reduction in Interfacial Resistance between Sulfide Electrolyte and Positive Electrode	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials and Interfaces	6. 最初と最後の頁 34620
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acscami.2c05896	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jun Deng, Kazunori Nishio, Satoru Ichinokura, Yuki Watanabe, Kurei Edamura, Ryo Nakayama, Ryota Shimizu, Toru Hirahara, Taro Hitosugi	4. 巻 5
2. 論文標題 Modifying the Interface between the Solvated Ionic Liquid Electrolyte and Positive Electrode to Boost Lithium-Ion Battery Performance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 10891
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.2c01533	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shigeru Kobayashi, Kazunori Nishio, Markus Wilde, Katsuyuki Fukutani, Ryota Shimizu, Taro Hitosugi	4. 巻 127
2. 論文標題 Protons inside the LiCoO ₂ electrode largely increase electrolyte-electrode interface resistance in all-solid-state Li batteries	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 4684-4688
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c06620	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kaidong Wang, Kazunori Nishio, Koji Horiba, Miho Kitamura, Kurei Edamura, Daisuke Imazeki, Ryo Nakayama, Ryota Shimizu, Hiroshi Kumigashira, and Taro Hitosugi	4. 巻 22
2. 論文標題 Synthesis of High-Entropy Layered Oxide Epitaxial Thin Films: LiCr _{1/6} Mn _{1/6} Fe _{1/6} Co _{1/6} Ni _{1/6} Cu _{1/6} O ₂	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Crystal Growth and Design	6. 最初と最後の頁 1116-1122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.1c01076	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shigeru Kobayashi, Elvis F. Arguelles, Tetsuroh Shirasawa, Shusuke Kasamatsu, Koji Shimizu, Kazunori Nishio, Yuki Watanabe, Yusuke Kubota, Ryota Shimizu, Satoshi Watanabe, and Taro Hitosugi	4. 巻 14
2. 論文標題 Drastic Reduction of the Solid Electrolyte and Electrode Interface Resistance via Annealing in Battery Form	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials and Interfaces	6. 最初と最後の頁 2703-2710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaami.1c17945	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Leon Romano Brandt, Kazunori Nishio, Enrico Salvati, Kevin P. Simon, Chrysanthi Papadaki, Taro Hitosugi, Alexander M. Korsunsky	4. 巻 26
2. 論文標題 Improving ultra-fast charging performance and durability of all solid state thin film Li-NMC battery-on-chip systems by in situ TEM lamella analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Materials Today	6. 最初と最後の頁 101282(1-9)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apmt.2021.101282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kazunori Nishio, Satoru Ichinokura, Akitaka Nakanishi, Koji Shimizu, Yasutaka Kobayashi, Naoto Nakamura, Daisuke Imazeki, Ryota Shimizu, Toru Hirahara, Satoshi Watanabe, and Taro Hitosugi	4. 巻 21
2. 論文標題 Ionic Rectification across Ionic and Mixed Conductor Interfaces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 10086-10091
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.1c03872	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryo Nakayama, Kazunori Nishio, Daisuke Imazeki, Naoto Nakamura, Ryota Shimizu, and Taro Hitosugi	4. 巻 21
2. 論文標題 Relaxation of the Interface Resistance between Solid Electrolyte and 5 V-Class Positive Electrode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 5572-5577
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.1c01059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryoma Sasaki, Makoto Moriya, Yuki Watanabe, Kazunori Nishio, Taro Hitosugi, Yoshitaka Tateyama	4. 巻 9
2. 論文標題 Peculiarly fast Li-ion conduction mechanism in a succinonitrile-based molecular crystal electrolyte: a molecular dynamics study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 14897-14903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TA02809J	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazunori Nishio, Tetsuroh Shirasawa, Koji Shimizu, Naoto Nakamura, Satoshi Watanabe, Ryota Shimizu, and Taro Hitosugi	4. 巻 13
2. 論文標題 Tuning the Schottky Barrier Height at the Interfaces of Metals and Mixed Conductors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials and Interfaces	6. 最初と最後の頁 15746-15754
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c18656	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計32件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Jun Deng, Kazunori Nishio, Yuki Watanabe, Kurei Edamura, Ryota Shimizu, Taro Hitosugi
2. 発表標題 Low resistance at interface of [LiG4][TFSA] ionic liquid and LiCoO ₂ (001) positive electrode by introducing Li ₃ PO ₄ buffer layer
3. 学会等名 E-MRS 2022 Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Asuka Oi, Kazunori Nishio, Kurei Edamura, Yuki Takeda, Ryo Nakayama, Ryota Shimizu, Taro Hitosugi
2. 発表標題 Quantitative investigation of the interface resistance at Li ₃ PS ₄ solid electrolyte and LiNi _{0.5} Mn _{1.5} O ₄ positive electrode
3. 学会等名 21st International Meeting on Lithium Batteries (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jun Deng, Kazunori Nishio, Yuki Watanabe, Kurei Edamura, Ryota Shimizu, Taro Hitosugi
2. 発表標題 Impact of counter anion of ionic liquid electrolytes on battery performance
3. 学会等名 21st International Meeting on Lithium Batteries (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazunori Nishio, Daisuke Imazeki, Kosuke Kurushima, Yuki Takeda, Ryo Nakayama, Ryota Shimizu, Taro Hitosugi
2. 発表標題 Quantitative Investigation of the Resistances at the Interfaces of Sulfide Electrolytes and Positive Electrodes
3. 学会等名 23rd International Conference on Solid State Ionics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大井 あすか、西尾 和記、枝村 紅依、武田 祐希、小林 成、中山 亮、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題 5 V級全固体Li電池における負極 - 硫化物固体電解質間の界面修飾による界面抵抗低減
3. 学会等名 2022年電気化学秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鄭 瑞杰、渡邊 佑紀、小林 成、中山 亮、西尾 和記、守谷 誠、一杉 太郎
2. 発表標題 Improved battery performance by controlling Li(FSA)(SN) ₂ Electrolyte/positive electrode interface
3. 学会等名 2022年電気化学秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大井 あすか、西尾 和記、枝村 紅依、武田 祐希、小林 成、中山 亮、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題 5 V級全固体Li電池における負極 - 硫化物固体電解質界面への緩衝層導入による電池性能改善
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西尾 和記、武田 祐希、久留島 康輔、今関 大輔、枝村 紅依、大井 あすか、小林 成、中山 亮、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題 全固体Li電池における界面研究：電子状態制御されたLiNbO ₃ 緩衝層の導入効果
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大井 あすか、西尾 和記、枝村 紅依、武田 祐希、小林 成、中山 亮、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題 5 V級全固体Li電池における硫化物固体電解質 - 電極界面研究：緩衝層導入による電池性能の改善
3. 学会等名 第48回固体イオニクス討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西尾 和記、Jun Deng、一ノ倉 聖、渡邊 佑紀、枝村 紅依、中山 亮、清水 亮太、平原 徹、一杉 太郎
2. 発表標題 イオン液体電解質 - LiCoO ₂ 電極界面抵抗の定量研究：Li ₃ P ₀₄ 緩衝層の導入による界面抵抗低減
3. 学会等名 第48回固体イオニクス討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鄭 瑞杰、小林 成、渡邊 佑紀、Deng Jun、中山 亮、西尾 和記、清水 亮太、守谷 誠、一杉 太郎
2. 発表標題 Electrochemically stable interface of Li(FSA)(SN) ₂ molecular crystal solid electrolyte and 5 V-class LiNi _{0.5} Mn _{1.5} O ₄ positive electrode
3. 学会等名 第48回固体イオニクス討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大井 あすか、西尾 和記、枝村 紅依、武田 祐希、中山 亮、小林 成、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題 Li3PO4固体電解質 - LiNi0.5Mn1.5O4正極界面抵抗の電圧・時間依存性
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石田 晃一、鄧 俊、西尾 和記、渡邊 祐紀、枝村 紅依、中山 亮、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題 グライム系Li溶媒和イオン液体電解質とLiCoO2電極における界面抵抗の定量研究
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 武田 祐希、西尾 和記、今関 大輔、枝村 紅依、中山 亮、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題 薄膜型モデル全固体Li電池を用いた硫化物系固体電解質Li3PS4/正極LiCoO2界面の研究
3. 学会等名 第62回電池討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田 祐希、西尾 和記、今関 大輔、枝村 紅依、中山 亮、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題 薄膜型全固体Li電池を活用したLi3PS4固体電解質-LiCoO2正極における界面抵抗起源の研究
3. 学会等名 第47回固体イオニクス討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木 遼馬、守谷 誠、渡邊 佑紀、西尾 和記、一杉 太郎、館山 佳尚
2. 発表標題 分子動力学法による $\text{Li}_2\text{N}(\text{SO}_2\text{F})_2(\text{NCCH}_2\text{CH}_2\text{CN})_2$ 有機結晶電解質の高速リチウムイオン伝導機構の解明
3. 学会等名 第62回電池討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小松 遊矢、清水 亮太、ピルデ マーカス、西尾 和記、福谷 克之、一杉 太郎
2. 発表標題 NaOH 水溶液中電場印加による YOxHy 薄膜の金属-絶縁体転移
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林 成、堀場 弘司、北村 未歩、西尾 和記、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題 軟X線吸収分光を用いた薄膜全固体Li電池のオペランド観察
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田 祐希、西尾 和記、今関 大輔、枝村 紅依、中山 亮、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題 硫化物系固体電解質を利用した薄膜型全固体Li電池における界面研究
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jun Deng; Kazunori Nishio; Yuki Watanabe; Ryota Shimizu; Taro Hitosugi
2. 発表標題 A Quantitative Study of The Resistance at The Interface of LiCoO ₂ Electrode and [Li(G4)][TFSA] Ionic Liquid Electrolyte
3. 学会等名 2021年 電気化学秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Seoungmin Chon; Ryota Shimizu; Yuki Sugisawa; Shigeru Kobayashi; Kazunori Nishio; Markus Wilde; Daiichiro Sekiba; Katsuyuki Fukutani; Taro Hitosugi
2. 発表標題 Selective fabrication of Ca ₂ NH and CaNH epitaxial thin films using reactive magnetron sputtering
3. 学会等名 The 82nd JSAP Autumn Meeting
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河口 祐飛、中山 亮、Chon Seoungmin、笹原 悠輝、清水 亮太、西尾 和記、大口 裕之、Kim Sangryun、折茂 慎一、一杉 太郎
2. 発表標題 赤外バルスレーザー堆積法を用いたNaBH ₄ エピタキシャル薄膜の合成
3. 学会等名 第8回ハイドロジェノミクス若手育成スクール
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笹原 悠輝、廣瀬 隆、松井 直喜、柿木園 拓矢、鈴木 耕太、平山 雅章、中山 亮、西尾 和記、菅野 了次、清水 亮太、小林 玄器、一杉 太郎
2. 発表標題 H ₂ 伝導性酸水素化物La ₂ LiH ₃ O ₃ のエピタキシャル薄膜合成
3. 学会等名 第8回ハイドロジェノミクス若手育成スクール
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	Yuya Komatsu; Jun Sugiyama; Ryota Shimizu; Kazunori Nishio; Masahiro Miyauchi; Markus Wilde; Katsuyuki Fukutani; Ryan McFadden; Martin Dehn; Victoria Karner; Derek Fujimoto; John Ticknor; Aris Chatzichristos; Monika Stachura; David Cortie; Gerald Morris; Dr. Iain McKenzie; W MacFarlane; Taro Hitosugi
2. 発表標題	Photo-induced hydrogen diffusion in yttrium oxy-hydride epitaxial thin films
3. 学会等名	Pacificchem2021 (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Ryoma Sasaki; Makoto Moriya; Yuki Watanabe; Kazunori Nishio; Taro Hitosugi; Yoshitaka Tateyama
2. 発表標題	Molecular Dynamics Study of Peculiarly High Li-Ion Conductivity in $\text{Li}(\text{N}(\text{SO}_2\text{F})_2)(\text{NCCH}_2\text{CH}_2\text{CN})_2$ Molecular Crystal
3. 学会等名	2021 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Kazunori Nishio; Tetsuroh Shirasawa; Koji Shimizu; Naoto Nakamura; Ryota Shimizu; Satoshi Watanabe; Taro Hitosugi
2. 発表標題	Tuning Schottky Barrier Height at the Interface of Metal and Mixed Conductor
3. 学会等名	2021 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Yuki Watanabe; Kenjiro Tanaka; Kazunori Nishio; Ryo Nakayama; Ryota Shimizu; Makoto Moriya; Taro Hitosugi
2. 発表標題	Fabrication and Characterization of Solid-State Li Batteries Using $\text{Li}(\text{N}(\text{SO}_2\text{F})_2)(\text{NCCH}_2\text{CH}_2\text{CN})_2$ Molecular Crystalline Electrolyte and LiCoO_2 Thin-Film Electrode
3. 学会等名	2021 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Ryoma Sasaki; Makoto Moriya; Yuki Watanabe; Kazunori Nishio; Taro Hitosugi; Yoshitaka Tateyama
2. 発表標題	Unravelling the Fast Li-ion Conduction Mechanism in a Succinonitrile-Based Molecular Crystal: A Molecular Dynamics Study
3. 学会等名	72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	鄧 俊、西尾 和記、渡邊 佑紀、枝村 紅依、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題	Impact of Li3PO4?buffer layer at the interface of [Li(G4)][TFSA] ionic liquid electrolyte and LiCoO2?positive electrode on battery operations
3. 学会等名	電気化学第89回大会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	武田 祐希、西尾 和記、久留島 康輔、今関 大輔、枝村 紅依、中山 亮、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題	全固体Li電池における硫化物系固体電解質Li3PS4-正極LiCoO2界面研究：電子状態制御されたLiNbO3緩衝層の導入効果
3. 学会等名	電気化学第89回大会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	大井 あすか、西尾 和記、枝村 紅依、武田 祐希、中山 亮、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題	5 V級LiNi0.5Mn1.5O4正極を利用した全固体Li電池の電解質 - 電極界面緩衝層導入による室温高速充放電の安定化
3. 学会等名	電気化学第89回大会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 枝村 紅依、西尾 和記、須藤 幹人、丸山 玄太、長野 林太郎、着本 享、武田 祐希、今関 大輔、清水 亮太、一杉 太郎
2. 発表標題 全固体Li電池における硫化物系固体電解質?LiNi0.8Co0.15Al0.05O2正極の界面抵抗起源の解明
3. 学会等名 電気化学第89回大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>全固体電池の性能を加熱処理で大幅に向上 電気自動車用電池への応用に期待 https://www.titech.ac.jp/news/2022/062764</p> <p>全固体リチウム電池の界面抵抗が発生する起源を解明 https://www.titech.ac.jp/news/2022/064488</p>
--

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------