

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K14314

研究課題名(和文) ナノ緩衝層を導入した超低抵抗固体電解質/電極界面Li電池の創成

研究課題名(英文) Fabrication of extremely low interface resistance at solid electrolyte/electrode by nano layer insertion

研究代表者

西尾 和記(Nishio, Kazunori)

東京工業大学・物質理工学院・特任助教

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電池の高性能化に向け、固体電解質/電極界面抵抗起源を解明するために清浄な界面有する理想モデル電極を作製し、定量的な界面抵抗を評価する研究を行った。本研究においては実用型正極材料のモデル電極に対して超低抵抗界面を達成した。そして、Liイオン伝導体でない絶縁体ナノ層を界面に導入することによって、ナノ層と界面抵抗との関係を明らかにした。さらに、清浄な電極の大気曝露や、電極表面に様々なガス種を曝露することで界面抵抗との相関を検証した。この結果、大気曝露後において電極表面の酸化状態変化や、様々なガス種のうち水のみが界面抵抗増大に寄与す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

次世代型蓄電デバイスとして期待される全固体Li電池のさらなる高性能化には、固体電解質/電極界面抵抗起源を解明し低抵抗化する界面設計指針を得ることが極めて重要である。本研究においては実電池に利用される正極材料においても超低抵抗界面を形成できることを実証した。さらに、電池性能改善させることがよく知られている絶縁体ナノ層の導入は、清浄な界面においては界面抵抗低減には寄与しないことを明らかにした。さらに、電極表面において大気曝露や水曝露をすることで界面抵抗が増大することを定量的に明らかにし、実電池材料作製プロセスにおける重要な知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：For further development of solid-state Li batteries, thin-film type Li batteries with clean interface was fabricated to examine the quantitative study of the interface resistance at solid electrolyte/electrode. In this study, practical cathode materials were focused and high quality epitaxial thin films were prepared as a model electrode. We succeeded in extremely low interface resistances at electrolyte/ a variety of cathode materials.

The effect of the insertion of an electrical insulator nanolayer at the interface on the interface resistance was investigated. It was revealed that the insertion of such nanolayer exhibited the increase in the interface resistance.

Finally, the effect of the exposure to the air and a variety of gas species on the interface resistance was investigated. It was found that the air-and H₂O-exposures for thin-film electrodes increased the interface resistance.

研究分野：電気化学エネルギーデバイス

キーワード：全固体Li電池 エピタキシャルモデル薄膜 固体電解質/電極界面抵抗 超低抵抗界面 全真空プロセス
ナノ層 大気曝露 ガス曝露

1. 研究開始当初の背景

次世代蓄電池として期待される全固体 Li 電池のさらなる高性能化のために、固体電解質/電極界面抵抗の起源を解明し、その界面抵抗を低減する界面構造設計指針を確立することが極めて重要である。特に重要なことは、電解質/電極間にナノ緩衝層を導入して界面抵抗を制御して低減することである。電極表面を別物質で被覆してナノ緩衝層を形成すると界面抵抗が大幅に低減することが報告されていることから、材料選択や厚みの精密制御による界面抵抗減少が急務である。

2. 研究の目的

車載搭載やスマートグリッド等へ応用する次世代の大型蓄電池として、安全性に優れる全固体 Li 電池の研究開発は世界で勢力的に行われており、特に電池高性能化のために電解質/電極界面抵抗の低下を狙う研究が活発に行われている。しかし、これまで研究対象は粉末試料が主であり、これらは複雑な界面構造のために、電池内におけるイオン伝導の律速過程を特定するには困難な系であった(図 1(a))。そこで、薄膜モデル電極による表面・界面研究は極めて重要である。本研究では界面の接合面積、結晶構造及び配向を規定した薄膜モデル電極を作製し(図 1(b))、緩衝層を導入して界面抵抗を定量評価する。さらに電極表面のガス吸着が及ぼす影響も考慮する。そして、界面抵抗の発生起源を明らかにする。

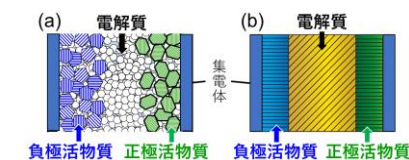


図 1. (a) バルク型電池. (b) 薄膜型電池.

3. 研究の方法

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作製技術の活用によりモデル正極薄膜を作製した。さらに、全真空プロセスシステムを利用することで清浄な固体電解質/電極界面を形成した。これにより、不純物による汚染の影響を無視して固体電解質/電極固有の界面抵抗を定量評価することを可能にしている。そこで、本研究では以下に取り組んだ。

- ① 実電池型の正極材料として期待されている層状岩塩型構造の Ni 過剰系正極や $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$ (NMC)に着目し、パルスレーザー堆積法により高品質エピタキシャル薄膜モデル電極の作製し、固体電解質/電極界面抵抗を定量的に評価した。
- ② ナノ緩衝層の導入による界面抵抗の定量評価には、緩衝層で電極表面を完全に覆うために原子レベルで平坦なモデル電極が必要となる。この目的のために極めて平坦なモデル電極薄膜を活用した。そして、ナノ緩衝層として Li イオン伝導体ではない Al_2O_3 絶縁体に着目し、界面にナノ緩衝層として導入し界面抵抗を定量評価した。
- ③ 電極表面を大気に曝露した際の界面抵抗変化を検証した。さらに、電極表面にガスを吸着させて、吸着ガス種を変えた場合の電解質/電極界面抵抗を定量的に評価した。これより、電極表面上に吸着させたガス種が及ぼす界面抵抗への影響を検証した。

上記 3 点の研究を進めていくうえで、特定ガス種を高真空チャンバーへ導入するシステムの立ち上げ、及び電池特性評価システムの増設を行い研究の効率化を進めた (図 2)。

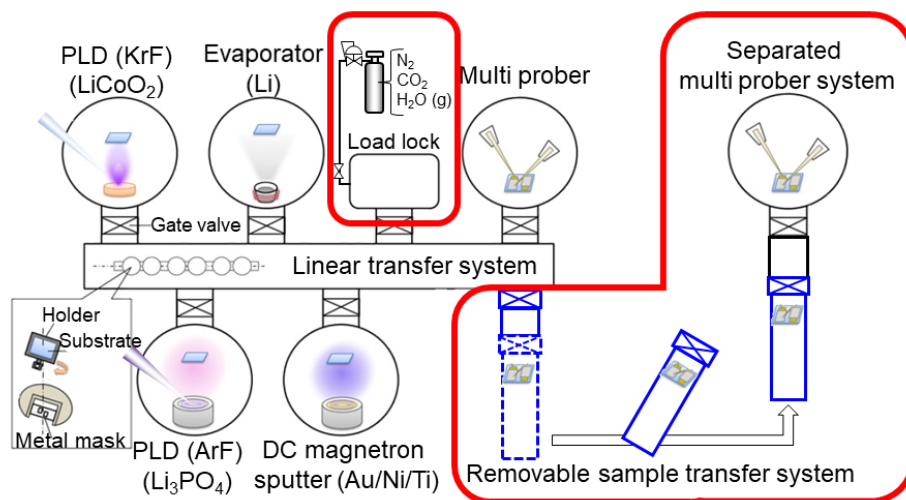


図 2. 全真空プロセスシステム、赤枠内が本研究において増設されたガス曝露試験用のガス導入用高真空チャンバーと電池特性評価プロセスシステム、清浄な界面有する薄膜電池素子を大気曝露せずに真空搬送するシステムを構築した。

4. 研究成果

①

・LiNi_{0.8}Co_{0.2}O₂ エピタキシャルモデル電極による集電体フリー薄膜電池素子の作製

様々な正極材料のなかでも電気伝導度が高いことで知られる Ni 過剰系の LiNi_{0.8}Co_{0.2}O₂(LNC)に着目し、エピタキシャル薄膜モデル電極を作製した(図 3a)。LNC の高い電気伝導性から LNC 下に集電体不要の薄膜電池素子を作製できた。作製した LNC エピタキシャル薄膜の電気伝導度は 0.67 S/cm と高い電気伝導度を示し、集電体不要に十分な伝導性が得られた。集電体を敷く必要性がないため、エピタキシャル薄膜成長用として利用する原子レベルで平坦な絶縁体単結晶基板を活用できることから、Al₂O₃(0001)基板上に非常に平坦な(表面平均粗さ：0.44 nm) LNC(001)配向エピタキシャル薄膜を得ることに成功した(図 3b,c)。この薄膜電池動作に成功し(図 3d)、さらに、固体電解質/LNC(001)界面抵抗が極めて低い(< 7 Ωcm²)ことを達成した。

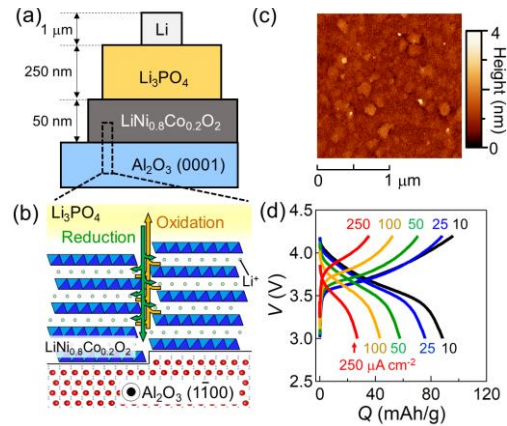


図 3. (a) LNC モデル電極を利用した集電体フリー薄膜電池素子断面図, (b) LNC(001)薄膜の Li イオン伝導経路, (c) 原子間力顕微鏡像, (d) 超低抵抗界面を示すインピーダンススペクトル.

・NMC エピタキシャルモデル電極における界面抵抗結晶方位依存性

NMC 正極材料においては、結晶方位を制御して異なる方位の高品質な NMC(001)と NMC(104) エピタキシャル薄膜モデル電極の作製を行った。電気化学インピーダンススペクトルから、固体電解質 Li₃PO₄ と形成する界面において、NMC(001)と NMC(104)における界面抵抗はそれぞれ 10.2 Ωcm² (図 4a)、5.2 Ωcm²(図 4b)が得られ、界面抵抗に結晶方位依存性があることを見出した。これは、結晶方位が異なるために、Li イオン伝導経路がそれぞれ NMC(001)の場合は粒界を介し(図 4c,e)、NMC(104)方位は結晶面全体(図 4d,f)であることに起因するものと考えられる。以上より、清浄な固体電解質/NMC 界面においても極めて低い界面抵抗であることを実証した。

これらの結果から、実電池へ応用が期待される正極材料に対して、当初の研究目標である 10 Ωcm² 以下の超低抵抗界面形成に成功した。

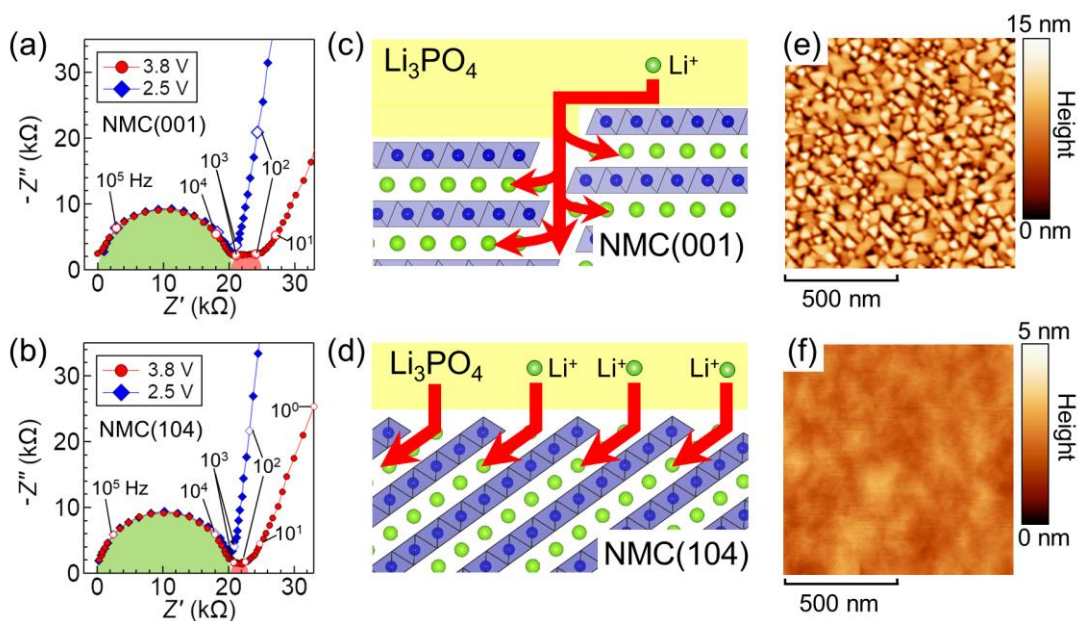


図 4. NMC エピタキシャル薄膜電池におけるインピーダンススペクトル: (a) NMC(001)方位, (b)NMC(104)方位. 黄緑半円弧は Li₃PO₄ 固体電解質由来, 赤半円弧は界面抵抗成分に由来する. Li₃PO₄/NMC 界面における Li イオン伝導経路の模式図: (c) NMC(001)方位, (d) NMC(104)方位, 赤矢印が Li イオン伝導経路を示している. 原子間力顕微鏡像: (e) NMC(001)薄膜表面, (f) NMC(104)薄膜表面.

② 固体電解質/電極界面に Al₂O₃ ナノ層導入した界面抵抗の定量評価

当初の研究予定として様々なナノ層材料と、さらに厚みを変えることで定量的に評価することを計画していたが、ナノ層被覆による効果の本質を明らかにするために、Li イオン伝導体でない絶縁体材料のみに着目し研究を進めた。絶縁体ナノ層として、電池性能を改善することが多く報告されている Al₂O₃ に着目した。しかし、これまでの研究において、Al₂O₃ ナノ層内の Li イオン伝導経路や Li イオン伝導のメカニズムに関して言及する報告は皆無であった。

ナノ層を固体電解質/電極界面に導入して界面抵抗を定量的に評価するために極めて平坦なモデル電極が必要になる。そこで、本研究においては極めて平坦なエピタキシャル薄膜が得られるアナターゼ型の Nb ドープ TiO₂(TNO)モデル電極を活用した(平均面粗さ 0.22 nm、図 5a)。これにより、モデル電極上に数 nm スケールの Al₂O₃ ナノ層を完全に被覆することが可能となり、定量的な研究に適した薄膜電池素子を作製できた(図 5b)。図 5c に Al₂O₃ ナノ層未被覆の電池素子と図 5d に Al₂O₃ ナノ層を 3 nm 厚で固体電解質/TNO 界面に導入した場合のサイクリックボルタメトリー(CV)の結果を示す。ナノ層未被覆の場合は可逆な CV 曲線が得られたのに対し、ナノ層被覆した場合は、電池過電圧上昇に併せて CV 曲線がサイクル毎に変化していることも確認された。つまり、清浄な界面においては、Al₂O₃ ナノ層を導入しても電池動作を向上できないことを意味している。さらに、CV 曲線の変化から、電池充放電反応時にナノ層内で変化が生じていることを示唆している。

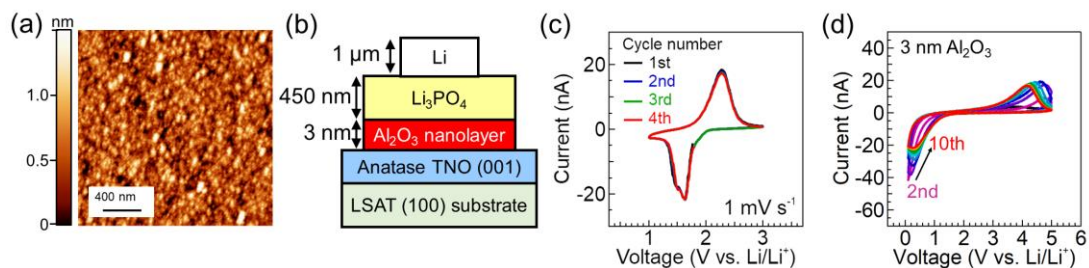


図 5. (a) TNO 薄膜の原子間力顕微鏡像、(b) TNO 薄膜電池素子の断面模式図、サイクリックボルタモグラム：(c) Al₂O₃ ナノ層未挿入の TNO 薄膜電池素子、(d) 3 nm 厚の Al₂O₃ ナノ層導入した場合の TNO 薄膜電池素子。

本研究では、非晶質 Al₂O₃ ナノ層を界面に導入して電池素子を作製し(図 6a)、電池動作させた後に、Al₂O₃ ナノ層の構造評価を行った。透過型電子顕微鏡による断面構造の観察から、Al₂O₃ ナノ層は充放電後に結晶化していることが明らかとなった(図 6b)。これは、Li イオン伝導体でない絶縁体材料をナノ層として利用した場合に、電池動作させている過程で Al₂O₃ ナノ層内に Li イオン伝導経路が形成されていることを示唆している。この結晶化した Al₂O₃ ナノ層内における Li イオン伝導経路を X 線吸収分光法により検証した。X 線吸収端近傍スペクトルから Al 周りの局所構造解析を行った。その結果、結晶化した相は α-Al₂O₃ と γ-Al₂O₃ が混在していることが明らかとなった(図 6c)。つまり、結晶化した Al₂O₃ ナノ層内には Li イオンが配位した構造を有していないことから、結晶化した Al₂O₃ ナノ層内における Li イオン伝導経路は、ナノ層内の結晶粒界であることが考えられる。

以上より、絶縁体ナノ層においては、Li イオン伝導経路の発現が電気化学的に進行するとともに、その経路はバルク内ではなく粒界を介して伝導することが示唆された。この結果は、電池性能を改善・高性能化させるために、高イオン伝導度や界面抵抗を低減させるナノ層を構築・設計するうえで、電気化学反応が進行する過程で形成される Li イオン伝導経路発現機構解明が極めて重要であることを示している。

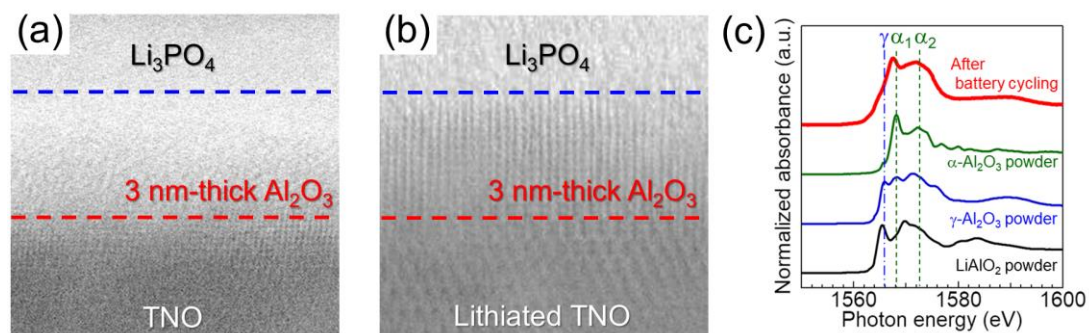


図 6. Al₂O₃ ナノ層導入した Li₃PO₄/TNO 界面の断面透過型電子顕微鏡像：(a) 電池動作前、(b) 電池動作後、(c) 電池動作後の電池素子試料における X 線吸収端近傍スペクトル。

③大気曝露、およびガス曝露の界面抵抗変化の検証

正極材料の合成プロセスにおいては大気曝露のもと行われる過程が含まれるものあり、正極材料における大気曝露と界面抵抗の関係を明らかにすることは実電池研究において重要である。

これまでに我々は、様々な正極材料に対して、清浄な界面を形成することで超低抵抗界面を達成してきた。そこで、モデル電極を大気曝露して意図的に汚染した後に、薄膜電池素子を作製したところ(図 7a)、界面抵抗が増大することが明らかとなった。さらに、Ni や Mn を含有する正極材料は、X 線吸収分光法によって、大気曝露後に正極材料表面の遷移金属が還元されることも判明した(図 7b)。つまり、大気曝露後において正極表面は化学的な変化が発生しており、この変質相と増大した界面抵抗の相関を明らかにすることが今後の重要な課題である。

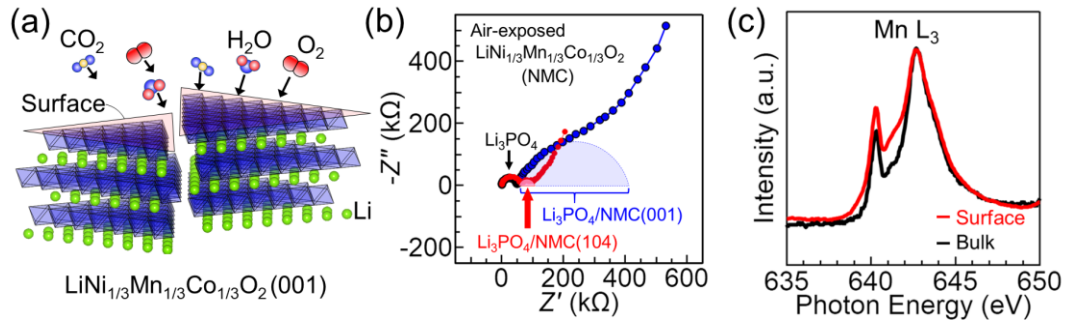


図 7. NMC(001)エピタキシャル薄膜に対する大気曝露の模式図。(b) 大気曝露した NMC(001)と NMC(104)モデル電極を利用した薄膜電池素子のインピーダンススペクトル。結晶方位の違いで界面抵抗増大率も異なることを見出している。(c) 大気曝露 NMC(001)薄膜における X 線吸収分光の Mn-L3 端スペクトル。赤線は全電子収率法により検出した NMC 表面の Mn-L 端スペクトル。黒線は X 線励起可視光検出法による NMC 薄膜内の Mn-L 端スペクトル。

界面抵抗増大に寄与する大気中に含まれるガス種を明らかにするために、大気中に含まれるそれぞれのガス種(O₂、N₂、CO₂、H₂、H₂O 等)をモデル電極表面に曝して電池素子を作製し、界面抵抗を定量評価した(図)。その結果、H₂O のみが電池特性劣化に寄与し(図 8b,c)、界面抵抗増大させることが明らかとなった。今後は、H₂O を曝露した後の電極表面の構造や電子状態変化を明らかにして界面抵抗起源となる要因を明らかにして、実電池研究へフィードバックをかける知見を得ることが重要となってくる。さらに、この曝露後の増大した界面抵抗を低減させるための界面構造設計や界面抵抗低減技術を確立することが実電池研究に極めて重要である。

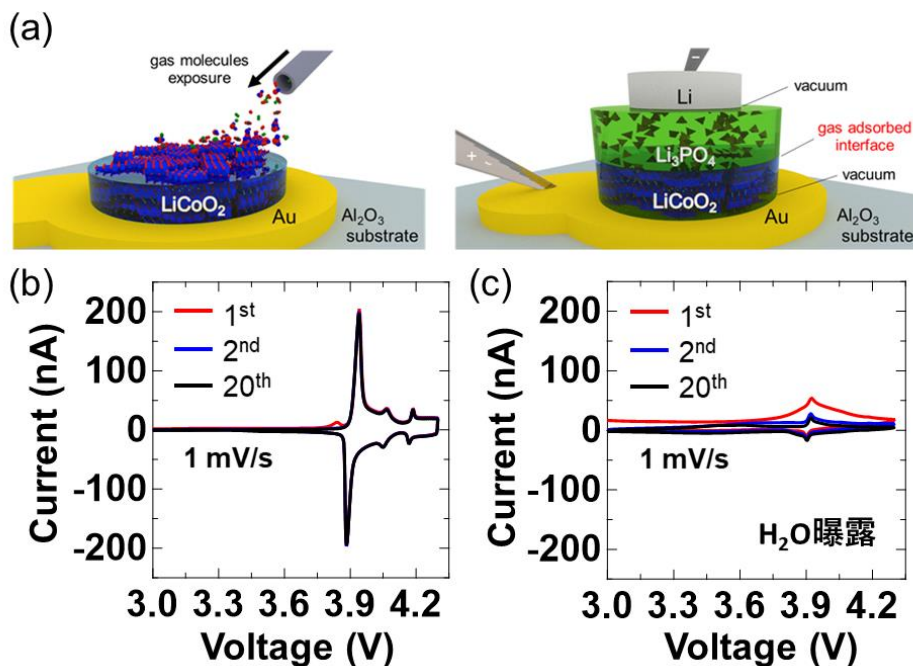


図 8. (a) 左: LiCoO₂(001)モデル電極表面にガス種を曝露している模式図。右: LiCoO₂薄膜電極表面をガス曝露後に全真空プロセスにて作製した薄膜電池素子模式図。(b) 全真空プロセスによって作製した清浄界面を有する LiCoO₂薄膜電池素子の CV 曲線。(c) H₂O 曝露した LiCoO₂薄膜電池素子における CV 曲線。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kazunori Nishio	4. 巻 416
2. 論文標題 Bottom-current -collector-free thin-film batteries using LiNi _{0.8} Co _{0.2} O ₂ epitaxial thin films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 56-61
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jpowsour.2019.01.067	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 Hideyuki Kawasoko*, Tetsuroh Shirasawa, Susumu Shiraki, Toru Suzuki, Shigeru Kobayashi, Kazunori Nishio, Ryota Shimizu, and Taro Hitosugi*	4. 巻 3
2. 論文標題 Low Interface Resistance in Solid-State Lithium Batteries Using Spinel LiNi _{0.5} Mn _{1.5} O ₄ (111) Epitaxial Thin Films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1358-1363
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsaem.9b01766	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*, Naoto Nakamura, Koji Horiba, Miho Kitamura, Hiroshi Kumigashira, Ryota Shimizu, and Taro Hitosugi	4. 巻 116
2. 論文標題 Low resistance at LiNi _{1/3} Mn _{1/3} Co _{1/3} O ₂ and Li ₃ PO ₄ interfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 53901
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5133879	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31件（うち招待講演 1件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Kazunori Nishio, Tetsuro Shirasawa, Koji Shimizu, Naoto Nakamura, Satoshi Watanabe, Ryota Shimizu, Taro Hitosugi
2. 発表標題 Reducing the resistance at current collector and cathode interfaces by inserting an interface dipole
3. 学会等名 22nd International Conference on Solid State Ionics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigeru Kobayashi, Ryota Shimizu, Kazunori Nishio, Taro Hitosugi
2. 発表標題 Recovering the low resistance at Li3PO4/LiCoO2 solid-state interface
3. 学会等名 22nd International Conference on Solid State Ionics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigeru Kobayashi, Ryota Shimizu, Kazunori Nishio, Yuki Watanabe, and Taro Hitosugi
2. 発表標題 Annealing a solid-state battery drastically reduces a solid-electrolyte/solid interface resistance
3. 学会等名 A3 Joint Seminar (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊 佑紀, 小林 成, 清水 亮太, 西尾 和記, リウ ウェイ, 渡邊 聡, 一杉 太郎
2. 発表標題 電圧記録型メモリにおける低消費電力動作
3. 学会等名 日本表面真空学会 2019年度 関東支部学術講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中山 亮, 西尾 和記, 中村 直人, 清水 亮太, 一杉 太郎
2. 発表標題 5 V級正極材料スピネル型LiCo0.5Mn1.5O4エピタキシャル薄膜を用いた全固体Li電池の作製
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今関 大輔, 西尾 和記, 中村 直人, 清水 亮太, 一杉 太郎
2. 発表標題 アナターゼ型TiO ₂ エピタキシャル薄膜を用いた全固体リチウム電池
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西尾 和記, 中村 直人, 清水 亮太, 白澤 徹郎, 清水 康司, 渡邊 聡, 一杉 太郎
2. 発表標題 「半導体物理に基づく界面エンジニアリング」による正極/集電体界面抵抗の低減
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊 佑紀, 小林 成, 清水 亮太, 西尾 和記, リウ ウェイ, 渡邊 聡, 一杉 太郎
2. 発表標題 全固体Li電池構造を利用した電圧記録型メモリデバイスの多機能化
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮崎 優, 安尾 信明, 渡邊 佑紀, 中山 亮, 清水 亮太, 西尾 和記, 安藤 康伸, 関嶋 政和, 一杉 太郎
2. 発表標題 ベイズ推定を用いた客観的な電気化学インピーダンス解析
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今関 大輔, 西尾 和記, 中村 直人, 清水 亮太, 一杉 太郎
2. 発表標題 アナターゼ型NbドープTiO ₂ エピタキシャル薄膜を用いた全固体Li電池における固体電解質/電極界面研究
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中山 亮, 西尾 和記, 中村 直人, 清水 亮太, 一杉 太郎
2. 発表標題 5 V級正極材料LiCo _{0.5} Mn _{1.5} O ₄ エピタキシャル薄膜を用いた全固体Li電池の作製と評価
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林 成, 清水 亮太, 渡邊 佑紀, 西尾 和記, 一杉 太郎
2. 発表標題 Li ₃ P _{0.4} /LiCo _{0.2} 界面における大きな界面抵抗をアニールにより低減する
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊 佑紀, 小林 成, 清水 亮太, 西尾 和記, リウ ウェイ, 渡邊 聡, 一杉 太郎
2. 発表標題 電圧記録型メモリで観測されるシナプスの挙動
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西尾 和記, 白澤 徹郎, 清水 康司, 中村 直人, 渡邊 聡, 清水 亮太, 一杉 太郎
2. 発表標題 全固体Li電池の界面抵抗低減: LaAlO ₃ 挿入によるLiCoO ₂ 薄膜正極/Nb:SrTiO ₃ 集電体のバンドオフセット制御
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮崎 優, 安尾 信明, 渡邊 佑紀, 中山 亮, 清水 亮太, 西尾 和記, 安藤 康伸, 関嶋 政和, 一杉 太郎
2. 発表標題 ベイズ統計を用いた客観的な電気化学インピーダンススペクトル解析
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taro Hitosugi, Hideyuki Kawasoko, Kazunori Nishio, Ryota Shimizu, and Susumu Shiraki
2. 発表標題 A High Li-ion Conductivity at Solid-Electrolyte and Electrode Interfaces : Introducing Oxide Epitaxial Thin-Film Technology to Battery Research
3. 学会等名 25th International Workshop on Oxide Electronics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazunori Nishio, Ryota Shimizu, and Taro Hitosugi
2. 発表標題 Preparation of high quality epitaxial LiNi _{0.8} Co _{0.2} O ₂ thin films using pulsed laser deposition for all-solid-state lithium battery
3. 学会等名 The 19th International Meeting on Lithium Batteries (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊 佑紀, 小林 成, 清水 亮太, 西尾 和記, リウ ウェイ, 渡邊 聡, 一杉 太郎
2. 発表標題 電圧記録型メモリにおける低消費電力動作
3. 学会等名 第44回 固体イオニクス討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西尾 和記, 中村 直人, 小林 安貴, 清水 亮太, 一杉 太郎
2. 発表標題 絶縁体の挿入による集電体 / 正極界面抵抗の低減
3. 学会等名 第44回 固体イオニクス討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 成, 西尾 和記, 清水 亮太, 渡邊 佑紀, 一杉 太郎
2. 発表標題 Li3PO4固体電解質/LiCoO2正極界面への吸着ガス導入による界面抵抗変化
3. 学会等名 第44回 固体イオニクス討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊 佑紀, 小林 成, 清水 亮太, 西尾 和記, リウ ウェイ, 渡邊 聡, 一杉 太郎
2. 発表標題 新規電圧記録型メモリにおける多機能化
3. 学会等名 第1回日本表面真空学会若手研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊 佑紀, 小林 成, 清水 亮太, 西尾 和記, リウ ウェイ, 渡邊 聡, 一杉 太郎
2. 発表標題 新規電圧記録型メモリにおけるパルス電圧を用いたメモリ動作
3. 学会等名 2018年 日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 安貴, 西尾 和記, 中村 直人, 清水 亮太, 一杉 太郎
2. 発表標題 LiTi ₂ O ₄ エピタキシャル薄膜を利用した全固体Li電池におけるLiイオン伝導特性制御
3. 学会等名 2018年電気化学秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊 佑紀, 小林 成, 清水 亮太, 西尾 和記, リウ ウェイ, 渡邊 聡, 一杉 太郎
2. 発表標題 パルス電圧を用いた電圧記録型メモリにおけるメモリ動作
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西尾 和記, 中村 直人, 小林 安貴, 清水 亮太, 一杉 太郎
2. 発表標題 界面ダイポールエンジニアリングによるエピタキシャルLiCoO ₂ 薄膜リチウム電池の正常動作
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 成, 清水 亮太, 渡邊 佑紀, 西尾 和記, 一杉 太郎
2. 発表標題 Li3P04固体電解質/LiCoO2正極のガス吸着界面形成による電池特性変化
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 一杉 太郎, 西尾 和記, 清水 亮太
2. 発表標題 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 ~
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村 直人, 西尾 和記, 清水 亮太, 一杉 太郎
2. 発表標題 Li3P04固体電解質/LiNi1/3Mn1/3Co1/3O2モデル電極界面を利用した全固体Li電池の界面抵抗に対する大気暴露の影響
3. 学会等名 第14回固体イオニクスセミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 成, 清水 亮太, 安藤 康伸, 西尾 和記, 一杉 太郎
2. 発表標題 機械学習を取り入れた全自動成膜条件探索システムの構築
3. 学会等名 第14回固体イオニクスセミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 安貴, 西尾 和記, 清水 亮太, 一杉 太郎
2. 発表標題 スピネル型 LiTi ₂ O ₄ エピタキシャル薄膜を用いた全固体 Li 電池の作製と界面ダイポールによる Li イオン伝導特性の制御
3. 学会等名 日本表面科学会第 3 回関東支部講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊 佑紀, 清水 亮太, 西尾 和記, 杉山 一生, リウ ウェイ, 渡邊 聡, 一杉 太郎
2. 発表標題 標準電極電位差を用いた多値記録メモリデバイスの創製
3. 学会等名 日本表面科学会第 3 回関東支部講演大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 西尾和記、一杉太郎	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 13
3. 書名 全固体電池の開発動向と応用展望	

1. 著者名 西尾和記、一杉太郎	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日刊工業新聞	5. 総ページ数 3
3. 書名 日刊工業材料	

1. 著者名 白木将、西尾和記、一杉太郎	4. 発行年 2020年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 9
3. 書名 全固体電池の界面抵抗低減と作製プロセス、評価技術	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 全固体電池	発明者 鬼木基行、西尾和記、一杉太郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、H01M 10/0562, H01M 4/13	出願年 2018年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----