

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：13904
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2019～2021
課題番号：19H02128
研究課題名(和文) 金属リチウムを負極とする全固体電池の長寿命化を実現する積層型固体電解質の創製

研究課題名(英文) Development of Laminated Solid Electrolyte for Long-life All-solid-state Batteries with Lithium Metal Anode

研究代表者
稲田 亮史 (Inada, Ryoji)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30345954

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：酸化物固体電解質(Ox-SE)を用いた全固体電池において金属リチウム(Li)負極を安定動作させるために、高密度層と低密度層の積層構造を持つOx-SEを作製に取り組んだ。高密度Ox-SE層単体において、Li dendrite耐性(SE層内へのdendrite析出・成長が生じる電流密度)を本研究開始当初の2倍に向上できた。エアロゾルデポジション(AD)法を用いて高密度Ox-SE層上に同一組成のOx-SE厚膜を積層後、所定温度で後熱処理して低密度Ox-SE層を形成できたが、実際に低密度Ox-SE層端面にリチウム析出を行った際には、層内の空孔が有効に活用できておらず、解決に向けた検討を継続する必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題の実施により、異種酸化物の微量添加や焼結条件の調整により高密度SE層の組織制御によって、積層化の前段階でLi dendrite耐性の指標となる限界電流密度を、研究課題開始当初の2倍以上に相当する0.9mA/cm²まで向上できたのは、学術的に重要な成果である。一方、ガラス基板での予備検討を踏まえて、高密度SE層の上に、μmオーダーの空孔を有する低密度SE厚膜を形成する条件を見出すことはできたが、実際にLi析出を行った際に低密度層内の空孔が有効に活用できていない課題の解決に至らなかった。今後の継続検討によりこの課題を克服できれば、全固体電池の高エネルギー密度化に貢献できると考える。

研究成果の概要(英文)：To stably operate the metallic lithium (Li) anode in an all-solid-state battery using an oxide solid electrolyte (Ox-SE), we worked on the fabrication of Ox-SE having a laminated structure with a high-density and a low-density layers. In the high-density Ox-SE layer alone, the tolerance for Li dendrite growth (current density at which dendrite growth occur in the SE layer) was doubled at the beginning of this research. An Ox-SE thick film of the same composition was formed on a high-density Ox-SE layer using the aerosol deposition (AD) method, and then annealed at a specific temperature to form a low-density Ox-SE layer. However, when Li was plated on the end face of the low-density Ox-SE layer, the pores in the layer could not be effectively utilized, so that it is necessary to continue the study to overcome this issue.

研究分野：電気化学エネルギーデバイス

キーワード：酸化物固体電解質 金属リチウム負極 全固体電池 積層構造 界面抵抗

1. 研究開始当初の背景

プラグイン・ハイブリット車や電気自動車の駆動電源、太陽光発電等から得られる電力の効率利用に向けた定置型電力貯蔵用電源として、中・大型リチウムイオン電池の用途展開が加速しつつある。電池の安全性・信頼性確保が極めて重要な課題となっている。現行電池に使用されている可燃性の有機電解液を、不燃性の無機固体電解質（無機固体リチウムイオン伝導体）で置き換えた全固体リチウムイオン電池（全固体電池）は、高い安全性・信頼性を備えた次世代型蓄電デバイスとして、その実用に大きな期待が寄せられている。

ガーネット型結晶構造を有する酸化物系固体電解質 $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ (LLZO) は、組成や合成条件の適正化により、室温下で 1 mS/cm 程度の高いリチウムイオン伝導率を示す。更に、金属リチウム (Li) 基準で $0\text{--}6\text{ V}$ の電位範囲で電気化学的に安定であり、正・負極材料の作動電位に対し、現行の有機電解液よりも高い酸化・還元耐性を有するため、全固体電池用電解質として実用が期待されている材料の一つである。LLZO を用いて、最も卑な電位で作動し、現行負極の黒鉛の 10 倍に相当する大きな理論容量 ($= 3,860\text{ mAh/g}$) を持つ Li を負極に使用できれば、高エネルギー密度 (高電池電圧 + 大容量) と高安全性を両立する全固体電池の実現が期待でき、その要素技術となる Li と LLZO との固体間界面形成に関する研究開発が近年活発化している。

Li を負極とする全固体電池の充放電では、Li/LLZO 界面で Li の析出 ($\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$) および溶解 ($\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-$) 反応が可逆的に生じる必要があり、電池の安定動作には①Li/LLZO 界面での電荷移動抵抗 (界面抵抗 R_{int}) の低減化と、②急速充電・放電時に想定される数 mA/cm^2 程度の電流密度下における界面での Li の溶解・析出反応の安定化が極めて重要となる。①に関しては、平滑な LLZO 端面に対して、 $10\ \Omega\text{ cm}^2$ 以下の R_{int} が近年達成されつつある。一方、②に関しては、平滑な Li/LLZO 接合界面では室温下・ 0.5 mA/cm^2 以上の電流密度下での安定動作が困難な状況にある。更に、動作条件によっては、局所的に析出・成長した樹枝状の金属 Li が、LLZO 内の粒界や僅かに存在する空孔を介して析出・伝播し (図 1)、電池内部短絡に繋がる懸念があり、全固体電池の高エネルギー密度化と長寿命化の同時達成に向けて、克服すべき重要課題の一つとなっている。

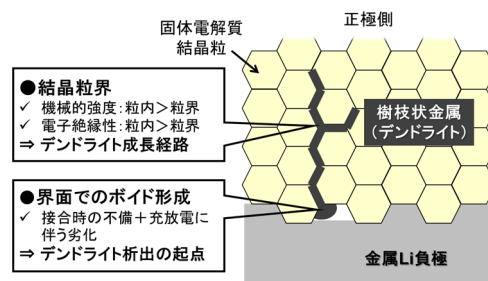


図1 固体電解質内へのLi dendライトの析出・伝播のメカニズム

2. 研究の目的

本研究では、高密度に成型した LLZO 焼結体上に数 $10\ \mu\text{m}$ 程度の低密度 LLZO 層を積層 (図 2) し、低密度層と金属 Li 間において接合界面を形成する。金属 Li との実効的な接合界面の増加と共に、Li の溶解・析出サイトとしての低密度層内の空孔を利用することによって、室温下・ 1 mA/cm^2 以上の電流密度下での Li の溶解・析出反応に対する Li/LLZO 界面の安定化を実現し、Li 負極を用いた酸化物全固体電池の安定動作の実現に資する要素技術の確立を目的とした。

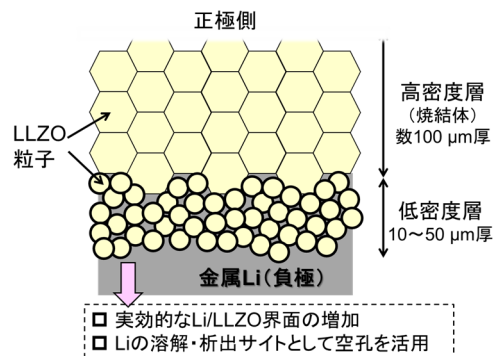


図2 積層型固体電解質の模式図

3. 研究の方法

上記の研究目的の達成に向けて、以下の研究課題に取り組んだ。

① 異種酸化物添加による高密度 LLZO 焼結体の作製および電気化学特性評価

高密度 LLZO 焼結体を形成する際の高温焼結時に、液相を形成する異種酸化物 ($\text{Li}_2\text{C}_3\text{B}_0.3\text{O}_3$, Ga_2O_3 等) を添加し、LLZO の微細組織ならびにイオン伝導特性への影響を精査した。また、得られた。また、得られた焼結体端面に金属リチウム箔に圧接した対称セルに対して室温下で通電試験を行い、電流密度をパラメータとしてリチウム溶解・析出特性を評価した。得られた結果に基づいて、LLZO の微細組織とリチウム dendライト耐性との関連性を考察した。

② エアロゾルデポジション法を活用した低密度 LLZO 層の形成条件の検討

高密度 LLZO 焼結体と同一組成の LLZO 粉末を原料として、エアロゾルデポジション (AD) 法を活用して LLZO 厚膜を石英基板上に形成した。成膜装置の構成を図 3 に示す。エアロゾル容器内に封入した原料粉末 (電極活物質) をキャリアガス (N_2) と混合・振動させることによりエアロゾルを形成し、ノズル (開口部寸法 $10\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$) を介して数 10 Pa 程度に減圧した成膜チャンバー内に配置した基板上に噴射する。エアロゾル容器と成膜チャンバーの圧力差に

よって生じるガス流によって加速された粉末が、基板衝突時の衝撃力で固化することで、常温下での膜形成に至る。形成した LLZO 厚膜に後熱処理を施し、低密度 LLZO 厚膜層を形成する後熱処理条件を調査した。

③ 高密度 LLZO 層への低密度 LLZO 層の形成および Li 析出特性評価

上記①及び②の結果を踏まえて、高密度 LLZO 焼結体端面に AD 法により LLZO 厚膜を形成し、後熱処理を施して低密度 LLZO 層と高密度 LLZO 層が積層した構造体を作製した。積層体両端面に金属 Li を圧接し、低密度層側に向けて電流通電して金属 Li を析出させた際の、積層体の電圧降下の発生状況を調査し、高密度 LLZO 単体での実験結果と比較した。また、通電試験後に積層体破断面の微細組織観察を行い、低密度 LLZO 領域での金属 Li の析出状況を観察した。

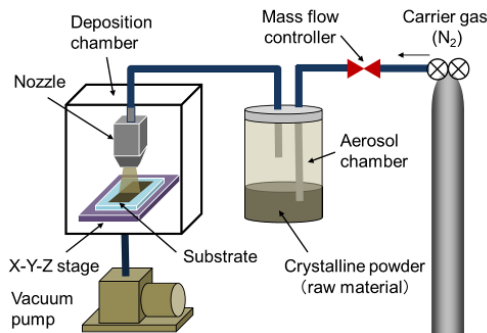


図3 AD成膜装置の構成

4. 研究成果

① 異種酸化物添加による高密度 LLZO 焼結体の作製および電気化学特性評価

LLZO ($\text{Li}_{6.55}\text{La}_3\text{Zr}_{1.55}\text{Ta}_{0.45}\text{O}_{12}$) 仮焼粉に Ga_2O_3 を 1–10 mol % 添加して $1150^\circ\text{C} \times 15$ 時間で大気中焼結した高密度 LLZO 焼結体を作製した。別途行った XRD 測定では、 Ga_2O_3 添加量によらず、立方晶ガーネット相に帰属される回折ピークのみ観察されたが、無添加試料と比較して僅かに低角側にピークシフトしており、LLZO 中に Ga が一部固溶している可能性が示唆された。 Ga_2O_3 添加焼結体の劈開面の SEM 観察結果を図 4 に示す。2 mol % 以下の Ga_2O_3 添加においては、5–10 μm 程度の粒子が密に接合した組織であったが、3 mol % 以上の添加では、粒子が数 10–100 μm 程度に粗大化すると共に空孔も観察された。 Ga_2O_3 は焼結時に LLZO 中に含まれる Li と一部反応し Li–Ga 含有酸化物を形成し、これが 990–1000 $^\circ\text{C}$ 付近で液相を形成することが報告されているが (Y. Matsuda, et al., Solid State Ionics 311 (2017) 69–74), Ga_2O_3 添加量に伴い、焼結時に形成される液相が一定量を超えると、LLZO 粒子の粗大化が起こりやすくなるためと考えられる。

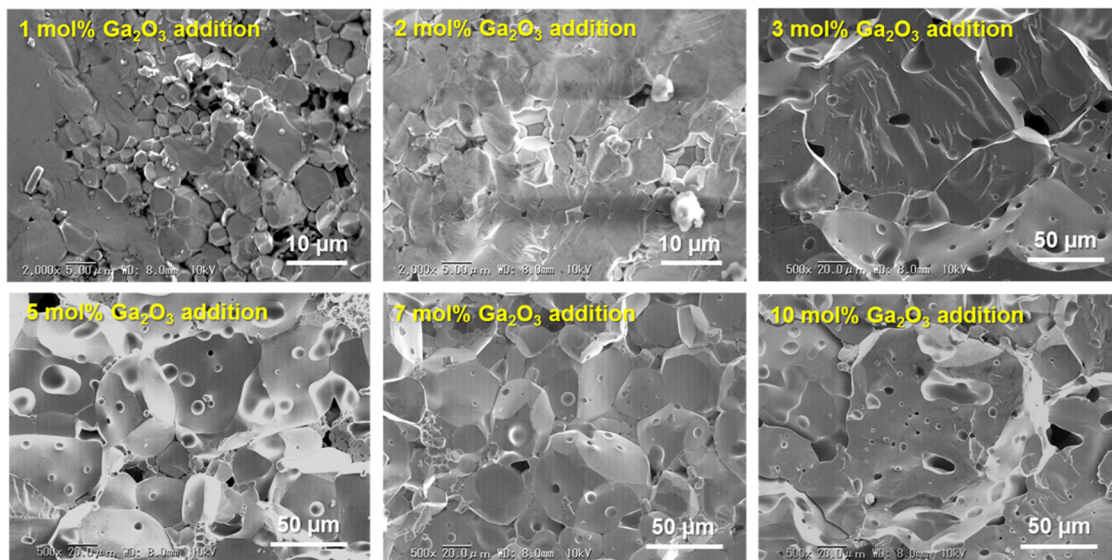


図4 Ga_2O_3 添加焼結体試料の劈開面の SEM 観察結果

焼結体試料の密度 ρ と室温イオン伝導率 σ_{Total} 、及び活性化エネルギー E_a を Ga_2O_3 添加量に対してプロットした結果を図 5 に示す。焼結体密度は 2 mol % 添加試料で最も高い値を示し、それ以上の添加量に対しては徐々に減少する傾向を示した。一方、イオン伝導率は密度とは異なる Ga_2O_3 添加量依存性を示し、5 mol % 添加試料で最高値 ($=1.1 \text{ mS/cm}$) を示し、それ以上の添加量では徐々に減少する傾向を示した。なお、10 mol % 添加試料を除き、 Ga_2O_3 添加試料は同一条件で作製した無添加試料と同等以上の室温伝導率を有していた。

1, 2, 3, 5 mol % 添加焼結体試料の両端面に Li 箔を圧接 (中間層として 100 nm の金薄膜を導入し接合後に加熱処理) して対称セルを構成し、電流密度を変化さ

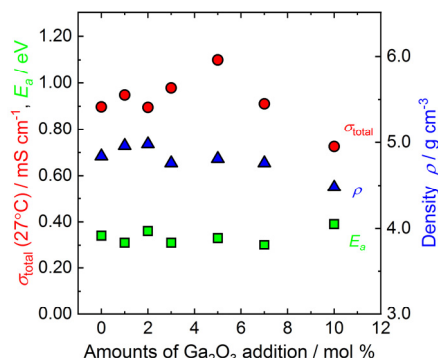


図5 Ga_2O_3 添加試料の密度、室温イオン伝導率及び活性化エネルギー

せつつ通電試験を行った際のセルの電圧応答を図 6 に示す。セル電圧は通電電流の増加に概ね比例して増加しているが、一定の電流密度に達するとセル電圧の急激な低下が観測された後、その後は電圧応答が不安定になる挙動を示している。この時点で、固体電解質内への Li デンドライト析出・成長が生じたと推察され、その電流密度をここでは限界電流密度 (CCD) と定義する。CCD は、2 mol % 添加試料で 0.8 mA/cm^2 と最高値を示したのに対し、3 mol % 及び 5 mol % 添加試料の CCD は 0.2 mA/cm^2 以下と非常に低い値を示した。1 mol % 添加試料では $\text{CCD} = 0.4\text{--}0.45 \text{ mA/cm}^2$ となり、無添加試料とほぼ同程度であった。各試料の Li/LLZO 間の R_{int} は $10\text{--}20 \Omega \text{ cm}^2$ の範囲で概ね同一であったため、CCD の差違は主に LLZO の微細組織の違いに影響を受けていると考えられる。粗大な粒子の混在が少なく、高密度かつ粒子間の接合状態が緊密な組織がデンドライト耐性の観点では好適と言える。

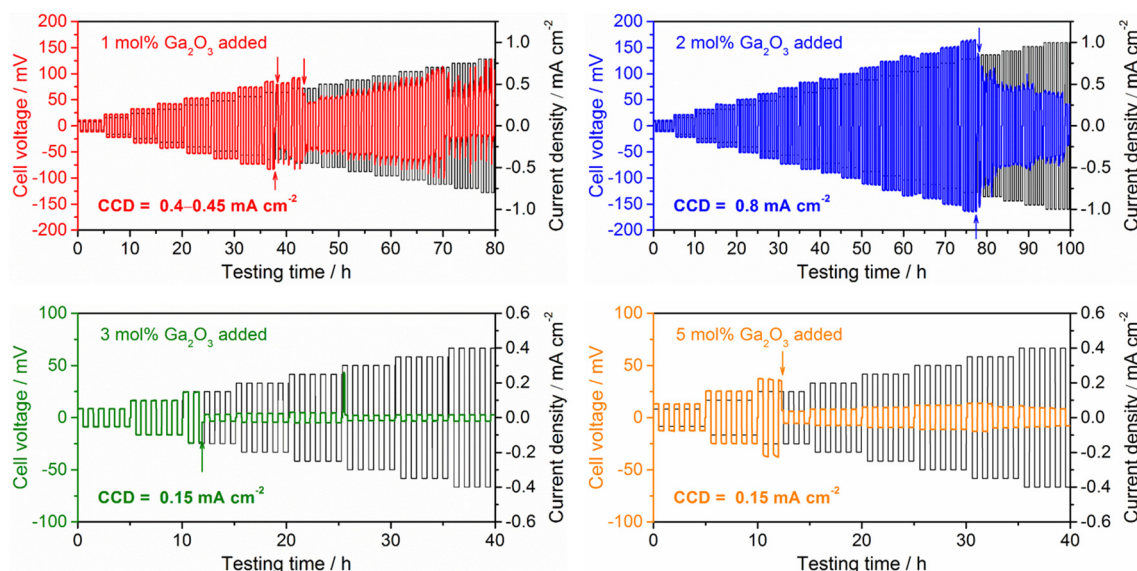


図 6 Ga₂O₃ 添加焼結体試料を用いた対称セルの通電試験時の電圧応答

図 7 に、 σ_{total} と CCD の Ga₂O₃ 添加量依存性を示す。各特性値が極大となる Ga₂O₃ 添加量は一致せず、Li デンドライト耐性向上の際には固体電解質の微細組織の影響が支配的に関与することが示唆される。なお、紙面の都合で詳細は割愛するが、2 mol % 添加試料にて焼結条件 (温度・時間) を調整し、粒径の更なる低減と微細組織の更なる均質化を検討した結果、室温イオン伝導率は $0.6\text{--}0.7 \text{ mS/cm}$ と若干低下するが、 $\text{CCD} = 0.9 \text{ mA/cm}^2$ を再現性良く達成することができた。本特性は研究課題開始当初の無添加試料と比較して 2 倍以上の特性向上に相当する結果である。

② AD 法を活用した低密度 LLZO 層の形成条件の検討

高密度 LLZO 焼結体と同一組成の LLZO 仮焼粉末をボールミル処理し、成膜に適した粒子径に調整した後、AD 法を用いて LLZO 厚膜を石英基板上に形成した。また、形成膜に後熱処理を施す前に、LLZO 焼結体に後熱処理を行い、XRD 測定により焼結体端面の結晶相同定と微細組織観察を行った。図 8 に、後熱処理後の XRD 測定結果を示す。600–800 °C で大気中熱処理した試料では Li_2CO_3 の残留が見られたが、600 °C よりも 700–800 °C で処理した試料の方が Li_2CO_3 含有量は少なかった。一方、900 °C で処理した場合、LLZO からの Li 揮発に伴い $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ や La_3TaO_7 の生成が見られた。以上の結果から、後熱処理温度は 700–800 °C が適切と判断した。

図 9 に、後熱処理前および 700 °C および 800 °C で後熱処理した LLZO 膜試料の SEM 観察結果を示す。後熱処理前の試料では、AD 成膜時の衝撃の影響で破碎変形した粒子が膜を形成している様子が確認された。後熱処理後には、微粒化した LLZO 粒子間で焼結によるネッキングが発生し、 $0.5\text{--}1 \mu\text{m}$ 程度の LLZO 粒子が三次元的に連結した低密度な組織となる様子が観察され

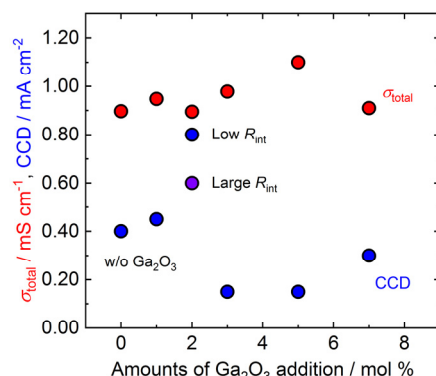


図 7 Ga₂O₃ 添加試料の室温イオン伝導率と限界電流密度

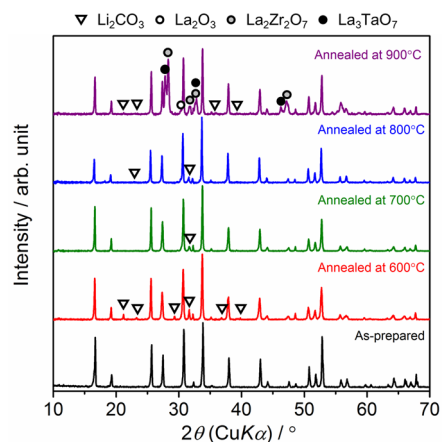


図 8 LLZO 焼結体の後熱処理後の XRD パターン

た。膜厚と膜重量から予測される厚膜の相対密度は 55–60 % 程度であり、空孔領域は 4 割程度であることが確認された。

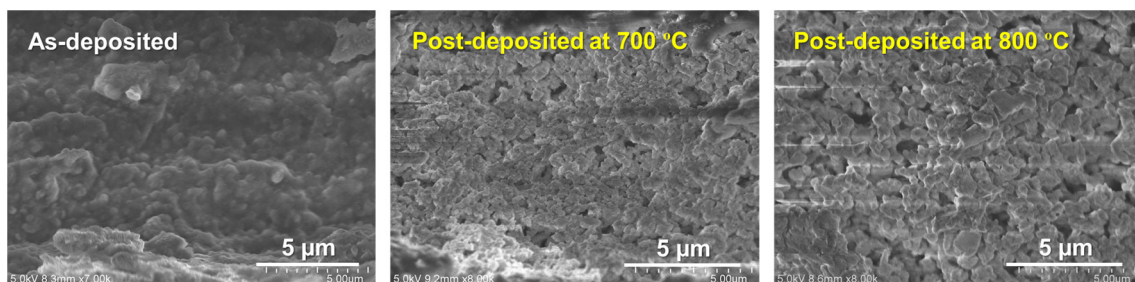


図 9 後熱処理前 (左), 700 °C (中央) 及び 800 °C (右) で後熱処理した LLZO 膜劈開面の SEM 観察結果 (※石英基板使用)

③ 高密度 LLZO 層への低密度 LLZO 層の形成および Li 析出特性評価

上記①及び②の結果を踏まえて、高密度 LLZO 焼結体の片端面に AD 法により LLZO 厚膜を形成し、800 °C で熱処理して低密度 LLZO 層と高密度 LLZO 層が積層した構造体を作製した。得られた積層体両端面に金属 Li を圧接し、室温下・電流密度 0.05 mA/cm² の条件で低密度 LLZO 側に向けて 250 時間通電を行い、面積容量 12.5 mAh/cm² に相当する金属 Li を析出させた。

通電試験前後の積層型 LLZO 破断面の SEM 観察結果を図 10 に示す。試験前の観察結果より、高密度 LLZO 焼結体上に厚さ 5–7 μm 程度の低密度 LLZO 層が形成されていることが確認できる。試験後の観察結果において、Li 箔と接触していた端面近傍に糊状の析出物が観察され、一部は低密度 LLZO 層領域にめり込んでいる箇所も見られた。SEM 観察前に試料を大気暴露しているため、糊状の析出物は通電により低密度 LLZO 層側に析出した金属 Li の反応生成物と推測される。一方で、試験前とほぼ同様な低密度 LLZO 層の微細組織が明確に確認できる箇所も見られたことから、現状は低密度 LLZO 層の空孔を Li 析出サイトとして十分に活用できていないことが示唆される。当初の狙い通りの効果を得るには、低密度 LLZO 層内の空孔を Li 析出サイトとしてより効率的に活用するための方策が必要であり、低密度層内の LLZO 粒子表面と金属 Li の濡れ性向上に向けて、金薄膜層を低密度 LLZO 層内に分散導入することを検討している。

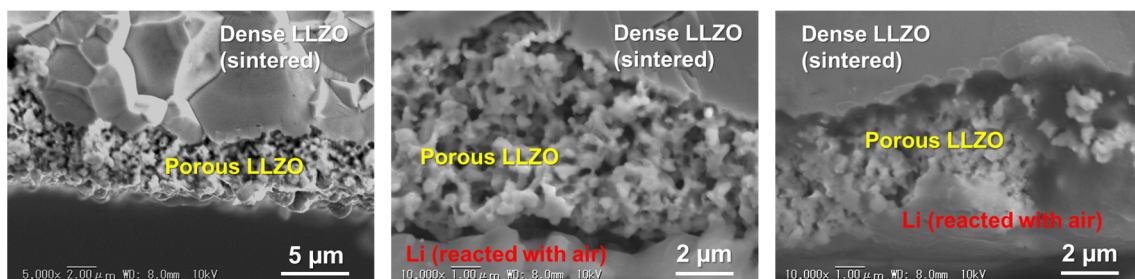


図 10 Li 析出前 (左) 及び Li 析出後 (中央及び右) の積層型 LLZO の SEM 観察結果

図 11 に、積層型 LLZO を用いた通電試験時の対称セルの電圧・抵抗の時間変化を測定した結果を示す。比較のために、低密度 LLZO 層を形成していない高密度 LLZO 焼結体単体を用いて、同一条件で測定した結果も併せて示す。高密度 LLZO 焼結体単体の場合、通電時間の増加と共にセル電圧も著しく増加していることが確認できる。対称セルにおいて一方向に通電した場合、片端面では Li 溶解、対向する片端面では Li 析出反応が同時進行する。Li 溶解が発生する端面は通電時間の増加と共に Li/LLZO 界面近傍で空隙が発生し、界面抵抗の増加に繋がる。一方、Li 析出が発生する端面では空隙発生はなく、界面抵抗の変化も少ない。したがって、通電時間に伴うセル電圧の増加には、主に Li 溶解が発生する界面での界面抵抗増加が寄与している。積層型 LLZO を用いた場合においても、通電時間に伴うセル電圧の増加はあるが、高密度 LLZO 単体よりも著しく低い値に抑制できている。通電による Li 溶解側の界面状態の変化は双方で大きな違いはないと予測されるが、図 10 の観察結果より、Li 析出側の低密度 LLZO 層と接触界面は増加し、結果としてセル全体の抵抗増大が抑制されたものと推測される。

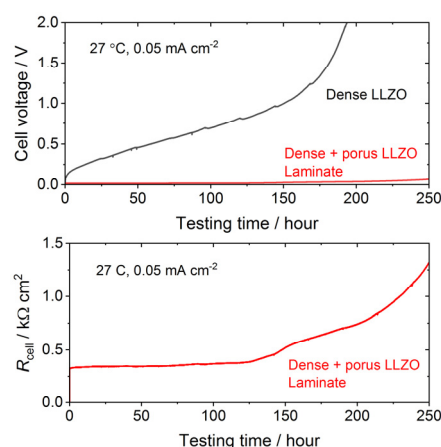


図 11 通電試験時の対称セルの電圧 (上) 及び抵抗 (下) の時間応答

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ryoji Inada, Atsuto Takeda, Yusuke Yamazaki, Shotaro Miyake, Yoji Sakurai, Venkataraman Thangadurai	4. 巻 3
2. 論文標題 Effect of postannealing on the properties of a Ta-doped Li7La3Zr2012 solid electrolyte degraded by Li dendrite penetration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 12517-12524
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsaem.0c02474	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Hiromasa Hosokawa, Atsuto Takeda, Ryoji Inada, Yoji Sakurai	4. 巻 279
2. 論文標題 Tolerance for Li dendrite penetration in Ta-doped Li7La3Zr2012 solid electrolytes sintered with Li2.3C0.7B0.303 additive	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 128481
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.matlet.2020.128481	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 6件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Ryoji Inada, Shotaro Miyake, Venkataraman Thangadurai
2. 発表標題 Investigation on Reusability of Garnet-Type Ta-Doped Li7La3Zr2012 Solid Electrolyte Degraded By Li Dendrite Growth
3. 学会等名 242nd Meeting of The Electrochemical Society（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Yamazaki, Shotaro Miyake, Ryoji Inada
2. 発表標題 Effect of Ga2O3 Addition on the Properties of Garnet-type Ta-doped Li7La3Zr2012 Solid Electrolyte
3. 学会等名 21st International Meeting on Lithium Batteries (IMLB 2022)（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲田 亮史
2. 発表標題 次世代型高性能二次電池材料・プロセスの研究開発
3. 学会等名 豊橋技術科学大学 産学連携フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryoji Inada, Shotaro Miyake, Yusuke Yamazaki, Venkataraman Thangadurai
2. 発表標題 Post-annealing Effect on the Property of Garnet-type Solid Electrolyte Degraded by Li Dendrite Growth
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (MRM 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎 佑輔, 秋元 啓吾, 三宅 翔太郎, 稲田 亮史
2. 発表標題 Ta置換Li7La3Zr2012固体電解質の電気化学特性に及ぼすGa2O3添加の影響
3. 学会等名 第62回電池討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西郡 育寛, 稲田 亮史
2. 発表標題 焼結助剤の添加によるLiTa2P08固体電解質のリチウムイオン伝導特性への影響
3. 学会等名 2021年度 日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎 佑輔, 三宅 翔太郎, 秋元 啓吾, 稲田 亮史
2. 発表標題 Ga2O3を添加したTa置換Li7La3Zr2O12固体電解質の作製及び電気化学特性評価
3. 学会等名 第52回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryoji Inada
2. 発表標題 Lithium Garnet Solid Electrolytes for Solid-State Battery Applications
3. 学会等名 3rd World Conference on Solid Electrolytes for Advanced Applications: Garnets and Competitors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲田 亮史
2. 発表標題 酸化物系全固体二次電池用材料・プロセスの研究開発
3. 学会等名 イノベーションフェア 2021 in 東三河 『DXで変革する未来社会』～新しい時代のものづくり・ひとづくり・ことづくり～(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲田 亮史
2. 発表標題 次世代型二次電池用材料・プロセスの開発
3. 学会等名 カーボンニュートラルの共同開発に係わる合同説明会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎 佑輔, 三宅 翔太郎, 秋元 啓吾, 稲田 亮史
2. 発表標題 Ga2O3を添加したTa置換Li7La3Zr2O12固体電解質の作製及び特性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三宅 翔太郎, 山崎 佑輔, 秋元 啓吾, 稲田 亮史, Venkataraman Thangadurai
2. 発表標題 リチウムデンドライトで劣化したガーネット型固体電解質の特性に及ぼす後熱処理の影響
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三宅 翔太郎, 山崎 佑輔, 秋元 啓吾, 稲田 亮史
2. 発表標題 リチウムデンドライトで劣化したガーネット型固体電解質の再使用に関する基礎的検討
3. 学会等名 2021年度 日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲田 亮史
2. 発表標題 二次電池用セラミックス材料の薄膜・厚膜化技術へのAD法の適用検討
3. 学会等名 日本表面真空学会 スパッタリングおよびプラズマプロセス技術部会 第166回定例研究会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹田 惇人, 山崎 佑輔, 稲田 亮史, 櫻井 庸司, Sourav Bag, Venkataraman Thangadurai
2. 発表標題 リチウムデンドライトにより劣化したガーネット型固体電解質の再使用に関する基礎的検討
3. 学会等名 第61回電池討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹田 惇人, 山崎 佑輔, 稲田 亮史, 櫻井 庸司, Sourav Bag, Venkataraman Thangadurai
2. 発表標題 リチウムデンドライトの伝播で劣化したガーネット型固体電解質の再利用に関する基礎検討
3. 学会等名 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 細川 寛将, 板谷 明浩, 竹田 惇人, 山崎 佑輔, 稲田 亮史, 櫻井庸司
2. 発表標題 低融点リチウム含有酸化物を添加したガーネット型酸化物固体電解質の作製と評価
3. 学会等名 2019年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 斎藤 正也, 稲田 亮史, 櫻井 庸司, 南 浩成, 根守 浩良, 野村 雅也
2. 発表標題 エアロゾルデポジション法による積層型酸化物固体電解質の作製と評価
3. 学会等名 2019年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤 正也, 稲田 亮史, 櫻井 庸司, 南 浩成, 根守 浩良, 野村 雅也
2. 発表標題 エアロゾルデポジション法を用いた積層型固体電解質材料の作製及び特性評価
3. 学会等名 第50回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細川 寛将, 板谷 明浩, 竹田 惇人, 山崎 佑輔, 稲田 亮史, 櫻井 庸司
2. 発表標題 低融点リチウム含有酸化物を添加したガーネット型酸化物固体電解質の特性評価
3. 学会等名 第50回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryoji Inada
2. 発表標題 Challenges in Materials and Processing for Ceramic-Based All-Solid-State Batteries
3. 学会等名 University of Calgary Department Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryoji Inada
2. 発表標題 Research and Development for Ceramic-Based All-Solid-State Lithium Batteries
3. 学会等名 Emerging Technologies for Sustainable Energy Solutions 2nd Annual Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 櫻井 庸司, 稲田 亮史, 東城 友都, 引間 一浩, 松田 厚範, 武藤 浩行	4. 発行年 2021年
2. 出版社 科学情報出版	5. 総ページ数 315
3. 書名 リチウムイオン電池・全固体電池の材料技術 - プロセス・評価技術まで -	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>豊橋技術科学大学教員紹介 (稲田亮史) https://www.tut.ac.jp/university/faculty/ee/141.html</p> <p>豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 クリーンエネルギー変換研究室 http://www.cec.ee.tut.ac.jp/</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
研究協力者	タンガドゥライ ベンカタラマン (Thangadurai Venkataraman)	カルガリー大学・理学部化学科・教授	

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		
カナダ	University of Calgary		