

平成 30 年 5 月 22 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04126

研究課題名(和文) 高速充放電リチウムイオン電池用正極に向けた強誘電体/活物質ナノコンポジットの創製

研究課題名(英文) Development of ferroelectric-active materials nano-composites for cathode materials of high-rate Li ion batteries

研究代表者

寺西 貴志 (Teranishi, Takashi)

岡山大学・自然科学研究科・助教

研究者番号：90598690

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：次世代型車載用蓄電池に向けて、超高出力型Liイオン電池に対する需要が急速に高まりつつある。著者らは正極活物質-電解液界面における電荷移動促進を狙いとして、強誘電体ナノ粒子を人工界面層として適用した複合正極を新たに提案した。実際、チタン酸バリウムBaTiO₃をLi活物質LiCoO₂上に液相法により少量担持させた複合正極において、出力特性すなわち高速充放電特性を大幅に改善することに成功した。インピーダンス解析や薄膜電池を用いた一連の検証実験結果から、電界が集中する強誘電体-活物質-電解液の三相界面付近にLi優先拡散パスが存在し、三相界面密度が出力特性を決めうる重要なパラメータであると推察された。

研究成果の概要(英文)：On-board vehicle applications dictate the need for drastically improved power densities of Lithium ion batteries. We proposed composite cathodes with loading of ferroelectrics as an artificial interfacial layer, in attempt to promote Li diffusion at active materials-electrolyte interface. In fact, we succeeded to drastically improve the high rate capability of LiCoO₂ by loading of small amount of ferroelectric BaTiO₃. A series of experimental results (e.g., impedance analysis and thin film battery) implied that ferroelectrics-active material-electrolyte triple-phase junction where the electric field is intensified acts as an active Li pathway and the triple junction density is a dominant parameter determining power density.

研究分野：強誘電体セラミックス，無機材料化学

キーワード：リチウムイオン電池 高速充放電 固体電解質界面 強誘電体 分極アシスト

1. 研究開始当初の背景

近年、電気自動車(EV)の加速的な普及に伴い、数分あるいは秒単位での急速充電が可能な高出力二次電池に対する開発需要が急激に高まっている。電気二重層キャパシタや、リチウムイオンキャパシタは高い出力密度を示す一方、エネルギー密度はリチウムイオン電池(Lithium Ion Battery, LIB)の十分の一以下であり、主としてバックアップ電源への応用に留まっている。比較的高いエネルギー密度を有するLIBを出発として、出力密度を劇的に向上できれば、次世代車載用電池に向けて極めて魅力的な実用候補となることは間違いない。実際、2020年に向けエネルギー密度 200Wh/kg・出力密度 2,500W/kg 級の超高出力型二次電池実現のためのロードマップも NEDO より策定されている[1]。

LIBの出力特性は、主として活物質内のLi拡散抵抗と活物質—電解液間の電荷移動抵抗が律速する。活物質固体内のバルク拡散抵抗は、材料固有のLiイオン導電率により決定する。一方、電荷移動抵抗は界面に存在する電気二重層が関与する[2, 3]。例として、放電の場合を考えてみると、電解液中で溶媒和状態にあるLiが脱溶媒をし活物質表面に吸着する過程で、電解液-活物質界面にLi空乏層、すなわち電気二重層が形成され、電荷移動を阻害する[図1(i)]。また充放電サイクルの進行に伴い、電極の酸化還元により生じる電子が電解液を還元分解し、その分解生成物が固体電解質界面(Solid Electrolyte Interface, SEI)として活物質表面に形成される。このSEIを通過するLiイオンは減速し、同様に界面電荷移動を抑制する。後者のSEI生成を抑制するための既往研究として、活物質粒子への酸化膜修飾がある[4-6]。例として、Scottらは原子層堆積法(ALD)を用いて厚さ1nm以下のアモルファスAl₂O₃膜を、人工SEIとして正極活物質に全面被覆させることで、サイクル特性・出力特性を大幅に改善させている[6]。人工SEIが保護膜となり、活物質と電解液の直接接触が回避される。結果、本来生成するはずのSEIが抑制される。さらに、人工SEIを極薄化することで界面のLi移動距離が短縮し、電荷移動抵抗は効果的に減少する。

2. 研究の目的

我々は人工SEIの膜厚ではなく誘電分極に着目した。具体的には強誘電体酸化物を人工SEI層として用いたナノコンポジット正極を提案する(図1)。チタン酸バリウムBaTiO₃(BTO)に代表される強誘電体は、ドメイン(分域)壁に起因した双極子分極と格子振動に由来するイオン分極の両者により、大きな誘電分極を生じる。充放電時の直流電界下において、活物質-強誘電体界面に誘電分極Pが生じる。この分極を形成する電気的雙極子モーメントは図1に示した電荷の向きで強誘電体内に現れる。特に、曲率の高い強誘電体—活物質—電解液の三相界面においては、

電界集中により分極効果がより増強されると考えられる。陽イオンであるLiイオンが充電時に活物質から脱離する際は三相界面の負電荷に引き寄せられ、放電時、すなわちLiイオンが活物質内に挿入する際は負電荷がLiイオンを引き寄せる。こうした強誘電体SEIのいわば電荷誘導効果が活物質内へのLiイオンの円滑な挿入脱離反応をアシストし、高速充放電時においても高い容量を維持できるのではないかと期待した。

本研究は担持させる誘電体界面の組成・構造最適化により、LIBの高速充放電特性を大幅に改善させることを目的とした。

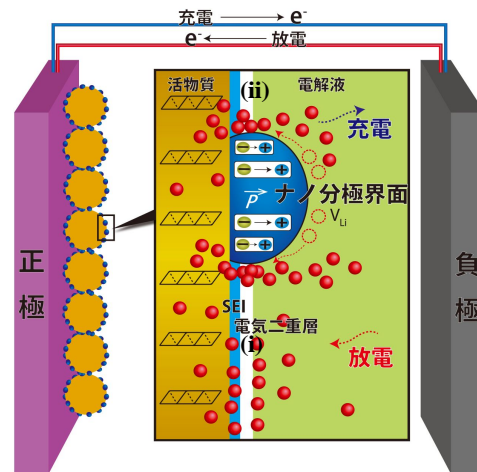


図1 LIBにおける界面電気二重層と誘電体界面によるLi移動促進モデル

3. 研究の方法

3-1. 液相法による BTO-LiCoO₂ 複合正極の作製と評価

試料作製は液相合成プロセスである汎用のゾルゲル法により行った。活物質としてコバルト酸リチウム LiCoO₂ (LCO) (日本化学工業、平均粒径 ~3μm)を用いた。担持させるBTOは対LCO比0.1-10mol%とした。LCO粉末を無水エタノール中で超音波分散させ、Ba源である酢酸バリウム Ba(CH₃COO)₂、Ti源のチタンブトキシド Ti(OC₄H₉)₄をそれぞれ酢酸、2-メトキシエタノールに溶解させた溶液として加えた。混合溶液を攪拌しながら約70℃で6時間加熱することで溶媒揮発を行った。最終的に本焼成を400℃から800℃の範囲において20時間行った。

合成した複合活物質粉末を用いて高速充放電試験を行った。電池評価に際し、まず正極シートを作製した。BT-LCコンポジット粉末：導電助剤(カーボンブラック)：結着剤(PVDFポリマー)を7:2:1wt比にて混合し、下地電極のAl箔に塗布後、120℃真空乾燥を行った。得られた正極シートを用いて、対極を金属Li、電解液を1mol/L LiPF₆(EC:DEC=3:7混合溶媒)とし、2032型コインセルを組み立てた。充放電試験における電位範囲は3.3-4.5V、1Cレート160mA/gとし充放電レートを0.1C(10時間満充放電)から10C(6分満充放電)まで各5サイクルずつ段階的にレート

を引き上げていながら評価した。

3 - 2 . 充放電 in-situ XAFS , インピーダンス解析

LCO の酸化還元反応に寄与する化学種である Co イオンの充放電に伴う価数変化を, 時分割波長分散型 XAFS (X-ray absorption fine structure, X 線吸収微細構造)解析により行った。実験はラミネートセルを用い, 立命館大学 SR センター-BL-3 および BL-5 において透過法を用いて行った。インピーダンス測定と同様, 10C レートまでの充放電試験後, 計 2 サイクル CC-CV・10C レートにおいて測定を行った。

さらに電池充放電中インピーダンス解析により, 電荷移動抵抗の評価を行った。実験は 2032 型コインセルを用いて対極を金属 Li としたハーフセルにより行った。

3 - 3 . PLD 法による二次元正極膜の作製と評価

誘電体の構造をモデル的に制御するため Pulsed Laser Deposition (PLD)を用い, 二次元的な積層正極膜を作製した。下部基板として SrTiO₃ (100)を用い, 積層構造は BTO (001) / LCO (104) / SrRuO₃ (SRO) (100) / SrTiO₃ (STO) (100)とした。BTO 被覆率を 100%とした膜 (BTO-planar), BTO をアイランド(ドット)状に成長させた膜(BTO-dot), BTO 未被覆 LCO 膜の計 3 種類を作製した。膜厚はそれぞれ BTO 約 3nm, LCO 約 130nm, SRO 約 50nm とした。作製した積層正極膜を 3.3 - 4.2V の電位範囲で充放電試験を行った。5 サイクル毎に 1C から 100C (36 秒満充放電)まで段階的に充放電レートを上げながら評価を行った。

4 . 研究成果

4 - 1 . BTO-LCO 複合正極における高速充放電特性

各 BTO 添加量におけるレート特性を図 2 に示す。また BTO 1mol%複合活物質における STEM, EDS 像を同図に示した。

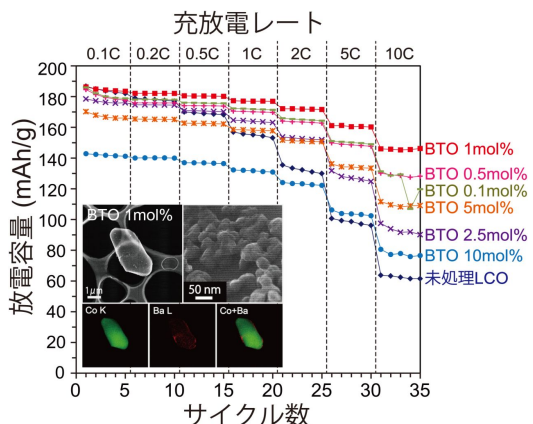


図 2 BTO - LCO 複合正極における急速充放電特性, および BTO 1mol%担持試料の STEM, EDS 像

粒径 50nm 弱の BTO ナノ粒子が LCO に担持されていることを確認した。未処理 LCO において, 低レート(0.1C)での初期放電容量は 187mAh/g であるが, 高レート(10C)では容量は 62mAh/g まで減少した。一方, BTO 担持試料では高レート特性が大幅に改善した。BTO 1mol%において最も向上しており, 10C レートにおける放電容量は 146mAh/g であった。この値は同レートでの対未処理 LCO 比で 238%の改善率であった。BTO 誘電体界面の導入が大幅に高速充放電を改善させることが分かった。

4 - 2 . In-situ XAFS

図 3 に Co-K 吸収端における while line peak のエネルギー値(E_1)変化を積算充放電容量に対して図示した。 E_1 の高エネルギー側が Co 酸化状態つまり Co^{4+} , 低エネルギー側が Co 還元状態つまり Co^{3+} であることを示している。比較として常誘電体である Al_2O_3 1mol% を担持した複合正極についても評価を行った。表面処理を行った Al_2O_3 1mol%および BTO 1mol%は未処理 LCO に比べて充放電に伴う Co 価数変化が明らかに大きいことが分かる。注目すべきは, 常誘電体 Al_2O_3 と強誘電体 BTO を比較した場合, BTO 担持試料において高電位側(充電側)で Co の酸化がより促進されている点である。これは DC 電界の増大に伴い BTO 内の誘電分極がより強力に作用しているためであるという解釈ができる。一方で, 誘電体である BTO がキャパシタ的な役割をしていないことが分かった。充放電 in-situ XAFS 解析により, 期待している BTO の分極アシスト効果の可能性が示唆された。

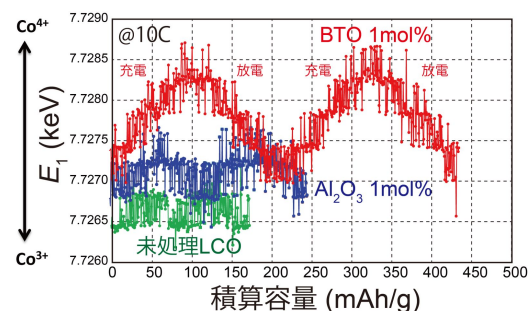


図 3 Co-K 吸収端における E_1 の充放電容量に対する変化

4 - 3 . In-situ インピーダンス測定

充電中 4.1V において測定した BTO 1mol% と未処理 LCO のナイキスト線図の比較を図 4 に示す。同図内に解析に用いた電池等価回路も示した。結果, Li イオンの活物質内への挿入脱離に伴う抵抗, すなわち電荷移動抵抗 R_{ct} が BTO 被覆により 1/10 以下まで顕著に低減できていることが分かった。これは, BTO の分極が界面電荷移動を促進していることを示唆する結果であった。

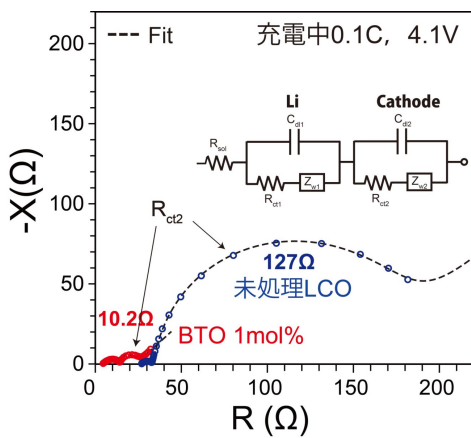


図4 BTO-LCOおよび未処理LCOにおけるナイキスト線図

4-4. 二次元積層正極膜における高速充放電特性

図5に(a)未被覆LCO膜、(b)BTO-planar膜、(c)BTO-dot膜における各レート5サイクル目の充放電曲線を示した。BTO-planarおよびBTO-dotについては、Top-view SEM像を図中に示した。BTO-planarにおいて、多結晶BTOがLCOを一面被覆しているのが確認できる。一方、BTOをアイランド成長させたBTO-dotでは、BTOの島状ナノ結晶を確認した。LCO-bareにおいて、レートの増大に伴い充放電容量は顕著に悪化した。特に50C(72秒満充放電)においては殆ど容量は得られなかった。またBTO-planarでは、1C初期容量が未被覆LCOを下回っており、レート特性も大きく悪化した。一方、BTO-dotにおいては明らかに高レート容量が向上しており、100Cという超高レートにおいても、1C初期容量の約半分の充放電容量が保持されている。

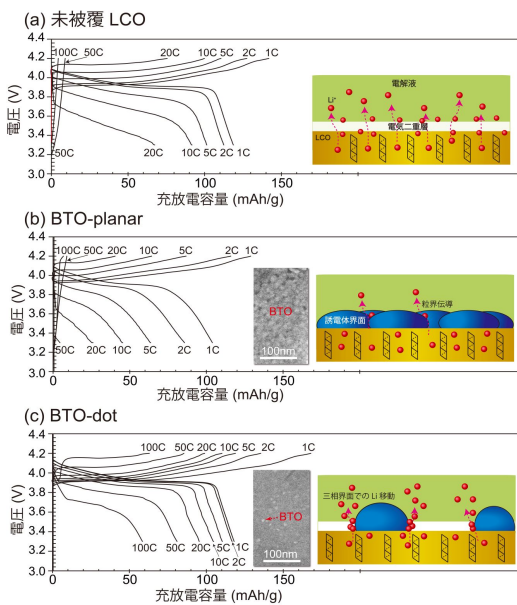


図5 積層正極膜における高レート特性[(a)未被覆LCO, (b)BTO-planar, (c)BTO-dot], Top-view SEM像[(b), (c)], および推定Li拡散経路

これら電池特性の結果から推定される界面Li移動経路を、充電の場合で考察する。まず未被覆LCOにおいては、界面電気二重層がLiの移動を妨げる[図5(a)]。BTO-planarでは、LCOから脱離したLiはBTO粒界を移動し、電解液に抜け出る必要がある[図5(b)]。電気二重層中の電荷移動に比べ、BTO結晶粒界のLi拡散は非常に遅く、その結果レート特性は悪化したと考える。一方、BTO-dotにおいては、BTO-LCO-電解液の三相界面が多数存在する[図5(c)]。ここで、誘電分極の大きさは $P = \epsilon_0(\epsilon_r - 1)E$ で与えられ、電界強度と比誘電率により決定する。高 ϵ_r を有する誘電体内部には大きな分極が形成される。誘電体-活物質界面における分極の負電荷がカチオンであるLiを電気二重層内に引き寄せる[図1(ii)]。その結果、BTO-LCO-電解液の三相界面近傍に活性なLi移動パスが形成し、電荷移動抵抗が低下することで高レート特性が改善したと考えた。

4-5. (Ba, Sr)TiO₃系誘電体界面による低温出力の改善

近年、LIBの重要性能課題の一つに、低温での出力増強が挙げられる。寒冷地におけるハイブリッド自動車の燃費向上やEVの急速充電のためには、低温出力の改善が不可欠である。誘電体界面の比誘電率が高いほど電荷移動抵抗の低減効果が大きいと考え、誘電率の温度特性を利用することで低温出力の改善が見込める。例として、Ba_xSr_{1-x}TiO₃(BSTO)は全率固溶系の強誘電体であり、Sr置換量の増大に伴い誘電率極大温度(T_m)は低温にシフトする。この性質を利用することでLIBの低温出力が改善できないかと考えた。

BSTOの添加量はBTO-LCO系で出力特性が最大となる1mol%に固定した。検討組成は $x = 0$ (SrTiO₃, STO), 0.3, 0.5, 0.6, 0.7, 1 (BTO)の6水準とした。複合活物質の合成は金属有機化合物分解(MOD)法により行った。室温および低温0において急速充放電試験を行った。また、BSTO各組成の単相ナノ粒子を別途合成し、加圧成形体の比誘電率を測定した。誘電体界面の比誘電率と、初期容量に対する10C容量保持率の関係を図6に示す。室温25では、比誘電率と出力特性の間に明確な相関性は確認できなかった。一方、0では明らかに両者間に正相関関係が確認できた。特に、0付近に T_m を持つBSTOにおいてレート特性が大きく改善した。界面電荷移動は熱活性過程であり、室温ではある程度の活性状態にあるため分極の効果が小さいと考えた。一方、温度低下に伴い電荷移動の熱活性が失われることで、誘電率の効果が顕著化したと推察した。誘電率温度特性を利用することで、LIBの低温出力を効果的に改善できる可能性が示された。

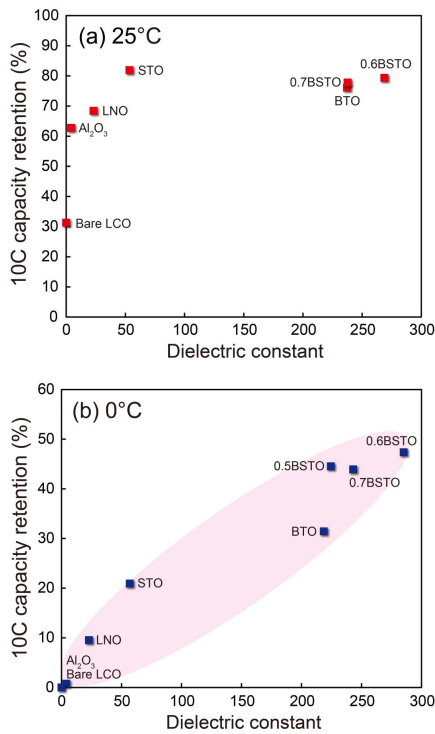


図 6 室温および 0 °C での比誘電率と 10C 容量保持率の関係

参考文献

[1]NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013 (Battery RM2013), NEDO (2013). [2]Y. Takanashi et al., *J. Power Sources*, 196, 10679 (2011). [3] P. Simon et al., *Nature Mater.*, 7, 845 (2008). [4]Y. J. Kim et al., *J. Electrochem. Soc.*, 149, A1337 (2002). [5]W. Chang et al., *J. Power Sources*, 195, 320 (2010). [6]I. D. Scott et al., *Nano Lett.*, 11, 414 (2011).

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 7 件)

- 1) Low-temperature High-rate Capabilities of Lithium Batteries via Polarization-assisted Ion Pathways, T. Teranishi, N. Katsuji, K. Chajima, S. Yasuhara, M. Inohara, Y. Yoshikawa, S. Yasui, H. Hayashi, A. Kishimoto, M. Itoh, *Adv. Electron. Mater.* 4, 1700413-1-7 (2018). 査読有り
- 2) Synthesis of nano-crystalline LiNbO₃-decorated LiCoO₂ and resulting high-rate capabilities., T. Teranishi, M. Inohara, J. Kano, H. Hayashi, A. Kishimoto, K. Yoda, H. Motobayashi, Y. Tasaki, *Solid State Ionics*, 314, 57-60 (2018). 査読有り
- 3) Loading effect of a barium titanate artificial interface on high voltage capabilities at high charge and discharge rates., Y Yoshikawa, T. Teranishi, H. Hayashi, A. Kishimoto, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 56, 10PC01-1-4 (2017). 査読有り
- 4) High rate capability of a BaTiO₃-decorated LiCoO₂ cathode prepared via metal organic decomposition., T. Teranishi, N. Katsuji, Y. Yoshikawa, M. Yoneda, H. Hayashi, A. Kishimoto, K. Yoda, H. Motobayashi and Y. Tasaki, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 55, 10TB01-1-5 (2016). 査読有り
- 5) In situ time-resolved dispersive X-ray absorption

fine structure analysis of BaTiO₃-LiCoO₂ composites for lithium ion batteries., T. Teranishi, Y. Yoshikawa, R. Miyahara, H. Hayashi, A. Kishimoto, M. Katayama, Y. Inada, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 124, 659-663 (2016). 査読有り

- 6) High-Rate Capabilities of Ferroelectric BaTiO₃-LiCoO₂ Composites with Optimized BaTiO₃ Loading for Li-Ion Batteries., T. Teranishi, Y. Yoshikawa, R. Sakuma, H. Okamura, H. Hashimoto, H. Hayashi, T. Fujii, A. Kishimoto, and Y. Takeda, *ECS Electrochem. Lett.*, 4, A137-A140 (2015). 査読有り
- 7) In situ Impedance Analysis on BaTiO₃-LiCoO₂ Composite Cathodes for Lithium Ion Batteries., T. Teranishi, Y. Yoshikawa, R. Sakuma, H. Okamura, H. Hayashi, A. Kishimoto, and Y. Takeda, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 54, 10NB02-1-5 (2015). 査読有り

〔学会発表〕(計 26 件)

- 1) 寺西貴志, 難波拓也, 勝治直人, 吉川祐未, 林秀考, 岸本昭, “誘電分極界面を利用したリチウムイオン二次電池の高出力化”, 2018年3月15-17日, 日本セラミックス協会2018年会, 仙台
- 2) 勝治直人, 吉川祐未, 寺西貴志, 林秀考, 岸本昭, “分極アシスト効果を利用した(Ba, Sr)TiO₃-LiCoO₂ 複合正極における低温出力特性”, 第56回セラミックス基礎科学討論会, 2018年1月11-12日, つくば
- 3) 難波拓也, 吉川祐未, 寺西貴志, 林秀考, 岸本昭, “高速充放電 Li イオン電池に向けた BaTiO₃-グラファイト複合負極の開発”, 第56回セラミックス基礎科学討論会, 2018年1月11-12日, つくば
- 4) 茶島圭介, 寺西貴志, 林秀考, 岸本昭, 安原颯, 安井伸太郎, 伊藤満, “強誘電体-活物質ナノ積層正極膜の電池特性評価”, 第55回セラミックス基礎科学討論会, 2017年1月12-13日, 岡山
- 5) T. Teranishi, Y. Yoshikawa, H. Hayashi, A. Kishimoto, S. Yasuhara, S. Yasui, M. Itoh, “Ferroelectric SEIs for Ultrahigh Rate Lithium Ion Batteries”, ICE2017, 2017年5月28日-31日, 名古屋
- 6) 寺西貴志, 吉川祐未, 林秀考, 岸本昭, “強誘電体界面を導入した Li 電池正極における高出力特性”, 第34回強誘電体応用会議, 2017年5月31日-6月3日, 京都
- 7) 勝治直人, 吉川祐未, 寺西貴志, 林秀考, 岸本昭, “強誘電体(Ba, Sr)TiO₃を人工界面として利用した Li 電池正極における低温出力特性”, 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム, 2017年9月19-21日, 神戸
- 8) 寺西貴志, 吉川祐未, 林秀考, 岸本昭, “誘電体界面を利用した高速充放電 Li イオン電池の開発”, 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム, 2017年9月19-21日, 神戸 (招待講演)
- 9) T. Teranishi, N. Katsuji, Y. Yoshikawa, H. Hayashi, A. Kishimoto, “Polarization Assisted Low Temperature Power Density of Lithium Ion Batteries”, 18th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics, 2017年11月5-8日, 米国 (招待講演)
- 10) T. Teranishi, “Broadband spectroscopy on dielectric oxides”, OptoX NANO, 2017年11月20-23日, 岡山 (招待講演)
- 11) T. Teranishi, Y. Yoshikawa, H. Hayashi, A. Kishimoto, “Lithium Ion Batteries with Polarization Assisted Ultrahigh Rate Capability”, 2016 Joint RCBJSF-IWRF, 2016年6月20日, 松江 (招待講演)

- 12) 寺西貴志, 吉川祐未, 林秀考, 岸本昭, “高速充放電 Li イオン電池に向けたペロブスカイト誘電体 SEI の検討”, 日本セラミックス協会第 29 回秋季シンポジウム, 2016 年 9 月 9 日, 東広島 (依頼講演)
- 13) T. Teranishi, Y. Yoshikawa, H. Hayashi, A. Kishimoto, “Ferroelectric SEI for Lithium Ion Batteries with Ultrahigh Rate Capability”, PRiME2016, 2016 年 10 月 2-7 日, 米国
- 14) S. Yasuhara, K. Chajima, T. Teranishi, S. Yasui, T. Taniyama, M. Itoh, “Role of Cathode-Electrolyte-Ferroelectric Interface for High Performance Lithium Ion Battery”, PRiME 2016, 2016 年 10 月 2-7 日, 米国
- 15) 寺西貴志, 吉川祐未, 茶島圭介, 勝治直人, 難波拓也, 林秀考, 岸本昭, “高出力 Li イオン電池に向けたペロブスカイト強誘電体 SEI の検討”, 第 57 回電池討論会, 2016 年 11 月 29 日-12 月 1 日, 千葉
- 16) Y. Yoshikawa, N. Katsuji, K. Chajima, T. Teranishi, H. Hayashi, A. Kishimoto, K. Yoda, H. Motobayashi, Y. Tasaki, “Ferroelectric Artificial SEIs for Lithium Ion Batteries with Ultra High-Rate Capability”, 第 26 回日本 MRS 年次大会, 2016 年 12 月 19-22 日, 神奈川
- 17) 寺西貴志, 勝治直人, 吉川祐未, 林秀考, 岸本昭, 依田孝次, 本林秀文, 田崎雄三, “液相法による強誘電体 - 活物質複合正極の作製と高速充放電特性”, 第 54 回セラミックス基礎科学討論会, 2016 年 1 月 7-8 日, 佐賀
- 18) 吉川祐未, 寺西貴志, 林秀考, 岸本昭, “高速充放電リチウムイオン電池に向けた強誘電体 - 活物質複合正極”, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 2016 年 3 月 19-22 日, 東京
- 19) 寺西貴志, 吉川祐未, 林秀考, 岸本昭, “高速充放電 Li イオン電池に向けた強誘電体 SEI の開発”, 第 33 回強誘電体応用会議, 2016 年 5 月 25-28 日, 京都
- 20) 寺西貴志, 勝治直人, 難波拓也, Muhammad Radzi, 吉川祐未, 林秀考, 岸本昭, “高速充放電 Li イオン電池に向けた強誘電体界面の検討”, 日本セラミックス協会 2016 年年会, 2016 年 3 月 14-16 日, 東京
- 21) 茶島圭介, 寺西貴志, 林秀考, 岸本昭, 安原颯, 安井伸太郎, 伊藤満, “強誘電体-活物質ナノ積層正極膜の電池特性評価”, 日本セラミックス協会 2016 年年会, 2016 年 3 月 14-16 日, 東京
- 22) 寺西貴志, 吉川祐未, 佐久間諒, 橋本英樹, 林秀考, 岸本昭, 藤井達生, 岡村浩和, 武田保雄, “高速充放電二次電池に向けた強誘電体 SEI の検討”, 第 32 回強誘電体応用会議, 2015 年 5 月 20-23 日, 京都
- 23) T. Teranishi, Y. Yoshikawa, H. Hashimoto, H. Hayashi, T. Fujii, A. Kishimoto, “High rate capability of ferroelectrics-active materials composite cathodes for lithium ion batteries”, PAEES-1, 2015 年 10 月 14-16 日, カナダ
- 24) 寺西貴志, 難波拓也, 勝治直人, 吉川祐未, 林秀考, 岸本昭, “BaTiO₃ 系強誘電体 活物質複合正極における高速充放電特性”, 第 35 回エレクトロセラミックス研究討論会, 2015 年 10 月 22-23 日, 東京
- 25) T. Teranishi, Y. Yoshikawa, H. Hashimoto, H. Hayashi, T. Fujii, A. Kishimoto, “High rate performance on ferroelectrics-active materials composite cathode for lithium ion batteries”, 17th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics, 2015 年 11 月 15-18 日, 長野
- 26) T. Teranishi, T. Namba, N. Katsuji, Y. Yoshikawa, H. Hayashi, A. Kishimoto, “High-Rate Capability of

BaTiO₃ Based Ferroelectrics-Active Materials Composite Cathode For Lithium Ion Battery”, 第 25 回日本 MRS 年次大会, 2015 年 12 月 8-10 日, 神奈川

【図書】(計 3 件)

- 1) 寺西貴志, 「誘電体界面を利用したリチウムイオン電池の高出力化」, セラミックス, 53, 227-230 (2018).
- 2) 寺西貴志, 「強誘電体の分極を利用した超高速充放電リチウムイオン二次電池の開発」, 加工技術, 51, 241-247 (2016).
- 3) 寺西貴志, 「超高出力二次電池に向けた強誘電体界面の利用」, セラミックデータブック 2016, 工業製品技術協会, 44, [98], 84-88, (2016).

【産業財産権】

出願状況 (計 1 件)

- 1) 名称: リチウムイオン電池の正極材料の製造方法及びこの方法で製造した電極材料
発明者: 寺西 貴志, 岸本 昭, 吉川 祐未
権利者: 岡山大学
種類: 特許
番号: 特開 2016-149270
出願年月日: 2015 年 2 月 12 日
国内外の別: 国内

【その他】

- 1) 2017.10.30 日本経済新聞 (科学技術面) 掲載 <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO22856230Z21C17A0TJM000/>
- 2) 日経エレクトロニクス 2018 年 1 月号 掲載 <http://tech.nikkeibp.co.jp/dm/atcl/mag/15/318381/201801/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺西 貴志 (TERANISHI TAKASHI)
岡山大学・大学院自然科学研究科・助教
研究者番号: 90598690

(2) 研究分担者

岸本 昭 (KISHIMOTO AKIRA)
岡山大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号: 30211874

林 秀考 (HAYASHI HIDETAKA)
岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号: 90164954

保科 拓也 (HOSHINA TAKUYA)
東京工業大学・物質理工学院・助教
研究者番号: 80509399

安井 伸太郎 (YASUI SHINTARO)
東京工業大学・フロンティア材料研究所・助教
研究者番号: 40616687