

令和 4 年 4 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15668

研究課題名(和文) 固体内酸素の活性化と安定化を両立する逆蛍石型固溶体材料の開拓

研究課題名(英文) Activation and Stabilization of Solid State Oxygen Redox in Antifluorite-Type Cathode Materials

研究代表者

小林 弘明 (Kobayashi, Hiroaki)

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号：90804427

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では高い理論エネルギー密度を持つ逆蛍石型酸化物材料のサイクル性向上を目的とし、以下の成果が得られた。(1)Li₂OにCuとFを同時にドーピングすることにより、Cuのレドックスに伴う構造変化を抑制し、サイクル性向上を達成した。(2)歪み逆蛍石材料をカチオンディスオーダーにより立方晶化させることによりレドックス反応の過電圧低減に成功した。(3)典型元素としてGeやPをドーピングすることにより固体内酸素が安定化され、高エネルギー密度化とサイクル性向上を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

再生可能エネルギーの負荷平準化用電源や車載用電源としてリチウムイオン電池の高エネルギー化は重要である。本研究で着目した材料はリチウムイオン電池の中でも最高の理論エネルギー密度を有する材料群であり、本成果によりリチウムイオン電池正極の高エネルギー化およびそのサイクル性向上の設計指針が提示されたと判断できる。更なる研究進展によりポストリチウムイオン電池の実用化が大きく近づくと考えられる。

研究成果の概要(英文)：To improve the cyclability of anion redox in antifluorite-type cathode materials, the following results were found:

(i) Cyclability is enhanced by suppressing the lattice parameter change during Cu-redox by Cu and F co-doping into Li₂O. (ii) Redox overpotential in distorted antifluorites are suppressed by cation-disordering. (iii) Ge- or P-doping are effective for enhancing energy density and cyclability.

研究分野：材料科学、電気化学

キーワード：リチウムイオン電池 正極材料 逆蛍石型酸化物 アニオンレドックス

1. 研究開始当初の背景

高エネルギー蓄電デバイスとしてリチウムイオン電池は広く用いられているが、そのエネルギー密度は理論限界に迫っており、電気自動車やスマートグリッドを支える定置用電源の幅広い普及には全く新しい材料開発による蓄電技術のブレークスルーが必須である。現行リチウムイオン電池の高エネルギー密度化に対する大きなボトルネックは、正極側でコバルトなどの重い遷移金属の 1 電子レドックス反応しか利用できていないことであり、代わりに酸素などの軽い元素のレドックス反応を利用出来ればエネルギー密度は飛躍的に向上する。近年層状構造の $\text{Li}_2\text{MnO}_3\text{-LiCoO}_2$ 固溶体や岩塩型構造の $\text{Li}_3\text{NbO}_4\text{-LiMnO}_2$ 固溶体など、遷移金属の 1 電子レドックス反応に加えて固体内酸素のレドックス (O^-/O^{2-}) を利用可能な新しい正極材料の研究が積極的に進められているが、これら材料における固体内酸素レドックス反応の寄与はわずかであり、大きなエネルギー密度の向上には至っていない。

研究代表者は現行リチウムイオン電池正極の新材料として、コバルトや鉄などの遷移金属を酸化リチウム (Li_2O) にドーピングした、逆蛍石型固溶体材料を開発した。本正極材料の主反応は固体内酸素のレドックス ($\text{O}_2^{2-}/\text{O}^{2-}$) であり、負極に金属リチウムを用いた場合には現行のリチウムイオン電池の約 7 倍のエネルギー密度 (2570 Wh kg^{-1}) を達成可能である。還元体および酸化体の Li_2O と Li_2O_2 は共に絶縁体のため、この正極反応の進行は困難であるが、 Li_2O への遷移金属ドーピングにより、遷移金属の酸化還元を介して酸化物イオンが活性化され固体内酸素レドックス ($\text{O}_2^{2-}/\text{O}^{2-}$) が可能になることを見出した。またこれまでの研究で、ドーピングされた遷移金属あたり約 4 電子反応の酸化還元が進行し、現行のリチウムイオン電池の約 3 倍 (1100 Wh kg^{-1}) のエネルギー密度を達成した。しかしながら本材料は充放電の繰り返しとともに徐々に過電圧が大きくなり、50~200 サイクル程で容量が大きく低下するため、実用化を目指す上ではサイクル性の向上が急務である。サイクル性能を向上させる上での重要な要素は、充電時の分解反応 (酸素発生反応) の抑制である。目的反応である Li_2O からの Li_2O_2 生成反応 ($E^\circ = 2.87 \text{ V vs. Li}^+/\text{Li}$) と、分解反応である Li_2O からの O_2 生成反応 ($E^\circ = 2.91 \text{ V vs. Li}^+/\text{Li}$) および Li_2O_2 からの O_2 生成反応 ($E^\circ = 2.96 \text{ V vs. Li}^+/\text{Li}$) との電位差は数十 mV と非常に小さく、充電時にかかる過電圧を考慮すると目的反応と分解反応は常に競争的に起こりうると言える。また充電深度が深くなると Li_2O 量が減少、 Li_2O_2 量が増加し、 Li_2O_2 からの O_2 生成反応が起こりやすくなる。そのため Li_2O 型正極材料の高性能化には「酸化物イオンを活性化し過酸化物生成反応を効率よく進行させる」「酸化後の過酸化物イオンを安定化させ分解を抑制する」二つの両立が必要となる。

2. 研究の目的

本研究では高い理論エネルギー密度を持つ逆蛍石型酸化物材料において、酸化物イオンと過酸化物イオンの間の固体内レドックス反応を利用し、高エネルギー密度と高いサイクル性能を両立した固溶体正極材料開発を目的とする。還元状態の酸化物イオンの活性化と酸化状態の過酸化物イオンの安定化を両立するため、酸化物イオンを活性化させる元素と過酸化物イオンを安定化させる元素を同時に酸化リチウムに固溶させた多元系材料を合成し、競争的に起こる分解反応を抑制、高エネルギー密度と高サイクル特性の両立を実現する。また電気化学特性・オペランド測定・放射光分析等から材料を多角的に評価、可逆容量や充放電反応機構と構造・組成との相関を明らかにし、逆蛍石型酸化物材料の電気化学反応メカニズムを統一的に解明する。

3. 研究の方法

逆蛍石型酸化物は Li_2O とドーピング元素源 (CuO , LiF など金属酸化物またはリチウム化合物) とをメカニカルアロイング処理することで合成した。また、立方晶から歪んだ構造をもつ正方晶・直方晶逆蛍石型酸化物は Li_2O とドーピング元素源とを混合後 Ar フロー下で焼成し合成した。正方晶・直方晶逆蛍石型酸化物の立方晶化はメカニカルアロイング処理により行った。

合成材料は CO_2 、 H_2O に対し不安定であるため、キャラクタリゼーションは全て大気非暴露下で行った。放射光測定はあいちシンクロトロン光センターにて実施した。正極特性評価は、Ar 置換グローブボックス中にて、合成材料、導電助剤、結着材を混練した正極、Li 金属箔負極、1 M $\text{LiPF}_6/\text{ED-DMC}$ (VC 添加) 電解液からなるコインセルを作製し、 25°C にて実施した。充電時のセル内圧力分析はピエゾ圧力計を接続した二極セルを用いた。電気化学的に酸化・還元した電極試料の分析はセルを Ar 置換グローブボックス中で解体後に DME で電極を洗浄後、大気非暴露にて行った。

4. 研究成果

(1) Li₂O への Cu, F 同時ドーピングによる高容量正極のサイクル性向上

Li₂O に活性化元素として Cu、安定化元素として F をメカニカルアロイングにより同時に固溶した逆蛍石型酸化物を新規に合成した。構造解析の結果、Li₂O 中のカチオンサイトに Cu が、アニオンサイトに F がそれぞれ置換固溶していることが示唆された。本材料は 300 mAh g⁻¹ で繰り返しの充放電が可能であり、Cu^{2+/3+} および O^{2-/O₂²⁻} のレドックスが可逆に進行することが確認された。Li₂O 酸化リチウムに銅のみを固溶した材料でも 300 mAh g⁻¹ の初回充放電容量を示したが、繰り返しとともに可逆容量が低下した。充放電時の構造解析の結果、Cu のみを固溶した材料は繰り返し充放電後に Li₂CuO₂ に分解していることが明らかとなった。Cu²⁺ は Li₂O 中では四面体四配位、Li₂CuO₂ 中では平面四配位であり、ヤーンテラーにより平面四配位の方が安定である。充放電時の Cu 価数変化により Cu-O 距離が変化し、その繰り返し過程で安定な平面四配位に構造が変化したと考えられる。一方で、Cu と F を同時に固溶した材料では繰り返し充放電後の分解が抑制されていた。さらに、充放電前後の逆蛍石相の格子定数がほとんど変化していなかった。フッ素置換により逆蛍石相が安定化し格子定数の変化が抑制され、サイクル性向上につながったと考えられる。

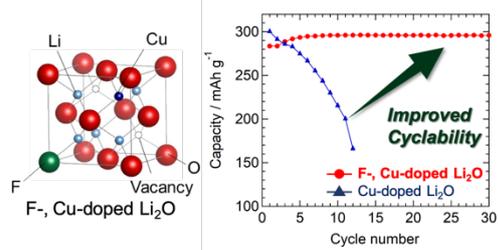


図 1 Li₂O へ Cu と F の同時ドーピングによりサイクル性が向上した。(ACS Appl. Energy Mater. 2019, 2, 4389 より引用)

(2) 歪み逆蛍石構造の立方晶化による可逆容量向上

活性化元素として Co や Fe を含む Li₆CoO₄、Li₅FeO₄ は焼成法で合成されるが、遷移金属や空孔の規則配列により構造が正方晶や直方晶に歪んだ構造をとる。これら材料は固体内酸素レドックスを示すと予想されるが、既報では酸素レドックスほとんど見られず、遷移金属のレドックスのみしか発現しなかった。本研究ではこれら歪み材料をメカニカルアロイング処理することで、カチオンサイトが等価にディスオーダーした立方晶逆蛍石型酸化物に変換されることを見出した。本材料は遷移金属と固体内酸素のレドックスが可逆に進行し、Li₆CoO₄ において 498 mAh g⁻¹、Li₅FeO₄ において 320 mAh g⁻¹ の充放電容量を示した。放射光分析により反応メカニズムを調査した結果、充電による遷移金属イオンの酸化に伴いカチオン不規則立方晶岩塩相が生成し、複製した Li₂O が Li₂O₂ へ酸化されることが明らかとなった。本反応メカニズムは第一原理計算からも裏付けられた。歪み逆蛍石でも同様の反応が起こると考えられるが、歪み(正方晶・直方晶)から充電相の立方晶岩塩への構造変化が困難であり大きな過電圧を必要としたため、後続反応の酸素レドックスが進行せず分解反応が進行したと考えられる。カチオンサイトなど局所構造・結晶構造などマクロ構造を両方チューニングすることにより、目的反応の過電圧を抑制し利用できることが明らかとなった。

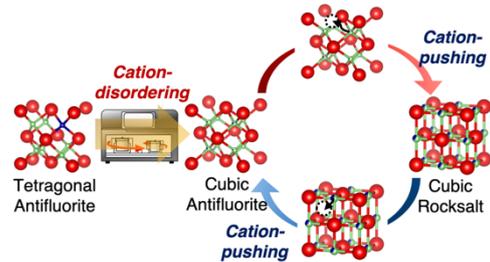


図 2 歪み逆蛍石材料のメカニカルアロイングによりカチオンディスオーダー逆蛍石へ構造変化し、固体内酸素レドックスの利用が可能となった。(ACS Appl. Mater. Interfaces 2020, 12, 43605 より引用)

(3) 典型金属ドーピングによる高エネルギー化およびサイクル性向上

(2)の研究で開発した立方晶逆蛍石 Li₅FeO₄ のサイクル性を向上させるため、異種元素(Al, Si, Ge, P, S, F, Cl, Br)をドーピングした材料を合成した。これらはすべて逆蛍石型酸化物に帰属され、不純物は見られなかった。この材料の正極特性を評価した結果、Ge または P をドーピングした材料でエネルギー密度・サイクル性の向上が確認された。放射光分析によりレドックス機構は無置換体と同様であったため、添加元素の効果を調査した。Ge をドーピングした材料において、固体内酸素レドックスが進行する高電圧側領域において Ge の局所構造が変化することが確認され、レドックスを担う酸素に Ge が結合し、酸素レドックスが安定化されたと考えられる。現在 P をドーピングした材料の放射光分析および第一原理計算を進めている。

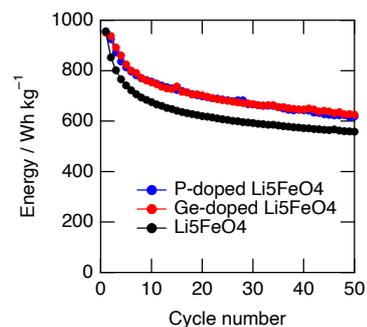


図 3 Li₅FeO₄ への Ge, P ドーピングにより高エネルギー密度化に成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kobayashi Hiroaki, Oizumi Kotaro, Tomai Takaaki, Honma Itaru	4. 巻 -
2. 論文標題 Graphene and Polyethyleneimine Bilayer Wrapping onto Quinone Molecular Crystal Cathode Materials for Aqueous Zinc-Ion Batteries	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.2c00134	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 Katsuyama Yuto, Kobayashi Hiroaki, Iwase Kazuyuki, Gambe Yoshiyuki, Honma Itaru	4. 巻 -
2. 論文標題 Are Redox Active Organic Small Molecules Applicable for High Voltage (<4 V) Lithium Ion Battery Cathodes?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 2200187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.202200187	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 Kobayashi Hiroaki, Yuan Guohao, Gambe Yoshiyuki, Honma Itaru	4. 巻 4
2. 論文標題 Effective Li ₃ AlF ₆ Surface Coating for High-Voltage Lithium-Ion Battery Operation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 9866 ~ 9870
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.1c01885	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 Kobayashi Hiroaki, Tsukasaki Takashi, Ogasawara Yoshiyuki, Hibino Mitsuhiro, Kudo Tetsuichi, Mizuno Noritaka, Honma Itaru, Yamaguchi Kazuya	4. 巻 12
2. 論文標題 Cation-Disorder-Assisted Reversible Topotactic Phase Transition between Antifluorite and Rocksalt Toward High-Capacity Lithium-Ion Batteries	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 43605 ~ 43613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c10768	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 Kobayashi Hiroaki, Makimoto Tetsuya, Ogasawara Yoshiyuki, Harada Kosuke, Nakayama Masanobu, Hibino Mitsuhiro, Kudo Tetsuichi, Mizuno Noritaka, Yamaguchi Kazuya	4. 巻 1
2. 論文標題 Universal solid-state oxygen redox in antiferroelectric lithium oxides via transition metal doping	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 1301 ~ 1306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0MA00395F	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 -

1. 著者名 Fujihara Yui, Kobayashi Hiroaki, Takaishi Shinya, Tomai Takaaki, Yamashita Masahiro, Honma Itaru	4. 巻 12
2. 論文標題 Electrical Conductivity-Relay between Organic Charge-Transfer and Radical Salts toward Conductive Additive-Free Rechargeable Battery	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 25748 ~ 25755
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c03642	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 Okuda Daisuke, Kobayashi Hiroaki, Ishikawa Masashi	4. 巻 255
2. 論文標題 Charge-discharge mechanism and capacity degradation of Co-substituted Li5AlO4 during cycling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 123619
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matchemphys.2020.123619	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 Okuda Daisuke, Kobayashi Hiroaki, Ishikawa Masashi	4. 巻 5
2. 論文標題 Electrochemical Characteristics of Co-Substituted - and -Li5AlO4 as High-Specific Capacity Positive Electrode Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 16912 ~ 16918
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.0c02111	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 -

1. 著者名 Okuda Daisuke, Kobayashi Hiroaki, Ishikawa Masashi	4. 巻 353
2. 論文標題 Electrochemical characteristics and charge-discharge mechanisms of Co-substituted Li5AlO4 as a novel positive electrode material	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Solid State Ionics	6. 最初と最後の頁 115374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ssi.2020.115374	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 Shimada Yuta, Kobayashi Hiroaki, Ogasawara Yoshiyuki, Hibino Mitsuhiro, Kudo Tetsuichi, Mizuno Noritaka, Yamaguchi Kazuya	4. 巻 2
2. 論文標題 Fluorine and Copper Codoping for High Performance Li ₂ -Based Cathode Utilizing Solid-State Oxygen Redox	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 4389 ~ 4394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b00574	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27件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 中村祐輝、小林弘明、本間格
2. 発表標題 典型元素置換によるカチオン不規則Li5FeO4正極の高エネルギー化
3. 学会等名 電気化学会第89回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Nakamura, Hiroaki Kobayashi, Itaru Honma
2. 発表標題 Structural and morphological control of Li5FeO4 for high capacity lithium-ion battery
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村祐輝、小林弘明、本間格
2. 発表標題 カチオン不規則逆蛭石型正極材料の異種元素置換によるアニオンレドックス安定化
3. 学会等名 第62回電池討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林 弘明、中村 祐輝、本間 格
2. 発表標題 カチオン不規則逆蛭石型正極材料のレドックス反応解析
3. 学会等名 第62回電池討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林 弘明、原 国豪、雁部 祥行、本間 格
2. 発表標題 5V級正極のLi ₃ AlF ₆ コーティングによるサイクル性向上
3. 学会等名 第62回電池討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥田大輔、小林弘明、石川正司
2. 発表標題 新規アニオンレドックス型正極活物質Co置換Li ₄ SiO ₄ の電気化学特性
3. 学会等名 第62回電池討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuto Katsuyama, Hiroaki Kobayashi, Kazuyuki Iwase, Yoshiyuki Gambe, Itaru Honma
2. 発表標題 Prospects of Croconic Acid as High-Voltage (> 4V) Cathode Material for Lithium-ion Batteries
3. 学会等名 Organic Battery Days 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林弘明、中村祐輝、本間格
2. 発表標題 鉄および酸素のレドックスを利用する高容量リチウムイオン電池正極の開発
3. 学会等名 第10回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥田大輔、小林弘明、石川正司
2. 発表標題 アニオンの酸化還元反応を電荷補償に利用する正極材料Li ₄ SiO ₄ の電荷補償メカニズム調査
3. 学会等名 立命館大学SRセンター研究成果報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村祐輝、小林弘明、本間格
2. 発表標題 結晶相/アモルファス相界面の反応を利用した逆蛍石型正極材料の高容量化
3. 学会等名 超秩序構造科学若手の学校
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林弘明、中村祐輝、本間格
2. 発表標題 高容量リチウム電池正極用不規則逆蛭石型 Li_5FeO_4 正極の開発
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村祐輝、小林弘明、本間格
2. 発表標題 Li_5FeO_4 の構造・形態制御による高容量化と反応機構の解明
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥田大輔, 小林弘明, 石川正司
2. 発表標題 リチウムイオン電池用新規正極活物質Co置換 Li_5AlO_4 の電気化学特性
3. 学会等名 第46回固体イオニクス討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村祐輝, 小林弘明, 本間格
2. 発表標題 カチオンディスオーダーによる Li_5FeO_4 の正極特性向上
3. 学会等名 第51回セミコンファレンス・第33回東北若手の会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daisuke Okuda, Hiroaki Kobayashi, Masashi Ishikawa
2. 発表標題 Electrochemical Characteristics of Anion-Redox Type Cathode Materials with High Specific Capacity
3. 学会等名 PRiME 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥田大輔、小林弘明、石川正司
2. 発表標題 リチウムイオン電池用新規正極活物質Co置換Li5AlO4の電気化学特性
3. 学会等名 第9回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroaki Kobayashi, Yuta Shimada, Yoshiyuki Ogasawara, Mitsuhiro Hibino, Tetsuichi Kudo, Noritaka Mizuno, Kazuya Yamaguchi
2. 発表標題 Mechanochemical Fluorine-Doping to Antifluorite-Type Lithium Copper Oxide Cathode for Improvement of Cyclability in Li-ion Battery
3. 学会等名 PACRIM13 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥田大輔、小林弘明、石川正司
2. 発表標題 アニオンレドックス型正極活物質Coドーブ および -Li5AlO4の電気化学特性
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林弘明, 塚崎隆志, 小笠原義之, 工藤徹一, 日比野光宏, 水野哲孝, 本間格, 山口和也
2. 発表標題 逆蛍石型リチウム複酸化物Li6CoO4の立方晶化による可逆容量向上とレドックス反応追跡
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daisuke Okuda, Hiroaki Kobayashi, Masashi Ishikawa
2. 発表標題 Electrochemical Characteristics of Anion-redox Type Cathode Materials Co-doped and -Li5AlO4
3. 学会等名 ACEPS10 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroaki Kobayashi, Takashi Tsukasaki, Yoshiyuki Ogasawara, Mitsuhiro Hibino, Tetsuichi Kudo, Noritaka Mizuno, Itaru Honma, Kazuya Yamaguchi
2. 発表標題 Reversible Cationic and Anionic Redox in Antifluorite-type Li6CoO4 Cathode Materials
3. 学会等名 2019 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yui Fujihara, Hiroaki Kobayashi, Shinya Takaishi, Masahiro Yamashita, Itaru Honma
2. 発表標題 Development of Conductive Organic Cathode Using Interface Charge-Transfer
3. 学会等名 2019 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松尾蘭太郎、小林弘明、本間格
2. 発表標題 高容量正極Li ₆ CoO ₄ のZn置換による可逆性向上
3. 学会等名 第50回セミコンファレンス・第32回東北若手の会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原優衣、小林弘明、高石慎也、山下正廣、本間格
2. 発表標題 界面電荷移動型有機複合体活物質の正極特性とレドックス反応
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林弘明
2. 発表標題 先端的合成プロセスによる次世代二次電池正極材料開発
3. 学会等名 第83回マテリアルズ・テラリング研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroaki Kobayashi
2. 発表標題 Antifluorite-Based Cathode Materials Using Oxygen Redox in Solids for High Energy Rechargeable Batteries
3. 学会等名 ICEAST2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林弘明
2. 発表標題 Reversible Anionic Redox in Li2O-based Cathode Materials
3. 学会等名 2019年度化学系学協会東北大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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