

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05649

研究課題名(和文) 次世代リチウム二次電池のためのケイ素のリチウム化プロセスの徹底解明

研究課題名(英文) In-depth understanding of the silicon lithiation process for next-generation lithium secondary batteries

研究代表者

道見 康弘 (Domi, Yasuhiro)

鳥取大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50576717

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)： Si系負極の性能向上あるいは劣化のメカニズムを種々の分析法により徹底的に調べた。早期に劣化したSi電極では膨張率の大きなLi-Si合金相がSi層に不均質に分布していたのに対して、良好な性能を示したP-doped Si電極ではSi層中のLi濃度分布が均質であった。Liの分布が不均質だと大きなひずみが局所に蓄積され電極崩壊が起こり、乏しい性能しか得られなかったと考えられる。上記の結果は本研究において独自に考案したSiに特化した解析法に基づいて得られた。また、シリサイド電極および金属ケイ化物/Siコンポジット電極の反応挙動を解明し、得られた知見に基づいて材料創製を行い良好な性能を得ることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではリチウム二次電池用Si系負極の反応挙動を徹底解明した。得られた成果に基づき新たな材料設計指針も得られており、一部については実証した。これまで推測の域を超えなかったことを実験事実に基づいて立証した点は学術的に大変意義深い。本研究成果は高エネルギー密度、長寿命、高い安全性および高速充放電性能を兼ね備えた高性能リチウム二次電池を構築するうえで大変重要であり、脱炭素社会の実現に向けて大きく貢献する。

研究成果の概要(英文)： We thoroughly investigated the mechanism of performance improvement or degradation of Si-based negative electrodes by various analytical methods. In the P-doped Si electrode, which showed good performance, the Li concentration distribution in the Si layer was homogeneous, whereas the Li-Si alloy phase with a large expansion rate was heterogeneously distributed in the Si-alone electrode that deteriorated early. Heterogeneous distribution of the phase caused a local accumulation of high strain and a drastic increment in the thickness of the Si layer, which led to capacity decay. The above results were obtained based on a Si-specific analysis method originally developed in this study. Additionally, the reaction behavior of the silicide electrode and silicide/Si composite electrode was clarified, and based on the obtained knowledge, materials were successfully fabricated to obtain good performance.

研究分野：無機材料化学

キーワード：リチウム二次電池 負極 ケイ素 リンドープ シリサイド コンポジット化 イオン液体

1. 研究開始当初の背景

脱炭素社会の実現に向けてガソリン車から電気自動車へのシフトが急速に進みつつある。それにもない高エネルギー密度、長寿命、高安全性および高速充放電性能を兼ね備えたりチウム二次電池 (LIB) の開発に拍車がかかっている。ケイ素 (Si) は現行 LIB に用いられている黒鉛負極の 10 倍もの高い理論容量を有することから大変魅力的な活物質であるものの、リチウム (Li) 吸蔵-放出にともなう大きな体積膨張に起因して乏しいサイクル安定性しか示さない。他方、電解液は電池性能のみならず安全性をも左右する重要な要素材料である。現行 LIB の電解液は可燃性の有機電解液が主流であるが、報告者らは Si 系電極のような非常に高い容量を有する電極を用いる場合にはその性能を引き出すことのみならず電池の安全性を保障するためにも難燃性のイオン液体の適用がふさわしいと考えており、実際にイオン液体電解液中において Si 系電極が優れたサイクル寿命を示すことを見出してきた。しかしながら、このような性能向上のメカニズムは十分に解明されていなかった。

2. 研究の目的

Si 系電極のリチウム化メカニズムを徹底解明することを目的とする。また、得られた知見に基づき新たな Si 系材料の開発指針を示す。

3. 研究の方法

活物質として単相の Si, $\text{Li}_{1.0}\text{Si}$ および LaSi_2/Si を用いた。これらを当グループ独自の二次電池用電極の作製法であるガスデポジション (GD) 法により電極化した。この手法は従来の塗布電極とは異なり導電助剤や結着材を用いない、すなわち、これらによる副反応の影響を無視できるため、反応挙動の解明に適した電極作製法である。イオン液体電解液には *N*-methyl-*N*-propylpyrrolidinium bis(fluorosulfonyl)amide (Py13-FSA) に lithium bis(fluorosulfonyl)amide (LiFSA) を濃度 1 mol dm^{-3} (M) となるように溶解させたものを用いた。また、有機電解液には 1 M lithium bis(trifluoromethanesulfonyl)amide (LiTFSFSA)/propylene carbonate (PC) を用いた。GD 電極を作用極, Li 金属箔を対極として用いて 2032 型コインセルを構築し、定電流充放電試験を実施した。充放電試験後のコインセルをアルゴンガス雰囲気グローブボックス中で解体し、取り出した電極を大気非暴露セルに入れた状態で各種分析装置へ移動させた。

4. 研究成果

(1) Si 層中の Li 濃度分布の把握

これまでに異なる電解液中において Si 単相電極のサイクル寿命および Li 吸蔵状態の Si 活物質層の厚さと Li-rich 相 (Li_xSi , $x=2.00-3.75$) の形成量の推移を調べてきた (Fig. 1, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2019, 11, 2950)。有機電解液中ではサイクル数とともに Si 活物質層の厚さが急激に増大しており、容量減衰の起きた 100 サイクル後では Si 層は元の 15 倍以上にまで膨張していた。他方、イオン液体電解液中では 300 サイクルという長期サイクルにわたり Si の過度な膨張は起きていなかった。また、50 サイクル後の有機電解液中と 300 サイクル後のイオン液体電解液中の結果に着目すると、後者の方が圧倒的に膨張は抑えられているにも関わらず Li-rich 相は多く形成されていた。このことから、Si の膨張は Li-rich 相の量に単純に比例するのではなく分布によっても支配されていることが示唆された。膨張率の大きな Li-rich 相が不均質に分布していると大きなひずみが局所に蓄積され電極崩壊が起こりやすくなると推察される。そこで x の分布の解明を試みたが、これを調べる手法は確立されていなかった。

通常分光法では Li を直接確認することは難しいが、軟 X 線発光分光法 (SXES) は Li の特性 X 線を感度良くかつ高感度で検出できるため Li の存在を確認しながら電顕観察を行える画期的な分析法である。我々は SXE スペクトルにおける Si 由来のピークの強度比 (A'/A) が Li_xSi 中の x の増加にともない系統的に減少する点 (*J. Phys. Chem. C*, 2018, 122, 11096) に着目した。これを検量線として用いて実際のスペクトルから得られたピーク強度比をプロットすることにより、Si 層中の Li 濃度分布を調べられると着想した

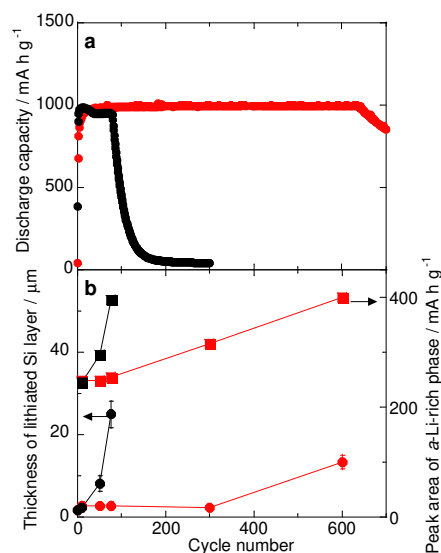


Fig. 1. (a) Cycle life of Si-alone electrodes in organic- and ionic-liquid electrolytes with a capacity limit of 1000 mA h g^{-1} and (b) cycle dependency of lithiated Si layer thickness and the amount of Li-rich phase.

(ACS Appl. Energy Mater., 2020, 3, 8619). Fig. 2 は有機電解液中における 100 サイクル後の Si 単独電極の断面 SEM 像と SXE スペクトル (各ローマ数字は測定点を示す), および Si 層中の Li 濃度に対する A/A の関係を示す. Si 層の上側すなわち電解液側および層の中間において Li-rich 相 (I, II および V) が, 下側 (集電体側) では Li-poor 相や未反応の結晶質 Si (VI および VII) が検出された. 他方, イオン液体電解液中では Li-poor 相が均質に形成されていた.

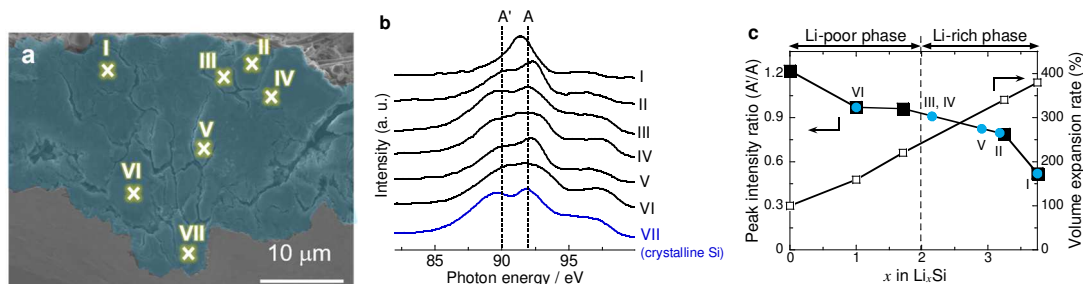


Fig. 2. (a) Cross-sectional SEM image the lithiated Si-alone electrode at the 100th cycle in an organic-liquid electrolyte, (b) SXE spectra at the Si-L_{2,3} regions and (c) correlation between peak intensity ratio (A/A) or Si expansion rate and x in Li _{x} Si. Roman numerals I–VII in part (b) agree with the numbering in arbitrary measurement points in part (a). It is worth nothing that the peak intensity in part (a) was normalized to one at approximately 92 eV.

SXES の解析結果に基づき Li 濃度分布の違いがサイクル寿命におよぼす影響を次のように考察した (Fig. 3). 充電初期において電解液が還元分解され負極上に被膜が形成される. 有機電解液中では厚さが不均一な被膜が形成されるため, 活物質層への Li 吸蔵は被膜が薄く抵抗の低い箇所から優先的に進行し電解液側で Li-rich 相が形成される. また, Si 表面にクラックが生じると被膜で覆われていない新生面が現れ, そこでは比較的薄い被膜が形成されるため相の中間であっても Li-rich 相が検出されたと考えられる. さらに, 集電体側では Li-poor 相が形成されたり未反応の Si が残っていたりするので, Si 層内の Li 濃度分布が不均質なものになったと推察される. その結果, 電極層内の局所にひずみが蓄積されたため電極崩壊が起こり比較的短いサイクルで容量が減衰してしまつたと結論した. 他方, イオン液体電解液中では薄くて均質な被膜が形成される. これにより電極表面全体から Li が吸蔵され Si 層内に満遍なく Li が行きわたり, 充放電反応にともなう発生する応力が局所に集中することなく電極崩壊が抑えられたため, 優れたサイクル寿命が得られたと結論した.



Fig. 3. Schematic illustration of Li-Si phase distribution in organic-liquid and ionic-liquid electrolytes.

(2) イオン液体電解液中における Li_{1.0}Si 電極の Li 吸蔵-放出特性

これまでに Si 電極の低いクーロン効率 (CE) を改善するため Li を予め機械的に添加した Si, すなわち Li-Si 合金からなる電極の Li 吸蔵-放出特性を従来の有機電解液中において評価してきた. 機械的に添加した Li を Si に残存させた状態で電気化学的に Li を吸蔵-放出させると, Li_{1.0}Si 電極が特に優れた初期 CE およびサイクル寿命を示した (*J. Electrochemical Soc.*, 2017, 164, A1651). 本研究では, この電極のさらなる性能向上を目指してある種のイオン液体電解液を適用させた.

Fig. 4 は異なる電解液中における Si および Li_{1.0}Si 電極の初回充放電曲線を示す. Si 単独電極は電解液に依らず低いクーロン効率しか示さなかったが, 有機電解液中において Li_{1.0}Si 電極は高い CE を示した. 他方, イオン液体電解液中では予想に反して有機電解液中よりも低い CE しか得られなかった. また, Li_{1.0}Si 電極は Li を含むため開回路電位 (OCP) は Si 単独電極よりも低くなるはずであるが, イオン液体電解液中の OCP は Si 単独電極と同程度であった. より詳しく調べるため OCP の

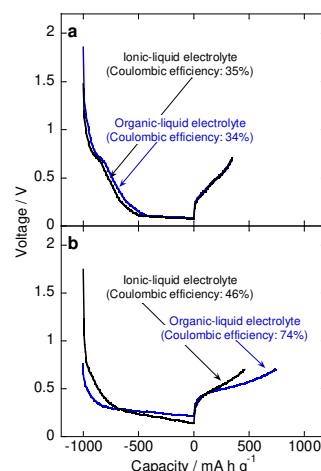


Fig. 4. First charge/discharge curves of (a) Si-alone and (b) Li_{1.0}Si electrodes with a charge capacity limit of 1000 mA h g⁻¹.

経時変化を測定したところ、有機電解液中では 0.75 V で一定であったのに対してイオン液体電解液中では測定開始 2 時間以内に 1.8 V に OCP が上昇していた。この結果はイオン液体電解液中において $\text{Li}_{1.0}\text{Si}$ 電極中の Li が抜け出ていることを示唆している。Fig. 5 は各電解液に 12 時間浸漬後の $\text{Li}_{1.0}\text{Si}$ 電極のラマンスペクトルを示す。浸漬前および有機電解液中では Si 由来のピークは出現しなかったのに対して、イオン液体電解液中では比較的大きな Si 由来のピークが確認された。また、同様の電極を X 線回折測定したところイオン液体電解液中に浸漬させた場合にのみ $\text{Li}_{1.0}\text{Si}$ に加えて単体の Si 由来のピークも出現した。したがって、上記の仮説が妥当であることが明らかとなった。また、SXES の結果から $\text{Li}_{1.0}\text{Si}$ 電極中の 16% の Li が脱離していることがわかった。さらに、脱離した Li の行方を高周波誘導結合プラズマ法およびエネルギー分散型分光法 (EDS) により調べたところ、Li は電解液に溶出しているのではなく表面被膜の形成に消費されていることが明らかとなった。

イオン液体電解液中における $\text{Li}_{1.0}\text{Si}$ 電極からの Li 脱離を抑えるために、被膜形成添加剤であるビニレンカーボネート (VC) をイオン液体電解液に添加した。その結果、狙い通り Li の脱離現象が起こらなくなった。これは電位の低い $\text{Li}_{1.0}\text{Si}$ 電極上で VC 由来被膜が形成され、これが Li 脱離を防ぐ蓋のような役割を果たしたためと考えられる。また、VC の代わりにフルオロエチレンカーボネート (FEC) を添加したところ、Li 脱離が僅かに確認された。すなわち添加剤の種類により脱離防止の効果が異なることがわかった。Fig. 6 は異なる電解液中における $\text{Li}_{1.0}\text{Si}$ 電極のサイクル寿命を示す。ここで機械的に添加した Li を Si の残した状態で Li 吸蔵容量を 1000 mA h g^{-1} に規制して試験を行った。従来の有機電解液中では 50 サイクル程で容量減衰したのに対して、ある種のイオン液体電解液中では 180 サイクル程まで高容量が維持された。ただし、Si 単独電極の場合、6 倍以上もサイクル寿命の向上が見られたことから、Li 脱離により本来のサイクル寿命が得られていないと考えられる。そこで、VC や FEC を添加したイオン液体電解液を用いてサイクル試験を行ったところ、特に VC 添加時に 1300 サイクル以上も容量を維持する優れた性能が得られた (*ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2021**, *13*, 3816)。

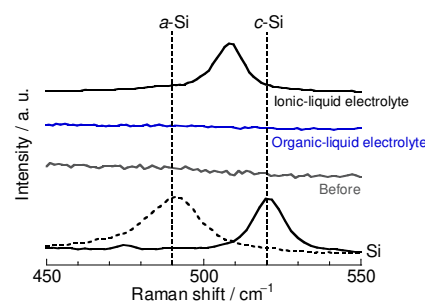


Fig. 5. Raman spectra of the $\text{Li}_{1.0}\text{Si}$ electrode after immersion in the electrolyte for 12 h.

さらに、脱離した Li の行方を高周波誘導結合プラズマ法およびエネルギー分散型分光法 (EDS) により調べたところ、Li は電解液に溶出しているのではなく表面被膜の形成に消費されていることが明らかとなった。

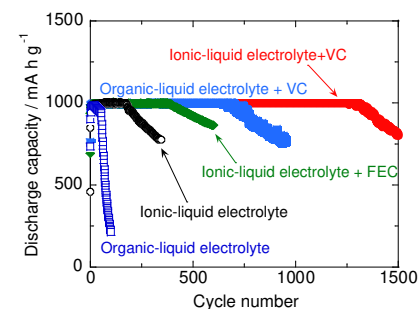


Fig. 6. Cycle life of the $\text{Li}_{1.0}\text{Si}$ electrode in various electrolytes with a charge capacity limit of 1000 mA h g^{-1} .

(3) LaSi_2/Si コンポジット電極の劣化メカニズムの解明

これまでに当グループでは様々な金属シリサイド/Si コンポジット電極のリチウム二次電池負極特性を調べてきたところ、特に LaSi_2/Si 電極が優れたサイクル安定性を示すことを明らかにしてきた (*IOP Conf. Series: Mater. Sci. Eng.*, **2009**, *1*, 012030)。しかしながら、この電極の劣化メカニズムは未だ調べられていなかったため、本研究ではこれを明らかにするとともに LaSi_2/Si 電極の性能向上を目指して材料設計指針を打ち出す。Fig. 7 は充放電サイクルにともなう LaSi_2/Si コンポジット電極の厚さの推移を示す。比較として Si 単独電極の結果も併せて示す。Si 単独電極の場合、電解液の違いにより膨張の挙動が明らかに異なっていた (Fig. 1b)。他方、コンポジット電極は異なる電解液中において類似の挙動を示しており、初期数十サイクルまでに元の約 2.5 倍まで急激に膨張し、その後のサイクルでは緩やかに厚さが増加した。この結果はコンポジット電極の劣化メカニズムが Si 単独電極のそれとは異なることを示唆している。そこで膨張以外に劣化の要因があるものと推察し、走査型透過電子顕微鏡 (STEM) により微細組織を観察した。

Fig. 8 は充放電試験前の STEM 像と対応する EDS マッピングを示す。EDS マッピングにおいて青い箇所が LaSi_2 中の La、緑の箇所が Si の分布を表す。この結果より LaSi_2 マトリックス相中に単体の Si がナノサイズ

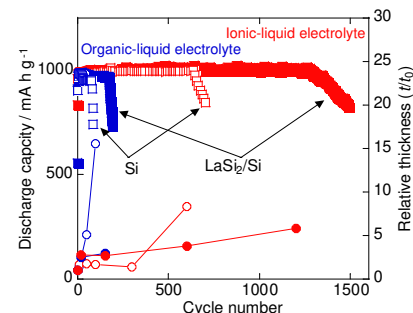


Fig. 7. Cycle lives of LaSi_2/Si and Si electrode in ionic- and organic-liquid electrolytes. Square and circle denote the discharge capacity and the relative thickness, respectively.

レベルで微分散していることが明らかとなった。このような組織のため弾性的な LaSi_2 が充電時に発生する Si からの応力を緩和し、電極崩壊が抑制されるため Si 単独電極よりも優れたサイクル安定性が得られたと推察される。

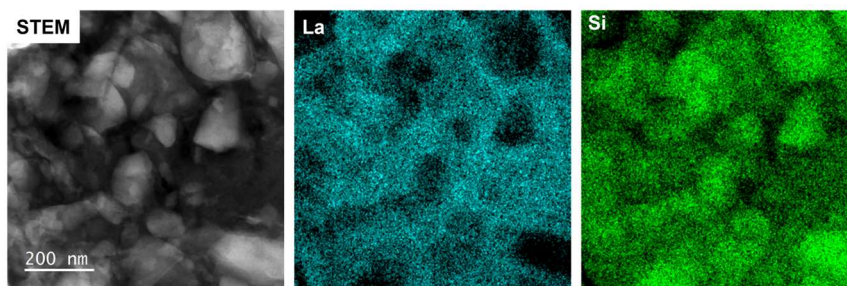


Fig. 8. STEM image and the corresponding EDS maps of LaSi_2/Si electrode before charge-discharge testing.

他方、有機電解液中における容量減衰直前では Fig. 9 のような組織へと変化していた。黒い箇所 (拡大箇所 I) は LaSi_2 相、濃いグレーの箇所は単体の Si 相であることがわかった。これらに対して薄いグレーの箇所 (拡大箇所 II) では EDS マッピング (Fig. 9b, c) において何も検出されなかったため、この部分を拡大して観察したところ Si のみが検出された (Fig. 9f, g)。Fig. 9b, c において Si が検出されなかったのは膨張と収縮を繰り返すうちに Si 相が疎な状態となってしまう、Fig. 9a 左上の濃いグレーの箇所よりも Si 濃度が薄くなったためと考えられる。このように容量減衰直前では Si 相中に LaSi_2 相が微分散した組織が形成されており、充電前と比較して両相の位置関係が逆転していた。これまでに当グループではシリサイド単独電極および Si 単独電極がそれぞれ Li と反応するにも関わらず、これらをコンポジット化させた電極では Si がほとんどの容量を担うことを見出してきた (*Electrochemistry*, 2020, 88, 548)。そのため、Si 相のみが大きく膨張し生じた応力により LaSi_2 相がナノサイズレベルで破断され Fig. 9 のような組織が形成されたと考えられる。このような組織のため LaSi_2 相が Si からの応力を緩和できなくなり劣化したと結論した (*ACS Appl. Nano Mater.*, 2021, 4, 8473)。同様の組織変化は有機電解液中だけでなくイオン液体電解液中においても確認された。

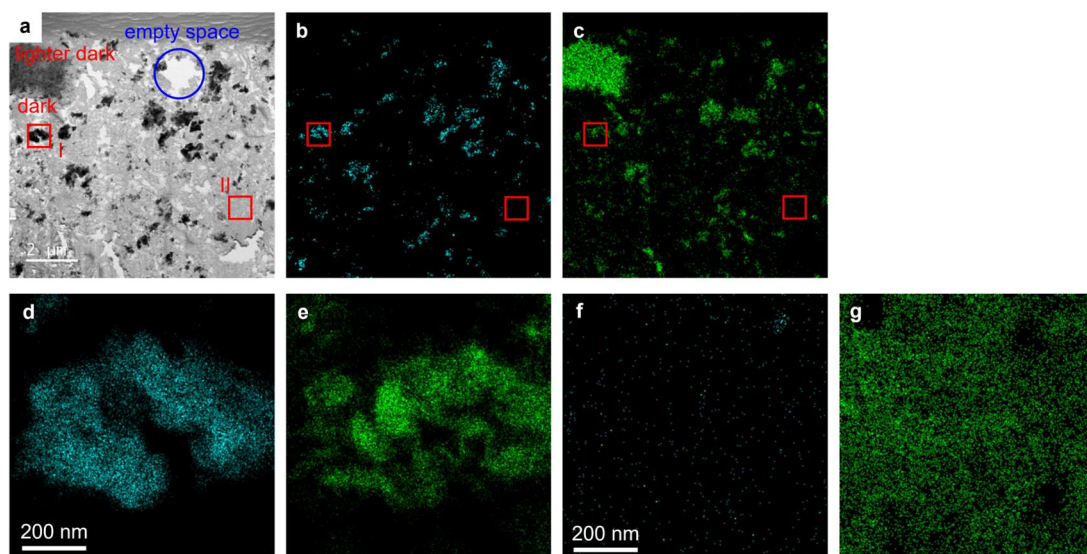


Fig. 9. (a) STEM image of a LaSi_2/Si (70/30 wt.%) composite electrode after the 150th cycle in an organic-liquid electrolyte and the corresponding EDS maps of (b) La and (c) Si. Magnified EDS maps at the areas labeled (d and e) I and (f and g) II.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Domi Yasuhiro, Usui Hiroyuki, Nakabayashi Eisuke, Kimura Yuta, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 3
2. 論文標題 Effect of Element Substitution on Electrochemical Performance of Silicide/Si Composite Electrodes for Lithium-Ion Batteries	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 7438 ~ 7444
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00846	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 Domi Yasuhiro, Usui Hiroyuki, Sugimoto Kai, Gotoh Kazuma, Nishikawa Kei, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 5
2. 論文標題 Reaction Behavior of a Silicide Electrode with Lithium in an Ionic-Liquid Electrolyte	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 22631 ~ 22636
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.0c03357	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 DOMI Yasuhiro, USUI Hiroyuki, SHINDO Yoshiko, YODOYA Shuhei, SATO Hironori, NISHIKAWA Kei, SAKAGUCHI Hiroki	4. 巻 88
2. 論文標題 Electrochemical Lithiation and Delithiation Properties of FeSi ₂ /Si Composite Electrodes in Ionic-Liquid Electrolytes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 548 ~ 554
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.20-00091	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 Domi Yasuhiro, Usui Hiroyuki, Ando Akihiro, Nishikawa Kei, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 3
2. 論文標題 Analysis of the Li Distribution in Si-Based Negative Electrodes for Lithium-Ion Batteries by Soft X-ray Emission Spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 8619 ~ 8626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c01238	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 Domi Yasuhiro, Usui Hiroyuki, Ieji Naoya, Nishikawa Kei, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 13
2. 論文標題 Lithiation/Delithiation Properties of Lithium Silicide Electrodes in Ionic-Liquid Electrolytes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 3816 ~ 3824
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c17552	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 Yasuhiro Domi, Hiroyuki Usui, Ayumu Ueno, Yoshiko Shindo, Yuto Mizuguchi, Takuro Komura, Toshiki Nokami, Toshiyuki Itoh, Hiroki Sakaguchi	4. 巻 167
2. 論文標題 Effect of Annealing Temperature of Ni-P/Si on its Lithiation and Delithiation Properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 40512
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.1361707jes	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 Domi Yasuhiro, Usui Hiroyuki, Shindo Yoshiko, Ando Akihiro, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 50
2. 論文標題 Lithiation and Delithiation Properties of Si-based Electrodes Pre-coated with a Surface Film Derived from an Ionic-Liquid Electrolyte	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1041 ~ 1044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210024	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 Domi Yasuhiro, Usui Hiroyuki, Nishikawa Kei, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 4
2. 論文標題 Metallographic Structure Changes in Lanthanum Silicide/Silicon Nanocomposite Electrodes during Lithiation and Delithiation: Implications for Battery Applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 8473 ~ 8481
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.1c01765	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13件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 道見康弘, 薄井洋行, 中林永丞, 坂口裕樹
2. 発表標題 リチウム二次電池用希土類シリサイド - ケイ素コンポジット電極の反応挙動解析
3. 学会等名 第36回希土類討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 道見康弘, 薄井洋行, 杉本海, 後藤和馬, 西川慶, 坂口裕樹
2. 発表標題 リチウム二次電池用遷移金属ケイ化物電極の電気化学的Li吸蔵 - 放出メカニズムの解明
3. 学会等名 第61回電池討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹
2. 発表標題 リチウム二次電池用Si系負極の反応メカニズムの解明
3. 学会等名 第4回 岡山大学 次世代電池材料研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 道見康弘, 薄井洋行, 家氏直哉, 西川慶, 坂口裕樹
2. 発表標題 リチウムケイ化物からなる負極の電気化学的性質
3. 学会等名 2021年電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 道見 康弘
2. 発表標題 次世代リチウム二次電池のためのケイ素系負極活物質の創製と電極 - 電解質界面の最適化
3. 学会等名 平成30年度日本材料学会中国支部 支部学術奨励賞 受賞講演 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道見康弘, 薄井洋行, 高石玲奈, 坂口裕樹
2. 発表標題 イオン液体電解液中における希土類シリサイド電極のリチウム二次電池負極特性
3. 学会等名 第35回希土類討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Domi, Hiroyuki Usui, Kazuki Yamaguchi, Shuhei Yodoya, and Hiroki Sakaguchi
2. 発表標題 Significant Suppression of Silicon Negative Electrode for Lithium-Ion Battery in Ionic-Liquid Electrolyte
3. 学会等名 The Electrochemical Conference on Energy and the Environment: Bioelectrochemistry and Energy Storage (ECEE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道見康弘, 薄井洋行, 山口和輝, 淀谷周平, 安藤明寛, 坂口裕樹
2. 発表標題 電解液の違いがリチウム二次電池用Si負極の体積膨張におよぼす影響
3. 学会等名 2019年電気化学秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道見 康弘, 薄井 洋行, 山口和輝、淀谷周平、 安藤明寛、坂口 裕樹
2. 発表標題 リチウム二次電池用Si系負極の体積膨張メカニズム解明とその抑制
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道見康弘, 薄井洋行, 杉本海, 後藤和馬, 坂口裕樹
2. 発表標題 リチウム二次電池用ケイ化物電極のLi吸蔵 - 放出機構の解明
3. 学会等名 2020年電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 道見康弘, 薄井洋行, 岡阪拓親, 坂口裕樹
2. 発表標題 希土類シリサイドを用いた新規リチウム二次電池用Si系負極の創製
3. 学会等名 第37回希土類討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 道見康弘, 坂口裕樹
2. 発表標題 ケイ素系負極活物質の創製とSiに特化した分析法
3. 学会等名 第409回電池技術委員会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 道見康弘, 薄井洋行, 岡阪拓親, 西川慶, 坂口裕樹
2. 発表標題 ケイ素と機能の異なる二種類のシリサイドからなる電極のリチウム二次電池負極特性
3. 学会等名 2022年電気化学会第89回大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 251
3. 書名 リチウムイオン二次電池用シリコン系負極材の開発動向	

1. 著者名 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹	4. 発行年 2020年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 490
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	

1. 著者名 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹	4. 発行年 2022年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 200
3. 書名 モビリティ用電池の化学	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 酸化ケイ素系の負極材料	発明者 廣野友紀, 澤田俊之, 坂口裕樹, 薄井洋行, 道見康弘	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-115983	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

坂口研究室 学会・出版リスト
http://www.chem.tottori-u.ac.jp/~sakaguchi/research_j.html

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