

令和 2 年 5 月 14 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03128

研究課題名(和文)次世代Li二次電池用Si系負極活物質の創製と電極-イオン液体電解質界面の最適化

研究課題名(英文)Preparation of Si-Based Anode Active Materials for Next-Generation Lithium-Ion Batteries and Optimization of Electrode/Ionic Liquid Electrolyte Interphase

研究代表者

坂口 裕樹 (SAKAGUCHI, Hiroki)

鳥取大学・工学研究科・教授

研究者番号：00202086

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：リチウム二次電池(LIB)用Si系負極活物質を創製しその電気化学的特性を調べた。ケイ化物/Siコンポジットにおけるケイ化物を多元化するとコンポジット電極のLIB負極特性が向上することを明らかにした。また、Ni-P/Si電極の調製条件を最適化した結果、Ni-Pを被覆し800℃で熱処理したものが良好なサイクル特性を示した。さらに、ある種のイオン液体電解液中においてP-doped Si電極が優れたサイクル寿命を示した。反応挙動を調べたところ、電極の膜厚増加は膨張率の大きなLi-rich Li-Si合金相の生成量に単純に比例するのではなく、この相の分布によっても支配されることが示唆された。

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(LIB)用Si系負極のLi吸蔵-放出挙動を明らかにした。この成果は学術的に大変興味深く新たな材料を創製するうえで重要な設計指針となり得る。また、コンポジット電極の性能を実用に供することの出来るレベルまで向上させることが出来た。このような成果は高エネルギー密度、長寿命および高い安全性を兼ね備えた次世代LIBの開発に貢献できるものと考えている。

研究成果の概要(英文)：We synthesized anode active materials for lithium-ion batteries and investigated their electrochemical performances. Ternary-silicide/Si composite electrodes exhibited better cycle life compared to binary-silicide/Si electrodes. We optimized coating conditions of Ni-P on Si particles, and then, the Ni-P/Si electrodes annealed at around 1173 K showed a superior cycling performance. Additionally, a 100 ppm P-doped Si electrode exhibited longer cycle life in a certain ionic-liquid electrolyte compared to a Si-alone electrode. The Si layer thickness was not solely proportional to the amount of Li-rich phase ( $\text{Li}_x\text{Si}$ ,  $x = 2.00\text{-}3.75$ ). As well as the amount, the distribution of the phase should affect the increase in the Si layer thickness. When the Li-rich phase is inhomogeneously distributed, a large local strain accumulates, and a dramatic increase in the Si thickness should occur.

研究分野：無機材料化学

キーワード：リチウムイオン電池 負極 ケイ素 イオン液体 コンポジット化 ドーピング

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

電気自動車や電力貯蔵デバイスの本格的普及に向けて高性能なリチウム二次電池の開発が切望されている。その負極に関しては、従来の黒鉛の約 10 倍もの理論容量を有するケイ素 (Si) の利用に非常に強い関心が寄せられており実用化への動きが本格化している。しかしながら、Si は Li と合金化 (充電) する際にその体積は約 4 倍にまで増大し、これにより生じる応力のため微粉化を引き起こしやすい。このため充放電を繰り返すと電極層の一部が集電性を失い容量の急激な低下を招く。他方、これを改善すべく Si を化合物化すると、その容量の魅力が著しく損なわれてしまうことも知られている。多方面から検討を行った結果、報告者は Si の高容量を最大限に活かすためにはこれを単体として用いるのが最善と判断し、その欠点を補う性質を備えた別の物質とコンポジット化させることを着想した (*Electrochemistry*, **76** (2008) 644.; *J. Power Sources*, **196** (2011) 2143.; *J. Phys. Chem. C*, **120** (2016) 16333. 等)。これまでに (i) 充放電サイクル安定性に優れたシリサイド  $MSi_x$  ( $M$ : 金属) とのナノサイズレベルでの混合、(ii) 無電解析出 (ELD) による Ni-リン (P) 被覆 (特許 5145494, 5755246 号) のコンポジット化の概念を提案し、Si の持つ高容量の魅力を引き出しつつその欠点を克服した負極を創製してきた。

電解液は電極の性能を左右する重要な要素材料である。報告者は 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十分に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が Si 系電極に非常に適していることを示してきた (*Chem. Lett.*, **41** (2012) 521.; *J. Electrochem. Soc.*, **161** (2014) A1765.; *J. Phys. Chem. C*, **119** (2015) 2975. 等)。 $Li^+$  がスムーズに移動しやすい電極 - 電解質界面をいかに構築するかは電池の高性能化を図るための本質的な課題であり、そのためには界面における  $Li^+$  の挙動を明らかにする分析も重要である。

### 2. 研究の目的

上記 (i) および (ii) の概念に基づいて開発した Si 系コンポジット負極の性能を実用に供することのできるレベルまで向上させることを目的とする。また、新たに Si に P などの不純物元素をドーピングすることによる性能の改善についても検討する。一方で、電極の性能を一層引き出すための電極 - 電解質界面の最適化にも取り組む。

### 3. 研究の方法

Si 系電極は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) 法により作製した。この手法では従来の塗布法とは異なり導電助剤や結着材を用いることなく、電極が活物質粉末のみから構成される。イオン液体電解液には *N*-methyl-*N*-propylpyrrolidinium (Py13) もしくは 1-ethyl-3-methylimidazolium (EMI) カチオンと bis(fluorosulfonyl)amide (FSA) あるいは、bis(trifluoromethanesulfonyl)amide (TFSA) アニオンからなるイオン液体に濃度  $1 \text{ mol dm}^{-3}$  ( $M$ ) となるようにリチウム塩 (イオン液体と同じアニオンのもの) を溶解させたものを用いた。また、有機電解液には  $1 \text{ M LiTFSA/propylene carbonate (PC)}$  を用いた。上記の Si 系電極および電解液に加えて Li 金属箔を対極として用いて 2032 型コインセルを構築した。定電流充放電試験は電位範囲  $0.005\text{--}2.000 \text{ vs. } Li^+/Li$ 、電流密度  $0.36 \text{ A g}^{-1}$  (初回サイクル) および  $1.44 \text{ A g}^{-1}$  (2 サイクル目以降)、温度  $30^\circ\text{C}$  の条件で実施した。

### 4. 研究成果

(1) Si と  $MSi_x$  とのナノサイズレベルでの混合粉体をメカニカルアロイングにより調製し、これを原料とした GD 厚膜電極化 (上記 (i) の概念)

これまでの研究からシリサイドには、応力緩和に適した機械的特性、高い電子伝導性、適度な  $Li^+$  拡散能、高い熱力学的安定性、の 4 つの性質が具備されていることが重要であることを明らかにしてきた。これらの性質をバランスよく備えた二元系シリサイドはこれまでに報告されていない。報告者は  $MSi_x$  中の  $M$  の一部を別の元素に置き換え多元化することにより 4 つの性質のバランスを微調整出来ると着想した。Fig. 1 は  $Cr_{1-x}V_xSi_2/Si$  電極のサイクル寿命を示す。二元系シリサイドを用いた  $CrSi_2/Si$  および  $VSi_2/Si$  電極は Si 単独電極よりも優れたサイクル寿命を示した。他方、三元系シリサイド  $Cr_{1-x}V_xSi_2$  を用いた場合、 $x = 0.1$  では二元系シリサイド/Si コンポジット電極とほぼ同じサイクル寿命しか得られなかったのに対して、 $x = 0.5$  では約 2 倍もサイクル寿命が向上した。

多元化による 4 つの性質の変化を調べたところ、および  $V$  に変化は無かったのに対し  $V$  置換により改善されることがわかった。また、Cr (原子半径:  $0.128 \text{ nm}$ ) が  $V$  ( $0.134 \text{ nm}$ ) に置換されることにより結晶格子が大きくなり、その性質も改善されることがわかった。他方、第一原理計算の結果から  $VSi_2$  よりも  $CrSi_2$  中の方が

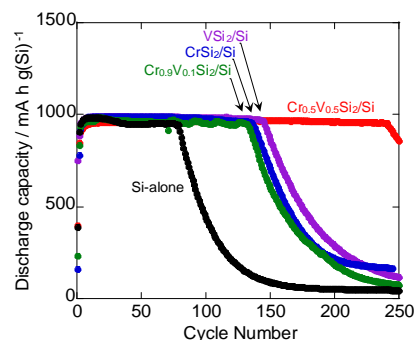


Fig. 1 Cycle life of  $Cr_{1-x}V_xSi_2/Si$  composite electrodes with a charge capacity limit of  $1000 \text{ mA h g}^{-1}$  in  $1 \text{ M LiTFSA/PC}$ .

Li と構成金属との静電反発が小さいことも明らかとなった。以上の結果から  $\text{VSi}_2$  由来の大きな結晶格子および  $\text{CrSi}_2$  由来の小さな静電反発に起因してシリサイド中の  $\text{Li}^+$  拡散がスムーズになったと考えられる。その結果、この相を介しての Si 相への Li 移動が容易になり Si 相へ Li が均質に吸蔵され活物質層内の応力の発生が均質化されたと推察される。したがって、三元系シリサイド/Si コンポジット電極が二元系シリサイド/Si 電極よりも優れたサイクル寿命を示したと結論した。

(2) Si 粒子上に無電解析出法により Ni-P を被覆した試料粉末を原料とした GD 厚膜電極化 (上記(ii)の概念)

被覆条件を検討するために無電解析出法により Ni-P (Ni および  $\text{Ni}_3\text{P}$ ) を被覆した Si (Ni-P/Si), エッチング処理した Si 粒子の表面に Ni-P を被覆したもの (Ni-P/(etched Si)), Ni-P/Si を熱処理したもの (Annealed Ni-P/Si), Ni-P/(etched Si) を熱処理したもの (Annealed Ni-P/(etched Si)) の 4 種類の試料を合成した (*J. Electrochem. Soc.*, **164**, (2017) A3208.)。Fig. 2 は各電極のサイクル性能を示す。Ni-P/Si および Ni-P/(etched Si) 電極は Si 単独電極よりも優れたサイクル性能を示したが依然として 100 サイクルまでに急激な容量減衰が起きた。他方、熱処理を施すと初期の容量減衰が抑えられ Annealed Ni-P/Si および Annealed Ni-P/(etched Si) 電極はそれぞれ 72% および 92% の容量維持率 (100 サイクル後) を示した。これは熱処理により Ni-P 被覆層中に含まれる Ni の一部が Si 相内に拡散し形成されたニッケルシリサイド ( $\text{NiSi}$  および  $\text{NiSi}_2$ ) 相が Ni-P 被覆層と Si 粒子との密着性を改善したためである。また、エッチング処理により Si 表面の凹凸が大きくなり、アンカー効果により Ni-P 被覆層の表面拡散が熱処理後に起こらなかったことが容量維持率の改善に寄与したと考えられる。

Fig. 3 は熱処理温度の異なる Annealed Ni-P/Si 電極のサイクル寿命を示す。750 および 850 °C で熱処理したものは 500 サイクル程で容量減衰したのに対し、800 ± 20 °C で熱処理した電極は 1100 サイクルにわたり容量を維持する優れたサイクル寿命を示した。走査型電子顕微鏡観察の結果から 850 °C で熱処理すると Ni-P 被覆層が凝集してしまうことがわかった。このため被覆の効果が弱まり比較的早い段階で容量が減衰したと結論した。また、800 ± 20 °C で熱処理した場合、750 °C で形成していた  $\text{NiSi}$  相に加えて  $\text{NiSi}_2$  相も形成され、これが Si 粒子と被覆層との密着性を高めたことによりサイクル寿命が向上したと推察される (*J. Electrochem. Soc.*, **167**, (2020) 040512.)。

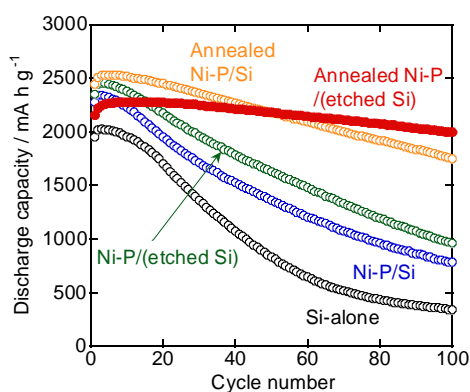


Fig. 2 Cycling performance of various Ni-P/Si electrodes in 1 M LiTFS/PC.

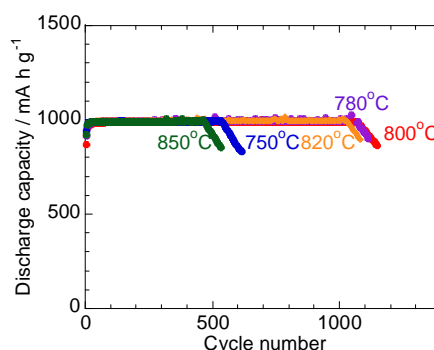


Fig. 3 Cycle life of annealed Ni-P/Si electrodes annealed at various temperature with a charge capacity limit of 1000  $\text{mA h g}^{-1}$  in 1 M LiFSA/Py13-FSA.

(3) Si に不純物元素をドーピングすることによる性能の改善

Fig. 4 は従来の有機電解液およびある種のイオン液体電解液中における Si 単独電極と 100 ppm P-doped Si 電極のサイクル寿命を示す。有機電解液中の Si 単独電極は 100 サイクル程で容量減衰を示したのに対して、イオン液体電解液中では 6 倍以上も長いサイクル寿命が得られた。また、P ドープによりさらに 2 倍以上も寿命が改善された。このような性能の違いの要因を明らかにするために各電極の膨張の様子を走査型電子顕微鏡により観察した。Fig. 5 はサイクル数にともなう Si 活物質層の厚さの推移を示す (図中右軸の Li-rich 相のピーク面積については後述)。有機電解液中ではサイクル数とともに Si 単独電極の膜厚が徐々に増大し、100 サイクル後には元の 15 倍以上に膨張していた。他方、イオン液体電解液中では P ドープの有無に依らず 300 サイクルという長期サイクルにわた

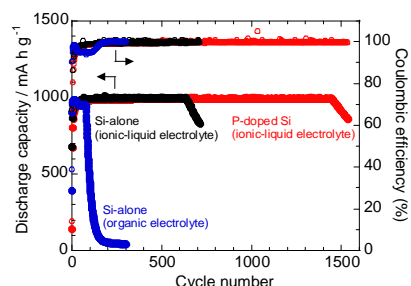


Fig. 4 Cycle life of Si-alone and P-doped Si electrodes with a charge capacity limit of 1000  $\text{mA h g}^{-1}$  in organic and ionic-liquid electrolytes.



り Si 活物質層の厚さは元の約 1.7 倍に保たれており、有機電解液中と比較すると Si の過度な膨張は起きていなかった。300 サイクルよりも後では Si 活物質層の厚さは増加したものの P-doped Si 電極の増加度合の方が緩やかであった。これは、P ドープが Si から Li-Si 合金相への相転移を抑制したためと考えられるが、この詳細については後述する。

1000 mA h g<sup>-1</sup> の充電容量規制において主に形成していると考えられる Li-Si 合金相は理論容量 950 mA h g<sup>-1</sup> のアモルファス Li<sub>1.00</sub>Si (a-Li<sub>1.00</sub>Si) 相であり、この時の厚さの増大は 1.2 倍と見積もられるが実際には 1.7 倍にまで膨張していた。Si 相中の Li 濃度が高いほど Si の体積膨張も大きくなることから a-Li<sub>1.00</sub>Si 相よりも Li 濃度の高い Li-Si 合金相が形成されているはずである。このことを確かめるために放電曲線を電位で微分した微分容量プロットに基づき Li-Si 合金相の相転移挙動を調べた (Fig. 6)。ピーク分離の結果、0.3 および 0.5 V 付近にそれぞれアモルファスな Li-rich (Li<sub>x</sub>Si, x = 2.00~3.75) 相およびアモルファスな Li-poor (Li<sub>x</sub>Si, x = 0~2.00) 相からの Li 放出に由来したピークを確認できた。したがって、1000 mA h g<sup>-1</sup> で充電容量を規制すると予想通り a-Li<sub>1.00</sub>Si に加えて Li 濃度の高い Li-Si 合金相も形成されていることが明らかとなった。

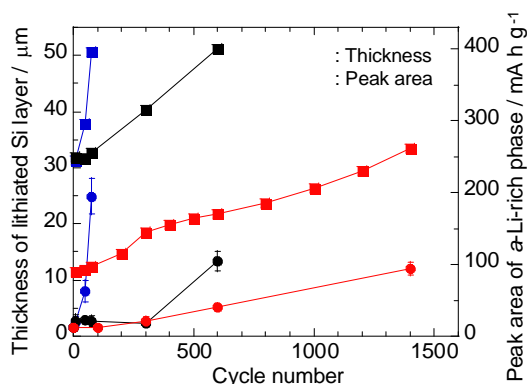


Fig. 5 Correlation between the thickness of the lithiated Si layer or the peak area of the amorphous Li-rich phase and the cycle number. The peak area was estimated by peak fitting each dQ/dV plot. Blue, black, and red symbols represent the data for the Si-alone electrode in the organic electrolyte, the Si-alone electrode in the ionic-liquid electrolyte, and the P-doped Si electrode in the ionic-liquid electrolyte, respectively.

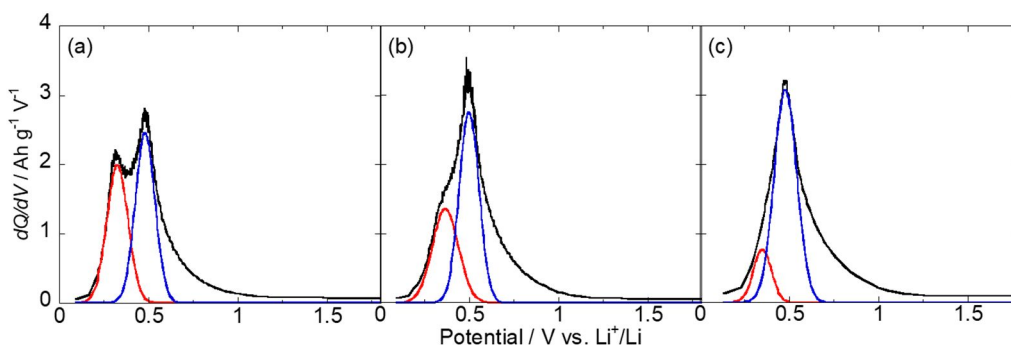


Fig. 6 dQ/dV plot of the Si-based electrodes for the discharge reaction at the 50th cycle. (a and b) Si-alone and (c) P-doped electrodes were cycled in (a) organic and (b and c) ionic-liquid electrolyte with a charge capacity limit of 1000 mA h g<sup>-1</sup>.

Li-rich 相の体積膨張は Li-poor 相のそれよりも大きいことから、この相が多く形成されると電極崩壊を招き容量減衰のリスクが高まる。各サイクルの微分容量プロットから算出した Li-rich 相由来のピーク面積を Fig. 5 (右軸) に併せて示す。電解液の種類や P ドープの有無に依らず Li-rich 相のピーク面積および Si 活物質層の厚さがサイクルとともに増加しており、Li-rich 相の生成量と Si の膨張ひいてはサイクル寿命との間に相関関係があることが明らかとなった。他方、50 サイクル後の有機電解液中および 300 サイクル後のイオン液体電解液中における Si 単独電極の結果を比較してみると、後者では圧倒的に膨張が抑えられていたにも関わらず Li-rich 相はより多く形成されていた。この結果は Si の膨張は単純に Li-rich 相の生成量に比例するのではなくその分布にも依存しているということを示唆している。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ため、有機電解液中では比較的短いサイクルで容量が減衰してしまったと考えられる。他方、イオン液体電解液中では充放電反応にともない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推察される。したがって、高容量を得るためにはある程度の Li-rich 相の形成は必要不可欠であるが、その生成量ならびに分布の制御もまた Si の体積膨張およびサイクル寿命の向上には必要不可欠であると結論した (ACS Appl. Mater. Interfaces, **11** (2019) 2950.)

イオン液体電解液中のサイクル初期における Si 単独電極および P-doped Si 電極の Li-rich 相の生成量を比較すると、後者は前者の半分以下であった (Fig. 5)。これまでに報告者は Si よりもサイズの小さな P を Si ヘドープすることにより Si の結晶格子が収縮し Li が吸蔵されにくくなり、Si 相から Li-rich 相への相転移が抑えられることを明らかにしてきた (ACS Appl. Mater. Interfaces, **8** (2016) 7125.)。しかしながら、本研究では充電容量を 1000 mA h g<sup>-1</sup> で規制すなわち Si への Li 吸蔵量を統一しているため Si への Li 吸蔵が容易か否かだけでは Fig. 5 の結果を説明できない。

そこで P-doped Si 電極の  $\text{Li}^+$  拡散係数 ( $D_{\text{Li}^+}$ ) が Si 単独電極のそれよりも高いため、P-doped Si 粒子内部では Li が表面近傍に滞らず内部へ素早く移動するので Li-rich 相の分布が単体の Si と比較して均質化されていると予測した。そこで定電流間欠滴定法により  $D_{\text{Li}^+}$  を調べたところ、P-doped Si 電極の  $D_{\text{Li}^+}$  は Si 単独電極のそれと比較して最大で 1 桁向上していることがわかった。これは P ドープにより Si の電子伝導性が向上し、その結果として集電性が改善されたためと考えられる。したがって、予想通り P ドープにより Si 内の  $\text{Li}^+$  拡散が早まり、Li が局所に滞ることなく Li-rich 相が形成されにくくなったことが明らかとなった。

#### (4) 最適な電極 - イオン液体電解質界面の構築

Figs. 4–6 では 1 M LiFSA/Py13-FSA をイオン液体電解液として用いていたが、これが P-doped Si 電極に最適なイオン液体電解液であるとは限らない。そこで種々のイオン液体電解液中において P-doped Si 電極の充放電試験を実施した (*ChemistrySelect*, 4 (2019) 1375.)。Fig. 7(a) は種々のイオン液体電解液中における 100 ppm P-doped Si 電極のサイクル寿命を示す。EMI-TFSA 系電解液中では従来の有機電解液中よりも乏しいサイクル寿命しか得られなかった。また、Py13-TFSA 系電解液中では 600 サイクルにわたり容量を維持する優れたサイクル寿命が得られた。EMI カチオンの耐還元性は Py13 カチオンのそれよりも低いため EMI-TFSA 系電解液中では電解液の継続的な還元分解が進行したと考えられる。その結果、Si への Li 吸蔵が阻害される程まで電極表面で被膜が成長したと結論した。他方、FSA 系電解液中ではカチオンの種類に依らず 1000 サイクル以上にわたり  $1000 \text{ mA h g}^{-1}$  の可逆容量を維持する特筆すべきサイクル寿命が得られた。FSA アニオンは TFSA アニオンよりも分解速度が速く被膜の構造安定性に寄与する LiF をより容易に形成できることが報告されている。Li 吸蔵 - 放出時に Si が大きく体積変化するとクラックひいては新生面が生じる。そのような新生面で安定な被膜が素早く形成されると、充放電を繰り返しても被膜は薄くて均質な状態を保つことが出来る。他方、被膜形成が遅く電解液の分解が継続的に起きてしまうと厚くて不均質な被膜が形成されてしまう。このような被膜が Si 表面に存在すると Si への Li 吸蔵が局所的に起こり、そのような箇所では応力が集中的に発生し比較的短いサイクルで電極崩壊が起こると考えられる。したがって、FSA 系電解液中では TFSA 系よりも優れた性能が得られたと結論した。

Fig. 7(b) は異なるイオン液体電解液中における 100 ppm P-doped Si 電極の高速充放電性能を示す。EMI-TFSA 系では放電容量が  $1000 \text{ mA h g}^{-1}$  に達しなかった。これは上述の通り EMI 由来の被膜が Li 吸蔵を阻害したためと考えられる。また、Py13-TFSA 系電解液中は 5 および 10C において容量が  $1000 \text{ mA h g}^{-1}$  に達しなかった。これは電解液の導電率が低く電解液沖合から電極表面への  $\text{Li}^+$  供給が律速になったためと考えられる。レートを 0.1C に戻した際に容量が回復していることから、上記推察の妥当性は高い。他方 FSA 系電解液中ではカチオンの種類によらず 10C の高レートでも  $1000 \text{ mA h g}^{-1}$  の可逆容量が得られた。これは薄くて均質な被膜の形成に加えて導電率が比較的高いことに起因していると推察される。以上の結果から、本研究で調べた 4 つのイオン液体電解液のうち 100 ppm P-doped Si 電極には Py13-FSA 系電解液が最も適していると結論付けた。

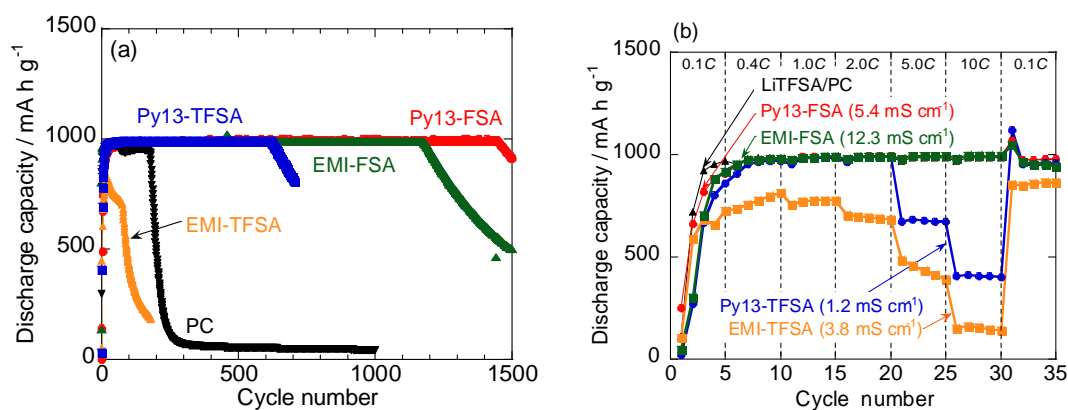


Fig. 7 (a) Cycle life and (b) rate performance of a P-doped Si electrode in various ionic-liquid electrolytes.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Usui Hiroyuki, Domi Yasuhiro, Fujiwara Kohei, Shimizu Masahiro, Yamamoto Takayuki, Nohira Toshiyuki, Hagiwara Rika, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 2
2. 論文標題 Charge/Discharge Properties of a Sn4P3 Negative Electrode in Ionic Liquid Electrolyte for Na-Ion Batteries	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Energy Letters	6. 最初と最後の頁 1139 ~ 1143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsenenergylett.7b00252	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 Usui Hiroyuki, Domi Yasuhiro, Ohshima Sachi, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 246
2. 論文標題 LaSn3 as a novel anode material for Na-ion battery	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 280 ~ 284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2017.05.071	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, Iwanari Daichi, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 164
2. 論文標題 Effect of Mechanical Pre-Lithiation on Electrochemical Performance of Silicon Negative Electrode for Lithium-Ion Batteries	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 A1651 ~ A1654
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 Yamaguchi Kazuki, Domi Yasuhiro, Usui Hiroyuki, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 4
2. 論文標題 Elucidation of the Reaction Behavior of Silicon Negative Electrodes in a Bis(fluorosulfonyl)amide-Based Ionic Liquid Electrolyte	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ChemElectroChem	6. 最初と最後の頁 3257 ~ 3263
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/celec.201700724	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, Narita Masakuni, Fujita Yoshihiro, Yamaguchi Kazuki, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 164
2. 論文標題 Advanced Performance of Annealed Ni <sub>2</sub> P/(Etched Si) Negative Electrodes for Lithium-Ion Batteries	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 A3208 ~ A3213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.1211713jes	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 Nokami T., Yamashita T., Komura T., Handa N., Shimizu M., Yamaguchi K., Domi Y., Usui H., Sakaguchi H., Itoh T.	4. 巻 206
2. 論文標題 Effects of the ether oxygen atom in alkyl side chains on the physical properties of piperidinium ionic liquids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Faraday Discussions	6. 最初と最後の頁 523 ~ 534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1039/C7FD00142H	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 Usui Hiroyuki, Domi Yasuhiro, Yamagami Ryota, Fujiwara Kohei, Nishida Haruka, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 1
2. 論文標題 Sodiation-Desodiation Reactions of Various Binary Phosphides as Novel Anode Materials of Na-Ion Battery	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 306 ~ 311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.7b00241	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 Usui Hiroyuki, Domi Yasuhiro, Nishida Haruka, Yamaguchi Kazuki, Yamagami Ryota, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 3
2. 論文標題 Enhanced Performance of Sn <sub>4</sub> P <sub>3</sub> Electrode Cycled in Ionic Liquid Electrolyte at Intermediate Temperature as Na-Ion Battery Anode	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ChemistrySelect	6. 最初と最後の頁 8462 ~ 8467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1002/slct.201801517	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 Tanaka Yuri, Usui Hiroyuki, Domi Yasuhiro, Ohtani Masataka, Kobiro Kazuya, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 2
2. 論文標題 Mesoporous Spherical Aggregates Consisted of Nb-Doped Anatase TiO <sub>2</sub> Nanoparticles for Li and Na Storage Materials	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 636 ~ 643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.8b01656	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 K. Yamaguchi, Y. Domi, H. Usui, A. Ueno, T. Komura, T. Nokami, T. Itoh, and H. Sakaguchi	4. 巻 47
2. 論文標題 Superior Electrochemical Performance of Ni-P/Si Negative Electrode for Li-ion Batteries in an Ionic Liquid Electrolyte	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 1416-1419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.180649	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 Y. Domi, H. Usui, R. Takaishi, and H. Sakaguchi	4. 巻 6
2. 論文標題 Lithiation and Delithiation Reactions of Binary Silicide Electrodes in an Ionic Liquid Electrolyte as Novel Anode for Lithium-Ion Batteries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemElectroChem	6. 最初と最後の頁 581-589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/celec.201801088	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 S. Yodoya, Y. Domi, H. Usui, and H. Sakaguchi	4. 巻 4
2. 論文標題 Applicability of Ionic Liquid Electrolyte to Phosphorus-Doped Silicon Negative-Electrode for Lithium-Ion Battery	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemistrySelect	6. 最初と最後の頁 1375-1378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/slct.201803282	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 Usui Hiroyuki, Domi Yasuhiro, Yamagami Ryota, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 4
2. 論文標題 Degradation mechanism of tin phosphide as Na-ion battery negative electrode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Green Energy & Environment	6. 最初と最後の頁 121 ~ 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.gee.2019.01.001	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 Y. Domi, H. Usui, K. Yamaguchi, S. Yodoya, and H. Sakaguchi	4. 巻 11
2. 論文標題 Silicon-Based Anodes with Long Cycle Life for Lithium-Ion Batteries Achieved by Significant Suppression of their Volume Expansion in Ionic-Liquid Electrolyte	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 2950-2960
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.8b17123	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 Yamaguchi Kazuki, Domi Yasuhiro, Usui Hiroyuki, Shimizu Masahiro, Morishita Shota, Yodoya Shuhei, Sakata Takuma, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 166
2. 論文標題 Effect of Film-Forming Additive in Ionic Liquid Electrolyte on Electrochemical Performance of Si Negative-Electrode for LIBs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 A268 ~ A276
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1149/2.0971902jes	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, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 7
2. 論文標題 Effect of Silicon Crystallite Size on Its Electrochemical Performance for Lithium Ion Batteries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Energy Technology	6. 最初と最後の頁 1800946 ~ 1800946
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1002/ente.201800946	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 Usui Hiroyuki, Domi Yasuhiro, Takama Kunihiko, Tanaka Yuri, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 2
2. 論文標題 Tantalum-Doped Titanium Oxide with Rutile Structure as a Novel Anode Material for Sodium-Ion Battery	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 3056 ~ 3060
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b00585	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 Yamaguchi Kazuki, Usui Hiroyuki, Domi Yasuhiro, Nishida Haruka, Komura Takuro, Nokami Toshiki, Itoh Toshiyuki, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 845
2. 論文標題 Electrochemical performance of Sn4P3 negative electrode for Na-ion batteries in ether-substituted ionic liquid electrolyte	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Electroanalytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 66 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.jelechem.2019.05.047	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 Usui Hiroyuki, Domi Yasuhiro, Ohnishi Shinya, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 2
2. 論文標題 Single-Crystalline Nb-Doped Rutile TiO2 Nanoparticles as Anode Materials for Na-Ion Batteries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 5360 ~ 5364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1021/acsanm.9b01521	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, NAKABAYASHI Eisuke, YAMAMOTO Takayuki, NOHIRA Toshiyuki, SAKAGUCHI Hiroki	4. 巻 87
2. 論文標題 Potassiation and Depotassiation Properties of Sn <sub>4</sub> P <sub>3</sub> Electrode in an Ionic-Liquid Electrolyte	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 333 ~ 335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.5796/electrochemistry.19-00052	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 Shimizu Masahiro, Yamaguchi Kazuki, Usui Hiroyuki, Ieji Naoya, Yamashita Takuya, Komura Takuro, Domi Yasuhiro, Nokami Toshiki, Itoh Toshiyuki, Sakaguchi Hiroki	4. 巻 167
2. 論文標題 Piperidinium-Based Ionic Liquids as an Electrolyte Solvent for Li-Ion Batteries: Effect of Number and Position of Oxygen Atom in Cation Side Chain on Electrolyte Property	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 70516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1149/1945-7111/ab6a89	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, Ueno Ayumu, Shindo Yoshiko, Mizuguchi Hayato, Komura Takuro, Nokami Toshiki, Itoh Toshiyuki, Sakaguchi Hiroki	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) doi.org/10.1149/1945-7111/ab743f	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42件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 坂口裕樹
2. 発表標題 リチウム電池用キーマテリアルの開発動向
3. 学会等名 ジャパンマーケティングサーベイセミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本海, 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹
2. 発表標題 Li二次電池用Si電極の負極特性におよぼすSi粒子の結晶子サイズの影響
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 坂口裕樹
2. 発表標題 シリコン系負極を用いたリチウムイオン電池の課題とサイクル特性改善手法
3. 学会等名 技術情報協会セミナー No.810416 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石玲奈, 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹
2. 発表標題 イオン液体電解液中におけるシリサイド電極の電気化学的リチウム吸蔵-放出特性
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 道見康弘, 薄井洋行, 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負極の反応挙動におよぼす影響
3. 学会等名 第5回 電池材料解析ワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石玲奈, 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹
2. 発表標題 イオン液体電解液を用いた種々の遷移金属ケイ化物電極のリチウム二次電池負極特性
3. 学会等名 第59回電池討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 淀谷周平, 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹
2. 発表標題 イオン液体電解液中におけるP-doped Si電極のリチウム二次電池負極特性
3. 学会等名 第59回電池討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 道見康弘, 薄井洋行, 山口和輝, 淀谷周平, 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負極の体積変化におよぼす影響
3. 学会等名 第59回電池討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安藤明寛, 道見康弘, 薄井洋行, 淀谷周平, 坂口裕樹
2. 発表標題 イオン液体電解液中におけるP-doped SiのLi二次電池負極特性
3. 学会等名 2018年度第3回関西電気化学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 進藤好子, 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FeSi <sub>2</sub> /Si電極へのイオン液体電解液の適応性
3. 学会等名 2018年度第3回関西電気化学研究会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Yasuhiro DOMI , Hiroyuki USUI , Hiroki SAKAGUCHI
2. 発表標題 Suppression of Si Volume Expansion Following Lithiation after Cycling in an Ionic-Liquid Electrolyte
3. 学会等名 第19回GREENシンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂口裕樹
2. 発表標題 リチウムイオン電池用ケイ素系負極の創製と電極 * 電解質界面の最適化
3. 学会等名 電気化学会第86回大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 進藤好子, 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹
2. 発表標題 イオン液体電解液中におけるFeSi <sub>2</sub> /Si電極のリチウム二次電池負極特性
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 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遷移金属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 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂口裕樹
2. 発表標題 化学電池をより高性能に！
3. 学会等名 夢ナビライブ2017, D-6, 講義No.08179 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroki SAKAGUCHI, Hiroyuki USUI, Yasuhiro DOMI
2. 発表標題 Rare Earths-Silicide/Silicon Composite Electrodes with Excellent Anode Performance for Lithium-Ion Battery
3. 学会等名 28th Rare Earth Research Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂口裕樹
2. 発表標題 車載リチウム電池への応用に向けた高容量ケイ素系負極の創製
3. 学会等名 技術情報協会セミナー『車載リチウム電池の高電圧対応部材の開発と安全設計』(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂口裕樹
2. 発表標題 リチウムイオン電池をより高性能に！ ~ケイ素を用いた新しい電極材料開発~
3. 学会等名 高知工科大学第2回構造ナノ化学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂口裕樹
2. 発表標題 シリコン負極のコンポジット化技術と厚膜化、電解液の最適化によるサイクル特性の改善
3. 学会等名 技術情報協会セミナー No.710426 『シリコン系負極材料の導電性、サイクル特性向上技術』（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山口和輝, 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹
2. 発表標題 Bis(fluorosulfonyl)amide系イオン液体電解液中におけるSi負極の反応挙動の解明
3. 学会等名 2017年 第7回CSJ化学フェスタ, P8-119
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 道見康弘, 薄井洋行, 成田匡邦, 藤田佳宏, 山口和輝, 坂口裕樹
2. 発表標題 Ni-P 被覆 Si 粒子を用いて作製した電極のリチウム二次電池負極特性
3. 学会等名 第58回電池討論会, 2B03
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 淀谷周平, 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹
2. 発表標題 イオン液体電解液中におけるリンをドーブしたケイ素からなる負極の反応挙動解析
3. 学会等名 2017年度第3回関西電気化学研究会, 85
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉本海, 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹
2. 発表標題 Si粒子の結晶子サイズの違いがリチウム二次電池用Si電極の負極特性におよぼす影響
3. 学会等名 第8回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤明寛, 道見康弘, 薄井洋行, 淀谷周平, 山口和輝, 坂口裕樹
2. 発表標題 イオン液体電解液中におけるケイ素系電極の反応挙動の解明
3. 学会等名 第8回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 進藤好子, 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FeSi <sub>2</sub> /Si負極に対するイオン液体電解液の適応性
3. 学会等名 第8回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro DOMI, Hiroyuki USUI, Kazuki YAMAGUCHI, Shuhei YODOYA, 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 (ECEE2019) (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年電気化学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤明寛, 道見康弘, 薄井洋行, 淀谷周平, 山口和輝, 坂口裕樹
2. 発表標題 イオン液体電解液中におけるケイ素系電極の反応挙動解析
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 進藤好子, 道見康弘, 薄井洋行, 上野歩, 水口勇人, 坂口裕樹
2. 発表標題 熱処理温度の違いがリチウム二次電池用Ni-P被覆Si負極特性におよぼす影響
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki SAKAGUCHI
2. 発表標題 Optimization of Si-anode/electrolyte interface for development of advanced Li-ion battery
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 杉本 海, 道見康弘, 薄井洋行, 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電気化学的Li吸蔵 - 放出機構の解明
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中林永丞, 道見康弘, 薄井洋行, 木村優太, 坂口裕樹
2. 発表標題 多元系シリサイドとケイ素からなるコンポジット電極のリチウム二次電池負極特性
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 進藤 好子, 道見康弘, 薄井洋行, 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FeSi <sub>2</sub> /Si負極性能におよぼす影響
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 家氏 直哉, 道見 康弘, 薄井 洋行, 坂口 裕樹
2. 発表標題 イオン液体電解液中におけるLi-Si電極のリチウム二次電池負極特性
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 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 Hiroki SAKAGUCHI
2. 発表標題 Development of Silicon-based Negative Electrodes for Advanced Lithium-ion Battery
3. 学会等名 JK-Ceramics 36 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki USUI, Yasuhiro DOMI, Kunihiro TAKAMA, Hiroki SAKAGUCHI
2. 発表標題 Single-Crystalline Nanoparticles of Impurity-Element-Doped Rutile TiO <sub>2</sub> as Novel Anode Materials for Na-Ion Batteries
3. 学会等名 JK-Ceramics 36 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki USUI
2. 発表標題 Nb-Doped Rutile TiO <sub>2</sub> : a Novel Anode Material for Next-Generation Rechargeable Battery
3. 学会等名 16th Annual German-Japanese Colloquium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 進藤好子, 道見康弘, 薄井洋行, 上野歩, 水口勇人, 坂口裕樹
2. 発表標題 熱処理温度の違いがNi-P被覆Si電極のリチウム二次電池特性におよぼす影響
3. 学会等名 2019年第3回関西電気化学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤明寛, 道見康弘, 薄井洋行, 淀谷周平, 山口和輝, 坂口裕樹
2. 発表標題 リチウム二次電池用ケイ素系電極の体積膨張のメカニズム解明とその抑制
3. 学会等名 2019年第3回関西電気化学研究会
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 安藤明寛, 道見康弘, 薄井洋行, 西川慶, 坂口裕樹
2. 発表標題 リチウム二次電池用ケイ素系負極の体積膨張メカニズムの解明
3. 学会等名 2020年電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計6件

1. 著者名 薄井洋行, 坂口裕樹	4. 発行年 2019年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 1096
3. 書名 最新 実用真空技術総覧	

1. 著者名 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹	4. 発行年 2017年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 602
3. 書名 次世代電池用電極材料の高エネルギー密度、高出力化	

1. 著者名 薄井洋行, 道見康弘, 坂口裕樹	4. 発行年 2017年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 602
3. 書名 次世代電池用電極材料の高エネルギー密度、高出力化	

1. 著者名 道見康弘, 薄井洋行, 坂口裕樹	4. 発行年 2018年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 372
3. 書名 ポストリチウムに向けた革新的二次電池の材料開発	

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	

〔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
研究分担者	薄井 洋行 (USUI Hiroyuki)  (60423240)	鳥取大学・工学研究科・准教授  (15101)	
研究分担者	道見 康弘 (DOMI Yasuhiro)  (50576717)	鳥取大学・工学研究科・助教  (15101)	
研究協力者	山口 和輝 (YAMAGUCHI Kazuki)		