

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：15101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25620195

研究課題名(和文) 計算化学とガスデポジション法に基づくケイ素系多元負極材料の創出

研究課題名(英文) Development of anode materials using multinary Si-based alloys by computational chemistry and gas-deposition

研究代表者

坂口 裕樹 (Sakaguchi, Hiroki)

鳥取大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00202086

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：次世代リチウム二次電池の高容量ケイ素負極の欠点である乏しいサイクル寿命を克服するため、Siを遷移金属シリサイド(LaNixSi<sub>2-x</sub>)とコンポジット化させた活物質からなる電極を作製し、その負極性能を調べた。LaSi<sub>2</sub>にNiを固溶させることで、高い電流密度において高速充放電性能が向上することがわかった。第一原理計算を用いてシリサイド中のLi拡散の挙動を解析した結果、Niの固溶によりLi拡散に要する活性化エネルギーが約0.1 eV低減されることがわかった。

研究成果の概要(英文)：To improve a poor cyclability of Si-based anodes for next-generation Li-ion battery, we prepared composite electrodes consisted of Si and transition metal silicides (LaNixSi<sub>2-x</sub>), and investigated their anode performances. By the formation of LaNixSi<sub>2-x</sub> solid solution, the high-rate performance was improved under high charge-discharge current densities. As a result of the first principle calculation for Li diffusion behavior in the silicides, it was found that the activation energy of Li diffusion was reduced by about 0.1 eV because of the solid solution formation.

研究分野：無機材料化学, 電気化学

キーワード：リチウムイオン電池 第一原理計算 ガスデポジション 遷移金属シリサイド

## 1. 研究開始当初の背景

電気自動車に搭載する次世代リチウム二次電池にはエネルギー密度の飛躍的向上が要求されており、その負極の活物質 (Li と反応しこれを蓄える物質) には約  $1600 \text{ mAh g}^{-1}$  以上の高容量が求められている。しかし、現行の黒鉛負極の理論容量は約  $372 \text{ mAh g}^{-1}$  であるため、これに替わる次世代負極材料が切望されている。このような背景のもと、「リチウムを可逆的に吸蔵・脱離できる金属あるいは合金」に多大な関心が寄せられている。その構成元素にはケイ素 (Si, 理論容量  $3600 \text{ mAh g}^{-1}$ ), ゲルマニウム (Ge,  $1600 \text{ mAh g}^{-1}$ ) およびスズ (Sn,  $990 \text{ mAh g}^{-1}$ ) の 14 族元素が挙げられ、特に Si の高い理論容量は非常に魅力的である。しかしながら、黒鉛負極と比較するとこれらには充放電開始時の Li 吸蔵・放出の可逆性が低く、また充放電サイクル寿命に乏しいという問題がある。そこで、Li を可逆的に吸蔵・放出し、かつ充放電サイクルを繰り返してもその性質が劣化しないような負極材料が求められている。上記負極の乏しい性能は Li を吸蔵・放出する際に活物質が大きな体積変化を示すことで微粉化・凝集を起し、有効な活物質として機能しなくなるためである。これに加え、Si は電子伝導性と Li 拡散係数がともに低く、これを単体のまま負極活物質に適用するのは非常に困難である。単体の性質を変化させるためには化合物化を行うのが一般的である。ところが、研究代表者や多くの研究グループが種々の二元系合金の検討を行ってきたにもかかわらず決め手となる負極材料はまだ見つかっていない。したがって、さらに組成を細かく変えるか三元系以上の材料を検討することになるが、これらを実験的に行うのは膨大な時間と手間を要する。そこで、当該研究課題では計算化学に基づく理論解析を新たに導入し、これにより種々のケイ素系合金の性質を予測したうえで、新しいリチウムイオン電池負極を開発する試みを行った。

## 2. 研究の目的

上述の Si の欠点を改善すべく他の遷移金属元素と合金化するとその容量は激減してしまい、Si を用いる魅力は失われてしまう。そこで、研究代表者らは Si を単体で用いつつ、ある種の活物質とコンポジット化させることで、高容量と優れたサイクル安定性を兼ね備えた負極を創製できることをこれまでに見出してきた。Si とコンポジット化させる活物質には、主に次の 4 つの性質が求められることを明らかにしている：(1) Si からの応力を効果的に緩和する働きをするのに適した機械的性質、(2) Si の乏しい導電性を補う高い電子伝導性、(3) Si への Li 拡散経路として機能できる適度な Li 貯蔵性、(4) 充放電を繰

り返してもそれ自身が分解しない高い熱力学的安定性。これらの性質を満たす活物質として一部の遷移金属ケイ化物 (シリサイド) が該当し、これらが電極性能の向上に有効であることをわれわれは確認している。特に、希土類金属のシリサイドは熱力学的安定性に優れており、これをケイ素とコンポジット化した試料からなる電極のサイクル性能は Si 単独電極に比べ大きな改善が見られた。また興味深いことに、シリサイドに用いる遷移金属の元素の種類によってその電極性能は大きく異なる。この性能の違いは遷移金属シリサイドの電荷密度分布に関係するということを見、第一原理計算に基づく解析によりこれまで得ている。V, Ni や La などの遷移金属 (M) と Si からなるシリサイド ( $MSi_2$ ) は、M と Li との親和性が高いほど多くの Li を吸蔵する傾向があることを電荷密度解析により確認している。M-Li 間の親和性が乏しい  $VSi_2$  は容量が非常に小さいため Si への Li 拡散パスとして機能しにくく、他方、親和性が高い  $NiSi_2$  は Li を多く吸蔵する  $NiSi_2$  が大きな体積変化により活物質層の崩壊を起しやすいとわれわれは推察している。この M-Li 間の親和性がこれら二つのシリサイドの中間に位置するのが  $LaSi_2$  である。 $LaSi_2$  は適度な Li 貯蔵能を有しサイクル性能にも優れており、このことが、 $LaSi_2/Si$  コンポジット電極がサイクル性能に秀でる理由であると推測される。この  $LaSi_2/Si$  電極の容量をさらに高めるべく、われわれは  $NiSi_2$  の性質をこれに付与できないかと考えた。電荷密度分布の大きく異なる  $LaSi_2$  と  $NiSi_2$  が組み合わせれば両者の性能が反映され新たな電極性能が得られると期待される。そこで本研究では、 $LaSi_2$  と  $NiSi_2$  を複合化させた試料の調製を行いその負極性能を評価した。

## 3. 研究の方法

$LaSi_2/Si$  コンポジット試料はメカニカルアロイング (MA) 法により調製した。原料粉と粉砕ボールの重量比を 1:15 とし、得られる  $LaSi_2$  と Si の重量比が 70:30 wt.% となるよう秤量した La チップと Si 粉末をポットに封入し、Ar 雰囲気下、300 rpm で 8 時間 MA 処理を施した。その後ポットへ Ni 粉末を添加し、さらに 5 時間 MA 処理を行った。得られたコンポジット試料をガスデポジション (GD) 法により製膜したものを試験極とし、対極と参照極に Li 板、電解液にリチウムビストリフルオロメタンスルホニルアミドを濃度 1 M となるようにプロピレンカーボネート溶媒に溶解させたものを用い、試験セルを構築した。充放電試験は温度 30 °C、電位幅 0.005–2.000 V vs.  $Li/Li^+$ 、電流密度  $3.0 \text{ A g}^{-1}$  (2.8C) の条件で行った。

LaNi<sub>x</sub>Si<sub>2-x</sub> の電子状態の計算には第一原理計算プログラム (Vienna Ab-initio Simulation Package, VASP) を用いた。計算対象が高い電子密度を有する元素 (La) を含むため、交換相関汎関数は一般化された密度勾配近似 (Generalized Gradient Approximation, GGA) により計算した。k 点数は 8×8×8, cut-off energy 値は 350 eV とした。形成エネルギーは、生成系から反応系のエネルギーを差し引くことにより算出した。

#### 4. 研究成果

粉末 X 線回折測定の結果より, Ni を添加し調製した試料は, LaSi<sub>2</sub> 中の Si が Ni で置換された固溶体と Si との複合体 (LaNi<sub>x</sub>Si<sub>2-x</sub>/Si) であることを確かめた。Fig.1 に LaNi<sub>x</sub>Si<sub>2-x</sub>/Si コンポジット電極の充放電サイクルにともなう放電 (Li 脱離) 容量の推移を示す。比較として, Si 単独電極の結果も併せて示す。Ni の固溶量が増えるほど全サイクルに渡って容量が増大しており, 特に x = 0.1 のものが 400 サイクル後においても 380 mA h g<sup>-1</sup> の放電容量を有する最も優れた電極であることがわかった。この容量の増大はシリサイド相に Li と親和性が高い Ni が含まれることで, シリサイド自身の Li 吸蔵量が増えたためと推察した。

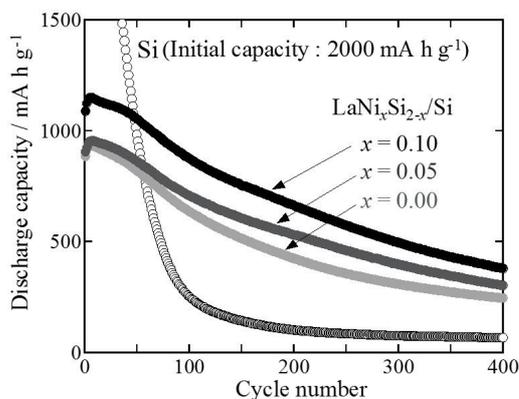


Fig. 1 Dependence of discharge capacity on charge-discharge cycling for GD-film electrodes of LaNi<sub>x</sub>Si<sub>2-x</sub>/Si (x = 0-0.1).

これを確かめるために LaNi<sub>x</sub>Si<sub>2-x</sub> (x = 0-0.1) 単独電極の容量を測定してみたが (Fig.2), 予想に反して, LaSi<sub>2</sub> よりも Ni 固溶電極の方が容量は小さかった。一方, 高速充放電性能に着目すると高い電流密度においては Ni 固溶電極の方が優れた性能を示すことがわかった。このことは, LaSi<sub>2</sub> へ Ni を固溶させたことで Li 拡散能が向上したことを示唆するものである。そこで, シリサイド中での Li の拡散に要する活性化エネルギーを計算してみた。Fig.3 は LaNi<sub>x</sub>Si<sub>2-x</sub> (x = 0, 0.25) の結晶格子中において, Li が最も安定なサイトから次の安定なサイトへ移動する際の格子形成エネルギーの変化を計算した結果である。期待した通り, Li が LaNi<sub>0.25</sub>Si<sub>1.75</sub> 中を拡散す

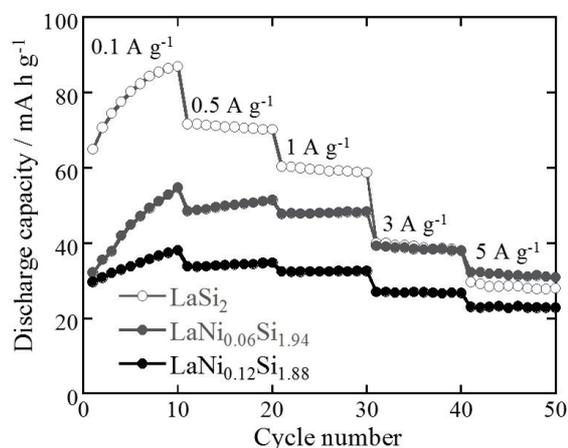


Fig. 2 Rate performances of LaNi<sub>x</sub>Si<sub>2-x</sub> electrodes (x = 0-0.12).

るのに必要な活性化エネルギーは LaSi<sub>2</sub> 中のものに比べ約 0.1 eV 低いことがわかった。以上の結果より, LaNi<sub>x</sub>Si<sub>2-x</sub>/Si 電極の放電容量が増大した要因は, 電極活物質層中の Si 相間の Li 拡散パスとして LaNi<sub>x</sub>Si<sub>2-x</sub> が LaSi<sub>2</sub> よりも効果的に機能し, Si の利用率を高めたためであると推測される。

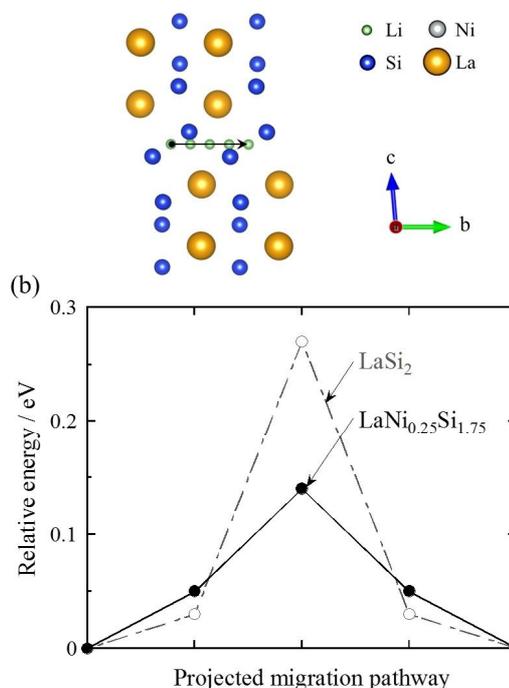


Fig. 3 (a) Schematic illustration of the diffusion path for Li ion in LaSi<sub>2</sub> from a low-energy site to its neighboring site. (b) Changes in formation energies of Li<sub>0.25</sub>LaSi<sub>2</sub> and Li<sub>0.25</sub>LaNi<sub>0.25</sub>Si<sub>1.75</sub> when Li migrates between adjacent stable sites.

#### 5. 主な発表論文等

(雑誌論文) (計 15 件)

M. Shimizu, H. Usui, and H. Sakaguchi, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **18** (2016) 18 (2016) 5139-5147. 査読有, Functional ionic liquid for enhancement of Li-ion transfer: Effect of cation structure on charge-discharge performance of Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> electrode

DOI: 10.1039/C5CP05008A  
M. Shimizu, H. Usui, K. Yamane, T. Sakata, T. Nokami, T. Itoh, and H. Sakaguchi, *Int. J. Electrochem. Sci.*, **10** (2015) 10132–10144. 査読有, Electrochemical Na-insertion/extraction properties of phosphorus electrodes in ionic liquid electrolytes  
Y. Domi, H. Usui, M. Shimizu, K. Miwa, and H. Sakaguchi, *Int. J. Electrochem. Sci.*, **10** (2015) 9678–9686. 査読有, Effect of Film-forming Additive on Electrochemical Performance of Silicon Negative-Electrode in Lithium-Ion Batteries  
H. Usui, T. Sakata, M. Shimizu, and H. Sakaguchi, *Electrochemistry*, **83** (2015) 810–812. 査読有, Electrochemical Na-insertion/extraction properties of Sn-P anodes  
DOI: 10.5796/electrochemistry.83.810  
H. Usui, M. Narita, Y. Fujita, and H. Sakaguchi, *J. Surf. Sci. Soc. Jpn.*, **36** (7) (2015) 334–338. 査読有, Silicon-based Anodes and Optimized Interface between Electrodes and Electrolytes for Next Generation Lithium-Ion Battery  
DOI: 10.1380/jsssj.36.334  
M. Shimizu, H. Usui, K. Fujiwara, K. Yamane, and H. Sakaguchi, *J. Alloys Compd.*, **640** (2015) 440–443. 査読有, Electrochemical behavior of SiO as an anode material for Na-ion battery  
DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.03.171  
H. Usui, S. Yoshioka, K. Wasada, M. Shimizu, and H. Sakaguchi, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **7** (12) (2015) 6567–6573. 査読有, Nb-Doped Rutile TiO<sub>2</sub>: a Potential Anode Material for Na-Ion Battery  
DOI: 10.1021/am508670z  
M. Shimizu, H. Usui, T. Suzumura, and H. Sakaguchi, *J. Phys. Chem. C*, **119** (6) (2015) 2975–2982. 査読有, Analysis of the Deterioration Mechanism of Si Electrode as a Li-Ion Battery Anode Using Raman Microspectroscopy  
DOI: 10.1021/jp5121965  
M. Shimizu, H. Usui, K. Matsumoto, T. Nokami, T. Itoh, and H. Sakaguchi, *J. Electrochem. Soc.*, **161** (12) (2014) A1765–A1771. 査読有, Effect of Cation Structure of Ionic Liquids on Anode Properties of Si Electrodes for LIB  
DOI: 10.1149/2.0021412jes  
H. Usui, K. Nouno, Y. Takemoto, K. Nakada, A. Ishii, and H. Sakaguchi, *J. Power Sources*, **268** (2014) 848–852. 査読有, Influence of mechanical grinding on lithium insertion and extraction properties of iron silicide/silicon composites  
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2014.06.105  
H. Usui, M. Nomura, H. Nishino, M. Kusatsu,

T. Murota, and H. Sakaguchi, *Mater. Lett.*, **130** (2014) 61–64. 査読有, Gadolinium silicide/silicon composite with excellent high-rate performance as lithium-ion battery anode  
DOI: 10.1016/j.matlet.2014.05.065  
M. Shimizu, H. Usui, and H. Sakaguchi, *J. Power Sources*, **248** (2014) 378–382. 査読有, Electrochemical Na-insertion/extraction properties of SnO thick-film electrodes prepared by gas-deposition  
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2013.09.046  
H. Usui, K. Wasada, M. Shimizu, and H. Sakaguchi, *Electrochim. Acta*, **111** (2013) 575–580. 査読有, TiO<sub>2</sub>/Si composites synthesized by sol-gel method and their improved electrode performance as Li-ion battery anodes  
DOI: 10.1016/j.electacta.2013.08.015  
H. Usui and H. Sakaguchi, *J. Nanoeng. Nanomanuf.*, **3** (4) (2013) 311–316. 査読有, Morphology Control of ZnO for Li-Ion Battery Anode  
DOI: 10.1166/jnan.2013.1148  
H. Usui T. Kono, and H. Sakaguchi, *J. Nanoeng. Nanomanuf.*, **3** (4) (2013) 326–330. 査読有, Electrochemical Properties of Metal/ZnO Composites Synthesized by Co-Precipitation Method for Li-Ion Battery Anode  
DOI: 10.1166/jnan.2013.1151

〔学会発表〕(計 21 件)

道見康弘, 柿本雄太, 清水雅裕, 薄井洋行, 青木菜々, 近藤敏啓, 坂口裕樹, 2016 年電気化学会第 83 回大会, 1T27, リンをドーブしたケイ素からなる負極の反応挙動の解明, 2016 年 3 月 29 日, 大阪大学(大阪府・吹田市)  
坂口裕樹, 触媒・電池元素戦略研究拠点第 8 回公開シンポジウム, ナトリウム貯蔵性無機化合物の創製と二次電池負極特性, 2016 年 3 月 1 日, 京都大学(京都府・京都市)  
薄井洋行, 坂口裕樹, 第 1 回ポストリチウムイオン電池研究会, ナトリウム貯蔵性無機化合物の創製とその二次電池負極への応用, 2015 年 12 月 7 日, 九州大学(福岡県・春日市)  
坂口裕樹, 技術情報協会セミナー『シリコン負極材料の開発と膨張・収縮対策』, リチウム二次電池用ケイ素系コンポジット負極の創製と電解液の最適化, 2015 年 12 月 4 日, 技術情報協会 セミナールーム(東京都・品川区)  
清水雅裕, 薄井洋行, 藤原康平, 道見康弘, 坂口裕樹, 第 56 回電池討論会, 2E04, SiO 電極のナトリウム二次電池負極特性, 2015 年 11 月 12 日, 愛知県産業労働センター(愛知県・名古屋市)

Hiroyuki Usui, Hiroki Nishino, Masatoshi Kusatsu, Tadatashi Murota, Hiroki Sakaguchi, The 66th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Gadolinium silicide/silicon composite anode for next-generation lithium-ion battery, 2015年10月8日, Taipei International Convention Center (Taipei, Taiwan)

坂口裕樹, 第26回東海地区光電気化学研究会・2015年東海地区ヤングエレクトロケミスト研究会合同講演会, 次世代リチウムイオン電池用ケイ素コンポジット負極の創製, 2015年9月25日, 名古屋大学(愛知県・名古屋市)

坂野直輝, 薄井洋行, 竹本裕哉, 道見康弘, 坂口裕樹, 2015年電気化学秋季大会, 2C09, 二種類の遷移金属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, 2015年9月12日, 埼玉工業大学(埼玉県・深谷市)

Hiroki Sakaguchi, The 11th International Conference on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications, CMCEE-T3-S2-008-2015, Silicon-based Composites as Anode Materials for Next Generation Lithium Ion Battery, 2015年6月16日, Hyatt Regency Vancouver (Vancouver B.C., Canada)

竹本裕哉, 薄井洋行, 坂口裕樹, 第55回電池討論会, 3A01, ケイ素負極の性能におよぼす種々の遷移金属シリサイドの影響, 2014年11月21日, 国立京都国際会館(京都府・京都市)

坂口裕樹, 第34回表面科学学術講演会, 7Ap05, 次世代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, 2014年11月7日, 島根県立産業交流会館(島根県・松江市)

清水雅裕, 薄井洋行, 坂口裕樹, 第4回CSJ化学フェスタ2014, P2-102, イオン液体のカチオン構造がケイ素負極のリチウム二次電池負極特性におよぼす効果, 2014年10月14日, タワーホール船堀(東京都・江戸川区)

山口和輝, 薄井洋行, 清水雅裕, 坂口裕樹, 2014年電気化学秋季大会, 1Q06, リチウム塩種の違いがリチウム二次電池用ケイ素電極の負極特性に与える影響, 2014年9月27日, 北海道大学(北海道・札幌市)

Hiroki Sakaguchi, Silicon for the Chemical and Solar Industry XII, Silicon-based Anodes for Next Generation Lithium Ion Battery, 2014年6月26日(Trondheim, Norway)

薄井洋行, 西野博貴, 草津将年, 室田忠俊, 坂口裕樹, 第31回希土類討論会, 1A-12, 希土類シリサイドを用いたリチウム二次電池用ケイ素系コンポジット負極の性能, 2014年5月22日, タワーホール船堀(東京都・江戸川区)

柿本裕太, 薄井洋行, 坂口裕樹, 2014年

電気化学会第81回大会, 1R27, 不純物元素をドーピングしたケイ素からなる電極のリチウム二次電池負極特性, 2014年3月29日, 関西大学(大阪府・吹田市)

坂口裕樹, 日本化学会第94春季年会, アドバンスト・テクノロジー・プログラム, 次世代リチウム二次電池用ケイ素系コンポジット負極の創製, 2014年3月28日, 名古屋大学(愛知県・名古屋市)

西野博貴, 薄井洋行, 草津将年, 室田忠俊, 坂口裕樹, 第54回電池討論会, 3B13, 希土類シリサイド-ケイ素コンポジット電極のリチウム二次電池負極特性, 2013年10月9日, 大阪国際会議場(大阪府・大阪市)

成田匡邦, 薄井洋行, 藤田佳宏, 坂口裕樹, 第54回電池討論会, 3B14, Ni-P被覆Siコンポジット電極のリチウム二次電池負極特性, 2013年10月9日, 大阪国際会議場(大阪府・大阪市)

三輪賢一, 薄井洋行, 坂口裕樹, 第54回電池討論会, 3B15, リチウム二次電池用Si系負極に対する最適な有機電解液の探索, 2013年10月9日, 大阪国際会議場(大阪府・大阪市)

- ②1 和佐田国聖, 薄井洋行, 坂口裕樹, 2013年電気化学秋季大会, 2L22, ゼル-ゲル法を用いたTiO<sub>2</sub>/Si複合体の合成とリチウム二次電池負極特性, 2013年9月27日, 東京工業大学(東京都・目黒区)

〔図書〕(計8件)

薄井洋行, 坂口裕樹, 技術教育出版社, ナトリウムイオン二次電池の開発と最新技術; 第1編第6章 酸化物系負極材料の研究開発”, (2015) pp. 86-98.

薄井洋行, 坂口裕樹, 古河電池, FBテクニカルニュース, “ナトリウム貯蔵性化合物の創製とその二次電池負極への応用”, 71 (2015) pp.1-8.

薄井洋行, 坂口裕樹, 化学工業社, 化学工業10月号; 次世代リチウム二次電池用ケイ素系負極の創製”, 65 (10) (2014) pp.20-24.

薄井洋行, 坂口裕樹, 技術情報協会, 電子機器・部品における故障・発火原因解析と対策技術, 第7章第4節 車載用電源を意識したリチウム二次電池用ケイ素負極に適応する電解液, (2014) pp.527-532.

薄井洋行, 坂口裕樹, 工業通信, 化学装置3月号, “ナトリウムイオン電池用負極創製のための活物質合成・電極作製システム”, 56 (3) (2014) pp.58-61.

薄井洋行, 坂口裕樹, 技術情報協会, 次世代蓄電池の【最新】材料技術と性能評価, “第2章第19節 金属・合金・酸化物系活物質を用いた次世代負極材料”, (2013) pp. 182-196.

薄井洋行, 坂口裕樹, 技術情報協会, コンポジット材料の混練・コンパウンド技術

の分散・界面制御，“第6章第13節 次世代蓄電池用ケイ素系コンポジット負極材料の作製とその評価”，(2013) pp.516-521. 薄井洋行，坂口裕樹，工業通信，化学装置3月号，“次世代蓄電池用負極創製のための活物質合成・電極作製システム”，55(3)(2013) pp.25-28.

〔産業財産権〕

○出願状況(計6件)

名称：ナトリウムイオン二次電池  
発明者：坂口裕樹(6番目)，他8名  
権利者：国立大学法人京都大学，国立大学法人鳥取大学，他2社  
種類：特許  
番号：特許願 2016-036420  
出願年月日：2016年2月26日  
国内外の別：国内

名称：非水電解液系二次電池用負極および非水電解液系二次電池  
発明者：坂口裕樹，薄井洋行  
権利者：国立大学法人鳥取大学，他1社  
種類：特許  
番号：特許願 2014-231423  
出願年月日：2014年11月14日  
国内外の別：国内

名称：ナトリウムイオン二次電池用負極およびその製造方法並びにナトリウムイオン二次電池  
発明者：坂口裕樹(1番目)，薄井洋行(2番目)，他1名  
権利者：国立大学法人鳥取大学，他1社  
種類：特許  
番号：特許願 2014-223391  
出願年月日：2014年10月31日  
国内外の別：国内

名称：ナトリウムイオン電池用電解液およびナトリウムイオン電池  
発明者：坂口裕樹，伊藤敏幸，野上敏材，薄井洋行  
権利者：国立大学法人鳥取大学，他1社  
種類：特許  
番号：特許願 2013-257073  
出願年月日：2013年12月12日  
国内外の別：国内

名称：リンをドーブしたリチウム二次電池用ケイ素電極  
発明者：坂口裕樹，薄井洋行  
権利者：国立大学法人鳥取大学，他1社  
種類：特許  
番号：PCT/JP2013/82214  
出願年月日：2013年11月29日  
国内外の別：国外

名称：ナトリウムイオン二次電池用負極およびその製造方法並びにナトリウムイオン二

次電池

発明者：坂口裕樹(1番目)，薄井洋行(3番目)，他2名  
権利者：国立大学法人鳥取大学，他1社  
種類：特許  
番号：特許願 2013-133933  
出願年月日：2013年6月26日  
国内外の別：国内

○取得状況(計1件)

名称：二次電池用負極材、二次電池用負極、二次電池用負極材の製造方法および二次電池用負極の製造方法  
発明者：坂口裕樹，薄井洋行，井上良二，安藤節夫，浅田賢  
権利者：株式会社日立金属，国立大学法人鳥取大学  
種類：特許  
番号：特許第 5755246 号  
出願年月日：2010年11月29日  
取得年月日：2015年6月5日  
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂口 裕樹(SAKAGUCHI, Hiroki)  
鳥取大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：00202086