

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H02060

研究課題名(和文) 活物質/ナノ多孔カーボン複合材料の充放電プロセスの解明と全固体電池電極への新展開

研究課題名(英文) Elucidation of charge-discharge process of active material/nanoporous carbon composites and its application to all-solid-state battery

研究代表者

森口 勇 (MORIGUCHI, Isamu)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号：40210158

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：多孔性カーボン細孔内にSnS₂やPを析出させ、LiやNa塩有機電解液中での高い充放電容量の発現やサイクル安定性の向上に成功した。カーボンナノチューブへの赤リンの導入では、超高圧条件下で生成する黒リンが細孔内に常圧条件下で生成するという特異的な結果を得た。また階層ナノ構造を有する金属硫化物・カーボン複合体を合成し、優れた充放電特性の発現を見出した。

一方、SnO₂担持ナノ多孔カーボンを全固体電池電極へ応用し、固体電解質が細孔内に存在しないにもかかわらず安定な充放電が観測され、構造最適化により有機電解液系より高容量で、高レート特性を示すことも突き止めた。また、拘束圧低減も可能にした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

蓄電池の市場拡大に伴い、高エネルギー密度化や高出力化、長寿命化の性能向上、さらには安全性の向上や低コスト化が要求されている。既往のLiイオンのインターカレーションや挿入・脱離反応系を凌駕する高容量を安定に発現できる新しい反応系の開発が必要であり、また、有機電解液を不燃性の無機固体電解質に置き換えた全固体電池系での高容量かつサイクル安定性に優れた電極材料開発が望まれている。本研究の成果は、安定な高容量反応を実現する新材料を開発し、またLiイオン電池にとどまらずNaイオン電池電極材料としての機能発現も手掛け、また安定な全固体電池電極開発の新しいアプローチを提案しており、その意義は極めて大きい。

研究成果の概要(英文)：SnS₂- or P-embedded porous carbons showed high capacities and stable cycle performance in charge-discharge measurements using organic electrolytes of Li and Na salts. It was surprisingly found that introduction of Red phosphorous in carbon nanotube resulted in a formation of black phosphorous phase, which produces at high pressure condition. Metal sulfide-carbon composites with hierarchical nanostructure also showed excellent charge-discharge properties.

It was also demonstrated that SnO₂-embedded nanoporous carbons without solid electrolyte inside the nanopores are a promising candidate for high capacity and stable electrode material of all-solid-state battery. Structure-optimized composite electrodes showed high capacity and good cycle stability superior to those in organic liquid electrolyte system. We also succeeded in reduction of external pressure of all-solid-state cell.

研究分野：電気化学，ナノ界面科学

キーワード：Liイオン電池 Naイオン電池 全固体電池 ナノ多孔カーボン ナノ複合体

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、電気自動車用動力源や自然エネルギー負荷平準システム等へ応用可能な高性能蓄電デバイスの開発が望まれているが、そのためにはエネルギー密度や安定性等の性能を既往デバイスより格段に向上させる必要がある。また、蓄電デバイス適用範囲の拡大に伴い、現行の有機電解液を固体電解質に置き換えた安全性の高い全固体型デバイス開発が望まれてきている。

エネルギー密度に直結する充放電容量の大幅な向上のためには、Li イオン二次電池(LIB)においては、これまで利用されてきた Li イオンのインターカレーション反応系や挿入・脱離反応系では限界に近づいており、より高容量を安定に発現できる新しい Li イオン反応系の開発が必要である。このような観点において、コンバージョン反応(下記[1]は金属酸化物と Li イオンとの間で生じる反応例)は、既存のインターカレーション系や挿入・脱離反応系より数倍大きな理論容量を有し、これを可逆的に安定に利用できれば、LIB の限界性能を大幅に向上させるブレークスルーとなるであろう。さらに、生成する金属と Li イオンの合金・脱合金化反応[2]も含めて可逆的に反応を行うことができれば、負極ではさらに大容量化が図れる。例えば、 SnO_2 では、[1]と[2]の両反応により $1494 \text{ mAh/(g-SnO}_2\text{)}$ の大きな理論容量(現在利用されている黒鉛系活物質の4倍以上)が期待される。



しかしながら、コンバージョン反応は一般に不可逆であり、これまで注目されてこなかった。一方、合金・脱合金化反応はサイクル安定性の向上が重要な課題となっている。課題克服のためには、コンバージョン反応にあつては Li 化合物相と金属相の固相/固相反応を如何にスムーズに進行させるか、合金・脱合金化反応では大きな体積変化に伴う活物質内軋による構造崩壊を抑制し、膨張・収縮に対応できる電子伝導パスを如何に確保するか、が重要である。そのためには、既往研究における活物質とカーボンの単純複合系では不十分であり、それぞれの反応をナノレベルで規制し、かつ電子伝導経路の構造設計が不可欠である。このような電極材料設計は、LIB 以外の Na イオン電池等の性能向上においても要求される課題である。

一方、全固体型 LIB の開発においても、近年の高イオン伝導性固体電解質の開発に伴い、高容量化が期待されてきている。上述した高容量反応を適用するためには、固体電解質/電極活物質界面の設計も合わせて重要になる。すなわち、有機電解液系 LIB と異なり Li イオンアクセスが電解質/活物質の固相/固相接触界面に制限され、ましてや体積変化の大きな活物質系では安定な接触界面が維持できない、という課題を克服しなければならない。

2. 研究の目的

我々は、カーボンナノ細孔内のみに SnO_2 や Si ナノ結晶を優先析出させた複合体合成を既に実現し、これまで実現困難であったコンバージョン反応や合金・脱合金化反応の可逆性が既往研究のカーボン単純混合系等より大幅に向上することを見出してきている。発現する充放電容量は関連研究ではトップレベルの値を達成したが、まだ理論容量の6割程度であり、必ずしもこれらの反応を十分に生かすまでには至っていない状況にある。

本研究では、コンバージョン反応や合金・脱合金化反応のカーボンナノ空間における反応過程や特異性を解明し、活物質/ナノ多孔カーボン複合構造の最適化へフィードバックを図り、さまざまな活物質と各種カーボン系材料との複合化へ展開することにより、既往材料よりも格段に優れる高機能(高容量、高サイクル安定性、高速充放電)な電極材料の開発を目的とした。さらに、全固体型電池開発において、固体電解質/活物質電極の緻密界面を構築する既往研究に対し、活物質/ナノ多孔カーボン複合構造を活かした新しい全固体電池電極材料(図1)としての可能性や特長の解明を目的とした。

3. 研究の方法

以下に示す方法により、各種活物質/カーボンナノ複合体を合成し、充放電測定を行うことにより、電極材料特性の評価やカーボンナノ構造との関連性、ナノ複合化に伴う特異性等の解明を行った。

(1) 活物質/カーボンナノ複合体の合成: シリカオパールを鋳型にしたコロイド結晶テンプレート法により、45 nm や 140 nm の細孔サイズを有するナノ多孔カーボンを合成した。また、さまざまな細孔分布を有する活性炭やカーボンナノチューブ等も用意し、これら多孔性カーボンへの原料の気相導入を通して SnO_2 や SnS_2 、P の細孔内担持を行った。一方、金属源を溶解させた水溶液にイオウ源(チオアセトアミド等)を加えて水熱合成する手法により、金属硫化物・カーボン複合体も合成した。

(2) 構造キャラクターゼーション: X線回折測定、蛍光X線分析、熱重量分析、窒素吸脱着等

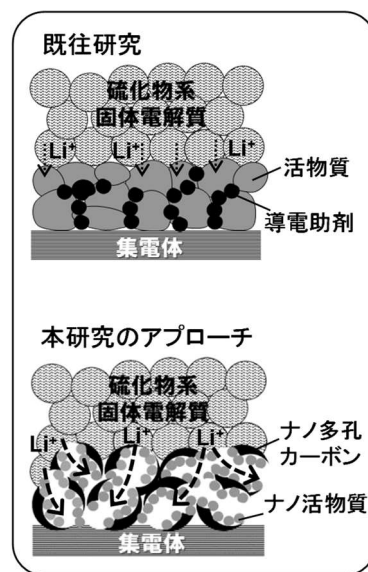


図1 全固体電池電極の既往研究と本研究の概念図

明線測定により、合成した試料の結晶構造、組成、比表面積、細孔分布等を評価した。さらに、走査型および透過型電子顕微鏡による形態観察や EDX や EELS 分析を行った。

(3) 充放電容量測定： Li 塩および Na 塩有機電解液を用いて、サイクリックボルタンメトリーおよび定電流充放電測定を行い、充放電容量、レート特性、サイクル特性等を評価した。

(4) 全固体電池電極特性評価： マコール製あるいはポリカーボネート製シリンダー内で硫化物系固体電解質とナノ多孔複合材料の混合物を集電体上加圧（作用極）し、ついで固体電解質層および対極を積層したシリンダーセルにて充放電測定を行った。対極に LiIn を用いたハーフセル、および正極と負極を組み合わせたフルセルにて評価した。さらに、コインセルの試作も行った。

4. 研究成果

(1) 活物質/カーボンナノ複合体の合成

SnCl₂ と硫黄およびナノ多孔カーボンを混合し、真空下で加熱することにより、SnS₂ ナノ結晶を多孔カーボン細孔内に生成させることに成功した（図 2）。また、ナノ多孔カーボンに赤リンを混合し、減圧下で加熱することにより、カーボン細孔内への赤リンの導入も可能にした。ただし、いずれの場合も原料の仕込み量が多くなると、細孔外への析出も観察された。ミクロ細孔が発達した活性炭素繊維に対して赤リンを混合したところ、仕込み量が多い場合はミクロ細孔の閉塞が見られた。

さらに、3~5 nm の入口径を有する単層カーボンナノチューブ（SWCNT）に同様の方法で赤リンの導入を試みたところ、超高压条件下で生成する黒リンが SWCNT 内に常圧条件下で生成するという特異的な結果（図 3）を得た。本成果は、ナノ細孔空間の極めて高いポテンシャルエネルギーを利用することにより、合成困難な高压相生成（結晶相転移）を常圧条件下で可能にする新しい可能性を期待させるものである。

一方、金属源を溶解させた水溶液にイオウ源（チオアセトアミド等）を加えて水熱合成する手法により金属硫化物・カーボン複合体を合成したところ、二次元ナノシートが集積して階層的なマイクロスフェア構造を形成していることがわかった。

(2) 活物質/カーボンナノ複合体の有機電解液系における充放電特性

SnS₂/ナノ多孔カーボン複合体について、Li 塩有機電解液系で充放電測定を行ったところ、コンバージョン反応（SnS₂ ↔ Sn）および合金・脱合金化反応（Sn ↔ Li_xSn）が進行していることが確認された。また、多孔カーボン細孔内に担持した SnS₂ ナノ結晶は、SnS₂ バルク体よりも高い充放電容量やサイクル安定性を発現することがわかった。

赤リン/ナノ多孔カーボン複合体については、Na 塩有機電解液系での充放電特性の評価を行った。リンの同素体の中で安定かつ安価な赤リンは電子伝導性が低く電気化学的に不活性であるという問題があるが、多孔カーボン細孔内に分散して複合化することで、理論値相当の大容量発現が可能であることがわかった。様々な細孔サイズを有する多孔カーボンとリンの複合体について充放電特性を比較・評価することにより、リンと Na イオンの合金・脱合金化反応にはメソ・マクロ細孔が有効であることを見出した。また、リン重量当たりの充放電容量は、多孔カーボンへのリン担持量に依存し、担持率 30 wt%程度の際に理論容量近くの最大容量を示した（図 4）。メソ・マクロ細孔内への優先的なリン析出と合金・脱合金化に伴う体積変化のための十分な反応空間の確保を満足するような条件を反映しているものと考えられた。

SnS₂・カーボン複合マイクロスフェアについては、

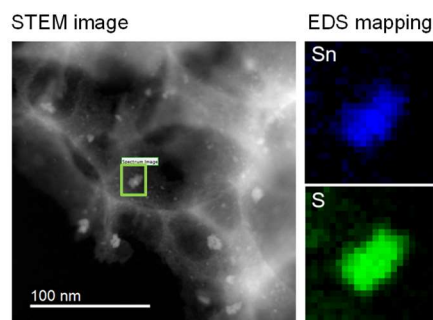


図 2 SnS₂ 担持ナノ多孔カーボン（細孔径 140 nm）の STEM 像と EDS 分析（Sn, S）

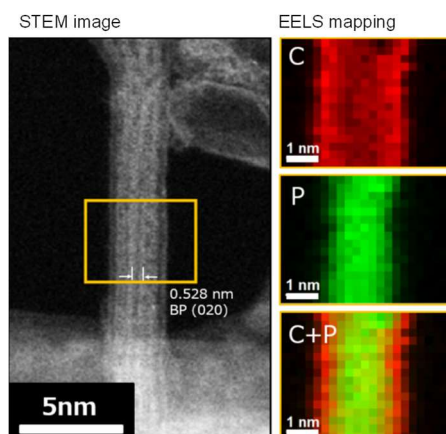


図 3 リンをチューブ内に導入した単層カーボンナノチューブの STEM 像と EELS 分析（C, P）

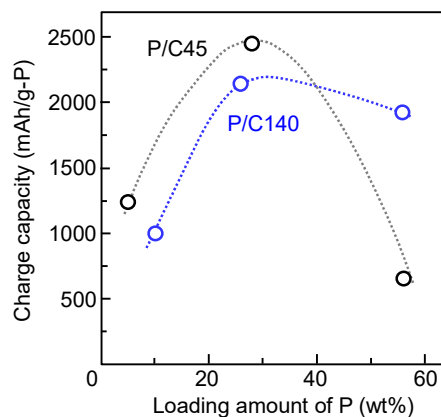


図 4 細孔径 45 および 140 nm のナノ多孔カーボン（C45, C140）に赤リンを担持した複合体の充電容量と P 担持量との関係

Na 塩有機電解液系での充放電測定を行ったところ、 1.0 Ag^{-1} の高電流密度条件でも高いサイクル安定性を示し、階層的なナノ構造制御が有効であることがわかった。

(3) SnO_2 /ナノ多孔カーボン複合体の全固体電池電極への応用

SnO_2 /ナノ多孔カーボン複合体と硫化物系固体電解質 (SE) の混合物の加圧成形で得た電極層と SE 層, LiIn または Li 対極層からなる積層系ハーフセルにて充放電測定を行った。SEM および EDS 分析より、加圧成型を伴うセル作製語において、電極層中の多孔カーボンの細孔構造は崩壊せず、また、カーボン細孔内部には固体電解質が存在していないこと (図 5) を確認した。

電解質がないナノ細孔空間を Li イオンが伝搬できるかどうかは鍵であるが、全固体系においても有機電解液系と同様に SnO_2 と Li イオンの反応が進行し、例えば充電過程では $0.5 \text{ V vs. Li/Li}^+$ 付近および $0.9 \text{ V vs. Li/Li}^+$ 以上でそれぞれ脱合金化反応およびコンバージョン反応に由来するレドックスが確認され、ある程度の SnO_2 担持量を有する複合体電極では有機電解液系より全固体系の方が高容量を示すことがわかった。図 6 に示すように、有機電解液系では 70 wt\% 以上の SnO_2 担持量になると容量が急激に低下するが、全固体電池系は逆の傾向を示し、すなわち SnO_2 高担持条件では、 Li イオンと活物質の反応が SE と接触する細孔入口付近のみならず細孔深部においても進行し、多孔体全体に渡って Li イオン伝導パスが形成されることを示唆している。 $\text{LiI-Li}_3\text{PS}_4$ を固体電解質 (SE), Li-Mn-Co-Ni 系酸化物と SE の混合物を正極, SnO_2 /ナノ多孔カーボンと SE の混合物を負極としたプロトタイプ電池において、平均電圧 3.4 V , 負極重量基準でエネルギー密度 2040 Wh/kg , 出力密度 268.6 W/kg の優れた充放電特性が確認された。

複合体電極中の SnO_2 担持量等の構造最適化により、 300 mA/g の条件で 300 サイクル後においても 97% の高容量維持率を示すなど、優れたサイクル安定性が発現するとともに、有機電解液系より高レート特性を示すことも突き止めた。また、電極組成や拘束圧条件と充放電特性の関連性についても検討し、 SnO_2 と導電助剤 (アセチレンブラック) の単純混合系では、高い拘束圧条件では容量やクーロン効率が低下するのに対し、 SnO_2 /ナノ多孔カーボン複合体系では Li イオンの反応に伴う体積膨張に見合う細孔空間体積を電極材料中に確保することにより、ある程度以上の拘束圧条件で高い容量とクーロン効率を発現できることを明らかにした。さらに、同複合材料の電極中に数 wt\% の単層カーボンナノチューブを混合することにより、より低い拘束圧で優れた充放電特性を示すことを見出し、コインセルにおいても遜色のない充放電特性を発現させることにも成功した。

本研究により、活物質/ナノ多孔カーボン複合材料が有機電解液系と異なり固体電解質が細孔内に存在しないにもかかわらず安定な充放電特性を発現することを見出した。本材料は、細孔空間を反応バッファ空間として活用することにより電極と固体電解質の接触界面を安定化するという、これまでになく新しいアプローチによる安定な全固体電池電極の開発を期待させるものである。

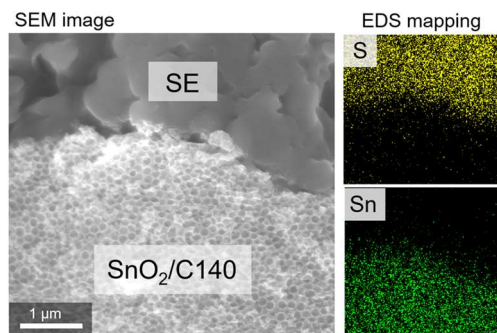


図 5 SnO_2 /ナノ多孔カーボン複合体と硫化物系固体電解質の混合物電極層内の SEM 像と EDS 分析 (Sn , S)

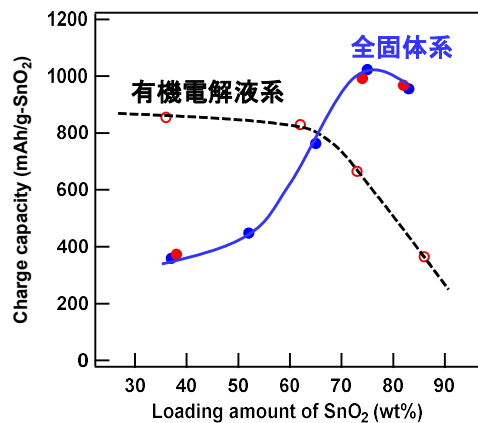


図 6 SnO_2 /ナノ多孔カーボン系電極の全固体電池系および有機電解液系における充電容量の SnO_2 担持量依存性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Komine Yuki, Urita Koki, Notohara Hiroo, Moriguchi Isamu	4. 巻 4
2. 論文標題 Effective Carbon Pores to Improve the Electrochemical Performance of Phosphorus as an Anode for Sodium Ion Batteries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 13841 ~ 13846
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.1c02605	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 Komine Yuki, Urita Koki, Notohara Hiroo, Moriguchi Isamu	4. 巻 51
2. 論文標題 Direct Evidence of Black Phosphorus Formation in Carbon Nanospaces by Quasi-high Pressure Effect	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 118 ~ 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210644	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 Notohara Hiroo, Urita Koki, Moriguchi Isamu	4. 巻 2
2. 論文標題 Reduction of external pressure on all solid state battery using SnO ₂ -embedded porous carbon by CNT assistance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Select	6. 最初と最後の頁 2121 ~ 2125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/nano.202100042	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 Notohara Hiroo, Urita Koki, Moriguchi Isamu	4. 巻 12
2. 論文標題 SnO ₂ -Embedded Nanoporous Carbon Electrode with a Reaction-Buffer Space for Stable All-Solid-State Li Ion Batteries	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 43042 ~ 43048
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.1c009792	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 Wang Jianbiao, Okabe Jugo, Urita Koki, Moriguchi Isamu, Wei Mingdeng	4. 巻 874
2. 論文標題 Cu ₂ S hollow spheres as an anode for high-rate sodium storage performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Electroanalytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 114523 ~ 114523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jelechem.2020.114523	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 該当する

1. 著者名 Wang Jianbiao, Huang Jiajia, Huang Shuping, Notohara Hiroo, Urita Koki, Moriguchi Isamu, Wei Mingdeng	4. 巻 8
2. 論文標題 Rational Design of Hierarchical SnS ₂ Microspheres with S Vacancy for Enhanced Sodium Storage Performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chemistry & Engineering	6. 最初と最後の頁 9519 ~ 9525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.0c02535	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 該当する

1. 著者名 Notohara Hiroo, Urita Koki, Yamamura Hideyuki, Moriguchi Isamu	4. 巻 8
2. 論文標題 High capacity and stable all-solid-state Li ion battery using SnO ₂ -embedded nanoporous carbon	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-27040-w	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 森口 勇, 瓜田千春, 能登原展穂, 瓜田幸幾	4. 巻 64
2. 論文標題 ナノ多孔性蓄電電極材料の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ケミカルエンジニアリング	6. 最初と最後の頁 30-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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29件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 西中彰基, 能登原 展穂, 瓜田幸幾, 森口 勇
2. 発表標題 Li/表面修飾多孔カーボンの全固体電池電極特性
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 能登原 展穂, 瓜田幸幾, 森口 勇
2. 発表標題 SnO ₂ /カーボン複合材料におけるLiイオン伝搬挙動の追跡
3. 学会等名 第62回電池討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩永 樹, 能登原 展穂, 瓜田幸幾, 森口 勇
2. 発表標題 全固体電池AI負極へのDLC被覆効果
3. 学会等名 第58回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 能登原展穂, 瓜田幸幾, 森口勇
2. 発表標題 全固体電池系におけるSnO ₂ ・CNT複合材料のLiイオン伝導挙動
3. 学会等名 第47回炭素材料学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小峯祐輝, 瓜田幸幾, 森口勇
2. 発表標題 カーボンナノチューブの1次元ナノ空間におけるリンの構造及び充放電特性
3. 学会等名 第47回炭素材料学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西中彰基, 瓜田幸幾, 森口勇
2. 発表標題 Liドーパナノ多孔カーボンの全固体電池負極特性
3. 学会等名 第47回炭素材料学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瓜田幸幾
2. 発表標題 電解液の脱溶媒和状態を考慮した多孔性カーボン電極の設計
3. 学会等名 第88回電気化学会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 I. Moriguchi
2. 発表標題 Development of High-Performance Energy Storage Electrode
3. 学会等名 The 1st Joint Symposium between Fuzhou University and Nagasaki University on Energy and Materials Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Moriguchi
2. 発表標題 Energy Storage Electrodes Taking Advantage of Carbon Nanospace
3. 学会等名 International Symposium on Adsorption 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 亀田健太, 瓜田幸幾, 森口 勇
2. 発表標題 カーボンナノホーンの内部空間を利用したSnO ₂ 充放電特性
3. 学会等名 第46回炭素材料学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 能登原 展穂, 瓜田 幸幾, 森口 勇
2. 発表標題 SnO ₂ /多孔カーボン系全固体電池電極におけるナノ空間の影響
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小峯 祐輝, 瓜田 幸幾, 森口 勇
2. 発表標題 リンとNaイオンの合金・脱合金化反応へのカーボン細孔空間の影響
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 隈 成輝, 瓜田幸幾, 森口 勇
2. 発表標題 Si/カーボンナノ複合体の合成と充放電特性
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小峯祐輝, 瓜田幸幾, 森口 勇
2. 発表標題 カーボン細孔を利用したリンの充放電特性の向上
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Komine, K. Urita I. Moriguchi
2. 発表標題 Enhancement of electrochemical reactions of phosphorous with sodium ions by carbon nanopores
3. 学会等名 13th Fundamentals of Adsorption (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森口 勇
2. 発表標題 蓄電機能向上に向けたカーボンナノ空間の設計
3. 学会等名 活性炭技術研究会第166回講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森口 勇
2. 発表標題 カーボンナノ空間を活用した蓄電デバイス電極開発
3. 学会等名 電気化学会九州支部平成30年度秋季講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森口 勇
2. 発表標題 ナノ多孔材料の創製～合成と構造評価，電気化学機能～
3. 学会等名 触媒学会西日本支部 第12回触媒道場（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三牧勸大，瓜田幸幾，森口 勇
2. 発表標題 Liドープ合金系/多孔カーボン複合体電極の電気化学特性
3. 学会等名 第45回炭素材料学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 徳永倫果，瓜田幸幾，森口 勇
2. 発表標題 Si・カーボン複合電極の構造と充放電特性の関係
3. 学会等名 第45回炭素材料学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 亀田健太, 瓜田幸幾, 森口 勇
2. 発表標題 SnO ₂ /CNH複合体の充放電特性
3. 学会等名 第45回炭素材料学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小峯祐輝, 瓜田幸幾, 森口 勇
2. 発表標題 カーボンナノ空間におけるリンとナトリウムイオンの電気化学反応
3. 学会等名 第45回炭素材料学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田川光帆, 瓜田幸幾, 森口 勇
2. 発表標題 SnS ₂ ・カーボン複合体の充放電特性に与えるナノ空間の影響
3. 学会等名 第32回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 能登原展穂, 瓜田幸幾, 森口 勇
2. 発表標題 SnO ₂ /多孔カーボン複合系全固体電池負極特性へのナノ空間構造の影響
3. 学会等名 第59回電池討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Notohara, K. Urita, I. Moriguchi
2. 発表標題 Design of SnO ₂ -embedded Carbon Nanospace for Effective Li-ion Reactions in All-solid state Battery Electrode
3. 学会等名 8th Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology (PBAST-8) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Komine, K. Urita, I. Moriguchi
2. 発表標題 Influence of Carbon Pores on Electrochemical Performance on Phosphorous/Porous Carbon Composite Electrodes
3. 学会等名 8th Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology (PBAST-8) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Notohara, K. Urita, I. Moriguchi
2. 発表標題 Charge-discharge properties of SnO ₂ -embedded nanoporous carbons in all-solid-state lithium ion battery system
3. 学会等名 CARBON2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小峯祐輝, 瓜田幸幾, 森口 勇
2. 発表標題 リンの充放電反応へのカーボンナノ空間の影響
3. 学会等名 第55回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Notohara, K. Urita, I. Moriguchi
2. 発表標題 SnO ₂ -Embedded Nanoporous Carbon as an All-Solid-State LIB Electrode
3. 学会等名 The 19th International Meeting on Lithium Batteries (IMBL2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 M. O. Orlandi, G. Watson, A. L. Gavin, A. K. Lucid, J. Savioli, P. H. Suman, V. Sharma, C. M. Aldao, J. M. Granjeiro, R. Cruz, P. E. Leite, L. D. Cunha, H. Notohara, K. Urita, I. Moriguchi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 666
3. 書名 Tin oxide materials; synthesis, properties, and applications	

1. 著者名 川崎晋司, 福塚友和, 安部武志, 岡 秀亮, 後藤和馬, 森脇博文, 馬場良貴, 武内正隆, 福井俊巳, 藤本康治, 田中俊輔, 西山憲和, 能登原展穂, 瓜田幸幾, 森口 勇, 太田道也, 清水雅裕, 新井 進, 石井陽祐, 是津信行	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 237
3. 書名 リチウムイオン二次電池用炭素系負極材の開発動向	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<ul style="list-style-type: none"> ・長崎大学 学術研究成果リポジトリ http://naosite.lb.nagasaki-u.ac.jp/dspace/ ・応用物理化学研究室HP http://www.cms.nagasaki-u.ac.jp/lab/bukka/Bukka/groupA.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
研究 分 担 者	瓜田 幸幾 (URITA Koki) (40567666)	長崎大学・工学研究科・准教授 (17301)	

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