

令和 5 年 5 月 23 日現在

機関番号：84431

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K05685

研究課題名（和文）シリコンナノ構造制御による全固体電池への応用

研究課題名（英文）Composite anode with silicon nanostructure suitable for all-solid-state batteries

研究代表者

山本 真理（Yamamoto, Mari）

地方独立行政法人大阪産業技術研究所・森之宮センター・電池材料研究室長

研究者番号：20416332

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）：本研究ではナノポーラスシリコンファイバーのネットワーク構造をもつ負極複合体を開発した。ナノポーラスシリコンファイバーは安価でスケールアップが容易なエレクトロスピンニングとマグネシオ熱還元法を組み合わせて作製した。ナノポーラスシリコンファイバーの全細孔容積は容量1635 mAh g<sup>-1</sup>に相当する体積変化を収容でき、ファイバー外側への体積変化がほとんどないため周囲との界面を維持できる。また、ファイバー構造は負極複合体中で容易にネットワークを形成でき、この中をLi<sup>+</sup>拡散・電子伝導できるため、シリコンの利用率の向上や部分的な界面剥離の補償に寄与する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

硫化物系固体電解質を用いた全固体電池は高い安全性や高出力特性を有することから電気自動車用の大型蓄電池への応用が期待されている。現状の黒鉛負極を10倍の比容量をもつシリコンに代えると電池の重量エネルギー密度は2倍になると試算される。しかし、シリコンは充放電時に400%体積変化し、サイクル安定性が低下する。本研究ではナノポーラスシリコンファイバーを用いネットワーク構造を形成した負極複合体を創製し、その充放電特性や界面維持について調査した。ナノポーラス構造とファイバー構造の組み合わせにより、界面維持やイオン・電子伝導経路の構築が可能となり、サイクル安定性が向上することを示した。

研究成果の概要（英文）：We have developed an anode composite with a network structure of nanoporous silicon fibers. The nanoporous silicon fibres were fabricated by a combination of electrospinning and magnesiothermic reduction, which are inexpensive and easy to scale up. The total pore volume of the nanoporous silicon fibres can accommodate a volume change corresponding to a capacity of 1635 mAh g<sup>-1</sup>. Therefore, the interface with the surrounding SE and AB can be maintained as there is little volume change to the outside of the fibers. The fiber structure can easily form a Li<sup>+</sup> diffusion and electron conduction network in the anode composite, contributing to improved silicon utilization and compensation of partial interface delamination.

研究分野：電池

キーワード：シリコン ファイバー 多孔質 全固体電池 硫化物系固体電解質 界面維持 ナノポーラスシリコン ネットワーク構造

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

リチウムイオン電池 (LIB) の発明によりポータブル電子デバイスや電気自動車 (EV) が普及した。さらなる需要の増加を見据え、高エネルギー密度化が求められている。シリコン (Si) は、一般的な負極材料である黒鉛の 10 倍の理論容量 ( $\text{Li}_{15}\text{Si}_4$  3572 mAh  $\text{g}^{-1}$ ) を持ち、比較的低電位 (<0.35 V vs.  $\text{Li}^+/\text{Li}$ ) で作動する。そのため、黒鉛を Si に換えると電池重量当たりのエネルギー密度は 2 倍以上になると試算され、Si の利用が望まれる。しかし、Si は充放電時に 400% 以上体積変化するため、その応力を緩和できず破碎され電子伝導経路が途切れると共に、継続的な固体電解質界面 (SEI) が成長することで、急激なサイクル劣化が起こる。この課題を解決するため Si のナノサイズ化 (ナノ粒子、ナノワイヤー、ナノチューブ、中空) が検討され、バルクの Si と比較してサイクル安定性はある程度改善された。しかし、ナノサイズ化により比表面積が上昇することで、初回充電中に Si 表面で有機電解液が還元分解して生成する SEI が増加し、特に初回クーロン効率 (ICE) が低下する。一方、いくつかの硫化物系固体電解質 (SE) は不働態化した安定な SEI を形成する。また、SE は流動性がないため SEI のクラックに染み込み新たに Si 表面で SEI を形成しにくい。このことから、SE は SEI の継続的な生成を抑制できると期待される。これら利点にも関わらず、Si 負極を全固体電池へ応用した例は限られている。

Si 薄膜 (厚さ 50, 300 nm) では高いサイクル安定性が得られた。また、ポーラス Si 膜では Si ロード量を増加させても高いサイクル安定性が得られることが示され、Si の膨張による応力を細孔などの空間が緩衝することが示唆された。また、Si 中での  $\text{Li}^+$  拡散速度は  $10^{-10} \sim 10^{-11} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  と比較的低いが、電子伝導性は  $6.7 \times 10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$  であり典型的な正極材料と同等である。そのため、電極中に SE や導電助剤を含有しなくても充放電可能であることが示された。一方、我々は、Si、SE、及び導電助剤を含有する負極複合体での評価を行った。負極複合体粉末にバインダや溶剤を加えてスラリー化し塗布することで負極複合体シートを形成した。このプロセスは低コストで高真空装置を必要とせず、大面積化や連続生産が可能である。また、実用的な面容量まで厚膜化しても充放電可能であった。充放電中、Si の体積変化により電極に垂直方向にクラックが形成され、それが開閉することで応力緩和が行われ、比較的良好なサイクル特性が得られた。しかし、電池の拘束圧を低下させると、特に初期 10 サイクルまでの容量低下が大きく、活物質と SE や導電助剤との界面を維持することが困難であることが明らかとなった。特に、EV 用に電池を大面積化する必要があるが、現状の拘束圧 (ex. 100 MPa) の印加が不可能となるため、拘束圧の低減は喫緊の課題である。我々は JSPS KAKENHI JP19K05685 において、多孔質 Si 粒子を用いた負極複合体を開発し、細孔が体積変化の緩衝空間となることでサイクル特性が改善することを見出した。以上のように、イオン・電子伝導経路を電極全体に構築し、維持可能な Si 負極複合体を創製することが全固体電池へ応用するためのカギとなる。

## 2. 研究の目的

イオン・電子伝導経路を電極全体に構築・維持可能な Si 負極複合体として、多孔質構造とファイバー構造を併せもつ Si を用いたナノ構造体を創製することを目的とした。これは、部分的に界面接触が絶たれても、イオンや電子は接触している界面から Si ファイバーに入り、Si ファイバー中を伝導することで全体に行き渡り Si の孤立を防止するという戦略である。本研究課題ではシンプルなエレクトロスピニング法とマグネシオ熱還元法を組み合わせで作製したナノポーラス Si ファイバーを、SE や導電助剤と複合化することで Si がネットワークを形成した負極複合体を創製した。その電気化学測定評価、及び充放電後の電極断面観察から多孔質構造・ファイバー構造の効果を明らかにした。

## 3. 研究の方法

### 3-1. ナノポーラス Si ファイバーの作製

ナノポーラス Si ファイバーの作製は、エレクトロスピンニング法とマグネシオ熱還元法により行った。TEOS/PVP 前駆体溶液をエレクトロスピンニング（シリンジ-コレクター間距離 15cm、電圧 15 kV、28°C、相対湿度 45%以下）により紡糸した。得られた不織布を基材から剥離し、大気中で 700°C、2h.加熱することにより有機成分を除去し SiO<sub>2</sub>ファイバーシートを作製した。次に、マグネシオ熱還元法により SiO<sub>2</sub>ファイバーの還元を行った。SiO<sub>2</sub>ファイバーシートと Mg 粉末をモル比 SiO<sub>2</sub> : Mg = 1 : x (x=2.5, 5.0, 7.5)でセラミックボートに交互に積層し、炉心管に導入し、管状炉を用いて真空下 10°C/min.で昇温し 685°Cで 45 分保持した。生成した Si/MgO ファイバーをアルゴン雰囲気下で 1M HCl に 4 時間浸漬し MgO と Mg<sub>2</sub>Si を除去後、水洗、エタノール洗浄を行い、12 時間、真空乾燥し Si ファイバーを得た。以下、モル比を変化させて作製したファイバーをファイバー(x=2.5, 5.0, 7.5)と記載する。

### 3-2. ナノポーラス Si ファイバーの評価

ファイバーの微構造観察や元素分析は FE-SEM (JSM-7800F, JEOL)、及び EDX (TEAM EDS, EDAX)により行った。比表面積や細孔径分布は Brunauer-Emmett-Teller analyzer (BET, ASAP2020, Shimadzu)を用いて評価した。ファイバー表面の Si の結合状態を調べるため XPS (Kratos AXIS-ULTRA, SHIMADZU)を用いた。また、Si の酸化量を調査するため、TG/DTA (STA2500, regulus, Netzsch)を用い、大気雰囲気酸化させた時の重量増加率から Si モル比( $n_{\text{Si}}/(n_{\text{Si}}+n_{\text{SiO}_2})$ )を算出した。

### 3-3. 全固体電池の作製と評価

固体電解質の合成、電池作製・評価はすべて乾燥アルゴン雰囲気で行った。硫化物系固体電解質 75Li<sub>2</sub>S·25P<sub>2</sub>S<sub>5</sub> ガラス(SE)の作製は、メカニカルミリングにより既報に従い、粗大 SE( $\phi \sim 10 \mu\text{m}$ , ionic conductivity:  $5 \times 10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$ )及び、粗大 SE を粉砕した微細 SE( $\phi 1\text{--}3 \mu\text{m}$ , ionic conductivity:  $2 \times 10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$ )を得た。

負極複合体はナノポーラス Si ファイバー、微細 SE、アセチレンブラック(AB)を 40:60:10 の重量比で混合して作製した。ハーフセルの作製は、SE 層として粗大 SE をプレスしてペレットを形成し、その片面に負極複合体 (2 mg)、反対側に Li-In 箔を配置し、加圧することで作製した。セルは拘束治具を用いて拘束し充放電評価を行った。比較として、マイクロサイズの非多孔質 Si 粒子、およびファイバー(x=5.0)を粉砕して作製した粉砕ファイバー(x=5.0)を用い、同様の操作でハーフセルを作製した。

## 4. 研究成果

### 4-1. ナノポーラス Si ファイバーの作製と評価

エレクトロスピンニング法による TEOS/PVP ファイバーの作製では相対湿度に強く影響された。相対湿度 55%以上ではファイバーが形成されず、50%付近ではファイバー間の接触部分が結着した。一方、45%以下では独立したファイバーが形成された。これは、大気中の水の蒸発圧が飽和蒸気圧よりもかなり低いと、エレクトロスピンニング中のエレクトロスパンジェットの水の蒸発が加速され、その結果独立したファイバーが形成されるためである。以降は相対湿度 45%以下で作製したファイバーを使用した。えられた不織布を基材から剥離し、700°C 2 時間焼成して有機成分を除去した。得られた SiO<sub>2</sub>ファイバーを Mg 粉末と交互に積層し、真空下 685°Cで 45 分加熱することで Si へ還元した。その後、HCl 洗浄により MgO を除去し、ナノポーラス Si ファイバーを得た。

Fig. 1 に TEOS/PVP ファイバー、SiO<sub>2</sub>ファイバー、マグネシオ熱還元後の Si/MgO ファイバー(x=5.0)、及び HCl 洗浄後のナノポーラス Si ファイバー(x=5.0)の FE-SEM 像を示す。いずれもファイバー状であるが表面形態が大きく変化した。TEOS/PVP ファイバーと SiO<sub>2</sub>ファイバーは平滑な表面である。一方、Si/MgO ファイバーではサブマイクロメートルの粒が付着した粗い表面であった。EDX マッピングから Si と Mg は同じ位置に存在し、その定量分析から元素比は式 1 とほぼ一致した。



塩酸処理後は非常に多孔質な表面が観察された。EDX より Mg が消失しており、Si 中に埋め込まれた MgO が MgCl<sub>2</sub> となって溶出することで細孔が形成されたと考えられる。ナノポーラス Si ファイバー(x=7.5)においても

同様の多孔質な表面が観察された。一方、ナノポーラス Si ファイバー(x=2.5)では部分的に平滑な表面が存在し、最初の SiO<sub>2</sub>が残留していることが示唆された。

多孔質構造を窒素吸着測定(BET)により評価した。ナノポーラス Si ファイバー(x=5.0)は大きな比表面積(169 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>)と全細孔容積(0.519 cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup>)をもち、平均細孔径 12.2 nm であった。この全細孔容積は、理論容量 1635 mAh g<sup>-1</sup>の Li<sub>1.7</sub>Si に変化する際の膨張体積と一致する。すなわち充電による体積膨張の際に細孔が収縮すれば、1635 mAh g<sup>-1</sup>まではファイバー外側への体積変化がほとんどなく、界面が維持されることを示している。一方、ナノポーラス Si ファイバー(x=7.5)は全細孔容積が 0.266 cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup>と低い。マグネシオ熱還元時に Mg 蒸気濃度が高いことで急激な発熱反応が起こり、Si 結晶同士の融着が促進され細孔が消失した可能性が考えられる。

XRD 測定より HCl 洗浄前は Si と MgO の回折ピークが検出された。HCl 処理後は MgO の回折ピークが完全に消失し、主ピークは Si のみとなった。また、ナノポーラス Si ファイバー(x=2.5)では SiO<sub>x</sub> に由来するハローパターンがあり、Mg 蒸気が少なかったため還元が不十分であったと考えられた。加えて少量の MgSiO<sub>3</sub>、Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> 相に帰属されるマグネシウムシリケートがすべてのナノポーラス Si ファイバーで検出された。これは MgO と SiO<sub>2</sub> 界面付近で Mg 蒸気が不十分であったり、発熱により高温になると生成する。真空条件では Mg 蒸気の発生を促進する一方、Mg 蒸気が外部へ排出されやすい。このように Mg 蒸気の制御が純粋な Si を形成するために重要である。マグネシウムシリケートは充放電容量には不利であるが高い弾性率を有するため、電気化学的にナノサイズの Si が凝集による内部破碎を防止できると期待される。

XPS Si 2p スペクトルによりナノポーラス Si ファイバー(x=2.5, 5.0)の表面における酸化状態を比較した。ナノポーラス Si ファイバー(x=2.5)では 99, 101, 104 eV にそれぞれ Si、Si-Si<sub>n</sub>O<sub>4-n</sub> (n=3-1)、SiO<sub>2</sub> に帰属されるピークが検出された。一方、ナノポーラス Si ファイバー(x=5.0)では Si に帰属される 99 eV のピーク強度が増加し、SiO<sub>2</sub>由来の 104 eV のピークが消失し、103-100 eV 付近に Si-Si<sub>n</sub>O<sub>4-n</sub>(n=3-1)に帰属されるピークが現れた。このように、表面酸化量が減少したことが示された。

ナノポーラス Si ファイバーの酸化量を調べるため、空気雰囲気での TG/DTA 測定により Si から SiO<sub>2</sub> に変化する重量増加率から Si のモル分率( $n_{Si}/(n_{Si}+n_{SiO_2})$ )を算出した。結果としてナノポーラス Si ファイバー(x=2.5, 5.0, 7.5)の Si モル分率はそれぞれ 0.44, 0.83, 0.72 となった。この傾向は XRD や XPS から得られた結果とよく一致した。以降は最も Si 含有率が高いナノポーラス Si ファイバー(x=5.0)を中心に全固体電池へ応用し、その電気化学的特性を評価した。

#### 4-2. ナノポーラス Si ファイバーの全固体電池における性能評価

ナノポーラス Si ファイバー(x=2.5, 5.0)の初回充放電曲線を比較した。ナノポーラス Si ファイバー(x=5.0)では充放電容量 2411/1729 mAh g<sup>-1</sup>、初回クーロン効率(ICE)71%であった。一方、ナノポーラス Si ファイバー(x=2.5)では充放電容量 1124/530 mAh g<sup>-1</sup>、初回クーロン効率(ICE)47%と低下した。ナノポーラス Si ファイバー(x=5.0)で良好な結果が得られた理由として、Si モル分率の向上が挙げられる。Si (Li<sub>15</sub>Si<sub>4</sub>, 3572 mAh g<sup>-1</sup>)は SiO (~1710 mAh g<sup>-1</sup>)と比較して高い理論容量を有する。また、Li<sup>+</sup>が SiO<sub>x</sub> と反応して Li<sub>2</sub>O や Li シリケートが生成する不可逆反応が少ない。そのため、ICE が向上したと考えられる。

ファイバー構造の有用性を調査するため、ナノポーラス Si ファイバー(x=5.0)を直径 500 nm 程度に粉砕した粉砕 Si(x=5.0)と比較した。粉砕 Si(x=5.0)の初回充放電容量は 2017/853 mAh g<sup>-1</sup>、ICE42%となり、元のファイバーよりも低下した。初回充電容量の低下はイオン・電子伝導経路に接続していない孤立 Si の増加による Si 利用率の低下と考えられる。また、ICE の減少は粉砕 Si(x=5.0)の脱 Li 化の際にわずかに体積収縮するだけでイオン・電子伝導経路との接続が簡単に遮断されたためと考えられる。このように、ファイバー構造では一部周囲の SE や AB との接触が失われてもファイバー中を Li<sup>+</sup>拡散や電子移動が可能であり Si 利用率が向上する。

ナノポーラス Si ファイバー(x=5.0)は、40 サイクル後に放電容量 1474 mAh g<sup>-1</sup> であり容量維持率 85% となった。この容量から計算される膨張体積は、全細孔容積で賄うことができる。すなわち膨張によって細孔が収縮すればファイバーの外側にはほとんど体積変化しないことを示している。また、少量の酸化被膜は Li<sub>2</sub>O や Li シ

リケートとなり、SE との界面において SEI 形成を防止すると期待される。一方で非多孔質 Si(直径 1-5 $\mu\text{m}$ )では比表面積が小さく酸化量が少ないため高い初回放電容量(2487 mAh g<sup>-1</sup>)を示したが、40 サイクル後には容量維持率 35%となった。このサイクル安定性の違いの原因を明らかにするため、充放電サイクルの間の界面抵抗を EIS 測定により調査した。ナノポーラス Si ファイバー(x=5.0)は初回と比べ 50 サイクル後には界面抵抗が 2.5 倍となったが、非多孔質 Si では 7.5 倍と増加した。界面抵抗の増加は Si と SE 界面の接触面積の減少を意味しており、ナノポーラス Si ファイバー(x=5.0)のほうが周囲 SE との界面を維持できることを示している。

FE-SEM 及び EDX によりナノポーラス Si ファイバー(x=5.0)と非多孔質 Si の 50 サイクル後の電極断面観察を行った。非多孔質 Si を含有する電極複合体では多くのクラックが Si と SE の界面で観察された。これは、Si が充電中膨張することによって周囲の SE が弾性変形の後に塑性変形を起こす。その後、Si が収縮する際に SE が追従できずクラックが形成されたと考えられる。一方、ナノポーラス Si ファイバー(x=5.0)では顕著な差が見られた。いくつかの微細なクラックが観察されたが、Si ファイバーが SE と絡み合い緻密な界面を維持しており、電極全体に Si ファイバーのネットワークが形成されていた。これらの観察結果はサイクル特性や EIS 測定の結果とよく一致する。以上のように、多孔質構造とファイバー構造により Si と SE や導電助剤と良好な接触が維持でき高いサイクル安定性が達成できた。

#### 4-3. 結論

ナノポーラス Si ファイバーのネットワーク構造を持つ負極複合体を創製した。ナノポーラス Si ファイバーの合成法はシンプルでスケールアップが容易であり、低コストである。合成条件を制御することにより Si モル分率の比較的高いファイバーを形成できた。これにより不可逆反応による Li<sup>+</sup>の消費を抑えることができる。一方で Li<sup>+</sup>との反応で生成する少量の Li<sub>2</sub>O や Li シリケートは機械的特性を高めたり、SE の還元分解を防止する役割を果たす。ナノポーラス Si ファイバーの全細孔容積は可逆容量から計算される体積と同程度である。そのため、膨張体積が細孔を充填すればファイバーの外側へは体積変化がなく、SE との界面を維持できる。もしわずかに外側へ体積変化したとしても、SE はある程度弾性変形できるため界面を維持できる。ポーラス Si の破碎抑制できる限界は直径 1.52  $\mu\text{m}$  であり、ファイバーの直径は 1  $\mu\text{m}$  以下であることから充放電中に破碎せず構造を保持できる。ファイバー構造はイオン・電子を伝導するネットワークを形成するのに有利である。ネットワーク構造は Si の孤立を防止し、特に初期充放電において部分的な界面剥離によるイオン・電子伝導経路の切断を補償することができ、Si の利用率と ICE が改善した。結果として高い可逆容量(1474 mAh g<sup>-1</sup>)と容量維持率(85%)が得られた。また、面容量は 40 サイクル後に ~1.3 mAh cm<sup>-2</sup> であり、工業的に許容される値となった。以上、全固体電池に適した高容量負極の設計指針を示した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Okuno Ryota, Yamamoto Mari, Kato Atsutaka, Takahashi Masanari	4. 巻 130
2. 論文標題 Microscopic observation of nanoporous Si-Li3PS4 interface in composite anodes with stable cyclability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrochemistry Communications	6. 最初と最後の頁 107100 ~ 107100
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.elecom.2021.107100	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 Yamamoto Mari, Terauchi Yoshihiro, Sakuda Atsushi, Kato Atsutaka, Takahashi Masanari	4. 巻 473
2. 論文標題 Effects of volume variations under different compressive pressures on the performance and microstructure of all-solid-state batteries	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 228595 ~ 228595
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jpowsour.2020.228595	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 Okuno Ryota, Yamamoto Mari, Kato Atsutaka, Takahashi Masanari	4. 巻 167
2. 論文標題 Stable Cyclability Caused by Highly Dispersed Nanoporous Si Composite Anodes with Sulfide-based Solid Electrolyte	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 140522 ~ 140522
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1149/1945-7111/abc3ff	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 Okuno Ryota, Yamamoto Mari, Kato Atsutaka, Takahashi Masanari	4. 巻 138
2. 論文標題 Performance improvement of nanoporous Si composite anodes in all-solid-state lithium-ion batteries by using acetylene black as a conductive additive	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Electrochemistry Communications	6. 最初と最後の頁 107288 ~ 107288
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.elecom.2022.107288	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 Okuno Ryota, Yamamoto Mari, Kato Atsutaka, Takahashi Masanari	4. 巻 169
2. 論文標題 High Cycle Stability of Nanoporous Si Composites in All-solid-state Lithium-ion Batteries	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 080502 - 080502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/ac81f6	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9件(うち招待講演 1件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 高津美佳、奥野亮太、山本真理、加藤敦隆、高橋雅也
2. 発表標題 硫化物系全固体電池負極としての多孔質シリコンナノファイバーの作製
3. 学会等名 日本セラミックス関西支部第16回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本 真理, 寺内 義洋, 作田 敦, 加藤 敦隆, 高橋 雅也
2. 発表標題 拘束圧下での活物質の体積変化が硫化物系全固体電池の性能と微細構造に及ぼす影響
3. 学会等名 第61回電池討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryota Okuno, Mari Yamamoto, Atsutaka Kato, Masanari Takahashi
2. 発表標題 Stable Cyclability Caused by Highly Dispersed Nanoporous Si Composite Anodes with Sulfide-based Solid Electrolyte
3. 学会等名 239th ECS MEETING (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本 真理、寺内 義洋、加藤 敦隆、高橋 雅也
2. 発表標題 硫化物系固体電解質を有するフルセルにおける活物質の体積変化と拘束圧の影響
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本真理、寺内義洋、作田敦、加藤敦隆、高橋雅也
2. 発表標題 Fabrication of silicon-composite electrodes by slurry coating for all-solid-state batteries
3. 学会等名 環太平洋セラミックス国際会議（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥野亮太、山本真理、加藤敦隆、高橋雅也
2. 発表標題 多孔質シリコンを負極とする硫化物系全固体リチウムイオン電池の高容量維持率
3. 学会等名 第3回関西電気化学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋雅也、山本真理、加藤敦隆
2. 発表標題 Realization of high rate performance of sheet type all-solid-state batteries by slurry coating
3. 学会等名 環太平洋セラミックス国際会議（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋雅也、山本真理、寺内義洋、加藤敦隆
2. 発表標題 Binder-free sheet-type sulfide-based all-solid-state batteries for high rate performance
3. 学会等名 The 5th World Chemical Science Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本真理, 奥野亮太, 加藤敦隆, 高橋雅也
2. 発表標題 ナノポーラスシリコン複合負極の作製と硫化物系全固体電池への応用
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022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
研究分担者	加藤 敦隆  (Kato Atsutaka)  (40826161)	地方独立行政法人大阪産業技術研究所・森之宮センター・研究員    (84431)	
研究分担者	高橋 雅也  (Takahashi Masanari)  (90416363)	地方独立行政法人大阪産業技術研究所・森之宮センター・研究フェロー    (84431)	

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