

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05344

研究課題名(和文) 電界紡糸同軸ナノファイバを用いた蓄電高速化による全固体光蓄電池の創製

研究課題名(英文) Creation of all solid photorechargeable battery by the accelerated charging process using co-axial electrospun nanofibers

研究代表者

堀江 雄二 (Horie, Yuji)

鹿児島大学・理工学域工学系・教授

研究者番号：50201760

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)：単一デバイスで光充電可能な「光蓄電池」の電解液を固体電解質に置き換えて全固体化を達成するために、ナノファイバ(NF)電極構造を採用することで、イオン伝導度の低さを克服し低い光起電力での蓄電効率を上げることを目指した。電界紡糸法によって得られた直径数百ナノメートルの導電体/蓄電材または蓄電材/固体電解質の同軸NFからなる不織布状シートのNF間の空間を固体電解質で満たすことで、NF化によって蓄電材/固体電解質界面でのイオン伝導特性と蓄電量が改善されることを示した。しかし、NF表面のナノスケールの凹凸を固体電解質で完全には埋めることができず、NF化の効果を完全には活かすことができず課題として残った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

IoTや5G情報ネットワークとそれらを利用したAI技術の発展などのために、超小型でメンテナンスフリーな自発発電型独立電源のニーズが今後ますます高まることが考えられる。本研究では、単一デバイスで光充電可能な「光蓄電池」の全固体化の実現のために、直径数百ナノメートルの同軸ナノファイバ(NF)のネットワークを固体電解質で満たすデバイス構造を採用し、固体電解質界面での反応場を広げイオン挿入深さを浅くすることで、固体電解質のイオン伝導度の低さを克服することができることを示した。また、NF構造の問題点も明らかにし、目標とする新しいNF高速光蓄電デバイスの実現への道筋を明らかにすることができた。

研究成果の概要(英文)：In order to achieve all-solid-state "photorechargeable battery" in which photo-charge is realized in a single-device, the electrolyte was replaced with a solid electrolyte, and a nanofiber (NF) electrode structure was employed to overcome low ionic conductivity and increase storage efficiency at low photovoltaic emf. Co-axial NFs of conductor/storage material and storage material/solid electrolyte with a diameter of several hundred nanometers were prepared by electrospinning, and the space between NFs in a nonwoven fabric was filled with solid electrolyte. The ionic conductivity at the storage material/solid electrolyte interface and storage capacity were improved by the NF structure. However, the nanoscale roughness on the NF surface could not be completely filled with solid electrolyte, and the advantage of NF-structure could not be fully utilized, which remained as an issue.

研究分野：電気電子材料工学、ナノ材料科学、導電性セラミックス

キーワード：ナノファイバ セラミックス 光蓄電池 イオン伝導 電界紡糸法

1. 研究開始当初の背景

IoT や5G 情報ネットワークの発展、それらの災害対策などのために、超小型でメンテナンスフリー・充電不要の自発発電型独立電源のニーズが今後ますます高まることが考えられる。我々がこれまで取り組んで来た単一デバイスで光充電可能な「光蓄電池」はそのような用途には最適であるが、従来の蓄電池と同様、電解液を必要とするため、そのようなニーズに応えるためには固体電解質を用いた全固体化が必須である。しかしながら、固体電解質はイオン伝導度が十分には高くなく、光充電過程での律速となってしまう。

これまで、我々は電界紡糸法によってセラミックナノファイバ不織布の作製を行ってきた。色素増感太陽電池や光蓄電池の作用電極への応用を目指し、酸化チタン、酸化タングステン、カーボンナノファイバ、スズドープ酸化インジウム(ITO)、フッ素ドープ酸化スズ(FTO)、アモルファスシリカなどの多様な材料のナノファイバ化を成功させてきた。2016~2018 年度に取得した科研費(基盤研究(C))ではそれらをコアナノファイバとし、別の材料で同時にその表面を同軸状に被覆したコア・シース型ナノファイバ不織布型のデバイスの作製にも取り組んできた。

例えば、図 1 のようにコアを導電性のある ITO ナノファイバとし、これを蓄電材である酸化タングステンで囲んだ同軸ナノファイバに増感色素や酸化鉄ナノ粒子を担持すると同軸型の光蓄電ナノファイバ電極を作製することができる。この場合、増感色素や酸化鉄ナノ粒子で光励起された電子は電解液中のカチオンと同時に蓄電材である酸化タングステン層に蓄えられ、外部回路が閉じられると ITO コアファイバに放電され、カチオンは電解液に放出される。我々は同軸ナノファイバ型にすることで従来の多孔質の蓄電材より充放電特性が格段に向上することを見いだしている。

しかし、上記のような電解液を用いたデバイスは、経年や劣悪環境下では電解液の蒸発や漏れ、劣化の懸念があり、外部電源との接続の必要がないという光蓄電池のアドバンテージを損なうことになる。そこで、固体電解質を用いた全固体化による安定化が必須となる。また、全固体化による薄型化が実現することによって、オンボードデバイスとすることができ、メンテナンスフリーとなることによって、ますます「光蓄電池」の存在意義が高まるものと期待される。

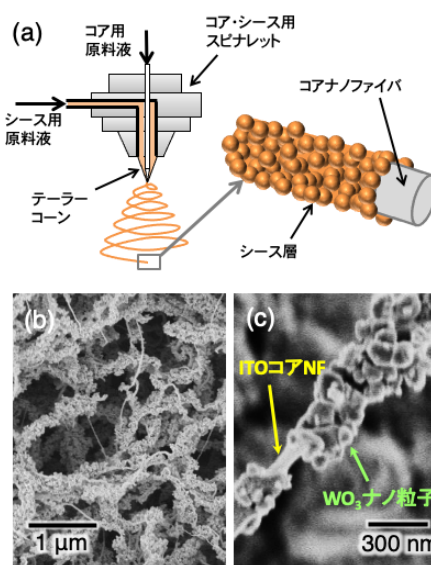


図1 (a) 同軸ナノファイバ作製コア・シース法の原理、(b) (c) ITO コアナノファイバに酸化タングステン・シース層をかぶせたものの走査型電子顕微鏡(SEM)写真

2. 研究の目的

本研究では電界紡糸法によって得られた直径 100 nm 程度の透明導電体と蓄電材の同軸ナノファイバからなる不織布状シート中のナノファイバ間の空間を固体電解質で満たし、ナノファイバ表面の広い反応場を確保しつつ、イオン移動距離をナノメートルオーダーにすることで、イオン伝導度の低さを克服し、低い光起電力での蓄電効率を上げることを目指すことにした。

セラミックナノファイバ不織布のデバイス応用においては、以下のような利点がある。

- (1) 多様な材料のナノファイバを互いに織り込んだ複合不織布や、コア・シース構造の同軸型ナノファイバを織り込んだ不織布を用いることで、デバイス構造において多彩なバリエーションが得られる。
- (2) 従来の平面基板とは異なり、ナノファイバの比表面積が大きいことにより表面における反応場が広く、反応速度の飛躍的な向上が見込めるなど、ナノ構造を活かした新奇なデバイスを構築できる
- (3) 導電性ナノファイバ表面をナノオーダーの機能膜で覆うことにより、表面から電極までの電荷移動距離を短くすることができ、拡散長が短く平坦膜では応用が困難であった材料を活用できる。

そこで、本研究では、同軸ナノファイバ不織布中のナノファイバ間の空間を固体電解質で密に満たし、界面でのイオン移動特性を調べることで、同軸ナノファイバ構造が高速充放電に優れた構造であることを明らかにすることを目的とした。

ナノファイバ形状にすることによって、バルクや平坦膜形状では得られなかった様々な酸化物材料のポテンシャルを引き出せることが期待される。本研究では電界紡糸法を使って様々な酸化物材料をナノファイバ不織布化してきた我々独自の経験を活かし、特有のナノ構造にすることで、拡散性に劣る材料を低い光起電力でも効果的に利用しようとするところに独創的な点がある。

3. 研究の方法

同軸ナノファイバ蓄電極としては、図2(a)のように以下の2種類を作製した。

- (A) コアナファイバ: 導電体、シース層: 蓄電材
- (B) コアナファイバ: 蓄電材、シース層: 固体電解質

(A)は蓄電材そのものの厚さを薄くすることで、蓄電の高速化を狙ったものである。(B)は(A)の同軸ナノファイバ膜に固体電解質を挿入する際に、どうしても蓄電シース層と固体電解質間にナノスケールの隙間が生じてしまったため、蓄電材/固体電解質界面での接続を改善するために作製したものである。

研究を遂行する過程でナノファイバ構造の優位性は明らかになったものの、蓄電材/固体電解質界面での接続がキーポイントであることがわかったため、(B)の構造も試みた。また、シース層の作製には図1の同軸スピナレットを使って同時に同軸構造を作る方法と、コアナファイバを先に作製したのちにシース層を溶液で被覆する方法を採用した。

また、蓄電材と固体電解質の材料の組み合わせが重要であることも容易に予想されたため、以下の組み合わせを試みた。

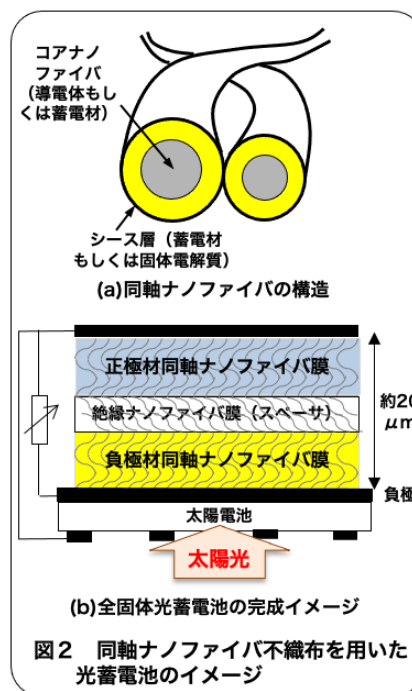


図2 同軸ナノファイバ不織布を用いた光蓄電池のイメージ

- (1)蓄電材:酸化タングステン(WO_3)-固体電解質: Li_3PO_4 (以下 LiPO)

従来の電解液を用いた光蓄電池で蓄電材に用いていた酸化タングステン(以下 WO_3)を用い、ゾルゲル法で低温で作製でき、大気中での取り扱いが容易である LiPO を固体電解質に用いた。LiPO にはイオン伝導度が低いというデメリットがあるが、リン酸系の固体電解質の基本構造を有する基盤物質であり、今後、NASICON 型の固体電解質へ展開する場合、有用な情報が得られるものと考えた。

- (2)蓄電材: $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ (以下 LVP) -固体電解質: Li_3PO_4 (以下 LiPO)

LiPO のイオン伝導の悪さの解決のために、LiPO と同族の正極材料 LVP を NF 化することで、界面でのイオン伝導性の向上を試みた。LVP 自体は電気伝導性が悪いため、LVP とカーボンを複合化させて用いた。

- (3)蓄電材: $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ (以下 LVP) -固体電解質: $\text{Li}_{1.3}\text{Al}_{0.3}\text{Ti}_{1.7}(\text{PO}_4)_3$ (以下 LATP)

固体電解質に LVP と同じ NASICON 型結晶構造で、その中では非常にイオン伝導度が高いことが知られている LATP を用いることにより界面の接触の改善を試みた。

- (4)蓄電材: $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (以下 LTO) -固体電解質: $\text{Li}_{0.35}\text{La}_{0.55}\text{TiO}_3$ (以下 LLTO)

酸化物固体電解質の中では非常にイオン伝導度が高いことが知られている LLTO を、同じ酸化物で LLTO の近縁物質である LTO を電極として用いることで、NF 界面でのイオン伝導特性の向上を目指した。

作製したナノファイバ不織布に固体電解質をゾルゲル法で浸透させ、焼成したのち、電極をつけて、以下のような評価を行なった。

- ・ナノファイバおよびナノファイバネットワーク中への固体電解質の挿入状況を確認するため、電極断面の走査型電子顕微鏡(SEM)写真および組成分析(EDX)を行なった。
- ・充放電特性を調べるため、サイクリックボルタムメトリ(CV)および定電流充放電(CC)測定を行った。CV からは Li イオンの拡散係数を見積もって比較した。
- ・蓄電材-固体電解質界面でのカチオンの移動特性を電気化学インピーダンス(EIS)法で評価した。得られたスペクトルより蓄電材/固体電解質での電荷移動抵抗 R_p とその時定数 τ を見積り、比較した。

4. 研究成果

(1)蓄電材 WO₃と固体電解質 LiPO のコアシース構造

WO₃ ナノファイバ(以下 NF) は NF を構成するナノ粒子間の粒界抵抗が大きく電子の外部回路へ放電しにくい、導電性の良い ITO-NF を WO₃ で被覆したコアシース構造の NF 膜を用いた。コアシース化した効果として、LiPO/WO₃ での界面抵抗 R_p と充放電容量 Q_c の改善が見られた。これはカチオンの侵入深さが浅くなったことでカチオンの挿入・脱離が円滑に行われるようになったこと、コアシース NF の表面が滑らかで LiPO/WO₃ 界面の接触が良くなったことが考えられる。さらに、WO₃ 層を厚くすることで Q_c は増加したが、粒界が増加したり、NF 同士で接触・結合するものが増えたりしたことから LiPO/WO₃ 界面での接続が悪くなり R_p が増加したものと考えた。

そのため、WO₃-NF の表面を LiPO の層で被覆したコアシースナノファイバを作製し、両材料を原料液の段階で接触させて WO₃ と LiPO の接続を保つことで、更なる界面抵抗の低減を目指した。図3にその電極構造を示す。EIS 測定の結果、WO₃-LiPO 界面での電荷移動抵抗 R_p はすべての試料において温度上昇とともに小さくなり、コアシース構造にすることで R_p は減少することを確認した。また、シース層を薄くすることにより R_p はさらに減少した。また、パルスレーザー蒸着(PLD)法で緻密で薄い結晶化した LiPO 層を WO₃-LiPO 間に挿入し、PLD 層の厚さを変化させながら WO₃/LiPO 界面での電荷移動抵抗 R_p とその時定数 τ を測定したところ、PLD 層が 10 nm の時に R_p , τ も小さくなり界面接続が改善したことが示された。これは結晶化したシース層が Li イオンの拡散の障壁となっていて、薄くすることでその影響が小さくなることを示すものである。

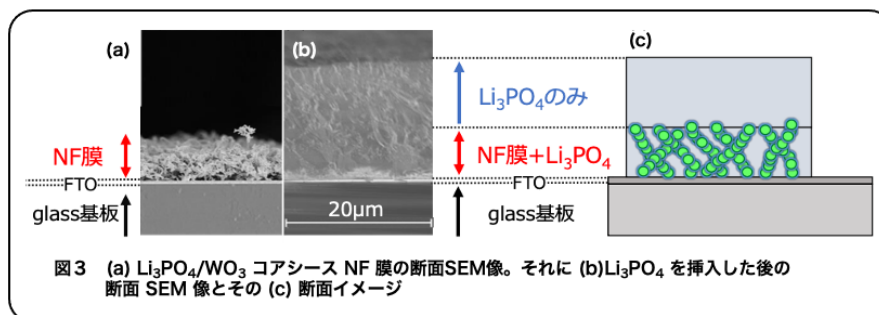


図3 (a) Li₃PO₄/WO₃ コアシース NF 膜の断面SEM像。それに (b) Li₃PO₄ を挿入した後の断面 SEM 像とその (c) 断面イメージ

(2) 蓄電材 WO₃/カーボンナノファイバ(CNF)コアシース構造における導電性高分子の効果

低抵抗でフレキシブルであり表面積が広いことから、電界紡糸法で作製したカーボンナノファイバ(CNF)膜を ITO-NF の代わりに利用し、NF 表面を WO₃ ナノ粒子層で被覆した WO₃/CNF 複合膜を作製した。しかし、WO₃ ナノ粒子と CNF の接着が弱いため、イオン吸蔵型の蓄電池電極として機能し、酸化還元反応が速く、可逆にイオンの吸蔵(ドーブ)・放出(脱ドーブ)することが可能なポリアニリン(PANi)に着目し、WO₃/CNF 複合膜の表面を電着により PANi で覆うことで WO₃ と CNF の接続改善と同時に固体電解質 LiPO との接続改善を目指した。

SEM から、ファイバ径 300 nm、膜厚 30 μ m の CNF の表面に WO₃ ナノ粒子が担持され、PANi で均一に覆われていることを確認した。電解液を用いた CC 測定において PANi で覆ったことで、充放電容量が 1.68 倍となり、EIS 測定から、複合膜と電解液の界面抵抗が約 1/4 になったことからカチオンが移動しやすくなり、充放電容量が上昇したと考えられる。固体電解質 LiPO を用いた CC 測定では、PANi で覆ったことで逆に、充放電容量は 0.33 倍となり減少した。また、固体電解質を用いた場合は、電解液を用いた場合の約 1/30 の充放電容量になった。これは、電解液に比べて LiPO のイオン伝導度が小さいことに加えて、MF 表面を PANi で覆ったことで LiPO 溶液の浸透パスが狭くなり、WO₃ や PANi と LiPO 界面における接続がうまく取れなかったことが原因であると考えられる。

(3)リン酸化合物リチウムイオン伝導体のナノファイバ化による効果

LiPO のイオン伝導の悪さの解決のために、LiPO と同族の正極材料 LVP を NF 化することで、界面接続の向上によるイオン伝導性の向上を試みた。LVP 自体は電気伝導性が悪い、LVP とカーボンを複合させた NF を作製した。電解液を用いた電気化学測定において NF 化することで Li イオンの拡散係数と充放電容量が増加し、界面での電荷の移動速度の時定数 τ が小さくなることを確認できた。次に固体電解質 Li₃PO₄ を NF 膜に挿入することで、固体電解質においても電解液で得られた結果と同様の効果が見られたが、界面抵抗は電解液よりも 4 桁以上大きく、充放電容量は二桁程度小さいことがわかった。これは LVP の NF 表面への析出が少なく、また固体電解質との界面におけるナノレベルでの接触が悪いために、蓄電有効体積が低下したことが原因だと考えられる。しかし、電解液の場合に比べても時定数 τ が小さくなり、全固体化によって高出力密度化を期待できることがわかった。

また、固体電解質に LVP と同じ NASICON 型結晶構造であり、LiPO よりもイオン伝導度が高いことが知られている LATP を用いることにより界面の接触を改善し、さらなるイオン伝導特性の向上を目指したが、充放電反応を確認することはできなかった。これは LATP の結晶化温度が低く、Al がドーブされていなかったことが原因と考えられる。

(4)酸化リチウムイオン伝導体を用いたときのナノファイバ化の効果

リン酸化合物同士では、固体電解質とナノファイバ中の活物質との接続改善を行うことができなかったため、固体電解質としてイオン伝導度が高いアモルファスLLTO(a-LLTO)を、負極材料として a-LLTO の近縁物質であるLTOを用い、a-LLTO/LTO-NF電極を作製することで、NF界面でのイオン伝導特性の向上を目指した。

電解液を用いてLTO平坦膜とLTO-NF膜に対して行った電気化学測定において、NF化によって挿入脱離に必要なエネルギーが小さくなることと充放電容量 Q_c の増加及び界面抵抗 R_p 、時定数 τ の低下を確認できた。(図4)しかし、固体電解質(a-LLTO)を用いた測定においては、a-LLTOとLTOの界面でのイオン移動の障壁が高く、 Q_c は平坦膜、NF膜のいずれも電解液を用いた際の約100分の1となった。これは固体電解質では活物質/固体電解質界面の接触面積が小さく、充放電に寄与できる部分が少ないことが原因と考えられる。また、NF化によって R_p 、 τ の低下は見られたものの Q_c は低下した。これは a-LLTO と LTO-NF の間に多くの隙間があり、a-LLTO と LTO-NF の界面での接続が悪く、Li イオンの移動が阻害され NF 化の利点を活かしてきれていないため、NF/固体電解質間の接続を改善することが課題となる。LLTO/LTO 積層平坦膜を用いた予備実験では LTO と LLTO の結晶化温度が異なることから、焼成温度によって結晶化度が異なり、それぞれの結晶化温度より低い温度で作製した LLTO500°C/LTO400°C 積層膜が界面接続・充放電容量・イオン伝導特性において最も優れていた。これは結晶化した LLTO、LTO と比べ、アモルファス相同士の a-LLTO/a-LTO の方が接続をとりやすいためだと考えられ、LTO と LLTO の結晶性が界面でのイオン伝導特性に大きく関わっていることが分かった。

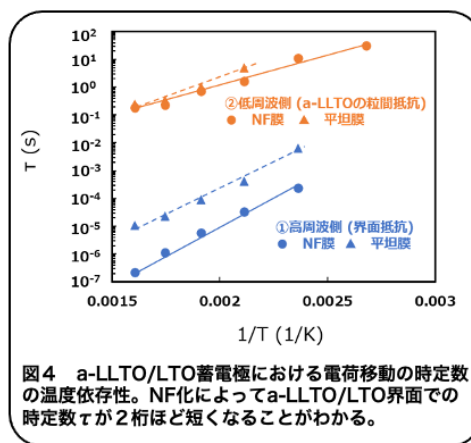


図4 a-LLTO/LTO蓄電極における電荷移動の時定数の温度依存性。NF化によってa-LLTO/LTO界面での時定数 τ が2桁ほど短くなることがわかる。

以上の本研究で得られた知見を簡単にまとめると、以下のようになる。

- (A) いずれの蓄電材と固体電解質の組み合わせにおいても、ナノファイバ化により蓄電材/固体電解質界面におけるイオン移動特性の向上が見られた。また、一部では電荷移動の時定数 τ が電解液を用いた時よりも短くなることが観測され、全固体化によって固相-液相界面で起きる時間遅れの影響がなくなり高速化が期待されることがわかった。
- (B) 本研究で試みた蓄電材と固体電解質の組み合わせのうち、複合電極作製過程での熱処理条件や界面接続の取りやすさから、酸化物同士のLTOとLLTOの組み合わせが最良であることがわかった。
- (C) ナノファイバネットワーク中に固体電解質を挿入する際に、どうしてもナノファイバ表面にナノスケールの空隙ができてしまい、それが絶対的な充放電容量の低下を引き起こしているものと考えられる。また、異種材料をナノファイバ形状とゾルゲル状態の違う状態で熱処理を行うため、結晶化温度の違いと、結晶化に伴う収縮率の違いもその要因となっている。したがって、今後、ナノファイバネットワーク内を密に隙間なく固体電解質で埋める工夫が必要となることがわかった。

セラミックス複合材料を用いた時の問題点が(C)のように明らかになり、本研究課題の当初の目標であった図2(b)に示した光電変換層との複合化による光蓄電池の実現とその高効率化までには及ばなかったものの、この問題を克服できれば、より高速で光電変換過程と組み合わせることのできる全固体化蓄電層の実現が期待されることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ken Yoshinaga, Yuji HORIE, Akimasa Ichigi, Muhammad Zobayer Bin Mukhlis, Teruaki Nomiyama	4. 巻 32
2. 論文標題 Conductive self-standing nanofiber fabric of fluorine-doped tin oxide prepared by electrospinning for use in flexible electronics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science: Materials in Electronics	6. 最初と最後の頁 11823-11834
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10854-021-05812-x	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20件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 永淵 佑太郎, 碓 朋樹, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 光蓄電池における光電変換層構造の光充放電特性への影響
3. 学会等名 2022年 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大木下 潤, 小川 裕貴, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 アモルファス IZO ナノファイバを用いたフレキシブル導電不織布基板の作製
3. 学会等名 2022年 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大木下 潤, 小川 裕貴, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 柔軟性をもつアモルファス IZO ナノファイバ導電不織布基板の作製
3. 学会等名 2022年 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大迫 光佑, 中釜 悠気, 川崎 慎吾, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 ナノファイバ構造を用いた NASICON 型リチウムイオン電池のイオン伝導特性
3. 学会等名 2022年 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒木 雅哉, 西田 士師, 大浦 健太郎, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 アモルファス固体電解質 $\text{Li}_{0.35}\text{La}_{0.55}\text{TiO}_3$ を用いた全固体蓄電池の作製
3. 学会等名 2022年 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 板敷 龍政, 日高 新詞, 竇楽 莉乃, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 光蓄電池の全固体化へ向けた蓄電層の電極構造の模索
3. 学会等名 2022年 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永淵 佑太郎, 碓 朋樹, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 光蓄電池における光電変換層構造の光充放電特性への影響
3. 学会等名 2022年 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永淵 佑太郎、田口 和樹、堀江 雄二、野見山 輝明
2. 発表標題 -Fe203で増感した W03ナノファイバ光蓄電電極構造の充放電特性への影響
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中釜 悠気、西田 士師、川崎 慎吾、野見山 輝明、堀江 雄二
2. 発表標題 電界紡糸ナノファイバ電極と固体電解質界面におけるイオン伝導特性
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大木下 潤、吉永 賢、野見山 輝明、堀江 雄二
2. 発表標題 フレキシブル IT0ナノファイバ導電不織布基板の導電性と柔軟性の向上
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中釜 悠気、西田 士師、川崎 真吾、野見山 輝明、堀江 雄二
2. 発表標題 Li3V2(P04)3 ナノファイバ電極/固体電解質界面におけるイオン伝導特性
3. 学会等名 2021年度 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西田 士師、庄崎 まこと、黒木 雅哉、野見山 輝明、堀江 雄二
2. 発表標題 固体電解質 Li3P04/W03 コアシースナノファイバ界面でのイオン伝導特性
3. 学会等名 2021年度 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大木下 潤, 小川 裕貴, 吉永 賢, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 アモルファス ITZ0 ナノファイバを用いたフレキシブル導電不織布の作製
3. 学会等名 2021年度 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中釜 悠気, 西田 士師, 大迫 光佑, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 LiMn204ナノファイバ膜を用いた光蓄電池の全固体化の試み
3. 学会等名 2021年 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 庄崎 まこと, 西田 士師, 小牧 平知, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 W03/IT0コアシース型ナノファイバを用いた光蓄電池の全固体化の試み
3. 学会等名 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田口 和樹, 隈元 大登, 永淵 佑太郎, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 WO3多孔質挿入WO3/FTO同軸ナノファイバ膜の光充放電特性
3. 学会等名 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中釜 悠気, 西田 士師, 小牧 平知, 庄崎 まこと, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 ナノファイバ電極/固体電解質界面でのイオン伝導特性
3. 学会等名 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉永 賢, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 FTO-SiO ₂ 複合ナノファイバ不織布のフレキシブル導電基板への応用
3. 学会等名 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 日高 新詞, 板敷 龍政, 野見山 輝明, 堀江 雄二
2. 発表標題 エレクトロスプレーを用いた垂直配向CNTの光蓄電池への応用
3. 学会等名 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shunsuke Maeda, Teruaki Nomiyama, Yuji Horie, Chitose Mihara
2. 発表標題 Mesoporous Titanium Dioxide/Polyaniline Composite as a Quasi-Solid-State Energy Storage Layer for Photorechargeable Batteries
3. 学会等名 Advances in Functional Materials (AFM) Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山下義裕, 堀江雄二ほか(分担)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 341
3. 書名 エレクトロスプレー/スピニング法とその応用	

〔産業財産権〕

〔その他〕

セラミックス不織布を用いた柔らかい電子素子の開発 https://grad.eng.kagoshima-u.ac.jp/researcher/%E5%A0%80%E6%B1%9F%E3%80%80%E9%9B%84%E4%BA%8C/ 堀江・野見山グループの研究紹介 https://www.eee.kagoshima-u.ac.jp/~hori-lab/kenkyu.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
研究協力者	野見山 輝明 (Nomiyama Teruaki)	鹿児島大学・理工学研究科・准教授 (17701)	

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