

令和元年5月29日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K04901

研究課題名(和文) 酸化物同軸ナノファイバ不織布シートによるフレキシブル光発電・蓄電デバイスの創出

研究課題名(英文) Creation of flexible solar and photocharge devices with nonwoven cloth consists of coaxial ceramic 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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：電界紡糸法を用いて各種透明導電体(TCO)の直径数十nmのナノファイバ(NF)からなる不織布を作製し、それを酸化チタンナノ粒子層で同軸状に被覆したNFを色素増感太陽電池(DSSC)の酸化チタン多孔体層に挿入することによって、電荷移動特性と発電効率が改善されることを示した。さらに、透明導電体NFの周りを蓄電材である酸化タンゲステン多孔体層で同軸状に被覆することで、光発電と蓄電を同時に実現できる光蓄電池(PRB)電極を構成し、さらに無機増感剤で被覆することで充放電効率を向上させた。また、フレキシブル不織布デバイスの実現のために、TCO不織布の作製条件から導電性と可塑性向上を実現させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電界紡糸法によって得られた透明導電ナノファイバの表面を、様々な機能材料によってコートした同軸ナノファイバ構造にすることで、従来の平面型デバイスよりも比表面積を格段に拡大させることができ、光励起キャリアの拡散長が短かったために用いられなかった材料を有効に利用できることを示した点で、得られた成果は意義深い。また、セラミックナノファイバからなる不織布状のフレキシブルシートにより、耐熱性に問題があるプラスチック基板の弱点を克服することができ、電子デバイスの基板レス化によるフレキシブル・軽量化によって、既存デバイスの利用機会の拡大のみならず、新奇な電子デバイスの創出が期待されることを示すことができた。

研究成果の概要(英文)：Ceramic nonwoven cloth which consists of nanofibers (NFs) of several tens of nm in diameter was prepared by electrospinning for some transparent conductive oxides (TCO). Coaxial NFs of TCO-NFs covered by TiO₂ nanoparticle layer were inserted into the TiO₂ mesoporous electrode of dye-sensitized solar cells (DSSCs), and the carrier transport characteristics and energy conversion efficiency were found to be improved. Furthermore, by coaxial NFs covered with a storage layer of WO₃, photorechargeable (PRB) electrode were prepared in which photocharge and discharge was realized in a single electrode. By the coaxial structure of NFs, photocharge-discharge efficiency was improved together with inorganic sensitizer layer covering the coaxial NFs. For self-standing TCO nonwoven cloth, the conductivity and the flexibility were improved with the refinement of the preparation condition.

研究分野：ナノ材料工学

キーワード：ナノファイバ 不織布 フレキシブルデバイス 透明導電体 太陽電池 光蓄電池 電界紡糸法 セラミック

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19, CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、フレキシブルな電子デバイスが、ウェアラブルエレクトロニクス分野で注目されている。現在、フレキシブル・軽量化にはプラスチック基板が幅広く用いられているが、プラスチック基板は 200 以上の高温プロセスを通すことができないため、各種デバイスの低温合成プロセスについての研究が盛んに行われている。しかし、低温合成では無機材料の結晶成長が十分に行われず、デバイスの諸特性の低下を招いたり、デバイス設計の自由度が損なわれたりする弊害が生ずる。

我々はこれまで、電界紡糸法を用いて酸化物ナノファイバ (NF) の不織布の作製を行ってきた。電界紡糸法はエレクトロスピニング法とも呼ばれ、図1のように細いノズル(注射針)から原料溶液を吐出する際に強電界を加えることによって細いファイバ状にする方法である。真空装置が不要で大気中で作製可能であることから巨額な設備投資が必要なく、大量生産技術も進歩してきており、様々な分野での応用が期待されている[1]。これらの不織布は直径数 nm～数 100 nm 程度の NF から構成されており、耐熱性のある無機材料で同様の構造を作ることができれば、曲げ応力に対して不織布構造の変形により歪みを逃がすことができることから、無機フレキシブル基板の有力候補と期待される。

<引用文献> [1] 例えば、山下義裕, エレクトロスピニング最前線, 繊維社, 2007.

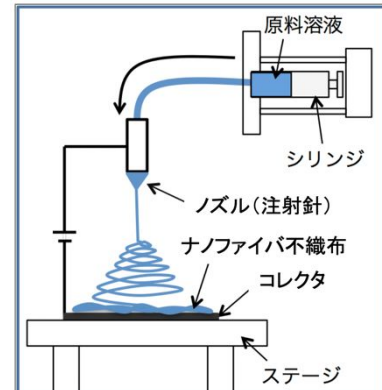


図1 電界紡糸法の原理図。

2. 研究の目的

我々はこれまで、各種の酸化物の NF 不織布の作製に成功し、そのうち、酸化チタンとそれにニオブをドーパした TNO の不織布を用いて色素増感太陽電池の光作用極を構成することで、光励起キャリアの移動特性が従来の酸化チタン多孔膜のみの場合より大きく向上することを示した[2]。また、酸化インジウムにスズをドーパした ITO 導電 NF の作製にも成功している。これら無機材料不織布のデバイス応用においては、以下のような利点が考えられる。

- (a) 様々な材料の NF を互いに織り込んだ複合不織布や、図2のようなコア・シース構造の同軸型 NF 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。
- (b) 従来のフィルム状のフレキシブル基板とは異なり、NF 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、ナノ構造を活かした新奇なデバイスを構築できる。
- (c) 導電性 NF 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ナノオーダーにすることができ、拡散長が短く平坦膜では応用が困難であった材料を利用することが可能になる。

以上の特性を発揮できる広い比表面積とナノ構造が鍵となるデバイスとして、本研究ではまず色素増感太陽電池(DSSC)と蓄電池、及び両機能をバランス良く盛り込んだ「光蓄電池(PRB)」への応用を試みることにした。電子デバイスの基板レス化によるフレキシブル・軽量化によって、既存デバイスの利用機会の拡大のみならず、新奇な電子デバイスの創出が期待される。

<引用文献>

[2] Y. Horie, T. Watanabe, M. Deguchi, D. Asakura, T. Nomiya, Enhancement of carrier mobility by electrospun nanofibers of Nb-doped TiO₂ in dye sensitized solar cells, *Electrochimica Acta*, Vol.105, 2013, pp.394-402

3. 研究の方法

透明導電材料である TNO, ITO やフッ素ドーパ酸化スズ(FTO)をコア材料とし、TiO₂ や WO₃ の多孔膜や緻密膜をシース層としたコア・シース同軸ナノファイバ(CS-NF)からなる不織布シートを、図2で示した同軸型スピナレット(ノズル)を用いた電界紡糸法によって作製した。作製した不織布シートは DSSC,

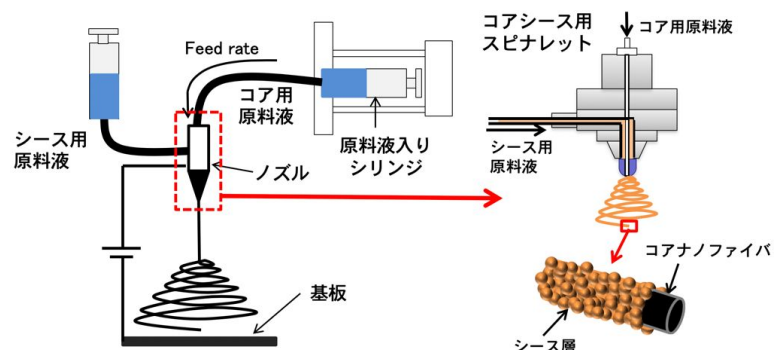


図2 コア・シーススピナレットを用いた同軸ナノファイバの作製原理

PRB の電極として用い、比表面積増大の効果と光励起キャリアや電解液中のカチオンの拡散移動への効果を従来のものと比較し、その効果を検討した。また、この固有な構造の特長を活かしたフレキシブルデバイスへの応用を検討した。

(1) TNO-NF をコアにした同軸ナノファイバによる光励起キャリア収集効率の向上

図3のように、TNO-NF を DSSC の酸化チタン多孔膜からなる光作用極中に挿入することで、TNO-NF が色素で光励起されたキャリアの通り道となって移動特性が向上することが分かっていたが、同時に NF 中のキャリア密度の増加で NF 表面からの漏れ電流が懸念される。そのため、TNO コア NF の表面を緻密な TiO_2 層で被覆したコア・シース同軸ナノファイバ(CS-NF)を用いた。

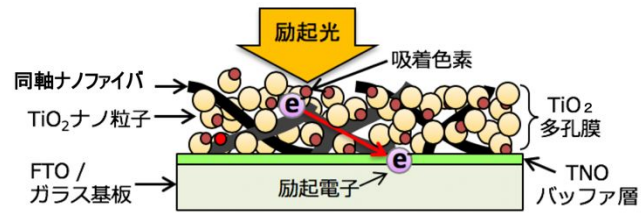


図3 同軸ナノファイバを用いた色素増感太陽電池の光電極の構造

(2) 色素/ WO_3 /ITO 同軸ナノファイバの光蓄電電極への応用

光蓄電池において光電変換材に TiO_2 、蓄電材に WO_3 を用いた複合電極において大きな光蓄電電荷量が得られることが分かっている。従来の薄膜構造では電解液と WO_3 との接触面積が狭いことから、電界紡糸法を用いて蓄電層を NF 化した電極構造が提案されているが、 WO_3 -NF は粒界抵抗が大きく電子の外部回路への放電効率が悪いことから、更なる電極構造の改善が求められる。そこで、従来の 1) WO_3 ナノ粒子多孔膜 (W 多孔膜) と 2) 電界紡糸法で作製した WO_3 -NF 膜 (W-NF) に加え、新たな電極構造として図4に示したように 3) 電界紡糸法で透明導電体の ITO-NF が WO_3 で被覆された同軸ナノ構造を持つ NF 膜 (WI-NF) を作製し、さらに光電変換層として TiO_2 もしくは N719 色素を担持させ光蓄電電極を構成することで、充放電特性の改善を狙った。

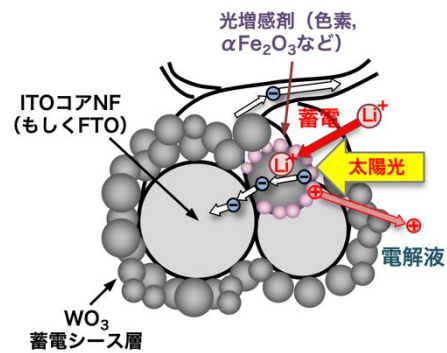


図4 光増感層/ WO_3 蓄電層/ITO(FTO)コアNF 同軸型光蓄電池(PRB)電極の動作原理

(3) $-\text{Fe}_2\text{O}_3$ / WO_3 /FTO 3層同軸ナノファイバの光蓄電電極への応用

上記の同軸NFのITOを、耐酸性のあるフッ素ドープ酸化スズ(FTO)に変える改良を行った。これにより、電解液中のリチウムイオンより半径の小さな水素イオンを WO_3 格子内に挿入することが出来るようになり、光蓄電量の向上が見込めるためである。しかし、酸性電解液を用いることで、その中に色素が溶け出すという欠点がある。そこで、光増感剤に水溶液中でも安定な $-\text{Fe}_2\text{O}_3$ を用い、それで WO_3 /FTO 同軸 NF の表面を覆った3層構造にすることで、1) FTO コア NF のキャリア移動特性への効果、2) 酸性電解液の電解液中の WO_3 格子中へのカチオン挿入の効果、3) $-\text{Fe}_2\text{O}_3$ による増感の効果調べた。

(4) フレキシブルエレクトロニクスへの応用の検討

電界紡糸法を用いるとセラミック材料で柔軟性と導電性のあるナノファイバ膜を作製することができる。本研究では、材料が高価であり、高温下で導電性が低下する可能性があるITOの問題点の解決のために、FTOのNF化を行い、さらに柔軟性のあるアモルファス SiO_2 NF と同時製膜することで自立型の FTO- SiO_2 複合ナノファイバ不織布の作製を行い、その低抵抗化と繰り返し曲げ変形に対する機械的・電気滴特性の変化について調べ、将来、同軸NFを用いてフレキシブルデバイスを構成する際の問題点を明らかにすることにした。

(5) CSNF 不織布シートの吸着剤への応用

広い表面積と不織布というナノ粒子とは異なった扱いやすい形状を活かし、吸着剤としての効果を調べた。アルミナ・シリカ複合NF膜とそれを $-\text{Fe}_3\text{O}_4$ で覆った同軸型NFを作製し、膜汚染水中の Reactive Red-120 (RR-120)色素除去への応用をめざし、一連の実験を pH、吸着剤の量、吸着時間を変化させながら行い、吸着平衡状態と動的特性を調べた。

4. 研究成果

(1) TNO ナノファイバをコアにした同軸ナノファイバによる光励起キャリア収集効率の向上

走査型電子顕微鏡(SEM)、透過型電子顕微鏡(TEM)像より表面が滑らかなコアNFとその表面が緻密な TiO_2 層で被覆されたCS-NFが確認された。コアNFをDSSCに用いることで短絡電流密度 J_{sc} 、発電効率、拡散係数 D が向上し、コアNFが光励起キャリアの放電路として機能することが分かった。一方、開放電圧 V_{oc} とフィルファクター FF が低下し、暗時の漏れ電流が増加したことからコアNF中のキャリア密度が高く、NFs表面から電解液への漏れ電流が発生していると考えられる。コアNFをCS-NFにすることで V_{oc} 、 FF 、電極の直列抵抗 R_s 、拡散係数 D 、電子寿命 が

向上した。これは、シース層の緻密な TiO_2 粒子とコア NF による内部電界による 漏れ電流の抑制等によって電荷移動特性が改善したためだと考えられる。しかし、シース層で被覆することで J_{sc} と η が大きく減少した。これは、コア NF の直径が Core-NFs に比べて約 50 nm 太く、挿入される TiO_2 ナノ粒子の量が少なくなったことで色素吸着量も減少し、光励起キャリアが少なくなったことが原因だと考えられる。

以上のようにコアシース同軸構造を持つナノファイバでコアとシースの材料を選択することで、ナノサイズの被覆導線の機能を実現できるなど、新たな機能性ファイバを生み出すことが出来るため、今後の発展が期待される。

(2) 電界紡糸 WO_3/ITO 同軸型ナノファイバの光蓄電電極への応用

図5のように SEM による表面観察から、ITO-NF の表面が WO_3 ナノ粒子で被覆された WI-NF の同軸ナノ構造を確認することができた。光充放電測定を行った結果、従来の構造よりカチオンの挿入・脱離がしやすくなったことで光蓄電電荷量 Q_{ph} が約 2 倍以上大きくなったことが分かった。さらに、WI-NF の WO_3 層の上に TiO_2 を被覆した3層構造にすることで発電量が増加し、被覆前に比べ Q_{ph} が約 20 %以上増大した。しかしながら、更なる向上を目指して TiO_2 の被覆量を増やしすぎると、 WO_3 表面の TiO_2 層によって逆に WO_3 格子内への Li イオンの挿入・脱離が困難になり Q_{ph} が減少することが分かった。そのため、蓄電層の WO_3 を直接 N719 色素で増感させ光吸収波長域の拡大を行った結果、増感前より Q_{ph} が約 20 倍も増大した。パルス光電位応答から求めた電子寿命が WI-NF で最も短いことから、同軸ナノ構造によってカチオンとの結合速度が速くなり、多くのカチオンを WO_3 格子内の奥まで取り込むことができたと考えられる。また、パルス光電流応答から求めた電子の拡散係数 D は従来の構造より約 2 倍以上大きいことから、従来の構造では粒子界面が障壁となって放電が制限されてしまうのに対し、同軸ナノ構造ではコアの ITO-NF によって光励起電子がスムーズに透明電極 基板まで到達できたためだと考えられる。

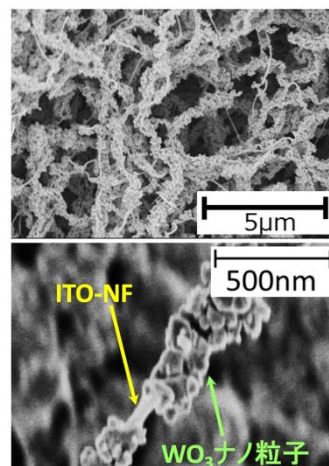


図5 蓄電材 WO_3/ITO コア同軸ナノファイバ膜の電子顕微鏡写真

(3) $-\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{WO}_3/\text{FTO}$ 3層同軸ナノファイバの光蓄電電極への応用

上記の ITO のかわりに、耐酸性に優れた FTO をコア NF とし、 WO_3 ナノ粒子をシース層にした同軸ナノファイバを作製した。SEM より直径 40-60 nm 程度の FTO コア NF が厚さ 30-60 nm の WO_3 ナノ粒子層で覆われていることが確認でき、さらに NF 膜を塩化鉄のエタノール溶液に浸すことで、薄い $-\text{Fe}_2\text{O}_3$ 層で表面を覆った。過塩素酸溶液を電解液に用い、 WO_3 格子内にプロトンを挿入することで光蓄電電荷量 Q_{ph} とレーザーパルス応答から求めた拡散係数 D は WO_3 NF に比べて約2倍大きくなり、FTO コア NF が電子の放電パスとして有効に機能していることが示された。また、 $-\text{Fe}_2\text{O}_3$ で増感することで、 Q_{ph} と D はそれぞれ5倍と2倍になり、光吸収帯域の拡大に伴い、光励起キャリアが増大したことで、 $-\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{WO}_3$ の界面でのバンドの曲がりにより、光励起キャリアの分離が促進されたことがその要因であると考えられる。このように、3層同軸構造としたことで、拡散距離の短い $-\text{Fe}_2\text{O}_3$ でも増感剤として有効に働き、同構造の有用性が示された。

(4) 透明導電ナノファイバの作製と フレキシブルエレクトロニクスへの応用

電界紡糸法により作製した FTO-NF は 10~20 nm の直径の FTO ナノ粒子から構成されており、直径 100~200 nm の FTO-NF が絡み合ってきた NF 膜 の抵抗率は $1080 \Omega \cdot \text{cm}$ と非常に高く、改善が必要であることが分かった。電界紡糸時の基板温度を上げて成膜することで、NF の結晶性と導電性を向上させることができたが、膜の凝集が起こり応用は難しいことが分かった。次に、粒界抵抗の低減を目的にナノファイバの原料液にスズイソプロポキシドを添加した結果、抵抗率を 1/100 未満にすることができたが、一般的な FTO 膜と比較するとまだ抵抗率が大きかった。その原因を探るためにナノファイバ原料液を用いて平坦膜を作製しホール測定を行った結果、フッ素原子の活性化率や移動度が非常に低く、フッ素原子が格子の間隙や粒界などに入り込んだり、高分子成分が結晶の成長と結晶粒間の結合形成を阻害していることが予想される。

スズイソプロポキシドを添加した FTO ナノファイバを用いて図6に示すような3層構造の FTO- SiO_2 複合ナノファイバ不織布を作製することができ、曲率半径

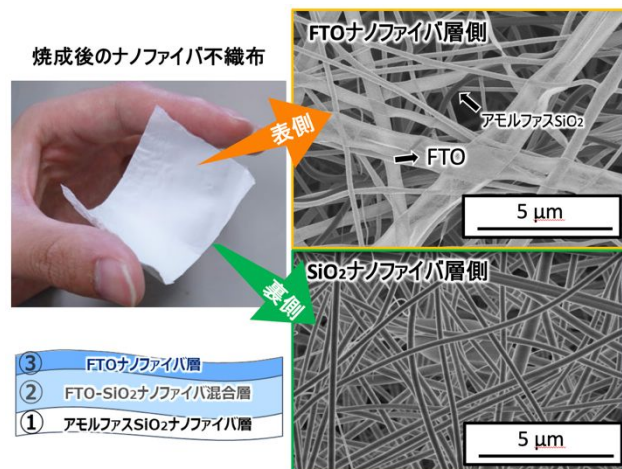


図6 作製した3層構造 FTO- SiO_2 複合ナノファイバ不織布の構造と写真、表面と裏面の電子顕微鏡写真

4 mm の棒に巻き付けられる柔軟性を持っていることが分かった。しかしながら、半径 2.5 mm での曲げでは表面層の FTO ナノファイバが破断し 10 回目までの曲げで抵抗率が 5 % 程度増加することが分かった。

本研究で得られた FTO-SiO₂ 複合ナノファイバ不織布では導電性が不十分ではあるが、ナノファイバ 1 本 1 本が持つ導電性と大きな比表面積を活かしたフレキシブルなデバイスには利用可能だと考えられる。柔軟性についても腕章型や衣装着着型のデバイスのような、曲率が大きいものに利用可能で、応用を広げるためには、導電性や柔軟性を改善する必要がある。

(5) CSNF 不織布シートの吸着剤への応用

アルミナ・シリカ NF 膜の最大吸着密度は 884.95 mg/g と大きいことが分かった。フレキシブルで自立膜の吸着剤であるため、吸着後も容易に溶液から取り出すことができ、また、色素を遊離させ再生することで吸着剤として再利用することができるため、汚染水中の色素の吸着剤として実用化できることを示した。また、アルミナ・シリカ NF を -Fe₃O₄ で覆った同軸型 NF 膜では、1860.81 mg/g の最大吸着密度を持ち、これまで他の文献で報告されているものの中で最も大きいことが分かった。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文) (計3件)

Muhammad Zobayer Bin Mukhlish, Yuji Horie, Teruaki Nomiya: Flexible Alumina-silica Nanofibrous Membrane and Its High Adaptability in Reactive Red-120 Dye Removal from Water, Water, Air, & Soil Pollution, 査読有, Vol.228, 2017, pp.371-385

Shirong Guo, Yuji Horie, Shinji Imada, Muhammad Zobayer Bin Mukhlish, Teruaki Nomiya: Enhancement of carrier collection by electrospun Nb doped TiO₂ nanofiber network in photoelectrode of dye sensitized solar cells, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 査読有, Vol.28, 2017, pp.13084-13093

Muhammad Zobayer Bin Mukhlish, Yuji Horie, Kousei Higashi, Akimasa Ichigi, Shirong Guo, Teruaki Nomiya: Self-standing conductive ITO-silica nanofiber mats for use in flexible electronics and their application in dye-sensitized solar cells, Ceramics International, 査読有, Vol.43, 2017, pp.8146-8152

(学会発表) (計26件)

隈元 大登, 松田 拓也, 小牧 平知, 庄崎 まこと, 野見山 輝明, 堀江 雄二, WO₃/FTO コアシェル型ナノファイバの光充放電特性, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 2019

上野 清雅, 的場 浩樹, 野見山 輝明, 堀江 雄二, Ce ドープ BiFeO₃ 薄膜の光電変換層への応用, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 2019

堀江 雄二, 一木 晃雅, 松田 拓也, 的場 浩樹, 小林 孝平, 野見山 輝明, 電界紡糸法を用いたセラミックナノファイバ薄膜の作製とその応用, 第 523 回 レーザー学会研究会, 2018

小林 孝平, 一木 晃雅, 松田 拓也, 野見山 輝明, 堀江 雄二, エレクトロスピンニング・スプレーを用いた垂直配向 ITO ナノファイバの色素増感太陽電池への応用, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 2018

松田 拓也, 隈元 大登, 小牧 平知, 野見山 輝明, 堀江 雄二, 色素増感した WO₃ ナノファイバの光蓄電池への応用, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 2018

一木 晃雅, MUKHLISH M.Z.Bin, 野見山 輝明, 堀江 雄二, フレキシブルエレクトロニクスのための耐熱性不織布の作製, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 2018

隈元 大登, 松田 拓也, 小牧 平知, 庄崎 まこと, 野見山 輝明, 堀江 雄二, WO₃/透明導電体コアシェル型ナノファイバの光充放電特性, 応用物理学会九州支部学術講演会, 2018

日高 新詞, 小林 孝平, 一木 晃雅, 松田 拓也, 野見山 輝明, 堀江 雄二, エレクトロスピンニング・スプレーを用いた垂直配向 ITO ナノファイバの色素増感太陽電池と光蓄電池への応用, 応用物理学会九州支部学術講演会, 2018

上野 清雅, 的場 浩樹, 野見山 輝明, 堀江 雄二, Ce ドープ BiFeO₃ 薄膜の光電変換層への応用, 応用物理学会九州支部学術講演会, 2018

吉永 賢, 一木 晃雅, 野見山 輝明, 堀江 雄二, 透明導電体-SiO₂ 複合ナノファイバ不織布の導電性と柔軟性, 応用物理学会九州支部学術講演会, 2018

A. Ichigi, M. Z. Bin Mukhlish, K. Yoshinaga, T. Nomiya, Y. Horie, Electrospun FTO-SiO₂ Nanofiber Mat for Flexible Electronics, 第 28 回 日本 MRS 年次大会, 2018

松田 拓也, 頼田 家維, 隈元 大登, 小牧 平知, 野見山 輝明, 堀江 雄二, TiO₂/WO₃/ITO 三層同軸ナノファイバの光充放電特性, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 2018

一木 晃雅, M.Z.Bin Mukhlish, 野見山 輝明, 堀江 雄二, 自立型 FTO ナノファイバ膜の低抵抗化, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 2018

A. Ichigi, M. Z. Bin Mukhlish, Y. Horie, and T. Nomiya, Electrospun ITO-SiO₂ Nanofiber Mat for Flexible Conductive Substrate, IUMRS-ICAM2017, 2017

S. Kajiya, Y. Horie, S. Guo, K. Matoba, and T. Nomiya, Web of Titania-coated Nb-doped TiO₂

Electrospun Coaxial Nanofibers for Carrier Collector in Dye Sensitized Solar Cells , IUMRS-ICAM2017, 2017

M. Z. Bin Mukhlis, Y. Horie, A. Ichigi, and T. Nomiyama , Flexible Alumina Nanofibrous Membrane and Its High Adaptability in Reactive Red-120 Dye Removal from Aqueous Solution, IUMRS-ICAM2017, 2017

Y. Horie, K. Chishiki, T. Matsuda, K. Tateishi, I. Yorita, and T. Nomiyama , Photorechargeability of Coaxial TiO₂-WO₃ Electrospun Nanofiber Webs , IUMRS-ICAM2017, 2017

松田 拓也, 隈元 大登, 野見山 輝明, 堀江 雄二, WO₃ ナノ粒子/ITO コアシース型ナノファイバの光蓄電電極への応用, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 2017

頼田 家維, 立石 浩之介, 小牧 平知, 野見山 輝明, 堀江 雄二, 電界紡糸法で作製した WO₃ ナノファイバの結晶性と光蓄電性, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 2017

加治屋 颯太, 郭 世栄, 野見山 輝明, 堀江 雄二, TiO₂/Nb:TiO₂ コアシースナノファイバを用いた色素増感太陽電池における電荷移動特性の向上, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 2017

⑲ 的場 浩樹, 上野 清雅, 俵迫 智也, 野見山 輝明, 堀江 雄二, ゴルゲル法で作製した Ce ドープ BiFeO₃ 薄膜の光蓄電デバイスへの応用, 応用物理学会九州支部学術講演会, 2017

⑳ 加治屋 颯太, 郭 世栄, 野見山 輝明, 堀江 雄二, TiO₂/Nb:TiO₂ コアシースナノファイバを用いた色素増感太陽電池における電荷移動特性の向上, 応用物理学会九州支部学術講演会, 2017

㉑ 加治屋 颯太, 郭 世栄, 松田 拓也, 野見山 輝明, 堀江 雄二, 電界紡糸法で作製した Nb:TiO₂ コアシース型ナノファイバの色素増感太陽電池への応用, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 2017

㉒ 一木 晃雅, M.Z.Bin Mukhlis, 東 宏誠, 野見山 輝明, 堀江 雄二, ITO-SiO₂ 複合ナノファイバ不織布の色素増感太陽電池への応用, 応用物理学会九州支部学術講演会, 2016

㉓ 立石 浩之介, 佐田 涼介, 頼田 家維, 知識 洸, 野見山 輝明, 堀江 雄二, WO₃ 蓄電層構造の光蓄電性への影響, 応用物理学会九州支部学術講演会, 2016

㉔ 知識 洸, 田畑 寿樹, 野見山 輝明, 堀江 雄二, TiO₂ ナノ粒子/WO₃ コアシース型ナノファイバの光蓄電電極への応用, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 2016

(図書) (計1件)

内藤牧男, 市川秀喜, 蟹江澄志, 目義雄, 野村俊之, 堀田裕司, 相澤守, 相田努, 秋山聡, 朝日正三, 阿尻雅文, 東紀史, 阿多誠, 飯島志行, 石垣雅, 石川敏弘, 石田尚之, 石原一彦, 石原達己, 堀江雄二ほか, テクノシステム, 粉体の表面処理・複合化技術集大成, 2018, pp.699-705

(産業財産権)

出願状況 (計0件)

取得状況 (計0件)

(その他)

ホームページ等

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/堀江%E3%80%80雄二/>

セラミックスナノファイバ不織布を用いた電子デバイスの開発

<http://www.eee.kagoshima-u.ac.jp/~hori-lab/kenkyu.html>

曲げられるセラミックスナノファイバ不織布の応用

http://www.rdc.kagoshima-u.ac.jp/seeds_search/upload/10-Nm-horie-eng.pdf

6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名:野見山 輝明

ローマ字氏名: Teruaki Nomiyama

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, 研究者個人に帰属されます。