

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15669

研究課題名（和文）Carbon Nanotube-laminated Mesoporous Perovskite Solar Cells

研究課題名（英文）Carbon Nanotube-laminated Mesoporous Perovskite Solar Cells

研究代表者

田日（Jeon, Il）

名古屋大学・未来社会創造機構・招へい教員

研究者番号：00807563

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）：有機系太陽電池におけるカーボンナノチューブの使用範囲をさらに拡大した。フラーレン誘導体による機能化、リチウムイオン内包フラーレンによるカーボンナノチューブの機能化を行い、20%を超えるエネルギー変換効率を示すペロブスカイト太陽電池を作製した。二層カーボンナノチューブのフィルムも初めて太陽電池の透明電極として用いることができた。また、Nafionをドーパントとして使用し、従来の金属電極の代わりに金属カーボンナノチューブをシリコン光起電太陽電池に適用することにも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
カーボンナノチューブ薄膜を透明電極、あるいは金属電極の代わりに裏面電極とすることで、将来的に金属の使用をより低減した有機系太陽電池が構築できる。インジウムスズ酸化物透明電極や金・銀などの裏面電極は高価であり、有機系太陽電池のコストの半分程度を占めるが、この電極部分をカーボンナノチューブで置き換えることにより、コスト優位性が高い太陽電池が実現する。

研究成果の概要（英文）：The range of use of carbon nanotubes in organic solar cells has been further expanded. We functionalized carbon nanotubes with fullerene derivatives and lithium-ion-encapsulated fullerenes to produce perovskite solar cells with energy conversion efficiencies exceeding 20%. For the first time, a film of double-walled carbon nanotubes could be used as a transparent electrode for solar cells. We also succeeded in applying metal carbon nanotubes to silicon photovoltaic solar cells instead of conventional metal electrodes by using Nafion as a dopant.

研究分野：太陽電池デバイス

キーワード：カーボンナノチューブ ペロブスカイト太陽電池 フラーレン 有機薄膜太陽電池 シリコン太陽電池

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

カーボンナノチューブ薄膜を透明電極、あるいは金属電極の代わりに裏面電極とすることで、将来的に金属の使用をより低減した有機系太陽電池が構築できると考えられていた。インジウムスズ酸化物透明電極や金・銀などの裏面電極は高価であり、有機系太陽電池のコストの半分程度を占めるが、この電極部分をカーボンナノチューブで置き換えることにより、コスト優位性が高い太陽電池が実現する。また、金属電極部分が意外に不安定で、酸化され、イオンマイグレーションにより劣化する。カーボンナノチューブ薄膜電極を用いることにより、そのような劣化がなくなり、ペロブスカイト太陽電池の安定性向上にも大きく寄与すると期待されていた。

2. 研究の目的

有機系太陽電池におけるカーボンナノチューブの使用範囲をさらに拡大することを目的とする。フラレン誘導体による機能化、リチウム内包フラレンによる機能化などを行い、20%を越えるエネルギー変換効率を示すペロブスカイト太陽電池を作製する。

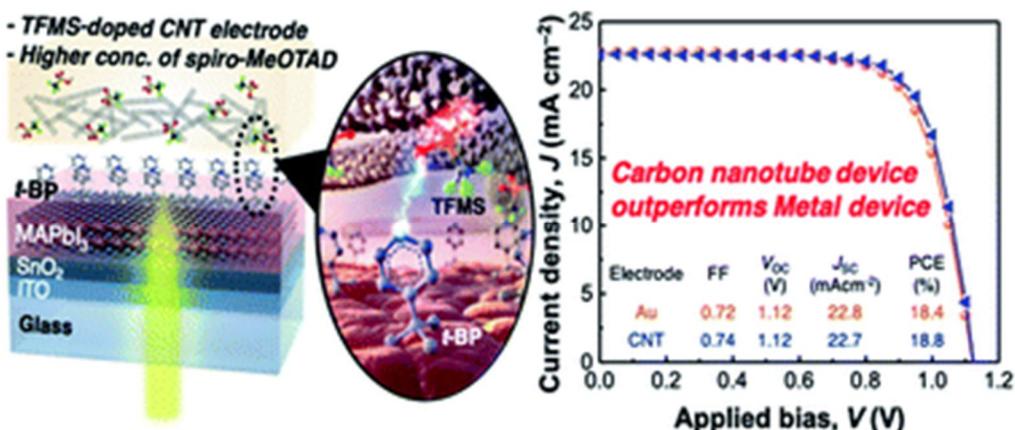
3. 研究の方法

カーボンナノチューブを化学的に機能化した様々なカーボンナノチューブフィルムを作製し、太陽電池に応用する。低分子酸や高分子酸ドーパントをカーボンナノチューブに適用し、キャリア輸送特性を向上させ、有機系太陽電池やシリコン太陽電池のキャリア選択層や電極に用いる。

4. 研究成果

ナノカーボン材料を用いることにより、ペロブスカイト太陽電池が安定になることを見いだした。すなわち、フラレン誘導体やカーボンナノチューブなどのナノカーボン材料とペロブスカイト太陽電池は大変に相性がよい組み合わせであることを実証した。また二層カーボンナノチューブのフィルムも初めて太陽電池の透明電極として用いることに成功した。

また、Nafion をドーパントとして使用し、従来の金属電極の代わりに金属カーボンナノチューブをシリコン光起電太陽電池に適用することにも成功した。電極とp層をカーボンナノチューブに置き換えることにより、デバイスの構造をさらに簡素化することができた。これにより、シリコン太陽電池の有用性が大幅に高まり、製造コストも削減されると期待できる。単層カーボンナノチューブを用いたシリコン太陽電池の電力変換効率を 9.5%から 14.4%に向上させ、過酷な条件下で 120 日を超えるデバイス安定性をもたらした。さらに、高分子酸を塗布したカーボンナノチューブを用いたシリコン太陽電池は、優れた化学的および機械的堅牢性を示した。得られた安定時間や変換効率は、報告されているカーボンナノチューブを用いたシリコン太陽電池の中で最も高かった。



ドーパントエンジニアリングによる正孔選択性の向上。

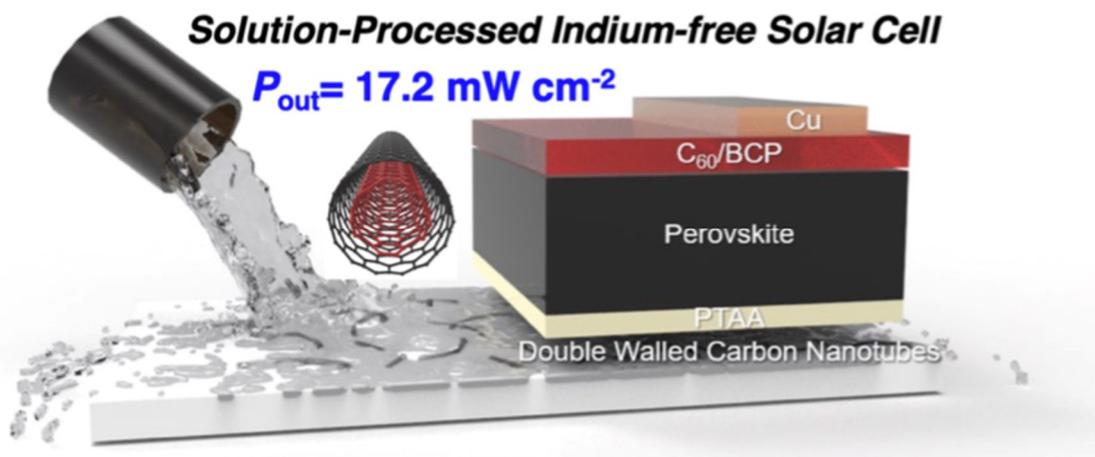
Multi-functional Effect 3) Encapsulation



高効率で安定なシリコン太陽電池のための高分子酸 Nafion によるカーボンナノチューブの p-ドーピング



リチウムイオン内包フラーレンを用いたカーボンナノチューブ/ペロブスカイト太陽電池の安定化と高効率化



塗布成膜する二層カーボンナノチューブ薄膜を用いたペロブスカイト太陽電池

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 12件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Lee Jin-Wook, Jeon Il, Lin Hao-Sheng, Seo Seungju, Han Tae-Hee, Anisimov Anton, Kauppinen Esko I., Matsuo Yutaka, Maruyama Shigeo, Yang Yang	4. 巻 19
2. 論文標題 Vapor-Assisted Ex-Situ Doping of Carbon Nanotube toward Efficient and Stable Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 2223 ~ 2230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.8b04190	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 Seo Seungju, Jeon Il, Xiang Rong, Lee Changsoo, Zhang Hao, Tanaka Takeshi, Lee Jin-Wook, Suh Donguk, Ogamoto Tatsuro, Nishikubo Ryosuke, Saeki Akinori, Chiashi Shohei, Shiomi Junichiro, Kataura Hiromichi, Lee Hyuck Mo, Yang Yang, Matsuo Yutaka, Maruyama Shigeo	4. 巻 7
2. 論文標題 Semiconducting carbon nanotubes as crystal growth templates and grain bridges in perovskite solar cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 12987 ~ 12992
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9TA02629K	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 Jeon Il, Yoon Jungjin, Kim Unsoo, Lee Changsoo, Xiang Rong, Shawky Ahmed, Xi Jun, Byeon Junseop, Lee Hyuck Mo, Choi Mansoo, Maruyama Shigeo, Matsuo Yutaka	4. 巻 9
2. 論文標題 High Performance Solution Processed Double Walled Carbon Nanotube Transparent Electrode for Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1901204 ~ 1901204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aenm.201901204	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 Ueno Hiroshi, Jeon Il, Lin Hao-sheng, Thote Abhishek, Nakagawa Takafumi, Okada Hiroshi, Izawa Seiichiro, Hiramoto Masahiro, Daiguji Hirofumi, Maruyama Shigeo, Matsuo Yutaka	4. 巻 55
2. 論文標題 Li@C60 endohedral fullerene as a supraatomic dopant for C60 electron-transporting layers promoting the efficiency of perovskite solar cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 11837 ~ 11839
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9cc06120g	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 Lin Hao-Sheng, Jeon Il, Chen Yingqian, Yang Xiao-Yu, Nakagawa Takafumi, Maruyama Shigeo, Manzhos Sergei, Matsuo Yutaka	4. 巻 31
2. 論文標題 Highly Selective and Scalable Fullerene-Cation-Mediated Synthesis Accessing Cyclo[60]fullerenes with Five-Membered Carbon Ring and Their Application to Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 8432 ~ 8439
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.9b02468	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 Jeon Il, Shawky Ahmed, Lin Hao-Sheng, Seo Seungju, Okada Hiroshi, Lee Jin-Wook, Pal Amrita, Tan Shaun, Anisimov Anton, Kauppinen Esko I., Yang Yang, Manzhos Sergei, Maruyama Shigeo, Matsuo Yutaka	4. 巻 141
2. 論文標題 Controlled Redox of Lithium-Ion Endohedral Fullerene for Efficient and Stable Metal Electrode-Free Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 16553 ~ 16558
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b06418	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 Delacou Clement, Jeon Il, Otsuka Keigo, Inoue Taiki, Anisimov Anton, Fujii Takenori, Kauppinen Esko I., Maruyama Shigeo, Matsuo Yutaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Investigation of charge interaction between fullerene derivatives and single walled carbon nanotubes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 InfoMat	6. 最初と最後の頁 559 ~ 570
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/inf2.12045	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 Qian Yang, Jeon Il, Ho Ya Lun, Lee Changhyun, Jeong Sujeong, Delacou Clement, Seo Seungju, Anisimov Anton, Kauppinen Esko I., Matsuo Yutaka, Kang Yoonmook, Lee Hae Seok, Kim Donghwan, Delaunay Jean Jacques, Maruyama Shigeo	4. 巻 10
2. 論文標題 Multifunctional Effect of p Doping, Antireflection, and Encapsulation by Polymeric Acid for High Efficiency and Stable Carbon Nanotube Based Silicon Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1902389 ~ 1902389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aenm.201902389	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 Lin Hao-Sheng, Okawa Shunhei, Ma Yue, Yotsumoto Satoshi, Lee Changsoo, Tan Shaun, Manzhos Sergei, Yoshizawa Michito, Chiashi Shohei, Lee Hyuck Mo, Tanaka Takeshi, Kataura Hiromichi, Jeon Il, Matsuo Yutaka, Maruyama Shigeo	4. 巻 32
2. 論文標題 Polyaromatic Nanotweezers on Semiconducting Carbon Nanotubes for the Growth and Interfacing of Lead Halide Perovskite Crystal Grains in Solar Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 5125 ~ 5133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.0c01011	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 Jeon Il, Shawky Ahmed, Seo Seungju, Qian Yang, Anisimov Anton, Kauppinen Esko I., Matsuo Yutaka, Maruyama Shigeo	4. 巻 8
2. 論文標題 Carbon nanotubes to outperform metal electrodes in perovskite solar cells via dopant engineering and hole-selectivity enhancement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 11141 ~ 11147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TA03692G	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 Qian Yang, Seo Seungju, Jeon Il, Lin Haosheng, Okawa Shuhei, Zheng Yongjia, Shawky Ahmed, Anisimov Anton, Kauppinen Esko I., Kong Jing, Xiang Rong, Matsuo Yutaka, Maruyama Shigeo	4. 巻 13
2. 論文標題 MoS ₂ -carbon nanotube heterostructure as efficient hole transporters and conductors in perovskite solar cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 075009 ~ 075009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab9efa	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 Lin Hao Sheng, Lee Jong Min, Han Jiye, Lee Changsoo, Seo Seungju, Tan Shaun, Lee Hyuck Mo, Choi Eun Jung, Strano Michael S., Yang Yang, Maruyama Shigeo, Jeon Il, Matsuo Yutaka, Oh Jin Woo	4. 巻 7
2. 論文標題 Denatured M13 Bacteriophage Templated Perovskite Solar Cells Exhibiting High Efficiency	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 2000782 ~ 2000782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.202000782	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

〔学会発表〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
中国	中国科学技術大学			
米国	UCLA			
カナダ	ケベック大学州立科学研究所			
フィンランド	アールト大学			
シンガポール	シンガポール大学			