

研究成果報告書

所属機関

東海国立大学機構名古屋大学

職名

教授

氏名

松尾 豊

研究テーマ

塗布型高耐久性ナノカーボン太陽電池の研究開発

研究報告

1. 研究の背景と目的

近年、カーボンニュートラルを達成するために太陽光発電技術の研究が進展しており、有機系太陽電池は軽量で柔軟な次世代の太陽電池として注目を集めている。従来の無機系太陽電池にはない独自の特徴を持ちながらも、電極に金属や金属酸化物を使用するため、耐久性やコストの面で課題がある。これらの問題に対処するために、我々の研究グループでは金属や金属酸化物電極の代わりにカーボンナノチューブ（CNT）電極を使用した有機薄膜太陽電池やペロブスカイト太陽電池の作製を報告してきた。しかしながら、これまでは海外（フィンランド）の共同研究者から入手していた気相成長・ドライプロセス成膜単層カーボンナノチューブを透明電極として用いて有機系太陽電池を作製してきた。本研究ではウェットプロセスによりCNT薄膜透明電極を作製し、インジウムスズ酸化物電極（ITO電極）を用いない有機薄膜太陽電池およびペロブスカイト太陽電池を作製する。透明・裏面電極、電子・正孔選択層、発電層全てでカーボン系材料を適用する研究を行い、「ナノカーボン太陽電池」といえる次世代太陽電池の実現を目指す。

2. 研究成果および考察

高価で経済安全保障面でも懸念があるITOの代替として、CNTを用いて透明電極を作製した。本研究では、スプレー塗布およびインクジェット塗布により、ウェットプロセスにてCNT薄膜透明電極を作製した（図1）。スプレー塗布では波長550 nmにおける透過率が84%で、ドーブ前シート抵抗が222 ohm/sqの透明電極を得た。インクジェット塗布ではセミモジュール用のパターン印刷を行い、76%透過率でドーブ前シート抵抗が272 ohm/sqであった。シート抵抗はドーブにより半分程度とすることができる。下部スプレー塗布CNT薄膜透明電極を用いたITOを用いない有機薄膜太陽電池を作製した。変換効率は2.74%であった。代表的な電子ドナー材料およびフラーレン誘導体電子アクセプタを用いたが、高性能な発電層材料を用いることにより、さらに変換効率を向上させることができると考えている。また、トップ電極にもCNT薄膜透明電極を用いた両面CNT有機薄膜太陽電池の作製にも成功した。

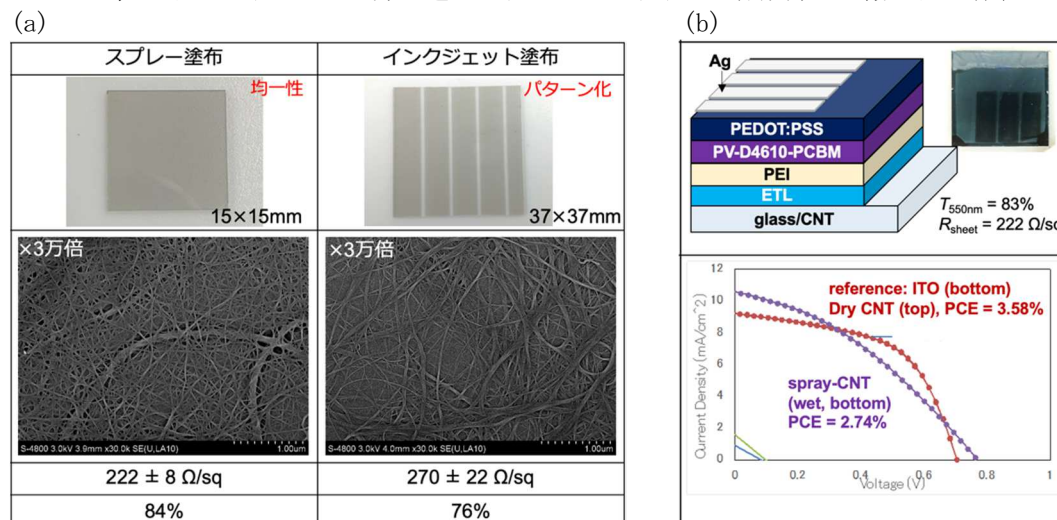


図1. ITO透明電極の代わりとなるCNT薄膜透明電極（ウェットプロセス）。(a) 大面積を均一に塗れるスプレー塗布およびマスクレスパターン印刷が可能なインクジェット塗布。(b) スプレー塗布CNT薄膜透明電極を用いた有機薄膜太陽電池。2.74%のエネルギー変換効率を示した。

スプレー塗布による下部CNT薄膜透明電極を用いて、ペロブスカイト太陽電池の作製に取り組んだ。スプレー塗布後のCNTのパーティクルを除去するという工夫を加えることにより、ITO透明電極を用いないCNT薄膜透明電極を用いた逆型ペロブスカイト太陽電池の作製にも成功した。

電子輸送材料として真空蒸着が可能なフラレン誘導体を利用可能とするために、真空蒸着が可能なフラレン誘導体の研究を深めた。モルフォロジ（形態）安定な蒸着膜を与えるtBu-FID0、昇華温度が低く蒸着ウィンドウが広いCF3-FID0を開発した。また、ケト基をチオケト基に変えたtBu-FIDSも合成した。これらはそれぞれ論文発表を行い、その前に特許出願も済ませている。

オールカーボン太陽電池を目指して、発電層に半導体単層CNTを用いる検討も行ったが、簡単にはうまくいかなかった。代わりに、正孔輸送材料であるPEDOT:PSSに半導体単層CNTを加えてPEDOT:PSSの低抵抗化、有機系太陽電池の特性と耐久性の向上を達成した。

3. 将来展望

CNTをウェットプロセスにより塗工し太陽電池の透明電極作ることができれば、高価で原料供給元が限定されるインジウムを用いるITOを使用しなくてよくなり、有機系太陽電池のコストが下がり、真の実用化に近づく。重要なこととして、CNT薄膜透明電極を用いると、有機薄膜太陽電池もペロブスカイト太陽電池も耐久性が格段に向上することが見えてきている。これはCNTに活性酸素を消去する能力が備わっているからだと考えている。現状、有機系太陽電池の最大の問題点は耐久性とコストであるので、2大問題を一挙に解決することができる可能性がある。また、炭素は元素として制約がなく、軽くて、フレキシブル性も高い。

フラレン誘導体の開発においても、世界で唯一となる真空蒸着が可能なフラレン誘導体電子輸送材料の研究が進展した。太陽電池のようなエネルギーデバイスだけでなく、有機光ダイオードなどの有機エレクトロニクス材料としても活躍できる道がある。

4. 研究発表

<形態安定な真空蒸着膜を与える真空蒸着が可能なフラレン誘導体tBu-FID0>

1) "Evaporable Fullerene Indanones with Controlled Amorphous Morphology as Electron Transporters for Inverted Perovskite Solar Cells", Qing-Jun Shui, Shiqi Shan, Yong-Chang Zhai, Shinobu Aoyagi, Seiichi Izawa, Miftakhul Huda, Chu-Yang Yu, Lijian Zuo, Hongzheng Chen, Hao-Sheng Lin, Yutaka Matsuo, *Journal of the American Chemical Society* 2023, 145, 27307-27315.

2) (特許) 特願2024-026428 (出願日2024/2/26) 「フラレン誘導体、フラレン誘導体の製造方法、薄膜、光電変換素子及び固体撮像装置」、出願人：東海国立大学機構、レゾナック、発明者：松尾 豊、五十嵐威史

3) (プレスリリース) 「真空蒸着が可能なフラレン誘導体を用いた高耐久性ペロブスカイト太陽電池 ～次世代太陽電池の実用化へ前進～」 (2023年12月20日)

4) (新聞掲載) 日本経済新聞掲載「曲がる太陽電池、寿命20年へ 名大がシリコン並みめど」 (2024年2月22日) <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUF293IL0Z20C24A1000000/>

<正孔輸送層に半導体単層CNTを用いた有機薄膜太陽電池>

5) H.-S. Lin, D. Miyata, M. Yagisawa, M. Huda, S. Hashimoto, T. Hashimoto, Y. Matsuo, *Appl. Phys. Express*, 15, 121001 (2022).

6) 有機半導体の開発と最新動向 (シーエムシー出版 2024年3月) 「半導体単層カーボンナノチューブを正孔輸送層に添加した有機薄膜太陽電池」松尾 豊 (担当：分担執筆)

<有機薄膜太陽電池セミモジュールの作製>

7) 大岩詩門, 松尾 豊, 車載テクノロジー 2023, Vol.10, No.11 (2023年8月号), P58-61.

8) (広報note) あなたならどう使いたい? 「きっと楽しい」 向こうが見える太陽電池 https://note.com/nagoya_ura/n/n603a25a5e4e9

<スプレー塗布 CNT 薄膜透明電極を用いた有機薄膜太陽電池>

9) 「大量生産可能な国産カーボンナノチューブの薄膜を透明電極として用いた有機薄膜太陽電池」松尾 豊, FINE CERAMICS REPORT, 2023年1月, 41巻, p17-21.