

平本 昌宏

大学共同利用機関法人 自然科学研究機構  
分子科学研究所 物質分子科学研究領域 分子機能研究部門  
教授

有機太陽電池のためのバンドギャップサイエンス

## § 1. 研究実施体制

(1) 平本グループ(自然科学研究機構 分子科学研究所)

- ① 研究代表者:平本昌宏(自然科学研究機構 分子科学研究所、教授)
- ② 研究項目
  - ・ 有機半導体のバンドギャップサイエンスの確立
  - ・ バンドギャップサイエンスによる高効率有機薄膜太陽電池の開発

(2) 伊崎グループ(国立大学法人 豊橋技術科学大学)

- ① 主たる共同研究者:伊崎昌伸 (豊橋技術科学大学大学院工学研究科、教授)
- ② 研究項目
  - ・ 有機/無機ハイブリッド太陽電池

(3) 吉田グループ(産業技術総合研究所)

- ① 主たる共同研究者:吉田郵司 (産業技術総合研究所、太陽光発電工学研究センターセンター付研究員)
- ② 研究項目
  - ・ 新しい太陽電池用有機半導体開発

## § 2. 研究実施の概要

有機半導体の共蒸着膜に対するpn制御によって、セルの内蔵電界を自由に設計できるようになった。本年度、1 ppm までの極微量ドーピングを光電変換層に行うことによって、セル抵抗を下げ、厚膜化することに成功し、効率向上に注力した。

ドーピングによるキャリア濃度(N)増大と、相分離した共蒸着膜のキャリア移動度( $\mu$ )増大を結合し、太陽光をすべて吸収利用できる厚い共蒸着膜を組み込んだセル(図1)を作製して、無機半導体の方法論によって高効率化を図った。p、n層で内蔵電界を形成し、光電変換p層を極微量ドーピングによって低抵抗厚膜化した、ppn接合が有機セルに適していることが分った。開放端電圧( $V_{oc}$ ) 1 V程度、電子移動度  $0.1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  以上で1ミクロンの厚膜セル(図2)が可能有機半導体の組み合わせは1T:C<sub>70</sub>で、変換効率の潜在力は表1の括弧内となる。1Tは吉田Gの開発した新しい有機半導体である。

これまでに、DBP:C<sub>70</sub>と1T:C<sub>70</sub>(図2)の組み合わせで、わずか10 ppmのアクセプタードーピングの効果が明瞭に現れ(図3)、変換効率3.6%と3.8%が得られた(表1)。

効率向上のための喫緊の課題が曲線因子(FF)にあることが分かる。1ミクロン厚膜化と、伊崎Gの開発した高品質無機半導体(例:i-ZnO)の導入等で界面再結合の抑止によるFFの向上を行い、潜在効率(表1括弧)に近い値が得られるよう全力を尽くす。

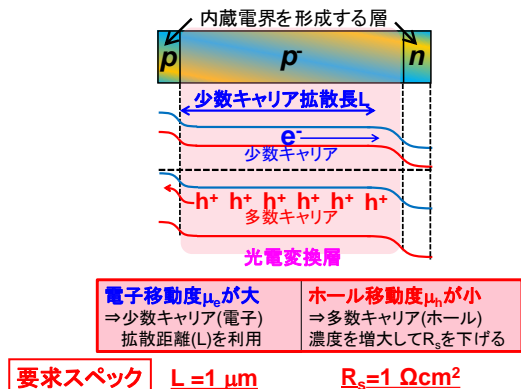


図1 厚膜セルの設計コンセプト。

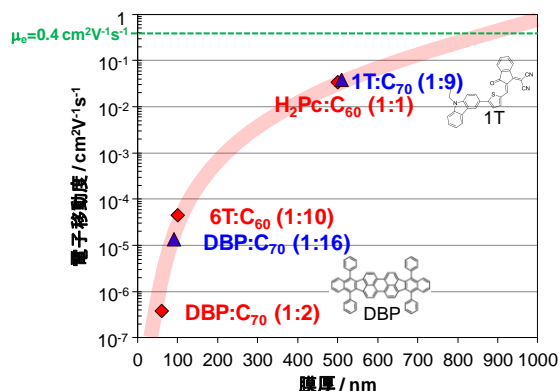


図2 電子移動度と可能なセル膜厚の関係。

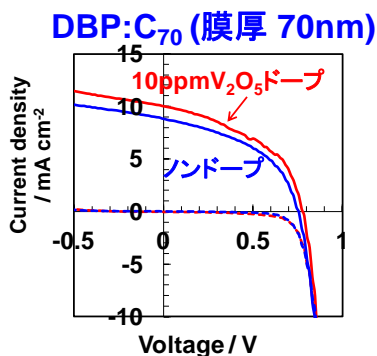


図3  $V_{oc}$ が高い組み合わせへの応用例。

	$J_{sc}$ / mAcm <sup>-2</sup>	$V_{oc}$ / V	FF	Eff / %
1T:C <sub>70</sub>	9.75 (16)	0.98 (1.0)	0.39 (1.0)	3.8 (16)
DBP:C <sub>70</sub>	10.05 (16)	0.79 (0.8)	0.45 (1.0)	3.6 (13)

表1 セル性能(2014.3.27 時点)。括弧内は潜在効率(FF:1.0)。

### § 3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

##### 論文詳細情報(国際)

##### A)「平本」グループ

1. M. Kubo, Y. Shinmura, N. Ishiyama, T. Kaji, and M. Hiramoto, “Junction Formation by Doping in H<sub>2</sub>Pc:C<sub>60</sub> Co-evaporated Films for Solar Cell Application”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **581**, 13 (2013) (DOI:10.1080/15421406.2013.808137)
2. T. Yoshioka, M. Kubo, N. Ishiyama, T. Kaji, and M. Hiramoto, “Evaluation of Carrier Concentration by C-V Measurements for *p,n*-Controlled C<sub>60</sub> Films”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **579**, 1 (2013) (DOI: 10.1080/15421406.2013.804791)
3. T. Kaji, S. Nakao, and M. Hiramoto, “Effect of Co-evaporant Induced Crystallization on Needle Growth of Phthalocyanine Thin Films”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **578**, 63 (2013) (DOI:10.1080/15421406.2013.804376)
4. Y. Shinmura, M. Kubo, T. Kaji, and M. Hiramoto, “Improved Photovoltaic Characteristics by MoO<sub>3</sub>-doping to Thick Hole Transporting Films”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **52**, 04CR12 (2013) (DOI: 10.7567/JJAP.52.04CR12)
5. K. Yokoyama, T. Kaji, and M. Hiramoto, “Double Co-deposited Layered Organic Photovoltaic Cells with Sensitivity Through the Visible to Near-Infrared”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **52**, 04CR06 (2013). (DOI: 10.7567/JJAP.52.04CR06)
6. N. Ishiyama, T. Yoshioka, T. Kaji, and M. Hiramoto, “Tuning of Barrier Parameters of *n*-type Schottky Junction in Photovoltaic Co-deposited Films by Doping”, *Appl. Phys. Express*, **6**, 012301 (2013) (DOI: 10.7567/APEX.6.012301)
7. N. Ishiyama, M. Kubo, T. Kaji, and M. Hiramoto, “Tandem Organic Solar Cells Formed in Co-deposited Films by Doping”, *Org. Electron.*, **14**, 1793 (2013) (DOI: 10.1016/j.orgel.2013.04.003)
8. M. Kubo, T. Kaji, and M. Hiramoto, “*pn*-Homojunction Organic Solar Cells Formed in the Thick Phase-separated Co-deposited Films by Doping”, *Appl. Phys. Lett.*, **103**, 263303 (2013) (DOI: 10.1063/1.4847296)

B) 「伊崎」グループ

9. M. Izaki, R. Chizaki, T. Saito, K. Murata, J. Sasano, “Hybrid ZnO/Phthalocyanine Photovoltaic Device with Highly Resistive ZnO Intermediate Layer”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **5**, 9386, (2013) (DOI: 10.1021/am403137x)

10. M. Izaki, R. Hisamatsu, T. Saito, K. Murata, J. Sasano, “Hybrid Zinc Oxide:Cu-Phthalocyanine Bulk-Heterojunction Photovoltaic Device”, *RSC Advances*, **4**, 14956 (2014).  
(DOI: 10.1039/c4ra01051e)

C) 「吉田」グループ

11. Y. Shibata, T. Kono, N. Komura, and Y. Yoshida, “Structural Control of Bulk Heterojunction Films Based on Oligothiophene with Sterically-Bulky Groups”, *Org. Electron.*, **14**, 1073 (2013)  
(DOI: 10.1016/j.orgel.2013.01.015)

(3-2) 知財出願

CREST 研究期間累積件数(国内 2 件)