

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：63903

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24655178

研究課題名(和文)クロスドーピングによる有機薄膜太陽電池

研究課題名(英文)Organic thin film solar cells made by cross doping technique

研究代表者

平本 昌宏 (HIRAMOTO, Masahiro)

分子科学研究所・物質分子科学研究領域・教授

研究者番号：20208854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：ドナードーパント(炭酸セシウム)とアクセプタードーパント(酸化モリブデン)を用いて、フラーレン単独膜にpnホモ接合を形成することに成功した。i層へのクロスドーピングによるpin接合の形成にも成功した。i層のエネルギー構造をドナーとアクセプターの比率で精密に制御することにも成功した。

フラーレン：チオフェン共蒸着膜に対して本技術を応用し、pin接合シングルセルにおいて効率1.6%、pin接合タンデムセルにおいて効率2.4%を得た。以上のように、クロスドーピング法の有効性を確認することができた。

研究成果の概要(英文)：pn homojunction was fabricated in single fullerene film by doping of donor (cesium carbonate) and acceptor (molybdenum oxide). i-layer in pin junction was fabricated by the cross doping technique in fullerene films. Energetic structure of i-layer was designed based on the ratio of donor and acceptor dopants. pin organic solar cells using fullerene:sexithiophene codeposited layer showed the efficiency of 1.6% and its tandem cell showed the efficiency of 2.4%. Thus, the cross-doping technique was successfully established.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学 機能材料・デバイス

キーワード：有機薄膜太陽電池 pn制御 クロスドーピング 共蒸着膜 モリブデン酸化物 3元蒸着 炭酸セシウム pin接合

1. 研究開始当初の背景

有機太陽電池の高効率化には、有機半導体のドーピングによるpn制御が不可欠である。研究代表者は、1種類の半導体がドーピングのみでp型にもn型にもなれる完全なpn制御技術を有機半導体、特に、フラーレン類について確立を完了していた。それに基づき、有機半導体においても、無機アモルファスシリコン類似のpin接合を形成し、高効率化する必要がある。pin接合のi層は、本来、絶縁体の意味で、ここに内蔵電界が形成され、光電流が発生する。通常、i層はノンドーピング層によって作製されるが、ドナー性不純物とアクセプター不純物を同時にドーピングして補償することで形成可能である。この場合、内蔵電界の形状をドーパントの比率で設計することも可能な、これまでにないセルが実現できる。そのため、本研究において、このようなクロスドーピングの実現性を検証することとした。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ドナー性とアクセプター不純物を同時にドーピングする、“クロスドーピング”のコンセプトを、有機薄膜太陽電池の共蒸着層に適用し、実質的にi(intrinsic)層として機能させ、アモルファスシリコン類似のpin接合を有機半導体において完全コントロール下で作成し、高効率を得ることである。

3. 研究の方法

ドーピングには超高純度有機半導体が必要なため、結晶析出昇華精製によってセブンナイン(9N, 99.99999%)まで純度を高めたサンプルを用いた。大気からの酸素が不可避免的にドーピングされるのを防ぐため、グローブボックス内に内蔵した蒸着装置を用いた。クロスドーピングのためには最低3つの蒸着源から同時蒸着することが必要で、3源蒸着装置を構築した。ドーパントを同時にppmの

精度でドーピングする必要があるため、2つのドーパントを、最高9ppm精度でドーピングする方法を、PCモニタリングを利用して確立した。

4. 研究成果

研究代表者は、 MoO_3 (アクセプター)、 Ca (ドナー)ドーピングによって C_{60} をp型化、n型化するpn制御に成功している。 Ca は非常に酸化しやすいため取り扱いが難しいため、まず、 Ca に代わるドナー性ドーパントの探索を行った。その結果、 Cs_2CO_3 が大気中に出しても酸化しない効果的なドナー性ドーパントであることを見いだした。

その結果、 Ca_2CO_3 と MoO_3 を用いて、 C_{60} 単独膜にpnホモ接合を形成することに成功した。また、3元蒸着法を用いる、i層へのクロスドーピングによるpin接合の形成にも成功した。i層のエネルギー構造をドナーとアクセプターの比率で精密に制御することにも成功した。

さらに、有機太陽電池として動作する3元蒸着による C_{60} :sexithiophene共蒸着膜への直接ドーピング技術も開発し、上記pin接合を作製することに成功し、pin接合シングルセルにおいて効率1.6%を得た。さらに、2つのpin接合を連結したタンデムセルにおいて効率2.4%を得た。以上のように、本方法の有効性を確認することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

- 1) Tuning of Barrier Parameters of *n*-type Schottky Junction in Photovoltaic Co-deposited Films by Doping, Norihiro Ishiyama, Tadashi Yoshioka, Toshihiko Kaji,

- and Masahiro Hiramoto, Appl. Phys. Express, **6**(1), 012301 (2013). (DOI: 10.7567)査読有
- 2) Tandem Organic Solar Cells Formed in Co-deposited Films by Doping, Norihiro Ishiyama, Masayuki Kubo, Toshihiko Kaji, and Masahiro Hiramoto, Org. Electron., **14**, 1793-1796 (2013). 査読有

〔学会発表〕(計 12 件)

- 1) 平本昌宏, CREST 有機太陽電池シンポジウム-用途開発と産業展開への道-京都大学宇治構内おうばくプラザ・きはだホール 2014/7/12 「共蒸着膜へのドーピングによる有機薄膜太陽電池」
- 2) M. Hiramoto, [Invited] Global Photovoltaic Conference 2013 (GPVC 2013) The 8th Aseanian Conference on Dye-sensitized & Organic Solar Cells (DSC-OPV8), Busan, Korea, Nov. 23-26 (2013). “Bandgap Science for Organic Thin-Film Solar Cells”
- 3) 平本昌宏, (招待) 2013 年度後期物性研究所短期研究会「エネルギーと新材料の物性・物質科学」2013/11/11-13 東京大学物性研究所 「有機半導体の pn 制御と有機薄膜太陽電池」
- 4) 平本昌宏, (招待) 文部科学省「革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ(HPCI)の構築」HPCI 戦略分野 2 「新物質・エネルギー創成」計算物質科学イニシアティブ(CMSI) 計算分子科学研究拠点 第 3 回実験化学との交流シンポジウム 京都大学 福井謙一記念研究センター2013/11/5 (火)「有機薄膜太陽電池のためのバンドギャップサイエンス」
- 5) M. Kubo, T. Kaji, and M. Hiramoto, (招待) “pn-Homojunction Organic Solar Cells Formed in the Thick Phase-separated Co-deposited Films by Doping”, KJF-ICOME2013 (KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics), Busan, Korea, Aug. 28-31, 2013.
- 6) 平本昌宏, 「低分子系有機薄膜太陽電池の最新研究」、平成 24 年度 KAST(神奈川県科学技術アカデミー)教育講座“有機系太陽電池の実証・実用化”、かながわサイエンスパーク KSP ホール、2012/12/11。
- 7) 平本昌宏(チュートリアル), 「有機薄膜太陽電池 基礎と応用」、第 4 回 薄膜太陽電池セミナー、龍谷大学アヴァンティ響都ホール(京都)、2012/10/19(金)。
- 8) 平本昌宏, 「有機系太陽電池コース」、SEMI ジャパン、SEMI Tutorial 「太陽光発電技術」、SEMI ジャパン大島ビル 5F 市ヶ谷、2012/10/16。
- 9) 平本昌宏, 「有機薄膜太陽電池の基礎・設計とこれからの展開」、熊本大学自然科学研究科 AGEIN 学生主催特別講義、熊本大学工学部 2 号館 224 号室、2012/10/11。
- 10) 平本昌宏, 「高性能有機薄膜太陽電池の誕生と進化」、2012 年光化学討論会プレシンポジウム「太陽エネルギーの利用拡大に向けた光化学の挑戦」、東京工業大学大岡山キャンパスくらまえホール(主催 光化学協会)、2012/9/11。
- 11) 平本昌宏, 「市場投入ステージに入った有機薄膜太陽電池」、SEMI FORUM JAPAN 2012 オーガニックエレクトロニクスセミナー、グランキューブ大阪 2012/6/13。
- 12) 平本昌宏, 「有機薄膜太陽電池のエネルギー構造設計とナノ構造設計」、日本学術振興会 光電相互変換第 125 委員会 次世代の太陽光発電システム第 175 委員会 合同研究会「太陽電池材料の光電変換過程と新しい展開」、静岡大学浜松キャンパス佐鳴会館会議室、2012/5/18。

〔図書〕(計 2 件)

- 1) 平本昌宏、「有機太陽電池のためのバンドギャップサイエンス」応用物理、82(6), 480-486 (2013) .
- 2) 平本昌宏、「有機薄膜太陽電池」、Molecular Science (Review), 6, A0052 (2012).(査読あり)

〔産業財産権〕

出願状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ

<https://www.ims.ac.jp/research/prof/hiramamoto.html>

http://groups.ims.ac.jp/organization/hiramamoto_g/

6 . 研究組織

(1)研究代表者

平本 昌宏 (HIRAMOTO, Masahiro)

(分子科学研究所・物質分子科学研究領域・

教授)

研究者番号：20208854

(2)研究分担者 なし

()

研究者番号：

(3)連携研究者 なし

()

研究者番号：