

多様な用途に適用できる有機薄膜太陽電池

Organic Photovoltaics Offering Various Power Supply Applications

都鳥 顕司 細矢 雅弘 齊藤 三長

■ TODORI Kenji ■ HOSOYA Masahiro ■ SAITO Mitsunaga

有機薄膜太陽電池 (OPV: Organic Photovoltaics) は、軽量かつフレキシブルで、印刷法による作製で低コスト化も可能なことから、シリコン太陽電池の適用が難しい場所への設置が可能である。

東芝は、太陽光発電用パネル向け以外の製品展開も視野に入れて、OPVの開発を進めている。今回開発したOPVの太陽光に対する変換効率は1×1 cmのセルで10.4%、また、5×5 cmのミニモジュールで9.1%まで向上した。その感度は可視光領域で高く、室内光に対する変換効率は更に高いことから、電子棚札やセンサなど室内用電子機器の電源への応用が期待できる。

Organic photovoltaics (OPV), a technology that has several advantages including light weight, flexibility, and low cost due to its use of thin-film fabrication employing a printing process, is now attracting attention as an alternative to silicon (Si) solar cells with the potential for application to various situations.

Toshiba has been developing OPV for not only solar panels but other applications as well, including devices used under indoor light and with curved structures. We have developed a prototype OPV cell and submodule, and confirmed that the conversion efficiency under sunlight of an OPV cell with dimensions of 1 x 1 cm is 10.3% and that of a 5 x 5 cm OPV minimodule is 9.1%. The conversion efficiency of the OPV cell under indoor light is higher than that under sunlight because of its higher sensitivity in the visible range compared with Si solar cells. The newly developed OPV cell, minimodule, and submodule are therefore expected to be applied to power supplies for indoor electronic devices such as electronic shelf labels, sensors, and similar devices.

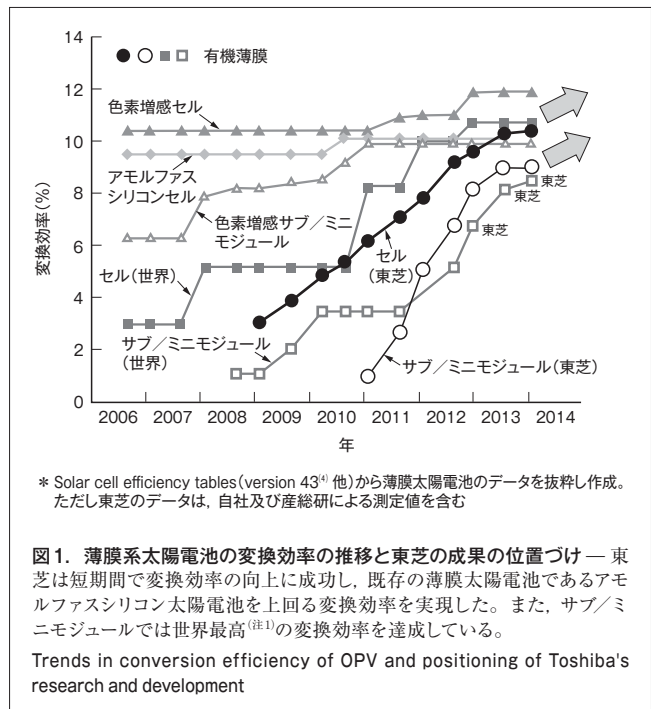
1 まえがき

住宅の屋根やメガソーラーシステムに設置されて普及が進んでいる太陽光発電用パネルには、単結晶シリコンや多結晶シリコンの太陽電池が多く使われている。太陽光発電用パネルの変換効率は13.5%以上という、結晶シリコン系の固定価格買取制度の設備認定基準があり⁽¹⁾、東芝の製品には20%を超えるものも出てきている⁽²⁾。また、アモルファスシリコンの太陽電池は薄膜であり、時計などに搭載されている。

現在、再生可能エネルギーによる発電の普及が喫緊の課題となっており、今後の普及促進に向けては、低コスト化技術と多用途化技術が重要になる。それらを実現する次世代技術として期待されているのが有機系太陽電池である。

有機系太陽電池には、液体を含む色素増感太陽電池と全固体の有機薄膜太陽電池 (OPV: Organic Photovoltaics) がある。当社は、全固体方式が多用途展開や環境性能の点で有利と考えている。

OPVはアモルファスシリコン太陽電池と比べて、薄くて軽量である点は同じであるが、後述のように、印刷法によるコスト低減が可能で、投資費用を回収しやすい。また、シート状の基板に成膜すればフレキシブルな太陽電池になるため、曲面の構造物にも設置でき、電極を半透明にすればシースルーの太陽電



池の実現も可能になる。更に、LED (発光ダイオード) などの室内光に対しては太陽光下より変換効率が高くなるため、特に

(注1) 2014年1月現在、当社調べ。

室内用途に適している。

ここでは、当社が進めているOPVの開発状況について述べる。

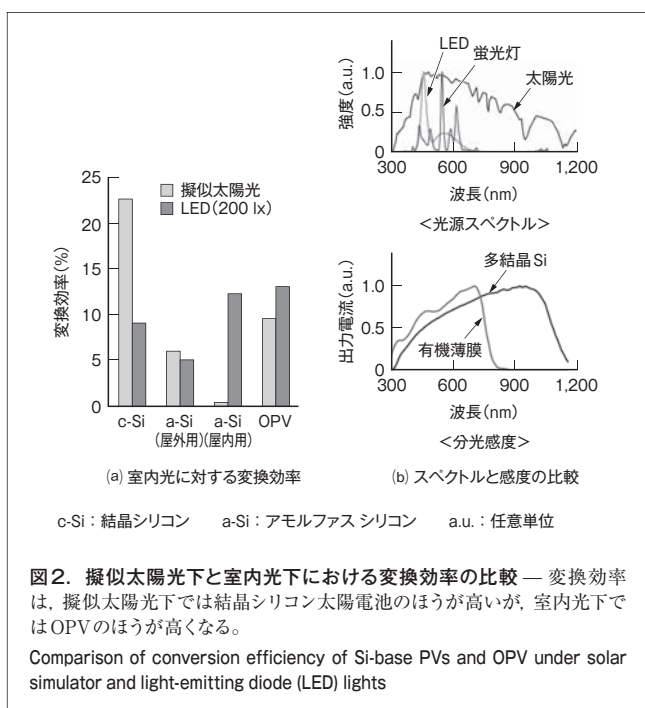
2 OPVの特性

OPVに関する最初の報告は1986年のC.W.Tangらによるもので、銅フタロシアニン (CuPc) とペリレン顔料で約1%の変換効率を観測したが⁽³⁾、今世紀に入ってから多くの研究がなされ、急激に変換効率が高くなった。世界のトップデータが掲載されているSolar cell efficiency tablesから、薄膜太陽電池の変換効率を抜粋してまとめたものを図1に示す。掲載データ(■, □)に、当社が開発し、当社及び独立行政法人産業技術総合研究所(以下、産総研と略記)で測定したOPVのデータ(●, ○)を加えて記載している。

当社は、2013年に1×1 cmのセルで10.4% (当社測定) の変換効率を達成し、アモルファスシリコンの値を追い越すことができた。現在、Solar cell efficiency tables (version 43)⁽⁴⁾には、セルでは他社の10.7%が、また、ミニモジュール(5×5 cm)では当社の8.5%が掲載されている。また、当社の測定で変換率が9.1%のミニモジュール試作にも成功した。

当社が測定した、シリコン系太陽電池とOPVの擬似太陽光とLED照明光に対する変換効率を図2に示す。結晶シリコン太陽電池の変換効率は、擬似太陽光下では高いが、LEDや蛍光灯といった室内光下では低い。一方OPVの変換効率は、擬似太陽光下では結晶シリコンの1/2程度であるが、LED光下では逆に結晶シリコンより高くなった。

これは、結晶シリコン太陽電池とOPVの分光感度が異なる



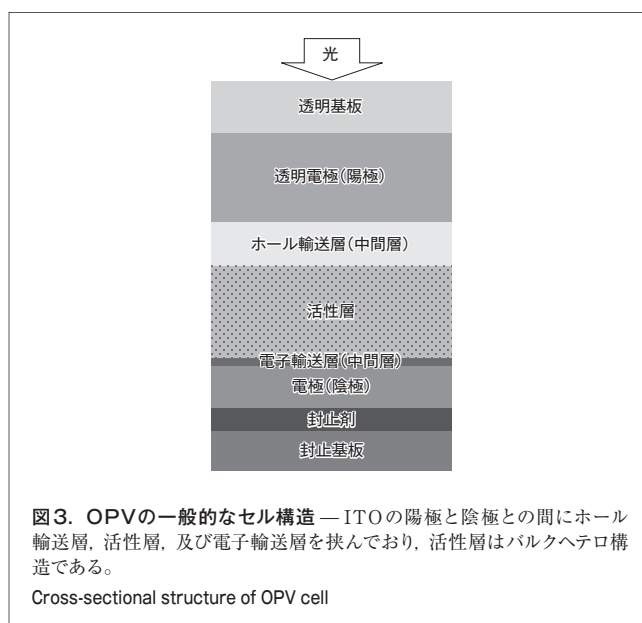
ことが原因である。太陽光スペクトルは赤外光波長域まで伸びており、その領域まで感度のある結晶シリコン太陽電池では変換効率が高くなる。一方OPVの感度は、赤外光波長域では小さいため変換効率下がってしまうが、室内光の場合は波長のマッチングがよく高くなる。赤外光波長域まで感度がある結晶シリコン太陽電池は、バンドギャップがOPVより狭い分、出力電圧が下がるという特性があり、可視光LEDの照射下では赤外光がないうえに出力電圧が低くなるため、変換効率下がってしまう。このように、室内光下での使用を考えた場合、OPVは有効であると言え、屋内用アモルファスシリコン太陽電池と変換効率がほぼ同等であった。ただし、太陽光と室内光両方での発電を考えた場合、OPVのほうがアモルファスシリコン太陽電池より有利であるという結果であった。

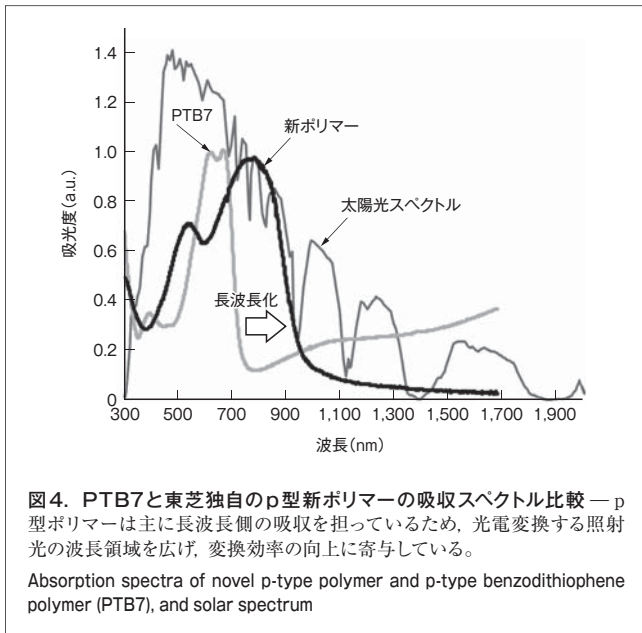
また、OPVの変換効率は、低照度でも結晶シリコン太陽電池ほど下がらず、室内光や朝、夕の太陽光下でも有効に発電できる⁽⁵⁾。実用化を検討する際には、擬似太陽光下での変換効率の単純な評価だけでなく、照射光のスペクトルや照度を考慮する必要がある。

3 セル構造と活性層材料

OPVの一般的なセル構造を図3に示す。基本的には有機半導体のpn接合であり、デバイス動作の基本原理は理解しやすい。これらの材料の選択や合成指針はエネルギーダイアグラムをもとに決めているが、シリコン系太陽電池とは異なり、それだけでは実態と定量的に合わないことも多い。実際には層界面での電荷トラップなど複雑な機構が関与していることもわかってきた。

セル構造は陽極 (ITO: 酸化インジウムスズ) と陰極との間





にホール輸送層、活性層、及び電子輸送層を挟んでおり、活性層はバルクヘテロ構造である。

活性層の材料は、主にフラーレン系のPC₇₁BM (Phenyl C71-Butyric Acid Methyl Ester) や当社独自のp型新ポリマーを適用した。このp型新ポリマーは、広く業界で用いられている従来のポリマー (PTB7: フッ化ビチオフェンベンゾジチオフェン) よりも吸収端を長波長側へ伸ばし、光の吸収量を上げる工夫をしたものである (図4)。

また、セル構造も工夫して1×1 cmのサイズで新構造のセルを試作し、材料の効果も合わせ変換効率10.4% (当社測定) を記録した。その電流密度-電圧特性を図5に示す。フィルファクタ^(注2) (FF) はやや下がるが、開放電圧と短絡電流は大幅に上昇した。

p型材料とn型材料を組み合わせたバルクヘテロ構造のモルフォロジー制御も、変換効率を上げるキーポイントの一つであり、溶媒の選択で変化するため、これを有効に利用してコントロールした。

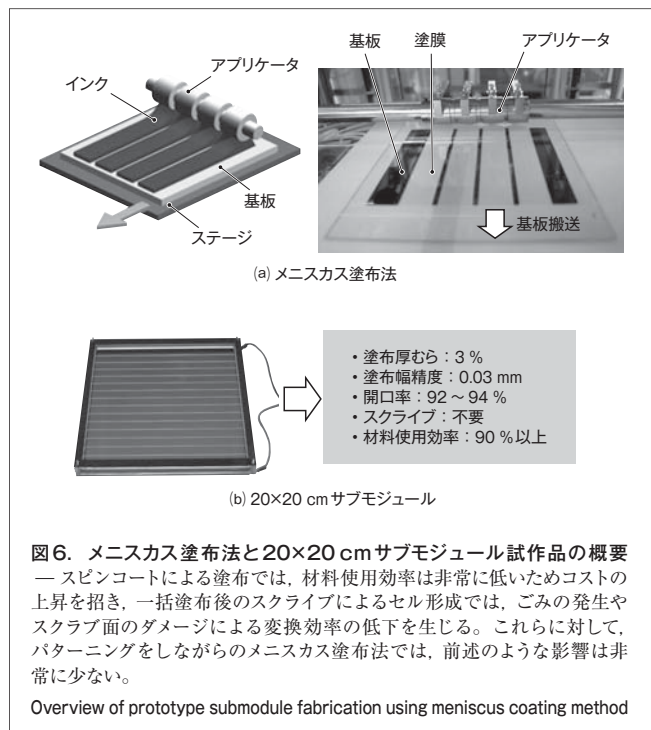
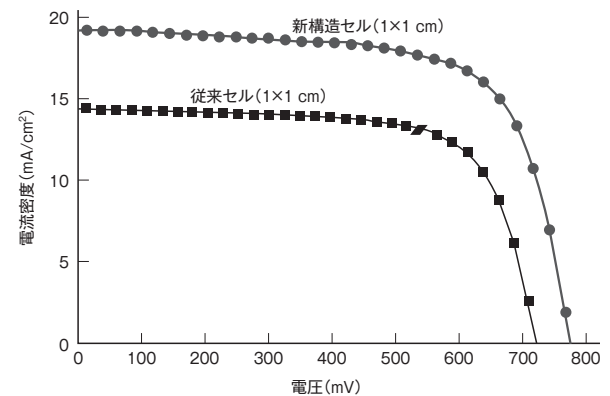
4 メニスカス塗布法によるモジュールの作製

OPVモジュールの作製は、一括成膜してからスクライブでセルに分割する手法もあるが、当社は、印刷技術の一つでありパターンニングが可能なメニスカス塗布法によって、20×20 cmのサブモジュールを試作した (図6)。

メニスカス塗布法を用いる利点は、材料の使用効率を高くできることである。塗布条件を細かくコントロールすることで、

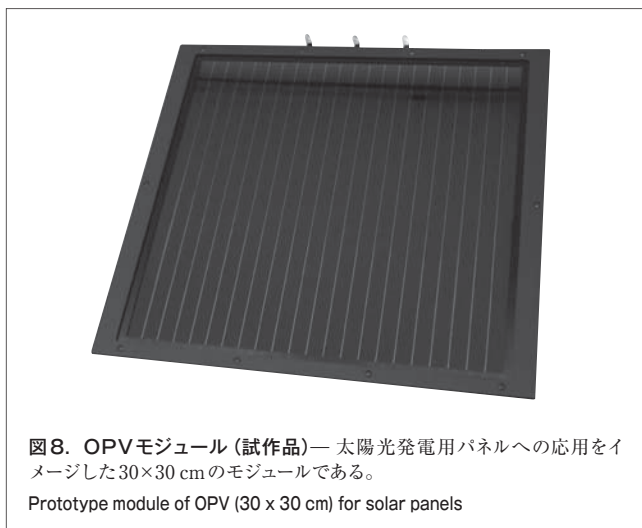
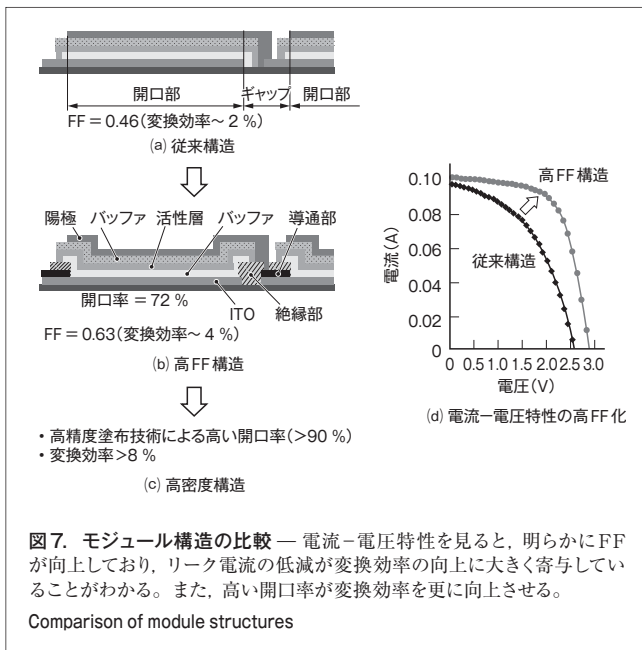
(注2) 開放電圧をV_{oc}、短絡電流をJ_{sc}、最大出力での電圧をV_{max}及び電流をJ_{max}とすると、 $(V_{max} \times J_{max}) / (V_{oc} \times J_{sc})$ で表される。最大の値は1である。

項目	新構造セル	従来セル
セル構造	単層	単層
ドナー材料	独自ポリマー	PTB7
アクセプタ材料	PC ₇₁ BM	PC ₇₁ BM
バッファ層	バンドマッチ材料	一般的材料
開放電圧 (mV)	775	721
短絡電流密度 (mA/cm ²)	19.2	14.4
FF	0.69	0.70
効変換率 (%)	10.4	7.3



塗布厚むら3%、塗布幅精度0.03 mm、開口率92~94%、及び材料使用効率90%が可能になった。

また、ミニモジュール構造では、リーク電流を低減するように



設計することでFFを向上させた結果、5×5 cmのミニモジュールの変換効率は9.1% (産総研における公式測定) を記録した (図7)。単セル構造での変換効率は10.4%であり、これに対するミニモジュールの変換効率の比率は87%となった。

更に、太陽光発電用パネルへ応用するため30×30 cmのOPVモジュールも試作している (図8)。

5 応用用途

太陽電池といえば太陽光発電用パネルの応用がまず思い浮かぶが、OPVは室内光に対して変換効率が高いため、屋内機器に搭載してボタン電池を代替する用途に応用するのが有効

(注3) シート状の材料やデバイスの製造において、一つの製造プロセスの前と後でロール状に巻きつけながら大量生産を行う方法。

である。例えば、電子棚札や環境センサの電源であれば、有機薄膜にとって適度な面積サイズとなる。また、軽量でフレキシブルな性質は大きな利点であり、結晶シリコンを用いた太陽光パネルでは対応が難しい場所や分散電源への応用も考えられる。更に、透明な性質を利用して、意匠の制限を受けるような用途への展開も期待できる。

6 あとがき

太陽電池を普及させるための次世代型太陽電池として期待されている、OPVの開発状況について述べた。太陽光に対するOPVによるミニモジュールの変換効率は、単結晶シリコン太陽電池に比べて1/2程度である9.1%まで向上した。室内光に対しては、単結晶シリコン太陽電池より変換効率が高く、屋内用アモルファスシリコン太陽電池とほぼ同等であった。

今後は更に変換効率を向上させ、基板をフィルムにし、ロールツーロール (Roll-to-Roll) (注3)の生産技術を適用することで発電コストの削減を進めていく。

この研究の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託を受けて実施したものである。

文献

- 経済産業省 資源エネルギー庁. “なっとく! 再生可能エネルギー認定手続き (設備, 減免)”. <http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/nintei_setsubi.html>, (参照2014-02-06).
- 東芝. 住宅用太陽光発電システム. <http://www.toshiba.co.jp/sis/h-solar/index_j3.htm>, (参照2014-02-06).
- Tang, C. W. Two-layer organic photovoltaic cell. Appl. Phys. Lett. **48**, 1, 1986, p.183-185.
- Green, M. A. et al. Solar cell efficiency tables (version 43). Progress in Photovoltaics: Research and Applications. **22**, 1, 2014, p.1-9. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ppp.2452/pdf>>, (参照2014-02-06).
- Stein, R. et al. Organic photovoltaics for low light applications. Solar Energy Materials & Solar Cells. **95**, 12, 2011, p.3256-3261.



都鳥 顕司 TODORI Kenji

研究開発センター 有機材料ラボラトリー主任研究員。
有機薄膜太陽電池の研究・開発に従事。応用物理学协会会员。
Organic Materials Lab.



細矢 雅弘 HOSOYA Masahiro, D.Eng.

東芝リサーチコンサルティング(株) チーフフェロー, 工博。
有機薄膜太陽電池の研究・開発に従事。応用物理学协会会员。
Toshiba Research Consulting Corp.



齊藤 三長 SAITO Mitsunaga

研究開発センター 有機材料ラボラトリー主任研究員。
有機薄膜太陽電池の研究・開発に従事。
Organic Materials Lab.