

ウェアラブル小型電源の開発

電子デバイス技術課 寺澤孝志、角田龍則

1. 緒言

ウェアラブル小型電源の開発を目標に、有機薄膜太陽電池 (OSC : Organic thin-film Solar Cell) の特性の安定化に取り組んだ。熱処理等の作製プロセスの見直しにより、活性層がバルクヘテロ構造のOSCにおいて特性の安定化 (短絡電流密度 $2\text{mA}/\text{cm}^2$ 、開放電圧 0.2V) を図った。さらにウェアラブル機器用の小型電源として、OSC のモジュール化を検討した。動作電流は大面積化または並列化、動作電圧は直列化が有効であることを確認した。OSC 電源モジュールからコンバータ回路を介してウェアラブル機器のバッテリーへの充電を試みた。

2. 実験方法、実験結果および考察

2.1 有機薄膜太陽電池の構成と作製方法

有機薄膜太陽電池の構成およびエネルギー準位を図 1 に示す。

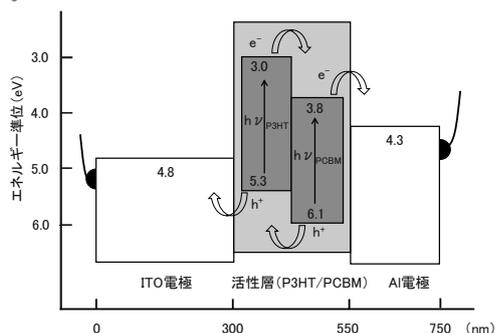


Fig. 1 Structure of OSC and energy levels

基板は、ITO 膜付きガラス基板 (1001、ジオマテック株) を用いた。ITO 電極の抵抗値は、 $5\Omega/\text{sq}$ 、膜厚は 300nm である。基板は、酸素プラズマ処理を行い使用した。活性層は、ポリ(3-ヘキシルチオフェン-2,5-ジイル) (P3HT) と [6,6]-フェニル C_{60} 醜酸メチルエステル (PCBM) (共に富士フィルム和光純薬株) のジクロロベンゼン混合溶液をスピコートすることにより成膜した。この活性層内では、P3HT の高分子ネットワーク中に島状の PCBM の分散したバルクヘテロ接合が形成される¹⁾。形成過程で、溶媒の揮発、下層の性状、熱処理温度の影響で特性が変化する。ジクロロベンゼン混合溶液 (溶質/溶媒) は、(P3HT;15mg+PCBM;12mg) /ml を使い、ITO 膜付きガラス基板上にスピコートし、乾燥後、 120°C の窒素雰囲気中で 10 分間、熱処理を行った。これによりバルクヘテロ接合の安定化を行った。活性層膜厚は 250nm である。対向電極は、アルミニウム (Al : 99.5%、株高純度化学研

究所) を真空蒸着により、膜厚 200nm を成膜した。作製した有機薄膜太陽電池 (OSC) の外観を、図 2 に示す。太陽電池出力特性 (J-V 特性、最大電力) は、ソーラーシミュレータ (CEP-25、分光計器株) を用いて測定した。

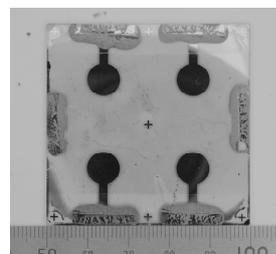


Fig. 2 Appearance of OSC

2.2 OSC の接続方法と出力特性

図 3 に、太陽電池出力特性 (J-V 特性) を示す。OSC 単体 (cell1~cell4) では、短絡電流密度は $2.1\sim 2.8\text{mA}/\text{cm}^2$ 、開放電圧 V は $0.2\sim 0.22\text{V}$ 、最大電力 $0.11\sim 0.17\text{mW}$ であった。2 つの cell を直列に接続した場合、電流密度 J は低下するものの、開放電圧 V は、単体の $0.20\sim 0.22\text{V}$ から $0.25\sim 0.26\text{V}$ と増加した。増加量が小さいのは、接触抵抗によるところが大きく、接続部も太陽電池モジュールとして一括して作製することにより、特性の低下を改善できると考えている。

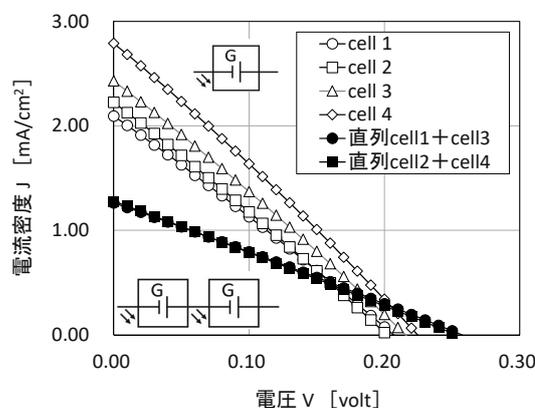


Fig. 3 OSC output characteristics (serial connection)

図 4 に、太陽電池出力特性を示す。単体 (cell3~cell6) では、短絡電流密度 J は $2.0\sim 2.8\text{mA}/\text{cm}^2$ 、開放電圧 V は $0.17\sim 0.22\text{V}$ 、最大電力 $0.10\sim 0.17\text{mW}$ であった。2 個の cell または 4 個の cell を並列に接続した場合、短絡電流密度 J は、2 個の $3.9\text{mA}/\text{cm}^2$ 、4 個の $5.3\text{mA}/\text{cm}^2$ と増加した。開放電圧 V はそれぞれ、2 個の 0.18V 、4 個の 0.15V と低下した。電流密度の増加量は大きかった。試作した cell の構造上、並列接続は直列接続に比べ接触箇所が少なかったためと考えている。

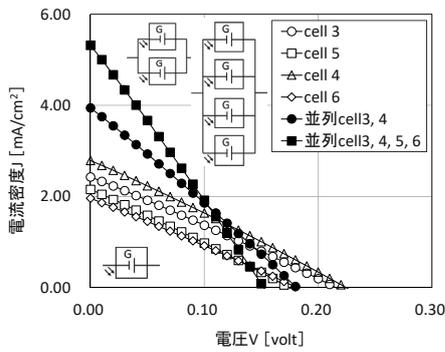


Fig. 4 OSC output characteristics (parallel connection)

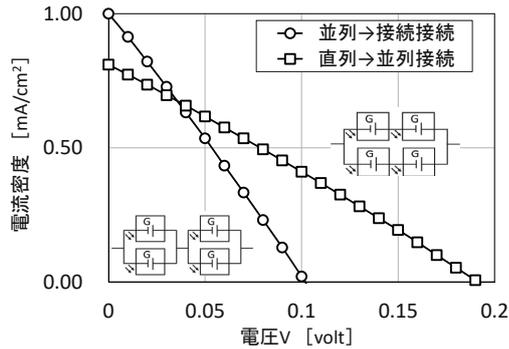


Fig. 5 OSC output characteristics (connection method)

図5に、太陽電池出力特性と接続方法を示す。

2個の cell を並列接続し、直列に接続したもの（並列→直列接続）と、2個の cell を直列接続し、並列に接続したもの（直列→並列接続）とを示す。それぞれ接続方法を反映し、並列→直列接続では電流密度を大きくでき、直列→並列接続では電圧 V を大きくできることが判った。最大電力は、それぞれ 0.03、0.04mW であった。

以上のことから、直列接続により電圧 V を、並列接続により電流密度を調整でき、OSC 電源モジュールを作製することにより、電源が作製できることを確認した。一方で、バルクヘテロ構造の OSC であるために、開放電圧（または OSC の動作電圧）が稼げないと考えている。動作電圧の安定化には、正孔輸送層の挿入（ITO 電極と活性層の間）が有効であることが判っている²⁾。図6に、正孔輸送層（ポリアニリン）を挿入した OSC の太陽電池出力特性を示す。短絡電流密度 J、開放電圧 V とも改善され、最大電力は 0.56 mW と向上する。

キーワード：有機薄膜太陽電池、直列接続、並列接続、OSC 電源モジュール

Study on Small Power Supply for Wearable Device Using Organic Thin-film Solar Cell

Electronics and Device Technology Section; Takashi TERASAWA, Tatsunori KAKUDA

As a result of studying a wearable compact power supply using organic thin-film solar cells (OSCs), we have stabilized the characteristics (short-circuit current density 2mA/cm², open-circuit voltage 0.2V) in an OSC whose active layer is a bulk heterostructure. For the power supply module of OSCs, it was confirmed that increasing the area of OSCs or parallel connection was effective for increasing the operating current, and series connection was effective for increasing the operating voltage. Using the power supply module of OSCs, we worked on charging the battery of the wearable device.

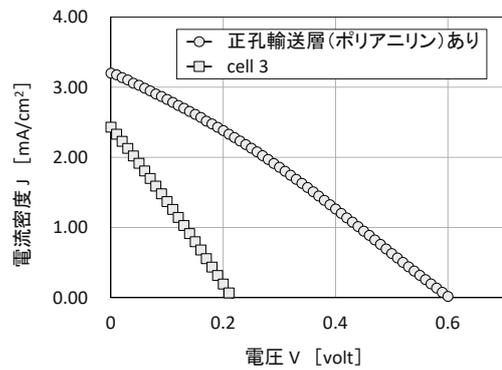


Fig. 6 OSC output characteristics (hole transport layer)

2.3 OSC 電源モジュールの試作と動作確認

現在の OSC 電源モジュールの性能は、正孔輸送層ありの OSC を用いた面積 2cm² のもので、動作電流 4mA、動作電圧 0.5V である。スマートウォッチの電源としては 100mA・h、5V 程度が必要である。そこで図7に示すように、OSC の動作電圧を DC-DC コンバータ（TPS61200、T I Inc.）を介して 5V に昇圧し、スマートウォッチのバッテリーに充電を行った。課題は、電源モジュールの高出力化である。

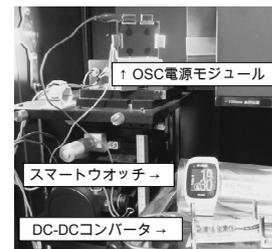


Fig. 7 Charging by OSC power supply module

3. 結言

有機薄膜太陽電池を用いたウェアラブル小型電源を検討した結果、動作電流は大面積化または並列化、動作電圧は直列化が有効であり、OSC 電源モジュールを試作し動作を確認した。

参考文献

- 1) 富山県産業技術研究開発センター研究報告 33, 87-88 (2019)
- 2) 若い研究者を育てる会研究論文集 31,36-42(2018)