

## 解体性接着剤を用いた有機太陽電池の封止

日大生産工(院) ○田中 洋親  
産総研 赤池 幸紀、秋山 陽久  
日大生産工 木村 悠二

### 1. 緒論

有機太陽電池(OPV)は、軽量で高い柔軟性という特徴を有している。さらに、溶液プロセスなどで容易に製造できることからクリーンエネルギーの1つとして、建造物一体型発電やビニールハウスにOPVを設置し農業との複合利用などへの応用に向けて盛んに研究されている。また、OPVや有機ELなどの透明電極に使われるインジウムスズ酸化物(ITO)には、希少金属であるインジウムとスズが含まれており、これらの埋蔵量は限られている。そのため、ITOの再利用を検討することが重要である。しかし、今後普及することが期待されているOPVを構成する材料の持続的な利用の追求や、使用済みデバイスのリサイクルに関する取り組みは未だ十分ではない。そのため、不要になったデバイスから資源を回収し、再利用することで持続可能性を高めることが今後重要となる。

本研究では、解体性接着剤を用いることでOPVの封止材の除去を可能にし、封止された使用済みデバイスからITO電極を回収することを試みた。

### 2. 実験

#### 2.1 OPVの作製

ガラス/ITO基板(25 mm × 25 mm)を超純水、アセトン、イソプロピルアルコールで各15分間超音波洗浄し、プラズマ処理を10分間行った。

次に、洗浄したITO基板に陽極側のバッファ層として、Poly(3,4-EthyleneDiOxyThiophene):Poly(4-StyreneSulfonate) (PEDOT:PSS)水分散液を室温で4000 rpm、30秒でスピコートした。作製したサンプルを150°C、10分間大気中で加熱した。その後の操作は窒素で満たされたグローブボックス内で行った。

発電層には、Poly[(2,6-(4,8-bis(5-(2-ethylhexyl-3-fluoro)thiophen-2-yl)-benzo[1,2-b:4,5-b']dithiophene))-alt-(5,5-(1',3'-di-2-thienyl-5',7'-bis(2-ethylhexyl)benzo[1',2'-c:4',5'-c']dithiophene-4,8-dione)] (PM6) と 2,2'-[[12,13-Bis(2-butylloctyl)-12,13-dihydro-3,9-

dinonylbisthieno[2',3':4',5']thieno[2',3':4,5]pyrrolo[3,2-e:2',3'-g][2,1,3]benzothiadiazole-2,10-diy]]bis[methyldiyn(5,6-chloro-3-oxo-1H-indene-2,1(3H)-diylidene)]bis[propanedinitrile](BTP-eC9)を1:1.2(質量比)で混合し、10.12 mg/mLの濃度でクロロホルムに溶解させ、それを110°Cで20分攪拌し、室温程度になるまで冷却させた。

陰極側のバッファ層には、Poly(9,9-bis(3'-(N,N-dimethyl)-N-ethylammonium-propyl-2,7-fluorene)-alt-2,7-(9,9-dioctylfluorene))dibromide (PFN-Br)を0.5 mg/mLの濃度でメタノールに溶解させ、1時間攪拌させた。

PEDOT:PSSがスピコートされた基板に、PM6:BTP-eC9混合溶液300 μLを700 rpm、30秒でスピコートし、その後、PFN-Br溶液300 μLを3000 rpm、30秒でスピコートした。PFN-Br層形成後に、サンプルを110°Cで10分間加熱した。上部電極として、膜厚500 Åの銀を蒸着し、デバイスを完成させた。(Fig. 1)

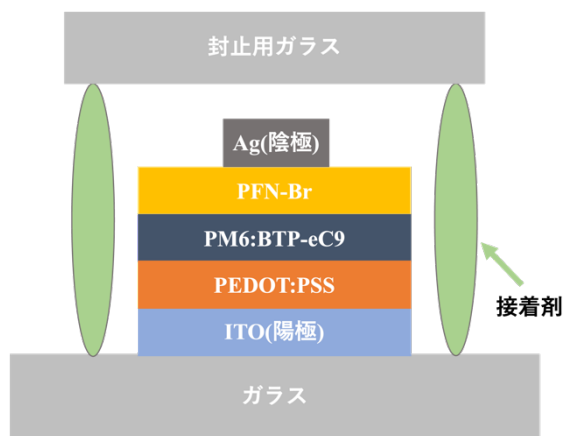


Fig. 1 作製したOPVの構造

#### 2.2 作製したOPVの封止

封止用のガラスにアルカリフリーガラス (AFG) (17 mm × 17 mm)を使用し、解体性接着剤を用いて、AFGの縁に塗布し、OPVを封止した。グローブボックスから封止したOPVを取り出し、405 nm光源ランプで解体性接着剤を硬化さ

せた。また比較対象として、UV硬化樹脂で封止したOPVも作製した。

### 2.3 OPV の特性評価

OPVの電流( $I$ )-電圧( $V$ )特性については、ソーラーシミュレーター(AM1.5G)を用いて測定し、開放端電圧( $V_{oc}$ )、短絡電流密度( $J_{sc}$ )、曲線因子(FF)およびエネルギー変換効率(PCE)を測定した。

### 2.4 ガラス/ITO基板の回収

封止したOPVを180°Cで加熱し、解体性接着剤を液化させた。その後、封止材を除去したOPVを純水が入ったビーカーにいれ、15分超音波洗浄を行った。<sup>2)</sup>

### 3. 実験結果および考察

UV硬化樹脂で封止したOPVの初期性能は、 $V_{oc}=0.81\text{ V}$ 、 $J_{sc}=28.5\text{ mA/cm}^2$ 、 $FF=0.62$ 、 $PCE=14.3\%$ であった。また、解体性接着剤で封止したOPVの初期性能は、 $V_{oc}=0.79\text{ V}$ 、 $J_{sc}=27.5\text{ mA/cm}^2$ 、 $FF=0.59$ 、 $PCE=12.0\%$ であり、初期性能で違いが見られた。

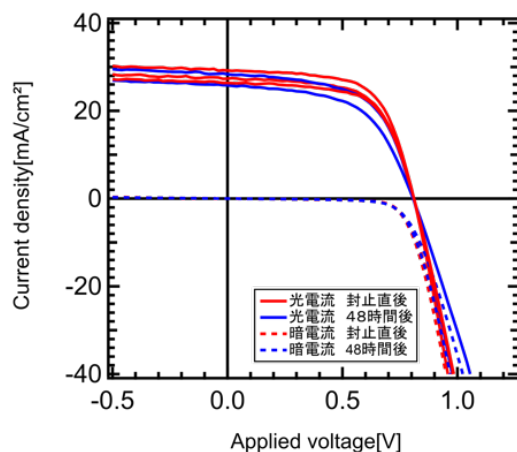


Fig. 2 UV 硬化樹脂で封止した I-V 特性

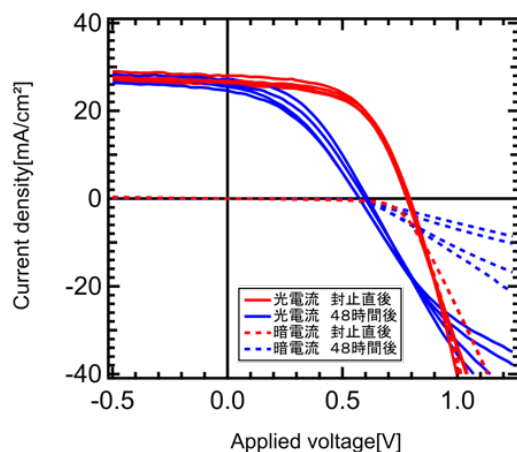


Fig.3 解体性接着剤で封止した I-V 特性

UV 硬化樹脂で硬化した OPV(Fig. 2)と解体性接着剤で硬化した OPV(Fig. 3)の 48 時間後の  $I$ - $V$  特性を比較すると、UV 硬化樹脂では封止した OPV の  $I$ - $V$  特性の変化は小さい。このことから、封止ができていると考える。

しかし、解体性接着剤で封止した OPV の  $I$ - $V$  特性では、封止時間が増加すると性能が低下してしまっ

た。これらの原因は、解体性接着剤が完全に硬化しておらず、デバイスに外気が入り込んだために初期性能と封止性能の低下を招いたと考えられる。そのため、解体性接着剤の硬化時間ごとに、可視吸収スペクトルを測定し、比較することで硬化時間の再設定が必要であると考えられる。また、解体性接着剤で封止した OPV を 180°C に設定したホットプレートで 30 秒ほど加熱することで解体性接着剤が液化し封止材を除去することができた。さらに、封止材を除去した OPV を純水で 15 分間超音波洗浄を行うことで、ガラス/ITO 基板とそれ以外に分離できた。これは、水が PEDOT:PSS 層を選択的に溶解させるからであると考えられる。

### 4. 結論

本研究では、解体性接着剤で OPV を封止することで、完成したデバイスからガラス/ITO 基板の回収できることを実証した。解体性接着剤で封止することで、封止材の除去が容易になり、実際に封止されたデバイスを考える上で、ガラス/ITO 基板の再利用技術の応用に向けての大きな一歩になった。

今後は、解体性接着剤の塗布法や硬化条件を最適化することで封止性能の向上を目指すと共に、回収したガラス/ITO 基板を再利用した OPV の作製を予定している。

#### 参考文献

- 1) H. Akiyama, Y. Okuyama, T. Fukata and H. Kihara, "reversible Photocuring of Liquid Hexa-Anthracene Compounds for Adhesive Applications", *The Journal of Adhesion*, **94**, 10, 2018, 799-813
- 2) M. T. Dang, P. M., Brunner and J. D. Wuest., "A Green Approach to Organic Thin-Film Electronic Device: Recycling Electrode Compose of Indium Tin Oxide (ITO)", *ACS Sustainable Chem. Eng.*, **2**, 2014, 2715-2721.