基于超宽带隙聚合物给体的有机太阳能电池效率超过 16%

邓林龙¹, 谭元植^{2*}

1. 厦门大学萨本栋微米纳米科学技术研究院, 厦门 361005;

2. 厦门大学化学化工学院化学系, 固体表面物理化学国家重点实验室, 厦门 361005

* 联系人, E-mail: yuanzhi_tan@xmu.edu.cn

Organic solar cells with ultra-wide bandgap polymer donor show over 16% efficiency

Lin-Long Deng¹ & Yuan-Zhi Tan^{2*}

¹ Pen-Tung Sah Institute of Micro-Nano Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

² State Key Laboratory for Physical Chemistry of Solid Surfaces, Department of Chemistry, College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China

* Corresponding author, E-mail: yuanzhi_tan@xmu.edu.cn

doi: 10.1360/TB-2020-0182

有机太阳能电池具有质轻价廉、柔韧性好、易于制备大面积器件等优势, 备受国内外科学界和产业界的关注, 成为新能源领域的研究热点之一. 有机太阳能电池的关键材料是聚合物或小分子给体材料和富勒烯或非富勒烯受体材料. 近年来, 得益于非富勒烯受体材料的开发, 有机太阳能电池发展迅速, 其光电转换效率已经突破17%^[1-5]. 在非富勒烯受体材料领域, 中国的科学家做出了原创性和引领性的贡献^[6-8], 不断刷新有机太阳能电池效率的世界纪录, 为推动有机太阳能电池领域的发展做出了重要的贡献. 目前, 高效率的非富勒烯受体材料绝大部分是基于低带隙的共轭稠环体系^[9-11], 如北京大学肖卫课题组^[12]发明的明星分子ITIC(3,9-bis(2-methylene-(3-(1,1-dicyanomethylene)-indanone))-5,5,11,11-tetrakis(4-hexylphenyl)-dithieno[2,3-d':2',3'-d'']-s-indaceno[1,2-b:5,6-b']dithiophene)、中南大学邹应萍课题组^[13]设计合成的Y6等. 为了实现对太阳光谱的充分利用, 进一步提升有机太阳能电池的光电转换效率, 迫切需要发展与非富勒烯受体材料吸收光谱互补的高性能的宽带隙聚合物给体材料. 宽带隙聚合物给体材料, 尤其是带隙超过2.07 eV的超宽带隙聚合物给体材料, 在叠层或多元有机太阳能电池中起着非常重要的作用^[14]. 然而, 目前宽带隙聚合物给体材料的种类相对较少, 其中具有高效率的更是屈指可数, 限制了该领域的发展.

国家纳米中心丁黎明研究组和重庆大学孙宽研究组

与厦门大学谢素原研究组合作在*Science Bulletin*上发表了题为“A 2.16 eV bandgap polymer donor gives 16% power conversion efficiency”的研究论文^[15]. 他们以氟和烷氧基同时取代的苯基(FAB)受体单元和苯并二噻吩给体单元共聚, 设计合成了超宽带隙聚合物给体材料W1(分子结构见图1). 得益于具有高度芳香性的苯基受体单元, 该材料的带隙较宽. 苯基受体单元上的氟原子和烷氧基能够与相邻的噻吩桥之间形成S...O, S...F, H...F等“构象锁”, 提高了共轭分子的平面性和刚性, 并提升了材料的载流子传输性能. 此外, 苯基受体单元上的氟原子有效地降低了聚合物给体的HOMO能级, 有利于提高器件的开路电压; 苯基受体单元上的烷氧基提高了聚合物给体的溶解性. 该聚合物给体材料具有较低的HOMO能级, 带隙为2.16 eV, 能够与低带隙的非富勒烯受体材料形成光谱吸收互补. 该聚合物给体材料与Y6共混制备的光伏器件, 其效率达到16.16%, 这是迄今为止报道的超宽带隙聚合物最高光电转换效率记录, 展示了超宽带隙聚合物给体的应用潜力.

他们的工作为超宽带隙聚合物给体材料的设计合成提供了新思路, 丰富了超宽带隙聚合物家族的种类. 该材料独特的光学吸收和优异的性能, 有望成为叠层或多元共混有机太阳能电池的关键材料之一, 同时实现宽光谱吸收与高开路电压, 有效提升有机太阳能电池的效率.

图1 给体W1 和受体Y6 的分子结构

Figure 1 Molecular structure of W1 and Y6

参考文献

- Meng L, Zhang Y, Wan X, et al. Organic and solution-processed tandem solar cells with 17.3% efficiency. *Science*, 2018, 361: 1094–1098
- Cui Y, Yao H, Hong L, et al. 17% efficiency organic photovoltaic cell with superior processability. *Natl Sci Rev*, 2019, doi: 10.1093/nsr/nwz200
- Lin Y, Adilbekova B, Firdaus Y, et al. 17% efficient organic solar cells based on liquid exfoliated WS₂ as a replacement for PEDOT: PSS. *Adv Mater*, 2019, 31: 1902965
- An Q, Wang J, Gao W, et al. Alloy-like ternary polymer solar cells with over 17.2% efficiency. *Sci Bull*, 2020, doi: 10.1016/j.scib.2020.1001.1012
- Liu L, Kan Y, Gao K, et al. Graphdiyne derivative as multifunctional solid additive in binary organic solar cells with 17.3% efficiency and high reproducibility. *Adv Mater*, 2020, 32: 1907604
- Bin H J, Li Y F. Recent research progress of photovoltaic materials for nonfullerene polymer solar cells. *Acta Polym Sin*, 2017, 9: 1444–1461
- Dai S X, Zhan X W. Fused-ring electron acceptors for organic solar cells. *Acta Polym Sin*, 2017, 11: 1706–1714
- Huang F, Bo Z S, Geng Y H, et al. Study on optoelectronic polymers: An overview and outlook. *Acta Polym Sin*, 2019, 50: 988–1046
- Hou J, Inganäs O, Friend R H, et al. Organic solar cells based on non-fullerene acceptors. *Nat Mater*, 2018, 17: 119–128
- Yan C, Barlow S, Wang Z, et al. Non-fullerene acceptors for organic solar cells. *Nat Rev Mater*, 2018, 3: 1–19
- Cheng P, Li G, Zhan X, et al. Next-generation organic photovoltaics based on non-fullerene acceptors. *Nat Photonics*, 2018, 12: 131–142
- Lin Y, Wang J, Zhang Z G, et al. An electron acceptor challenging fullerenes for efficient polymer solar cells. *Adv Mater*, 2015, 27: 1170–1174
- Yuan J, Zhang Y, Zhou L, et al. Single-junction organic solar cell with over 15% efficiency using fused-ring acceptor with electron-deficient core. *Joule*, 2019, 3: 1140–1151
- Ma Y, Kang Z, Zheng Q. Recent advances in wide bandgap semiconducting polymers for polymer solar cells. *J Mater Chem A*, 2017, 5: 1860–1872
- Wang T, Qin J, Xiao Z, et al. A 2.16 eV bandgap polymer donor gives 16% power conversion efficiency. *Sci Bull*, 2020, 65: 179–181