科学通报 2015 年 第 60 卷 第 13 期：1236
简 报 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

利用金纳米晶等离子共振效应实现量子点敏化太阳能电池的光电流增强

程轲，吴仰晴，蒙健，赵耀龙，王晓云，杜祖亮*

河南大学特种功能材料重点实验室，开封 475004
* 联系人, E-mail: zld@henu.edu.cn

国家自然科学基金(11274093, 61376061, 61240053)资助

近年来，量子点敏化太阳能电池的光电转换效率大幅提升，得到了研究者的广泛关注. 量子点敏化太阳能电池的工作机制和染料敏化太阳能电池类似，利用量子点替换传统染料具有以下优点: (1) 量子点的消光系数高达10^5 L/(mol cm); (2) 量子点的光谱响应可以通过改变其尺寸而方便地调节; (3) 相较染料而言，量子点具有较好的抗水氧性; (4) 量子点具有多激子效应，有望发展为高效率的光伏器件.

尽管量子点敏化太阳能电池有诸多的优点，但就目前的研究而言，其光电转换效率(~6%)仍然远远落后于传统的染料敏化太阳能电池(~11.5%)，原因在于目前量子点敏化太阳能电池的结构还不尽合理. 提高其光电转换效率需要进一步提高其光吸收效率，并减小电荷复合. 通常情况下，量子点敏化太阳能电池的光阳极采用介孔颗粒薄膜，当光生电子在颗粒-颗粒间通过“跳跃”的方式在介孔薄膜中传输时，在颗粒界面间的复合几率会大幅增加. 近年来，研究者利用纳米结构和纳米材料来提高量子点敏化太阳能电池的光电转换效率，一维纳米结构材料(如纳米棒、纳米线、纳米管等)被认为可以为光生电子提供直接的传输通道，从而可以有效地减小光生电子在传输过程中的复合损失. 然而，基于一维纳米结构光阳极的量子点敏化太阳能电池的性能尚无法和传统介孔颗粒薄膜相比，原因在于其较小的比表面积使得量子点的负载量不足，从而使整个器件的光吸收效率较低.

本研究通过水热反应制备了TiO_2纳米棒阵列，用柠檬酸钠还原$HAuCl_4·3H_2O$的方法制备了直径约20 nm的金纳米晶. 为研究金纳米晶在量子点敏化太阳能电池中的光电流增强效应，构筑了ZnS/CdSe/CdS/TiO_2核-壳结构的纳米线阵列化光阳极. 在该量子点敏化太阳能电池体系中，通过简单地引入金纳米晶，短路电流从7.788 mA/cm^{2}增加到8.574 mA/cm^2，增强了约10%；整个器件的光电转换效率从1.66%增加到1.73%，增强了约4.2%. 这种增强效应主要由金纳米晶受到激发后电子向ZnS/CdSe/CdS/TiO_2光阳极注入所致. 为证实此结论，我们通过原位反应使所制备的金纳米晶与TiO_2纳米棒阵列复合，构筑了单一的Au/TiO_2复合体系。在可见光照射下，能够清楚地观察到光电流产生现象，而单一的TiO_2在可见光照射下，并不能产生光电流，实验结果如图1(a)所示，该实验进一步证实了我们的结论. 光照情况下，Au-TiO_2界面处等离子共振激发的电荷转移过程如图1(b)所示.

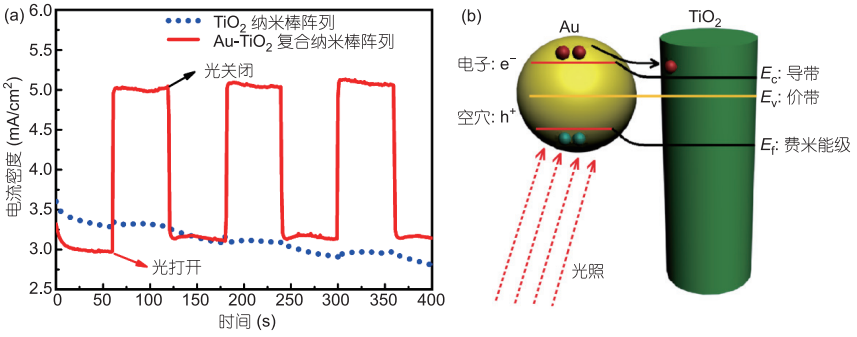

图 1 (网络版彩色)(a) 可见光开关照射下TiO_2和Au-TiO_2纳米棒阵列的电流密度-时间图; (b) Au-TiO_2界面处光照下等离子共振激发的电荷转移过程示意图

全文见: Cheng K, Wu Y, Meng J, et al. Plasmon-enhanced photocurrent generation in quantum dots-sensitized solar cells by coupling of gold nanocrystals. Sci Bull, 2015, 60: 541–548, doi: 10.1007/s11434-015-0743-x