

太阳能转换过程中的高分子应用

吴世康

(中国科学院感光化学研究所, 北京, 100101)

提要 近年来, 在太阳能利用的科学领域内, 高分子材料得到了广泛的应用。本文从太阳能工艺学和太阳能转换两个方面对此问题作了介绍和讨论。

关键词 太阳能利用、高分子材料、太阳能转换、光电化学

近年来在太阳能利用的研究和开发中, 高分子材料的应用愈来愈引起人们的重视^[1~6]。关于这一问题可以从太阳能利用的工艺学(Solar Technology)以及太阳能的转换(Solar Energy Conversion)两个方面进行讨论。本文将着重讨论后者。

从工艺学角度讨论, 主要指的是在太阳能转变为热能(即光/热转换)中涉及的高分子材料问题^[7,8](当然不是全部)。如在最简单的太阳能热水器(Solar Collector)中, 它的吸收层材料、封闭式热水器的透明盖板材料、绝热材料以及其他许多方面, 多已采用了高聚物。如曾报道, 将1,2-聚丁二烯或聚丙烯腈进行热环化聚合反应得到的黑色梯形高分子材料^[9], 作为选择性的吸收层具有良好的吸热能力即是一例。太阳能工艺学还包括用于光生伏打电池的透明密封材料的研制^[10], 这种材料要求在光电池的光谱响应范围内高度透明, 以保证光电池能有效地进行工作。已经得到广泛应用的材料是聚丙烯酸酯、聚硅氧烷以及聚氟碳化物等。另一值得介绍的工艺学问题是太阳聚光器(Solar Concentrator)或发光式聚光器(Luminescence Solar Concentrator)^[11,12], 它是由一组掺有不同荧光染料的透明高聚物板材(如PMMA)所组成。当阳光射入板材并被掺入的染料分子吸收时, 处于

激发态的染料分子可向任意方向发射荧光而返回基态。如板材本身有较高的折射率 n , 则使材料内的荧光在表面层处发生全反射的临界角变小, 于是就会使荧光在板材内部通过不断反射而在其端部集中外出。这种材料甚至可在阴天无直照阳光的条件下使阳光集中达到聚光的目的, 而所聚集光的波长则随

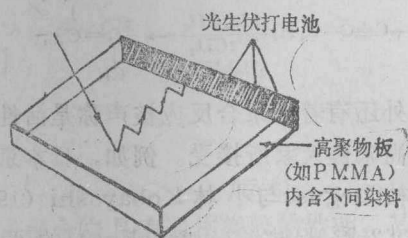


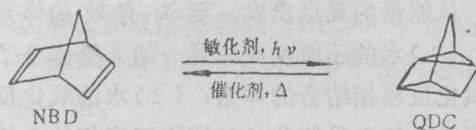
图 1 太阳聚光器图



吴世康 1955年毕业于北京大学化学系, 1958~1960年在苏联科学院物理化学研究所进修。现任中国科学院感光化学研究所研究员、所学术委员会副主任、中国化学会光化学委员会委员兼秘书、《感光科学与光化学》学报副主编及《高分子学报》编委。多年从事于高分子光化学研究, 在分子的光敏化和光稳定方面做过较系统的工作。

所用染料而异,如可设计与端部相联太阳能电池响应波长相匹配的聚光器,使电池无论在阴天或晴天均能很好地工作。

从太阳能的转换方面看,首先要讨论的是太阳能和化学能间的转换。人们熟知的降冰片二烯(NBD)通过光异构化反应生成四环烷(QDC)高能化合物,是太阳能通过化学反应得以储存的一个典型例子。



由于四环烷分子中存在着张力小^[1],因而是一种高能化合物,它虽然在热力学上不太稳定,但由于价键异构体间存在着较高势垒,因此仍具有一定的动力学稳定性,它的逆向放热反应可用一系列不同的过渡金属络合物催化剂来促使其发生,而这种催化剂以及促使正向异构化储能反应的敏化剂(由于NBD的吸收光谱范围过短)一般都要求通过“高分子化”而使之固定于系统之中。

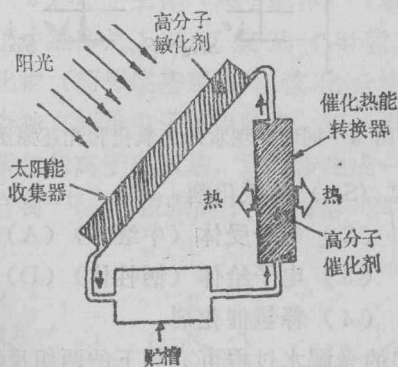
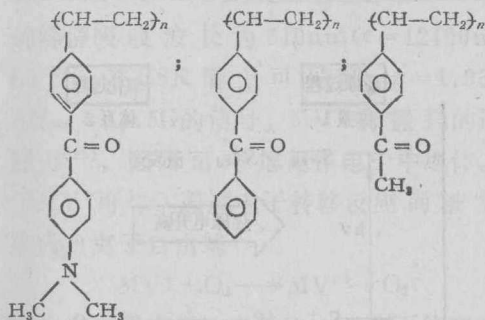
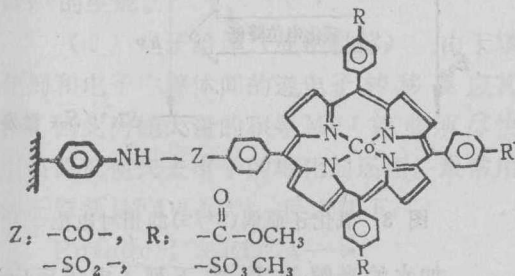


图2 太阳能/化学能/热能的转换系统

常见的高分子光敏剂和高分子催化剂有如下结构。高分子敏化剂:聚4-(N,N-二甲基氨基)苯甲酰基苯乙烯、聚苯甲酰基苯乙烯、聚乙酰基苯乙烯等;



高分子催化剂:如聚四苯基卟啉钴(II):



太阳能转换中获得能量最重要的途径之一是通过光化学氧化还原过程实现太阳能光分解水制氢,这是通过系统中吸光物种的激发态与另一物种间的电子转移反应实现的。作为电子给体的分子在吸收一个光子使自己处于较高能态时,它的给电子能力($S_{\text{Red}}^+ / S_{\text{Red}}$)*要较分子处于基态时($S_{\text{Red}}^+ / S_{\text{Red}}$)为强,而作为电子受体的分子,当吸收一光子后,则可使其原初能级中产生一个“空穴”,于是被激发的受体分子就成为较其基态有更强接受电子能力的电子受体($S_{\text{ox}}^+ / S_{\text{ox}}$)*。这些特点可从图3中得到更清晰的了解,表明在光照条件下促进了体系中电子转移的发生。光解水制氢,自1972年日本的本多和藤岛^[15]提出第一篇研究报告以来,已有大量的论文发表。归纳起来有如下两大类工作^[16,17]。

1. 通过光化学氧化还原反应(包括光的吸收、水的氧化和还原等不同步骤),实现水的光解。

2. 通过对半导体/液结(界面体系)的光照,驱动氧化还原过程的发生,实现水的光解。本多等的工作即属于后一类。

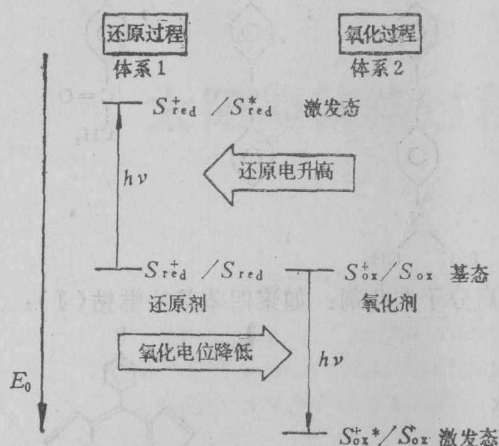
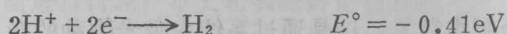
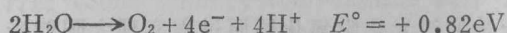


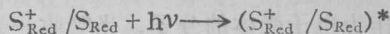
图 3 氧化还原偶(S^+/S)的相对电位

如水的光解过程按下列 4 电子反应进行,



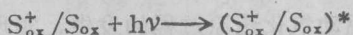
则同时实现如上述的光氧化和光还原反应, 可有下列两种不同的情况^[18]。

1. 当氧化还原体系中还原剂吸收一个光子时,



如还原剂的氧化还原偶 $\text{S}_{\text{Red}}^+/\text{S}_{\text{Red}}$ 在基态时的氧化还原电位为 1.05eV, 则当它吸收一波长为 700nm 的光子 (1.76eV), 即可产生电位于 -0.71eV 的该氧化还原偶的激发态 $(\text{S}_{\text{Red}}^+/\text{S}_{\text{Red}})^*$ 。在这样情况下就能使该氧化还原偶在基态时实现对水的氧化和在激发态时实现对水的还原。结合 4 电子过程要求氧化和还原反应的 E° 值, 可以算出能同时实现水的光氧化和光还原过程, 还原剂氧化还原偶在基态时的氧化还原电位应在 0.81~1.31eV 之间。

2. 当体系中的氧化剂 ($\text{S}_{\text{Ox}}^+/\text{S}_{\text{Ox}}$) 吸收一光子时,



如该氧化还原偶在基态时的氧化还原电位为

-0.66eV, 则当它吸收一与上述相同能量的光子时 (700nm, 1.76eV), 就可得到一电位为 1.1eV 的激发氧化还原偶 $(\text{S}_{\text{Ox}}^+/\text{S}_{\text{Ox}})^*$, 这就可使该氧化还原偶在基态时能还原水, 而在激发态时对水进行氧化。和上述一样, 只要氧化还原偶 ($\text{S}_{\text{Ox}}^+/\text{S}_{\text{Ox}}$) 在基态时的氧化还原电位处于 -0.42~-0.95eV 之间时, 它就可同时实现对水的光氧化和光还原反应, 见图 4。

从能量的观点出发, 更为有效的体系是: (1) 水的还原反应和另一加入给体分子的氧化反应相结合的体系; (2) 水的氧化反应和另一加入受体分子的还原反应相结合的体系。而实际上一个真实的、水的光还原体系要求由下列几种组分所组成:

(1) 可形成氧化还原偶 ($\text{S}_{\text{Red}}^+/\text{S}_{\text{Red}}$

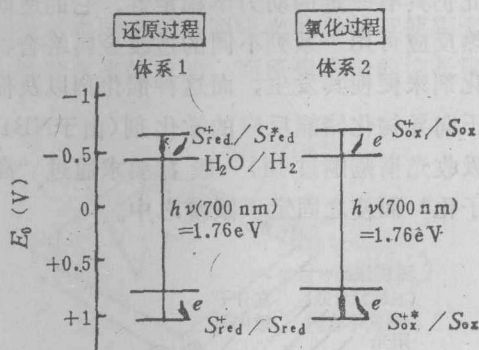


图 4 同时实现水的光氧化和光还原图解

或 $\text{S}_{\text{Ox}}^+/\text{S}_{\text{Ox}}$ 的敏化剂;

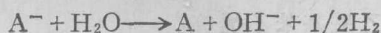
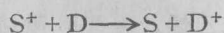
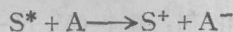
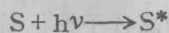
(2) 电子受体 (中继体) (A);

(3) 电子给体 (牺牲体) (D);

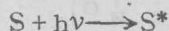
(4) 释氢催化剂。

它们的光解水过程可有如下的两组反应:

1. 通过敏化剂 (S) 和电子受体 (中继体, A) 所组成的水的光还原反应:



2. 通过敏化剂和电子给体(D)所组成的水的光还原反应:



为避免经光诱导电子转移和电荷分离后, 荷电物种的重合, 上式中最后一个反应常有组织的分子集合(Assembly)如胶束、微乳液以及双层类脂膜(BLM)中进行。下面将分别对4组分及其高分子化问题作进一步介绍。

(1) 敏化剂 许多金属络合物及染料都曾成功地用作敏化剂。最有希望的敏化剂之一是联吡啶钌^[19-21], 它在水中的最大吸收波长为452nm, 摩尔吸收系数为 $1.38 \times 10^4 \text{ mol/L}$, 当以波长短于560nm的光照射时可生成一寿命为0.6 μs (25 $^\circ\text{C}$, 水中)的激发三重态。以联吡啶钌为敏化剂的4组分体系 $[\text{Ru}(\text{bpy})_3^{2+} \text{X}^{2-}/\text{甲基紫精} \text{MV}^{2+}/\text{电子给体EDTA}/\text{催化剂胶体铂}]$ 已获得广泛的研究。其他重要的敏化剂如卟啉^[22]、酞菁^[22]等的4组分体系也已进行了大量工作。

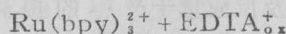
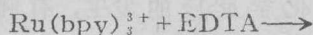
(2) 电子受体(及中继体) 最著名的电子中继体是1,1'-二烷基-4,4'-联吡啶二氯化物(简称烷基紫精)。该化合物可经历两个独立的单电子还原阶段, 第一步生成一深紫色的离子自由基, 第二步生成一中性红化合物^[23]。紫精阳离子自由基(MV^+)

的峰值吸收波长为610nm($\epsilon=12400 \text{ mol/L}$)^[24], 在ESR谱上可见到 $g=1.967$ 、 $\Delta H_{\text{msl}}=13.5 \text{ G}$ 的信号。 MV^+ 有极强的还原能力^[25], 因而可考虑用作电子中继体。由于 MV^+ 可与 O_2 通过电子转移反应而被氧化生成负离子自由基



因此在实验中要注意除 O_2 , 否则不能观察到 MV^+ 的生成。

(3) 电子给体(或牺牲体) 由于敏化剂和电子中继体间的逆电子转移反应甚快, 因此为能大量的积累 MV^+ 就必须尽快用还原剂使失去电子的敏化剂还原。最常用的还原剂是EDTA^[26], 反应如下:



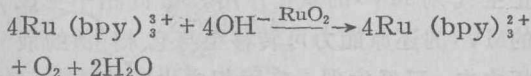
产物

其他常用的还有三乙醇胺、三乙胺、巯基丙氨酸等。

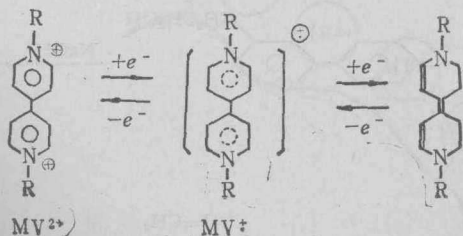
(4) 释氢催化剂 MV^+ 虽说从热力学角度能还原水制氢, 但反应不能自发进行, 必须借助于催化剂的作用, 如加入胶体铂^[27]或氢化酶^[28]等, 反应如下式:

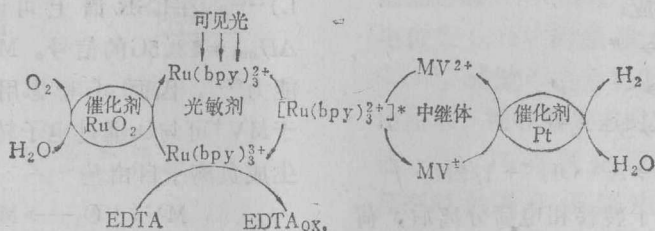


要指出的是: $\text{MV}^{2+}/\text{MV}^+$ 的还原电位在pH为7时是-0.44eV。当存在催化剂使 MV^+ 还原水制氢时, 其产率以在酸性条件下为佳。但在4组分体系中 MV^+ 的产率又会因介质呈酸性而降低, 而在碱性条件下成倍增长^[29], 因此对含这两个过程的光解水体系pH值的调整是十分重要的。此外, 如希望在释氢的同时实现对 OH^- 的氧化而得氧, 则还应在体系中加入另一种催化剂 RuO_2 ^[30], 如下式:



于是4组分体系光解水得氢和氧的总反应图式^[31]如下:



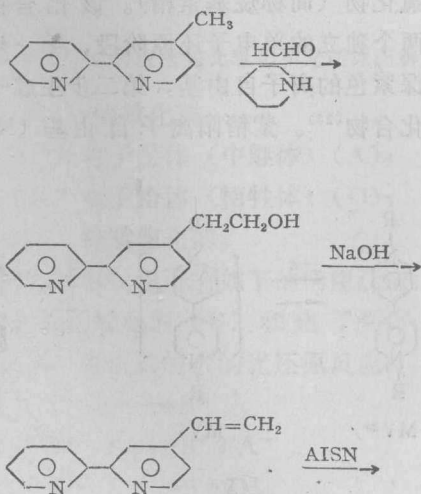


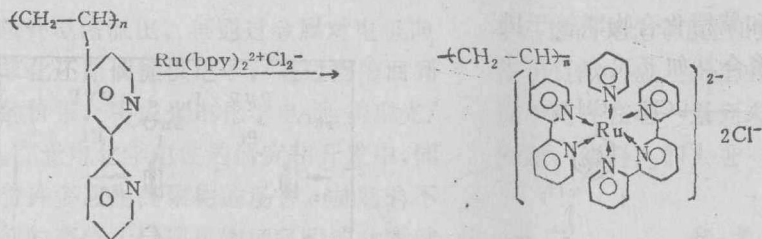
在作了上述的基本讨论后, 现将进一步讨论高分子科学和它的关系。事实上, 上述4组分(包括催化剂)都已在它们的“高分子”化方面进行了大量工作。高分子化的目的是多种多样的, 但最重要的应是如何有利于促进上述光化学反应的发生, 有利于 MV^+ 的积累以及反应量子产率的提高等。固相的高分子基体可成为4组分体系的载体, 如将联吡啶衍、甲基紫精、EDTA等都固定于一高分子薄膜(如纤维素纸^[32]、玻璃纸^[33]以及多酐类如淀粉制成的膜)中。这种体系经光照后能在固相中生成 MV^+ , 使基体变成深蓝色。值得指出的是在固相条件下, 甚至有氧存在时, 仍能使 MV^+ 得到积累。相反, 在溶液或在脂质体及胶束中, MV^+ 仅能在无氧条件下积累^[34]。已知少量水的吸附会大大影响 MV^{2+} 光还原为 MV^+ , 因此, 可以认为这些载体结构为反应提供了一个良好的憎水环境, 而有利于反应的进行。归纳起来纤维素类载体的功能是^[32]:

(1) 能使各反应组分以分散状态固定于基体中, 使有利于入射光的吸收和组分间的电子转移; (2) 由于在固体中分子运动受到阻滞, 可使 $Ru(bpy)_3^{3+}$ 的发光效应得以增强; (3) 固相基体使 MV^+ 得以稳定, 并防止空气对 MV^+ 的氧化作用。在固相中生成的 MV^+ 的还原能力可转移至与它相接的液相中去, 已经发现: 在固相中生成的 MV^+ 可通过界面电子转移使其周围的含氧水中生成过氧化氢。此外, 对在固-液界面上光的

诱导电子中继体系也曾有过报道, 人们用联有 $Ru(bpy)_3^{3+}$ 的聚苯乙烯体系薄膜^[35]投入到含有EDTA和 MV^{2+} 的水溶液中, 通过固-液间的电子转移, 使液相中的 MV^{2+} 还原为 MV^+ 。有人估计, 这种在固相中的 $Ru(bpy)_3^{3+}$ 将电子转移给液相中的 MV^{2+} 的表观速度常数, 要比上述两组分均存在于液相中时为快, 这种在异相条件下光化学反应的加速进行引起了人们极大的兴趣。“高分子化”反应则为提供异相反应环境的一种极为重要的手段。

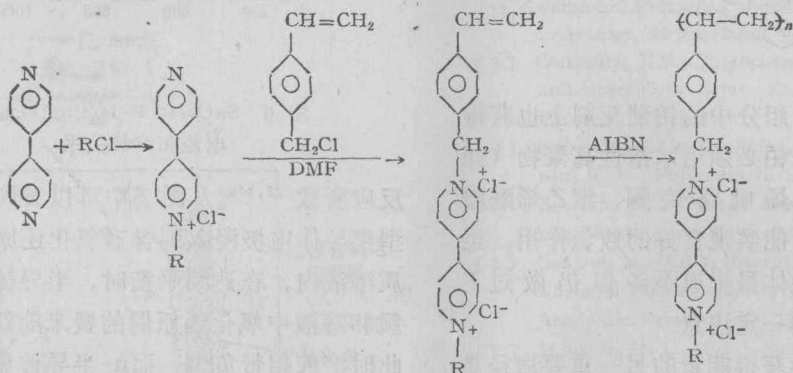
上述4组分中以敏化剂和电子中继体的“高分子化”问题研究得最多。如以聚(4-乙烯-2,2'-联吡啶)为例^[36], 其合成步骤如下式:





其他的敏化剂如卟啉、酞菁等都有大量的有关“高分子化”的合成以及性能方面的研究报告，这里不一一赘述。

电子中继体如甲基紫精的“高分子化”一般有如下合成步骤^[37]：



曾有人研究过部分还原的紫精高聚物 ESR 谱发现：在这种高分子内，因电子的光致注入使 MV^{2+} 还原为 MV^+ ，由于相邻紫精侧基单元间的电子转移，可使注入的电子在整个高分子链上离域化，使电子能沿着整个高分子链转移、运动，可很方便地使电子从光氧化还原的反应中心迁移到释氢催化剂（如胶体

铂）处，如图 5 所示^[38]。显然，这一结果不仅能使 4 组分放氢体系提高电子转移速率，而且还能有力地防止逆向电子转移的发生。紫精聚合物还能使紫精基团以处于主链的情况出现，如以 4,4'-联吡啶和 α, α' -二溴二甲苯或二溴丁二烯反应：

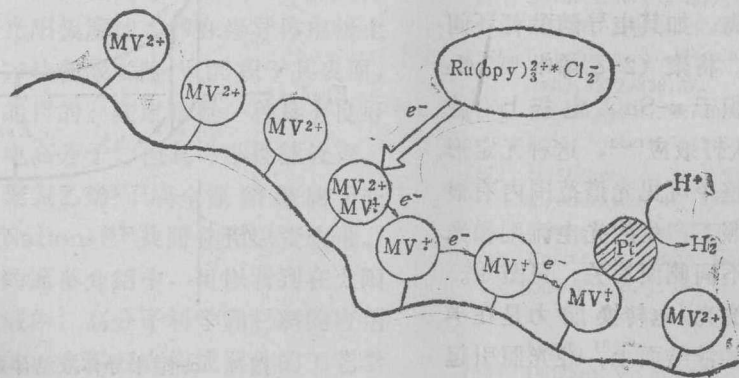
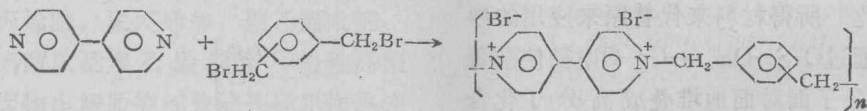
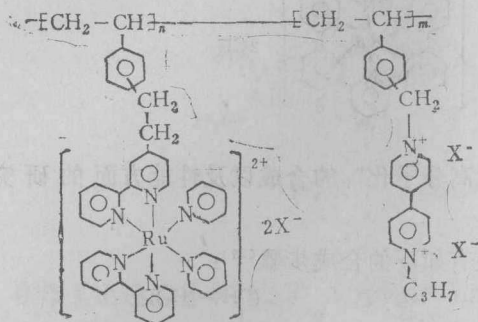


图 5 在“高分子化”体系中的电子转移

此外, 还有将敏化剂和紫精化合物联接于同一高分子链上进行共聚合, 如下式:



高分子材料在 4 组分中的铂催化剂上也获得了应用, 如胶体铂必须用水溶性高聚物 (如聚乙烯醇、聚乙烯吡咯烷酮、聚乙烯酰胺等) 所稳定, 才能实现良好的放氢作用。至于高分子的牺牲体虽报道不多但仍做过工作, 说明也受到一定注意。

太阳能转换获得能量的另一重要途径是通过光电化学体系实现光电转换。半导体液晶电池和半导体/金属光生伏打电池不同, 前者的导体是液体电解质中的离子, 而后者则为电子。在太阳能工艺学讨论中曾提到高聚物用作光生伏打电池的密封材料, 事实上, 高分子材料还可用于该类电池制作中的核心部件, 如以高分子半导体或有机半导体“高分子化”所得材料来代替原来应用的半导体。如通过O-Si-O或O-Ge-O途径使酞菁类^[39]有机分子面对面地堆叠成高分子化合物^[40], 而其光/电行为则依赖于酞菁基的堆叠状况和其间的距离, 如其电导随酞菁环间距离的减小而增大。将聚(2-乙烯吡啶)/I₂所形成的络合物沉积于n-SnO₂电极上有着十分有趣的光生伏打效应^[41], 这种无定形的高分子络合物在整个可见光谱范围内有很强的吸收, 而在光照下产生的光电流则和光的波长以及照射的不同侧面有关, 见图6。

光电化学电池的光/电转换能力是在半导体和电解质溶液的液结面上, 经光照引起界面电荷分离, 继而在体系内发生氧化还原

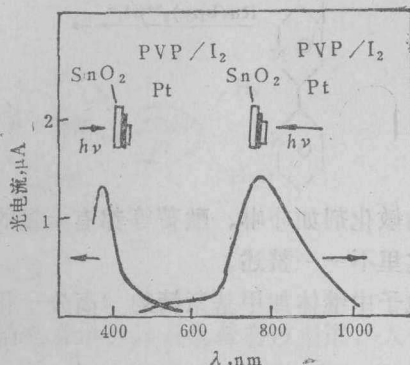


图6 SnO₂/PVP-I₂/Pt 光电池的
电流和波长关系

反应所致^[42,43]。从图7中可以看到, 当一n-型半导体电极浸入到含有氧化还原偶的电解质溶液内, 在达到平衡时, 半导体的费米能级和溶液中氧化还原偶的费米能级相一致, 此时溶液相带负电, 而n-半导体则带正电, 形成一由半导体体相指向溶液方向的内建电场 $\vec{E}$, 由于在半导体表面层过剩正电荷的分布所建立的空间电荷区(SCR)内离半导体表面不同距离处电位的不同, 于是出现了能带弯曲的现象。当电极被光照射时, 电子发生跃迁, 在半导体的导带和价带产生出电子和空穴。由于能带向下弯曲, 电子通过半导

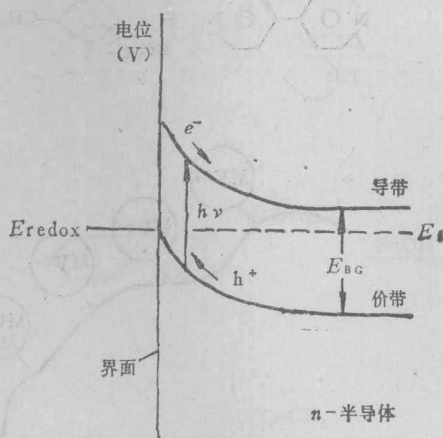


图7 n-型半导体液结体系
光诱导电荷分离图

体电极向外电路流出,再通过金属对电极向溶液中氧化还原偶提供电子,通过溶液回到半导体的价带,构成光电化学电池实现光/电转换。在光电化学电池的研究和开发中,同样存在着许多应用高聚物的场合。如将含不同敏化剂的高分子层通过物理吸附或化学键合方法对电极进行修饰来改善电极的工作条件^[44],如图8所示。

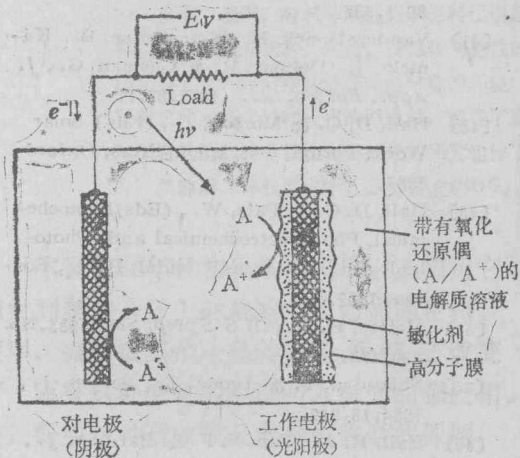


图8 电极上涂高聚物层的光电化学电池

下列化合物如四(N-甲基吡啶)卟啉、孟加拉玫瑰、亚甲基蓝等都曾被用作敏化剂,而聚丙烯腈、聚丙烯酸、聚乙烯吡啶、聚苯乙烯磺酸以及聚乙烯醇等^[45]极性高聚物以及高聚物电解质等都曾被选择用作高分子涂层材料。此外,为防止n-型半导体光电化学电池的光阳极腐蚀,曾在半导体电极上通过电聚合方法使聚吡咯^[46]沉积于其表面,以达到保护的目的。聚吡咯是一种具有良好稳定性的导电高分子,但其力学性能较差,因此它常和聚氯乙烯^[47]或全氟磺酸离子交换高聚物(Nafion)^[48]共同使用以资改进。

在上面的简单介绍中,可以看到在太阳能利用的领域内,高分子科学和材料的应用是十分重要的,它不仅在构成器件的工艺学方面起到作用,而且在促进体系的转换效

率、提高光化学反应的量子产率等方面都能作出贡献。应当指出的是,在这一方面的研究中尚存在着一系列未完全揭示出来的科学问题,值得人们去进一步研究探索。

参考文献

- [1] Archer, M. D., *Photochemistry*, 1981, 11, 616.
- [2] Braum, A. M., (Ed.), *Photochemical Conversions*, Pressed Polytechnique Romands, Lausanne, Switzerland, 1984.
- [3] Connolly, J. S., *Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy*, Academic Press, N. Y., 1981.
- [4] Gebelein, C. G., Williams, D. J. & Deanin, R. D., *Polymers in Solar Energy Utilization*, *ACS Symp. Ser.*, No. 220 Am. Soc. Washington D. C., 1983.
- [5] Grätzel, M. (Ed.), *Energy Resources Through Photochemistry and Catalysis*, Academic Press, N. Y., 1983.
- [6] Hautala, R. R. (Ed.), *Solar Energy: Chemical Conversion and Storage*, The Humana Press, 1979.
- [7] Geddes, K. A. and Deanin, R. D., *Chemtech.*, 1982, 736 (Dec).
- [8] Wilhelm, W. G., *ACS Symp. Ser.*, No. 220, 1983, 27.
- [9] Paul, D. F. and Gumbs, R. W., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1977, 21, 959.
- [10] Cuddihy, E. F., Coulbert, C. D., Willis, P., Baum, B., Garcia, A. and Mining, C., *ACS Symp. Ser.*, No. 220, 1983, 353.
- [11] Batchelder, J. S., Zewail, A. H. and Cole, T., *Appl. Optics*, 1981, 20, 3754.
- [12] 吴世康、戴光松, 能源材料通讯, 1985, 3, No. 4, 56.
- [13] Hautala, R. R., Little, J. and Sweet, E., *Solar Energy*, 1977, 19, 503.
- [14] 郑曼丽、吴世康, 化学学报, 1988, 46, 796.
- [15] Fujishima, A., Honda, K., *Nature (London)*, 1972, 238, 37.
- [16] Bolton, J. R., Strickler, S. J. & Connolly, J. S., *Nature*, 1985, 316, 495.
- [17] Harriman, A. & West, M. A., (Ed.) *Photogeneration of Hydrogen*, Academic Press, London, 1982.
- [18] Porter, G., *Light, Chemical Change and Life* (Coyle, J. D., Hill, R. R. & Roster, D. R., (Ed.) P. 355, The Open Univ. Press, 1982.
- [19] Balzani, V., Moggi, L., Manfin, M. N., Bolletta, F. & Laurence, G. S., *Coord.*

- Chem. Rev.*, 1975, 15, 321.
- [20] Durham, B., Caspar, J. V., Nagle, J. K. & Meyer, T. J., *J. Am. Chem. Soc.*, 1982, 104, 4803.
- [21] Felix, F., Ferguson, J., Güdel, H. U., & Ludi, A., *J. Am. Chem. Soc.*, 1980, 102, 4096.
- [22] Richoux, M. C., Photogeneration of Hydrogen (Harriman, A. & West, M. A., Eds.), p. 39, Academic Press, London, 1982.
- [23] Balzani, V., Bolletta, F., Gandolfi, M. T. & Maestri, M., *Top. Curr. Chem.*, 1978, 75, 1.
- [24] Steckhan, E., & Kuwana, T., *Ber. Bunsenges, Phys. Chem.*, 1974, 78, 253.
- [25] Kaneko, M. & Yamada, A., *Adv. Polym. Sci.*, 1984, 55, 2.
- [26] Kaneko, M. & Yamada, A., *Photochem. Photobiol.*, 1981, 33, 793.
- [27] Kiwi, L. & Grätzel, M., *J. Am. Chem. Soc.*, 1979, 101, 7214.
- [28] Chuaqui, C. A., Lynn, K. R., Williams, R. E. & Martin, S. M., *Makromolek. Chem.*, 1980, 181, 651.
- [29] Kalyanasudaran, K., Kiwi, J. & Grätzel, M., *Helv. Chim. Acta*, 1978, 61, 2720.
- [30] Kiwi, J. & Grätzel, M., *Angew. Chem. Int. Edn.*, 1979, 17, 860.
- [31] Grätzel, M., Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy (Connolly, J. E., Ed.), p. 131, Academic Press, N. Y., 1981.
- [32] Kaneko, M., Motoyoshi, J. & Yamada, A., *Nature*, 1980, 285, 468.
- [33] Milosavljevic, B. H. & Thomas, J. K., *Macromolecules*, 1984, 17, 2244.
- [34] Kalyanasudaran, K., *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, 1978, 628.
- [35] Kaneko, M., Ochiai, M., Kinoshita, K. & Yamada, A., *J. Polym. Sci.*, A1, 1982, 20, 1011.
- [36] Furue, K., Sumi, K. & Nozakura, S., *Chem. Lett. Chem. Soc. Jap.*, 1981, 1349.
- [37] Ageishi, K., Endo, T. & Okawara, M., *J. Polym. Sci.*, A1, 1983, 21, 175.
- [38] Nishijima, T., Nagamura, T. & Matsuo, T., *J. Polym. Sci. B.*, 1981, 19, 65.
- [39] Baumeister, P., *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Engrs.*, 1977, 85, 47.
- [40] Marks, T. J., Schjoch, K. F. Jr. & Kundalkar, B. R. *Synthetic Metals*, 1979/80, 1, 337.
- [41] Vander Donck, E., Noirhomme, B., Kaniicki, J., Deltour, R. & Gusman, G., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1982, 27, 1.
- [42] Hall, D. O. & Morton, J., (Eds) *Solar World Forum*, Pergamon Press, Oxford, 1981.
- [43] Hall, D. O. & Palz, W., (Eds) *Photochemical, Photoelectrochemical and Photobiological Processes*, Reidel Publ., Boston, 1982.
- [44] Mettee, H. D., *ACS Symp. Ser.*, 1983, No. 220, 473.
- [45] Shimidzu, T. & Iyoda, T., *Polym. J.*, 1984, 16, 919.
- [46] Bull, R. A., Fan, F. F. & Bard, A. J., *J. Electrochem. Soc. Electrochem. Sci. Technol.*, 1981, 129, 1009.
- [47] Depaoli, M. A., Waltman, R. J., Diaz, A. F. & Bargon, J., *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, 1984, 1015.
- [48] Fan, F. F. & Bard, A. J., *J. Electrochem. Soc.*, 1986, 133, 301.

Application of Polymers in Solar Energy Conversion

Wu Shikang

(Institute of Photographic Chemistry, Academia Sinica, Beijing)

Summary Recently, the polymer materials have been applied extensively in the field of solar energy utilization. The goal of this article is to introduce and discuss this area from both solar energy technologies and solar energy conversions. But, the emphasis of our discussion is to describe the latter.

Key words Solar energy utilization, Polymer materials, Solar energy conversion, Photoelectrochemistry