

太阳能光解水制氢的研究进展

上官文峰*

(上海交通大学动力与能源工程学院资源与环境工程系, 上海 200030)

本文概述了利用光催化技术催化分解水制氢的反应机理和研究进展。结合作者的最近研究, 重点描述了 TiO₂ 及过渡金属氧化物、层状金属氧化物以及某些能利用可见光的光催化材料的结构和光催化特性, 阐述了该课题的意义和今后的研究方向。

关键词: 光催化 氢能 太阳能转换
分类号: O613.2

0 前言

氢能, 已普遍被人们认为是一种最理想的新世纪无污染的绿色能源。这是因为氢的燃烧, 水是它的唯一产物。另外, 氢无臭无毒, 储存、运输方便, 使用安全。氢在大气中并不存在, 但它大量地存在于各种水中。可通过电解等方法从水中获得氢气, 但需很大的能量供给, 成本极高。以方便而廉价的方法制备氢气, 则成为能源和环境科学工作者梦寐以求的愿望。日本学者藤屿 (Fujishima) 和本多 (Honda) 对光照 TiO₂ 电极导致水分解从而产生氢气这一现象的发现^[1], 揭示了利用太阳能分解水制氢—或者说将太阳能直接转换为化学能的可能性。随着由电极电解水演变为多相催化分解水, 以及 TiO₂ 以外许多新型光催化剂的相继发现, 近些年来日本、欧美等国兴起了以光催化方法分解水制氢(以下称“光解水”)的研究, 并且已在光催化剂的制备、改性、以及光催化理论等方面取得较大进展。本文概括众多的研究论文, 并结合作者自己近年来的相关研究, 就该领域的研究进展作一综述。

1 光解水原理

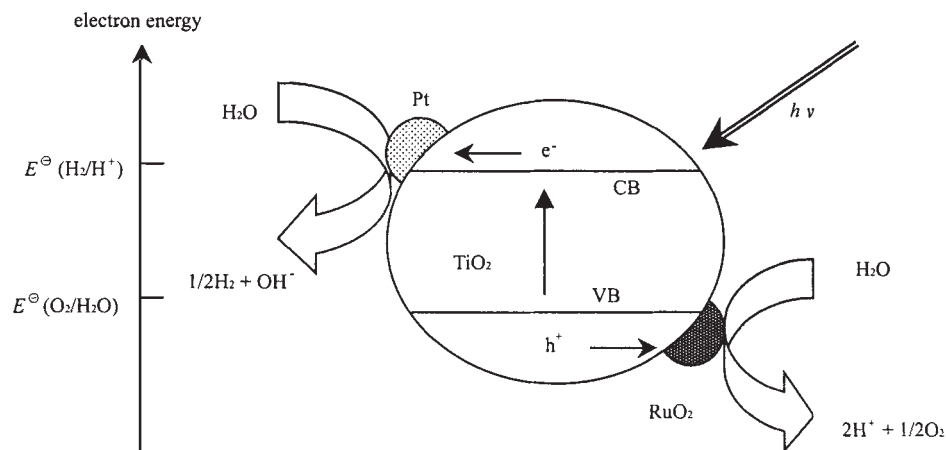
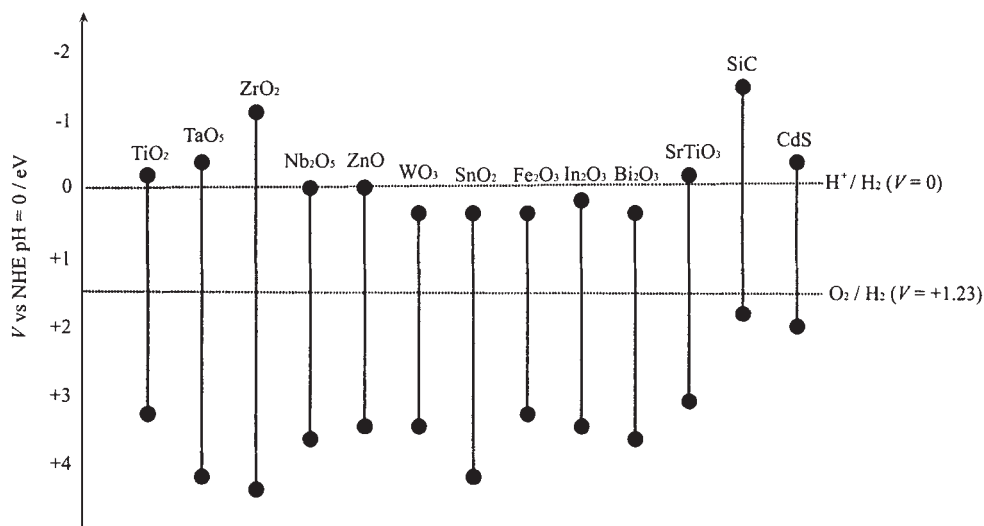
水是一种非常稳定的化合物。从水这一反应物到氢气和氧气产物的变化, 是一个能量增大的非自发反应过程。在标准状态下若要把 1mol 的水分解为氢气和氧气, 则需 237kJ 的能量。图 1 显示了在光和半导体光催化剂(以 TiO₂ 为例)的共同作用下上述化学反应的实现过程。TiO₂ 为 n 型半导体, 其价带(VB)和导带(CB)之间的禁带宽度为 3.0eV 左右。当它受到其能量相当或高于该禁带宽度的光辐照时, 半导体内的电子受激发从价带跃迁到导带, 从而在导带和价带分别产生自由电子和电子空穴。水在这种电子-空穴对的作用下发生电离, 生成 H₂ 和 O₂。TiO₂ 表面所负载的 Pt 和 RuO₂, 分别能加速自由电子向外部的迁移, 促进氢气的产生和加速

收稿日期 2001-05-14。收修改稿日期: 2001-07-21。

国家自然科学基金资助项目 (No. 50076026) 及教育部留学回国人员启动基金的资助。

* 通讯联系人。

作者: 上官文峰, 男, 42 岁, 博士, 教授, 研究方向: 清洁能源及环境触媒。

图 1 TiO_2 光解水的反应机理Fig. 1 Mechanism of the photocatalytic decomposition of water into H_2 and O_2 on TiO_2 图 2 各种半导体化合物的能带结构同水分解电位的对应关系 ($\text{pH} = 0$)Fig. 2 Valence and conduction band positions for various semiconductors, and relevant redox couples for the photocatalytic production of H_2 and O_2 from H_2O (at $\text{pH} = 0$)

正孔的迁移有利于氧气的生成。

必须指出的是,并非其位于价带的电子能被光激发的半导体都能分解水。除了其禁带宽度要大于水的电解电压(理论值 1.23 eV)外,还有来自于电化学方面的要求,价带和导带的位置必须要分别同 $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$ 的电极电位相适宜。具体地说,半导体价带的位置应比 $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ 的电位更正(即在它的下部),而导带的位置应比 $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$ 更负(即在它的上部)。图 2 列出了一些半导体材料的能带结构和光解水的所要求的位置关系^[2,3]。这也表明了许多半导体材料不能进行光解水的原因所在。光解水能否进行或效率如何还与以下因素相关:(1)受光激励产生的自由电子-空穴对的多少;(2)自由电子-空穴对的分离、存活寿命;(3)再结合及逆反应的抑制等。光解水的关键是构筑有效的光催化材料。实际上,从 TiO_2 、过渡金属氧化物、层

状金属氧化物到能利用可见光的复合层状物的发展过程, 则反映了光解水发展的主要进程。

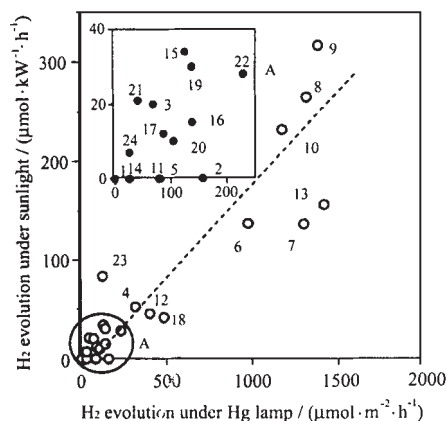
2 TiO₂ 及过渡金属氧化物系光催化剂

由 TiO₂-Pt 电极对^[1]的光解水模式演变形成了固体粉末光催化剂 Pt/TiO₂ (TiO₂ 表面负载 Pt 体系), 并成为光催化剂的典型代表。但最初人们只能从水的分解中检测到氢气而未有氧气。最初报道由水的完全分解而同时产生氢气和氧气的是 Pt/TiO₂ 在硫酸水溶液系统中^[4]。1980 年 Sato 等^[5, 6]将 Pt/TiO₂ 表面覆置 NaOH, 在水蒸汽中进行光分解实验, 发现了氢气和氧气的同时产生。几乎同时, 报道了利用 TiO₂ 表面同时负载 Pt 和 RuO₂ 的光催化剂得到了水的完全分解^[7, 8]。表面负载 Rh^[9]、NiO_x^[10]以及在水中添加 Na₂CO₃^[11]将明显提高水的分解速度。

继 TiO₂ 后, 具有钙钛矿型结构的 SrTiO₃ 也被广泛的研究。Domen 等^[12]发现了 NiO/SrTiO₃ 具有较高的光催化活性, 并能完全分解水。Lehn 等^[13]研究了 SrTiO₃ 负载各种贵金属后的光解水特性, 结果表明 Rh/SrTiO₃ 具有更高的光催化效率。同属钙钛矿型 KTaO₃ 的光解水性能也被证实, 并且 Zr、Hf 等的掺入将促进光催化反应^[14, 15]。

至今的光解水反应一般是采用内部照射法, 其光源为紫外线较强的高压汞灯或比较接近太阳光的氙灯。各研究者所使用的光源、光反应器以及所用的催化剂和水的量等都不一样, 因此各个结果之间无法进行比较。另外, 催化剂 - 水悬浊液在磁力搅拌下受光照进行反应, 更加增大了体系的复杂性。笔者及共同合作者^[16]考虑到研究系统能更接近于今后的实际应用状态, 采取了无外加动力搅拌的外部垂直照射法, 以高压汞灯和太阳光为光源, 对一系列半导体氧化物进行了光解水研究。为便于比较和判断, 将分别以水银灯下的反应活性和太阳光下的反应活性为横坐标和纵坐标, 所得结果如图 3 所示。可以看出: (1) 根据其活性的大小, 这些光催化剂大致可分为两组。表面负载 Pt、RuO₂ 的 K₂Ti₆O₁₃、Na₂Ti₆O₁₃ 以及 BaTi₄O₉ 等具有较高的光催化活性, 负载催化剂的效果明显。这是因为 K₂Ti₆O₁₃、BaTi₄O₉ 等属于网状结构, 其表面的凹凸不平、均匀分布的纳米级“雀巢”, 使负载物同其表面的接触更为紧密, 从而加速了自由电子或正孔的迁移速度^[16-18]。(2) 各种光催化剂大致在一条直线上的结果, 暗示了太阳光中也仅有紫外线对光催化作贡献。我们用紫外线过滤膜所得到的实验结果证明了这一结论。

光解水的过程是化学和物理综合作用的过程。研究者在不断对光催化剂本身研究的同



- (1) 0.3wt% Pt/K₂Ti₂O₅, (2) 0.3wt% Pt/K₂Ti₃O₇,
- (3) 0.3wt% Pt/(Na, H)₂Ti₃O₇, (4) 0.3wt% Pt/Na₂Ti₄O₉,
- (5) Na₂Ti₆O₁₃, (6) 0.3wt% Pt/Na₂Ti₆O₁₃,
- (7) 1.3wt% RuO₂/Na₂Ti₆O₁₃, (8) 0.3wt% (Na, H)₂Ti₆O₁₃,
- (9) 0.3wt% Pt/K₂Ti₆O₁₃, (10) 0.3wt% Pt/(K, H)₂Ti₆O₁₃,
- (11) BaTi₄O₉, (12) 0.3wt% Pt/BaTi₄O₉,
- (13) 1.3wt% RuO₂/BaTi₄O₉, (14) K₄Nb₆O₁₇,
- (15) 0.3wt% Pt/K₄Nb₆O₁₇, (16) (K, H)₄Nb₆O₁₇,
- (17) KCa₂Nb₃O₁₀, (18) 0.3wt% Pt/KCa₂Nb₃O₁₀,
- (19) 1.3wt% RuO₂/KCa₂Nb₃O₁₀, (20) KCa₂NaNb₄O₁₃,
- (21) KTiNbO₅, (22) 0.3wt% Pt/KTiNbO₅,
- (23) 1.3wt% RuO₂/KTiNbO₅, (24) KTiTaO₅

图 3 各种光催化剂分别在高压水银灯和太阳光照射下的光解水速度

Fig. 3 H₂ evolution under the radiation of high-pressure mercury lamp and sunlight on various catalysts

时,也在积极地通过其它途径探索提高效率的方法。笔者及合作者共同研究和开发了一种“湿床法”,它能使同样光催化剂光解水速度提高 2~3 倍以上^[19]。最近也有利用机械力-催化法分解水的研究报道^[20]。

3 层状金属氧化物

其结构类似于云母、粘土的某一些层状半导体金属氧化物,由于其层间可进行修饰,使其作为反应场,从而具有较高的光催化活性。

3.1 层状化合物 $K_4Nb_6O_{17}$

$K_4Nb_6O_{17}$ 的主体结构由 NbO_6 八面体所组成,具有两种不同的层(层 I 和层 II)交错而成的二维结构。作为中和电荷平衡而存在于层间的 K 离子能较容易地进行离子交换。一般地,在空气中层 I 能较容易地进行水合作用,而层 II 则不能。Domen 等^[21,22]将 Ni 离子导入 $K_4Nb_6O_{17}$ 的层 I 中,经还原-氧化处理后,得到具有高活性的光催化剂,所获得的 H_2 和 O_2 的比例为 2:1,证明了水的完全分解。对于这种高活性机理,Domen 等作了如下解释。在光的作用下, Ni-O 层中生成的自由电子 (e^-) 移向位于层 I 中的 Ni 金属超微粒子,从而形成氢气 (H_2)。而氧 (O_2) 则在层 II 形成。这样,由于氢氧在不同位置出现,使两者相对分离,抑制了逆反应进程,从而提高了氢的生成率(图 4)。

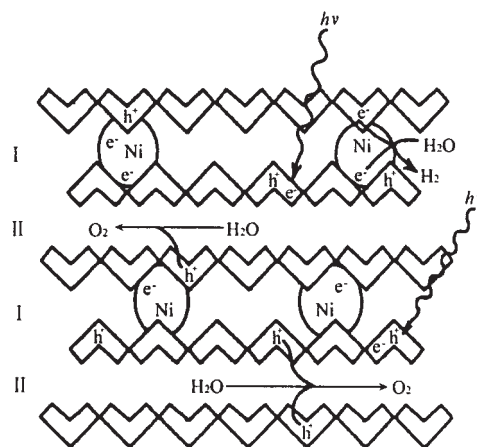


图 4 在 NiO- $K_4Nb_6O_{17}$ 上的光解水反应机理示意图
Fig. 4 Reaction mechanism of H_2O photocatalytic decomposition into H_2 and O_2 on NiO- $K_4Nb_6O_{17}$

3.2 钙钛矿型层状氧化物

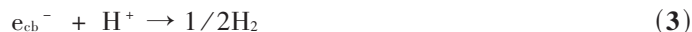
TiO_2 作为光解水催化剂,一般都需要负载白金 (Pt),这是因为 TiO_2 的导带位置同 H_2/H_2O 的电极电位过于接近所致。层状氧化物自身具有较高的氢生活性中心,无须担持 Pt 贵金属也能使得水分解成 H_2 和 O_2 。表 1 列举了一些具有层状钙钛矿结构的光催化剂的光解水特性,结果显示了 $K_2La_2Ti_3O_{10}$ 、 $Sr_2Ta_2O_7$ 、 $RbNdTa_2O_7$ 等都有较高的光催化活性。

从这些半导体化合物的禁带宽度也可看出,它们只能吸收可见光。但是, $K_2La_2Ti_3O_{10}$ ^[23]、 $NaTaO_3$ ^[27]等具有接近 30% 的量子效率。另外,也发现了不负载任何贵金属或过渡金属(或氧化物)也能实现水的完全分解的层状化合物,这是光催化材料之开发的一大进展。层状化合物的另一个特点在于它的多元素、复合型结构,这为材料的修饰和改进提供了更为广阔的技术空间。

4 能利用可见光的光解水材料

表 2 列出了可利用可见光的某些光催化材料。实验证实了仅在可见光作用下,用这些光催化剂能实现光解水反应。

从表 2 中可看出, CdS 的禁带宽度为 2.4eV 左右,具有很高的光催化活性。其光化学反应如下:



遗憾的是, 反应(2)往往被反应(4)所代替, 导致 CdS 的光解作用。



为克服这一不利反应, 可通过加入诸如 Na_2SO_3 、 Na_2S 等还原剂, 使得整个反应按以下步骤进行。

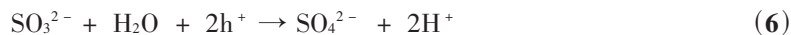


表 1 各种层状氧化物在紫外光作用下的光解水活性

Table 1 Activity of Photocatalytic Decomposition of Water on Various Layered Mixed Metal Oxides using UV-Light

photocatalyst	loading	bandgap/eV	activity/($\mu\text{mol} \cdot \text{h}^{-1}$)		ref. No.
			H ₂	O ₂	
$\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$	NiO_x	3.4 ~ 3.5	2186	1131	23
$\text{Sr}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$	NiO_x	3.9	110	36	24
$\text{Sr}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$	/	4.6	52	18	24
$\text{Sr}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$	NiO	4.6	1000	480	24
$\text{RbNdTa}_2\text{O}_7$	NiO	3.8	235	126	25
$\text{K}_3\text{Ta}_3\text{Si}_2\text{O}_{13}$	/	4.1	43	19	26
$\text{K}_3\text{Ta}_3\text{Si}_2\text{O}_{13}$	NiO	4.1	368	188	26

表 2 可见光作用下某些光催化材料的光解水活性

Table 2 Photocatalytic Activity of some Semiconductors for Water Decomposition using Visible Light

photocatalyst	bandgap/eV	loading	addition	activity/($\mu\text{mol} \cdot \text{h}^{-1}$)		ref. No.
				H ₂	O ₂	
CdS	2.4	Pt	Na_2SO_3	850	—	28
$\text{RbPb}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$	2.6	—	AgNO_3	—	1.1	29
$\text{HPb}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$	—	Pt	CH_3OH	3.2	—	29
Cu-ZnS	2.4	—	Na_2SO_3	450	—	30
$\text{In}_2\text{O}_3(\text{ZnO})_3$	2.6	Pt	CH_3OH	1.1	—	31
—	—	—	AgNO_3	—	1.3	31
Bi_2WO_6	2.8	—	AgNO_3	—	3	32

Photosource: Xe lamp(300 ~ 500W), $\lambda > 420\text{nm}$, Weight of photocatalysts: 1.0g

这些光催化反应有赖于氧化剂或还原剂(牺牲剂)来俘获自由电子或电子孔穴才得以进行。如何实现在可见光作用下水的完全分解($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 1/2\text{O}_2$)仍然有待于进一步研究。

半导体材料在光激励作用下生成的自由电子和正孔很容易再复合, 导致了光催化活性的下降。为了获得高活性的光催化反应, 必须要抑制这种再结合过程, 加速自由电子或正孔的快速迁移, 从而促使光解水的进行。Sato 及其共同研究者^[33, 34]以 $\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2$ 等作为前驱体进行层间反应, 将 CdS 等插入 $\text{H}_2\text{Ti}_4\text{O}_9$ 和 $\text{H}_4\text{Nb}_6\text{O}_{17}$ 层间, 大大提高了光解水效率。笔者等^[35, 36]用直接离子交换、硫化处理以及半导体掺杂等手法, 合成了具有层间复合结构的 CdS/ KTiNbO_5 、CdS/ $\text{K}_2\text{Ti}_{3.9}\text{Nb}_{0.1}\text{O}_9$ 、CdS/ $\text{K}_2\text{Ti}_{3.9}\text{Nb}_{0.1}\text{O}_9/\text{Pt}$ 等。从紫外-可见光吸收(图 5)和光解水活性(图 6)的结

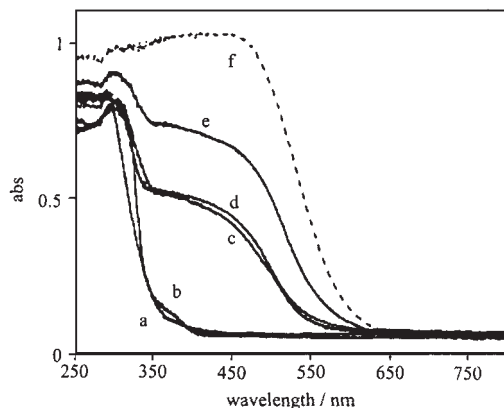


图 5 CdS 及其层状复合物的紫外 - 可见光吸收谱线

Fig. 5 UV-vis spectra of CdS and CdS-intercalated compounds

a: KTiNbO_5 ; b: $\text{K}_2\text{Ti}_4\text{O}_9$; c: $\text{CdS}/\text{KTiNbO}_5$;

d: $\text{CdS}/\text{K}_2\text{Ti}_4\text{O}_9$; e: $\text{CdS}/\text{K}_2\text{Ti}_{3.9}\text{Nb}_{0.1}\text{O}_9$; f: CdS

果比较可以看出, 同单一的硫化物、金属氧化物相比, 这些复合型催化剂的吸光性能介于前两者之间, 而其光催化活性高于前两者。

该结果表明了这种复合并不是两者的机械性简单叠加, 而是这种能级的匹配促使被激发电子从 CdS 转入 TiO_2 中 (Ti-O 层), 而空穴留在 CdS 中。这就明显增大了电子和正孔的有效分离, 提高了光催化效率 (图 7)。通过层间复合, CdS 同 TiO_2 (Ti-O 层) 的结合比其两者的机械混合更为紧密, 有利于自由电子的快速迁移。同时, 层间复合提高了材料的比表面积, 这也有助于催化活性的增大。金属氧化物中的掺杂 ($\text{CdS}/\text{K}_2\text{Ti}_{3.9}\text{Nb}_{0.1}\text{O}_9$), 改善了材料的半导性, 进一步加速了自由电子的迁移, 获得更高的光催化活性。

5 问题和展望

太阳所释放的能量为 $3.8 \times 10^{26} \text{J} \cdot \text{s}^{-1}$ 。尽管所到达地球表面的能量仅为其中的二十二亿分之一, 但一年中的总量是 $5.5 \times 10^{26} \text{J}$, 为现在全人类一年所消费能源总和的一万倍。太阳能的低密度极其不稳定性限制了它的应用, 特别是将其转换为电能的直接利用。水和阳光可称是取之不尽的物质。从水中获得的氢, 作为能源使用后又回到了水的形态 ($\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$), 是一种完全的可持续开发和利用。另外, 从学术角度来看, 自然界中光合成的初期过程是水在光的作用下产生氢并继之将二氧化碳还原固定。因此, 了解水的光解过程是实现人工光合成关键的第一步。

光解水能否实用化最终将取决于能量转化效率。迄今为止人们所发现和研制的能用于光

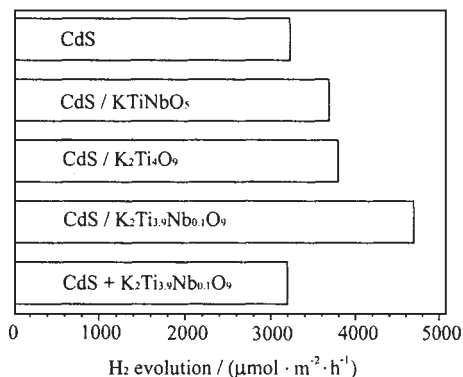


图 6 CdS 及其层状复合物的光催化活性

Fig. 6 Photocatalytic activity of CdS and CdS-intercalated compounds

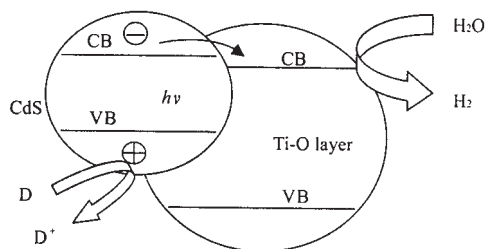


图 7 层间插入 CdS 复合物光催化反应的电子迁移模型

Fig. 7 Model of electron transport in the CdS-intercalated compounds

解水的光催化剂中, 其中大多数仅能吸收紫外线。而紫外线在太阳光中只占 3% 左右。最大的太阳光强度在 500 nm 附近。如果要有效地利用这样的光强度, 理论上相当于半导体禁带宽度为 $1.3 \pm 0.3 \text{ eV}$ 。由于多少需要一些超电压, 所以最适合的禁带宽度应约为 1.8 eV ^[37]。至今的研究结果表明凡是能满足上述要求的半导体几乎都在水溶液中发生光溶作用。利用层间复合技术提高了量子效率, 如何使得该系统无须正孔捕捉剂(牺牲剂)或如何使得该正孔捕捉剂循环使用, 甚至无须牺牲剂实现可见光的光解水将是今后值得研究的课题。另外, 我们知道植物的高效光合成作用由两个不同的原初光化学反应—PS I 和 PS II 组成。在光解水中, 是否也能模拟自然界的光合成, 通过复合光催化构成多步分级吸光体制, 提高对太阳光的吸收和转换率。尽管真正实现太阳能光解水制氢仍有漫长的路需要走, 科学家们正企图通过不断努力, 期待着找到新的突破口, 研制和开发出具有高效率的光解水催化剂, 使这“太阳氢”(Solar Hydrogen)工程真正能服务于人类。

参 考 文 献

- [1] Fujishima A., Honda K. *Nature*, **1972**, **238**, 37.
- [2] Mills A., Hunte S. L. *J. Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **1997**, **108**, 1.
- [3] Sayama K., Arakawa H. *Hyomen*, **1995**, **33**, 117.
- [4] Bulatov A. V., Khidekel M. L. *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Khim.*, **1976**, 1902.
- [5] Sato S., White J. M. *Chem. Phys. Lett.*, **1980**, **70**, 131.
- [6] Sato S., White J. M. *J. Catal.*, **1981**, **69**, 128.
- [7] Kawai T., Sakata T. *Nature*, **1980**, **286**, 474.
- [8] Duonghong D., Borgarello E., Gratzel M. *J. Am. Chem. Soc.*, **1981**, **103**, 4685.
- [9] Yamaguti K., Sato S. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, **1985**, **81**, 1237.
- [10] Kudo A., Domen K., Maruya K., Onishi T. *Chem. Phys. Lett.*, **1987**, **133**, 517.
- [11] Sayama K., Arakawa H. *J. Chem. Soc., Faraday Trans.*, **1997**, **93**, 1647.
- [12] Domen K., Kudo A., Onishi T. *J. Catal.*, **1986**, **102**, 92.
- [13] Lehn J. M., Sauvage J. P., Ziessel R., Hilaire L. *Israel J. Chem.*, **1982**, **22**, 168.
- [14] Kato H., Kudo A. *Chem. Phys. Lett.*, **1998**, **295**, 487.
- [15] Ishihara T., Nishiguchi H., Fukamachi K., Takita Y. *J. Phys. Chem. B*, **1999**, **103**, 1.
- [16] Shangguan W., Yashida A. *Int. J. Hydrogen Energy*, **1999**, **24**, 425.
- [17] Inoue Y., Kubokawa T., Sato K. *J. Phys. Chem.*, **1991**, **95**, 4059.
- [18] Inoue Y., Asai Y., Sato K. *Chem. Soc. Faraday Trans.*, **1994**, **90**, 797.
- [19] Shangguan W., Yoshida A. *Energy and Environment-Proc. Int. Conf. on Energy and Environmental*, Eds. Chen K., et al, China Machine Press, **1998**, p463.
- [20] Takata T., Ikeda S., Tanaka A., Hara M., Kondo J., Domen K. *Applied Catalysis A*, **2000**, **200**, 255.
- [21] Kudo A., Domen K., Tanaka A., Maruya K., Aika K., Onishi T. *J. Catal.*, **1988**, **111**, 67.
- [22] Kudo A., Sayama K., Tanaka A., Asakura K., Domen K., Maruya K., Onishi T. *J. Catal.*, **1989**, **120**, 337.
- [23] Ikeda S., Hara M., Kondo J. N., Domen K., Takaharashi H., Okubo T., Kakihana M. *J. Mater. Res.*, **1998**, **13**, 852.
- [24] Kudo A. *Chemical Engineering (in Japanese)*, **1999**, 925.
- [25] Machida M., Yabunaka J., Kijima T. *Chem. Commun.*, **1999**, 1939.
- [26] Kudo A., Kato H. *Chem. Lett.*, **1997**, 967.

- [27] Kato H., Kudo A. *Catal. Lett.*, **1999**, **58**, 153.
[28] Kudo A., Sekizawa M. *Catal. Lett.*, **1999**, **58**, 241.
[29] Yoshimura J., Ebina Y., Kondo J., Domen K., Tanaka A. *J. Phys. Chem.*, **1993**, **97**, 1970.
[30] Kudo A., Sekizawa M. *Catal. Lett.*, **1999**, **58**, 241.
[31] Kudo A., Mikami I. *Chem. Lett.*, **1998**, 1027.
[32] Kudo A., Hijii S. *Chem. Lett.*, **1999**, 1103.
[33] Sato T., Masaki K., Sato K., Fujishiro Y., Okuwaki A. *Chem. Tech. Biotechnol.*, **1996**, **67**, 339.
[34] Sato T., Yin S. *Materials Integration (in Japanese)*, **2001**, **2**, 39.
[35] Shanguan W., Yoshida A. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **2001**, **69**, 189.
[36] Yoshida A., SHANGGUAN Wen-Feng *Material Integration (in Japanese)*, **2001**, **2**, 35.
[37] Maruska P., Ghosh A. K. *Solar Energy*, **1978**, **20**, 443.

Progress in Research of Hydrogen Production from Water on Photocatalysts with Solar Energy

SHANGGUAN Wen-Feng

(*Department of Resource and Environment Engineering, School of Power and Energy Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030*)

This paper describes the mechanisms and progress for the photocatalytic decomposition of water into hydrogen and oxygen. The main focus is to provide some information on photocatalytic properties of TiO₂, transition metal oxides, and layered metal oxides as well as some new composites for the photocatalytic decomposition of water into hydrogen and oxygen. Some of the research results from the authors and the opinions on further studies are also presented in this paper.

Keywords: photocatalysis hydrogen energy conversion of solar energy