

有趣的化學實驗(三) ——

水的光分解(1)：半導體光電池法

魏和祥

私立淡江大學化學系

人類自從知道能源的利用以來，石油與煤碳成爲目前最爲依賴的能源。然而，這些能源終有一天會用完。這便是我們悉知的未來能源危機。其實，石油與煤碳事實上是很久以前，地球上的微生物或植物賴以生存的太陽能所創造的蓄儲能源。因此直接將太陽能做各種不同的儲存及轉換，成爲最近科學家的基本構想。太陽能的利用研究，非常廣泛。在此僅介紹一項最爲化學家感興趣的太陽能利用，即水的光電分解，一種製造氫氣燃料的過程。因爲太陽能及水資源可說取之不盡用之不竭，是人類最期望的永久資源。而在這個領域的研究，雖然離商業化尚遠，但是到目前爲止，成果相當可觀。爲使中學教師能在這方面獲得較具體的認識及在教學上提高學生學習化學的興趣，筆者介紹具有代表性的兩則實驗，來說明如何用光電化學的方法使水分解產生氫。第一篇要介紹的是利用氧化鈦(TiO_2)半導體電極的光電分解，下一篇是利用無機錯合物的氧化還原之光分解。

此處所要介紹的實驗，只要將適當製備的 TiO_2 、白金電極及水溶液加以組合，在無須外加電壓下，以光線照射 TiO_2 電極，就可以從白金電極上冒出氫氣。

【實驗材料】：(1)鈦金屬板：用以製造氧化鈦電極，厚度 $0.1 \sim 0.2$ 毫米(mm)，剪成 $3\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 大小。(2)導線：用以連接電極。(3)白金電極(可用碳電極代替)：皆適合於電解水。(4)氧氣火焰：用以加熱鈦金屬使表面形成氧化鈦(TiO_2)皮膜。(5)鐵夾子。(6)燒杯兩個：做電解槽用。 TiO_2 電極部份盡可能用較淺的杯子(如錶玻璃

- 皿)。(7)玻璃管：做鹽橋用，目的在隔開白金電極及氧化鈦電極的電解液（大小直徑約1公分）。(8)化學藥品：氯化鈉(NaCl)、洋菜膠、氫氧化鈉(NaOH)、硫酸等。(9)環氧(Epoxy)樹脂（黏著劑）：一般市面上銷售的兩液混合快乾性。

【實驗操作步驟】

- (1) 半導體電極之製作（參照圖1）：

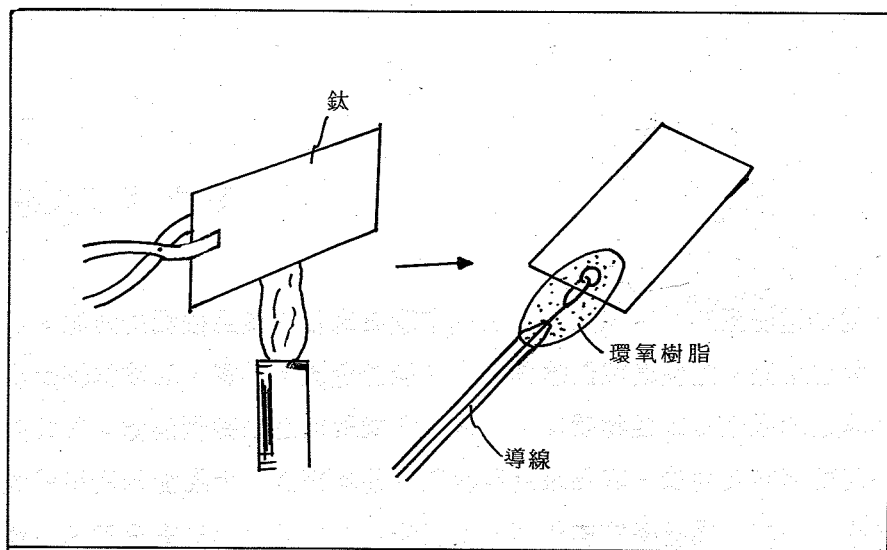


圖1. TiO_2 電極的製造方法

- ① 將鈦金屬薄片剪成適當大小（約 $3\text{cm} \times 5\text{cm}$ ）。
- ② 再將鈦金屬片置於高溫火焰（ $\sim 1000^\circ\text{C}$ 以上）約三至五分鐘，表面即可形成 TiO_2 。
- ③ 然後在燒成的 TiO_2 板之一端穿孔，將內部之純鈦金屬與銅導線連接。（若無相當接觸，則不能通電。）
- ④ 為絕緣起見，將導線與鈦金屬接點及導線露出部份塗上環氧樹脂。放置至完全乾燥黏著。

- (2) 鹽橋之製造（參照圖2）：

- ① 將玻璃管彎成U字形。
- ② 將2克的洋菜膠與40克的氯化鈉溶於100毫升的水，煮沸之，使洋菜膠完全溶化為止。
- ③ 將裝備好之熱洋菜膠水溶液，倒入U形管，然後慢慢冷卻，使洋菜膠凝固。

(3) 電解液之調製：

- ① 調製 1 mol/l 的氫氧化鈉水溶液。
- ② 調製 1 mol/l 的硫酸水溶液。

(4) 光電池的組合 (參照圖 3)：

- ① 兩個杯子，分別盛入 NaOH 及 H_2SO_4 水溶液，再用鹽橋跨越兩電解槽。
- ② NaOH 水溶液槽內插入 TiO_2 電極，而 H_2SO_4 溶液槽內插入 Pt 電極，然後連結兩電極成短路狀態 (有時也可連接一電阻)。

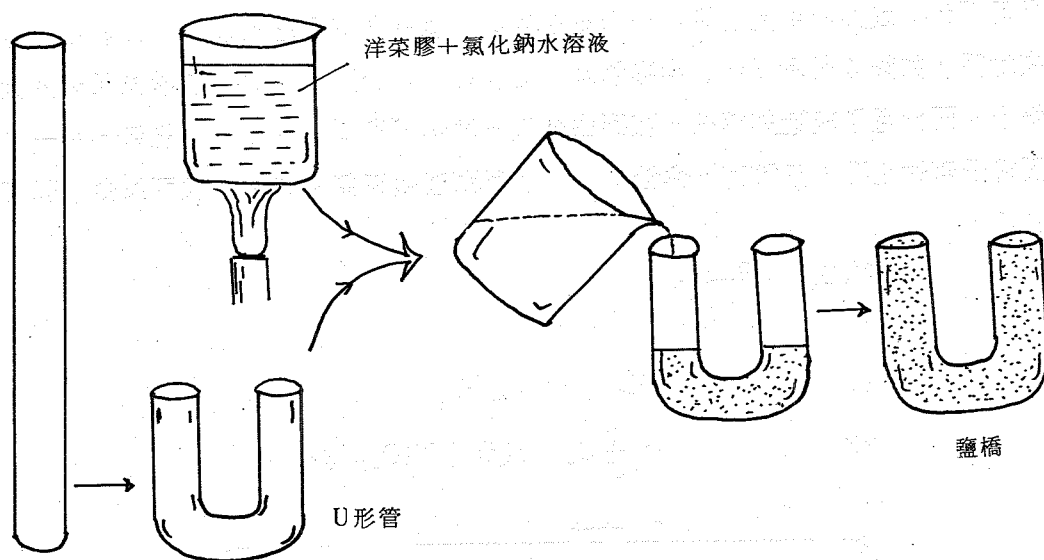


圖 2. 鹽橋製備法

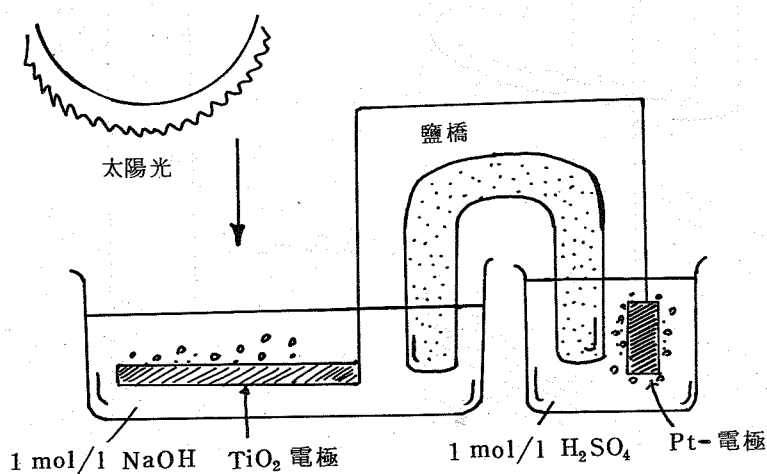


圖 3. 光電池之組合與氫氣之產生

(5) 太陽光下或水銀燈下氫氣的生成。

① 將 TiO_2 電極表面曝於陽光下，然後觀察Pt電極上是否有氫氣泡生成。

② 觀察 TiO_2 電極是否也有氣泡發生。

③ 從白金電極所產生的氫氣，可以用各種不同的收集法，觀察1小時內產生多少毫升的氫氣。

【解說】

爲何 TiO_2 表面照射光之後，白金電極會產生氫氣？其反應機構，可以利用能位帶理論來說明，如圖4所示 TiO_2 半導體吸收光線時，在價電子帶的電子被光量子激發至傳導帶上。而此電子經過銅導線，流到白金電極表面，與 H^+ 反應產生氫氣。另一方面，在價電子帶的正孔（正電荷）與溶液中的水反應產生氧氣。整個反應可以由下面反應式來表示。

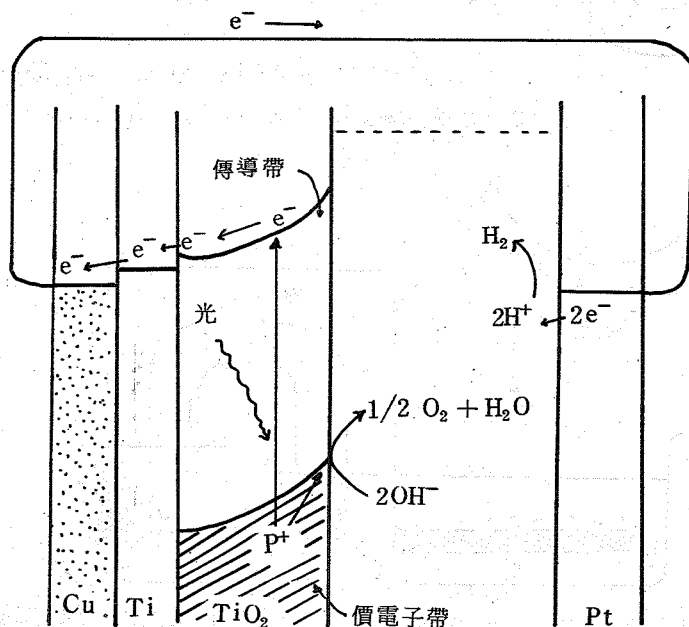
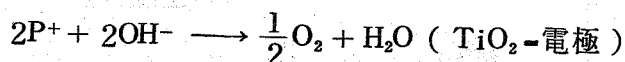
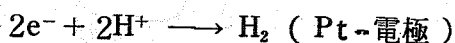
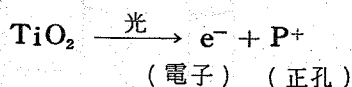


圖4. 能帶圖上水的光分解機構說明

若把氫氣產量與太陽光照射的能量加以計算，可以求得光電池的能量轉換率（即光能轉成化學能）。本實驗之轉換率大約 0.5%，效率不好的原因是， TiO_2 對太陽光波長的選擇性的問題。目前利用對太陽光波吸收效果較好的半導體如 GaAs 或 InP 等來代替，可以達到 12% 以上的太陽能轉換率。

（摘自現代化學 163 期，1984 年）

古中國科學管窺——秦、晉地圖的測繪

地圖為地理學研究的基石，古代中國地圖的測繪，在秦已有成就。

秦亡漢蕭何在秦籍中，得有地理圖，而三世紀當時，晉裴秀之際為益精。

裴秀官司空，繪有中國全域輿圖，其繪圖方法上，持有六準則：一、分率，二、準望，三、道里，四、高下，五、方邪，六、迂直。

分率為縮尺之意，準望為地點的相互關係，高下、方邪、迂直係指路途形態狀況，道里則為以某規準點為始之里數。

綜合分率，準望的準則以觀察，則裴秀當時之地理圖已臻今日平面圖的境界。

裴秀測製之圖，中國後世稱之為「方丈圖」，縮尺為每百里一寸，每寸方予以縱橫之方格約之，成為一方眼圖式，用途近於今日之經緯線。

裴秀方眼圖法，在長安碑林遺有石刻之跡，考其時為偽齊阜昌七年——一一三七年刻石。

西方之地圖繪製，始於希臘文化時代，在西曆一〇〇年時曾一度有方眼圖之作，但未傳。而二度問世則在十世紀時之歐洲，較賈耽為遲，然歐洲之法是否由中國輸入，亦無可據之資料。

編輯室