

應用於氫能產業的白金環保回收技術

張子杰 / 優勝奈米科技
何享穎 / 優勝奈米科技技術長
周韋伶 / 優勝奈米科技研究員
許景翔 / 優勝奈米科技董事長

鉑作為稀有且高價的貴金屬，因其優異的催化性能和穩定性，廣泛應用於電子設備、汽車觸媒轉換器及氫能產業的燃料電池中。然而，全球鉑需求日益增長，加上地緣政治與資源稀缺性，推動了回收技術的發展。本研究提出了一種環保高效且安全的鉑回收技術，利用無毒的 UW-195 白金剝除劑進行鉑剝除，並結合溶液還原法

分離純鉑。實驗結果顯示，新技術可比傳統法再更低溫的環境下快速完成鉑剝除，回收率高達 99% 以上，相較傳統方法具有更高的效能及環境友好性。該技術不僅能減輕鉑供應短缺的壓力，也促進了資源循環利用，對氫能產業和其他高科技領域的可持續發展具有重要意義。

一、前言

鉑 (Platinum)，又稱為白金，是一種稀有且高價的貴金屬，具有的高抗腐蝕性、穩定的導電性及出色的催化性能，讓鉑在高科技業和傳統工業成為不可或缺的材料。如圖 1 所示，根據美國地質調查局 2023 年的統計，全球的鉑礦產年生產量約為 180 公噸，產量主要集

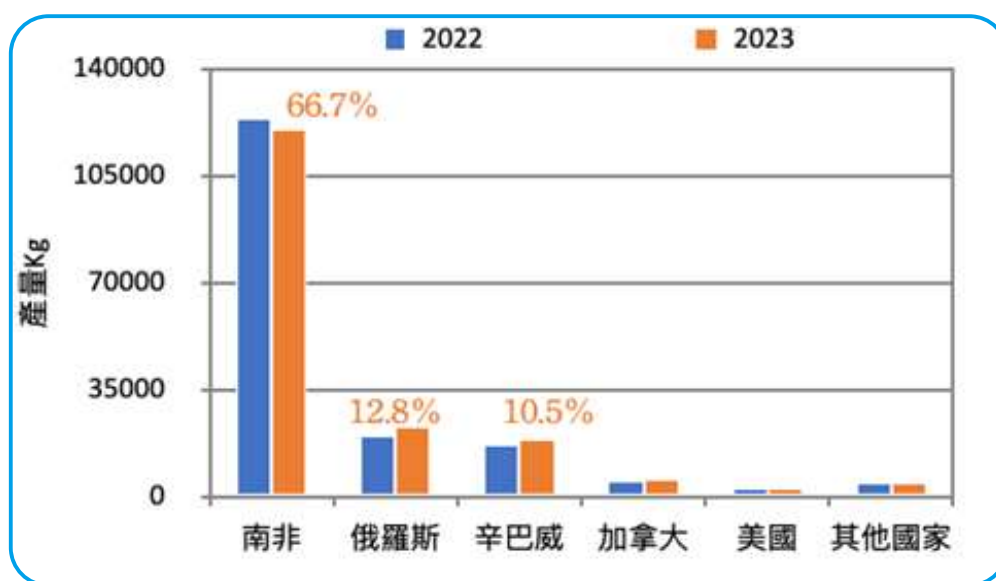


圖 1 世界鉑礦生產量

中於南非和俄羅斯，這兩國合計產量占全球總量的約 80%^[1]。然而，全球鉑需求的持續增長，主要來自於汽車業、電子設備、燃料電池、能源業等領域的需求推動。

鉑被廣泛應用於電鍍陽極、汽車觸媒轉換器，以及如圖 2 所示航空產業的零件鍍鉑層。

在近年來興起的氫能行業中，鉑作為燃料電池中的主要催化材料，能高效的協助氫氣分解。此外，其優良的穩定性和耐久性，可以承受燃料電池運轉中的嚴苛條件。如圖 3 所示，鉑在氫能產業上的需求每年以倍數在成長，2022~2023 年成長 133%，

2023~2024 上半年成長 123%。隨著電動車產業和可再生能源技術的發展，燃料電池技術的崛起。這些需求驅動了全球鉑產業的蓬勃發展。

世界鉑投資理事會 2024 年的報告指出，在 2024 第二季時，全球鉑市場出現 13 公噸的供應缺口，供應不足的情況還再增加中^[2]。而在面對鉑天然資源的稀缺性及地緣政治的風險，許多國家已制定了相關法規來保障鉑的供應穩定。歐盟在其《關鍵原材料法》(Critical Raw Materials Act) 中，將鉑列為關鍵材料之一，並要求成員國加強資源回收及再利用以降低供應風險^[3]。美國也在《2022 年通過的基礎建設法案》(Infrastructure Investment and Jobs Act) 中包含了對關鍵金屬、能源產品回收的投資，以減少對進口的依賴^[4]。而台灣由於金屬資源高度依賴進口，在《資源回收法》及



資料來源：Kova precision industrial

圖 2 航太白金鍍件

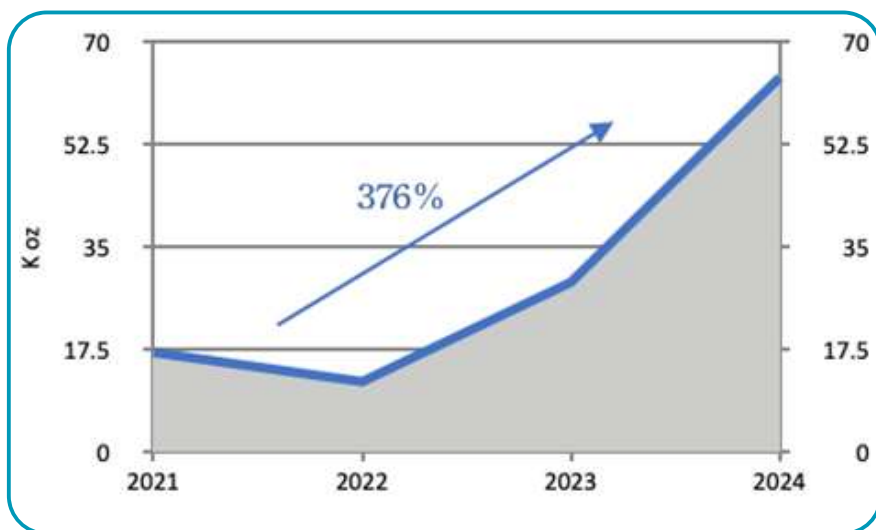


圖 3 年度氫能用鉑需求

《114 年度施政計畫》中，也對金屬回收和再利用設有規範，以提升資源自主性，並降低地緣政治風險對產業鏈的衝擊^[5,6]。

根據統計，在 2023 年金屬回收已經提供了 43.8 公噸的鉑，而回收鉑成為全球各國的共同關注點^[2]。目前，鉑回收主要透過溶液法和熱裂解法等化學處理技術進行，回收率有限且對操作人員和環境有危害。像是傳統的乾式熱裂解法雖然可以提取出鉑，但高能耗與大量的二氧化碳排放成為其重大缺點。而濕式溶液法常利用強酸（王水）或是使用有毒性的氯氣來溶解和回收鉑，這種方法雖然回收率比傳統的熱裂解法高，但由於使用的藥水屬於高腐蝕性或高毒性的化學品，這對操作人員的人身安全和健康有很大的影響。傳統濕式溶液法需在高溫環境下反應數小時，回收率約 80~93%。^[7,8]

表 1 是鉑提取的方法比較，日本的住友金屬礦山株式會社使用含氯體系方式如王水、氯氣搭配鹽酸的方法，浸出目標物的白金族金屬，再進一步使用溶媒萃取法將不需要的雜金屬萃取出去，從萃取殘液中使用氯化鉀將鉑進行沈澱。

本研究提出一種新型鉑回收藥劑 (UW-195)，使用安全無毒的藥劑溶解並還原鉑，回收率可達 99% 以上，並且提取時間大幅縮短，對於鉑回收的目標是一大進展。

二、實驗方法

為了解決傳統回收技術的局限性，本研究目的在於開發可將氫能產業中的鉑陽極材料的廢棄物，採用安全、有效並附有經濟效益的方式回收鉑。本實驗選擇氫能產業中的鉑陽極材料元件，作為剝除樣品材料。

(一) 鉑鍍層的剝除

UWin 使用安全、無毒的 UW-195 白金剝除劑，有別於傳統的王水，剝除過程不會產生有毒的氯氣。將鉑陽極材料元件置入剝除藥水中，將溫度加熱至 80°C 下使用浸泡的方式，觀察其表面現象的改變，可實現快速的剝除鉑。剝除後使用 X 射線螢光光譜儀，檢測樣品剝除前後元素分析的變化，以驗證鈦基材上的鉑分佈現象。

(二) 鉑溶液還原

將先前剝除後的鉑溶液進行還原，從溶液中分離出鉑固體。鉑溶液還原的方法比較如表 2 所示。本實驗採用化學還原法。先將所得的鉑溶液進行前處理後，加入雙氧水進行氧化反應。使其充分氧化後，並將常用的鉑還原劑加入溶液中，讓還原劑和溶液中的鉑離子反應，沈澱出黃色氯鉑酸銨，將其燒結後

表 1 鉑提取方法

項目	傳統火法	日本住友金屬	優勝奈米
提取方式	熱裂解	含氯藥水 (如王水)	UW-195
提取率	70%~80%	80%~93%	~99%
優點	操作快速、大量處理	提取率高、藥品成本低	回收率高、提取效率高
缺點	能耗高、環境污染嚴重	產生有毒氣體和廢酸、提取效率慢	簡單廢液處理，僅需酸鹼中和

表 2 鉑還原方法

項目	置換法	電解法	化學還原法
回收率	70%~90%	80%~95%	90%~99%
優點	操作簡單、成本低	減少廢液	操作簡單、選擇性高、效率高
缺點	純度受限、金屬廢液	設備成本高、操作不易、效率較低	簡單廢液處理，僅需酸鹼中和

可得純鉑。之後將殘留的上層液送 ICP-OES 測其鉑濃度，用以計算鉑還原率。

此回收鉑的方法不但回收率高，且操作簡單，可依照參數投入量產，反應所產生的廢水僅需簡單的酸鹼中和，即可處理。此方法可以解決供不應求的鉑使用量和落實循環經濟。

三、結果與討論

(一) 鉑鍍層的剝除

將鉑陽極材料元件置於預先

調配的 UW-195 藥水中，並加熱至 70~80°C 進行觀察。當溫度接近 80°C 時，表面開始產生氣泡，顯示藥水與鉑發生化學反應，溶液顏色也逐漸從透明轉為金黃色。反應溫度維持在 80°C ($\pm 5^\circ\text{C}$)，每 30 分鐘觀察一次 (圖 4)。隨時間推移，銀白色鉑鍍層逐漸剝除，露出鈦基板的氧化色。與傳統王水法不同，此技術對鉑具有高選擇性，剝除後的鈦基板仍可重複使用。

由圖 5 下方可看出，經過 90 分鐘反應，鉑陽極材料元件表面鉑已全部剝除，浸泡在藥水中的部

分，表面完整呈現鈦基板的氧化色，鉑陽極材料元件重量減少了 0.34%，可看出對鉑的選擇性很高。

(二) X 射線螢光光譜儀 (XRF) 檢測

使用 XRF 對於剝除前後進行元素分析的對比。將剝除前樣品和剝除後樣品各取末端一段檢測，觀察鈦和鉑的含量分佈差異。表 3 顯示了鉑陽極材料元件剝除前的元素分析結果，其中元件表面鈦含有 46.32%，而含有鉑 49.27%。而表 4 顯示鉑陽極材料元件剝除後的元素分析結果，樣品元件的元素分佈有很大的差異，其中表面鈦占 87.98%，而鉑僅剩 0.031%，由此數據差異可得知，樣品元件上的鉑經過 UW-195 鉑剝除藥劑處理後，近乎全數被剝除乾淨。

採用重量相同的兩段樣品使用 XRF 分析後，可依據此數據計算鉑剝除率：

當中 M1 是剝除前樣品分析重量，P1 是剝除前樣品鉑分布百分比，M2 是剝除後樣品分析重量，P2 是剝除後樣品鉑分布百分比。

(三) 鉑溶液還原

將先前剝除後的鉑溶液使用還原劑還原，鉑化合物成為固體沈降出來，之後從溶液中分離出鉑固體，此黃色鉑固體為氯鉑酸銨 $[\text{NH}_4]_2[\text{PtCl}_6]$ ，再將此鉑化合物進行燒製可得純鉑。整體過程如圖 6 所示。

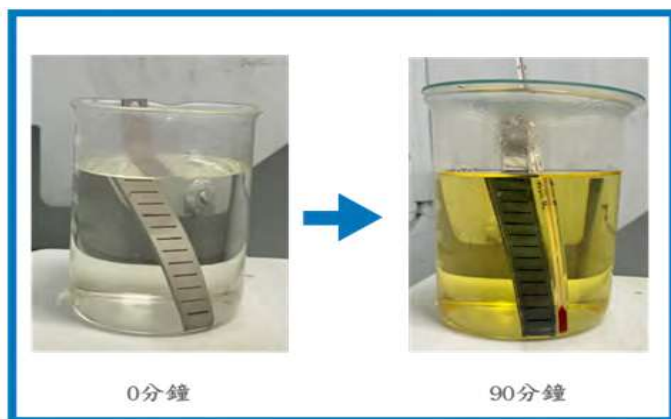


圖 4 鉑陽極材料在藥水中時間變化

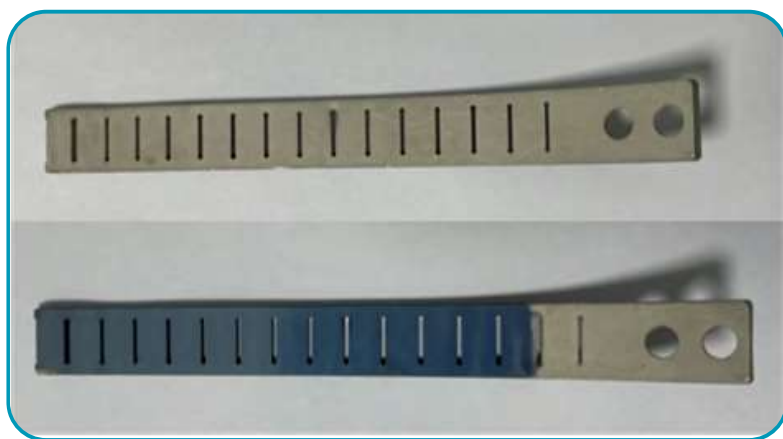


圖 5 鉑陽極材料元件鉑剝除前 (上)、剝除後 (下)

表 3 樣品剝除前 XRF 數據

Compound	Pt	Ti	Cl	V	Fe	S
Conc. Unit	49.27%	46.32%	1.21%	0.75%	0.68%	0.66%

表 4 樣品剝除後 XRF 數據

Compound	Ti	Al	Fe	Si	Cl	Pt
Conc. Unit	87.98%	10.63%	0.50%	0.24%	0.23%	0.03%

原先剝除後溶液的鉑濃度是 19.8 克 / 公升，取 50 毫升進行純化還原。經過還原製程後，殘留液體 74 毫升，並取得鉑固體 5.18 毫克，殘留液體鉑濃度為 70 毫克 / 公升。鉑回收率計算方式：

$$\text{recoveryrate} = \frac{(C_1V_1 - C_2V_2)}{C_1V_1}$$

$$= \frac{(19800 \times 0.05 - 70 \times 0.074)}{19800 \times 0.05} = 99.47\%$$

當中 C1 是剝除後溶液的鉑濃度，V1 是初始體積，C2 是殘留液體的鉑濃度，V2 是殘留液體體積。

原。實驗結果顯示，在 90 分鐘內，該技術應用在氢能產業中的鉑陽極材料元件上可達到剝除率 99.9% 與回收率 99.5%，優於傳統的回收速率和回收率，並有效降低對環境和操作人員的潛在危害。

此外，此方法對於氢能產業和其他使用鉑陽極劑的領域具有重要意義，尤其在面對全球鉑資源供應短缺的挑戰時，提供了一條可行的解決之道。未來，透過進一步優化回收技術和擴大其產業應用，本研究結果有望促進資源循環利用和減少對進口的依賴，為實現低碳經濟與永續發展做出重要貢獻。

- World Platinum Investment Council, Platinum Quarterly Q2 (2024)
- ITU, The Global E-Waste Monitor 2024 (2024)
- H.R.3684 - Infrastructure Investment and Jobs Act, Division D (2021)
- 環境部，資源回收再利用法 (2009)
- 環境部，114 年度施政計畫 (2024)
- Hasani, M., et al. "Platinum leaching from automotive catalytic converters with aqua regia." (2017).
- Shams, K., M. R. Beiggy, and A. Gholamipour Shirazi. "Platinum recovery from a spent industrial dehydrogenation catalyst using cyanide leaching followed by ion exchange." (2004)

四、結論

本研究提出一種創新的鉑回收技術，利用安全無毒的 UW-195 藥水實現了高效且環保的鉑剝除和還

五、參考文獻

- USGS, Platinum-Group Metals Statistics and Information, Annual Publications (2024)



圖 6 含鉑溶液還原示意