

115 年度氣候變遷 創意實作競賽

決賽作品說明書

隊伍編號+名稱：	<u>11「氫」泥不染</u>
作品中文名稱：	<u>以低碳原物料處理半導體產業矽汙泥 之產氫綠色技術</u>
作品英文名稱：	<u>Low-carbon raw material-based green hydrogen production technology for semiconductor silicon sludge treatment.</u>

參賽學校：國立中興大學

指導老師：劉凡瑋

團隊成員：吳幸潔、許瑜芸、羅紹峰

摘要

本團隊利用半導體製程廢棄矽汙泥與低濃度鹼溶液反應，在短時間內高效轉化為氫氣與二氧化矽。不僅能將製氫碳排降至 3.25kg CO₂eq/kg H₂，遠低於傳統製程，更能落實零廢棄的循環經濟，解決高科技產業的碳足跡與廢棄物管理難題。

Abstract

Our team utilizes a novel process that reacts semiconductor waste silicon sludge with low-concentration alkaline solutions to achieve high-efficiency conversion into hydrogen and silicon dioxide in a short timeframe. This technology significantly reduces the carbon footprint of hydrogen production to just 3.25 kg CO₂eq/kg H₂—far below conventional methods. By integrating zero-waste circular economy principles, we provide a dual-purpose solution for carbon footprint reduction and waste management challenges in the high-tech industry.

一、議題描述與界定

全球溫室氣體 (GHG) 排放量已達到歷史新高(如圖 1)，全球暖化的持續惡化正對人類生存構成嚴重威脅。其中，化石燃料是導致溫室氣體排放增加的主要原因^[1]。且隨著近幾十年全球一次能源消耗量不斷攀升，化石燃料始終在能源結構中占據主導地位^[2]。然而，這種高度依賴化石燃料的現象帶來了諸多挑戰，包括價格波動引發的經濟不穩定、溫室氣體排放導致的環境問題，以及因能源安全引發的地緣政治風險。因此，減少對化石燃料的依賴，推動永續能源技術的發展，已成為解決這些問題的關鍵之道。

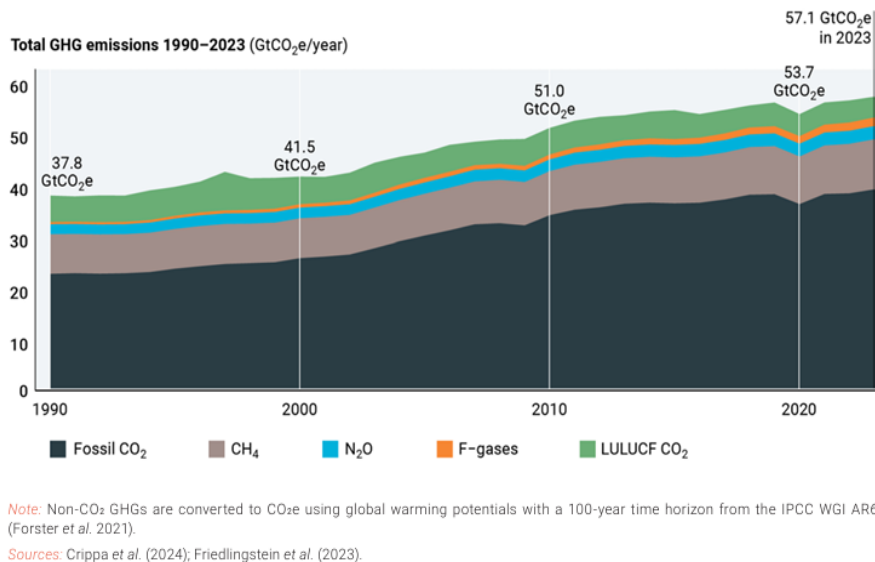


圖 1、Total GHG emissions 1990-2023 (source: UN Environment Programme: Emissions Gap Report 2024)

氫能被視為極具潛力的永續能源，因其質量輕、地球資源豐富、零有害排放以及良好的可

再生性，被認為是理想的環保能源選擇^[3]。而氫氣（H₂）可以從化石燃料、廢棄生物質、風能和太陽能等可再生資源中獲得。

其中，污水污泥因其來源多樣且特性特殊，被視為一種具有潛力的氫氣生產途徑。目前，污水污泥產氫的方法包括熱解^[4]、氣化^[5]、超臨界水氣化^[6]以及暗發酵^[7]等技術。儘管這些方法能有效產生氫氣，但在生產過程中仍會排放大量溫室氣體^[8]。因此，為了減少氫氣生產過程中的溫室氣體排放，探索其他更加環保的氫氣生產技術顯得尤為重要。

此外，台灣半導體產業雖為經濟命脈，但其製程所產生的大量矽污泥不僅難以處理，且因與水分接觸可能自燃，增加了廢棄物管理的風險與成本。目前大多數半導體廠僅將矽污泥作為一般廢棄物處理，尚未形成有效的資源化或能源化路徑。因此，團隊聚焦此議題，開發以矽污泥製氫並回收 SiO₂的整合技術，致力於解決高科技產業中的「看不見的碳足跡」。

二、動機與目的(Why)

(一) 研究原因

氫能作為未來替代化石燃料的關鍵能源之一，因其潔淨、再生與高能量密度等特性，已成為全球各國積極投入研發的重點。如何穩定且高效地獲得純淨氫氣，成為當前國際能源技術發展的重要課題。近年來，利用廢棄污泥產製氫氣被視為一項具潛力的產氫途徑。其中，矽（Si）與水反應生成氫氣與二氧化矽（SiO₂）之技術已被廣泛探討^[9]。

過去相關研究多聚焦於矽材料的不同形貌與條件對產氫反應的影響，例如探討矽粉粒徑大小對氫氣產率之關聯^[10]、矽與水反應的動力學行為^[11]，以及矽與其他材料形成複合結構後提升產氫效率的可能性^[12]。儘管研究證實矽具備優異的產氫潛力，但純矽的製備過程耗能極高，尤其是工業級高純矽生產需消耗大量電力^[13]，間接造成顯著碳排放，不符合永續能源發展原則。

因此，如何尋找具有產氫活性的替代矽來源成為一項迫切課題。值得注意的是，隨著半導體產業快速發展，其製程中所衍生之矽污泥產量日益增加。此類副產物若未妥善管理，不僅造成廢棄物處理壓力與環保成本，更因其與水接觸可能引發自燃風險，潛藏工安與環安問題。然而，矽污泥中普遍含有大量未氧化之單質矽，具高度反應性與能源轉換潛力，若能加

以利用，將可同時實現廢棄物減量與氫氣生成雙重效益。

(二) 市場現況與創新性

目前全球氫氣製備仍以水電解與蒸汽重整等傳統技術為主，這些方法普遍存在高能耗、製程成本高及依賴高碳能源等問題，不利於實現真正的低碳能源轉型。有鑑於此，本團隊提出一項以「工業副產物轉化為再生能源與材料」為核心的創新製程技術，旨在以低碳、低成本的方式達成氫氣生產與資源回收的雙重目標。

與傳統研究多採用高純度矽粉進行矽-水產氫反應不同，本研究所採用的原料為半導體製程中所產生之廢棄矽污泥。該矽污泥不僅來源穩定，且含有大量未反應的單質矽，具備良好的產氫反應潛力。此一應用策略不僅有效降低原料取得成本，也大幅減少因矽材製備所衍生的碳排放，展現出在環境治理與經濟效益上的高度整合性與可行性。

此外，產氫反應所生成的副產物為高純度二氧化矽 (SiO_2)，具備良好的熱穩定性與化學惰性，可應用於建材、玻璃、陶瓷等工業領域，進一步促進廢棄資源的價值化與永續利用。整體而言，本研究不僅提出一項符合碳中和目標的製氫技術，同時也為高科技產業廢棄物處理提供具體且具規模化潛力的永續解方。

(三) 研究企劃發展歷程



圖 2、研究企劃發展歷程

三、 執行內容(How)

(一) 研究方法

本研究所使用之矽汙泥，主要取自半導體廠晶圓製程中研磨階段所產生之廢液，經由廢水處理程序回收所得。為探討放置時間對矽汙泥中元素組成之影響，研究團隊分別取樣放置一週及超過一個月之樣本，進行成分分析，以確認其中單質矽（Si）與二氧化矽（SiO₂）之比例變化。由於原始汙泥呈塊狀且顆粒不均，首先透過 200 目篩網進行預處理，篩選出細緻且均勻之粉末，以利後續實驗操作。

實驗階段中，取 5 克處理後之矽汙泥，分別與 5 毫升不同濃度之氫氧化鈉（NaOH）及氫氧化銨（NH₄OH）鹼性溶液混合反應。反應過程中，使用氫氣偵測器（RKI Instruments GD-70D Series，精度±1%）即時監測所生成之氫氣濃度，並採用排水集氣法預先過濾氣體中的水氣及其他雜質，以確保分析準確性，如圖 3 所示。反應後產生之氫氣收集於儲氫袋，並接續進行氣相層析質譜儀（GC-MS）與氣相層析熱導檢測器（GC-TCD）分析，以確認氫氣之成分與純度。

針對反應後所殘留之固態產物，亦進行成分比對，藉由矽與二氧化矽含量的變化，評估反應程度與轉換效率，作為產氫效果判定之依據，流程如圖 3。

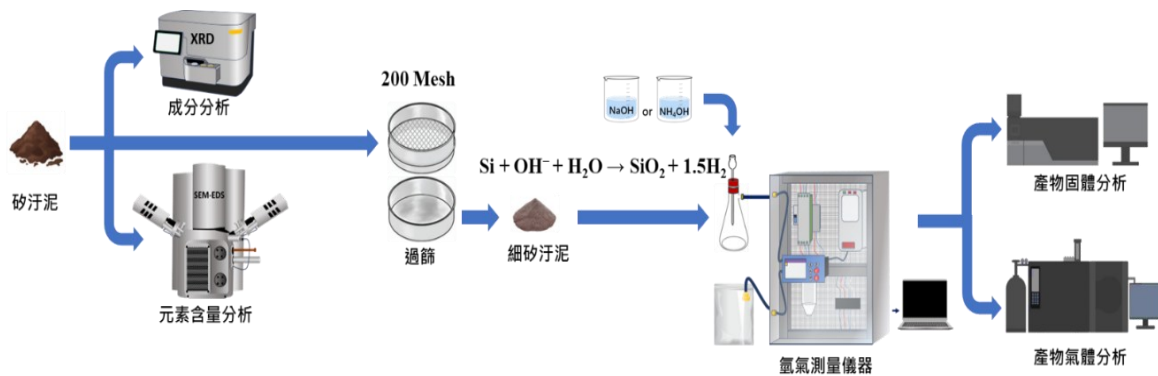


圖 3、矽汙泥產氫實驗之流程示意圖。

此外，我們亦探討了氫氣純化的可行性。在一個雙口燒瓶中，加入足量矽汙泥，並於其中一端持續滴入 1 M 氫氧化鈉溶液，另一端則用以收集產生的氫氣，直至一個容積為 10 公升的儲氫袋完全充滿。產生的氫氣採用兩種方式進行收集：

- **對照組**：直接將氫氣收集至儲氫袋中，未經其他處理。
- **控制組**：首先利用排水集氣法對氫氣進行初步過濾，隨後連接至自製的氣體純化裝置（如圖 4），使氣體依序通過無水氯化鈣、活性碳及分子篩，完成第二步純化，最後再收集

至儲氫袋中。

並針對收集的兩組氣體，我們委託專業檢測單位進行進一步的氣體成分分析，以評估純化效果。



圖 4、自製氣體純化裝置(左至右：無水氯化鈣、活性炭、分子篩)。

(二) 研究結果及討論

1. 矽汙泥成分分析

首先，對放置一週與一個月以上的矽汙泥進行能量色散 X 射線譜(EDS, OXFORD X-Max 50 mm²)分析(如表 1)，發現剛從半導體廠取出的新鮮矽汙泥，其矽含量高達 80%。然而，經過一個月以上的放置，矽含量下降至 54.94%。推測這可能是由於矽長時間與氧氣接觸後，逐漸氧化形成 SiO₂。為了驗證這一假設，進一步使用 X 射線繞射(XRD, PANalytical X'Pert Pro MRD)進行晶相分析。結果顯示，如圖 5a，放置後的矽汙泥峰值對應於二氧化矽；而圖 5b 顯示新鮮矽汙泥的峰值主要對應於 Si，這證實了新鮮矽汙泥含有大量 Si，並隨時間逐漸氧化為 SiO₂。基於此結果，我們認為可以利用 Si 尚未完全氧化為 SiO₂ 的狀態，將新鮮矽汙泥加入鹼性溶液中作為氫氣生成的原料，進一步探討其應用潛力。

表 1、一個月以上之汙泥與一週內汙泥 EDS 分析

Sample	wt %	
	O	Si
一個月以上之汙泥	45.06	54.94
一周內汙泥	18.65	81.35

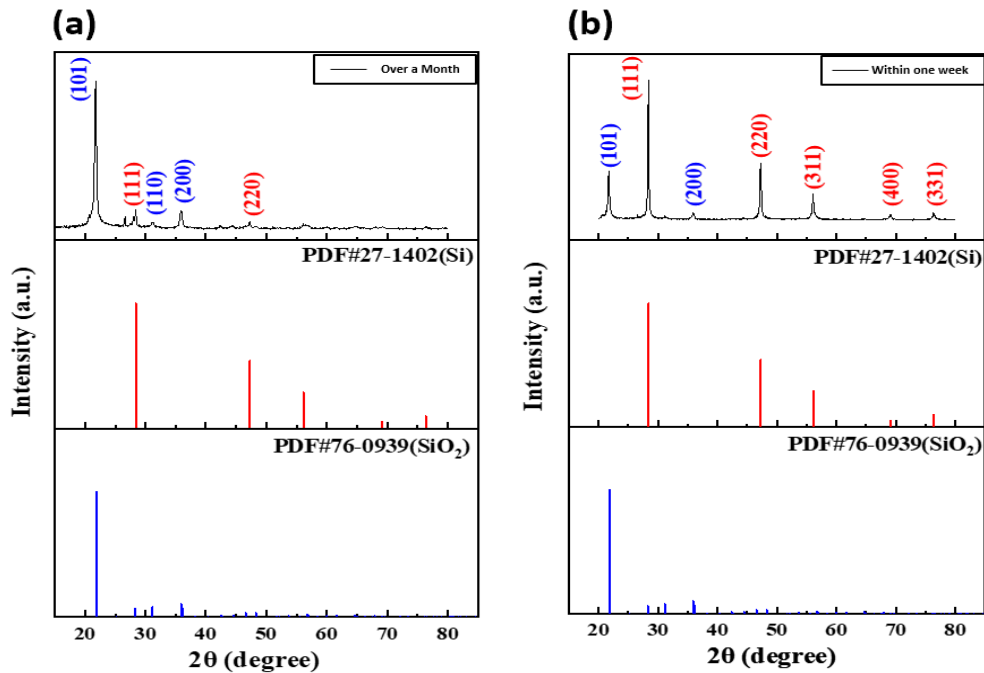


圖 5、汙泥 XRD 圖譜，(a)置放一個月以上之汙泥、(b)置放一週內之汙泥

2. 不同鹼性溶液之產氫試驗

接著使用 5 g 矽汙泥與 5 ml 不同濃度的 NaOH 與 NH₄OH 做為反應劑，比較弱鹼與強鹼對矽汙泥產生氫氣濃度與溫度的比較，可以看到 0.5M NaOH 在反應經過兩分鐘後氫氣濃度迅速攀升至 74000 ppm，如圖 6a，且維持 70000 ppm 左右的氫氣濃度直至 15 分鐘之後濃度才慢慢下降。而在 1M NaOH 則有了不同的現象，如圖 6b，雖然氫氣濃度在反應開始也迅速上升，但在 2 分鐘左右濃度卻迅速下降，後續 1.5M NaOH 及 2M NaOH，如圖 6c 與圖 6d，也都有這種現象產生，所以推測導致此現象的原因是由於反應過程中，Si 表面會急速與 NaOH 反應生成 SiO₂，形成阻礙 Si 與 NaOH 反應之鈍化層，因而抑制產氫反應，所以當 NaOH 濃度較高時，會使得反應過於劇烈，進而加速 SiO₂ 的生成，間接抑制產氫反應而導致氫氣濃

度突然下降。因此才會出現此現象。

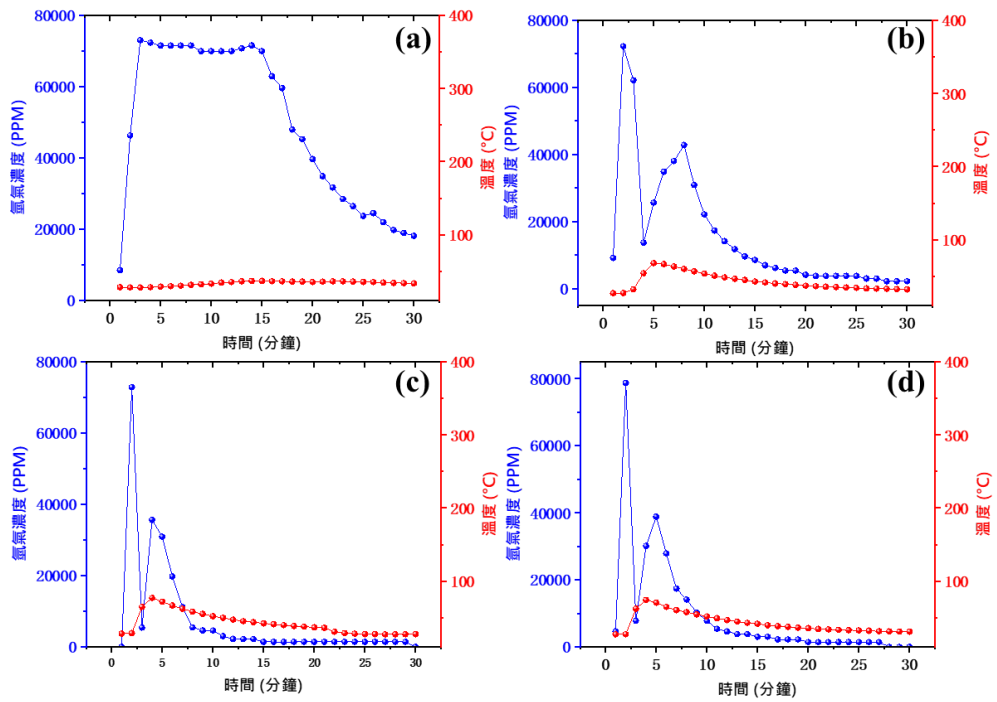


圖 6、不同氫氧化鈉(NaOH)濃度與產氫濃度/溫度/時間之關係圖，
(a) 0.5M NaOH、(b) 1M NaOH、(c) 1.5M NaOH、(d) 2M NaOH

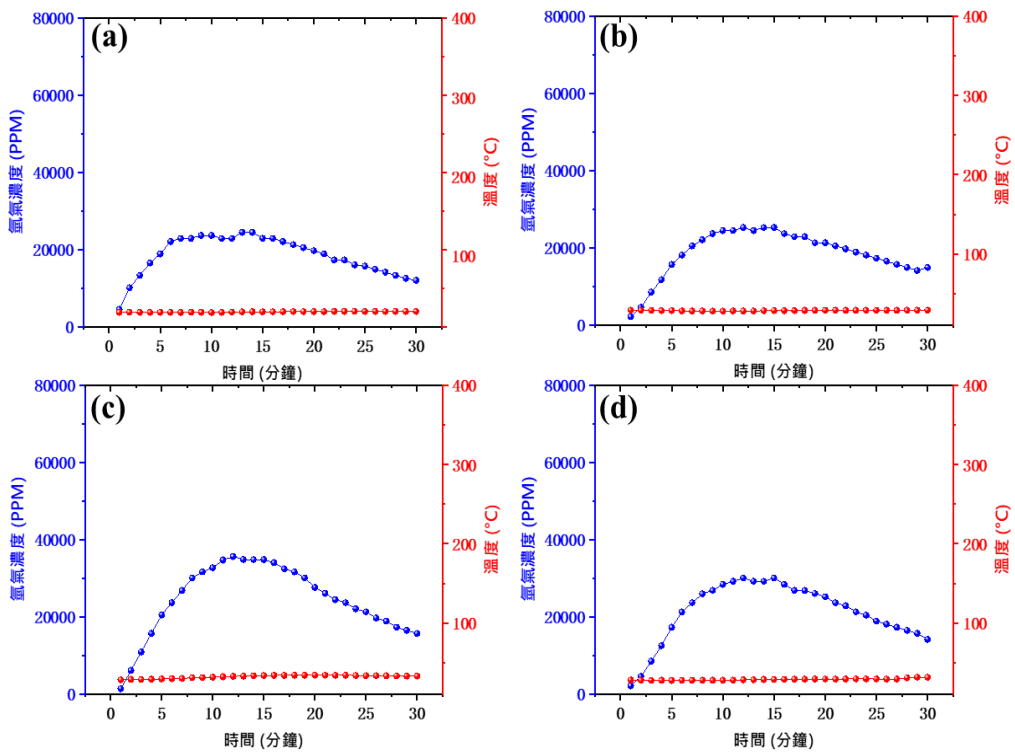


圖 7、不同氫氧化銨(NH₄OH)濃度與產氫濃度/溫度/時間之關係圖，
(a) 0.5M NH₄OH、(b) 1M NH₄OH、(c) 1.5M NH₄OH、(d) 2M NH₄OH

而使用 NH_4OH 可以看到在各濃度下，其反應比起強鹼來說比較緩慢且穩定（如圖 7）。圖 6c 進一步指出在 1.5M~2.0M NH_4OH 時達到最佳效率濃度平均落在 30000 ppm 左右，雖然比起強鹼來說產生氫氣濃度及產量較低，但其反應較為安全且平穩。

3. 不同鹼性溶液之最佳參數之產氫效率分析

為擬合半導體產業現場應用此技術之可能性，將評估在經濟效益較差的矽汙泥條件下(靜置一個月)，此技術是否可以依然能夠產出足量氫氣以彌平製程成本，再者，單一廠房一週內矽汙泥產量並不高，因此本技術將利用靜置一個月之矽汙泥並使用上述實驗之最佳參數(0.5M NaOH 、2.0M NH_4OH)進行產氫效率分析，靜置一個月之矽汙泥之成分如表 1 所示。

產氫效率之結果如圖 8 所示，可以發現不論使用何種鹼性溶液其皆可以在約 30 分鐘左右結束產氫反應，且反應溫度低(室溫~27.5°C)，不會有高溫致使爆炸的風險。接者，可以發現使用 0.5M NaOH 作為反應溶劑其平均產氫濃度落在約 37000ppm，使用 2.0M NH_4OH 其平均產氫濃度僅約 4700ppm，其產氫濃度較低。

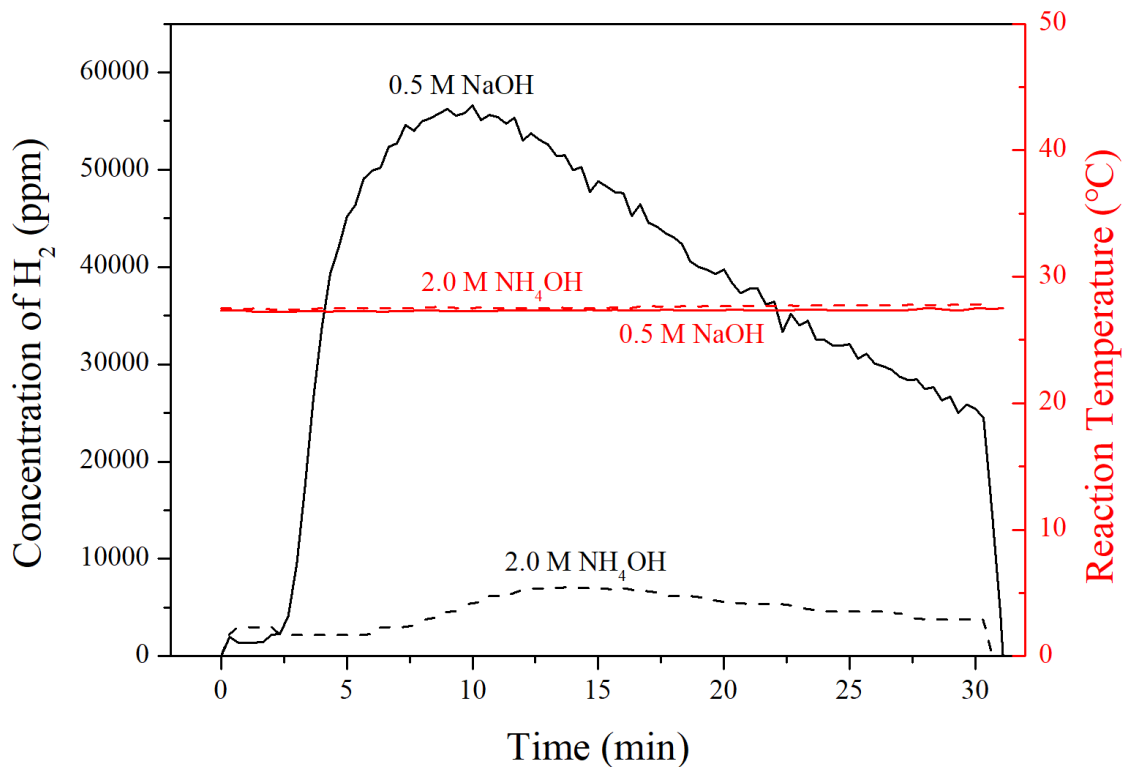


圖 8、不同鹼性溶液最佳參數與產氫濃度/溫度/時間之關係圖

接著，本技術還分析了矽汙泥的理論產氫量，本研究僅使用 5g 矽汙泥，參考表 1 之 EDS

分析結果，其純矽含量經轉換後應落在約 15 wt%，若完全反應後其氫氣總產量可達 0.695 L，而本技術所使用分析儀器的抽氣速率為 0.5 L/min，經換算後總抽氣量約為 15 L，因此使用 0.5M NaOH 作為反應溶劑其總產量為 0.575 L，**產氫效率高達 83.3%**，而使用 2.0M NH₄OH 其平均總產量為 0.071 L，產氫效率僅 10.3%，藉此判定使用 2.0M NH₄OH 其氫氣產量過低、製程時間內產氫濃度較低，並不符合經濟效益進行量產，而使用 0.5M NaOH 製程時間短(**30 min**)、反應溫度低(**室溫~27.5°C**)、產氫濃度高(**37000ppm**)、產氫效率高(**83.3%**)，因此 0.5M NaOH 應為較佳的產氫溶劑選擇。

4. 氣體產物特性分析

為了進一步分析生成之氫氣的成分，將安裝於氫氣偵測器之出口管路的儲氫袋取下，並利用氣相層析質譜儀(GC-MS, JEOL AccuTOF GCX)對其氣體進行分析，而本技術將以氧氣(O₂)作為對照峰值，以評估不同鹼性溶液產出氫氣之差異。如圖 9 所示，可以發現當使用不同的鹼性溶液作為反應劑時，其生成氣體的濃度有明顯差異。在圖 9a 中，使用 NaOH 作為催化劑時，氫氣的最高強度接近 50,000 mV，而氧氣的波峰相對微弱，幾乎可以忽略，顯示樣品中氫氣的濃度極高。也代表著 NaOH 在矽污泥反應中具有極高的促進作用，這表明利用矽污泥與 NH₄OH 反應產生的氣體中，氫氣的純度相當高，具有顯著的應用潛力。

同時圖 9b 則顯示了以 NH₄OH 作為反應劑時的產氫效果，雖具備明顯的反應能力，但氫氣的產生量並不如以 NaOH 作為反應劑之氫氣產生量，氫氣的最高強度僅 7,000 mV，這表明利用矽污泥與 NH₄OH 反應產氫的應用潛力確實較低。

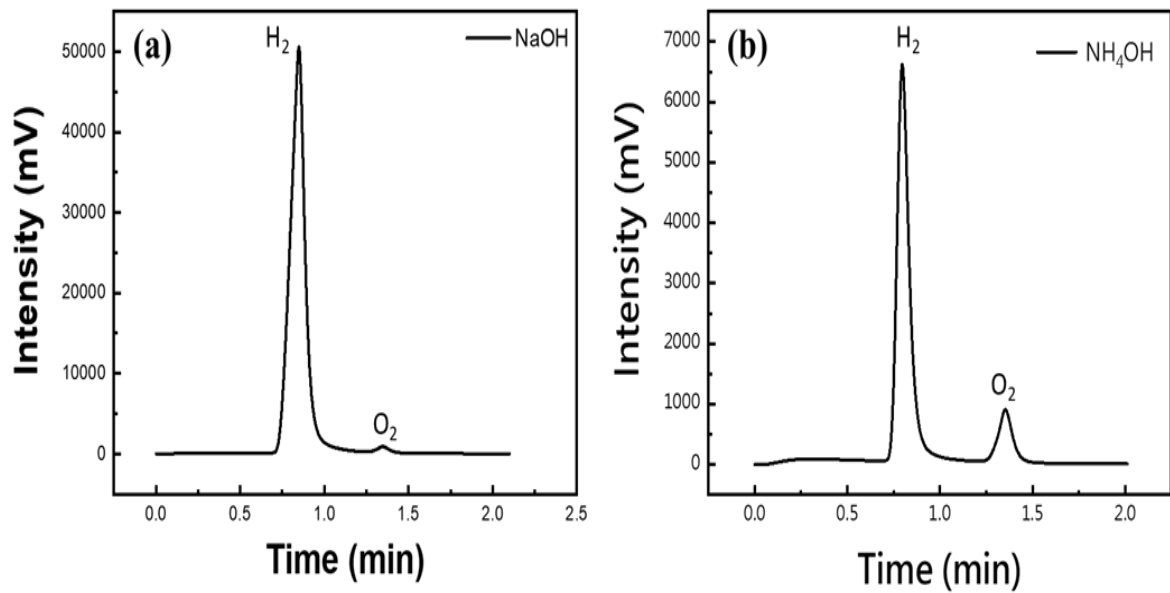


圖 9、產出氣體之 GC-MS 分析 (a)使用 NaOH 為催化劑(b)使用 NH₄OH 為催化劑

5. 固體產物特性分析

為了了解氫氣生成後的固態產殘餘物的特性，利用 EDS 對不同鹼性溶液反應後的殘餘物進行成分分析（如表 2）。結果顯示，使用 NaOH 產生的固態產物中，含有少量的 Na 殘留；而使用 NH₄OH 處理的固態產物則顯得更加純淨，幾乎僅由二氧化矽（SiO₂）組成。

表 2、產氫後之殘餘物 EDS 分析

Sample	wt %		
	O	Si	Na
NaOH 催化劑之殘餘物	49.09	47.19	3.71
NH ₄ OH 催化劑之殘餘物	53.36	46.64	-

接著進一步透過 X 射線螢光光譜(XRF, Brukers D8 Advance ECO X)分析(如圖 10、表 3)，對元素組成進行詳細解析，使用 NH₄OH 作為產氫溶劑，其固態產物中 SiO₂ 含量高達 98.4 wt%，其餘雜質含量極低，此結果也與 EDS 分析相符，表現出優異的純度。這些結果表明，NH₄OH 在矽污泥的產氫的過程中，相較於 NaOH 能夠有效避免鹽類生成而產出雜質，使固態產物更接近純 SiO₂ 的特性。因此可進一步應用於製造玻璃、陶瓷或耐火材料。

表 3、產氫後殘餘物之 WDS-XRF 分析

Sample	Chemical composition (wt %)					
	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
NaOH 反應劑之殘餘物	8.3	0.6	90.4	0.2	0.1	0.4
NH ₄ OH 反應劑之殘餘物	0.4	0.4	98.4	0.6	0.1	0.1

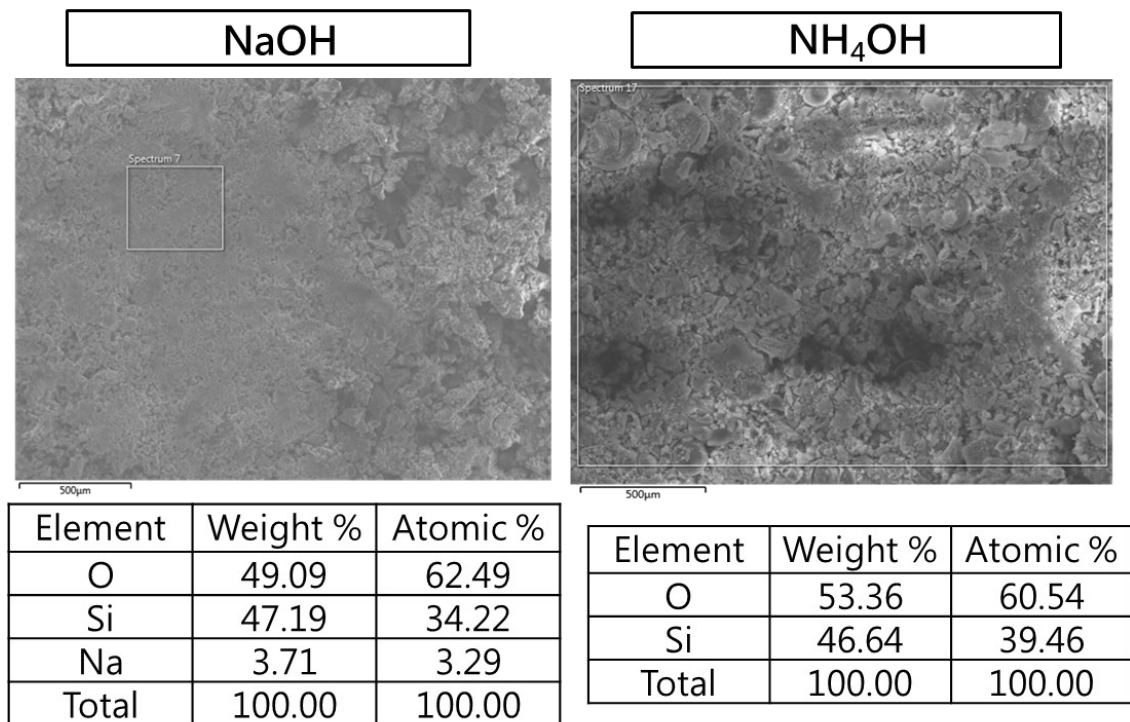


圖 10、產氫後殘餘物之 SEM-EDS 分析

而使用 NaOH 作為產氫溶劑，其固態產物中主要為 SiO₂ 含量為 90.4 wt%，其次為 Na₂O，其實際組成應為大量氧化矽(SiO₂)與少量矽酸鈉(SiNaO₃)，而此兩者皆可用於建築材料，氧化矽在建材中主要用作增強材料、防水材料 and 耐火材料。具體來說，二氧化矽可以提高建材的強度、硬度和耐磨性，同時也可以增強材料的防水性和耐高溫性。而矽酸鈉俗稱為水玻璃，於建材的作用為其可以滲透到混凝土內部，與水泥水化產生的氫氧化鈣反應生成矽酸鈣，提高混凝土的強度和耐久性。

因此，不論使用 NaOH 抑或是 NH₄OH 皆可以有效地利用其固體副產物，且未使用完全的鹼性溶液也可以重複使用，使此技術達到零廢棄、低碳排、低能耗與循環經濟等目標，相

信此技術若能於半導體產業現場落實，達到相當可觀之效益。

四、 預期效益及亮點

(一) 發展新穎且潔淨的氫能製備技術

目前工業上常見的氫氣製備技術，主要包括石化原料的高溫裂解及水電解等方法，然而這些傳統製程普遍伴隨高能源消耗、大量原料消耗及大量溫室氣體排放，**依現有的不同產氫技術來說，每公斤氫氣的製程碳排可達 3.8~35 kg CO₂-eq^[14]**，對環境造成不利影響，也使得潔淨的氫能不再潔淨，如表 4 所示。相較之下，本技術提出以半導體製程副產物—矽汙泥為原料，經適當鹼處理後進行氫氣產製，不僅副產物能夠進行有效資源回收，達到零廢棄的成果外，且**本技術的碳排僅 3.25 kg CO₂-eq/kg H₂**，亦可達到大幅降低製氫過程中的碳排放與能源負荷的目標，展現綠色永續的應用潛力。

表 4、不同產氫技術之碳排比較

技術	原料碳排類型 / 能源類型	碳排放量 (kg CO ₂ -eq/kg H ₂)	說明 / 依據文獻
⚡ 電解水 (火力發電)	火力供電 (如燃煤 / 燃氣電網)	25-35	台灣火力電廠強度 × 50-55 kWh/kg H ₂ (例: 0.5 × 55 = 27.5) 【1】
🔥 熱解 (如甲烷熱裂解)	天然氣 (含碳足跡) + 熱能	3.8-11	天然氣製備碳排 + 熱解過程能耗; 未封存碳黑者偏高【2】
🔥 氣化 (煤)	煤 (含開採與轉化) + 氣化反應熱	18-22	高碳密度原料，為碳排最嚴重的主流技術之一【4】
💧 超臨界水氣化 (SCWG)	生質液體 (如甘油) + 高溫壓力能量	3.8-4.4	需高溫高壓操作，能源效率較低但碳排仍控制得當【5】
🕒 暗發酵	有機廢水 / 農業廢棄物	~15	原料碳負荷低但氫產率低 → 單位氫碳排高
♻️ 矽廢汙泥 + 0.5 M NaOH	工業廢砂 (視為零碳) + NaOH製備碳排	~3.25	0.5 M NaOH × 溶液使用量 × NaOH(45%) 製備碳排 (0.675 kg CO ₂ e/kg) ÷ 氫氣產量(kg) (依CFP資料)【7】

台灣的科技業相當發達，而原本半導體製造所產出矽廢汙泥都僅是堆棄放置，過程可能需要靜置一至二個月，矽廢汙泥才會變成二氧化矽，而後再進行後續的回收處理，倘若利用本技術則可以在**30分鐘內使矽汙泥幾近完全反應**，除了大幅地提高產氫效率，還可以減少靜置過程的爆炸風險與提升廠房空間的利用效率，還能夠**獲得真正潔淨的氫氣能源**，對於目前相當缺電的台灣來說，此技術是一相當實用且迫切需要的技術。

(二) 循環經濟及淨零排放

半導體製程中所產生之矽汙泥，目前因缺乏經濟效益高且具技術成熟度的回收再利用方式，處理方式多以掩埋為主，造成土地資源浪費並潛藏長期環境污染風險。考量台灣為全球半導體產業的重要據點，相關廠區每日皆產出大量矽汙泥，若無妥善管理，將對環境承載力與產業永續發展構成實質挑戰。

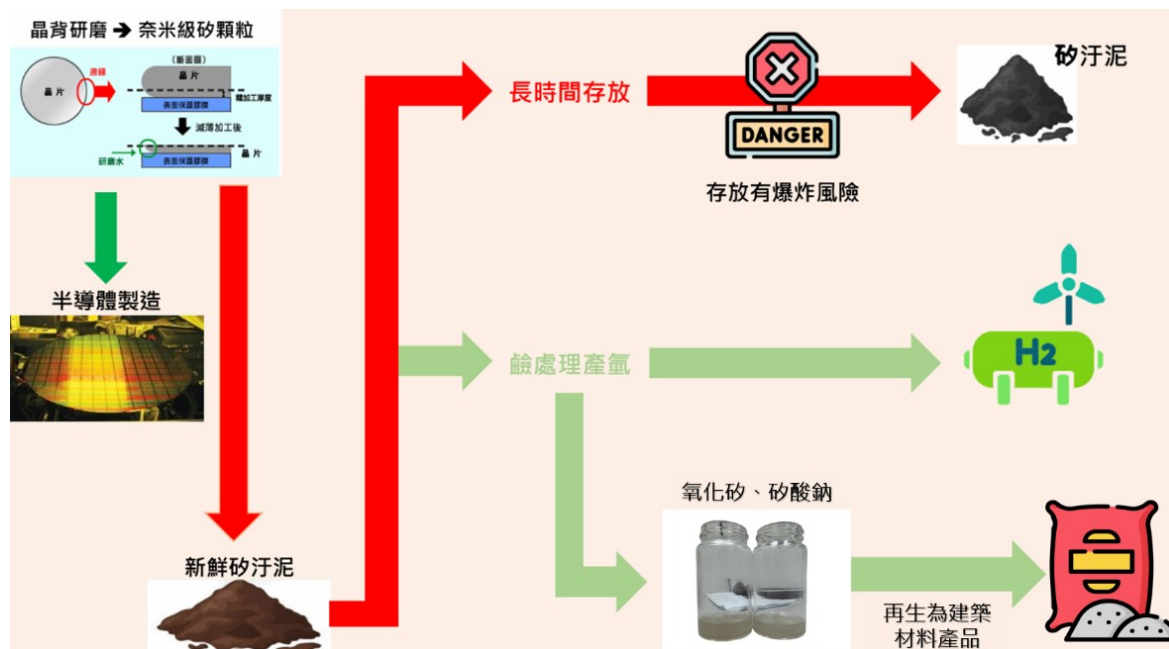


圖 11、矽汙泥處理及再利用流程圖

本技術提出創新矽汙泥資源化技術，能將矽廢汙泥就地於廠區內轉化為具高經濟價值之「氫氣」與副產物「二氧化矽、矽酸鈉」，有效替代傳統外委處理模式，達成資源回收與循環利用的目標，進一步減少廢棄物進入處理體系，實現源頭減量，並顯著降低碳排放與環境衝擊（如圖 11）。

目前台灣每年約會產生 32,000 公噸的矽廢汙泥，以目前之實驗結果去擴展可能的產氫量，本技術使用 1 公斤的矽汙泥大約可以產生 0.11 公斤的氫氣，經過計算，台灣每年產生的矽廢汙泥如果透過本技術**最少可以產生 353 公噸的氫氣**；以目前氫氣每公斤售價約 80 元，也就是僅透過販售氫氣，本技術每年可以從矽廢汙泥中**創造 2,824 萬元的額外氫氣收益**，在減少環境汙染的同時，為半導體業創造附加的商業價值。

除此之外，額外所產生的副產物「二氧化矽、矽酸鈉」也是有價之產品， SiO_2 工業級產品的售價為 21,000/ton，矽酸鈉工業級產品的售價為 10,080/ton，在混凝土的使用上 SiO_2 為必需之產原料，而矽酸鈉(水玻璃)則可以增加混凝土的強度，再者，根據產品碳

足跡資訊網的資料顯示製備每公斤矽酸鈉原料的碳排為 **1.00 kg CO₂-eq**，而進口每公斤氧化矽原料的碳排則為 **0.176 kg CO₂-eq**，而本技術的所產出的氧化矽、矽酸鈉其碳排放皆為 **0 kg CO₂-eq**，因此對於建築業者來說，本技術的零碳排副產物原料極具吸引力。

本團隊還統整了此技術的物質流與金流，如圖 12 所示，本技術係以在經濟效益較差的矽汙泥條件下(靜置一個月)進行經濟效益評估，首先，在原有製成條件下矽汙泥僅能交由儒光宇應材等業者進行回收，其回收價格落在 3700~5200 元/ton，而若透過本技術處理矽汙泥，其僅需要**每噸矽汙泥僅需<728 元的處理成本**(NaOH 之用料價格)，且每噸矽汙泥最少可以**產出>883 元的氫氣**，而這是在純矽含量僅 15%的情況下，若使用一週內的矽汙泥其純矽含量更高，相信可以創造告高的營收。

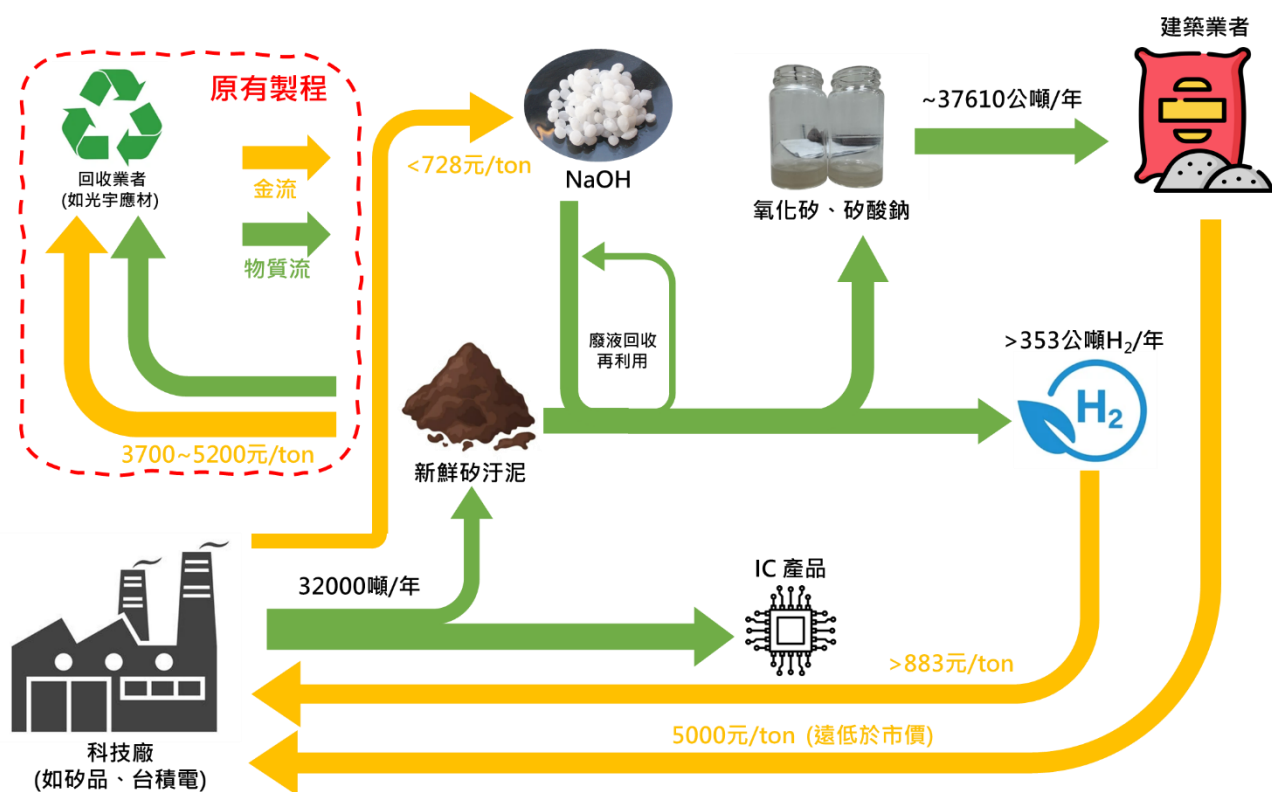


圖 12、矽汙泥處理及再利用之物質流與金流

再者，鹼處理產氫製成後所產生的鹼性廢液以及副產物氧化矽、矽酸鈉，其中鹼性廢液可以回收再利用，而副產物氧化矽、矽酸鈉則能夠以遠低於市價的金額販售給建築業者，每年約**莫可產出 37610 噸的副產物**，若以每噸 5000 元的價格也能夠**創造約 1.8 億的利潤空間**，且此副產物為零碳排之原料，相信本技術之副產物在價格、碳排上都是極具競爭力。

最終，總結本技術具備了製程簡單、製程時間短、零廢棄物、減碳排、循環經濟、潔淨能源、高效產氫等優勢，因應 2050 淨零碳排之強勢需求，本技術除了具備工業化之潛力也應為相當搶手之技術。

五、 其他

本技術也透過專利檢索尋找是否有相似的技术特徵，其中本團隊發現此技術與光宇材料股份有限公司的專利(專利證號：I568672)的技術內容相近，於下個段落會進行詳細說明。

於 I568672 專利說明書內第 8~9 頁[0038]段內有以下敘述：「……將可與矽反應生成矽酸鹽的化合物(如氫氧化鈉)調配成**總重量百分率濃度範圍在 50%以內的水溶液作為第三藥劑**。然後取適量第三藥劑加入裝有廢矽泥餅的容器中(此容器是可為密閉容器及開放式容器)。……可將加入第三藥劑之廢矽泥餅的溫度調至**高於室溫,較佳為 40°C，但不宜超過 140 °C**。可對裝有廢矽泥餅的容器加壓，**壓力範圍為 1-20 kg/cm²**。處理時間視攪拌與否及處理溫度及廢矽泥餅本身的特性而異，通常**約需 30 分鐘至數小時**。反應過程中可藉由高壓儲存桶收集反應所得的氫氣。」

將本技術與上述內容進行比較，首先本技術所使用的氫氧化鈉濃度相當低，**NaOH 水溶液濃度僅 0.5M，約為 1.95 wt%**，遠低於專利所述的 50 wt%，且本技術的鹼性廢液可以回收再利用，而本技術的產氫製程僅在**常溫常壓即可進行**，產氫效率也高達 83.3%，優於專利所述的 40~140°C、壓力範圍為 1-20 kg/cm²，且不需升溫、加壓的產氫製程其安全性也較高，接者，本技術在 30 分鐘內即可完成產氫反應，不須反應至數小時。因此相比於專利，本技術具備了更低的碳排、更短的製程時間、更少的原料添加、不須額外加壓、不須額外升溫等技術優勢，相信**本技術應為更具潛力的產氫技術**。

再者，此技術與應用方向緊密對應多項聯合國永續發展目標 (SDGs)：

1. SDG 7：可負擔的潔淨能源

透過廢棄物轉化技術產製氫氣，提供一種低碳且具潛力的替代能源，有助於促進潔淨能源多元化。

2. SDG 9：工業、創新與基礎建設

將創新材料轉換技術導入高科技製程廠區，推動製造流程升級與資源效率提升，建立永

續工業系統。

3. SDG 12：責任消費與生產

強化半導體產業的資源循環利用，落實減廢與再利用原則，提升整體生產與資源使用責任。

4. SDG 13：氣候行動

經由減少掩埋與處理過程中碳排放，積極應對氣候變遷挑戰，符合全球碳中和趨勢。

本技術的導入，除可為半導體產業建立具實用性之綠色處理機制，亦有助於落實資源循環利用，回應全球永續發展目標（SDGs）之核心精神，推動產業向永續價值鏈轉型。

參考文獻：

- [1] Zainal, B.S., et al., Recent advancement and assessment of green hydrogen production technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2024. 189: p. 113941.
- [2] Chelvam, K., et al., A review on the environmental performance of various hydrogen production technologies: An approach towards hydrogen economy. *Energy Reports*, 2024. 11: p. 369-383.
- [3] Dawood, F., M. Anda, and G. Shafiullah, Hydrogen production for energy: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020. 45(7): p. 3847-3869.
- [4] Ledakowicz, S., et al., Thermochemical treatment of sewage sludge by integration of drying and pyrolysis/autogasification. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2019. 104: p. 319-327.
- [5] Mysior, M., et al., Valorization of sewage sludge via gasification and transportation of compressed syngas. *Processes*, 2019. 7(9): p. 556.
- [6] Adar, E., M. Ince, and M.S. Bilgili, Supercritical water gasification of sewage sludge by continuous flow tubular reactor: A pilot scale study. *Chemical Engineering Journal*, 2020. 391: p. 123499.
- [7] Jain, R., et al., Bio-hydrogen production through dark fermentation: an overview. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2024. 14(12): p. 12699-12724.
- [8] Khan, U., et al., Hydrogen from sewage sludge: Production methods, influencing factors, challenges, and prospects. *Science of The Total Environment*, 2024: p. 170696.
- [9] Ning, R., et al., On-demand production of hydrogen by reacting porous silicon nanowires with water. *Nano Research*, 2020. 13: p. 1459-1464.
- [10] Erogbogbo, F., et al., On-demand hydrogen generation using nanosilicon: splitting water without light, heat, or electricity. *Nano letters*, 2013. 13(2): p. 451-456.
- [11] Mussabek, G., et al., Kinetics of hydrogen generation from oxidation of hydrogenated silicon nanocrystals in aqueous solutions. *Nanomaterials*, 2020. 10(7): p. 1413.

- [12] Brack, P., et al., Synthesis of activated ferrosilicon-based microcomposites by ball milling and their hydrogen generation properties. *international journal of hydrogen energy*, 2019. 44(35): p. 19113-19127.
- [13] Jiang, K., Z. Chen, and W. Ma, Research on LCA Data and Environmental Impact of Industrial Silicon Smelting and High Purity Crystal Silicon Purification. *Silicon*, 2024. 16(2): p. 573-583.
- [14] Intergovernmental Panel on Climate Change, Towards hydrogen definitions based on their emissions intensity, 2023