

我國前瞻能源技術探討

楊鏡堂^{1*} 萬曉明² 許妙行² 陳建志²
Jing-Tang Yang Hsiao-Ming Wan Miao-Hsing Hsu Chien-chih Chen
游宗翰² 黃如蕙³ 蔡佳玲³ 黃郁棻⁴ 林佑俊⁵
Tsung-Han Yu Ru-Yi Huang Chia-Ling Tsai Yu-fen Huang Eugene Lin

摘要

溫室效應與異常氣候嚴重影響著環境與人類的生命安全，飆漲的能源價格不僅衝擊全球經濟體系，更隱含了傳統能源的蘊藏量枯竭、供需失衡與能源爭奪戰發生的可能性。諾貝爾獎得主 Richard Smalley 教授預言未來五十年間人類必須面對的十大挑戰中，能源問題位居首位、環境問題則位居第四，足見能源與環境問題之迫切性。在面臨這些挑戰之際，除了調整人類的生活方式之外，最重要的就是積極尋找替代能源及導入前瞻能源技術以提高能源使用效率、降低能源導致的溫室氣體排放量。因此各國莫不加強投入科技研發，從能源供應端與需求端進行開源與節流，於能源轉換機制中開發高效率、低能損的能源載體，並於能源利用後端進行溫室氣體封存與再利用，由四大面向導入前瞻技術、落實溫室氣體減量，方能在兼顧能源安全、經濟發展及環境保護三方面的前提下，達成溫室氣體減量與環境永續發展的願景。

本文檢視政府投入能源科技研發的資源分配、評估我國新能源產業長期發展利基及國內自然環境潛能，在開源、節流、能源轉換機制及能源利用後端等方面遴選二氧化碳捕獲、再利用與封存技術、太陽能光電前瞻技術、生質能、風力發電、海洋能源、氫能與燃料電池、LED 照明及前瞻能源技術等作簡要介紹，說明其技術原理、國內外發展現況、科技發展趨勢及潛力發展技術等，期能藉由前瞻技術之研發與導入，協助建立永續、安全的能源供應體系，促使國內能源產業與世界接軌，並促進經濟發展。

關鍵字：溫室氣體、太陽光電、生質能、風力發電、海洋能源、氫能、燃料電池、LED

¹ 行政院能源政策及科技發展指導小組能源計畫辦公室主任(Director, Office for Energy Strategy Development, Steering Committee for Energy Policy and S&T Development, the Executive Yuan)

² 行政院能源政策及科技發展指導小組能源計畫辦公室副研究員(Associate Researcher, Office for Energy Strategy Development, Steering Committee for Energy Policy and S&T Development, the Executive Yuan)

³ 行政院能源政策及科技發展指導小組能源計畫辦公室助理研究員(Assistant Researcher, Office for Energy Strategy Development, Steering Committee for Energy Policy and S&T Development, the Executive Yuan)

⁴ 國研院科技政策研究與資訊中心助理研究員(Assistant Researcher, Science & Technology Policy Research and Information Center, National Applied Research Laboratories)

⁵ 國立清華大學動力機械工程學系專任助理(Project Assistant, Department of Power Mechanical Engineering, National Tsing Hua University)

* 通訊作者，email: jtyang@pme.nthu.edu.tw

An Overview of Advanced Energy Technologies in Taiwan

Abstract

The greenhouse effect and the unusual climate have brought serious effects on the environment and humankind. The soaring energy price not only shakes the global economics, but also implies the exhaustion and imbalance in the supply and demand of conventional energy, not to mention the possibility of an energy war. A Nobel Prize laureate, Richard Smalley, predicts the energy and environment issues will take the first and the fourth place respectively among the top 10 challenges that humanity has to face over the next 50 years, which so vividly reveals their importance. In tackling these challenges, in addition to adjusting people's life style, searching for substitute energy and introducing advanced energy technologies should also be considered a high priority, which can enhance the energy efficiency and reduce the GHG emission correspondingly induced. Most countries reinforce the R&D in energy technologies and focus on four main aspects, including the exploitation of new energy sources, conservation of energy utilization, development of high-efficiency energy carrier in the process of energy transformation, and GHG storage/reuse. Based on the prerequisites of the energy security, the economic development and the environment protection, these aspects will help achieve the visions of the GHG reduction and a sustainable development.

This study investigates the allotment of government investment in the R&D of energy technologies and assesses the niche for the long-term development of the industries in Taiwan. We introduce several advanced technologies of the CCS (carbon capture and sequestration), photovoltaics, biomass, wind power, ocean energy, hydrogen and fuel cell, and LED lighting. The corresponding technical details, global R&D status, technology trends, and most promising techniques within each specific field are illustrated. A sustainable and secure system of energy supply and indigenous energy industry with world-class capabilities are both expected to be established via the development and introduction of advanced technologies.

Keyword: GHG reduction, PV, biomass energy, wind energy, ocean energy, hydrogen energy, fuel cell, LED

一、[前言]

自十八世紀工業革命以來，人類利用科技開發各式各樣產品，以滿足人類食、衣、住、行、育、樂之需求，舉凡資訊、材料、生物科技、傳播等皆發展迅速，但在追求舒適生活的同時，卻是消耗大量地球的資源，使得溫室效應加劇、資源短缺、能源耗竭、物種滅絕、生態環境破壞殆盡。京都議定書於 2005 年 2 月 16 日生效後，全球暖化與能源議題再度成為全球矚目之焦點，且亦有 130 個國家同意了溫室氣體減量的國際條約，首先從已開發國家領先減量，2008 年開始進入承諾期。議定書規定，從 2008 年到 2012 年期間，主要工業發達國家的溫室氣體排放量要在 1990 年的基礎上平均減少 5.2%，其中日本的減排目標為 6%、歐盟為 8%、美國為 7%，因此，豐富、安全、廉價、且潔淨之綠色能源即為各國積極開發的重點。

歐盟 2007 年於高峰會決議，在 2020 年前溫室氣體排放量較 1990 年水準減少 20%，節約能源目標訂為 20%，再生能源使用佔能源使用量 20%，生質燃料使用佔運輸燃料使用總量 10%，同時要加強能源科技研發，包括高效率發電技術、清潔化石燃料技術、碳捕獲與封存技術，並期望於 2020 年應用於新化石燃料電廠。此外，技術上發展 CCS、輸送及儲存技術之商業化應用，將次世代具競爭力之生質燃料替代石油的使用，擴增以離岸風電為主之風力發電發電量，發展可商業化之集中型太陽光電技術及可容許高比例分散式電源之智慧型電網，提高終端使用能源效率，研發燃料電池，保持核分裂技術之競爭力，期望能夠協助達成歐盟能源政策的 3 大目標—永續性、競爭性、能源安全。另外，布萊爾政府亦提出對抗全球氣候變遷的重要法案 (Climate Change Bill) 準備立法強制規範溫室氣體排放量，法案內容包括：2050 年排放量低於 1990 年排放水準 60%；2020 年排放量低於 1990 年的排放水準 26% 至 32%，還有提高能源效力，讓更多的消費者成為能源的生產者，並加大對低碳燃料和技術的投資，包括對碳捕捉及儲存、風能、水能和太陽能的投入，編列碳排放預算且進行目標核定，同時成立專責小組負責監督實施成效。

台灣屬於高度隔離性之海島型生態系統，加上地狹人稠，土地資源皆有限，98% 的能源必須仰賴進口，且二氧化碳排放量佔全球之 1%，再加上經濟持續成長，未來工商業之能源消耗量亦會持續隨之成長，面對國際間溫室氣體減量之衝擊，我國有義務負擔減量之責，因此在能源前瞻技術方面更具迫切性。我國能源技術之研發資源相較於歐美日等先進

國家，能源投入產業之技術仍嫌不足，國內市場有限，因此參考各先進國家之綠色能源科技研發與應用，包括二氧化碳減量技術、節能減碳科技、再生能源之應用、提高能源效率、能源新利用技術等之開發。以下將針對幾項具產業潛力之前瞻能源技術，就其技術原理、國內外發展現況、科技發展趨勢等作介紹。

二、[碳捕獲、再利用與封存技術]

從世界能源結構分析，短期內石化燃料依然是能源供應的主要來源，而為了同時要兼顧環境永續生存，避免全球氣候變遷惡化，處理燃燒後產生的CO₂將是能源科技研發的重點。在國際上減碳政策中，碳捕獲、封存及再利用是減少CO₂排放量的主要策略之一，目的在於大幅減少對於發電廠或是大型工業之CO₂排放，將原本排放到大氣中的CO₂，加以捕獲收集，並且妥善的貯存在特定的地點或是將其加工再利用。雖然碳捕獲及封存方式並不能徹底地解決CO₂排放的問題，但是在新的替代能源還未能取代石化燃料前，碳捕獲與封存將是一個降低碳排放的有效方式。美國能源部所屬的國家能源技術實驗室 (National Energy Technology Laboratory, NETL) 提出美國有關於碳封存目標，冀望在 2012 年利用石化燃料轉換能源時，CO₂ 捕獲率達到 90%、被封存率則有 99%、捕獲封存成本不高於售電成本的 10% [1]。歐盟則是規劃在 2020 年時，碳捕獲、輸送與封存技術已發展到工業規模並且可商業化的使用。因此在先進國家積極規劃邁入低碳經濟社會，相對我國屬於高二氧化碳排放國家，應更需要投入更多研發於碳捕獲、封存與再利用等技術上，培養減碳技術能量，達到減少排放的目標。

碳捕獲與封存程序包含了 CO₂ 產生、分離捕獲、運輸、封存與後續監控等。其中 CO₂ 產生方面，排放最大來源石化燃料發電廠，根據燃料轉換成熱能與電能方式的差別，區分為成四種捕獲路徑，分別是燃燒後 (post-combustion)、燃燒前 (pre-combustion)、富氧燃燒 (oxy-combustion) 及化學迴圈燃燒 (chemical looping combustion) 四類，燃燒程序如圖一所示 [2, 3]。燃燒後捕獲方式是指石化燃料於鍋爐中燃燒後排出煙道氣，經由氣體分離單元進行 CO₂ 捕獲，一般傳統的火力發電廠大都屬於此類，如粉煤式 (pulverized coal, PC) 發電廠。其缺點是煙道氣中 CO₂ 濃度較低，約僅有 3-4%，導致捕獲成本較高。燃燒前捕獲則以氣化複循環發電技術 (Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC) 為代表，利用汽化技術將燃料轉換為 CO₂ 與氫氣。優點是反應完後排放的氣體中 CO₂ 含量可達 40%，有利

於捕獲操作，但在設備建置上成本較高且運作可靠度尚待更廣泛驗證。富氧燃燒是以純氧取代空氣進行燃燒，而化學迴圈燃燒法則是以金屬氧化物當成氧氣傳遞物質，達到能量轉換的目的。富氧燃燒與化學迴圈燃燒法雖然未來極具發展潛力，但目前仍屬於試驗規模研究，短期內較無商轉的可能性。

圖二顯示處理燃燒後產生CO₂的捕獲、再利用與封存等相關技術 [4]。以下分別介紹：

2.1 CO₂ 捕獲

在捕獲技術方面，目前可分成 4 個研究方向：吸收、吸附、薄膜分離與其他方式。而其中以吸收技術最為成熟，例如單乙醇胺吸收CO₂已在工業上行之多年。雖然此法已被廣泛應用在CO₂吸收，但是依然存在許多缺點，如大規模的場地與設備、吸收劑再生時能耗高等，因此研究方向以開發新的吸收劑，改善舊有缺點為主，如多種醇胺混用、立體障礙醇胺、胺類溶液等均有良好的效果。吸附法則目前多用在中小規模的二氧化碳回收，吸附劑所用材料通常為活性碳、分子篩等多孔性材質。近來有研究以包覆或鍵結方式將胺類物質固定在多孔性材質內，大幅增加CO₂吸附量，例如利用多孔隙分子篩MCM-41為基材，將適量聚乙烯亞胺包覆其中，二氧化碳吸附量比原材料高 20 倍以上 **錯誤! 尚未定義書籤**。另外脫附研究上，電力擺動吸附法則是最新發展之技術，因為吸附劑結構有導電性，僅需通電即可將吸附之二氧化碳快速脫附，大幅降低脫附所需能量 [4]。薄膜分離的研究重點在於開發出選擇性高、氣體流通率大、機械強度好、耐高溫、價格便宜的膜材，目前是以複合性材質膜材較能符合要求，例如利用多孔性金屬為載體，結合高分子polybenzimidazole而成耐高溫膜 [4]。其他的CO₂碳捕方式如CO₂水合物、混合法等都還尚在實驗室規模的研究，仍須更進一步的結果與驗證，才有實用可能性。

2.2 CO₂ 再利用

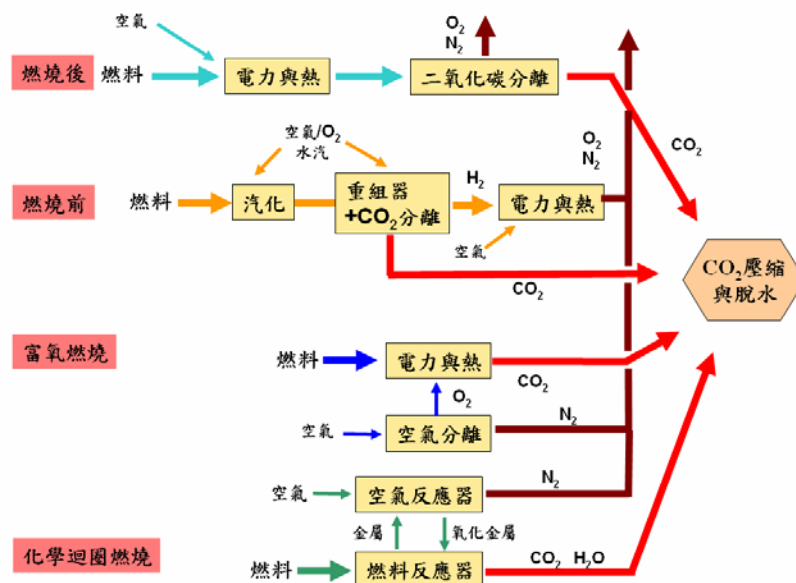
二氧化碳的再利用技術可分為直接利用以及轉化利用。直接利用包括：碳酸飲料、食品包裝、殺菌劑、滅火劑、焊接劑、制冷劑、萃取及反應溶劑、推進劑等；轉化利用則可將二氧化碳轉化為化學產品（尿素、水楊酸、碳酸酯、聚碳酸酯等）以及能源產品（甲烷、甲醇、碳酸二甲酯、二甲基醚等）[4]

2.3 CO₂ 封存

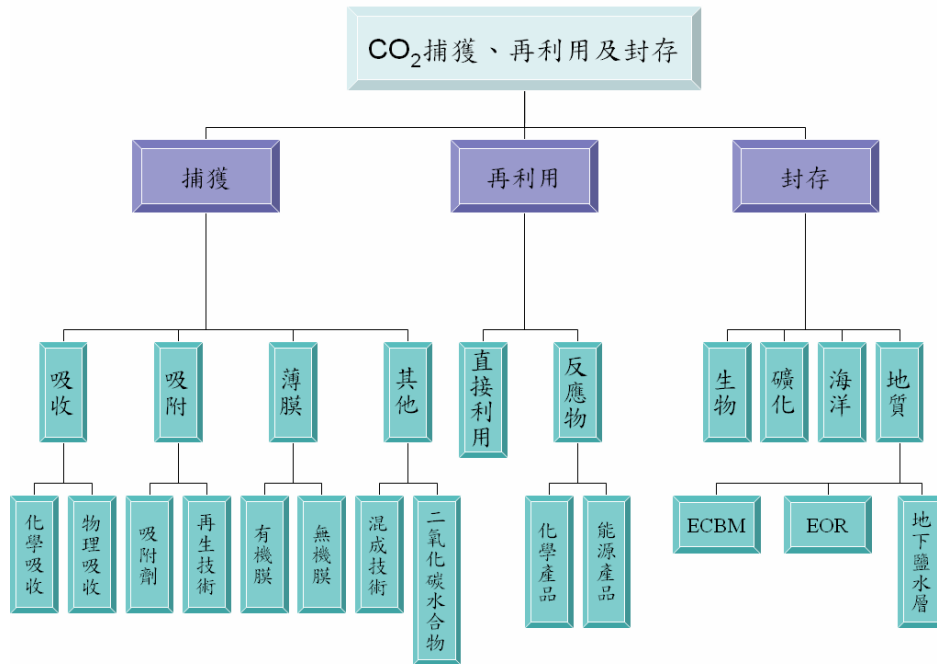
二氧化碳的封存是利用物理、化學或是生物方式，將二氧化碳存放於置特殊的位置或

場所。目前封存研究根據儲存的方式與地點可歸納為地質封存(geologic sequestration)、礦化封存 (mineral carbonation)、海洋封存 (ocean storage) 及生物固定 (bio-fixation) 等技術。就技術成熟度、環境影響性及成本估算而言，地質封存是當今 CO₂ 封存技術中最適合的方式，其中提高油氣採收法 (enhanced oil recovery, EOR) 與煤床甲烷增進法 (enhanced coal bed methane, ECBM)，是將 CO₂ 注入油田或是煤層縫隙中，得到更多的石油或甲烷等高附加價值的產物，是更具有利用性的方式。從環境安全考量，地質封存是將 CO₂ 存放在密閉地層中，洩漏的可能性低且其採用的技術來自石油及天然氣產業對油氣田的開採，技術成熟完善並已使用多年。除了地質封存外，生物固定法也十分具有發展前景，特別是在基因改造過的藻類或是微生物，利用天然的光合作用吸收 CO₂ 進行大規模的發酵培養，不僅有減少排放效果，同時可以兼具發展生質能與保健食品，同樣有附加的商業價值。礦化封存及海洋封存現在還有環境、經濟成本等問題需要克服，而且技術尚屬研究規模階段，短期內尚無法實施大規模驗證。

有關碳捕獲、封存與再利用等減碳科技方面，還有許多的前瞻技術正積極開發中，例如離子溶液吸收劑開發、將 CO₂ 轉化為合成燃料、增加氣液接觸效果的超重力旋轉填充床、CO₂ 封存後之監控管理等，預期對於未來減碳工作發展上都將有卓越的貢獻，因此我國對能源科技開發應不斷地持續地進行，往更有效率且低成本的目標前進，使我成為具有先進減碳能力的科技大國。



圖一 不同型式的燃燒與二氧化碳產生 錯誤! 尚未定義書籤。錯誤! 尚未定義書籤。



圖二 CO₂ 的捕獲、再利用與封存技術 [4]

三、[太陽能電池]

太陽能電池吸引全球的目光，成為替代能源之基石，藉由太陽豐富的能量將光轉換成電，且幾乎沒有有害污染物的排放。早期發展的大面積、單一 PN 接面的單晶矽太陽能電池，因高純度矽晶供應短缺而價格飆漲，且生產過程耗能，繼而發展薄膜太陽能電池，雖然薄膜型太陽能電池有成本較低之潛力，但其轉換效能較單晶矽差，且尚未能克服效率及穩定問題，量產技術仍待突破。第三代太陽能電池為以玻璃為材料的染料敏化太陽能電池，同樣具有成本較低的特性，僅約傳統矽基材太陽能電池成本之 1/5~1/10，加上製程簡易，因此具相當大助益於產業化發展。染料敏化太陽能電池的特徵在於不使用矽半導體為基材，其轉換原理是染料吸收光子產生的光化學反應。1991 年 O'Regan *et al.* [5] 於 *Nature* 上發表使用鈦錯合物作為染料，並於具有導電膜的基板上將奈米尺寸的二氧化鈦微粒塗佈成糊狀，經過 450 °C 高溫燒結而得奈米二氧化鈦多孔膜作為電極，採用碘/碘離子 (I/I₃⁻) 作為導電用的電解質溶液，能源轉換率可達到 7.1-7.9%。其光化學作用原理乃是高度共軛之鈦錯合物染料，照光吸收光子能量，由基態轉變為激發態，染料於激發態釋出電子注入二氧化鈦薄膜之電子傳導帶之後自身氧化，經由電解質 I⁻ 的還原之後，氧化的染料恢復成為基態，並使電解

質 I^- 形成電解質 I_3^- ，藉著接收電極上的電子， I_3^- 可以還原成 I^- ，如此構成一電子傳輸迴路。

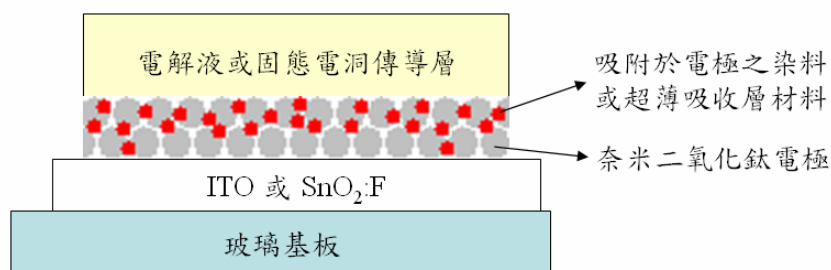
染料敏化太陽電池中使用奈米二氧化鈦做為電極，原因在於二氧化鈦為具有寬能帶之半導體材料，其厚度僅約數微米，且奈米顆粒與孔洞交互分佈的結構，使得主動層的日光吸收表面積可以增加數百倍，大量節省電池面積與材料用量。另外，製造奈米二氧化鈦薄膜，只需將二氧化鈦顆粒浸泡於含有鈎染料的溶液中約二十分鐘，使用一般的旋轉塗佈法平鋪在陽極上，再以惰性氣體風乾即可，製程簡單。二氧化鈦之主要功能為光感染料的載體與電荷傳輸功用，為了延長光傳遞的路徑，通常亦會在二氧化鈦上再塗佈一層光散射物質，藉以增加染料在二氧化鈦之吸收效果。

染料性能的優劣與太陽能電池的效率有很大的影響，一般染料敏化太陽能電池中的染料必須對太陽光具有大範圍之吸收度。太陽光照射至地球，許多波段光均已被臭氧、氧氣、氮氣、水氣等大氣氣體所吸收，因此地表上接收到太陽光強度大於 $0.8 \text{ Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$ 的範圍約為 400 nm 至 800 nm，屬於可見光範圍；強度大於 $0.5 \text{ Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$ 的範圍約為 380 nm 至 900 nm，一般染料在可見光範圍的吸收波段相當大，涵蓋數十到一百奈米的波長範圍，因此可以符合染料敏化太陽電池的要求。此外對於金屬錯合物而言，激發態的壽命較短，當擴散到電極表面前激發態的能量已耗盡，唯有能立即與二氧化鈦電極表面接觸者，才能有效使電子注入傳導帶，因此染料本身之激發態生命週期穩定與否，與加強染料吸附在二氧化鈦表面之能力也是非常重要的一環。

染料敏化太陽電池吸收日照光譜範圍較大，當日照不足之下仍有高轉換效率，因此日照不穩定之區域也適用，又由於其基材不需使用昂貴的高純度矽，且製程簡易，不需真空設備，上述優點比傳統矽晶太陽電池更具競爭力，因此預期將成為低價太陽電池之主要技術。近年來電解液固化技術的提升，染料敏化太陽電池之安全性與耐久性也將獲得改善；惟其商業化仍需加強元件設計、材料改良、提升密封及低溫成膜技術、提高光電轉換效率、大面積量產與降低成本等。

為解決早期染料敏化電池所使用之電解液，容易漏液、染料脫附與封裝困難等問題，近年發展出固態式染料敏化電池，使用P型半導體、導電聚合物、膠狀電解質或是有機電洞傳導層來取代電解液 [6]。將單層染料附著在電洞傳導材料上，當染料吸收光子產生電

荷時，電子會經由電極傳至外界，此時電洞傳導層會釋放電子，恢復染料的電中性。在這樣的設計製程中，沉積的電洞傳導層材料必須深入多孔奈米結構中，增加接觸面積，才能有效地持續提供電子（圖三）。CuBr、CuI或CuSCN都很適合被用來當作P型半導體，其中CuSCN穩定性又高於CuI，O'Regan *et al.* [7]利用CuSCN溶解於*n*-propyl sulphide中取代電解液，其轉換率為 2%。有機P型半導體較無機P型半導體，擁有低成本及製程容易的優點，為使製程更為簡化，Krüger *et al.* [8] 使用有機p型半導體 tBP (4-tert-butylpyridine) 作為電洞傳導層與Li[CF₃SO₂]₂N混合，並利用銀離子增加染料吸收效果，改善轉換效率達 3.2%。Grätzel *et al.* [9]也發表轉換率為 4%之太陽電池，並發現若二氧化鈦的奈米孔洞結構未被完全填滿，將導致電流密度下降，降低太陽電池性能。共軛高分子材料是眾所皆知應用於染料敏化電池之電洞傳導半導體與金屬材料，但其分子量過大，不易滲入奈米結構之中。為了兼顧電解液與電洞傳導層的良好傳導性，Wang *et al.* [10]使用固化後的MPN (3-methoxypropionitrile) 材料作為電洞傳導層，達到 6% 的轉換效率，並且驗證其在高溫 80°C時仍有高度穩定性。Haque *et al.* [11]發現轉換效率 5.3% 之可繞式固態染料敏化電池，是將Al₂O₃塗佈在二氧化鈦上與塗佈I₂/NaI 之固態電解質結合所組成。



圖三 新式染料敏化太陽電池架構

超薄吸收層 (extremely thin absorber, ETA) 太陽電池的概念與固態式染料敏化太陽電池十分類似，在ETA太陽電池中，是藉由一超薄層半導體，如CuInS₂、CdTe或是CuSCN取代染料附著於二氧化鈦奈米結構中，可因為表面積增加與入射光散射的效應，有效提升光的捕獲。Nanu *et al.* [12]使用原子層化學沉積法，以二氧化鈦與CuInS₂製造出ETA太陽電池，轉換效率可達 4%。ETA太陽電池之作用原理相似於固態染料敏化太陽電池，是在異質接面上有一超大表面導致。混合型太陽電池即是將無機半導體的奈米結構與有機半導體混合，形成異質界面，作為光電效應的主動層。無機半導體材料具有高吸收率及光導性質，

使用奈米結構的無機半導體，其光電特性會因尺寸大小而改變，奈米結構的摻雜形式、濃度與吸收能階都很容易調控，且接觸面積增加，電流也會隨之提升。Huynh *et al.* [13]利用CdSe奈米晶體與P3HT (poly(3-hexylthiophene)) 有機薄膜混合製成效率 1.7% 的元件。Olsen *et al.* [14]組裝太陽電池裝置是利用P3HT混合PCBM ((6, 6)-phenyl C₆₁ butyric acid methyl ester) 與ZnO奈米線結合，可提升效率達 2.03%。

目前我國在前瞻太陽電池之相關研發上，仍屬於基礎研究及實用化兩者並重的階段，基礎研究方面由具學術性之研究單位進行，重點大都在改善奈米材料的特性，增加其導電度、光吸收率、尺寸均一性以及轉換效率提升等；而實用性則多由工業界或相關研究單位進行製程、大尺寸化、效能穩定性等相關研究。相信國內若持續投入太陽電池材料與元件結構設計創新，整合薄膜與奈米技術，我國在太陽光電產業上應可與歐、美、日同佔重要位置。

四、[生質能]

目前我國約 98%的能源是仰賴進口，在國際油、氣市場供應日益吃緊之情況下，應積極開發自有能源。生質能，依據我國行政院「再生能源發展條例草案」第三條第二款的定義，為「國內農林植物、沼氣、一般廢棄物與一般事業廢棄物等直接利用或經處理所產生之能源」。生質能源之開發具有能源自主、農業發展、環境保護與經濟成長等優點。由於生質能源之生產成本相對於汽、柴油仍然偏高，因此各國皆採取相當優惠之政策補貼以協助此項新興產業之成長。

4.1 生質能發展面臨的挑戰及前瞻科技的重要性

近幾年來，國際上不斷有學者以及環保團體質疑生質能的發展可行性。許多人皆提出利用糧食作物作為生質燃料的料源會造成糧食危機以及生態的破壞。

歐盟於 2008 年 1 月坦承增加生質燃料可能導致糧食價格上漲和雨林因開墾種植生質燃料作物被破壞等負面衝擊。歐盟主管當局也承諾將擬出新辦法，承諾不會採用會破壞印尼雨林的棕櫚油生質燃料，確保歐盟制定的目標不會對環境及窮人造成傷害 [15]。

國內日前也宣佈停止向日葵計畫。據指出，廠商收購種子成本比進口種子貴，榨油後的殘渣廢棄物又無處可去，製油成本高，賣油價格低，沒有利潤。農會人員說，國內生產

成本高，是向日葵計畫終止的主要原因 [16]。

有鑑於以上因素，以糧食作物作為生質燃料的來源已引起大家的反對聲浪，但生質燃料卻是再生能源中重要的腳色，故尋找出替代的技術及料源已是刻不容緩的事情，以下將初步介紹生質能前瞻技術發展的必要性及待突破的技術。

4.2 各種生質能源前瞻技術的國內現況及國外發展動向

4.2.1 廢棄物衍生燃料 (RDF)

如圖四所示，一般固態衍生廢棄物是將MSW粉碎或碾碎，經磁選機將鐵磁性物質回收利用，混以添加劑後再經風力（重力）選別機將其他不可燃之無機物（如玻璃、陶瓷等）分離，乾燥處理後即成為RDF [17]。現今依美國材料試驗協會（American Society for Testing and Materials, ASTM）分類標準，廢棄物衍生燃料分為7種 [18]（表一）。

其中固態衍生廢棄物（RDF-5）為將RDF壓縮成密度超過 600 kg/m^3 以上之丸、條、塊或磚狀等之可燃廢棄物。其優點為：(1) 壓製成小體積之立方狀後方便運輸；(2) 加入添加劑（如 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）後，可防止腐敗、延長儲運壽命，並可於燃燒後減低或抑制有毒氣體的產生 [18]；(3) 熱值均勻；(4) 可直接用於各式鍋爐。RDF-5 為便利並兼具環保與經濟效益之MSW燃料，因此為世界各國發展之主要項目之一 [19]。若能提高RDF製作及利用的技術，將可以降低能源進口依存度，並在促進產業進步的同時兼顧環保，達到京都議定書的要求。

表一 美國材料試驗協會對廢棄物衍生燃料 (RDF) 之分類，參考自楊子忠論文 [18]。

	美國 ASTM 分類
RDF-1	可作為燃料的都市固體廢棄物（去除巨大垃圾後）
RDF-2	處理成粗顆粒大小之都市固體廢棄物
RDF-3	去除金屬、玻璃及其他無機物後製成之都市固體廢棄物燃料，其 95% 重量需通過 2 平方英吋篩之廢棄物
RDF-4	處理成粉末型之可燃廢棄物，其 95% 重量需能通過 10 號篩
RDF-5	壓縮成丸、條、塊或磚狀等可燃物廢棄物，其密度需超過 600 kg/m^3
RDF-6	液化之固態衍生廢棄物燃料 (RDF)
RDF-7	氣化之固態衍生廢棄物燃料 (RDF)



圖四 J-CATREL 製造 RDF 之程序圖

4.2.2 纖維素轉換酒精

纖維素轉換生質酒精即所謂的第二代生質燃料，在近年來日益受到重視。由於利用糧食作物轉換生質酒精有較多的爭議，故全球學者轉向以纖維素為原料。纖維素在自然界的存在相當豐富，包括樹木、各種野草、稻桿等等，除此之外，亦有許多農業廢棄物可作為纖維素酒精的料源，這些料源皆是天然的且非糧食作物，較無爭議性。

纖維素酒精生產主要的流程分為前處理、水解/糖化、發酵及酒精純化等單元。前處理主要是要破壞木質纖維素，以促進水解的效率；水解則是將纖維素水解產生製酒精需要的葡萄糖；發酵即產生酒精，再經過純化及酒精脫水步驟得到所需的燃料酒精。目前發展較大的限制在於料源的前處理，即如何有效的將纖維素破壞來促進水解的效率。

4.2.3 厭氧產製甲烷：

厭氧產製甲烷的過程主要可分為水解、酸生成及甲烷化三個階段：(1) 水解階段：利用兼氣與厭氣菌將醣類（纖維素）、脂肪及蛋白質水解及發酵，產生氣體組成為 80% CO_2 及 20% 氫，(2) 酸化階段：由乙酸生成菌 (acetogens) 將第一階段所產生的有機酸及醇類代謝為乙酸及其衍生物、 CO_2 及氫氣，(3) 甲烷化 (methanogenesis) 階段：在厭氧的情況下，甲烷菌 (methanogens) 將前兩階段產生之有機酸、醇類轉變成 CH_4 、 CO_2 ，產生氣體組成為

60% CH₄ 及 40% CO₂ [20]。厭氧消化作業流程如圖五所示 [21]，目前此技術已成熟，僅缺乏大規模的規劃與執行。



圖五 厭氧消化作業流程圖 (本研究根據參考資料[21]重製)

4.2.4 生物產生氫氣

氫氣為一種乾淨無污染的能源，近年來世界各國也都積極的發展產氫的技術。其中利用微生物產氫是一種新興的產氫方式，微生物以有機廢棄物或廢水為原料，經由一連串的反應後釋出氫氣，可同時達到能源回收及廢棄物再利用的目的。

主要技術可分為厭氧生物產氫及光合生物產氫。厭氧產氫主要是利用厭氧發酵細菌 (如 *Clostridium*) 將葡萄糖轉換為丙酮酸，再經過一連串的反應後產生最終產物 (如乙酸、丁酸等) 以及釋放氫氣。光合生物產氫主要由兩大類微生物進行，藍綠藻 (如 *Cyanobacteria*) 進行產氧光合作用以水為電子接受者產生氫氣，而光合作用細菌 (如 *Rhodospseudomonas palustris*) 進行不產氧光合作用，在厭氧下將有機酸轉換成為氫氣。目前較大的困難點在於無大規模的實廠建立，國外發展僅到先導試驗廠階段 (pilot scale)，國內也僅在實驗室規模。

4.3. 未來生質燃料的料源：

除了上述的技術中提到的可能料源外，還有許多有潛能的植物本身即具有作為生質燃料或是產生生質燃料的特性；而有些經過基因的轉植及調控後即可大大提升其生產生質燃料的潛能。

在其餘料源的部份，包含了藻類、柳枝稷以及芒草，其共通點為生命力強且產量旺盛，

在藻類部份，適用於廢水處理並產製藻類生質柴油；芒草與柳枝稷現皆有培育出對於生產生質燃料及固定 CO₂ 的種類。在基因轉殖及調控的技術發展上，像是白楊木、玉米以及油加利（桉樹），皆已有改良過的品種，也有發展出可轉殖在其他非糧食作物上生產燃料的基因。但是基因改良的農作物在於法規及對生態的影響都還在評估階段，仍有待配套措施的建立。

五、[風力發電之趨勢與前瞻科技]

風力發電的成本接近天然氣發電，是目前較經濟的再生能源之一 [22]。許多國家皆在政府主導下結合民間企業，全力推動風力發電產業，推動策略除了藉由制訂再生能源法案，明訂風力發電設置目標外，亦設定 CO₂ 排放量減量目標、制訂罰款、提供租稅優惠及獎勵等措施，提升風場開發環境，並帶動產業研究發展。

目前陸域風場開發趨於飽和，且海上風場具有較強的風力及較少的亂流，故全球風場逐漸朝向離岸式發展。但離岸風場所需之安裝及維運費用較陸域風場昂貴，因此離岸風場大都朝向高發電容量設備，未來風力發電技術將朝向大型風機與離岸型風機之研發。

風機目前較具突破性的設計為 MagLev 公司提出的新技術「磁浮」風力發電機 (super-powered magnetic mind turbine)，特點為其扇葉靠磁力懸浮與基座分開，葉片採垂直方式排置，轉軸由磁浮效應取代傳統風力發電使用的滾珠軸承 (ball bearing)，軸承另外固定。以磁浮取代軸承的優點是大幅減少摩擦，以提升風力發電效率，其風速在 1.5 m/s 即可發電，葉片亦可承受 40 m/s 以上的高風速，除有助降低風機故障率、延長使用年限，進而降低維運成本。

新的配置方式因發電機葉片不受到重力限制，可以製造出超越以往的巨型風力發電機組。目前磁浮發電機每台造價約需 53,000,000 美元，MagLev 公司表示每一台磁浮發電機可以產生一千座傳統發電機的電量，約足以供應 75 萬戶的電力。除了發電量大，更可在 5 km/h 的微風中運轉、維護費用也只有傳統的一半，預估壽命長達 500 年 [23]。目前除美國外，中國的中科恆源也花費 5,000,000 美元蓋一座工廠，建造 400~5,000 W 的小型磁浮發電機。

發電機的發展現況，高溫超導體的運用也為高電力輸出開啟了一個新契機，超導體係

指電阻值為零的導體，超導態具有「零電阻」與「完全反磁性」兩種現象。由於大型發電機需提高磁場強度來增加效率，造成磁線圈因高電流經過產生熱而損耗大量能源，甚至引起金屬線圈因高熱而熔解、短路與損壞。因此，若能將超導材料應用在電纜、發電機、馬達等方面，能源使用效率將大幅提升。

從 1911 年 Onnes [24] 發現「低溫超導現象」，汞在 4.2 度 K 時電阻突然消失，一直到 1986 年 Bednorz 與 Mler 發現高溫超電導（超導體），這兩類超導體顯現的巨觀超導現象相同（零電阻及反磁性效應），近年來研究朝向「超導機制」、「提高超導材料臨界溫度」、「提高超導材料臨界電流拉線」發展。超導的宏觀現象「零電阻」及「完全抗磁性」具有極高的應用價值 [25]。

除了應用於發電機線圈外，運用超導體電纜所建構的電力網，能以接近無損耗之效率輸送電力，且以低溫液態氫取代液態氮更可以同時輸送氫能源，建立能源儲存庫與緩衝容量，使得風力及太陽能等再生能源更加普及 [26]。

大型機組單機發電容量高，因此需開發輕量、耐腐蝕且高強度的葉片以降低發電機等關鍵元件重量，減少塔架的負載。巨型化的葉片以環氧樹脂為主，縱樑則改以碳纖維補強，表面採耐污、抗腐蝕及光滑之奈米塗料為發展目標。然而葉片巨型化會造成運送的困難，可組裝葉片或許是下一個研發重點。

現代商業化風力發電機主要是由葉輪（葉片轉子和輪轂）、機艙、塔架及控制系統所組成，其中葉片為主要關鍵技術之一，約佔風力發電機成本 21%。隨著風力發電機朝百萬瓦級發展後，葉片的製程及測試驗證更顯重要，現以玻璃纖維強化塑膠材質為主，具有質輕、耐腐蝕等功能，未來發展趨勢將以碳纖維（carbon fiber）或碳纖維/玻璃纖維混成（carbon/glass hybrid）取代玻璃纖維，以利朝大型化風力發電機發展。另外，運轉及輸出控制模式也朝向可變轉速及可變旋角節制發展（DWTMA）。感應式發電機可藉由光訊號傳輸增加阻抗，將原固定轉速發電機改為可變轉速之發電機，如此將大幅減少發電機系統變動負荷及提昇電力品質，甚至可省卻風力發電機的齒輪箱裝置，直接由葉輪傳動發電，可降低噪音並提供較佳之電力品質。

目前亞洲之離岸風機技術尚未成熟，多向其他地區廠商採購，除安裝費時維護不易外，現今國際風力發電機機種繁雜，風機在每年定期專業維護下，或許可達到 20 年之設

計壽命，但一般風機保固約為 3~5 年，很少能保固 20 年。另外，依目前國內政府採購法規定，分批採購或更換之設備與零件將無法統一廠牌，除規格相容性可能無法符合，更易與風機保固規定相衝突，造成風機無法獲得後續維護及保固。在歐洲市場已逐漸飽及美國市場的專利限制下，很多風力機廠商有倒閉的可能性，如此保固將更加困難。因此風機設立需謹慎評估，讓願意配合台灣需求之國內業者有充裕時間投入，另一方面也藉機建立自己的技術與維修支援，避免資金投入後卻無法避免維修困境。

離岸風力發電技術開發牽涉技術層面廣泛，包括設備研發與海上工程技術兩大方向。國內可透過國際合作技術引進，並提供良好的開發環境，以利國內相關產業推動，並積極促進產業與研究機構間跨領域合作計畫，俾能充分利用國內技術資源，有效掌握離岸風力發電之多元化關鍵技術。適合亞洲環境之機種尚在研究開發階段，台灣為海島地形，需面臨風災、腐蝕、地震、雷擊及電網等問題，地震、海事及氣象等相關監測資料完整，可供歐美風力發電機系統所缺乏之抗颱風震機種研發所需的設計參數，此為台灣在風力發電產業發展之新契機。

前瞻技術的投入需要非常龐大的資金，由於台灣資源有限，應慎選重點研發領域，建議以小規模方式，鼓勵學研界投入研發多種領域，建立我國相關科技發展管制技術里程碑 (roadmap)。除隨時掌握世界最新技術進展，同時評估國內現有之研發成果與能量，掌握資源運用與各領域研發成果，避免重疊造成資源浪費。培育相關技術人才與產業，蓄積產業與研發能量，待時機成熟時，則重點投入相關領域之發展，開創我國自給的新能源產業，落實能源自主與安全，並兼顧能源、環境及經濟發展之平衡。

六、[海洋能源前瞻技術]

廣義的海洋能源包含所有取自於海域的能源，可再細分成如下三類：取自於海洋水體的能源、利用海域空間取得的能源、海底下蘊藏的能源。取自於海洋水體的能源主要係來自於水體的位能、動能及熱能，如潮汐發電、海流發電、波浪發電、溫差發電、鹽差發電等；利用海域空間取得的能源則主要來自於洋上的風或陽光，如離岸風力發電、離岸太陽能發電等；海底下蘊藏的能源則是非再生能源，主要來自於石化燃料，如石油、天然氣、天然氣水合物等。而狹義的海洋能源通常是指取自於海洋水體的再生能源，亦即如潮汐發

電、海流發電、波浪發電、溫差發電及鹽差發電等，本研究將針對此類海洋能源前瞻技術作簡要介紹。

根據國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 的評估 [27]，全球海洋能蘊藏之發電量可達 93,100 TWh/年，與目前全球發電總量 17,400 TWh/年的量級相當，其中蘊藏量以波浪發電最高，海洋溫差發電次之，目前全球的開發量最高的海洋能源則是以潮汐能與波浪能為主。海洋能源估計之蘊藏量及發電形式如表二所示。以下將分別說明各種海洋能源之國際發展現況並簡介相關原理與技術。

表二 全球海洋能蘊藏估計總量及相關發電形式 [27, 28]

海洋能源形式	估計全球蘊藏量 (TWH / Year) **	發電形式及機制
潮汐 (Tides)	300 ⁺	單庫單向型(Ebb generation)、單庫雙向型、雙庫雙向型(Two-basin schemes)
波浪 (Waves)	80,000	衰減型(Attenuator)、越波型(Overtopping)、震盪水柱型(OWC)、震盪縱移型(OWSC)、點集型(Point absorber)、水下壓差型(Submerged pressure differential)等
潮汐海流 (Tidal Current)	800 ⁺	垂直軸/水準軸渦輪機 (Horizontal/ Vertical-axis turbine)、震盪型水翼船 (Oscillating hydrofoil)、Venturi 等
溫差 (Thermal gradient)	10,000	開迴路式(Open cycle)、閉迴路式(Closed Cycle)、複合式(Hybrid)
鹽差 (Salinity Gradient)	2,000	半滲透性薄膜 (Semi-permeable osmotic membrane)
目前全球總發電量 (TWh/Year) *	17,400	包含火力發電、核能發電、再生能源發電等多種形式

6.1 潮汐發電

目前海洋能技術中最成熟者就是潮汐發電技術，其在海灣圍建堤防和水路利用潮汐落差位能發電，就目前的研究指出，潮差在 8 公尺以上者，就具備有開發潮汐發電的經濟價值。一地區的潮汐能量可以下式估算：

$$E = 0.5 \rho g A h^2$$

其中 E 為潮汐能量 (J)， ρ 為海水密度 (約 $1,023 \text{ kg/m}^3$)， h 為振幅 (m)， g 為重力加速度 (m/s^2)， A 為蓄水面積 (m^2)。由此可知，當潮差越大、蓄水面積越大，所含的潮汐能也越大 [29]。

1967 年法國在貫通不列塔尼半島東邊的藍斯河 (La Rance River) 設置了國際上第一座具商業規模的 240 MW 潮汐發電廠，最高潮差達 13.4 公尺，年度發電量 5.44 億度，為目前全球最大之潮汐發電廠。1984 年加拿大在 Annapolis Royal 建置運轉的 20 MW 潮汐發電廠位居世界第二。目前世界各國包括俄羅斯、加拿大、美國阿拉斯加、韓國、英國、阿根廷、澳洲、印度等國，均已投入相關研究。值得注意的是，2005 年韓國在京畿道安山市的西娃 (Shihwa) 湖建造全球最大的潮汐發電廠 [30]，裝置容量達 254 MW，預計 2009 年完工，發電量可提供安山市 50 萬居民所需。中國則是與英國的 Tidal Electric 公司簽定合作協議打算在鴨綠江口開發裝置量達 300 MW 之潮汐發電廠 [31]，Tidal Electric 所擁有的離岸潮汐發電利用的方式稱作潮湖 (tidal lagoons)，可以解決現有潮汐發電技術帶來的生態衝擊問題，且更為經濟有效 [32]。可見全球商業化之潮汐發電開發不僅蓬勃地在進行，新興的技術更不斷地在提升其經濟性及永續性。

6.2 波浪發電

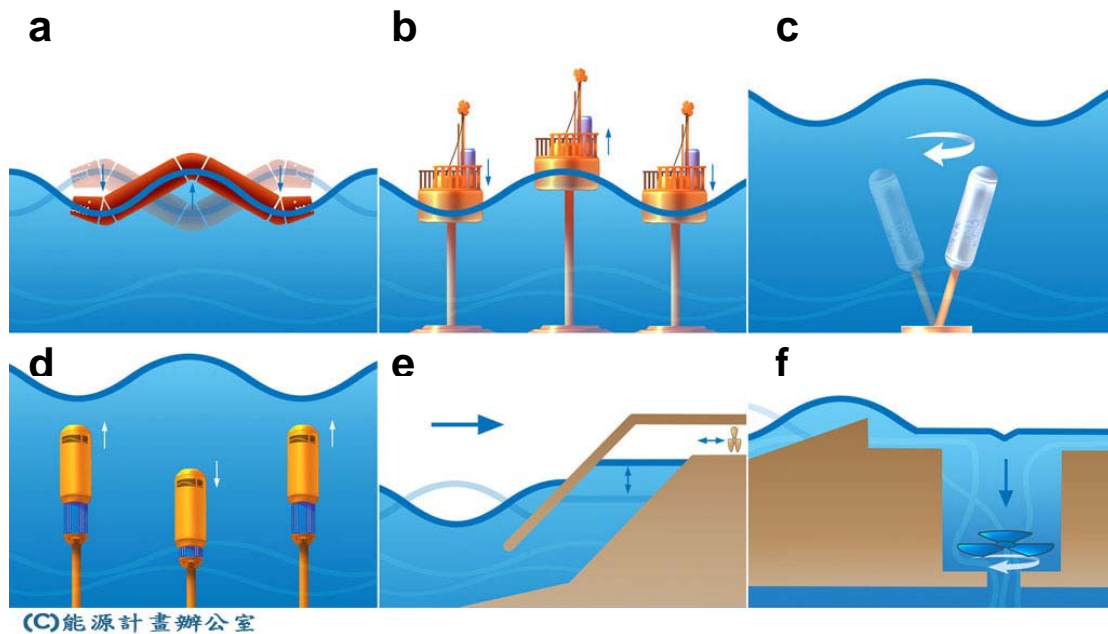
波浪能是指利用海洋表面波浪所具有的動能和位能，其為海洋能源中能量最不穩定的一種能源，如同風力發電一樣較不適合作為基載電力，但有防波、促進海洋空間利用、觀光遊憩等周邊效益。垂直波能傳遞方向，每公尺寬的波能功率是與波高的二次方及週期成正比。其波能功率之計算公式如下：

$$P = \rho g^2 H^2 T / 32\pi$$

其中 P 為每公尺寬的波能功率 (W/m)、 ρ 為海水密度 (kg/m^3)、 g 為重力加速度 (m/s^2)、 H 為波高 (m)、 T 為週期 (s)。實際上波浪能量的估算須以實測波浪資料先進行波浪能譜分析，統計各地示性波高及週期的發生機率分佈，換算出不同大小波能的發生機率，進而計算出各地的波浪潛能 [33]。

日本於 1964 年發明並應用了世界第一個波浪發電裝置—航標燈 (60 W)，1985 年日本在沖繩縣海岸建造一座 75 kW 的波浪發電站，英國是繼挪威、日本之後利用海浪發電的第三個國家，目前多個國家亦積極推動波浪發電技術開發並進行示範計畫，眾多大規模的

波浪能發電示範機組已設置。以設置地點分類可有海岸線型 (shoreline)、近岸型 (near-shore) 及離岸型 (off-shore) 之機組，若以波能轉換機制分類則可有衰減型、點集型、震盪縱移型 (OWSC)、震盪水柱型 (OWC)、越波型、沒水壓差型等類型 (圖六)。



圖六 依機械力學原理歸納之六種主要波浪發電方式示意圖
 (a) 衰減型 (b) 點集型 (c) 震盪縱移型 (OWSC)
 (d) 水下壓差型 (e) 震盪水柱 (OWC) (f) 越波型

波浪發電目前尚在原型機實海域測試階段，全球尚無商轉的發電廠。2003 年，歐洲海洋能源中心 (European Marine Energy Centre, EMEC) 在英國政府的資助下，於英國蘇格蘭東北角的奧克尼 (Orkney) 設置世界上第一個專門為研究和測試而建立的海浪發電試驗場，在此處能同時安裝四台 Pelamis P-750 型海蛇海浪發電機，裝置容量達 3 MW；2005 年蘇格蘭利斯 (Leith) 的海洋電力傳輸公司 (OPD) 和葡萄牙簽訂 550 萬英鎊的合約，為開發全球第一個具商業化規模的波浪發電廠，第一階段要在葡萄牙北部 Póvoa de Varzim 附近外海五公里處設置三組 OPD 的 Pelamis P-750 型海蛇波浪發電機，預計發電量約 2.25 MW，可供應 1500 戶葡萄牙家庭的需要，但因工程延宕目前尚未建置完成 [34]。

6.3 溫差發電

溫差發電是指利用海洋表層海水和深層海水之間溫差的熱能轉換成電能，溫差達 20 度以上具有開發的經濟效益。溫差發電裝置可以獨立建置於海上並結合海上發電廠、海水淡化廠、水產養殖或海洋採礦、海上城市或海洋牧場的支援系統，溫差能的開發應以綜合利用為主。海洋熱能轉換 (OTEC)，根據熱力學公式其理論上最大效率為：

$$\eta_{\max} = (T_H - T_L) / T_H$$

其中 η_{\max} 為熱能轉換效率， T_H 為高溫海水溫度 (K)， T_L 為低溫海水溫度 (K)，對於 7 °C 與 27 °C 之海水而言，理論最大效率達 6.7 %。與潮汐或風能不同，海洋中所貯存之熱能可連續地利用，只要有溫差存在，即可抽取能量；溫差愈大，則 OTEC 之效率愈高，成本愈低，因此，OTEC 最適合熱帶或亞熱帶地區之發展 [35]。

海洋溫差發電目前仍處於可行性評估階段，國際上尚無商轉之電廠，已完成者均屬研究性質之試驗電廠，且多數均已停機。其中仍在運轉中為日本佐賀大學 (Imari) 海洋溫差電廠及印度由 NIOT 主導興建之 1 MW 海上浮動式海洋溫差電廠，後者目前已完成測試，但未有進一步的商轉計畫。

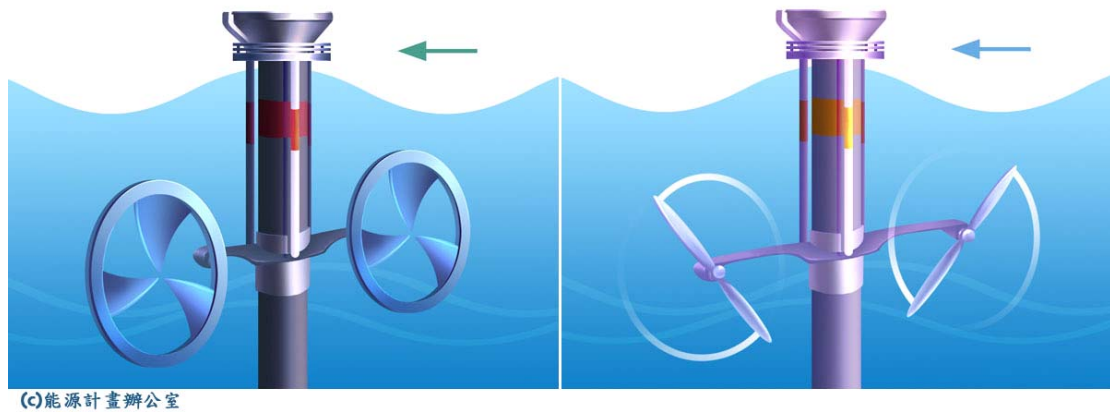
海洋溫差發電技術尚屬成熟，但因施工及後續維運較為困難，大部分停止研究或興建的計畫多因資金不足或經濟效益不良，技術之創新進步及成本降低將可望提高其可行性。如日本利用柴油發電的廢熱加熱表面海水到 40 度提高發電效率，並接受諾魯共和國的委託協助其建置七處 3 MW 的發電廠，期望於 2015 年逐步以溫差發電取代柴油發電。相對於溫差發電產業化步調的停滯，海洋深層水多目標利用產業則在日本已蓬勃發展，包含飲用水產業在內創造很大的產值。2003 年高知縣的 600 種深層水商品有 135 億日圓，富山縣的 210 種商品有 120 億日圓產值。

6.4 海流發電

海流能是利用海水流動的動能轉換為電能，主要是指海底水道和海峽中較穩定的海水流動以及由潮汐導致的有規律海水流動。海流能的能量與流速的平方和流量成正比。其能量功率計算公式如下 [36]：

$$P = 0.5 \rho A V^3$$

其中 P 為能量功率 (W)， ρ 為海水密度 (kg/m^3)， A 為面積 (m^2)， V 為海流流速 (m/s)。一般在估算各區域之海流潛能均去除截面積之因數，以單位面積之功率表示。一般而言，最大流速在 2 m/s 以上，就有實際開發的價值。



圖七 海流發電示意圖：(a) 無較環驅式水輪機，(b) 傳統水輪機

海流發電（洋流發電）研究包括英國、美國、中國、加拿大、挪威、澳洲都陸續投入研究，其中以英國的研發投入最積極，開發出的機組模式也最豐富。較著名開發案包括英國貿易及工業局在北愛爾蘭斯特蘭福德灣 (Strangford Lough) 以 850 萬英鎊使用 MCT (Marine Current Turbines) 公司的 SeaGen 雙渦輪機組設置海流發電廠，是世界第一個商業化且併聯電網的海流發電計畫，裝置容量為 1.2 MW ，2007 年底前開始安裝，完成後預計可供應 1000 戶家庭電力使用，此為目前全球最大的海洋發電計畫。此外，加拿大 Nova Scotia 電力公司選用愛爾蘭 OpenHydro 公司的海流發電機組，計畫於 2009 年前在芬帝灣 (the bay of Fundy) 進行 1 MW 的海流發電與電網並聯示範計畫。Lunar Energy 公司亦與 E.ON 公司合作計畫於英國西部海岸建設一個 8 MW 的大型海流發電廠，估計將在 2010 年前展開，發電量可提供 5000 戶家庭用電。

6.5 鹽差發電

鹽差發電為利用淡水與海水之間的化學電位差來轉換為電能，主要存在於河海交接處。同時，淡水豐富地區的鹽湖和地下鹽礦也更有豐富的鹽差能可運用。鹽差能是海洋能中能量密度最大的一種再生能源。理論上而言，含鹽度 3.5% 的海水和河水之間的化學電位差有相當於 240 m 水頭差的能量密度，若從水輪發電機取得電能相當於每立方英尺的淡水

可發 0.65 kWh 電。一條流量為 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 的河流發電輸出功率可達 2.34 MW [37]。

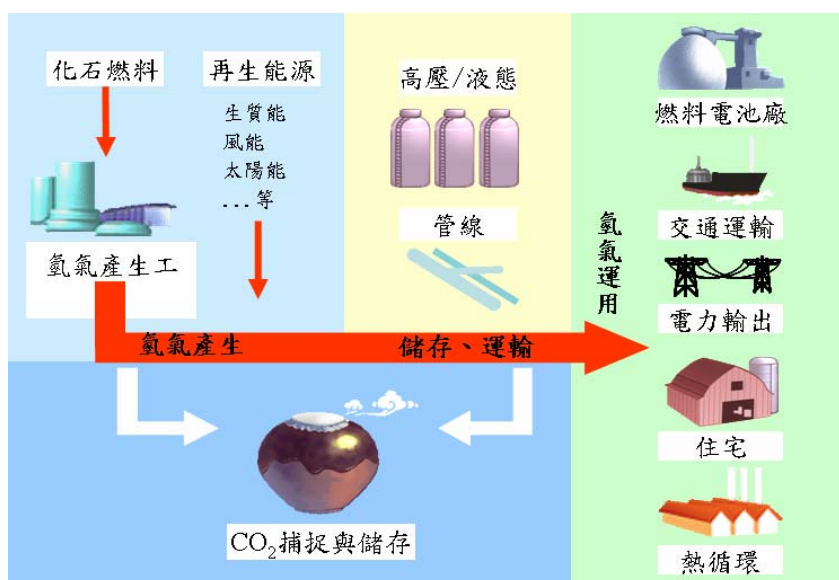
據估計，世界各河口區的鹽差能達 30 TW，可能利用的有 2.6 TW，各國進行許多調查研究以尋求鹽差能利用的方法，如美國、以色列、中國、瑞典及日本等。實際上開發利用鹽差能的技術障礙高，目前尚處於實驗室水準，離示範應用尚有一段距離。效率高之鹽差能利用系統成本也很高，如利用反電解技術由鹹水中提取能量之投資成本高達 50000 US\$/kW，若利用反滲透方法使水位升高，然後讓水流經渦輪機的發電方法成本可高達 10~14 US\$/kWh。或根據淡水和鹹水具有不同蒸氣壓力的原理，使水蒸發並在鹽水中冷凝，利用蒸氣氣流使渦輪機轉動，此方法類似於開循環式海洋熱能轉換電廠，成本也相當，但因其消耗淡水，而海洋熱能轉換可生產淡水，故其可行性較低。鹽差能的研究結果表明，其他形式的海洋能比鹽差能更值得研究開發。

海洋能蘊藏量高，為極具潛力的再生能源，但是海洋能量密度低且工程環境挑戰大，因此海洋能源開發必須仰賴前瞻的海洋能科技。目前海洋能相關的技術成熟度較低，多數的技術介於實驗室規模到示範運轉階段，已大規模商轉的技術尚寡，因此開發高效率、低成本之海洋能利用技術仍有甚大的發展空間。台灣四面環海，擁有豐富的海洋資源，海洋能源開發現階段雖難解然眉之急，但無論是從二氧化碳排放或開發自產能源的角度，海洋能源的確都是台灣將來前瞻性能源的重要性選項，因此海洋能源產業科技發展的策略研擬與科研架構建置乃極具關鍵性。台灣的海洋能利用技術發展策略，應聚焦於具產業潛能技術的研發與創新，開發關連的共通性基礎技術以及海洋能源環境觀測、調查分析技術與能量的建立也必須兼顧，持續進行。政府需主導推動，促進產學研之間的緊密結合，同時透過國際合作與人才培育，建立堅實的學術研究與產業發展架構。

七、[氫能]

再生能源包括水力、風能、太陽能、海洋能及生質能等大多為非碳或低碳能源，且具有短期內可再生、低環境衝擊之優勢，是未來人類朝永續發展之重要能源來源。然而再生能源同時亦具有明顯的時間性及供電不穩的問題，使其難以成為主要能源供應來源。但若利用氫所擁有之儲存性作為再生能之能源載體 (energy carrier)，將再生能轉化為氫儲存後，再運用於工業與民生等方面 (如圖八所示)，如此，將可解決再生能源供應穩定性的問題，

由於這種新能源架構係以氫為能源載體之供應結構，因此又稱為氫能經濟結構 [38,39]。在人類能源利用史上，從材薪、煤、石油到天燃氣的演進，基本上亦符合碳氫比越來越低的趨勢 [39]。氫能領域包含氫產出、運輸、儲存及氫能利用等方面技術，各領域之關鍵技術突破，將是能源由現行化石燃料為基礎的碳循環，逐步朝向再生能源的氫能循環發展的關鍵。



圖八 氫能源經濟架構圖

7.1 氫能源技術簡介

氫能源架構包含氫產出、氫儲存、運送與其利用，由於氫能源被認為是下一個世代的主要能源結構，各國紛紛投入其各相關領域之研究與發展，因此在各相關有相當多技術的技術被提出 [40-46]，本研究將各領域中常見技術彙整如表三所示。

氫產出技術依其氫來源主要分為：水解產氫、化石能源及其他含氫化合物重組製氫、生質能產氫及太陽能產氫等。在以水為氫來源方面以電解、觸媒催化水解 (CNF、 NaBH_4 等) 技術較為常見，高溫熱解及熱化學因其耗能的問題引此還有待後續之技術突破。由煤、天然氣及其他化石能源製氫技術發展成熟且產量大，為目前氫能運用之主要來源，但其來源物質多數目前主要之能源資源，因此需面臨能源運用效率之質疑。生質能產氫及太陽能產氫技術其產氫效率不足且價格昂貴，因此仍處於發展階段，但其優勢為利用再生能源產氫，具有永續能源的潛力，所以這方面的研究蓬勃發展，並有許多新的技術被提出 [40,41]。

表三、氫能源架構與技術 [40-46]

氫能技術種類	說明
產氫技術	
水解產氫	水電解、觸媒催化水解 (CNF、NaBH ₄ 等)、熱化學 (氧化物、鹵化物硫化物)、電子共振裂解、及高溫熱解製氫等。
化石能源及其他含氫化合物製氫	煤製氫 (乾餾、汽化轉換)、天然氣 (水蒸氣重組、部分氧化重組、催化熱解)、煙類分解、氮類分解、及由液態化石能源 (甲醇裂解、甲醇重組及輕/重油製取) 等。
生質能產氫	光合細菌 (厭氧光合細菌、綠藻及藍細菌)、非光合細菌 (嚴格厭氧細菌、兼性厭氧細菌及好氧細菌)、古細菌等。
太陽能產氫	太陽能電解、太陽能熱化學、太陽能高溫熱解、太陽能光化學、太陽能光催化水解、太陽能光合作用等。
氫儲存	
高壓氣態儲氫	金屬儲氫罐 (鋁合金罐; 壓力 > 35 MPa)。
液態儲氫	液化氫儲存 (T ~ 253 °C)。
氫化物儲氫	金屬氫化物儲氫 (LaNi ₅ 、Mg 合金、Ti-Fe-Mn 合金、V 基金合金等)、非金屬氫化物儲氫 (硼氫化合物等)、有機化合物儲氫 (苯、甲醇、煙化合物)。
碳及其他材料儲氫	碳凝膠、活性炭、碳奈米材料 (球、管、層狀物)、玻璃微球 (Zr ₅₀ Ni ₅₀) 等。
氫配送	
管線配送	高壓氫管線、液態氫管線、超導體纜線。
車船配送	高壓氫儲罐、液態氫儲罐、固態氫。
加氫站	在站製氫 (水力製氫、天然氣水蒸氣重組)、氣體配送 (高壓氫、液態氫)。
氫利用	
核融合	磁約束核融合 (magnetic confinement fusion; MCF)、慣性約束核融合 (inertial confinement fusion; ICF)、磁約束-慣性約束核融合、冷核融合 (cold fusion)、高密度電漿雷射分步核融合。
燃料電池	低溫型 (60-220 °C; 鹼性燃料電池, AFC; 磷酸燃料電池, PAFC; 質子交換膜燃料電池, PEMFC; 直接甲醇燃料電池, DMFC)、高溫型 (600-1000 °C; 熔融碳酸鹽燃料電池, MCFC; 固態氧化物燃料電池, SOFC)。
內燃機	氫-氧內燃機、氫混和燃料內燃機 (天然氣、燃油混合)。
氫渦輪機	以氫氣燃燒帶動之渦輪機 (turbine)。

氫儲存技術依儲存方式可分為：高壓氣態儲氫、液態儲氫、固態氫、氫化物儲氫、及吸附儲氫等方式。高壓為將氫以氣態壓縮於儲氫罐中，通常使用鋁合金罐（壓力 >35 Mpa），缺點為壓縮時耗能較高。而液態儲氫則將氫在低溫下液化並在低溫下儲存（ $T\sim 253^{\circ}\text{C}$ ），可儲存量高，但會有液氫突沸引起儲氫罐爆破的危險，儲存時需維持低溫且容易滲漏得缺點。金屬氫化物儲氫，則藉由金屬與氫生成化合物的方式儲存，藉由溫度及壓力之改變將氫釋出，用合金為 LaNi_5 、Mg合金、Ti-Fe-Mn合金、V基合金等種類，但會因多次使用而引起材料脆化及儲存量衰減的問題。氫的儲存亦可藉由氫與其他元素產生氫化合物的方式來儲氫如：硼氫化合物、苯、甲醇、烴化合物等。此外亦可藉由高比表面積之材料如活性炭、碳奈米材料（球、管、層狀物）、玻璃微球（ $\text{Zr}_{50}\text{Ni}_{50}$ ）等以吸收或吸附方式來儲存 [42, 43]。氫的配送則以車船運輸、管線配送高壓及液態氫，而加氫站目前多以天然氣重整或水力發電產氫 [44]。

氫能轉換技術包含核融合、燃料電池、內燃機及氫渦輪機等，核融合發電技術係由氫（ ^1H ）、氘（ $\text{D}; ^2\text{H}$ ）、氚（ $\text{T}; ^3\text{H}$ ）、鋰-6（ ^6Li ）、氦-3（ ^3He ）及硼-11（ ^{11}B ）等同位素，在超高溫與超高壓之下，原子核藉由相互聚合作用，產生質量更重的元素（例如D-D聚合成He），過程中釋放巨大的能量，由於其高發電量、低汙染及低輻射一直被視為終極能源，歐盟提出「高功率雷射能量研究設施」(high power laser energy research; HiPER) 計畫，預計於 2010~2012 年展開興建工程 [45]。可控制核融合技術有磁約束核融合 (magnetic confinement fusion; MCF)、慣性約束核融合 (inertial confinement fusion; ICF)、磁約束-慣性約束核融合、冷核融合(cold fusion)、高密度電漿雷射分步核融合等 [43, 46]。

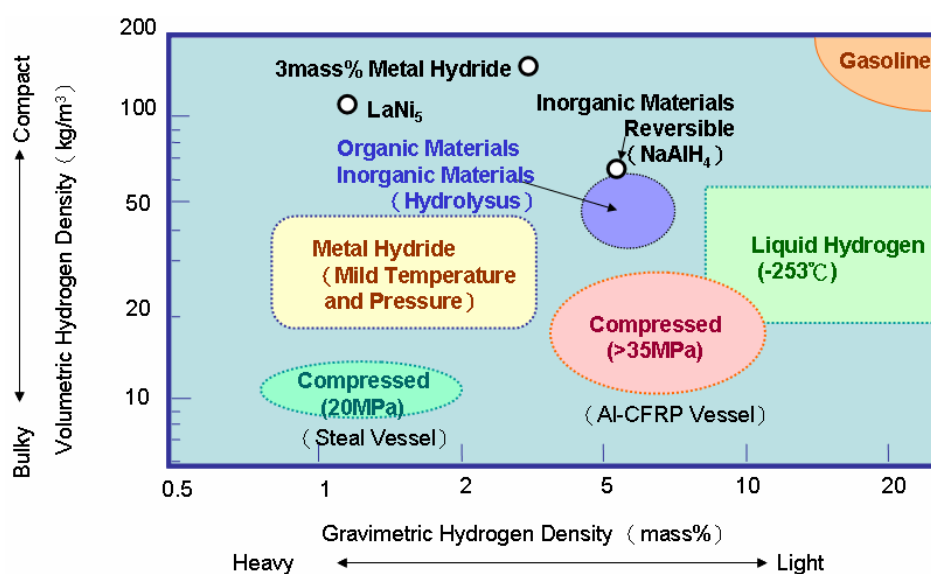
7.2 氫能源發展關鍵技術及其前瞻技術

氫產出、儲存及其應用技術之發展，扮演氫能源架構的重要角色，實現氫能源經濟仍有賴各環節上的技術突破。在產氫方面，現階段上商業化產氫技術以天然氣重組為主，但天然氣產氫過程會產生 CO_2 ，仍需輔以有效的分離和捕獲技術以控制其排放量。

再生能源產氫技術（水力、風能、太陽光電、太陽熱能），因其具有提高能源供給之優勢且兼具環境保護的訴求，是極具潛力之產氫氫能源技術。目前以太陽能為主，如太陽光電池製氫法，效率最高但價格昂貴，半導體光催化製氫是近年來熱門之研究方向，由

Fujishima & Honda在 1972 年提出，但由於僅可利用紫外光（約佔太陽光 3~5%）所以效率有限，目前研究重點為提高太陽光利用率及提高產氫效率為主，主要原理為藉由摻雜其他元素如：Pt, Cr, Fe, N, S, F, ... 等方式，降低其半導體之能隙 (band gap)，達到延伸其吸收光譜到可見光，進而提升太陽光利用率提高產氫量 [47, 48, 49, 50]。

儲氫技術發展，以氫的儲存量可以提供交通運輸工具，持續航行 560 km (約 300 英里) 為指標，因此其關鍵評估指標為 (1) 重量與體積、(2) 效率、(3) 耐久性 (durability)、(4) 充填時間 (refueling time) (5) 驗證標準及產品生命週期與效能分析 [51]。圖九所示為現階段各種儲氫方式的重量與體積關係圖，儲氫材料具有體積小的優點，但缺點為重且充填時間長，高壓儲氫具有重量輕及充填時間短的優點但缺點為體積龐大，而液態儲氫雖然體積小、重量輕且充填時間短的優勢，但在液化及維持低溫卻需要耗費需多能量。儲氫合金由於結構簡單、儲存效率與安全性相高，因此在儲氫技術方面以儲氫材料之開發為主軸，如沸石分子篩 (zeolites)及活性炭等其物理吸附材料、金屬氫化物 (如鈷、鈮-氫化合物等) [52, 53]或是利用儲氫合金如稀土系 (AB_5)、鈦系 (AB_2)、鎂系 (A_2B) 等幾種 [54, 55]，儲氫合金在使用上會因氫與金屬作用而產生脆化，使得耐久性受到影響 [56]。金屬氫化物缺點為由於有較強的化學作用力，因此在使用時需要額外提供能量。除此之外，奈米碳管亦可作為儲氫材料，奈米碳管除了有上述優點外又具有重量輕的優勢，是理想的儲氫材料，但其缺點為單位儲氫成本過高，這是目前研究所要面對的問題 [57, 58]。

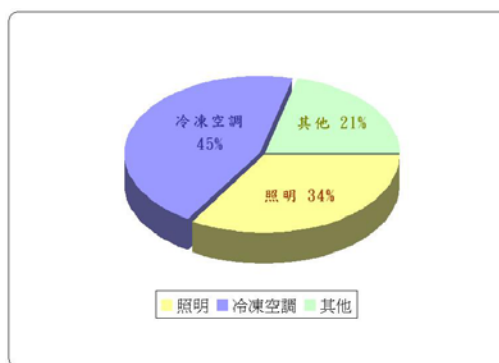


圖九 現階段各種儲氫方式的重量與體積關係圖 (本文根據參考資料[59]重製)

八、[LED 前瞻能源技術]

能源是經濟發展的重要指標之一，工業愈發達，文明愈進步，能源需求也就愈大。對於自有能源高度短缺的我國，再加上京都議定書之生效，致使我國產業面臨嚴峻之考驗，而能源消耗所產生之 CO₂ 又是溫室氣體中之最大宗。因此，除了發展新能源外，節約能源亦是目前的當務之急。

我國產業以出口為導向，為因應國際溫室氣體減量之趨勢，確保產業永續發展，將擴張節能技術研發能量，目前以冷凍空調系統、LED 照明、建築節能、燃燒及熱能應用為重點研發項目，並推動 LED 照明與冷凍空調產業發展為主軸。為進一步達成中、長期節能目標，有賴前瞻節能技術開發。



圖十 住商部門電力消費分配

根據國際能源總署 (IEA) 之資料顯示，2005 年全球照明用電量佔總發電量的 19%，其中住商照明用電佔總體照明用電的 74% [60]。而根據經濟部能源局的統計資料指出 (2007 年行政院產業科技策略規劃會議)，在過去 20 年各部門能源消耗之變化來分析，以住商部門 (住宅及服務業) 達最高，同時照明用電佔總用電量約 30%~40% 左右，僅次於空調用電，如圖十所示。所以照明設備的效率對於總用電量的影響甚巨。

8.1 LED 照明系統

發光二極體 (light emitting diode ; LED) 是一種微小的固態 (solid-state) 光源，具有體積小、省電、壽命長、發熱性低等特性，搭配上各種新興應用需求，已被視為下一世代的新照明光源。例如：道路號誌燈號、傳統白熾燈泡已被 LED 燈所取代，這不但降低保養，還能大量減少其用電量，對整個能源市場有顯著的效益。

隨著白光 LED 問世，發光效率逐年提升、演色性及色溫表現漸佳，使 LED 照明領域應用更為寬廣。在節能與環保等議題下，LED 業者針對各種 LED 發光性能，不斷投入研究開發能量，並大力推廣照明應用層面及突破現階段傳統照明使用習慣。

為順應全球溫室氣體減量的節能趨勢，打造新的綠色環保產業，由經濟部技術處委託工研院執行半導體光源及應用科技專案研發計畫，近期內已成功開發出「交流/直流轉換器」技術，讓 LED 使用的電源不再受限於電池，變成可以直接由家用電源插座供應的交流電，因而節省 15%~30% 能源，預估約可取代 50% 以上原有直流電驅動產品，加速固態照明的實現與產品的普及化。

美國、日本、韓國、台灣及中國等都已提出 LED 照明計畫，並正在進行相關研究與開發。照明用電占整個用電量約五分之一，因此這些計畫的首要目的就是節能，其次可減少石油進口、降低溫室效應以及節省用戶成本。與傳統照明光源相比，LED 壽命長，這是其應用看好的主要原因，尤其是在可靠性要求高以及維護成本也較高的場合。相信在未來 5 年內 LED 在照明市場應用將取得實質性進展。

台灣 LED 業者的研發進度普遍落後日、美、歐等大廠，LED 市場龍頭日亞化 2006 年領先提升發光效率至 100 lm/W，其他國際大廠如 Cree, Lumileds, Osram, Seoul Semiconductor 等也急起直追，發光效率已從 80 lm/W 一路提升至 100 lm/W。據台灣業者指出，若採用 Cree 的 LED 晶片搭配日亞化學的螢光粉，發光效率雖可提高至 130 lm/W，但成本過高，難以達到商品化階段，因此 LED 照明產品的發光效率目前以 70~80 lm/W 為主。

由於照明市場仍屬於剛起步階段，商機雖然龐大，但如今仍處於「有聲無影」的階段，主要是到目前為止，白光 LED 還只能夠使用在相當小的範圍。無法像電燈泡或螢光燈那般，只用一個如 5 mm 的小型白光 LED 就能得到使用場合所需的光量。因此 LED 若希望能使用在建築照明，在整體技術上則需要更進一步的突破。

8.2 LED 前瞻能源技術

白光 LED 基本上有兩種型式：一種是多晶片型，一種是單晶片型。前者是將紅綠藍三種 LED 封裝在一起，使其同時發光而產生白光，後者是把藍光或紫光、紫外光的 LED 作為光源，並配合使用螢光粉發出白光。現在，市場上的白光 LED 大多數是藍光 LED 配合 YAG 螢光粉。伴隨著白光 LED 應用的擴大，高效率的追求一直都是被市場與業者所期待

的。但是另一方面，演色也將會是一個重要的性能指標，從照明的用途來說，為了達到高效率，如何實現與自然光接近的顏色就顯得非常重要了。

目前的LED，不管是藍光、綠光或紫外光領域，已逐漸使用Ga₂N作為基板材料。到今天為止，全球生產Ga₂N LED的業者數量已接近 10 家 [61]，因此在市場上也展開激烈的競爭。儘管今日LED的發光效率已提升，但技術上即將面臨更困難的門檻，所以現在不管是學術界，還是企業界都積極在進行技術和研究開發。以目前Ga₂N LED整體的研發是朝向大電流化、短波長化、以及高效率化等發展方向。

近年來，業者對於讓 LED 能夠支援更大電流的研發技術相當積極。雖然使用的電流愈大，所獲得的亮度就愈高，但所投入的電力大部份無法轉換成光而形成熱量，因此 LED 就會出現過熱的現象，進而影響到 LED 的演色結果。以目前來說，LED 大多是封裝在熱傳導率大、熱容量大的有價金屬或陶瓷材料上，以有效釋放所產生的熱量。

多元化應用市場潛力下，目前業界對於短波長 LED 的研發技術正在積極進行，以實現類似

白光 LED 的光亮度要求。日亞化學是利用與白光 LED 相同的 Ga₂N 系材料，來製作半導體雷射，開發出白光光源。因為人眼對於波長的接受度約為 380 nm，所以波長如果比 380 nm 更短時，是無法生產出可視域內的 LED。目前大多都採用以下的解決方法

1. 改變發光層結構：不在 LED 的晶片上採用 GaInN 結構，而改採能帶間隙更大的 AlGa₂N 或 AlGaInN 結構。
2. 避免光吸收損失：若在 LED 的晶片中存在有 Ga₂N 或 GaInM 層的結構，會因為自身吸收光而無法散發出光譜，所以利用 AlGa₂N 層為基礎，或利用 Ga₂N 作為重要的 n 型底層，將會有較好的發光效果。
3. 降低晶格缺陷度：短波長 LED 中的晶格缺陷密度會降低發光效率。

以目前來說，Ga₂N 白光LED的效率已經可以超過白熱電燈泡和鹵素燈 (15~25 lm/W)，但為了能達到與日光燈相同的光源特性 (50~80 lm/W 以上)，充分利用LED的效率，並且實現短波長化的技術，利用激發光的高能量化，提升螢光粉的發光效率 [62]。

當 Ga₂N 長晶時，因為使用在基板上的藍寶石基板和 Ga₂N 單結晶之間的晶格常數差、熱膨脹係數差，使得長晶方向出現了高密度的遷移缺陷，而嚴重影響 LED 的發光效率。為了降低這種晶格轉位密度的方法，可以使用 patterning 加工的基板，不讓轉位貫通到長成

方向，但是實際量產的話，要在長晶面得到均一的品質才是關鍵。結晶生成對於 LED 元件製造來說，是相當關鍵的技術，同時也是高效率化研發的關鍵。無論怎麼好的結構層設計，如果不能實現好的長晶，一切都是白費功夫。

利用 Flip-Chip 封裝的 LED 元件，因為是將結晶層置於下方，利用 bump 金屬材料封裝在基板上，所以能夠有效率的把結晶層內的熱量排除，達到高發光效率。用來作為照明用的大電流、大型元件，是非常好的封裝設計 [63]。

GaN LED 的結構，在 n-GaN 層／藍寶石基板介面上，最有代表性的研究是透過介面加工，製造出光學的凹凸，並且在所形成凹凸的藍寶石基板上生成結晶。另外，正在開發的 lift-off 技術：當藍寶石基板上進行長晶後，除去藍寶石基板以及物件介面的技術。但因為此技術之 n-GaN 層／mold 樹脂間介面的臨界角會比較小，使得光輸出效率非常差，為了克服此一缺點，必須在 n-GaN 表面增加光學的設計，有可能會使輸出效率提高，也會有 flip chip 的優點。在 p-GaN 層表面技術方面，目前雖然有相當多研究投入開發 Photonic 結晶技術將 p-GaN 層進行蝕刻製程，在最表面形成 photonic 結晶，能夠大幅提升發光效率，但這需要非常高的微細製程技術，而且此項加工技術，會對 p-GaN 層破壞，所以目前還是停留在研發的階段。

利用增加電流也可以達到高亮度，但是耗電量也隨之增加，並且也會損及 LED 的使用壽命，應可以透過減少元件的熱負荷及在封裝基板上使用熱傳導性良好的材料，來進一步提高發光效率。

近幾年，如：日亞化學、Cree 與各國 LED 大廠專利相互授權使用，以競合方式取代以往的壟斷封鎖，各國 LED 的量產能力大幅提昇，兼有 UV 白光 LED 問世，其發光效率潛力更佳。我國目前具 LED 技術優勢，同時對於其他寬能隙材料，如 ZnO, GaN Quantum Dot, GaN Nanowired LED 等前瞻技術可委託學術單位進行未來之研究。一旦 LED 突破照明光源的門檻，達到發光效率 100 lm/W 及穩定的量產等基本條件，LED 將進入下一世代的照明市場，而提供更佳照明節能效益。

九、[結論]

前述的各類前瞻綠色能源技術各有優劣點，都有很大的成長空間，但要完全替代傳統化石燃料，還有一段很長的路要走。能源的問題其實已超越油價的範疇，成為整個生物圈的生存課題，而人類能彌補的，就是必須找到對環境影響最低且安全的能源，並盡力節約使用。台灣雖非「京都議定書」的締約國，但面對全球溫室氣體減量壓力，我們必須積極與各國協調，參與各項國際溫室氣體減量交易機制，達到溫室氣體減量之目標。國內資源有限，能源前瞻技術規劃之重點在於開發基礎材料與元件之建立，並整合為產品開發，因此需先選擇出合適我國之前瞻能源科技，及早投入，突破關鍵技術，即時進行專利佈局。目前這些前瞻技術皆尚未成熟，一但得以應用於產業鏈上，對於現有產業來說是一大新契機，政府在前瞻能源研發上亦投入大量資金，支持並鼓勵其發展，期望為能源供需體系盡心力。

[誌謝]

本文在國科會專題研究計畫(NSC 96-3114-P-105-005-Y, NSC 97-3114-P-007-001-Y)之支持下得以完成，本文呈現之各種技術說明圖與示意圖，承蒙洪佳華小姐協助繪製，特此致謝。

[參考文獻]

- [1] National Energy Technology Laboratory. (2007). *Carbon sequestration technology roadmap and program plan 2007*. Retrieved March 22 2008, from http://www.netl.doe.gov/technologies/carbon_seq/refshelf/project%20portfolio/2007/2007Roadmap.pdf
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (2005). *IPCC Special report on carbon dioxide capture and storage, Technical Summary*. Retrieved February 09, 2008, from http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_technicalsummary.pdf
- [3] Yang, H., Xu, Z., Fan, M., Gupta R., Slimane, R. B., Bland A. E., and Wright, I. (2008). Progress in carbon dioxide separation and capture: A review. *Journal of Environmental Sciences*, 20, 14.
- [4] 談駿嵩、黃宗煌、洪哲文、黃大仁、凌永健、馬振基等 (2008)。協助產業因應溫室氣體二氧化碳之減量及利用 (行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 期中進度報告, NSC 96-3114-P-007-001-Y)。國立清華大學, 新竹市。
- [5] O'Regan, B. and Grätzel, M. (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature*, 353, 737.
- [6] Günes, S. and Sariciftci, N. S. (2008). Hybrid solar cells. *Inorganica Chimica Acta*, 361, 581.
- [7] O'Regan, B., Lenzmann, F., Muis, R., and Wienke, J. (2002). A solid-state dye-sensitized solar cell fabricated with pressure-treated P25-TiO₂ and CuSCN: Analysis of pore filling and IV characteristics. *Chem. Mater.*, 14, 5023.
- [8] Krüger, J., Plass, R., Cevey, L., Piccirelli, M., Grätzel, M., and Bach, U. (2002). High efficiency solid-state photovoltaic device due to inhibition of interface charge recombination. *Appl. Phys. Lett.*, 79, 2085.
- [9] Schmidt-Mende, L. and Grätzel, M. (2006). TiO₂ pore-filling and its effect on the efficiency of solid-state dye-sensitized solar cells. *Thin Solid Films*, 500, 296.

- [10] Wang, P., Zakeeruddin, S. M., Moser, J.-E., Humphry-Baker, R., and Grätzel, M. (2004). A Solvent-Free, $\text{SeCN}/(\text{SeCN})_3^-$ Based ionic liquid electrolyte for high-efficiency dye-sensitized nanocrystalline solar cells. *J. Am. Chem. Soc.*, *126*, 7164.
- [11] Haque, S., Palomares, E., Upadhyaya, H. M., Otley, L., Otter, R. J., Holmes, A. B., and Durrant, J. R. (2003). Flexible dye sensitised nanocrystalline semiconductor solar cells. *Chem. Commun.*, *24*, 3008.
- [12] Nanu, M., Schoonmann, J., and Goossens, A. (2005). Solar-energy conversion in $\text{TiO}_2/\text{CuInS}_2$ nanocomposites. *Adv. Funct. Mater.*, *15*, 95.
- [13] Huynh, W., Peng, X., and Alivisator, A. P. (1999). CdSe Nanocrystal rods/poly(3-hexylthiophene) composite photovoltaic devices. *Adv. Mater.*, *11*, 923.
- [14] Olson, D., Pirus, J., Tcollins, R., Shaheen, S. E., and Ginley, D. S. (2006). Hybrid photovoltaic devices of polymer and ZnO nanofiber composites. *Thin Solid Films*, *496*, 26.
- [15] 聯合新聞網 (2008)。生質燃料 歐盟坦承奪糧毀地。聯合新聞網。上網日期：2008年1月15日，取自：<http://udn.com/NEWS/main.html>
- [16] 自由時報 (2008)。能源作物 向日葵計畫夭折。自由時報。上網日：2008年1月6日，取自：<http://www.libertytimes.com.tw/>
- [17] Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd. (n.d.). *The C-Catrel process for making refuse derived fuel*. Retrieved March 18, 2008, from www.p2pays.org/ref/26/japan/Waste-027.html
- [18] 楊子忠 (2004)。渦旋式流體化床燃燒爐中 RDF 與煤碳混燒之研究。未出版之碩士論文，中原大學化學工程學系，桃園縣中壢市。
- [19] 經濟部能源局 (2007)。2007年能源科技研究發展白皮書 (第四次修定版)。台北市：經濟部能源局。
- [20] 洪嘉謨、郭猛德 (2001)。畜牧要覽-養豬篇 (增修版)。台中市：中國畜牧學會。
- [21] Waste Management in Toronto. (2008). *Revolutionary new methods for smarter waste management*. Retrieved April 06, 2008, from <http://www.freewebs.com/torontowaste/>

[newwastemanagementmethods.htm](#)

- [22] 「能源報導」，經濟部能源局，2008年3月。
- [23] Nilay Patel (2007). *Maglev wind turbines 1000x more efficient than normal windmills*. Retrieved November 26, 2007, from <http://www.inhabitat.com/2007/11/26/super-powered-magnetic-wind-turbine-maglev/>
- [24] Michael Tinkham (1996). *Introduction to Superconductivity*, McGraw-Hill. New York.
- [25] Michael Tinkham (1996). *Introduction to Superconductivity*, McGraw-Hill. New York.
- [26] 甘錫安譯，葛蘭特、史塔、奧佛拜著 (2006)。氫能源電力網。《科學人雜誌》，54，83-89。
- [27] IEA-OES (2006). “Ocean Energy- Opportunity, Present Status and Challenges.”
- [28] IEA-OES (2006). “Review and analysis of ocean energy systems development and supporting policies.”
- [29] Wikipedia-Tidal Power, http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_power
- [30] Construction of Shihwa Lake tidal power plant begins next month, <http://english.donga.com/srv/service.php3?bicode=020000&biid=2004100167138>
- [31] China endorses 300 MW ocean energy project, <http://www.renewableenergyaccess.com/rea/news/story?id=17685>
- [32] 行政院科技顧問組 (2007)。子題 C3-前瞻能源科技-海洋能源科技，2007年行政院產業科技策略會議
- [33] Wikipedia-wave power, http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_power
- [34] Wave energy contract goes abroad, <http://news.bbc.co.uk/1/hi/scotland/4563077.stm>
- [35] 網站：<http://ge.tcivs.tc.edu.tw/saveenergy/regenerate.html>
- [36] 涂泊樺，顏志偉 (2007)。淺談我國海洋能源之開發前景，物理雙月刊
- [37] 鹽差能：<http://baike.baidu.com/view/335706.htm>
- [38] Conte, M., Iacobazzi, A., Ronchetti, M., and Vellone, R. (2001). Hydrogen economy for a sustainable development:state-of-the-art and technological perspectives. *Journal of Power Sources*, 100, 171-187.
- [39] Barreto, L., Makihiro, A., and Riahi, K. (2003). The hydrogen economy in the 21st century:

- a sustainable development scenario. *International Journal of Hydrogen Energy*, 28, 267-284.
- [40] Jonse, P. R. (2007). Current status and novel approaches for improving fermentative biomass-driven H₂-production through genetic engineering of microbial metabolism. *The 2007 Asian Bio-Hydrogen Symposium/ Asia Bio-Hylinks Meeting*, Daejeon, Korea.
- [41] Ni, M., Leung, M. K.H., Leung, D.Y.C., and Sumathy, K. (2007). A review and recent developments in photocatalytic water-splitting using TiO₂ for hydrogen production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 401-425.
- [42] 胡子龍 (2006)。儲氫材料，曉園出版社，台北市。
- [43] 毛宗強 (2008)。氫能-21世紀的綠色能源，新文京開發出版社，台北縣。
- [44] Worldwide Hydrogen Fueling Stations (2008). Fuelcells 2000, from: <http://www.fuelcells.org/info/charts/h2fuelingstations.pdf>
- [45] HiPER project (2008). European High Power laser Energy Research facility. from: <http://www.hiper-laser.org/index.asp>
- [46] Kodama, R., Norreys, P. A., Mima, K., Dangor, A. E., Evans, R. G, Fujita, H., Kitagawa, Y., Krushelnick, K., Miyakoshi, T., Miyanaga, N., Norimatsu, T., Rose, S. J., Shozaki, T., Shigemori, K., Sunahara, A., Tampo, M., Tanaka, K. A., Toyama, Y., Yamanaka, T., and Zepf, M. (2001). Fast heating of ultrahigh-density plasma as a step towards laser fusion ignition. *Nature*, 23, 798-802.
- [47] Asahi, R., Morikawa, T., Ohwaki, T., Aoki, K., and Taga, Y. (2001). Visible-Light Photocatalysis in Nitrogen-Doped Titanium Oxides. *Science*, 293, 269-271.
- [48] Chen, X. and Mao, S. S. (2007). Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications, and Applications. *Chem. Rev.*, 107, 2891-2959.
- [49] Ni, M., Leung, M. K. H., Leung, D. Y. C., and Sumathy, K. (2007). A review and recent developments in photocatalytic water-splitting using TiO₂ for hydrogen production. *Renewable & Sustainable Energy Rev.*, 11, 401-425.

- [50] Kitano, M., Matsuoka, M., Ueshima, M., and Anpo, M. (2007). Recent developments in Titanium-Oxide based photocatalysts. *Appl. Catal. A*, 325, 1-14.
- [51] Department of Energy (2008). from: http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/storage/tech_status.html.
- [52] Dyson, P. J. and McIndoe, J. S. (2005). Hydrogen sponge? A heteronuclear cluster that absorbs large quantities of hydrogen. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44, 5772.
- [53] Brayshaw, S. K., Green, J. C., Hazari, N. McIndoe, J. S. Marken, F., Raithby, P. R., and Weller, A. S. (2006). Storing and releasing hydrogen with a redox switch. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 45, 1.
- [54] Ma, M., Wang, D. H., Hu, X. H., Jin X. B., and Chen, G. Z. (2006). More affordable electrolytic LaNi₅-type hydrogen storage powders. *Chem. Eur. J.*, 12, 5075.
- [55] Sun, Y. G., Tao, Z. L., Chen, J., Herricks T., and Xia, Y. N. (2004). Ag nanowires coated with Ag/Pd alloy sheaths and their use as substrates for reversible absorption and desorption of hydrogen. *J. Am. Chem. Soc.*, 126, 5940.
- [56] Murakami, Y., Kanezaki, T., Mine, Y., and Matsuoka, S. (2008). Hydrogen embrittlement mechanism in fatigue of austenitic stainless steels. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 39, 1327-1339.
- [57] Baughman, R. H., Zakhidov, A. A., and de Heer, W. A. (2002). Carbon nanotubes--the route toward applications. *Science*, 297, 787-792.
- [58] Kim, C., Choi, Y. S., Lee, S. M., Park, J. T., Kim, B., and Lee, Y. H. (2002). The effect of gas adsorption on the field emission mechanism of carbon nanotubes. *J. Am. Chem. Soc.*, 124, 9906.
- [59] Miyata, S. (2008). *Research & Development of Polymer Electrolyte Fuel Cells in Japan*. New Energy and Industrial Technology Department Organization (NEDO). 國家實驗研究院演講投影片，五月，台北市。
- [60] European Lamp Companies Federation (2005). Retrieved February 25, 2008, from

<http://www.elcfed.org/>

[61] NICHIA. Retrieved Mar 17, 2008, from http://www.nichia.com/about_nichia/index.html

[62] NICHIA. *Light Emitting Diodes (LEDS)*. Retrieved Mar 17, 2008, from http://www.nichia.com/product/led_top.html

[63] CREE. Retrieved Mar 26, 2008, from <http://www.cree.com/index.asp>