

出國報告（出國類別：其他）

赴大陸參加第 16 屆中國氫能會議暨第  
8 屆兩岸三地氫能研討會暨參訪硅酸  
鹽研究所出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：黃亮維 助理研究員  
劉建國 工程師

派赴國家：中國大陸

出國期間：104 年 11 月 27 日~104 年 12 月 1 日

報告日期：104 年 12 月 30 日



## 摘 要

核能研究所燃材組黃亮維助理研究員與劉建國工程師奉派於 2015 年 11 月 27 日至 12 月 1 日赴中國大陸江蘇省鎮江市丹徒氫能產業園及江蘇科技大學，參加「第 16 屆中國氫能會議暨第 8 屆兩岸三地氫能研討會」，進行口頭論文發表，二項報告主題為“The Application of Warm-Hot Gas Desulfurization Technology into SOFC Field by Iron-Based Sorbents”及“Development of High-temperature Glass-ceramic Sealant for Solid Oxide Fuel Cell Applications”。本屆氫能會議計分五大議程主題，總計發表 219 篇論文，包括特邀報告 4 篇、邀請演講 19 篇、口頭論文 106 篇及海報論文 94 篇。來自大陸、港、澳、臺地區從事氫能研究及應用之專家學者，超過 300 餘人，齊聚一堂深入探討氫能科學及技術之最新發展與應用。會後順道赴上海市中國科學院硅酸鹽研究所，參訪固体氧化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)材料與系統研究課題組及參觀相關實驗室。上海硅酸鹽研究所為中國大陸研發 SOFC 之重點機構之一，並於 863 計畫「5 kW 級中低溫平板型 SOFC 獨立發電系統集成技術」完成系統裝置容量 5 kW、電熱總效率 75%、熱能自持等設定目標。藉由與該所 SOFC 計畫負責人討論，以及參觀展示之 SOFC 發電系統，瞭解大陸之氫能技術及 SOFC 研發現況與趨勢。目前大陸於製氫、儲氫技術等研發熱題之外，核電的需求仍在上揚，故核電廠對於利用固体氧化物電解電池(Solid Oxide Electrolysis Cell, SOEC)製氫之技術相當重視。國內能源及工業長期以來仰賴化石燃料，對於設定於 2030 年前達成 CO<sub>2</sub> 減排 50%之目標，必須加速再生能源與新能源開發及應用之腳步。國內除了發展 SOFC(氣轉電)之外，將間歇性之風能或太陽能轉變為氫儲存之 SOEC(電轉氣)關鍵技術，以及氫能燃料電池車輛等亦值得投入開發。

## 目 次

	頁次
摘 要 .....	i
一、目的 .....	1
二、過程 .....	3
三、心得 .....	11
四、建議事項 .....	26
五、附錄 .....	28
附錄一：投稿論文摘要(黃員) .....	28
附錄一：投稿論文摘要(劉員) .....	31
附錄二：投稿論文接受函(黃員) .....	33
附錄二：投稿論文接受函(劉員) .....	34

## 圖目次

頁次

圖 1 大陸江蘇省鎮江市研討會地點，以及上海市參訪機構之地理位置。 .....	3
圖 2 (左)南京市祿口國際機場；(右)報到地點及大會安排住宿飯店。 .....	4
圖 3 本文作者於會議報到及註冊。 .....	4
圖 4 (左)丹徒氫能產業園會議中心；(右)氫能會議開幕式會場。 .....	5
圖 5 第 16 屆中國氫能會議暨第 8 屆兩岸三地氫能研討會特邀報告。 .....	7
圖 6 海報論文及氫能廠商產品展場。 .....	7
圖 7 黃員與劉員分別進行口頭論文發表。 .....	8
圖 8 閉幕式演講及頒獎典禮會場。 .....	8
圖 9 黃員與劉員至上海市嘉定區硅酸鹽研究所參訪留影(右)。(左為上海地鐵嘉定北站) .....	9
圖 10 (左)鎮江市高眺，(右)丹徒氫能產業園一景。 .....	11
圖 11 神華集團簡報「中國氫能產業展望」。 .....	16
圖 12 碧氫科技簡報「20 kW 熱電共生型燃料電池系統的運作及氫氣供應」。 .....	17
圖 13 國立中央大學機械所及材料所團隊發表之牆報論文。 .....	18
圖 14 廠商參展會場及參展產品。 .....	19
圖 15 大連化物所簡報「中國科學院大連化學物理研究所分布式化石燃料重整燃料電池 氫源系統研究進展」。 .....	20
圖 16 德國燃料電池研究中心簡報「德國氫能源及燃料電池的研發現況與規劃」。 .....	23
圖 17 中國科學院上海硅酸鹽研究所 SOFC 單元電池研究成果。(取自 <a href="http://www.sic.cas.cn">www.sic.cas.cn</a> ) .....	23
圖 18 中國科學院上海硅酸鹽研究所 SOFC 電堆研究成果。(取自 <a href="http://www.sic.cas.cn">www.sic.cas.cn</a> ).....	25
圖 19 中國科學院上海硅酸鹽研究所 SOFC 系統研究成果。(取自 <a href="http://www.sic.cas.cn">www.sic.cas.cn</a> ).....	25

## 表 目 次

	頁次
表 1 大連化物所對重組產氫之技術指標 .....	21
表 2 大連化物所氫源與 PEMFC 熱電聯供系統技術目標與達成現況 .....	21

## 一、目的

每年舉辦一次之中國氫能會議暨兩岸三地氫能研討會為中國氫能領域最具規模及影響力之學術會議之一。本屆會議為由中國可再生能源學會氫能專業委員會(China Association for Hydrogen Energy, CAHE)主辦、江蘇省丹徒區人民政府和江蘇科技大學承辦，於 2015 年 11 月 27 日至 29 日在大陸江蘇省鎮江市江蘇科技大學舉行。藉由會議平台進行學術交流及最新成果展示，期對於發展氫能之基礎問題，提出創新觀點，達成氫能技術之轉化與進步。本屆會議主題之一為「氫能源產業與綠色生態城市」，目的為透過高水準會議平台促進科研合作，並進一步推動氫能產業發展。

中國大陸過度依賴煤炭等化石燃料無可避免將加速空氣污染及氣候變遷，面對現今全球暖化問題日益嚴重，預計 2016 年大氣中排放的二氧化碳濃度將突破 400 ppm。總體而言，大陸體認到資源的過度消耗，而造成環境破壞，以及 PM2.5 問題嚴重，故思考調整經濟結構，轉變為消費型社會。然而有鑑於將綠能技術推廣至產業界，產業主多抱持謹慎或觀望態度，造成技術不易落實於產業且時程緩慢。故本屆會議另一主題為「互聯網+綠色產業+金融」，藉由氫能會議作為平台，輔以網路的無遠弗屆，引入資金動能，以期加速綠能技術產業化。

中國大陸於燃料電池技術方面，主要仍著重於質子傳輸膜燃料電池(Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)相關技術研究，另由於大陸風電過剩衍生棄風之議題，將多餘電力用以製氫之技術亦成為重要的研發方向。然而在 SOFC 發展議題上，亦為大陸多個研究機構投入的重要項目，並已獲致顯著的技術突破及不錯的成果。例如中國科學院上海硅酸鹽研究所從 1990 年代開始，即進行燃料電池與系統相關研究，是中國境內第一個成功實現 1 kW SOFC 發電系統之研究機構。該所並分別於「十一·五」及「十二·五」期間執行 863 計畫「2 千瓦中溫平板型固体氧化物燃料電池系統」及「5 kW 級中低溫平板型 SOFC 獨立發電系統集成技術」課題研究，後者並於今年完成結題與驗收，以液化天然氣(Liquefied Nature Gas, LNG)為燃料之熱能自持發電系統達成電熱效率 75%之設定目標。此外，儲能電池研發及固体氧化物燃料電解電池(Solid Oxide Electrolysis Cell, SOEC)應用於核電製氫的技術，亦受到相當重視。

本所研發 SOFC 之關鍵材料、元件及發電系統卓有成效，成果受到國際肯定，目前計畫工作推展著重技術移轉產業界，以及建構國內產業平台。派員參加第 16 屆中國氫

能會議暨第 8 屆兩岸三地氫能研討會並發表論文，以及順道赴上海硅酸鹽研究所參訪 SOFC 材料與系統研究課題組及相關實驗室。除能彰顯本所於高溫燃料電池研發成果之外，並可藉由參加會議及與專家學者討論，瞭解大陸最新之氫能技術及 SOFC 研發現況與趨勢，強化兩岸氫能領域合作關係及增益本所研發技術，並尋求可能之應用市場及合作機會，俾利於本所相關計畫研發成果之推廣應用。



## 二、過程

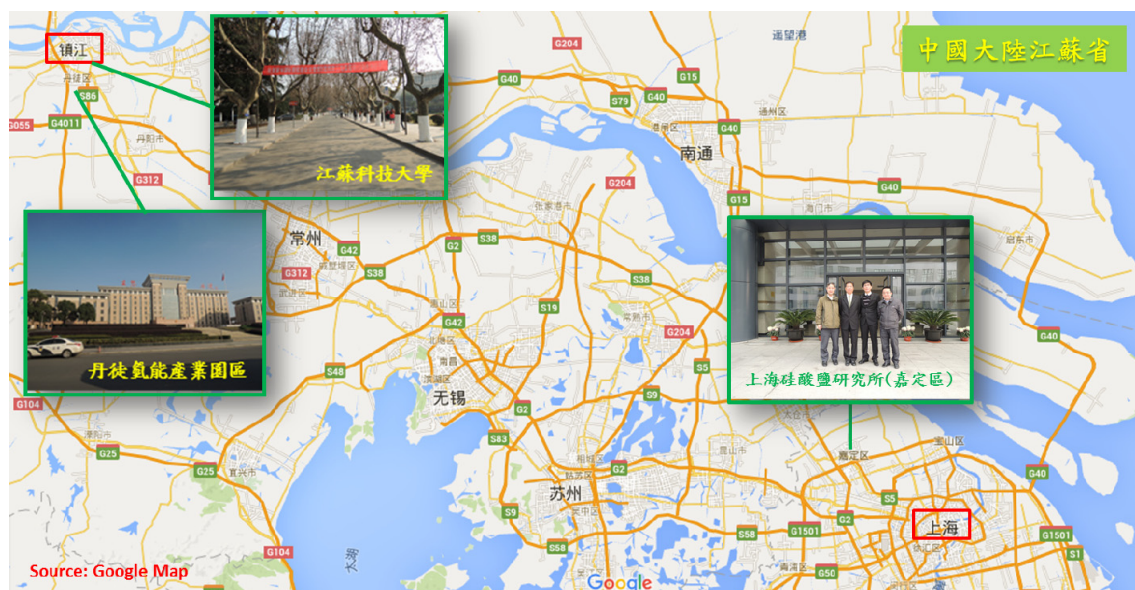


圖 1 大陸江蘇省鎮江市研討會地點，以及上海市參訪機構之地理位置。

黃員與劉員本次奉派於 2015 年 11 月 27 日至 12 月 1 日，赴中國大陸江蘇省鎮江市及上海市，參加於鎮江市丹徒氫能產業園及江蘇科技大學，舉行之「第 16 屆中國氫能會議暨第 8 屆兩岸三地氫能研討會」，以及參訪中國科學院上海硅酸鹽研究所 SOFC 材料與系統研究課題組及相關實驗室，相關地理位置如圖 1。鎮江市位於江蘇省南部之長江南岸，往東距離上海市約 230 公里，自古為長江重要通商口岸及戰略要衝，目前常住人口超過 300 萬人。位於鎮江市丹徒區之丹徒氫能產業園創建於 2012 年 11 月，其目標為打造一集合製氫、儲氫、輸氫、加氫站、燃料電池關鍵材料、零組件、系統、測試設備等產品及產業鏈之專業園區，目前主導方向為通訊基地台備用電源系統及氫能汽車，2014 年臺灣經濟研究院新能源研究所與江蘇丹徒氫能源產業園正式簽署「關於兩岸氫能產業發展的備忘錄」。江蘇科技大學前身為鎮江船舶工業學校，故船舶工程為該校特色之一，2004 年更為現名，目前全校師生約有 28,000 人。中國大陸直轄市之上海市位於中國大陸江蘇省南方臨長江出海口，名列國際著名都會且為中國大陸第一大城市，面積約 6,340 平方公里，目前全市常住人口超過 2,400 萬人。中國科學院上海硅酸鹽研究所前身為於 1928 年成立之國立中央研究院工程研究所，1984 年始更為現名，該所為一以基礎研究為先導，以高端技術創新和應用發展研究為主體之無機非金屬材料綜合性研究

機構，研究人員(含職工、研究生)約有 1,000 人，目前研究設施逐漸由定西園區移往上海市北方之嘉定園區。本次前往之交通行程循兩岸直飛航班往返，去程由桃園機場至南京市祿口機場；回程則由上海市浦東機場返回桃園機場，單趟航程約 2 小時。鎮江市至上海市之地面交通則搭乘京滬高速鐵路由鎮江南站至上海虹橋站，距離 284 公里，車行約 1.5 小時。



圖 2 (左)南京市祿口國際機場；(右)報到地點及大會安排住宿飯店。



圖 3 本文作者於會議報到及註冊。

#### (一) 去程：

11 月 27 日(五)搭乘立榮航空 B7126 班機於 18:16 起飛，由台灣桃園國際機場直飛江蘇省南京市祿口國際機場(圖 2(左))，並於 19:50 抵達。隨即轉乘由會議承辦

單位江蘇科技大學安排之接駁巴士，至鎮江市國際飯店(圖 2(右))辦理會議註冊報到(圖 3)及入住。



圖 4 (左)丹徒氫能產業園會議中心；(右)氫能會議開幕式會場。

## (二) 大會議程：

本屆會議由中國可再生能源學會氫能專業委員會(China Association for Hydrogen Energy, CAHE)主辦、江蘇省丹徒區人民政府和江蘇科技大學承辦。會議主題為「氫能源產業與綠色生態城市」及「互聯網+綠色產業+金融」，計分五大議程主題，包括：A. 可再生能源製氫、化學製氫及其它製氫技術與應用；B. 氫的儲存、輸運和加氫站；C. 燃料電池電催化、燃料電池技術及應用；D. 氫能汽車、備用基站、熱電聯供及其它氫能應用、氫的安全與標準規範；E. 互聯網+產業+金融。本屆會議分 3 日進行，包括首日(11/27)之註冊及報到，第二日(11/28)之開幕式、特邀報告及論文發表，第三日(11/29)之論文發表及閉幕式與頒獎，會議期間同時進行氫能廠商產品展示。會議開幕式於丹徒氫能產業園會議中心(圖 4)舉行，包括主席致詞及 4 篇大會特邀報告；其餘口頭及海報論文發表則於江蘇科技大學進行。依據大會資料，包括邀請演講 19 篇、口頭論文發表 106 篇及海報論文發表 94 篇，以及廠商展覽等。來自大陸、港、澳、臺地區從事氫能研究及應用之專家學者，超過 300 餘人，齊聚一堂討論氫能技術之最新進展，並深入探討氫能科學及技術之發展與應用。本文作者黃員與劉員並分別以“The Application of Warm-Hot Gas Desulfurization Technology into SOFC Field by Iron-Based Sorbents”

與“Development of High-temperature Glass-ceramic Sealant for Solid Oxide Fuel Cell Applications”為題於本屆會議進行口頭論文發表。以下分述各日(11/28~29)議程大要：(本屆會議網站：<http://chec2015.just.edu.cn/>)

1. 11月28日：是日上午於鎮江市丹徒區丹徒氫能產業園會議中心舉行大會開幕式，包括丹徒區委書記、江蘇科大副校長、國務院參事、中國可再生能源學會秘書長等人致詞，隨後並進行4場大會特邀報告(圖5)。下午則移往江蘇科技大學進行各分會場(本屆會議計分為5項分會論文口頭報告，每位報告時間為15分鐘)之口頭論文發表，以及海報論文發表與廠商產品展覽等。本日議程表如下：

地點	時間	議程	會場
丹徒氫能產業園	11/28 (六) 09:00 ~ 12:00	開幕式	會議中心
		特邀報告：車用燃料電池技術發展現狀 報告人：中國科學院大連化物所 邵志剛博士	
		特邀報告：儲氫材料的研究進展與展望 報告人：華南理工大學 朱敏教授	
		特邀報告：氫燃料電池輕型車市場優勢和前景展望 報告人：台灣亞太燃料電池公司 陳建豪經理	
		特邀報告：燃料電池核心模塊研發、系統集成與成本減控 報告人：中國東方電氣集團公司 湯浩博士	
江蘇科技大學	11/28 (六) 13:30 ~ 17:50	口頭論文發表 分會場 A：可再生能製氫、化學製氫及其他製氫技術與應用	學術報告廳
		口頭論文發表 分會場 B：氫的儲存、輸運和加氫站	演講廳
		口頭論文發表 分會場 C：燃料電池電催化、燃料電池技術及應用	船海會議室
		口頭論文發表 分會場 D：氫能汽車、備用基站、熱電聯供及其他氫能應用、氫安全及標準規範	100#教室
		海報論文發表及廠商參展	產品展示廳

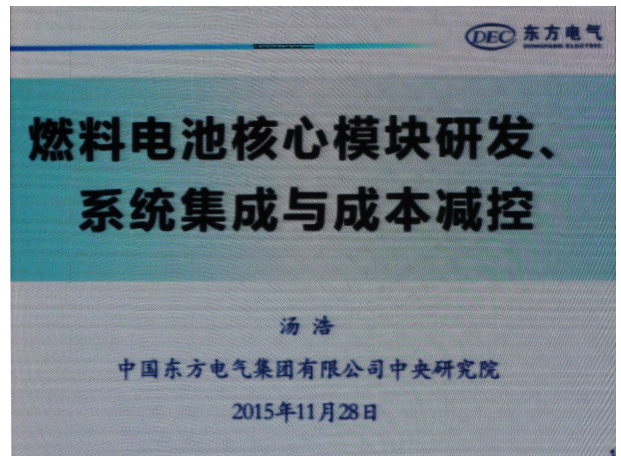
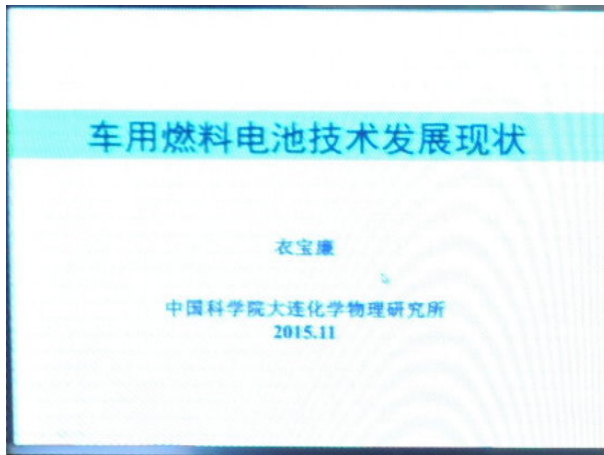


圖 5 第 16 屆中國氫能會議暨第 8 屆兩岸三地氫能研討會特邀報告。

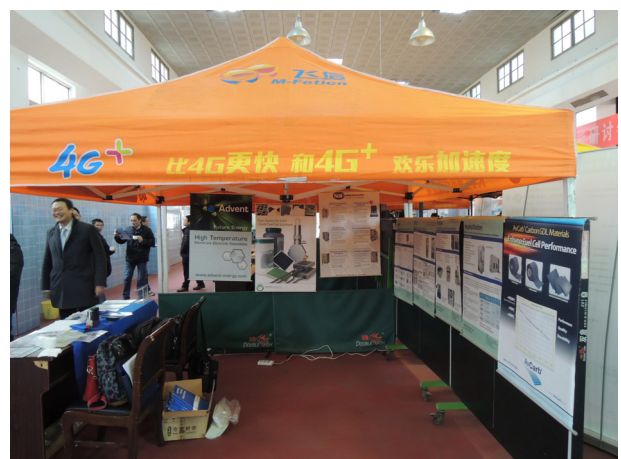
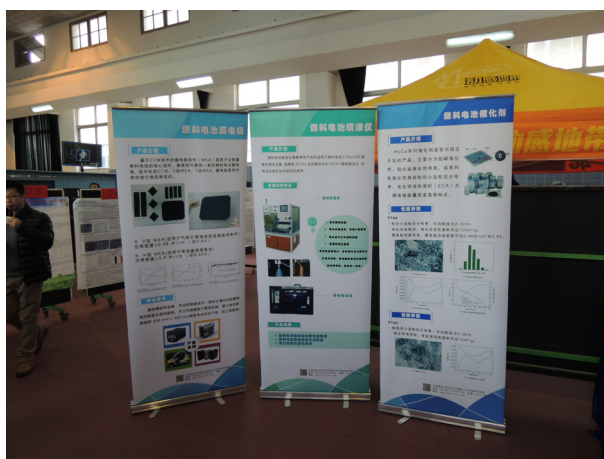


圖 6 海報論文及氫能廠商產品展場。



圖 7 黃員與劉員分別進行口頭論文發表。



圖 8 閉幕式演講及頒獎典禮會場。

2. 11 月 29 日：是日接續進行本屆會議各分會場之口頭論文發表、海報論文發表及廠商產品展覽等(圖 6)。黃員與劉員並分別於今日之分會場 C：燃料電池電催化、燃料電池技術及應用，進行口頭論文發表，論文題目分別為“The Application of Warm-Hot Gas Desulfurization Technology into SOFC Field by Iron-Based Sorbents”及“Development of High-temperature Glass-ceramic Sealant for Solid Oxide Fuel Cell Applications”(圖 7)。本日大會論文發表進行至 16:00 結束，隨後並於學術報告廳進行頒獎及閉幕式(圖 8)，本屆會議計評選出 20 件優秀論文獎，最後由大會主席致詞後圓滿閉幕。本日議程表如下：

地點	時間	議程	會場
江蘇科技大學	11/29 (日) 08:30 ~ 16:00	口頭論文發表 分會場 A：可再生能製氫、化學製氫及其他製氫技術與應用	學術報告廳
		口頭論文發表 分會場 B：氫的儲存、輸運和加氫站	演講廳
		口頭論文發表 分會場 C：燃料電池電催化、燃料電池技術及應用	船海會議室
		口頭論文發表(08:30~11:50) 分會場 D：氫能汽車、備用基站、熱電聯供及其他氫能應用、氫安全及標準規範	100# 教室
		分會報告 分會場 E：互聯網+產業+金融	100# 教室
	海報論文發表及廠商參展	產品展示廳	
	11/29 (日) 16:00 ~ 16:50	頒獎及閉幕式	學術報告廳



圖 9 黃員與劉員至上海市嘉定區矽酸鹽研究所參訪留影(右)。(左為上海地鐵嘉定北站)

(三) 參訪行程：

本文作者黃員與劉員於參加本屆氫能會議結束後，於 11/30 日(一)自鎮江市(鎮江南站)搭乘京滬高鐵至上海市(上海虹橋站)，再轉乘地鐵(11 號線)前往位於嘉定區(近地鐵嘉定北站)之中國科學院上海硅酸鹽研究所，參訪 SOFC 材料與系統研究課題組及相關實驗室(圖 9)，並承蒙王紹榮博士及占忠亮組長熱忱接待，期間亦就大陸 SOFC 未來發展前景及趨勢進行討論及交換意見。

(四) 回程：

12 月 01 日(二)搭乘長榮航空 BR711 班機於 15:08 起飛(原訂起飛時間為 13:15)，由上海浦東國際機場返回台灣桃園國際機場，並於 16:31 抵達。



### 三、心得



圖 10 (左)鎮江市高眺，(右)丹徒氫能產業園一景。

- (一) 每年舉辦一次之中國氫能會議暨兩岸三地氫能研討會為中國氫能領域最具規模及影響力之學術會議之一，藉由學術交流及最新成果展示，對於發展氫能之基礎問題，提出創新觀點，達成氫能技術之轉化與進步。本屆會議主題為「氫能源產業與綠色生態城市」，以及「互聯網+綠色產業+金融」，目的為透過高水準會議平台促進科研合作，並進一步推動氫能產業發展。本屆會議於「一個美的讓人吃醋的城市」- 鎮江市(圖 10(左))舉行，會議開幕式選擇位於鎮江市丹徒區之丹徒氫能產業園(圖 10(右))進行，其用意即在於凸顯本屆會議與主題之一的「氫能源產業與綠色生態城市」，以及與丹徒城市理念及產業園未來發展之高度整合。丹徒氫能產業園創建於 2012 年 11 月，規劃面積約 2 平方公里，園區可分為 5 大區，包括：A.燃料電池零組件，B.通訊基站燃料電池系統、便攜式燃料電池系統等，C.製氫、儲氫、加氫站、燃料電池堆，D.燃料電池輕型車、燃料電池機器人、氫能燃料電池設備等，E.育成(孵化)中心。秉承創新、協調、綠色、開放、發展等 5 項理念，園區發展目標及進程分別為：2014~2016 年為省級氫能產業園、2017~2019 年成為國家級氫能示範園、2020~2022 年達到國際級氫能示範園。目前園內有包括中靖新能源科技公司、超潔綠色能源科技公司、中贏綠色能源科技公司(與台灣碧氫、揚志等公司合作)、精功鎮江汽車製造公司等。產業園尚有全球最大規模之氫能輕型車(摩托車)示範營運項

目，總投資額 38 億元及已簽訂合作協議年產 30 萬輛之氫能輕型車生產。此外，2014 年丹徒氫能源產業園亦與臺灣經濟研究院新能源研究所正式簽署「關於兩岸氫能產業發展的備忘錄」。中國可再生能源學會秘書長於開幕式致詞時提及「創新」與「綠色發展」為大陸十三·五規劃之重要理念，大陸以能源消耗保障經濟發展，而以燃煤為主要能源，火力發電占比 70%，同時亦造成空氣汙染，目前大陸 CO<sub>2</sub> 排放量占全球之 1/4。是以開發核電、水力及可再生綠色能源益形重要，其中氫能為長期發展項目，必須做大、做強。台灣自有能源稀少，絕大部分仰賴進口之化石燃料，對於國內如何兼顧經濟成長與 CO<sub>2</sub> 減排之承諾，勢必須有實際之對策與作為。大陸積極發展氫能，千里之行，始於足下；他山之石，或亦可為借鑒。

- (二) 本屆會議計分五大議程主題，包括：A. 可再生能源製氫、化學製氫及其它製氫技術與應用；B. 氫的儲存、輸運和加氫站；C. 燃料電池電催化、燃料電池技術及應用；D. 氫能汽車、備用基站、熱電聯供及其它氫能應用；氫的安全與標準規範；E. 互聯網+產業+金融。參加會議者來自大陸、港、澳、臺地區從事氫能研究及應用之專家學者，超過 300 餘人。大會總計發表 219 篇論文，包括邀請演講 19 篇、口頭論文 106 篇及海報論文 94 篇，大會特邀報告 4 篇以及廠商展覽等。其中多數為質子交換膜燃料電池及儲氫材料相關研究論文，質子交換膜燃料電池多應用於移動載具及基地台備用電源，技術已相對成熟。氫為能量之載子，儲氫即為儲能，而氫能燃料電池必須與儲能配套，以過剩之風電或太陽能用以製氫，相關材料及技術研究，亦多見於本屆會議論文。此外，與固態氧化物燃料電池相關研究論文計有 11 篇，多為電極材料特性等基礎研究。
- (三) 本屆大會計有 4 場特邀報告，首場由中國科學院大連化物所邵志剛博士講演「車用燃料電池技術發展現狀」。分別闡述國際燃料電池汽車(Fuel Cell Vehicle, FCV)技術進展，自 1990~2005 年，為 FCV 示範應用驗證之階段，FC 壽命小於 2,000 小時，電池堆性能約為 1 kW/L；2005~2012 年，為第二代燃料電池汽車，FC 壽命達 5,000 小時，電池堆性能約為 2 kW/L；而 2012 年之後，各大汽車公司形成三個聯盟聯合開發，主要目的在於降低成本。依據美國能源部(Department of Energy, DOE)於 2011 年的估算，以每年 50 萬輛量產計算，燃料

電池的成本為 USD49/kW，其目標為降至 USD30/kW；其 Pt 觸媒使用量將由 1.0 g/kW，降低至<0.1 g/kW(相當於汽車尾氣淨化器之 Pt 使用量)。日本豐田汽車於 2014 年 12 月 15 日正式發佈燃料電池汽車 Mirai(未來)，續航力 650 km，充氫時間 3 分鐘，0~100 km/h 僅需 10 秒，燃料電池功率密度達 3.1 kW/L。Mirai 於日本之銷售價格 720 萬日圓，政府補助 200 萬日圓，東京市另補助 100 萬日圓，因此價格實際為 420 萬日圓。Toyota 預估產量尚為 100 萬輛時，創造之產值將達 12 兆日圓。Toyota 公司更於今年(2015 年)1 月 6 日宣布公開 5,680 件 FCV 之專利，供各界免費使用至 2,020 年，其中加氫站相關專利 70 件，因具公益性質，則無限期免費提供使用。此外，邵博士歸納國際 FCV 的現狀為：

1. FCV 已經度過技術開發階段，進入到市場導入階段，降低成本及 Pt 用量與加氫站建設為焦點。
2. 燃料電池發動機功率密度大幅提升，已達到傳統內燃機的水平。
3. 基於 70 MPa 儲氫技術，續駛里程達到傳統車水平(燃料填充<5 min)。
4. 燃料電池壽命滿足高用要求(5,000 hrs)。
5. 低溫環境適應性提高，可適應-30°C，車輛適用範圍達到傳統車水平。
6. 通過技術進步降低成本，批量製造的開發應用成為下一步研發重心。
7. Pt 用量的降低，特別是採用非 Pt 催化劑是長期且艱鉅的任務。

中國大陸於燃料電池技術方面，主要仍在於質子交換膜燃料電池(PEMFC)相關技術研究。邵博士亦指出目前大陸燃料電池汽車發展，累積運行里程已逾 10 餘萬公里，性能雖與國際水平接近，然成本、耐久性等仍亟待改善。故大連化物所於高性能/高穩定性抗中毒催化劑，例如 PtPd 核殼催化劑、抗氧化抗腐蝕 Pt/C@PANI 催化劑、Pt/MoO<sub>3</sub>/C 抗毒(抗 SO<sub>2</sub> 濃度>2 ppm)催化劑等，以及高耐久性/高質子傳導性複合膜(Nafion/PTFE 複合膜)、新型膜電極組件 MEA(採靜電噴塗電極製備技術)、金屬雙極板(沖壓成型、激光焊接)、動態載荷控制策略(燃料電池+二次電池混合動力)、電池堆陽極水管理策略(陽極可視化實驗裝置)、空壓機、高壓儲氫瓶(35 MPa)等研發項目，均達成相當好的研究進展。大連化物所開發之 20 kW PEMFC 電池堆，體積比功率為 2.736 kW/L，質量比功率為 2.210 kW/L，工作點為 1,000 mA/cm<sup>2</sup>。對於大陸於燃料電池下一步發

展，邵博士建議：

1. 加大燃料電池關鍵材料批量生產線的資助力度與研發投入，實現關鍵材料國產化，為燃料電池商業化奠定基礎。
2. 提高電池堆性能的同時，重點提高電池堆的可靠性與耐久性。
3. 促進燃料電池過程研究結果與發動機生產單位的融合，落實抑制衰減過程的措施，進一步深入研究陽極水管理過程、低溫啟動、系統模塊化，提高燃料電池系統的可靠性與壽命。
4. 發展燃料電池發動機快速評價方法，推進加氫站建設和燃料電池汽車的示範運行，以示範帶動技術鏈與產業鏈的發展。
5. 70 MPa 氣瓶、空壓機、加氫站的建設是燃料電池車商業化必須攻克而又非常艱鉅的任務。
6. 超低 Pt、非 Pt 催化劑的電極開發與實用是艱鉅且長久的任務。

(四) 華南理工大學材料科學與工程學院之朱 敏教授，講演了「儲氫材料的研究進展與展望」。朱教授提及氫能規模化應用的三大技術為製備技術、儲存/運輸技術及應用技術，而其瓶頸為技術指標無法滿足要求。常用的儲氫方式包括高壓儲氫(技術相對成熟、壓縮能耗高、安全性較差)、液態儲氫(體積能量高、自揮發、成本高、能效低、絕熱系統複雜)、固態儲氫(體積能量高、能效高、安全性佳、成本低、重量能量低)，而儲氫材料的基本要求為儲氫容量高、安全性高、吸/放氫速率快、壽命長、低成本。固態儲氫技術的主要挑戰包括：1.如何獲得高容量的新型儲氫材料？(現有可用之儲氫材料的儲氫量 $<3 \text{ wt}\%$ )；2.如何降低儲氫材料吸/放氫溫度，提高儲/放氫速率？(材料穩定但儲/放氫慢)；3.如何提高氫源系統的儲能密度和改善其傳熱/傳質性能？(儲氫材料與氫反應之熱焓高)。儲氫材料應用於燃料電池汽車，所遭遇的挑戰則是汽車燃料電池所需的高容量，適宜快速充/放氫及低成本的儲氫技術、量產規模製備技術及熱管理技術等。 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Al}(\text{BH}_4)_3/\text{NH}_3$  等新結構與新儲氫材料，以及如 Mg-輕稀土相關可發揮資源優勢之儲氫材料，則提供了儲氫技術之新展望。此外，高壓儲氫材料與高壓氣瓶耦合，例如 70 MPa 高壓氣瓶之儲氫質量密度可達 7%，但其體積密度低、壓縮耗能；但如為使用 Ti-V-Cr  $\text{AB}_2$  型儲氫合金，與 35 MPa

氣瓶配合，可使 180 升儲氣罐之儲氫量從 3 kg 提高至 7.3 kg。台灣於低壓型儲氫罐已率先制訂國際規範，具有相當好的機會；高壓儲氫罐及台灣氫能經濟產業供應鏈，則有包括亞太、光騰、華紙、台塑、元寧、經緯航太、太空中心、能碩等產業投入。

(五) 台灣亞太燃料電池股份有限公司陳建豪專案經理講演「氫燃料電池輕型車市場優勢和前景展望」。該公司於 2000 年 3 月成立，致力於推動 PEMFC 摩托車與其他燃料電池應用產品的商業化，公司著重智財權佈局，至 2015 年 11 月，共獲得 162 項專利。該公司所生產之 ZES Scooter 燃料電池機車，使用 2 只儲氫罐，儲氫材料為金屬氫化物，每行駛 1 公里約消耗 1.2 g H<sub>2</sub>，PEMFC 電池堆額定功率 1.3 kW。該公司之燃料電池機車技術驗證首於 2010 年完成 1,000 公里之環島測試，並於 2013~2015 年提升系統穩定度，測試總里程已超過 40 萬公里。陳經理指出就全球燃料電池市場銷售金額資料，2014 年燃料電池產業總值較 2013 年成長約 10 億美金，達 22 億美金。陳經理並指出大陸有絕佳的市場機會！其引據美國 Pike Research 公司的報告，至 2017 年為止全球電動機車將有 1 億 3 千 8 百萬輛的規模，其中大陸每年就超過 5,000 萬輛。然而歐洲、美國都有增加趨勢，以 10% 佔有率保守估算，年產 1,380 萬輛之產值巨大。交通工具走向電動化、潔淨化是不可逆的趨勢，尤其在輕型小型交通工具，不僅市場潛力大，也可為環境保護帶來幫助。此次參加會議，見識到鎮江市民所使用的輕型摩托車，均為電瓶車或電動車，對於減少空氣的污染及環境的潔淨，產生了一定的效果。反觀國內有超過上千萬輛的機車，環保之電動機車占比卻仍少，在政府政策或法規的制訂，以及民眾對環保的自覺，或許都有許多仍需要學習及省思的地方。

(六) 中國東方電氣集團有限公司中央研究院之湯 浩博士講演「燃料電池核心模塊研發、系統集成與成本減控」。湯博士指出燃料電池系統產品之開發流程為由功能模塊(包括膜電極、電池堆、BoP、電源管理模塊等)、系統集成、智能控制，再至產品優化(包括成本減控及可靠性工程驗證)。而其所面臨的挑戰主要在於：核心材料及模塊研發產業化(包括膜電極、電池堆、BoP 部件、控制模塊等)、測試設備與技術(例如多功能性、可拓展性、多場景模擬測試等)、系統



資(占 80%強)，因此，如何降低加氫站設備成本亦應為研發重點。在產業投資回報分析面，胡博士則指出產業初期，氫能產業很難獲利，政府應補貼並更大程度推動燃料電池汽車及基礎設施建設，隨著車輛增多，加氫站規模擴大，產業利潤空間亦將獲得改善。

### 本展示系統與日本PEFC ENE-FARM之比較

	本展示-純氫型燃料電池系統	碧氫的重組型燃料電池系統	Panasonic 0.75KW	Toshiba 0.70KW
燃料/原料	甲醇/甲醇水	甲醇/甲醇水	天然氣	天然氣
氫氣純度	>99.999% $H_2$	>70% $H_2$ 1-3ppm $C_2O$	70% Lo $CO$	70%Lo $CO$
重組器熱效率%	86-87%	>85%	75-80%	75-80%
純化後熱效率%	52.6%			
電效率	24.4%(含內耗)	18.6%	40%	38.5%
kW/CM	1.2	0.8	1.18	1.17
熱回收效率	46.5%#1	45.8%#2	50%	55.5%
系統總效率	70.9%#3	58.6%#3	90%	94%
系統總體積, L	3758 (2.5KW)	966	284.7	234.0
體積效率, L/kWh	751.6(507)	107.3	379.6	334.3


#1 如不含FC熱回收，則系統熱水回收效率為31.96% (水溫60°C 9.6L/min)。  
#2 如不含FC熱回收，則系統總效率為56.36%。  
#3 重組型燃料電池熱電共生系統，系統總效率不含FC熱水回收。

Green Hydrotec Inc. T: 886-3-397-2729 F: 886-3-397-3441 W: http://www.greenhydrotec.com

### 20kW熱電共生型燃料電池系統展示內容

- 計畫將建置20kW系統，燃料電池系統 (PEMFC)，所產生的電力為主電力，與市電(備用電源)併聯的方式。
- 載具應用：供應體育館一部分的照明系統用電，一方面幫助節省電費，一方面驗證甲醇重組產氫燃料電池熱電共生系統的穩定性，產生的熱水則直接送入游泳池內，供應溫水游泳池一部分熱水需求。
- 技術重點包括現場之產氫單元，燃料電池發電模組單元，整合控制與熱回收單元，可同時供應電與熱，除了發電效率，系統能源總利用效率是技術整合重要的指標。

產 氫： $CH_3OH+1.5H_2O \rightarrow CO_2+3H_2$   
 氫氣純化：PSA  
 發 電：LTPEMFC  
 產熱交換：管翅式熱交換器



Green Hydrotec Inc. T: 886-3-397-2729 F: 886-3-397-3441 W: http://www.greenhydrotec.com

圖 12 碧氫科技簡報「20 kW 熱電共生型燃料電池系統的運作及氫氣供應」。

(八) 台灣之碧氫科技開發股份有限公司董事長雷敏宏博士以「20 kW 熱電共生型燃料電池系統的運作及氫氣供應」為題進行邀請報告。雷博士指出，氫氣供應之瓶頸在於加壓、儲運成本之高昂，以及安全性之顧慮。而分散式現場生產為最佳之供應模式，並可以節省約 45%~75%之儲運費用。碧氫公司是以催化劑及反應工程為核心，專注於小容量及高效率之產氫蒸氣重組器。該公司之甲醇重組器有 2, 5, 7.5, 15, 30 m<sup>3</sup>/h (CMH)之基本單元，可組合成不同容量之供氫設備。所有的反應器均以催化加熱之方式達到 83%~86%之效率，催化劑與重組器已分別有 38,000 及 6,000 小時以上之實測壽命。雷董事長報告之 20 kW 熱電共生型燃料電池系統為 PEMFC，實際用於發電供應學校體育館之照明用電，另一方面產生之熱能則用以供應溫水游泳池之熱水需求(圖 12(右))。其系統之技術重點包括可現場利用甲醇產氫之重組器、燃料電池發電模組、整合控制及熱回收單元等，此一熱電聯供系統，除發電效率之外，系統能源總利用效率是技術整合之重要指標。雷董事長報告之資料(圖 12(左))顯示，該公司之純氫型燃料電池系統之重組器熱效率為 86%~87%，電效率及熱回收效率分別為

24.4%及 46.5%；而重組型燃料電池系統之重組器熱效率則>85%，電效率及熱回收效率分別為 18.6%及 45.8%。

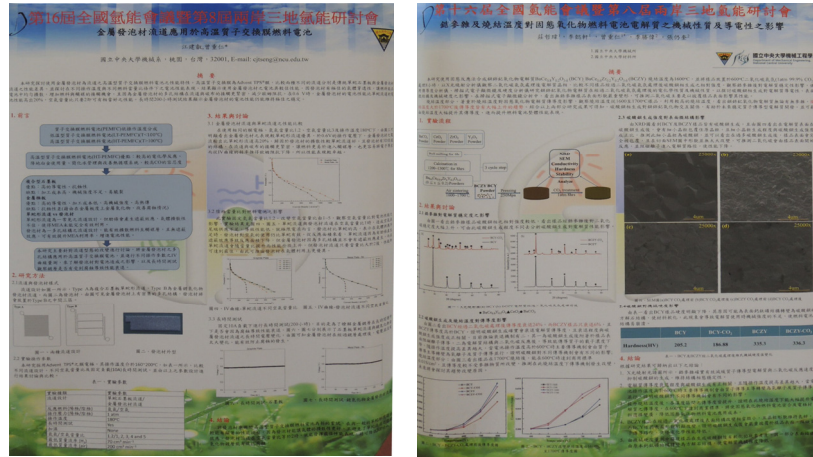


圖 13 國立中央大學機械所及材料所團隊發表之牆報論文。

- (九) 國立中央大學機械所及材料所團隊本次參加會議發表 2 篇論文，分別為「鉛摻雜及燒結溫度對固態氧化物燃料電池電解質之機械性質及導電性之影響」、「金屬發泡材流道應用於高溫質子交換膜燃料電池」，(圖 13)。前者是以固態反應法合成  $BaCe_{0.8}Y_{0.2}O_{3-\delta}$  (BCY)及  $BaCe_{0.6}Zr_{0.2}Y_{0.2}O_{3-\delta}$  (BCZY)，並探討鉛摻雜對於前述試樣之機械特性，以及將試樣置於 1 atm 之 600°C 的  $CO_2$  氣氛中，探討其因生成碳酸鋇而對試樣導電性、微結構及機械性質之影響。結果顯示當燒結溫度大於 1700°C，無論是否有鉛摻雜，均可提升 BCY 之導電度；然而碳酸鋇生成於 BCY 表面時，會使試樣表面形貌嚴重變形，經  $CO_2$  處理之 BCY，其傳導度衰退 24%，而 BCZY 僅衰退 6%。此外，鉛之摻雜可有效抑制碳酸鋇之生成，並維持結構相態之穩定性，此項結果有助於質子傳導型電解質之開發。後者則是探討以金屬發泡材為流道之高溫型(180°C)質子交換膜燃料電池的特性，實驗變因為不同燃料當量比(1~5)。以傳統單蛇形流道石墨板材與金屬發泡材做比較，結果顯示使用金屬發泡材為流道之燃料電池具有較佳性能，原因為發泡材具有較佳之氣體通透性，長時間的量測結果亦顯示，使用鍍氮化物層後之金屬發泡材的燃料電池性能仍可維持極佳的穩定性。單蛇流道石墨板效能會隨空氣當量比增加而微幅增加，而金屬發泡材只需空氣當量比>2 時，電池



性能即達最佳值。



圖 14 廠商參展會場及參展產品。

(十) 本次大陸氫能會議除論文發表之外，亦包含氫能產業之廠商產品展示(圖 14)。

廠商(營業項目)如：

寧波拜特測控技術有限公司 [www.NBTtech.com.cn](http://www.NBTtech.com.cn) (燃料電池測試系統)

東洋精測系統有限公司 [www.toyochina.com.cn](http://www.toyochina.com.cn) (燃料電池測試系統)

寧波中科科創新能源科技有限公司 (PEMFC 催化劑、膜電極)

北京七星華創電子股份有限公司 [mfc.sevenstar.com.cn](http://mfc.sevenstar.com.cn) (質量流量計)

昆山桑萊特新能源科技有限公司 [www.sunlaite.com](http://www.sunlaite.com) (燃料電池關鍵材料到系統應用產品)

南京大學環境與再生能源檢測中心 [www.njukii.com](http://www.njukii.com) (燃料電池材料及系統檢測服務)

南通禾澤新能源科技有限公司 (氫燃料備用電源、車載電源模塊、分布式發電設備、氫燃料電池生產測試檢測設備)

南通百應能源有限公司 [www.bingenergyinc.hk](http://www.bingenergyinc.hk) (氫燃料電池堆、系統與核心部件)

天津德尚科技有限公司 [www.brillante.com.cn](http://www.brillante.com.cn) (電化學工作站)

群翌能源股份有限公司 [www.hephasenergy.com](http://www.hephasenergy.com) (燃料電池測試系統與核心部件)

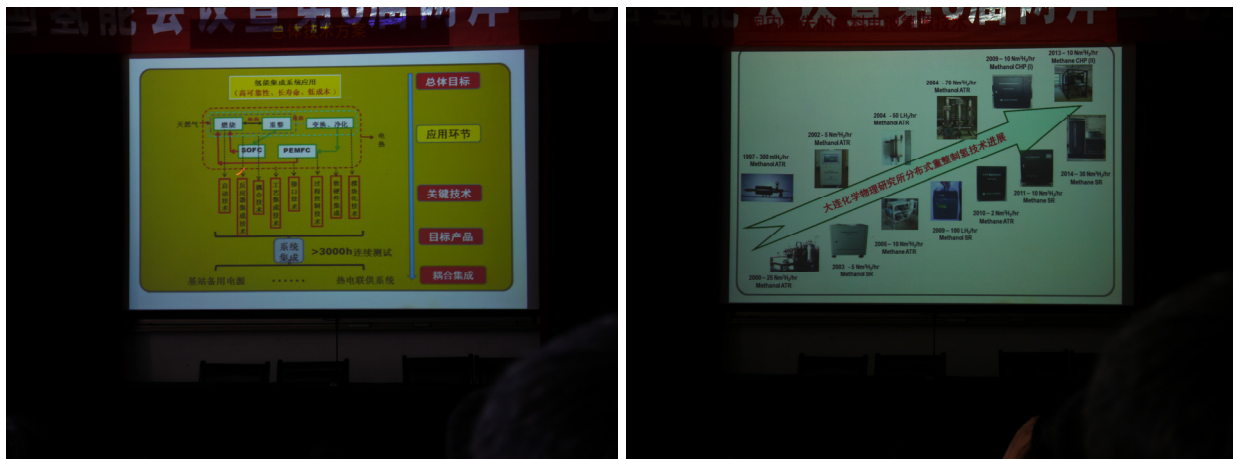


圖 15 大連化物所簡報「中國科學院大連化學物理研究所分布式化石燃料重整燃料電池氫源系統研究進展」。

(十一) 中國科學院大連化物所袁中山副研究員以「中國科學院大連化學物理研究所分布式化石燃料重整燃料電池氫源系統研究進展」為題進行邀請報告(圖 15)。袁副研究員指出，分布式氫源系統需要如體積小、重量輕，啟動迅速與重複啟停等特性要求，屬於非穩態操作。而大陸在小型重組製氫集成系統開發及燃料電池聯用系統等方面，與國際還有一段差距；須加強重組製氫的基礎科學、系統結構與尺寸設計，與不同規模與類型之燃料電池進行技術和控制集成方面進行深入探討。大連化物所自行研製的分布式氫源系統，主要以自熱重組(ATR)與蒸汽重組(SR)兩種方式進行產氫，燃料選用甲醇；供氫速度現為  $30 \text{ Nm}^3/\text{hr}$  (@ Methanol SR)，重組產氫技術指標如表 1 所示。另外氫能集成系統應用，需要高可靠度、長壽命與低成本等要求。重組反應將燃料，如甲醇或天然氣，經重組反應後，將氫氣導入高溫燃料電池 SOFC 進行電化學反應，而產生的餘熱再重新導入重組器內供反應所需，形成不須仰賴外在熱源方式，及自熱重組；如果是應用在 PEMFC 上，重組氣還需經過額外的淨化程序，避免 CO 或硫化物等雜質氣氛對觸媒毒化。目前大連化物所開發之氫能集成系統已通過 3,000 小時連續測試，應用在基站備用電源與熱電聯供系統上，規模可達 1~5 kW 等級。目前大連化物所開發之氫源系統也已經整合至燃料電池上進行測試，在 10 kW 等級分布式天然氣重組燃料電池氫源系統之研製上，該系統目前累計操作時數超過 3,000 小時；該系統還與 PEMFC 進行聯合測試。透過逐級變載方式，系

統能在 10 分鐘內平穩地輸出電功率從 2 kW 升到 8 kW，聯合測試時數達 600 小時。聯合測試期間氫源系統各項操作均正常，重組氣中氫氣濃度 $\geq 72\%$ ，CO 濃度 $<10$  ppm。氫源系統可以在電池輸出功率為 4~10 kW 時為 PEMFC 穩定供氣。在利用 PEMFC 陽極尾氣預熱重組原料氣的條件下，氫源系統能量效率接近 80%；而氫源系統與 PEMFC 全系統熱電聯供能源效率(LHV)為 72.7%。所有研發成果皆已達到初期設定目標，如表 2 所示。

表 1 大連化物所對重組產氫之技術指標

技術指標	Methanol ATR	Methanol SR
產氫能力	1.83 Nm <sup>3</sup> /kg methanol (與燃料電池聯用)	2.03 Nm <sup>3</sup> /kg methanol (與燃料電池聯用)
產品組成	53.4% H <sub>2</sub> , 24.5% N <sub>2</sub> , 22.1% CO <sub>2</sub> , <10 ppm CO	67.5% H <sub>2</sub> , 8.3% N <sub>2</sub> , 24.2% CO <sub>2</sub> , <10 ppm CO
反應溫度	350~550 °C	300 °C
啟動時間	≤30 min (冷啟動，消耗電功率 0.15 kW)	≤30 min (冷啟動，消耗電功率 0.15 kW)
體積比功率	450 W/L (75 kW 等級)	450 W/L (75 kW 等級)
重量比功率	300 W/kg (75 kW 等級)	300 W/kg (75 kW 等級)
操作壓力	0.2 MPa (表壓)	0.2 MPa (表壓)
產氫效率(LHV)	78% (與燃料電池聯用時 99%)	≥75%(與燃料電池聯用時 95%)
氧氣耗量	192 g/kWh	164 g/kWh
催化劑壽命	≥16000 hr	≥16000 hr

表 2 大連化物所氫源與 PEMFC 熱電聯供系統技術目標與達成現況

目標值	技術現況
天然氣重組氣中 CO 含量 $\leq 10$ ppm	6.8 ppm
重組系統產氫量 $\geq 10$ Nm <sup>3</sup> /hr	10 Nm <sup>3</sup> /hr
分佈式發電系統輸出功率 $>10$ kW	10.67 kW
熱電聯供能源效率 (LHV) $\geq 70\%$	72.7%
燃料電池發電系統燃料利用率 $\geq 72\%$	85%

(十二) 德國燃料電池研究中心張惟博博士以「德國氫能源及燃料電池的研發現況與規劃」為題進行報告(圖 16)。德國在歐洲地區積極推動再生能源發展與應用，在

氫能應用方面，由德國政府出資成立國家氫能組織(NOW)，專責國內氫能源與燃料電池技術開發，負責業務項目有車輛動力、熱電聯供與總體方案。車輛動力分項以電動車與氫燃料電池車輛為主，其中氫燃料電池車子項著重在一般轎車、公共汽車、叉動車與船舶的應用上。熱電聯供分項分成居家用與工業用兩塊領域設備研發，工業用著重在大型設備、緊急供電等領域，此外還有輪船遠航以及 1~2 kW 微型設備。總體方案則集中在以氫氣作為能源載體，考量以風電製氫、大型高壓電解裝置，以及建立風-氫系統結盟關係；引入新的驅動方式著重在氫動力車之供氫基礎設施與汽車工業的規劃。近年來在德國微型燃料電池市場有顯著發展，主要為居家型之微熱電聯供系統與固定式電源供應裝置。如 Inhouse engineering 開發之 Inhouse 5000 系統，為一般低溫型 PEMFC，燃料以天然氣為主，電功率為 5 kW，熱功率為 7.5 kW；電效率為 34%，熱電聯供效率可達 92%。Elcore 開發的 Elcore 2400 產品，為高溫型 PEMFC，工作溫度介於 140~170°C，燃料以天然氣為主，電功率為 0.3 kW；電效率為 32%，熱電聯供效率可達 104%。Solid Power 開發之 EnGen 2500 產品，為 SOFC，燃料以天然氣為主，電功率為 2.5 kW，熱功率為 2.0 kW；電效率為 50%，熱電聯供效率可達 90%。在微管型 SOFC 的開發上，eZelleron 公司以丙烷作為燃料，開發出單根微型管徑約 0.3 mm 的 SOFC 裝置，效率為 60%，額定功率 1 W，峰值功率 5 W。經過多管組合後整體功率可介於數瓦~數百瓦之間，可連續工作 48 小時，適合用於手機或筆記型電腦等手持式裝置上。Sunfire 公司開發之 25 kW SOFC 系統，電效率為 50%，整體熱電聯供效率達 90%，已提供船舶綜合燃料電池計畫(SchIBZ)，將應用於輪船作為主要電力來源。另外 2011 年在比利時 Antwerpen 市設置 MW 等級 PEMFC 燃料電池發電站，總計單電池數量共 12,600 片，電功率/熱功率分別達到 1 MW 與 0.5 MW，電效率為 50%，熱電聯供效率為 80%；歷經 800 小時總發電量為 500 MWh。氫燃料電池車開發與應用上，目前有德國戴姆勒 F125 燃料電池車，充飽一次燃料可行駛 1,000 km；另外在德國萊比錫 BMW 工廠使用混合動力(燃料電池+鋰電池)為主的叉動車。氫氣供應基礎設施方面，德國投資約 4,000 萬歐元規劃 2015 年底前將國內既有的加氫站數量從 15 座提高到 50 座，以利燃料電池車的普及。

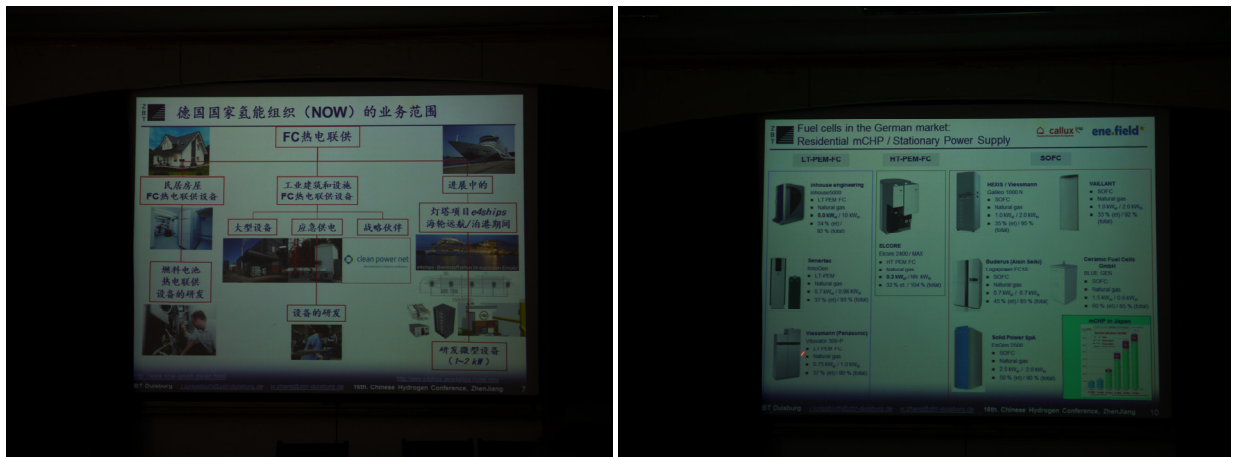


圖 16 德國燃料電池研究中心簡報「德國氫能源及燃料電池的研發現況與規劃」。

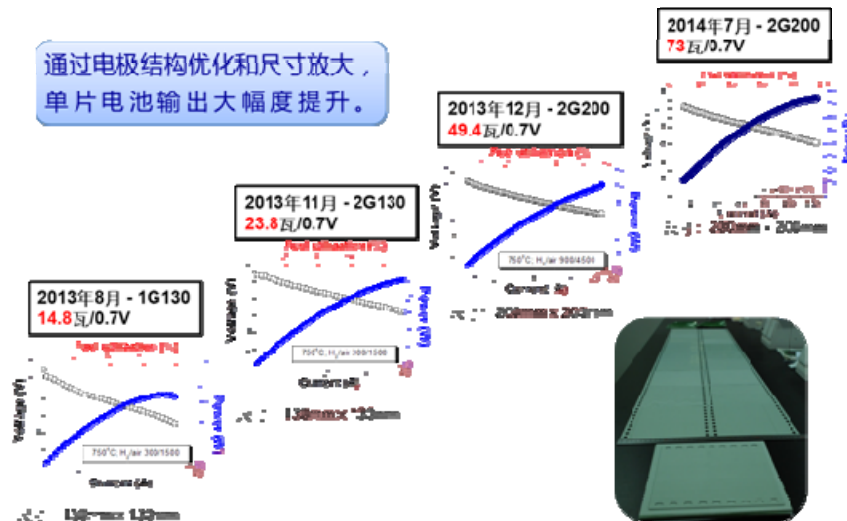


圖 17 中國科學院上海硅酸鹽研究所 SOFC 單元電池研究成果。(取自 [www.sic.cas.cn](http://www.sic.cas.cn))

(十三) 本次赴大陸參加氫能會議，於會後順道赴上海市中國科學院硅酸鹽研究所參訪。中國科學院上海硅酸鹽研究所之前身為於 1928 年成立之國立中央研究院工程研究所，1953 年更名為中國科學院冶金陶瓷研究所，1984 年再更為現名。該所為一以基礎性研究為先導，以高端技術創新和應用發展研究為主體之無機非金屬材料綜合性研究機構。依該所之網站資料，至 2014 年底，現有在職員工約 700 餘人，由於該所亦可授予研究生碩、博士學位，因此研究職員數(含研究生)約有 1,000 人。該所之組織機構包括管理部門、科研部門及支撐部門，其中科研部門有能量轉換、高性能陶瓷和超微結構、特種無機塗層、透明光功

能無機材料、無機功能材料與器件等重點實驗室，結構陶瓷與複合材料工程、生物材料與組織工程、古陶瓷與工業陶瓷工程等研究中心，以及中試基地等。學研方向及特色主要在於先進無機材料科學與工程，研究領域則涵蓋了人工晶體、高性能結構功能陶瓷、特種玻璃、無機塗層、生物環境材料、能源材料、複合材料及先進無機材料性能檢測與特性等。該所近年自 2007 至 2014 年所發表之 SCI 期刊論文數，總計有 4,251 篇，占總發表論文數(4,957 篇)之 85%強；同期所申請之專利數為 1,660 件，專利獲得數為 848 件。最近該所團隊在新型高效儲能電極材料(氮摻雜有序介孔少層碳材料)研究方面獲致突破，所合成高比表面積之氮摻雜有序介孔石墨烯，具有良好的電化學儲能特性，比容量達 855 法拉/克，研究論文刊登於 Science 期刊(350 (6267), 1508-1512 (2015))。此次行程參訪上海硅酸鹽研究所能量轉換材料重點實驗室之燃料電池與系統研究課題組，其從 1990 年代即開始從事於高溫固體氧化物燃料電池關鍵材料及系統之研發工作，於「十·五」期間承擔國家重大技術攻關專案於「5 千瓦平板型中溫固體氧化物燃料電池技術」，於「十一·五」期間承擔 863 計畫於「2 千瓦中溫平板型固體氧化物燃料電池系統」課題研究，而於「十二·五」期間則承擔 973 計畫課題「中低溫 SOFC 關鍵材料設計及荷電傳導機制」，同時作為承擔 863 計畫「5 kW 級中低溫平板型 SOFC 獨立發電系統集成技術」課題的研究工作之主要參加單位。在 SOFC 發電技術的關鍵材料、關鍵部件及電池堆設計、組裝、控制和運行等方面累積了豐富的經驗和成果(圖 17~19)，並申請了三十餘項發明專利。課題組於 2013 年 4 月 12 日達成 1 kW SOFC 系統成功發電，目前之研發團隊約 30 人，主要研究領域包括：固體氧化物燃料電池關鍵材料與系統集成技術、固體氧化物電解池與電化學儲能技術、固體電解質氣體傳感器，以及透氧膜材料與膜反應器。該課題組目前為致力於推展固體氧化物燃料電池發電技術及固體電解質車用氧感測器之產業化，研發基地搬遷至嘉定園區 8 號 4 樓之專門規劃廠房，面積達 1,200 平米，於 2012 年 10 月裝修完成，打造為用於 SOFC 單元電池生產、關鍵部件批量化加工、電池堆組裝、測試平台與發電系統整合，以及示範平台等之生產線。此行參訪，承蒙王紹榮博士及占忠亮組長熱忱接待，除進行大陸 SOFC 未來發展趨向及前景討論，並參觀實

驗室及 5 kW SOFC 發電展示系統。後者於 863 計畫已完成結題通過驗收，達成系統裝置容量 5 kW，電及熱加總效率 75%，熱能自持等設定目標。目前中國大陸如硅酸鹽研究所、寧波材料技術所、華中科技大學等機構投入 SOFC 發電系統之研究，均已獲得顯著之進展，然而產業仍對大系統和短期回收較有興趣，以致推廣應用腳步仍緩。但目前大陸除了棄風議題造成製氫技術熱題之外，因為核電的需求仍在上揚，故核電廠對於利用固体氧化物電解電池(Solid Oxide Electrolysis Cell, SOEC)製氫之技術仍有相當興趣。

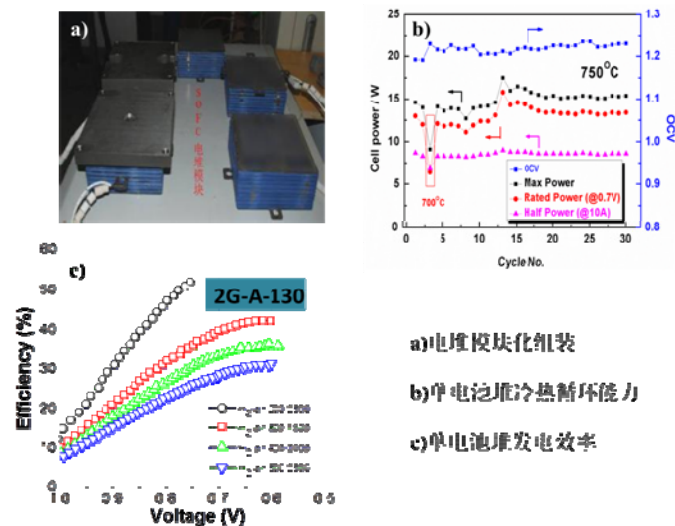


圖 18 中國科學院上海硅酸鹽研究所 SOFC 電堆研究成果。(取自 [www.sic.cas.cn](http://www.sic.cas.cn))

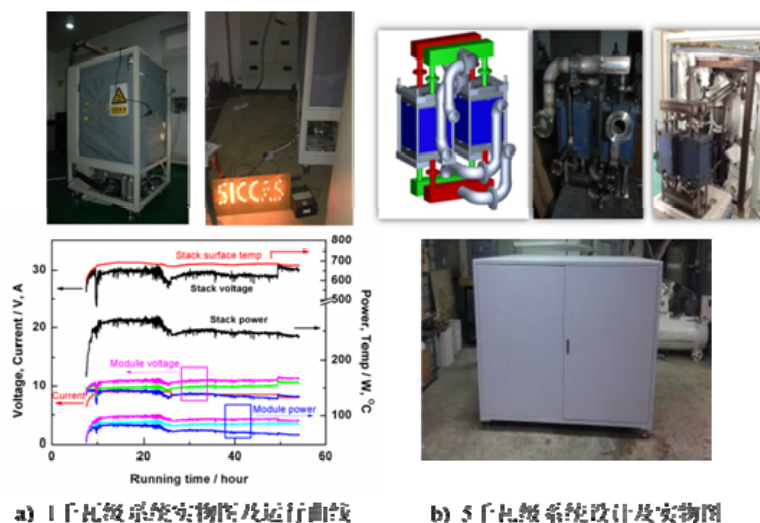


圖 19 中國科學院上海硅酸鹽研究所 SOFC 系統研究成果。(取自 [www.sic.cas.cn](http://www.sic.cas.cn))

#### 四、建議事項

此次赴大陸江蘇省鎮江市參加「第 16 屆中國氫能會議暨第 8 屆兩岸三地氫能研討會」，以及至上海市參訪硅酸鹽研究所 SOFC 材料與系統研究課題組及相關實驗室。時程緊湊但順利流暢，無論就汲取報告內容或參觀參展氫能產品及實驗室成果，深覺頗有收穫。幾點淺見及建議如下：

- (一) 中國氫能會議每年舉辦一次，為目前大陸最具規模的氫能研討會之一；議題涉及製氫、儲氫、氫能與燃料電池應用等領域。值得國內從事相關研究之團隊參加，並關注後續氫能發展動態。
- (二) 本屆會議主題之一為「互聯網+綠色產業+金融」，實鑑於綠能技術仍屬新興技術，產業主投資多抱持謹慎或觀望態度，造成技術落實於產業不易且時程緩慢。但面對解決現今全球暖化問題以及節能減排之需求，綠能技術產業化勢在必行，故藉由氫能會議作為平台，輔以網路的無遠弗屆，引入資金動能，以期加速產業化時程。整體而言，大陸體認到資源的過度消耗，造成環境破壞，PM2.5 問題嚴重，故思考調整經濟結構，轉變為消費型社會。台灣能源工業長期以來仰賴化石燃料，對於預期將於 2030 年前達成 CO<sub>2</sub> 減排 50% 之承諾，勢必須有實際之對策與作為，因此建議國內應該加速再生能源與新能源開發及應用之腳步。
- (三) 全球暖化問題日益嚴重，中國大陸是世界上排碳量最大之地區之一；為解決空汙造成的危害，對岸正積極轉型，在再生能源研發上尋求更多的技術突破與加速產業化。在大陸地區，太陽能與風能仍是最大宗的再生能源技術選項，但受限於供電之間歇性，使得電網難以消納，造成能源的浪費，因此利用再生能源製氫的議題再次受到關注。此次會議報告提到許多關於製氫方面的研究，主要有石化製氫與化學製氫兩種方式。石化製氫是相對傳統之技術，以化石燃料或碳氫化合物，如甲醇、甲烷等進行重組反應製氫；化學製氫採用的是傳統的水電解方式製氫，電能來源是以風能、太陽能或核能供應。將間歇性之風力或太陽能轉變為氫能源儲存起來，除了突破現有技術瓶頸以外，降低成本也是該技術能否普及必須考量的因素。國內除了發展 SOFC(氣轉電技術, Gas to Power)的同時，也應該加速投入 SOEC(電轉氣技術, Power to Gas)



關鍵技術開發，方可讓我國之再生能源技術在國際上占有一席之地。

- (四) 中國科學院上海硅酸鹽研究所從 1990 年代開始，即進行燃料電池與系統相關研究，並分別於「十一·五」及「十二·五」期間執行 863 計畫「2 千瓦中溫平板型固体氧化物燃料電池系統」及「5 kW 級中低溫平板型 SOFC 獨立發電系統集成技術」課題研究。後者並於今年完成結題與驗收，以液化天然氣 (LNG) 為燃料之熱能自持發電系統達成電熱效率 75% 之設定目標；除硫程序則分別以低溫的活性碳與中溫的氧化鋅吸附劑，目標將燃料中的硫化物濃度抑制在 1~2 ppm。此外，儲能電池研發及固体氧化物燃料電解電池(SOEC)應用於核電製氫的技術，亦受到相當重視。建議對於大陸於氫能技術及產業應用之發展動向，給予持續關注。

## 五、附錄

附錄一：投稿論文摘要(黃員)

拟投稿内容分属范畴：D

### **The Application of Warm-Hot Gas Desulfurization Technology into SOFC Field by Iron-Based Sorbents**

Liang-Wei Huang<sup>\*</sup>, Yau-Pin Chyou, Ruey-Yi Lee

*(Nuclear Fuels and Materials Division, Institute of Nuclear Energy Research, No. 1000, Wunhua Road,  
Jiaan Village, Longtan District, Taoyuan City 32546, Taiwan, Email: i13501350@iner.gov.tw)*

Most of fossil-fuel energy input to conventional power plants and transportation vehicles ends up as low-grade waste heat. Not only do these conventional energy systems have low energy efficiency, but also lead to large impact to our environment. Solid oxide fuel cell (SOFC) is the significant high-efficient and clean energy system than conventional ones, which has attracted worldwide attention to involve in the field for decades<sup>[1]</sup>. However, the critical issue for SOFC is to reduce sulfide concentration effectively in inlet fuel-gas; especially for coal/biomass gasification, they inevitably generate high-concentration level sulfide, consisting of H<sub>2</sub>S and COS<sup>[2]</sup>. It was proved that even digit ppmv sulfide could be strongly poisonous to anode materials and reforming catalysts, leading to serious degradation on SOFC electrochemical performance<sup>[3]</sup>, so it is necessary to introduce a nearly complete desulfurization technique to control sulfide concentration in inlet fuel-gas.

Institute of Nuclear Energy Research (INER) has devoted to developing warm-hot gas desulfurization (WHGD) technology for years<sup>[4]</sup>. Compared to commercial Selexol<sup>TM</sup> or Rectisol<sup>®</sup> process, WHGD could be more beneficial due to higher thermal efficiency and low cost; hence, it is regarded as a promising way to solve sulfur-related issues for SOFC. In this study, we introduced iron-based sorbents (20%-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>, 20%-FeSi), synthesized by impregnation method, into a simulated syngas environment<sup>[4]</sup> (30% CO, 5% CO<sub>2</sub>, 10% H<sub>2</sub>, 1% H<sub>2</sub>S with N<sub>2</sub> for balance) to investigate their desulfurization durability and stability. The desulfurization-reaction facility designed by INER was shown in Fig1. At durability tests, desulfurization reaction was carried out at 700°C with a flow rate of 300 c.c/min; results showed that 20%-FeSi sorbents could depress outlet H<sub>2</sub>S and COS concentration to ppb level for 28.2 minutes before breakthrough, which equaled to sulfur capacity 7.43 g-S/100 g sorbent. As for stability tests, desulfurization and regeneration

reactions were continuously exchanged between two different atmospheres: syngas and air, for 10 cycles. Results indicated that the sulfur capacity of 20%-FeSi sorbents dropped from 7.43 to 7.11 g-S/100 g sorbent during operation period (as shown in Fig.2), and showed >90% stability.

Other physical properties of sorbents were also inspected by ICP-AES, XRD and BET, respectively. ICP-AES results showed that the weight ratio of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  was 20.69 wt%, which closed to nominal value, 20 wt%. It proved that by impregnation method, the dispersion of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  components on  $\text{SiO}_2$  supporters was homogeneous. XRD analyses showed that the fresh sorbents consisted of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Rhombohedral phase); however, they just transferred back to  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (FCC phase) after 10<sup>th</sup> regeneration. BET analyses showed specific surface-area of 20%-FeSi sorbents declined from 155.4 to 78.4  $\text{m}^2/\text{g}$ , and average pore-size increased from 11.5 to 13.4 nm. From XRD and BET results, it was believed that desulfurization activity-loss resulted from low-valance state and sintering phenomena during long-term use. However, iron-based sorbents has demonstrated superior sulfur-capturing ability and further research will be continued in order to assure their reliability on SOFC desulfurization field.

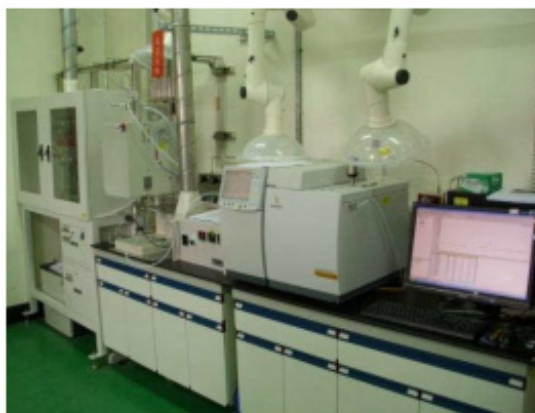


Fig.1. The apparatus for desulfurization/regeneration reaction  
(From left to right are syngas simulator, fixed-bed reactor and GC-PFPD)

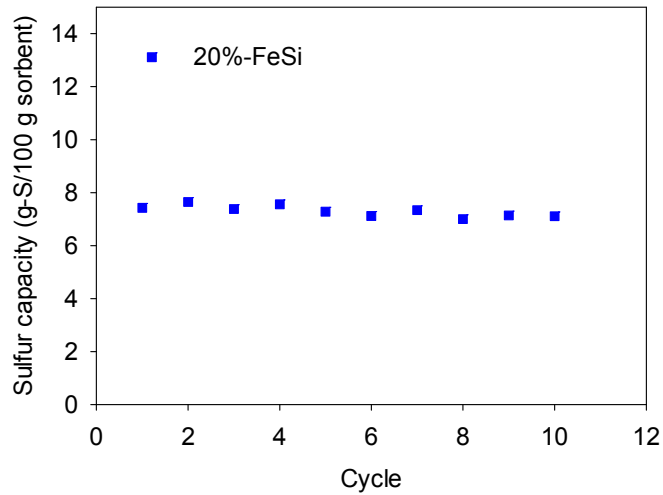


Fig.2. The change of sulfur capacity of 20%-FeSi sorbents during 10 cycle tests

**Reference:**

- [1] *Chen S, Lior N, Xiang W, "Coal Gasification Integration with Solid Oxide Fuel Cell and Chemical Looping Combustion for High-Efficiency Power Generation with Inherent CO<sub>2</sub> Capture", Applied Energy, 2015, 146, 298-312.*
- [2] *Wang J, Ju F, Han L, Qin H, Hu Y, Chang L, Bao W, "Effect of Activated Carbon Supports on Removing H<sub>2</sub>S from Coal-Based Gases using Mn-Based Sorbents", Energy Fuels, 2015, 29 (2), 488-495.*
- [3] *Hauch A, Hagen A, Hjelm J, Ramos T, "Sulfur Poisoning of SOFC Anodes: Effect of Overpotential on Long-Term Degradation", Journal of The Electrochemical Society, 2014, 161 (6), 734-743.*
- [4] *Huang LW, Jian YJ, Huang CY, Chyou YP, Svoboda K, "Application of Silica-Supported Sorbents into Coal-derived Syngas Desulfurization Field for Clean Coal Technologies Development", 2014 The Annual Conference on Engineering and Technology (ACEAT 2014), Osaka, JAPAN, October 15-17, 2014.*

## **Development of High-temperature Glass-ceramic Sealant for Solid Oxide Fuel Cell Applications**

Chien-Kuo Liu\*, Ruey-Yi Lee, Kin-Fu Lin, Szu-Han Wu, Kun-Chao Tsai, Tung-Yuan Yung

*(Nuclear Fuels and Materials Division, Institute of Nuclear Energy Research, No. 1000, Wunhua Road,  
Jiaan Village, Longtan District, Taoyuan City 32546, Taiwan, Email: ckliu2@iner.gov.tw)*

Glass-ceramic materials are commonly used as high-temperature seals for solid oxide fuel cell (SOFC) stacks.<sup>[1]</sup> A suitable glass-ceramic sealant for SOFC applications has to meet several requirements, such as electrical insulation, coefficient of thermal expansion (CTE) match and chemical compatible with membrane electrode assembly (MEA) and interconnect, and high-temperature stability and long-term durability at elevated temperatures (e.g. 700°C~900°C). A novel barium-aluminum-borosilicate glass, designated as GC9, was developed by the Institute of Nuclear Energy Research (INER) for use as a high-temperature seals in SOFC applications.<sup>[2-4]</sup>

In this study, we investigated the thermal stability and sealability of GC9 glass at elevated temperatures. The glass transition temperature ( $T_g$ ), softening temperature ( $T_s$ ), and crystallization temperature of GC9 glass are 652°C, 745°C, and 820°C, respectively. The CTE for the bulk and crystallized GC9 glass are 12.5 ppm/°C and 13.1 ppm/°C, respectively, as shown in Fig. 1. Under an external loading of 0.08 MPa, the minimum viscosity, viscosity reflection point, and shrinkage percentage are  $10^8$  Pa·s, 806°C, and 64%, respectively. The results of high-temperature expansion cycling tests and Raman analyses indicated that the GC9 glass keep a superior stability on bonding structures at the temperature below 800°C. Moreover, Thermogravimetric analysis showed that the maximum weight loss of GC9 glass is about 0.2% at 800°C after long-term use. Additionally, high-temperature leak rate measurements for the sealed Crofer22APU/GC9 glass/Crofer22APU and Crofer22APU/GC9 glass mixed with mica/Crofer22APU coupons were conducted under thermal cycling 50 times from room temperature to 800°C with a heating/cooling rate of 3 °C/min. The average leakage rates (see Fig. 2) are  $5.58 \times 10^{-5}$  and  $2.10 \times 10^{-4}$  mbar·l/s/cm corresponding to the sealed coupons of Crofer22APU/GC9 glass/Crofer22APU and Crofer22APU/GC9 glass mixed with mica/Crofer22APU.

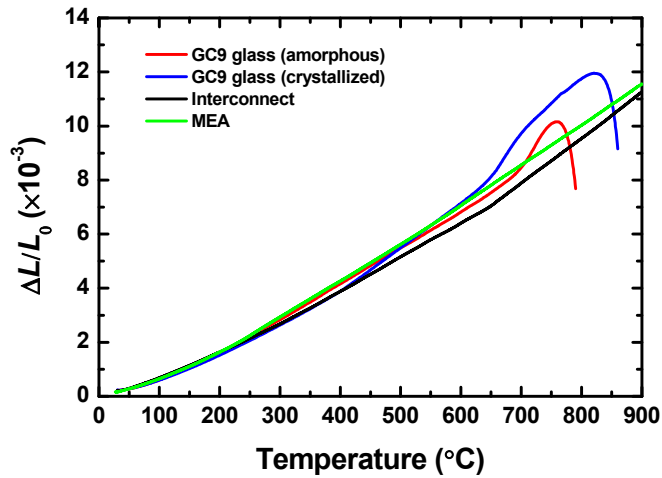


Fig.1 Thermal expansion curves of GC9 glass (amorphous and crystallized), interconnect, and MEA

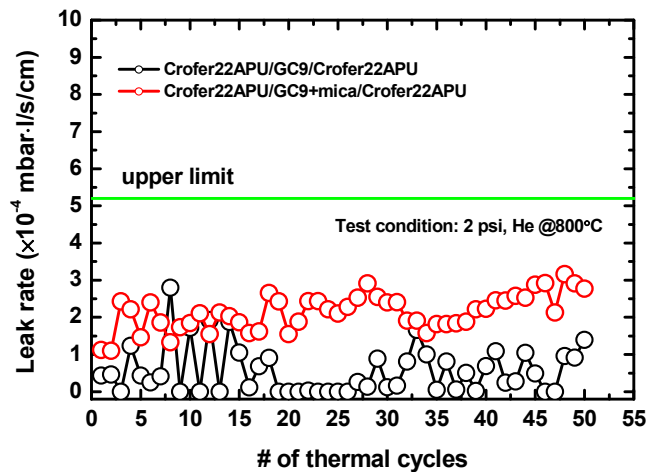


Fig.2 The evolution of leak rate of the sealed Crofer22APU/GC9 glass/Crofer22APU and Crofer22APU/GC9 glass mixed with mica/Crofer22APU coupons

#### References

- [5] Fergus JW, Review – Sealants for solid oxide fuel cells, *J. Power Sources*, **2005**, 147, 46-57.
- [6] Liu CK, Yung TY, Lin KF, Lee RY, Lee TS, Glass-ceramic sealant for planar solid oxide fuel cells, *United States Patent No. 7,897,530 B2*, **2011**.
- [7] Liu CK, Lee RY, Tsai KC, Wu SH, Lin KF, Characterization and Performance of a High-temperature Glass Sealant for Solid Oxide Fuel Cell, *Advances in Solid Oxide Fuel Cells X*, **2014**, 35(3), 65-75.
- [8] Liu CK, Lin KF, Lee RY, Effects of Lanthanum-to-Calcium Ratio on the Thermal and Crystalline Properties of BaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> Based Glass sealants for Solid Oxide Fuel Cells, *J. Ceram. Soc. Japan*, **2015**, 123(1436), 239-244.

附錄二：投稿論文接受函(黃員)

寄件者: hec2015 [mailto:hec2015@vip.163.com]

寄件日期: 2015 年 11 月 18 日 上午 10:36

收件者: 黃亮維

主旨: 051D-- 2015 全国氢能会议第三轮邀请函

### 接收函(口头报告)

您好：

由衷地感谢您对第 16 届全国氢能会议暨第 8 届两岸三地氢能研讨会的热情支持，您的来稿（稿件编号 051D，论文题目：The Application of Warm-Hot Gas Desulfurization Technology into SOFC Field by Iron-Based Sorbents）经专家审理，拟收入氢能会议摘要论文集，并以口头报告的形式在会议期间与专家学者们一起交流，请采用 PPT 文件形式报告，报告时间为 15 分钟（包括讨论与提问时间）。注册地点，接站信息、及安排等请参阅附件第三轮通知。2015 年 11 月 27 日全天报到（镇江国际饭店）。

感谢您的支持与参与，如有任何疑问及需要请通过邮件或手机联系：陈代芬：13775362969，qq：365348941；肖蓓蓓：13775358009，qq：524395268。

诚邀您 11 月和我们共聚江苏镇江，真诚期待您的支持与参与！

氢能研讨会组委会

2015.11.18

---

This message has been analyzed by Deep Discovery Email Inspector.

附錄二：投稿論文接受函(劉員)

寄件者: hec2015 [mailto:hec2015@vip.163.com]

寄件日期: 2015 年 11 月 18 日 下午 07:17

收件者: 劉建國 Chien-Kuo Liu

主旨: 055D-- 2015 全国氢能会议第三轮邀请函

### 接收函(口头报告)

您好：

由衷地感谢您对第 16 届全国氢能会议暨第 8 届两岸三地氢能研讨会的热情支持，您的来稿（稿件编号 055D，论文题目：Development of High-temperature Glass-ceramic Sealant for Solid Oxide Fuel Cell Applications）经专家审理，拟收入氢能会议摘要论文集，并以口头报告的形式在会议期间与专家学者们一起交流，请采用 PPT 文件形式报告，报告时间为 15 分钟（包括讨论与提问时间）。注册地点，接站信息、及安排等请参阅附件第三轮通知。2015 年 11 月 27 日全天报到（镇江国际饭店）。

感谢您的支持与参与，如有任何疑问及需要请通过邮件或手机联系：陈代芬：13775362969，qq：365348941；肖蓓蓓：13775358009，qq：524395268。

诚邀您 11 月和我们共聚江苏镇江，真诚期待您的支持与参与！

氢能研讨会组委会

2015.11.18

---

This message has been analyzed by Deep Discovery Email Inspector.