

九十三年度一千萬元以上政府科技計畫績效
評估報告書

計畫名稱：

核能技術在奈米科技之發展與應用
(原子能領域)

主管機關：行政院原子能委員會

執行單位：行政院原子能委員會核能研究所

電子檔名：93-2001-14-辛-02-04-45.doc

科技計畫成果效益報告

(93 年度科技計畫經費一千萬元以上)
(請由計畫主持人、執行人填寫)

壹、基本資料：

計畫名稱：核能技術在奈米科技之發展與應用

主 持 人：林金福

審議編號：93-2001-14-辛-02-04-45

計畫期間(全程)：92 年 01 月至 96 年 12 月

年度經費：31,386 千元 全程經費規劃：279,848 千元

執行單位：核能研究所核子燃料及材料組

貳、計畫目的、計畫架構與主要內容

計畫目的：將既有之核能技術推廣於奈米科技應用研究之總目標係在 3 年內建立研製奈米級粉料、碳材及觸媒等，進而分別應用於燃料電池之關鍵技術，並引進或自行建立測試驗證機組及相關模擬與分析工具。在 5 年內完成：(1)發展平板型固態氧化物燃料電池(SOFC)單元之開發設計，及電池堆之組裝測試技術；(2)奈米碳材其儲氫量達 7 wt%，日產量 50 克之製程建立；(3)建立 3C 電子產品用直接甲醇燃料電池(DMFC)產品設計、試製、測試、及建立先導量產製程。

計畫架構：

93 年度核研所核能技術在奈米科技之發展與應用計畫規劃 3 大分項工作，分項工作架構如下：

一、SOFC 奈米級粉料及其效能研究

- (一) 共沉法奈米級粉料及其 SOFC 元件研製
- (二) SOFC 元件電漿噴塗技術研究
- (三) SOFC 效能測試評估能力建立
- (四) SOFC 電池單元及全系統設計

二、奈米儲氫碳材及其吸氫特性研究

三、直接甲醇燃料電池之研究發展

- (一) 質子交換膜(PEM)及其膜極組合(MEA)之研究
- (二) 催化電極之開發與效率精進研究
- (三) 燃料電池設計組裝測試及製程之研究
- (四) 燃料電池理論分析技術之建立

主要內容：

一、 SOFC 奈米級粉料及其效能研究

(一) 共沉法奈米級粉料及 SOFC 元件研製

- 1.備妥 SOFC 元件相關材料，以化學/物理製程研製奈米級氧化物粉體。
- 2.以刮刀成型機 (Tape Caster)或其他薄膜研製之設施製作出中低溫型(650~800)SOFC 元件，並鑑定產品之性能。
- 3.試製 10 cm×10 cm SOFC 元件與開發平均粒度小於 50 nm 之奈米級 YSZ 粉體研製程序。

(二) SOFC 元件電漿噴塗技術研究

- 1.中低溫平板型 SOFC 元件製程開發，固態電解質之厚度目標為 5~25 μm 。
- 2.利用奈米粉末為原料之電漿噴塗技術，快速製造 SOFC 元件之電極結構。
- 3.建立電漿噴塗製程模擬軟體之設計計算能力，提供最佳電漿噴塗製程參數，縮短製程研發時間，提昇研發效率。

(三) SOFC 效能測試評估能力建立

- 1.建立奈米結構分析之設備與技術。
- 2.建立元件、電池單元及全系統之測試評估能力。
- 3.建立長期測試（老劣化評估）之技術。

(四) SOFC 電池單元及全系統研製

- 1.進行 SOFC 電力系統設計分析研究，發展整合型發電系統之規畫，確立彼此間之界面條件，以確保系統匹配、能量與流量等參數之平衡。另外，將執行關鍵組件取得採購作業，以供後續測試工作之用。
- 2.建立系統整合及功能驗證設施，依序進行展示系統規劃流程，以備後續展示系統之構建工作，含關鍵組件性能評估、引進、組裝、與測試等。
- 3.執行電池堆結構元件之熱機分析及流道設計工作，利用 CAE 設計分析軟體執行熱傳、應力分析，以 CFD 程式進行流道分析，提供單元構裝之參考。另外，規劃建立相關之溫度、流場參數量測設備，以量測元件流道模型之熱流力學參數，建立驗證數據資料庫，以供後續組件原型開發設計最佳化之依據。

二、 奈米儲氫碳材及其吸氫特性研究

本計畫規劃研製規格一致、高含量且排列整齊緻密的奈米碳材，並在製作過程注入有助增加吸氫能力之觸媒物質，逐步掌握控制參數，提昇吸氫能力至規劃之目標，即儲氫能力達 7 wt%，同時建立連續生產等符合上述規格之奈米儲氫碳材的系統雛型，使日產量達 50 g。

三、 DMFC 奈米觸媒及其效能研究

(一)質子交換膜(PEM)及其膜極組合(MEA)之研究

研製具高甲醇阻抑效果之 PEM 及其膜極組合(MEA)，使燃料用之甲醇濃度提升，借以研發更高發電功率之 DMFC。

(二)催化電極之開發與效率精進研究

開發發展高反應及低成本之觸媒劑。

(三)燃料電池設計組裝測試及製程之研究

研究發展微型 DMFC 發電系統所需之重要零組件，並建立設計組裝測試製程及系統整合等關鍵技術，使之適用於 3C 可攜式電子產品。

(四)燃料電池理論分析技術之建立

建立微機電及奈米級理論分析技術，以協助 DMFC 整體規劃設計。

參、計畫經費與人力

計畫經費：

經費項目	預定(千元)	實際(千元)	差異分析
經常門	8,419	8,419	
資本門	22,967	22,967	
總計	31,386	31,386	達成率：100.00%

人 力：

投入計畫人力	研究人員學歷分布	研究人員職務分布
研究人員 人數：23 人 人月：258 人月	博士 人數：17 人 人月：160 人月	研究員 人數：4 人 人月：37 人月
技術人員 人數：44 人 人月：104 人月	碩士 人數：7 人 人月：74 人月	副研究員 人數：11 人 人月：90 人月
支援人員 人數：0 人 人月：0 人月	學士 人數：4 人 人月：24 人月	助理研究員 人數：8 人 人月：78 人月
	其他 人數：0 人 人月：0 人月	研究助理 人數：5 人 人月：53 人月

肆、計畫已獲得之主要成就與成果(output) (如論文篇數、技術移轉經費/項數、技術創新項數、技術服務項數、專利項數、著作權項數等)

(一) 技術創新

- 1.在 SOFC 元件特性測試研究方面，克服高溫條件下支撐金屬組件及氣密結構與陶瓷元件之間在熱膨脹係數，化學穩定度等之匹配問題，建立了可供商業產品(10×10cm 尺寸)快速測試其放電特性的技術，對於後續高效能元件之開發提供更即時的評估數據。
- 2.自製徑向餵粉 APS 大氣電漿噴塗槍設施，功率可達 30kW。自行開發 SOFC 2D 與 3D 系統模擬軟體，計算電功率及溫差效益。
- 3.進行 SOFC 電池堆密封材料之研究，開發合適之玻璃陶瓷材料。並

配合 SOFC 商業產品之尺寸 (10x10cm)，開發密封材料自動塗佈之技術，將進一步組裝 3 片及 10 片之電池堆以驗證各組件之特性。

4. 建立奈米碳材大量產製，及提昇含量至 95% 純化程序與技術，後續將配合在 CNT 中佈植金屬觸媒以提昇其吸氫之能力。
5. 本所 DMFC 之發展目前已達到 MEA 功率 25 mW/cm² (30) 以及 50 mW/cm² (70)，此與國際上(如德國 SFC Smart Fuel Cell 公司) 所發表之數據相當；此外，本所已成功完成 1.2 W 之雙空氣面呼吸式 DMFC stack，以及直流電轉換及控制系統，結合此二者可驅動手機通話。目前研發目標係針對筆記型電腦等 3C 產品之用途，發展 10-20 W 之 DMFC power pack，包括 DMFC stack 及其 BOP 系統。

(二) 專利

本計畫於 93 年度執行至今，提出 7 件專利申請，另 2 件申請作業中，詳述如下：

1. 研發之「以印刷製程製作燃料電池膜電極組體之製造方法」專利案申請，已獲中華明國經濟部智慧財產局專利核准。
2. 陳長盈、楊朋、李瀛生、林金福，“印刷製程製作燃料電池膜電極組體之製造方法”，申請美國之專利，申請日期 93.5.27，申請代號 10/854,342，申請歐盟之專利，申請日期 93.5.25，申請代號 04253080.8，申請日本之專利，申請日期 93.5.10，申請代號特願 2004-140137。
3. 余明昇、陳智宏、何文城、徐秀北，“銅孔目性材料上生成奈米碳管之製作方法之發明”，申請日期 93.5.7，申請中華民國之專利，申請代號 093112846。
4. 提出“具引出導線之細管型薄膜電極組合單元及其製作方”，“增進質子交換膜之甲醇阻抑功能的製程方法”“以奈米碳管當載體之白金觸媒法”等專利申請。
5. 彙整研究成果數據，提報『平板型固態氧化物燃料電池連接板之流道結構改良』新型專利申請案。
6. 針對電池組研發改良式「燃料電池極板之通道結構」專利，並提出申請。

(三) 技術移轉

本計畫長程之目標為開發潔淨能源相關(如燃料電池)之關鍵技術，並推廣應用於產業。自 92 年度開始執行，93 年度雖已出 9 項國

內外專利，範圍包括 SOFC、CNT 及 DMFC 相關之關鍵技術，但尚屬開創階段，未來在 SOFC 粉體製作，電漿噴塗製作 SOFC 元件，SOFC 電池堆設計組裝，CNT 生產，DMFC 高效率觸媒、改良質子膜、及 MEA 組裝、電池堆與 power pack 設計等技術皆有技轉之潛力。

(四) 技術服務

本計畫已建立可快速量測 SOFC 商業產品(尺寸 10×10cm)放電特性之技術，目前提供國內廠商相關之服務，能即時提供產品的特性數據，有助於產品品質改進步調之加速。此外，亦建立奈米碳材儲氫特性量測(包括 Sievert 氣體體積量測等 4 種方法)，DMFC 膜電極組效能測試等技術，皆能提供相關產業或學術單位之服務。

(五) 技術推廣

本計畫於本年度配合國家奈米計畫成果發表會，燃料電池相關之討論會及國防訓儲人力成果發表之機會，多次介紹本所在 SOFC、CNT，及 DMFC 之研發現況，並展示 DMFC 自製實驗型手機用燃料電池及推廣已建立之技術，與產官學人士交換環保新能源技術之研發心得，並獲得許多相關業界之迴響。

(六) 業界合作成效

- 1.在固態氧化物燃料電池研發工作上，本計畫與國內生產陶瓷基板之九豪精密陶瓷股份有限公司合作，由本所協助電池元件之量測，作為其製程改進之參考，對於其成品效能有具體改進提昇之成效。
- 2.配合 SOFC 電池堆研製之需，本所與中鋼公司合作進行金屬連接材料之開發，由本所協助有關材料之熱膨脹係數，化學穩定性等的研究，為國內鋼鐵產業投入此新能源領域開拓新的里程。
- 3.目前正與台達電 大同等電源供應器及 3C 產品製造公司，就 DMFC 產品應用之技術合作及量產製程等要點討論合作計畫，未來將有助於技術產業化目標之落實。

(七) 技術提升程度

- 1.在 SOFC 研發方面，已建立自行組裝 APS 電漿噴塗系統之能力，配合觀測系統之建構，提昇 SOFC 元件電漿噴塗之研究技術。未來將進行陽極，陰極，及不同成份與緻密度控制之功能陶瓷層對元件發電性能影響之研究。
- 2.配合 SOFC 元件及電池堆特性研究之需，建立即時及穩定可靠之監控環境與技術，包括以 LabVIEW V7.1 軟體搭配相關硬體如 PXI、field point (APC) PLC、controller 及 PC Target 建立一即時及穩定

可靠之監控環境以進行各元件之整合監控及資料擷取與記錄。並透過 OPC Server 資料交換介面達成分散式控制，提高系統穩定度，另可透過 Ethernet 建構遠端監控系統。

3. 奈米儲氫碳材之研究，本年度所獲致之儲氫量由去年度之 1.9 wt% 提昇至 3.3 wt%，另亦開發具量產潛能之製程技術。
4. DMFC 功率密度部份，已由上年度之 14~15 mW/cm² (30)，提升至 25 mW/cm² (30)以及 50 mW/cm² (70)。
5. DMFC 電池組設計組裝部分，由基本之單電池組，發展至雙空氣面呼吸及疊堆式電池組，並依照 10-20 W 之 DMFC power pack 供電形式，發展高功率之 DMFC Stack 電池組。
6. 完成“DMFC 燃料電池高電流負載測試系統”之精進，將可以使 DMFC Stack 測試承受高電流負載由原來之 5 安培提昇至 50 安培 (目前 Stack 測試可至 10 安培之電流輸出)。
7. 組裝系統整合測試系統，完成以可程式直流電源供應器驅動 pump 抽水模組，並從事編寫微型 DMFC 系統 LabVIEW 測試程式，以作為系統整合測試之用。

(八) 技術引進

1. 赴美國匹茲堡大學機械工程學系研習燃料電池設計最佳化及熱傳技術，利用該技術作為 SOFC 系統組件設計最佳化之工具。
2. 引進 spraywatch 電漿觀測系統，及觀測電漿噴塗過程中粒子特性之技術，對於 SOFC 元件製程之控制有突破性幫助。
3. 奈米儲氫碳材之研究，引進在高壓環境下熱重量儀量測系統及氫含量量測技術，有助於完整的儲氫量測試平台之建立。
4. 在 DMFC 研發工作上，與台灣杜邦公司簽署技術保密合作契約，就 MEA 部分，杜邦公司提供相關材料，供本所進行膜電極組組裝之研發。另台灣戈爾公司提供 CO₂ 透氣膜，供本所研發應用於 DMFC 燃料循環之汽水分離系統，皆有助於 DMFC power pack 研製之推展。

(九) 研究報告

本年度共完成 13 篇研究報告，其中包括奈米儲氫碳材 1 篇，DMFC 3 篇，SOFC 相關者 9 篇，相關說明請參閱佐證資料。

(十) 論文

本年度共完成 SCI 接受 6 篇，國外期刊論文 4 篇，國內期刊論文 3 篇，國內會議論文 13 篇，及國外會議論文 2 篇，共完成論文 28 篇。

伍、評估主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome)

(請以學術或技術成就、經濟效益、社會效益以及其它效益等項目詳述)

(一) 學術成就

1.執行工作項目中包含多項製程開發、特性分析及模擬分析能力之建立，如電漿粉體，電漿噴塗，SOFC 特性，SOFC 單元及系統設計，DMFC 質傳與流道分析等，其成果皆具學術價值，可供未來效能提昇參考之理論依據。除發表於國際與國內期刊外，亦在包括國際重要學術研討會中發表(詳見佐證資料)，有關的補充說明如下：

- (1) 製作具奈米結構之 SOFC 陶瓷膜，以提升研製產品之功能，雖在國際上已不斷有新的學術成果發表並獲得重現，但以電漿噴塗法製作具奈米結構之 SOFC 元件，國外並不多見，而國內則屬首創，今年有 1 篇論文已被接受發表於國外期刊。
- (2) 赴瑞士參加「6th European SOFC Forum」並發表論文“An Efficient Computational Methodology for Electrochemical and Heat Transfer Analyses of a Planar Solid Oxide Fuel Cell,” Proc. of the 6th EUROPEAN SOLID OXIDE FUEL CELL FORUM, ed. by Mogens Mogensen, Vol. 2, pp. 646 – 655, Lucerne, Switzerland, 2004。本所發表之研究成果受到法國、芬蘭、東歐、亞太等國同儕之興趣與熱烈討論；其中有 1 位 Prof. Dr. V. Kozhukharov, President of the EUROSCIENCE Bulgarian Section, 表達與本所合作進行後續研究工作之高度興趣。

(二) 經濟效益

在 SOFC 研發方面，已著手協助國內之陶瓷基板廠家積極開發高效能，中低溫平板型元件，因應我國政府提昇清潔能源之政策，未來之經濟效益可以預期。目前 DMFC 產品預估之主要應用範圍在於 3C 行動資訊市場及攜帶型發電機市場，主要廠商涵蓋電源供應器、發電機業者、手機製造業者、個人數位助理(PDA)及筆記型電腦製造業者。手機使用近年來甚為普及，加以中國大陸的經濟發展市場快速成長，目前世界上手機銷集量已達到將近 5 億支之規模，而國內大廠如明基、大霸等，出貨量逐年增加，市場佔有率已有約 10% 之水準。而國產筆記型電腦，其產量已達全球佔有率 60% 以上，全年出貨量超過 2000 萬台；機電業如大同、士林、東方電機等公司，亦有每年 20

億元以上之產值。以目前國內 DMFC 發展之速度，預期 2006~2007 年可開始推廣應用，並拓展外銷，預估 2020 年產值超過新台幣 5000 億元。

(三) 社會效益

由於能源與環境保護的雙重影響，「燃料電池」新型態能源技術的開發與應用，已經受到各國政府的重視與支持。從政經、能源、環保、社會、科技產業發展，及生活品質提昇等角度考量，燃料電池(Fuel Cell) 科技是值得國內產、官、學界長期投入發展的新興科技領域。燃料電池為高效率、潔淨、多元化能源使用，可應用於車輛動力、分散式發電、3C 資訊產品電源等商業產品。其多元化研發領域及應用產品，將提供部份產業轉型成為知識密集、永續環保的綠色科技產業。配合國內非核家園的共識，行政院通過「非核家園具體行動方案」草案，逐步落實建構非核家園相關推動機制，政府每年將編列 30 億元經費，推動潔淨能源及再生能源產業發展。藉由本計畫的執行及與業界的合作，開發國內缺乏的燃料電池產製技術，除可順應國家政策之發展目標，並可為國內潔淨能源產業的發展提供積極助益。

(四) 其他效益

1. 計畫目標與執行內容是否符合(如有差異，請說明)

計畫依年度規劃之項目及進度執行，年度內除建立關鍵的研製與分析之技術外，對於影響 SOFC 粉體，元件；CNT 之吸氫量；及 DMFC 觸媒，質子膜及 MEA 特性之各項參數進行研究，其成果除 CNT 之儲氫量(3.3wt%)仍待進一步量測及提昇外，其餘皆與預定目標一致。

2. 計畫已獲得之主要成就與成果(output)

- (1)在 SOFC 粉體方面已掌握包括陰極、陽極及電解質奈米級成品之研製程序。經由電漿噴塗觀測技術之建立，已開發具奈米結構之 SOFC 元件。另 SOFC 元件特性量測技術之提昇，對於後續高效能元件開發與電池堆研製，將有突破性的助益。
- (2)在 CNT 合成製作方面，開發新的程序增加觸媒與碳源之接觸，碳化物之產量可高達 300%。
- (3)DMFC 功率密度部份，目前已提升至 25 mW/cm² (30)以及 50 mW/cm² (70)。另已建構 DMFC 各組件之組裝與材料及製程技術，如高分子電解質、觸媒，電及交接(Interconnect)、燃料供應與導流系統等，並建立 DMFC 各重要組件之製造及組裝測試，目前研發成果為發展雙空氣面呼吸及疊堆式電池組，並依照

10-20 W 之 DMFC power pack 供電形式，發展高功率之 DMFC Stack 電池組。

陸、與相關計畫之配合

本計畫 93 年度規劃工作參與 2008 年奈米國家計畫，皆按時提報各項管考報告(月報、季報，半年報，年報)等，並在規劃之初報告執行成果與長程架構說明，配合良好。

柒、後續工作構想之重點

後續工作規劃之內容與重點皆延續 93 年度已建立之基礎，強化研製、分析、測試、評估之能力，或提昇試製品之效能。此外，亦將加入 III-V 族奈米薄膜應用於太陽電池之研究，且皆朝五年期計畫規劃目標努力，其規劃應屬妥適。

捌、檢討與展望

1. SOFC 系統是未來分散式潔淨能源的重要動力，此主流趨勢已為舉世所公認而無庸置疑。世界各國莫不積極投入相關之研發活動，但尚有些許技術、經濟、政策等層面之障礙待克服，目前各類原型系統多處於開發、測試或示範階段，尚未商品化；故國內涉入此研發領域之時機尚不算晚，但時機稍縱即逝，必須把握機會積極投入，才有成功之希望。建議國內相關單位應積極整合各類研發及推廣資源，採 leapfrog 策略迎頭趕上，或可為國內開創新興能源產業之成長機會與空間。
2. 國內在奈米儲氫碳材方面研發人力較缺乏，因應計畫之須，包括掌握製程和純化或活化的各項標準，以及後期發展儲氫匣及其應用，必須對儲放氫之動力學有更深入的了解，此外相關系統的組合和使用，都需要有更多人力的投入，方能獲得更好的成果，目前計畫已與多所學校合作，並引進國防訓練人員之方式解決。
3. 台灣 3C 資訊產業已於國際上佔有重要之市場，若燃料電池能應用於 3C 產品供應電源，將使燃料電池成為繼半導體、光電產業後之新能源產業。本計畫目前尚需加入具有機電整合之電子與電機等專業人才，進行 DMFC 系統電控研究，以提升本所與國際 3C 大廠競爭之能力。

填表人：林金福 聯絡電話：(03)471-1400 轉 6600 FAX NO：(03)471-1409

原子能委員會科技計畫成果績效評估報告

(93 年度科技計畫經費一千萬元以上)
(由部會署聘請五位以上專家委員評估彙總)

計畫名稱：核能技術在奈米科技之發展與應用

主持人：林金福

審議編號(檔號)：93-2001-14-辛-02-04-45

執行單位：核能研究所核子燃料及材料組

壹、本計畫主要成就貢獻(評述計畫研發成果與執行績效)

- 一、93 年度為計畫執行之第 2 年，無論在學術成就與技術創新方面皆較第 1 年(92 年)有成長。
- 二、計畫依年度規劃之項目及進度執行，年度內除建立關鍵的研製與分析之技術外，對於影響 SOFC 粉體，元件；CNT 之吸氫量；及 DMFC 觸媒，質子膜及 MEA 特性之各項參數進行研究，其成果除 CNT 之儲氫量(3.3wt%) 仍待進一步量測及提昇外，其餘皆與預定目標一致。
- 三、計畫推動以協助產業發展，與產業接軌為目標，除已進行開發合作外，並提供相關技術服務。
- 四、計畫推行亦加強與學術單位，研究單位之交流合作，所建立之設施已開放合作單位使用。

貳、計畫經費與人力運用(評估計畫資源使用之效益性)

本計畫預算經費數為31,386千元，實際支用(含結報數、預付數、政策指示流用數)31,386千元，支用比率為100%。資本門編列經費計22,967千元，實際支用22,967千元，支用比率為100%。另相關研究人員在職級分佈及學歷專長分配皆屬適當，在質與量的控制方面亦相當良好。

參、評估主要成就及成果之績效 (outcome)

(評估主要成就及成果之價值與貢獻度)

(分就學術或技術成就、經濟效益、社會效益以及其它效益；

並以五等第評量 5 為優 4 為良 3 為可 2 為稍差 1 為劣)

5 學術或技術成就；4 經濟效益；4 社會效益；4 其它效益

一、學術或技術成就：

依核研所自評報告書中學術或技術成就敘述，並經評審小組實地審查及討論結果，本項績效「優」。

二、經濟效益：

依核研所自評報告書中經濟效益敘述，並經評審小組實地審查及討論結果，本項績效「良」。

三、社會效益：

依核研所自評報告書中社會效益敘述，經評審小組實地審查及討論結果，本項績效「良」。

四、其它效益

依核研所自評報告書中其它敘述，經評審小組實地審查及討論結果，本項績效「良」。

肆、綜合意見：

- 一、DMFC 功率密度的提升(14-15mW/cm² 至 25 mW/cm²)應給予鼓勵，唯請提供本國其他單位及國外研究數據以做為比較。
- 二、SOFC 方面在材料研究頗有進展，但整體系統的建立，在未來有待加強。另建議朝較低溫度發展。
- 三、宜思考如何與國內其他研發單位整合研究能量，以加速研究成果的推廣。
- 四、新能源技術之開發是核研所轉型之重要指標，從開發到成果實際應用之時程，宜再縮短。

伍、績效評量：優 良 可 差 劣

評估委員：朱瑾、林清發、曾四恭、顏溪成、蘇肇章、吳乃立、李志浩、饒大衛等 8 位

評估時間：94 年 01 月 31 日