

一、技術融合之重要範型－奈米科技

「奈米材料」是極微小化尺度之物質($1\text{ nm}=10^{-9}\text{m}$)，在此結構下物質會呈現出異於巨觀尺度下的物理、化學或生物性質(例如：量子效應)，進而衍生出的創新技術應用科技。其中碳奈米管(Carbon Nanotube)是由石墨包覆直徑為奈米規模的微管，由於奈米級石墨具有相當好的傳導性，因此碳奈米管將是電子設備重要組成元件；而奈米儀器也可以針對微細胞進行疾病檢測與治療；元件與材料的奈米製造(Nano-manufacturing)主要採用由下而上的微量自組模式，可減少奈米製程之耗費與污染；奈米感測器(Nanosensors)則可快速、即時及可靠地監測對環境造成威脅的化學成分。奈米科技所涵蓋的領域相當廣泛，從基礎理論科學橫跨應用於化工、材料、光電、生物及醫藥等產業領域，其所帶動的技術創新效益，成為全球各界持續關注的重要研發議題(Mihail, 2003; Shelton, Samuel, & Gregory, 2007)，「美國科學基金會」(National Science Foundation, NSF)與「美國國家科學技術委員會」(National Science and Technology Council, NSTC)在提升人民福祉之整體規劃發展中更強調奈米科技為技術融合之重要範型(Mihail & William, 2002; William, 2005)。

根據「世界經濟論壇」(World Economics Forum, WEF)之 2006-2007年全球競爭力報告 顯示美國佔有全球「成長競爭力指標」(Growth Competitiveness Index, GCI)之領先地位(2005年排名第一；2006年排名第六)，並於2004-2006年居「企業競爭力指標」(Business Competitiveness Index, BCI)排名之首(WEF, 2006)，另在歐盟所提出的2006年 全球創新指標報告(Global Innovation Scoreboard, GIS) 中亦揭示美國在全球創新資源投入名列第四(次於歐盟的芬蘭-[1]、瑞典-[2]及亞洲的日本-[3])，足見美國在全球競爭環境中皆維持相當程度之科技創新發展水準。因此，本文以美國為標竿國家針對奈米科技發展領域探究其創新技術融合領域之發展歷程及大環境相關加速發展之機制形成，期能作為未來台灣推動創新技術融合發展之參考典範。

二、美國奈米科技相關配套政策機制形成

奈米科技於1996年9月起受到美國聯邦政府高度重視，各政署部門決議定期討論其對奈米科技未來之發展規劃與方案。直至1998年在「國家科學技術委員會」(National Science and Technology Council, NSTC)下成立「奈米科技跨部署工作小組」(Interagency Working Group on Nanotechnology, IWGN)，隨即正式啟動奈米科技相關規劃作業。該小組主要發起奈米相關子議題之工作研究小組，並透過研究計畫評估奈米科技之發展水準以預測未來相關發展之可能性。IWGN藉由專家會議參訪世界各大奈米科技實驗室，於1999年提出奈米科技 全球研究報告(Nanostructure Science and Technology: A Worldwide Study) (Siegel & Roco, 1999)，更匯集產官學研界之專業意見，建立「奈米科技研究指導方針」(Nanotechnology Research Directions) (Roco, Williams, & Alivisatos, 1999)，IWGN以此兩份重要產出為基礎，更將奈米科技規劃之重要性提升至國家整體發展層次。IWGN同時在1999年完成奈米科技發展計畫草案，該草案通過「科技顧問總理委員會」(President's Council of Advisors on Science and Technology, PCAST)及「科技政策辦公室」(Office of Science and Technology Policy, OSTP)的批准，並於2001年美國國會中提出預算案，始正式將奈米科技提升至聯邦政府審議層級，並正式由官方成立「國家奈米科技計畫」(National Nanotechnology Initiative, NNI)。

NNI正式成立後「奈米科技跨部署工作小組」隨即解散，並在「國家科學技術委員會」的「技術委員會」(Committee on Technology, CT)下設立「奈米科學、工程及技術子委員會」(Nanoscale Science, Engineering and Technology Subcommittee, NSET)，其中「技術委員會」是由聯邦政府研究發展部會政署之資深議員所組成，主要提供跨部署科技計畫之政策領導及預算規劃；「奈米科學、工程及技術子委員會」則主要負責協調聯邦政府奈米級研發計畫，成員由參與NNI相關部署議員及「科技政策辦公室」官員所組成。另成立「國家奈米科技協調辦公室」(National Nanotechnology Coordination Office, NNCO)負責「奈米科學、工程及技術子委員會」相關技術及行政事務，支援跨部署預算及計畫相關規劃文件，並收集產業現況、國際奈米科技研究、發展及商業化相關活動訊息。「國家奈米科技協調辦公室」在政府組織、學術界、產業界、社會專家、國外組織等奈米相關活動群體間扮演聯繫與協調的角色，並促進奈米計畫、組織及研討會之推廣。

三、美國奈米科技相關政策文件內涵

1. 奈米科技全球研究報告(Nanostructure Science and Technology: A Worldwide Study)－1999

奈米科技全球研究報告(*Nanostructure Science and Technology: A Worldwide Study*)是由「奈米科技跨部署工作小組」於1999年所提出，該研究由「國家科學基金會」及政府各部會共同委託並提供研究經費，針對美國與其他產業領先國家進行奈米粒子、奈米材料及奈米設備等領域之現況檢視與比較，研究目的主要希望了解全球在大範疇且快速發展的奈米科技領域之研發現況與未來發展趨勢，其目標有四：(1)提供全球科學與工程社群針對奈米技術領域進行廣泛的交流；(2)確認未來研究與商品化發展之優勢領域；(3)激勵發展跨領域國際奈米研究者社群；(4)鼓勵並促進國際研究合作。該研究亦針對1997年各國政府在奈米相關領域的投資經費進行探究，其中以西歐居首(1.28億美元)、日本次之(1.2億美元)、美國第三(1.16億美元)，其他國家(包括中國、加拿大、澳洲、韓國、台灣、新加坡等)約7千萬美元。

2. 奈米科技研究指導方針(Nanotechnology Research Directions)－1999

奈米科技的崛起，對全球人類的健康、福利及安全造成相當程度的衝擊，總統科技顧問暨前任國家科學基金會主席Dr. Neal Lane於1998年5月的國會聽政會中強調奈米科學與工程是未來科技發展突破的重要領域，後續「科技政策辦公室」及「預算與管理辦公室」(Office of Management and Budget, OMB)進一步認定奈米科技的發展潛力，並在聯邦政府部署備忘錄(memorandum)中發佈奈米科技將是聯邦政府優先投資的研究發展領域。「奈米科技研究指導方針」是由「奈米科技跨部署工作小組」發展規劃的，該報告體現產官學研各界領導專家觀點，反映出奈米科技未來發展之挑戰與機會，並擘畫奈米科技優勢發展之步驟與藍圖。IWGN與OSTP及OMB的聯邦政府部署備忘錄概念一致，並提出「國家奈米科技計畫」，其中強調三個重要發展議題：(1)平衡發展研發基礎建設；(2)發展重要研究領域；(3)醞釀下世代科學與技術推進能力。NNI提議聯邦政府加倍投資奈米科技並創立產官學研協同聯盟基金，積極促進美國取得全球奈米科技發展之領導地位。

3. 國家奈米科技計畫(National Nanotechnology Initiative, NNI)－2001

「國家奈米科技計畫」是主要協調各部會署在奈米科學、工程及技術投入的聯邦研究發展計畫，其設立目的主要有：(1)維持國際研發水準，以完全實現奈米科技潛力為目的；(2)促進新技術移轉與商品化，並創造經濟成長、工作機會及公眾福祉；(3)開發奈米科技之教育資源、技術發展能力並支援相關基礎建設與研發工具；(4)支援奈米科技重要發展。聯邦政府除了提供研究資金外，亦透過NNI針對大學與政府奈米研發實驗室提供開創性重要研究基金，並協助教育奈米科技未來發展必須的技術能力。此外，NNI更扮演推動建立跨領域網絡與合作關係，並提供相關宣導資訊。對企業發展而言，NNI推廣奈米科技所帶來的機會激發中小企業的形成，同時鼓勵各層級企業積極開發並把握奈米科技應用之契機。

NNI的投資策略主要包括投資主題範疇與計畫組成領域(Program Component Areas, PCAs)，NNI預先從成功發展技術列出重要的技術挑戰項並進一步發展奈米科學與技術。在NNI的設立目的中涵括了該計畫的願景及策略與計畫架構，計畫組成領域則是實現目的的關鍵投資領域。PCAs跨越NNI各部會個別關注的發展面向與需求，透過部會協同合作模式共同發展特定計畫組成領域，每個PCA皆包括從基礎研究到以奈米科技為基礎的應用發展研究，PCA所涵蓋的領域包括：

- (1) 基礎奈米現象及製程
- (2) 奈米材料
- (3) 奈米設備及系統
- (4) 奈米製造
- (5) 主要研究技能及儀器取得
- (6) 社會面向等議題

4. 21世紀奈米科技研發法案(21st Century Nanotechnology Research and Development Act)－2003

由於奈米技術的發展可製造小如電子電路、大若飛機的複雜結構體，將為疾病偵測與醫療、環境監測與保護、能源生產與儲存等科技帶來革命性的突破，其所帶來的新產品、新企業模式、新工作機會及新產業等更被預期將對各經濟領域帶來根本與廣泛性的影響與衝擊。而美國白宮也由總統正式簽署「21世紀奈米科技研發法案」(Public Law 108-153)，從2005年起資助奈米科技研發四年計畫，並主張由總統高度重視的多部會協同進行之「國家奈米科技計畫」支援相關計畫與活動。

在法案中正式將奈米科技列為國家級計畫，並對計畫活動、計畫管理及年度報告等進行說明與規範，總統亦提出必須成立「國家奈米科技協調辦公室」，提供國家科學委員會及顧問小組(Advisory Panel)技術與管理相關支援。其中顧問小組是隸屬在總統之下，由學研單位與產業專家所組成，負責提供奈米科技研發、實證、教育、技術移轉、商品化應用或社會倫理議題之資訊與建議。

此外，法案中亦針對奈米科技研發相關職責單位，在各財政年度中編列研發預算，包括國家科學基金會、能源部、國家航空管理局、國家標準技術局及環境保護署等，預算金額如下：

單位(仟元)	FY 2005	FY 2006	FY 2007	FY 2008	單位總計
國家科學基金會	\$385,000	\$424,000	\$449,000	\$476,000	\$1,734,000
能源部	\$317,000	\$347,000	\$380,000	\$415,000	\$1,459,000
國家航空管理局	\$34,100	\$37,500	\$40,000	\$42,300	\$153,900

國家標準技術局	\$68,200	\$75,000	\$80,000	\$84,000	\$307,200
環境保護署	\$5,500	\$6,050	\$6,413	\$6,800	\$24,763
年度總計	\$809,800	\$889,550	\$955,413	\$1,024,100	\$3,678,863

5. 國家奈米科技策略計畫(National Nanotechnology Initiative Strategic Plan)－2004

在總統簽署批准的「21世紀奈米科技研發法案」中，同時公佈「國家奈米科技計畫」相關計畫活動，除了概略說明各研發計畫綱要外，亦召集「國家科學技術委員會」針對政府奈米科技研發計畫規劃「國家奈米科技策略計畫」(NSETS & CTNSTC, 2004)，主要由NSTC下之「奈米科學、工程及技術子委員會」以原NNI所規劃之計畫為基礎，規劃未來5~10年之策略計畫。該計畫不僅強調美國應維持奈米科技之國際領先水準外，更應著重加強基礎建設及跨領域人才培育。此外，計畫中亦提及新技術發展相關之社會面向議題，包括對人類健康、環境的潛在影響，及與社會大眾對話的重要性等。在研發投資方面，則期望政府與民間企業加強奈米科技研發、教育及基礎建設相關經費的投入，以持續領導全球創新技術商品化、創新產品應用與服務之地位。第一階段五年發展策略主要透過NNI加強各部會署之奈米知識與認知重要程度，並進行基礎建設之革新以預備未來科技突破性發展之需求；第二階段五年發展策略則是以確保美國在全球奈米研發之領先地位為目標，促進研發成果之技術移轉，以提升美國經濟發展及因應國家整體發展之需求。

四、美國奈米科技發展之啓示

以美國奈米科技技術融合政策為例，可看出科技領先國家對創新技術突破之重視與系統性架構，以工作小組模式為基礎進行前置研究，透過全球發展趨勢報告了解國際技術發展現況，進一步制訂科技指導方針。更透過所屬之科技政策形成機制將重要科技發展議題提升至聯邦政府層級，成立國家型科技計畫並編列投資預算。相關委員會與協調辦公室亦隨著美國整體奈米科技發展需求陸續成立，更立法表明國家對重要科技發展與投入的決心，未來可作為台灣技術融合相關政策規劃之參考典範。

參考文獻

Mihail, C. R. (2003). Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine. *Current Opinion in Biotechnology*, 14, 337-346.

Mihail, C. R., & William, S. B. (2002). *Converging technologies for improving human performance*. USA: National Science Foundation.

NSETS & CTNSTC. (2004). *National Nanotechnology Initiative Strategic Plan*. USA: Nanoscale Nanotechnology Coordination Office.

NNI. (2007). *About the NNI*. Retrieved June 1, 2007, from <http://www.nano.gov/>

NNI. (2007). *Public Law 108-153 108th Congress*. (21st Century Nanotechnology Research and Development Act). Retrieved June 1,

2007, from <http://www.nano.gov/>

Roco, M. C., Williams, R. S., & Alivisatos, P. (1999). *Nanotechnology Research Directions*. USA: National Science and Technology Council Committee on Technology; Interagency Working Group on NanoScience, Engineering and Technology.

Siegel, E. H., & Roco, M. C. (1999). *Nanostructure science and technology : A worldwide study*. USA: National Science and Technology Council Committee on Technology; Interagency Working Group on NanoScience, Engineering and Technology.

Shelton, D. C., Samuel, A. W., & Gregory, M. L. (2007). Nanotechnological applications in medicine. *Current Opinion in Biotechnology*, 18, 26-30.

William, S. B. (2005). *Managing Nano-Bio-Info-Cogno innovations: Converging technologies in society*. USA: National Science Foundation; National Science and Technology Council.

WEF. (2006). *The global competitiveness report 2006-2007*. Switzerland: World Economic Forum.

材料儀器