

國立交通大學

科技管理研究所

碩士論文

德爾菲法在技術前瞻之運用探討—以奈米材料為例

A Technology Foresight Perspective on Nanomaterials
in Taiwan

研究生：楊婷詠

指導教授：袁建中 教授

中華民國九十七年六月

德爾菲法在技術前瞻之運用探討—以奈米材料為例

A Technology Foresight Perspective on Nanomaterials in Taiwan

研究生：楊婷詠

Student : Ting-Yung Yang

指導教授：袁建中

Advisor : Benjamin J.C. Yuan

國立交通大學

科技管理研究所

碩士論文

The logo of National Chiao Tung University is a circular emblem with a gear-like border. Inside the circle, there is a stylized building and the letters 'ES' and 'A' are visible. The text 'A Thesis' is overlaid on the logo.

A Thesis

Submitted to Department of Institute of Management of Technology

College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Management of technology

June 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年六月

德爾菲法在前瞻領域研究之運用-以奈米材料為例

學生：楊婷詠

指導教授：袁建中 教授

國立交通大學科技管理研究所碩士班

摘要

現今科技快速地改變影響全球社會與經濟，許多先進國家利用各種技術前瞻方法來預測未來科技的變化。德爾菲法(Delphi Method)為前瞻研究的一種方法，日本、英國、德國、法國、韓國及中國等國家先後採用大規模德爾菲法來進行前瞻研究，並做為科技政策制訂之參考。奈米材料科技為 21 世紀產業發展原動力，奈米材料的發展勢必影響我國目前最具競爭優勢之的半導體、光電及資訊等高科技產業的未來發展，由於目前國內奈米材料前瞻性研究著墨有限，因此本研究透過蒐集各國奈米材料前瞻之議題，透過各界專家意見，以德爾菲法來進行我國奈米材料前瞻。本研究結果顯示奈米粉體製造技術與奈米複合材料技術為目前較為成熟且人才充足度也相對較高之技術，而自組裝奈米結構技術是之中專家認為最不成熟且人才充足度最低的領域。此外奈米粉體製造技術與奈米複合材料技術將在 2007 至 2010 年達到研發成熟，其餘奈米材料相關技術則會在 2010 至 2015 年達到研發成熟，但實際上從研發成熟到市場應用還需更長的時間。專家認為在 2020 年高分子光學顯示薄膜應用製程技術為我國競爭力最高的奈米材料技術，此外生產技術與經濟規模可能是奈米材料未來最大的瓶頸與挑戰。

關鍵字：德爾菲法、技術前瞻、奈米材料

A Technology Foresight Perspective on Nanomaterials in Taiwan

Student: Ting-Yung Yang

Advisor: Dr. Benjamin J.C., Yuan

Institute of Management of Technology
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Rapid technology changes affect societies and economies throughout the world. More and more developed countries try to forecast technology changes using different types of foresight methods. One of them is the Delphi method which is now used in countries including Japan, England, Germany, France, Korea, and China to do foresight research and adjust technology policies. Nanomaterials are the basis of technological advancements in the 21st century. They affect the future development of many other high technology industries such as semiconductor, electro-optics and information industries, in which Taiwan has the highest competitive advantage. Due to the lack of foresight research of nanomaterials in Taiwan, foresight issues of nanomaterials in other countries and suggestions from local experts are collected as inputs to the foresight research conducted using the Delphi Method. The results suggest that nanopowder manufacture technology and nano-composite materials technology are more mature now and will be in late stage development by 2007~2010. Others will be in mature development by 2010~2015, but it will take more time to be of practical use in the market place. The experts also suggest that applied manufacture technology of macromolecule optical thin film will be the industry with the most potential for Taiwan in 2020, and that the biggest challenge of nanometerial in Taiwan may be the manufacture technology and economies of scale.

Keywords: The Delphi Method, Technology Foresight, Nanomaterials

誌謝

首先要誠摯地感謝指導教授袁建中博士的指導，在袁老師的悉心指導下，開闊了學生在科技管理的視野，除了課業的教學，袁老師更鼓勵學生透過不同專案的參與，使學生在各個領域收穫良多。此外感謝師母的細心照顧，讓我們這些在外的學子倍感溫馨。

感謝常在各方面給我許多建議的科管所虞老師，以及其他科管所的老師們，讓我在求學期間獲得許多知識。特別感謝幫助我許多的陳坤成學長、康才華學長、李光斌學長和謝志宏學長，以及研究室的許多學長姐們，您們不管是在學術上或是產業界的建議，都讓我受益許多。另外感謝研究室裡一起同甘共苦的子玄、英哲、炯亮和世欣，兩年來我們挑戰了許多不可能的任務，但因為我們的努力合作才能逐一完成，這期間的革命情感是最令人難忘的。

兩年的日子與科管所的同學們經歷了好多難忘的故事，室友意珊、雨欣和依雲互相照顧的煮麵聊八卦聚餐，以及和其他同學一起有過的無數次大小比賽和出遊。感謝課堂上同組的同學互相貢獻所長，以及總是為班上熱心辦了好多活動的幹部們。墾丁行、大陸行、花東行和沙巴畢旅，不定時小出遊以及各式 party，很難想像這個小班級兩年內可以瘋過這麼多事情，這些都將是我珍貴的回憶。

最後，感謝父母從小的養育與教誨，給予我良好的學習環境，也謝謝姊姊和姊夫的平日照顧，以及男友志曜的貼心與體諒，讓我的求學生活無後顧之憂，並以此文獻給我摯愛的雙親。

目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
第一章、 緒論.....	1
1.1. 研究背景與研究動機.....	1
1.2. 研究目的.....	2
1.3. 研究架構.....	3
1.4. 研究流程.....	4
第二章、 技術預測與前瞻方法.....	5
2.1. 技術預測的演進.....	6
2.2. 技術預測的定義.....	6
2.3. 技術預測的分類與選擇.....	7
2.4. 德爾菲法介紹.....	11
2.3.1. 經典德爾菲法.....	12
2.3.2. 大規模德爾菲法.....	13
第三章、 各國奈米材料相關議題前瞻經驗.....	14
3.1. 奈米材料之領域範疇.....	14
3.1.1. 奈米材料簡介.....	14
3.1.2. 奈米材料市場概況.....	15
3.2. 台灣奈米材料科技政策與研發體系.....	17
3.3. 主要先進國家奈米材料研發機構與奈米材料前瞻議題.....	20
3.3.1. 美國.....	20

3.3.2. 歐盟	24
3.3.3. 日本	28
3.3.4. 德國	33
3.3.5. 丹麥	35
第四章、 研究方法	38
4.1. 研究進行步驟說明	38
4.2. 問卷內容設計	40
4.2.1. 欲評估技術清單	40
4.2.2. 問卷內容評估指標設計	41
4.3. 問卷資料彙集與處理	44
第五章、 實證研究分析	47
5.1. 台灣奈米材料發展現況解析	47
5.2. 台灣奈米材料技術發展時程預測	50
5.3. 台灣奈米材料技術未來發展趨勢解析 (2007 年-2020 年)	51
5.4. 目前台灣奈米材料科技發展所面臨之困境	53
5.5. 台灣奈米材料技術發展評估	54
第六章、 結論與建議	57
6.1. 結論	57
6.2. 奈米材料科技政策建議	58
6.3. 運用德爾菲法操作前瞻研究之建議	59
參考資料	61
附錄一 奈米材料前瞻研究第一回合問卷	64
附錄二 奈米材料前瞻研究第二回合問卷	67
附錄三 奈米材料前瞻研究統計結果	70

表目錄

表 1	Martino 提出之技術預測方法分類表.....	8
表 2	Porter 提出之技術預測方法之分類.....	9
表 3	David Frigstad 提出之技術預測方法之分類.....	9
表 4	技術預測方法適用的範圍.....	9
表 5	Alan. Porter 針對各種技術預測方法之比較表.....	10
表 6	美國與日本對奈米科技應用之市場預估.....	15
表 7	市面上可見之奈米科技產品.....	16
表 8	日本奈米相關產業類別市場規模預測.....	17
表 9	美國 NNI 年度預算表.....	21
表 10	美國奈米材料之應用能力與市場機會.....	23
表 11	歐盟第七期科研架構計畫優先主題領域最新政策方向.....	27
表 12	日本第八次科技前瞻奈米材料相關議題.....	30
表 13	德國 1995 Mini Delphi 研究奈米材料科技議題.....	34
表 14	丹麥奈米材料前瞻領域類別對行動計畫的影響.....	36
表 15	丹麥奈米前瞻對奈米材料高優先領域作可能舉例描述.....	36
表 16	產學研專家名單比例.....	38
表 17	第一回合奈米材料相關技術清單列表.....	41
表 18	台灣奈米材料前瞻研究調查評估指標體系.....	43
表 19	第二回合奈米材料相關技術清單列表.....	45
表 20	奈米材料依各子領域目前技術成熟度排序.....	48
表 21	三大分類依各子領域我國在該專業領域人才充足程度排序.....	49
表 22	奈米材料之技術發展評估表.....	51
表 23	奈米材料發展趨勢評估表.....	52
表 24	台灣奈米材料技術發展所面臨之瓶頸與限制條件.....	53
表 25	「台灣奈米材料科技發展」座談會專家名單.....	54

圖目錄

圖 1	研究架構.....	3
圖 2	研究流程.....	4
圖 3	奈米國家型科技計畫推動架構.....	18
圖 4	學研界各單位專家比例.....	38
圖 5	台灣奈米材料前瞻評估指標架構.....	42
圖 6	奈米材料相關技術發展時程圖.....	50



第一章、 緒論

1.1. 研究背景與研究動機

在科技快速改變全球社會、經濟之影響下，許多國家政府或企業試圖尋找出今日賴以依靠的技術會由未來何種技術替代？又會有哪種突破性的技術可能產生？各國政府與產業界無不期望能對科技的預測看得更深更遠，乃至於有各種前瞻方法用來作為企業或政府科技政策補助工具，期望擁有先見之明，將未來的科技動向掌握於今日。技術前瞻為一套系統性的方法，對未來長程的科學、技術、經濟以及社會，尋找出使社會和經濟利益最大化的策略研究領域與新興技術群(Martin, Ben, 1995)。

德爾菲法為(Delphi Method)為前瞻研究的一種方法，最早於 1948 年第二次世界大戰後，由美國藍德(LAND)公司集合國防與軍事專家的看法，來推斷要投下多少顆原子彈才會使美國在一場戰爭中造成癱瘓。隨後，德爾菲法開始被廣泛應用於種研究機構，其目的是集合專家意見，使專家意見收斂尋求共識。德爾菲法受到各國政府之科技政策相關單位日漸重視，許多國家已多次採用大規模德爾菲法來進行技術前瞻計畫，日本在 1970 年展開第一次前瞻計畫，此後每五年進行一次，至今已進行到第八次前瞻，此外英國、德國、法國、韓國及中國等國家也先後採用大規模德爾菲法來進行前瞻計畫。

奈米材料科技為 21 世紀產業發展原動力，近年來先進國家創出奈米材料科技，提供新的微處理方法使產品更輕薄短小，更具省能源、高容量密度、高精密、高性能、高功能和低公害等優點，材料科技朝奈米尺度發展已是大趨勢。目前把奈米科技列為重大國家發展目標的國家，包括澳洲、南韓、比利時、荷蘭、保加利亞、俄羅斯、中國大陸、新加坡、芬蘭、西班牙、法國、瑞典、德國、瑞士、印度、台灣、以色列、英國、日本等。西元 1998 年，歐洲和日本對奈米科技的政府支出都分別超越美國政府。美國則在人造合成、組合和高面域材料 (high surface-area material) 等方面領先；日本則在奈米設備和整合式奈米材料居領導地位(Glenn Fishbine, 2002)。整體來說，全球開

始愈來愈注意奈米科技知識。先進國家對奈米材料領域格外重視和熱烈投入，為了尋找較有機會發展之奈米材料，也逐漸將奈米材料納入前瞻計畫之議題。

奈米材料的發展勢必影響我國目前最具競爭優勢之的半導體、光電及資訊等高科技產業的未來發展，由於目前國內奈米材料前瞻性研究著墨有限，因此本研究將透過蒐集各國奈米材料前瞻之議題，透過產、官、學、研等各界專家意見，以德爾菲法來進行我國奈米材料前瞻，除了可供相關產業在制訂公司研究及方向之參考外，更可以提供政府制訂奈米材料產業相關產業政策或研發規劃之參考依據，使政府政策得以配合產業需求，更充分發揮我國科技產業的優勢。

1.2. 研究目的

本研究目的在於探討德爾菲法在前瞻領域之運用，並以德爾菲法進行我國奈米材料前瞻。從蒐集各國奈米材料前瞻報告與資訊，分析重點國家奈米材料前瞻議題，透過各國奈米材料科技前瞻方式與議題整理，再與專家討論進而訂定我國奈米材料相關領域前瞻議題，以德爾菲法預測技術之未來實現概況，並在操作完德爾菲法後與專家座談，將德爾菲法的問卷結果提供給專家做分析與建議，以瞭解台灣奈米材料未來發展之契機，提供我國奈米材料相關產業與政策發展之建議，並提供相關德爾菲法實際操作之建議。

歸納上述，本研究目的具體如下：

1. 整理各國奈米材料前瞻文獻，瞭解各國實施奈米材料前瞻的方法與結果；
2. 以德爾菲法預測我國奈米材料發展機會，提供政府與產業發展建議；

1.3. 研究架構

為達到研究目的所提及之項目，本研究以圖 1 做概念性之架構。透過探討技術預測與前瞻之相關文獻，以及探討適用於長於長期預測的德爾菲(Delphi Method)在前瞻領域之運用，並進行各國在奈米材料科技前瞻領域的文獻收集，瞭解各國奈米材料前瞻議題，設計問卷項目與評估指標，運用德爾菲法進行我國奈米材料前瞻。

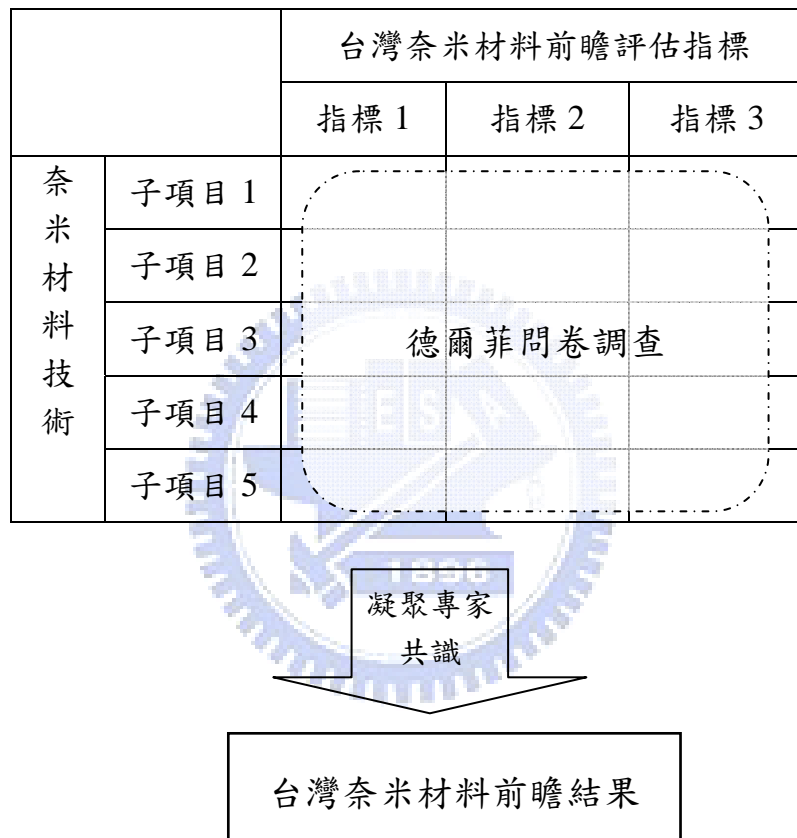


圖 1 研究架構

資料來源：本研究整理

1.4. 研究流程

本研究依據研究背景與動機產生研究目的，並建立研究流程，透過專家資料收集與奈米材料前瞻文獻探討，設計出符合所需之問卷，進行郵寄、回收、整理後，再進行第二回問卷，最後回收第二回合問卷，進行第二回合整理與分析，並舉辦一場專家座談會，凝聚共識，提供調查結果，與德爾菲操作方式之建議。

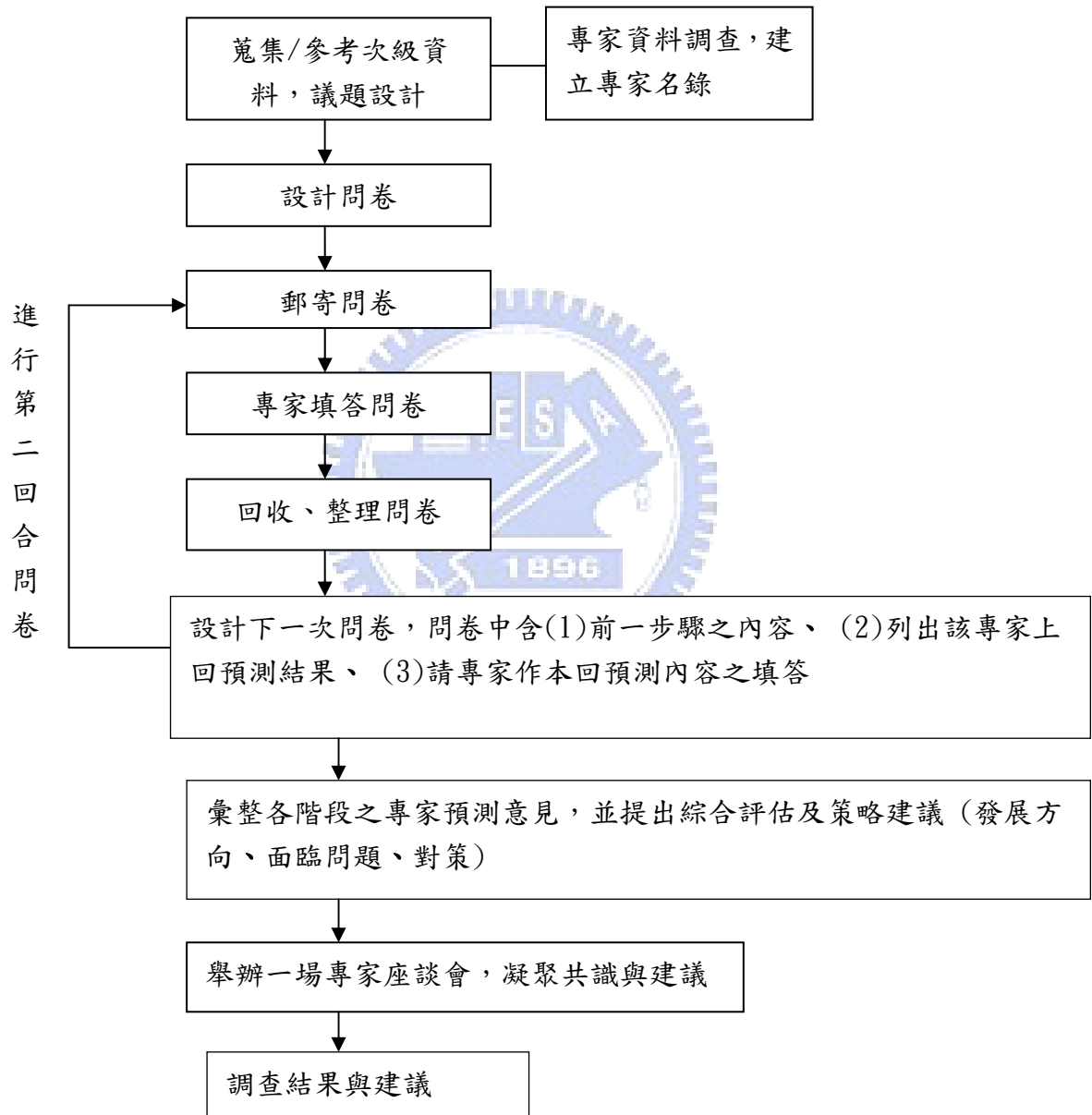


圖 2 研究流程

資料來源：本研究整理

第二章、 技術預測與前瞻方法

技術預測的目在於當技術變化時能獲得最大的利益或是損失最小，並降低技術變化時不可控制因素的影響，應付對組織競爭有威脅及敵意的行動；預測技術變化對生產與存貨的影響以及資金與設備和人力的需求；預測技術變化對人事與預算的影響，或是為了發展企業的策略。

技術預測的先驅，拉爾斐藍茲(Ralph Lenz, 1959)，認為技術預測能增加決策的品質，是因為扮演以下的特殊角色(Martino, 1972)：

1. 它找出技術不可能超越或達到的性能極限；
2. 對技術進步的速度能有掌握，建立可行的進步速度；
3. 分析可供選擇的其他方案；
4. 估計可能達到的成功機率；
5. 作為是否繼續投入某個技術研發計畫的參考指標或預警徵兆。計畫可與預測結果比較，來決定是否繼續進行，或因預測的改變，進行修正與變更；
6. 預測提供了決策者迫切需要的資訊。

雖然技術預測包含了趨勢與時間兩大內涵，但科技的推進除了受到內外因素的影響，隨著科技體系的複雜化將使得單一技術的預測結果有所侷限並產生偏離，因此 80 年代中期便有學者陸續提出「前瞻」(Martin, B.R., Irvine, J., 1984)的概念，希望透過廣泛的溝通與討論，同時再納入社會、經濟、與人文面考量，共同塑造符合大眾需求與期望的願景(Twiss, B. C, 1992)，提昇科技競爭力、合理資源分配，以及透過溝通與共識將各種矛盾降至最低。因此廣義來說，傳統的技術預測較偏近程規劃，以目前技術與資訊去推估未來技術發展，而技術前瞻則更廣泛的不僅考慮技術演進的推力，同時考量社會、經濟以及環境等等的拉力或限制，通常技術前瞻的推估時程則可更為長程，目前已超過 40 個國家進行前瞻預測。

本章將會探討不同技術預測的方式，最後針對各國技術前瞻所採用的德爾菲方式，進行介紹與說明，於之後將會有更完整之實施說明與應用。

2.1. 技術預測的演進

在 40 年代，因軍事和經濟需求，促成了技術預測的發展，在其後 20 年內，技術預測在軍事以及航太上格外受到重視。到了 70 年代，技術預測的方式已經相當成熟，然而在日趨競爭的商業市場裡，商業活動的不確定性大增，技術的推動與需求拉動的關係更加複雜，光靠傳統的技術預測方式以不符合企業或政府研發單位區求，定量模擬的預測方式逐漸減少，80 年代興起的是德爾菲法等技術前瞻(Technology Foresight)的方式開始受到政府與學術界的重視。

早期的技術預測多用的是探索性的預測，即用已有的歷史資料的外推，如簡單的外插法或是時間序列估計，透過迴歸分析與曲線擬合來進行未來預測，採用較少變因因此適用於企業的市場預估和漸進式技術發展。隨後有許多不同更為複雜的預測方式產生，如成長極限考慮了人主觀的因素而不再是用歷史資料推演，渾沌理論等提出新的預測觀，如技術預測的非線性或非因果關係。

在世界經濟快速成長的 20 世紀，策略性的管理成為各層次領導的主要工作，對策略性的技術預測要求也越來越高，技術預測不再只是演繹或推導未來，而是要導向未來，利用各種資源配置以及社會各種變因，未來不再能單靠演變，而是各種可能的選擇與取決的過程，因此技術前瞻的方式興起，目前各先進大國皆逐漸採用大規模德爾菲法來進行技術前瞻。

2.2. 技術預測的定義

首先我們先定義何謂技術以及何謂預測，技術泛指用來實現人類某些目的的工具、方法和步驟，因此不僅止於硬體設備或有形物品，也包含了 Know-how 和軟體工具(Martino, 1993)，而預測則是指對未來做一推測。以往有許多學者對技術預測下過定義，以下介紹：

Millett 與 Honton(1991)指出技術預測是「思考有關未來的機械、實體程序，以及

應用科學能力與應用結果或程序，使之結果或程序的表示形式可能是文字或是數字。」

Prehopa(1979)對技術預測的定義，是可預知技術創新的預測描述，帶有特定科學或科技的發現。

Cetron(1968)認為技術預測乃是一定時間，某種幸賴水準下的技術成就。

Porter et al.(1991)則認為技術預測為「著重於技術改變的的預測活動」因此技術預測者應該將焦點著重在技術的功能上的變遷，或是創性的顯著性以及實現時間，而預測內容則包含技術能力之成長、新舊技術的替代比率、技術擴散之情形、市場滲透度，以及重大技術突破的時間極可能性。

Martino(1993)為技術預測下的定義是「針對有用的記器等、程序或是技巧的未來特徵進行預測」，其強調實務上的應用，而非只是侷限於瞭解科學上的知識。

綜合上述學者所述，技術預測是針對技術的改變進行一種邏輯性與系統性分析，透過這些分析提供決策者所需資訊，以減少人為主觀判斷，使預測結果盡量達到客觀與公正。

2.3. 技術預測的分類與選擇

技術預測考量以下重點：

1. 新技術與其他技術在功能上或特性上之差異；
2. 技術突破之可能時點與發生的機率；
3. 技術突破之瓶頸、可能的障礙與解決方案；
4. 技術發展之方向、趨勢與未來之展望；
5. 新產品/新技術之市場佔有率與擴散情形；
6. 新技術替換舊技術之速率與佔據市場的比例；
7. 對其他科技造成之影響；
8. 對市場、社會、經濟環境之衝擊。

技術預測用途會因技術改變而受影響的個人、企業或國家都需要進行技術預測，

以早日調整使資源之分配，因應技術變化做好準備。因預測的目的就是為了讓我們能夠作出妥當的與可行的決策。

不同性質的技術，適用於不同類型之預測方式。因為技術預測活動面臨廣泛不確定因素的影響，因此促史學者將各個不同領域的知識應用至技術預測的領域中，並提出許多技術預測的方法。

Gabor(1963)將技術預測方法定義為探索性預測(Exploratory forecasting)和規範性預測(Normative Forecasting)兩大類。前者是幾過去及現在的情況為基礎預測未來的狀況，後者則是以未來的需求為基礎來預測其所需達程的技術水準，也就是說在需求可達程的情況下預測可能的技術能力。

Martino(1993)則整理出 11 種方法：德爾菲法、類推法、成長曲線法、趨勢外插法、技術量測法、相關法、因果模式法、機率方法、環境監視法、合併預測法、規範性方法。根據其應用的方式歸類探索性方法及規範性方法兩大類，探索性方法是指當技術能力變得可行時，此能力將有更多需求的含意。而規範性方法則是有需求績效可由過去技術發展經過合理延伸而達成。整理結果如表 1。

表 1 Martino 提出之技術預測方法分類表

預測方法分類	適用的預測方法
探索性方法(Exploratory Method)	德爾菲法、類推法、成長曲線法、趨勢外插法、技術量測法、相關法、因果模式法、機率方法、環境監視法、合併預測法
規範性方法(Normative Method)	相關樹、型態模式、目標任務法

資料來源：Martino, J. P., “Technological Forecasting for Decisionmaking”, 3rd Ed, McGraw-Hill Inc., 1993

Porter(1991)提出以直接預測法、關聯預測法以及結構預測法來輔助技術預測之分類，整理如表 2。

表 2 Porter 提出之技術預測方法之分類

類別	定義	可適用之預測方法
直接預測 (Direct Forecasting)	直接預測衡量技術的參數	專家意見,德爾菲法,名目群體法,趨勢外插法,成長曲線等
關聯預測 (Correlative Forecasting)	考慮該項技術和其他技術或背景因素間的關係	類推法,情境法等
結構預測 (Structural Forecasting)	考慮因果關係對技術成長的影響	迴歸分析,關聯樹,因果分析,模擬模式等

資料來源：Porter, “Forecasting and Management of Technology”, John Wiley & Sons, Inc., 1991

David Frigstad (1996)則以判斷式預測、時間序列與歷史預測和因果預測法作為預測方法之歸類方式，整理如表 3，表 4 為 Porter 提出不同預測方式的適用範圍。

表 3 David Frigstad 提出之技術預測方法之分類

類別	預測方法
判斷式預測	專家意見法,德爾菲法
時間序列與歷史預測	指數平滑法,移動平均法,延續(Naive)模型預測
因果性預測法	迴歸分析,投入/產出分析,經濟計量模型
技術趨勢預測	系統分析,腦力激盪,關聯樹探索,趨勢外插法

資料來源: David Frigstad, “Industrial Market Research & Forecasting”, Frost & Sullivan, 1996

表 4 技術預測方法適用的範圍

影響因素/方法	資料數	不確定性	技術發展期
1.德爾菲法	少	高	早期
2.類推法	少	高	早期
3.成長曲線法	中	中	中期
4.趨勢外插法	少	中	中期
5.技術的衡量	多	低	晚期
6.因果關係	多	高	中期
7.機率法	多	中	中期
8.規範法	中	低	中期
9.情境法	中	高	早期

資料來源: Alan L. Porter, “Forecasting and Management of Technology”, John Wiley & Sons, Inc., 1991

Porter 同時也提出各種技術預測方法的特點如表 5。

表 5 Alan. Porter 針對各種技術預測方法之比較表

	監測法	趨勢分析法	專家意見法	模式法	情境法
簡述	搜尋週遭環境以獲取與預測主題相關的資訊	利用數學與統計技巧來擴展時間序列資料到未來階段	獲得特殊領域內之專家意見並分析之	模式是現實世界的簡化表示,用來預測系統的行為	情境是未來某些光景的描述集合,包含所有可能出現的狀況
假設	目前可取得對預測有用的資訊	過去的狀況與趨勢將會持續到未來	多數專家的意見優於個別專家的意見	有些事物的基本結構與程序可以簡化的表示式加以詮釋	以有限的資料庫可以建構一個未來的合理集合
優點	可以從廣大的資訊來搜集大量有用的資訊	為一實際且含有可量化參數的預測方法,在短期的預測上十分準確	專家預測較易導出高品質的模式	可透過模式的建構來觀察複雜的系統行為	對未來可提供豐富且複雜的描述,且可結合數種技術預測方法所得結果
缺點	太多的資訊可能導致無從選擇或無法整理	需要大量的資料,而且僅能用在可量化的參數,對於不連續情況則無法發揮作用	在界定專家上有困難,提供專家的問題往往不夠清楚	模式常採用量化的參數如簡單的流程圖或是複雜的電腦模擬,因此易忽略潛在的重要因素	容易流於幻想,除非預測者有一些確切的實例當基礎
使用時機	想要對某領域進行持續的瞭解或是作為預測的基礎	欲分析技術採用或替代時機;可取得數量化參數	欲預測的主題有傑出的專家,資訊缺乏或無法建立數量的預測模式	想要簡化複雜的系統為可控的表示式	預測或溝通的複雜度高且處於高度不確定的狀況;必須整合定性及定量的資訊
技巧	問卷調查法,訪談法,關聯樹法,推論法	指數平滑法,成長曲線,迴歸分析,趨勢外插	委員會,腦力激盪法,名目群體法,德爾菲法	交叉衝擊分析法,系統動力學,任務流程圖,型態學模型	情境撰寫,未來分析

資料來源: Alan L. Porter, "Forecasting and Management of technology", John Wiley & Sons, Inc., 1991

2.4. 德爾菲法介紹

德爾菲法調查最早於 1948 年美國 Kaplan 公司所使用，在 1950 年代，美國藍德 Rand 公司開發使用兩階段的問卷調查(Rescher,1998)，啟發了日本從 1970 年開始每五年的問卷調查。

德爾菲法為一長期的定性的預測方法，是一種萃取群體專家意見之方法，取群體思考的優點而去其缺點之方法之一。目前已被廣泛使用於各種領域，今天，德爾菲法已經被擴充為相當多的類似方法，全部具有以下三大共同特徵：

1. 匿名方式：經由郵件問卷(最常用方式)或面談方式，邀請來自不同群體或地域專家局部或全部匿名參與，可消除面對面可能產生的心理因素。
2. 具有回饋控制的疊代法：群體互動是透過有回應問題的問卷而產生，可同時陳述正反面的觀點 (通常是二至四次循環)。
3. 統計群體反應：德爾菲法保存了所有群體中產生的意見，也可以知道整體意見集中或分散的情形。在每一次接下來循環，提供專家上一循環結構性摘要回饋資料，協助專家獲得共識。

德爾菲法的優點在於不只是公眾意見投書意見箱，並非影響個人意見的產生，而是衡量產生的各種意見。且將多數人的意見收斂來利用，對決策者而言，容易獲得滿意的結果。德爾菲法試圖在特定主題得到『專家社群』的意見。因此德爾菲法參加者，代表專家社群而非大多數公眾，可在最短時間內可獲得有效的預測結果。

德爾菲法程序是對一群專家之一系列問卷，執行的過程，每一次成功問卷定義為『回合』。問卷提供提供參加成員有關群體產生共識的程度，及成員就不同觀點所產生爭論之資訊，也就是說，問卷是群體腦力激盪之媒介物。德爾菲法中參與專家稱之為 Panel，負責收集成員回應及準備問卷者稱為 Moderator，Moderator 在每一回合回收問卷後會將問卷結果統計作為下一回合問卷發放之參考。(張寶誠等，2000)

透過德爾菲法問卷調查，事實上是把回答者隔離而非面對面參考，鼓勵多元有創造性的激辯的願望無法達成。況且主要的目的除了達成對未來的共識外，還需要獲得

弱勢族群或少數族群的意見。所以改良式作法是在問卷調查之後，有一次專家辯論座談的機會，或結合其他方法並用，利如結合專家諮詢法。目前已有許多不同形式的德爾菲方法，我們將其分為兩類，一為經典德爾菲法，另一種為大規模德爾菲法。

2.2.1. 經典德爾菲法

所謂經典德爾菲法是指美國藍德公司首創的德爾菲方法。這種方法一般只選擇 15 個左右熟悉有關領域的專家，進行 4 輪徵詢，各次調查的內容和問題如下：

第一輪調查：向小組專家提出的問題一般沒有固定的格式和內容，所提的問題不必過於具體。一般要求專家對預測目標、該領域的技術發展趨勢、需要解決的問題等發表意見，請專家提出未來科學技術發展最有潛力，與目標最相關的領域和專案，說明提出的依據。這一輪調查回收後的主要工作是整理和歸類，經歸納加工而成的各項技術就形成了備選技術清單，同時，對這些技術的說明應當儘量簡單明瞭。

第二輪調查：要求專家對備選技術專案進行估價，並說明其理由。這一輪調查回收後的工作是對專家的評價進行統計分析，通常採取中心意向(Central Tendency)統計法進行統計，如平均值、方差、標準差、四分位法等，然後將統計結果附上必要的說明回饋給專家，進行第三輪調查。

第三輪調查：專家在得到第二輪調查的統計結果和有關說明後，由於資訊的增多，將對自己原有的判斷做出修正。在比較分析後，專家可能堅持原先的觀點，也可能提出新的看法。如果專家新的估計在第二輪上下四分位點之外，則必須說明為什麼他的看法與小組的意見不同，並提供必要的參考資料或引證來“說服”其他專家，就像面對面的小組討論那樣，只不過這是一種匿名方式。這一輪調查的統計分析與上一輪一樣，經過整理分析，決定是否進行下一輪調查。如果意見集中，不需要進行第四輪調查，否則，把上述整理的資料變成下一輪調查的問題，特別是把不同的論據回饋給專家。

第四輪調查：專家根據全部資料作最後判斷和估價，並對不同意見做出評論。

最後調查結果經統計分析和整理後，可能有兩種情形：一是專家意見相對集中，

說明統計得到的中心值代表了專家組對某方面問題的預測意見；二是專家意見離散度大，此時應分析各方面論據，採取其他方式進行綜合分析，得到最終結果。

2.2.2. 大規模德爾菲法

由於應用目標不同，現在德爾菲法已經演變成許多不同類型。在技術預測中，主要採取有大量科技專家參與的大規模德爾菲調查，這是由經典德爾菲方法派生出來的一種方法，由日本人最早將這種方法用於與整個科學技術領域有關的技術預測。其後，德國、英國、法國和韓國等國家和地區相繼採用大規模德爾菲調查，進行該國的技術前瞻。

與經典德爾菲法比較，這種大規模德爾菲調查有幾點顯著不同：

1. 參加的人員不只侷限於十幾個專家，而是吸引了來自政府、企業、高校、研究機構和社會各方面的大量專家，如日本第六次調查參加人數為 3586 人，德國第二次調查參加人數為 2000 多人。
2. 所涉及的問題非常廣泛，除技術本身的發展外，還要考慮技術可能帶來的經濟效益和對社會產生的影響等多個方面。
3. 大規模德爾菲調查在預測程序上也作了修改：一是成立技術預測專家委員會，並按領域組成領域專家委員會，確定目標、任務和評價依據，採取各種方法擬定備選技術清單，代替經典的第一輪調查；二是這種大規模德爾菲調查成本較高，週期較長，一般只進行兩輪，相當於經典的第二、三輪調查；三是對調查的結果組織高層專家進行審核和論證，形成最後評價結果。

實際上，技術前瞻所採用的方法通常是各種方法的組合。德爾菲調查常常是在徵求大多數專家意見時才使用，它是一個可控制的組織集體思想交流的過程，使得由許多專家組成的集體能作為整體來解答某些複雜問題。在收集大多數專家意見時，這種方法確實是一種較為科學和相對可靠的方法，但具體實施時工作量大，週期較長，成本也相對較高。

第三章、 各國奈米材料相關議題前瞻經驗

3.1. 奈米材料之領域範疇

3.0.1. 奈米材料簡介

奈米材料是奈米科學技術的基礎，正引起世界各國的廣泛的關注。現代材料和物理學家所稱的奈米材料是指固體顆粒小到奈米(1 奈米= 10^{-9} 米)尺度的奈米微粒子(也稱之為奈米粉)和晶粒尺寸小到奈米量級的固體和薄膜。奈米材料又稱為超微顆粒材料，由奈米粒子組成。奈米粒子也叫超微顆粒，一般是指尺寸在 1~100nm 間的粒子，是處在原子簇和宏觀物體交界的過渡區域，從通常的關於微觀和宏觀的觀點看，這樣的系統既非典型的微觀系統亦非典型的宏觀系統，是一種典型的介觀系統，它具有表面效應、小尺寸效應和宏觀量子隧道效應。同時顯示出許多奇異的特性，即它的光學、熱學、電學、磁學、力學以及化學方面的性質和大塊固體時相比將會有顯著的不同。

奈米材料的種類大致可分為奈米粉末、奈米纖維、奈米薄膜、奈米塊體等四類。其中奈米粉末開發時間最長、技術最為成熟，是生產其他三類產品的基礎。奈米粉末(Nano Powder)又稱為超微粉或超細粉，一般指粒度在 100 奈米以下的粉末或顆粒，是一種介於原子、分子與宏觀物體之間處於中間物態的固體顆粒材料。可用於：高密度磁記錄材料；吸波隱身材料；磁流體材料；防輻射材料；單晶矽和精密光學器件拋光材料；微晶片導熱基片與布線材料；微電子封裝材料；光電子材料；先進的電池電極材料；太陽能電池材料；高效催化劑；高效助燃劑；敏感元件；高韌性陶瓷材料(摔不裂的陶瓷，用於陶瓷發動機等)；人體修復材料；抗癌制劑等。

奈米纖維(Nano Fiber)指直徑為奈米尺度而長度較大的線狀材料。可用於：微導線、微光纖(未來量子計算機與光子計算機的重要元件)材料；新型鐳射或發光二極管材料等。如奈米碳管；奈米纖維；奈米柱等。

奈米薄膜(Nano Film)奈米膜分為顆粒膜與緻密膜。顆粒膜是奈米顆粒粘在一起。中間有極為細小的間隙的薄膜。緻密膜指膜層緻密但晶粒尺寸為奈米級的薄膜。可用

於：氣體催化(如汽車尾氣處理)材料；氣體感測材料；過濾器材料；高密度磁記錄材料；光敏材料；平面顯示器材料；超導材料等。

奈米塊體(Nano Bulk)是將奈米粉末高壓成型或控制金屬液體結晶而得到的奈米晶粒材料。主要用途為：超高強度材料；智慧金屬材料等。

全球對奈米材料的認識目前還知之甚少。從個別實驗中所看到的種種奇異性質，說明這是一個非常誘人的領域，對奈米材料的開發，將會為人類提供前所未有的有用材料，因此對奈米材料的前瞻研究也是各國積極討論之議題。

3.0.2. 奈米材料市場概況

一般預測奈米材料科技將會衝擊到幾乎所有人造物品的製造與生產，例如：汽車、輪胎、電腦電路、尖端醫學、組織移植等，甚至可導向目前還無法想像的物品的發明。因此，奈米材料科技被世界各國當作是二十一世紀科學與工程策略性的一支，並被認為將基本地重造當前的製造、醫學、國防、能源生產、環境管理、交通、通訊、電算技術、以及教育。由表 6 我們可見到美國與日本對於奈米技術應用對未來產業的影響。而期中影響最劇的便是奈米材料與製造技術。

表 6 美國與日本對奈米科技應用之市場預估

美國預測(2010 年)			日本日立預測(2010 年)		
材料與製造	3,400 億美金	24%	材料	415924 億日圓	31%
電子	3,000 億美金	22%	資訊電子	671884 億日圓	50%
醫藥品	1,800 億美金	13%	生技(醫)	37951 億日圓	3%
生命科學	>4,000 億美金	29%	(農畜)	1725 億日圓	0.1%
化學工業	1,000 億美金	7%	環境能源	61309 億日圓	5%
運輸工業	700 億美金	5%	航太工業	88200 億日圓	7%
			工具	52202 億日圓	4%
			(量測，模擬等)		
總計	13,900 億美金	100%	總計	1,329,195 億日圓	100%

資料來源：奈米科技發展現況與前景/蔡嬪嬪，工業技術研究院奈米科技研發中心，民 93

從應用市場的角度來分析，可以看到主要可以分成九大領域：電子產業、金屬產品、建材、塑/橡膠產品、基礎建材、家電產品、纖維產品、運動器材、化妝品/醫療領域。九大領域中，目前已可在市面上見到之產品見表 7，並由表 8 可以看出未來主要奈米科技發展領域，而奈米半材料擁有最大的應用市場。

表 7 市面上可見之奈米科技產品

領域	產品
電子產業	•磁記錄媒體(GMR)•CMP 研磨液•電池隔離膜•鋰離子電池陰極材料(Nikkiso)•燃料電池電極材料(NEC)•螢光燈管(華南聯合科技)
金屬產品	•奈米鐵釘(內部 2~6nm，碳化鐵顆粒)•鑽頭(WC-Co Composite)•金屬接點改質劑
建材	•節能玻璃窗•自淨玻璃窗•易潔陶瓷•衛浴設備、馬桶、洗手檯(電光牌、和成牌、TOTO 等)•塗料•隔熱材(Nanocrystalline Aerogels)
塑/橡膠產品	•啤酒瓶、果汁瓶•包裝薄膜•植物覆蓋膜(TiO ₂)•木器塗漆(TiO ₂)•電磁波遮蔽薄膜•含緩釋劑型除草劑之地下灌溉塑膠管•輪胎•前輪擋泥板(日產，休旅車 X-Trail)•汽車車內腳踏墊(Running Boards, GM Safari, Astro Vans)汽車其他零件，例如儀表板等正測試中]•汽車抗靜電塗料(NissanMotors)•IC tray (Yuka Denshi)•熱阻型背膠(奈膜科技)
基礎材料	•碳黑•奈米碳管•奈米黏土•奈米碳酸鈣(15~40nm)•奈米透明氧化鐵(1200 噸/年)(大陸)•奈米氧化鋯(10~20nm)•Nanocrystalline Aerogel
家電產品	•光觸媒環保健康扇(台灣日光燈)•空氣清潔機•奈米材料冰箱(大陸)•熱水瓶(奈米搪瓷內膽)(大陸)
纖維產品	•卡其布(Nano-Care Khakis,美)•奈米領帶(蠶絲、羊毛、棉)(大陸)•布料(瑞士)•機能性纖維(抗 UV，吸收紅外線)•奈米口罩(台)
運動器材	•網球(Wilson Double Core 網球)•網球拍：VS Nanotube PowerVS NanotubeDrive(日本)•排球(不沾水、不沾灰塵)(大陸)•充氣鞋墊—運動鞋(美)•奈米抗菌鞋(大陸)•奈米空調鞋(大陸)•滑雪桿/滑雪板(歐)
化妝品/醫療領域	•防曬化妝品(Sunscreens)•遮陽眼鏡•護膚化粧水•化粧保養品(美白左旋 C)•眼彩(pure color 純色冰紛眼彩系列)•抗菌紗布(AntimicrobialDressing)•驗孕試劑•微脂粒藥物•奈米金(全球奈米科技)•生物晶片•Disposable Pre-Spotted MALDI Sample Chip

資料來源：奈米科技發展現況與前景/蔡嬪嬪，工業技術研究院奈米科技研發中心，民 93

表 8 日本奈米關連產業類別市場規模預測

單位：十億日幣/年

產業類別	2010年		2015年		2020年	
	規模	佔比	規模	佔比	規模	佔比
電子	8,800	33.2%	24,000	40.7%	55,000	44.7%
生物、醫療	4,200	15.8%	10,000	16.9%	23,000	18.7%
加工、測試	5,000	18.9%	9,000	15.3%	17,000	13.8%
化學、環境	2,500	9.4%	5,000	8.5%	11,000	8.9%
材料	4,000	15.1%	7,000	11.9%	10,000	8.1%
能源	1,200	4.5%	2,300	3.9%	4,000	3.3%
其他	800	3.0%	1,700	2.9%	3,000	2.4%
合計	26,500	100.0%	59,000	100.0%	123,000	100.0%

資料來源：矢野經濟研究所, 2002；工研院經資中心 ITIS 計畫, 2002

3.2. 台灣奈米材料科技政策與研發體系

台灣奈米材料主要歸在奈米國家型計畫底下推動。九十一年由國科會、行政院科技顧問組、中研院、教育部、工研院、經濟部、原子能委員會及環保署等單位二十五位代表，組成【奈米國家型科技計畫工作小組】。九十一年六月行政院國家科學委員會第 157 次委員會中通過奈米國家型科技計畫，於九十二年一月開始推動。

九十一年九月成立【奈米國家型科技計畫】辦公室，建立我國發展學術卓越和相關應用產業所需要之奈米平台技術，同時加速培育奈米科技所需人才，奠定我國奈米科技厚實之基礎。圖 3 為我國奈米國家型科技計畫推動架構。

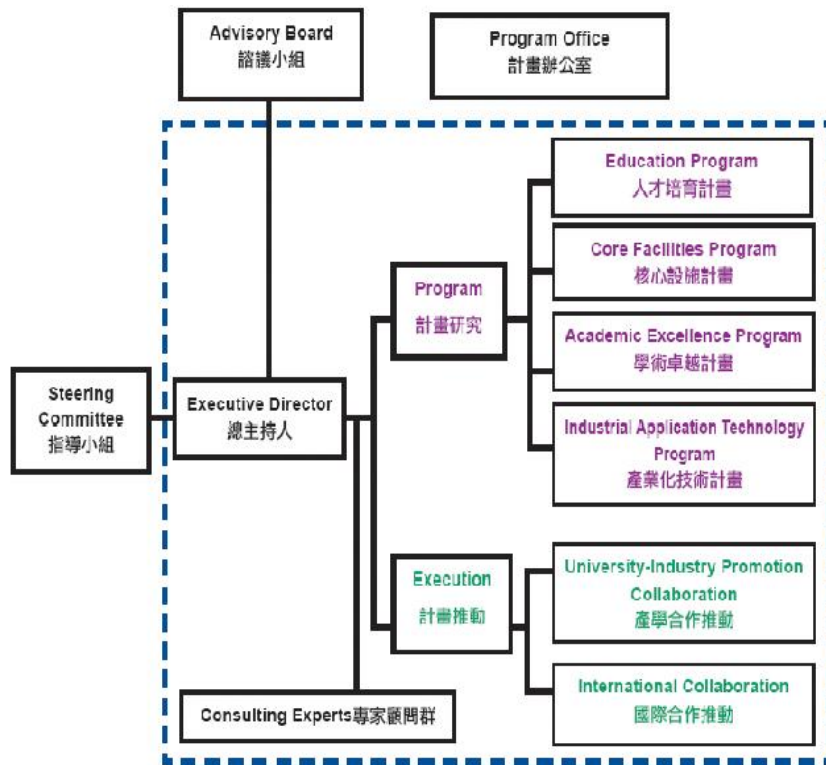


圖 3 奈米國家型科技計畫推動架構

資料來源：奈米國家型科技計畫, 2007

九十六年度奈米國家型科技計畫主要包括學術卓越分項計畫、產業化技術、核心設施建置與分享運用及人才培育等四個分項，主要內容簡述如下：

(一) 學術卓越

學術卓越計畫目前包含五個子項目，分別為 1.奈米科學基礎研究、2.奈米材料研究、3.奈米操控、功能元件製造、特殊儀器等尖端技術發展、4.奈米能源、環境研究與 5. 奈米生物技術研究。

(二) 產業化技術

本分項根據奈米科技產業發展之經營環境、我國產業結構、奈米科技發展近程及市場發展前景，選擇並規劃適合我國發展之項目。如奈米電子技術、奈米顯示技術、奈米能源技術、傳統產業奈米應用技術、奈米生物技術等重點領域發展。整體計畫基礎是建立在奈米材料平台技術和檢測與設備技術的開發上，並經由這平台支援一系列產業面向的重點奈米科技應用。兼顧目前研發機構與產業界進行之活動，以及掌握未來奈米技

術在研發及應用的潛力並產生重大突破之契機。

(三) 核心設施建置與分享運用

本分項計畫包括學術研究重點設備與運用分享(國科會)及產業應用核心設施與運用分享計畫(經濟部技術處)及奈米技術計量標準計畫(經濟部標準檢驗局)。本計畫已執行第三年，且已建立8個「學術重點設備建置」中心，以及1個「產業核心設施」中心。在「學術重點設備建置」方面包括台大奈米科技中心-尖端電子顯微技術與奈米分析服務計畫，台灣聯合大學系統奈米製作暨分析核心設施中心(交大)，南台灣奈米科技研究中心第二期核心設施建置服務計畫(成大)，中台灣奈米技術科學與工程核心服務計畫(中正)，台灣中區奈米技術科學與工程核心設施服務計畫(中興)，奈米科學尖端研究設施之建構等(中研院)，台灣聯合大學系統—奈米微影暨奈米生技核心設施服務計畫(清華)，高屏地區奈米共用實驗室(中山)，東部奈米科技研究中心(東華大學)。產業應用核心設施與運用分享方面，產業核心設施建置於工研院奈米中心，設置奈米共同實驗室。在奈米技術計量標準計畫方面，進行尺寸參數量測追溯及力學性質量測追溯9個量測參數研究，包括三維奈米尺寸標準及量測分項計畫；奈米元件機械性質量測分項計畫；微流量測標準分項計畫。

(四) 人才培育

人才培育分項計畫希望能迅速提供我國發展奈米國家型科技計畫所需之各種跨領域人才。奈米科技之跨領域人才培育，將不僅只是傳統所言各科技領域之跨領域整合，至少須具備包含工程、基礎科學、經營管理、智財權法律、人文社會、生技醫藥等領域之知識。除此之外，由於網際網路之快速發展，以及知識經濟之迅速成型，必須與從小學、中學(K-12)、大學、研究所、在職訓練(On Job Training, OJT)、甚至與終身學習(Life Long Learning)之教育施政目標相結合。

3.3. 主要先進國家奈米材料研發機構與奈米材料前瞻議題

3.2.1. 美國

1. 美國奈米科技研發機構介紹

美國的奈米科技研發是在 2001 年起由國家科學暨技術委員會(The National Science and Technology Council, NSTC)主導，推動國家奈米科技方案(National Nanotechnology Initiative, NNI)，計有農業部、商務部、國防部、能源部、健康暨人力資源部、國土安全部、司法部、環境保護署、國家航空署、國家科學基金、國務院、交通部、財政部、食品暨藥品管理局、情報署等 15 個部會參與此項計畫，並由前 10 個部會編列研究與發展經費。表 9 為 2007 年 NNI 之年度預算表。

美國國會更於 2003 年 11 月 20 日通過《21 世紀奈米科技研究暨發展法案》，授權美國總統執行「國家奈米科技計畫」，指定國家科學暨技術委員會(NSTC)督導計畫的協調、規劃及管理，依國家需要，設訂計畫目標及優先順序，協調跨部會共同編列計畫預算，加強與地方政府、產業界、學術界的資訊交流，此外，並應向國會提交年度報告。本計畫的主要內容：

- 評估聯邦政府之奈米科技研究、發展設立目標及優先順序。
- 對聯邦政府奈米科技研究、發展及相關科技挹注資金以達成設立之目標。
- 對奈米科技研究、發展及相關活動進行跨部會協調。

本計畫的重要工作計有：

- 發展對奈米科技的基本瞭解。
- 針對研究機構提供經費。
- 成立先進科技研究中心網絡。
- 為各奈米科技研究機構建立一個優質並具競爭環境的網絡，藉以交換資訊、善用現有資源。
- 確保美國在奈米科技發展與運用方面的全球領導地位。
- 加速產業界及新創事業對奈米科技研究及發展的運用與佈局。

- 為專業及研究人員提供有效之教育與訓練，以提昇專業素養。
- 加強有關奈米科技在道德、法律、環境及社會等領域的研究。

計畫組成領域(Program Component Areas, PCAs)

1. 探究奈米尺度的各種現象與反應過程；
2. 開發奈米材料；
3. 開發奈米設備與奈米系統；
4. 從度量衡的角度出發，制定標準化；
5. 推動奈米製造業；
6. 研究設備與儀器的獲得；
7. 社會面相的考量。

表 9 美國 NNI 年度預算表

Agency	2006 Actual	2007 Estimate*	2008 Proposed
NSF(國家科學基金)	359.7	373.1	389.9
DOD(國防部)	423.9	417.2	374.7
DOE(能源部)	231.0	293.3	331.5
DHHS (NIH)(國家衛生院)	191.6	170.2	202.9
DOC(NIST)(國家標準與技術研究院)	77.9	89.3	96.6
NASA(太空總署)	50.0	25.0	24.0
EPA(環境環保署)	4.5	8.6	10.2
USDA (CSREES)(農業部農業推廣辦公室)	3.9	3.9	3.0
DHHS (NIOSH)(國家職業安全與健康研究院)	3.8	4.6	4.6
USDA/FS(農業部林務局)	2.3	2.6	4.6
DHS(國土安全部)	1.5	2.0	1.0
DOJ(司法部)	0.3	1.4	0.9
DOT (FHWA) (交通運輸部公路管理局)	0.9	0.9	0.9
TOTAL	1351.2	1392.1	1444.8

資料來源：NNI 網站, 2007

2. 美國奈米材料科技前瞻

美國奈米科技前瞻是由美國國防部於 1980 年提出 Ultra-Submicron Electronics Research，主要是要推動尖端科技的嘗試；1991 年 NFS 也頒發 3 百萬美元贊助金作為奈米粒子製造與製程的科技計畫。2000 年 8 月，白宮提升 Kalil 的工作小組成為 National Science and Technology Council 的小組委員會，主要任務為實行 NNI 計畫並結合民間力量組成 National Nanotechnology Coordinating Office（國家奈米科技協調會），提供奈米科技相關議題，如奈米科技對環境的影響。目前此項投資集中於奈米科技運用有直接關連且被認為對經濟、政府及社會具有重大影響潛力的九項領域，分別為：1. 奈米材料設計、2. 奈米階段的製造、3. 化學、生化、放射、爆炸偵測暨保護、4. 奈米器具與度量衡設備、5. 奈米、電機、分子及磁學等、6. 保健、治療、診斷、7. 效能移轉及儲存、8. 微型器具及機械人與 9. 奈米科技對環境的改善

相關研究著眼於加速將科學上的發展轉變成創新的科技，並使投資儘早有所收穫。有關「奈米階段的製造」主要是要為傳統及新興科技尋找新方法，由於奈米結構具有極小的質量，且由表面及體積大小的效果所主導，以奈米科技為基礎的製造過程與目前所使用的過程，將大相逕庭。奈米結構需要新的器具、測試方式、工具、模型、方法與標準以區別出奈米階段的材料與製程。惟有經由這樣的發展，具大量重複性量產的商品始具經濟上的價值。由於實現奈米科技的利益為 NNI 的主要課題，「奈米階段的製造」是否得以成功發展將成為 NNI 的最主要挑戰，此外，接踵而至的挑戰則為發展高品質、多樣化的奈米階段製造基礎以利建構更為龐大的體系。

任何階段的製造過程都是一項複雜的程序，涉及許多設備及程序而將原料轉變為具特性及特色的產品，且均需大量生產。原子與分子即是以奈米科技為基礎的製造過程中的原料，且只有此等原料可被選為在奈米結構製程中成為最終產品的一部分。這種由下往上的方法與目前的方式迥然不同，需要新的創見、發明及方法以改為製造過程，同時，亦需發展新的工具與設備。

化工產業中的 Vision2020 是一個關注在加速創新與科技發展的產業領導組織。裡面結合政府單位、產學研究機構與私人公司企業，已經有 240 個組織加入技術地圖的相關

發展計畫，共同研發的單位有 143 間公司、70 間大學、12 個國家研究室、10 個政府機構與 5 個專業技術組織等等，一同為美國的奈米科技技術地圖作相關的研發與技術預測。

表 10 為美國 Vision2020 發表之奈米材料與奈米科技之應用能力與市場機會。

表 10 美國奈米材料之應用能力與市場機會

NO.	奈米材料與奈米科技之應用能力	市場機會所涵蓋之領域
1	低溫操作下的高選擇、高報酬、無毒的奈米尺寸觸媒劑，應用在化學與石化產業以及生物催化劑。	環境、能量、食品與農業、醫學與健康、化學、製造業、土木建築、交通、電子資訊產業、個人看護、紡織業、娛樂與跨主題議題
2	有效率且成本低的太陽能電池	環境、能量、醫學與健康、化學、土木建築、交通與跨主題議題
3	高效能、低成本的燃料電池與材料	環境、能量、土木建築、交通議題等等
4	高選擇、高容量的吸附劑	環境、能量、食品與農業、醫學與健康、化學、土木建築、交通、電子資訊產業與跨主題議題
5	新性質優先面臨的障礙 (分子辨識、氧的低滲透性等)	環境、能量、食品與農業、醫學與健康、化學與跨主題議題
6	具備優良性質晶片新塗覆層(如：低揮發性的有機化合物、多功能、耐磨且效能高的薄膜塗層)	環境、能量、食品與農業、醫學與健康、化學、製造業、土木建築、交通、電子資訊產業、個人看護、紡織業、娛樂與跨主題議題
7	對環境更友善(改良過的除草劑、殺蟲劑、抗生素)	環境、食品與農業議題
8	新奇且多功能的肥料	環境、食品與農業議題
9	DNA 重組專用的奈米結構	食品與農業、醫學與健康與跨主題議題
10	具有量子特性的奈米結構奈米粒子與薄膜塗層	環境、能量、化學、電子資訊產業與跨主題議題
11	電子放射儀器	能量、醫學與健康、土木建築、電子資訊產業、娛樂與跨主題議題
12	光電流與熱電子	環境、能量、製造業、土木建築議題
13	低成本之過度可燃氣體	化學、電子資訊產業與跨主題議題
14	強度佳、輕量的工業化與建築材料	環境、能量、食品與農業、醫學與健康、化學、製造業、土木建築、交通、電子資訊產業、紡織業、娛樂與跨主題議題

NO.	奈米材料與奈米科技之應用能力	市場機會所涵蓋之領域
15	超強度的黏著劑跟接合劑	食品與農業、製造業、土木建築、交通、紡織業、娛樂與跨主題議題
16	用來製造強度與延展性佳的陶瓷、金屬與金屬陶瓷合金的奈米材料	環境、能量、製造業、土木建築、交通議題
17	奈米感測與奈米感測材料(生物感測器、化學與環境感測器)	環境、醫學與健康、化學與跨主題議題
18	攜帶智慧型材料的感測器	環境、能量、食品與農業、醫學與健康、化學、製造業、土木建築、交通、電子資訊產業、個人看護、紡織業、娛樂與跨主題議題
19	高能量密度的電池跟超電容器	
20	新奇的合成樹脂(強度佳、防火、熱電的良導體)	環境、食品與農業、醫學與健康、化學、製造業、土木建築、交通、電子資訊產業、個人看護、紡織業、娛樂與跨主題議題
21	高溫、輕量且高強度的金屬跟陶瓷	能量、醫學與健康、交通、娛樂議題
22	具有特殊性質的低成本、高強度奈米維度之纖維	土木建築、交通、紡織業、娛樂與跨主題議題
23	新的藥學與醫學材料	醫學與健康、個人看護、娛樂議題
24	分子電子材料與設備	醫學與健康、製造業、電子資訊產業、娛樂與跨主題議題
25	磁性奈米材料與設備	環境、能量、製造業、交通、電子資訊產業、娛樂議題
26	光學計算	能量、電子資訊產業、娛樂議題
27	光學顯示器	能量、製造業、電子資訊產業與跨主題議題
28	材料之修復、加強與保護	醫學與健康、個人看護、娛樂議題

資料來源：<http://www.ChemicalVision2020.org>，本研究整理

3.2.2. 歐盟

1. 歐盟的國際奈米材料科學研究政策

歐洲為全球最早開始進行奈米科學研究的區域，但由於當時並沒有歐盟加以居中協調與規劃，因此在研究初期因為缺乏資金援助、相關管理上的支援，同時因為面臨專利取得的問題，導致研究人員遭遇許多阻礙，西元 2004 年五月，歐盟議會(European

Commission; EC)歐洲地區與國際社會發表一系列有關於奈米科技的專案計畫，以宣示歐洲對於提高奈米科技競爭力的決心。

歐盟將其計畫分為五個主要區域：研究與發展(R&D)、基礎建設(infrastructure)、教育與訓練(education and training)、創新(innovation)以及社會層面(societal dimension)。根據預估，如歐盟計畫能順利推展，在西元 2010 年前將可望為歐洲創造上百億歐元的經濟營收。歐盟議會也強調提高社會大眾對於奈米科技的認知，也同樣屬於整體奈米發展計畫的一部分。另外，公眾健康、安全、環保問題及消費者保護也同樣被包含在此項議題之中。目前，奈米科學及奈米科技仍屬於新興的 R&D 領域，其所必須解決與進行研究的對象都存在於原子與分子的階層中。奈米科學在未來幾年內的應用是眾所矚目，且必將對所有的科技產生重大影響。在未來，奈米科技的研發工作也將對人體保健、食物、環保研究、資訊科學、安全、新興材料科學及能源儲存等領域產生重大的改變。

目前歐盟所進行的第六期架構計畫(FP6)中(2004~2006)，奈米科技與新興材料研發的經費約為歐元 13 億，而歐盟議會也有意提高經費並延長研究時程(2007~2013)。同時為凝聚與加強所有歐盟會員國在奈米科學方面的研究，因此在規劃上歐盟議會也有意召集民間與其他單位的專家凝聚共識，以強化整體歐盟在此方面研究領域的力量。

自 2007 年起至 2013 年 EU 的第 7 期研究架構計畫(FP7)方面，奈米科技的戰略為重點記述，列舉出奈米科學、奈米科技、材料以及重視新生產技術。在奈米科學、奈米科技方面，可列舉出產生出知識、界面、尺度依存現象等等許多關鍵字語。在材料方面，以新特性為目標，或製造生物材料與奈米材料的複合(Hybrid)材料，因此，如何處理界面技術將成為課題之目標。

其中重要的是新生產技術，這是 FP7 所揭櫫的新方向，主張共通技術(generic technology)的整合聚集之必要性及脫離傳統的龐大製造業，以及以知識基礎的生產技術為目標。關鍵字語為，防止歐洲的研究活動被分散而加強國際合作，經常意識到產業的長期戰力計畫，而且經濟基礎建設是必要的。因此，EU 以格勒諾伯(Grenoble)為中心，創設 ERA-NET，與美國一樣，將各種測定設備等集中於稱為 MINATEC 的中心。

1995 年由歐盟委員會成立「創新接繼中心」(Innovation Relay Centers, IRCs)。這個

的組織和美國國家科技移轉中心具相同功能。區域性的創新接繼中心總數近 70 個，支援至少位於 30 個國家的相關科技移轉中心。創新接繼中心的目的，是將有問題的公司和能提出解決方法的公司結合在一起。歐洲多數的奈米科技公司都可受到創新接濟中心或區域創新和科技移轉策略計畫的援助。

歐洲奈米科技計畫接受金援的方式和美國大致相同，有些是屬於國家型計畫。歐洲有多個跨國研發機構，以泛歐工業研發網路為例，其專門提供無條件研發補助，目的將研發成果發展為產品。透過泛歐工業研發網路提供的資金補助的國家包括奧地利、挪威和英國。其他在比利時、德國、斯洛伐尼亞、冰島和以色列還包括貸款和免償型補助。多數情況下，補助金額不超過計畫完成的所需總金額的七成，剩餘部分多仰賴地方政府和其他有意願者贊助。



表 11 歐盟第七期科研架構計畫優先主題領域最新政策方向

<p>主要研究活動</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 發掘關於「介面」及「規模依賴現象」(size dependent phenomena)之新知識 ● 發展新應用，而研究材料特性(material properties)之奈米規模控制(nano-scale control) ● 奈米規模之技術整合(integration of technologies at the nano-scale) ● 「自行組合」之特性(self-assembling property) ● 奈米馬達(nano-motors) ● 奈米機械及奈米系統(nano-machines and nano-systems) ● 建立方法及工具以針對「奈米尺寸之物質」，進行描述，操作及運用 ● 發展可應用於化工業之「奈米及高精確度之科技」 ● 奈米技術對人體、健康及環境所造成之衝擊的研究 ● 建立奈米相關之「度量衡」、「術語表」及「標準」 ● 發展新概念及途徑，以強化跨部門間之應用，包括：促進新發展技術之整合及集中
<p>材料</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 開發「高績效表現材料」(high-performance materials)相關之新知識，以進一步應用在新產品及製程 ● 發展具有「量身定作屬性」(tailored properties)並且表現穩定之知識為基礎的材料 ● 更可靠的「設計」及「模擬」(more reliable design and simulation)； ● 更高之「錯綜性」(higher complexity) ● 「環境相容性」(environmental compatibility) ● 「宏觀規模」之「奈米分子」技術，應用於化學科技及材料加工業。 ● 發展新奈米材料(new nano-materials)
<p>新製造技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 創造「永續性的知識密集製造」(sustainable knowledge-intensive production) ● 發展相關之「製造設施」，以強化知識為基礎之生產。 ● 為下一代高附加價值之產品及服務，並有效因應需求之變化，開發有助於各科技領域整合的「新工程概念」(new engineering concepts) ● 發展具有高生產效率(high-throughput)的製造技術
<p>促進技術整合，以應用於相關「工業」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 整合「奈米、微米科技」、「材料」...等相關的新知識，以促進單一工業生產或跨工業部門之應用

資料來源：歐盟第七期架構計畫，本研究整理

3.2.3. 日本

1. 日本奈米科技研發機構介紹

日本之奈米科技研發主要由經濟產業省、科技廳、文部省 和各大公司主導。在 2000 年成立「奈米技術研發戰略推進會議」，此調查檢討會成員選自在奈米技術領域最前線研究的研究人員共 17 名所構成。主辦單位為科學技術廳與文部省（現在已合併為文部科學省），由通產省（已改稱經濟產業省）協辦。制訂國家奈米技術研發策略，並將奈米技術與資訊科技、生物技術和環保科技並列為科學技術重點領域。下面再分類 12 項，即 1.奈米材料 2.奈米製造 3.奈米處理 4.奈米檢測 5.奈米機能 6.奈米設備 7.奈米系統 8.奈米機械 9.奈米化學 10.奈米生物科技 11.奈米診斷、奈米量測 12.奈米結構。

在經費投入方面，2001 年國立研究試驗機關之奈米研發經費為 117 億日圓，獨立行政法人為 295 億日圓。2002 年日本政府之奈米科技經費達 746 億日元，而在其第二個五年之基礎科學與技術計畫(Basic Science and Technology Plan)的四個最高優先領域中，其一與美國相同列為較高優先者便是奈米科技與材料(Nanotechnology and Materials)。

日本政府發展四大重點領域中，奈米材料方面包括用於新世代半導體與資訊通信產業之奈米材料之開發；符合環保與能源使用之奈米材料之開發；奈米生物技術等。除此 4 大重點領域外，尚包括：能源技術、製造技術、防災救災技術與衛星太空技術。在大學改革方面，除了進行大學法人化，亦應充實大學之研究設備、強化產官學合作、讓博士班學生與博士後研究人員參與產業界之研發合作，並活用產生之智慧財產，以創造新產業。

日本政府在推動奈米科技計畫方面，主要由產業技術總合研究所(AIST)及新能源與產業技術總合開發機構(NEDO)來執行。日本經濟產業省(原稱為通產省)之下原設有工業技術研究院，為了使研究成果能夠落實與產業結合之使命，目前已改組為產業技術總合研究所(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology，簡稱 AIST)，為獨立行政法人之特殊組織。工業技術研究院原設有 15 個研究所(8 個位在筑波院區，7 個散居全國各地)，2001 年 4 月整編為新的 AIST 之後，過去研究領域相異的所與所之間的區隔已不復存在，研究單位由 17 個研究中心、21 個研究部門、2 個研究系、7 個研

究實驗室所構成。前述四種不同的研究單位組織型態，是依預算性質、人員配置、先導性研究、迫切性研究、多領域融合、地方產業特性等觀點來加以配置，期能彈性配合全球科技趨勢，滿足政府產業政策及企業研發的需求。奈米科技研究部門(Nanotechnology Research Institute，簡稱 NRI)是 21 個研究部門之一，為日本國內最權威的奈米科技研究團隊。除了 NRI 以外，AIST 直屬的新炭素系材料開發研究中心等單位亦涉獵部分的奈米材料研發。NRI 之下設有 9 個研究組，各研究組功能固然不同，但基本上可以區分為 1.理論與計算機科學的探討，2.奈米碳管的合成、物性分析、應用，3.生物科技與機能性超分子材料，4.奈米材料加工，等 4 個主要領域。

新能源與產業技術總合開發機構(New Energy and Industrial Technology Development Organization，簡稱 NEDO)是由日本政府及民間共同出資並提供人材與技術所設立的特殊研究機構。第二次石油危機之後，日本政府有感於開發石油替代能源技術的迫切性，於 1980 年 10 月設立 NEDO。該機構除執行政府的研發計畫之外，並利用本身累積的技術對發展中國家提供協助研究，或推動轉移技術的任務。1988 年 10 月該機構又追加產業技術的研究開發之任務，其目的是協助民間企業執行高風險的先導性研發計畫，以提高企業的國際競爭力，並創造可能成為新興產業的機會。2001 年 3 月日本政府制定第二期科學技術基本計畫，NEDO 根據該項計畫，選定奈米科技為重點發展領域。NEDO 的奈米科技計畫較著重於產業面的應用領域，並設立相關領域的資料庫，這是與 AIST 最顯著的區隔。NEDO 奈米科技計畫最值得探討的特徵是，該計畫一部分的工作，是不限定任何材料的種類，將所有材料的製程、構造、機能作成資料庫及模型，並構築一個平台作為研發的基礎設施，使相關領域的知識系統化地展現出來。換言之，這個平台收集所有國內外文獻、各計畫資訊、傳統資料庫，並透過模型引擎的搜尋使利用者能迅速獲得有系統的資訊，以引導研發成果能迅速落實於產業界。

2. 日本奈米材料科技前瞻

日本的科技前瞻是由日本政府組織的技術預測由內閣科學技術會議提供資金，原由科學技術廳（2001 年 6 月與文部省合併，改名為文部科學省）主管，日本科技政策研究

所具體組織實施。主要採取大規模的德爾菲調查法。根據日本的特點和決策工作需要，他們對德爾菲法進行了改進：第一，除技術本身的發展外，還要考慮技術可能帶來的經濟效益，如技術對日本的重要度、技術實現的時間、阻礙技術發展的因素和技術發展的途徑等諸多方面；第二，參加諮詢的人員不只侷限於十幾個專家，而是吸引了大量的科技界、企業界和決策者參加，甚至還有少數新聞記者，第一次技術預測就有 3000 多人參加。從 1971 年開始，日本技術預測調查已延續了近 30 年，每 5 年進行一次，至今已進行了 8 次調查。從歷次調查的規模來看，課題數逐次增加，參加人數不斷擴大，如 1996 年進行的第 6 次技術預測涉及 14 個技術領域，技術課題項目 1072 項，參加人數 3600 人左右。經過 30 年的不斷發展和完善，日本的技術預測調查已成為一種比較成熟、規範和值得效仿的基礎調查工作方式。日本第八次科技前瞻奈米相關議題與技術和社會應用時實現時間預測如表 12，其中被認為為最重要的前十項議題為第 14 項、38 項、55 項、65 項、13 項、62 項、35 項、16 項、08 項和 20 項。

表 12 日本第八次科技前瞻奈米材料相關議題

NO	項目	技術實踐年份	社會應用實踐年份
1	以第一原理 (first principle)計算來設計特有性質之材料	2013	2021
2	以電腦模擬配合非平衡奈米材料資料庫，來預測已知成分之結構性材料之結構與性質	2015	2024
3	以透過格網 (grid computing) 運算之多尺度模擬技術來設計奈米工業材料	2014	2022
4	對金屬材料做非破壞性疲勞 (fatigue) 檢測，以即時 (in-situ) 預測材料之剩餘壽命	2012	2019
5	具像差修正功能之高解析度電子顯微鏡(解析度達 0.05 nm)	2012	2018
6	連續觀察與分析單獨原子及分子之技術	2012	2018
7	可即時 (in situ) 觀察高溫反應 (約 1500 °C) 之技術	2013	2019
8	於奈米尺度下具有定性及定量分析功能之掃描探針分析法	2012	2019
9	晶片型掃描探針分析裝置	2013	2020
10	細胞及其他軟性樣本 (材料) 之三度空間顯微技術	2012	2020
11	具數奈米解析度之三度空間斷層成像裝置	2013	2021

NO	項目	技術 實踐 年份	社會應 用實踐 年份
12	不會降低結構性材料之強度、韌性、疲勞特性之焊接技術	2011	2016
13	奈米尺度之三維封裝技術	2013	2020
14	尺寸與形狀皆能控制在一奈米精確度之產業加工技術	2013	2019
15	能承受 500°C 以上溫差熱疲勞 (thermal fatigue) 之陶瓷與金屬接合技術	2012	2019
16	製造具有自我組織 (self-organization) 出之奈米級結構與特性之材料	2013	2021
17	低成本且便利性高之奈米尺度模型製造技術	2012	2019
18	不需 mRNA 與 tRNA 即可透過體外 (in-vitro) 序列控制來合成具選擇性結構之蛋白質	2014	2021
19	具發光表面之照明用有機高分子發光體	2011	2016
20	以再生資源取代傳統石化製程之高分子合成技術	2013	2020
21	以光作為能源直接將二氧化碳與水合成為塑膠之技術	2017	2026
22	以奈米結構控制技術來製造超塑性陶瓷	2013	2020
23	按照設計來製作奈米晶片結構之技術	2013	2021
24	以氣相表面塗層技術製造硬度比鑽石高的工具	2012	2019
25	於原子等級下自由控制結構以及表面和介面之特性	2014	2023
26	運用樹狀聚合物 (dendrimer) 來進行人工光合作用 (artificial photosynthesis)	2017	2028
27	高精密度之高分子聚合反應，得以任意控制分子等級之立體規則性、鏈結構造、分子體積及分佈性	2014	2023
28	可任意組合奈米級有機、無機、金屬等材料的技術	2015	2026
29	和人體骨骼大致相同機能之生物醫療用陶瓷	2012	2020
30	居里點 (Curie point) 高於室溫之全有機 (All-organic) 鐵磁性材料	2018	2028
31	室溫下具有與銅同等導電度和耐環境性的高分子材料	2016	2026
32	壓電率與 PZT(Pb(Zr, Ti) O ₃) 相當的無鉛鐵電材料	2013	2022
33	轉換點高於液態氮溫度的高分子超導材料	2019	2031
34	在 1200°C 的高溫(大氣)下可承受 15 kgf/mm ² (約 150MPa) 荷重 1000 小時之耐熱合金	2014	2024
35	轉換點 (transfer point) 在室溫或室溫以上的超導體	2022	2033
36	對異質結構 (heterostructure) 作奈米尺度之控制，得到最大磁能積 (BH) _{max} 等於或大於 400kJ/m ³ (50.3MGOe) 之異向性 (anisotropic) 奈米複合磁鐵	2016	2025
37	用於超大型積體電路且介電常數等於或小於 1.3 絕緣材料	2013	2020

NO	項目	技術 實踐 年份	社會應 用實踐 年份
38	轉換效率超過 20 % 以上之大面積非晶矽太陽電池	2012	2020
39	在奈米尺度之結構控制中顯現新機能或創新特性之有機和無機化合物材料	2013	2022
40	在必要的時間及地點可呈現實用、有意義的刺激-反應 (stimulus response) 機能之奈米材料	2014	2023
41	實用級半導體鑽石	2014	2022
42	由碳奈米管所製得之輕量複合結構材料	2012	2020
43	單電子記憶元件	2014	2025
44	以單分子和原子作為切換開關之元件	2017	2029
45	以蛋白質或 DNA 為元素之分子元件及感測器	2014	2026
46	10-12 秒等級的超高速光學轉換裝置	2013	2023
47	具有奈米級精密度之元件及感測器	2013	2022
48	在原子及分子等級下測量/控制自旋極化之技術	2014	2025
49	以布朗運動為動能之奈米機電系統 (NEMS)	2015	2027
50	奈米外科手術操縱器 (直接對生物分子操縱、切除、接合，加工的操縱)	2014	2025
51	操作頻率在 10 GHz 以上仍具有優越開/關特性之機械開關元件	2014	2023
52	多重奈米探針顯微分析、加工控制及操作技術，可對如奈米半導體元件、分子元件、奈米材料和 DNA 蛋白質...等生物分子之奈米級官能結構作多重感測與多重加工	2014	2023
53	探針陣列型感測元件具有足夠之靈敏度來偵測單一分子	2014	2024
54	於低溫環境下，將甲烷直接催化而產生氫氣	2013	2021
55	透過太陽光對水進行光催化分解反應來製備氫氣	2013	2022
56	取代傳統煉焦爐法，使用氫做還原劑來生產鐵	2013	2021
57	有助於解決地球環境問題的二氧化碳固定化觸媒	2014	2023
58	可以完全控制分離膜上的奈米孔洞	2013	2022
59	分子量約三萬之蛋白質可由其一級結構預測三級結構技術	2013	2022
60	發展出智慧型材料，以其所製成的致動器可於體內進行例如微型手術之醫療器材	2014	2022
61	以幹細胞培養出含有自體組織的混合式人工器官	2015	2024
62	由外部訊號引導之奈米載體系統，可將藥物與基因傳輸到體內標靶細胞	2013	2022
63	可用來取代動物實驗的細胞組織感測器 (由細胞和組織組成的生物感測器)	2013	2022

NO	項目	技術 實踐 年份	社會應 用實踐 年份
64	以人工培養的神經細胞網絡作為生物電腦用元件	2022	2033
65	可正確診斷癌症及重症的發病風險，並迅速提供治療資訊的生物晶片診斷系統	2012	2020
66	建立藥物傳輸系統 (DDS) 的膠囊材料和投予量的安全標準		2013
67	建立奈米粒子應用於化妝品，食品等消費產品的安全標準		2012
68	建立診斷用 DNA 晶片或蛋白質晶片之製造規格		2013
69	使用 DNA 標記的先進認證技術	2012	2020
70	利用與生體 (life form) 相同活性之蛋白質晶片來檢出病毒的技术	2013	2020

資料來源：“The 8th science and technology foresight survey”，NISTEP Report No.97, 2005, 本研究整理

3.2.4. 德國

1. 德國奈米科技研發機構介紹

德國目前較著重在奈米材料方面之奈米中心共有四個，運作情形大致如下：

- (1) NanoChem：該奈米化工中心設立於 Kaiserslautern 大學，主要任務係將奈米材料、粉末應用於工業製程，目前有 113 個會員。
- (2) UFS：該奈米中心位於德勒斯登 Fraunhofer 研究所，主要任務係將超薄功能表層應用於 CMOS 晶片上、分子生物、光學、感應器等，目前中心有 88 個會員。
- (3) UpOB：該奈米中心設立於 Braunschweig 之聯邦物理技術所 (PTB)，主要任務在於以機械或化學方式、離子射束、電漿等精準地製造特殊薄膜表層，目前該中心有 53 個會員。
- (4) Nanomat：該奈米中心位於 Karlsruhe，係由 Karlsruhe 研究中心結合德國 Karlsruhe、法國史特拉斯堡 (Strasbourg) 大學共同從事奈米材料之研究。

2. 德國奈米材料科技前瞻介紹

德國首次進行的德爾菲調查是 1992 年與日本聯合開展的，目的是與日本進行結果比較。第 2 次技術預測調查於 1998 年完成，共有 2000 多位來自企業、服務業、管理層、

高校和研究機構的專家和專業技術人員參加了調查，涉及 12 個領域的 1000 多項技術。其前瞻計畫為部會層級，每階段對特定領域推動發展。此外在 2001 年由國家部門-德國教育研究部(BMBF)發起 Future 討論會議，試圖確認未來的社會需要與研究議題，讓科技結合生活卓越發展。

德國教育與科研部 (BMBF) 於 2004 年 3 月發表奈米科技研究發展的前瞻報告。報告首先介紹了奈米科技及其產品，而後介紹德國與奈米科技相關的科學、經濟和政治等方面的現狀，最後闡述了德國奈米科技的未來佈局，包括未來 10 年的發展與應用領域遠景，並且提及 BMBF 在推動奈米科技的新策略調整。在未來佈局與策略調整方案包含四大方面：(1)透過研發來開拓奈米科技的市場與就業市場潛力；(2)推動奈米科技專業資格培訓；(3)把握機會與前景，避開危機；(4)對奈米科技促進計畫評估。表 9 為 BMBF 在 1995 年 Mini Delphi 研究奈米材料科技議題與預估實現時間。

表 13 德國 1995 Mini Delphi 研究奈米材料科技議題

	section: 認知系統、人工智慧和奈米科技、微系統科技 subsection: 奈米科技	實踐期間
1	功能性材料和(或)半導體元件其組成和參雜密度廣泛的以原子層尺度作控制	2006-2010
3	利用原子層不同型式的鍵結開發具有新功能的物質之方法(例如高分子結晶的弱鍵結)	2006-2010
4	可預測性質的奈米結構材料將被量產	2001-2005
5	藉由開發單層分子控制來製造有機氫鍵組成材料	2006-2010
6	有機無機組成材料(生醫)其元件在幾個到數十奈米尺度	2001-2010
7	藉由高解析度表面分析方法來分類特定類型原子	2001-2005
8	原子功能元件(原子手錶,原子傳遞電晶體等可藉由一些分子的移動來達成邏輯 and/or 的儲存功能)將被實際應用,並且比固態元件具有更高的可信度和處理速度	2011-2015
9	藉由掃描式穿隧顯微鏡在原子或分子尺度下對單獨原子或分子做反應和合成的方法	2006-2010
11	自組裝有機分子材料	2006-2010

資料來源：” Delphi-Bericht 1995 zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik-Mini-Delphi.” BMBF, Bonn,1996, 本研究整理

3.2.5. 丹麥

1. 丹麥奈米材料科技前瞻介紹

丹麥的科學、技術與創新部(The Ministry of Science, Technology and Innovation)成立是丹麥創新系統治理中的重要事件，此舉將丹麥的大學、研究與創新政策、IT 與通訊產業整合至同一行政部門(原屬三個部會管轄)，目的是為了在建立知識社會的過程中，強化力量與創造不同領域間的一致性，整個系統分為「政府研究體系」與「技術服務體系」兩個子系統，總計有 22 個政府研究機構，11 個技術服務機構(GTS)，而 2002 年技術與創新政策行動方案中包含了技術前瞻。

丹麥的 2004 年奈米前瞻著重在領域與議題的選擇。其進行技術前瞻的基本原則，則是希望能夠儘量涵蓋丹麥與奈米決策重要關係人為目標，而其主要步驟包括：國際間技術前瞻對於奈米相關結果的比較、丹麥奈米科學及奈米技術主要關鍵角色分析、廣泛地蒐羅有興趣單位、專家撰寫分析報告、針對專家報告召開工作會議、分析奈米技術動態創新情形、調查環境與道德議題的影響及公眾群體討論等等，最後還先行提出初步的行動方案，並交與 200 多個有興趣的單位進行最後的可靠度(robustness)檢視。

此奈米前瞻剛開始制訂了前瞻範圍包括：奈米生醫、奈米材料與奈米電子。從這三大範圍，藉由廣泛地收集專家分析報告和針對專家報告召開的工作會議，制訂議題，討論出專家認為重要的議題與執行計畫，表 14 列出奈米材料議題。另外為配合丹麥產業需求、研發強度和潛力，以及全球產業及社會重要度，制訂七個高優先技術領域，是適合丹麥的技術發展與產業應用和社會利益(如表 15)。

表 14 丹麥奈米材料前瞻領域類別對行動計畫的影響

process →			
主要分類	議題	專家認為重要議題	執行計畫
奈米材料	奈米相和奈米結晶材料 -熱電材料 -塑料電子 -高分子 -奈米結構表面 奈米粒子 -催化劑 -燃料電池 -顏料 -磁性奈米粒子 鍍膜和表面處理 奈米纖維和組成 奈米管 奈米孔洞材料 奈米結構材料 自組裝系統 特性分析和模型製造	奈米粒子--催化劑 奈米粒子--能源 奈米相和奈米結晶材料 高分子 鍍膜和表面處理 特性分析和模型製造	高優先: 奈米醫療和藥物輸送 生體相容性材料 新功能性質奈米材料 奈米催化劑和氫科技 奈米感測器和奈米流體 塑料電子 奈米光學和奈米光子 長期承諾: 自組裝系統 半導體量子點 分子電子學 奈米管和奈米纖維 自旋電子 磁性奈米材料 熱電材料

資料來源：Technology Foresight on Danish Nano-Science and Nano-Technology, 2005, 本研究整理

表 15 丹麥奈米前瞻對奈米材料高優先領域作可能舉例描述

生體相容性材料	
1	發展奈米結構電子傳導應用在修復有缺陷的神經元的奈米生物科技
2	發展應用具有生物性質的合成表面用於移植,填補和與人體細胞或組織長期接觸的醫療科技儀器
3	奈米設計表面以助長/防止細菌或藻類生長(防污)
塑料電子	
4	實際應用高分子電子(顯示器與感測器)整合封裝 使的監測一般狀況和貨物運送情況及儲存變的可能
5	高分子電晶體整合進主要以健康分析功能的一次性裝備實際應用

6	多色彩塑料顯示器取代液晶顯示器的實際應用
7	使用高分子 FETs 來做 RFID 標籤的實際應用
8	使用高分子電子和高分子光學來做太陽能電池科技的實際應用
奈米光學和奈米光子	
9	縱向微結構纖維應用於高功率雷射(焊接,大型顯示器光源等), 超長時發電機和特殊功用光通訊系統,手錶等
10	整合光子能隙,光學電路實際應用於高密度,低價奈米/微結構飛機用元件 應用於 fibre-to-home 和感測器
11	發展新感測器或光學手錶建基於光子晶體光纖的精密結構填充 (液體,塗層或液晶)
12	利用內建非線性光學元件的 PBG 結構來做簡單訊號處理 (編碼,波長演算,四波混頻和光學相位共軛)
奈米催化劑和氫科技	
13	特定催化劑和其他功能奈米材料在 in situ 方法,理論方法和相似的實際應用
14	使用奈米科技/奈米粒子的新材料作化學形式氫儲存 (甲烷,甲醇或氫水或以金屬混成形式)
15	實踐階段的新,便宜的長壽命固體氧化物燃料電池(SOFCs)和質子交換膜燃料電池(PEM)
16	發展和改進催化劑使的天然酵素可以在低溫低壓使用(efficient)
17	特定催化劑用於消除自然界中自組織的試劑,催化劑和產品釋放的污染物質之奈米系統實際 應用
新功能性質奈米材料	
18	合金及陶瓷材料具有非常小晶粒尺寸的的結晶 (高強度和很好的可靠度 workability)用於高價產品 從微觀到巨觀,從殖入到運動裝備
19	奈米組成比純高分子更強熱穩定度及化學抵抗性更好的材料 藉由改進耐蝕性,吸收聲音,製造元件的加強和可回收性
20	高分子纖維在織品和衛生工業中製造織品和非織品的實際應用
21	藉由具化學機能的建築達到發展具有內建功能的新型鍍膜 藉由奈米粒子或奈米結構的拓樸學
22	嵌段共聚物用於發展自修復表面 (材料本身會自動檢察暴露在外嵌段的正確功能)
23	奈米孔洞材料用於食物和飲料工業的過濾材料
24	發展奈米尺度結構性能具有根本性進展的熱電材料用於冷卻和能源產生

資料來源：Technology Foresight on Danish Nano-Science and Nano-Technology, 本研究整理

第四章、 研究方法

4.1. 研究進行步驟說明

第一階段：台灣奈米材料前瞻研究調查前期

本階段主要是確定台灣奈米材料前瞻調查之定位與目標，以挑選合適產、學、研界奈米相關之領域專家，共計 443 位我國在奈米相關領域專家建立專家名單網路，為第一階段德菲法問卷調查作準備，表 16 為產業與學研界之專家比例，圖 4 為學研界各單位專家比例；另外蒐集國內外有關奈米材料前瞻之相關文獻；透過國內外奈米材料前瞻計劃蒐集預先擬定調查技術項目。

表 16 產學研專家名單比例

	人數	比例
產業界	93	21.0%
學研界	350	79.0%

資料來源：本研究整理

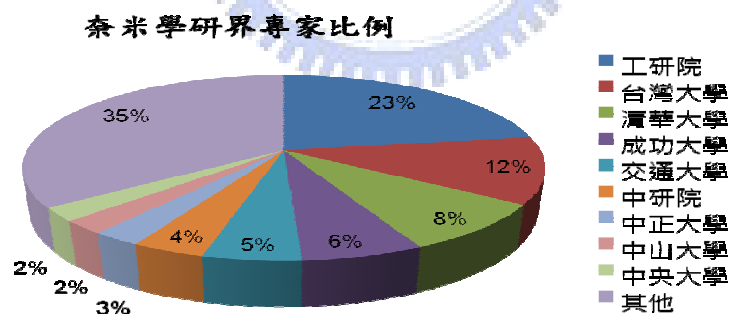


圖 4 學研界各單位專家比例

資料來源：本研究整理

第二階段：台灣奈米材料前瞻調查實施

本階段主要是建立台灣奈米材料前瞻研究之奈米材料領域和欲評估技術清單，並建立評估指標體系；運用第一階段之專家名單進行第一回合德菲法問卷發送。

待第一回合問卷回收完成進行統計，由統計結果與第一回合專家意見，做第二回合問卷修整，隨後發放第二回合問卷；第二回合回收完成進行統計分析，得到收斂結果，因此德菲法問卷完成。依照問卷結果將欲評估之技術清單依照優先順序排列，以及各技術成熟期之預估，預測清單中技術在該領域所佔之地位。

第三階段：台灣奈米材料前瞻調查後期

問卷統計分析完成後，召開台灣奈米材料前瞻專家座談會，與專家討論問卷結果和台灣奈米發展趨勢以及政策如何因應趨勢，並請專家擬具體建議，就促進這些關鍵技術的方法與政策，另外提供德爾菲操作方式改良之建議。



4.2. 問卷內容設計

4.1.1. 欲評估技術清單

1. 預測時間點：以 2020 年的台灣奈米材料技術與產業發展作為評估的時間點

德菲法調查時間的分布軸可長可短，長可達到 20 年之久，但因技術預測的時間點越遠，專家的觀點與認知便會越模糊，而產業可預測之時間又較技術層面更加短程，以產業面來看，過長的預測時間無法正確估出是否能夠產業化，所做出結果也會越趨於空泛。產業技術預測以 10 年較為恰當，應屬專家可預測之時間，為強化問卷結果，因此將本德菲問卷的預測時間點，擬訂在 2020 年之台灣奈米產業的發展。

2. 定位點：強調技術發展與產業應用

尋找台灣現有的利基奈米材料領域與有潛力之發展領域，以奈米國家型科技計畫之架構了解台灣現有與發展中之奈米材料相關計畫；以產業和市場觀點，以國家工業發展之產值、競爭力和企業生存之機會的觀點切入，尋求利基領域；並以台灣未來發展與市場需求面發展的角度找出最具有未來競爭力之奈米材料領域。

3. 領域分類

每一個國家的德菲問卷做法不盡相同，以日本而言，從 1970 年起每五年作一次前瞻計畫，分類手法以新技術或是新製品作為大分類，其後依相關領域在該領域下做中分類，最後是細項調查項目。本問卷領域設計方法同採德菲法與日本相似。因奈米材料涵蓋範圍廣泛，為使奈米材料前瞻調查焦點集中，以問卷的定位點，參考國外奈米材料前瞻調查經驗與國內奈米相關技術發展報告如「奈米國家型科技計畫分項計畫書」與「奈米材料技術地圖」，再與核心專家做 panel discussion 後，以奈米材料領域「奈米粉體製造技術」、「奈米模板製造技術」、「自組裝奈米結構技術」、「奈米複合材料技術」和「奈米結構性能及製程模擬」為主，將欲評估技術清單之技術整理，第一階段合計共有 26 個調查項目，奈米材料技術清單如表 17。

表 17 第一回合奈米材料相關技術清單列表

奈米科技分類	子項目	調查項目
奈米材料相關技術	奈米粉體製造技術	奈米金屬微粒溶膠合成技術
		奈米金屬微粒鍍膜材料及元件開發
		高分子奈米粉體製造與包裝技術
		奈米碳球合成、包覆及表面處理技術
	奈米模板製造技術	高均勻度奈米模板製造技術
		一維奈米材料配向控制技術
		多元奈米結構/同軸層奈米管成長控制技術
		高分子與碳模板製造技術
		高分子與碳模板合成與能源儲存應用
	自組裝奈米結構技術	陶瓷基板表面自組裝奈米結構製作技術
		自組裝奈米結構光電元件技術
		自組裝奈米觸媒電極材料製作
		三維光子晶體材料自組裝技術
		自組裝高分子與超分子材料光通訊應用
	奈米複合材料技術	奈米微孔洞複合材料
		高分子奈米複合材料製造技術
		奈米構型表面元件
		高分子光學顯示基板材料合成
		高分子光學顯示薄膜應用製程技術
	奈米結構性能及製程模擬	奈米結構性能模擬
		奈米高分子
		奈米有機無機複合材料
		奈米元件特性
		奈米結構製程模擬
		奈米球、管、多層膜形成
		定址奈米結構形成

資料來源：本研究整理

4.1.2. 問卷內容評估指標設計

參考先進國家奈米材料相關前瞻報告之問卷指標設計，可看出有些指標，如研發成

熟期、國家在該技術之競爭力等均為各國常用之問卷項目。但台灣有自身之特色與自己的經濟面、產業面與發展方向，且台灣奈米技術之研發成果如何被產業落實，如何將台灣以製造為主的製造業，帶向更高附加價值之技術服務業，其間的瓶頸與挑戰等，都是台灣特別需要關切的討論議題。

考量國家型計畫多是為了台灣三年至五年後的產業發展而擬定，台灣奈米材料前瞻則是考慮 2020 年台灣奈米材料前瞻的發展面貌，進而推回現在的技術狀況，由回推的方式讓我們瞭解台灣的強處與如何驅凶避吉。

本評估指標參考國內外奈米材料前瞻方式與符合我國在地發展之方式，最後聚焦討論影響台灣奈米材料發展的因素有哪些？以「現況」、「研發成熟期」與「2020 年之技術發展」作為三個層面進行評估，共計九項，不考慮非經濟因素，思考與評估台灣 2020 年之奈米材料前瞻趨勢。評估指標架構如圖 5。唯「未來瓶頸與挑戰項目」因考量因素較多額外增設附問卷 2 以子項目技術來調查。表 18 為台灣奈米材料前瞻評估指標體系。另外，考量問卷奈米材料領域技術項目每一項皆十分專業，因此增加「您對此技術的熟悉度」，讓專家可以依自身專業填寫，避免技術項目清單過多造成專家困擾與增加回收之準確度。



圖 5 台灣奈米材料前瞻評估指標架構

資料來源：本研究整理

表 18 台灣奈米材料前瞻研究調查評估指標體系

現況	目前技術成熟度*	
	我國在該專業領域人才之充足程度*	
研發成熟期	2007~2010 年	
	2010~2015 年	
	2015~2020 年	
	2020 年之後	
2020 年之技術發展	技術發展之進入障礙高低*	
	我國在本技術之競爭力*	
	研發平台的完整性高低*	
	技術產業化應用之程度*	
	技術發展趨勢	獨立發展
		國外引進
		專業代工
		策略聯盟
	瓶頸與限制條件	生產設備
		生產技術
		經濟規模
		政府政策
市場需求		
	專業人才	

資料來源：本研究整理

表 18 中間卷評估體系中間卷項目標示 ”*” 者為請專家用分數(1 至 5 分)表示預估程度，1 為低，2 為稍低，3 為中等，4 為稍高，5 表示高。而研發成熟期是請專家勾選最可能發生之時間區間，”技術發展趨勢”與”瓶頸與限制條件”則是請專家勾選意見。

問卷設計後，待問卷回收後專家意見達到收斂，便可以探討那些奈米科技是我國應著力的領域，而在政策上政府又應該有何種配套，如哪些領域是人才不足，又每個不同奈米技術有其適當的發展趨勢，而從現在出發如何達成這些需求？

4.3. 問卷資料彙集與處理

台灣奈米材料前瞻問卷採德菲法調查，分成兩階段進行專家問卷調查，程序概略為

- 1.第一回合發放與回收；
- 2.問卷資料統計與參考專家問卷回饋建議設計第二回合問卷；
- 3.第二回合問卷發放並附上第一回合之問卷統計。詳細介紹如下：

一、 問卷發放、回收與彙整

第一回合問卷發放總計 443 份，回收 83 份，回收率 18.74%，回收問卷中，學研界專家佔 73%，產業界專家佔 27%，其中大部分為聯絡不到、婉拒填寫或是答應填寫但未回覆，除郵寄問卷外，問卷發放後並寄電子郵件通知專家(但有些專家的郵件地址已不存在)，另外再進行電話跟催，作法為在問卷寄出三天後開始以電話聯繫以提高回收率，過程中與專家聯絡得到一些對問卷設計之回應如下：

1. 因問卷技術項目與評估指標十分深入，擔心自身專業不足導致問卷統計結果不足採信而婉拒填答。
2. 問卷發放與期望回收時程較短，故無法有充分時間作答。
3. 問卷設計評估項目很有建設性，但因專家多為理工背景或研發單位人員，專注技術研發與精進，對於產業或市場面資訊較為缺乏，認為發展趨勢他們並不瞭解；而產業界專家則多無這項疑慮，但由於產業界專家工作繁忙，聯絡不易，因此回收率較低。
4. 多數專家，尤其業界專家對單一領域十分精通，但對其他技術領域認為不夠熟稔，認為不便填答。但在電話中強調有技術熟悉度之項目可供專家填寫後，方解除專家之疑慮。
5. 認為技術項目過多，填答時間不足，建議將技術項目縮減，以利之後之問卷進行。

問卷回收過程中，有些專家並未照預期之方式回覆，最多的問題在於遺漏填寫「您對此技術的熟悉度」該項，因每份問卷皆有編號，因此在確定編號，電話聯絡專家後，請其補充該項目分數，順利解決這項問題。

第二回合發放因考量第一回合之專家意見與發放回收時程，故將奈米材料科技技術項目清單做縮減，因對我國競爭力越大之技術應屬對台灣奈米材料前瞻較重要之技術，與奈米發展趨勢研究小組討論後，依照「我國在本技術之競爭力」，挑選出對我國奈米科技發展競爭力較大之技術項目，進行第二回合問卷調查，並附上第一回合之統計結果（包含平均值、第一與第二眾數和分配率）以利第二回合問卷調查之進行。第二回合依照我國較有競爭力之奈米技術清單如表 19。第二回合共計發放 83 份，回收 71 份，回收率 85.54%，產業界專家佔 24%，學研界專家佔 76%。

表 19 第二回合奈米材料相關技術清單列表

分類	子項目	調查項目
奈米材料 相關技術	奈米粉體製造技術	奈米金屬微粒鍍膜材料及元件開發
		高分子奈米粉體製造與包裝技術
	奈米模板製造技術	高均勻度奈米模板製造技術
		高分子與碳模板製造技術
		高分子與碳模板合成與能源儲存應用
	自組裝奈米結構技術	陶瓷基板表面自組裝奈米結構製作技術
		自組裝高分子與超分子材料光通訊應用
	奈米複合材料技術	高分子奈米複合材料製造技術
		高分子光學顯示基板材料合成
		高分子光學顯示薄膜應用製程技術
	奈米結構性能及製程模擬	奈米高分子
		奈米有機無機複合材料
		奈米球、管、多層膜形成

資料來源：本研究整理

二、 資料統計與處理

德菲法問卷回收後，在資料統計採用 Microsoft Office Excel 試算表進行統計計算。填入回收問卷之該項技術之資料，並予以統計，依「您對此技術的熟悉度」評估項當作權重，填 5 分計算權重 1；4 分計算權重為 0.75；3 分計算權重為 0.5，填 2 分以下者不予考慮。依照權重統計出平均值、眾數和標準差和分配率（勾選的評估選項），第一回

合得平均標準差 1.09，而第二回合平均標準差得 0.74，因標準差越小代表意見越收斂，故德菲法問卷兩回合達成收斂效果。



第五章、 實證研究分析

針對台灣奈米材料前瞻所做德菲法評估，在各奈米技術領域以「現況」、「研發成熟期」與「2020 年之技術發展」作為三個層面進行評估，本章將以現況解析、發展領域、預測發展時程等解析台灣奈米科技發展趨勢，並以所面臨之困境和整體趨勢，召集 25 位專家舉行奈米科技發展趨勢專家座談會，共同探討以上之議題，並對現今奈米科技相關政策做出分析與建議。

5.1. 台灣奈米材料發展現況解析

針對所有本研究兩回合德菲法調查之奈材料相關技術，統計所得出的各領域技術的發展現況，以目前技術成熟度與我國在該專業領域人才之充足程度來作為現況發展表示，強調目前技術能力與台灣人才的重要性。表 20 為奈米材料之技術能力排名，每個子項目中，依目前技術能力最高排至低。表 21 為以子項目區分我國在該專業領域人才之充足程度之排名。評估值越高代表技術目前成熟與該領域專業人才程度越充足。

由表 20 與表 21 可看出，奈米材料領域中以奈米粉體製造技術與奈米複合材料技術為目前較為成熟且人才充足度也相對較高之技術，而自組裝奈米結構技術是之中專家認為最不成熟且人才充足度最低的子領域。

表 20 奈米材料依各子領域目前技術成熟度排序

分類	子項目	調查項目	現況			
			目前技術成熟度			
			平均	眾數	子項目平均	
奈米材料相關技術	奈米粉體製造技術	奈米金屬微粒鍍膜材料及元件開發	3.7	4	3.6	
		高分子奈米粉體製造與包裝技術	3.6	3		
	奈米模板製造技術	高均勻度奈米模板製造技術	3.1	3	2.8	
		高分子與碳模板製造技術	3	3		
		高分子與碳模板合成與能源儲存應用	2.4	2		
	自組裝奈米結構技術	陶瓷基板表面自組裝奈米結構製作技術	2.5	2	2.4	
		自組裝高分子與超分子材料光通訊應用	2.2	2		
	奈米複合材料技術	奈米複合材料技術	高分子奈米複合材料製造技術	3.7	4	3.3
			高分子光學顯示薄膜應用製程技術	3.2	3	
			高分子光學顯示基板材料合成	2.9	3	
奈米結構性能及製程模擬	奈米結構性能及製程模擬	奈米高分子	3.2	3	3.1	
		奈米球、管、多層膜形成	3.2	3		
		奈米有機無機複合材料	2.9	3		

資料來源：本研究整理

註：評分標準為 1.低，2.稍低，3.中等，4.稍高，5.高

表 21 三大分類依各子領域我國在該專業領域人才充足程度排序

分類	子項目	調查項目	現況			
			我國在該專業領域人才之充足程度			
			平均	眾數	子項目平均	
奈米材料相關技術	奈米粉體製造技術	高分子奈米粉體製造與包裝技術	3.5	4	3.4	
		奈米金屬微粒鍍膜材料及元件開發	3.3	3		
	奈米模板製造技術	高均勻度奈米模板製造技術	2.9	3	2.6	
		高分子與碳模板製造技術	2.7	3		
		高分子與碳模板合成與能源儲存應用	2.3	2		
	自組裝奈米結構技術	自組裝高分子與超分子材料光通訊應用	2.5	2	2.4	
		陶瓷基板表面自組裝奈米結構製作技術	2.3	2		
	奈米複合材料技術	奈米複合材料技術	高分子奈米複合材料製造技術	3.6	4	3.4
			高分子光學顯示基板材料合成	3.3	3	
			高分子光學顯示薄膜應用製程技術	3.2	3	
	奈米結構性能及製程模擬	奈米結構性能及製程模擬	奈米高分子	3.4	3	3
			奈米有機無機複合材料	2.9	3	
奈米球、管、多層膜形成			2.8	3		

資料來源：本研究整理

註：評分標準為 1.低，2.稍低，3.中等，4.稍高，5.高

5.2. 台灣奈米材料技術發展時程預測

本研究所設立之時間點為預測 2007 年至 2020 年台灣奈米材料前瞻調查，因此在奈米材料調查項目選擇上採未來十餘年對台灣影響較劇之奈米材料技術，經過兩回合德菲法統計後，以最多專家認為之研發成熟時程為依據，發展出奈米材料領域之研發成熟時程圖，奈米材料相關技術發展時程如圖 6。

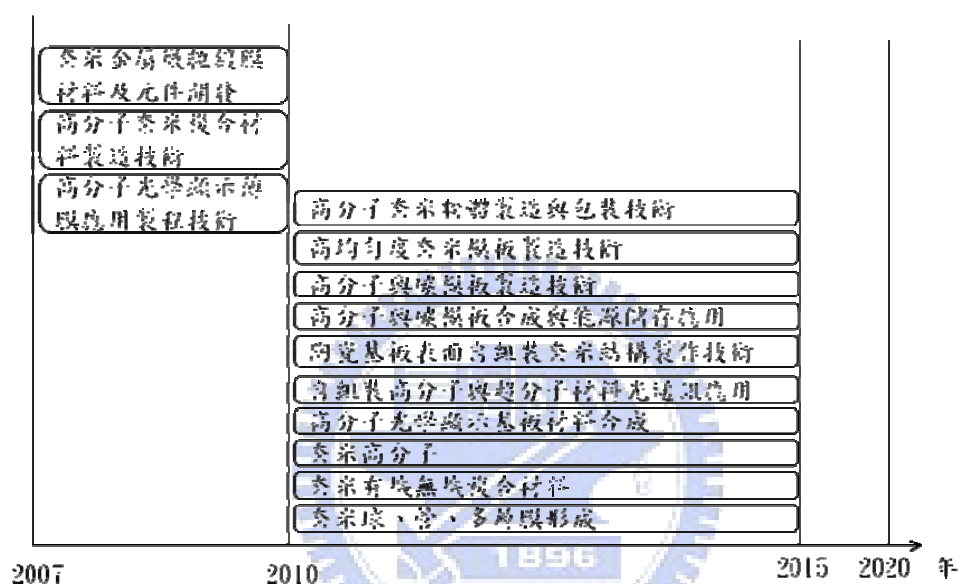


圖 6 奈米材料相關技術發展時程圖

資料來源：本研究整理

由問卷統計之發展時程圖可看出，在奈米材料領域裡，專家群認為奈米粉體製造技術與奈米複合材料技術將在 2007 至 2010 年達到研發成熟，其餘奈米材料相關技術則會在 2010 至 2015 年達到研發成熟。

在台灣奈米科技發展趨勢專家座談會中顯示此問卷結果，專家表示因調查專家以學研界所佔的比例較高（第二回合學研界專家佔 76%），此結果專家群可能以實驗室研發成熟來預估，而若以產業量產成熟時期來預估，則發展時程應會再延後。

5.3. 台灣奈米材料技術未來發展趨勢解析（2007年-2020年）

台灣奈米材料技術整體趨勢可從問卷中評估項目的技術發展及技術發展趨勢之統計結果呈現。表 22 為奈米材料之技術發展評分。預測 2020 年奈米材料科技之技術發展，奈米材料領域我國競爭力最高之前三技術依序為高分子光學顯示薄膜應用製程技術、高分子光學顯示基板材料合成與高分子奈米複合材料製造技術。

表 22 奈米材料之技術發展評估表

奈米材料子項目	調查項目	2020 年之技術發展							
		技術發展之進入障礙高低		我國在本國技術之競爭力		研發平台的完整性高低		技術產業化應用之程度	
		平均	子項目平均	平均	子項目平均	平均	子項目平均	平均	子項目平均
奈米粉體製造技術	奈米金屬微粒鍍膜材料及元件開發	2.9	2.8	3.3	3.4	3.4	3.3	3.7	3.8
	高分子奈米粉體製造與包裝技術	2.8		3.4		3.2		3.8	
奈米模板製造技術	高均勻度奈米模板製造技術	3.4	3.4	3.1	3.1	2.9	2.9	3.2	3.2
	高分子與碳模板製造技術	3.1		3.2		2.8		3.3	
	高分子與碳模板合成與能源儲存應用	3.6		3.1		2.9		3.1	
自組裝奈米結構技術	陶瓷基板表面自組裝奈米結構製作技術	3.5	3.5	2.7	2.6	2.5	2.4	2.5	2.4
	自組裝高分子與超分子材料光通訊應用	3.6		2.5		2.4		2.3	
奈米複合材料技術	高分子奈米複合材料製造技術	2.9	3	3.6	3.6	3.4	3.4	3.8	3.9
	高分子光學顯示基板材料合成	3.1		3.6		3.4		3.8	
	高分子光學顯示薄膜應用製程技術	3.1		3.7		3.4		4.1	
奈米結構性能及製程模擬	奈米高分子	2.8	2.8	3.3	3.1	3.3	3.1	3.3	3.2
	奈米有機無機複合材料	2.7		3		3		3.5	
	奈米球、管、多層膜形成	3		2.9		2.9		2.8	

資料來源：本研究整理

註：評分標準為 1.低，2.稍低，3.中等，4.稍高，5.高

表 23 為奈米材料之發展趨勢，專家針對每個技術勾選其認為適合未來發展趨勢之

項目。專家群對該技術勾選之分配率用百分比表示，分配率越高者，代表專家群認為未來此技術越適合朝該方向發展。在奈米材料領域裡，專家群認為 2020 年的奈米粉體製造與複合材料技術宜走向獨立發展，也呼應到前面專家認為此兩類技術是目前較成熟且台灣競爭力較高的技術，而其他技術則宜國外引進。在「台灣奈米材料前瞻專家座談會」討論以上結果，專家們認為此結果與調查專家多為學研界專家有關，實際上產業技術發展常以國外技術為基礎，因此也可看出許多技術國外引進仍是專家認為未來發展之方向，但策略聯盟應也是未來之發展重點項目。

表 23 奈米材料發展趨勢評估表

奈米材料子項目	調查項目	2020 年之技術發展							
		技術發展趨勢							
		獨立發展		國外引進		專業代工		策略聯盟	
		分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均
奈米粉體製造技術	奈米金屬微粒鍍膜材料及元件開發	42%	42%	31%	30%	11%	13%	16%	14%
	高分子奈米粉體製造與包裝技術	42%		30%		16%		12%	
奈米模板製造技術	高均勻度奈米模板製造技術	45%	39%	45%	47%	3%	4%	8%	9%
	高分子與碳模板製造技術	38%		45%		8%		10%	
	高分子與碳模板合成與能源儲存應用	34%		53%		3%		11%	
自組裝奈米結構技術	陶瓷基板表面自組裝奈米結構製作技術	28%	30%	57%	51%	11%	9%	4%	9%
	自組裝高分子與超分子材料光通訊應用	32%		46%		8%		14%	
奈米複合材料技術	高分子奈米複合材料製造技術	47%	43%	30%	32%	9%	8%	15%	18%
	高分子光學顯示基板材料合成	41%		33%		8%		18%	
	高分子光學顯示薄膜應用製程技術	40%		33%		8%		19%	
奈米結構性能及製程模擬	奈米高分子	40%	38%	40%	40%	2%	1%	17%	21%
	奈米有機無機複合材料	45%		31%		0%		24%	
	奈米球、管、多層膜形成	29%		49%		0%		22%	

資料來源：本研究整理

5.4. 目前台灣奈米材料科技發展所面臨之困境

為瞭解台灣奈米材料技術發展尚須產、官、學、研之各方面的配合，而這些奈米材料技術如何在地生根自主，如要產業發展未來至 2020 年可能會面臨之瓶頸與限制條件為何？根據兩回合德菲法調查後，專家群意見如表 24，將每一技術專家所勾選之瓶頸與限制條件做合計，並統計專家認為該技術之瓶頸與限制條件之分配率，分配百分比越高者代表專家群認為該技術越可能面臨之瓶頸與限制條件。

表 24 台灣奈米材料技術發展所面臨之瓶頸與限制條件

奈米科技分類	子項目	生產設備		生產技術		經濟規模		政府政策		市場需求		專業人才	
		百分比	平均百分比	百分比	平均百分比	百分比	平均百分比	百分比	平均百分比	百分比	平均百分比	百分比	平均百分比
奈米材料相關技術	奈米粉體製造技術	8%	7%	23%	24%	32%	21%	10%	6%	23%	26%	5%	15%
	奈米模板製造技術	14%		35%		14%		4%		28%		5%	
	自組裝奈米結構技術	6%		32%		15%		3%		28%		16%	
	奈米複合材料技術	3%		18%		29%		8%		29%		13%	
	奈米結構性能及製程模擬	5%		12%		16%		7%		22%		38%	

資料來源：本研究整理

由表 24 可看出，專家們認為對奈米粉體製造技術和奈米複合材料技術而言，經濟規模為其瓶頸；奈米模版製造技術和自組裝奈米結構技術最大瓶頸是在生產技術；而奈米結構性能及製程模擬對大的瓶頸則是在專業專業人才的不足。

5.5. 台灣奈米材料技術發展評估

台灣奈米材料前瞻德菲法問卷統計完成後，於 2007 年 11 月 28 日召開台灣奈米材料前瞻專家座談會，共計有 25 位產學研奈米材料領域專家參與討論，根據問卷統計資料與排序，並以本身所處專家領域與知識，提供專業性的彙整意見。對台灣奈米材料科技領域的發展機會與領域選擇給予評估意見。表 25 為參加座談會之專家名單。

表 25 「台灣奈米材料科技發展」座談會專家名單

姓名	工作單位	職稱
楊錦添	工研院電光所	工程師
李孝貽	高應大	教授
吳明俊	凱帝國通商	工程師
蕭弘毅	工研院材化所	工程師
萬其超	清大化工系	教授
張家耀	工研院南分院	研究員
黃贛麟	工研院南分院	研究員
江若蕙	工研院奈米中心	經理
蔡子健	工研院	助理工程師
賴杰隆	工研院所先進製造核心技術組	工程師
趙以諾	工研院	工程師
周家緯	工研院	助理工程師
陳凱原	瑋璿科技	經理
李傳英	工研院	副組長
楊文賢	工研院機械所	副研究員
楊子毅	工研院能環所	副研究員
金重勳	逢甲材料系	教授

姓名	工作單位	職稱
鄭世裕	工研院材化所	研究主任
孫文賢	工研院奈米中心	研究員
張高德	工研院奈米中心	研究員
蔡虹俞	工研院	助理工程師
張明智	工研院奈米中心	經理
劉佳明	工研院材化所	組長
蘇志杰	工研院先進製造核心技術組 奈米材料製程設備技術部	副工程師
戴維倫	工研院	副研究員

資料來源：本研究整理

此會議對奈米材料各領域發展，專家依照統計結果與自身專業，從台灣奈米材料科技與產業發展以及未來 2020 年台灣奈米材料之技術前景，提出具引領性、衝擊性(包含正、負面)及整合性之奈米材料技術未來發展趨勢，所評估之意見如下：

- 做材料基礎研究的部分，由統計看來，大多傾向獨立發展與國外引進，反而較少策略聯盟，這或許是我們發展上的盲點。產業技術的發展常以國外既有的技術為基礎，藉由引進或聯盟方式來發展，因此國外引進仍是重點，策略聯盟是重要項目。
- 統計現況可發現，奈米材料相對於學研發展較為成熟，且較有機會轉向量產。
- 奈米複材的確是台灣發展完整且有成績的領域，且其技術可擴展與軟性電子結合，將是未來重點。奈米材料技術與軟性電子的結合，將會爆出光亮的火花。軟性電子的發展必定是未來台灣科技發展的重點，因此可以朝向產業趨勢的走向加強並尋求解決。

- 合理情況，材料開發的人才與技術成熟期應領先應用端，但本統計顯示在電子半導體與生醫領域對人才與技術的成熟期估計領先，或許是產業界評估的材料是有國外直接技轉來的。
- 材料為產品的基礎，對關鍵性材料開發以及其奈米科技的可行改善方式應該是產業要多著墨的技術發展方向，且上游材料(奈米材料)的發展應與下游的應用項目配合。以上中下游來討論，未來上游產業發展機會較大，但沒有向下發展，易導致擁有良好產品，卻沒有市場，因此除了投入上游開發，仍需考慮產品及新技術之建立，未來才有機會提升台灣技術能力。
- 新技術新產品對於公共利益的轉移和開發教育資源，熟練之勞動力與科技，以支持奈米等技術之基礎建設，與奈米安全性/可靠性等部分乃台灣發展奈米科技未來的關鍵因素。
- 針對台灣的產業獨特性，專注特定的領域來發展是比較重要的，因此植基於既有的產業基礎上，發展自己(台灣)特有的技術及產業。
- 奈米材料科技之發展趨勢應就台灣本身之核心技術能力加以佈局，開發一些較上位與原型之專利，集中某些資源在特定之研發項目上，加以開發。
- 從統計數據可知，奈米材料技術的瓶頸在於量產化技術的建立及發展，未來應該跨領域結合，例如奈米材料常與奈米電子及奈米生醫技術相關聯，相互結合可促進整體發展。
- 台灣奈米產業趨勢之發展應以目前產業優勢之延伸為主，此外，人才為創新技術與經濟成長之本，奈米產業發展之基礎在於國內人才之積極培養應為未來發展趨勢。

第六章、 結論與建議

本章基於先前章節介紹與研究之奈米材料未來發展趨勢做一總結，提出在現階段需要哪些奈米科技政策來促進奈米材料技術與產業之健全發展之建議。最後提出對於以德爾菲操作前瞻研究之後續研究建議。

6.1. 結論

近年來許多國家採用科技前瞻的方法來協助相關技術決策的進行，透過科學性、系統性的資訊彙整與分析過程，將所得結果作為國家研發與創新投入資源配置的參考。本研究透過瞭解技術預測與前瞻的過程，學習德爾菲法操作方式，另外蒐集各重要國家奈米材料前瞻研究之重要議題與執行方法，在與專家討論過後，訂定本研究台灣奈米材料前瞻之探討議題與評估指標。

研究結果顯示，奈米材料領域中以奈米粉體製造技術與奈米複合材料技術為目前較為成熟且人才充足度也相對較高之技術，而自組裝奈米結構技術是之中專家認為最不成熟且人才充足度最低的子領域。

奈米材料的發展時程，專家群認為奈米粉體製造技術與奈米複合材料技術將在 2007 至 2010 年達到研發成熟，其餘奈米材料相關技術則會在 2010 至 2015 年達到研發成熟，而在專家座談會中有專家指出本次參與問卷之專家大多為學研界，實際上從研發成熟到市場應用可能會比此次推估的更久。

預測 2020 年奈米材料科技之技術發展，奈米材料領域我國競爭力最高之前三技術依序為高分子光學顯示薄膜應用製程技術、高分子光學顯示基板材料合成與高分子奈米複合材料製造技術。

研究顯示專家群認為 2020 年的奈米材料技術宜走向獨立發展或國外引進。在「台灣奈米材料前瞻專家座談會」討論以上結果，專家們認為此結果與調查專家多為學研界專家有關，實際上產業技術發展常以國外技術為基礎，因此也可看出許多技術國外引進

仍是專家認為未來發展之方向，但策略聯盟應也是未來之發展重點項目。對於奈米材料技術未來可能遇到的瓶頸，研究顯示生產技術與經濟規模可能是最大的挑戰。

6.2. 奈米材料科技政策建議

就 2020 年台灣奈米材料之技術前景，提出在現階段需要哪些奈米科技政策來促進奈米材料技術與產業之健全發展，以達 2020 年奈米科技與產業情境，將專家對政策之分析與建議意見彙整，分為「政府推動方面」、「研究發展方面」與「奈米專業人才教育方面」。

一、 政府推動方面：

- 奈米材料科技就先進國家之研發投資而言，依然是研發之重點，政府仍應予以支持，但在技術之開發項目上不宜為單一技術異乎尋常地支助，只要編列充足的前瞻科研經費即可，讓研究人員自行在奈米、能源、環保、軟電等領域，選擇研究即可。
- 類似國家針對中小企業創業補助、輔導。針對奈米材料技術成功商品進行結合創投公司進行評審(經費小→學研評審；經費中→產學研評審；經費大→結合創投公司)、投資與輔導(新科技最好有新公司來運作)。
- 國家政策上應以輔導補助產業的方式，以及選擇目前國內產業發展的優勢領域進行優先且深度的發展，先以厚植強勢產業的角度切入奈米，待有所成績且建立相當程度的技術平台後，再往其他應用產業進行發展。
- 補助特定專案，其中含研究、生產、銷售等技術整合，或是提供技術引進的協助及量產化技術的補助。
- 日前經濟部有例如奈米標章等措施。由於奈米科技之測試設備均較昂貴，應在台灣北中南設置共同型之測試中心，包括安全評估，方能以整合經濟且具公信力之型式替我國奈米科技作認證。

二、 奈米材料研究發展方面：

- 提供充足的資源推動奈米科技發展，強化基礎技術，提升競爭力。在研發方面，應可增加產學研界整合管道，降低研發成本。在技術發展方面，可整合技術以代工、策略聯盟方式或進行上下游整合來減少成本。在技術應用方面，政策上可推廣或鼓勵，參加國際競賽增加曝光率。
- 除鼓勵中小企業投入奈米材料技術研發外，政府應給予實質補助輔導，政府每年可編列預算與舉行大型研討會，邀請國內外廠商進行交流，在學術單位成立實驗室或與企業合作，多與國外學研和公司多加互動，擬定精確之相關發展藍圖。
- 任何技術發展皆需長時間投入，國家政策應瞭解此狀況，在研發計畫上應拉長研發時間，且不應在短期要求其市場產業效益，參考日本發展 LCD 技術、數位相機 CCD 技術與機器人技術。
- 獎勵與 R&D 戰略：參考 US 國家科學基金(NSF)在設立時附上條件，獎勵跨領域合作，然如何避開各自為政之現況須考慮一個檢核流程。
- 跨領域之間的介面須有共通的溝通語言，例如生物科技與電子/半導體在合作上如何傳遞自身的核心技術與成果。

三、 奈米材料專業人才教育方面：

- 在人才方面，應可提供國外進修、培訓的管道，甚至公費培訓，可吸收國外更專業的能力。
- 請國外知名學者前來交流、重點補助績效好的實驗室。
- 強化基礎科學教育，對中低級技術人才的培育也要同等重視。
- 鼓勵產業與學校單位合作，可加速專業人員的養成，提升競爭力。

6.3. 運用德爾菲法操作前瞻研究之建議

此次德爾菲利用郵寄與電話跟催方式進行，花費了許多時間在聯絡與資料輸入方面，且在發放問卷過程中，專家的意見無法即時回應與修正，因此建議欲採取較大規模德爾菲調查法可利用網路填答方式進行，有助於時程掌控與及時回應與修正之便利，

亦可在數據統計與分析上節省資料輸入之人力。

除了建議利用網路平台發放問卷外，亦可開放專家討論平台，利用部落格(blog)供專家提出自己意見，在設計問卷時也可先行讓專家做試測。透過討論平台，讓專家們不用等到下一回合結果公佈此回合結果，便可隨時吸收資訊或是提出自己的專業見解，有助於專家們集合共識。

在科技不斷創新與改變的背景下，德爾菲法在先進國家已成為國家長程規劃研發政策的方法之一，而德爾菲法亦需隨時間不斷更新重複操作，透過網路平台更可以讓德爾菲法操作跟上專家意見的改變，讓結果更趨於目前專家意見的收斂。



參考資料

英文部分

1. 3i, "size matters. Building a successful nanotechnology company", A 3i white paper in association with the Economist Intelligence Unit and the Institute of Nanotechnology, 2002.
2. Bonn, BMBF, 'Delphi-Bericht 1995 zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik-Mini-Delphi.' BMBF, 1996.
3. Cetron, M.J. & Monahan, T. I., "An Evaluation and Appraisal of Various Approaches to Technological Forecasting," in Bright, J. R. (ed.) Technological Forecasting for Industry and Government, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1968.
4. David Frigstad, "Industrial Market Research & Forecasting", Frost & Sullivan, 1996.
5. Delbecq, A. L., Van de Ven, A. H., & Gustafson, D. H. "Group Techniques for Program Planning: A Guide to Nominal Group and Delphi processes." Glenview, 3, Scott Foresman, 1975.
6. Gabor, D., "Inventing the Future", Alfred A. Knopf, Inc., 1963.
7. Glenn Fishbine, "The Investor's Guide to Nanotechnology & Micromachines", John Wiley & Sons, 2002.
8. Martin, Ben, "Foresight in Science and Technology", Technology Analysis & Strategic Management, Vol. 7, No. 2, 1995.
9. Martin, B.R., Irvine, J., "Foresight in Science – Picking the Winners", Dover Frances Pinter, London, 1984.
10. Martino, J. P., "Technological Forecasting for Decision making", 3rd Ed, McGraw-Hill Inc, 1993.
11. Martino, J. P, "An Introduction to Technological Forecasting", Gordon and Breach, London, 1972.

12. Millett, S. M. and Honton, E. J., "A Manager's Guide to Technology. Forecasting and Strategy Analysis Methods", Battelle Press, Columbus, Ohio, 1991.
13. NISTEP, "The 8th science and technology foresight survey", NISTEP Report No.97, National Institute of Science and Technology Policy in Japan, 2005.
14. Per Dannemand Andersen, Birgitte Rasmussen, Marianne Strange and Jens Haisler, "Technology Foresight on Danish Nano-Science and Nano-Technology", Q Emerald Group Publishing Limited, 2005, pp. 64-78.
15. Porter, A. L., et al., "Forecasting and Management of Technology", John Wiley & Sons, Inc, New York, 1991.
16. Prehoda, R.W., "Technological Forecasting and Space Exploration", in Martino, J.P. (ed) ., An Introduction to Technological Forecasting, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1979.
17. Rescher, "Predicting the Future", Albany, NY: State University of New York Press, 1998.
18. Twiss, Brian C., "Forecasting for Technologists and Engineers: A Practical Guide for Better Decisions", Peter Peregrinus Ltd., 1992.

中文部分

1. 張寶誠，楊景棠，袁建中，陳俊傑，「台灣通訊工業發展趨勢預測研究」，管理與系統，第7卷第2期，227-248頁，民國89年4月。
2. 蔡嬪嬪，「奈米科技發展現況與前景」，工業技術研究院奈米科技研發中心，民國93年。
3. 宋清潭，「中華民國科學技術年鑑」，奈米國家型科技計畫辦公室，民國93年。
4. 席時昶，「中華民國科學技術年鑑」，國科會企劃處，民國93年。
5. 「奈米國家型科技計畫分項計畫書」，奈米國家型科技計畫辦公室，民國91年。
6. 盧希鵬、馬振基，「奈米材料技術地圖」，行政院國家科學委員會科學技術資料中心，

民國 92 年。

7. 矢野經濟研究院，”nanotech market”，矢野經濟研究院，民國 91 年。
8. 謝志宏，「技術前瞻領域選擇之類型」，國立交通大學科技管理研究所，博士論文，民國 95 年。

網站

1. 奈米國家型科技計畫，<http://nano-taiwan.sinica.edu.tw/>
2. 美國國家奈米科技方案(NNI)，<http://www.nano.gov/>
3. 美國 vision2020，<http://www.ChemicalVision2020.org>
4. 歐盟第七期架構計畫，http://ec.europa.eu/research/future/index_en.cfm
5. 日本 nanotech 展覽會議，<http://www.ics-inc.co.jp/nanotech/>
6. 科技年鑑奈米網，<http://nano.nsc.gov.tw>



附錄一 奈米材料前瞻研究第一回合問卷

指導教授：交大科技管理研究所 袁建中教授

學生：交大科管所 楊婷詠

各位先進好，本研究目的在調查與分析台灣奈米材料前瞻調查，運用德爾菲(Delphi)預測方法，預測技術之未來實現時間，以瞭解台灣奈米材料相關科技未來發展特色與契機，並用科技前瞻之角度進行台灣奈米材料發展現況與發展趨勢之分析，煩請各位專家一同參與填寫。

問卷方法介紹：

德爾菲法是一種科技前瞻的專家問卷調查法，對多數的專家做同一份問卷調查，第二回合調查時，會將第一次的調查結果回饋給回答者，回答者看全體意見的趨勢，由個人再度評估質問課題，對回答有自信的人被認為贊成多數意見因而意見會被收斂。

本研究一共進行兩回合德爾菲問卷調查，此為第一次調查。

本問卷的調查議題列在左列，專家可先填答各領域之熟悉度，評估指標在上面欄，分為現況、研發成熟期和您預估 2020 年之技術發展。

範例：

子項目	您對此技術熟悉度(1)	調查項目	現況		研發成熟期(單選)				2020年之技術發展									
			目前技術成熟度(2)	我國在該專業領域人才之充足程度(2)	2007-2010年	2010-2015年	2015-2020年	2020年後	技術發展之進入障礙高低(2)	我國在本技術之競爭力(2)	研發平台的完整性高低(2)	技術產業化應用之程度(2)	技術發展趨勢(可複選)					
													獨力發展	國外引進	專業代工	策略聯盟	其他	
奈米粉體製造技術	5	奈米金屬微粒溶解合成技術	2	3	V				4	5	4	4	V			V		
		奈米金屬微粒鍍膜材料及元件開發	3	4		V			3	4	4	3		V				
		高分子奈米粉體製造與包裝技術																
		奈米碳球合成、包覆及表面處理技術																

煩請於收到後盡快填答，填答後將問卷放入回郵信封內寄回，萬分感激！

我們將在第二回合問卷發放時一併附上感恩小禮物。

「奈米材料前瞻」研究

問卷調查表(1)

本問卷旨在調查 2020 年台灣奈米材料發展趨勢，除現況與研發成熟期外，其他評估項目皆為對 2020 年之預測

(1)技術熟悉度請填 1. 不熟悉, 2. 稍不熟悉, 3. 中等, 4. 稍熟悉, 5. 熟悉

(2)請填 1. 低, 2. 稍低, 3. 中等, 4. 稍高, 5. 高

奈米科技分類	子項目	您對此技術熟悉度(1)	調查項目	現況		研發成熟期(單選)				2020 年之技術發展							對此技術之建議(請自由發表意見)											
				目前技術成熟度(2)	我國在該專業領域人才之充足程度(2)	2007~2010年	2010~2015年	2015~2020年	2020年之後	技術發展之進入障礙高低(2)	我國在本技術之競爭力(2)	研發平台的完整性高低(2)	技術產業化應用之程度(2)	技術發展趨勢(可複選)														
														獨立發展	國外引進	專業代工		策略聯盟	其他									
奈米材料相關技術	奈米粉體製造技術		奈米金屬微粒溶膠合成技術																									
			奈米金屬微粒鍍膜材料及元件開發																									
			高分子奈米粉體製造與包裝技術																									
			奈米碳球合成、包覆及表面處理技術																									
	奈米模板製造技術			高均勻度奈米模板製造技術																								
				一維奈米材料配向控制技術																								
				多元奈米結構/同軸層奈米管成長控制技術																								
				高分子與碳模板製造技術																								
				高分子與碳模板合成與能源儲存應用																								
	自組裝奈米結構技術			陶瓷基板表面自組裝奈米結構製作技術																								
				自組裝奈米結構光電元件技術																								
				自組裝奈米觸媒電極材料製作																								
				三維光子晶體材料自組裝技術																								
				自組裝高分子與超分子材料光通訊應用																								
	奈米複合材料技術			奈米微孔洞複合材料																								
				高分子奈米複合材料製造技術																								
				奈米構型表面元件																								
				高分子光學顯示基板材料合成																								
				高分子光學顯示薄膜應用製程技術																								
	奈米結構性能及製程模擬			奈米結構性能模擬																								
				奈米高分子																								
				奈米有機無機複合材料																								
				奈米元件特性																								
				奈米結構製程模擬																								
				奈米球、管、多層膜形成																								
				定址奈米結構形成																								
	其他																											

「奈米材料前瞻」研究

問卷調查表(2)

問題：以下奈米材料技術發展至 2020 年，在產業化過程中將會面臨到最大的瓶頸或限制條件為何？（可複選）

奈米科技分類	子項目	生產設備	生產技術	經濟規模	政府政策	市場需求	專業人才	其他(請簡短說明)
奈米材料相關技術	奈米粉體製造技術							
	奈米模板製造技術							
	自組裝奈米結構技術							
	奈米複合材料技術							
	奈米結構性能及製程模擬							



附錄二 奈米材料前瞻研究第二回合問卷

指導教授：交大科技管理研究所 袁建中教授

學生：交大科管所 楊婷詠

各位先進好，本研究目的在調查與分析台灣奈米材料前瞻調查，運用德爾菲(Delphi)預測方法，預測技術之未來實現時間，以瞭解台灣奈米材料相關科技未來發展特色與契機，並用科技前瞻之角度進行台灣奈米材料發展現況與發展趨勢之分析，煩請各位專家一同參與填寫。

問卷方法介紹：

德爾菲法是一種科技前瞻的專家問卷調查法，對多數的專家做同一份問卷調查，第二回合調查時，會將第一次的調查結果回饋給回答者，回答者看全體意見的趨勢，由個人再度評估質問課題，整體專家意見因而逐漸收斂。

本計畫一共進行兩回合德爾菲問卷調查，此為第二次調查，本問卷為由第一階段回收後發展之第二階段問卷，調查項目為由第一階段之結果篩選，項目較第一階段減少，煩請專家再次幫忙。

本問卷的調查議題列在左列，專家可先填答各領域之熟悉度，評估指標在上面欄，分為現況、研發成熟期和您預估 2020 年之技術發展。每一評估指標附上第一回合統計之第一眾數與第二眾數和其所佔之百分比，而研發成熟期與研究發展趨勢附上第一回合統計之勾選百分比。專家可依上一回合之統計與自己意見再次填答。

範例：

子項目	您對此技術熟悉度(1)	調查項目	目前技術成熟度(2)		我國在該專業領域人才之充足程度(2)				研發成熟期(打勾選)				技術發展之進入障礙高低(2)		我國在本技術之競爭力(2)		研發平台之完整性高低(2)		技術產業化應用之程度(2)		技術發展趨勢(打勾選)				
			第一眾數	第二眾數	第一眾數	第二眾數	第一眾數	第二眾數	第一眾數	第二眾數	第一眾數	第二眾數	第一眾數	第二眾數	第一眾數	第二眾數	第一眾數	第二眾數	第一眾數	第二眾數	第一眾數	第二眾數	百分比		
			請回答	請回答	請回答	請回答	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	請勾選	
奈米粉體製造技術	5	奈米金屬微粉鍍膜材料及元件開發	4	3	3	3	V	50%	46%	4%	0%	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	36%	30%	15%
		高分子奈米粉體製造與包裝技術	3	4	4	3	V	57%	4%	0%	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	33%	27%	20%

煩請於收到後儘速填答，填答後將問卷放入回郵信封內寄回，萬分感激！僅附上小禮物以表感激，希望您會喜歡！

「奈米材料前瞻」研究

問卷調查表(1)

本問卷旨在調查 2020 年台灣奈米材料科技發展趨勢，除現況與研發成熟期外，其他評估項目皆為對 2020 年之預測

(1)技術熟悉度請填 1. 不熟悉, 2. 稍不熟悉, 3. 中等, 4. 稍熟悉, 5. 熟悉

(2)請填 1. 低, 2. 稍低, 3. 中等, 4. 稍高, 5. 高, 第一眾數與第二眾數與其比例為第一回合之統計結果

※研發成熟期與技術發展趨勢分佈為第一回合專家勾選之百分比分配

奈米科技分類	子項目	您對此技術熟悉度(1)	調查項目	現況		研發成熟期(打勾單選)				2020 年之技術發展																對此技術之建議(請自由發表意見)
				目前技術成熟度(2)		我國在該專業領域人才之充足程度(2)		2007~2010年	2010~2015年	2015~2020年	2020年之後	技術發展之進入障礙高低(2)		我國在本技術之競爭力(2)	研發平台的完整性高低(2)		技術產業化應用之程度(2)		技術發展趨勢(打勾,可複選)						其他	
																			獨立發展	國外引進	專業代工	策略聯盟	其他			
				請回答	第一眾數	第二眾數	請回答	第一眾數	第二眾數	請勾選	分佈	請勾選	分佈	請勾選	分佈	請勾選	分佈	請勾選	分佈	請勾選	分佈	請勾選	分佈	請勾選	分佈	
奈米材料相關技術	奈米粉體製造技術		奈米金屬微粒鍍膜材料及元件開發	4	2	3	4	50%	46%	4%	0%	3	2	3	4	3	4	4	3	36%	30%	15%	19%			
			34%	28%	39%	32%					50%	29%	46%	32%	39%	29%	46%	32%								
		高分子奈米粉體製造與包裝技術	3	4	4	3	39%	57%	4%	0%	3	2	3	4	3	4	4	3	35%	27%	20%	18%				
		34%	24%	38%	34%					59%	24%	55%	21%	48%	28%	62%	17%									
	奈米模板製造技術		高均勻度奈米模板製造技術	3	4	3	4	30%	50%	15%	5%	4	3	3	5	3	2	3	4	42%	29%	19%	10%			
			40%	20%	35%	25%					35%	35%	70%	15%	50%	20%	45%	25%								
		高分子與碳模板製造技術	3	4	3	2	28%	50%	22%	0%	3	4	3	4	3	2	3	4	39%	43%	7%	11%				
		47%	21%	37%	21%					61%	22%	67%	11%	50%	33%	67%	17%									
	自組裝奈米結構技術		陶瓷基板表面自組裝奈米結構製作技術	2	3	2	3	10%	60%	30%	0%	4	3	2	3	2	3	3	2	33%	44%	7%	15%			
			35%	25%	45%	20%					45%	35%	40%	35%	40%	35%	35%	35%								
		自組裝高分子與超分子材料光通訊應用	2	3	3	2	19%	43%	29%	10%	4	3	2	3	2	3	2	3	31%	40%	9%	20%				
		38%	29%	38%	24%					48%	38%	33%	29%	38%	29%	33%	33%									
奈米複合材料技術		高分子奈米複合材料製造技術	4	3	4	3	52%	43%	4%	0%	3	2	4	3	3	4	4	5	43%	25%	13%	20%				
		52%	26%	43%	30%					43%	26%	52%	26%	43%	22%	39%	26%									
	高分子光學顯示基板材料合成	3	2	3	4	43%	48%	9%	0%	3	4	4	3	3	4	3	5	33%	33%	10%	24%					
	48%	22%	48%	26%					57%	17%	43%	35%	43%	22%	39%	30%										
	高分子光學顯示薄膜應用製程技術	3	4	3	4	52%	35%	13%	0%	3	4	4	3	3	4	4	5	32%	32%	14%	22%					
	39%	30%	52%	26%					35%	26%	52%	26%	43%	22%	43%	30%										
奈米結構性能及製程模擬		奈米高分子	3	2	3	4	35%	48%	17%	0%	3	2	3	4	3	4	3	4	35%	35%	3%	26%				
		48%	22%	52%	17%					52%	26%	52%	22%	48%	30%	61%	22%									
	奈米有機無機複合材料	2	4	3	2	38%	42%	17%	4%	3	2	3	2	3	2	4	3	38%	35%	3%	24%					
	46%	25%	29%	25%					46%	33%	42%	25%	54%	17%	48%	35%										
	奈米球、管、多層膜形成	3	4	3	2	13%	63%	21%	4%	3	4	3	2	3	2	3	2	28%	39%	8%	25%					
	38%	30%	50%	25%					46%	29%	58%	21%	50%	29%	54%	21%										

「奈米材料前瞻」研究

問卷調查表(2)

問題：以下奈米材料技術發展至 2020 年，在產業化過程中將會面臨到最大的瓶頸或限制條件為何？請打勾（可複選）

※百分比為第一回合專家勾選之百分比分配

奈米科技分類	子項目	生產設備		生產技術		經濟規模		政府政策		市場需求		專業人才		其他(請簡短說明)
		請勾選	百分比	請勾選	百分比	請勾選	百分比	請勾選	百分比	請勾選	百分比	請勾選	百分比	
奈米材料相關技術	奈米粉體製造技術		13%		21%		24%		16%		17%		9%	
	奈米模板製造技術		11%		26%		15%		10%		26%		12%	
	自組裝奈米結構技術		9%		27%		17%		11%		20%		15%	
	奈米複合材料技術		7%		18%		20%		17%		22%		16%	
	奈米結構性能及製程模擬		8%		18%		15%		11%		19%		28%	

附錄三 奈米材料前瞻研究統計結果

第一回合問卷統計

(1)1. 低, 2. 稍低, 3. 中等, 4. 稍高, 5. 高, 平均數與眾數為第一回合之統計結果

奈米科技分類	子項目	調查項目	現況						研發成熟期(打勾單選)								2020年之技術發展																								
			目前技術成熟度(1)			我國在該專業領域人才之充足程度(1)			2007~2010年				2010~2015年				2015~2020年				2020年之後				技術發展之進入障礙高低(1)	我國在本技術之競爭力(1)				研發平台的完整性高低(1)				技術產業化應用之程度(1)				技術發展趨勢			
			平均	眾數	子項目平均	平均	眾數	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	平均	眾數	子項目平均	平均	眾數	子項目平均		平均	眾數	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均					
			平均	眾數	子項目平均	平均	眾數	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	平均	眾數	子項目平均	平均	眾數	子項目平均	平均	眾數	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均						
奈米粉體製造技術	奈米金屬微粒溶膠合成技術	3.5	4	3.3	3.1	3	3.2	55%	41%	0%	3%	2.7	3	2.9	3	3.2	3	3.1	3	3.3	4	43%	17%	17%	22%	20%															
	奈米金屬微粒鍍膜材料及元件開發	3.3	4	3.3	3.3	3	3.2	50%	46%	4%	0%	2.9	3	2.9	3	3.4	3	3.1	3	3.5	4	36%	30%	15%	19%	20%															
	高分子奈米粉體製造與包裝技術	3.4	3	3.3	3.4	4	3.2	39%	57%	4%	3%	2.9	3	2.9	3	3.4	3	3.3	3	3.6	4	35%	27%	20%	18%	20%															
	奈米碳球合成、包覆及表面處理技術	3.1	3	3.3	3.0	3	3.2	37%	52%	4%	7%	3.1	3	3.1	3	3.2	3	3.0	3	3.2	4	31%	29%	17%	23%	20%															
奈米模板製造技術	高均勻度奈米模板製造技術	3.1	3	3.0	3.1	3	2.9	30%	50%	15%	5%	3.2	4	3.3	3	3.2	3	3.1	3	3.3	3	42%	29%	19%	10%	17%															
	一維奈米材料配向控制技術	2.9	3	3.0	2.8	3	2.9	30%	55%	10%	5%	3.3	3	3.2	3	3.1	3	3.0	3	3.1	3	31%	41%	9%	19%	17%															
	多元奈米結構/同軸層奈米管成長控制技術	2.8	2	3.0	2.6	2	2.9	32%	29%	32%	47%	32%	20%	5%	4%	3.3	3	3.2	3	2.9	3	3.0	3	3.2	32%	37%	39%	38%	13%	11%	16%	17%									
	高分子與碳模板製造技術	3.1	3	3.0	3.0	3	2.9	28%	50%	22%	0%	3.0	3	3.3	3	3.2	3	3.0	3	3.1	3	39%	43%	7%	11%	17%															
	高分子與碳模板合成與能源儲存應用	2.8	2	3.0	2.9	3	2.9	26%	47%	21%	5%	3.1	4	3.3	3	3.3	3	3.0	3	3.3	3	27%	39%	6%	27%	17%															
奈米材料相關技術	陶瓷基板表面自組裝奈米結構製作技術	2.8	2	2.6	2.7	2	2.7	10%	60%	30%	0%	3.5	4	3.6	3	3.0	2	2.8	2	2.9	3	33%	44%	7%	15%	18%															
	自組裝奈米結構光電元件技術	2.5	2	2.6	2.7	3	2.7	15%	50%	30%	5%	3.5	3	3.6	3	2.9	3	2.7	3	3.3	3	31%	41%	16%	13%	18%															
	自組裝奈米觸媒電極材料製作	2.6	3	2.6	2.7	3	2.7	24%	17%	52%	50%	24%	28%	0%	5%	3.4	3	2.9	3	2.8	3	3.1	36%	31%	31%	40%	14%	11%	19%	18%											
	三維光子晶體材料自組裝技術	2.5	2	2.6	2.6	2	2.7	15%	45%	30%	10%	3.8	4	3.6	3	2.8	3	2.5	2	3.1	3	24%	45%	9%	21%	18%															
	自組裝高分子與超分子材料光通訊應用	2.4	2	2.6	2.6	3	2.7	19%	43%	29%	10%	3.7	4	3.6	3	3.0	2	2.7	2	3.1	2	31%	40%	9%	20%	18%															
奈米複合材料技術	奈米微孔洞複合材料	3.1	3	3.2	3.2	3	3.2	42%	50%	8%	0%	2.8	3	2.9	3	3.5	4	3.3	3	3.4	4	43%	26%	14%	17%	20%															
	高分子奈米複合材料製造技術	3.5	4	3.2	3.4	4	3.2	52%	43%	4%	0%	2.6	3	2.9	3	3.6	4	3.2	3	3.5	4	43%	25%	13%	20%	20%															
	奈米構型表面元件	3.0	3	3.2	3.0	3	3.2	25%	43%	63%	48%	13%	9%	0%	0%	3.3	3	2.9	3	3.4	3	3.5	38%	38%	33%	30%	10%	12%	19%	20%											
	高分子光學顯示基板材料合成	3.1	3	3.2	3.4	3	3.2	43%	48%	9%	0%	3.1	3	2.9	3	3.5	4	3.3	3	3.6	3	33%	33%	10%	24%	20%															
	高分子光學顯示薄膜應用製程技術	3.3	3	3.2	3.1	3	3.2	52%	35%	13%	0%	3.0	3	2.9	3	3.6	4	3.1	3	3.7	4	32%	32%	14%	22%	20%															
奈米結構性能及製程模擬	奈米結構性能模擬	2.7	3	2.8	2.6	3	2.7	21%	50%	17%	13%	3.0	3	3.1	3	2.8	3	2.6	2	2.7	4	27%	42%	3%	27%	25%															
	奈米高分子	3.1	3	2.8	3.1	3	2.7	35%	48%	17%	0%	2.9	3	3.1	3	3.0	3	3.0	3	2.9	3	35%	35%	3%	26%	25%															
	奈米有機無機複合材料	3.0	2	2.8	3.0	3	2.7	38%	42%	17%	4%	2.9	3	3.0	3	3.0	3	2.7	3	3.1	4	38%	35%	3%	24%	25%															
	奈米元件特性	2.8	2	2.8	2.6	3	2.7	25%	19%	50%	25%	13%	22%	13%	8%	3.0	3	2.6	3	2.7	3	2.8	30%	25%	39%	45%	3%	4%	27%	25%											
	奈米結構製程模擬	2.6	3	2.8	2.6	3	2.7	17%	48%	26%	9%	3.0	3	3.1	3	2.7	3	2.7	2	2.8	3	26%	52%	3%	19%	25%															
	奈米球、管、多層膜形成	3.0	3	2.8	2.6	3	2.7	13%	63%	21%	4%	3.1	3	2.9	3	3.0	3	2.7	3	2.6	3	28%	39%	8%	25%	25%															
	定址奈米結構形成	2.4	2	2.8	2.4	3	2.7	14%	41%	36%	9%	3.5	3	2.8	3	2.8	3	2.6	3	2.7	3	23%	55%	3%	19%	25%															

奈米材料前瞻研究統計結果

第二回合問卷統計(1)

(1)1. 低, 2. 稍低, 3. 中等, 4. 稍高, 5. 高, 平均數與眾數為第二回合之統計結果

奈米科技分類	子項目	調查項目	現況			研發成熟期(打勾單選)								2020年之技術發展																										
			目前技術成熟度(1)			我國在該專業領域人才之充足程度(1)			2007~2010年				2010~2015年				2015~2020年				2020年之後				技術發展之進入障礙高低(1)			我國在本技術之競爭力(1)			研發平台的完整性高低(1)			技術產業化應用之程度(1)			技術發展趨勢			
									分佈		分佈		分佈		分佈		分佈		分佈		獨立發展		國外引進														專業代工		策略聯盟	
			平均	眾數	子項目平均	平均	眾數	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	平均	眾數	子項目平均	平均	眾數	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均	分佈	子項目平均								
奈米材料相關技術	奈米粉體製造技術	奈米金屬微粒鍍膜材料及元件開發	3.7	4	3.6	3.3	3	3.4	63%	47%	37%	0%	0%	0%	2.9	3	2.8	3.3	3	3.4	3	3.7	4	3.8	42%	42%	31%	30%	11%	13%	16%	14%								
		高分子奈米粉體製造與包裝技術	3.6	3	3.5	4	2.6	29%	68%	4%	0%	0%	0%	2.8	3	3.4	3	3.4	3	3.2	3	3.8	4	3.8	42%	42%	30%	16%	13%	12%	14%									
	奈米模板製造技術	高均勻度奈米模板製造技術	3.1	3	2.8	2.9	3	2.6	4%	4%	80%	12%	4%	4%	3.4	3	3.4	3.1	3	2.9	3	3.2	3	3.2	3	3.2	45%	45%	3%	3%	8%	9%								
		高分子與碳模板製造技術	3.0	3	2.7	3	2.6	4%	4%	88%	77%	4%	14%	4%	5%	3.1	3	3.4	3.2	3	3.1	3	2.8	3	2.9	3.3	3	3.2	38%	39%	45%	47%	8%	4%	10%	9%				
		高分子與碳模板合成與能源儲存應用	2.4	2	2.3	2	2.4	4%	64%	24%	8%	8%	3.6	4	3.1	3	3.1	3	2.9	3	3.1	3	3.1	3	3.1	3	3.4	34%	53%	3%	3%	11%	11%							
	自組裝奈米結構技術	陶瓷基板表面自組裝奈米結構製作技術	2.5	2	2.4	2.3	2	2.4	7%	5%	71%	64%	21%	27%	0%	4%	3.5	4	3.5	2.7	3	2.5	2	2.4	2.5	3	2.4	28%	30%	57%	51%	11%	9%	4%	9%					
		自組裝高分子與超分子材料光通訊應用	2.2	2	2.5	2	2.4	4%	5%	57%	32%	7%	7%	4%	3.6	4	3.5	2.5	2	2.6	2.4	2	2.4	2.3	2	2.4	32%	30%	46%	8%	8%	14%	14%							
	奈米複合材料技術	高分子奈米複合材料製造技術	3.7	4	3.3	3.6	4	3.4	56%	46%	41%	4%	0%	0%	2.9	3	3.0	3.6	4	3.6	3.4	3	3.8	4	3.4	3	3.4	47%	43%	30%	32%	9%	8%	15%	18%					
		高分子光學顯示基板材料合成	2.9	3	3.3	3.3	3	3.4	22%	46%	74%	49%	4%	5%	0%	0%	3.1	3	3.0	3.6	4	3.6	3.4	3	3.4	3	3.4	41%	43%	33%	32%	8%	8%	18%	18%					
		高分子光學顯示薄膜應用製程技術	3.2	3	3.2	3	3.0	59%	33%	33%	7%	7%	3.1	3	3.7	4	3.7	4	3.7	4	3.4	3	4.1	4	4.1	4	4.1	40%	33%	33%	8%	8%	19%	19%						
	奈米結構性能及製程模擬	奈米高分子	3.2	3	3.1	3.4	3	3.0	16%	14%	76%	8%	0%	0%	2.8	3	2.8	3.3	3	3.1	3.3	3	3.3	3	3.3	3	3.3	40%	40%	40%	2%	1%	17%	21%						
		奈米有機無機複合材料	2.9	3	2.9	3	3.0	15%	14%	69%	71%	15%	13%	0%	1%	2.7	3	2.8	3.0	3	3.1	3.0	3	3.1	3.5	4	3.2	45%	38%	31%	40%	0%	1%	24%	21%					
奈米球、管、多層膜形成		3.2	3	2.8	3	3.0	12%	14%	69%	15%	4%	4%	3.0	3	2.9	3	2.9	3	3.1	2.9	3	2.8	3	2.8	3	2.9	29%	49%	0%	0%	22%	22%								

奈米材料前瞻研究統計結果

第二回合問卷統計(2)

問題：以下奈米技術發展至 2020 年，在產業化過程中將會面臨到最大的瓶頸或限制條件為何？

分配百分比為專家勾選之分佈比率。

奈米科技分類	子項目	生產設備		生產技術		經濟規模		政府政策		市場需求		專業人才	
		百分比	平均百分比	百分比	平均百分比	百分比	平均百分比	百分比	平均百分比	百分比	平均百分比	百分比	平均百分比
奈米材料相關技術	奈米粉體製造技術	8%	7%	23%	24%	32%	21%	10%	6%	23%	26%	5%	15%
	奈米模板製造技術	14%		35%		14%		4%		28%		5%	
	自組裝奈米結構技術	6%		32%		15%		3%		28%		16%	
	奈米複合材料技術	3%		18%		29%		8%		29%		13%	
	奈米結構性能及製程模擬	5%		12%		16%		7%		22%		38%	