



奈米科技於軍事運用現況與未來發展趨勢

空軍中校 林彥文 空軍少校 徐亞平

提 要

回顧人類生活的演進，共經歷了三次的革命：農業、工業、資訊革命，然而，奈米科技則被視為全球第四次的革命，第四次工業革命將以「奈米化」為重點。其在軍事領域和國防工業應用方面已逐漸受到重視，部分奈米結構產品早已應用於武器裝備的研發，傳統觀念正面臨創新的挑戰與衝擊，甚至引發一場國防科技革命。

因應奈米時代的來臨，我國軍建軍備戰，需順應軍事事務革新的潮流，從人才培育的面向著手，從各階層教育中扎根、使觀念趨向未來。尤在金融海嘯與歐債危機之間接影響，使國家整體經濟發展趨緩而日益減縮的當下，我國防資源更需考量建軍規劃之優先順序，緊密結合現有技術能量，整合產、官、學、研科技資源，提早因應、確立方向，朝保持領先優勢之目標努力，並積極配合國防轉型，發展國防科技，以有效建立「創新\不對稱」之戰力，厚植國防整體實力。

前 言

回顧人類生活的演進，共經歷了三次的革命：農業、工業、資訊革命，然而，奈米科技則被視為全球第四次的革命，奈米科技是一個跨領域、多功能的科技，其影響與應用遍佈資訊、電子、物理、醫藥、材料、化學、生物技術、塑膠、紡織等高科技或甚至傳統產業。亦由於奈米科技幾乎帶動了所有產業的升級與創新，因此有些學者專家認為奈米科技所帶來的影響將遠超過前三次的革

命。

奈米科技已成為新世代科技革命之核心，第四次工業革命將以「奈米化」為重點。其在軍事領域和國防工業應用方面已逐漸受到重視，部分奈米結構產品早已應用於武器裝備的研發，傳統觀念正面臨創新的挑戰與衝擊，甚至引發一場國防科技革命。

國防奈米技術是亟待開發的新興領域，「奈米戰爭」將引起新一波的「軍事事務革命」¹，具備無可限量的發展；掌握奈米科技發展的現況與未來趨勢，有助於提升國軍官

1 葛惠敏，「奈米科技在軍事領域之運用與影響」，空軍學術雙月刊，第618期，頁146。

兵對相關研究的認知與了解，而有效因應奈米時代之來臨。

奈米科技之概述

人類社會發展至今，許多研究領域的發展不斷日新月異，奈米科技(Nanotechnology)應是目前自然科學領域最熱門的範疇。近年來，奈米科技已普遍應用於各產業，本節將針對學者所提出對於奈米科技之相關文獻做整理：

一、奈米科技之定義

奈米(Nano)來自希臘字的接頭語，表示十億分之一。奈米即為一公尺的十億分之一，約是人類頭髮直徑的百分之一，10倍於氫原子直徑大小(10-10m)，與目前半導體製程使用之單位「微米(Micrometer)」，差1,000倍。



圖一 奈米單位示意圖

資料來源：<http://nano.nstn.gov.tw/>

奈米科技實際上並無統一的定義，一般說法係指物質在奈米尺寸下呈現出有別於巨觀尺度下的物理、化學或生物特性與現象。所謂奈米科技便是運用這方面的知識，在奈米尺寸等級的微小世界中操作、控制原子或分子組合成新的奈米尺度結構(奈米材料)，以便展現新的機能與特性。以此為基礎，設計、製作、組裝成新的材料、器具或系統，使之產生全新功能，並加以利用的技術總稱。奈米科技的最終目標是依照需求，透過控制原子、分子在奈米尺度上表現出來的嶄新特性，加以組合並製造出具有特定功能的產品。²

對於奈米科技(Nanotechnology)之定義乃包含量測、模擬、操控、精密安放和創製小於100奈米級的物質。操縱數個至數十個，最多一至二百個原子之科學。奈米技術之各項研究領域，並不局限在某一單一研究領域上，只要研究標的為奈米級之事務，均屬於奈米技術之範疇。³

二、奈米對現代科技產生何種影響

既然奈米科技如此地神奇，到底具有那些前所未有的影響呢？將從微觀和巨觀的觀點分別加以陳述如下：

(一)表面效應(Surface Area Effect)

當材料粒子變小，表面原子數與總原子數的比值會急速增加(如圖二所示)，比表面積(表面積／體積)相對地增加，而比表面積

2 奈米國家型科技計畫網站，<http://nano-taiwan.sinica.edu.tw/>，中華民國科學技術年鑑(九十二年版)國科會自然處／工研院奈米科技研發中心整理。

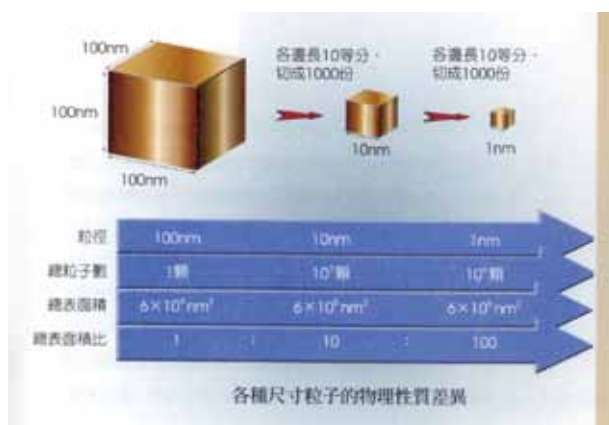
3 經濟部技術處，奈米科技市場與發展概況，(臺北，經濟部，2002年7月)，頁55-72。

增加會引發物質化學活性、光學、熱性質等的改變，這就是奈米粒子的表面效應。⁴其中表面能增加，讓奈米粒子具有極高的活性。⁵例如以高倍電子顯微鏡觀察金的奈米粒子，會發現表面原子彷彿進入「沸騰」的狀態，此時粒子並無固定形態或結構，性質非常不穩定。因此，平常呈現惰性狀態的金，奈米金粒子卻可以當催化劑使用。由此可知材料的奈米化會產生與原本材料截然不同的性質。另外自然界著名的例子就是蓮花效應。⁶荷葉表面因具有奈米結構，可以出污泥而不

染。因此目前各國產業均看好奈米材料所具備的自潔表面效應(如圖三所示)，以及應用此技術於塗料、建材、紡織及醫療等產業的商業價值。⁷

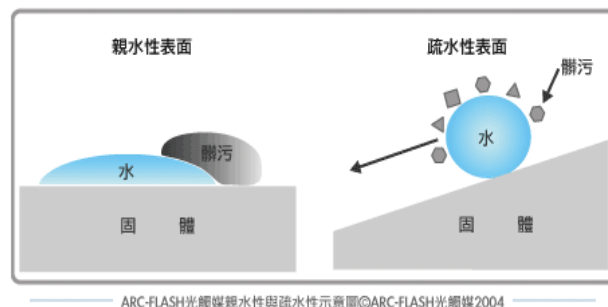
(二)小尺寸效應(Small Size Effect)

當粒子尺寸不斷減小，會引起材料的力學、光、電、磁、熱等物理及化學性質與常規材料明顯不同，甚至經常會呈現優於原來材料的性質，稱為小尺寸效應；奈米陶瓷材料在室溫下具有良好的韌性或塑性，可彎曲且摔不破；某些蝴蝶翅膀能顯現五彩斑斕色澤，因為翅膀上的鱗片具有類似光子晶體⁸、週期在數百奈米左右的網狀結構，可將特定顏色的光反射，並隨著觀看角度的不同而改變顏色。另外許多昆蟲及動物擁有辨識方向



圖二 表面效應中比表面積的變化關係

資料來源：呂宗昕，全面進攻\奈米科技與太陽電池，(臺北，天下遠見，2009年12月)，頁141。



圖三 光觸媒親水與疏水性示意圖

資料來源：<http://www.arc-flash.com.tw/>

4 張立德、牟季美，奈米材料與奈米結構，(臺中，滄海書局，2002年6月)，頁34-42。

5 表面能是創造物質表面時對分子間化學鍵破壞的度量。

6 蓮花效應(lotus effect)是指蓮葉表面具有超疏水性以及自潔(self-cleaning)的特性，蓮葉的微觀結構和表面化學意味著不會被水弄濕；水滴在葉片表面就如水銀一般，並且可以帶走污泥、小昆蟲及污染物。然而，水滴在芋頭葉子亦有相似的行為。

7 呂宗昕，全面進攻\奈米科技與太陽電池，(臺北，天下遠見出版社，2009年12月)，頁208-211。

8 光子晶體是由周期性排列的不同折射率的介質製造的規則光學結構。這種材料因為具有光子帶隙而能夠阻斷特定頻率的光子，從而影響光子運動的。

的本能，例如螞蟻、蜜蜂和鴿子等。⁹科學家們在這些生物體內發現奈米級磁性粒子的存在，這些奈米磁性粒子可以感應地球磁場的細微差異，功用就像是磁羅盤或導航系統，可以幫助這些生物辨識方向。¹⁰

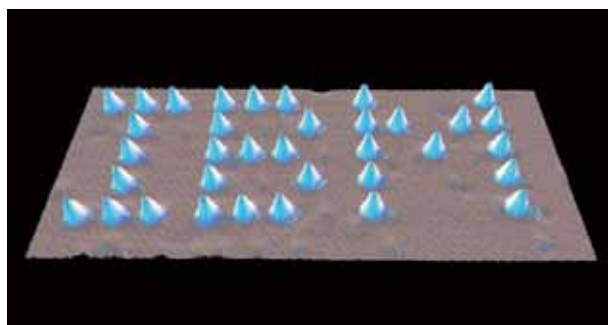
(三)量子效應

由於奈米粒子包含的原子數目有限，形成許多現象與擁有大量原子的一般粒子不同。六十年代東京大學久保(Ryogo Kubo)教授提出著名的久保理論，認為金屬奈米粒子費米能階附近的電子能階，會由連續狀態變為不連續的獨立能階。¹¹費米面附近的電子能階之間的距離，與金屬粒子直徑的三次方成反比。另一方面，最高電子占據分子軌道與最低電子未占據分子軌道的能階差，也會因奈米化而變寬。

在1959年12月29日的一個公開演講中，著名的諾貝爾獎得主科學家理查費曼(Richard Feynman)提到：「為什麼我們不能把24冊的「大英百科全書」寫在一個大頭針的針頭上？如果有一天我們能夠以人的意志來安排一個個原子，那將會產生何等的奇蹟？」，沒錯人類因夢想而偉大，這一段話被科學家視為奈米技術萌芽的精神標誌。諾貝爾獎得主史托默爾(Horst Stomer)曾說過：「奈米科技提供給我們新的工具來操控自然界最極致

的玩具箱—原子與分子。¹²透過結合這些工具與原子尺度下的自組性行為，¹³讓我們得以融合化學及生物學，創造新的事物與製作人為定義的材料結構，建立了令人驚嘆、無止境的機會」(圖四為操縱氫原子排成的IBM字樣)。

由於奈米材料的獨特結構，從而表現出在光、電、磁、生物等特殊顛覆性能，是以往傳統材料與技術所無法相提並論的。預測未來奈米科技所產生的新材料、新特性及衍生之新裝置、新應用及所建立之精確量測技術的影響，將遍及儲能、光電、電腦、記錄媒體、機械工程、醫學醫藥、基因工程、環境與資源、化學工業等產業。如何將奈米科技的特性，轉成實際應用進而產生具體的經濟效益，是當今先進國家重視奈米科技的最主要因素。¹⁴



圖四 操縱氫原子排成的IBM字樣

資料來源：<http://tupian.baik.com/>

9 奈米科學網，<http://nano.nchc.org.tw/>。

10 曹茂盛等，奈米材料導論，(臺北，學富文化，2002年9月)，頁193-196。

11 費米能階(Fermi level)，絕對零度時電子能夠填到的最高能階。

12 黃德歡，改變世界的納米技術，(臺北，瀛舟出版社，2002年2月)，頁79-83。

13 在奈米科技的發展中，分子自組裝的技術可以組合、排列分子，得到所需要的結構與功能。

14 工研院奈米中心，圖解奈米科技，(新竹，工業技術研究院)，(2002年12月)，頁116-119。

奈米科技於軍事運用之現況

一、武器裝備上之運用

奈米技術使用在軍事武器裝備上，將使其性能、精密與精確性達到更高的境界，同時可降低其維修成本，以節省人力與物力。例如：利用鑽石來保護武器設備，鑽石是目前最堅硬且具有高傳聲速度、高散熱度和低摩擦係數等優良的機械性質的天然物質。許多的軍事設備長期在野外，易受風沙而導致磨損，因為沙塵中含有大量的石英(Quartz)，其硬度為7(一般玻璃為6)。且大部分的鋼材硬度皆小於6，因此長期暴露在野外，很容易導致光學儀器及機件磨損。若以奈米技術配合鑽石特性，讓這些裝備鍍上一層厚度只有幾百奈米的鑽石薄膜，將可有效地減少磨損。同時鑽石所具有的高潤滑性、高散熱性，也可以有效延長機件的使用壽命。另外亦可運用於精密導彈上，為了避免因高速巡弋而導致偵測鏡片的磨損，在鏡片上鍍一層類鑽碳薄膜以保護鏡片。¹⁵由於鑽石具有高度潤滑性，甚至比鐵弗龍更具潤滑效果。因此應用在內燃機的汽缸壁、活塞、齒輪等機件上，將可有效潤滑機降低磨損。¹⁶

除此，奈米塗裝技術還有其他的優點，無機奈米材料在高分子膜均勻分散時，產生

氣阻作用，可有效減緩金屬氧化或腐蝕速度，成為優良的防蝕塗料。可延長武器系統的防腐蝕期限，增強抗磨與耐熱能力，均有助於延長裝備使用壽限。

有關奈米纖維的應用方面，有利用複合抽絲法，將奈米氧化鈦、氧化鋅、氧化矽等粉末包覆於纖維中製成軍服，這種軍服對人體釋放的紅外線不僅有良好的遮蔽效果，同時紅外線兼具保暖作用，可提供戰士於高山或寒冷氣候下作戰。¹⁷

當材料的顆粒大小進入奈米尺寸後，有一部分物理現象已無法再用巨觀的理論加以解釋。以光致變材料為例，¹⁸東京大學工學系的藤昭教授及生產技研所的立間澈助教授等人發現，附著在氧化鈦載體上的銀奈米粒子，在藍光照射下會氧化成透明的銀離子，但在照射紫外線後，銀離子可還原回原先的銀奈米粒子，其中又可依粒徑大小呈現不一樣的顏色，遂將此一特殊功能應用在太陽眼鏡、戶外銀奈米粒子玻璃、光線感應器和戰鬥機的機艙玻璃罩上。未來，科學家更計劃把此一特性應用在高容量的光學記憶體中。

由於奈米粉體材料比表面積大，因此具有很高的化學活性，奈米觸媒及催化材料成為奈米粉體的重要應用領域之一，利用奈米粉體可以顯著增進催化效率，例如在火箭

15 韋文誠，「飛機引擎的金縷衣—陶瓷纖維」，科學發展，第375期(2004年3月)，頁34-37。

16 郭佳憲、李貴琪，「高科技的隱形技術」，科學發展，第379期(2004年7月)，頁36-41。

17 尹邦躍，奈米時代，(臺北，五南出版社，2002年3月)，頁133。

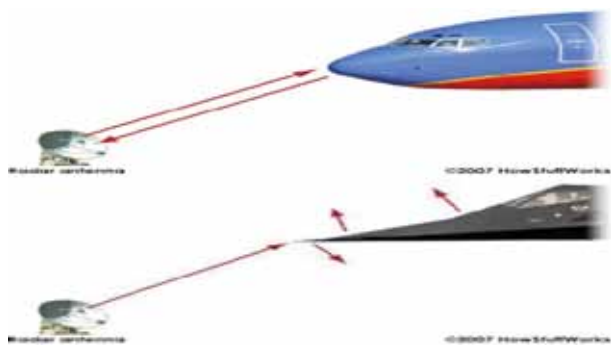
18 光致變材料的變色原理主要是利用光來改變材料的變色氧化和還原的變色狀態，或改變順反異構物分子的排列，以達到材料對於不同光譜選擇性的吸收能力。科學家更進一步發現，當材料的顆粒大小進入了奈米尺寸後，有一部分的物理現象已無法再用巨觀的理論加以解釋。

發射用燃料推進劑中添加約百分之一超細鉛或鎳微粒，每克燃料的燃燒熱可增加一倍，且可以提高固體推進劑的燃速並降低臨界壓力；採用奈米鋁粉不僅可以提高固體推進劑的能量和燃燒穩定性，亦可增加混合炸藥的爆炸威力。¹⁹

二、隱形技術之運用

基本上隱形技術並不是一種「不能被觀測到」的技術，而是透過降低武器裝備的信號特徵，使其難以被發現、識別、追蹤和攻擊的技術，其中包含了雷達隱形、紅外線隱形、雷射和聲納的隱形。²⁰(如圖五所示，為隱形技術之原理示意圖)

讓雷達「看」不見的隱形技術主要在提高反雷達偵測的能力，雷達偵測能力決定於目標物雷達散射截面積 (radar cross section, RCS) 的大小。²¹反雷達偵測的方法便是採用



圖五 隱形技術之原理示意圖

資料來源：<http://stealthvehicles.blogspot.tw/>

各種手段來減小飛機的RCS。例如美國B-52轟炸機的RCS大約是1,000平方公尺，很容易被雷達發現。然而與B-52轟炸機體積相仿，但採用隱形技術的B-2轟炸機，其RCS僅有0.01平方公尺左右，一般雷達很難偵測其蹤跡。目前用來減小飛機RCS的主要途徑有兩種：一是改變飛機的RCS外形和結構，二是採用吸收雷達波的塗裝材料和結構材料。²²

隨著科技的快速發展，材料也邁入奈米時代，科學家發現某些奈米粉體或特殊奈米結構，在雷達波吸收上有令人意想不到的功效。例如塗有奈米碳管或奈米鐵氧磁體的蒙皮，可有效降低被雷達偵測的機會，在重量和厚度上也可以大幅降低。美國的B-2A隱形轟炸機已改用碳纖、環氧樹脂和陶瓷材料來替代金屬結構。此外，利用第四代奈米塗料，以奈米塗層技術包覆機體表面，使雷達波的吸收率達到99%，而厚度僅有數微米，不像以往的塗料由於使用大量的鐵氧磁體而使機體重量增加不少。

紅外線是一種人眼看不見的光波，在自然界中溫度高於絕對零度(攝氏零下273度)的物體皆會輻射紅外線，這種現象稱為熱輻射。紅外線是電磁頻譜的一部分，其波段介於可見光與微波波段之間，只要被測物體溫度和環境溫度差距大時，就非常容易被偵測。而紅外線的隱形技術為使用紅外線抑制

19 林有銘，「無所不在的環境清潔工—奈米光觸媒」，科學發展，第408期(2006年12月)，頁25-28。

20 同註16。

21 RCS 是指飛機對雷達波的有效反射面積，反雷達偵測的方法是採用各種手段減小飛機的RCS。

22 黃德歡，改變世界的納米技術，(臺北，瀛舟出版社，2002年2月)，頁135。

塗料。紅外線抑制塗料可分為吸收型與轉換型二種。吸收型塗料是利用材料本身或某些結構，讓吸收的能量在塗層內部不斷消耗或轉換，避免引起明顯的溫升，以減少物體的熱輻射。而轉換型塗料，主要的作用是使吸收後再釋放出來的紅外線輻射，向長波長的方向偏移，使得處於紅外線工作波長的探測系統無法有效地運作，而達到隱形的目的。

²³(如圖六，各式匿蹤武器系統)

三、微形武器系統

2009年美國科幻動作片，改編自1980年代動畫卡通《大英雄》漫畫系列，由史蒂



圖六 各式匿蹤武器系統

資料來源：郭佳憲、李貴琪，「高科技的隱形技術」，科學發展，第379期(2004年7月)，頁39。

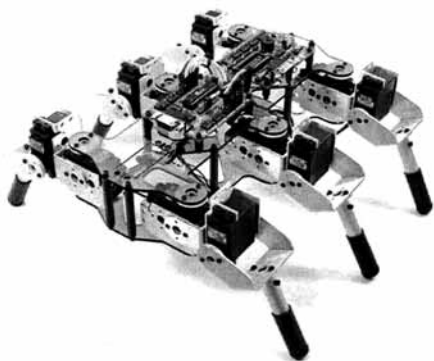
芬·桑莫(Stephen Sommers)執導。描述一群美國特種部隊，為阻止邪惡組織統治全世界的陰謀，上天下地運用最新科技和設備，奈米機械蟲運用究竟是科幻或事實，端看世人角度而定。奈米科技的微型化功能，使得機械儀器可以模擬如昆蟲般大小的作為。以水蠅為例，其可以在水面上行走。美國康乃爾大學奈米微型機械人實驗室史提教授已經設計出擁有六隻腳的人造蟲(如圖七(a))，機身重大約1公克左右，不僅具有水蠅的外觀與造型，還具有水上運行的功能。

美國已開始研制奈米武器。2010年初，五角大廈的先進武器研發局與位於亞特蘭大市的喬治亞技術研究所，共同簽訂了一項合作協議，內容為加速研製奈米武器，爭取在5年內裝備美軍。

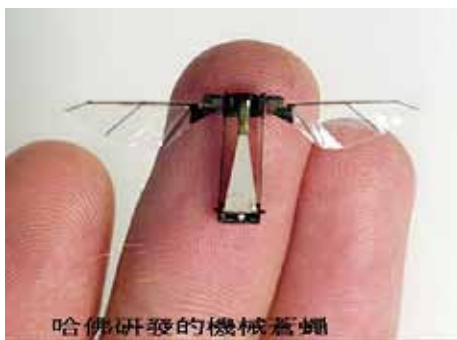
喬治亞技術研究所的奈米武器專家納德勒表示用奈米技術製造的武器很小，現在美國最先進戰鬥機上的全部電子系統，若採用奈米技術，可以集成在一塊很小的晶片上。因為體積小，奈米武器的隱蔽性很高，可「潛伏」在敵方關鍵設備中幾十年而不被發現。奈米器件的運行速度比半導體器件快一千倍，因此其攻擊速度和威力相當驚人。

納德勒在五角大廈進行電腦模擬的奈米武器作戰演習：戰爭時間為2010年，場景為美國與敵方的飛機、坦克、大炮在戰場上頻繁調動。在雙方劍拔弩張之際，天空中出現了许多「蒼蠅」、「黃蜂」等「小昆蟲」(如圖七(b)、(c))，地面上也有數以萬計的「螞

23 郭政初，高技術戰爭劍與盾，(北京，軍事科學出版社，2003年6月)，頁41-60。



(a)



(b)



(c)

圖七 奈米微型機械人

資料來源：<http://pp-gold-1.blogspot.tw/>

蟻」。這些「微形武器」在戰場上空盤旋，或者直接進入敵方的指揮中心、雷達站與彈藥庫等重要設施(如圖八)。突然間，敵方彈藥庫率先爆炸。緊接著，敵方指揮通信系統也遭到攻擊，在前線待命的飛機、坦克和航空母艦，因指管通信系統遭到破壞，並缺少彈藥和後勤補給，全都無用武之地成了廢鐵，那些「蒼蠅」、「黃蜂」和「螞蟥」，就是納德勒正在研製的奈米武器。²⁴

演習結束後，納德勒對五角大廈官員表示，正在進行「麻雀衛星」的研製，衛星的零附件全部採用奈米材料，體積僅比麻雀稍大。可使用一枚火箭發射數百顆這樣的衛星，讓美國可以監視全球任何一個角落。納德勒預計，在5年內有能力讓第一批奈米武器正式服役；10年內可望進行大規模部署，包



圖八 MAV在空中盤旋圖

資料來源：<http://gopaultech.com/>

24 卢天貺，琳瑯滿目的超級武器，(天津，科學技術出版社，2003年1月)，頁196-200。

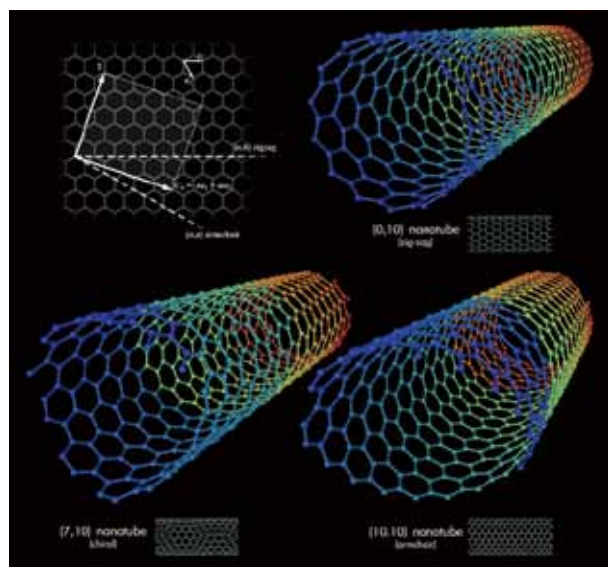
括組建一支「奈米微型軍隊」。²⁵

在軍事用途上，將來可廣泛利用微型機械，配置各種微型偵測器，用來偵測水質、地形，或者窺探敵軍的兵力部署狀況。因具有機身小且易於偽裝等特性，與目前所用的情蒐工具相較，具有更佳的隱密性與機動性，利於深入敵方的軍事重地。雖然運用奈米科技有大幅提升現有武器性能的優點，並使武器朝向微型化與精準化發展。但也有一些先天上的限制。因為微型武器體積甚小，其性能表現常受天候影響，大自然應是其最大的「天敵」。此外，微機電的渦輪發動機之動力來源，無論為油料或太陽能電池，皆受限於體積過小，無法長時間支援系統運作與通信之需求。此亦為目前實驗型超小型無人載具僅能距離作業人員2~3公里飛行，滯空時間約1小時的原因。

四、通資電設備之運用

尋求更快、更低耗能及更微小的元件一直是全球IC發展的共同目標。而由IC製程技術的發展趨勢可知，目前已遭遇到必須尋求新材料、新結構與新製造技術之IC 細微化極限的挑戰，因此發展奈米電子技術實為刻不容緩的工作。²⁶奈米電子技術發展包括自

旋電子元件(Spin-FET)²⁷、新介電材料(New Dielectric Materials)²⁸、奈米碳管元件(CNT Devices) 以及量子元件(Quantum Devices) 等²⁹。所謂奈米碳管(如圖九)，就是把原本平面結構的石墨捲成管狀，形成直徑小於數十奈米的圓筒碳材料，不同的捲曲方式，會讓奈米碳管呈現金屬或半導體等不同性質。³⁰奈米碳管最大的特色，在於它的性質穩定，具有高強度、高彈性、熱傳導性、導電性等。



圖九 奈米碳管

資料來源：<http://commons.wikimedia.org/>

25 納米武器，<http://mil.news.sina.com.cn/p/2008-05-11/1001499508.html>。

26 工研院奈米中心，台灣奈米科技從2004到嚮往的大未來，(新竹，工業技術研究院)，(2003年12月)，頁116-119。

27 科學家是利用創新方法，來操縱電子自旋自由度的科學，是一種新興技術。

28 介電材料為電容器兩導板間的絕緣材料，介電材料因能匯集作用在導板間的力線，所以能增加儲存電能。常見的介電材料如鈦酸鋇，當用之做成電容器時，就必須有良好的絕緣性質，避免漏電流過大。

29 蔡銘進，「半導體技術的奈米之路」，科學發展，第393期(2005年9月)，頁6-11。

30 1991年1月由日本筑波NEC實驗室的物理學家飯島澄男教授(Prof. S. Iijima)使用高解析度分析電鏡從電弧法生產的碳纖維中發現的奈米碳管(Carbon Nanotube)(CNT)，其直徑只有數十個奈米的多層管狀碳材。

例如，奈米碳管的熱傳導性，幾乎與鑽石一樣，如果能夠拿來做為電路，可以在緊密的空間內，把產生的熱量有效的排出。另外，奈米碳管的超強彈性，彎曲90度都不會折斷。奈米碳管可能的應用，包括製造場發射式顯示器(如圖十)、飛機或太空梭的複合材料、電池、超高速電腦晶片、超導材料等。³¹

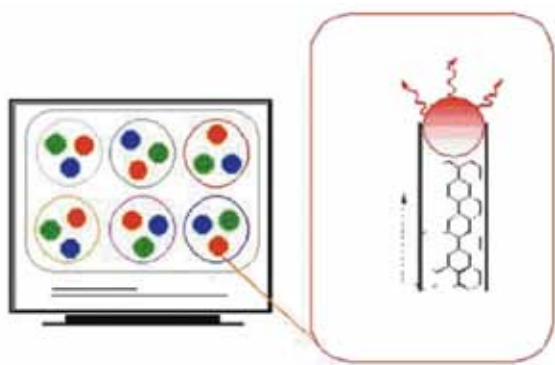
在電子或通訊產品輕薄短小、高可靠度、多功能化之需求下，如何提高接合技術及功能性基板技術的密度，是電子構裝技術首要建構的兩大主軸技術。在高密度接合上採用奈米級的表面活化接合及奈米導線／碳管凸塊等技術，可大幅提高接合密度。在功能性基板技術上，運用奈米材料改質的電

阻、電容、電感、濾波器等被動元件內藏於功能性基板，可大大提高功能性基板的密度。因此，透過奈米材料的介入，將可突破目前技術之瓶頸(如：接合密度不夠高、電容材料之介電常數值太低、電阻精度不夠高)³²，並滿足資訊、通訊及消費性電子產業之創新整合之應用需求，開發體積更輕薄短小、整合性更高、更具市場競爭力之產品。³³

未來軍事通訊及其周邊元件，對高寬頻、傳輸安全、資訊接收、資訊解密的要求將會提高，且必須是質量輕，體積小。對未來戰場之指、管、通、資、情、監、偵網路化系統，能藉由新的光學及電子材料，達到迅速安全傳輸的目標。由於奈米元件工作速度快，可以大幅提高武器控制系統的資訊傳輸、存儲和處理能力。

五、單兵奈米技術之運用

2002年，美陸軍與麻省理工學院合作成立了麻省理工學院「單兵奈米技術研究院」(Institute for Soldier Nanotechnologies, ISN)，針對五大「戰略研究領域」進行研究。第一至第五研究領域的範疇依序為：輕質奈米結構纖維及材料、單兵防護用奈米技術系統、探究爆炸與彈道防護、對抗化生放核戰劑和非制式爆炸裝置，以及系統整合。³⁴(如表一)



圖十 奈米碳管場發射式顯示器

資料來源：高峰時，「奈米科技」，科學發展，第386期(2005年2月)，頁70。

31 場發射顯示器(FED)是一種使用場發射陰極來轟擊螢光粉塗層充當發光媒介的平面顯示器，其使用了大規模的金屬針尖或者奈米碳管陣列。

32 介質在外加電場時會產生感應電荷而削弱電場，原外加電場(真空中)與最終介質中電場比值即為介電常數(permittivity)或相對誘電率(Relative Permittivity)。

33 王敬雅，「奈米尺度與微觀世界」，新紀元周刊，第133期(2009年3月)，頁34-37。

34 國防譯粹，「國防奈米技術」，第39卷第9期(2012年9月)，頁92。

表一 單兵奈米技術之研究領域

研究領域	第一領域	第二領域	第三領域	第四領域	第五領域
項目	1.智慧型防護衣 2.狀況覺知工具 3.奈米碳管感測器 4.電子纖維 5.智慧橡膠模	1.戰鬥負傷照護	1.彈道及爆炸防護 2.長鏈懸垂基團 3.低密度金屬合金	1.奈米級聚合物鍍膜 2.超感度奈米工程化學偵檢器 3.奈米結構摺紙術	1.具通信功能之服裝

資料來源：作者參考國防譯粹，「國防奈米技術」，第39卷第9期(2012年9月)繪製

奈米科技於軍事運用之未來趨勢

一、對未來武器系統發展之影響

美國前國防部長首席顧問馬歇爾提出，預期未來下列戰爭趨勢仍將持續：(一)能快速有效調遣的精準打擊部隊，而且在遠處遭遇攻擊後仍能存活；(二)部隊須能反制或躲避敵人的偵搜，並能偵察敵人的活動；(三)先進的資訊科技，將增強三軍聯合作戰的水準，且透過即時的網路感應器和通訊，可全球同步察覺，有助指揮、控制及精準打擊；(四)使用無人載具，將資訊以新的方式蒐集，而武器在遠距投射，降低部隊人員的風險；(五)城鎮戰將會大量增加。因此需要不同的戰略和裝備需求來滿足未來戰爭型態。

奈米科技對未來武器系統發展的影響方式預判有：武器系統廣泛利用奈米材料、利用奈米技術局部提升系統性能以及研製全新的奈米化武器系統。³⁵其演進過程應遵循「由小而大，由少而多，由點而面，由慢而快，由簡而繁」的原則。無論採取何種途徑，必

將牽動思想準則、作戰概念、戰術戰法與組織編裝之改變或調整。

(一)武器系統廣泛利用奈米材料

目前奈米科技研發的主流是將奈米顆粒與傳統材料混合，以達到所謂的「奈米改性」。其目的是使混合後的材料具備奈米性能，且無須大幅調整現有之生產線。這是兼具時效與成本的性能提升方式。對傳統的武器系統裝備而言，在一般的材質表面塗裝奈米粉末或顆粒，可大幅降低表面磨擦阻力，有效增加速度與機動性。利用奈米顆粒吸收紅外線或雷達的電磁波特性，可使塗覆此種隱形塗料的物體(如坦克、飛機、船艦)，將雷達回波訊號降到最低，進而在電磁環境下產生隱形效果。亦可藉智慧型塗漆接收電磁脈衝的方式，使戰鬥車輛之偽裝隨地形與植物快速變化，或依據指令改變塗料之像素，使其與地形、地貌一致。降低敵方之光學與紅外線偵測器材之偵獲率，以躲避敵方遠距精準武器之攻擊。

(二)利用奈米技術局部提升系統性能

將來利用微型機器，不但可以深入

35 曾祥穎，「奈米科技對未來軍事之衝擊」，陸軍學術雙月刊，第42卷第486期(2006年4月)，頁140-152。

敵軍，加快指、管、通、資、情、監、偵 (Command, Control, Communication, Computer, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance, C⁴ISR) 系統的機動性、可靠性、存活性和工作效能，完成重大的情搜任務，並且可以配置武器在重點地區或特定人物附近，實行「精準打擊」或「斬首行動」，利用具備的精確與快速特性，將能更順利地完成任務。

奈米技術應用在資通科技的電子設備，預估在未來五年內奈米科技在此領域應可獲致重大突破。將可以減少其體積、重量，同時卻不降低其功能，反而功能更為強大與節能省電，例如硬碟的尺寸日減，存取的能力日高，處理的速度愈快，以往笨重的通訊裝備在奈米化後，有可能縮小成手錶般的體積。例如：圖十一為2007年10月23日在韓國首爾，三星電子召開新產品記者會，一個30毫微米的奈米隨身硬碟正式亮相，這個新產品可以儲存80部DVD電影。另外利用奈米科技將可能研發出量子電腦(Quantum computer)，藉由其強大的平行運算能力，可於極短的時間內算出飛彈的軌跡，更快速地得到相關的作戰資訊，或者建構出更逼真的模擬環境來進行人員的訓練。利用奈米技術改變現有系統內之核心零組件，藉以大幅提升原有系統之性能，亦是未來武器系統發展的主流之一。

(三)研製全新的奈米化武器系統

由於奈米科技使人工智慧的武器得以「微型化」，各式如「間諜草」、「機器



圖十一 三十毫微米的奈米隨身硬碟

資料來源：<http://hk.aboluowang.com>

蟲」、「螞蟻兵」、「麻雀衛星」之報導已屢見不鮮。因為這類系統功能極其有限，便於大量製造與使用，並內建有自毀裝置，在損害管制上較地雷為佳。另有成本相對低廉，不易為敵發現之優點。此類新型武器確實為未來之趨勢，不過若無強大的指管能力加以支援，反而容易受敵方之欺騙或因所傳送情資過於分歧，致使指揮官做出錯誤的決策。再加上因其體積過小，易受天候之影響，目前為止僅將其用於輔助或支援角色。³⁶

對於主要武器的研發，因材質的改良，推力、精度、殺傷力與熱效應之提高，趨勢是朝向縮小裝備體積的方向發展，最有可能的品項應是各式飛彈與微型無人載具系統(MAV, Micro Aerial Vehicle)。因所需材料量較

36 尹邦躍，奈米時代，(臺北，五南出版社，2002年3月)，134-136頁。

戰機、戰車與戰艦為少，而且飛彈亦無飛行員於高速、高空、大G力的環境下操作與存活的問題，卻可滿足作戰需求之目的。³⁷

二、發展奈米科技是國家競爭力的保證

奈米科技的發展在全球如火如荼地展開，隱然已成為一顆科技新星，美歐日各國已紛紛制定奈米科技發展策略，以使國家科技處於超越地位，因為這些國家已經認定奈米科技和產業的結合，將會引發二十一世紀的工業或產業革命，甚至推測奈米科技對人類的影響將遠超過前幾次工業革命。

奈米科技不只會對半導體電子和資訊科技工業造成重大衝擊，一旦掌握了奈米技術的運用，開發出的產品具備非常廣泛的實用性，也會對化學、生物和醫學技術有相同的貢獻，未來從高科技的航太、軍事、電腦，到一般民生用品如食品、衣料、行動電話、一般家電，皆具有非常廣大的市場和影響力。因此在整個產值上，奈米科技產業將佔有的比例會不斷增加，非常值得政府大量投資，以加速奈米科技的研發工作。³⁸

2000年美國前總統柯林頓於卸任前推動國家奈米技術創新計畫，於2001年投資近五億美元於奈米技術，期望未來奈米技術帶動美國的景氣，並使美國的科技領先世界其他各國。2001年夏天，美國前總統小布希宣

布美國2002年國家科學研究發展計畫，投資5億1,890萬美元於國家奈米技術創新計畫。³⁹

歐盟四年(2002年至2006年)內投資了13億歐元(約12億美元)，來研究發展奈米科技。德國政府政策導向的選出幾個科技重點單位，如馬克斯蒲朗克研究院(Max-Planck Institute，相當於我國的中央研究院)，與德國各大學研究所及著名的公私立研究所，集合工業界的資源，針對各項奈米專題，如：奈米理論在光學、分析、材料等的應用研究。英國更成立國家級奈米研究所(Institute of Nano technology)，負責奈米科技的資訊蒐集與投資研究，並與國內各大學合作開發奈米新技術。

日本方面也投入512億日圓(約4億美元)於奈米科技的研發。

在充滿生機的二十一世紀，以知識經濟為主的奈米科技，強調自然資源的應用、能源使用的效率、與環境保護的使命，奈米科技不同以往的科技發展，它正在推動一場新的綠色工業革命。而奈米科技引發生產技術方式和工作方式的變化，對社會發展、經濟繁榮、國家安全和人類生活品質的影響是無法估量的。

因此，在經濟全球化及奈米科技快速發展的今天，依靠美歐日的科學技術和管理經

37 徐立，「奈米技術在飛彈和航空領域的應用」，<http://news.gpwb.gov.tw/news.aspx?ydn=026dTHGgTRNp mRFEgxcbfcCSN9Fhd8KFbqLRgMWauV%2fTtSQpuaMr3AQ2abYBDQsfOBe1Q7p1rOpzaU0HQFoSovdFgZ Qtn10FW023zFWfR8E%3d>。

38 馬遠榮，奈米科技，(臺北，商周出版社，2002年4月)，頁100-102。

39 奈米國家型科技計畫網站<http://nano-taiwan.sinica.edu.tw/>，中華民國科學技術年鑑(九十二年版)國科會自然處／工研院奈米科技研發中心整理。



驗是緩不濟急的，為了適應經濟全球化和政治多元化的要求下，我們必須加強自己的奈米科技創新能力，以提高國家競爭力。而科技持續創新是現代市場經濟競爭的關鍵，科技的發展甚至影響國家的發展方式和空間。科技創新不僅指新技術的開發，而是從動機、設計、研發、生產的整個過程。為適應國際市場的高度競爭性，和在未來國家發展的戰略優勢，能儘早在奈米科技領域上研究發展，將是政府刻不容緩的重要課題。

三、對未來戰爭模式之影響⁴⁰

奈米科技將會極大的改變未來戰爭的模式。迄今為止的各類戰爭，都是飛機、火炮、軍艦、坦克以及飛彈等大型軍事武器裝備主宰的戰場。隨者奈米科技的發展，傳統的作戰模式將會發生根本的變化，未來的戰爭將極可能由數不清的各種各樣的微型武器充當主角。

(一)未來戰場更加透明

由於奈米科技使人工智慧的武器得以「微型化」，各式如「間諜草」、「機器蟲」、「螞蟻兵」、「麻雀衛星」等奈米偵察武器的出現。將可構成太空到空中，地面和海上的各種各樣的嚴密高效的奈米偵察監視系統，其極為隱密，使人難以察覺，防不勝防。對於奈米科技落後的國家來說，已無軍事秘密可言，未曾交手，勝敗已成定局。⁴¹

(二)未來戰場更加安全

利用體積小、速度快的奈米科技，將使軍隊更能在預警、搜尋敵人、導彈攔截等作出最快的反應。例如，阿富汗的反恐怖戰爭。若能應用奈米機器人和奈米機械設備，將提高部隊的靈活性和增加戰鬥的有效性。又如奈米科技可使國家安全的控制將更為嚴密有效，因為奈米機器人和奈米機械設備可無孔不入的檢查各項異狀，將可防堵類似911的恐怖攻擊。奈米表面的蓮花效應技術，可使武器裝備更加地耐腐蝕、吸震波，並且隱蔽性大大提高，可應用於船艦、潛艇和戰鬥機⁴²，有效提昇戰場安全性。

(三)未來戰場更加便宜

現代戰爭消耗巨大，動輒花費數十萬美元。例如第一次波灣戰爭，短短42天中，美國就花費600多億的軍費。進入奈米軍事化後，奈米武器裝備所用資源少，成本低廉。造價昂貴的飛機、火炮、軍艦及坦克等，在未來戰爭中將會大幅減少使用。

結 論

一、國軍幹部應有之體認

奈米科技是一個具有高度實用性且相當尖端的研究領域，未來勢必會對整個軍事國防及產業經濟產生極大的影響。研析現代戰爭「科索沃戰爭」及「波灣戰爭」，擁有高科技武器裝備的國家，可發展與運用的戰術、戰法愈發「靈活運用」與「先制奇

40 江明鑑，「奈米技術的軍事運用及戰場模式」，空軍學術雙月刊，第583期，頁67-79。

41 黃德歡，改變世界的納米技術，(臺北，瀛舟出版社，2002年2月)，頁145。

42 馬遠榮，奈米科技，(臺北，商周出版社，2002年4月)，頁96-97。

襲」，造成敵我雙方的傷亡比極為懸殊。因此可以推測未來戰爭的勝負關鍵，將取決於交戰雙方所擁有軍隊及武器裝備的奈米化程度。

我國的六年期「國家型奈米科技計畫」⁴³，以學術研究與產業化技術發展為主，對於國防軍事方面的運用並無具體的構想，為期待未來建軍發展的規劃能符合世界潮流，並與中共的奈米軍事科技發展相抗衡。國軍應思考針對中共當前所擁有武器裝備，強化應有的防護作為外，同時也必須考量未來須擁有何種高科技武器才能確保國家安全，並有效對敵軍進行反制，將是一個值得深思與探討的課題。在面對國際現實環境的困境下，國軍欲獲得的先進武器往往遭到中共的阻撓，而無法順利購買，為滿足未來建軍備戰需求，國軍可參考美軍經驗，在新型材料及武器裝備的研發上可考量委由軍備局中山科學研究院及生產製造中心研發、生產，或與民間大學及公司合作，以國軍的現況分析未來運用奈米科技於武器系統較為可行的方向為：^{44, 45}

(一)奈米陶瓷具有的高韌性、高衝撞力與超塑性性質(super plasticity)，作為戰車裝甲的材質，可強化複合裝甲的抗彈能力，確

保人員以及載具的安全。

(二)奈米塗料除了防刮外，並能夠使武器裝備逃避可見光、紅外線、雷達等偵察，並可依照所處的環境而自行改變顏色。此外還具有「蓮花效應」的自潔作用，不必勤於擦拭與保養便能常保如新，減少不必要的人力浪費。

(三)利用奈米複合材料、奈米碳管或碳纖維製造防彈背心或迷彩軍服，可具有高於鋼材百倍以上的韌性，前者在抗彈材料的應用上，具有重量輕、體積小、抗爆震等優點；後者有穿著舒適、耐久性高等優勢。

(四)將奈米顆粒技術應用在飛彈、彈藥方面，可以增進火藥化學反應速率，藉以增加其破壞力和精準性。

相關單位應制定政策以提升國軍幹部相關科技發展之素養，而一般官兵對此新科技的發展現況應具有基本的認知，培養國軍成為符合時代潮流之高科技知識涵養的「奈米戰士」。

二、軍事院校教育之建議事項⁴⁶

軍事院校為培養國軍各級幹部的搖籃，涵括基礎養成教育至各層級的軍事進修、深造教育，皆由軍事院校負責教育與訓練工作。若欲達到提升國軍幹部對奈米科技之基

43 民國91年6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審議，預計自民國92年1月正式開始推動，並決定自民國92年至97年間，投入經費新台幣231.9億元於奈米科技發展。

44 蔡禎祥，「中科院奈米成果豐碩，獲產官學各界肯定」，<http://mna.gpwb.gov.tw/MNANew/Internet/NewsDetail.aspx?GUID=49000>。

45 林宜慶，「中科院參加台灣奈米科技展，展現研發成效」，<http://www.mnd.gov.tw/Publish.aspx?cnid=67&p=37440>。

46 劉正倫，「奈米科技於軍事用途之發展與未來趨勢」，空軍航空技術學院軍事專題，2010.3，頁18。



軍事科技

本素養，一般官兵對此新科技的發展現況應具有基本認知的目標。學校應扮演重要而積極的角色，以下有幾點建議供參考：

(一)將奈米科技納入相關課程

各班次可依照教育期程的長短，規劃奈米科技相關課程的時數與內容，從學校正規化的教育期程，納入奈米科技於相關課程講授，應是最有效且深入紮根的方式。

(二)鼓勵教師、教官從事相關研究

軍事院校教師與教官的素質日漸提升，故可鼓勵教(官)師從事相關研究，並將專題製作成果實際運用於軍品研發上，以改善或提升現有武器裝備的性能。另外亦可蒐集奈米科技運用於國防科技發展現況的相關資料，整理作為課程內容，並鼓勵教官將整理成果投稿軍事相關雜誌、刊物，以提升教官在此領域的學術涵養。

(三)經常性邀請學者蒞校學術演講

從軍事院校的學術演講，可邀請學者專家講授有關奈米科技的各類主題，藉以精簡擇要的灌輸師生最新奈米科技發展現況與趨勢的相關訊息。

因應奈米時代的來臨，我國軍建軍備戰，需順應軍事事務革新的潮流，從人才培育的面向著手，從各階層教育中扎根、使觀念趨向未來。尤在金融海嘯與歐債危機之間接影響，使國家整體經濟發展趨緩而日益減縮的當下，我國防資源更需考量建軍規劃之優先順序，緊密結合現有技術能量，整合

產、官、學、研科技資源，提早因應、確立方向，朝保持領先優勢之目標努力，並積極配合國防轉型，發展國防科技，以有效建立「創新\不對稱」之戰力，厚植國防整體實力。⁴⁷

作者簡介

林彥文中校，空軍官校84年班、立德大學應用資訊碩士94年班。曾任飛機修護官、資訊網工官、通資安全官、通信督導官、教官。現任職於國防大學空軍指參學院學員隊中隊長。

徐亞平少校，空軍航空技術學院88年班、立德大學科技管理碩士96年班。曾任區隊長、無線電修護官、通信督導官、教官。現就讀於國防大學空軍指參學院102年班。



47 中華民國102年《四年期國防總檢討》編纂委員會，中華民國102年《四年期國防總檢討》，(臺北，國防部，2013年3月)，頁24。