

微小的奈米世界

效法自然，一直是人類研究科學的準則之一，科學家在各個領域中，無不想獲得一些近似自然界的天然材料與結構，但卻都不容易做到，為此，只有經由不斷地改善材料特性，加工製作，使得這些物質能展現出相似特性；奈米材料，就是在這個背景之下誕生。

介觀(Mesosopic)世界的東西，在物理界，並不那麼為人所熟悉，原因是人類將其區分可歸納模式化（二分法），使得沒有規則的領域，變得非常困難切入。當然也不知如何應用它。因此，無論是在材料的製造、結構的製作，甚至作系統與元件，還留有無限想像的空間。所以了解產出的奈米特性是非常重要的，此將有機會突破現今所使用的任何觀念事物，如顏色、電、光等等。或許，不久的將來，我們將可不用紙來記錄，不用光源來照明，人們不需要喝水吃飯，奈米分子直接經由空氣、皮膚的輸送傳遞至器官中；這些在現今仍屬天方夜譚的事，在未來都有可能成真。

奈米尺度下物性會改變

經過人類演進，雖然已分別將小至原子的微觀與大至眼睛可見物質的巨觀世界探索得差不多，可是對於中間尺寸的群集(Cluster)，則了解不多，也因此我們以奈米尺度來計量，1奈米是 10^{-9} 公尺（十億分之一公尺），相當於10埃（A），亦即是2~3個金屬原子或10個氫原子排列在一起的寬度大小。在奈米尺度下，物質會呈現迥異於巨觀尺度下的物理、



人類效法自然，從荷葉表面行為衍生出奈米世界

化學及生物性質，材料將因此產生完全不同的特性，而形成特殊功能。爲什麼會如此呢？從物理學的角度來看，許多物質的電、磁與化性都改變了，原因是粒子的交互作用影響，當有獨特特性改變的尺度約1至20奈米，至原子尺度時，則又展現傳統原子所被研究出來的行爲特性。此觀點一般用三種物理特徵長度來解釋：

一、德布羅依波長(de Broglie Wavelength)

德布羅依是提出電子具有波動性的偉大物理學家。

在他之前，人們皆認爲光量子是微粒，也是電磁波，既然它們都能夠推導出維恩定律，豈不表明物質的波動方面和粒子方面存在著相關的兩重性嗎？隨著康普頓效應的正確解釋，力學和光學的發展是對稱的，描述實物粒子的古典力學相當於光的微粒學階段，因此德布羅依設想：與光的波動說對應，實物粒子也應具有波動性。

以電子電洞行爲模式來解釋，電子與電洞在奈米尺度下，同時具有波與粒子的特性，而波與粒子最大的差異點在於波具有干涉的效應，而粒子不具此特性。

德布羅依設想：一個粒子，例如一個電子，必然連帶著一系列物質波，這些波結合起來形成一個波峰，此峰會往某一點消失，瞬間之後又會往另一點出現。波峰的速度稱爲“群速”，它與構成此峰的各波速度大不相同，群速就是電子速度，相鄰兩波峰間的距離就是物質波的波長，即德布羅依波長。 $\lambda = h/P$ ，式中 $h=6.62559 \times 10^{-34} \text{Js}$ 。

二、德拜長度(Debye Length)

德拜長度(Debye Length)描述了一個正離子的電場所能影響到電子的最遠距離。在電子與電洞的行爲描述中，當電子間距離大於此長度時，作用力極小，電子（電洞）可視爲個別粒子、個別行動，如金屬；小於此長度時，電子間會有一強相互作用力而造成群體運動(Collective Motion)，如電漿子(Plasmon)。

三、相位相干長度(Phase Coherent Length)

我們知道頻率相同、振動方向相同、相差恆定之相干波之間才能產生相干涉。相位相干長度即是電子電洞波包的長度，在此長度內，保有波的特性，在此長度外，可用古典物理中粒子運動來描述。

所造成的效應

小尺寸效應--又稱體積效應，當奈米顆粒的尺寸與光波波長、德布羅依波長以及超導態的相干長度或



德拜，Peter Joseph William Debye，1884-1966，美籍荷蘭物化學家，1963年諾貝爾化學獎得主

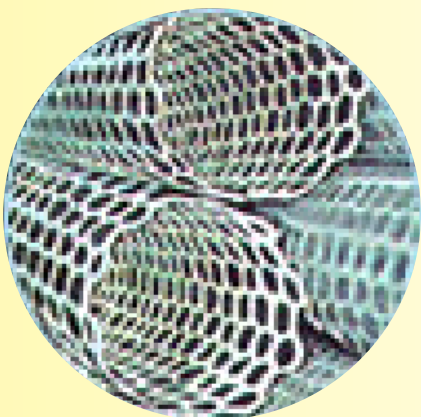
透射深度等物理特徵尺寸相當或更小時，奈米晶體週期性的邊界條件將被破壞；非晶態微粒表面層附近原子密度減小，因而導致聲、光、電、磁、熱及力學等參數發生了較大的變化，稱之為體積效應。

量子尺寸效應--是指當粒子尺寸下降到某一數值時，費米能階附近的電子能階由准連續變為離散能階或者能隙變寬的現象。當能階的變化程度大於熱能、光能、電磁能的變化時，導致了奈米微粒磁、光、聲、熱、電及超導特性與常規材料有顯著的不同。

表面與界面效應--是指奈米粒子位於表面的原子占組成奈米粒子的總原子數的比例隨著奈米粒徑的減小而大幅度增加的效應。奈米粒子表面原子個數增加，導致原子配位不足及表面能增加，從而引起表面原子具有較高的活性。

宏觀量子隧道效應--微觀粒子具有貫穿壁壘的能力稱為隧道效應，對於奈米粒子，它們的磁化強度和量子相干器件的磁通也具有隧道效應，稱為宏觀量子隧道效應。

奈米科技就是將原子或分子組合成新的奈米結構，並以其為砌塊(Building Block)來設計、製作、組裝成新的材料、元件或系統的科學技術，奈米結構的大小約1~100 奈米，元件的基本構造縮小到奈米程度，其量子效應不容忽視，其許多物性均會改變，如質量變輕、體積縮小、曲度變大、表面積增加，更重要的是導熱度增加，磁性也改變，還具備高表面／體積比、高密度堆積的潛力以及高結構組合彈性等特性，應用範圍十分廣泛。



規則的奈米結構



微小的奈米世界

善用奈米科技應用無窮

奈米科技涵蓋領域甚廣，從基礎科學橫跨應用科學，包括物理、化學、材料、光電、生物及醫藥等；在產業方面，則從民生消費性產業到尖端的高科技領域，無不積極地在發展奈米科技相關的應用。

(工研院材料所副研究員 胡應強)