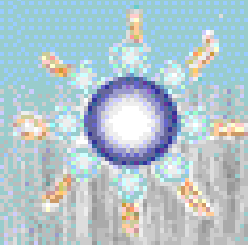




奈米科技

時間倒回到一九五九年十二月二十九日，著名的物理學家，
也是諾貝爾物理獎得主理查·費因曼的演說。
他說：「依我所了解，物理學的原理並不排除一個原子、
一個原子地操控事物的可能性。」
令我們驚訝的是，四十多年前的預言如今已經不是夢想。

■ 高逢時



一般報導 奈米科技

資訊科技 (information technology, IT; 包括電腦與通訊)、生物科技 (biotechnology, BT) 及奈米科技 (Nanotechnology, NT) 三 T, 是二十一世紀最重要的三大科技。所謂的奈米科技, 簡單地說, 就是微小化的科技, 利用微製程技術製造粒子極小的材料及微形器械為人類所用。如果說資訊科技縮短了時間與空間, 生物科技改變了生物體的本質, 那麼奈米技術可以說是提供兩大技術發展最精細的工具。

一九八二年, IBM 蘇黎世實驗室賓尼格 (G. Binnig) 與羅爾 (H. Rohrer) 博士共同開發了世界上第一具奈米表面分析儀: 掃描穿隧式顯微鏡 (scanning tunneling microscope, STM), 利用探針與樣品間的隧道電流變化, 人類第一次能夠進行原子層級的觀察, 甚至還可以利用 STM 探針與樣品間的作用力, 誘導原子或分子移動, 兩人更因此獲得一九八六年的諾貝爾物理獎。隨著 STM 的發明, 開啓了奈米研究的新時代。

奈米效應

表面效應 當材料粒子縮小到奈米等級, 原材料的性質發生改變, 或是出現原本沒有的性質, 這個現象就是所謂的奈米效應。例如, 當導電的銅粒子縮小到某一奈米尺度時就不再導電; 原本惰性的金, 在奈米尺度下可以當作非常好的催化劑等。

當粒子尺寸縮小, 表面原子數與總原子數的比急速增加, 使得表面能增加, 讓奈米粒子具有很高的活性。如果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一種「沸騰」狀態, 粒子並沒有固定的形態或結構, 性質非常不穩定。由於這個原因, 即使在平常狀態下呈現惰性的金, 甚至可以用來當作催化劑使用, 與原

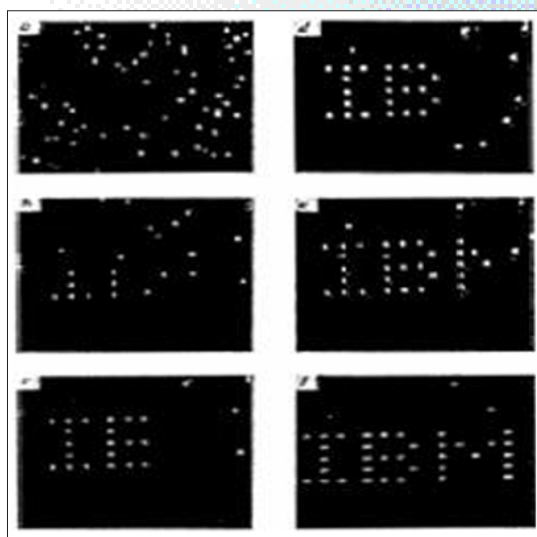
資訊科技 (information technology, IT; 包括電腦與通訊)、生物科技 (biotechnology, BT) 及奈米科技 (Nanotechnology, NT) 三 T, 是二十一世紀最重要的三大科技。

當材料粒子縮小到奈米等級, 原材料的性質發生改變, 例如, 當導電的銅粒子縮小到某一奈米尺度時就不再導電; 原本惰性的金, 在奈米尺度下可以當作非常好的催化劑等。

本的性質截然不同。當材料粒子變小, 比表面積 (表面積/體積) 相對地增加, 而比表面積增加會引發物質化學活性、光學、熱性質等的改變, 這就是所謂奈米粒子的表面效應。

量子尺寸效應 由於奈米粒子顆粒很小, 每個粒子內包含的原子數目有限, 許多現象與擁有大量原子的一般粒子不同。六〇年代, 日本東京大學久保 (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 (Fermi level, 絕對零度時電子占據的最高能階) 附近的電子能階, 會由連續狀態變為不連續的獨立能階。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。

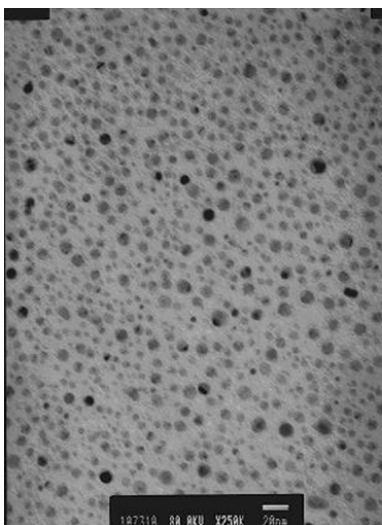
宏觀物體可視為包含無限個原子; 也就是說電子總數趨近無限大, 這時能階間距為零, 能階呈連續態。但在奈米粒子中, 電子數有限, 就會產生能階間距, 能階呈不連續狀態。貝爾實驗室的科學家曾經觀察到, 隨著硒化鎘 (CdSe) 粒子變小, 能隙加



操縱氫原子排成的 IBM 字樣。

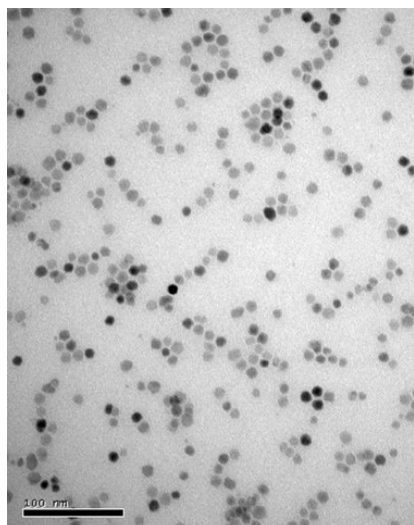
Nature, 344, 524, 1990

成功大學化工系陳東煌教授提供



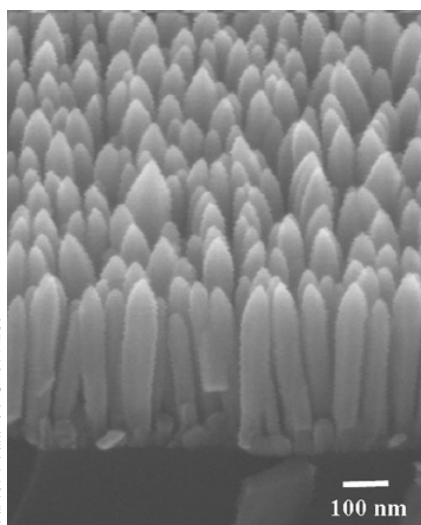
鎳奈米粒子

成功大學化工系陳東煌教授提供



鐵奈米粒子

成功大學化工系吳季珍教授提供



高方向性氧化鋅奈米柱成長在矽晶片上的橫截面掃描式電子顯微影像。

寬，螢光顏色會有從紅轉綠、再轉為藍的藍位移現象。另外，金屬粒子隨著粒徑減小，能階間隔增大，甚至會使原本是導體的金屬變為絕緣體。

由於粒子顆粒小、體積小、包含原子少而產生的材料性質變化，我們稱作奈米粒子的體積效應。這時能階隨著粒徑變化、能隙或能帶改變，我們稱做量子尺寸效應 (quantum size effect, QSE)。奈米粒子具有的特殊性質，會大為增加材料的利用性，這也是奈米材料吸引人的地方。

奈米材料

奈米材料的製造，可以說開始於一九八四年德國格萊特 (H. Gleiter) 教授。據說他有一次在沙漠中開車，在空曠寂靜的環境中，開始構思如何製造具有特殊性能的材料，經過不斷的試驗，最後，他利用金屬蒸氣沈積製造出奈米顆粒，再把奈米粒子以高壓壓製成緻密的奈米塊材。

九〇年代，奈米材料開始被廣泛地研究，不斷有新的奈米材料合成出來。從已往的歷史來看，材料的開發與應用通常是人類文明進步的關鍵，文明史也有直接

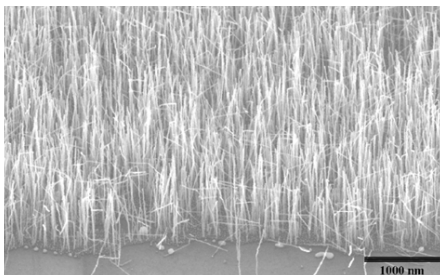
以材料的運用來劃分的，如石器時代與銅器時代。預料奈米材料會在人類文明發展中，寫下另一個「奈米時代」。

一九九〇年七月，第一屆國際奈米科學與技術會議在巴爾的摩舉行，奈米科技正式成爲一項新的研究學門，其中奈米材料的製作，是奈米研究中最重要的一環。所謂的奈米材料，至少必須在一個維度上符合小於一百奈米的條件。奈米材料的種類相當多，包含了金屬奈米材料、半導體奈米材料、結構奈米陶瓷、奈米高分子材料等「工程奈米材料」，以及應用在生物體的生物螢光體 (biophosphor) 等「生物奈米材料」。

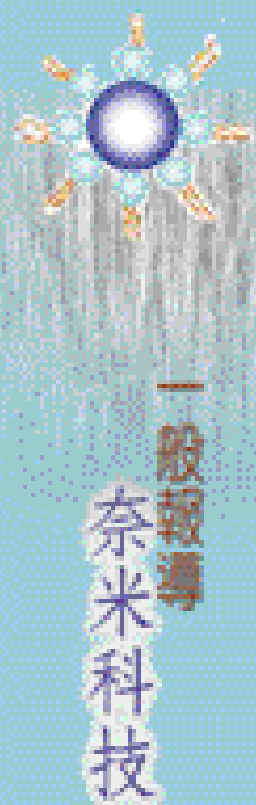
這些奈米材料不但在基礎科學研究上開發了許多新領域，更因爲具有異於尋常的性質及應用潛力，引起極大的重視。尤其是結合二十一世紀兩項重要技術，奈米與生物科技的生物奈米材料，更顯重要。其中一種生物螢光體，具有多種用途，相當受到化學家及材料學家、物理學家的注意。這類生物螢光體有以下的新穎應用。

標定式光動力療法 科學家把特殊設計的奈米生物螢光體 (或螢光感光劑)，塞入中間具有孔洞的籠狀分子 (molecular cage, 分子籠)，然後接上具有「導航」能力的抗體蛋白質。利用抗體可以尋找抗原的特性，引導螢光感光劑到達病變細胞，再利用雷射光照射，誘發螢光體放光，藉此

成功大學化工系吳季珍教授提供



高方向性氧化鋅奈米線成長在矽晶片上的橫截面掃描式電子顯微影像。



標定病變區域。一旦醫生發現病變細胞，再改用另一波長的雷射光照射，讓螢光感光劑發生光化學反應產生一種毒性分子，破壞細胞機能或殺死細胞。

與傳統光動力療法相比，這項技術最大的特點，是可以準確地標定病變區域、找出病灶，以及減少昂貴的螢光感光劑的用量。由於只有病變細胞會結合螢光感光劑，所以利用感光劑產生毒性分子只會殺死病變細胞，不會損害周圍正常組織。

目前科學家已經掌握螢光感光劑技術，未來將從合成粒徑均勻的奈米螢光感光劑、增進螢光體分子與分子籠和抗體的結合等方面著手，提高治療效果。雖然這項技術還在初期發展階段，但這項新穎療法可以大幅減低診治費用，並且可以選擇性地殺死病變細胞，將來可望造福大眾，為病患帶來新希望。

子宮頸癌整合式篩檢 傳統子宮頸癌抹片檢查，必須採取病變細胞。但是在癌症初期，病變細胞沒有脫落或是不會脫落，往往會造成偽陰性的健康假象，因而延誤就醫，失去早期治療的效果。美國聯邦食品藥物管理局（FDA）在一九九八年底核准一種新穎的螢光檢測法，先在子宮頸及周圍塗抹稀醋酸，再利用以化學發光原理製作的螢光檢測棒檢查。由於病變細胞會與稀醋酸產生反應，因此病變區域在螢光的照射下會產生白斑，兩分鐘就可以完成檢查。

這項檢測可以大為提高癌症初期的檢出率，許多醫療院所都在大力推廣。螢光檢測最重要的部分，是檢測用的螢光棒，螢光棒內填充一種可以用化學反應產生的能量來激發的螢光物質。這

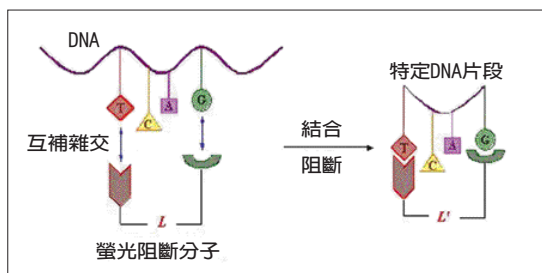
類螢光物質相當昂貴，科學家們希望利用奈米技術，以目前已經開發成功的藍白光螢光體為基礎，合成具有高亮度、長發光時間的奈米螢光體顆粒，藉以減少螢光體的用量，降低成本及檢查費用，讓這項檢驗技術更普及，使更多的婦女受惠。

螢光生物晶片 生物晶片（這裏指DNA晶片）是把探針附著在基材上，利用探針與去氧核糖核酸（DNA）互補雜交的特性，來檢測特殊的DNA片段。它可以用來檢測疾病、縮短新藥開發時程等等，是一種功能強大的DNA分析工具。我們利用一種可以發光的有機金屬奈米螢光體（也就是所謂的螢光阻斷分子）當作探針（註：一般的DNA晶片探針是單股的DNA），與待測DNA反應，反應前後探針的螢光會發生變化，利用螢光的變化，就可以偵測出特殊的DNA片段。

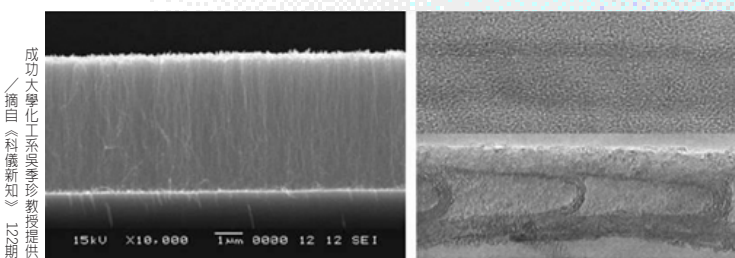
碳奈米管

一九九一年日本電氣（NEC）公司飯島澄男（Sumio Iijima）無意間以電弧蒸發發現碳奈米管（carbon nanotube）。一九九三年，科學家發現在石墨電極中加入鈷等金屬，就能製造出單層碳奈米管。一九九六年理查·司莫利（Richard E. Smalley）等人，則利用石墨雷射蒸發法製造出直徑一致的碳奈米管，司莫利特別把集結成束的碳奈米管稱為「奈米繩索」。

所謂碳奈米管（也有人把它叫做奈米碳管），就是把原本是平面結構的石墨捲成管狀，形成一種直徑小於數十奈米的圓筒形碳材料，不同的捲曲方式，會讓碳奈米管呈現金屬或半導體等不同的性質。碳奈米管最大的特色，在於它的性質穩



螢光生物晶片作用原理



成功大學化學系吳學珍教授提供
—摘自《科儀新知》122期

碳奈米管 左圖是高方向性碳奈米管成長在矽晶片上的橫截面掃描式電子顯微影像；右圖是碳奈米管的穿透式電子顯微影像。

定，具有高強度、高彈性、熱傳導性、導電性等。例如碳奈米管的熱傳導性，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，把產生的高熱量有效地排出。另外，碳奈米管的超強彈性，使得它彎曲90度都不會折斷。

碳奈米管可能的應用，包括製造顯示器（例如場發射式顯示器）、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。碳奈米管的專業應用正大規模地成長，等到量產問題能夠克服，價格降低之後，碳奈米管極可能成為繼矽

碳奈米管的熱傳導性，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，把產生的高熱量有效地排出。另外，碳奈米管的超強彈性，使得它彎曲90度都不會折斷。

之後，尖端產業的骨幹材料。一九九六年諾貝爾化學獎得主理查·司莫利，在頒獎典禮上，不是談讓他獲獎的碳60，而是大談碳奈米管。碳奈米管的魅力，由此可見一般。

目前全世界至少有超過二百個以上的學術單位或研究機構，正在從事碳奈米管的研究。以專利分布來分析，目前碳奈米管技術仍以美國及日本為主。我國進行碳奈米管

研發，可以從碳奈米管應用著手，例如開發新穎碳奈米管場發射式顯示器等。我們設計了一種新穎的顯示器模組，以國內既有的螢光體材料技術為基礎，製作奈米級導電性螢光體，再將奈米螢光體粒子植入碳奈米管，從另一端通電流激發螢光體發光。

奈米製程

奈米材料依據材料型態可以分為奈米塊材、粉體及奈米薄膜，其中奈米粉體的製備發展較快、也較成熟。製備奈米材料的方法相當多，分為化學方法及物理方法兩類。顧名思義，化學方法是利用化學方法，物理方法則是利用物理原理來製造奈米材料。

水熱法 所謂的水熱法，就是利用水為介質，外加適當的溫度，在密閉的反應器內產生壓力，進行反應。利用水熱法製作化合物的步驟，是先把反應物與水放入反應器內，再把反應器旋緊、密閉

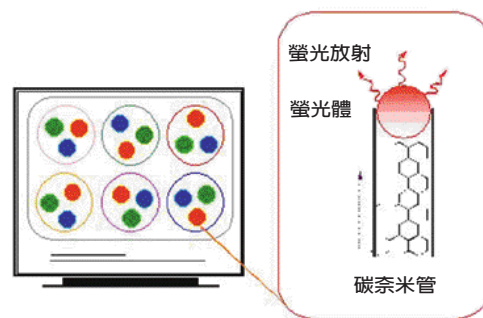
後，放入加熱爐中反應。反應後過濾取出產物，再清洗烘乾即可。水熱法製造三元金屬氧化物的反應機制，至少有兩種，一種是酸鹼反應，另一種是利用凝膠原理。酸鹼反應的機制，是用有機金屬化合物做為起始物，先水解為帶負電荷的氫氧化物，再與另外的金屬陽離子中和、生成產物。凝膠法則是把有機金屬化合物水解，再與另一個金屬氫氧化物反應形成凝膠，最後排除水分子、生成產物。

有些物質對水敏感或是在水溶液中性質不穩定，不適合在水溶液中反應，這時可以改用其他有機溶劑當作介質，這就是所謂的溶劑熱合成法。例如可以用苯當溶劑合成出大約30奈米大小的氮化鎵（GaN）晶粒。利用有機溶劑當作介質，可以大為增加水熱法的應用範圍，有時候也可以依實驗需求，同時使用兩種有機溶劑或是改變溶劑的極性，來製備奈米材料。

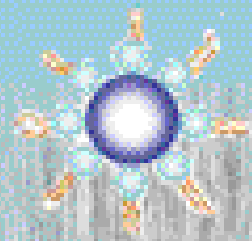
微乳液法 所謂微乳液，是指一種液體藉由表面活性劑的作用，均勻分散在另一種液體內，形成熱力學穩定的澄清溶液。微乳液分散相的微滴直徑通常小於一百奈米，因此微乳液法可以用來合成奈米粒子。

機械研磨法 把材料粒子以機械研磨成奈米顆粒（物理法），這方法操作簡單、成本低，但容易有粒徑分布不均的問題產生，且並非所有奈米材料都能用機械研磨製得。

蒸發沈積法 在真空或惰性氣體環境中，把樣品蒸發後，再讓氣態粒子沈積，以得到奈米粒子。不同的蒸發方式（電子槍、直接加熱等）、溫度，或是使用氣體的種類及壓力，都可能影響奈米



碳奈米管場發射式顯示器模組示意圖



粒子的大小。格萊特教授當年就是用類似的方法製作出奈米粒子，目前也有法國科學家，利用電子槍蒸鍍製作光放大器薄膜。

共沈澱法 在含有各種產物離子的溶液中加入沈澱劑，使產物直接從溶液中析出、分離，例如可利用這方法製備鈦酸鋇、鈦酸鉛及氧化鋯等奈米粉體。

溶膠—凝膠法 把反應物（例如金屬鹽類、有機酸、多元醇）溶解在溶劑中，經溶膠、凝膠等過程，再以低溫熱處理，即可製備奈米粒子。

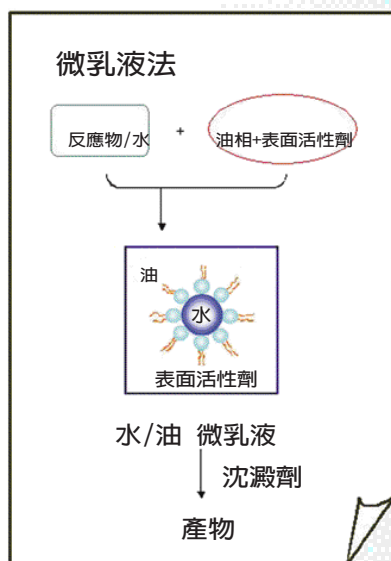
奈米在台灣

過去幾年，國內半導體產業蓬勃發展，躋身世界大國，為台灣帶來另一項經濟奇蹟。

下一個台灣的重點科技產業，則非奈米科技及生物科技莫屬。政府各單位相繼投入研發經費，選定奈米材料、奈米電子、奈米機械及奈米生技等四大應用領域發展，並且積極推動石化、鋼鐵等傳統產業奈米化的目標。

除此之外，為倡導基礎研究，國科會也積極規劃、整合大型研究計劃，各大學院校也相繼成立奈米研究中心，從事相關研究。雖然國內的奈米研究起步較晚，仍在初期發展階段，基礎理論及實驗技術都有待建立，但是，國內微製程技術已有相當雄厚的基礎，加上物理、化學等人才不虞匱乏，發展奈米科技將有極大遠景。

中國大陸這幾年積極推動奈米研究，召開奈米學術會議，成立專門組織，在奈米技術的研究上已有相當程度的基礎。一九九三年，中國科學院北京真空物理實驗室已經可以成功地操縱原子，排列出「中國」兩個字以及中國地圖。目



利用微乳液法製造奈米材料的步驟。
(1) 把反應物（例如硝酸鹽類化合物）溶解在水裏形成水相，選擇適當的油相，並加入界面活性劑，讓水相均勻分散在油相裏。
(2) 當少量的水相分散在大量的油相中，在特定的條件下，水相會形成奈米等級的微滴，反應就在微滴中進行（這種微粒就是俗稱的奈米反應器）。
(3) 反應結束後，在溶液中加入沈澱劑，把產物從原溶液中沈澱出來。經過清洗後，就可以得到奈米粒子。

前，世界各國都已相繼投入大量資源，並且積極布建相關專利地圖，奈米科技競爭激烈可期。

我國奈米科技的發展方向，可以考慮與生物科技結合，針對生物科技的應用，採取重點式的發展。未來的發展方向包括：

奈米生技製藥 某些藥物人體不易吸收，奈米藥物可望提高藥物吸收率，減少用藥、增進療效。此外，可以結合中草藥開發，發展奈米新藥。

奈米醫療技術 利用奈米技術開發醫療器具、檢驗工具或療法，並可以針對國人易患疾病做深入的研發。

奈米生醫材料 開發生物應用奈米材料，例如可以用來做為生物晶片探針，或是光動力療法的生物螢光體等等。

奈米科技的出現，如同另一次的工業革命，將促使科技邁向另一個進程。雖然到目前為止，奈米科技還沒有劃時代的突破性進展，但是，隨著人類使用器械的微型化趨勢，以及奈米材料的特殊性能表現，我們可以預見奈米科技的蓬勃前景，可以確信奈米科技絕對是下一波科技產業的新潮流。 □

註：

奈米 (10^{-9} m) 也有人說「毫微米」，「毫」代表千分之一 (10^{-3})，「微」代表百萬分之一 (10^{-6})，「毫微米」就是十億分之一公尺 (10^{-9} m)。至於「奈米」，單純是原文「nanometer」的音譯。另外，中國大陸喜歡叫「納米」，台灣則用「奈米」比較多。

高逢時
道爾科技