

揭開抗菌、防腐的神奇面紗 —

奈米銀 (Nano Silver)

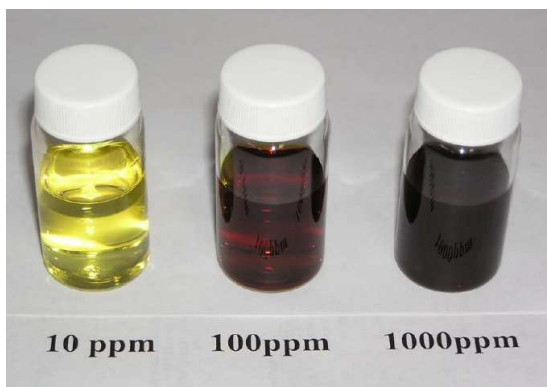
逢甲大學奈米科技研究中心 呂晃志

2007 - 12 - 1

銀是亮白色的貴重金屬，早期多作裝飾品之用，銀雖然具有優異的導電性與導熱性，但化學性質不是很活潑，僅與硫或硫化氫反應產生黑色的硫化銀；在應用方面則常與一種或多種金屬製成合金，做為貨幣、飾品及承軸使用，或是以銀離子的形式與各種陰離子形成化合物，用於電鍍、顯影及催化上。

市面上所謂的「奈米銀」，簡單來說，就是將金屬銀進行奈米化，處理後的銀顆粒粒徑只要小於 100 nm，即可稱為奈米銀。當然，要將金屬銀奈米化，並不是單純的以機械研磨方式處理，因為傳統機械研磨的極限約為 500 nm，且粒徑大小不易控制，無法形成高均勻性的奈米銀溶液。目前要得到高均一性的奈米銀粒子，多採用化學還原的方法，將還原劑加入銀離子溶液中，使離子獲得電子而還原成金屬，再配合上適當的保護劑及懸浮分散劑，避免團聚現象產生，便可以得到符合尺寸要求的奈米銀。

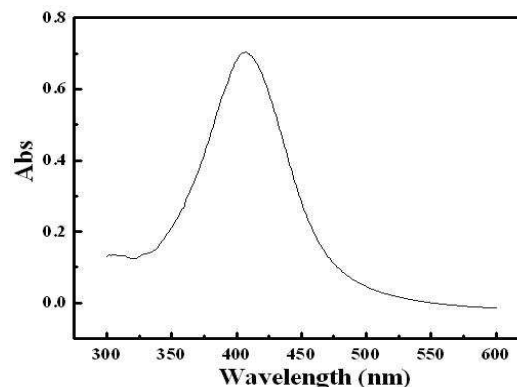
當合成的奈米銀粒子尺寸小於 100 nm 時，就可以在懸浮分散劑的作用下，得到穩定分散的懸浮液體，而添加適量的保護劑則可抑制銀粒子的相互凝聚而變



圖一：奈米銀水溶液的顏色明顯隨濃度變化。

大，因此奈米級的銀粒子便能在溶液中產生布朗運動(Brown motion)，一段時間內不會有明顯的沉澱現象發生；但是隨著奈米銀濃度的提升，奈米銀溶液的顏色也會隨著濃度的增加而產生變化，如圖一所示，從低濃度時的亮黃色轉變為高濃度時的深褐色，此時懸浮分散劑與保護劑的添加量也必須因應提高，才可以有效避免團聚及沈澱現象的發生。

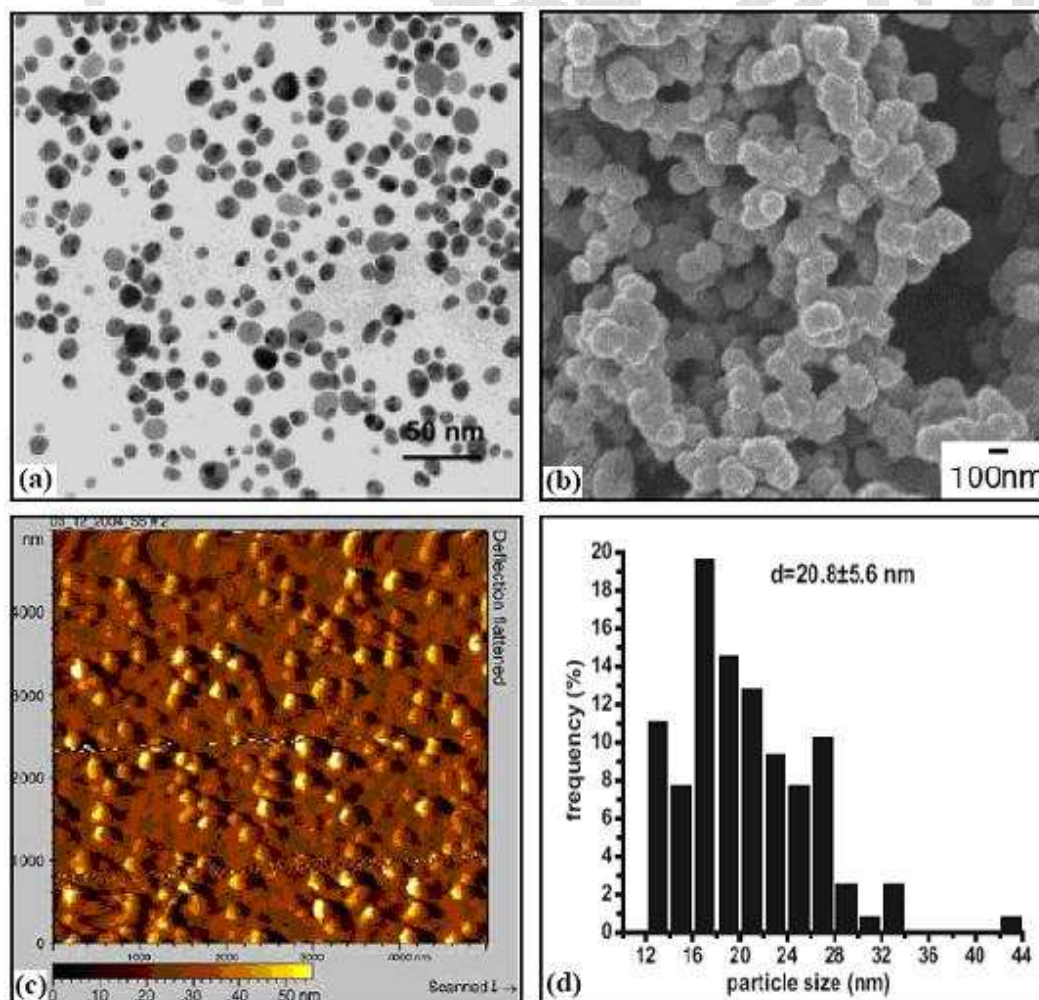
在奈米銀的定性分析上，最常見的方法是透過紫外光-可見光光譜儀進行全波長掃描，從光譜上可以清楚觀察到亮黃色的奈米銀水溶液在波長 410 nm 附近有特定的光譜吸收峰(見圖二)，這是因為奈米銀的粒徑遠小於入射光波長，表面電子受到入射光的激發，引起溶液中所有奈米銀粒子共同進行偶極震盪行為，造成表面電子偏



圖二：以紫外光-可見光光譜儀進行奈米銀水溶液的吸收光譜量測。

極化，稱作「表面電漿共振」(surface plasmon resonance)，這種行為會隨著金屬的種類、粒徑大小、顆粒形狀、粒子濃度、懸浮分散劑或保護劑的不同而有明顯差異，亮黃色溶液是 10 ppm 圓形奈米銀的獨特表徵。

過去的研究亦顯示出其他鑑定奈米銀的方式，包括原子吸收光譜、感應耦合電漿光譜、能量散佈光譜儀及 X 光繞射儀等，都能夠有效鑑定奈米銀溶液中的銀元素，但是無法有效鑑定其尺寸，必須配合雷射粒徑分析儀、掃描式電子顯微鏡、穿透式電子顯微鏡或是掃描式探針顯微鏡等影像分析儀器(見圖三)，實際觀察溶液中奈米粒子的粒徑大小，才算是完成奈米銀的鑑定。



圖三：判別奈米銀尺寸的分析方法：(a)穿透式電子顯微鏡(TEM)、(b)掃描式電子顯微鏡(SEM)、(c)掃描式探針顯微鏡(SPM)以及(d)雷射粒徑分析儀觀測的結果。(詳見參考資料[3]-[6])

將銀適度奈米化之後，由於表面積大幅提升，衍生出新的功能，使得其應用性大幅增加，連帶產生許多新型態的產品，包括高導電性奈米銀塗料、高催化性奈米銀觸媒及高抗菌性奈米銀殺菌劑，適度延伸金屬銀本身的導電性、催化性及抗菌性，並配合其表面積的增加，得以推動其功能性上的強化，廣泛應用於電子元件、催化劑與抗菌產品上，例如：電路板、被動電子元件、反射板、觸媒、抗菌纖維、抗菌噴劑等；然而，由於奈米銀本身的抗菌功效顯著，兼具長效與廣效

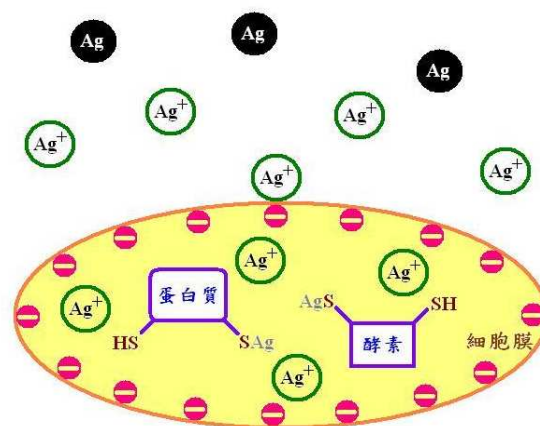
的優點，且對於環境的影響也遠低於有機抗菌劑，市面上也因此陸續推出許多與奈米銀相關的抗菌商品，以下主要將針對奈米銀的抗菌特性進一步介紹。

銀的殺菌作用發現得很早，在古羅馬、古波斯的年代，人類就開始使用銀質器皿來存放液體以避免腐敗，而中國《本草綱目》中亦出現：「銀屑，安五臟、定心神、止驚悸、除邪氣、久服輕身長年」的字句，由此可知人類很早就發現銀具有廣效之殺菌作用；到了近代，銀更是在第一次世界大戰被應用來防止傷口感染，而較高級的肌膚保養品廠商也以膠體銀來減低防腐劑的用量，避免肌膚因防腐劑所導致的過敏現象；甚至於在美國國家航空暨太空總署(NASA)，目前依然使用銀來維持太空艙中的水質淨度。

銀本身具有預防傷口潰爛和加速傷口癒合的作用，但經過奈米技術處理的奈米銀因表面急劇增大，使其殺菌能力可提高 200 倍左右，同時抗菌活性並不易隨反應而消耗，仍能長期保持原有的抗菌能力，且奈米銀在水中呈中性，能耐酸、耐鹽和弱鹼，對熱和光穩定性好，故被譽為「永久性的殺菌劑」，目前已經逐漸被廣泛使用於一般生活環境中，市面上已陸續出現奈米銀相關性產品及其電視廣告，包括繃帶、襪子、飲水器、冷氣機、電冰箱和洗衣機等抗菌產品，顯示奈米銀正掀起生活用品新風潮。

奈米銀的抗菌原理主要是奈米化的銀顆粒在潮濕環境中會釋出帶正電荷的銀離子，當正電荷銀離子接觸到帶負電荷的細菌細胞後，會因為銀離子與蛋白質上硫醇基(-SH)的特異性結合作用力，有效地刺穿細胞壁與細胞膜外表，進一步使細菌細胞因蛋白質變性(見圖四)，而無法呼吸、代謝和繁殖，直至死亡，達到滅菌的效果；詳細抗菌作用機制區分如下：

(1)干擾細胞壁的合成：細菌的細胞壁是由多醣類與蛋白質組合而成的，有些細菌甚至在外圍還有一層具保護作用且與致病力相關的膠狀莢膜，與植物細胞壁含有纖維素的成分明顯不同。抗菌材料對細菌細胞壁的干擾作用，主要為抑制其多醣鏈與肽鏈之間的交聯作用，使細胞壁失去完整性，降低了對滲透壓的保護作用，導致菌體嚴重受損而死亡。

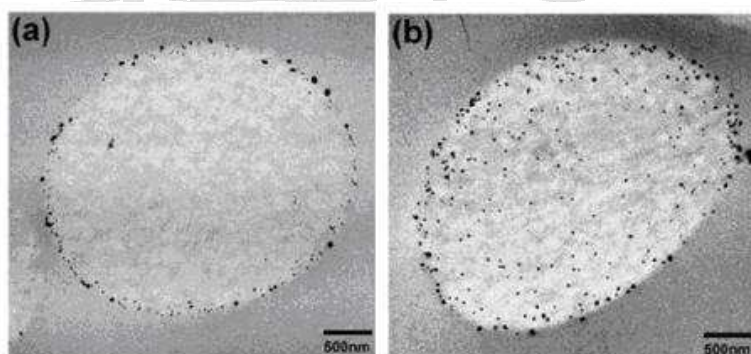


圖四：奈米銀與菌體蛋白質反應機制之示意圖。

(2)損壞細胞膜：細菌的細胞膜是具有半透性的薄膜，共分三層，內外層厚約 2~4 nm，顏色較暗，中層厚約 3~5 nm 但較透明，主要是由類脂質、蛋白質和碳水化合物組成。細胞膜由於具備微孔結構且有通透性，可控制分子進出及調節滲透，並有合成 ATP 的功能，因此是細菌進行生命活動的重要部分，當細胞膜蛋白質結構受到抗菌劑的損傷、破壞，將會導致細菌死亡。

(3)抑制蛋白質的合成：細菌的細胞質是其生命體進行一般生理活動的主要場所，主要是由水、蛋白質、核酸、脂類、醣類及鹽類所組成的透明膠體。由於細胞質是細菌的代謝中心，內含核糖體及質體等胞器和酵素，當抗菌劑進入細菌的細胞質後，便會藉由對多種酵素的抑制，變更或終止蛋白質的合成過程，導致細菌死亡。

(4)干擾核酸的合成：細菌的染色體是由 DNA 疊合而成，且細胞質中的質體與 DNA 的複製有關，特別是質體中細小環狀 DNA 所帶有的遺傳性狀，直接影響細菌的生長，當抗菌劑進入細胞質中便能阻礙遺傳信息的複製，包括 DNA、RNA 的合成，以及 DNA 模板轉錄 mRNA 等。

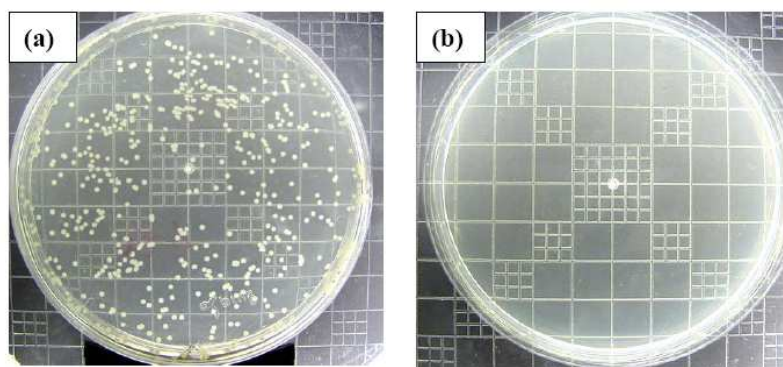


圖五：奈米銀可以穿透菌體細胞壁進行抗菌反應：
(a)穿透前、(b)穿透後。(詳見參考資料[7])

奈米銀的抗菌作用類似觸媒，在穿透細胞壁後(見圖五)，便會逐步破壞菌體內的新陳代謝反應，最後導致菌體死亡並完全消失(見圖六)，同時不會產生抗藥性反應，而且這一連串的毒化作用不會發生於人體細胞

上，在特性上迥異於有機抗菌劑，但其外用的安全範圍仍限制在 5 ~ 300 ppm，而人體攝入的安全範圍則在 3 ~ 5 ppm。另外，美國藥物食品檢驗局(FDA)也表示，奈米銀的確具有抗菌效果，且其殺菌種類高達 650 種，但是對於多細胞生物並不會造成重大致命危害。

現今奈米銀的抗菌應用包羅萬象，從電子產品、環保生醫、紡織服飾到化妝品，處處都可見到奈米科技帶來的影響，而家電業也開始涉足奈米技術的領域，特別是近年來隨著奈米技術的發展成熟，家電業者也紛紛推出以「奈米銀」為訴求



圖六：奈米銀進行抗菌反應的顯著成果：(a)噴塗奈米銀前；
(b)噴塗奈米銀後。

的概念性商品，宣告「銀」的健康家電新風潮已經來臨，針對台灣濕熱、易孳生細菌的居家環境，提供全新的抗菌選擇。不過目前家電產品上的奈米銀仍需依附在家電表面才能發生作用，所以市售產品仍採用鑲嵌或塗佈的技術來固定奈米銀，然而目前國際上對於「奈米」還沒有具公信力的認證單位可以保證，而先進

國家研究如何檢驗奈米技術的真偽，也還沒有具體可信的成果。由於缺乏一個可供消費者參考的認證標準，所以消費者在選購家電前最好先行確認該機種採用那一種抗菌處理，以及是否真能達到預期的抗菌目的，不必一窩蜂急著將所有家電全面奈米銀化。

參考資料

- [1] 周更生、李賢學、高振裕、盧育杰，「奈米銀」，科學發展月刊，第 408 期，p32-39，2006。
- [2] 呂晃志、蔡宜壽，「銀系無機抗菌材料的開發」，化工資訊與商情，第 44 期，p38-45，2007；第 45 期，p56-62，2007。
- [3] I. Sondi, B. Salopek-Sondi, “Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria”, *J. Colloid. Interface. Sci.* 275, p177-182, 2004.
- [4] S. Jing, S. Xing, L. Yu, C. Zhao, “Synthesis and characterization of Ag/polypyrrole nanocomposites based on silver nanoparticles colloid”, *Mater. Lett.* 61, p4528-4530, 2007.
- [5] C. R.K. Rao, D.C. Trivedi, “Synthesis and characterization of fatty acids passivated silver nanoparticles—their interaction with PPy”, *Synthetic Metals* 155, p324-327, 2005.
- [6] P. Rita, D. David, V.-A. Donaji, R.-G. Geonel, S.-J. Patricia, “Synthesis and direct interactions of silver colloidal nanoparticles with pollutant gases”, *Colloid Polym. Sci. Online*, 2007.
- [7] J.-W. Kim, J.-E. Lee, S.-J. Kim, J.-S. Lee, J.-H. Ryu, J. Kim, S.-H. Han, I.-S. Chang, K.-D. Suh, “Synthesis of silver/polymer colloidal composites from surface-functional porous polymer microspheres”, *Polymer* 45, p4741-4747, 2004.