

## 第一章 緒論

奈米碳管其特殊的結構，自發現以來一直是全世界眾所矚目之新材料[1]。碳(Carbon)其在週期表為 4A 族原子序為 6，其在自然界之存在形式包括零維結構  $C_{60}$ 、一維結構奈米碳管、二維結構石墨(Graphite)、三維結構鑽石(Diamond)。隨著檢測、分析技術之發展，人們有機會可以對奈米碳管結構能有更深入的了解，奈米碳管結構主要為捲成圓形之石墨層，內徑可從 0.4nm 至數十 nm，外徑則約由 1nm 到數百 nm，長度則由數  $\mu\text{m}$  至數十  $\mu\text{m}$  間，而由單一、多層石墨層捲曲而成之碳管則分別稱為單壁(Single-wall)、多壁(Multi-wall)奈米碳管，如圖 1.1[2]為其示意圖。

現今半導體工業發展始終朝向元件尺寸越來越小、功能越來越多並降低生產成本，以此大方向進行，其預計到 2016 年一個電子元件如電晶體(Transistor)，約僅有 25nm [3]。在小尺寸下，如奈米碳管之電晶體 [4-5]、奈米碳管線等[6]，皆指出奈米碳管應用於奈米尺寸電子電路呈現出良好之電性。ITRS 並預測 2013 年元件中支電流密度將會達到  $3.3 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ ，至目前為止其僅有奈米碳管可承受如此高的電流密度值，甚至奈米碳管可承受  $10^9 \text{ A/cm}^2$  的電流密度，另外加上碳管之熱導係數(Thermal conductivity)是鑽石的 2 倍，銅的 15 倍，散熱之效率更是適合應用於微電子產品中。

由於奈米碳管擁有特殊之結構，因此其物性、化性和電性的表現都相當出色，包括高寬深比(high aspect ratio)、高機械強度(high mechanical strength)、較好的化學穩定性(high chemical stability)[7-9]，除此之外，其良好場發射(field emission)特性[10-11]也備受重視，因這些優異性質，碳管在應用於電子電路中，其未來可望導入金屬內連線(interconnection)中應用。

目前內連線之技術以銅為主要材料，在介質孔(via)中填充銅，由於奈米碳管其電性表現之優異，所以將其引入應用。當線寬越小在介質孔內合成奈米管，會隨著孔徑之大小而導致製程氣體擴散之不易，而影響孔內對觸媒前處理狀況及合成奈米碳管所需之碳源。

並且在經合成碳管之後需經適當電漿後處理，使碳管與介質孔達相同高度，平坦化在目前半導體製程均以 CMP 為主，但碳管於介質孔中合成後若以此法，會因 CMP 研磨的力量將碳管扯離基板而無法填充於介質孔中，需藉由電漿後處達到平坦化之效果。

理論上以奈米碳管做為內連線之材料，其可滿足尺寸小、消耗能量低、傳導速度快之優點，但首先需使奈米碳管與外界訊號連結之金屬導線其接觸阻抗達到一定低值，除奈米碳管本身性質之外，碳管與不同金屬界面之鍵結與接觸狀態還有披覆之狀況皆對於電子傳導方式上有著相當大之影響進而改變其接觸阻值。

本研究以奈米碳管為研究材料，在第一部分以相同之結構及孔徑之大小，藉由不同溫度高低，探討觸媒鎳前處理於結構中之成核狀態，在未來希望藉此控制碳管成長之密度與品質於介質孔中，進而觀察合成較佳成長參數與品質之奈米碳管，探討鎳顆粒本身對前處理氫氣之氣體分子的反應，進而達到顆粒控制的目的。

第二部份以在相同結構、不同介質孔徑大小下合成長奈米碳管，探討孔內鎳觸媒前處理參數與碳管適當合成參數，觀察孔徑大小對製程氣體擴散之影響並與不同試片之觸媒前處理和合成奈米碳管之相關性。

第三部份是以多功能真空濺鍍系統(Sputter)鍍上金屬銅於奈米碳管後，以物性分析觀察銅披覆於碳管介面之情形，以未來導入內連線、及碳管表面改質之研究。

第四部份為橫向合成奈米碳管與鈦之接觸電阻研究，實驗中利用鈦金屬做為電極，其做為與奈米碳管之接觸金屬，觀察碳管與鈦之界面接觸狀態對電性之關係，並再經由退火之處理，探討其經退火處理後對於電性之影響。

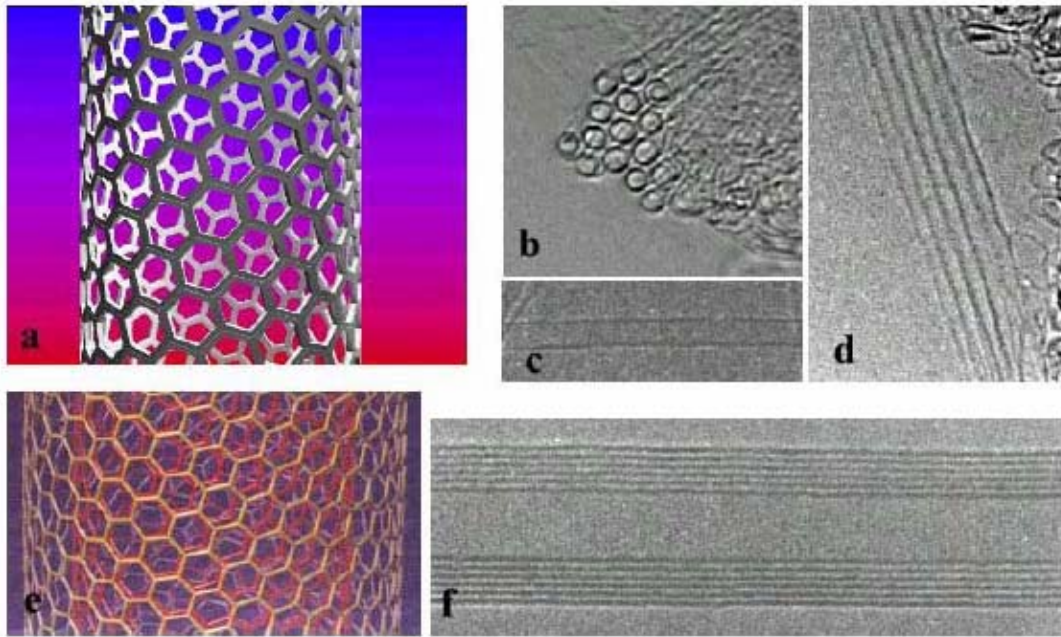


圖 1.1 (a-d)為單壁奈米碳管和(e,f)為多壁奈米碳管

