

## 第五章 總結

本研究利用微波電漿化學汽相沉積系統，以Co、Fe作為觸媒於鍍有緩衝層材料( $\text{ZnS-SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{TiN}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 及 $\text{AlON}$ 等)之矽基材上成長碳奈米結構。從實驗結果可以得到下列結論：

1. 緩衝層與觸媒之材質與厚度以及製程條件皆可能對碳奈米結構形貌及成長機制有很大的影響。
2. 就緩衝層材質與厚度之影響而言，以鋁基材料為緩衝層，顯示具觸媒輔助成長SWNTs之趨勢。且其種類與厚度對促進成束SWNTs的成長與觸媒材質有關，如以Co為觸媒， $\text{AlON} \approx \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{AlN}$ ， $\text{AlON}(10 \text{ nm}) > \text{AlON}(20 \text{ nm}) > \text{AlON}(5 \text{ nm})$ ；以Fe為觸媒則 $\text{AlN} > \text{Al}_2\text{O}_3$ ，但緩衝層厚度在5-15 nm範圍內對促進SWNTs的生成則無明顯之影響。可能原因是鋁基緩衝層基本上是提供合適的粗糙度使觸媒在形成顆粒狀後，在表面形成適當尺寸的小突起作為成核點以增進成束SWNTs的生成。以Co而言，太低粗糙度(例如10 nm AlN, 0.4 nm roughness)的緩衝層表面不足以形成小突起，而太高粗糙度(例如5 nm AlON, 1.9 nm roughness)則突起之尺寸較大，皆不利於SWNTs的生成。至於Fe觸媒於鋁基緩衝層上前處理後之粒徑遠小於Co觸媒，所以Fe顆粒基本上就具形成SWNTs之優勢。
3. 就觸媒材質與厚度之影響而言，正如文獻所示觸媒厚度愈薄愈容易成長

SWNTs，但以 Co 與 Fe 為觸媒其成長機制並不相同。這可由其在鋁基緩衝層上經氫電漿前處理後之粒徑大小，以觸媒厚度 5 nm 為例，前者(~60 nm)遠大於後者(~15 nm)，成長機制分別為根莖成長機制(root-growth mechanism)與 Baker 成長機制。

4. 就反應氣體壓力之影響：以形成之管數密度來比較，結果顯示有最佳壓力範圍之趨勢。以 Co 觸媒厚度 5 nm 為例，壓力在 23 Torr 時之密度最高。在相同微波功率下，壓力低時，表示碳源較少，且溫度亦較低，所以可以成核的位置相對較少，反之，壓力高，表示碳源較多，且溫度較高，易於提早毒化觸媒而且形成多壁碳管之機率增加，所以管數密度下降。
5. 就CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>流量比之影響：以Fe觸媒厚度 5 nm為例，CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>流量比高於 1.5/50 顯示易形成MWNTs，流量比低於 1.5/100 則主要形成SWNTs。流量比高，表示碳源較多，易於形成較多非晶質碳，因此易於抑制或提早毒化小的觸媒粒子，使得SWNTs之形成受阻。
6. 緩衝層對於碳結構之場發射性質而言，無顯著的影響。