



第五章 結論

本實驗利用電子迴旋共振化學氣相沉積法，於矽基材上合成包覆鐵碳奈米結構。另外，對初成長之碳奈米管，進一步作真空磁性退火後處理，條件是875高斯的磁場下、真空中持溫640°C、四小時。並加以探討每一個製程步驟形貌、結構、鍵結以及磁性質。

由實驗結果得到以下結論：

(1) 氫氣與甲烷流量對碳奈米管成長之影響：

(a) 氫氣流量增加，意味著低的碳濃度、低的成長速率以及較強的蝕刻效應，其有助於碳管的長度變短、直徑變小且密度變高。

(b) 因為甲烷為CNTs之碳源，所以隨著甲烷含量的增加，碳管的長度變長、直徑變大且密度變低。

(2) 基材偏壓對碳奈米管成長之影響：

較高的負偏壓會對碳奈米管產生大的蝕刻效果，並形成更短、更小垂直排列的CNTs或顆粒狀碳奈米結構。相反的，若沉積時將基材偏壓由-150 V降至-50 V，則將會使碳膜之成長速率大於碳奈米管之成長速率，導致碳膜快速生成。

(3) 從實驗中的結果得知，最密之碳奈米管管束密度高達20.6



Gtubes/inch²，長度為550nm；而包覆鐵碳奈米顆粒的密度高達

23.2 Gtubes/inch²，高度為178nm。

- (4) 相較於碳奈米管，顆粒狀的包覆鐵碳奈米結構，在TEM聚電子束時，會彼此熔融在一起，形成一個大顆粒，這可能是包覆鐵碳奈米結構在頂端的鐵觸媒因磁性相互吸引，再加上奈米尺寸顆粒時熔點降低、表面活性高所造成。
- (5) 從HRTEM可知觸媒的形狀，為倒梨狀。碳奈米管擇區繞射圖中的三個繞射環經由計算為(002)(100)(110)的石墨，石墨層與石墨層間距為0.336nm。
- (6) 由拉曼分析可得知初成長之碳奈米管在經過磁性退火後非晶質碳或缺陷會減少，CNTs的 I_G/I_D 值原為0.92(由高度量測)或0.78(由面積)量測，經退火後 I_G/I_D 提升為0.96(由高度量測)或0.89(由面積)量測。
- (7) 從XRD圖譜顯示初成長之CNTs具有簡單斜方-Fe₃C、bcc-Fe及fcc-Diamond的繞射訊號，但經過退火處理後，會形成沒有bcc-Fe存在。這是因為奈米尺寸表面積高，所以原子擴散所受的拘束較小，擴散較容易，因此當初成長之碳奈米管經過640⁰C四小時的磁性退火後，bcc-Fe會經由非晶質碳擴散，使之碳化成簡單斜方-Fe₃C。



- (8) 以AFM/MFM分析初成長之碳奈米管，不論量測時有無外加磁場，皆呈現單一磁區，而且所有磁區的磁矩皆朝同一方向排列，證明包覆磁性顆粒的碳奈米管的確可以儲存磁性訊號。此表示著在奈米解析度下具有高可能性應用在磁記錄媒體。
- (8) 以SQUID量測初成長之碳奈米管與磁性退火後的碳奈米管磁滯曲線，得知此兩種碳奈米管在室溫時便具有磁滯現象，且磁化強度與量測溫度呈非線性反比，而矯頑力與量測溫度呈線性反比。這是因為在室溫時分子或原子間會有熱擾動的現象，所以導致矯頑力和磁化強度變小，而低溫時矯頑力便能清楚的呈現出來。
- (9) 從磁滯曲線中發現初成長之碳奈米管與磁性退火後的碳奈米管，磁滯曲線偏移量(shifted hysteresis loop)與量測溫度呈線性反比，其原因為交換磁異向性，但亦有可能是量測時外加磁場不夠大，未達到飽和所導致。
- (10) 場發射量測碳奈米管在經過磁性熱處理後，場發射效應明顯的變好。起始電場從 $10.2 \text{ V}/\mu\text{m}$ 降到 $5.8 \text{ V}/\mu\text{m}$ ，而在電場為 $10.38 \text{ V}/\mu\text{m}$ 時的電流密度由 $0.011 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 提升到 $33.055 \text{ mA}/\text{cm}^2$ ，其場發射電流密度足足大了三個等級。這是因為經過磁性退火後可能會減少初成長之碳奈米管表面因非晶質碳或缺陷所產生的位勢障，增加發射電流。