

目 錄

中文摘要	i
英文摘要	iii
誌謝	v
目錄	vi
表目錄	ix
圖目錄	x
一. 緒論	1
二. 基礎理論與文獻回顧	5
2.1 奈米碳管的結構	5
2.2 奈米碳管的性質	6
2.2.1 場發射特性	6
2.2.2 機械性質	6
2.2.3 導電性	7
2.2.4 熱穩定性、熱導性及熱膨脹性	8
2.3 奈米碳管的成長機制	9
2.3.1 碳經由催化劑擴散	9
2.3.2 碳經由催化劑表面擴散	10
2.4 奈米碳管的製備方式	10
2.4.1 電弧放電法	10
2.4.2 雷射剝削法	11
2.4.3 化學氣相沈積法	12
2.4.3.1 觸媒前處理與微波電漿化學氣相沈積	13
2.5 奈米碳管於電子產業之應用	15
2.6 奈米碳管與金屬之複合材料	17
2.7 奈米碳管與金屬之接觸阻抗	18
2.7.1 金屬功函數	18
三. 實驗方法與分析	30
3.1 實驗流程	30
3.2 實驗與分析儀器	30

3.2.1	實驗材料	-----	30
3.2.2	實驗儀器	-----	31
3.2.2.1	微波電漿化學氣相沉積系統	-----	31
3.2.2.2	電漿輔助化學氣相沈積系統	-----	31
3.2.2.3	自動化光阻塗佈及顯影系統	-----	31
3.2.2.4	I-Line 光學步進機	-----	31
3.2.2.5	多功能真空濺鍍系統(Sputter)	-----	32
3.2.2.6	後段真空退火爐管	-----	32
3.2.3	分析儀器	-----	32
3.2.3.1	掃描式電子顯微鏡	-----	32
3.2.3.2	穿透式電子顯微鏡	-----	33
3.2.3.3	離子減薄機	-----	33
3.2.3.4	原子力顯微鏡	-----	34
3.2.3.5	拉曼光譜儀	-----	34
3.2.3.6	傅利葉轉換紅外線分析儀	-----	35
3.2.3.7	ESCA	-----	36
3.2.3.8	半導體元件參數量測系統	-----	36
3.3	實驗步驟	-----	37
3.3.1	試片準備	-----	37
3.3.1.1	合成奈米碳管於栓塞結構(plug)之 試片	-----	37
3.3.1.2	奈米碳管與金屬銅介面研究之試片 -----	-----	37
3.3.1.3	橫向合成奈米碳管之試片	-----	38
3.3.2	觸媒前處理與奈米碳管成長步驟	-----	38
3.3.2.1	微波電漿觸媒化學氣相沉積法合成 奈米碳管	-----	38
3.3.3	熱化學氣相沈積合成奈米碳管	-----	39
3.3.4	退火處理步驟	-----	39
3.3.5	試片分析	-----	40
四.	實驗結果與討論	-----	49
4.1	結構之觸媒前處理觀察	-----	49
4.1.1	掃描式電子顯微鏡觀察	-----	49

4.1.2	原子力顯微鏡	49
4.1.3	結構之觸媒前處理討論	50
4.2	結構中合成奈米碳管	51
4.2.1	掃描式電子顯微鏡	51
4.2.1.1	以參數 a 於結構中合成奈米碳管	51
4.2.1.2	以參數 b 於結構中合成奈米碳管	52
4.2.1.3	以參數 c 於結構中合成奈米碳管	53
4.2.1.4	以參數 d 於結構中合成奈米碳管	53
4.2.2	拉曼光譜儀	54
4.2.3	結構中合成奈米碳管討論	54
4.3	奈米碳管濺鍍金屬銅之介面觀察	56
4.3.1	掃描式電子顯微鏡觀察	56
4.3.2	原子力顯微鏡觀察	57
4.3.3	穿透式電子顯微鏡	57
4.3.4	拉曼光譜儀	58
4.3.5	XPS	58
4.3.6	奈米碳管濺鍍金屬銅之介面討論	59
4.4	金屬鈦與奈米碳管之接觸電阻	60
4.4.1	掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察	61
4.4.2	半導體元件參數量測系統(IV)量測	61
4.4.3	金屬鈦與奈米碳管之接觸電阻討論	62
五.	結論	97
六.	參考文獻	99

表目錄

表 2.1	製備奈米碳管方式比較	28
表 2.2	奈米碳管特性整理表	28
表 2.3	內連線結構中不同金屬性質	29
表 3.1	電漿化學氣相沉積系統規格表	45
表 3.2	金屬濺鍍系規格表	45
表 3.3	掃瞄式電子顯微鏡系統規格表	46
表 3.4	穿透式電子顯微鏡系統規格表	46
表 3.5	原子力顯微鏡規格表	47
表 3.6	拉曼光譜儀系統一般規格表	47
表 3.7	紅外線光譜頻譜位置	48
表 4.1	結構中合成奈米碳管之參數表	96
表 4.2	合成奈米碳管於介質孔(1 μ m)之拉曼光譜位置與強度比值	96
表 4.3	橫向合成奈米碳管之試片編號表	96

圖目錄

圖 1.1	(a-d)為單壁奈米碳管和(e,f)為多壁奈米碳管	4
圖 1.2	碳管經電漿後處理，濺鍍金屬後之結構示意圖	4
圖 2.1	穿透式電子顯微鏡觀察之不同內外徑多壁奈米碳管	20
圖 2.2	單層奈米碳管(SWNT)結構示意圖。(a) armchair 碳管；(b) chiral 碳管；(c) zigzag 碳管	20
圖 2.3	以二維石墨平面向量表示奈米碳管結構	21
圖 2.4	Grujicic 提出兩種(a)底部成長(Base growth) (b)頂部成長(Tip growth)模擬碳管成長模型	21
圖 2.5	碳經由催化劑擴散成長機制示意圖	22
圖 2.6	碳經由催化劑表面擴散機制示意圖	22
圖 2.7	電弧放電法設備圖	23
圖 2.8	雷射氣化法設備圖	23
圖 2.9	化學氣相沉積法設備圖	24
圖 2.10	微波電漿化學氣相沉積示意圖	24
圖 2.11	積體電路內連線的 RC 時間延遲示意圖	25
圖 2.12	奈米碳管用於金屬內連線	26
圖 2.13	不同幾何形狀之奈米碳管，在沒加與有加電場情況下之有效功函數及電荷(charge)變化	26
圖 2.14	金屬之功函數比較，虛線代著奈米碳管的費米能階	27
圖 2.15	奈米碳管與金屬鈦經高溫 600°C 退火後其介面產生碳化鈦(TiC)之示意圖	27
圖 3.1	實驗規劃流程圖	41
圖 3.2	後段真空退火爐管	42
圖 3.3	掃瞄式電子顯微鏡	42
圖 3.4	穿透式電子顯微鏡	43
圖 3.5	離子減薄機	43
圖 3.6	拉曼光譜儀	44
圖 3.7	ESCA	44
圖 4.1(a)、(b)	介質孔孔徑 400nm 經 350°C 氫氣前處理在不同倍率下之掃描式電子顯微鏡圖	64
圖 4.2(a)、(b)	介質孔孔徑 400nm 經 450°C 氫氣前處理在	

	不同倍率下之掃描式電子顯微鏡圖 -----	65
圖 4.3	介質孔徑 0.4 μm 未經氫氣前處理之原子力顯微鏡 圖 -----	66
圖 4.4	介質孔徑 0.4 μm 經 350 $^{\circ}\text{C}$ 氫氣前處理之原子力 顯微鏡圖 -----	67
圖 4.5	介質孔徑 0.4 μm 經 450 $^{\circ}\text{C}$ 氫氣前處理之原子力 顯微鏡圖 -----	68
圖 4.6	栓塞介質孔結構示意圖 -----	69
圖 4.7(a)、(b)	介質孔徑 1 μm 內合成奈米碳管不同倍率 下之掃描式電子顯微鏡圖 -----	69
圖 4.8(a)、(b)	介質孔徑 0.7 μm 內合成奈米碳管不同倍 率下之掃描式電子顯微鏡圖 -----	70
圖 4.9(a)、(b)	介質孔徑 0.6 μm 內合成奈米碳管不同倍 率下之掃描式電子顯微鏡圖 -----	71
圖 4.10(a)、(b)	介質孔徑 0.55 μm 內合成奈米碳管不同 倍率下之掃描式電子顯微鏡圖 -----	72
圖 4.11(a)、(b)	介質孔徑 0.5 μm 內合成奈米碳管不同倍 率下之掃描式電子顯微鏡圖 -----	73
圖 4.12(a)、(b)	介質孔徑 1 μm 內以參數 b 合成奈米碳管 不同倍率下之掃描式電子顯微鏡圖 -----	74
圖 4.13(a)、(b)	介質孔徑 0.5 μm 內以參數 b 合成奈米碳 管不同倍率下之掃描式電子顯微鏡圖 -----	75
圖 4.14(a)、(b)	介質孔徑 1 μm 內以參數 c 合成奈米碳管 不同倍率下之掃描式電子顯微鏡圖 -----	76
圖 4.15	介質孔徑 1 μm 內以參數 d 合成奈米碳管不同倍 率下之掃描式電子顯微鏡圖 -----	77
圖 4.16	使用參數 a 在介質孔徑 1 μm (550 $^{\circ}\text{C}$)內合成奈米 碳管之拉曼光譜圖 -----	77
圖 4.17	使用參數 b 在介質孔徑 1 μm (650 $^{\circ}\text{C}$)內合成奈米 碳管之拉曼光譜圖 -----	78
圖 4.18	使用參數 c 在介質孔徑 1 μm (450 $^{\circ}\text{C}$)內合成奈米 碳管之拉曼光譜圖 -----	78
圖 4.19	介質孔徑與奈米碳管長度變化對照圖 -----	79
圖 4.20	介質孔徑 1 μm 內合成奈米碳管長度與製程溫度	

	變化之關係圖 -----	79
圖 4.21	介質孔孔徑 1 μ m 內合成奈米碳管品質與製程溫度 變化之關係圖 -----	80
圖 4.22	垂直合成奈米碳管試片之結構示意圖 -----	80
圖 4.23	奈米碳管在濺鍍金屬(a)前(b)後之掃描式電子顯微 鏡圖 -----	81
圖 4.24	在濺鍍金屬銅後碳管頂部不同倍率、角度之掃描 式電子顯微鏡圖 -----	82
圖 4.25	奈米碳管在濺鍍金屬銅後之原子力顯微鏡圖(掃 描範圍為 5 \times 5 μ m) -----	83
圖 4.26	奈米碳管在濺鍍金屬銅後之原子力顯微鏡圖(掃 描範圍為 2 \times 2 μ m) -----	84
圖 4.27	奈米碳管在濺鍍金屬銅後之原子力顯微鏡圖(掃 描範圍為 1 \times 1 μ m) -----	85
圖 4.28	奈米碳管在濺鍍金屬銅後其斷面之穿透式電子顯 微鏡圖 -----	86
圖 4.29	奈米碳管在濺鍍金屬銅後其頂部之穿透式電子顯 微鏡、電子繞射圖 -----	86
圖 4.30	奈米碳管在濺鍍金屬銅後其穿透式電子顯微鏡、 能量散佈光儀(EDS)分析圖 -----	87
圖 4.31	奈米碳管在濺鍍金屬銅後其拉曼光譜圖 -----	87
圖 4.32	奈米碳管濺鍍金屬銅後其 XPS 分析圖 -----	88
圖 4.33	奈米碳管濺鍍金屬銅後其元素碳之 XPS 分析圖 --	88
圖 4.34	奈米碳管濺鍍金屬銅後其元素 Cu 之 XPS 分析圖	89
圖 4.35	奈米碳管濺鍍金屬銅後其元素 Ni 之 XPS 分析圖-	89
圖 4.36	橫向合成奈米碳管試片之結構示意圖 -----	90
圖 4.37	橫向合成奈米碳管之示意圖 -----	90
圖 4.38	試片 A 橫向合成奈米碳管 -----	91
圖 4.39	試片 B 橫向合成奈米碳管 -----	91
圖 4.40	試片 C1 橫向合成奈米碳管 -----	92
圖 4.41	試片 C2 橫向合成奈米碳管 -----	92
圖 4.42	試片 D 橫向合成奈米碳管 -----	93
圖 4.43	試片 A 之 IV 量測圖 -----	93
圖 4.44	試片 B 經退火前後之 IV 量測圖 -----	94

圖 4.45 試片 C1 經退火前後之 IV 量測圖	-----	94
圖 4.46 試片 C2 經退火前後之 IV 量測圖	-----	95
圖 4.47 試片 d 經退火前後之 IV 量測圖	-----	95