

圖目錄

圖 2-1	A:磁性半導體 B:稀磁性半導體 C:非磁性半導體.....	4
圖 2-2	以平均場理論預測許多 p-type 稀磁性半導體的居禮溫度，實 線標示為室溫(300 K).....	8
圖 2-3	(a)未摻雜載子的 ZnO 系統引入不同過渡金屬元素的磁性趨 勢圖； (b)摻雜載子的 ZnMnO 系統的磁性趨勢與系統中載子濃 度的關係圖	9
圖 2-4	載子傳遞自旋訊號示意圖.....	10
圖 2-5	利用 ab initio 理論計算 ZnS、ZnSe 以及 ZnTe 分別摻雜不同 過渡金屬元素時，鐵磁態以及自旋玻璃態的能量差異	11
圖 2-6	(a)兩種不同 CoFe 摻雜成分的 ZnO 在 300 K 時的磁滯曲線； (b)利用 bias-dependent impedance spectroscopy 判斷系統中是否有 CoFe cluster 存在	18
圖 2-7	wurtzite 氧化鋅結構示意圖	19
圖 2-8	不同氧氣比例的氧化鋅 PL 光譜.....	20
圖 2-9	不同 Mn 摻雜濃度的 ZnMnO 在 5 K 下的磁滯曲線圖，左側 附圖為 Mn 濃度 19.2 %時的磁滯曲線，右側附圖則為 Mn 濃度 2.4 %和 30 %的磁滯曲線小場放大圖.....	22
圖 2-10	兩種經過不同處理的 Al_2O_3 (0001)基板在 5 K 下所量得的磁	

滯曲線，發現皆有明顯的鐵磁訊號	23
圖 2-11 p-type $\text{ZnCu}_{0.01}\text{O}$ 的 M-T 圖以及 200 K 的磁滯曲線	24
圖 2-12 ZnCuO 的 μ_{B}/Cu 與 Cu 摻雜濃度之關係圖	24
圖 2-13 $\text{ZnCo}_{0.04}\text{O}$ 的 300 K 磁滯曲線圖，其飽和磁化量高達 6.1 μ_{B}/Co ，且 T_{C} 值高達 790 K	25
圖 2-14 (a)為 ZnCoO 的 XPS 縱深分析，附圖為在樣品厚度 50 nm 處的 XPS 能譜分析結果；(b)為 ZnCoO 的 XANES 能譜分析結果... ..	26
圖 2-15 極化子(polaron)之間的超耦合作用(supercoupling)示意圖 .	26
圖 2-16 利用 $5 \times 10^{15} \text{ Gd}^{+}/\text{cm}^2$ 劑量所得到的 ZnGdO ，分別在 5 K 以及 300 K 的磁滯曲線圖	27
圖 2-17 以 $\text{GaMnAs}/\text{AlAs}/\text{GaMnAs}$ 膜層為主的 MTJ 在溫度 8 K 時的 MR 表現，其 TMR ratio $\sim 72\%$	30
圖 2-18 以 $\text{GaMnAs}/\text{GaAs}/\text{GaMnAs}$ 膜層為主的 MTJ 在溫度 0.39 K 時的 MR 表現，其 TMR ratio $\sim 290\%$	30
圖 2-19 以 TiCoO_2 為主的 MTJ 結構示意圖	31
圖 2-20 TiCoO_2 的 MTJ 系統在低溫時的 TMR 效應，在 15 K 時其 TMR 值接近 11 %	31
圖 2-21 鐵磁/反鐵磁交互耦合系統示意圖	33
圖 2-22 GaMnAs/MnO 系統中利用不同磁場冷卻的方式，並且觀察	

其在 10 K 的磁滯曲線，(a) $H = 2500 \text{ Oe}$; (b) $H = - 2500 \text{ Oe}$; (c) $H = 0$; (d) uncapped MnO.....	34
圖 2-23 GaCrN/MnO 系統的低溫磁滯曲線，可以發現有明顯交換場	35
圖 2-24 GaCrN/MnO 系統的交換場及矯頑場對溫度的關係圖	35
圖 3-1 實驗流程圖	36
圖 3-2 雙離子槍濺鍍系統示意圖	37
圖 3-3 反應式濺鍍製程示意圖	38
圖 3-4 $\theta/2\theta$ scan 裝置示意圖	39
圖 3-5 原子力顯微鏡掃描示意圖	41
圖 3-6 樣品震盪磁測試儀示意圖	42
圖 3-7 直流超導量子干涉儀示意圖	44
圖 3-8 高頻超導量子干涉儀示意圖	44
圖 3-9 MDL 實驗室之 SQUID 量測系統	45
圖 3-10 掃描式光電子能譜顯微儀的成像原理	46
圖 3-11 穿透式電子顯微鏡示意圖	47
圖 4-1 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm 樣品的 XRD 分析	51
圖 4-2 三種鈷濃度的 Si//Cu 40 nm/ZnCoO 40 nm 樣品的 XRD 分析	52
圖 4-3 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm 樣品的 rocking curve	52
圖 4-4 利用 Φ -scan 分析 Si//Cu /ZnCo _{0.07} O 樣品的(a) ZnCoO $\{10\bar{1}1\}$;	

(b) Cu {111} 以及(c) Si {111}	54
圖 4-5 Si//Cu 磊晶結構示意圖	55
圖 4-6 ZnCoO (0002)的 A grain 及 B grain 在 Cu (200)上的磊晶示意圖，A grain 及 B grain 彼此呈 90 度交錯排列	55
圖 4-7 不同鈷濃度(a) Co 4 %； (b) Co 7 %以及(c) Co 10 %的 Si//Cu 40 nm/ZnCoO 40 nm 樣品的 XPS 分析結果.....	57
圖 4-8 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm 樣品中，Cu 與 ZnCo _{0.07} O 介面的橫截面原子級影像圖	58
圖 4-9 Si//Cu 40 nm /ZnCo _{0.07} O 40 nm 樣品的橫截面 TEM 影像圖 ..	59
圖 4-10 Si//Cu 40 nm /ZnCo _{0.07} O 40 nm 樣品的 5 K 磁滯曲線圖	61
圖 4-11 Si//Cu 40 nm /ZnCo _{0.07} O 40 nm 樣品的 300 K 磁滯曲線圖 ..	61
圖 4-12 Si//Cu 40 nm /ZnCo _{0.07} O 40 nm 樣品的磁化量對溫度關係圖 ..	63
圖 4-13 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品的 XRD 分析 ..	65
圖 4-14 利用 Φ -scan 分析 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品的(a) NiO {220}； (b) ZnCoO {10 $\bar{1}$ 1}； (c) Cu {111}及(d) Si {111}	67
圖 4-15 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品的零場冷 5 K 磁滯曲線圖	69
圖 4-16 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品受到不同場冷	

方向後的(a) 5 K 磁滯曲線圖以及(b)其小場放大圖	70
圖 4-17 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm 樣品受到 FC - 2 Tesla 的(a) 5	
K 磁滯曲線圖以及(b)其小場放大圖	72
圖 4-18 將 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品零場冷	
後，再施加的+ 2 Tesla 的外加磁場，隨後量測其(a) 5 K 磁滯曲線	
圖以及(b)其小場放大圖	73
圖 4-19 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品受到 FC - 2	
Tesla 後的(a) 5 K 磁滯曲線圖以及(b)其小場放大圖	74
圖 4-20 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品經過不同強度	
的場冷(a) FC - 5000 Oe； (b) FC - 10000 Oe； (c) FC - 20000	
Oe 以及(d) FC - 30000 Oe 後的 5 K 磁滯曲線圖。附圖為各個磁	
滯曲線的小場放大圖	76
圖 4-21 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品的矯頑場、交	
換場以及磁化量偏移(ΔM)對場冷強度的關係圖	77
圖 4-22 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品經過 FC - 2	
Tesla 之後的(a)矯頑場及交換場；(b)交換場及 ΔM 對溫度的關係	
圖	78
圖 4-23 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品經過 FC - 2	
Tesla 之後的(a) 5 K 磁滯曲線圖及(b)其小場放大圖	79

圖 4-24	Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品經過零場冷之後的(a) 5 K 磁滯曲線圖及(b)其小場放大圖	81
圖 4-25	比較 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品在不同溫度下的磁滯曲線	82
圖 4-26	Si//Cu 40 nm 樣品 5 K 下的磁滯曲線圖	83
圖 4-27	比較 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品在 7 Tesla 量測前後的 5 K (a)零場冷以及(b)場冷磁滯曲線.....	84
圖 4-28	比較 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm 樣品在 7 Tesla 量測前後的 5 K 磁滯曲線圖.....	85
圖 4-29	比較 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm 樣品在(a)7 Tesla 量測前以及(b) 7 Tesla 量測後的磁化量對溫度關係圖	86
圖 4-30	比較 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品在(a)7 Tesla 量測前以及(b) 7 Tesla 量測後的磁化量對溫度關係圖	86
圖 4-31	Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品受到不同場冷方向後的 5 K 磁滯曲線圖	88
圖 4-32	Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品經過 FC - 2 Tesla 之後，其矯頑場及交換場對溫度的關係圖.....	89
圖 4-33	Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品在不同場冷強度下的(a)交換場與 ΔM 對場冷強度的關係及(b)交換場對 ΔM 的	

關係.....	91
圖 4-34 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品經過兩段式冷卻之後的(a) 5 K 磁滯曲線圖及(b)其小場放大圖	92
圖 4-35 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品經過 FC - 2 Tesla 之後的矯頑場及交換場對溫度的關係圖	93
圖 4-36 Si//Cu 40 nm/ZnCo _{0.07} O 40 nm/NiO 50 nm 樣品經過 FC - 2 Tesla 之後的(a)交換場與 ΔM 對溫度的關係及(b)交換場對 ΔM 的關係.....	94
圖 4-37 ZnCoO/NiO 系統經過場冷效應後其磁矩狀態示意圖	95



表目錄

表 2-1	近年來居禮溫度高於室溫的稀磁性半導體及其製程方式 ...	15
表 2-2	整理氧化鋅稀磁性半導體摻雜過渡金屬原子可能形成的第二相，包括其磁性表現以及居里或尼爾溫度(Néel temperature)	17
表 2-3	利用不同鍍膜氣氛所得到的氧化鋅其電性質表現	23
表 2-4	離子佈植及後退火條件的實驗參數整理	27
表 2-5	氧化鋅析磁性半導體文獻整理.....	28

