

## 第五章 結論

本論文利用雙離子槍濺鍍系統製備出具有室溫鐵磁性的氧化鋅稀磁性半導體，在結構上其具有新奇的 12 軸對稱之磊晶結構。在鈷摻雜的過程中利用雙離子槍濺鍍系統的室溫製程優勢，有效地避免了樣品中鈷原子團或第二相的析出，並且藉由 XRD、XPS、TEM 等分析技術，成功地驗證氧化鋅稀磁性半導體中沒有鈷原子團或是第二相析出的存在，尤其從 XPS 的分析中更是可以看出不同鈷成分的能譜圖差異，搭配 TEM 的分析結果，顯示在鈷成分為 7 % 時樣品中沒有金屬鈷的析出。利用 SQUID 對磁訊號的高靈敏度，我們成功地在低溫以及室溫下觀察到樣品的鐵磁訊號，因此利用本實驗室之雙離子槍濺鍍系統所製備出來的氧化鋅稀磁性半導體的確是具有本質性的鐵磁性質，而且具有達到室溫以上的居禮溫度及特殊的磊晶結構，這些都是有助於稀磁性半導體實際應用價值的提升。

利用氧化鋅稀磁性半導體結合氧化鎳反鐵磁層，研究兩者之間的交互耦合現象，在引入氧化鎳反鐵磁層的同時，也發現氧化鎳延續著氧化鋅稀磁性半導體的磊晶結構，並且擁有磁矩未完全抵銷面(111)，這對於鐵磁/反鐵磁介面的交互耦合作用有極大的幫助。

在 ZnCoO/NiO 系統的磁性質探討上，我們發現利用場冷的方式可以有效地設定系統中的異向性方向，並且在其低溫磁滯曲線中可以

觀察到顯著的橫向以及縱向偏移的現象。樣品經過場冷後，其在低溫下的矯頑場、交換場以及磁化量偏移的大小皆與場冷的強度有關。在溫度對樣品的磁性質之探討中，首先將樣品場冷後，接著量測不同溫度下樣品的磁性質，從整理的結果中，我們可以發現樣品的交換場以及磁化量偏移兩者有十分接近的溫度相依性。經過文獻參考以及實驗數據分析後，我們推測在 ZnCoO/NiO 系統中存在著一些低溫冷凝磁矩，經過場冷效應後，這些磁矩在低溫下形成凝凍(frozen)的狀態，並且沿著場冷磁場方向排列同時具有很高的異向性能量，因此這些磁矩即成為 ZnCoO/NiO 系統中的牽制中心，進而貢獻出磁滯曲線的橫向以及縱向的偏移。

另一方面，利用兩段式冷卻的方式，首先將樣品從 350 K 場冷到 50 K，隨後再將其零場冷到 5 K，接著量測其磁滯曲線圖。我們發現在其磁滯曲線中仍然可以觀察到樣品有交換場的表現，但是並沒有觀察到顯著的磁化量偏移現象。此結果說明了在 ZnCoO/NiO 系統中，存在著兩種不同的交互耦合機制，且此兩種機制皆會使磁滯曲線產生偏移現象。其一是系統中低溫冷凝磁矩的貢獻，其會同時造成磁滯曲線橫向以及縱向的偏移，其二是一般鐵磁/反鐵磁的交互耦合機制，也就是 ZnCoO/NiO 系統經過場冷後，會使 NiO 貢獻出反鐵磁異向性，進而使整個系統表現出交換場的現象。

本研究成功利用雙離子槍濺鍍系統製備出具室溫鐵磁性的氧化鋅稀磁性半導體，並且深入探討氧化鋅稀磁性半導體與氧化鎳反鐵磁之間的交互耦合現象及其與場冷效應以及溫度的關連性。交換場現象的存在對於日後將氧化鋅稀磁性半導體系統元件化是相當有貢獻的，此外在  $\text{ZnCoO}/\text{NiO}$  系統中所發現的物理現象及其機制，也提供了未來在稀磁性半導體研究領域中一個有趣的研究方向。

