

第六章 結論

本研究旨在添加奈米氧化金屬粉末改善石墨粉末/酚醛樹脂之導電特性、增強機械特性及探討經過模擬使用環境後之彎曲強度。

6-1 彎曲測試

分別奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末至 3 phr 時，分別可以有效提升其彎曲強度至 61.71、61.27 MPa，相較於未添加奈米氧化金屬粉末分別提升 11.5 %、10.7 %，且能符合美國能源部門（DOE）彎曲強度大於 59 MPa 之要求，但當添加過多的奈米氧化金屬粉末，卻會由於團聚之奈米氧化金屬粉末在材料中形成缺陷，無法提升彎曲強度。



6-2 耐衝擊測試

由於奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末在分子中，可以有效的阻止裂縫的快速成長路徑，故適當添加奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末含量至 3 phr 時，分別可以有效的增加其耐衝擊強度至 0.85、0.79 lb-ft/in，相較於未添加奈米氧化金屬粉末分別提升 20.9 %、12.31 %，且能符合美國能源部門（DOE）衝擊強度大於 0.79 lb-ft/in 之要求。但當添加奈米氧化鋅粉末含量大幅增加時，導致其團聚效應也隨之增加。團聚的奈米氧化金屬粉末在材料中形成缺陷，減少吸收衝擊能。

6-3 靜態拉伸測試

奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫在適當添加至 3 phr 時，因為奈

米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫與樹脂本身具有較佳的附著力，且奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫有較大的表面積比，分別可以有效提升其拉伸強度至 39.24、39.96 MPa，相較於未添加奈米氧化金屬粉末分別提升 9.9 %、11.9 %，但當添加過多的奈米氧化鋅粉末，卻會由於其團聚現象，造成其拉伸強度減弱。

6-4 導電率

當分別添加奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末增多時導電通路增加，電阻會隨之下降，而導電率會隨之提升，導電率提升效果到添加量 5 phr 時，分別有最佳的導電率 74.38、78.24 S/cm

6-5 腐蝕電流量測

分別添加不同比例之奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末，對其腐蝕電流的影響不大，並且分別添加不同比例之奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末，腐蝕電流均符合美國能源部門 (DOE) 燃料電池使用之要求 $16 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以下。

6-6 氣體滲透量測

由噴入氬氣前後比較，真空壓力變化在 $3 \times 10^{-9} \text{ Pa} \times \text{m}^3/\text{s}$ 範圍內，此真空壓力的變化主要來自於真空幫浦的些許不穩定狀態，而氬氣並無滲透，由此得知當分別添加不同比例之奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末，試片能保持無漏氣。

6-7 空孔率測試

材料的空孔在分別添加奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末時，可以有效填充材料因熱壓過程中生成的空孔，有效降低材料的空

孔率至 1.1358 %、1.0430 %。

6-8 比重測試

由於奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末比重較石墨/酚醛樹脂複合材料大，且空孔會隨奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末的添加，而有效減少空孔生成，造成比重會隨奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末量的添加而增加，在分別添加奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末含量於 5 phr 時有最大比重 1.6969、1.6838 g/cm³。

6-9 經溫溼效應後之彎曲強度

由實驗結果可以得知當適量加入 0.5~3 phr 之奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末時，由於奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末均勻的分佈於酚醛樹脂中，經溫溼效應後依然能隨著添加量增加而提升彎曲強度，但過量的奈米氧化鋅粉末及奈米氧化銦/錫粉末造成過多的團聚現象造成其機械性質減弱。經環境 85 °C/RH85 % 作用後及未經環境作用整體比較，由於酚醛中高溫溼氣的存在造成酚醛樹脂內的膨脹殘餘應力，並且樹脂本身受到溫溼效應的影響，使得彎曲強度下降約 1.5~4.6 %。

6-10 熱循環作用

添加奈米氧化鋅粉末之複合材料在經過 500 週次的熱循環後，複合材料之彎曲強度明顯下降許多，且經過熱循環作用後由於材料裂縫成長的不確定性，造成複合材料的彎曲強度的變化相當大，整體而言彎曲強度下降約 10 %。

添加不同比例的奈米氧化銦/錫粉末，由於材料間的熱膨脹系數均不同，造成複合材料間易有裂縫生成，添加奈米氧化銦/錫粉末雖

能提升彎曲強度，但隨著奈米氧化銦/錫粉末添加量增多，使奈米氧化銦/錫粉末有團聚的現象產生，而在經熱循環後，熱膨脹系數相異反而降低複合材料雙極板的彎曲強度。

6-11 破壞面觀測

在添加適量之奈米氧化銦/錫粉末時，其破壞面會隨之變為較粗糙，顯示加入奈米氧化銦/錫粉末可以有效阻止裂縫的成長及和樹脂間有較佳之附著力，但在加入 5 phr 之奈米氧化銦/錫粉時，會有微米等級之團聚產生使得它成為材料中的缺陷，造成材料機械性質降低。

6-12 防火難燃測試

在添加分別奈米氧化鋅、奈米氧化銦/錫粉末(0.5、1、3、5 phr)，所有的材料均符合垂直燃燒法 94V-0及極限氧指數均大於 50。

