

## 第五章 結論及建議

### 5.1 結論

1. 本研究之目的，旨在以檸檬酸鹽 (ACP) 法及共沉澱法製備出不同形態的 CuO，並提升其結晶度，並考量比表面積的影響，探討所製備之催化劑對於氧還原反應的催化性能。以 ACP 法製備之 CuO 在 500°C 可以得到單斜晶之 CuO 相；以不同反應起始物經由共沉澱法製備之 CuO 可在 140°C 下乾燥 24 小時得到單斜晶之 CuO 相。ACP 法製備之 CuO 在 600°C 鍛燒後可明顯看出結晶性增加；以共沉澱法製備之 CuO 在 500°C 鍛燒後可提升其結晶性。
2. 由 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 分解反應中可知道，CuO 催化劑屬於異相催化作用。在 0.030g 下進行 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 分解反應發現，以每單位重量之催化活性比較結果為以 ACP 法製備及以 CuCl<sub>2</sub> 為起始反應物之共沉澱法所製備出的 CuO-citric-500 及 CuO-A1 為最高，研判是因為這兩種方法所製備的 CuO 表面活性位置較多；考量催化劑比表面積的影響後，以每單位表面積之催化活性比較結果為 CuO-A1 及將 CuO-A1 退火處理後之 CuO-A1-500 為最高。
3. 提升催化劑結晶度後，所製備之催化劑的催化效能雖仍比 MnO<sub>2</sub> 的催化性能高，但卻比未提升結晶度前的催化劑之催化活性低，研

判原因有二，一為提升結晶度後，催化劑在高溫下產生燒結，經由比表面積分析可看出提升結晶度後比表面積明顯下降，使得可供給催化反應進行的活性位置減少，造成反應速率下降；另一原因為提升結晶度使催化劑的表面形態改變，由退火前後催化劑活化能的比較可發現，提升結晶度後的催化劑活化能較高，因此退火處理會使催化劑的催化效率下降。

4. 將比表面積的影響因素考量後，可發現以 $\text{CuCl}_2$ 為起始反應物合成並經過  $500^\circ\text{C}$  退火處理之 $\text{CuO-A1-500}$  的單位表面積之催化活性最高，且以 $\text{CuCl}_2$ 為起始反應物合成之 $\text{CuO-A1}$  也有不錯的催化活性，推測是因為以 $\text{CuCl}_2$ 為起始反應物所製備出的催化劑表面活性較高。
5. 在空氣電極的製作方式中，以高速混合攪拌機混合之空氣陰極在全電池的放電性能上表現較好，推測是高速混合攪拌機的分散效果比傳統製程優良。
6. 空氣陰極的放電測試(I-V)中，雖然純碳材也能進行氧還原反應，但是添加催化劑之空氣陰極在放電性能上明顯優於純碳材的表現。同樣添加 20wt% 催化劑之空氣電極在 1.0V 時的電流密度以 ACP 法製備之 $\text{CuO-ciric-500}$  及 $\text{CuO-A1}$  最高，分別為  $144\text{mA}/\text{cm}^2$  及  $129\text{mA}/\text{cm}^2$  比市售之 $\text{MnO}_2$  的  $105\text{mA}/\text{cm}^2$  高，雖然結果與 $\text{H}_2\text{O}_2$  分解

反應結果一致，但卻沒有預期的表現，研判是CuO的導電度不夠高，製作成空氣電極後雖然CuO能很快速的將氧氣還原，但受限於導電度的影響，使電極整體效能無法完全提升。

7. 從空氣陰極的CV曲線圖發現，以CuO為催化劑之空氣陰極與市售之MnO<sub>2</sub>的空氣陰極所得到的圖形類似，證明CuO同樣與MnO<sub>2</sub>有使氧氣還原的能力，但是屬於2或4個電子的還原則無法明顯判斷出來。
8. 由空氣陰極的極化曲線可知，同樣20wt%的催化劑以CuO-citric-500及CuO-A1對於氧氣的還原反應催化能力最為優秀，與MnO<sub>2</sub>比較後發現，以CuO製成之空氣電極進行氧還原反應的速率受限於導電度，因而無法發揮真正的性能。提升結晶度的催化劑對於氧還原反應的催化速率有下降的趨勢，研判與催化劑表面形態改變，使反應活化能增加或與比表面積下降有關。經由Tafel經驗式所求出之交換電流 $i_0$ 發現，各催化劑間數值差異不大。
9. 由空氣陰極的陽極極化曲線發現，CuO-citric-500及CuO-A1同樣對於氧氣的生成反應有催化能力，而且催化速率也比MnO<sub>2</sub>高。
10. 退火處理後的催化劑對於氧氣的還原反應有減少的趨勢，而對於氧氣的生成反應則有增加的趨勢，研判原因為退火處理後，催化劑表面形態改變，使氧氣還原反應的活化能增加，而對於氧氣的

生成反應卻是活化能下降，因此退火處理後的催化劑會使氧氣的生成反應加速。

## 5.2 發展建議

1. 本實驗是採用結構簡單，容易合成之CuO為催化劑，並與市售之MnO<sub>2</sub>做比較，在H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>分解測試中可知CuO對於H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>或HO<sub>2</sub><sup>-</sup>的分解相當有效，且催化速率高於MnO<sub>2</sub>有4倍之多，但是在製作成空氣電極後，所展現出來的電池性能卻沒有預期的好，研判是CuO的導電度不夠，無法充分發揮應有之性能。若能提高電極的導電度，相信能使CuO空氣陰極的電池性能發揮。
2. 由文獻可知載體的比表面積也會影響電池的性能表現，因此若能採用高比表面積的碳材如 Ketjenblack EC 或高比表面積的活性碳，相信能使鋅-空氣電池性能提升。