

空氣電極在氫氧化鉀溶液中之防蝕研究

王志華*、洪耀宗、徐希白、林益全、劉日煬

Corrosion Prevention of Air Electrode in KOH Electrolyte Solution

J. H. Wang*, Y. T. Horng, H. P. Hsu, Y. C. Lin, J. Y. Liu

摘要

空氣電極是鋅空氣電池的最重要組件。空氣電極在高濃度 KOH 電解液中的劣化現象將嚴重傷害鋅空氣電池的功率與使用壽命。本研究利用無電鍍 Ni-P、PVD 濺鍍銀與添加 PEG600 有機抑制劑等方法以防止空氣電極在 8 M KOH 溶液中劣化。實驗結果顯示，以 Ag / Ni-P 作為銅集電網的鍍層，不但能夠保護空氣電極並且可以提升電極的陰極氧還原反應。此外，有機腐蝕抑制劑 PEG600 亦可添加於 8 M KOH 溶液中以改善銅集電網的耐蝕性並防止空氣電極劣化。對於具有 Ag / Ni-P 鍍層的高耐蝕性空氣電極，添加 PEG600 並不會影響電極的氧還原電流。

關鍵詞：鋅空氣電池；空氣電極；無電鍍鎳磷；濺鍍；集電網；聚乙二醇抑制劑。

ABSTRACT

The air electrode is the most important component of the zinc-air battery. The degradation of air electrode in high concentration KOH aqueous electrolyte solution causes dramatic decreases in the specific power as well as the service life of the zinc-air battery. This study is to protect the air electrode against the degradation in 8 M KOH aqueous solution by different methods ,namely, electroless Ni-P coating, PVD sputtering Ag and addition of PEG600 organic inhibitor. The results indicated that, the Ag / Ni-P coating on the copper current collector could not only protect the air electrode but also improve its cathodic oxygen reduction activity. Additionally, the PEG600 organic inhibitor could also enhance the corrosion resistance of the copper current collector to prevent the degradation of the air electrode in 8 M KOH aqueous solution. For the high corrosion resistant air electrode with Ag / NiP coating , there is no change in the oxygen reduction current could be observed because of the addition of PEG600.

Keywords: Zinc-air battery; Air electrode; Electroless Ni-P coating; Sputtering; Current collector; PEG inhibitor.

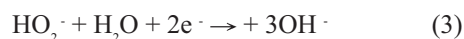
1. 前言

鋅空氣電池的主要特色是利用空氣電極作為電池正極，使外界氧氣由之擴散進入電池以完成陰極氧氣還原反應。由於空氣電極可以薄型化，有效節省電池容積以儲放鋅陽極，因此鋅空氣電池的單位重量能量密度遠高於其他的電解質電池（例如鉛酸電池、鎳鎘或鎳氫電池）。再者，鋅空氣電池還具有放電曲線平緩、電壓穩定、原料成本低、使用安全與低污染等優點，因而其發展深具潛力。除了鈕扣型電池業已商品化之外，鋅空氣電池的應用正積極朝向電動汽機車發展。

空氣電極是鋅空氣電池之最重要且成本比重最大的關鍵性組件，亦是鋅空氣電池發展歷程中的主要瓶頸。早在 30 年代所設計的鋅空氣電池是以多孔碳浸石腊作為空氣電極，但因電力輸出功率太低而無法實用化。直至 60 年代，因為引用了燃料電池的薄型空氣電極製作技術，以聚四氟乙烯 (PTFE) 製成防水透氣膜，才使鋅空氣電池的性能產生重大突破。當時，鋅空氣電池的大電流輸出與高能量密度的特性，即被成功的導入軍事用途。薄型空氣電極的基本構造主要由擴散層 (Gas diffusion layer)、集電層 (Current collector)、催化層 (Catalyst layer) 與分隔膜 (Separator) 四者壓製而成^[1]。空氣電極成型後的整體厚度能夠小於 0.5mm。首先，空氣電極最上端之擴散層 (由 Carbon black 與 PTFE 組成) 直接與外界空氣接觸，其性能要同時兼具良好的透氣性與疏水性，以便透入氧氣並防止 KOH 電解質滲漏而出。其次，在擴散層下方的催化層要能協助擴散而入的氧氣進行還原反應：



必須注意的是，在無催化劑的情況下，氧氣還原過程並不是如 (1) 式般按 4 個電子的反應進行，而是按 2 個電子的反應進行，並且生成過氧化氫離子 (中間產物)；其反應如下：



HO_2^- 不但會降低空氣電極的電位，而且其具有的氧化作用可能造成其他電極材料受到氧化或損壞，直接影響電池的效能與壽命。當有良好的催化劑存在時， O_2 的鍵結會斷裂為吸附性氧原子：



吸附性氧原子再進行如(1)反應式般的4個電子還原反應。此外，催化劑亦會使 HO_2^- 進行下列催化反應^[2]：



而減低 HO_2^- 對空氣電極造成的傷害。一般的活性碳並無良好足夠的催化效果，因此空氣電極的催化層 (以活性碳與 PTFE 為主體) 必須在活性碳載體上，另行混合或沉積催化劑。目前，鋅空氣電池常用的催化劑為貴金屬 (Pt, Ag) 或金屬氧化物 (MnO_2 , NiCo_2O_4 , $\text{La}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{CoO}_3$)^[3-6]。在催化層下方的之集電網 (金屬網) 則負責傳導電流並且提供電極足夠的機械強度。空氣電極的最內層為分隔膜，其功用是將空氣電極與鋅極隔離以避免短路，常用材料為聚丙烯 (Polypropylene)。

空氣電極的性能除了要求擴散層的透氣性佳、疏水性強與催化層的氧還原反應快速之外，金屬集電網還必須有足夠的耐蝕性以保持空氣電極的穩定性與壽命。當鋅空氣電池放電時，由於空氣電極處於陰極狀態，因此其金屬集電網的腐蝕反應會受到相當程度的抑制。反之，電池在斷路的靜置狀態，金屬集電網在強鹼溶液中即可能發生自然腐蝕。本研究之目的乃在加強金屬集電網在 8 M KOH 溶液中的耐蝕性以提升鋅空氣電池的性能與可靠度。本文的前段實驗乃利用 PVD 濺鍍的薄膜沉積方式，將銀薄膜作為金屬集電網的保護層與協助氧還原反應的觸媒，冀能同時改善空氣電極的耐蝕性與催化性能。此外，由於聚乙二醇 (Polyethylene glycol, PEG) 在強鹼性 KOH 溶液中能夠有效抑制鋅的腐蝕^[7-11]，

可望應用於鋅空氣電池以抑制鋅負極在保存期間的自腐蝕現象。然而，迄今尚無相關文獻探討 PEG 有機抑制劑對於鋅空氣電池之空氣電極的影響。因此，本文的後段實驗乃進一步的探究，可否藉由添加 PEG 有機抑制劑的方法，同時抑制鋅空氣電池中之鋅陽極（負極）與空氣電極（正極）在靜置狀態的自然腐蝕。另，PEG 所產生的吸附型抑制機制是否將影響氧還原反應而不利於空氣電極的功能，亦是本文的探索焦點之一。

2. 實驗方法

2.1 銅集電網之鍍層處理

2.1.1 無電鍍鎳-磷合金處理

由於無電鍍鎳-磷合金鍍層具優異的耐蝕性與抗磨耗性^[12,13]，本實驗之空氣電極即以無電鍍 Ni-P 鍍層作為銅集電網的保護層。銅集電網先經過去油污、酸洗、活化與水洗等步驟之後，在無電鍍浴槽中處理 20 分鐘以沉積 Ni-P 鍍層。活化液組成為 PdCl₂ (1g/L) + HCl (8ml/L)，活化處理時間約 1 分鐘。無電鍍液的組成與處理條件如下：NiSO₄·6H₂O (40g/L) + 還原劑 NaH₂PO₂·H₂O (27g/L) + 緩衝劑 Na₂C₄H₄O₄·6H₂O (32g/L)。pH 值為 5.5，溫度為 85 °C。無電鍍 Ni-P 鍍層的 P 含量為 8.5%，鍍層厚度約 5 μm。

2.1.2 濺鍍處理

銅集電網經過無電鍍鎳-磷處理之後，部份的集電網繼續施以濺鍍處理，於 Ni-P 鍍層上面再沉積銀鍍層（約 1 μm）以形成 Ag / Ni-P 雙重鍍層。本實驗採直流濺鍍。濺鍍槍直徑為 1 英寸，濺鍍之功率與真空壓力分別為 DC 7W 與 8 × 10⁻³ Torr。氬氣流量控制為 15sccm。濺鍍設備為美國 AJA International 公司生產。

2.2 空氣電極壓製

由於本實驗乃針對單獨的空氣電極進行研究，

毋需考慮空氣電極與鋅陽極之間的接觸問題，因此實驗所壓製的空氣電極不包含隔離層。先將經過各種鍍層處理的集電網置於擴散層與催化層之間以進行壓合（450 公斤施壓 5 分鐘），然後進行再熱處理（280°C 保持 20 分鐘），即可完成空氣電極的壓製。本實驗所用的擴散層與催化層皆由世鋅公司提供；其擴散層是以碳材、PTFE 與溶劑混合後，經過塗佈碾壓而成。催化層的製作亦如是，但在混合材料中另添加 Ag 或 MnO₂ 等催化劑。

2.3 極化曲線測試

極化曲線測試所用之輔助電極 (Counter electrode) 為碳棒，參考電極為飽和甘汞電極 (Standard calomel electrode, SCE)，實驗用溶液為 8M KOH，部分實驗所添加的抑制劑為聚乙二醇 PEG600 (平均分子量為 600)，抑制劑添加之重量百分比則為 0.2%。電化學測試的面積為 1cm²。集電網的極化曲線測試乃由開路電位 (Open circuit potential) 之下 -0.4V 的陰極區開始，以 1mV/sec 的掃描速率往陽極方向掃描至 0.5V 為止，掃描速率為 1mV/sec。不同鍍層之集電網的腐蝕速率則由極化曲線求得。空氣電極的陰極極化曲線測試乃由開路電位開始，往陰極方向掃描至 -0.8V 為止。本實驗使用之電化學儀器為 Potentiostat/Galvanostat PAR 273A。

3. 實驗結果與討論

3.1 集電網鍍層對空氣電極的影響

圖 1 為不同鍍層之銅集電網在 8 M KOH 溶液中的極化曲線測試結果。由圖 1 中之曲線 (1) 與曲線 (2) 的變化可知，表面的無電鍍 Ni-P 層雖然對銅集電網的開路電位影響不大，但造成陰極曲線以及陽極曲線大幅度的往小電流區域（圖 1 左方）移動；而且在高電位的鈍態 (Passivation) 區域，陽極電流減少的現象更為明顯。曲線 (3) 的繼續左移現象顯示，當無電鍍 Ni-P 層的表面再施以 Ag 濺鍍處理，

集電網的開路電位增高，而陽極電流再度大幅降低。根據圖 1 中的 3 條極化曲線而求得的腐蝕電流分別為 $359.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (無鍍層)、 $200.5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (含 Ni-P 鍍層) 與 $77.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (含 Ag / Ni-P 鍍層)。由圖 1 之實驗結果可知，單獨的 Ni-P 鍍層雖可發揮保護銅集電網的效果，但 Ag / Ni-P 雙重鍍層的防蝕效果更為優異。

圖 2 至圖 4 分別為以無鍍層、Ni-P 鍍層與 Ag / Ni-P 鍍層之集電網製成的空氣電極，在 8 M KOH 溶液中浸漬 1 天與 20 天後的陰極曲線測試結果。空氣電極之陰極曲線的電流密度代表其氧還原反應的能力與電極的性能，而由浸漬期間的陰極曲線變化情形可知悉空氣電極的劣化程度。圖 2 中之曲線 (2) 的陰極電流大幅衰減結果顯示，在 8 M KOH 溶液中浸漬 20 天後，由無鍍層銅集電網製成的空氣電極已發生非常嚴重的劣化。對照浸漬 20 天後的空氣電極外觀，業已出現銹蝕跡象。反觀代表 Ni-P 鍍層與 Ag / Ni-P 鍍層的圖 3 及圖 4，其陰極曲線變動與電流衰減幅度則相對較小，而且浸漬 20 天後的空氣電極外觀亦無銹蝕現象。將上述空氣電極經過浸漬 20 天後的陰極曲線一併作比較 (如圖 5)，在 -800 mV 電位時，無鍍層銅集電網製成之空氣電極的陰極電流密度已銳減為 $7 \text{ mA}/\text{cm}^2$ ，由 Ni-P 鍍層集電網製成者的陰極電流密度約為 $47 \text{ mA}/\text{cm}^2$ ，而 Ag / Ni-P 鍍層集電網製成者則為 $57 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 。一般而言，鋅空氣電池的空氣電極性能劣化主要由於集電網腐蝕、催化層觸媒劣化或鋅氧化物堵塞反應通道等原因所造成。由於本實驗過程不會產生鋅氧化物，而且根據圖 4 的實驗結果也可排除催化層在實驗過程中大幅劣化的可能，因此本實驗測得的空氣電極嚴重劣化現象應可純粹歸因於集電網腐蝕所造成。由之可推測，Ag / Ni-P 鍍層的空氣電極不易劣化的原因與其集電網具較佳的耐蝕性有密切的關係。

相互比較不同鍍層之空氣電極在浸漬初期的陰極曲線以排除電極劣化造成的陰極電流衰減因素，即可證明集電網的銀鍍層是否具有協助催化氧還原反應的效果。圖 6 為不同鍍層之空氣電極在浸漬初期 (1 天後) 的陰極曲線對照結果。無鍍層與 Ni-P 鍍層兩者的陰極曲線幾無差別，而含銀鍍層空氣電極

的陰極電流則明顯增大。由之可推斷，集電網的銀鍍層具有雙重效益，不但可以提高耐蝕性以防止空氣電極劣化，同時對於氧還原反應亦具增益的效用。

3.2 PEG有機抑制劑對空氣電極的影響

根據 PEG 抑制鋅陽極腐蝕的相關文獻 [7-11]，本實驗選用防蝕效果較佳的 0.2% PEG600 (平均分子量為 600) 作為研究對象。圖 7 為在 8M KOH 溶液中添加 0.2% PEG600 對於銅集電網的極化曲線所產生之影響。實驗結果顯示，無鍍層銅集電網的陰極與陽極曲線皆因 PEG600 的添加而向小電流方向大幅度移動。對於 Ni-P 鍍層的集電網 (如圖 8) 或者 Ag / Ni-P 鍍層的集電網 (如圖 9)，PEG600 不但抑制了腐蝕電流，而且大幅提高其開路電位。表 1 為根據圖 7 至圖 9 之極化曲線所求得的腐蝕電流 (I_{corr}) 與開路電位 (E_{oc})。由表 1 可知，添加 0.2% PEG600 將造成無鍍層、Ni-P 鍍層以及 Ag / Ni-P 鍍層集電網的腐蝕電流分別減少 30.2%、64.6% 以及 67.7%。同時，集電網的開路電位則分別提高 50.1 mV、300.8 mV 以及 313.9 mV。無電鍍鍍主要對被鍍物提供遮蔽式的防蝕保護，因此，貫穿鍍層而與溶液互通的孔隙 (或稱為鍍層有效孔隙) 形成反應通道而直接影響被鍍物的腐蝕速率與開路電位值。若鍍層有效孔隙度愈小，被鍍物曝露於溶液的活性面積即愈少，電化學測量所得的開路電位值便愈接近鍍層材質的高電位。表 1 的實驗數據顯示，添加 PEG600 會大幅提高 Ni-P 鍍層或 Ag / Ni-P 鍍層的開路電位超過 300 mV 以上，其可能原因即是 PEG600 有機抑制劑的吸附作用封閉了鍍層的有效孔隙度所導致。值得注意的是，Ni-P 鍍層集電網在 8M KOH + 0.2% PEG600 溶液中的腐蝕電流 ($70.9 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) 與 Ag / Ni-P 鍍層集電網在 8M KOH 溶液中 ($77.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) 相若，意味著 Ni-P 鍍層集電網僅需藉由添加 PEG600 的低成本簡易方法，即可取代濺鍍銀而達到 Ag / Ni-P 雙重鍍層的防蝕效果。若同時使用 Ag / Ni-P 鍍層與 PEG600 抑制劑，便可產生最低的腐蝕電流 ($24.9 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) 與最佳的保護效果。

上述實驗結果在工程應用的重要意義是，於鋅空氣電池中添加 PEG600，即可一舉兩得的同時抑制鋅陽極（負極）與空氣電極（正極）在靜置狀態的自然腐蝕速率。PEG 有機抑制劑能否實際應用的關鍵在於其產生的吸附作用是否將影響催化層的氧還原反應而不利於空氣電極的功能。圖 10 至圖 12 為添加 0.2% PEG600 對於不同空氣電極的陰極曲線影響結果。無鍍層集電網製成的空氣電極在不同溶液中浸漬 3 天後（如圖10），在含 PEG600 溶液中的陰極電流明顯大於不含抑制劑者。主要原因是 PEG600 抑制了銅集電網的腐蝕而阻止空氣電極劣化。對於 Ni-P 鍍層集電網製成的空氣電極而言（如圖11），由於該集電網的腐蝕速率較銅集電網低，因此 PEG600 發揮的影響相對較小，但仍具有防止空氣電極劣化、增大陰極電流與提高空氣電極電位的效益。圖 12 的實驗結果則顯示，對於耐蝕性較高（集電網具有 Ag / Ni-P 鍍層）的空氣電極，PEG600 具有提高電位的正面效應並不影響電極的氧還原反應電流。

4. 結論

本研究利用無電鍍 Ni-P、PVD 濺鍍銀與添加 PEG600 有機抑制劑等方法，探討在 8M KOH 溶液中，空氣電極的防蝕處理與保護效果，可得出下列結論：

1. 空氣電極的劣化與集電網的腐蝕有密不可分之關係。由無鍍層銅集電網所製成的空氣電極經過 20 天浸漬，已呈現集電網銹蝕以及電極氧還原電流銳減的嚴重劣化現象。
2. 無電鍍 Ni-P 與濺鍍 Ag 皆可發揮保護銅集電網以及減緩空氣電極劣化的效果。而 Ag / Ni-P 雙重鍍層提供空氣電極最佳的防護效果與最大的氧還原反應電流。
3. 添加有機抑制劑 PEG600 (0.2%) 於 8 M KOH 溶液中，能夠有效提升金屬集電網的耐蝕性以及抑制空氣電極的劣化。
4. PEG600 的吸附抑制效應並不妨礙空氣電極的氧

還原反應，因此在鋅空氣電池中添加 PEG600，應可一舉兩得的同時抑制鋅陽極（負極）與空氣電極（正極）在靜置狀態的自然腐蝕速率。

參考文獻

1. S. Siu and J. W. Evans, *J. Electrochem. Soc.* 144 (1997) 2711.
2. R. Othman, W. J. Basirun, A. H. Yahaya, and A. K. Arof. *J. Power Sources*, 103 (2001) 34.
3. J. Ponce, J. L. Rehspringer, G. Poillerat, and J. L. Gautier, *Electrochim. Acta.*, 46 (2001) 3373.
4. S. K. Tiwari, S. P. Singh, and R. N. Singh, *J. Electrochem. Soc.*, 143 (1996) 1493.
5. R. N. Singh and B. Lal, *Int. J. Hydrogen Energy*. 27 (2002) 45.
6. Xianyou Yang and S. A. Gamboa, *J. Power Sources*, 124 (2003) 278.
7. V. K. Nartey, L. Binder and K. Kordesch, *J. Power Sources*, 52 (1994) 217.
8. Y. Ein-Eli, M. Auinat, and D. Starosvetsky, *J. Power Sources*, 114 (2003) 330.
9. J. Dobryszycycki and S. Biallozor, *Corrosion Science*, 43 (2001) 1309.
10. Y. Ein-Eli and M. Auinat, *J. Electrochem. Soc.*, 150 (2003) A1606.
11. Y. Ein-Eli and M. Auinat, *J. Electrochem. Soc.*, 150 (2003) A1614.
12. D. Singh, R. Balasubramaniam, and R. K. Dube, *Corrosion*, 51 (1995) 581.
13. J. Flis, *Corrosion*, 41 (1985) 41.

收到日期：2004 年 7 月 31 日

修訂日期：2004 年 11 月 29 日

接受日期：2004 年 12 月 13 日

表1. 根據圖7至圖9之極化曲線所求得之集電網的 I_{corr} 與 E_{corr} 值。

Table 1 Values of I_{corr} ($\mu A/cm^2$) and E_{corr} (mV) of Cu current collector obtained from the polarization curves in Fig. 7 to Fig. 9.

集電網	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	E_{corr} (mV)
無鍍層		
in 8M KOH	359.2	-408.5
in 8M KOH +0.2% PEG600	143.7	-358.4
Ni-P 鍍層		
in 8M KOH	200.5	-404.4
in 8M KOH + 0.2% PEG600	70.9	-103.6
Ag / Ni-P 鍍層		
in 8M KOH	77.2	-339.2
in 8M KOH +0.2% PEG600	24.9	-25.3

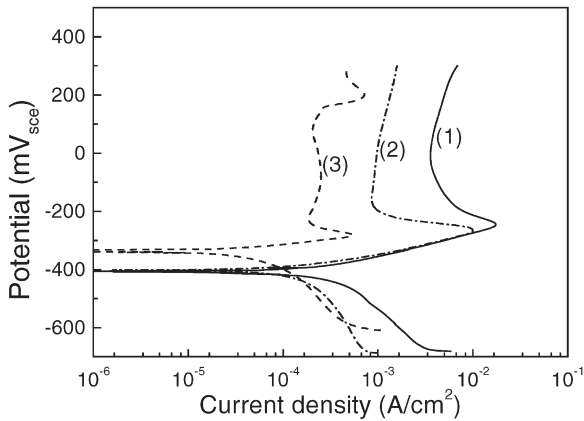


圖1. 銅集電網在8 M KOH 溶液中的極化曲線。(1) 無鍍層，(2) Ni-P 鍍層，(3) Ag / Ni-P 鍍層。

Figure 1 Potentiodynamic polarization curves of the Cu current collector in 8M KOH aqueous solution.(1) without coating,(2) with Ni-P coating, (3) with Ag / Ni-P coating.

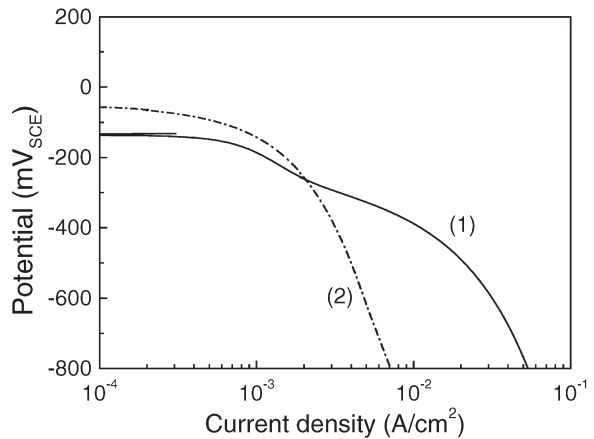


圖2. 以銅集電網製成的空氣電極在8 M KOH溶液中浸漬：(1) 1天，(2) 20天後的陰極極化曲線。

Figure 2 Cathodic polarization curve of the air electrode made of Cu current collector after immersion in 8 M KOH for (1) 1 day, (2) 20 days.

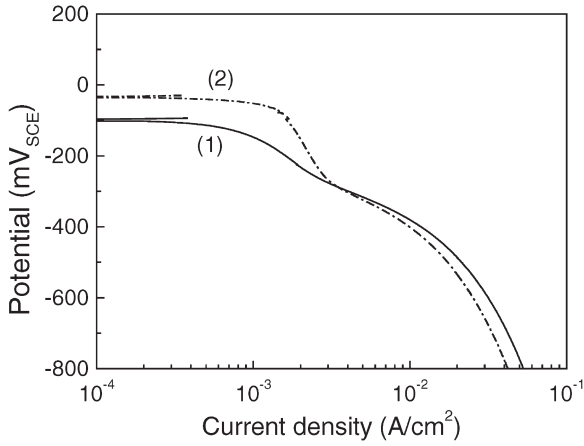


圖 3. 以 Ni-P 鍍層之銅集電網製成的空氣電極在 8 M KOH 溶液中浸漬：(1) 1 天，(2) 20 天後的陰極極化曲線。

Figure 3 Cathodic polarization curve of the air electrode made of Cu current collector with Ni-P coating after immersion in 8 M KOH for (1) 1 day, (2) 20 days.

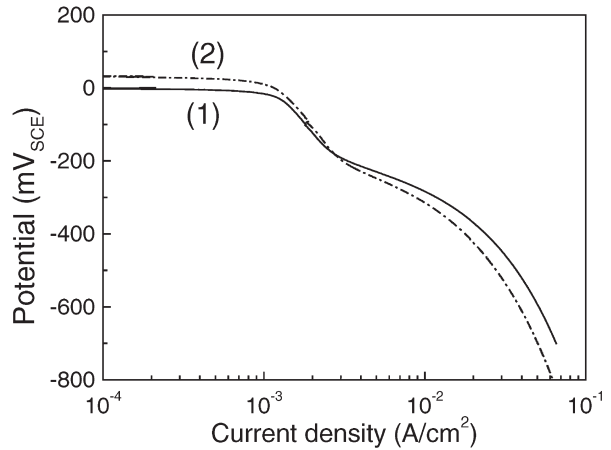


圖 4. 以 Ag / Ni-P 鍍層之銅集電網製成的空氣電極在 8 M KOH 溶液中浸漬：(1) 1 天，(2) 20 天後的陰極極化曲線。

Figure 4 Cathodic polarization curve of the air electrode made of Cu current collector with Ag / Ni-P coating after immersion in 8 M KOH for (1) 1 day, (2) 20 days.

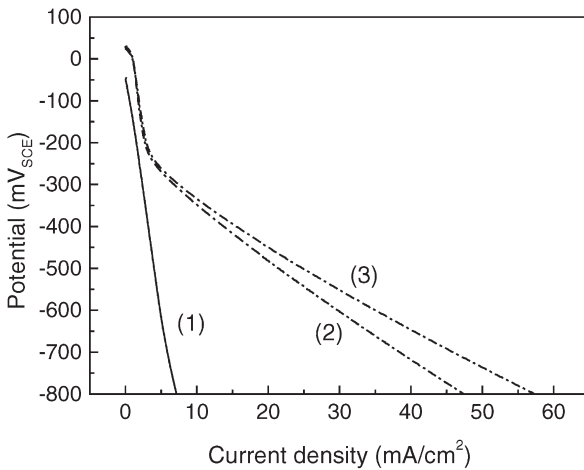


圖 5. 由不同鍍層之銅集電網：(1) 無鍍層，(2) Ni-P 鍍層，(3) Ag / Ni-P 鍍層製成的空氣電極在 8 M KOH 溶液中浸漬 20 天後的陰極極化曲線。

Figure 5 Cathodic polarization curve of the air electrode made of Cu current collectors: (1) without coating, (2) with Ni-P coating, (3) with Ag / Ni-P coating after 20 days immersion in 8 M KOH aqueous solution.

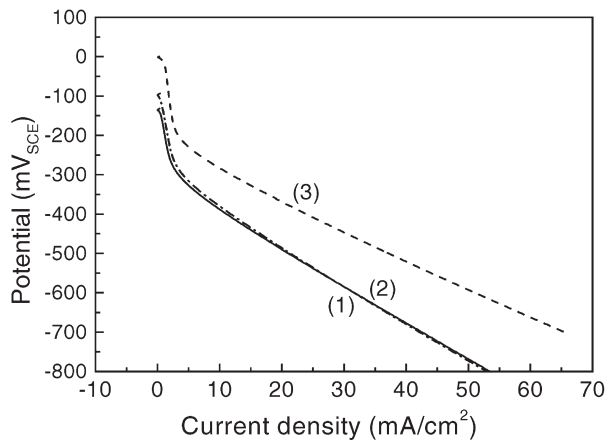


圖 6. 由不同鍍層之銅集電網：(1) 無鍍層，(2) Ni-P 鍍層，(3) Ag / Ni-P 鍍層製成的空氣電極在 8 M KOH 溶液中浸漬 1 天後的陰極極化曲線。

Figure 6 Cathodic polarization curve of the air electrode made of Cu current collectors: (1) without coating, (2) with Ni-P coating, (3) with Ag / Ni-P coating after 1 day immersion in 8 M KOH aqueous solution.

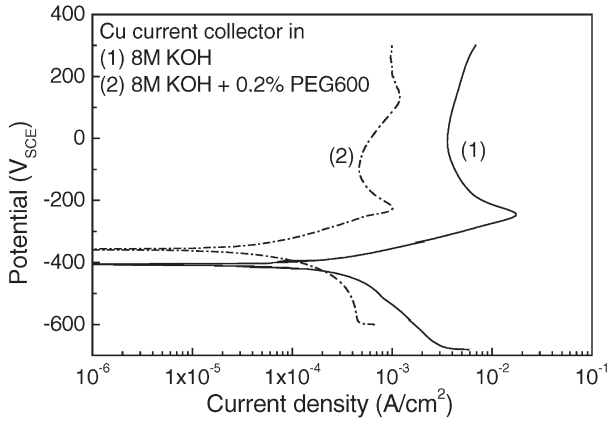


圖 7. 銅集電網在 (1) 8 M KOH , (2) 8M KOH + 0.2% PEG600 溶液中的極化曲線。
Figure 7 Potentiodynamic polarization curves of the Cu current collector in (1) 8M KOH, (2) 8M KOH + 0.2% PEG600 aqueous solution.

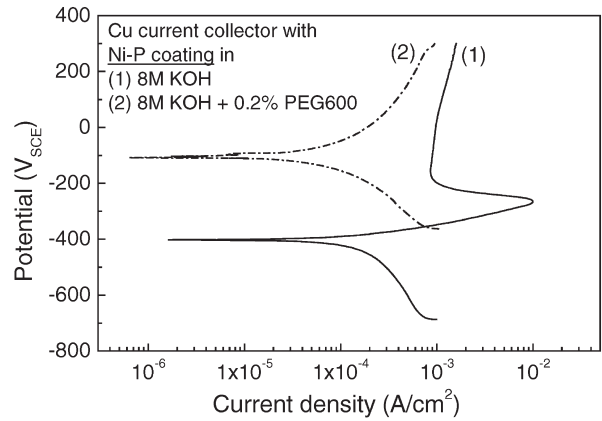


圖 8. Ni-P 鍍層的銅集電網在 (1) 8 M KOH , (2) 8M KOH + 0.2% PEG600 溶液中的極化曲線。
Figure 8 Potentiodynamic polarization curves of the Cu current collector with Ni-P coating in (1) 8M KOH, (2) 8M KOH + 0.2% PEG600 aqueous solution.

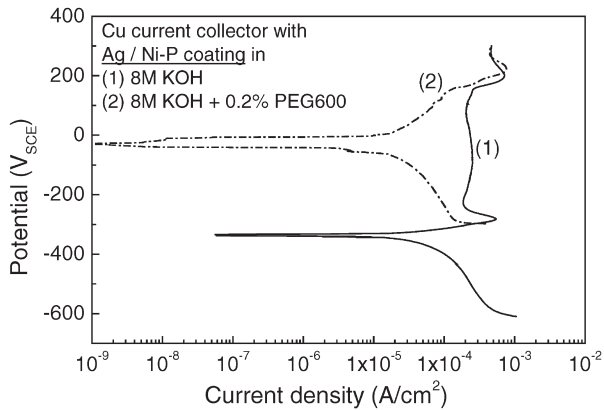


圖 9. Ag / Ni-P 鍍層的銅集電網在 (1) 8 M KOH , (2) 8M KOH + 0.2% PEG600 溶液中的極化曲線。
Figure 9 Potentiodynamic polarization curves of the Cu current collector with Ag / Ni-P coating in (1) 8M KOH, (2) 8M KOH + 0.2% PEG600 aqueous solution.

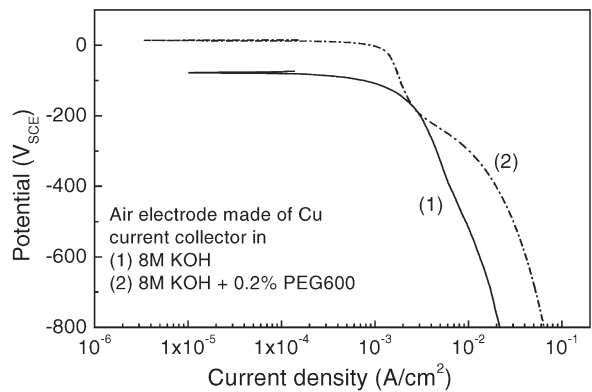


圖 10. 以銅集電網製成的空氣電極在 (1) 8 M KOH , (2) 8M KOH + 0.2% PEG600 溶液中浸漬 3 天後的陰極極化曲線。
Figure 10 Cathodic polarization curve of the air electrode made of Cu current collector after 3 days immersion in (1) 8M KOH, (2) 8M KOH + 0.2% PEG600 aqueous solution.

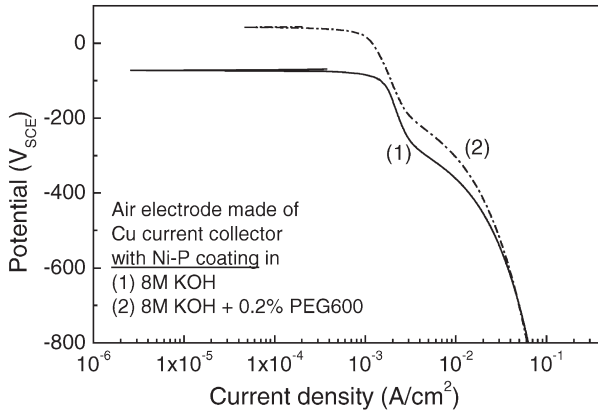


圖 11. 以 Ni-P 鍍層之銅集電網製成的空氣電極在 (1) 8 M KOH , (2) 8M KOH + 0.2% PEG600 溶液中浸漬 3 天後的陰極極化曲線。

Figure 11 Cathodic polarization curve of the air electrode made of Cu current collector with Ni-P coating after 3 days immersion in (1) 8 M KOH, (2) 8M KOH + 0.2% PEG600 aqueous solution.

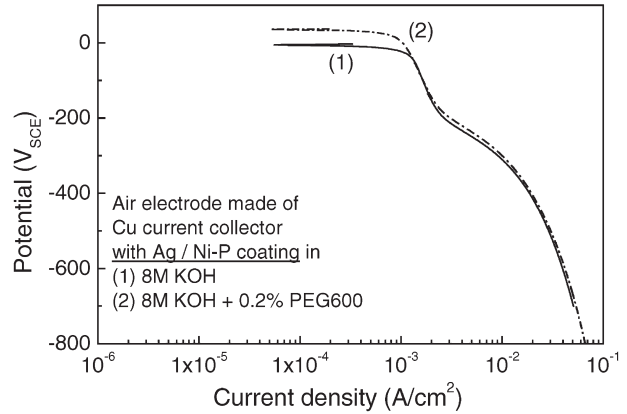


圖 12. 以 Ag / Ni-P 鍍層之銅集電網製成的空氣電極在 (1) 8 M KOH , (2) 8M KOH + 0.2% PEG600 溶液中浸漬 3 天後的陰極極化曲線。

Figure 12 Cathodic polarization curve of the air electrode made of Cu current collector with Ag / Ni-P coating after 3 days immersion in (1) 8 M KOH, (2) 8M KOH + 0.2% PEG600 aqueous solution.

