

# 2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 030005

參展科別 化學

作品名稱 新式綠色溶劑運用於鋰離子電池回收

就讀學校 國立臺南女子高級中學

指導教師 陳俊佑

作者姓名 謝惠安、吳昱萱

關鍵詞 共深熔溶劑、Panasonic 18650、鈷鎳回收

## 作者簡介



我是來自台南女中的謝惠安，在因緣際會下踏入了科學這門深不可測的領域，經由老師、教授、學姐及實驗室的學長們的帶領下，研究與實驗激發了我對科學的熱情與好奇心。科展的研究不只豐富了我的高中生活，更使我從被動式的學習，轉變成主動式的學習，在實驗的過程中透過發掘問題、尋找解答、探討結果，讓我獲得成就感以及讓我更了解打好各學科基本功的重要性。

最重要的往往是過程而不是結果，這次的科展使我獲益良多，結束不會使我停止對科學的熱愛，而是開啟一道探索科學的門。

我是吳昱萱，目前就讀台南女中二年級。喜歡嘗試新的事物，很感謝擁有這個機會可以參加科展，享受研究的樂趣。雖然過程中也有遇到挫折，但很感謝老師、教授、學長姐和夥伴的一路幫忙才能完成這個作品。讓我可以獲得這麼難能可貴的經驗！

## 摘要

本研究以回收目前於電動汽機車及儲能設備中使用量最大的 Panasonic 18650 三元鋰離子電池為主軸，開發以三混深共熔溶劑(TDESs)將電池中的鈷、鎳回收之方法。

TDESs 的合成，四級銨鹽選擇文獻中常用的氯化膽鹼，配對各種氫鍵予體(HBD)後，使用針對鋰鎳鈷鋁氧化物( $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$ , LNCA)溶解度最高的 TDESs 組成作為探討主軸。接著以循環伏安法(CV)分別量測 TDESs 與 LNCA 及電池電解質溶於 TDESs 之電位窗及還原峰電位。並採用二極式電鍍還原鈷、鎳後，以掃描式電子顯微鏡(SEM)及能量分散光譜儀(EDS)分析鍍層表面的形貌及成分。最後以無電電鍍法還原出貴金屬。

結果顯示，溶入電池電解質之 TDESs 溶液，在溫度 373.15K，外加電壓 4V、5V、6V 的條件下可單獨還原出鈷金屬，且在無電電鍍的實驗中觀察到，在室溫下靜置 2 小時後，可將鈷、鎳還原。

## Abstract

The purpose of this research is to recycle the Panasonic 18650 Li-ion battery substantially applied to electric vehicles and energy-storage system. We try to develop a strategy for recycling cobalt in Li-ion batteries with green solvents-ternary deep eutectic solvents.

Synthesis of ternary deep eutectic solvents was selected choline chloride recurring in the literature as quaternary ammonium salt. After sifting properly-match hydrogen-bond-donor, we adapted the proportion which has highest solubility to research subject. Subsequently, we measured the electrochemical window with cyclic voltammetry, indeed observing the electrochemical window and reduction peak potential of  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$  (LNCA) dissolved in ternary deep eutectic solvents. After recycling cobalt and nickel by electrodeposition, we analyzed the appearance and composition on the surface of the electroplating via scanning electron microscope and energy-dispersive X-ray spectrometer. Eventually, we successfully reduced precious metals by simple electroless plating.

The results revealed that the TDESs dissolving ternary electrolyte and LNCA, under 289.15K at potential 6 volts, 9 volts and under 373.15K at potential 4 volts, 5 volts, 6 volts, makes independent reduction of cobalt. From the experiment of electroless planting, we observed that cobalt and nickel can be recycled under room temperature for 2 hours.

# 壹、前言

## 一、研究動機

近年，因應永續發展，電動汽、機車的推廣漸被重視，而 Panasonic 18650 三元鋰離子電池具有儲能密度高、充電效率高、低溫放電性能佳、壽命長等特性，為目前新能源電動車採用度最高的動力之源 [1]。然而隨電動車日漸普及，廢棄的鋰離子電池若未經妥善處理，對環境造成的災害不容小覷。目前鋰電池的回收方式大都需經過強酸或高溫處理 [2]，導致污染不減反增。另外，鋰離子電池中的鈷金屬之經濟價值日益增長 [3]。因此，本研究利用綠色化學溶劑-三混深共熔溶劑(Ternary Deep Eutectic Solvents, TDESs)，並以電沉積以及無電電鍍法將電池中的貴金屬還原。希望透過還原出高純度的金屬鍍層，在降低環境污染的同時，進一步達成永續發展。

本研究嘗試將 Panasonic18650 電池中的鋰鎳鈷鋁氧化物溶於價廉易取得的氯化膽鹼 (Choline Chloride, ChCl)與甘油、乳酸共熔而成的 TDESs，並透過電沉積及無電電鍍法，還原鈷、鎳金屬。

## 二、研究目的

- (一) 篩選適合將鋰鎳鈷鋁氧化物( $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$ , LNCA)運用於電沉積之 TDESs。
- (二) 將 TDESs 應用於電化學，以二極式電鍍法還原鈷、鎳。
- (三) 拆解 Panasonic18650，並透過 TDESs 回收鈷、鎳。
- (四) 以無電電鍍還原回收鈷、鎳金屬。

## 三、文獻回顧

- (一) 深共熔溶劑<sup>[4][5]</sup>

深共熔溶劑(Deep eutectic solvents, DESs)是由共晶混合物組成的液體，溶液中含有大量非對稱離子造成 DESs 的低熔點，而最低熔點的溫度取決於組成成分的莫爾分率。由於深共熔溶劑與離子液體(Ionic Liquids, IL)有許多共通性質，因此深共熔溶劑被廣泛認為是一類新的離子液體類似物。DESs 是由路易士或布忍斯特酸/鹼所帶有之陰、陽離子所組成的共熔混合物。IL 主要由一種離散陰離子和陽離子組成。由上述可知，儘管 DESs 與 IL 物理性質相似，但化學性質顯示應用領域不盡相同。

DESs 主要應用於：金屬加工和合成介質，目前已應用於鋰離子電池、敏化太陽能電池、奈米科技、氣體吸附等領域。

本研究採用最是 Type III DESs，其特性為：不易與水、大氣反應，多數生物可降解，成本相對低，最重要的是能夠溶劑化各種過渡金屬物質。

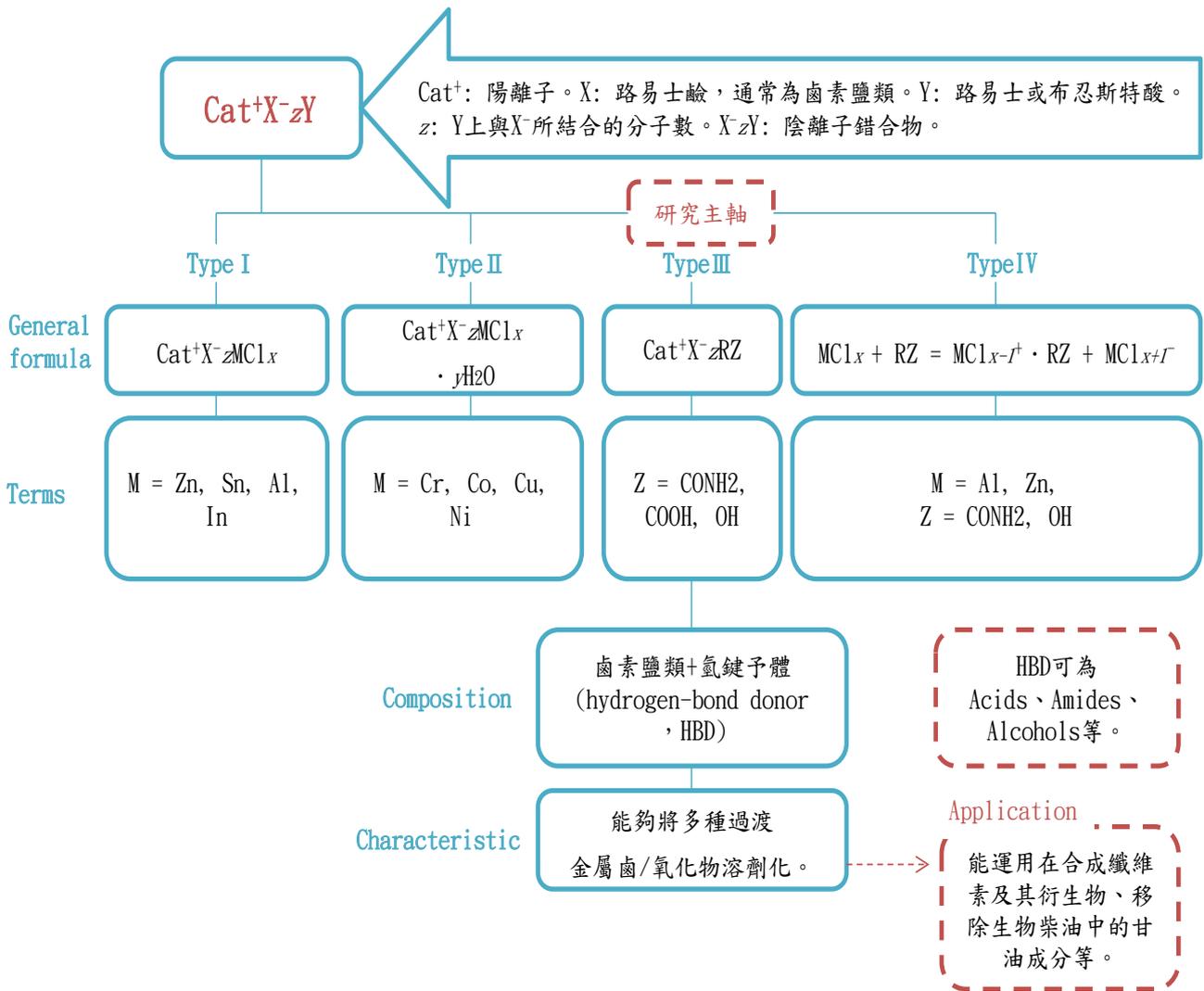


Figure 1 共深熔溶劑通式與四大分類。

Figure 2 可藉由 Type III 電沉積之金屬。

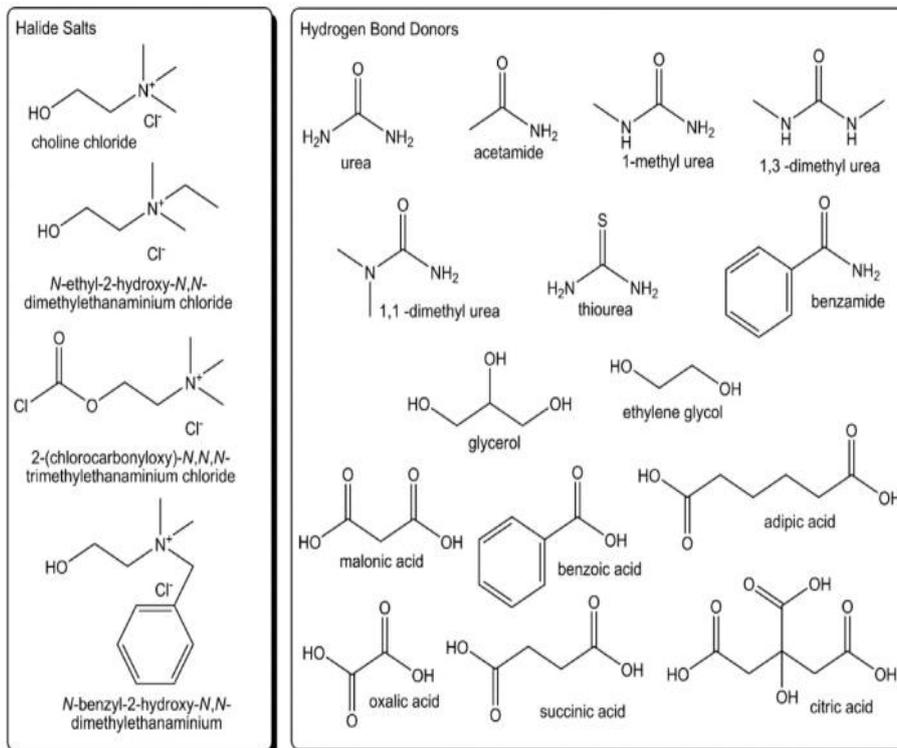


Figure 3 組成 Type III 共深熔溶劑中鹵素鹽類與氫鍵予體的種類。

## (二) 三元鋰離子電池簡介

### 1. 電池結構

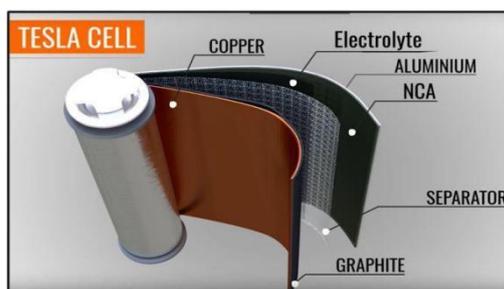


Figure 4 三元鋰離子電池結構圖。<sup>[4]</sup>

三元鋰離子電池主要由，正極(活性材料、集流體、導電劑、溶劑、粘合劑)、負極[活性材料(石墨、MCMB、CMS)、集流體、粘合劑、溶劑]、隔膜、電解液、外殼五金件(鋼殼、鋁殼、蓋板、極耳、絕緣片)及絕緣膠帶組成。

三元鋰電池的「鋰」，指的就是這類電池採用了以六氟磷酸鋰等有機溶液為主的鋰鹽作為電解質，其作用為傳導離子。而絕大多數鋰離子電池的負極材料都是石墨，正極則為鎳(Ni)、鈷(Co)、錳(Mn)或鋁(Al)三種金屬元素的聚合物。

### 2. 正極活性材料細說

三元鋰電池其全稱為「正極材料使用鎳鈷錳酸鋰或鎳鈷鋁酸鋰等三元聚合物的鋰離子二次電池」，而三元指的是包含鎳(Ni)、鈷(Co)、錳(Mn)或鋁(Al)三種金屬元素的化合物。常見的三元化合物為， 鎳鎳鈷錳氧化物(Lithium Nickel Cobalt Manganese Oxide, LNCM)、鎳鎳鈷鋁氧化物(Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide, LNCA)，三元鋰電池的正極材料中，鎳、鈷、錳(或鋁)這三種金屬元素的選擇決定了電池的容量、安全性和老化等特性。

鈷，可提升穩定性和延長電池的壽命。鎳，增強電池的體積能量密度。鋁或錳，用來降低材料成本，畢竟鎳、鈷為貴金屬，並且可以提高電池的安全性和穩定性。

## 貳、 研究設備與器材

### 一、 實驗藥品：

氯化膽鹼 (choline chloride,ChCl) Alfa Aesar, 98+%

尿素 (urea) 島久製藥,99.5%

甘油 (glycerol) 島久製藥,99.5%

乳酸 (lactic acid) 島久製藥,99.5%

丙酮 (acetone) 島久製藥,99.5%

酒精 (ethanol) 島久製藥,99.5%

鋰鎳鈷鋁氧化物 ( $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$ ,LNCA) Aldrich, >98%

### 二、 實驗裝置：

玻璃碳電極 (glassy carbon,GC)

白金電極 (platinum,Pt)

加熱攪拌器 (stirring hot plate)

數位式溫度計 (digital thermometer)

直流電源供應器 (DC power supply)

循環伏安儀 (cyclic voltammetry,CV)

掃描式電子顯微鏡 (scanningelectron microscope,SEM)

能量色散 X 射線譜儀 (Energy-dispersive X-ray spectrometer, EDS)

老虎鉗、切割器

### 參、 研究過程與方法

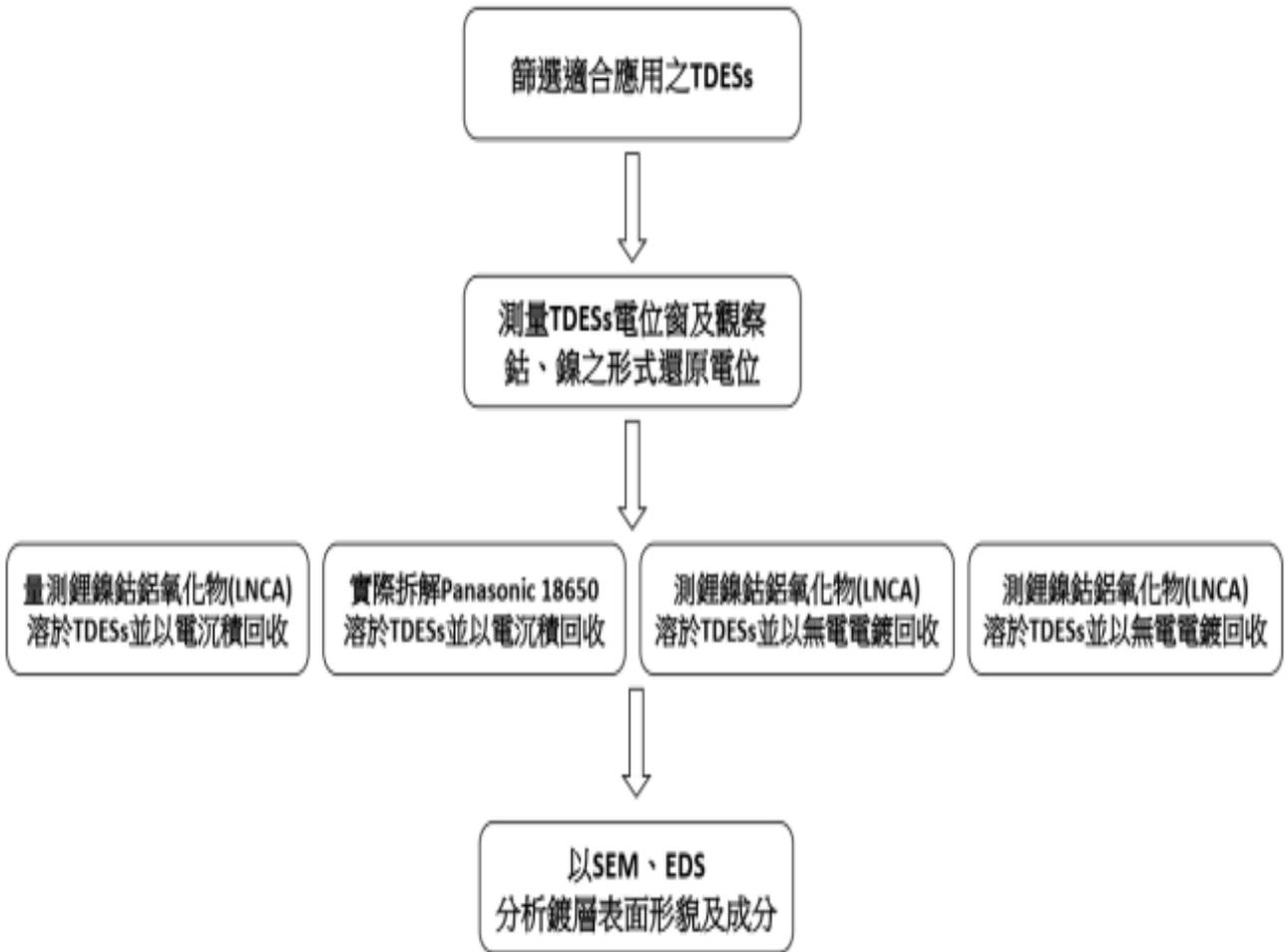


Table 1 研究過程與方法。

#### 一、篩選適合應用之 TDESs

- (一) 在甘油、乳酸、尿素中，取兩種 HBD 與氯化膽鹼合成 TDESs。
- (二) 將 TDESs 溶入 LNCA 後以觀察沉積物多寡初步判斷其溶解度。
- (三) 測量 TDESs 電位窗及觀察鈷、鎳之還原電位

#### 二、將 LNCA 溶入 TDESs 並以電沉積回收貴金屬

- (一) 在不同操作變因下進行電沉積。
- (二) 使用 SEM、EDS 分析鍍層表面形貌及成分。

### 三、實際拆解 Panasonic 18650

- (一) 參考文獻做法後拆解。<sup>[8-10]</sup>
- (二) 測量鈷、鎳之還原電位。
- (三) 在不同操作變因下進行電沉積。
- (四) 使用掃描式 SEM、EDS 分析鍍層表面及成分。

## 肆、結果與討論

### 一、篩選適合應用之 TDESs

#### (一) 實驗結果

Halide salts (mole equiv)	HBD 1 (mole equiv)	HBD 2 (mole equiv)	Abreviation
ChCl(1)	Glycerol(1)	Lactic acid(1)	1-G-LA
ChCl(1)	Glycerol(0.5)	Lactic acid(1.5)	2-G-LA
ChCl(1)	Glycerol(1.5)	Lactic acid(0.5)	3-G-LA
ChCl(1)	Glycerol(1)	Urea(1)	1-G-U
ChCl(1)	Urea(1)	Lactic acid(1)	1-U-LA

Table 2 不同成分、比例之 TDESs

#### 1. 觀察 TDESs 溶解度

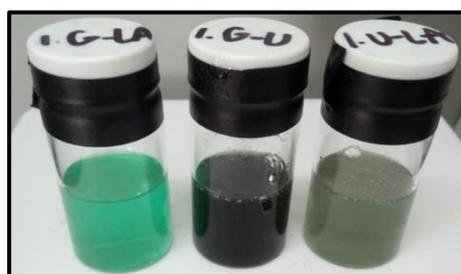


Figure 5 1-G-LA、1-G-U、1-U-LA 溶入 15mm LNCA 之溶解度比較。

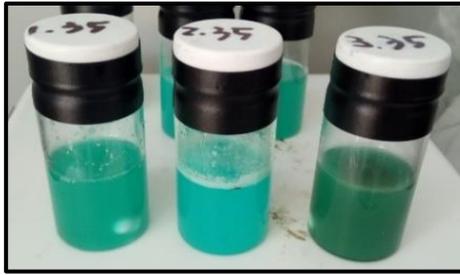


Figure 6 1-G-LA、2-G-LA、3-G-LA 溶入 35mm LNCA 之溶解度比較。

2. 測量 TDESSs 電位窗及觀察鈷、鎳之還原電位

(1) 空白溶液之電位窗

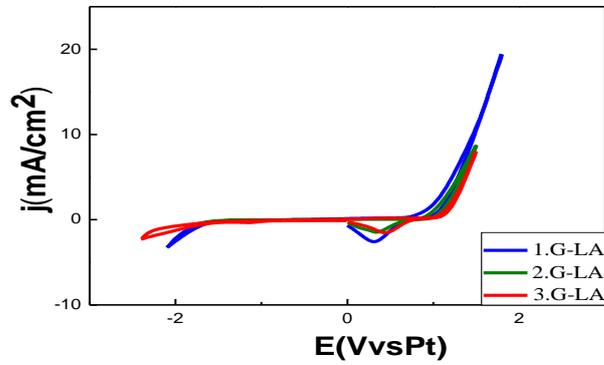


Figure 7 1-G-LA、2-G-LA、3-G-LA，溫度 373.15K 之 CV 圖。

(2) LNCA 溶於 1.G-LA 之鈷、鎳還原電位

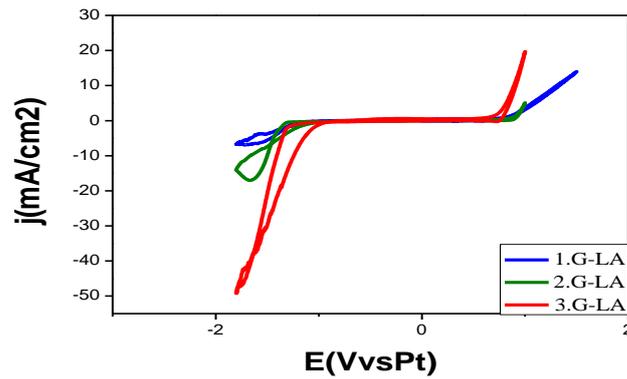


Figure 8 1-G-LA、2-G-LA、3-G-LA 溶入濃度 20mm 之 LNCA，溫度 373.15K 之 CV 圖。

## (二) 實驗討論

1. 觀察 Figure 5 可得知 1-G-LA、1-G-U、1-U-LA 中，1-G-LA 為三中配方之中可溶解 LNCA 之溶劑，接下來將 HBD 比例調整使其溶解度有更多可能。
2. 經由將 1-G-LA、2-G-LA、3-G-LA 溶入 LNCA 35mm 並靜置，待 TDESs 中未溶解物質沉澱後，觀察到三種比例中，以 1-G-LA 沉澱物最少，初步判定 1-G-LA 的比例為最適合溶解 LNCA 之溶劑，搭配循環伏安法，比較三種比例空白溶液電位窗。由 Figure 7 可得知三種比例空白溶液電位窗，範圍大約為 1.0V~ -2.0V，近 1.3V 電流上升為氯化膽鹼中氯離子氧化成氯氣，-2.0V 附近電流下降則是氫離子還原成氫氣。接著觀察 Figure 8 中 1-G-LA、2-G-LA、3-G-LA 溶入 LNCA 之還原峰，三種比例之 TDESs 皆在-1.5V~1.6V，有明顯電流改變，唯 3-G-LA 還原峰較不明顯，因此可確定溶入 TDESs 之 LNCA 確實於溶劑中溶解。
3. 由上述實驗，我們以溶解度初步推測 1-G-LA 為最適合應用於電沉積之溶劑。

## 二、測量鈷、鎳溶於 TDESs 之形式還原電位(formal reduction potential)

### (一) 實驗結果

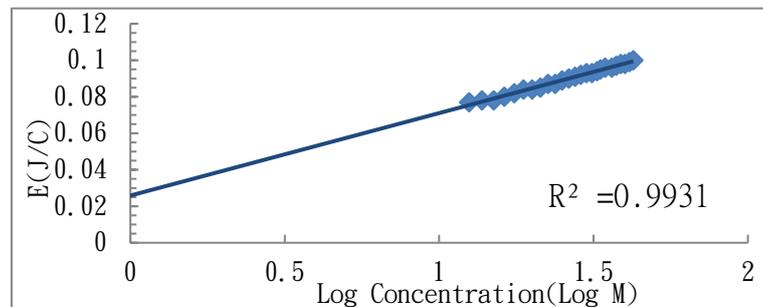


Figure 9 CoSO<sub>4</sub> 溶於 1-G-LA 之形式還原電位。

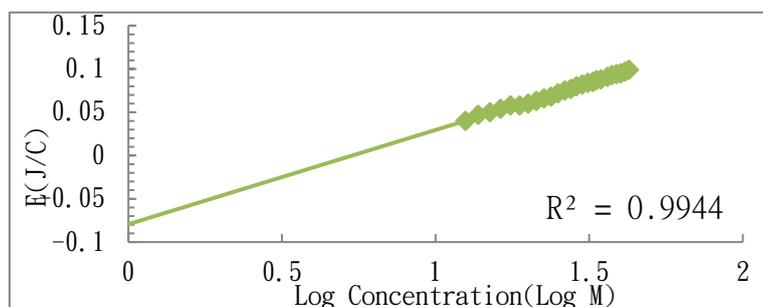


Figure 10 NiSO<sub>4</sub> 溶於 1-G-LA 之形式還原電位。

## (二) 實驗討論

1. 在 298.15K 下以三電極系統量測不同濃度下的還原電位，並將還原電位(E)對離子濃度的對數( $\log_{10} Q$ )作圖，依照公式:

$$E = E^{\circ} - \frac{0.059}{n} \log_{10} Q \quad \text{式 1}$$

n 為電子轉移係數，Q 為離子濃度，因此可以得到形式還原電位( $E^{\circ}$ )為 0.025V( $\text{Co}^{2+}$ )及-0.08V( $\text{Ni}^{2+}$ )。

2. 由上述結果可推測，在低電位下  $\text{Co}^{2+}$  應比  $\text{Ni}^{2+}$  更容易還原。此結果與一般標準電及電視順序相反，推測原因為金屬離子在水合狀態及錯離子狀態下還原情形會有所不同。

## 三、將 LNCA 溶入 TDESs 並以電沉積回收鈷、鎳

### (一) 實驗結果

#### 1. LNCA 溶於 1-G-LA 後電沉積

Temperature	Potential	Cu	Co	Ni	O
K	E(V)	Atomic	Concentration (%)		
298.15	4	88.9	2.3	6.7	2.1
	5	83.3	4.0	4.8	7.9
	6	71.4	7.8	3.2	20.5
313.15	4	85.1	1.3	7.2	6.5
	5	72.9	2.6	6.7	17.8
	6	83.5	2.0	7.2	7.3
373.15	4	79.2	10.3	4.5	6.0
	5	46.2	30.7	11.0	12.1
	6	48.0	46.5	0.0	5.6

393.15	4	72.8	0.7	1.1	25.4
	5	60.3	2.6	1.8	35.4
	6	59.6	0.5	0.3	39.4

Table 3 LNCA 溶於 1-G-LA 中的定電位沉積鍍層元素分析結果。基材 Cu foil，溶質濃度 20 mm，時間 45 minutes，攪拌。

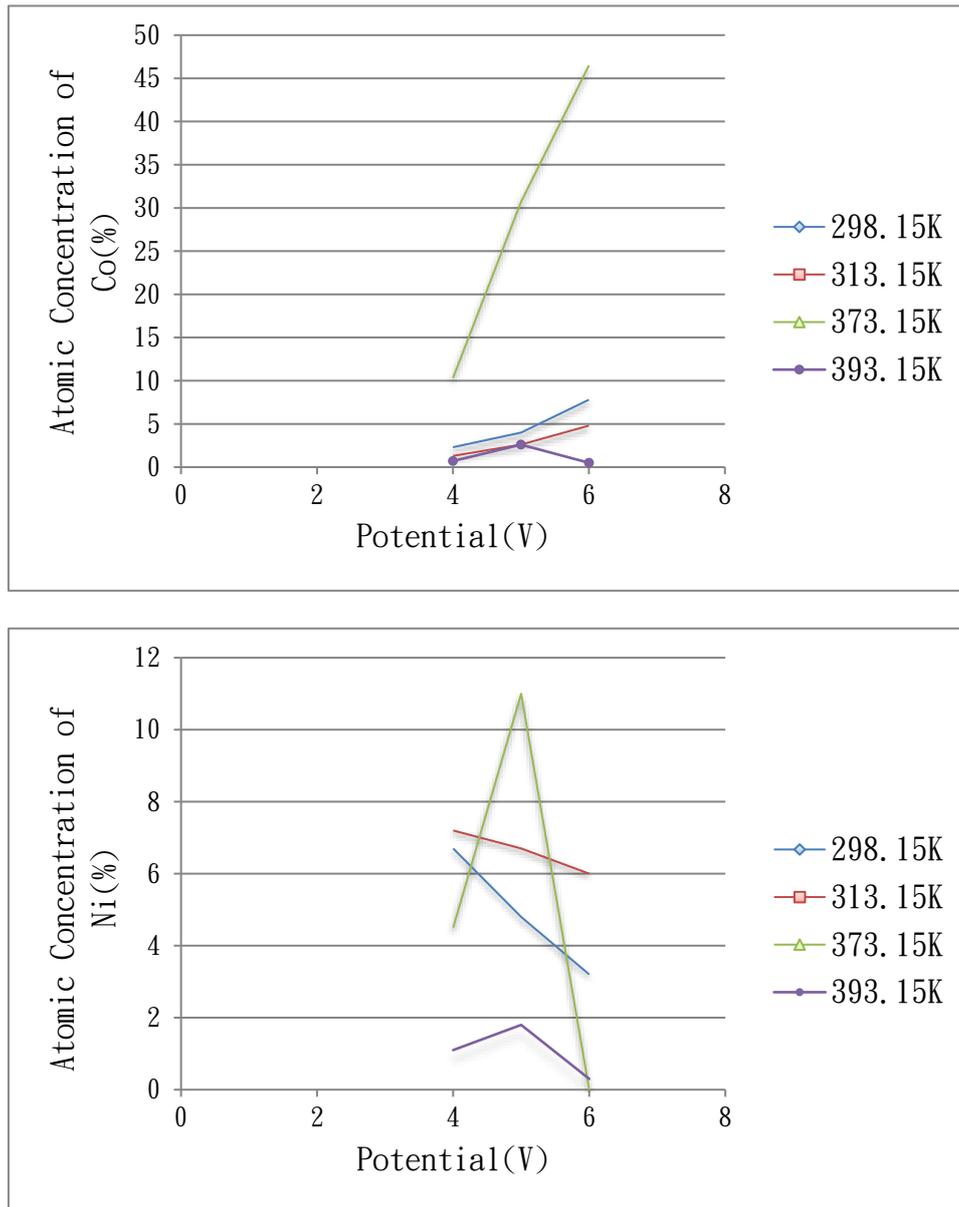


Figure 11 1-G-LA 於不同電位及溫度下電沉積所得鍍層之 EDS 折線圖。

## 2. 溶入 LNCA 後於不同時間下電沉積

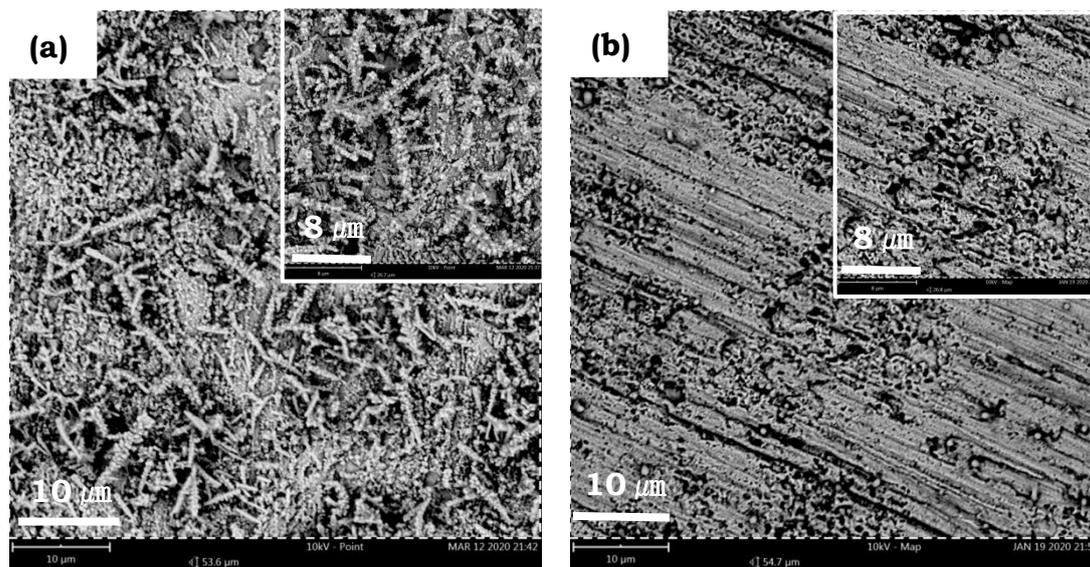


Figure 12 LNCA 溶於 1-G-LA 中的定電位沉積鍍層 SEM 圖。基材 Cu foil，溶質濃度 20 mm，溫度 373.15K，電壓 6V，攪拌。(a)時間 120 minutes (b)時間 45minutes

Time	Potential	Cu	Co	Ni	O
minute	E(V)	Atomic	Concentration (%)		
45	6	48.0	46.5	0.0	5.6
120	6	59.6	22.5	10.3	7.7

Table 4 LNCA 溶於 1-G-LA 中的定電位沉積鍍層元素分析結果。基材 Cu foil，溶質濃度 20 mm，溫度 373.15K，電壓 6V，攪拌。

### (二) 實驗討論

- Table 3 顯示，在溫度 373.15K，電壓 6V，鈷及氧的比例約為 8:1，鈷及氧原子比例相差甚大，推測有成功還原出鈷金屬，而非只產生氧化鈷，且比較溫度 373.15K 不同電壓的 EDS 分析結果可觀察到，於電壓 6V 下，鎳還原量最低，因此在 373.15K，電壓 6V 為還原鈷的最佳條件。
- 於 Figure 11 可觀察到，在溫度 298.15K 及 313.15K，鈷還原情形有相近的趨勢，且在電壓 6V 下的還原量較其餘電壓下的還原量高。

- Figure 11 顯示，雖然在 393.15K 相較於 373.15K 還原的鈷、鎳含量較低，但是於電壓 4V、5V、6V 下，電壓愈高，反應速度較快。在相同時間內，還原出的鈷、鎳含量皆有正成長的趨勢。
- 由 Table3 溫度 298.15K~373.15K 的鈷、鎳原子濃度總含量可發現，電鍍時溫度愈高，離子傳遞速率愈快，進而造成鍍出鈷、鎳的含量增加，因此判定 373.15K 為最適合電鍍之溫度。
- 將電沉積時間拉長後於 Figure 12 可觀察到有明顯的樹枝狀結晶產生，且由 Table 4 的 EDS 分析數據顯示，短時間下的電沉積無鎳的還原，然而電沉積的時間延長，鎳的還原量會大幅提升+，此現象與我們所量測的鈷於 TDESs 的形式還原電位比鎳正的結果相符。

#### 四、實際拆解 Panasonic18650 並以電沉積回收鈷、鎳

##### (一) 實驗結果

##### 1. 拆解 Panasonic18650

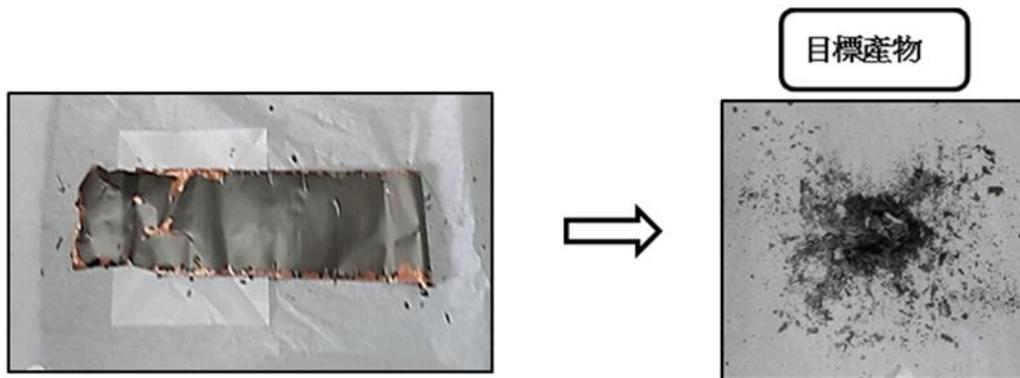


Figure 13 拆解 Panasonic18650

## 2. 三元電解質溶於 TDESs 之鈷、鎳還原電位

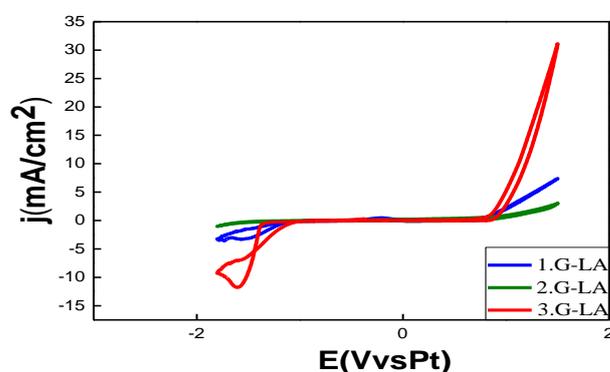


Figure 14 1-G-LA、2-G-LA、3-G-LA 溶入三元電解質，溫度 373.15K 之 CV 圖

## 3. 三元電解質溶於 1-G-LA 後於溫度 373.15K 下電沉積

Temperature	Potential	Cu	Co	Ni	O
K	E(V)	Atomic	Concentration	(%)	
373.15	4	72.8	0.7	1.1	25.4
	5	56.5	0.1	0.1	43.2
	6	84.1	0.5	0.4	15.0

Table 5 三元電解質溶於 1-G-LA 中的定電位沉積鍍層元素分析結果。基材 Cu foil，時間 45 minutes，攪拌。

## (二) 實驗討論

- 由 Figure 14 中觀察到，三元電解質溶於 1-G-LA、2-G-LA、3-G-LA 之還原電位值與 Figure 8 中 1-G-LA、2-G-LA、3-G-LA 溶入 LNCA 之還原電位值相近。
- 比較 Table 3 及 Table 5 可得知，從電池中拆解取的三元電解質相較於現成純度較高的 LNCA 較難於 TDESs 中還原出鈷及鎳，我們推測可能是：溶入的濃度太低，以至鍍層之鈷、鎳含量低。

## 五、將溶入三元電解質之 TDESs 抽濾後進行電沉積

### (一) 實驗結果

#### 1. 抽濾 TDESs



Figure 15 1-G-LA、2-G-LA、3-G-LA 溶入三元電解質，經抽氣過濾法除碳成品圖。

#### 2. 溶入三元電解質後於不同溶劑中電沉積

Solvent	Temperature	Potential	Cu	Co	Ni	O
	K	E(V)	Atomic	Concentration (%)		
1-G-LA	298.15	4	75.1	4.4	5.9	14.7
		5	89.2	4.7	3.5	2.7
		6	78.1	5.9	3.8	12.2
	313.15	4	80.5	9.0	0.6	9.8
		5	78.6	7.9	1.7	11.7
		6	67.3	7.6	0.6	24.4
373.15	4	51.7	29.9	0.0	18.4	
	5	55.1	30.8	0.0	17.2	
	6	69.8	7.3	0.0	22.9	
2-G-LA	373.15	4	69.7	9.5	2.4	18.4
		5	62.7	5.8	1.2	30.3
		6	67.7	5.0	0.2	26.3
3-G-LA	373.15	4	73.6	3.4	2.4	20.5

5	86.8	5.3	2.1	5.8
6	73.7	7.4	2.4	16.5

Table 6 三元電解質溶於 1-G-LA、2-G-LA、3-G-LA 中抽濾後的定電位沉積鍍層元素分析結果。

基材 Cu foil，溶質濃度 20 mm，時間 45 minutes，攪拌。

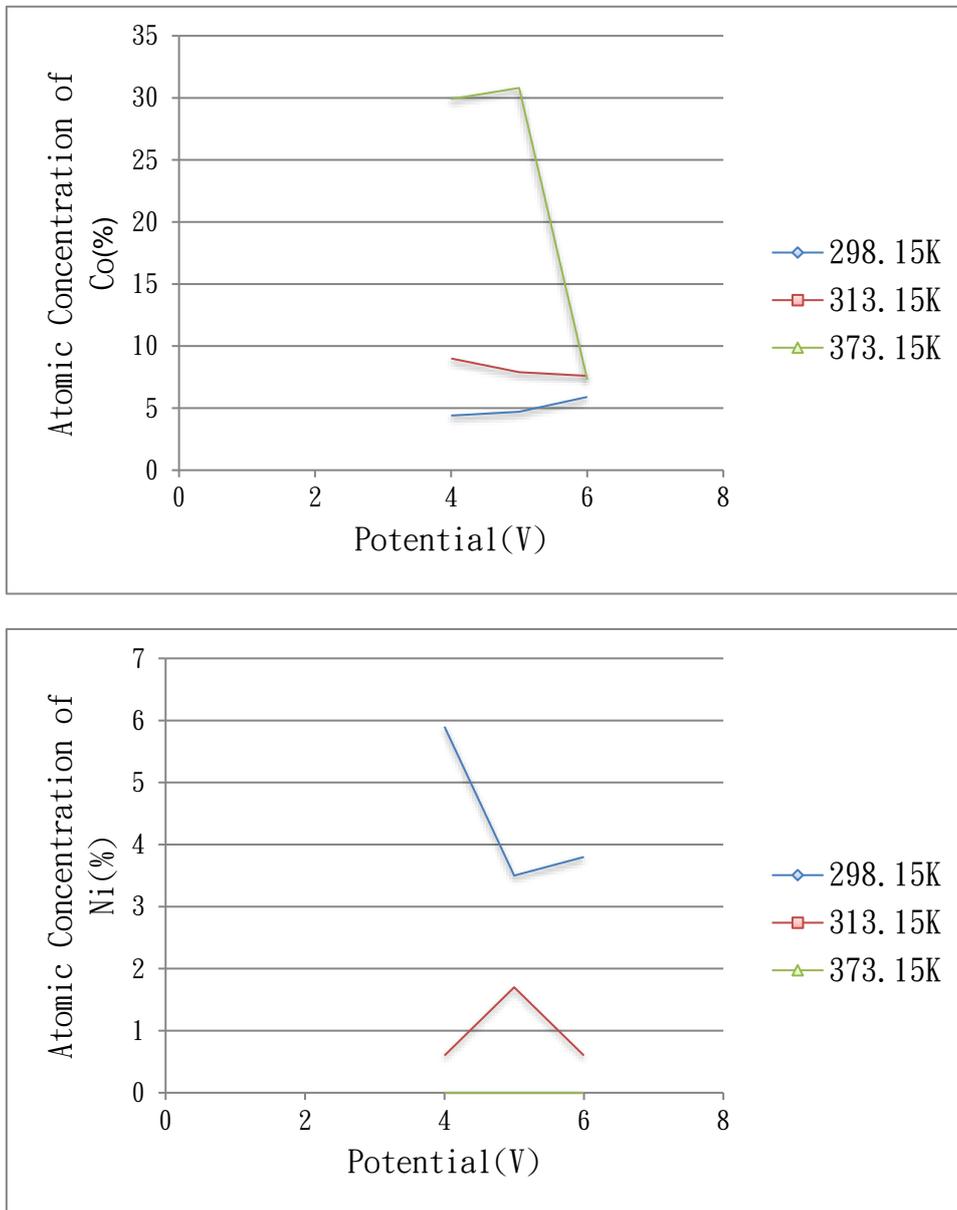


Figure 16 1-G-LA 於不同電位及溫度電沉積所得鍍層之 EDS 折線圖。

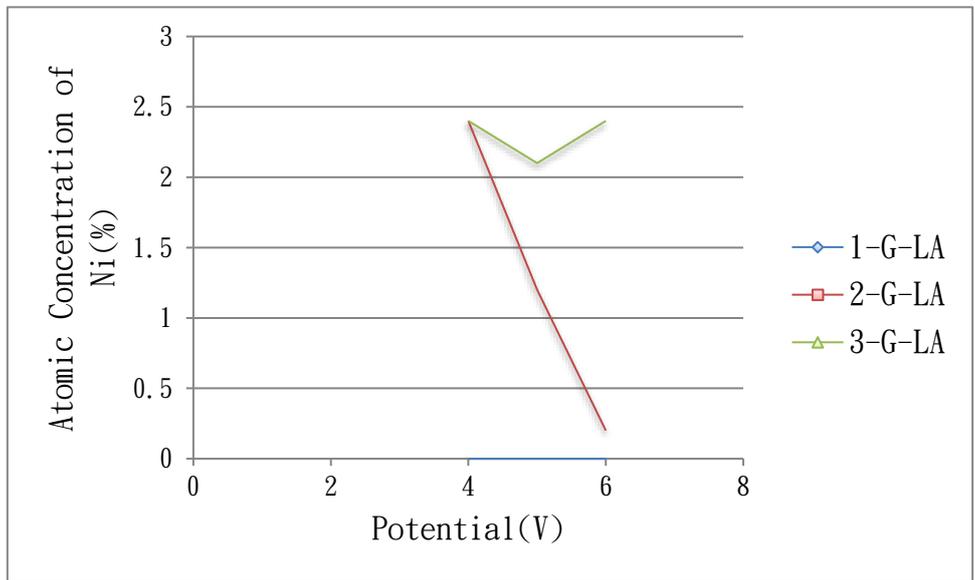
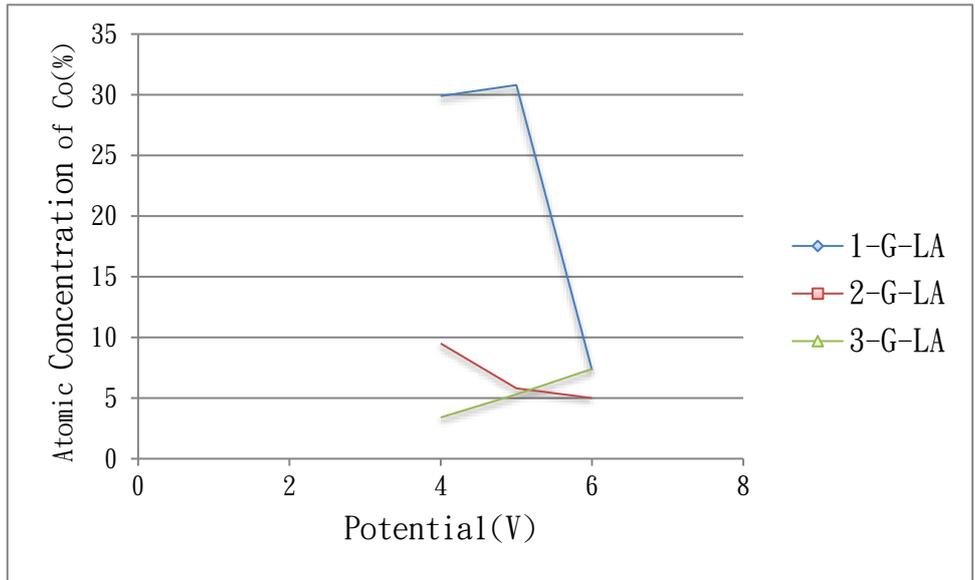


Figure 17 1-G-LA、2-G-LA、3-G-LA 於不同電位電沉積所得鍍層之 EDS 折線圖。

3. 溶入三元電解質後於不同時間下電沉積

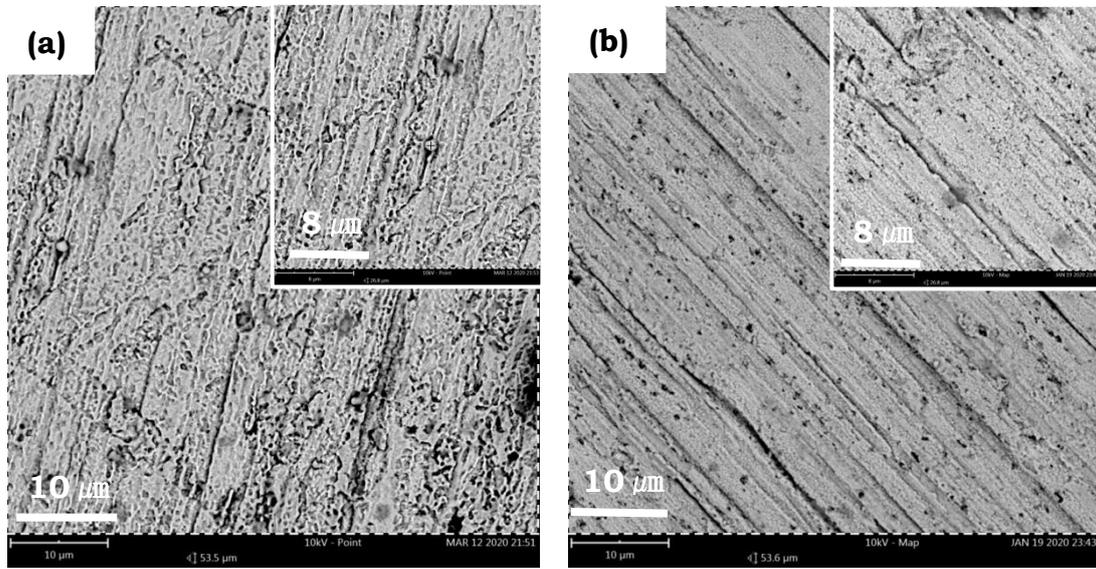


Figure 18 三元電解質溶於 1-G-LA 中的定電位沉積鍍層 SEM 圖。基材 Cu foil，溶質濃度 20 mm，溫度 373.15K，電壓 6V，攪拌。(a)時間 120 minutes(b)時間 45minutes

Time	Potential	Cu	Co	Ni	O
minute	E(V)	Atomic	Concentration (%)		
45	6	69.8	7.3	0.0	22.9
120	6	80.7	3.3	7.5	8.5

Table 7 三元電解質溶於 1-G-LA 中的定電位沉積鍍層元素分析結果。基材 Cu foil，溶質濃度 20 mm，溫度 373.15K，攪拌。

(二) 實驗討論

1. 比較 Table 4 與 Table 5 可得知，TDESS 溶入三元電解質後經由抽濾後再進行電沉積，明顯可優化鈷、鎳之還原量。
2. 比較 Table 5 發現，1-G-LA、2-G-LA、3-G-LA 溶入三元電解質並於溫度 373.15K 下電鍍，為 1-G-LA 還原出鈷、鎳的含量為最高，且 1-G-LA 能於外加電壓 4V、5V、6V，單獨還原出鈷，因此可驗證 1-G-LA 為最適合應用於電沉積之溶劑。
3. 於 Figure 18、Table 7 可看出將電沉積時間拉長會出現與 Figure 12、Table 4 結果

相似。

## 六、將溶入 LNCA 及三元電解質之 TDESs 抽濾後進行無電電鍍

### (一) 實驗結果

抽濾 TDESs

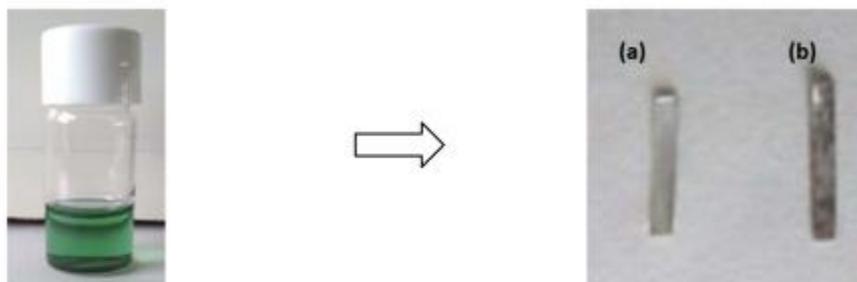


Figure 19 將鋁片置入已溶入三元電解質之 TDESs。經無電電鍍成品圖。

(a)乾淨鋁片 (b)經無電電鍍之鋁片

#### 1. 溶入 LNCA 後在不同時間下進行無電電鍍

Solvent	Time	Al	Co	Ni	O
	minute	Atomic	Concentration (%)		
1-G-LA	120	90.2	0.6	1.3	7.8

Table 8 LNCA 溶於 1-G-LA 中的無電電鍍鍍層元素分析結果。基材 Al foil，溶質濃度 20 mm，溫度 298.15K。

#### 2. 溶入三元電解質後在不同時間下進行無電電鍍

Solvent	Time	Al	Co	Ni	O
	minute	Atomic	Concentration (%)		
1-G-LA	120	83.8	0.0	2.4	13.9

Table 9 三元電解質溶於 1-G-LA 中的定電位沉積鍍層元素分析結果。基材 Al foil，溫度 298.15K。

## (二) 實驗討論

1. 於 Table 8 Table 9 可觀察鎳的還原量遠多於鈷，此結果可與 Table 4 的結果對照，在長時間還原的情況下，鎳具有易被還原的優勢。於 TDESs 置入一鋁片，過程中可發現鋁片表面有氣泡產生，因此判定確實有氧化還原反應。
2. 於 Table 8 Table 9 可觀察鎳的還原量遠多於鈷，此結果可與 Table 4 的結果對照，在長時間還原的情況下，鎳具有易被還原的優勢。

## 伍、 結論

- 一、本實驗溶入 LNCA 之 TDESs，在溫度 373.15K，外加電壓 6V 下可單獨還原出鈷金屬。
- 二、溶入三元電解質之 TDESs，在溫度 373.15K，外加電壓 4V、5V、6V 的條件下可將鈷、鎳分離，單獨還原出鈷。
- 三、溶入三元電解質及 LNCA 之 TDESs，在室溫(298.15K)的環境下，能夠以不使用電的方式還原鈷、鎳。
- 四、本研究成功利用低成本、生物易降解、高穩定性的 TDESs 將電池中的鈷、鎳還原，並且在特定條件下可分離鈷、鎳，還原出的鈷、鎳經由加工可再運用於電子元件材料、陶瓷塗料和蓄電池材料，亦或是繼續氧化成四氧化三鈷用作鈷鋰電池的正極材料達到環保永續的效果。

## 陸、 參考文獻

- [1] 新能源電動汽車為何選用 18650 電池，包括特斯拉？(4 月 24 日)。物聯網新聞。  
取自:<https://reurl.cc/x07gXN>
- [2] Peng, C., Liu, F., Wang, Z., Wilson, B. P., & Lundström, M. (2019). Selective extraction of lithium (Li) and preparation of battery grade lithium carbonate ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) from spent Li-ion batteries in nitrate system. *Journal of Power Sources*, 415, 179 – 188.
- [3] Priscila Barrera.(October 21st, 2019).Cobalt Market Update: Q32019 in Review. Cobalt

- Investing News. Retrieved August 29, 2019, from  
<https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/cobalt-investing/cobalt-market-update/>
- [4] Learn Engineering。 「Lithium-ion battery, How does it work?」 (2019年11月1日)。取自:  
<https://www.youtube.com/watch?v=VxMM4g2Sk8U&t=329s>
- [5] Smith, E. L., Abbott, A. P., & Ryder, K. S. (2014). Deep Eutectic Solvents (DESs) and Their Applications. *Chemical Reviews*, *114*(21), 11060 – 11082.
- [6] Tang, B., Row, K. H. (2013) Recent developments in deep eutectic solvents in chemical sciences. *Monatshefte Für Chemie - Chemical Monthly*, *144*(10), 1427 – 1454.
- [7] Huang, Y., Tran, B. T., Asghari, S., Nguyen, H., Peng, X., Garg, A., & Phung LE, M. L. (2018). Experimental and optimization of material synthesis process parameters for improving capacity of lithium-ion battery. *International Journal of Energy Research*, *42*(10), 3400 – 3409.
- [8] Waldmann, T., Iturrondobeitia, A., Kasper, M., Ghanbari, N., Aguesse, F., Bekaert, E., ... Wohlfahrt-Mehrens, M. (2016). Review—Post-Mortem Analysis of Aged Lithium-Ion Batteries: Disassembly Methodology and Physico-Chemical Analysis Techniques. *Journal of The Electrochemical Society*, *163* (10).
- [9] Xiao, J., Li, J., & Xu, Z. (2017). Novel Approach for in Situ Recovery of Lithium Carbonate from Spent Lithium Ion Batteries Using Vacuum Metallurgy. *Environmental Science & Technology*, *51*(20), 11960 – 11966.
- [10] Muenzel, V., Hollenkamp, A. F., Bhatt, A. I., de Hoog, J., Brazil, M., Thomas, D. A., & Mareels, I. (2015). A Comparative Testing Study of Commercial 18650-Format Lithium-Ion Battery Cells. *Journal of the Electrochemical Society*, *162*(8), A1592 – A1600.
- [11] 劉欣恩(2018)。新式 TDESs 之研發並應用於貴重金屬回收。(國際科展歷屆作品)
- [12] 廖于舜(2016)。鉛與碲化鉛在氯化膽鹼-尿素深共熔溶劑中的電化學行為(未出版之碩士論文)。國立成功大學，臺南市。

## 【評語】 030005

本件題目是以鋰離子電池回收為主，但是實驗內容比較在金屬的回收率，並沒有強調如何將廢棄電池中提高回收率。以後可朝這個方向發展。同時利用的三種溶劑，也沒有嘗試其他組成，以後也可考慮用不同的長碳鏈化合物。