

廢液晶顯示器中發光二極體背光源之組成與性質分析

李清華* 黃浩軒 陳俊臣 王霏笙

大葉大學環境工程學系

51591 彰化縣大村鄉學府路 168 號

*chl@mail.dyu.edu.tw

摘要

本研究主要是針對廢液晶顯示器 (Liquid Crystal Display, LCD) 中發光二極體 (Light-Emitting Diode, LED) 背光源進行組成與鎘、鎘、鉛、鉍、釷、釷、錳、鎳有價金屬含量之分析。本研究規劃之工作內容如下：1. 收集廢 LED/LCD；2. LCD 組成拆解分析；3. LED 背光源性質分析。本研究顯示，廢 LCD 樣品中之 LED 背光源重量百分比約佔其 LCD 螢幕總重的 0.2% 左右，另廢 LED 背光源樣品之水份、灰份及可燃份分別平均為 0.41%、75.63%、23.96%，另廢 LED 背光源樣品中鎘、鎘、鉛、鉍金屬之全含量分別為 738 mg/kg、64 mg/kg、18 mg/kg、9 mg/kg，而釷、錳、鎳則未檢出，由此可知，廢 LED 背光源樣品中之有價金屬以鎘之含量最高。

關鍵詞：廢棄物，液晶顯示器，發光二極體。

Composition Analysis of a Light-Emitting Diode Backlight in a Waste Liquid Crystal Display

CHING-HWA LEE*, HAO-HSUAN HUANG, JUN-CHEN CHEN and PEI-SHENG WANG

Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

No.168, University Rd., Dacun, Changhua 51591, Taiwan, R.O.C.

*chl@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

In liquid crystal displays, light-emitting diode (LEDs) are commonly used to provide the backlight. This study analyzed the composition of the LED backlight in a waste liquid crystal display panel. In particular, the concentration of the valuable metals Ga, Eu, Y, Tb, Gd, Ce, and Lu in the LED backlight were determined. The LED backlight accounted for approximately 0.2% of the total weight of the waste LCS panel. Furthermore the moisture, ash, and combustible content of samples of the LED backlight were 0.41%, 75.63%, and 23.96%, respectively, and the Ga, Eu, Y, and Ce contents of the samples were 738, 64, 18, and 9 mg/kg, respectively. Metals such as Ga, Te, and Lu were not detected. Thus, the main constituent valuable metal in LED backlights is Ga.

Key Words: Waste, Liquid Crystal Display, Light-Emitting Diode.

一、前言

液晶顯示器 (Liquid Crystal Display, LCD) 目前已廣泛應用於電腦、電視、手機等 3C 產品中做為顯像元件，根據參考文獻[1]顯示 LCD 構造包括 LCD 面板、背光源等元件，根據參考文獻[5]指出，台灣液晶電視出貨量在 2010 年至 2012 年分別為 3,860 萬台、4,430.8 萬台、3,758 萬台，而 2013 年之出貨量則為 4,410 萬台，有遞增之趨勢，由於目前 LCD 顯示器已大量取代陰極射線管 (CRT) 運用在上述電子產品，因此未來上述廢電子產品應皆含 LCD 顯示器，若能夠全部回收這些廢電子產品中廢 LCD 之有價物質，必定將能帶來龐大的經濟效益。

由於 LCD 面板本身不具發光特性，須依賴背光源 (Backlight) 來達到顯示的功能，因此背光模組性能的好壞將直接影響到 LCD 的品質，背光模組主要是由發光源、導光板、光學用模片、稜鏡片及塑膠框等構成。目前 LCD 背光源的發光類型主要為冷陰極管 (Cold Cathode Fluorescent Lamp, CCFL) 及發光二極體 (Light-Emitting Diode, LED) 二種，傳統 LCD 顯示器大都採用冷陰極燈管當成背光模組，冷陰極燈管背光源件成本低，但含汞較高且體積大，當後續回收處理廢液晶顯示器時，此冷陰極燈管會產生汞污染環保問題[2]，因此 LED 已逐漸成為 LCD 背光模組之主流元件。

另由參考文獻[3]得知，LED 晶片種類包括紅外光 (GaAs)、黃光 (GaP)、綠光 (InGaN) 及藍光 (SiC、GaN) 等光源，由此可知大部分 LED 晶片皆含有鎵 (Ga) 金屬。另根據文獻[4]，常見 LED 螢光粉之組成成分中可能含有銦 (Eu)、鈮 (Y)、釷 (Gd)、錒 (Tb)、鈾 (Ce)、鐳 (Lu) 金屬等有價金屬。綜合上述，LED 背光源中因使用晶片及螢光粉而可能含有鎵 (Ga)、銦 (Eu)、鈮 (Y)、釷 (Gd)、錒 (Tb)、鈾 (Ce)、鐳 (Lu) 金屬等有價金屬，使得 LED 背光源具有回收經濟效益。

綜合上述，本研究針對國內不同來源廢 LCD 中之 LED 背光源進行組成拆解調查分析與其中鎵、銦、鈮、釷、錒、鐳有價金屬含量分析，以利作為後續規畫廢 LED 背光源回收參考依據。

二、實驗方法

(一) 樣品收集

本研究透過國內回收廠家來收集含 LED 背光源之廢



圖 1 本研究收集之廢 LCD 樣品 A 外觀



圖 2 本研究收集之廢 LCD 樣品 B 之外觀

LCD 樣品 A 與樣品 B，本研究收集之廢 LCD 樣品 A 為廠牌 View Sonic 15 吋 LCD 顯示器，其外觀如圖 1 所示，另廢 LCD 樣品 B 為廠牌 View Sonic 15 吋 LCD 顯示器，其外觀如圖 2 所示。

(二) LCD 組成拆解

本研究針對所收集之廢 LED/LCD 以人工拆解方式，使用各式螺絲起子等工具進行組成拆解，並將所拆解之各零件進行秤重、拍照，以了解 LED/LCD 顯示器之組成重量百分比，另將特別紀錄 LED 背光源之組成構造、重量、產出位置等資訊，並收集本研究所拆解獲得之廢 LED 背光源，以作為後續研究實驗樣品。

(三) 成份分析

本研究針對廢 LED 背光源樣品，進行水份、灰份及可燃份等基本性質之測定，並藉由感應耦合電漿光譜分析儀 (Inductively Coupled Plasma, 以下簡稱：ICP)，來進行廢 LED 背光源樣品所含之鎵、銦、鈮、釷、錒、鐳金屬之成份及含量分析，並根據其成份特性，作為後續廢 LED 背光源樣品中鎵、銦、鈮金屬回收之依據，各項樣品基本性質測定方法及實驗設備如下所示：

1. 水份、灰份及可燃份

本研究針對此廢 LED 背光源來進行水份、灰份、可燃份之分析，本研究以環檢所所訂定之事業廢棄物水份測定方法—間接測定法 (NIEA R203.02C) 來分析廢 LED 背光源

樣品之含水率，本研究將廢 LED 背光源樣品攪拌混合並秤取具代表性的含廢 LED 背光源樣品 5 克，並置於烘箱，以溫度 105°C 中進行烘乾 2 小時並加以平衡，經多次烘乾、秤重步驟後，直至其秤重重量無明顯減少。下列為水份計算公式 (1)：

$$\text{水份}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

W_1 ：烘乾前樣品重，約秤 5 克

W_2 ：烘乾且平衡後的樣品重

根據上式可計算出廢 LED 背光源樣品之水份含量。

另外本研究亦分析廢 LED 背光源之灰份含量，灰份之分析係參考環境檢驗所公告之廢棄物中灰份、可燃份測定方法 (NIEA R205.01C) 進行檢測。量取乾基廢 LED 背光源樣品粉末，放入前將坩鍋洗淨，置於高溫灰化爐中，以 1200°C 空燒 30 分鐘。空燒後降低爐溫至 300°C 時，將坩鍋移至乾燥器冷卻備用，使用前秤量。秤取適量之廢 LED 背光源樣品 5g，置於上述已秤重之坩鍋中，先以 105±5°C 之溫度下預熱 30 分鐘，再將溫度調至 800°C 維持三小時。降低爐溫至 300°C 時，將樣品 (連坩鍋) 移至乾燥器中冷卻至室溫並秤重紀錄後代入公式 (2)、(3) 即可得到灰份百分比與可燃份百分比。

$$\text{灰份}(\%) = \frac{W_1}{W_2} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{可燃份}(\%) = 100\% - \text{灰份}\% - \text{水份}\% \quad (3)$$

W_1 ：經 800°C 高溫爐灰化後之樣品重。

W_2 ：置入烘箱前之樣品重。

2. 金屬全含量分析

本研究針對所收集之廢 LED 背光源來進行鎂、鎢、鉍、釷、釷、鈾、鈾、鈾金屬之全含量分析，以作為本研究後續規劃廢 LED 背光源之有價金屬回收技術評估，本研究之有價金屬「鎂、鎢、鉍、釷、鈾、鈾、鈾」含量分析是利用感應耦合電漿光譜分析儀，來進行廢背光源中金屬含量分析，由於感應耦合電漿光譜分析儀 (ICP) 僅能分析液態樣品，而廢 LED 背光源樣品屬於固態，故須先將其進行消化步驟，本研究參考環境檢驗所公告之檢測方法 (土壤中重金屬檢測方法—王水消化法 (NIEA S321.63B)) 來針對「鎂、鎢、鉍、

釷、鈾、鈾、鎢」金屬進行消化分析，在進行消化反應後，先以過濾方式將消化液中粒狀物去除，然後再利用 ICP 分析金屬之含量，並透過公式 (2.4) 來計算各金屬之全含量，以了解廢 LCD 中 LED 背光源所含之金屬成份及其含量。

$$\text{金屬全含量} = \frac{\text{液體中之金屬重量}}{\text{樣品總重量}} \quad (4)$$

三、結果與討論

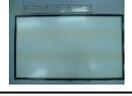
(一) LCD 組成拆解分析

由於廢 LED/LCD 為這一兩年才大量廣泛使用之 3C 產品，其使用生命週期尚未結束，故廢 LED/LCD 報廢量少，且不易收集，故本研究目前僅能針對所收集之廢 LCD 樣品 A 與樣品 B 分別以人工拆解的方式，使用各式螺絲起子等工具進行組成拆解，並已將所拆解之各零件進行秤重，以了解廢 LCD 顯示器之組成重量百分比。

本研究經實際觀察拆解 LCD 樣品 A 得知，廢 LCD 樣品 A 分別由後面板組、前 LCD 面板組與底板組所組成的，又後面板組是由塑膠板及 IC 電路板所組成，又前 LCD 面板組是由 LCD 面板、面板外框 (鐵) 及底板組所組成，而底板組則是由透明塑膠板、霧面薄板 2 片、半透明塑膠板、白色塑膠板、支撐底板 (鐵) 及廢 LED 背光源組成，廢 LED 背光源所在位置為支撐底板 (鐵) 之最下方，經透明膠帶黏著於支撐底板 (鐵) 上。

表 1 為本研究拆解分析廢 LCD 樣品 A 之重量組成拆解結果，另各項拆解後零組件之外觀亦列於表 1，由表 1 得知，廢 LCD 樣品 A 之螢幕總重為 3103g，其重量百分比為 100%；後面板組 (含塑膠板及 IC 電路板) 重量為 1,500g，其重量百分比為 48.3%；前 LCD 面板組總重量為 1,603g，其重量百分比為 51.7%；又 LCD 面板重量為 400g，其重量百分比為 12.9%；又面板外框 (鐵) 重量為 100g，其重量百分比為 3.3%；而底板組重量 1,103g，其重量百分比為 35.5%，包含在底板組內之透明塑膠板其重量為 350g，重量百分比為 11.3%；霧面薄板 2 片重量為 50g，重量百分比為 1.6%；半透明塑膠板其重量為 50g，重量百分比為 1.6%；白色塑膠板其重量為 50g，重量百分比為 1.6%；支撐底板其重量為 600g，重量百分比為 19.3%；而 LED 背光源其重量則為 3g，重量百分比為 0.1%，此廢 LED 背光源之外觀如表 1 所示。

表 1. 拆解分析廢 LCD 樣品 A 之組成重量百分比與外觀

組成項目	重量	百分比 (%)	圖片
1.後面板組 (含塑膠、IC 電路板)	1,500g	48.3%	
2.前 LCD 面板組	1,603g	51.7%	
2.1.LCD 面板	400g	12.9%	
2.2.面板外框 (鐵)	100g	3.3%	
2.3.底板組	1,103g	35.5%	
2.3.1 透明板 (塑膠)	350g	11.3%	
2.3.2 霧面薄板 (紙, 2 片)	50g	1.6%	
2.3.3 半透明板 (塑膠)	50g	1.6%	
2.3.4 白色板 (塑膠)	50g	1.6%	
2.3.5 支撐底板 (鐵)	600g	19.3%	
2.3.6 LED 背光源	3g	0.1%	
螢幕總重	3,103 g	100%	

另本研究經實際觀察拆解 LCD 樣品 B 得知，廢 LCD 樣品 B 是由後面板組、前 LCD 面板組與底板組所組成的，又後面板組是由塑膠板及 IC 電路板所組成，又前 LCD 面板組是由 LCD 面板、面板外框 (鐵) 及底板組所組成，而底板組則是由透明塑膠板、霧面薄板 2 片、半透明塑膠板、白色塑膠板、支撐底板 (鐵) 及廢 LED 背光源組成，廢 LED 背光源所在位置為支撐底板 (鐵) 之最下方，並使用透明膠

帶黏著於支撐底板 (鐵) 上，其 LED 背光源之外觀較厚。

表 2 為本研究拆解分析廢 LCD 樣品 B 之重量組成拆解結果，另各項拆解後零組件之外觀亦列於表 2，由表 2 得知，廢 LCD 樣品 B 之螢幕總重為 2.25kg，其重量百分比為 100%；後面板組 (含塑膠板、IC 電路板) 重量為 750g，其重量百分比為 33.2%；前 LCD 面板組總重量為 1,506g，其重量百分比為 66.8%；又 LCD 面板重量為 400g，其重量百分比為

李清華、黃浩軒、陳俊臣、王霽笙：廢液晶顯示器中發光二極體背光源之組成與性質分析

17.7%；又面板外框(鐵)重量為 100g,其重量百分比為 4.5%；而底板組重量則為 1,006g,其重量百分比為 44.6%，包含在底板組內之透明塑膠板其重量為 350g,重量百分比為 15.5%；霧面薄板 2 片其重量為 50g,重量百分比為 2.2%；半透明塑膠板其重量為 50g,重量百分比為 2.2%；白色塑膠板其重量為 50g,重量百分比為 2.2%；支撐底板其重量為 500g,重量百分比為 22.2%；而 LED 背光源其重量則為 6g,重量百分比為 0.3%。

綜合上述結果得知，廢 LCD 樣品 A 與樣品 B 兩者組成差異不大，螢幕總重的差異來自於後面板組內之 IC 电路板的大小而不同，又兩者之 LED 背光源數量皆只有一條，其重量差異主要來自本身厚度與長度不同，廢 LCD 樣品 A 之 LED 背光源重量為 3g,其重量百分比為 0.1%，廢 LCD 樣品 B 之 LED 背光源重量為 6g,其重量百分比為 0.3%，故兩者重量百分比皆佔不到其螢幕總重的 0.4%。

表 2. 拆解分析廢 LCD 樣品 B 之組成重量百分比與外觀

組成項目	重量	百分比 (%)	圖片
1.後面板組(含塑膠、IC 电路板)	750g	33.2%	
2.前 LCD 面板組	1,506g	66.8%	
2.1. LCD 面板	400g	17.7%	
2.2.面板外框(鐵)	100g	4.5%	
2.3.底板組	1,006g	44.6%	
2.3.1 透明板(塑膠)	350g	15.5%	
2.3.2 霧面薄板(紙, 2 片)	50g	2.2%	
2.3.3 半透明板(塑膠)	50g	2.2%	
2.3.4 白色板	50g	2.2%	
2.3.5 支撐底板(鐵)	500g	22.2%	
2.3.6 LED 背光源	6g	0.3%	
螢幕總重	2,256g	100%	

(二) 成份分析

本研究另針對所收集之廢 LED 背光源之樣品進行水份、灰份、可燃份分析及「鎵、銻、鉍、釷、鈹、鈾、鐳」全含量分析，以了解廢 LED 背光源之基本性質。由於 LCD 樣品 A 與 LCD 樣品 B 中 LED 背光源皆數量皆只有一條，且樣品重量不足以供本研究進行上述成份分析研究，故本研究直接由國內回收處理業者收集提供已拆解後之 LED 背光源數條，以作為本研究成份分析之樣品，本研究將國內回收業者所提供之廢 LED 背光源，依其外觀分為樣品 1、樣品 2、樣品 3 與樣品 4 等四大類，其外觀如表 3 所示。各項成份分析結果如下：

1. 三成份分析

本研究分別稱取樣品 1、樣品 2、樣品 3 與樣品 4 等四種廢 LED 背光源樣品各 5g，分別先以 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 之烘箱乾燥 2 小時，取出冷卻至室溫，並精稱之，經一次烘乾後，此時以公式 (1) 計算求得水份。接著再將烘乾後之樣品分別置於 800°C 高溫爐中灰化 3 小時，冷卻後稱重求其殘餘重量，經以公式 (2) 計算即可獲得樣品之灰份，另透過公式 (3) 即可獲得可燃份。

上述廢 LED 背光源樣品之三成分分析實驗結果如表 4 所示，根據表 4 之結果可得知廢 LED 樣品 1 之水份為 0.43%、灰份為 72.51% 及可燃份為 27.06%，另樣品 2 之水份為 0.49%、灰份為 73.67% 及可燃份為 25.84%，另樣品 3 之水份為 0.31%、灰份為 89.42% 及可燃份 10.27%，另樣品 4 之水份為 0.40%、灰份為 66.93% 及可燃份為 32.67%。上述之結果顯示，樣品 1、2、3 與樣品 4 皆含有水份，差異不大，其平均水份為 0.41%，另各樣品皆含有有機物質，其平均灰份及可燃份分別為 75.63% 與 23.96%。

2. 有價金屬全含量分析

由於本研究針對廢 LED 背光源樣品 1、2、3 與 4 所做之各項分析結果顯示，兩者之性質差異不大（詳見表 4），為以利後續實驗工作之進行，本研究乃將所收集的廢 LED 背光源樣品 1、2、3 與 4 先予以 800°C 焙燒後，再予以均勻混合，以作為本研究有價鎵、銻、鉍、釷、鈹、鈾、鐳金屬全含量分析之樣品。此焙燒後混合廢 LED 背光源樣品之鎵、銻、鉍、釷、鈹、鈾、鐳金屬全含量檢測結果如表 5 所示，由表 5 得知，本研究所使用之廢 LED 背光源經焙燒後樣品

中之鎵金屬全含量為 959mg/kg、銻金屬全含量為 83mg/kg、鉍金屬全含量為 24mg/kg、鈾金屬全含量為 12mg/kg，而釷、鈹、鈾之全含量則未檢測出（小於儀器檢測範圍）。

另根據表 4 得知，廢 LED 背光源樣品在 800°C 焙燒後（灰化後），其平均焙燒重量損失為 23%，由於焙燒前金屬全含量 = (焙燒後金屬全含量) X (1 - 焙燒重量損失%)，故可計算出廢 LED 背光源於未焙燒前之鎵金屬全含量為 738mg/kg、銻金屬全含量為 64mg/kg、鉍金屬全含量為 18mg/kg、鈾金屬全含量為 9mg/kg。

由上述得知，廢 LED 背光源樣品中以鎵金屬全含量為最高，其次依序為銻金屬、鉍金屬、鈾金屬，而釷、鈹、鐳金屬則未檢測出，由於鎵、銻、鉍、鈾等有價金屬含量皆不高，故廢 LED 背光源之回收經濟價值尚需更進一步探討。

表 3. 國內回收業者提供之不同廢 LED 背光源外觀

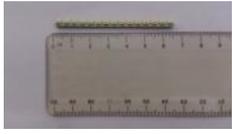
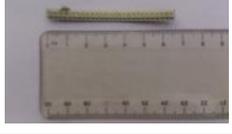
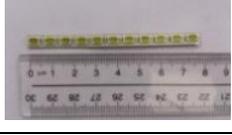
樣品種類	廢 LED 外觀
1	
2	
3	
4	

表 4. 廢 LED 背光源三成份之分析結果

三成份 樣品種類	水份 (%)	灰份 (%)	可燃份 (%)
1	0.43	72.51	27.06
2	0.49	73.67	25.84
3	0.31	89.42	10.27
4	0.40	66.93	32.67

表 5. 廢 LED 背光源焙燒前後樣品中之鎵、銻、釷、釷、鈹、鈾、鐳全含量

樣品	金屬全含量 (mg/kg)						
	Ga	Eu	Y	Gd	Tb	Ce	Lu
焙燒後之 LED	959	83	24	未檢出 (小於儀器 檢測範圍)	未檢出 (小於儀器 檢測範圍)	12	未檢出 (小於儀器 檢測範圍)
焙燒前之 LED	738	64	18	未檢出 (小於儀器 檢測範圍)	未檢出 (小於儀器 檢測範圍)	9	未檢出 (小於儀器 檢測範圍)

四、結論

本研究主要目的是進行廢 LCD 中 LED 背光源之組成拆解分析與鎵、銻、釷、鈾、鈹、鐳有價金屬含量分析，本研究各項分析重點成果如下：

- (一) 廢 LCD 樣品 A 與樣品 B 經人工組成拆解分析得知，兩者組成差異不大，螢幕總重的差異來自於後面板組內的 IC 電路板的大小而不同，又兩者 LED 背光源之重量差異來自本身厚度與長度不同。其中廢 LCD 樣品 A 之 LED 背光源重量為 3g，其重量百分比為 0.1%，廢 LCD 樣品 B 之 LED 背光源重量為 6g，其重量百分比為 0.3%，故兩者重量百分比皆佔不到其 LCD 螢幕總重的 0.4%。
- (二) 廢 LED 背光源之三成份分析結果顯示，廢 LED 背光源之水份平均為 0.41%、灰份平均為 75.63% 及可燃份平均為 23.96%。
- (三) 廢 LED 背光源焙燒後樣品之金屬全含量分析結果得知，此廢 LED 背光源焙燒後樣品之鎵金屬全含量為 959 mg/kg、銻金屬全含量為 83 mg/kg、釷金屬全含量為 24 mg/kg、鈾金屬全含量為 12 mg/kg，但鈹、鈹、鐳之全含量則未檢出。
- (四) 另經計算得知廢 LED 背光源原始樣品中之鎵金屬全含量為 738mg/kg、銻金屬全含量為 64mg/kg、釷金屬全含量為 18mg/kg、鈾金屬全含量為 9mg/kg，故廢 LED 背光源樣品主要含有價鎵金屬，值得後續進一步探討其資源回收價值。

誌謝

感謝行政院環境保護署基管會提供本研究經費(計畫編號：EPA-103- X10)。

參考文獻

1. 友達光電股份有限公司，TFT-LCD 製程介紹，104 年 5 月 13 日，取自 <http://www.auo.com/?sn=405&lang=zh-TW>
2. 奇摩知識家 (95 年 7 月 20 日)，液晶電視的背光源，104 年 5 月 13 日，取自 <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1106072015978>。
3. 建國科技大學電子工程系，LED 製造技術，104 年 5 月 13 日，取自 <http://een.ctu.edu.tw/ezfiles/16/1016/img/833/LED06.pdf>。
4. 新電子網站 (97 年 8 月)，白光 LED 螢光粉技術三強鼎立，104 年 5 月 13 日，取自 http://www.mem.com.tw/article_content.asp?sn=0808250010。
5. 蘋果日報財經新聞 (101 年 12 月 24 日)，台灣液電代工廠明年出貨成長負轉正，104 年 5 月 13 日，取自 <http://www.appledaily.com.tw/appledaily/article/finance/20121224/34724825/>。

收件：104.05.13 修正：104.07.01 接受：104.08.05