

廢 IC 板電漿熔渣之資源回收

陳慧憶¹ 陳弘梅¹ 劉冠廷¹ 林佩瑩¹ 郭碧芳¹ 李文成² 李清華¹

¹大葉大學環境工程學系

彰化縣大村鄉山腳路 112 號

²核能研究所化工組

桃園縣龍潭鄉佳安村文化路 1000 號

摘要

本研究主要針對廢 IC (積體電路) 板經電漿熔融後熔渣中之金、銀、銅進行回收研究, 本研究方法包括破碎研磨、篩分、磁選、浸漬溶蝕及溶蝕效率分析等。本研究結果顯示, 廢 IC 板電漿熔渣之比重為 3.47、水份為 0.23%, 而灰份為 101.81%。熔渣經過粉碎、磁選後可得 6.62% 之含鐵物, 而不感磁物中含有金 0.0010%、銀 0.0392% 及銅 33.94%。另不感磁物經篩分得知 100 目 (0.149mm) 以上之熔渣含銅量較高, 可直接將其售予煉銅廠作為冶銅之原料, 而 100 目以下, 因其粒徑較小且尚含有金、銀、銅有價物, 故本研究以鹽酸、硫酸、氨水、硫脲等浸漬劑來進行金、銀、銅之浸漬溶蝕研究。本研究結果顯示以硫脲浸漬效果最好, 其最佳浸漬條件為: 硫脲 2.5g, 硫酸濃度 7.2N, 硫酸鐵 3.3g, 固液比 0.03 (1.5g/50mL), 在室溫下浸漬 2 小時, 可得金、銀、銅 100% 之浸漬回收率。

關鍵詞: IC 板, 回收, 金, 銀, 銅, 浸漬

Recycling of the Plasma Slag in Scrap IC Boards

HEI-YI CHEN¹, HUNG-MEI CHEN¹, KUAN-TING LIU¹, PEI-YING LIN¹, BI-FANG GUO¹,

WEN-CHENG LEE² and CHING-HWA LEE¹

¹ Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

No. 112, Shanjiao Rd., Dacun, Changhua, Taiwan 51591, R.O.C.

² Chemical Engineering Division, Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council, R.O.C.

No. 1000, Wenhua Rd., Jia-an, Longtan Shiang, Taoyuan County, Taiwan 235, R.O.C

ABSTRACT

In this study, various methods for grinding, screening, magnetic separation and leaching are adopted to recover the valuable gold, silver and copper metallic components from the slag of plasma-treated scrap integrated circuit (IC) boards. The results of the compositional analysis reveal that the specific gravity, iron content, moisture and ash content of this slag are 3.47%, 6.62%, 0.23% and 101.08%, respectively. After magnetic separation, the fraction of non-ferrous metal larger than 100 mesh (0.149mm), containing mainly copper, can be sold directly to a copper smelter; moreover, the gold, silver and copper components can be recovered by leaching. The leaching result indicates that a 100% recovery of gold, silver and copper can be achieved by using a thiourea leaching solution.



Key Words: integrated circuit boards, recycling, gold, silver, copper, leaching

一、前言

根據李清華等 [6] 指出台灣全年主機板產量約為八千六百五十餘萬片，全球市場佔有率達 74%，加上電腦內其他 IC 板產品，推估約每年可達 10 億片以上，這意味著國內每年將會產生數量龐大之廢 IC 板，這些廢 IC 板含有有害重金屬，如任其棄置將會對環境造成相當程度之危害，另廢 IC 板中所含之金屬如金、銀、銅為有價金屬，其中金之售價約為新台幣 86.8 萬元/公斤，銀之售價約新台幣 1.5 萬元/公斤，而銅金屬之售價約為新台幣 25.7 萬元/公噸，如任其棄置無法回收，將甚屬可惜。有鑑於此本研究規劃回收廢 IC 板有價之金、銀、銅金屬，以達成廢 IC 板減量及資源回收之雙重目的。

由於電腦科技的日益發達及電腦機種的快速更新，國內每年也產生大量淘汰的廢棄電腦，因此本研究將以廢電腦中所拆解出來之廢 IC 板，經由電漿熔融技術，在 800°C 下將廢 IC 板之有機塑膠樹脂脆化，並予以粉碎，再利用篩分、磁選、浸漬溶蝕等方法來回收電漿熔渣中之金、銀、銅有價金屬。

二、研究方法

本研究採用經電漿熔融處理後之廢 IC 板熔渣為樣品，經研磨篩分後，利用磁選方式將鐵物質與非鐵物質予以分離，所得之非鐵物質再利用篩分及浸漬溶蝕方法將金、銀、銅金屬予以溶出以利於後續之純化回收。以下將敘述本研究之各項工作內容與實施步驟。

(一) 收集廢 IC 板電漿熔渣

本研究收集廢電腦及手機，以人工拆解方式獲得廢電腦及手機中之廢 IC 板，將這些廢 IC 板置於核能研究所提供之電漿爐內（內腔：90 cm×70 cm×80 cm；火炬：200 KW），在溫度 800°C 下，予以焙燒 10 分鐘，以將廢 IC 板中之樹脂燃燒分解，而焙燒後有價金屬與玻璃纖維則留存於熔渣中，再將此熔渣研磨至直徑小於 2 mm 之物質，並經適當的混合以利後續實驗之進行。

(二) 成分分析

本研究利用感應耦合電漿光譜分析儀（inductively coupled plasma, ICP）及原子吸收光譜儀（atomic absorption spectrometer, AA），進行電漿熔渣中所含之金、銀、銅成分

及其含量分析，以作為後續規劃電漿熔渣中有價金屬回收流程之依據。由於感應耦合電漿光譜分析儀（ICP）及原子吸收光譜儀（AA）僅能分析液態樣品，而電漿熔渣屬固態樣品，故須先將其進行消化步驟，而不同之消化方法將會造成不同之分析結果，為獲得較為準確之金、銀、銅含量分析結果，本研究採用環境檢驗所公告方法之土壤中重金屬檢測方法—王水消化法 [2]（NIEA S321.63B）進行銅含量分析，另以污泥及沉積物中重金屬檢測方法—酸消化法 [3]（NIEA R353.00C）之增加銀回收率步驟，進行金、銀含量分析。

本研究也針對電漿熔渣進行比重、水分、灰份及可燃份等基本性質分析測定，比重測定方法依據文獻 [8] 中之固體密度之測定方法，利用威爾比重瓶（Weld pycnometer）進行比重之測定。水分及灰份則參考環檢所所訂定之「廢棄物含水量測定方法—間接測定法 [1]（NIEA R203.01T）」及「廢棄物灰份測定方法 [4]（NIEA R205.01C）」，以了解原始電漿熔渣含水率及特性灰份含量，而樣品之可燃份則由樣品總量減去水份和灰份而得之。

(三) 篩分

本研究利用 20 目（0.840mm）、50 目（0.297mm）、100 目（0.149mm）及 200 目（0.074mm）等篩網，將樣品予以篩分，篩選出最適合後續實驗之樣品大小，並分析各篩網上各重金屬之組成含量，以了解各類重金屬粒徑分布，並可藉此結果來評估後續浸漬溶蝕實驗樣品之選擇。

(四) 磁選

本研究利用人工磁選方式將研磨後之廢 IC 板中鐵金屬予以回收去除，以利後續浸漬溶蝕實驗之進行。

(五) 浸漬溶蝕

本研究首先利用鹽酸、硫酸、氨水、硫脲四種浸漬劑，予以浸漬溶蝕非鐵金屬中之金、銀、銅有價金屬，並探討浸漬劑濃度、浸漬時間、浸漬溫度、氧化劑添加量及不同固液比等五項操作因子對金屬浸漬之影響。本研究使用之浸漬樣品為 1g，浸漬液體積 50mL，並使用磁石攪拌器攪拌，攪拌轉速為 150rpm，經過濾後之濾液定量至 100mL，再進行濾液中金、銀、銅含量分析，以作為判斷浸漬回收率之依據，各金屬浸漬回收率之計算方式如下：



$$\text{金屬浸漬回收率} = \frac{\text{浸漬液中之金屬重量}}{\text{原始樣品中之金屬重量}} \times 100\% \quad (1)$$

三、研究成果與討論

(一) 電漿熔渣收集與成分分析

本研究收集之電漿熔渣係經核能研究所提供之電漿爐將廢 IC 板在 800°C 下熔融 10 分鐘後所得之殘渣，再經破碎後所得之電漿熔渣。此熔渣以比重法分析得知其比重約為 3.47 (如表 1 所示)，小於金、銀、銅、鐵等金屬理論之比重值，因此可判斷熔渣中尚含有樹脂灰份粉末，以致降低整體熔渣之比重值。

經本研究測得樣品之水份含量為 0.23%、灰份為 101.81%、可燃份 -2.05%，其實驗結果如表 1 所示。表 1 數據在可燃份部份顯示為負值，是由於樣品在先前電漿焙燒試驗時已去除大部分的可燃份，再經由 800°C 高溫灰化後，電漿熔渣中所含的金屬會與氧產生化學反應生成氧化金屬，以致高溫灰化後的電漿熔渣重量增加。

(二) 篩分與磁選之結果與討論

本研究利用篩分機將所收集之熔渣篩分成 5 個篩層(亦即 +20 目、20~50 目、50~100 目、100~200 目、-200 目)，此篩分實驗之結果列於表 2，由表 2 得知 +20 目為 21.10%，20~50 目為 37.50%，50~100 目為 12.76%、100~200 目為 9.56%，-200 目為 19.08%，由表 2 顯示其電漿熔渣粉末大小分佈以介於 20~50 目篩網為最多，佔所有粉末之 37.5%，其次為 +20 目篩網 21.1%。另本研究利用磁鐵將五個篩層之電漿熔渣中的感磁物與非感磁物分開，其相關數據如表 2 所示。由表 2 可看出感磁物多分配在 +20 目，其佔感磁物質之 43.07%，電漿熔渣經磁選後可得 6.62% 之含鐵物，可直接售予煉鋼廠資源再利用。

將篩分、磁選後不感磁之物質，進行消化步驟以得知有價金屬金、銀、銅含量，實驗結果如表 3 所示，由表 3 比較後可發現，各篩分後經磁選之金屬樣品以 100 目以上所測得之銅含量較高，且重量較為多，又因 100 目以下的顆粒較為細小適合進行浸漬實驗，因此選定此範圍之樣品進行浸漬溶蝕實驗，並選出其最佳浸漬液。根據表 3 不感磁物各篩層金、銀、銅之含量及表 3 不感磁物各篩層之重量，可計算出電漿熔渣不感磁物中含有金 0.0010%、銀 0.0392% 及銅 33.94%。

表 1. 電漿熔渣之水份、灰份、可燃份測定結果

比重	水份	灰份	可燃份
3.47	0.23(%)	101.81(%)	-2.05(%)

表 2. 電漿熔渣各篩層及感磁物之重量百分比

粒徑	磁選前	磁選後(wt%)	
	(wt%)	感磁	不感磁
+20 目	21.10	2.85	18.25
20~50 目	37.50	2.22	35.28
50~100 目	12.76	0.64	12.12
100~200 目	9.56	0.47	9.09
-200 目	19.08	0.44	18.64
總計	100.00	6.62	93.38

表 3. 不感磁電漿熔渣各篩層之 Au、Ag、Cu 含量

粒徑	含量 Au(wt%)	含量 Ag(wt%)	含量 Cu(wt%)
+20 目	— ¹	0.0408	40.40
20~50 目	0.0003	0.0411	36.12
50~100 目	0.0029	0.0428	33.85
100~200 目	0.0039	0.0361	27.06
200 目以下	0.0007	0.0331	26.78
平均	0.0010	0.0392	33.94

註：¹—為小於 ICP 偵測極限 (0.1ppm)

(三) 浸漬之結果與討論

有價金屬溶蝕浸漬回收率之計算如公式 (1) 所示，而影響其整體浸漬回收率之因素分別有浸漬劑種類、浸漬劑濃度、浸漬時間、浸漬溫度以及固液比...等，本研究利用以上述操作條件來探討廢 IC 板電漿熔渣中金、銀、銅等貴金屬之浸漬回收率，以下將對溶蝕浸漬成果進行討論：

1. 浸漬劑與浸漬溫度之選擇

(1) 硫酸浸漬：以 1N、6N、12N、18N 濃度之硫酸作為浸漬劑，於室溫 (27°C) 及高溫 (70°C) 下分別進行浸漬實驗，其各金屬之浸漬回收率如圖 1 所示。由浸漬結果可知，硫酸對於金及銀之回收效率均不佳，幾乎無法將其金屬浸漬於溶液中，而銅於 27°C 時提高浸漬劑濃度可使浸漬回收率提高，但於 70°C 時提高浸漬劑濃度則浸漬回收率並無明顯增加，其原因可能為浸漬回收率已趨近 100%，因此浸漬回收增加不明顯。且銅於 27°C 時使用 18N 時回收效率為 78.15%，另銅於 70°C 時硫酸浸漬濃度為 18N 時浸漬回收效率為 95.19%，因此將浸漬溫度升高，其浸漬回收率會上升。



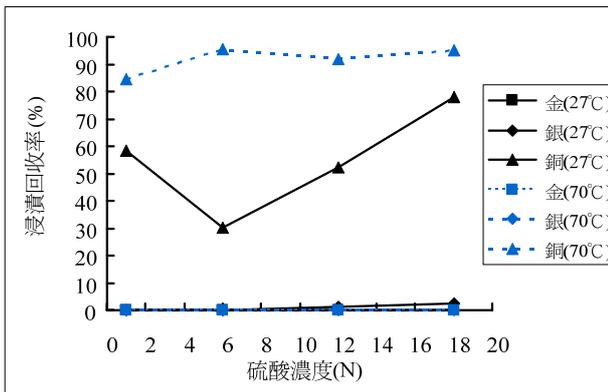


圖 1. 硫酸浸漬於室溫和 70°C 下各金屬之回收率

- (2) 鹽酸浸漬：以 1N、2N、4N、6N 濃度之鹽酸作為浸漬劑，於室溫（27°C）及高溫（70°C）下分別進行浸漬實驗，其各金屬之浸漬回收率如圖 2 所示。由浸漬結果可知，鹽酸對於金之回收效率不佳，完全無法將其金屬浸漬於溶液中，而於 27°C 時使用 4N 鹽酸浸漬可將 70.49% 之銀金屬浸漬回收，而銅於 1N 時浸漬回收效率已可達到 100% 完全回收，另於 70°C 時銀之浸漬回收率於鹽酸浸漬濃度 1N 時為最高，浸漬回收率為 73.08%，另銅於鹽酸浸漬濃度 2N 時回收效率可達到 100% 完全浸漬回收，由實驗結果可知，將浸漬溫度升高其浸漬回收率變化不大，其原因可能為浸漬回收率已趨近 100%，因此浸漬回收增加不明顯。
- (3) 氨水浸漬：根據文獻 [5, 9, 10]，故本研究取 11.4g 過硫酸銨（氧化劑）利用 1%、5%、10%、15% 之氨水分別定量至 50mL 作為浸漬劑，於室溫（27°C）及高

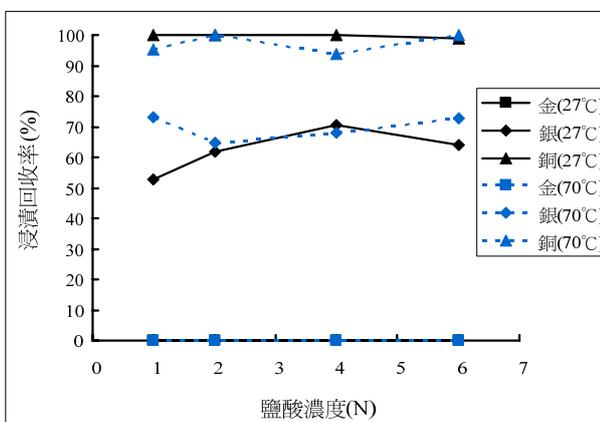


圖 2. 鹽酸浸漬於室溫和 70°C 下各金屬之回收率

溫（70°C）下分別進行浸漬實驗，其各金屬之浸漬回收率如圖 3 所示。由實驗結果可知，氨水對於金之回收效率不佳，完全無法將其金屬浸漬於溶液中，而於 27°C 時銀使用 15% 氨水浸漬時回收效率為最高，其浸漬回收效率為 10.49%，銅於 10% 氨水浸漬溶蝕後，其浸漬回收效率為最高，有 28.97% 之銅金屬可被浸漬溶蝕於溶液中，另於 70°C 時銀之浸漬回收率於氨水浸漬濃度 1% 時為最高，浸漬回收率為 19.96%，另銅之回收率於氨水浸漬濃度 5% 時最高，浸漬回收率為 86.20%。由上述數據顯示，將溫度升高後，銅之回收效率明顯增加，而銀在低濃度時浸漬回收率隨溫度升高而增加，但在高濃度時卻隨濃度升高而下降。

- (4) 硫脲浸漬：根據文獻 [9]，本研究使用 0.25g、1.5g、2.5g、5g 之硫脲各加入 0.65g 硫酸鐵（氧化劑）以 3.6N 硫酸定量至 50mL 作為浸漬劑，於室溫（27°C）及高溫（70°C）下分別進行浸漬實驗，其各金屬之浸漬回收率如圖 4 所示。由實驗結果可知，硫脲於 27°C 浸漬溶蝕下，金之浸漬回收率於硫脲 2.5g 時回收率可達 66.21% 之回收率，而銀之浸漬回收率於硫脲 1.5g 時為最高，可將 51.10% 之銀金屬浸漬溶蝕於溶液中，另銅之浸漬回收率於硫脲 5g 時為最高，可達到 100% 完全回收，另硫脲於 70°C 浸漬溶蝕，金之浸漬回收率於硫脲 5g 時回收率為最高，回收率為 21.97%，而銀之浸漬回收率於硫脲 5g 時為最高，可將 55.51% 之銀金屬浸漬溶蝕於溶液中，另銅之浸漬回收率皆可達到 100% 完全回收。由上述數據顯示，提高濃度可將

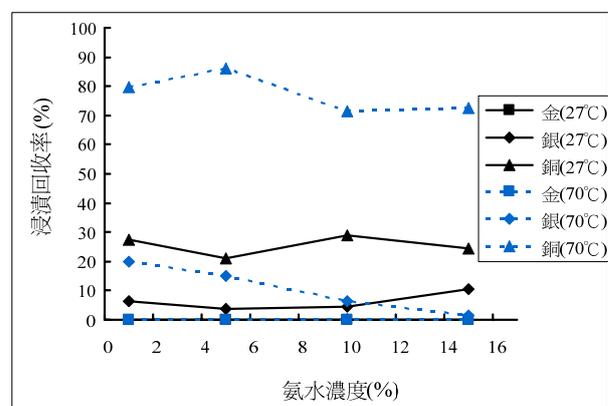


圖 3. 氨水浸漬於室溫和 70°C 下各金屬之回收率



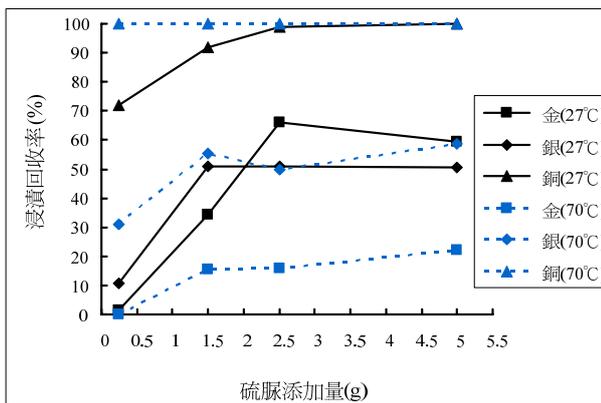


圖 4. 硫脲浸漬於室溫和 70°C 下各金屬之回收率

其浸漬效率提高，另將溫度從室溫(27°C)提高至 70°C 後，金之回收效率下降，其可能原因為溫度太高使硫脲產生分解作用，進而降低金之浸漬回收率。

綜合上述結果可知，於金之浸漬回收率方面，硫酸、鹽酸及氨水對於金之浸漬回收率皆為 0%，而於 27°C 時 2.5g 硫脲可將金 66.21% 浸漬溶蝕於溶液中；於銀之浸漬回收率方面，硫酸無法將其浸漬於溶液中，而其餘三種浸漬劑對銀之浸漬回收率以 1N 鹽酸在 70°C 時為最佳；於銅之浸漬回收率方面，四種浸漬劑皆可達良好之浸漬回收效果，而以鹽酸及硫脲為浸漬劑時可達 100% 完全浸漬回收，因此綜合上述分析結果，僅硫脲可將金、銀、銅之目的金屬同時溶出，故此後將選用硫脲為浸漬劑在室溫下進行後續之浸漬實驗。

2. 硫脲最佳浸漬條件之探討

本項研究將固定硫脲 2.5g，硫酸鐵為氧化劑，以硫酸定量至 50mL 作為浸漬劑，並以 150rpm 之轉速於室溫下進行浸漬實驗。並針對硫酸濃度、硫酸鐵添加量、浸漬時間、固液比（樣品克數/浸漬液體積 (mL)）等操作條件及操作因子的變化，分別探討其對金、銀、銅浸漬效率之影響。

- (1) 硫酸濃度：於室溫(27°C)下，使用 2.5g 之硫脲並加入 0.65g 硫酸鐵(氧化劑)分別以 0.9、3.6、5.4、7.2N 之硫酸定量作為浸漬劑，浸漬樣品 1g (即固液比為 0.02)，在室溫下分別浸漬 1 小時，硫脲在室溫下各金屬之浸漬回收率如圖 5 所示。由浸漬結果可知，金之浸漬回收率於硫酸濃度 7.2N 時回收率為最高，達到 85.11% 完全回收，而銀之浸漬回收率於不同硫酸濃度時回收率皆為 100% 可達完全回收，另外銅之浸漬回收率於硫酸濃度 7.2N 時浸漬回收率為最高，可達

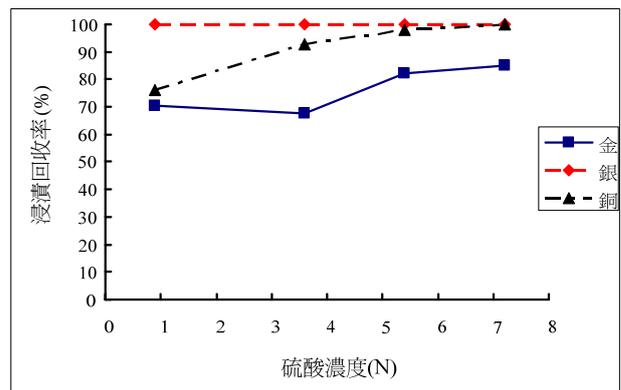


圖 5. 室溫下不同硫酸濃度各金屬之硫脲浸漬回收率

100% 完全回收。由此可知，不同的硫酸濃度對於銀的回收率無顯著影響，而金、銅之回收率，隨其硫酸濃度越高而上升，並以硫酸濃度 7.2N 時為最高，故選擇 7.2N 為最佳硫酸濃度。

- (2) 硫酸鐵(氧化劑)添加量：於室溫(27°C)下，使用 2.5g 硫脲並分別加入 0g、0.65g、1.3g、3.3g、9.9g、16.5g 硫酸鐵(氧化劑)，以 7.2N 硫酸定量作為浸漬劑，浸漬樣品 1g，浸漬時間 1 小時，各金屬之浸漬回收率如圖 6 所示。由浸漬結果可知，金之浸漬回收率於硫酸鐵 1.3g 及 3.3g 時回收率為最高，可達到 100% 完全回收，銀與銅之浸漬回收率在小於理論添加量 3.3g 時皆無明顯變化，由此可知添加硫酸鐵可增加溶金之速率與文獻 [7] 之敘述相符合，另外硫酸鐵添加量在大於理論添加量 3.3g 時，金、銀、銅之浸漬回收率皆明顯降低，因此可知硫酸鐵添加量為 3.3g 時最佳。

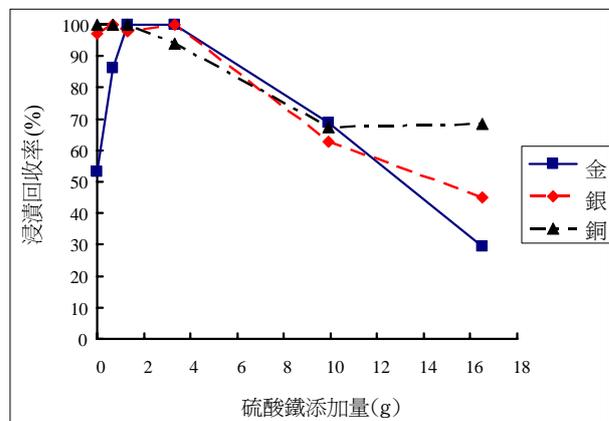


圖 6. 室溫下不同硫酸鐵添加量各金屬之硫脲浸漬回收率



(3) 浸漬時間：於室溫 (27°C) 下，使用 2.5g 硫脲並加入 3.3g 硫酸鐵，以 7.2N 硫酸定量作為浸漬劑，浸漬樣品 1g，浸漬時間分別為 1、2、3、4 小時，不同浸漬時間下各金屬之浸漬回收率如圖 7 所示。由實驗結果可知，金、銀、銅之浸漬回收率於浸漬時間 2 小時時已可達 100% 完全回收，而大於 2 小時之金、銀、銅回收率也皆達到 100%，但於 4 小時金之回收率略為下降，由實驗數據可知最佳浸漬時間為 2 小時。

(4) 固液比：於室溫 (27°C) 下，固定 2.5g 硫脲並加入 3.3g 硫酸鐵，以 7.2N 硫酸定量作為浸漬劑，浸漬時間 2 小時，浸漬樣品分別為 1g、1.5g、2g、2.5g、5g (即固液比分別為 0.02、0.03、0.04、0.05、0.1g/mL) 不同固液比下各金屬之浸漬回收率如圖 8 所示。由實驗結果可知，固液比為 0.02g/mL 及 0.03g/mL 時，金、銀、銅之浸漬回收率皆可達到 100%，而固液比大於 0.03g/mL 時，金、銀、銅之浸漬回收率開始下降，另因取樣品 1.5g (固液比 0.03g/mL) 較 1g (固液比 0.02g/mL) 具經濟效益，因此最佳浸漬固液比為 0.03g/mL。

綜合以上實驗結果可知，最佳硫脲浸漬條件為硫脲 2.5g、硫酸濃度 7.2N、硫酸鐵 (氧化劑) 添加量 3.3g、固液比 0.03g/mL (1.5g/50mL)、在室溫下浸漬 2 小時，可達金、銀、銅 100% 之浸漬回收率。

四、結論

本研究結果經由電漿熔渣篩分結果得知，熔渣粒徑主要分布在 20 至 50 目，其含量約為全部熔渣之 37.50 wt%，而

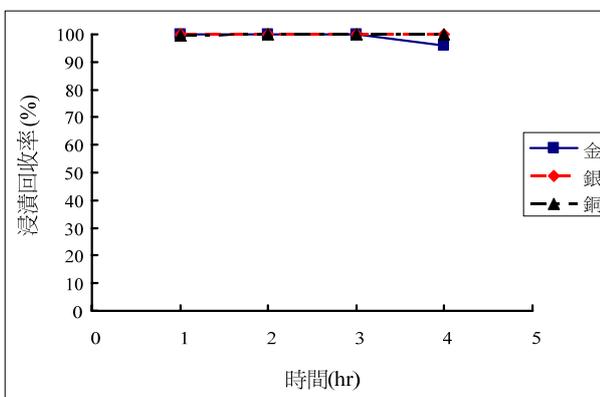


圖 7. 室溫下不同時間各金屬之硫脲浸漬回收率

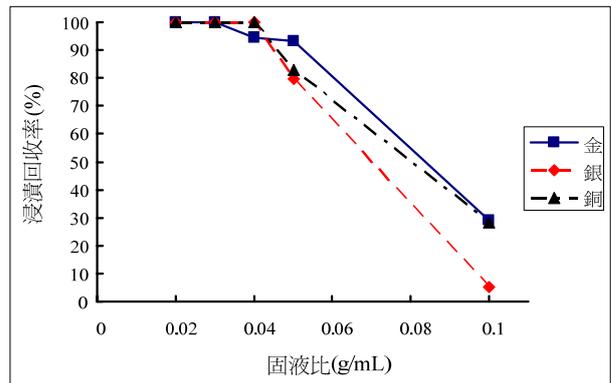


圖 8. 室溫下不同固液比各金屬之硫脲浸漬回收率

由磁選結果顯示，鐵金屬含量約佔全部熔渣之 6.62 wt%，不感磁部份其金含量約 0.0010 wt%、銀含量約 0.0392 wt%、而銅含量則為 33.94 wt%，其粒徑大於 100 目之物質因含銅量高，故可直接送至煉銅廠進行銅金屬回收，而粒徑小於 100 目之物質因尚含金、銀、銅，故可以浸漬方式回收。經由浸漬研究結果顯示，硫脲浸漬效果遠較於硫酸、鹽酸、氨水為佳，故本研究選用硫脲為最佳浸漬劑。本研究結果顯示最佳硫脲浸漬條件：硫脲 2.5g、硫酸鐵 (氧化劑) 3.3g 及硫酸濃度 7.2N 所配製之溶液，固液比 0.03g/mL (1.5g/50mL)，於室溫下浸漬 2 小時，可獲得金、銀、銅 100% 之浸漬回收率。

誌謝

本研究經費由核能研究所提供，特此誌謝。

參考文獻

1. 中華民國環境檢驗所 (民 91)，廢棄物含水量測定方法－間接測定法 (NIEA R203.01T)。民 96 年 2 月 2 日，取自：<http://www.niea.gov.tw/>
2. 中華民國環境檢驗所 (民 92)，土壤中重金屬檢測方法－王水消化法 (NIEA S321.63B)。民 96 年 2 月 6 日，取自 <http://www.niea.gov.tw/>
3. 中華民國環境檢驗所 (民 92)，污泥及沉積物中重金屬檢測方法－酸消化法 (NIEA R353.00C)。民 96 年 3 月 16 日，取自 <http://www.niea.gov.tw/>
4. 中華民國環境檢驗所 (民 93)，廢棄物灰份、可燃分測定方法 (NIEA R205.01C)。民 96 年 1 月 23 日，取自



<http://www.niea.gov.tw/>

5. 王英傑 (民 81)，廢 IC 板有價物之分離與回收研究 (II) — 硫脲浸漬法回收廢 IC 板中金銀之研究，國立成功大學資源工程研究所碩士論文。
6. 李清華、黃士翰、盛茂仁、連奕偉 (民 90)，廢日光燈資源再生處理技術評析，工業污染防治季刊，78，41-56。
7. 洪崇欽、陳柔閔 (民 90)，廢 IC 元件中貴金屬之分離與回收研究—硫脲浸漬法回收金銀之研究，大葉大學環境工程系專題報告。
8. 黃定加、曹簡禹 (民 76)，物理化學實驗學，正中書局，台北。
9. 湯麗雯 (民 90)，廢 IC 中貴金屬資源回收之研究，大葉大學環境工程研究所碩士論文。
10. Dunning, B. W., Jr., H. E. Hilliard and H. V. Markar (1983) Hydrometallurgical treatment of electronic scrap concentrates containing precious metal. U.S. Bureau of Mines Report of Investigation.

收件：96.05.31 修正：96.12.25 接受：97.03.18

