

當藝術遇見化學：用化學蝕刻製作銅板作品

廖旭茂

臺中市立大甲高級中學
教育部高中化學學科中心
[*nacl880626@hotmail.com](mailto:nacl880626@hotmail.com)

■ 簡介

先前筆者在本期刊《臺灣化學教育》第二十期發表〈大型印台和銅板電化學蝕刻製作〉，利用電解蝕刻 (electrolytic etching)，使金屬表面出現具有凹凸對比的立體圖案。在楊水平教授的邀請下，在本期「當藝術遇見化學」專題撰寫相關文章，筆者嘗試利用其他化學方法進行蝕刻教學，並設計為化學與藝術結合的特色選修課程教學活動。

進行化學蝕刻可分為兩方面：第一方面是圖案的繪製與設計；第二方面是化學蝕刻。前者學生可以在瀝青或軟蠟等疏水性材料的覆蓋下，自行用金屬雕刻筆刀在銅板上刮除並繪製圖案，筆者在就讀國中時的工藝科的金工課程即是如此。若學生具有美術背景者，藝術效果會較好，製作的圖案具有美感。

學生也可以利用現成繪製設計好的圖案或模板，網路上有很多共享的設計圖提供給一般大眾使用¹。關於金屬片貼上圖案的方法有數種，其一是卡典西得貼紙法，主要是，利用割字機，透過電腦設計圖，在卡點西得貼紙上割出圖案，再用鑷子尖端挑去部分貼紙後，再轉貼到金屬板上，相關做法筆者在本刊物已介紹過²。其二是利用雷射印表機，列

印圖案到投影片或離型紙上，用電熨斗或覆背機高溫，使轉印圖案製作在銅板上³，再進行化學蝕刻。轉印過程通常會有少許黑色顏料剝離的現象，可以油性奇異筆填補瑕疵。其三是最常用的印刷電路板 (printed circuit board, PCB) 常用的光阻劑曝光法⁴，圖案就是先在金屬片上均勻塗佈一層光阻劑 (現已有乾膜光阻可用)，透用列表機輸出透明片底圖，緊貼放置在金屬片上，再透過紫外光或強日光曝光，讓光阻劑產生光聚合反應，接著用碳酸鈉顯影後，隨即生成正、負片影像。圖 1 是光阻劑曝光形成影像示意圖。

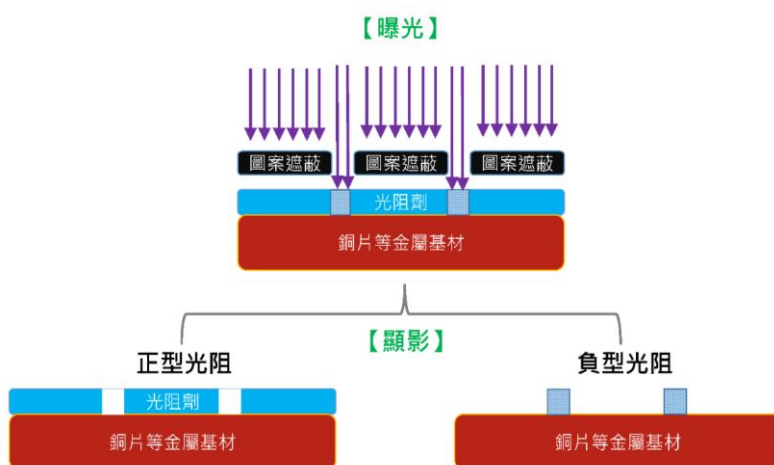


圖 1：PCB 微影蝕刻示意圖

化學蝕刻方面可分為三種方法：強酸腐蝕法、氯化鐵腐蝕法、雙氧水加 EDTA 腐蝕

法。綜合來說，硝酸腐蝕銅板會產生有毒的二氧化氮氣體，必須在排煙櫃中進行，不環保也不很方便，基本上不建議使用，本文不介紹利用硝酸腐蝕銅板來製作銅板蝕刻，僅介紹後兩種；氯化鐵腐蝕的效果最好，不過產生的銅鐵混合廢液不好處理；最後的雙氧水蝕刻，蝕刻速率較慢，不容易在兩節課中完成，好處是反應不產生有毒廢氣，銅離子可以用電解法回收，算是三種化學方法中較符合綠色規範的。

本次實驗利用美術材料行販售的彩繪用塑膠模板，直接貼於銅板上後，以膠帶固定；模板鏤空的部分，隨即被氧化侵蝕凹陷，模板被遮蓋的部分，則維持不反應。兩種化學蝕刻結束後，直接將膠帶撕起，用過的塑膠模板可以重複再使用。用清水沖洗銅板後，完成蝕刻活動。圖 2 為兩種化學蝕刻比較圖。



圖 2：兩種化學蝕刻反應過程，圖左蝕刻液為氯化鐵，圖右蝕刻液為雙氧水加 EDTA-4Na

■ 藥品與材料

本實驗所需藥品和材料：銅片（厚 0.5 mm，可依需求裁切出所需尺寸）、彩繪用彈性模板（flex stencils）、透明膠帶、塑膠淺盤、金屬亮光膏、擦拭棉紙、雙氧水（30% H_2O_2 ）20 mL、0.5 M 乙二胺四醋酸四鈉（EDTA-4Na）20 mL、1 M 氯化鐵（ FeCl_3 ）40 mL。

■ 實驗步驟

1. 取一購自美術材料行的彈性模板，常用於紙張、陶、木製品的裝飾上色，具有一定的黏性，可穩定黏著於光滑的金屬片上，實驗畢以清水沖洗後晾乾，可再拉起重複使用。同學使用時可依喜好、選取相關圖案。圖 3：為市售的彈性模板。



圖 3：可撕式並重複使用的彈性模板

2. 裁剪一塊大小接近的銅片，用藥用酒精擦拭表面油漬，乾燥後備用。取彈性模板貼在銅片上，接著以透明膠帶黏貼四周與背面。圖 4 為蝕刻準備圖。



圖 4：金屬前、後面圖案外的空白處皆以透明膠帶黏貼密封

3. 取一個塑膠淺底盤，置入銅片後，再倒入 1 M 的氯化鐵溶液約 40 毫升，溶液量洽蓋過銅片即可，蝕刻過程中銅片會被氧化成難溶於水的氯化亞銅，可事先準備毛刷，輕輕刷除鏤空面的紅棕色沉澱，仔細觀察溶液的變化，蝕刻 30 分鐘後取出，並以清水沖洗乾淨。圖 5 氯化鐵蝕刻的過程。

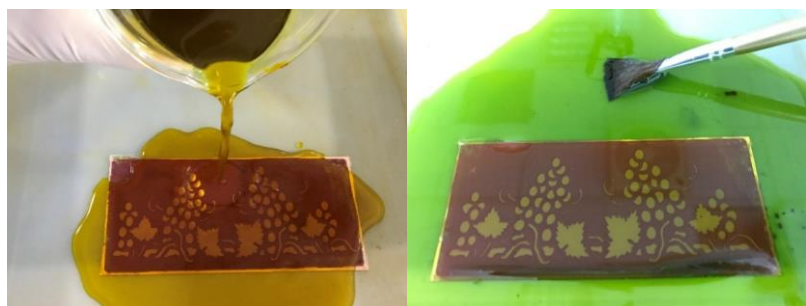


圖 5：倒入黃褐色的氯化鐵溶液（左），蝕刻 10 分鐘後溶液漸漸變成綠色（右）

4. 承上步驟，取一塊銅片和彈性模板，以膠帶黏貼穩妥後，用 20 mL 的 30% 雙

氧水和 20 mL 的 0.5 M 的 EDTA-4Na 混合溶液取代氯化鐵溶液，仔細觀察銅片鏤空處和溶液的顏色變化。推測產生的泡泡為何種氣體？在進行蝕刻 30 分鐘後，取出銅片，以清水沖洗，並撕開膠帶和模板，模板清洗後陰乾，可供下次使用，圖 6 為雙氧水進行銅板蝕刻。

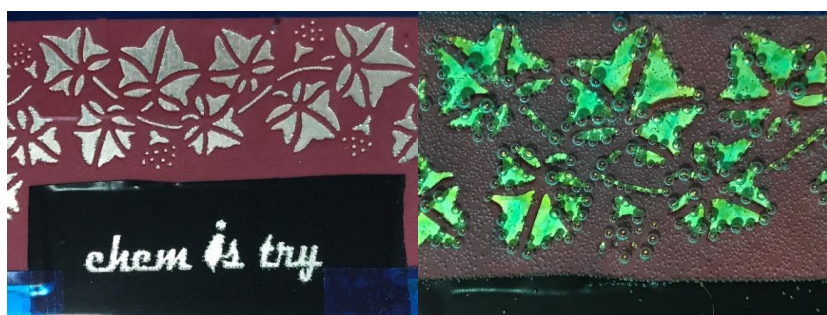


圖 6：剛開始銅板表面產生氣泡（左），一段時間後溶液變成綠色（右）

5. 在步驟 3 和 4 的蝕刻的成品陰乾後，以金屬拋光劑來回擦拭直到光亮為止，最後噴上透明保護漆，做防鏽處理。圖 7 為成品加工處理。



圖 7：成品後續加工處理

6. 完成的作品如圖 8 所示。

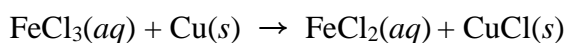


圖 8：蝕刻作品：使用氯化鐵溶液（左）和雙氧水加 EDTA-4Na 混合溶液（右）

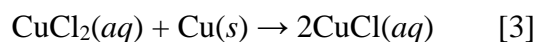
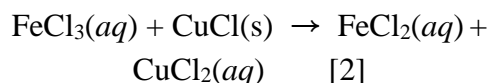
■ 原理與概念

本實驗利用兩種方法，進行化學蝕刻。第一種方法是氯化鐵的蝕刻、第二種方法是雙氧水加入 EDTA-4Na 的蝕刻，其原理和概念分述如下。

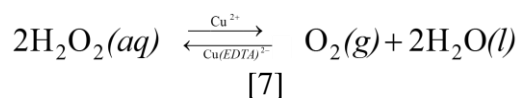
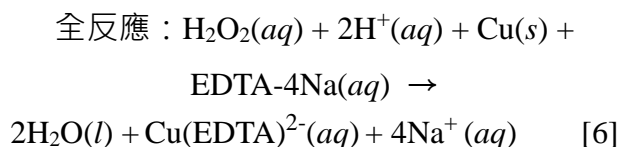
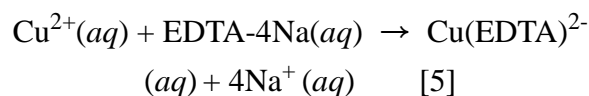
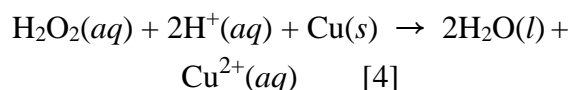
氯化鐵是中度的氧化劑，多用於銅、鎳金屬的表面處理，尤其是电路板的蝕刻，具有反應溫和，不產生氣泡的優點。若使用其他方法而快速生成的氣泡，則會影響圖案邊緣，滲入保護中的金屬層，進而降低畫面線條的解析度。三價鐵還原成二價鐵的還原電位為+0.77 V，而銅的氧化電位為-0.34 V，由全反應的電位來看，兩者電位差為+0.43 V，大於零。三價的氯化鐵溶液，可以氧化金屬銅，或活性大於鐵的金屬。氯化鐵蝕刻法可能涉及三個反應，如式[1]、[2]和[3]所示^{5,6}：



[1]



雙氧水加入 EDTA-4Na 的混合液與銅的反應，產生氣泡的速度不快，蝕刻速度亦較慢，產物 EDTA 與銅的錯合物毒性較小，也較單純，可依電解法回收銅離子。雙氧水屬於強氧化劑，還原成水的還原電位高達 1.77 V，幾乎可氧化所有金屬（金離子的還原電位為 1.53 V）。雙氧化先氧化銅金屬成為銅離子，而本身還原成水；產物銅離子可催化雙氧水的分解，因此藉由加入 EDTA-4Na，與銅離子形成錯合物，根據勒沙特列原理，反應往產生銅離子的方向進行。使用雙氧水加入 EDTA-4Na 的方法，進行的反應可能如式[4]、[5]所示，全反應如式[6]所示。此外，原本生成的銅離子會促進雙氧水的分解速率，但是生成的 EDTA 與銅離子形成錯合物卻能夠抑制雙氧水的分解速率，其反應如式[7]所示。



■ 安全注意及廢棄物處理

- 本實驗使用完畢的廢液，因含有重金屬，請依實驗室廢棄物規定，統一回收處理。
- 若為家庭實驗，含鐵離子與銅離子的酸性腐蝕液，可使用洗滌鹼（碳酸鈉）中和，產生氫氧化銅或氫氧化亞鐵難溶於水的沉澱物。接著用咖啡濾紙過濾、乾燥後丟棄。而濾液可以到入水槽。

■ 參考資料

1. Discover & Download Free Vector Art!
<https://www.vecteezy.com/>.
2. 廖旭茂 (2017)。大型印台和銅板電化學蝕刻製作。臺灣化學教育，第二十期，
<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=24182>。
3. Suen, R. (2009)。碳粉熱轉印法 (Toner Transfer) 製作 PCB 製作方法介紹及能力測試，
<http://www.qsl.net/bv3fg/tech/TTPCB.htm>。
4. Photoresist,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Photoresist>.
5. Iron(III) chloride,
[https://en.wikipedia.org/wiki/Iron\(III\)_chloride](https://en.wikipedia.org/wiki/Iron(III)_chloride).
6. Copper Reactivity: Etching,
<http://www.schoolscience.co.uk/documentdownload.axd?documentresourceid=245>.