

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學科(二)

052406

「銅」「鋅」協力—指向型電鍍的研究

學校名稱： 國立新竹高級中學

作者： 高二 黃瀚玄 高二 丁用和	指導老師： 劉淑如
---------------------------------	------------------

關鍵詞： 自製監控裝置、指向型電鍍、硫酸鋅

摘要

本研究旨在開發一種指向型電鍍技術，通過自製電鍍實驗裝置，並使用 OpenCV 和 Python 製作自動監控裝置進行電鍍時的影像處理，分析鍍層的顏色變化，從而準確測量鋅鍍層的厚度與擴散程度，提升電鍍精確度並減少資源浪費。研究中探索了不同電壓、濃度、電極來回移動頻率與鋅離子擴散抑制劑對鍍鋅時鋅擴散程度的影響。結果顯示，較低的電壓、濃度、電極移動頻率與加入擴散抑制劑能有效控制鍍層擴散，實現更集中的電鍍效果。

壹、前言

一、研究動機

在現代工業中，電鍍技術廣泛應用於提高金屬表面的耐腐蝕性、導電性以及美觀。然而，傳統的電鍍過程通常需要在不想被鍍到的區域塗上絕緣漆，以防止金屬沉積在這些位置。這一過程不僅耗時，還會產生額外的資源浪費，並且在完成電鍍後，需要進行絕緣漆的去除，這又涉及到化學藥劑和其他清理材料的使用，增加了成本和環境負擔。如果可以控制電鍍的成形位置，就能降低絕緣漆的浪費，降低生產成本，同時提升製程效率，減少人力與材料消耗，使整體工藝更加精確且環保。

二、研究目的

- (一) 自製電鍍研究裝置。
- (二) 探討不同電壓對鍍鋅層的擴散程度影響。
- (三) 探討不同濃度對鍍鋅層的擴散程度影響。
- (四) 探討電極移動頻率對鍍鋅層的擴散程度影響。
- (五) 鋅離子擴散抑制劑的探究。

貳、研究設備及器材


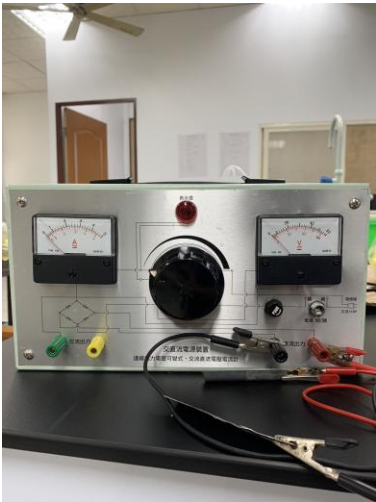

一、實驗藥品

表(一) 實驗藥品列表(作者自行整理)





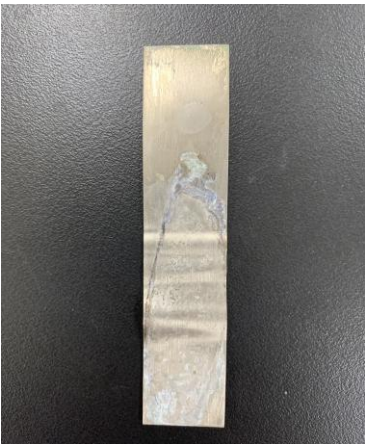


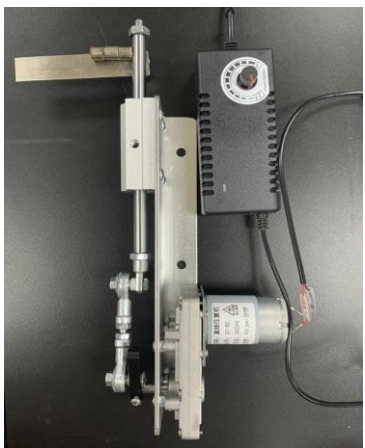

藥品名稱	化學式
硫酸鋅	ZnSO_4
硼酸	H_3BO_3
丙酮	CH_3COCH_3
鹽酸	HCl
十六烷基三甲基溴化銨	$\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{N}(\text{CH}_3)_3\text{Br}$

二、器材

表(二) 設備與器材列表(作者自行拍攝)

		
三用電表	直流電源供應器	電子秤

表(三)設備與器材列表(作者自行拍攝)

		
<p>銲槍</p>	<p>熱熔膠</p>	<p>電磁加熱攪拌器</p>
		
<p>碳棒</p>	<p>鋅片</p>	<p>銅片</p>
		
<p>相機鏡頭</p>	<p>往復機構</p>	<p>燈條</p>

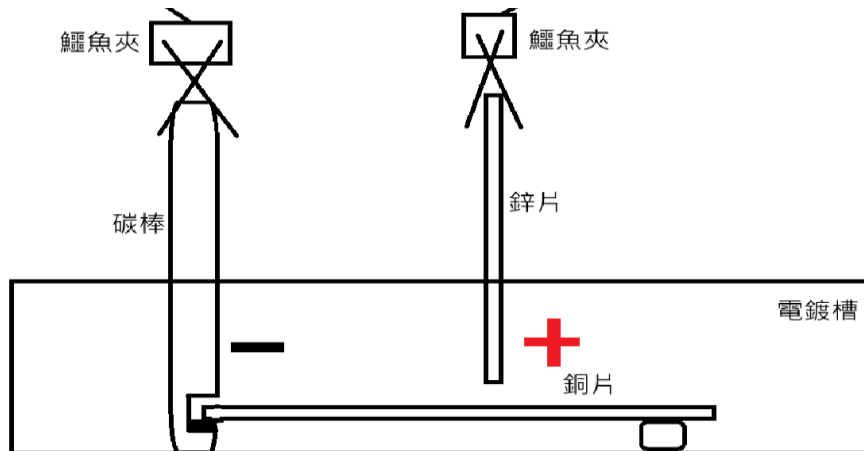
參、研究過程與方法

一、初期研究方法與不足處

本實驗初期是在固定時間內不同變因下，觀察鋅在銅片上的擴散程度。

(一)初期自製電鍍研究裝置

1.裝置設計圖如(圖一)



(圖一)自製實驗裝置設計圖(作者自行繪製)

2.實際成品



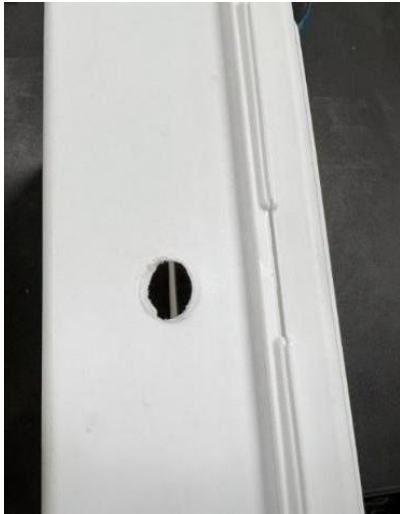
(圖二)實際成品(放上鋅片前)
(作者自行拍攝)



(圖三)實際成品(放上鋅片後)
(作者自行拍攝)

3.自製拍照箱

(1)拍照孔僅供鏡頭通過，阻擋外界光



(圖四)自製拍照箱(作者自行拍攝)

(2)拍照箱內鋪黑色紙板，形成對比



(圖五)拍照箱內部(作者自行拍攝)

4.研究方法

(1)將銅片放入電鍍槽電鍍兩分鐘。

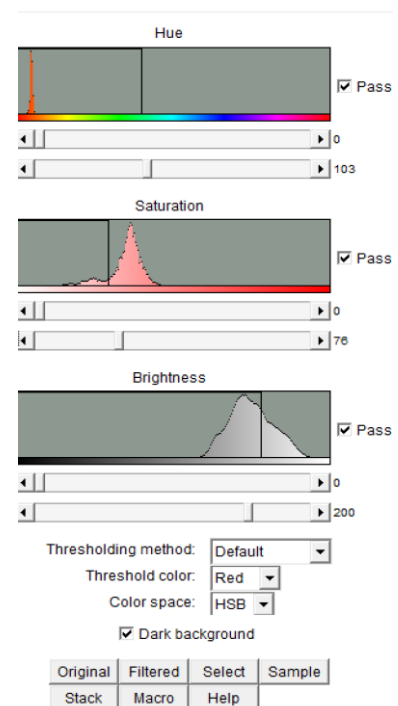
(2)取出銅片後放入自製拍照箱拍照。

(3)利用軟體 imageJ 中顏色閾值(color threshold)(圖七)

這項工具進行分析，結果如(圖六)。



(圖六)紅色區域為鍍鋅(作者自行拍攝)



(圖七)顏色閾值工具
(ImageJ 截圖)

5.此研究方法的不足處

(1)如果只討論鋅在固定時間內的擴散範圍，鋅鍍層的顏色有深淺差異，很難找出邊界，且不符合鋅鍍層需平均分布的想法。

(2)軟體 imageJ 無法準確定義出鋅的灰色。

6.為改良此實驗的不足，我們決定重新改造我們的研究方法與裝置設計，如以下敘述。

二、研究原理

(一)指向型電鍍定義:

電鍍時，透過控制實驗變因，讓金屬只鍍在另一金屬的部分位置，如(圖八)。



(圖八)指向型電鍍範例(作者自行繪製)

(二)如何判斷指向型電鍍成不成功？

在指定區域鍍到一定厚度時，指定區域外的金屬比例越低就越成功。



(圖九)擴散出的面積少，較成功
(作者自行繪製)



(圖十)擴散出的面積多，較不成功
(作者自行繪製)

(三)電鍍原理

銅片上鍍鋅的過程中，銅作為陰極，鋅作為陽極。通直流電時，鋅在陽極氧化，產生的鋅離子進入電解液中。同時，陰極上的電子會吸引鋅離子，這些鋅離子在陰極表面接受電子進行還原反應，變成固體鋅析出，形成鋅鍍層。

(四)往復機構的運用

為了讓鍍鋅層更為平整，我們將鋅片接在往復機構上，讓其在指定區域上固定頻率進行來回運動，讓鋅片在銅片指定區域內的每個位置正上方的時間都相同。

(五) 使用 python 作為監控實驗的裝置

1.”指定厚度”如何測量

由於是將鋅鍍在銅上，鋅的厚度會反映在顏色上，鋅的厚度越厚、灰色越深，在相機角度固定，照明光源也固定的情況時，厚度可以用顏色深淺來測量。

2.請 AI 統整出灰色的範圍

先讓鋅以 0.0375M 的硫酸鋅，3.5v，電極移動頻率五次/分鐘的情況鍍 2 分鐘，此時鋅的厚度定義為"指定厚度"，並將此時的照片存下，之後從照片中選取數十個像素點請電腦分析出顏色的明度、色相、飽和度 RGB 等，並用 AI 將得到的資料統整出一個灰色的範圍如(圖十一)。

更新後的灰色區間：

- HEX 範圍：#405364 – #728693
- RGB 範圍：(64,83,100) – (114,134,147)
- CMYK 範圍：(36,17,0,61) – (21,12,0,49)
- 明度 (Brightness / Luminance)：25% – 58%
- 色相 (Hue)：200° – 212°
- 飽和度 (Saturation)：10% – 29%

(圖十一)AI 統整出的顏色範圍(ChatGPT 的螢幕截圖)

3.向 AI 提出功能要求並得到所需的程式碼，以下為我們的程式碼。

```
import cv2
import numpy as np
import time

# 初始化全局變數
selected_area_1 = None
selected_area_2 = None
saved_frame = None
consecutive_high_gray_count = 0

# 矩形尺寸
RECT_WIDTH = 100 # 矩形寬度
RECT_HEIGHT = 100 # 矩形高度
can_select_second_area = False

# 緩衝值
HUE_BUFFER = 5
SAT_BUFFER = 10
VAL_BUFFER = 10
RGB_BUFFER = 10

# 記錄的矩形面積
area_1 = 0
area_2 = 0

# 滑鼠回調函數
def select_area(event, x, y, flags, param):
    global selected_area_1, selected_area_2, can_select_second_area

    if event == cv2.EVENT_LBUTTONDOWN:
        x1 = max(0, x - RECT_WIDTH // 2)
        y1 = max(0, y - RECT_HEIGHT // 2)
        x2 = x1 + RECT_WIDTH
        y2 = y1 + RECT_HEIGHT
        new_rectangle = ((x1, y1), (x2, y2))

        if can_select_second_area:
            selected_area_2 = new_rectangle
            global area_2
            area_2 = RECT_WIDTH * RECT_HEIGHT
            print(f"矩形 2 面積: {area_2} 像素")
```

計算灰色比例

```
def calculate_gray_ratio(image, area):
    (x1, y1), (x2, y2) = area
    region = image[y1:y2, x1:x2]
    hsv = cv2.cvtColor(region, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    rgb = cv2.cvtColor(region, cv2.COLOR_BGR2RGB)

    hue = hsv[:, :, 0]
    saturation = hsv[:, :, 1]
    value = hsv[:, :, 2]

    hue_mask = (hue >= (100 - HUE_BUFFER)) & (hue <= (106 + HUE_BUFFER))
    sat_mask = (saturation >= (25 - SAT_BUFFER)) & (saturation <= (74 + SAT_BUFFER))
    val_mask = (value >= (84 - VAL_BUFFER)) & (value <= (148 + VAL_BUFFER))

    r, g, b = rgb[:, :, 0], rgb[:, :, 1], rgb[:, :, 2]
    rgb_mask = (r >= (84 - RGB_BUFFER)) & (r <= (114 + RGB_BUFFER)) & \
        (g >= (100 - RGB_BUFFER)) & (g <= (134 + RGB_BUFFER)) & \
        (b >= (115 - RGB_BUFFER)) & (b <= (147 + RGB_BUFFER))

    gray_pixels = (hue_mask & sat_mask & val_mask) | rgb_mask
    total_pixels = region.shape[0] * region.shape[1]
    gray_ratio = np.sum(gray_pixels) / total_pixels if total_pixels > 0 else 0

    return gray_ratio
```

監控攝像頭

```
def monitor_camera(frequency, camera_index):
    global selected_area_1, selected_area_2, saved_frame, consecutive_high_gray_count, can_select_second_area

    cap = cv2.VideoCapture(camera_index)
    if not cap.isOpened():
        print("無法開啟攝像頭!")
        return

    while True:
        ret, frame = cap.read()
        if not ret:
            print("無法讀取影像!")
            break
```

```

# 主函數
if __name__ == "__main__":
    frequency = float(input("請輸入拍照頻率 (秒): "))
    camera_index = int(input("請輸入攝像頭索引 (默認 0): ") or 0)
    cap = cv2.VideoCapture(camera_index)
    if not cap.isOpened():
        print("無法開啟攝像頭!")
        exit()

    cv2.namedWindow("Camera")
    cv2.setMouseCallback("Camera", select_area)

    while True:
        ret, frame = cap.read()
        if not ret:
            print("無法讀取影像!")
            break

        clone = frame.copy()
        if selected_area_1:
            cv2.rectangle(clone, selected_area_1[0], selected_area_1[1], (0, 255, 0), 2)
        if selected_area_2:
            cv2.rectangle(clone, selected_area_2[0], selected_area_2[1], (0, 0, 255), 2)

        cv2.imshow("Camera", clone)
        key = cv2.waitKey(1) & 0xFF
        if key == ord("q"):
            break

    monitor_camera(frequency, camera_index)
    cap.release()
    cv2.destroyAllWindows()

```

(六)定義什麼是「擴散程度」

指定區域的灰色比例連續達到 90%以上兩次時，會將照片存下來，並分析照片中總共有多少像素是灰色，指定區域內像素又多少，並將兩者相除，得到「擴散程度」。



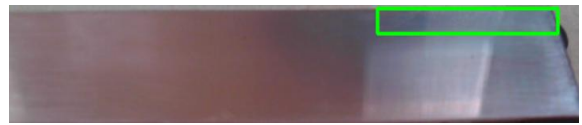
(圖十二)擴散程度約為 3(作者自行繪製)



(圖十三)擴散程度為 1(作者自行繪製)



(圖十四) 擴散程度大(實際圖片)
(作者自行拍攝)



(圖十五)擴散程度小(實際圖片)
(作者自行拍攝)

以(圖十二)為例，請程式分析深灰色部分(指定區域)的像素數量，也分析淺灰色部分(非指定區域，但有鋅析出)的像素數量，將所有的像素數量當作分子，指定區域內的像素數量當分母，得到的比值，就是我們定義的「擴散程度」，如果越接近 1，代表實驗越成功。(圖十三)為比值為 1 的情況，代表完全在指定範圍內電鍍，沒有鋅跑到指定範圍外。

(七)OpenCV 的使用與原理

在這個裝置中，我們大量使用了一個名叫 OpenCV 的影像判讀軟體，主要使用的功能包括顏色空間轉換（RGB → HSV）、影像閾值篩選（Thresholding）、數學運算（NumPy 計算灰色比例）這三個部分。

1.顏色空間轉換（RGB → HSV）的功能

在 OpenCV 中，讀取的影像預設是 RGB（紅、綠、藍）格式，但是，直接使用 RGB 來判斷灰色可能會有誤差，而 HSV 則是判定色相和飽和度等，對於判讀低色彩飽和度的灰色更有效。

2.影像閾值篩選（Thresholding）

影像閾值篩選就像一個篩子，可以利用設定好的條件來判斷是否為設定中的顏色，灰色的設定包括：

色相（H, Hue）接近無彩色的範圍

飽和度（S, Saturation）低，表示沒有太多顏色

亮度（V, Value）適中，不能太暗或太亮

三、電鍍前銅片處理方式

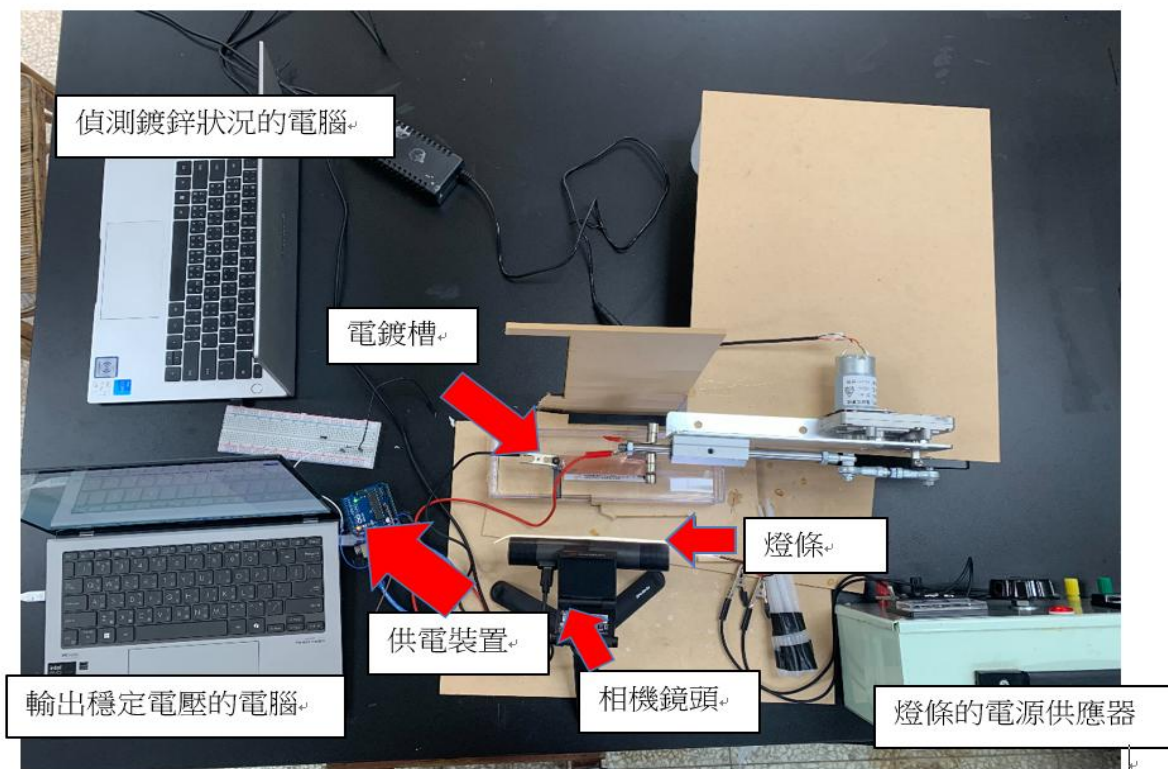
- (一)銅片泡 15%的鹽酸(HCl)中酸洗 30 秒，用蒸餾水將銅片洗淨，之後用面紙將銅片擦乾。
- (二)用 1500 號的砂紙將酸洗完的銅片磨至平滑，用蒸餾水將銅片上的銅粉洗乾淨並用面紙擦乾。
- (三)將銅片泡入裝有洗碗精 10ml+水 100ml 的大燒杯中 30 秒，再用蒸餾水將銅片沖洗乾淨。
- (四)用面紙將銅片上的蒸餾水吸掉大部分，之後用丙酮潤洗銅片，並將丙酮吹乾，就能夠放入電鍍槽電鍍。

四、電鍍後的銅片復原

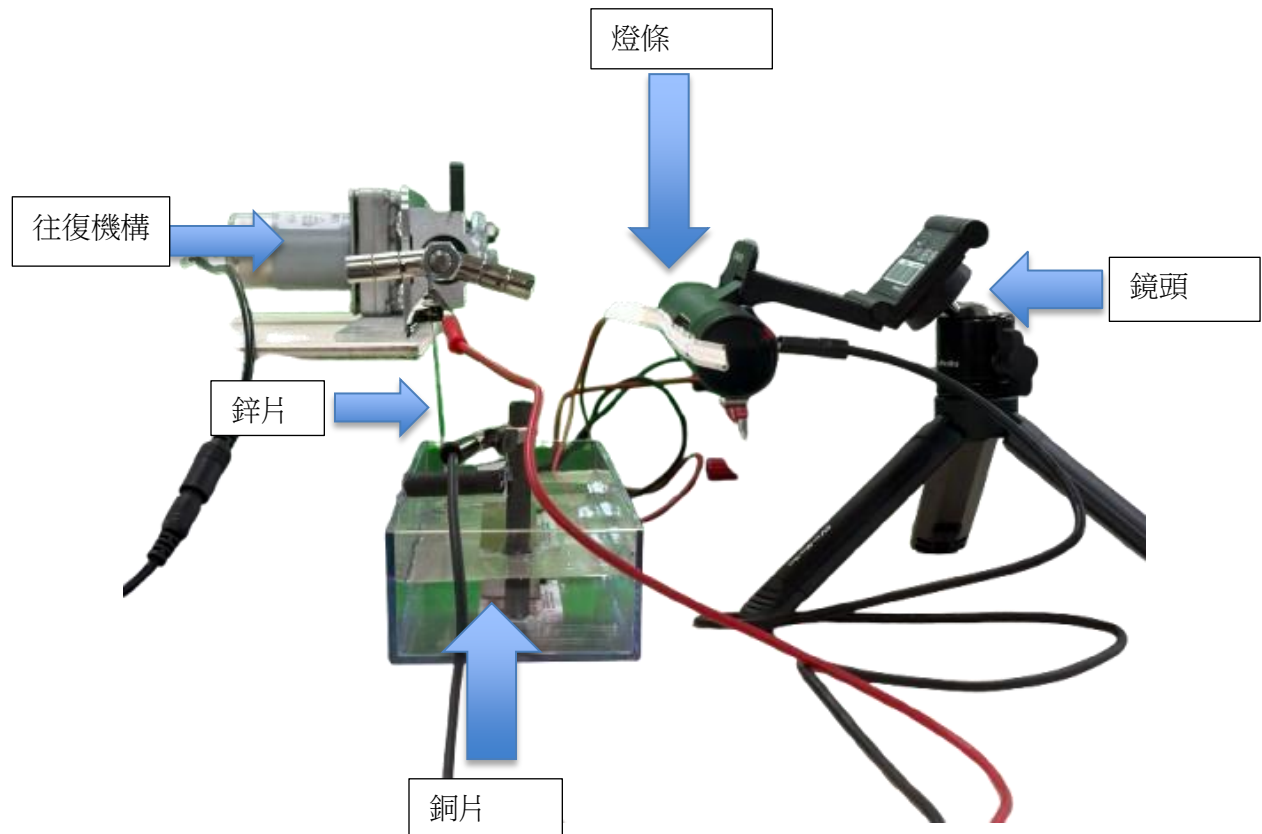
- (一)將實驗完成後的銅片放入裝有 0.1M 硫酸鋅的電解槽中，銅片接上直流電源供應器的正極，鋅片接上負極。
- (二)開啟電源，電壓維持在 2~4 伏特間，將銅片進行反鍍，直到銅片上看不到殘留的鋅。
- (三)將反鍍完的銅片用 15%鹽酸(HCl)酸洗後再用蒸餾水洗淨，擦乾銅片上的水分，放置於乾燥處保存。

五、研究過程與方法

(一)自製電鍍研究裝置(作者自行拍攝)



(圖十六)實驗時裝置擺放全圖(作者自行拍攝)



(圖十七)監控電鍍槽裝置細部圖(作者自行拍攝)

(二)不同電壓對鍍鋅層的擴散程度影響

- 1.配置 0.0375M 的硫酸鋅及 0.35M 的硼酸混合液當電解液。
- 2.將 400mL 的電解液倒入自製的電解槽中，並且將處理過的銅片放入碳棒的凹槽中，並用三用電表確認是否形成通路。
- 3.開啟往復機構電源(五次/分鐘)，將鋅片往復振幅達最大處對齊銅片末端與上端。
- 4.調整拍攝鏡頭至能夠完整拍攝到銅片與鋅片往復過程之位置。
- 5.在 OpenCV 中開啟鏡頭，在鏡頭視窗中畫上固定大小的長方形貼齊銅片末端與上端。
- 6.執行 OpenCV 中的監控程式，並將監控頻率設為兩秒。
- 7.在電腦中輸入 4.5V 的電壓，當 OpenCV 偵測長方形中定義的灰色面積達到 90%連續兩次時，將鏡頭視窗的銅片截圖。
- 8.將截圖放入 OpenCV 分析擴散程度。
- 9.取出鍍好的銅片進行反鍍工作。
10. 將步驟 7 電壓改為 4.25V、4V、3.75V、3.5V、3.25V、3V、2.75V、2.5V，並重複步驟 1~9。

(三)不同濃度的硫酸鋅溶液對鍍鋅層的擴散程度影響

- 1.配置 0.0375M 的硫酸鋅及 0.35M 的硼酸混合液當電解液。
2. 將 400mL 的電解液倒入自製的電解槽中，並且將處理過的銅片放入碳棒的凹槽中，並用三用電表確認是否形成通路。
- 3.開啟往復機構電源(五次/分鐘)，將鋅片往復振幅達最大處對齊銅片末端與上端。
- 4.調整拍攝鏡頭至能夠完整拍攝到銅片與鋅片往復過程之位置。
- 5.在 OpenCV 中開啟鏡頭，在鏡頭視窗中畫上固定大小的長方形貼齊銅片末端與上端。
- 6.執行 OpenCV 中的監控程式，並將監控頻率設為兩秒。
- 7.在電腦中輸入 3V 的電壓，當 OpenCV 偵測長方形中定義的灰色面積達到 90%連續兩次時，將鏡頭視窗的銅片截圖。
- 8.將截圖放入 OpenCV 分析擴散程度。
- 9.取出鍍好的銅片進行反鍍工作。
10. 將步驟 1 硫酸鋅濃度改為 0.025M、0.05M、0.0625M、0.075M，並重複步驟 1~9。

(四)不同電極移動頻率對鍍鋅層的擴散程度影響

- 1.配置 0.0375M 的硫酸鋅及 0.35M 的硼酸混合液當電解液。
2. 將 400mL 的電解液倒入自製的電解槽中，並且將處理過的銅片放入碳棒的凹槽中，並用三用電表確認是否形成通路。
- 3.開啟往復機構電源(五次/分鐘)，將鋅片往復振幅達最大處對齊銅片末端與上端。
- 4.調整拍攝鏡頭至能夠完整拍攝到銅片與鋅片往復過程之位置。
- 5.在 OpenCV 中開啟鏡頭，在鏡頭視窗中畫上固定大小的長方形貼齊銅片末端與上端。
- 6.執行 OpenCV 中的監控程式，並將監控頻率設為兩秒。
- 7.在電腦中輸入 3V 的電壓，當 OpenCV 偵測長方形中定義的灰色面積達 90%連續兩次時，將鏡頭視窗的銅片截圖。
- 8.將截圖放入 OpenCV 分析擴散程度。
- 9.取出鍍好的銅片進行反鍍工作。
- 10.將步驟 3 往復頻率改為 10、15、20、25、30 次/分鐘並重複步驟 1~9。

(五) 鋅離子擴散抑制劑的濃度對鍍鋅層的擴散程度影響

1. 配置 0.0375M 的硫酸鋅、0.35M 的硼酸及 0.01mM 的 $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3Br$ 混合液當電解液。
2. 將 400mL 的電解液倒入自製的電解槽中，並且將處理過的銅片放入碳棒的凹槽中，並用三用電表確認是否形成通路。
3. 開啟往復機構電源(五次/分鐘)，將鋅片往復振幅達最大處對齊銅片末端與上端。
4. 調整拍攝鏡頭至能夠完整拍攝到銅片與鋅片往復過程之位置。
5. 在 OpenCV 中開啟鏡頭，在鏡頭視窗中畫上固定大小的長方形貼齊銅片末端與上端。
6. 執行 OpenCV 中的監控程式，並將監控頻率設為兩秒。
7. 在電腦中輸入 3V 的電壓，當 OpenCV 偵測長方形中定義的灰色面積達到 90% 連續兩次時，將鏡頭視窗的銅片截圖。
8. 將截圖放入 OpenCV 分析擴散程度。
9. 取出鍍好的銅片進行反鍍工作。
10. 將步驟 1 的 $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3Br$ 濃度改為 0.2mM、0.3mM、0.4mM、0.5mM 並重複步驟 1~9。

(六) 添加擴散抑制劑是否會影響電鍍時間

1. 配置 0.075M 的硫酸鋅、0.35M 的硼酸及 0.05mM 的 $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3Br$ 混合液當電解液。
2. 將 400mL 的電解液倒入自製的電解槽中，並且將處理過的銅片放入碳棒的凹槽中，並用三用電表確認是否形成通路。
3. 開啟往復機構電源(五次/分鐘)，將鋅片往復振幅達最大處對齊銅片末端與上端。
4. 調整拍攝鏡頭至能夠完整拍攝到銅片與鋅片往復過程之位置。
5. 在 OpenCV 中開啟鏡頭，在鏡頭視窗中畫上固定大小的長方形貼齊銅片末端與上端。
6. 執行 OpenCV 中的監控程式，並將監控頻率設為兩秒。
7. 在電腦中輸入 4.5V 的電壓並開始計時，當 OpenCV 偵測長方形中定義的灰色面積達到 90% 連續兩次時，將鏡頭視窗的銅片截圖。
8. 將截圖放入 OpenCV 分析擴散程度。
9. 取出鍍好的銅片進行反鍍工作。
10. 將步驟 1 中 0.05mM 的 $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3Br$ 刪除，並重複步驟 1~9。

肆、研究結果

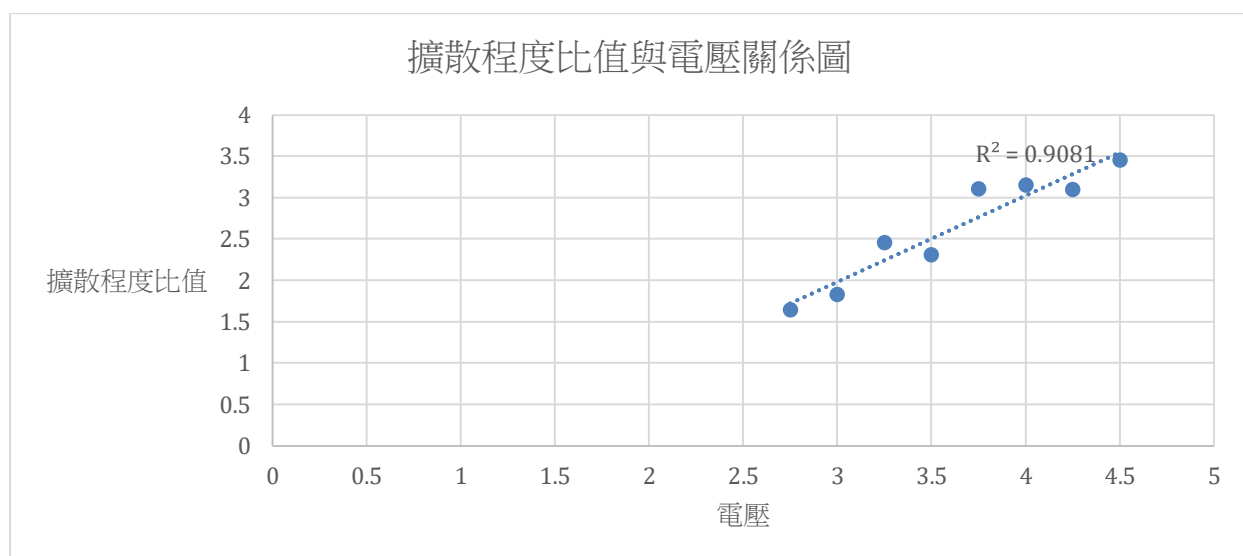
一、探討不同電壓對鋅擴散程度的影響 (硫酸鋅溶液濃度為 0.0375M，五次/分鐘)

表(四)不同電壓的擴散程度比值(作者自行整理)

	第一次實驗			第二次實驗		
電壓(v)	灰色像素 點數量總 和(個)	指定範圍內 像素點總和 (個)	總像素/指 定範圍內 像素比值	灰色像素 點數量總 和(個)	指定範圍內 像素點總和 (個)	總像素/指 定範圍內 像素比值
4.50	29498	8316	3.54	27924	8316	3.35
4.25	26304	8316	3.17	25113	8316	3.02
4.00	29064	8316	3.49	23391	8316	2.81
3.75	27073	8316	3.25	24575	8316	2.95
3.50	26611	8316	3.20	11742	8316	1.41
3.25	17896	8316	2.14	23052	8316	2.77
3.00	19057	8316	2.29	11310	8316	1.36
2.75	10977	8316	1.32	16382	8316	1.96

表(五)各電壓的平均擴散程度比值(作者自行整理)

電壓	平均擴散程度比值
4.50V	3.45
4.25V	3.10
4.00V	3.15
3.75V	3.10
3.50V	2.30
3.25V	2.46
3.00V	1.83
2.75V	1.64



(圖十八)擴散程度比值與電壓關係圖(作者自行繪製)

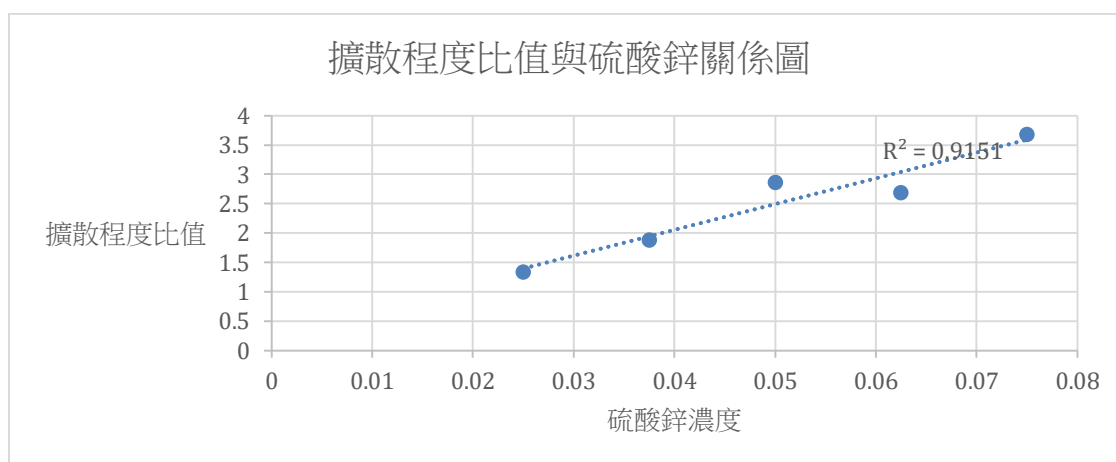
二、探討不同濃度對鋅擴散程度的影響(電壓 3V，五次/分鐘)

表(六)不同硫酸鋅濃度的擴散程度比值(作者自行整理)

	第一次實驗			第二次實驗		
硫酸鋅 濃度(M)	灰色像素 點數量總 和(個)	指定範圍 內像素點 總和(個)	總像素/指 定範圍內 像素比值	灰色像素 點數量總 和(個)	指定範圍 內像素點 總和(個)	總像素/指 定範圍內 像素比值
0.0750	30436	8316	3.66	30769	8316	3.70
0.0625	21123	8316	2.54	23784	8316	2.86
0.0500	22754	8316	2.73	25010	8316	3.01
0.0375	19759	8316	2.37	11642	8316	1.40
0.0250	9314	8316	1.12	12973	8316	1.56

表(七)各濃度的平均擴散程度(作者自行整理)

硫酸鋅濃度	平均擴散程度比值
0.075M	3.67
0.0625M	2.68
0.0500M	2.87
0.0375M	1.83
0.0250M	1.34



(圖十九) 擴散程度比值與硫酸鋅關係圖(作者自行繪製)

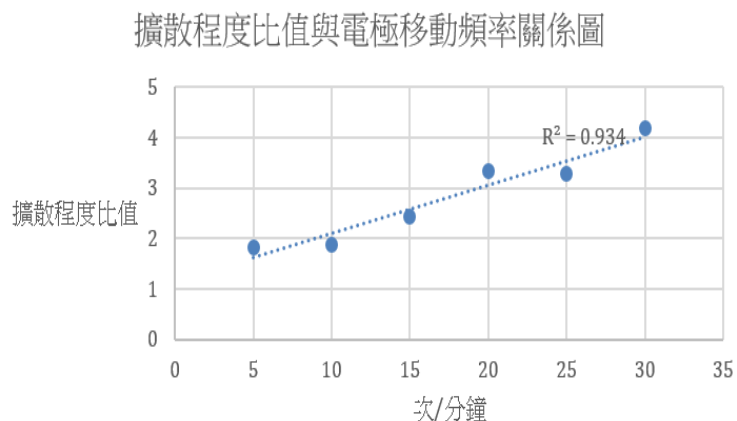
三、探討不同的電極移動頻率對鋅擴散程度的影響(硫酸鋅濃度 0.0375M，電壓 3V)

表(八)不同的電極移動頻率的擴散程度比值 (作者自行整理)

頻率(次/分鐘)	第一次實驗			第二次實驗		
	灰色像素 點數量總 和(個)	指定範圍 內像素點 總和(個)	總像素/指 定範圍內 像素比值	灰色像素 點數量總 和(個)	指定範圍 內像素點 總和(個)	總像素/指 定範圍內 像素比值
5.0	15767	8316	1.89	14773	8316	1.77
10.0	14803	8316	1.78	16333	8316	1.97
15.0	19049	8316	2.29	21530	8316	2.59
20.0	31936	8316	3.84	23621	8316	2.84
25.0	28369	8316	3.41	26113	8316	3.14
30.0	32929	8316	3.96	36500	8316	4.39

表(九)各電極移動頻率的平均擴散程度比值(作者自行整理)

頻率(次/分鐘)	平均擴散程度比值
5.0	1.83
10.0	1.87
15.0	2.44
20.0	3.34
25.0	3.28
30.0	4.17



(圖二十) 擴散程度比值與電極移動頻率關係圖
(作者自行繪製)

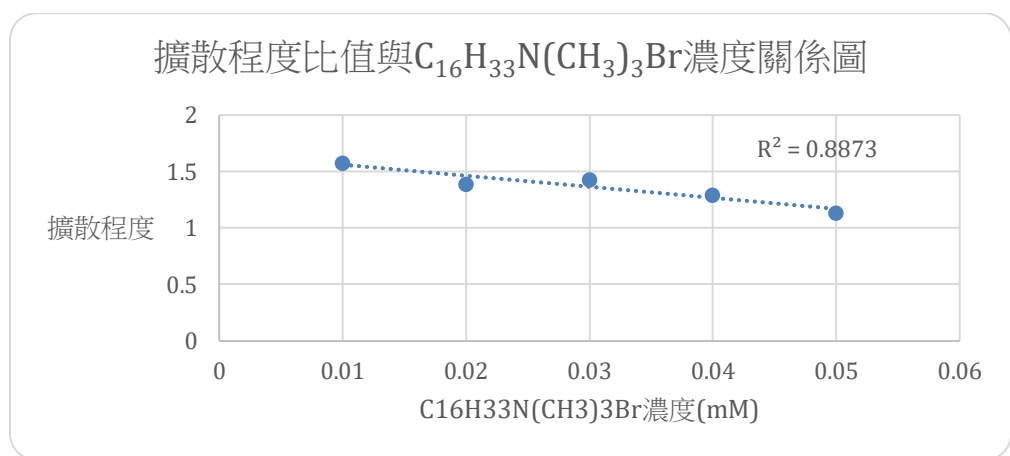
四、不同的 $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3Br$ 濃度對鋅擴散程度的影響 (硫酸鋅濃度 0.0375M，電壓 3V)

表(十) 加入不同 $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3Br$ 濃度的擴散程度(作者自行整理)

$C_{16}H_{33}N(CH_3)_3Br$ 濃度 (mM)	第一次實驗			第二次實驗		
	頻率(次/分鐘)	灰色像素點數量總和(個)	指定範圍內像素點總和(個)	總像素/指定範圍內像素比值	灰色像素點數量總和(個)	指定範圍內像素點總和(個)
0.01	12391	8316	1.49	13721	8316	1.65
0.02	11373	8316	1.37	11642	8316	1.40
0.03	10395	8316	1.25	14304	8316	1.72
0.04	12142	8316	1.46	9314	8316	1.12
0.05	9138	8316	1.10	9647	8316	1.16

表(十一)加入不同 $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3Br$ 濃度的平均擴散程度(作者自行整理)

濃度(mM)	平均擴散程度
0.01	1.57
0.02	1.38
0.03	1.49
0.04	1.29
0.05	1.13



(圖二十一) 擴散程度比值與 $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3Br$ 濃度關係圖(作者自行繪製)

五、添加擴散抑制劑是否會影響電鍍的時間(硫酸鋅濃度 0.075M，電壓 4.5V，五次/分鐘)

(表十二)0.075M 硫酸鋅的擴散程度(作者自行整理)

第一次實驗			第二次實驗		
灰色像素 點數量總 和(個)	指定範圍 內像素點 總和(個)	總像素/指 定範圍內 像素比值	灰色像素 點數量總 和(個)	指定範圍 內像素點 總和(個)	總像素/指 定範圍內 像素比值
30087	8316	3.75	31229	8316	3.90

(表十三)0.075M 硫酸鋅擴散程度達 90%兩次的電鍍時間(作者自行整理)

	第一次實驗	第二次實驗
時間(秒)	44.0	41.0

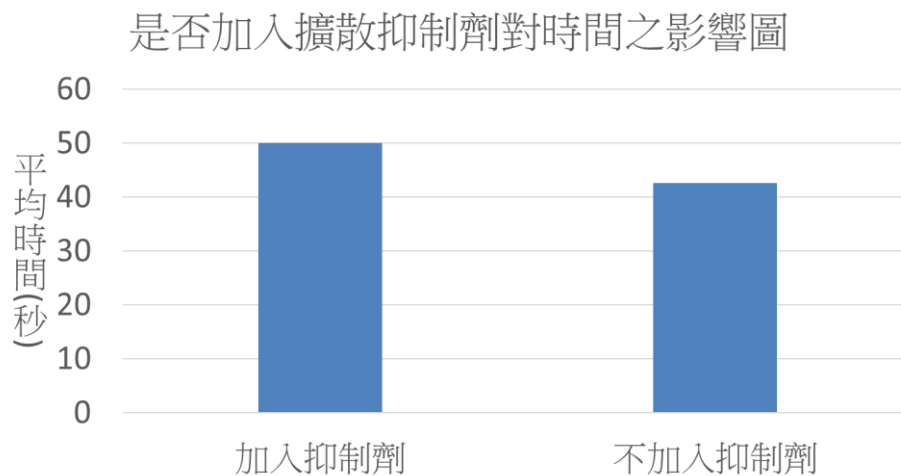
(表十四)0.075M 硫酸鋅、0.05mM $C_{19}H_{42}BrN$ 的擴散程度(作者自行整理)

第一次實驗			第二次實驗		
灰色像素 點數量總 和(個)	指定範圍 內像素點 總和(個)	總像素/指 定範圍內 像素比值	灰色像素 點數量總 和(個)	指定範圍 內像素點 總和(個)	總像素/指 定範圍內 像素比值
18133	8316	2.24	19746	8316	2.44

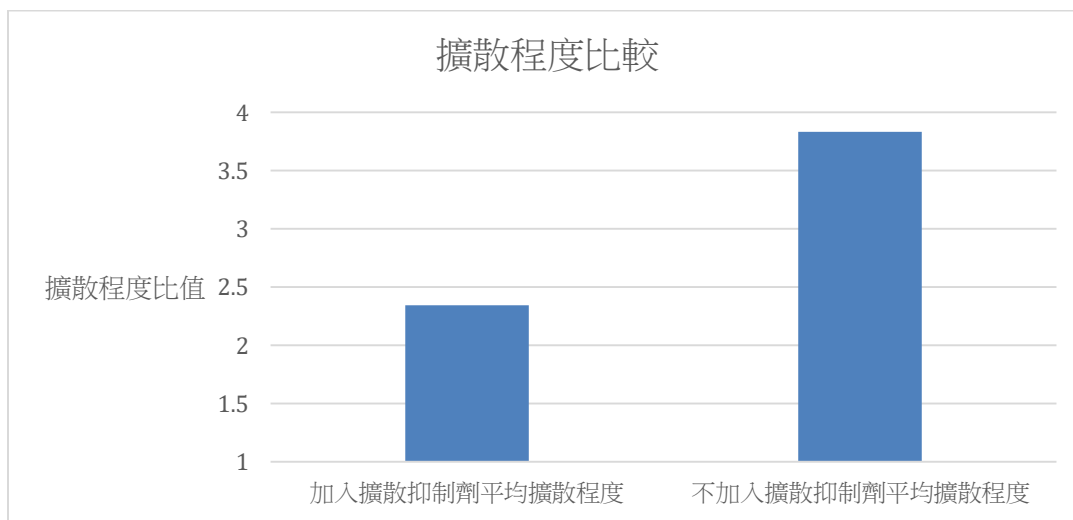
(表十五)0.075M、0.05mM C₁₉H₄₂BrN 硫酸鋅擴散程度達 90%兩次的電鍍時間

(作者自行整理)

	第一次實驗	第二次實驗
時間(秒)	51.0	49.0



(圖二十二)是否加入擴散抑制劑的時間比較圖(作者自行繪製)



(圖二十三)是否加入擴散抑制劑的擴散程度比較(作者自行繪製)

伍、討論

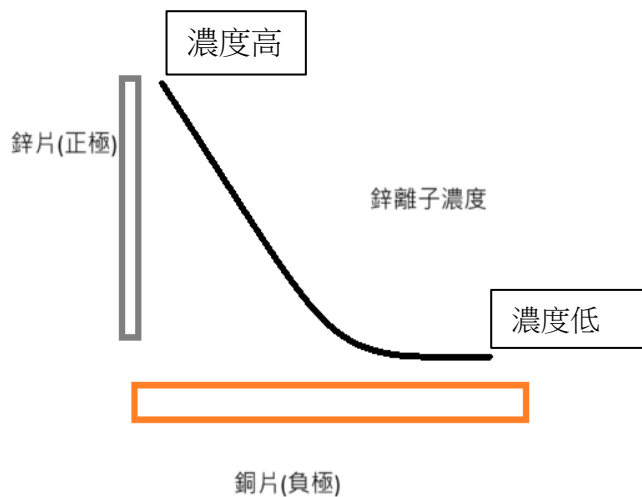
一、在實驗中，我們發現不管濃度是多少，一旦電壓來到 2.5V 以下，都沒有鋅會鍍上去。

結果解釋：雖然理論電壓差為 0V，但實際電鍍還需額外施加電壓(通常 2.0~3.5V 之間)，以克服以下因素

- (一)陰極過電位:金屬析出需額外能量
- (二)陽極極化與阻抗:鋅溶解不會完全理想
- (三)電解質與電線迴路電阻損耗

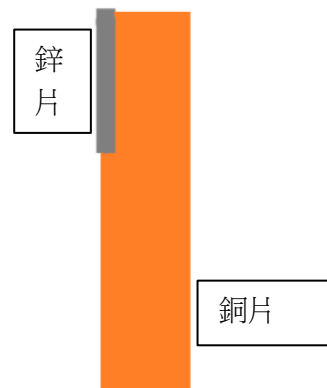
二、鍍鋅層的擴散程度比值和電壓大致呈現線性關係。

結果解釋：電鍍開始時，由於鋅離子是由正極析出，因此正極附近的鋅離子濃度會較高。



實驗位置相對圖 (側面圖)

(圖二十四) (作者自行繪製)



實驗裝置相對位置圖 (鳥瞰圖)

(圖二十五) (作者自行繪製)

右列方程式為奈恩斯特-普朗克方程式：
$$J = -D \frac{dC}{dx} + \frac{zFC}{RT} E$$

其中的代號意義分別為：

J：擴散通量（單位時間內通過單位面積的粒子數），D：擴散係數，

C：粒子濃度，x：空間坐標，z：粒子的電荷數，F：法拉第常數（約 96485 C/mol），R：氣體常數（約 8.314 J/(mol·K)），T：溫度（以克爾文 K 為單位），E：電場強度

在電壓與擴散程度的實驗中，除了電場強度以外的參數都固定，因此擴散通量取決於電場，電壓越大電場越大，電場越大則擴散通量越大，粒子的擴散速率越高，粒子越容易分散到指定範圍外的地方。

三、鍍鋅層的擴散程度比值和濃度大致呈現線性關係。

結果解釋：根據奈恩斯特-普朗克方程式： $J = -D \frac{dC}{dx} + \frac{zFC}{RT} E$

濃度越高的溶劑擴散通量越高，因此，濃度越大的溶液，離子越容易擴散到指定範圍外。

四、鍍鋅層的擴散程度比值和電極移動頻率大致呈現線性關係，頻率愈低擴散程度越低。

結果解釋：由於移動電極會造成攪拌的效果，電極移動得愈快，溶液流動得愈快，因此帶動離子的擴散速率跟著加快。

五、 $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3Br$ 的濃度與擴散程度比值二者呈線性關係。

結果解釋：添加 $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3Br$ 會提高溶液的黏度。溶液黏度的增加會對離子的擴散產生阻礙，從而降低鋅離子的擴散速率，但若濃度太高，會導致溶液變混濁，且易產生氣泡，讓我們不易監測。

六、添加擴散抑制劑對達成電鍍要求所需時間的影響不明顯。

結果解釋：因擴散抑制劑加入的量相對於整體溶液來說非常少，所以對時間的影響相對較不明顯。

陸、結論

根據此次實驗結果得知，要讓指向型電鍍準確度高的話，需滿足以下幾點：

- 一、維持在較低電壓的情況下電鍍，因為離子在較低的電壓下的擴散速率相較於在高電壓下的擴散速率低。
- 二、在濃度較低的情況下電鍍，因為離子的擴散速率在低濃度的溶液中較為緩慢，能讓離子的分布比高濃度溶液的分布還要集中。
- 三、要移動電極，但是電極的移動頻率要低。由於我們指定的電鍍範圍比鋅片的寬度還要長，若不移動電極，鋅會在指定範圍的某處堆積較多，不符合在指定範圍內，鋅的分布是平均的目標，因此有必要移動電極。

- 四、添加 $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3Br$ 能增加溶液的黏度，減慢離子的擴散速度，對讓離子集中有幫助，但若濃度太高，會導致溶液變混濁，且易產生氣泡，讓我們不易監測，因此濃度也不能過高。
- 五、雖然加入擴散抑制劑會使達成電鍍要求所需時間有少許的增加，但是卻能對擴散程度的減少有很大改變。

柒、未來展望

本研究的目標是減少鋅鍍層的擴散程度，進而減少電鍍時絕緣漆的使用，同時不使電鍍的速度減緩。未來我們想繼續探討能降低擴散程度，同時又能維持電鍍效率的變因，如溫度變化、加入不同的擴散抑制劑等，期許能改善電鍍工業中絕緣漆的使用，減少資源的浪費。

捌、參考文獻

- 一、李國祥、黃文雄、陳明政（2013）。《電鍍工程》（第二版）。台北市：高立圖書有限公司。
- 二、中國化學工業出版社編輯部（2017）。《電鍍技術手冊》（第四版）。北京市：中國化學工業出版社。
- 三、許博翔（2014）。鋅電鍍中添加劑與操作條件對鍍層影響之研究（碩士論文）。臺中市：國立勤益科技大學機械工程系。
- 四、陳志明（2015）。電鍍技術的發展與應用。材料科學，23(4)，45-52。
- 五、林建宏（2018）。電鍍過程中溫度對鍍層品質的影響。表面工程學報，36(2)，112-118。
- 六、ResearchGate（2024）。Zinc Electroplating Temperature Effects. Retrieved from <https://www.researchgate.net/>

【評語】 052406

本研究採用指向型電鍍技術，精準控制電鍍層之厚度與成形位置，以提升製程效率、減少環境汙染並降低生產成本。藉由自製電鍍實驗裝置，使用 OpenCV 和 Python 進行電鍍過程之影像處理與分析，包括鍍鋅層顏色空間轉變與數學運算，進而準確量測鋅鍍層之厚度與擴散程度。實驗之設計與架構上仍有可以優化之處，如使用 OpenCV 進行影像分析時，如何確保顏色判斷的準確性？是否有進行任何校正或標準化的步驟？如僅以”灰色”作為判斷電鍍厚度之依據較不精確，或可建議判讀處建議可放置一色塊作為標準品用以作為判讀基準，避免光源等環境因素影響判讀。也建議除透過顏色判讀後度外，可針對不同電鍍”顏色”去量測其厚度，可避免顏色判讀上之誤差。實驗結果與討論中可以觀察到，除了顏色判讀上之誤差外，有可能是因電鍍時靠近電極處的濃度梯度不同造成誤差，可以觀察到當往復機構頻率上升後灰色像素面積明顯上升，可能是歸因於電解液擾動造成電解液濃度較為均勻，因此建議於電鍍過程中加入攪拌設備，減少濃度梯度所造成的電鍍厚度差異。也建議可以了解不同電壓對鋅擴散程度的影響是如何表現的？是否有特定的電壓範圍能夠最佳控

制擴散？自製電度研究裝置具科學研究精神，但宜將判斷指向型

電鍍接收標準加以量化。

作品海報

「銅」「鋅」協力— 指向型電鍍的研究

摘要

本研究旨在研究指向型電鍍，透過自製電鍍實驗裝置，並使用OpenCV、Python製作自動監控裝置進行電鍍時的影像處理，分析鍍層的顏色變化，從而測量鋅層的厚度與擴散程度，提升電鍍的精確度，並減少資源浪費。本研究探索了電壓大小、濃度高低、電極來回移動頻率以及是否加入擴散抑制劑對鍍鋅層的擴散程度影響。結果顯示，較低的電壓、濃度、電極移動頻率與加入擴散抑制劑，能有效控制鍍層擴散，實現更集中的電鍍效果。

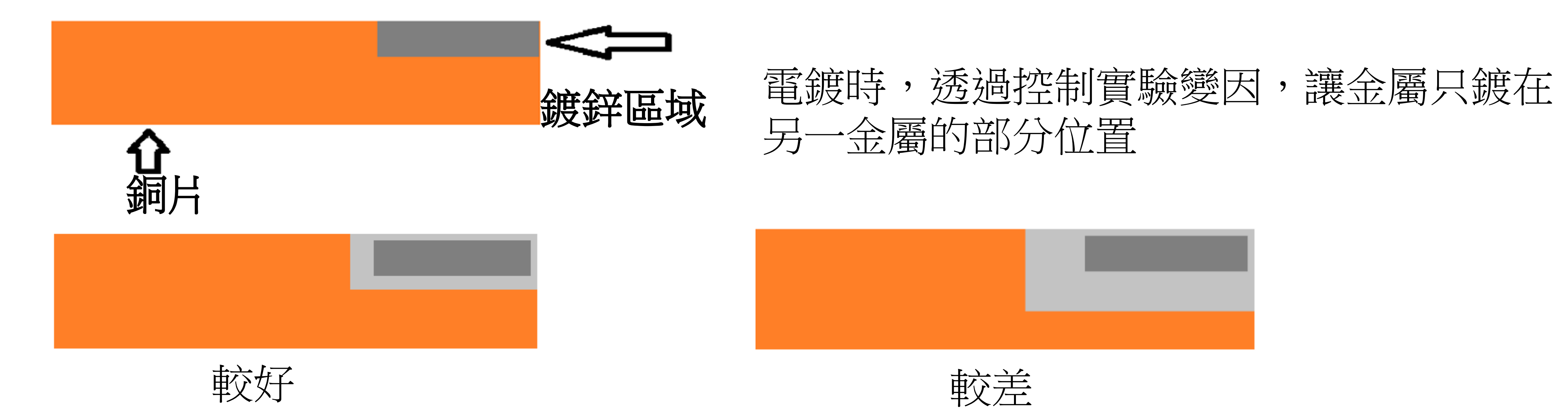
壹、研究動機

在現代工業中，電鍍技術廣泛應用於提高金屬表面的耐腐蝕性、導電性以及美觀。然而，傳統的電鍍過程通常需要在不想被鍍到的區域塗上絕緣漆，以防止金屬沉積在這些位置。這一過程不僅耗時，還會產生額外的資源浪費，並且在完成電鍍後，需要進行絕緣漆的去除，這又涉及到化學藥劑和其他清理材料的使用，增加了成本和環境負擔。如果可以控制電鍍的成形位置，就能降低絕緣漆的浪費，降低生產成本，同時提升製程效率，減少人力與材料消耗，使整體工藝更加精確且環保。

貳、研究目的

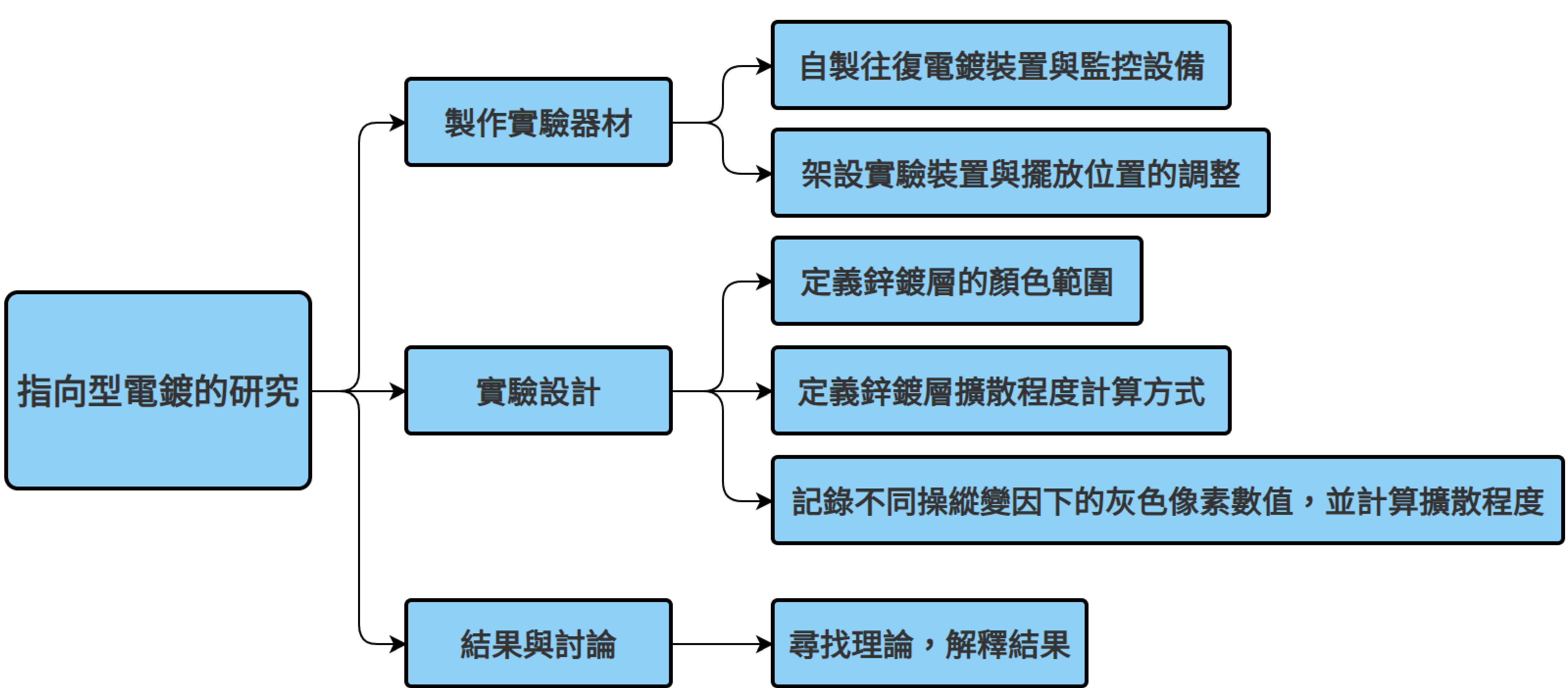
- 一、自製電鍍研究裝置。
- 二、探討不同電壓對鍍鋅層的擴散程度影響。
- 三、探討不同濃度對鍍鋅層的擴散程度影響。
- 四、探討電極移動頻率對鍍鋅層的擴散程度影響。
- 五、鋅離子擴散抑制劑的探究。
- 六、加入擴散抑制劑是否會影響電鍍時間。

參、指向型電鍍的定義及判斷電鍍效果好壞

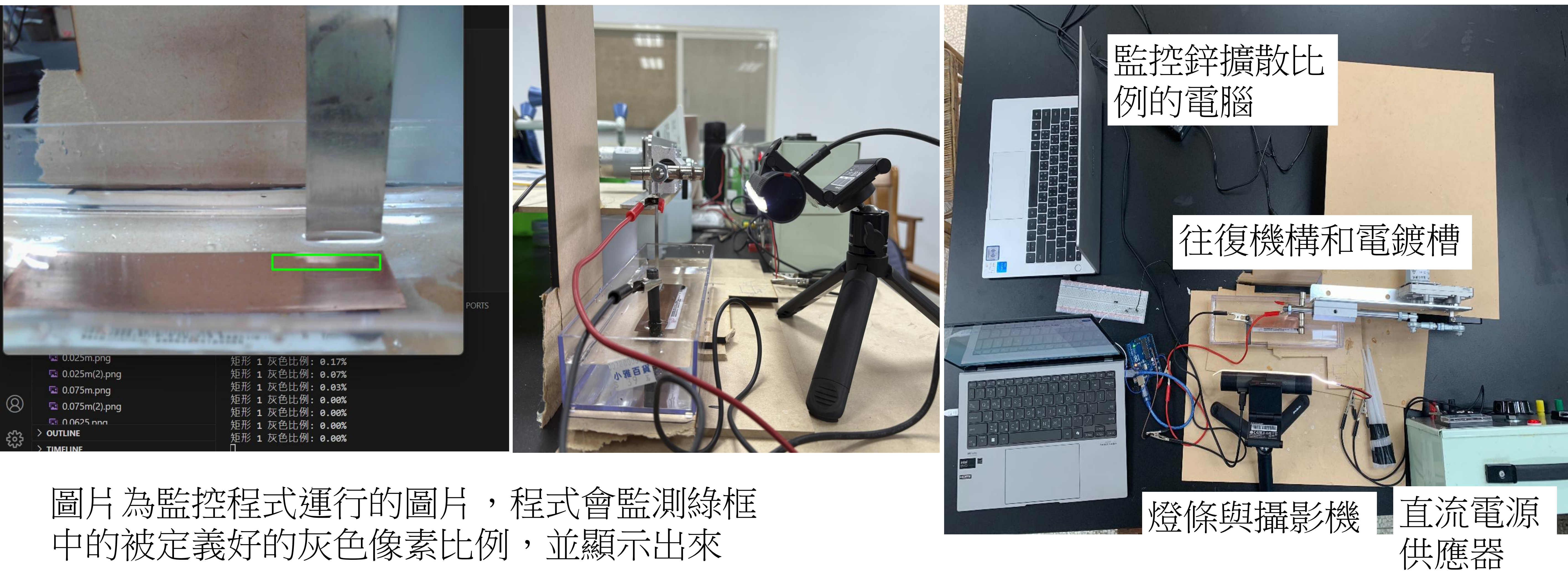


在指定區域鍍到一定厚度時，指定區域外的金屬比例愈低，則效果愈好。附圖中深灰色區塊為指定區域，而淺灰色區塊為指定區域外的鋅鍍層，透過計算總灰色像素數量(淺灰色+深灰色)與指定區域內的像素數量(深灰色區域)之比值，得出一個叫”擴散程度”的比值，用來表示電鍍層集不集中，若比值為1，則會像左上方的圖片所示

肆、實驗流程圖



伍、自製監控裝置圖片

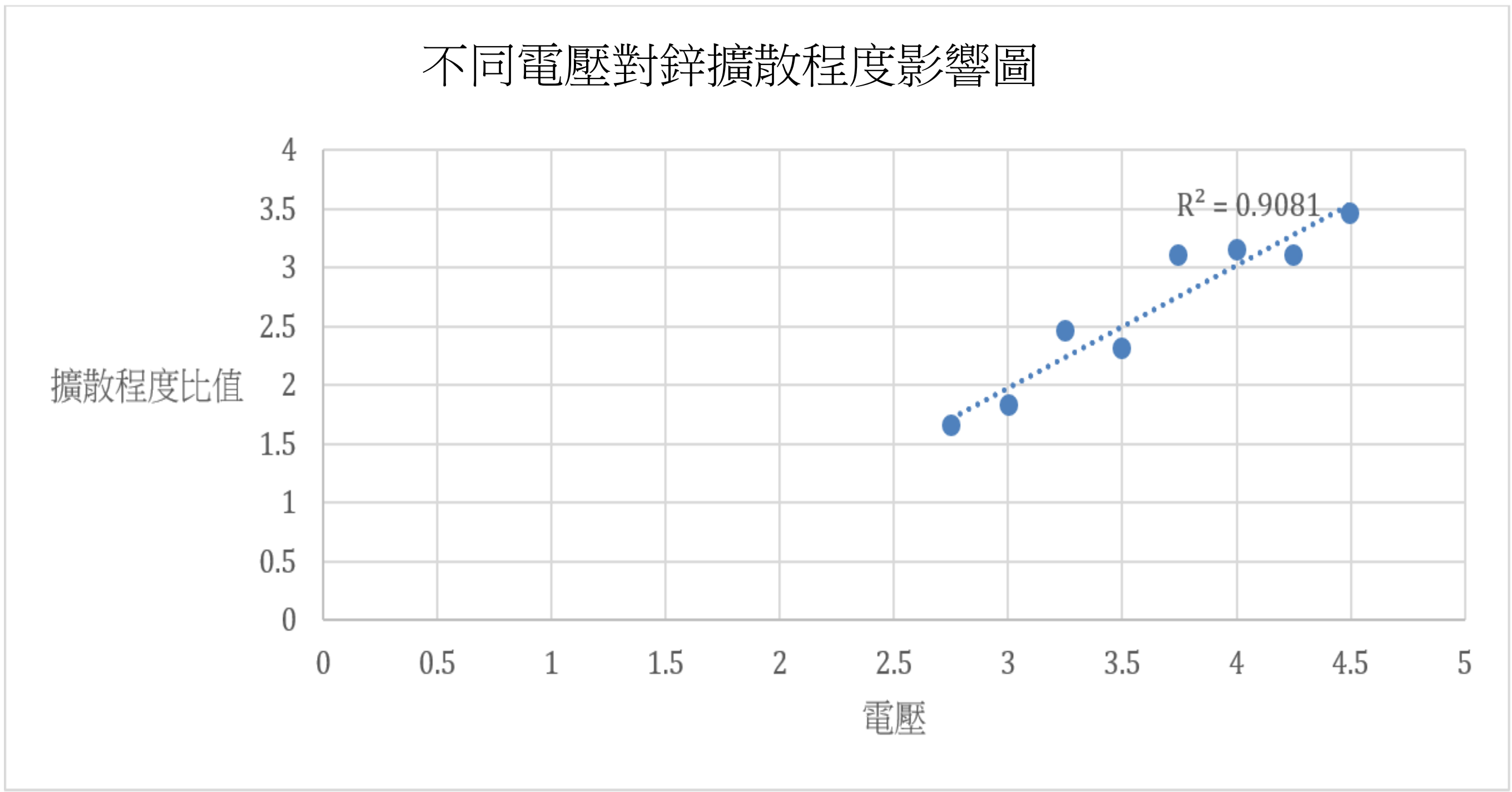


圖片為監控程式運行的圖片，程式會監測綠框中的被定義好的灰色像素比例，並顯示出來

陸、實驗結果與討論

實驗一、探討不同電壓對鋅擴散程度的影響(硫酸鋅溶液濃度為0.0375M)

電壓	擴散程度1	擴散程度2	平均擴散程度
4.50V	3.54	3.35	3.45
4.25V	3.17	3.02	3.10
4.00V	3.49	2.81	3.15
3.75V	3.25	2.95	3.10
3.50V	3.20	1.41	2.30
3.25V	2.14	2.77	2.46
3.00V	2.29	1.36	1.83
2.75V	1.32	1.96	1.64

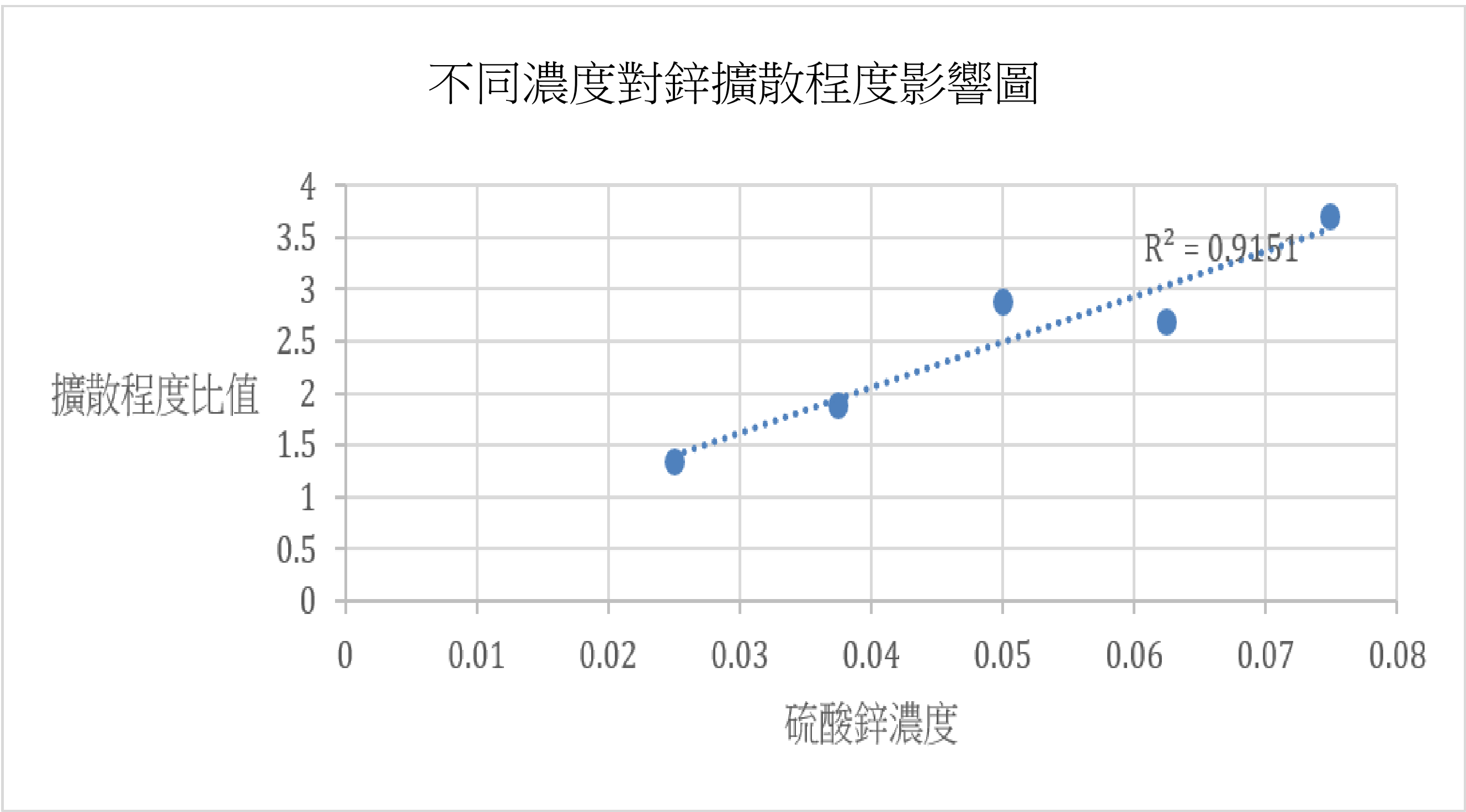


結果顯示:

- 1.在實驗中，雖然理論電壓差為0V，但實際電鍍還需額外施加超過2.5V電壓。
- 2.鍍鋅層的擴散程度和電壓大致呈正相關的線性關係。

實驗二、探討不同濃度對鋅擴散程度的影響(電壓為3V)

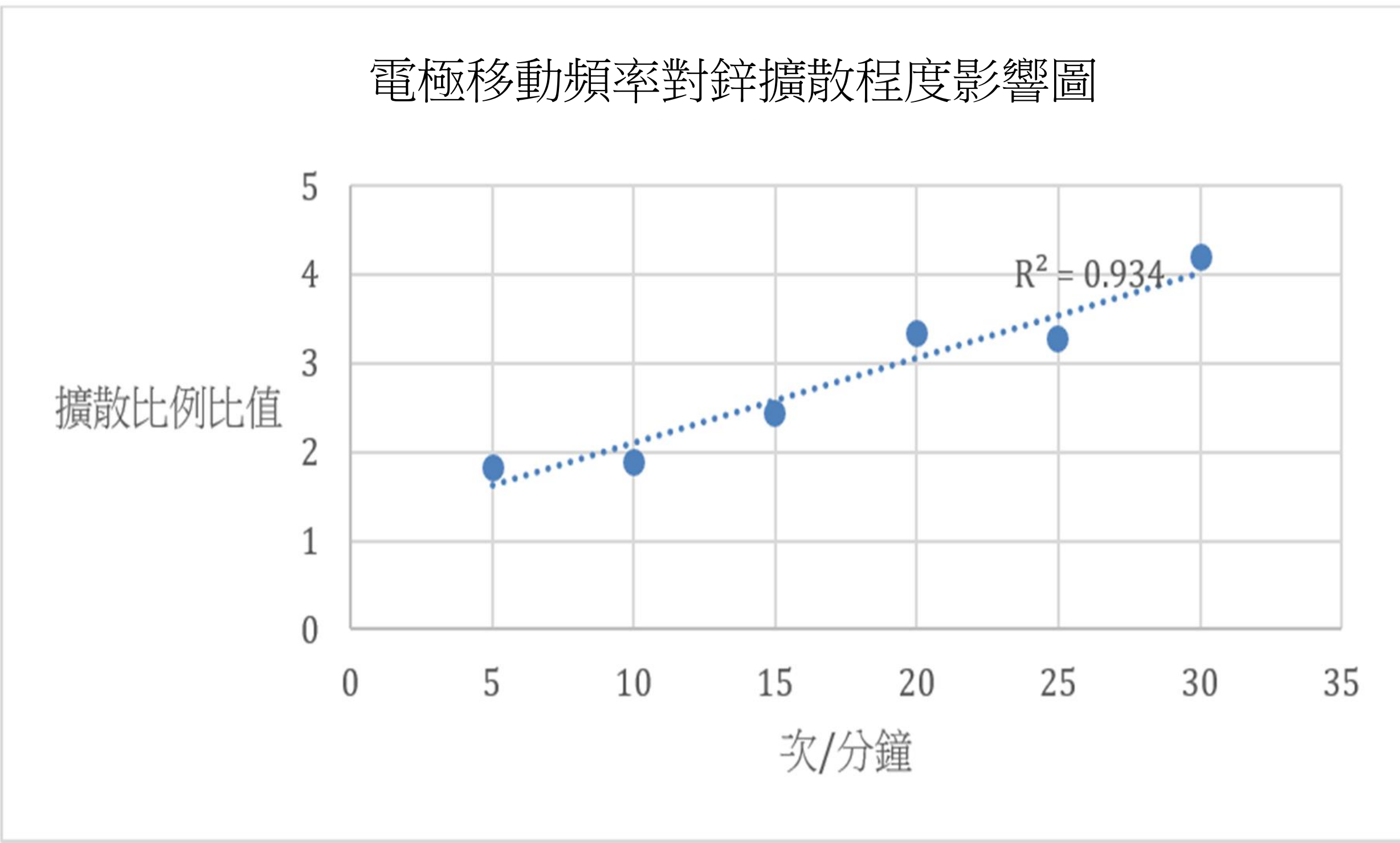
濃度	擴散程度1	擴散程度2	平均擴散程度
0.075M	3.66	3.70	3.67
0.0625M	2.54	2.86	2.68
0.0500M	2.73	3.01	2.87
0.0375M	2.37	1.40	1.83
0.0250M	1.12	1.56	1.34



結果顯示: 鍍鋅層的擴散程度和濃度大致呈正相關的線性關係。

實驗三、探討不同電極移動頻率對鋅擴散程度的影響(硫酸鋅濃度為0.0375M，電壓為3V)

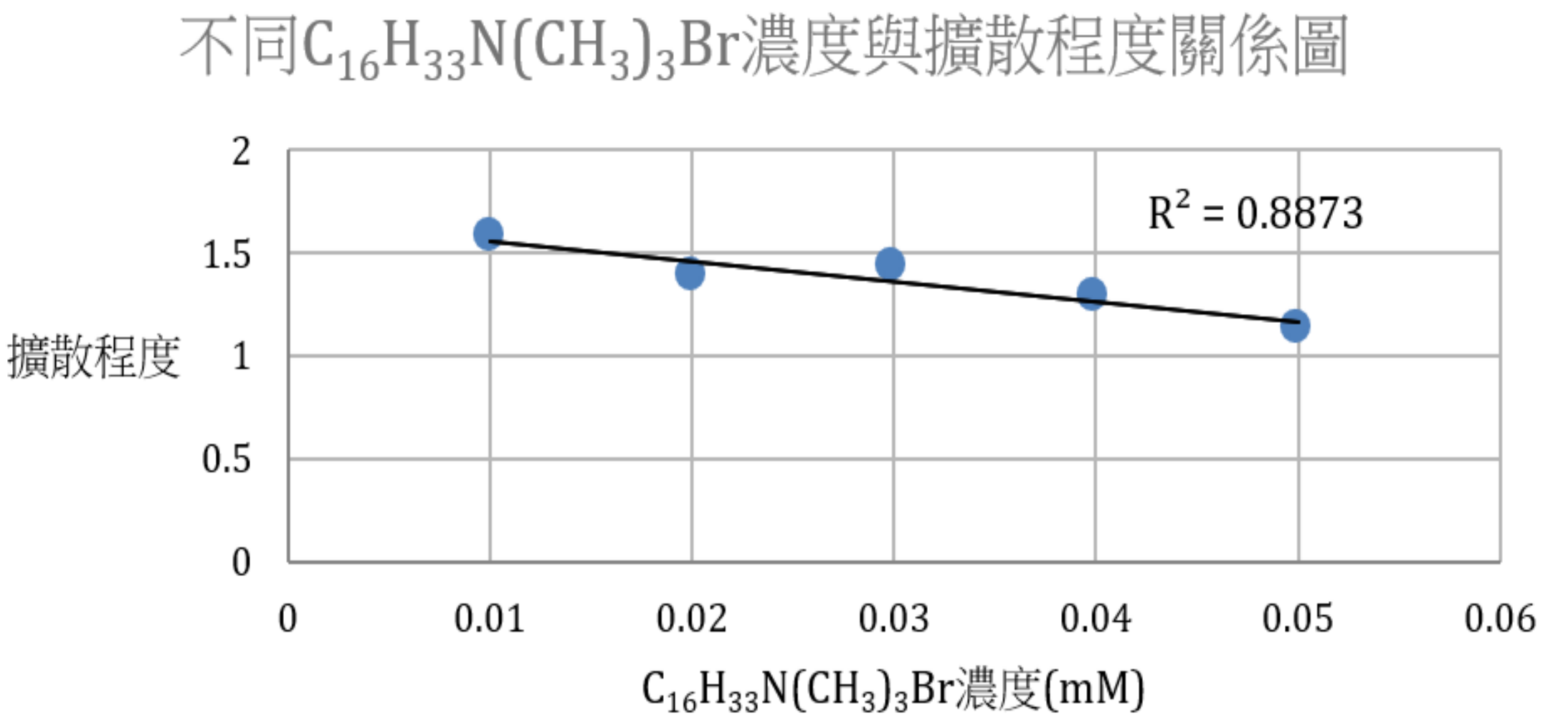
頻率(次/分)	擴散程度1	擴散程度2	平均擴散程度
5.0	1.89	1.77	1.83
10.0	1.78	1.97	1.87
15.0	2.29	2.59	2.44
20.0	3.84	2.84	3.34
25.0	3.41	3.14	3.28
30.0	3.96	4.39	4.17



結果顯示:鍍鋅層的擴散程度和電極移動頻率大致呈正相關的線性關係，越慢擴散程度越低。

實驗四、探討不同C₁₆H₃₃N(CH₃)₃Br濃度對鋅擴散程度的影響
(硫酸鋅濃度為0.0375M，電壓為3V)

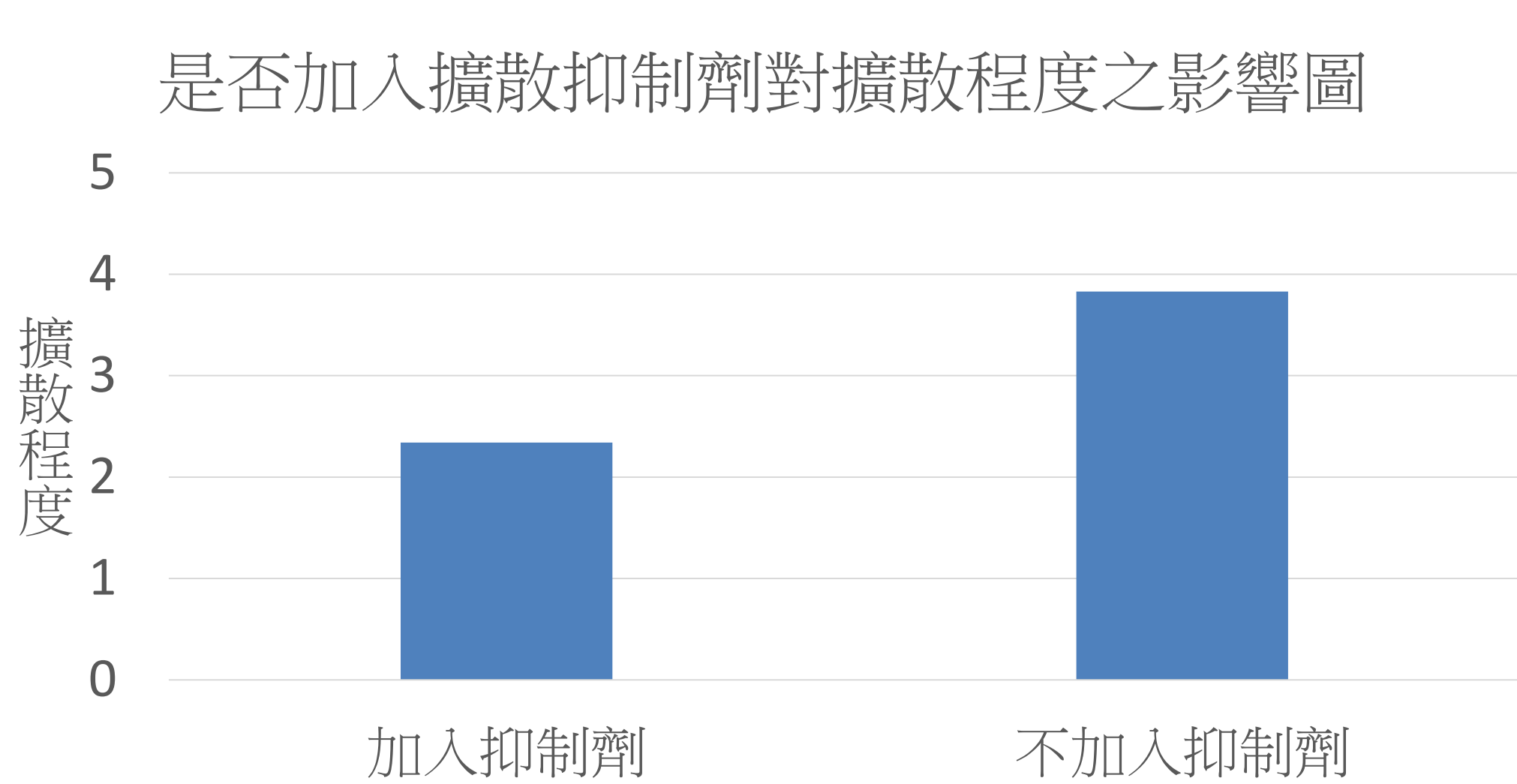
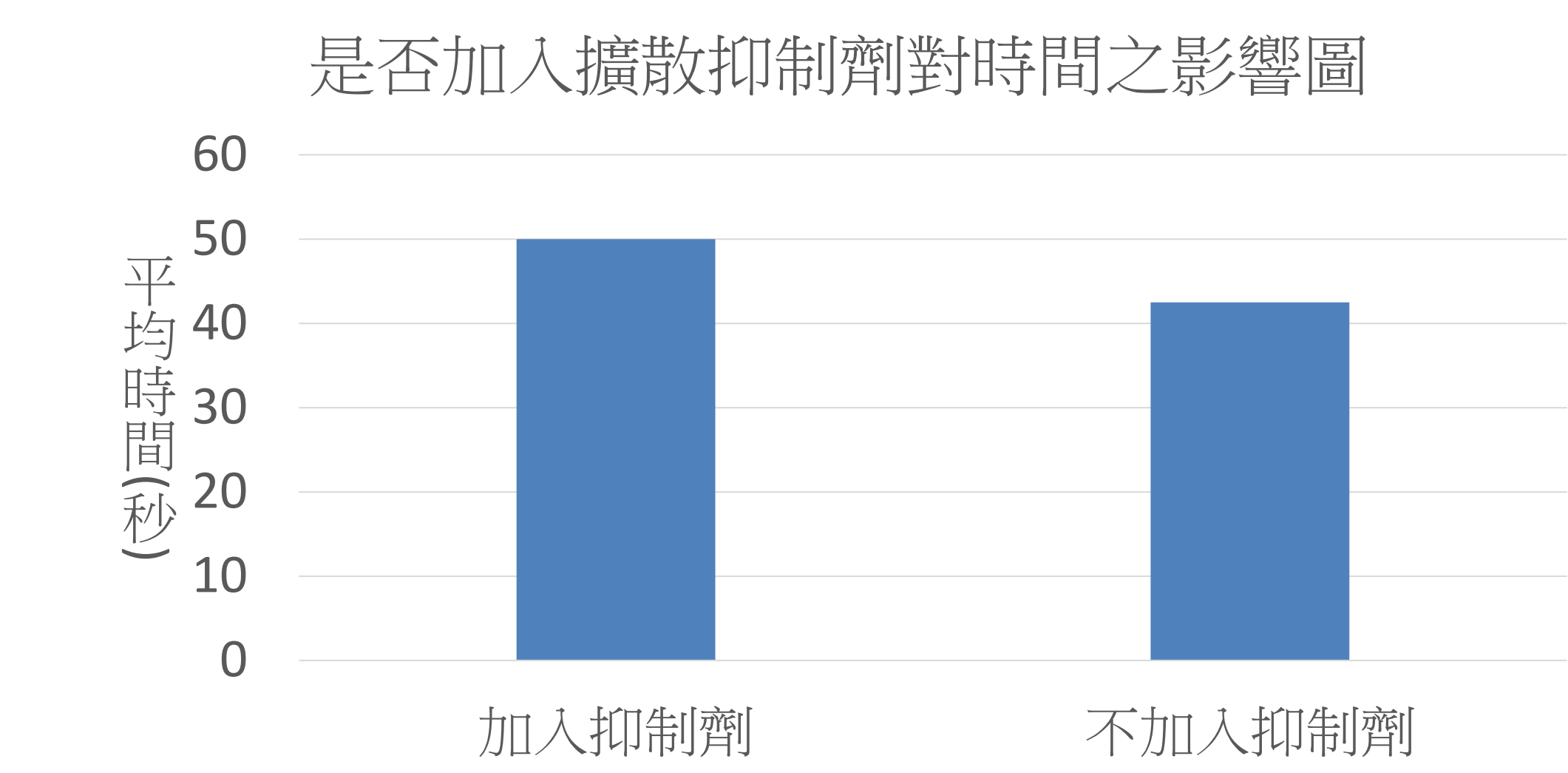
C ₁₆ H ₃₃ N(CH ₃) ₃ Br濃度	擴散程度1	擴散程度2	平均擴散程度比值
0.01mM	1.49	1.65	1.57
0.02mM	1.37	1.40	1.38
0.03mM	1.25	1.72	1.49
0.04mM	1.46	1.12	1.29
0.05mM	1.10	1.16	1.13



結果顯示:加入C₁₆H₃₃N(CH₃)₃Br濃度與擴散程度二者呈負相關的線性關係。

實驗五、有加擴散抑制劑是否會影響電鍍的時間(硫酸鋅濃度皆為0.075M)

加入擴散抑制劑平均時間	不加入擴散抑制劑平均時間	加入擴散抑制劑平均擴散程度	不加入擴散抑制劑平均擴散程度
50.0	42.5	2.34	3.83



結果顯示:加入擴散抑制劑雖然會讓指定範圍灰色比例達到90%以上時的時間些微增加，但是卻能有效減少擴散程度。

柒、實驗結果討論

- 要讓指向型電鍍準確度高的話，需要滿足：
- 一、維持在較低電壓的情況下電鍍，因為離子在較低的電壓下的擴散速率相較於在高電壓下的擴散速率低。
 - 二、在濃度較低的情況下電鍍，因為離子的擴散速率在低濃度的溶液中較為緩慢，能讓離子的分布比高濃度溶液的分布還要集中。
 - 三、要移動電極，若不移動電極，鋅在指定範圍的堆積會厚薄不一。但是電極的移動頻率要低，因為電極的移動會攪動溶液，使離子擴散，無法集中。
 - 四、添加C₁₆H₃₃N(CH₃)₃Br能增加溶液的黏度，減慢離子的擴散速度，對離子集中有幫助。
 - 五、加入擴散抑制劑會些微增加完成指定電鍍效果所需的時間，但是卻能對擴散程度的減少有很大幫助。

捌、未來展望

本研究主要是利用減少鋅鍍層的擴散程度，以減少電鍍時絕緣漆的使用，且電鍍所需時間改變不大。目前已有初步結果，未來我們想增加溫度變化與加入抑制劑種類等變因，使指向型電鍍更趨完善，朝綠色化學的方向前進。

玖、參考文獻

- 一、李國祥、黃文雄、陳明政（2013）。《電鍍工程》（第二版）。
- 二、中國化學工業出版社編輯部（2017）。《電鍍技術手冊》（第四版）。北京市：中國化學工業出版社。
- 三、許博翔（2014）。鋅電鍍中添加劑與操作條件對鍍層影響之研究（碩士論文）。臺中市：國立勤益科技大學機械工程系。
- 四、陳志明（2015）。電鍍技術的發展與應用。材料科學，23(4)，45-52。
- 五、林建宏（2018）。電鍍過程中溫度對鍍層品質的影響。表面工程學報，36(2)，112-118。
- 六、ResearchGate（2024）。Zinc Electroplating Temperature Effects. Retrieved from <https://www.researchgate.net/>