

# 新竹市第四十三屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別：生活與應用科學(三)(含化學工程/環境科學)

組 別：國中乙組

作品名稱：“「鈦」美麗了-電化學處理鈦金屬表面及其變化特徵探討”

關 鍵 詞：鈦金屬、陽極氧化、氧化層

編 號：114JB-A002



## 摘要

鈦金屬(Titanium)具有良好的耐腐蝕性、輕質和高強度等特點，廣泛應用於航空、醫療、電子等領域。當鈦金屬表面經過電化學處理時，會在其表面形成一層氧化鈦層。這層氧化層的厚度和結構會影響其顏色、性質以及電阻，因此，透過控制電壓、電解質種類、陽極氧化時間以及金屬形狀等參數，我們可以改變氧化層的特徵，進而調整鈦金屬的外觀及性能。結果發現，陽極氧化處理的效果很好，不同電壓下，造就不同厚度的氧化鈦層，經由光的干涉現象，看到豐富的色彩變化。且氧化鈦層的抗腐蝕與抗酸能力很好，抗強鹼稍弱一些。

## 壹、前言

### 一、研究動機

最近對於「鈦金屬」的新聞報導十分夯，也號稱改變顏色的鈦金屬，是無毒無害的。因此，我便想對鈦金屬做更深入的了解。也上網查過資料，我們查到只要用9V電池和一些其他材料就可以讓鈦金屬變色，所以我們就想要來探討鈦金屬變色這件事。

### 二、研究目的

- (一) 探討不同電壓對鈦陽極氧化的影響(顏色、電阻)
- (二) 探討不同電解質對鈦陽極氧化的影響
- (三) 探討不同電解質濃度對鈦陽極氧化的影響
- (四) 探討不同溫度的電解質對鈦陽極氧化的影響
- (五) 探討不同形狀的鈦對鈦陽極氧化的影響
- (六) 探討不同厚度氧化鈦的抗腐蝕性
- (七) 探討氧化鈦的耐酸鹼性
- (八) 探討燃燒法與陽極氧化法的差異性

### 三、文獻探討

#### (一) 鈦金屬

鈦 (Titanium) 是一種化學元素，化學符號Ti，原子序數22，是一種銀白色的過渡金屬，其特徵為重量輕、強度高、具金屬光澤，亦有良好的抗腐蝕能力（包括海水、王水及氯氣）。具有穩定的化學性質，良好的耐高溫、耐低溫、抗強酸、抗強鹼，以及高強度、低密度，它的密度大約是鋼鐵的一半，但其強度卻相當接近，使其成為航空航天、醫療器械以及高性能賽車的理想選擇，被美譽為「太空金屬」。

鈦被當成是稀有金屬，其稀有性源於自然界中分佈廣泛但提煉困難。純鈦的強度可與特定鋼材相媲美，卻比後者輕約45%。鈦存在兩種同素異形體，並有五種天然的同位素（46Ti至50Ti），其中48Ti的自然豐度最高，達73.8%。

(取自<https://www.lorric.com/tw/Articles/Material/metal/material-chemical-resistance-chart-Ti>)

#### (二) 為什麼鈦金屬適合做餐具？

1. 健康-無化學電鍍塗層，鈦金屬亦對人體無毒害，即使經年使用後產生刮痕，也可以放心使用。
2. 無味-最佳食物儲藏器皿，使用無臭無味的鈦餐具鈦杯，能使食物菜餚、飲品保持原本的風味，沒有不鏽鋼的鐵味。
3. 輕盈-鈦的重量約為不鏽鋼的60%，銅的1/2。鈦製品可以打造得更輕量同時強度不減，因此很受登山、露營愛好者的歡迎，許多戶外登山玩家都有鈦製的裝備，包括煮食鍋具、餐具器皿、甚至是帳蓬營釘等。
4. 防酸鹼腐蝕-(包括海水、王水及氯氣)，抗蝕性幾乎跟鉑一樣好，鈦與氧反應能於表面瞬間形成穩定且能阻止生鏽的氧化膜，而這層薄膜可以抑制細菌生長，使鈦製品具有良好的抑菌性。因不易與酸鹼食材起反應，因此盛裝鹽、醋、調味料、果汁時，不會使飲品和菜餚的味道發生變化，一樣可以安心使用。
5. 強度高-不鏽鋼的4.7倍，鈦擁有高比強度，是低碳鋼的2倍，鋁的3倍。在打造更輕、更薄的規格同時，材質強度不會受影響。
6. 好清潔-鈦不易沾黏油垢、異味，能輕易的清潔乾淨，在戶外水資源稀少的情況下能進一步節省水，可以直接使用紙巾擦拭。

(取自<https://www.keithti.com.tw/blogs/news/61042>)

### (三) 鈦陽極處理

1. 鈦發色陽極原理是將被處理之純鈦或鈦合金工件放置於電解液中，施以一定的電壓。鈦合金表面會被電解氧化後生成鈦氧化膜，藉由控制電壓來調整氧化膜厚度，光線經不同膜厚之氧化鈦膜反射、折射，吸收可見光波長（400~700μm）反射出不同互補色而改變鈦合金表面的顏色。實際上鈦合金發色製程中產生之鈦氧化膜本身並無顏色。此氧化膜非電鍍上之表面，為將原本基材氧化而成，故不會有剝落問題產生。
2. 應用：鈦發色處理技術，耐蝕性極佳、鍍膜穩定高，用於醫療植入手術時，不易析出離子、無毒性應用於醫療業，醫療器材如：人工關節、齒根、心臟瓣膜、人工骨骼等…。鈦發色讓工件產生多種顏色，可增加辨視效果，因物件尺寸、種類劃分應用於醫療業，如骨鋸及骨釘、齒根、人工關節，或工業，如螺絲、螺絲帽等。

(取自<https://www.hc-bios.com/technology.asp?id=12>)

## 貳、研究設備與器材

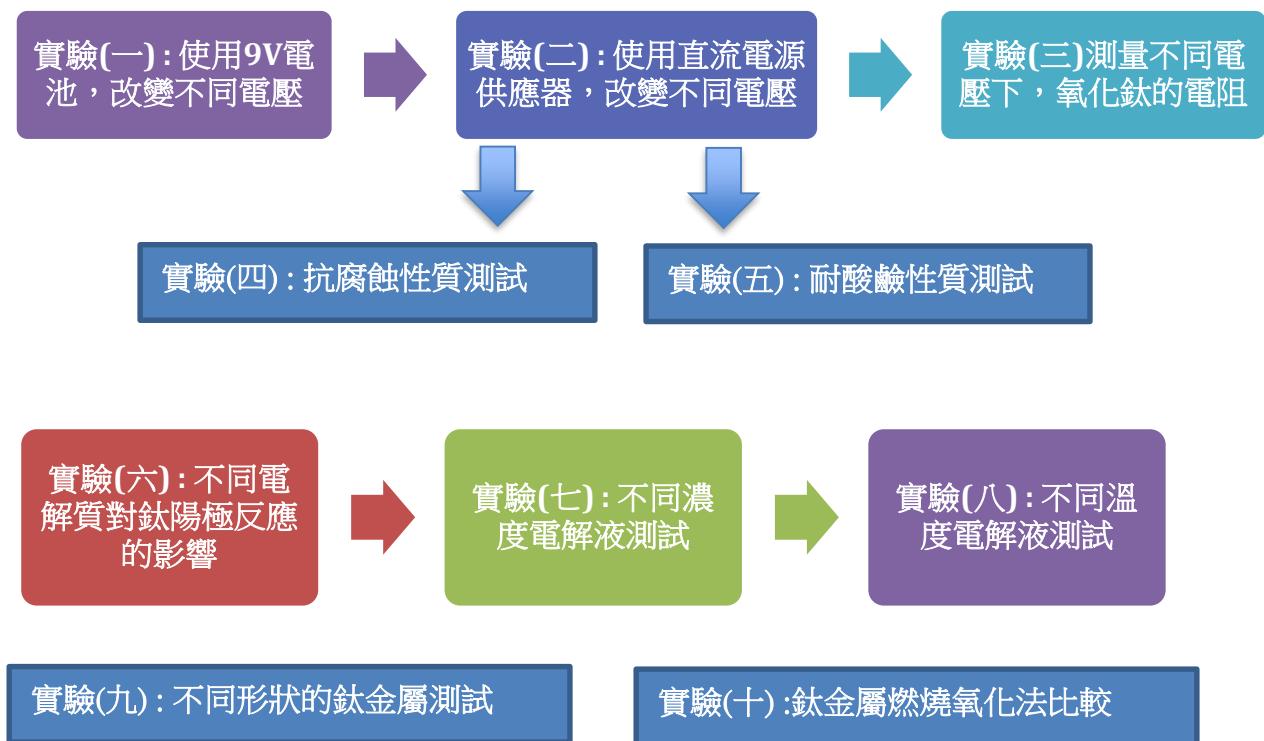
### 一、研究設備與器材表

耗材	工具
鈦金屬、小蘇打粉、水、硝酸鉀、檸檬酸、鹽巴	直流電源供應器、燒杯、鱷魚夾、手機(相機)、電子秤、溫度計、三用電表、空瓶

		
直流電源供應器	小蘇打粉	鈦金屬
		
燒杯	鱷魚夾	溫度計
		
鹽巴	三用電表	檸檬酸
		
硝酸鉀	陶瓷纖維網	量筒
		
不鏽鋼試管夾	酒精燈	三腳架

# 參、研究過程與方法

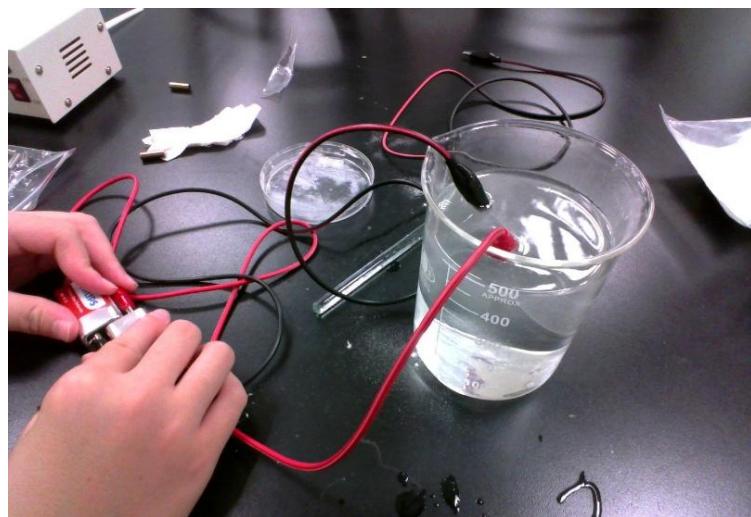
## 一、研究架構圖



## 二、研究方法

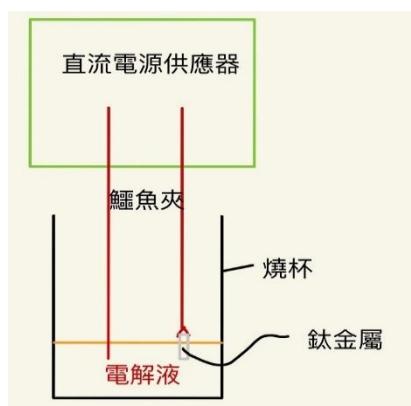
### (一) 實驗(一): 使用9V電池，改變不同電壓對鈦金屬變色的影響

1. 將小蘇打粉和水以100：2的方式混合行成電解液
2. 將鱷魚夾裝到9V電池上
3. 將鈦金屬夾在正極的一方並將負極的鱷魚夾放入電解液中
4. 將鈦金屬放入電解液中，但切記不要讓夾著它的鱷魚夾碰到水面
5. 靜置5分鐘後，觀察鈦金屬的變色結果並記錄



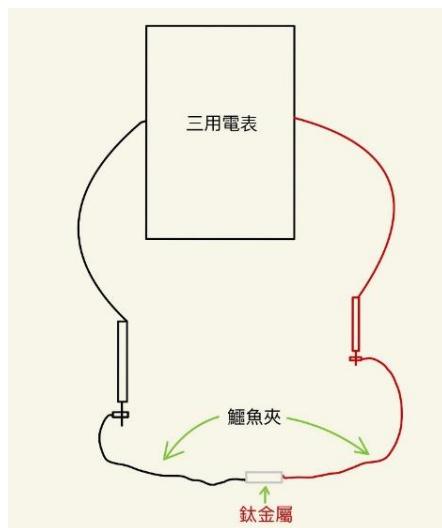
(二) 實驗(二): 使用直流電源供應器，改變不同電壓對鈦金屬變色的影響

1. 將小蘇打粉和水以100：2的方式混合行成電解液
2. 將鱷魚夾裝到直流電源供應器上並將其開機
3. 將鈦金屬夾在正極的一方並將負極的鱷魚夾放入電解液中
4. 將鈦金屬放入電解液中但切記不要讓夾著它的鱷魚夾碰到水面
5. 將直流電源供應器調整至指定的電壓以及最大電流上限
6. 按下直流電源供應器的output鍵使其開始放電
7. 等待直流電源供應器的螢幕上顯示電流為零時，將機器關閉並將鈦金屬從電解液中拿出
8. 觀察鈦金屬的變色結果並記錄
9. 示意圖:



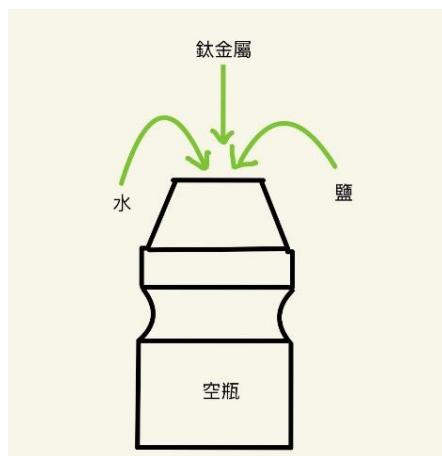
(三) 實驗(三): 測量不同電壓下，氧化鈦的電阻

1. 將鱷魚夾一端接上三用電表、另一端接上鈦金屬
2. 觀察數值，等待數值到達一個平衡，就將數值記錄下來
3. 示意圖:



#### (四) 實驗(四)：抗腐蝕性質測試

1. 將鹽和水混合製作腐蝕液
2. 將經陽極處理後5-60伏特的鈦金屬結果和正常鐵片一一放入空瓶
3. 加入鹽水至每一的瓶子中都有將整個金屬都泡到鹽水
4. 每週固定時間做觀察其腐蝕情形並紀錄其電阻變化
5. 示意圖



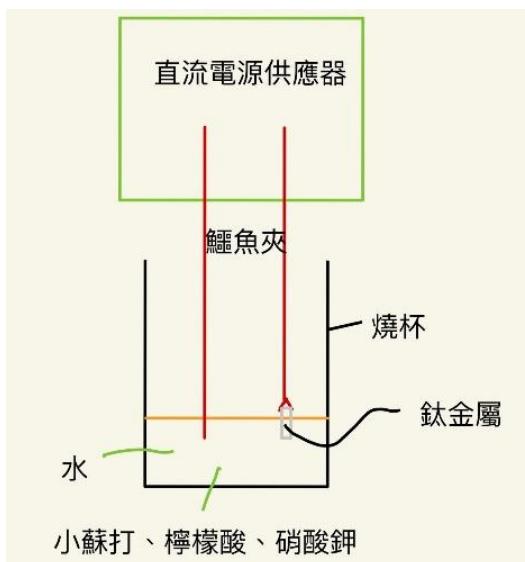
#### (五) 實驗(五)：耐酸鹼測試

1. 準備2M硫酸、2M鹽酸、1M硝酸、1M氫氧化鈉、5M氫氧化鈉。
2. 上述溶液各取5毫升滴入25毫升燒杯內
3. 將鐵片、鈦金屬、陽極處理後得的鈦片，分別放入上述溶液中，靜置30分鐘。
4. 30分鐘後，分別取出各金屬片，並用清水輕輕沖洗，去除表面溶液。
5. 記錄每種金屬片的表面變化，例如是否有腐蝕、變色、剝落等現象。



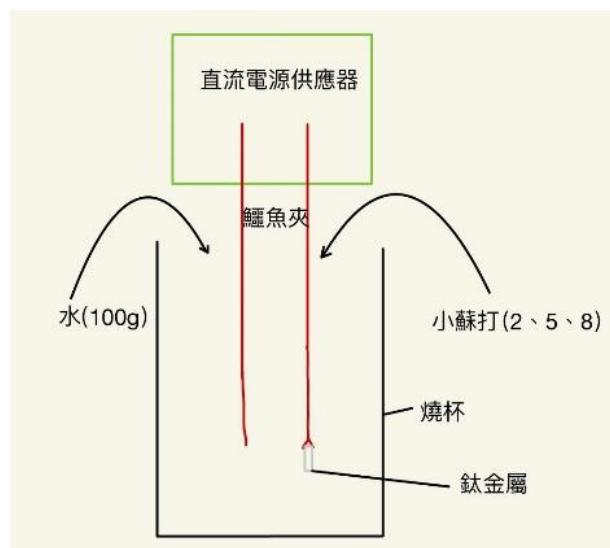
#### (六) 實驗(六)：不同電解質對鈦陽極反應的影響

1. 將小蘇打、檸檬酸、硝酸鉀各別配成電解液。溶質:水=2:100
2. 將鱷魚夾裝到直流電源供應器上並將其開機
3. 將鈦金屬夾在正極的一方並將負極的鱷魚夾放入電解液中
4. 將鈦金屬放入電解液中但切記不要讓夾著它的鱷魚夾碰到水面
5. 將直流電源供應器調整至指定的電壓以及最大電流上限
6. 按下直流電源供應器的output鍵使其開始放電
7. 等待直流電源供應器的螢幕上顯示電流為零時，將機器關閉並將鈦金屬從電解液中拿出
8. 觀察鈦金屬的變色結果並記錄
9. 示意圖:



## (七) 實驗(七): 不同濃度電解液測試

1. 先將小蘇打以100:2、100:5、100:8的比例調成3種不同的溶液
2. 將鱷魚夾裝到直流電源供應器上並將其開機
3. 將鈦金屬夾在正極的一方並將負極的鱷魚夾放入電解液中
4. 將鈦金屬放入電解液中但切記不要讓夾著它的鱷魚夾碰到水面
5. 將直流電源供應器調整至指定的電壓以及最大電流上限
6. 按下直流電源供應器的output鍵使其開始放電
7. 等待直流電源供應器的螢幕上顯示電流為零時，將機器關閉並將鈦金屬從電解液中拿出
8. 觀察鈦金屬的變色結果並記錄
9. 示意圖:



## (八) 實驗(八): 不同溫度電解液測試

1. 利用小蘇打粉調製成電解液並控制溫度分別為10°C(冰水)、20°C（室溫）、40°C、50°C、60°C和80°C(酒精燈進行加熱)
2. 利用溫度計測量電解液的溫度是否有達到指定溫度
3. 將鱷魚夾裝到直流電源供應器上並將其開機
4. 將鈦金屬夾在正極的一方，並將負極的鱷魚夾放入電解液中
5. 將鈦金屬放入電解液中，但切記不要讓夾著它的鱷魚夾碰到水面
6. 將直流電源供應器調整至指定的電壓以及最大電流上限

7. 按下直流電源供應器的output鍵使其開始放電，並定期測量電解液的溫度，以確保實驗的準確性
8. 等待直流電源供應器的螢幕上顯示電流為零時，將機器關閉並將鈦金屬從電解液中拿出
9. 將最後的結果進行比較並記錄

(九) 實驗(九)：不同形狀的鈦金屬測試

1. 實驗方法同實驗(二)，只是將圓柱狀鈦金屬換成長方形薄片鈦金屬。
2. 觀察鈦金屬的變色結果並記錄

(十) 實驗(十)：鈦金屬燃燒氧化比較

1. 直接用燃燒夾夾住鈦金屬，放在酒精燈上燃燒，使其產生氧化層。
2. 觀察鈦金屬的變色結果並記錄

## 肆、研究結果

### 一、實驗(一) 使用9v電池製作不同電壓的陽極氧化

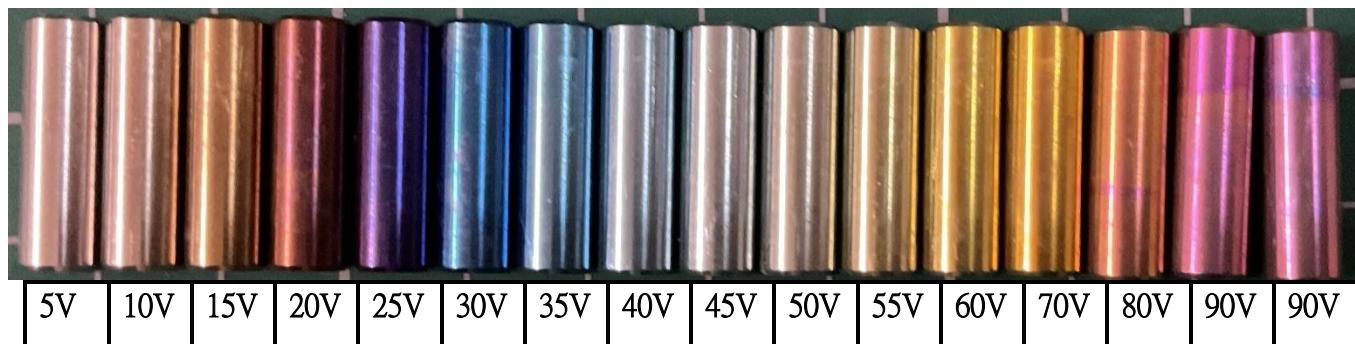


9v	18v	27v	36v	45v	54v	63v	72v	81v	90v	99v
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

我們使用9V電池，從1顆電池(9V)到11顆(99V)電池的電壓，但所有的顏色就跟9V的顏色都差不多，都是變為深淺不一的金色，不管調整什麼，都無法做到像影片的那樣做超多顏色。因此，我們採購了直流電源供應器，所以我們做了實驗二。

## 二、實驗(二) 使用電源供應器，不同電壓對鈦金屬變色的影響

實驗從電壓 5V 開始，測試間隔 5V 的色階變化



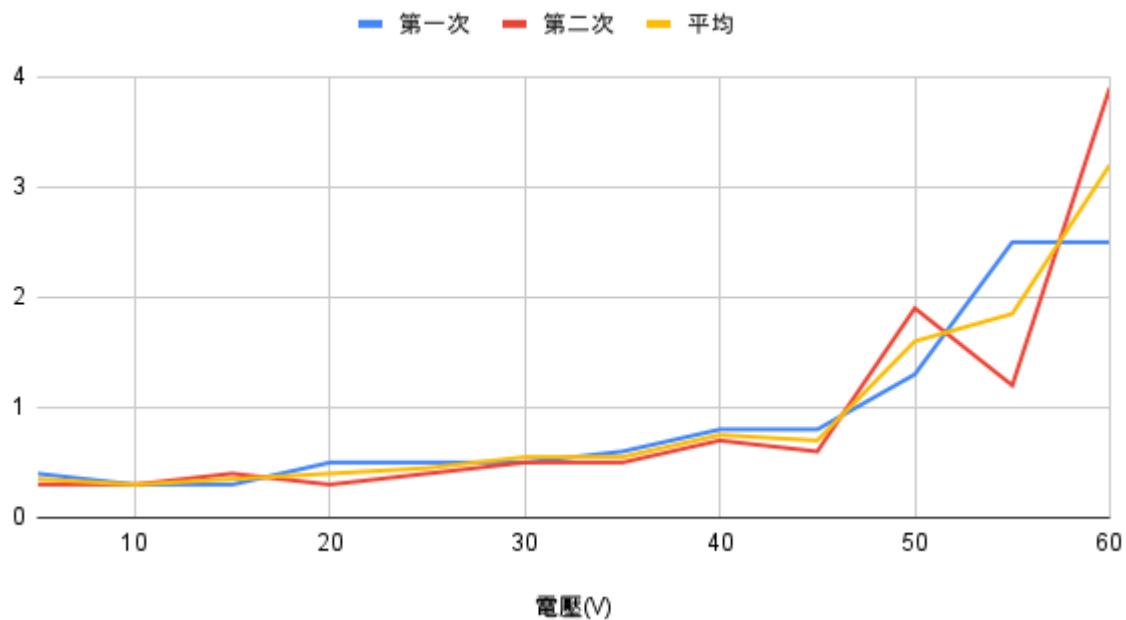
對照<https://www.ifreesite.com/color/online-color-picker.htm>網頁的色碼表後，比色結果如下：

0V :銀色	5V :銅色	10V: 暗金菊色	15V: 暗紅
20V: 海軍藍	25V: 蔚藍	30V: 淺藍色	35V: 矢車菊藍
40V:亮灰色	45V:庚斯博羅灰	50V:琥珀色	55V:含羞草黃
60V:金色	70V:橙色	80V:印度紅	90V:亮紫

## 三、實驗(三) 電阻值測量

電壓(V)	第一次(Ω、歐姆)	第二次(Ω、歐姆)	平均(Ω、歐姆)
5	0.4	0.3	0.35
10	0.3	0.3	0.3
15	0.3	0.4	0.35
20	0.5	0.3	0.4
25	0.5	0.4	0.45
30	0.6	0.5	0.55
35	0.6	0.5	0.55
40	0.8	0.7	0.75
45	0.8	0.6	0.7
50	1.3	1.9	1.6
55	2.5	1.2	1.85
60	2.5	3.9	3.2

### 不同電壓的電阻

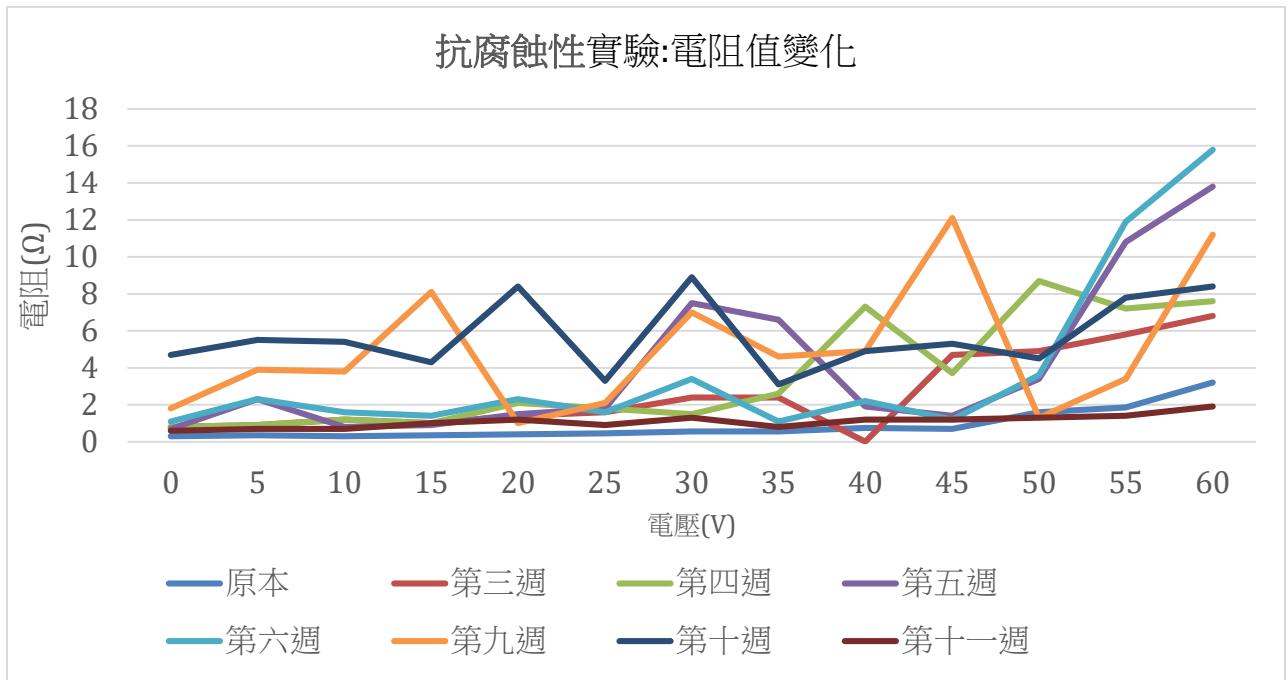


由圖表可見，隨著電壓的增加，電阻也會跟著往上走，我們推斷其原因應該是隨著氧化鈦 ( $TiO_2$ ) 層的增厚，其電阻也會增加。

#### 四、實驗(四) 抗腐蝕性質測試

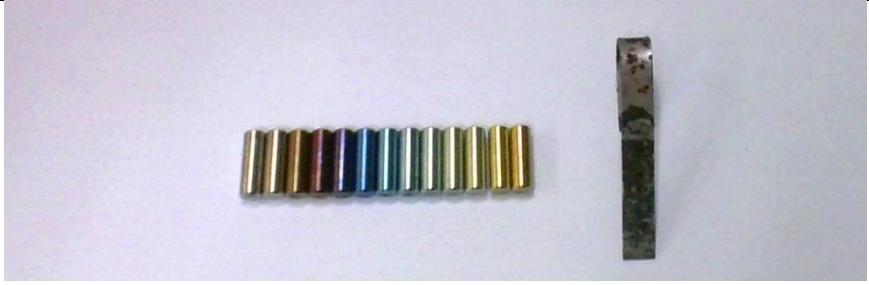
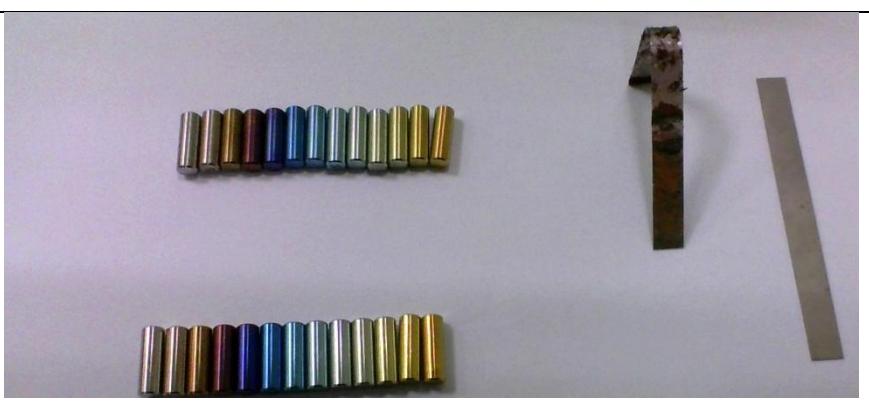
使用鹽水做抗腐蝕性質測試，從第三周後開始測量電阻值

電壓	電阻 (原本)	電阻 (第三週)	電阻 (第四週)	電阻 (第五週)	電阻 (第六週)	電阻 (第九週)	電阻 (第十週)	電阻 (第十一週)
0	0.3	0.8	0.8	0.7	1.1	1.8	4.7	0.6
5	0.35	0.9	0.9	2.3	2.3	3.9	5.5	0.7
10	0.3	1.2	1.2	0.8	1.6	3.8	5.4	0.7
15	0.35	1	1	0.9	1.4	8.1	4.3	1
20	0.4	1.4	2.1	1.5	2.3	1	8.4	1.2
25	0.45	1.6	1.8	1.8	1.6	2.1	3.3	0.9
30	0.55	2.4	1.5	7.5	3.4	7	8.9	1.3
35	0.55	2.4	2.6	6.6	1.1	4.6	3.1	0.8
40	0.75	2.6	7.3	1.9	2.2	4.9	4.9	1.2
45	0.7	4.7	3.7	1.4	1.2	12.1	5.3	1.2
50	1.6	4.9	8.7	3.4	3.6	1.3	4.5	1.3
55	1.85	5.8	7.2	10.8	11.9	3.4	7.8	1.4
60	3.2	6.8	7.6	13.8	15.8	11.2	8.4	1.9



電阻值每一週會有點變動，但變化不大，而且忽高忽低，且數值只有在0-16V之間，最後一週的量測反而數值很低，推測是電阻因為太小，量測的實驗誤差較大導致的結果。從後來的電阻值和初始值比較沒有大幅度的增加，也可以說沒有腐蝕產生。

週數	照片
第一週	
第二週	
第三週	
第四週	

第五週		
第六週		
第九週		
第十週		
第十一週		

一週後，就看出鐵開始生鏽，之後鐵生鏽越來越嚴重。而經過11週，所有的鈦金屬都沒有被腐蝕的狀況。

## 五、實驗(五) 測試其抗酸鹼能力

<p>2M鹽酸</p>  <p>2M HCl</p> <p>鐵:產生氣泡，浸泡處些微腐蝕變黑 鈦:無影響 鈦陽極氧化:無影響</p>	<p>2M硫酸</p>  <p>2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></p> <p>鐵:產生更多氣泡，浸泡處明顯變黑 鈦:無影響 鈦陽極氧化:顏色些微變淡，顏色更亮</p>	<p>1M硝酸</p>  <p>1M HNO<sub>3</sub></p> <p>鐵:硝酸溶液顏色變黃，明顯被侵蝕。 鈦:無影響 鈦陽極氧化: 顏色變淡，顏色更亮</p>
<p>1M氫氧化鈉</p>  <p>鐵:無影響 鈦:無影響 鈦陽極氧化:顏色些微變淡</p>	<p>5M氫氧化鈉</p>  <p>鐵:無影響 鈦:無影響 鈦陽極氧化:顏色變淡明顯</p>	

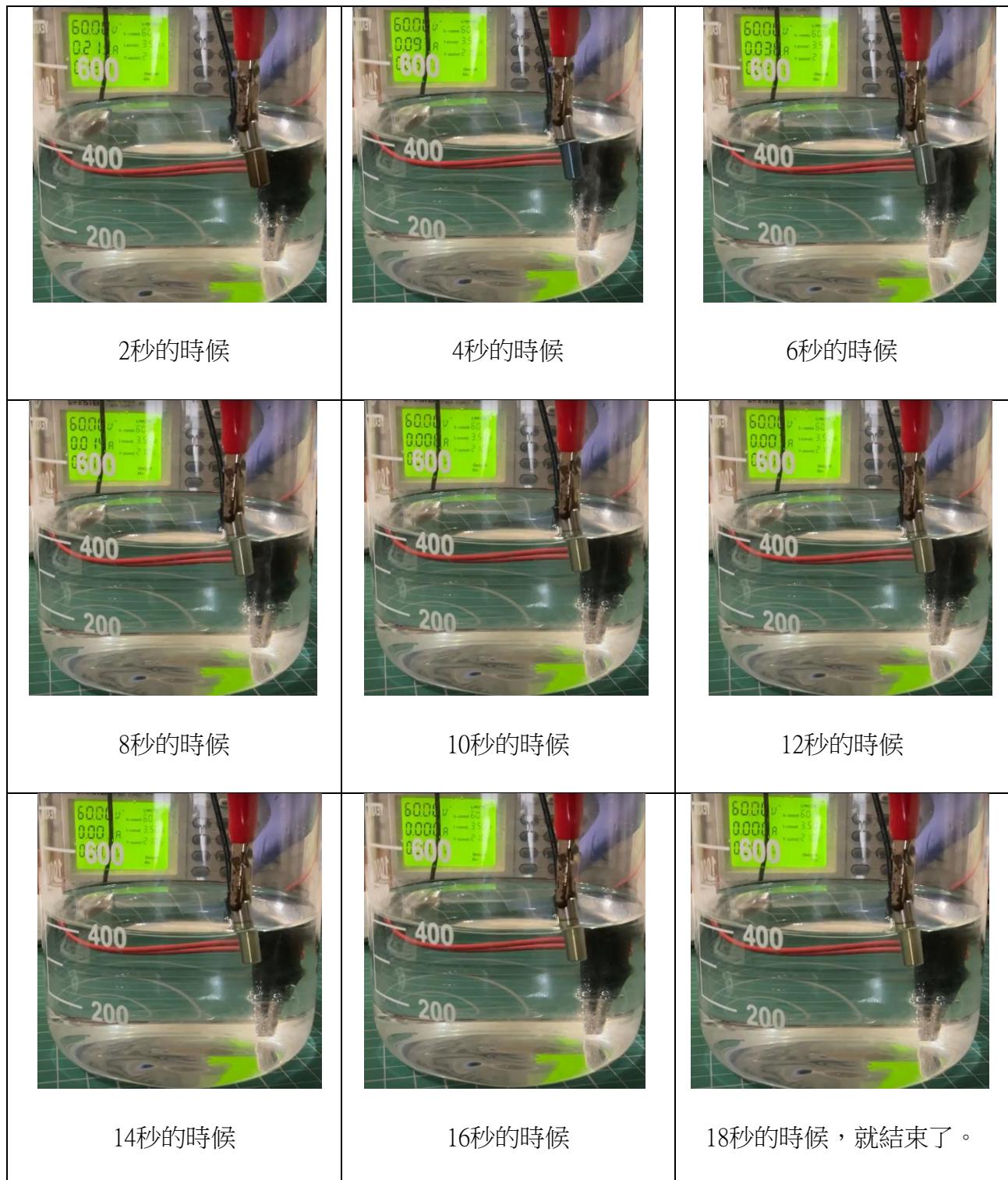
## 六、實驗(六)不同電解質對陽極反應的影響



我們發現硝酸鉀的效果很差，感覺會侵蝕鈦金屬表面，而且電流非常不穩定，造成顏色的變化也不好。而檸檬酸效果跟小蘇打粉相似，只不過60V的鈦金屬並沒有很金，而且5V~60V的鈦金屬都帶有斑點，但是它的反應時間很快，所以我們覺得小蘇打粉的效果比起前面兩者效果較好。

聯想實驗：以電解液為檸檬酸，電壓設定60V，藉由錄影看顏色變化情況。

這是檸檬酸的影片截圖：



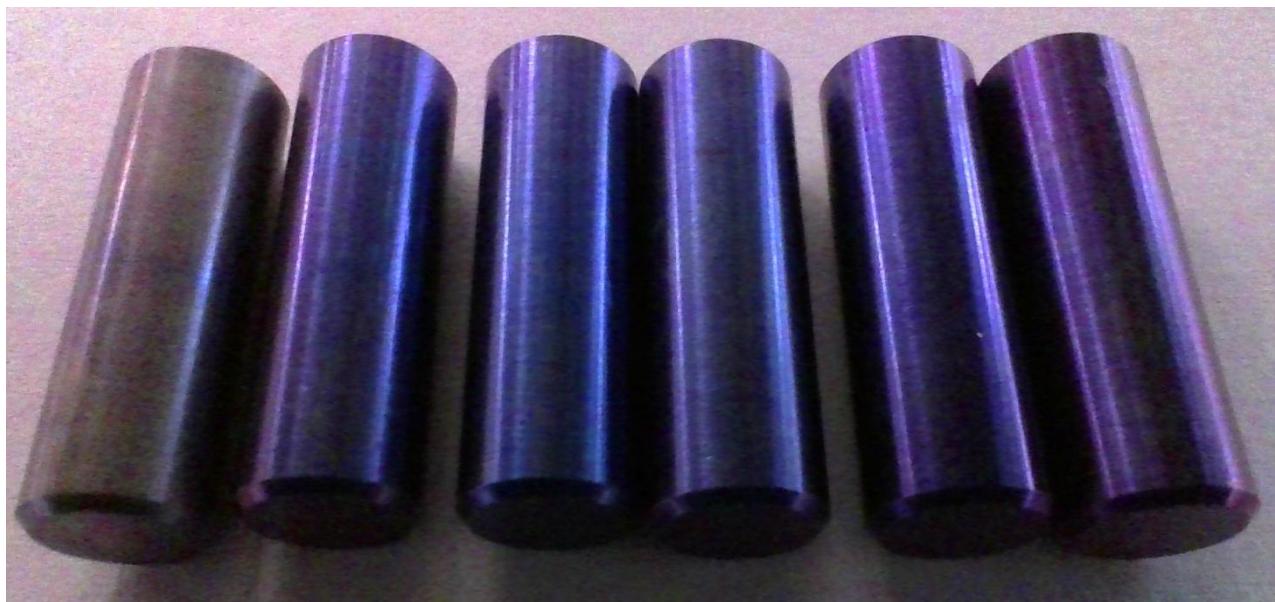
可以看到不同秒數，鈦金屬的顏色是一直在變化的，相當有趣。

## 七、實驗(七) 不同濃度電解液測試

水:小蘇打 比例	100 : 2	100 : 5	100 : 8
實驗結果 (圖片)			
實驗結果 (顏色)	深藍	深藍	深藍

最初以為不同的電解質濃度會影響顏色的變化或是顏色更亮麗，但實驗後發現不同比例電解質不會影響到顏色，所以我們還是使用100:2的比例。

## 八、實驗(八) 測試不同溫度對陽極氧化的不同



80°C	60°C	50°C	40°C	20°C	10°C
------	------	------	------	------	------

80°C時，反應很劇烈，電流很大，顏色很不均勻。

10~20°C的變色效果最好，電流也比較小。

## 九、不同形狀鈦金屬



我們發現不同形狀的鈦金屬對陽極氧化的反應結果竟然不一樣。圓柱狀的鈦有預先拋光處理，顏色也較光亮；長方形片狀沒有拋光處理，顏色就較暗。

## 十、鈦金屬燃燒氧化比較



燃燒法 陽極氧化法

燃燒法 原本的鈦金屬

用燃燒法的方式，很不均勻，且顏色會有好幾種，無法控制。

用陽極氧化法的方式，顏色均勻，效果很好。

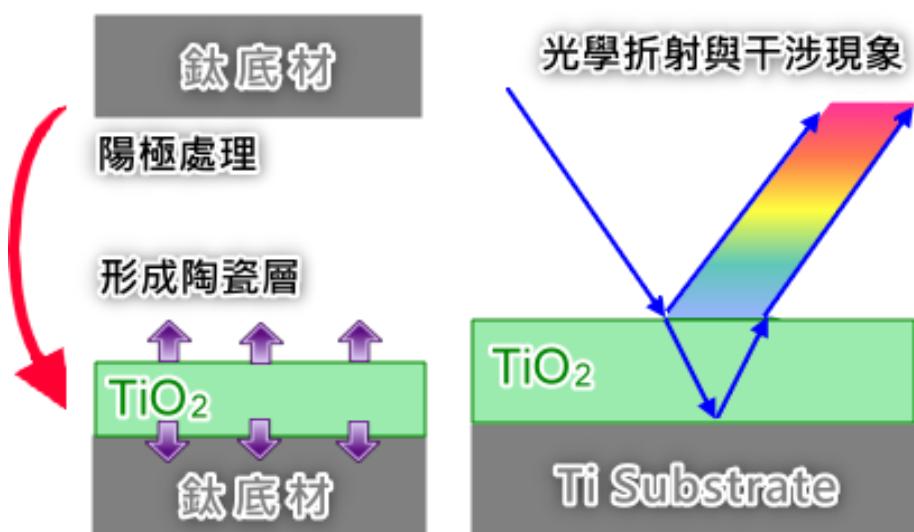
## 伍、討論

### 一、實驗一：探討為何用電池串聯的效果很差？

在一開始做實驗時，因為我們所觀看的影片中都使用9V電池來提供電源，但經過實驗後我們發現結果不如理想，覺得可能原因為9V電池即使串聯，也可能因為電壓不穩定或總電壓不夠高，導致氧化層的厚度只對應到金色範圍，以及9V電池的內阻較高，無法提供足夠的穩定電流。電流不足可能影響氧化膜的均勻度，導致顏色無法變化多樣。因此我們改用直流電源供應器來讓做實驗，可以有穩定的電壓與電流，讓氧化層的生長更均勻，產生的顏色更一致。另外，之前我們也在負極的那一邊夾上一個用來導電的鐵片，不過經過實驗我們發現，直接將鱸魚夾整個夾子放進溶液中，不單可以減少電阻，還可以使實驗後的結果效果更好。

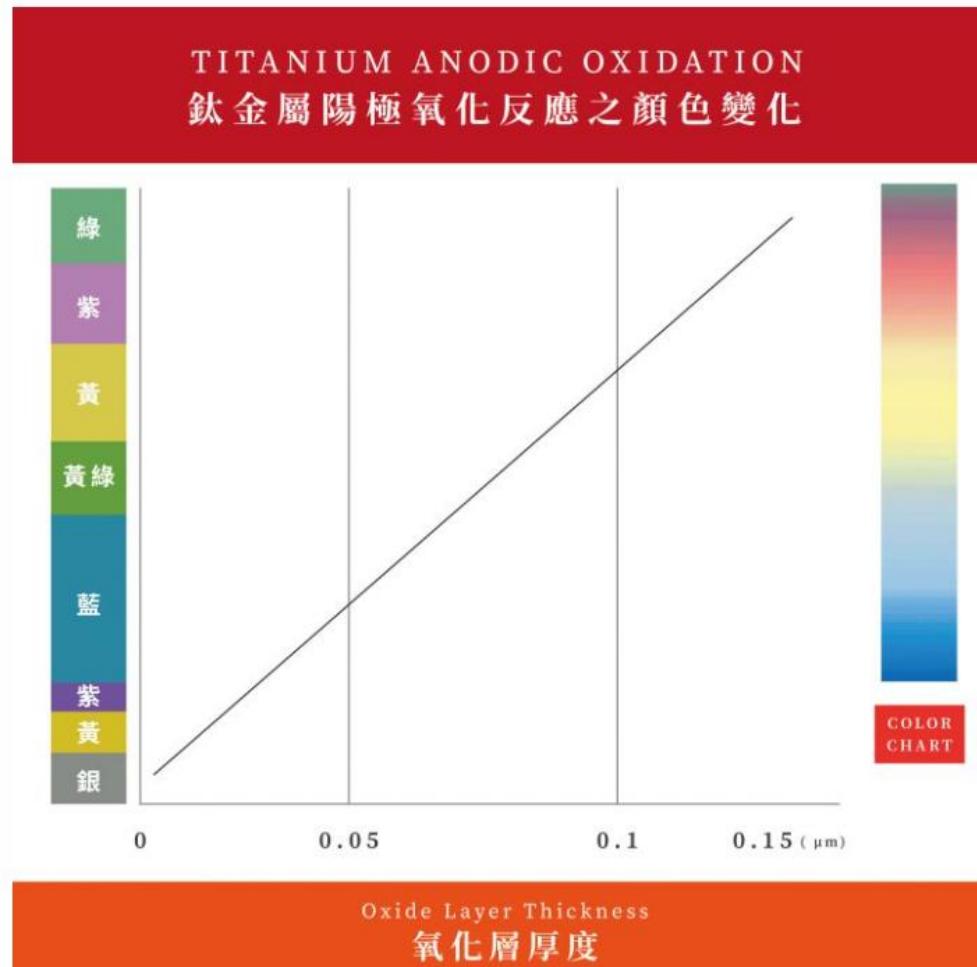
### 二、實驗二&三：改變電壓對鈦金屬變色之影響（直流電源供應器）

1. 鈦金屬的顏色會因為直流電源供應器所供應的電壓不同改變其顏色顯示。其變色原理經查詢資料<http://www.ecotechs.com.tw/technologies.html#tie>得知，鈦金屬表面的彩色澤是利用鈦陽極發色技術在底材表面形成透明氧化膜，光線經不同膜厚及表面粗糙度的干射、繞射，吸收可見光波長（400~700nm）反射出不同互補色而改變鈦合金表面在視覺上呈現之顏色。且只要有5nm(奈米)左右的氧化層厚度差就會發生不同的顏色變化。



圖片來源: <http://www.ecotechs.com.tw/technologies.html#tie>

2. 鈦金屬會因為其表面不同厚度氧化層與光的干涉而呈現不同的顏色。查詢資料<https://www.titan-innovation.com/ticolour/> 可以得知氧化層厚度大概在0~150奈米之間。



圖片來源: <https://www.titan-innovation.com/ticolour/>

3. 變色後鈦金屬的電阻會隨著製作過程中電壓的上升而增加，但差異不大，電阻都在0~4歐姆之間，都算是很小的電阻。測量時，數值不穩會一直跳動，推論是陽極氧化處理後的氧化層很薄且厚薄度不夠均勻所致。

4. 特定的電壓所製成的鈦金屬會有特定的顏色。

5. 在實驗過程中，一開始電流很大，後來就持續減小，最後變成零，反應停止。推測是當氧化層( $TiO_2$ )形成後，阻隔了電流，推測此氧化層有絕緣效果。但是在後來量測電阻時，電阻卻很小，表示應該可以導電，我們用燈泡接電池測試，結果的確可以導電，這個和原本電流減小到零似乎有所衝突。我們推測是實驗後的氧化膜並非完全均勻，某些區域較薄，則可能仍有部分導電的鈦基材裸露(肉眼看不見)，這些區域可以提供導電路徑，使測量的電阻值變小，甚至讓燈泡發亮。

### 三、實驗四：檢測鈦金屬的抗腐蝕性質

- 1.鈦金屬的抗腐蝕性極佳，比起一週後就已經開始生鏽的鐵，鈦金屬經過泡在濃鹽水11週後，看上去都完好無損，而且，和沒泡過鹽水的鈦金屬比較後也發現其實兩者幾乎一模一樣，可見鈦金屬的抗腐蝕性極高。無論是哪一個電壓處理後的鈦金屬，都有一樣好的抗腐蝕性質。
- 2.最後的鈦金屬符合我們預期，因為鈦金屬上有堅固的氧化膜，可以保護鈦金屬不受鹽水的干擾而腐蝕，而在最後一週鈦金屬都沒有被腐蝕，符合鈦金屬不易腐蝕的預期。

### 四、實驗五：抗酸鹼實驗

- 1.鐵金屬抗酸性很弱，鹽酸、硫酸、硝酸都有發生反應，其中硝酸對鐵的侵蝕最嚴重。而抗鹼能力很好，沒有反應。
- 2.鈦金屬抗酸鹼性極佳，全部都沒有反應。
- 3.鈦陽極氧化處理後，抗鹽酸能力良好，而硫酸、硝酸會使得氧化層顏色更亮，推測是把表面髒污洗掉，對於美觀性是加分。抗鹼性能力較差，浸泡在5M氫氧化鈉之下，顏色淡化明顯，較不美觀。

### 五、實驗六：利用不同的電解質調製而成的電解液對鈦金屬變色之影響

- 1.利用硝酸鉀所調製的電解液效果不佳，因為過程中直流電源供應器的螢幕上所顯示的電流一直無法降下來，再加上過程中鈦金屬的表面變得粗糙不光滑，而且最後的鈦金屬不管使用的電壓大小如何，結果都很相似，完全沒有色階的變化，所以效果不佳。
- 2.利用檸檬酸所調製的電解液變色的效果跟小蘇打粉的一樣有色階的變化，只是利用檸檬酸的電解液進行的鈦金屬比起用小蘇打粉所做的顏色較淡也較不明顯，但是用檸檬酸所調製的電解液比起其他兩者，它的變色速度是最快的。
- 3.經過實驗後，我們發現利用小蘇打粉進行實驗的鈦金屬在和其餘兩者比較後，它的結果平均都比兩者好，像是在變色後的顏色色彩飽和度、鈦金屬的變色程度以及實驗過程的電流穩定性等，所以我們認為小蘇打粉的效果勝於檸檬酸與硝酸鉀。
- 4.突發奇想，在60V的電壓下，我們用錄影的方式，之後用慢速撥放，發現鈦金屬陽極氧化過程中，陽極氧化後鈦金屬上的顏色不會一次成型，會隨著氧化層的堆疊而形成最終的結果。

## 實驗七：改變調製電解液的比例對鈦金屬變色之影響

1.改變電解液的調製比例對鈦金屬的變色無太大的影響，實際顏色差不多。

2.以100:2的比例調製而成的電解液效果跟其他兩者比起來效果常相似，而且以100:2所調製而成的電解液所使用的小蘇打粉份量較少，也代表著又省材料效果也很好，因此我們選擇使用比例是100:2的電解液進行接下來的實驗。

## 六、實驗八：改變溫度對鈦金屬變色之影響

1.低溫（10~20°C）：氧化層生長速度較慢，氧化膜較薄且致密，顏色均勻。

2.中溫（30~50°C）：氧化速率提高，氧化膜厚度增加，整體顏色差異稍大。

3.高溫（60~80°C）：氧化速率顯著提升，但膜層容易變得粗糙、不均勻，可能導致過度氧化，顏色變化不均，影響光干涉效果，使表面顏色變得不佳。

## 七、實驗九：改變不同形狀的鈦金屬

1.鈦金屬在圓柱狀時，顏色較鮮艷，推測是和原本鈦圓柱有先經過拋光處理，表面很光亮有關。從幾何形狀來看，柱體表面曲率變化大，可能導致氧化速度有差異，讓顏色有所深淺不一。

2.鈦金屬在長方形片狀時，顏色較暗沉，推測是和原本鈦片就比較沒有表面磨光亮有關。從幾何形狀來看，平面形狀使電場在整個表面較為均勻，陽極氧化後的膜層厚度應該較一致。但邊角處可能表現較差。

## 八、實驗十：鈦金屬燃燒氧化比較

利用燃燒的方式所製作出的鈦金屬顏色會因為受熱的位置不同而產生顏色不均勻的分布，再加上燃燒過程中火無法精準控置溫度，所以變色效果沒有鈦陽極氧化好，無法精準控制要甚麼顏色以及顏色的均勻度。

## 陸、結論

- 一、使用直流電源供應器控制電壓穩定，鈦陽極氧化效果良好，顏色豐富令人驚艷。
- 二、隨著電壓增加，氧化鈦膜層會增厚，但是厚度僅有0~150奈米之間，因此電阻影響不大，電阻範圍僅有0~4歐姆。
- 三、陽極氧化實驗時，當氧化層( $TiO_2$ )形成後，阻隔了電流，推測此氧化層有絕緣效果。但因為氧化層很薄且可能有縫隙，因此之後還是可以導電。
- 四、電解質使用小蘇打的效果較好。比例 小蘇打:水=2:100即可，小蘇打水溶液濃度增加對效果沒有影響。
- 五、電阻會隨著電壓的增加，隨之增加。
- 六、鈦金屬的抗腐蝕性非常好，不管有沒有經過陽極處理，都能很好的保留原有的樣子。
- 七、鈦陽極氧化處理後，抗鹽酸能力良好，而硫酸、硝酸會使得氧化層顏色更亮，對於美觀性是加分。抗鹼性能力較差，浸泡在5M氫氧化鈉之下，顏色淡化明顯。
- 八、對於顏色的均勻度來看，電解液在低溫（10~20°C）下，氧化層生長速度較慢，氧化膜較薄且致密，顏色均勻。
- 九、圓柱狀的鈦金屬顏色較飽滿，鮮豔，和有預先拋光處理有關。
- 十、陽極氧化法的效果比燃燒法好很多，顏色可以控制，且顏色均勻度優秀。

### 未來期望：

- 1.在未來我們希望我們能做出鈦金屬的漸層，因為我們現在只能做到色塊，如果能做出色階，那也會是一個非常大的突破。
- 2.除了現在了變色，我們也希望能做到應用，就比如比那些用烤漆、噴漆的餐具用陽極反應的方式將他上色。
- 3.對於鈦金屬的前處理和後處理也可以研究，看對顏色的美觀能否加分。
- 4.思考如何讓形成的氧化層可以更加緻密，增加絕緣性。又或者其實是形成半導體結構，因此之後可以導電，值得我們繼續探討下去。

## 柒、參考文獻資料

1. 電池就能做！變色鈦餐具在家DIY！陽極處理的各種玩法。

取自<https://www.youtube.com/watch?v=cOzO9YrgI64>

2. 鈦(Ti) 材料物性化性資料，2016年3月3日。

取自<https://www.lorric.com/tw/Articles/Material/metal/material-chemical-resistance-chart-Ti>

3. 了解鈦金屬的價值，鈦合金優缺點，2021 年1月7日。

取自<https://www.keithti.com.tw/blogs/news/61042>

4. 鈦陽極發射處理，鴻君科技。取自<https://www.hc-bios.com/technology.asp?id=12>

5. 鈦陽極發色。取自<http://www.ecotechs.com.tw/technologies.html#tie>

6. 鈦金屬陽極氧化之顏色變化。取自<https://www.titan-innovation.com/ticolour/>