

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：國中組

作品名稱：「鈦」度分明

關 鍵 詞：鈦金屬、氧化層、磨損程度

編 號：**115JB-A002**

摘要

鈦金屬因為其質量輕、高強度、耐腐蝕及生物相容性等特性而廣泛運用於航空、醫療、電子的方面。但也因為其在經過電化學處理(陽極氧化)後,可在表面形成一層氧化鈦層(此層太薄被稱為氧化層),而隨著改變陽極氧化過程中所輸出的電壓或是電流等因素來使生成的氧化層厚度有所不同,進而使其厚度因光的折射而行成多樣的顏色,進而利用這個特性來使物品更好辨識(顏色區分)或是利用其顏色的規律來檢測及是否增到磨損(固定厚度有固定顏色)。此外,其抗腐蝕能力也不差,在弱鹼和強鹼極強酸的浸泡結果也有明顯差異,但經過檢驗,其在鹼性環境中較在酸性環境中穩定,但整體強度大於一般常見之金屬。

壹、前言

一、研究動機

在經過超過一年的探討及研究,我們做出了許多不同的變色實驗,但卻缺乏了這些鈦金屬特性在生活上的應用,而我們發現鈦金屬在經陽極氧化後所形成的氧化層在固定厚度下會折射出固定顏色,因此可以利用它的此特性來檢驗鈦金屬是否可以用來檢測鈦金屬在使用後是否有磨損或需要更換,來進行對鈦金屬應用的延伸探究。

二、研究目的

- (1)探討不同電壓對鈦陽極氧化的影響(顏色、電阻)
- (2)探討不同電解質對鈦陽極氧化的影響
- (3)探討不同電解質濃度對鈦陽極氧化的影響
- (4)探討不同溫度的電解質對鈦陽極氧化的影響
- (5)探討不同厚度氧化鈦的抗腐蝕性
- (6)探討氧化鈦的耐酸鹼性
- (7)探討燃燒法與陽極氧化法的差異性
- (8)探討鈦金屬氧化層是否具有定性
- (9)探討鈦金屬是否可以檢驗磨損程度

三、文獻探討

(1) 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>)

(2) 為什麼鈦金屬適合做餐具?

鈦合金具有輕量、高強度、耐腐蝕與耐高溫等多種優點，因此常被應用於航太、國防與高階製造產業。鈦的密度接近鋁，但其強度可達到甚至超過許多鋼材，因此在需要減輕重量同時維持高強度的結構中具有重要價值。鈦合金表面會自然形成一層穩定的氧化膜，此氧化層能有效提升材料的耐腐蝕能力，使其能在海水、化學環境或醫療環境中長期使用。鍛造能使金屬內部的晶粒與纖維流向沿著零件形狀排列，進而提升材料的疲勞壽命、衝擊韌性與結構可靠度。相較於鑄造或完全切削加工，鍛造件通常具有較高的材料一致性與較低的內部缺陷風險，因此在航太與高可靠度零件製造中更常被採用。

(取自 <https://www.pinda.com.tw/news-detail/165/>)

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、硫酸、氫氧化鈉	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、膜厚測量儀、砂紙、量筒、三腳架、酒精燈、不鏽鋼試管夾

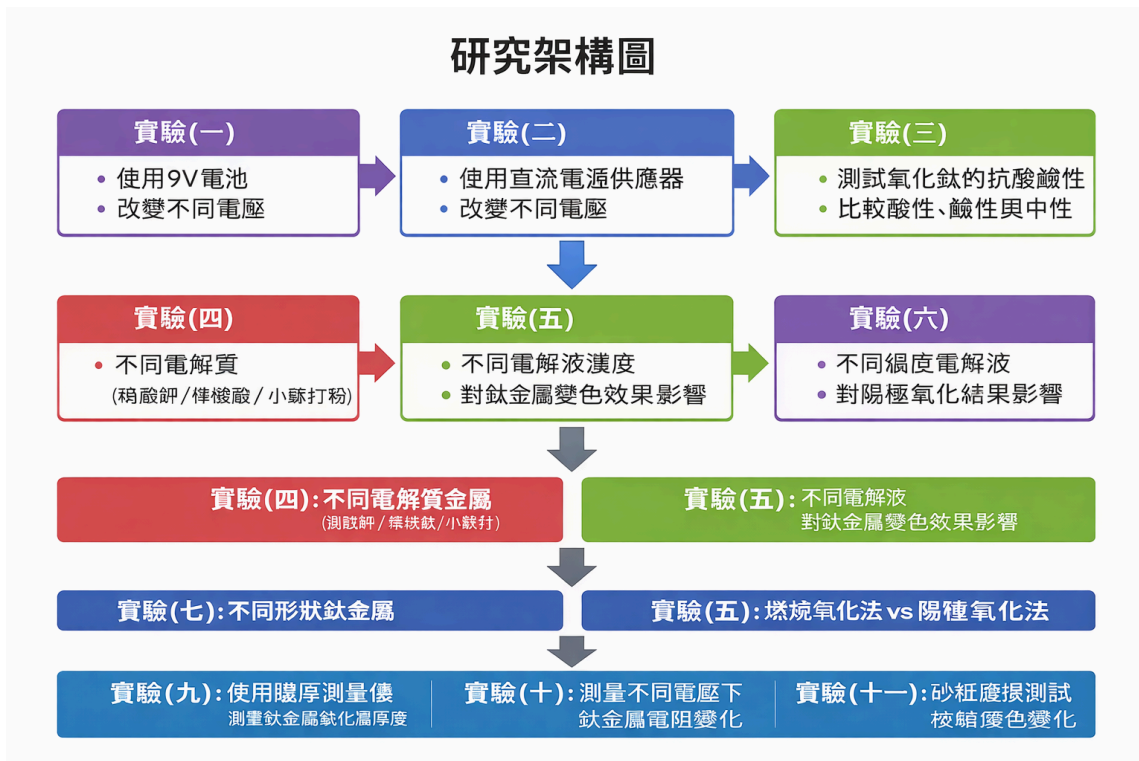
鈦金屬	小蘇打粉	砂紙
		
硝酸鉀	檸檬酸	鹽巴
		
硫酸	氫氧化鈉	直流電源供應器
		
燒杯	鱷魚夾	電子秤
		
溫度計	三用電表	檸檬酸
		

膜厚測量儀	陶瓷纖維網	量筒
		
不鏽鋼試管夾	酒精燈	三腳架
		

(以上圖片來源:網路)

參、研究過程與方法

1、 研究架構圖



2、研究方法

(1) 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(全部沒入溶液中)
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
6. 將電池進行串連來使電壓增加, 進而改變其變色效果(電壓分別為9v,18v...99v)
7. 將最後結果進行彙整及記錄

(2) 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(反應結束), 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. 改變機器輸出的電壓, 進而改變變色效果(電壓分別為0v,5v...60v,70v,80v,90v)
10. 觀察並記錄鈦金屬特定電壓之顏色變化

(3) 實驗(三):抗酸鹼性質測試

1. 分別利用不同酸鹼值的物質例如氫氧化鈉、硫酸、硝酸鉀及鹽巴等物質與水混合來分別調配出鹼性、酸性、中性的溶液(除了鹽水溶液分別調配出濃度為1M、2M或3M的溶液)
2. 分別將20v、40v、60v鈦金屬浸泡於氫氧化鈉溶液中, 而的鈦金屬浸泡於硫酸溶液中, 而將鐵片及0v~90v鈦金屬浸泡在其中
3. 以浸泡的第一天開始為第一週第一天並觀察鈦金屬隨時間增加的顏色及狀態變化
4. 定期測量鈦金屬的電阻以觀察其氧化層厚度之變化(如:鹼性及酸性溶液在第五週進行測量而中性溶液每隔一週定期測量)
5. 觀察並將所觀測的結果並彙整成圖表及表格

(4) 實驗(四):不同電解質對陽極反應的影響

1. 分別使用小蘇打粉(原電解質)、硝酸鉀、及檸檬酸等電解質來調配出不同種類的電解液
2. 利用直流電源供應器測試不同種類電解液對鈦金屬變色之影響(直流電源供應器使用步驟請參照實驗(二))
3. 改變不同電壓來使在不同電解液下反應的鈦金屬呈現色階變化
4. 觀察、記錄實驗結果並比對三者之間的差異

(5) 實驗(五):不同濃度電解液測試

1. 分別以水與小蘇打粉的比為100:2、100:5、100:8的電解液
2. 利用直流電源供應器測試不同電解液濃度對鈦金屬變色之影響(直流電源供應器使用步驟請參照實驗(二))
3. 將電壓調至20v以固定確保不同濃度鈦金屬間比較的一致性
4. 觀察、紀錄實驗結果並比對三者之間的差異

(6) 實驗(六):測試不同溫度對陽極氧化的影響

1. 分別以小蘇打與水的比為100:2的電解液共六杯, 並將其進行加熱
2. 分別將這六杯電解液加熱至80°C、60°C、50°C、40°C、20°C、10°C
3. 將這六杯電解液與鈦金屬進行陽極氧化反應(電壓調至20v)

(7) 實驗(七):鈦金屬燃燒氧化比較

1. 取兩個皆為不經過處理的鈦金屬將其中一個利用酒精燈進行燃燒
2. 讓鈦金屬進行然一段時間後將其遠離火源
3. 觀察、紀錄實驗結果並比較利用燃燒法製作的鈦金屬和原鈦金屬及利用陽極氧化法製作的鈦金屬(顏色與燃燒法鈦金屬最相近者)

(8) 實驗(八):利用膜厚測量儀測量鈦金屬膜厚

1. 將膜厚測量儀開機並開始測量鈦金屬的氧化層膜厚
2. 將膜厚測量儀的的尖端羽鈦金屬表面接觸, 使膜厚測量儀開始測量鈦金屬之氧化層厚度
3. 觀察儀器上之數值變化並記錄鈦金屬之氧化層厚度
4. 將所得到之資料彙整成表格及圖表

(9) 實驗(九):電阻值測量

1. 將鱷魚夾裝到直流電源供應器上並將其開機

2. 將正極及負極之鱷魚夾同時夾在鈦金屬的兩端
3. 調整直流電源供應器之電壓分別至1v、2v、3v來檢驗鈦金屬再給予不同電壓時其電阻的一致性
4. 將直流電源供應器上所顯示之數值並將其帶入公式電流除以電阻等於電阻並將這些數值機記錄下來
5. 將這些數著彙整成表格及圖表

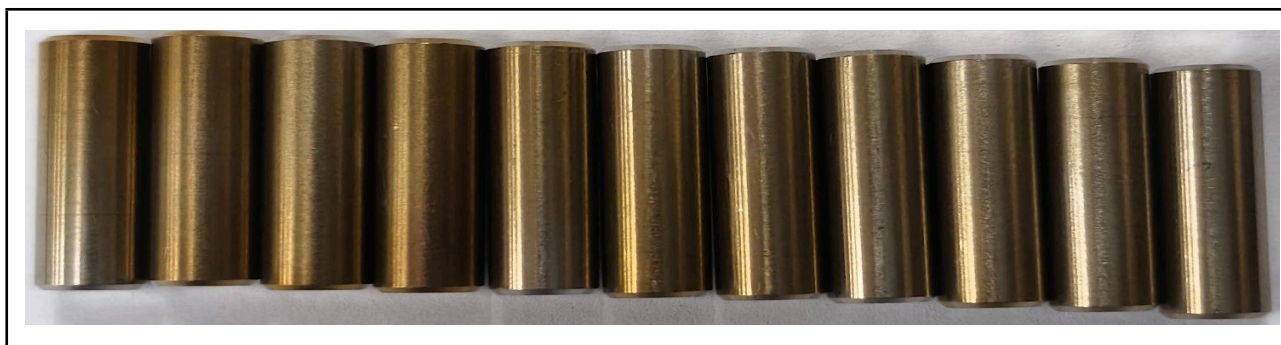
(10) 實驗(十):利用砂紙檢驗鈦金屬的磨損程度顏色差異

1. 取其顏色較為明顯之鈦金屬將其與一萬目之砂紙進行摩擦
2. 將鈦金屬表面之顏色變化進行觀察及紀錄並比較其與原本未經摩擦處之鈦金屬之差異

肆、研究結果

(以下內容所有圖片皆為自行拍攝)

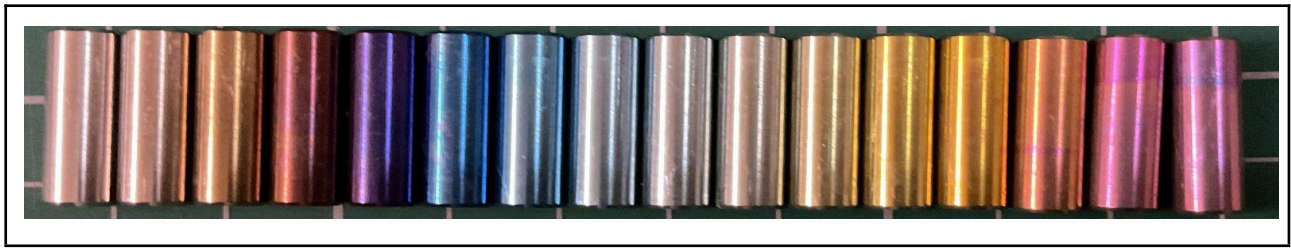
1、實驗(一)使用9v電池製作不同電壓的陽極氧化



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

我們使用9v電池使鈦金屬進行陽極氧化，從1顆電池(9v)一直串連到11顆電池(11v)，而結果顯示出不管電壓如何鈦金屬的顏色都無差別，且表面的棕色顏色深淺分布不均，無法達到期望的多樣顏色，推測是9v電池的電壓及電流會隨使用時間而減弱，因此我們改使用了直流電源供應器，並做了實驗二。

2、實驗(二)使用電源供應器，不同電壓對鈦金屬變色的影響



0v	5v	10v	15v	20v	25v	30v	35v	40v	45v	50v	55v	60v	70v	80v	90v
----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

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

我們使用直流電源供應器使鈦金屬進行陽極氧化，調整電壓由0至60，而結果顯示鈦金屬的顏色會因給出的不同電壓而呈現不同的顏色，且給出的固定電壓也會使鈦金屬呈現出對應的固定顏色，因此我們可以用來進行延伸的應用。

3、實驗(三)抗腐蝕性質測試

鹽水(中性):

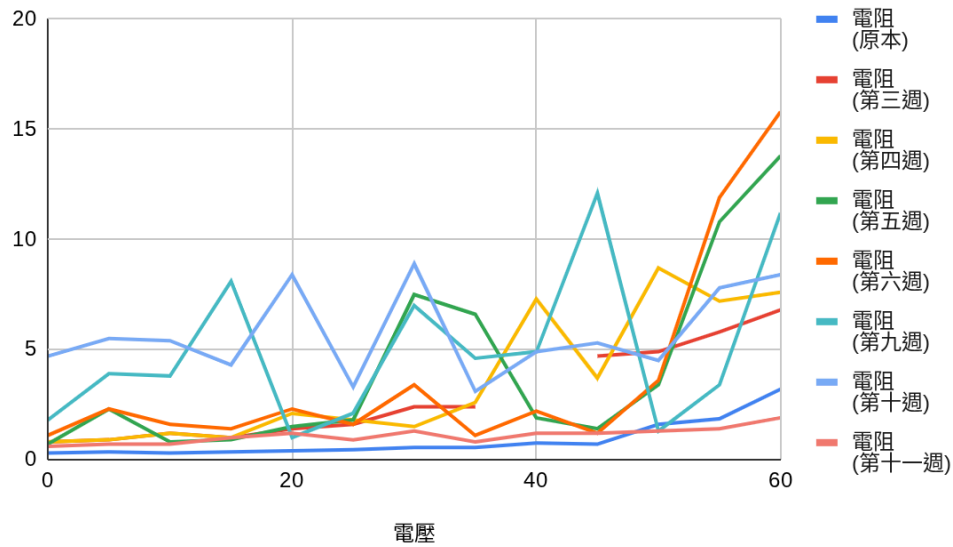
電阻變化:

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


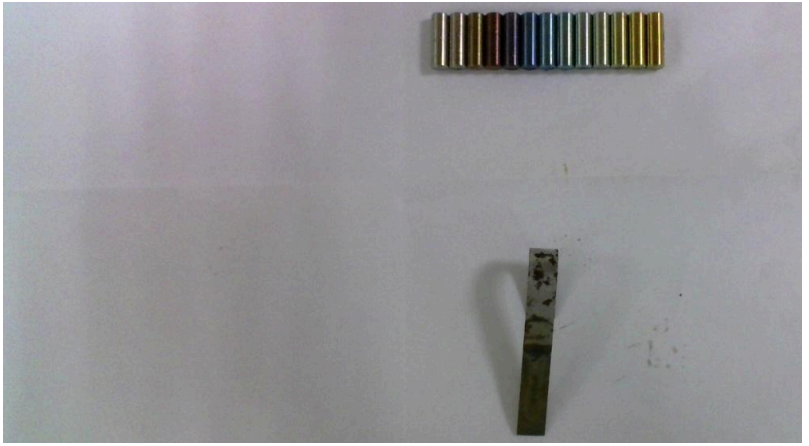
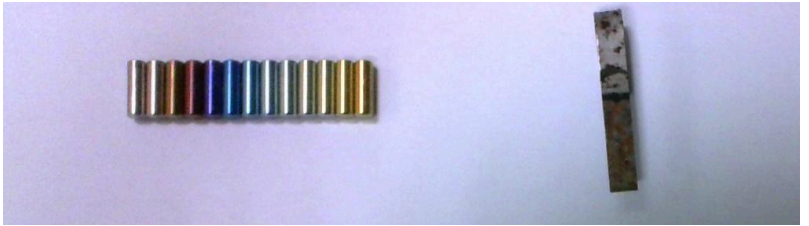
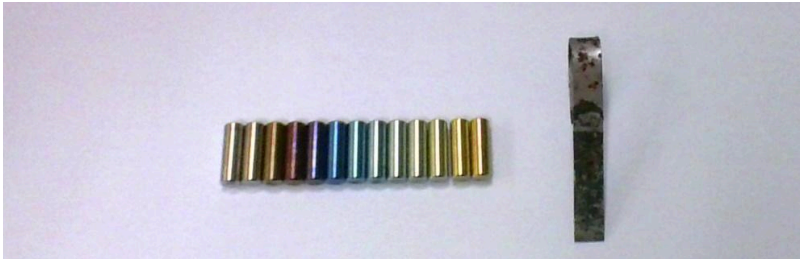
40	0.75	2,6	7.3	1.9	2.2	4.9	4.9	1.2
45	0.7	4.7	3.7	1.4	1.2	12.1	5.3	1.2
50	1.6	4.9	8.7	3.4	3.6	1.3	4.5	1.3
55	1.85	5.8	7.2	10.8	11.9	3.4	7.8	1.4
60	3.2	6.8	7.6	13.8	15.8	11.2	8.4	1.9


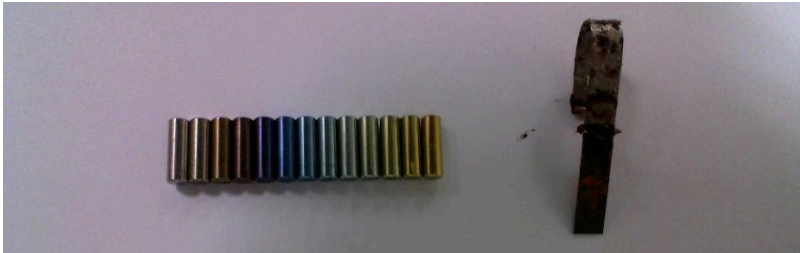
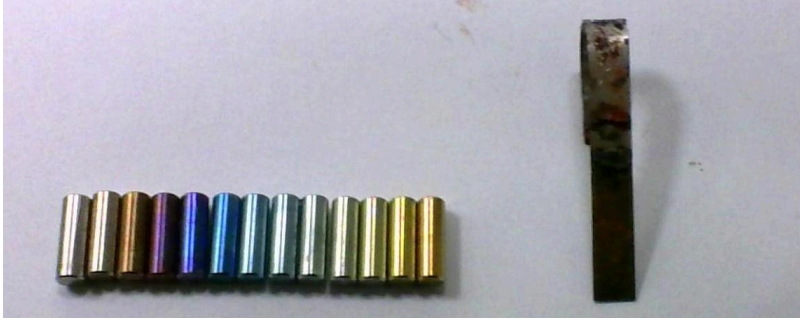
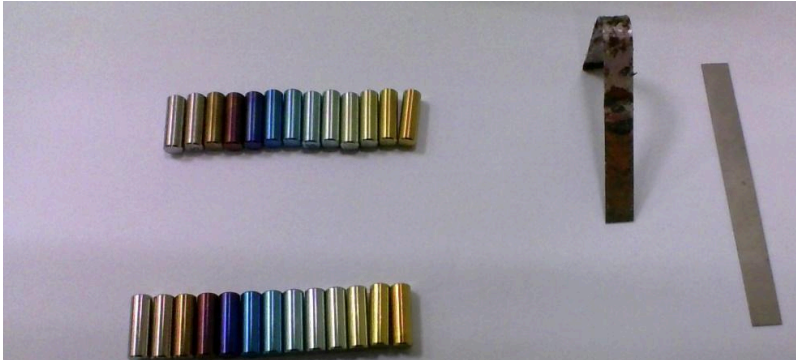
圖表:

抗酸鹼實驗(鹽水):



週數	照片
第一週	







<p>第二週</p>	
<p>第三週</p>	
<p>第四週</p>	
<p>第五週</p>	



















第六週	
第九週	<p>Y·</p> 
第十週	
第十一週	

氫氧化鈉(鹼性):

20v:

週、天數	照片
第一週:	

第一天						
第二天						
第三天						
第六天						
第七天						
第二週:						
第三天						

	1M	對照	2M	對照	3M	對照
第七天						
	1M	對照	2M	對照	3M	對照
第三週:						
第一天						
	1M	對照	2M	對照	3M	對照
第二天						
	1M	對照	2M	對照	3M	對照

第五週第一天:

	1M	2M	3M
電壓	0.79	0.58	0.59
電流	3500	3500	3500
電阻	0.0002257142857	0.0001657142857	0.0001685714286

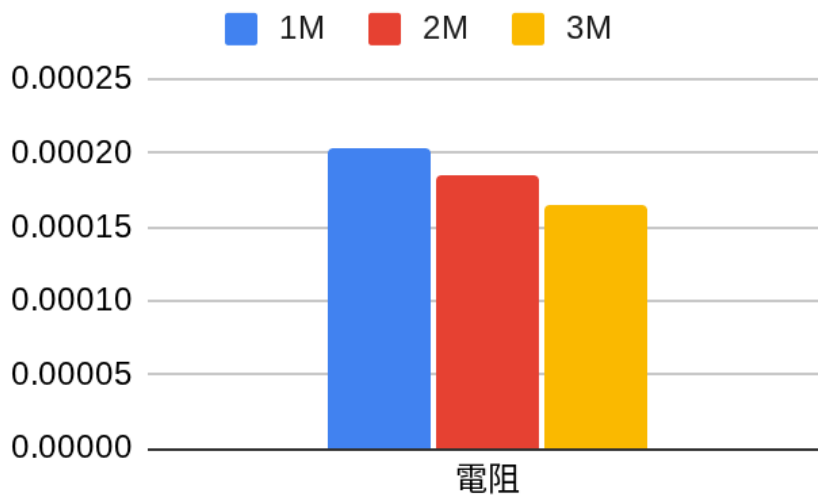
第五週第三天:

	1M	2M	3M
電壓	0.71	0.65	0.58
電流	3500	3500	3500
電阻	0.0002028571429	0.0001857142857	0.0001657142857


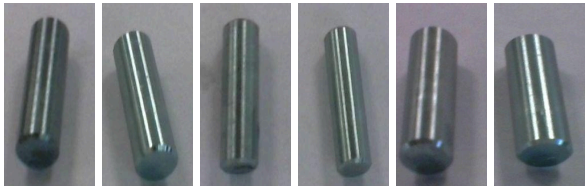
平均:



















第五週第一天	1M	2M	3M
電阻	0.0002257142857	0.0001657142857	0.0001685714286
第五週第三天	1M	2M	3M
電阻	0.0002028571429	0.0001857142857	0.0001657142857
平均	0.0002142857143	0.0001757142857	0.0001671428571

圖表:

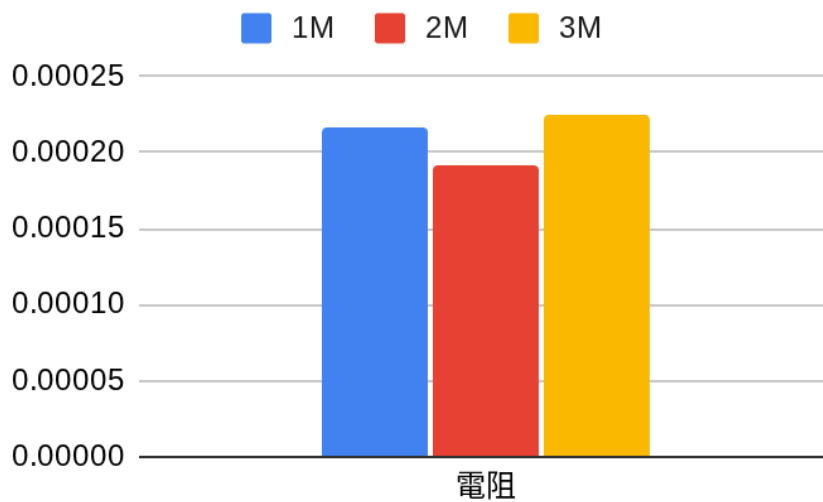


40v:

週、天數	照片						
第一週:							
第二天	 <table border="1" data-bbox="331 1601 917 1668"> <tr> <td>1M</td> <td>對照</td> <td>2M</td> <td>對照</td> <td>3M</td> <td>對照</td> </tr> </table>	1M	對照	2M	對照	3M	對照
1M	對照	2M	對照	3M	對照		
第三天	 <table border="1" data-bbox="331 1928 917 1995"> <tr> <td>1M</td> <td>對照</td> <td>2M</td> <td>對照</td> <td>3M</td> <td>對照</td> </tr> </table>	1M	對照	2M	對照	3M	對照
1M	對照	2M	對照	3M	對照		





第七天						
	1M	對照	2M	對照	3M	對照
第二週:						
第一天						
	1M	對照	2M	對照	3M	對照
第二天						
	1M	對照	2M	對照	3M	對照

圖表:

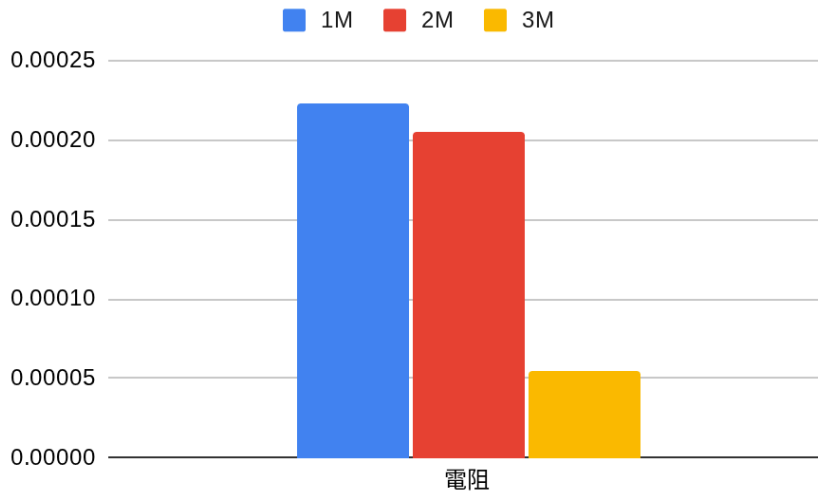


60v:



週、天數	照片
------	----

第一週:						
第三天						
	1M	對照	2M	對照	3M	對照
第七天						
	1M	對照	2M	對照	3M	對照
第二週:						
第一天						
	1M	對照	2M	對照	3M	對照
第二天						
	1M	對照	2M	對照	3M	對照

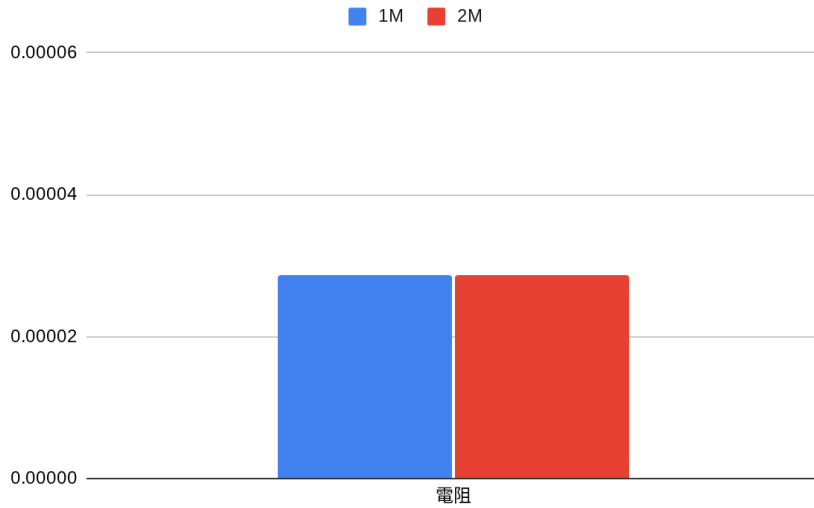
圖表:



硫酸(酸性):

週、天數	照片				
第一週:					
第一天	 <table border="1" data-bbox="331 1211 719 1279"> <tr> <td>1M</td> <td>對照</td> <td>2M</td> <td>對照</td> </tr> </table>	1M	對照	2M	對照
1M	對照	2M	對照		
第六天	 <table border="1" data-bbox="331 1541 719 1608"> <tr> <td>1M</td> <td>對照</td> <td>2M</td> <td>對照</td> </tr> </table>	1M	對照	2M	對照
1M	對照	2M	對照		

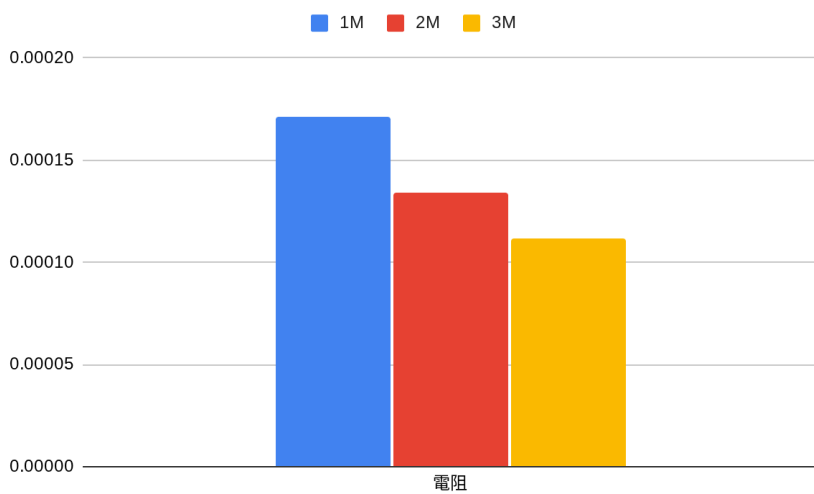
圖表:



硝酸鉀:

週、天數	照片						
第一週:							
第三天							
	<table border="1"> <tr> <td>1M</td> <td>對照</td> <td>2M</td> <td>對照</td> <td>3M</td> <td>對照</td> </tr> </table>	1M	對照	2M	對照	3M	對照
1M	對照	2M	對照	3M	對照		

圖表:



鹽水:

我們利用中性鹽巴來調配出鹽水溶液使20v鈦金屬與鐵片浸泡在其中，而結果顯示，鈦金屬在中性環境下幾乎無反應，因為到了最後一週其顏色與未浸泡過鹽水之鈦金屬比較，會發現其顏色與其妻乎無差異，可見鈦金屬在中性環境中的抗腐蝕能力極佳，另一方面，與其一起浸泡在鹽水溶液中之鐵片在第一週就有了明顯的改變，其表面明顯可見生鏽的鐵，因死由此可推斷鈦金屬在中性環境中的抗腐蝕能力極強。

氫氧化鈉：

我們利用鹼性物質氫氧化鈉來調配出氫氧化鈉溶液使20v、40v、60v的鈦金屬浸泡在其中，而結果顯示，鈦金屬在鹼性環境中的變化相較於酸性環境是較不明顯的，因為其變化在前幾天都不太明顯，但到了第二週，20v的鈦金屬卻開始出現變化，顯示鈦金屬在強鹼環境中仍會被侵蝕，但效果不明顯，可見其抗鹼性能力是不錯的，而且從實驗中也發現，鈦金屬隨著氧化層後的增加(電壓增加)，鈦金屬受侵蝕的程度也越不明顯，20v鈦金屬在第二週就明顯變色，而40v和60v鈦金屬卻幾乎無變化，可知鈦金屬隨著氧化層厚度的增加，其抗腐蝕及抗酸鹼能力也越佳，且其在鹼性環境中的抗腐蝕能力遠高於在酸性環境中的抗腐蝕能力。

硫酸鉀：

我們利用酸性物質硫酸來調配出氫硫酸溶液使20v的鈦金屬浸泡在其中，而結果顯示，鈦金屬在硫酸環境中的抗腐蝕能力不太理想，因為在第一天鈦金屬表面變出現了明顯的變化，而到了第六天，鈦金屬表面變成顯出粗糙表面及電阻香香四餘原鈦金屬，可見鈦金屬在短短的一週內就由20v鈦金屬的厚度下降至了其初始的厚度，此外，我們也在浸泡一段時間後發現燒杯中硫酸溶液變為粉紅色，可見20v鈦金表面氧化層被腐蝕的事實，因此雖然鈦金屬較不適合在硫酸環境中作用，但其抗腐蝕性強度還是高於一般生活中常見之金屬。

圖片：



從透明的硫酸溶液變為粉紅的液體

硝酸鉀：

我們利用硝酸酸性物質硫酸來調配出氫硫酸溶液使20v的鈦金屬浸泡在其中，而結果顯示，鈦金屬同樣浸泡在酸性環境中，但鈦金屬在硝酸鉀中的反應卻不如硫酸的劇烈，其在硫酸的環境中第一天就由紫色變成了橘紅色，但硝酸鉀鈦金屬到了第三天卻還是

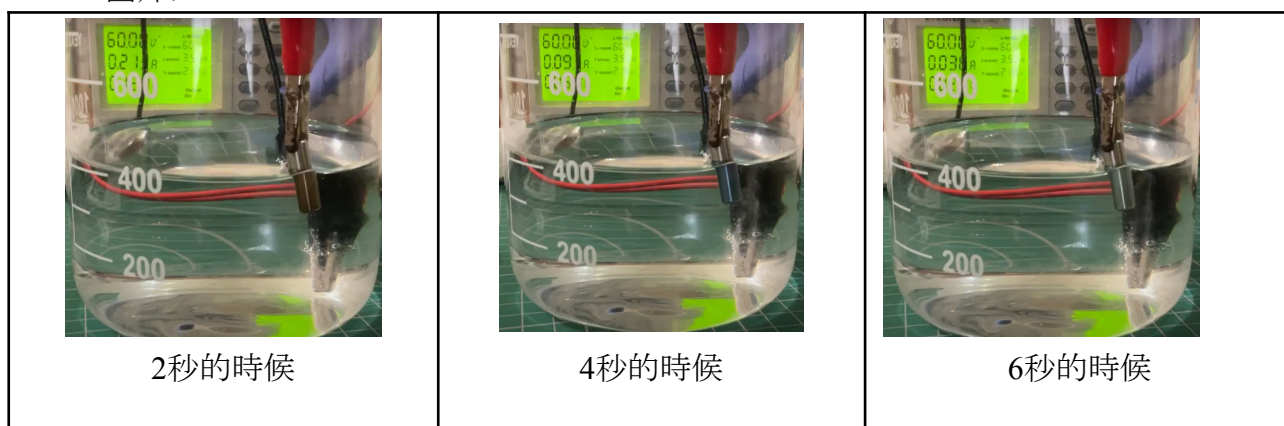
大致呈現和20v一樣的紫色，只有3M的有稍微改變，驗證了鈦金屬的抗腐蝕具有「選擇性」，遇到特定液體才會受到腐蝕，跟酸鹼性無太大差異。

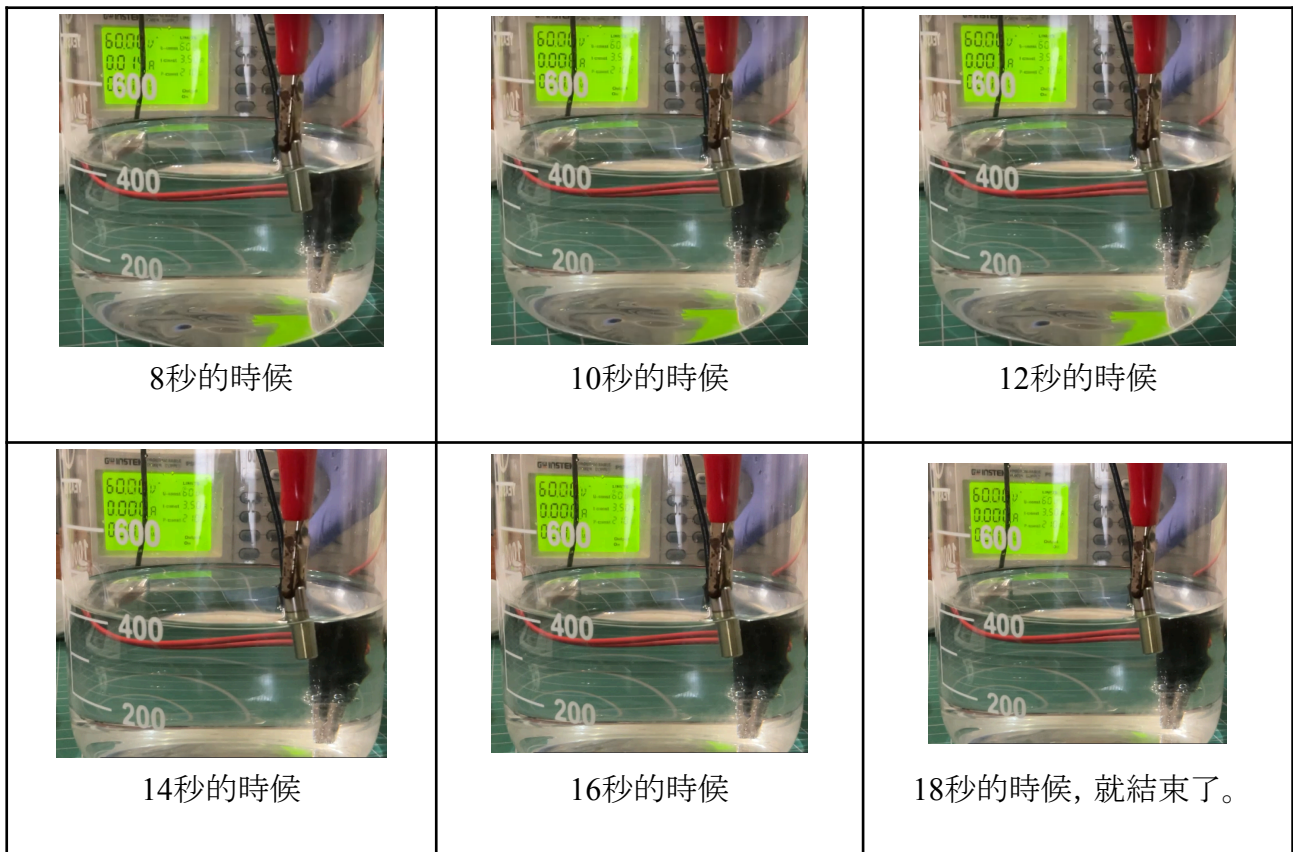
4、實驗(四)不同電解質對陽極反應的影響



我們使用硝酸鉀及檸檬酸等電解質來製作陽極氧化時使用的電解液，而結果顯示出硝酸鉀電解液所產出的鈦金屬顏色效果不佳，鈦金屬表面的顏色不管變壓如何調整，其顏色皆無差異且會呈現粗糙的表面，感覺有被侵蝕過的痕跡，而檸檬酸電解液所產出的鈦金屬效果便較硝酸鉀佳，雖然其顏色相較於小蘇打粉稍微較淡些，但其變色速率卻是三者東中最為快速的，因此也可被視為其優勢，但整體而言，小蘇打粉電解液所產出的鈦金屬兼具使鈦金屬顏色明顯且完好的能力，因此較適合用來進行接下來的實驗。




圖片：





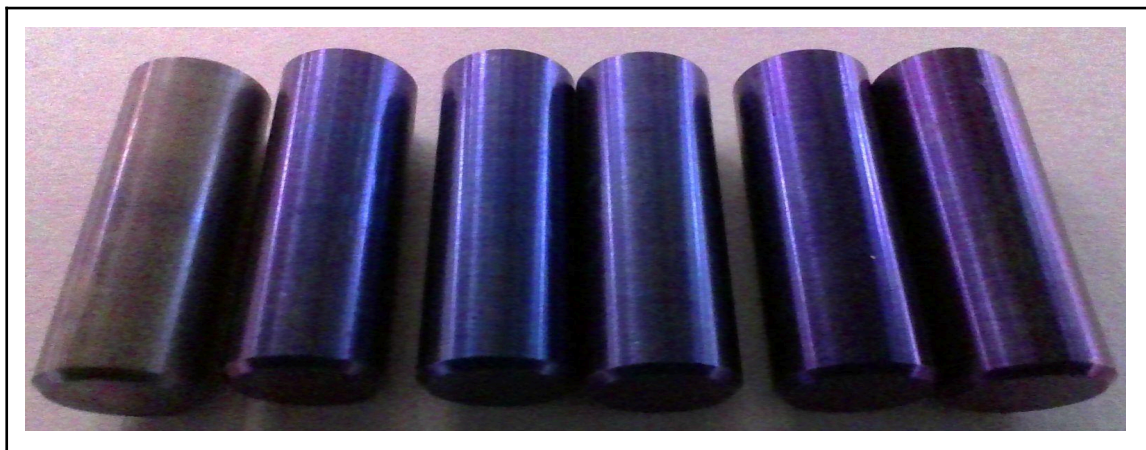
由以上照片可得知，鈦金屬隨著時間的推移，鈦金屬之顏色是呈現實驗(二)的色階變化，相當有趣。

5、實驗(五)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

分別配出水與小蘇打粉比為100:2、100:5、100:8的電解液，而結果顯示出不管電解液的濃度如何，鈦金屬的顏色皆相同，但相較於其他兩者，濃度為100:2電解液所產出的鈦金屬顏色較均勻飽滿，再加上調配此電解液所使用的小蘇打粉分兩較少，因此不僅節省材料，產出的鈦金屬顏色也較佳，因此較適合被運用在將來的實驗中。

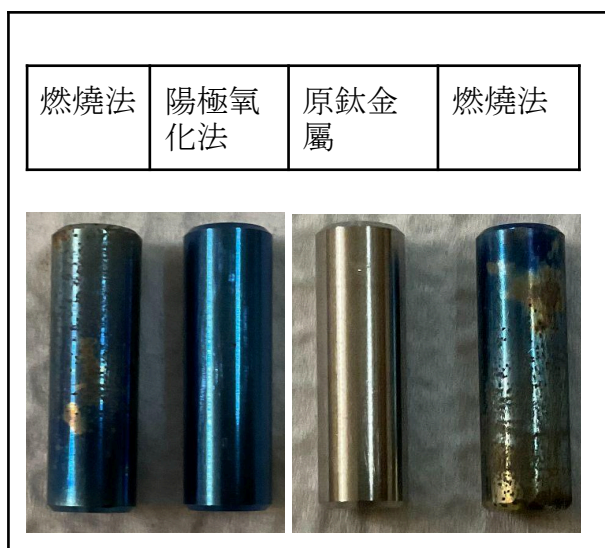
6、實驗(六)測試不同溫度對陽極氧化的影響



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

我們分別先加熱電解液至80°C、60°C、50°C、40°C、20°C(常溫)、10°C，而在讓鈦金屬去進行陽極氧化，而結果顯示，鈦金屬不管在何種溫度下進行反應，其最後所呈現的顏色都略有不同，最明顯的便是80°C電解液所產出的鈦金屬，因為最後其表面顏色不但不均勻、不符合期望顏色而且表面非常粗糙，再加上反應過程中電流一直無法像降至0且所需電流較大，因此效果不佳，但相較於其餘鈦金屬，20°C電解液所產出的鈦金屬顏色最均勻且過程中所需電流也相對較小，因此較適合被拿來進行接下來的實驗。

7、實驗(七)鈦金屬燃燒氧化比較



我們分別使用燃燒及養及氧化兩種方式鈦金屬氧化，而燃燒一段時間後，我們取與其顏色最為相近的鈦金屬來與燃燒後的鈦金屬比較，而結果顯示，燃燒後的鈦金屬所呈現的顏色分布不均勻，推測是因為燃燒時無法確定燃燒時每一位置所

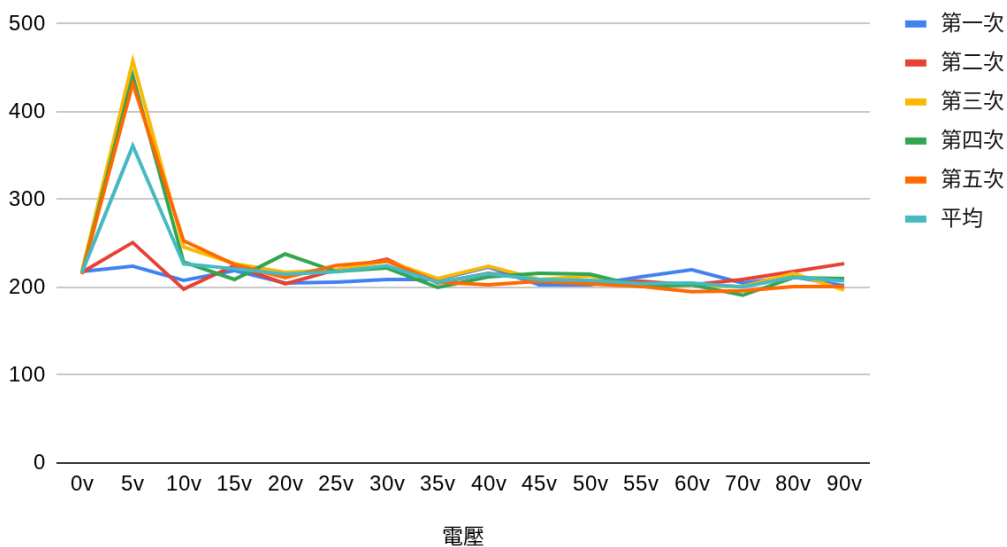
8、實驗(八)利用膜厚測量儀測量鈦金屬膜厚

電壓	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
第一次	218	224	208	219	205	206	209	209	223	203	203	212	220	205	212	202
第二次	217	251	198	225	204	220	232	205	216	209	205	207	203	209	218	227
第三次	219	458	246	227	217	220	230	210	224	209	213	201	203	201	216	197
第四次	216	441	229	209	238	218	222	200	212	216	215	201	203	191	211	210
第五次	215	432	253	226	211	225	230	206	203	207	204	201	195	196	201	201
平均	217	361. 2	226. 8	221. 2	215	217. 8	224. 6	206	215. 6	208. 8	208	204. 4	204. 8	200. 4	211. 6	207. 4

(單位:微米)

圖表:

膜厚測量儀厚度測量:



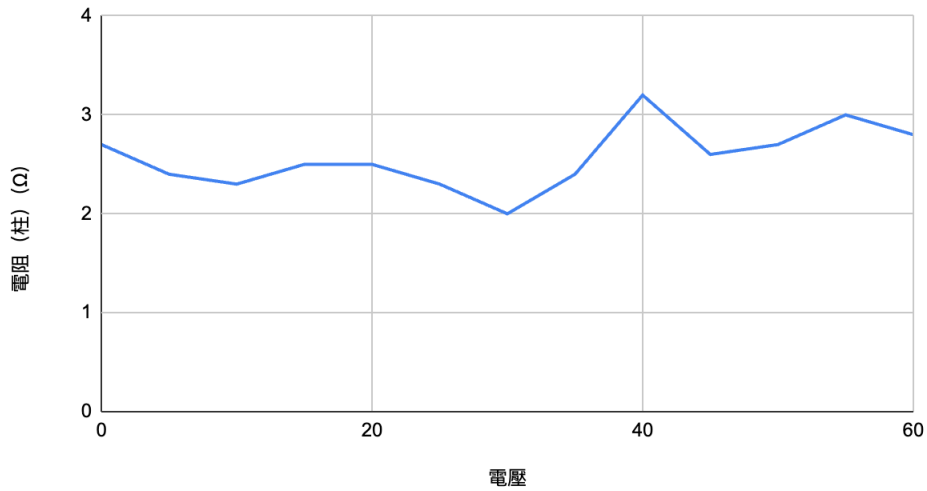
10、實驗(九)電阻值測量

三用電錶:

電壓	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
電阻	2.7	2.4	2.3	2.5	2.5	2.3	2	2.4	3.2	2.6	2.7	3	2.8

圖表:

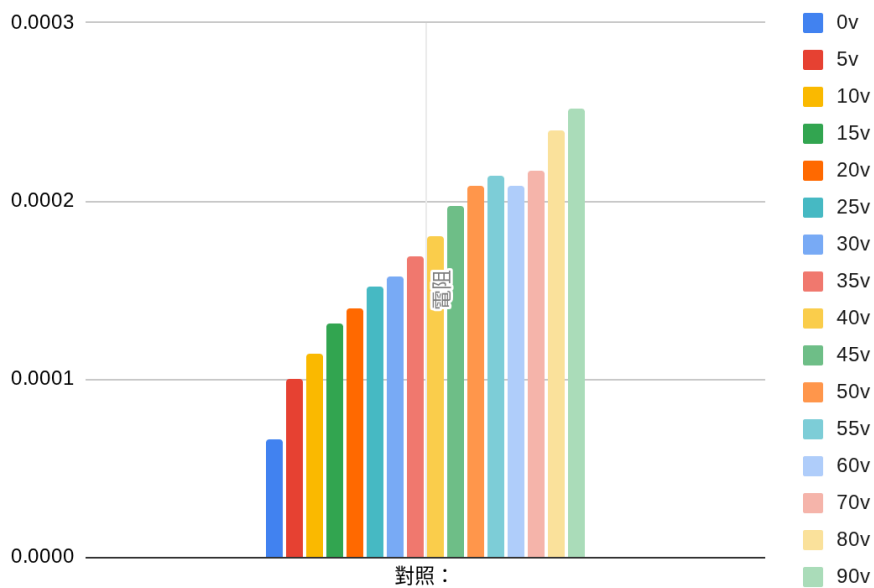
電阻(三用點表)：



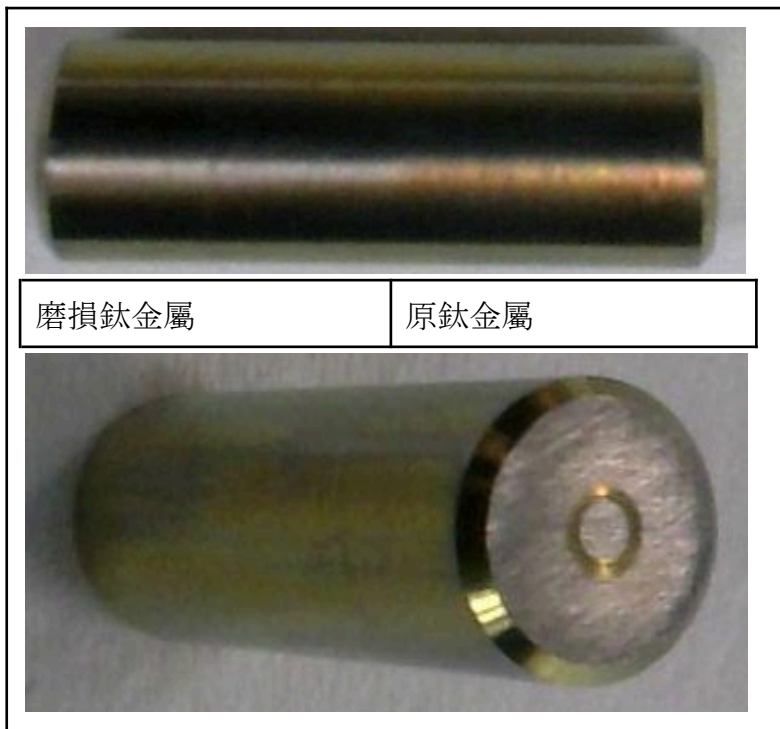
直流電源供應器：

	0v	5v	10v	15v	20v	25v	30v	35v	40v	45v	50v	55v	60v	70v	80v	90v
電壓	0.23	0.35	0.4	0.46	0.49	0.53	0.55	0.59	0.63	0.69	0.73	0.75	0.73	0.76	0.84	0.88
電流	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
電阻	0.00 0065 7142 8571	0.00 01	0.00 0114 2857 143	0.00 0131 4285 714	0.00 014	0.00 0151 4285 714	0.00 0157 1428 571	0.00 0168 5714 286	0.00 018	0.00 0197 1428 571	0.00 0208 5714 286	0.00 0214 2857 143	0.00 0208 5714 286	0.00 0217 1428 571	0.00 024	0.00 0251 4285 714

圖表：



10、實驗(十)利用砂紙檢驗鈦金屬的磨損程度顏色差異



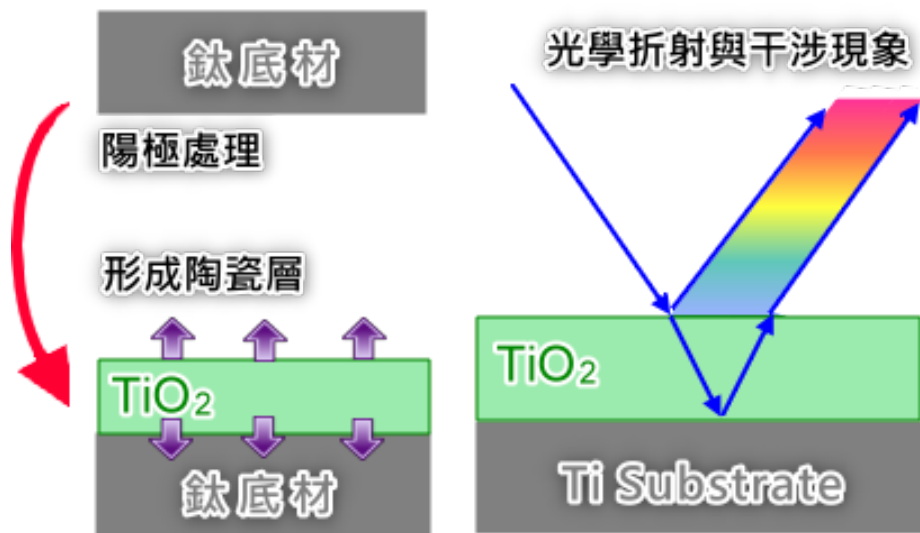
伍、討論

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，直接將鱷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。

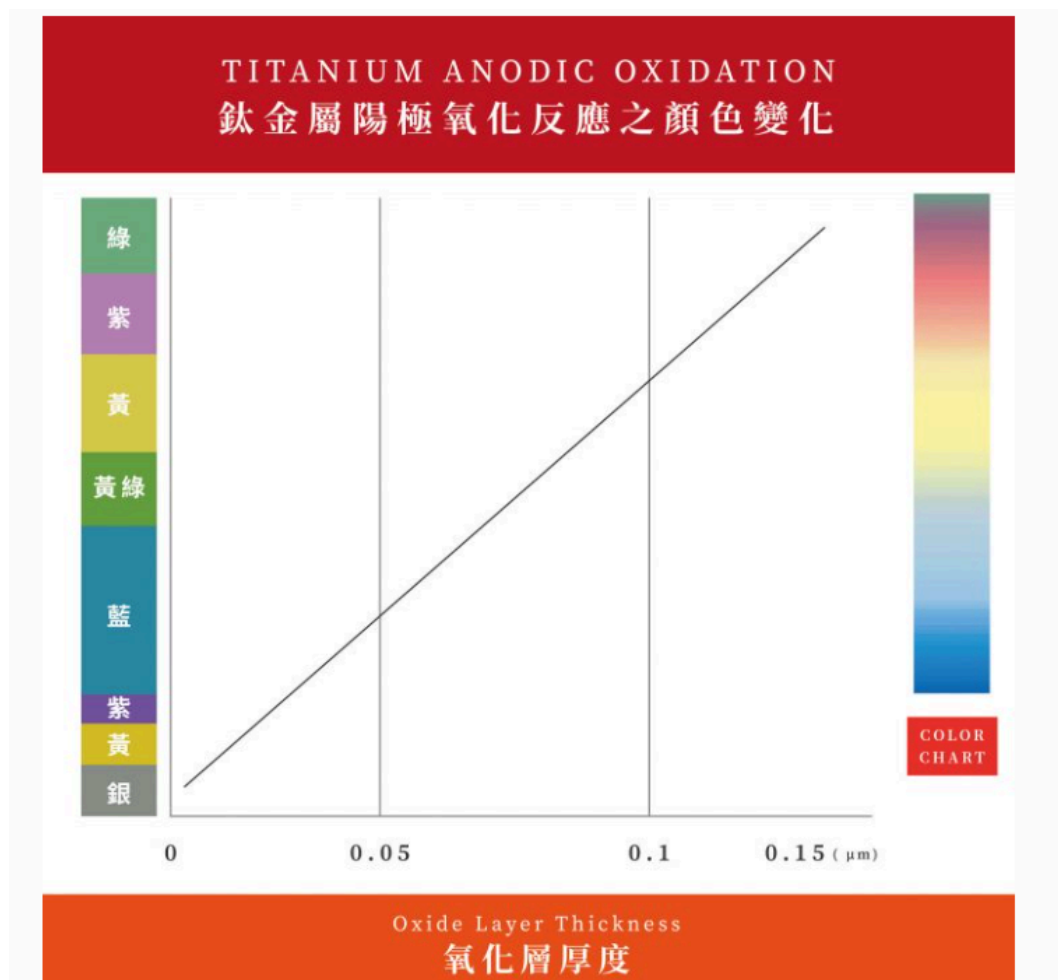
實驗二：改變電壓對鈦金屬變色之影響(直流電源供應器)

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涉、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(TiO₂)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。

實驗三:抗腐蝕實驗

一開實在進行實驗時，我們認為鈦金屬的抗酸鹼能力極強，因為經過網路上的查詢，鈦金屬在進行氧化後其氧化層的質地堅固且排列緻密，因此可防止其內層鈦金屬不受外在更多的侵蝕及氧化，但在進行實驗後我們才發現，鈦金屬在中興環境中幾乎無反應，是非常符合理想的，但到了鹼性的氫氧化鈉，我們發現原來鈦金屬長及處於鹼性環境中仍會腐蝕，但是效果不明顯，可見其在鹼性環境中的抗腐蝕能力是不差的，而且我們也發現40v、60v鈦金屬與20v鈦金屬比較之下，電壓越高的鈦金屬其反應越不明顯，因此也證明了隨著氧化層厚度的增加，其抗腐蝕或酸鹼能力也越強，到了硫酸，我們發現鈦金屬在硫酸環境中的反應劇烈，但這並不意味得鈦金屬在酸性環境中的抗腐蝕能力欠佳，而是鈦金屬在抗腐蝕方面具有「選擇性」，因為由實驗的結果及網路上<https://www.titan-innovation.com/corrosion/>的內容可知，鈦金屬在特定的如硫酸、鹼液及氯氣等物質或化合物才能被腐蝕，為了驗證這一點，我們使用在工業上被普遍使用的工業清潔劑硝酸鉀來進行實驗，而實驗也證明了，鈦金屬在同樣酸性硝酸鉀的環境中，其變化也沒有硫酸劇烈，可見鈦金屬並不是在酸性環境中的抗腐蝕較差，而是因為特定容易才會使其表面受腐蝕(如硫酸等)，可見鈦金屬在一般工業上的使用是沒問題的，而且強度也是不若的，整體而言，鈦金屬的抗腐蝕相較於一般金屬是較強的，如鐵便在中性環境中就劇烈反應，更何況是其他鹼性的環境，而鈦金屬卻還可以維持一段時間，可見其抗腐蝕能力是不差，反而比較之下是較強的。

實驗四: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。

實驗五：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。

實驗六：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。

實驗七：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。

實驗八：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。

實驗九:利用膜厚測量儀測量氧化層厚度

我們利用膜厚測量儀測量鈦金屬氧化層厚度，而由結果可知，利用測量儀所測量到的鈦金屬膜厚及為不穩定，而經網站https://www.jeelix.com/zh_tw/titanium-anodizing/ 我們才發現的之鈦金屬之氧化層厚度大約在30至150奈米之間，但繆後測量儀之最小單位卻只有微米且不含小數點，由此可知儀器之單位對於鈦金屬氧化層實在太大，因此可以說明其量測為何如此不穩定，因為其厚度完全無法被儀器所測量，因此我們改用了其他方法。

實驗十:電阻值測量

三用電表:

起初我們任為隨著氧化層厚度的增加，其電阻也一定會增加，因此我們相利用測量電阻來是法推測鈦金屬的氧化層厚度，而由結果也可看出，利用三用電表所測出的電阻也非常不穩定，經常因為鱷魚夾擺放位置而影響其測量結果，再加上三用電表的不夠精準的緣故，儀器上所顯示的數值一直上下起伏不定，因此有時破百有時又測量不到，因此我們改用了直流電源供應器。

直流電源供應器:

因為直流電源供應器在進行通電時，其螢幕上會精準的顯示其電阻其電壓，再加上電阻的公式為電壓處以電流等於電阻，因此我們只要紀錄儀器上所顯示的樹套入公式便可以得到電阻並進一步推估鈦金屬之氧化層厚度，而由結果可知，利用直流電源供應器所測流出的電阻相當穩定，表中所呈現的怨誠獻理想的上升趨勢，同時也證明了上述所提及的索著電壓的升高，鈦金屬氧化層厚度也隨之增加，因此也可利用鈦金屬在固定電壓下的固定氧化層厚度，來進行實驗十一所進行的應用部分。

實驗十一:利用砂紙檢驗鈦金屬的磨損程度顏色差異

基於鈦金屬具有在特定電壓下舉有特定之氧化層厚度且帖定氧化層厚度也會使鈦金屬呈現特定之厚度，因此當鈦金屬之顏色改變時，我們也可以推鈦金屬在過程中經過磨損或是原氧化層厚度改變，因此為了驗證，我使用砂紙摩擦鈦金屬表面並觀察及顏色變化，而由實驗可知，在經過砂紙的摩擦之後，鈦金屬的顏色明顯有所改變，由此可知，當鈦金屬在經過磨損之後其顏色變會改變，因此我們便可以利用此特性，使鈦金屬作為磨損的指標，當鈦金屬之顏色改變，也就代表鈦金屬可能有經損耗或是需要該換，因此可以運用在生活中，當具有明顯顏色之鈦金屬顏色改變時，我們便可以推知其需要更換，因此可以作為鈦金屬其中的應用。

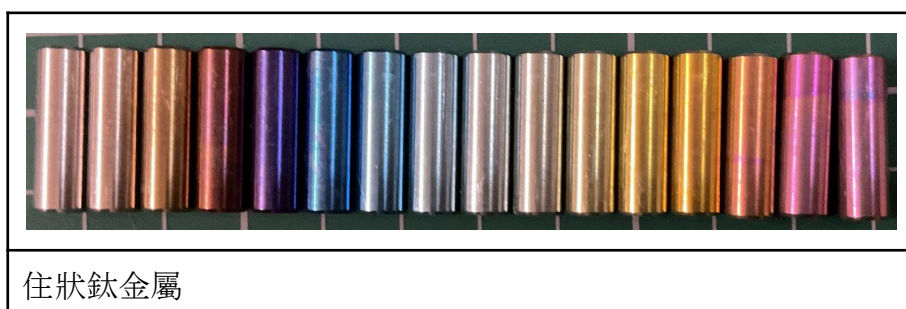
陸、結論

- 1、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。
- 2、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。
- 3、陽極氧化實驗時，當氧化層(TiO₂)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。
- 4、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。
- 5、電阻會隨著電壓的增加，隨之增加。
- 6、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。
- 7、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。
- 8、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。
- 9、圓柱狀的鈦金屬顏色較飽滿，鮮豔，和有預先拋光處理有關。
- 10、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。
- 11、膜厚測量儀之最小單位只道微米，對於厚度為30至150奈米的鈦金屬氧化層實在太大。
- 12、利用三用電表所測量到的電阻相當不穩定，常因為鱷魚夾擺放位置無罰固定且儀器也不夠精準，而直流電源供應器便能解決此問題。
- 13、鈦金屬可以利用其氧化層的固定性來作為磨損指標，告訴使用者是否遭破壞或是需要更換。

未來期望：

1. 我們在此次的研究中，仍無法讓實驗完全公平，因為我們曾經想測試鈦金屬形狀對鈦金屬變色之影響，但我們所使用之鈦金屬無法確保其來自同一個供應來源，且過程中柱狀態金屬有經拋光處理，因此如果要更正，我們希望可以固定鈦金屬的供應來源、是否拋光，甚至是比較鈦金屬是否拋的變色差異。

照片：





2. 在未來，我們希望可以進一步研究鈦金屬等項鍊對健康的助益，並研究鈦金屬其中所含有的化學物質，使其能在配戴之後讓使用著有肌肉放鬆或增加血液循環之功效，進一步達到鈦金屬之應用。

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.loric.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/>