

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 工程學(二)科

052405

釉色-千年釉彩工藝應用于間接燈光照明色溫及  
演色性之研究

學校名稱：高雄市立高雄女子高級中學

作者：  高一 陳若雅	指導老師：  林孝正  朱億真
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：釉色、間接燈光、演色性

## 摘要

一般將螢光粉覆蓋於 LED 上，受光激發而產生各色光，直接照明的光轉換效率高，缺點是極刺眼。本實驗研究 LED 的間接照明，利用已發展千年的釉藥調製技術和材料，以塞格式、一維二元...常見調釉藥比例的方式，結合現代科技分析方法，應用於 LED 以產生漂亮又不刺眼的間接燈光，亦具有高藝術價值及實用性。

研究結果成功依需求自製低色溫(暖色系)或高色溫(冷色系)的「反射式」高演色性螢光釉，避免接觸高溫晶片而使螢光粉劣化，得到間接燈光的最佳化曲線。陶瓷耐高溫、易散熱而且釉藥能保持長時間不會退色、千年不壞。釉藥學千年來多應用於瓷器上，近年部分用於 LED 的螢光粉。本實驗堅持傳統用於瓷器藝術，又援以新科技 LED，使其兼具現代實用需求及工藝美學。

## 壹、 研究動機

陶瓷藝術為一門融和原始、古典、現代、民間等藝術性質為一體的傳統工藝。最早的工藝技巧可溯至石器時代。因一次的因緣際會而結識了陶藝老師，進而對陶瓷藝術產生了極大的興趣。為了增廣對陶瓷藝術的知識和了解程度，開始積極地觀賞各個展覽。也因次發現到藝術作品的展場所使用的燈光會因主題不同而採用不同色溫的燈，但都是演色系數高的。後來就聯想到是否能用室內裝潢間接照明的方式使釉藥反射後的光產生不同的色溫。

其實釉藥並非如同水彩調色有固定的調色技巧。混合多種礦物後呈現出的顏色多半是混濁的灰色，經過高溫燒製的化學反應才會顯現出不同的質地和顏色變化。

## 貳、 研究目的

- 一、同種透明釉搭配不同組合的助熔劑以改變釉藥的透明度、質感、光澤、流動等因素。
- 二、倆倆互相混合加有六種不同金屬氧化物的基礎釉和一份基礎釉，以得知其產生的顏色變化。
- 三、紅、黃和藍三種不同顏色的釉藥按照固定的比例互相混合，有系統性的觀察其變化結果。
- 四、調整氧化鋁與二氧化矽氧化鋁比例並造成其流動性和顏色變化。
- 五、探討不同濃度的色粉試片燒製出來的外觀變化。
- 六、釉藥濃度造成反射光波峰值變化探討
- 七、探討所測得的色溫及色標之間的關係
- 八、探討不同釉藥成分濃度變化造成的色溫之變化
- 九、探討釉藥中不同金屬氧化物成分造成色溫之變化
- 十、探討紅、黃和藍三種不同顏色的釉藥相互混合所造成色溫之變化
- 十一、探討所測得的色溫及演色系數之間的關係

## 參、 實驗器材

### 一、光譜儀

型號:LM801



### 二、釉藥礦物

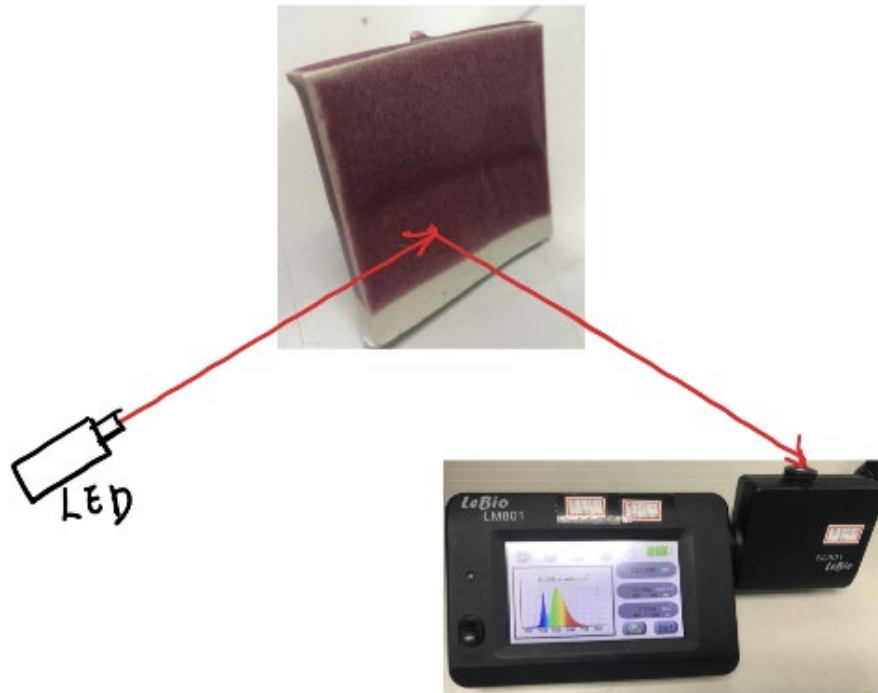




### 三、電窯



#### 四、測量裝置



## 肆、 研究過程或方法

### 一、 釉藥配置基本流程

#### (一) 拿取配方所需的礦物並秤重



秤取

#### (二) 均勻混合礦物和水

#### (三) 將試片泡入釉藥 2 到 3 秒

#### (四) 將試片放在一旁晾乾

#### (五) 放入窯內設定溫度後開始燒製



電窯

## 二、基本實驗

### (一) 基本實驗一：助熔劑變化實驗(一維二元實驗)

#### 1. 實驗目的：

一是指線性測試，二是指兩項變因。觀察同一種透明釉，組合不同的助熔劑使其對釉的透明度、質感、光澤、流動等因素產生變化，並觀察其結果。

#### 2. 實驗器材：試片 11 個

300ml 免洗杯 11 個

500ml 量杯

60ml 塑膠針筒 2 個

電子秤、秤藥匙、矽膠攪拌刮刀、秤藥用容器、電動攪拌棒

#### 3. 實驗步驟：(1) 標示 11 個試片(1A1-1 到 1A1-11/1B1-1 到 1B1-11)和 11 個 300ml 的塑膠杯

(2) 在 500ml 量杯中倒入 100ml 的水然後秤量所需釉藥 1A1-1 和 1A1-11

(3) 依序倒入後加水雉 300ml 後用電動攪拌棒均勻混和。

(4) 利用塑膠針筒根據下表的固定比例加入所需釉藥的量並混合均勻

(5) 試片浸入同樣號碼的釉藥至試片標示處 2 至 3 秒取出

(6) 稍乾後即可進行燒製

#### 4. 釉藥配方：

<b>1A1-1</b>		調配量
霞石正長石 Nepheline Syenite	40	<b>80</b>
碳酸鈣 Whiting	27	<b>54</b>
白雲石 Dolomite	10	<b>20</b>
石英 Quartz	9	<b>18</b>
蛙目土 Ball Clay	8	<b>16</b>
氧化鋅 Zinc Oxide	6	<b>12</b>
碳酸銅 Copper Carbonate	4	<b>8</b>

<b>1A1-11</b>		調配量
霞石正長石 Nepheline Syenite	40	<b>80</b>
碳酸鋇 Strontium Carbonate	27	<b>54</b>
白雲石 Dolomite	10	<b>20</b>
石英 Quartz	9	<b>18</b>
蛙目土 Ball Clay	8	<b>16</b>
氧化鋅 Zinc Oxide	6	<b>12</b>
碳酸銅 Copper Carbonate	4	<b>8</b>

試片 號碼	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
#1 百分比	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
#11 百分比	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
#1 調配量 mL		<b>45</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	
#11 調配量 mL		<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	

<b>1B1-1</b>		調配量
霞石正長石 Nepheline Syenite	40	<b>80</b>
矽灰石 Wollastonite	27	<b>54</b>
白雲石 Dolomite	10	<b>20</b>
石英 Quartz	9	<b>18</b>
蛙目土 Ball Clay	8	<b>16</b>
氧化鋅 Zinc Oxide	6	<b>12</b>
碳酸銅 Copper Carbonate	4	<b>8</b>

<b>1B1-11</b>		調配量
霞石正長石 Nepheline Syenite	40	<b>80</b>
碳酸鋇 Strontium Carbonate	27	<b>54</b>
白雲石 Dolomite	10	<b>20</b>
石英 Quartz	9	<b>18</b>
蛙目土 Ball Clay	8	<b>16</b>
氧化鋅 Zinc Oxide	6	<b>12</b>
碳酸銅 Copper Carbonate	4	<b>8</b>



試片號碼	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
#1 百分比	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
#11 百分比	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
#1 調配量 mL		45	40	35	30	25	20	15	10	5	
#11 調配量 mL		5	10	15	20	25	30	35	40	45	

5.實驗討論：鹼土族(鎂、鈣、鋇、鋇)通常會被選用加入釉藥能夠增強助熔溫度範圍並提高助熔作用。而添加了越多的助熔劑，能使有藥燒製出來的顏色更均勻，流動性更高。觀察燒製出來的試片即可明顯看出其外觀因濃度不同而造成的改變。

6.實驗結論：本實驗屬於一維二元，利用固定某一釉藥成分濃度的改變觀察燒製出的試片外觀以及其特性。改變助熔劑會使其燒製出的光澤、流動性、顏色均勻程度隨之改變。助熔劑濃度越高，光亮度越高，流動性越好，顏色也越均勻。

## (二)基本實驗二：金屬氧化物混合實驗(交叉測試)

### 1.實驗目的：

系統性的混合多種釉藥，觀察並且比較釉藥相互影響之結果。倆倆互相混合加有六種不同金屬氧化物的基礎釉和一份基礎釉，已得知其產生的顏色變化。

### 2.實驗器材：試片 28 個

2000ml 量杯

300ml 免洗杯 28 個

電子秤 2 個

10ml 塑膠針筒(測比重)

60ml 塑膠針筒(量取釉藥)

秤藥匙、矽膠攪拌刮刀、秤藥用容器、電動攪拌棒

### 3.實驗步驟：(1)準備並標示 28 個試片和 28 個 3000ml 的色交杯

(2)於 2000ml 的量杯內倒入 500ml 的水，然後秤量所需基礎釉藥，依序倒入，加水至 1500ml 然後用電動攪拌棒混合均勻

(3)倒入 2000ml 的釉藥 1 到 7 杯

(4)於 2 到 7 杯加入呈色金屬氧化物並攪拌均勻

(5)用 60ml 塑膠針筒添加釉藥到各個杯中

(6)取一試片浸入同樣號碼的釉藥至試片標示處 2 至 3 秒取出

(7)稍乾後即可進行燒製

4. 釉藥配方：

1A2-1		調配量
印度鉀長石 India Potash Feldspar	30	300
熔塊 3124	20	200
石英 Silica	22	220
嶺南土 Kaolin/China Clay	20	200
滑石 Talc	10	100
碳酸鈣 Whiting	8	80

杯號	#2	#3	#4	#5	#6	#7
釉藥屬氧化物	氧化鉻	氧化錳	紅氧化鐵	氧化鈷	氧化鎳	碳酸銅
添加量 g	1.3	6.7	10.6	0.67	2.7	5.3

#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
-	-	-	-	-	-	-
	8 #1+#2	9 #1+#3	10 #1+#4	11 #1+#5	12 #1+#6	13 #1+#7
		14 #2+#3	15 #2+#4	16 #2+#5	17 #2+#6	18 #2+#7
			19 #3+#4	20 #3+#5	21 #3+#6	22 #3+#7
				23 #4+#5	24 #4+#6	25 #4+#7
					26 #5+#6	27 #5+#7
						28 #6+#7

5.實驗討論：藉由多種氧化物的兩兩混合，觀察不同氧化物混合後所產生的變化。由下圖我們可以看到氧化鈷的顏色最不受其他氧化物影響，仍然保持藍色



6.實驗結論：交叉測試實驗能讓我們有系統性的混合不同的金屬氧化物，並且看出金屬氧化物互相影響的顏色變化，從而得知金屬氧化物在釉藥中影響和被影響的強弱程度。

### (三) 基本實驗三：顏色混合實驗(三軸測試)

#### 1.實驗目的：

本次實驗中有三個變因，按照固定的比例互相混合，並將此實驗方法應用在測試不同顏色、質感、光澤、開裂等主題，以利有系統性的觀察其變化結果。

#### 2.實驗器材：試片 21 個

1000ml 量杯

電子秤 2 個

60ml 塑膠針筒(量取釉藥)

秤藥匙、矽膠攪拌刮刀、秤藥用容器、電動攪拌棒

#### 3.實驗步驟：(1)準備並標示 21 個試片

(2) 於 1000ml 量杯放入 150ml 的水，秤量所需釉藥倒入

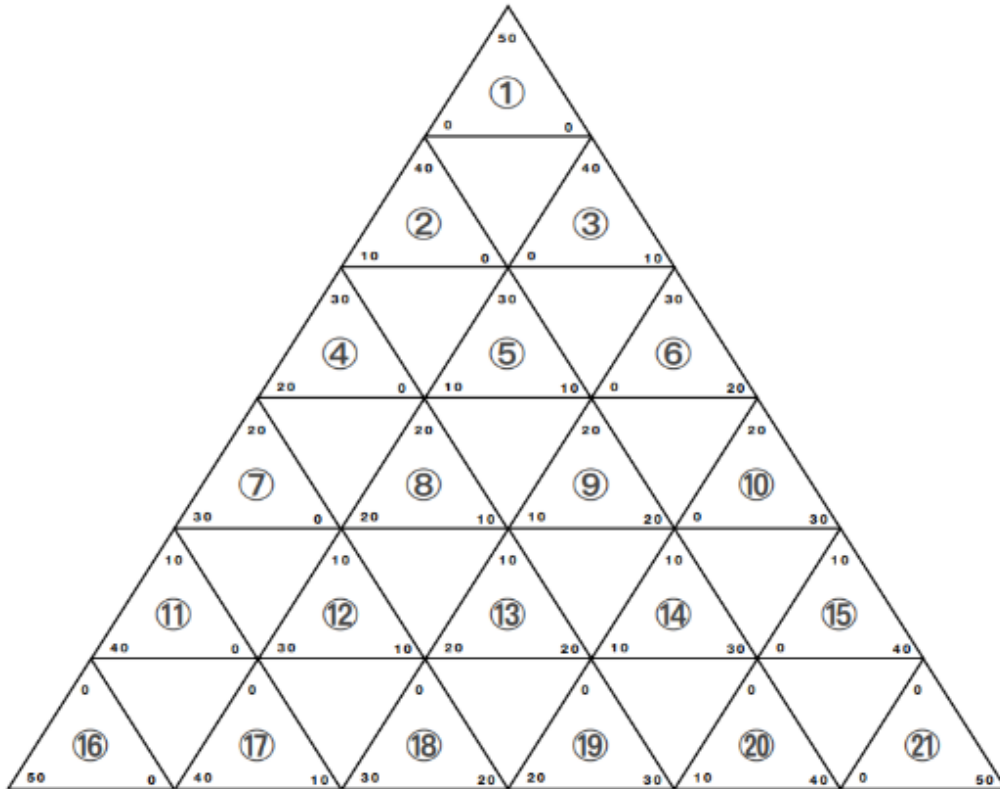
(3)加水至 450ml 並攪拌均勻

(4)利用 60ml 塑膠針筒取表所標示的釉藥多寡

(5)試片浸入同樣號碼的釉藥至試片標示處 2 至 3 秒取出

(6)稍乾後即可進行燒製

4.實驗討論：紅、黃和藍三種不同顏色的釉藥相互混合，由此實驗能夠有條理地看出三個顏色互相影響的強弱程度。從實驗結果中可看到黃色蓋過其他顏色的程度較大，接下來是藍色，最後才是紅色。



5.實驗結論：三軸測試實驗可看出三個不同變因互相影響的結國，並且判斷三個變因之間的影響力大小。

#### (四) 基本實驗四：流動性及顏色混合測試(二維測試)

1.實驗目的：利用二為測試讓變因操作有更大的功能，而且不限制哪一組試片為起點，因此能夠更完善的探討細部變因變化所造成的外觀變化。

2.實驗器材：試片 25 個

1000ml 量杯

300ml 免洗杯 21 個

700ml 塑膠杯 4 個

電子秤 2 個

60ml 塑膠針筒

秤藥匙、矽膠攪拌刮刀、秤藥用容器、電動攪拌棒

3.實驗步驟：(1)準備並標示 25 個試片、4 個 700ml 和 21 個 300ml 的塑膠杯

(2)於 1500ml 倒入 150 的水，秤量所需釉藥倒入並加水至 450ml

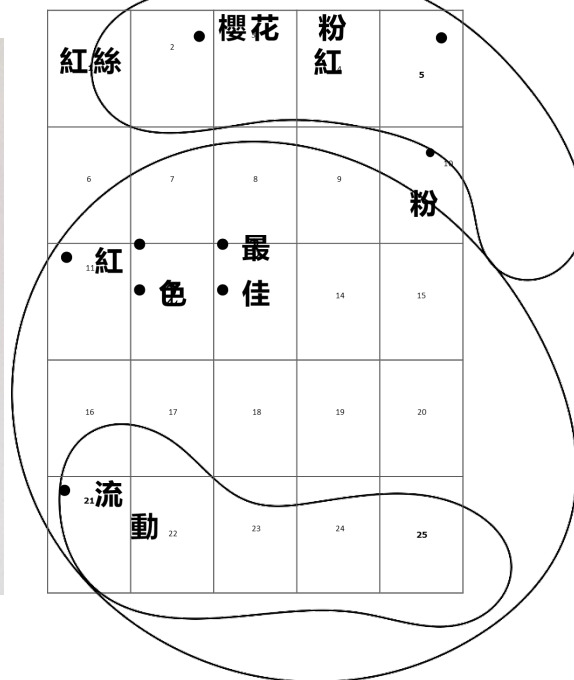
(3)第一階段縱向混合。利用 60ml 針筒量取釉藥至對的杯中

(4)第二階段橫向混合。利用 60ml 針筒量取釉藥至對的杯中

(5)試片浸入同樣號碼的釉藥至試片標示處 2 至 3 秒取出

(6)稍乾後即可進行燒製

4.實驗討論：因為二維測試實驗變因可以較廣泛的展現，因此每一塊試片的變化量較小也較仔細。鉻通常和錫反應生出粉紅色，常用碳酸鈣和氧化鋁代替錫來降低鉻綠。本次實驗藉由調整氧化鋁與二氧化矽氧化鋁比例達成實驗。而我們可以發現越往左下角流動性越高，也越紅。而越往右上角則越白，最佳的中和試片為編號 13，位正中央的試片。



5.實驗結論：由實驗結果可得知氧化鋁得比例越高或是矽跟鋁的比值越小，流動性越大，顏色越紅。反之，氧化鋁比例越低或是矽跟鋁的比值越大，流動性越小且顏色也越來越淡，最後變成白色。

(五) 基本實驗五：色粉濃度比較(一維二元)

1.實驗目的：利用一維二元的實驗方法探討不同濃度的色粉和其試片燒製出來的外觀變化。

2.實驗器材：試片 10 個

500ml 量杯

電子秤 2 個

秤藥匙、矽膠攪拌刮刀、秤藥用容器、電動攪拌棒

3.實驗步驟：(1)準備並標示 10 個試片

(2)於 500ml 倒入 100ml 的水，秤量所需釉藥並加水至 300ml 後攪拌

(3)取第一個試片浸入釉藥至試片標示處 2 至 3 秒取出

(4)於釉藥中在加入表中的色粉的量，均勻混合

(5)重複步驟 3 直到試片#10

(6)稍乾後即可進行燒製

4.釉藥配方：

	1 B 4 - 1	
	調配置	
震 正長 Nepheline Synite	50	100
英 Quartz	22	44
嶺 Kaolin	20	40
滑 Talc	10	20
碳酸鈣 Whiting		0
東紅粉 Stain	1	2

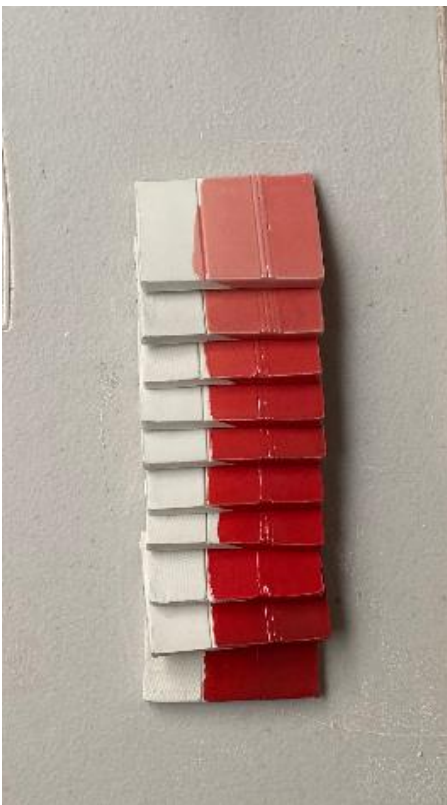
試片號碼	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
再加 g	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
累積總量 g	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
百分比 %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

### 1 C 4 - 1

	調配量	
卡斯特長 Custer Feldspar	32	64
英 Quartz	24	48
碳酸鈣 Whiting	24	48
嶺 Kaolin	12	24
氧化鋅 Zinc Oxide	8	16
碳酸銅 Copper Carbonate	0.5	1

試片號碼	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
再加 g	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
累積總量 g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
百分比 %	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5

5. 實驗討論: 利用一維一元實驗能夠明確地觀察到隨著釉藥中色粉百分比的增加，燒製完成的試片顏色也越濃厚。



左:1B4 右:1C4

6. 實驗結論: 色粉濃度越高，試片顏色越鮮豔

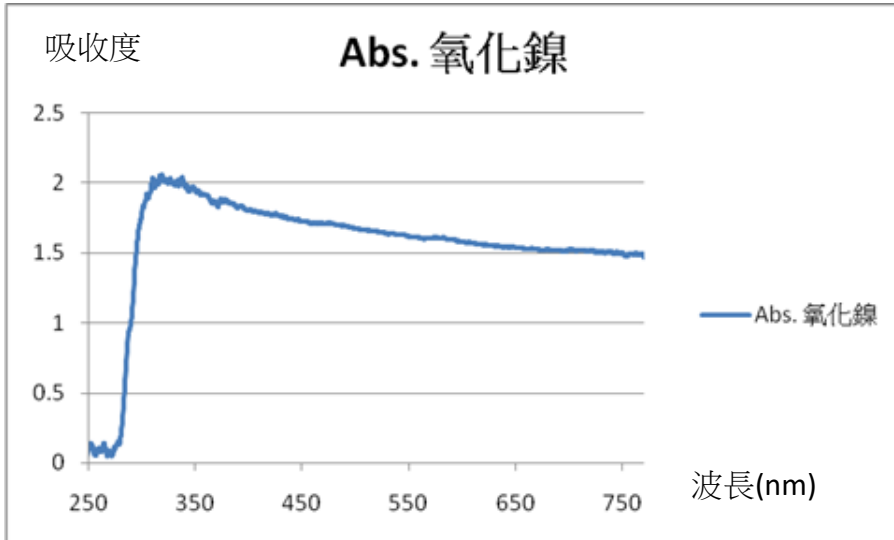
## 伍、 研究結果

### 一、 釉藥鍛燒前後釉藥的比較

(一)研究目的：以氧化鎳為例，測量基本實驗二中使用的金屬氧化物氧化鎳鍛燒「前」的吸收光譜，跟鍛燒「後」的成品比較。

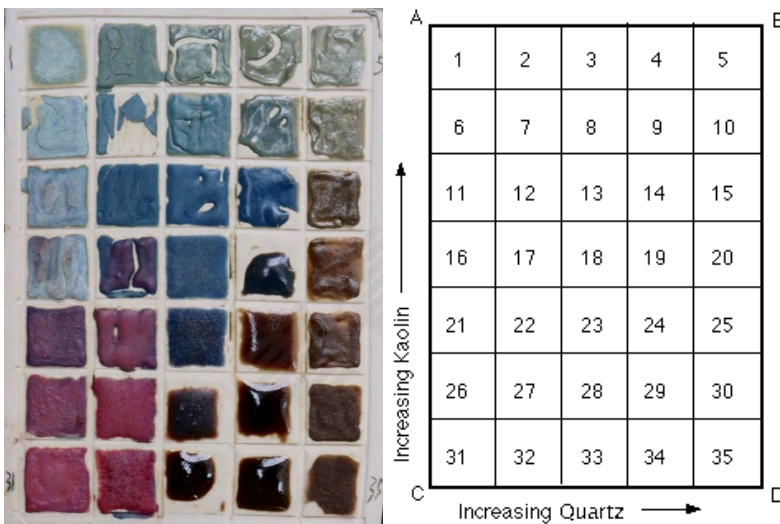
(二)實驗結果：

#### 1. 釉藥氧化鎳鍛燒前的吸收光譜：



氧化鎳之吸收光譜。波長愈長吸收愈少；反之，波長短部分吸收多，就以此圖看來，應該是會呈現長波長偏低色溫。但事實不是那麼簡單。

#### 2. 氧化鎳以不同的矽鋁比例鍛燒後成品



操作方式是一軸 AC 增加高嶺土 Al，CD 軸增加石英 Si。

(三)討論：

此實驗顯示，即使使用相同的釉藥，光是以不同的矽鋁比例混合，顏色就會有極顯著的差異，所以鍛燒之前，光憑成份是無法推測出鍛燒出來的成品是什麼顏色，但從上釉藥到鍛燒完成，需要兩天的時間，花費時間和費用甚鉅，所以對變因必須作有系統的研究整理。



## 二、 波長峰值探討

(一)研究目的：探討紅色色粉濃度改變，鍛燒後成品的反射光峰波長之變化

(二)實驗結果：

1.在實驗五(一維二元色粉)的實驗中:

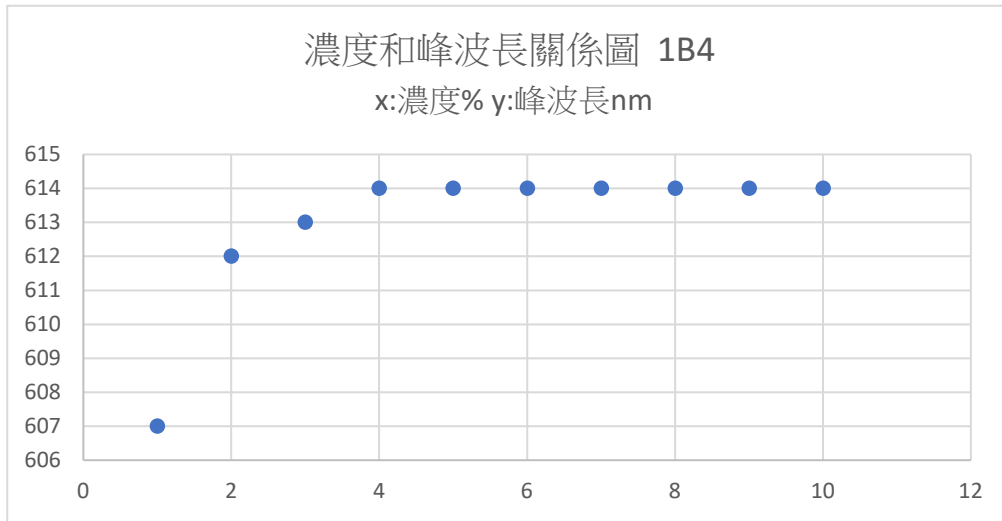


表 1

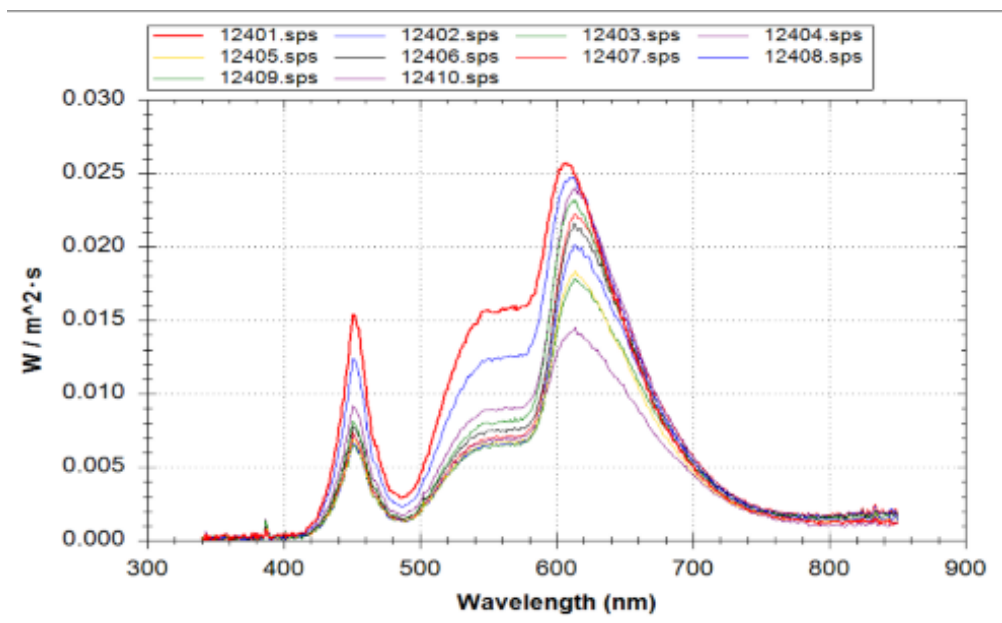


圖 1

2.由表 1 可得知隨著紅色色粉濃度的增加，峰波長的值呈現遞增的情況。並且在峰波長達到 614nm 時便不再增加。由此可之 614nm 為峰波長紅移的臨界值。在圖 1 中可觀察到峰波長有紅移的現象，慢慢向長波一端偏移。雖然數據以及圖表顯示出的峰波長改變以及紅移的幅度並不大，但在視覺上紅色濃度的變化非常明顯。

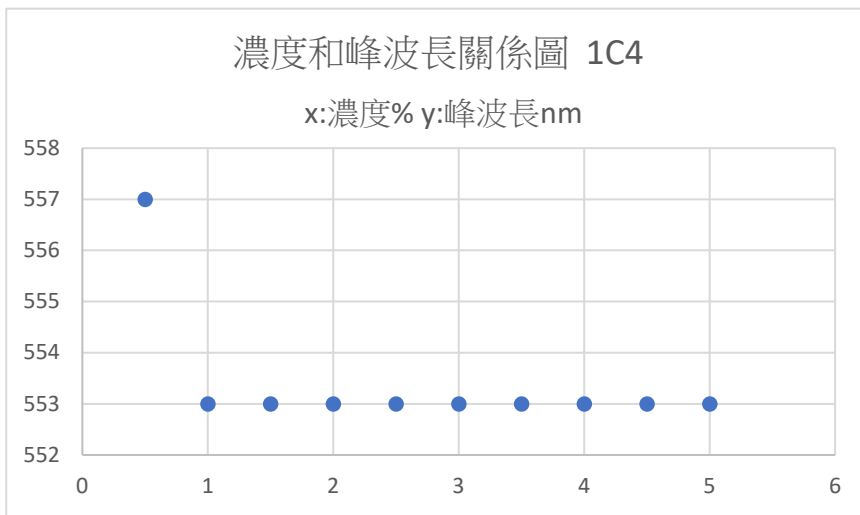


表 2

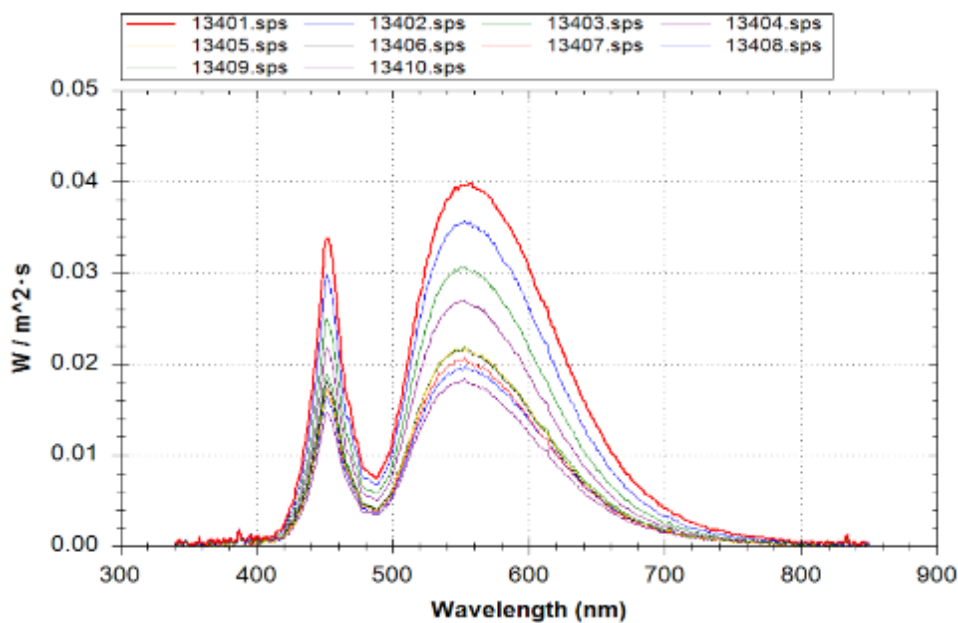


圖 2

(三)討論：

由表 1 可得知隨著綠色色粉濃度的增加，峰波長的值呈現遞增的情況。並且在峰波長達到 553nm 時便不再減少。由此可之 553nm 為峰波長藍移的最小值。在圖 2 中可觀察到峰波長有藍移的現象，慢慢向短波一端偏移。雖然數據以及圖表顯示出的峰波長改變以及紅移的幅度並不大，但在視覺上綠色濃度的變化也非常明顯。

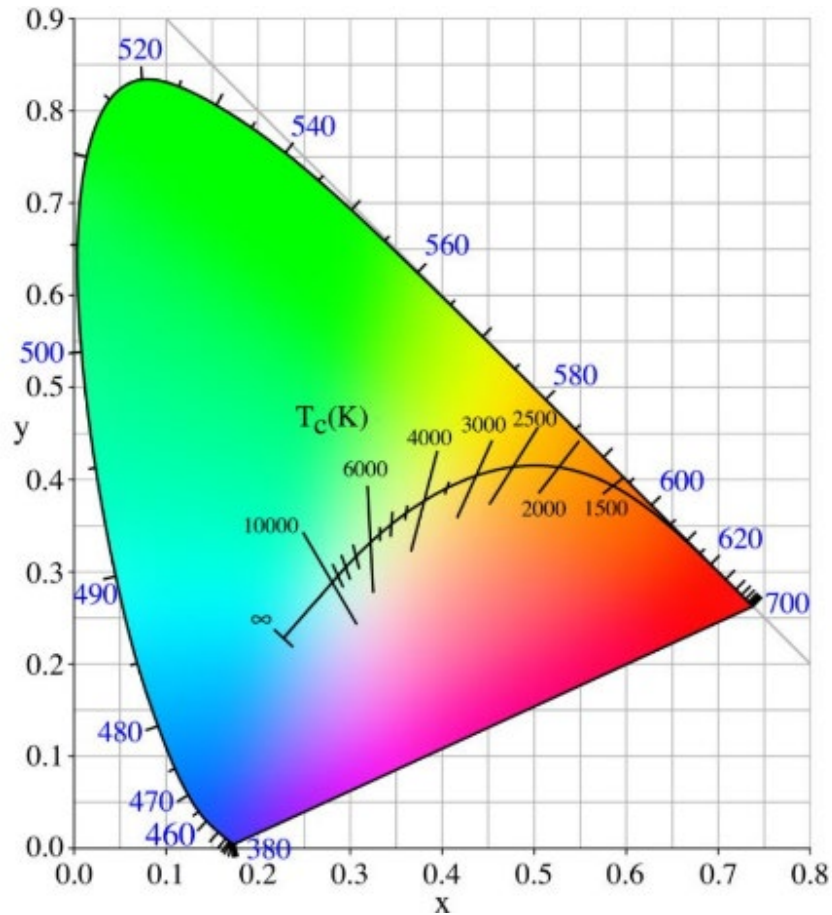
無論是紅移或藍移，兩組實驗視覺上的顏色變化皆非常明顯，但是因為圖 1 和圖 2 的光譜圖沒有辦法明確的顯示其差異。因此在下一個討論中利用色標精準的標示不同的顏色。

### 三、 色標和色溫關係探討

(一)研究目的：研究鍛燒後成品的反射光的色標和色溫之間的關係

(二)實驗結果：

經由所測得色標(Chromaticity coordinates)數值，對照色度圖(Chromaticity point)，可得到理論上的色溫。再比對所測量到的色溫數值即可知固定色標後，能得到固定的色溫。



色度圖(Chromaticity point)

表 3 為基本實驗所做出的所有試片測得的數據。

色溫(K)	CIE1931 X	CIE1931 Y	色溫(K)	CIE1931 X	CIE1931 Y
2803	0.44	0.38	4125	0.38	0.4
2501	0.45	0.38	4190	0.38	0.39
2092	0.48	0.37	4235	0.38	0.39
2175	0.48	0.37	4357	0.37	0.39
2143	0.48	0.37	4459	0.37	0.4
2106	0.49	0.37	5041	0.35	0.4
2000	0.49	0.37	4889	0.35	0.4
2036	0.49	0.37	5692	0.33	0.39
2125	0.48	0.37	5638	0.33	0.39
2436	0.46	0.37	4038	0.38	0.4
4267	0.38	0.4	3584	0.41	0.41
4353	0.37	0.41	3299	0.42	0.4
4411	0.37	0.41	4416	0.37	0.37
4462	0.37	0.41	6620	0.31	0.32
4424	0.37	0.41	3569	0.41	0.41
4509	0.37	0.41	4168	0.38	0.41
4523	0.37	0.41	3357	0.42	0.41
4438	0.37	0.41	3525	0.41	0.41
4515	0.37	0.4	3730	0.4	0.39
4490	0.37	0.41	5473	0.33	0.35
3602	0.4	0.38	3613	0.4	0.4
3494	0.4	0.38	4159	0.38	0.42
3620	0.39	0.38	3327	0.42	0.41
3635	0.39	0.38	3820	0.39	0.39
4164	0.38	0.39	5139	0.34	0.39
2835	0.43	0.37	3848	0.4	0.41
2879	0.43	0.37	3741	0.4	0.41
3183	0.41	0.37	3708	0.4	0.39
3183	0.41	0.37	4741	0.36	0.38
3494	0.4	0.37	3333	0.42	0.41
2647	0.44	0.37	3774	0.4	0.42
2546	0.44	0.36	4129	0.38	0.39
2736	0.43	0.37	4216	0.37	0.38
2745	0.43	0.37	4098	0.38	0.38
3227	0.41	0.37	4046	0.38	0.4
2996	0.42	0.37	4999	0.35	0.38
3122	0.42	0.37	3491	0.41	0.41
2767	0.43	0.37	3480	0.4	0.38
2895	0.43	0.37	3590	0.41	0.41
3028	0.42	0.37	4137	0.38	0.39
3416	0.41	0.38	3492	0.42	0.42

2867	0.43	0.37	3652	0.41	0.41
2867	0.43	0.37	4622	0.36	0.38
2805	0.43	0.37	3712	0.4	0.41
2799	0.43	0.37	3412	0.42	0.42
4149	0.38	0.39	3964	0.39	0.41
4138	0.38	0.39	4833	0.35	0.38
4410	0.37	0.39	3719	0.41	0.42
4441	0.37	0.4	3335	0.43	0.42
4501	0.37	0.4	3655	0.41	0.42
4479	0.37	0.4	4229	0.38	0.39
4453	0.37	0.4	5298	0.34	0.36
4493	0.37	0.4	3788	0.4	0.42
4576	0.36	0.4	3894	0.39	0.4
4420	0.37	0.41	3564	0.41	0.42
4499	0.37	0.4	3976	0.39	0.4
4130	0.38	0.39	4622	0.36	0.37
4334	0.37	0.38	5717	0.33	0.35

表 3

(三)討論：

取紅色的試片為例，色標約為(0.48,0.37)，而所測得的色溫約在 2100K 到 2500K 之間。代回光度圖可得約在 2000K 至 2500K 和所測數據大致吻合。而綠色色片的色標約為 (0.37,0.41)，所測得的色溫在 4300K 到 4550K 之間。將色標代入色度圖即可得知約在 4000K 到 5000K 左右。

由此討論可知能透過控制色標的方法控制色溫。

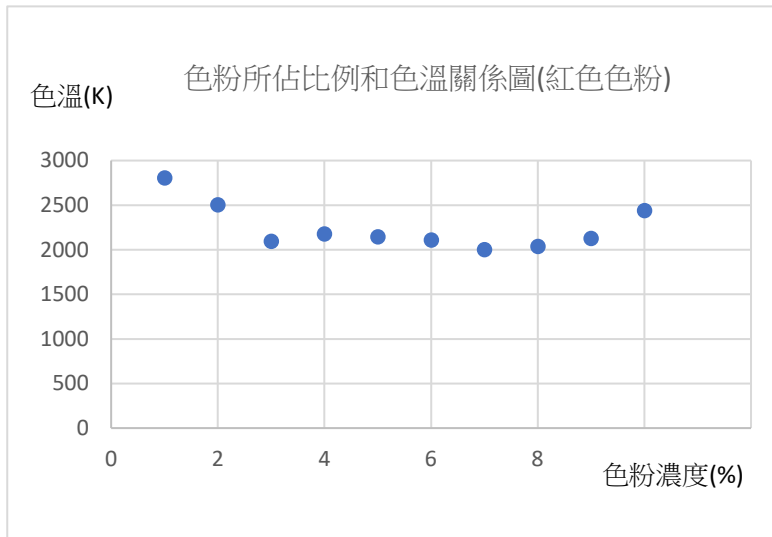
#### 四、 不同變因造成的色溫變化

(一)研究目的：研究改變色粉濃度、氧化物種類、不同顏色釉藥混合，鍛燒後成品的反射光之色溫的變化

(二)研究結果：

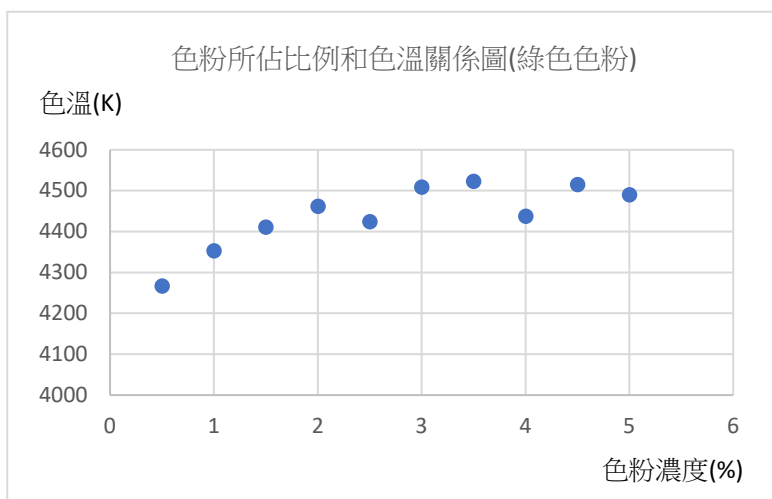
##### 1. 濃度:

(1)在實驗五(紅色色粉和綠色色粉)中，比較色粉濃度和色溫的關係



色粉所占釉藥百分比(%)	色溫(K)
1	2803
2	2501
3	2092
4	2175
5	2143
6	2106
7	2000
8	2036
9	2125
10	2436

(2)實驗五 1B4 為有加入紅色色粉的實驗。因紅色為低色溫，故當色粉濃度越濃，也就是試片紅色越來越濃厚時，色溫會越來越低。但是色溫和色粉濃度的關係圖不會呈線性關係。



色粉所占釉藥百分比(%)	色溫(K)
0.5	4267
1	4353
1.5	4411
2	4462
2.5	4424
3	4509
3.5	4523
4	4438
4.5	4515
5	4490

(3) 實驗五 1C4 為添加綠色色粉在釉藥中的實驗。綠色本身為高色溫的顏色，因此當綠色色粉濃度越高、試片綠色越濃厚時，色溫即會逐漸增加。

## 2.氧化物:

(1) 在交叉測試 1A2 實驗中，比較不同氧化物和色溫的關係。

#1:無氧化物 #2:氧化鉻 #3:氧化錳 #4:紅氧化鐵 #5:氧化鈷 #6:氧化鎳 #7:碳酸銅

#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	
		#1+#2	#1+#3	#1+#4	#1+#5	#1+#6	#1+#7
			#2+#3	#2+#4	#2+#5	#2+#6	#2+#7
				#3+#4	#3+#5	#3+#6	#3+#7
					#4+#5	#4+#6	#4+#7
						#5+#6	#5+#7
							#6+#7

色溫(K)	所混合的氧化物	色溫(K)	所混合的氧化物	色溫(K)	所混合的氧化物
6620	#5	4038	#1	3357	#1+#2
5473	#1+#5	3848	#2+#6	3333	#3+#6
5139	#2+#5	3820	#2+#4	3327	#2+#3
4999	#5+#7	3774	#3+#7	3299	#3
4741	#3+#5	3741	#2+#7		
4416	#4	3730	#1+#4		
4216	#4+#6	3708	#3+#4		
4168	#7	3613	#1+#6		
4159	#1+#7	3584	#2		
4129	#4+#5	3569	#6		
4098	#4+#7	3525	#1+#3		
4046	#5+#6	3491	#6+#7		

(2)由上表可推得釉藥中氧化物對色溫高低的影響為:

#5 氧化鈷>#4 紅氧化鐵>#7 碳酸銅>#1 無氧化物>#2 氧化鉻>#6 氧化鎳>#3 氧化錳。  
因此可得知透過控制氧化物的種類影響色溫的變化。

### 3. 不同顏色:

在實驗三:三軸測試實驗中，比較不同顏色釉藥混合後和色溫的關係

R 比例	Y 比例	B 比例	色溫(K)
0	0	50	5717
10	0	40	5298
20	0	30	4833
30	0	20	4622
0	10	40	4622
10	10	30	4229
40	0	10	4137
0	20	30	3976
20	10	20	3964
0	40	10	3894
0	50	0	3788
10	40	0	3719
20	30	0	3712
10	20	20	3655
30	10	10	3652
40	10	0	3590
0	30	20	3564
30	20	0	3492
50	0	0	3480
20	20	10	3412
10	30	10	3335

#### (三)討論：

由圖可見，當藍色比例比較多的時候，色溫比較高。而當紅色和黃色的比例比較多的時候，色溫就比較低。故由此可推知冷色系為高色溫，而暖色系為低色溫。



## 五、 色溫和演色系數關係之探討

(一)研究目的：研究鍛燒後成品的反射光的色溫和演色系數之間的關係

(二)研究結果：利用前面所提的所有基礎實驗的試片去量測色溫和演色系數

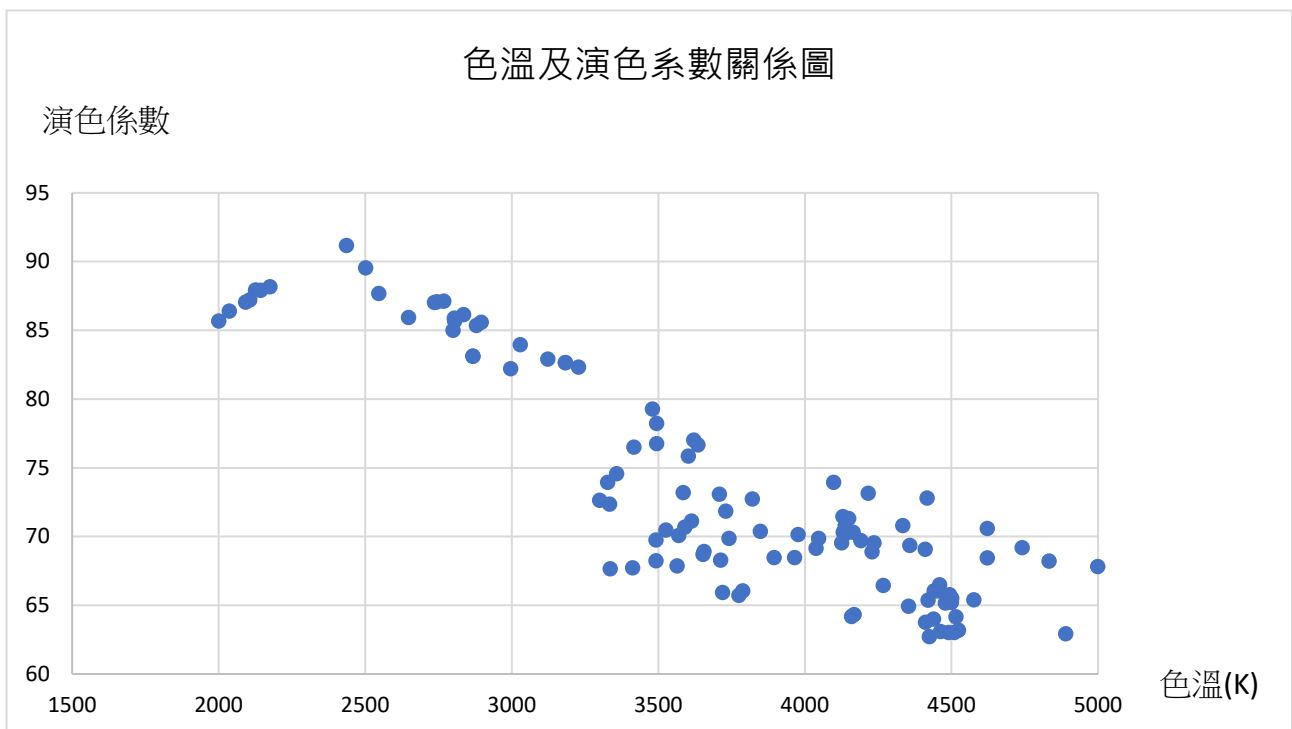
色溫(K)	演色系數	色溫(K)	演色系數	色溫(K)	演色系數
2803	85.9	3028	83.95	3613	71.13
2501	89.55	3416	76.51	4159	64.18
2092	87.05	2867	83.12	3327	73.94
2175	88.17	2867	83.12	3820	72.74
2143	87.91	2805	85.67	5139	68.71
2106	87.21	2799	85.01	3848	70.39
2000	85.69	4149	71.31	3741	69.86
2036	86.4	4138	70.22	3708	73.09
2125	87.93	4410	69.07	4741	69.19
2436	91.18	4441	66.05	3333	72.35
4267	66.44	4501	65.52	3774	65.71
4353	64.92	4479	65.16	4129	71.45
4411	63.77	4453	66.05	4216	73.16
4462	63.1	4493	65.77	4098	73.94
4424	62.71	4576	65.4	4046	69.86
4509	63.02	4420	65.36	4999	67.82
4523	63.18	4499	65.22	3491	69.75
4438	64	4130	70.32	3480	79.28
4515	64.16	4334	70.79	3590	70.67
4490	63.02	4125	69.53	4137	70.76
3602	75.84	4190	69.7	3492	68.23
3494	76.76	4235	69.53	3652	68.7
3620	77.01	4357	69.36	4622	68.44
3635	76.66	4459	66.48	3712	68.29
4164	70.32	5041	62.12	3412	67.73
2835	86.15	4889	62.92	3964	68.47
2879	85.36	5692	62.7	4833	68.22
3183	82.64	5638	61.94	3719	65.92
3183	82.64	4038	69.14	3335	67.66
3494	78.22	3584	73.19	3655	68.9
2647	85.94	3299	72.64	4229	68.88
2546	87.67	4416	72.8	5298	68.94
2736	87.03	6620	73.95	3788	66.05
2745	87.07	3569	70.07	3894	68.46
3227	82.32	4168	64.33	3564	67.86
2996	82.2	3357	74.58	3976	70.15
3122	82.9	3525	70.48	4622	70.59
2767	87.13	3730	71.85	5717	70.91
2895	85.59	5473	70.39		

### (三)討論：

1. 藉由前面幾組的研究探討可得到許多不同控制色溫的方法，例如控制色粉濃度、釉藥顏色、金屬氧化物種類以及色標等變因。而這一個討論則藉由上圖推測得到色粉和釉藥的關係原先一直呈現正比，但當色溫到達 2436K 時，演色系數一達到最高值 91.18。接下來便開始和色溫呈反比下降。
2. 演色系數最高:基本實驗五紅色色粉濃度 10%試片，色溫 2436K，演色系數 91.18  
色溫最低:基本實驗五紅色色粉濃度 7%試片，色溫 2000K，演色系數 85.69  
色溫最高:基本實驗二 27 號釉藥:氧化鈷加碳酸銅，色溫 4999K，演色系數 67.82
3. 由此可知，色溫 2436K 以下可取得最高的演色系數 91.18，而色溫大於 2436K 時則選用此一色溫最高演色系數之釉藥種類。以色溫 3500K 為例。色溫為 3490K 的試片有:基本實驗四 2 號試片(矽鋁比例 7.5，三氧化二鋁 0.35 克)、基本實驗四 10 號試片(矽鋁比例 10.5，三氧化二鋁 0.325 克)、基本實驗二 28 號釉藥(加入氧化鎳及碳酸銅)、基本實驗三 4 號試片(氧化鉻釉藥 30 克加氧化鈦釉藥 20 克)。其中演色系數最高者為基本實驗四 10 號試片(矽鋁比例 10.5，三氧化二鋁 0.325 克)。從以上數據能得知當相同色溫時，選用演色系數較高者能得到較完善的燈光效果。

## 陸、 結論

- 一、使用相同的釉藥，只是以不同的矽鋁比例混合，鍛燒後的顏色就會有極顯著的差異，所以鍛燒之前，光憑成份是無法推測出鍛燒出來的成品是什麼顏色，從上釉藥到鍛燒完成，需要兩天的時間，花費時間和費用甚鉅。
- 二、色粉濃度的改變會影響峰波長產生藍移或紅移的現象
- 三、紅色色粉濃度越高，所得色溫越低；綠色色粉濃度越高，所得色溫越高
- 四、氧化物提高色溫的效果為：  
#5 氧化鈷 > #4 紅氧化鐵 > #7 碳酸銅 > #1 無氧化物 > #2 氧化鉻 > #6 氧化鎳 > #3 氧化錳
- 五、暖色系釉藥含量較多的釉藥色溫較低，冷色系釉藥含量較多的則色溫較高。
- 六、在色溫小於 2436K 時，演色係數和色溫的關係原先一直呈現正相關；但當色溫到達 2436K 時，演色係數一達到最高值 91.18。色溫大於 2436K 後，色溫和演色係數呈負相關下降。



- 七、此實驗可得之最高演色係數為 91.18，是基本實驗五紅色色粉濃度 10% 試片。現在的 LED 或螢光燈很重視光線的漂亮程度，常用於攝影棚或展示空間，但高演色性可控色溫的燈具要價昂貴，演色係數 95 只有手掌大的攝影補強燈竟然就要兩仟多元。
- 八、依場地需求，所需色溫不同。例如：公開展覽空間通常需要「高色溫」顯得明亮；室內休息空間通常使用「低色溫」而顯得溫暖。
- 九、且即使是相同色溫，仍可選擇使用可反射出高演色性的釉色。以色溫 3500K 為例：基本實驗四 10 號試片(矽鋁比例 10.5，三氧化二鋁 0.325 克) 的演色係數最高者
- 十、此實驗成功找出釉藥成份和比例可以任意控制色溫的變化得到較完善的燈光效果。

## 柒、 參考文獻資料及其他

- 一、薛瑞芳，2013，「釉藥學 GLAZE」，藝術家出版社
- 二、劉偉仁，2014，「LED 螢光粉技術」，五南圖書出版股份有限公司

## 【評語】 052405

本作品利用釉藥調製技術和材料，結合色溫與演色係數分析方法，研究 LED 間接照明，找出釉料成分和比例與色溫變化關係，期能產生具有高藝術價值及實用性的燈光效果。實驗變因包括釉料成分比例、氧化物(色粉)種類、色粉濃度、氧化鋁與二氧化矽比例等。作品主題有趣，實驗內容豐富。惟研究摘要文詞稍雜亂且有部分錯別字，研究過程與方法與研究結果的連貫性稍弱，相關研究結果陳述說明完整度與精準度有些不足。未來宜加強成果的呈現技巧。希望同學繼續努力科學探究。

## 作品簡報

中華民國 第61屆中小學科學展覽會  
高級中等學校組 工程學(二)科

052405

釉色—千年釉彩工藝應用于間接  
燈光照明色溫及演色性之研究

# 摘要

一般將螢光粉覆蓋於 LED 上，受光激發而產生各色光，直接照明的光轉換效率高，缺點是極刺眼。本實驗研究 LED 的間接照明，利用已發展千年的釉藥調製技術和材料，以塞格式、一維二元... 常見調釉藥比例的方式，結合現代科技分析方法，應用於 LED 以產生漂亮又不刺眼的間接燈光，亦具有高藝術價值及實用性。

研究結果成功依需求自製低色溫(暖色系)或高色溫(冷色系)的「反射式」高演色性螢光釉，避免接觸高溫晶片而使螢光粉劣化，得到間接燈光的最佳化曲線。陶瓷耐高溫、易散熱而且釉藥能保持長時間不會退色、千年不壞。釉藥學千年來多應用於瓷器上，近年部分用於 LED 的螢光粉。本實驗堅持傳統用於瓷器藝術，又援以新科技LED，使其兼具現代實用需求及工藝美學

# 動機

陶瓷藝術為一門融和原始、古典、現代、民間等藝術性質為一體的傳統工藝。最早的工藝技巧可溯至石器時代。因一次的因緣際會而結識了陶藝老師，進而對陶瓷藝術產生了極大的興趣。

為了增廣對陶瓷藝術的知識和了解程度，開始積極地觀賞各個展覽。也因此發現到藝術作品的展場所使用的燈光會因主題不同而採用不同色溫的燈，但都是演色系數高的。

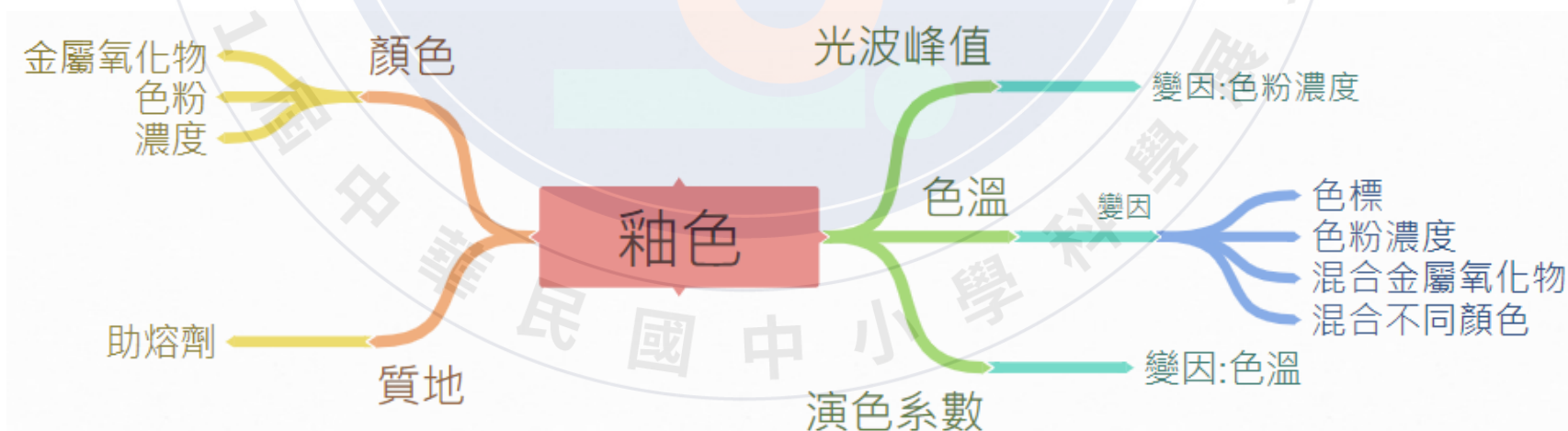
後來就聯想到是否能用室內裝潢間接照明的方式使釉藥反射後的光產生不同的色溫。其實釉藥並非如同水彩調色有固定的調色技巧。混合多種礦物後呈現出的顏色多半是混濁的灰色，經過高溫燒製的化學反應才會顯現出不同的質地和顏色變化。





# 研究目的

- 一、同種透明油搭配不同組合的助熔劑以改變油藥的透明度、質感、光澤、流動等因素。
- 二、倆倆互相混合加有六種不同金屬氧化物的基礎油和一份基礎油，以得知其產生的變化。
- 三、紅、黃和藍三種不同顏色的油藥按照固定的比例互相混合，有系統性的觀察其變化結果。
- 四、調整氧化鋁與二氧化矽氧化鋁比例並造成其流動性和顏色變化。
- 五、探討不同濃度的色粉試片燒製出來的外觀變化。
- 六、油藥濃度造成反射光波峰值變化探討
- 七、探討所測得的色溫及色標之間的關係
- 八、探討不同油藥成分濃度變化造成的色溫之變化
- 九、探討油藥中不同金屬氧化物成分造成色溫之變化
- 十、探討紅、黃和藍三種不同顏色的油藥相互混合所造成色溫之變化
- 十一、探討所測得的色溫及演色系數之間的關係



# 基本實驗

## 【釉藥配製】

所需礦物秤重»混合礦物和水»試片泡釉藥2秒»晾乾後燒製

## 【實驗一】助熔劑變化實驗(一維二元)

試片號碼	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
#1 百分比	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
#11 百分比	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100



鹼土族(鎂、鈣、鋇、鉍)作為釉藥中的助熔劑，使燒製顏色均勻，提高流動性及光亮度。

## 【實驗二】金屬氧化物混合實驗(交叉測試)

釉藥	#2	#3	#4	#5	#6	#7
釉藥金屬氧化物	氧化鉻	氧化錳	紅氧化鐵	氧化鈷	氧化鎳	碳酸銅
添加量 g	1.3	6.7	10.6	0.67	2.7	5.3

釉藥 #1	釉藥 #2	釉藥 #3	釉藥 #4	釉藥 #5	釉藥 #6	釉藥 #7
	試片8 #1+#2	試片9 #1+#3	試片10 #1+#4	試片11 #1+#5	試片12 #1+#6	試片13 #1+#7
		試片14 #2+#3	試片15 #2+#4	試片16 #2+#5	試片17 #2+#6	試片18 #2+#7
			試片19 #3+#4	試片20 #3+#5	試片21 #3+#6	試片22 #3+#7
				試片23 #4+#5	試片24 #4+#6	試片25 #4+#7
					試片26 #5+#6	試片27 #5+#7
						試片28 #6+#7

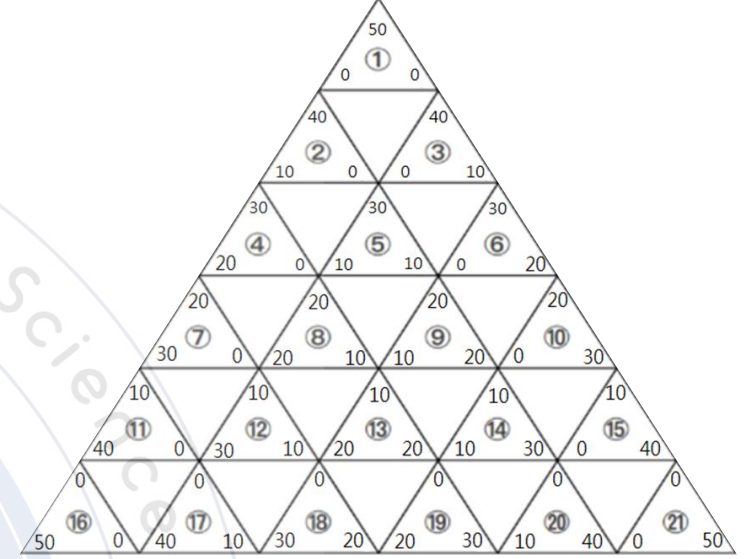
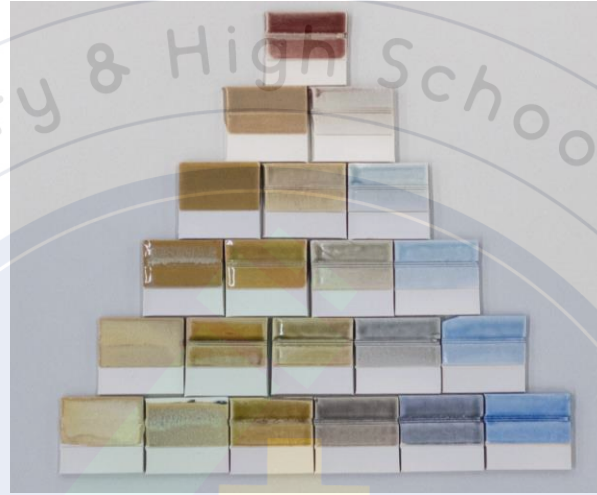
系統性混合不同金屬氧化物，觀察金屬氧化物相互影響的顏色變化，從而得知金屬氧化物在釉藥中影響和被影響的強弱程度。

#1為基礎釉，#2~#7為基礎釉加上各種金屬氧化物

# 基本實驗

## 【實驗三】顏色混合實驗(三軸測試)

紅、黃和藍三種不同顏色的  
釉藥相互混合，可分辨出三  
個顏色互相影響的強弱程度。  
從實驗結果中可得黃色蓋過  
其他顏色的程度較大，藍色  
次之，紅色最弱。

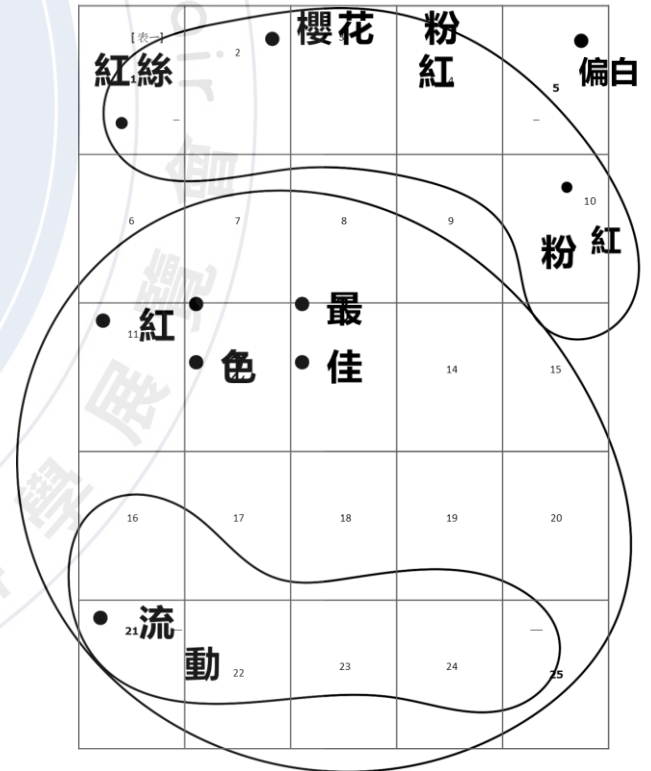
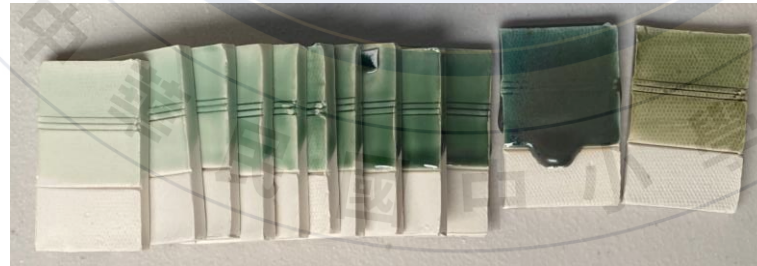


## 【實驗四】流動性及顏色混合測試(二維測試)

藉由調整氧化鋁與二氧化矽氧化鋁比例  
達成實驗。而可以發現越往左下角流動  
性越高，也越紅。而越往右上角則越白，  
最佳的中和試片為編號**13**，位正中央的  
試片。

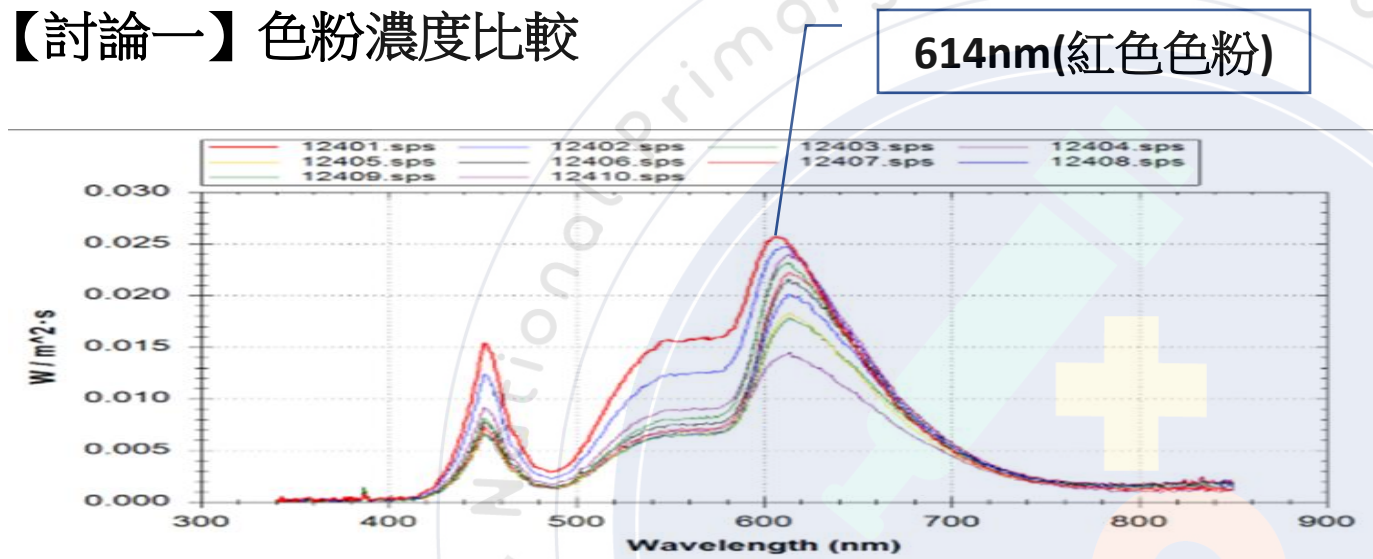


## 【實驗五】色粉濃度比較(一維二元)



# 研究討論

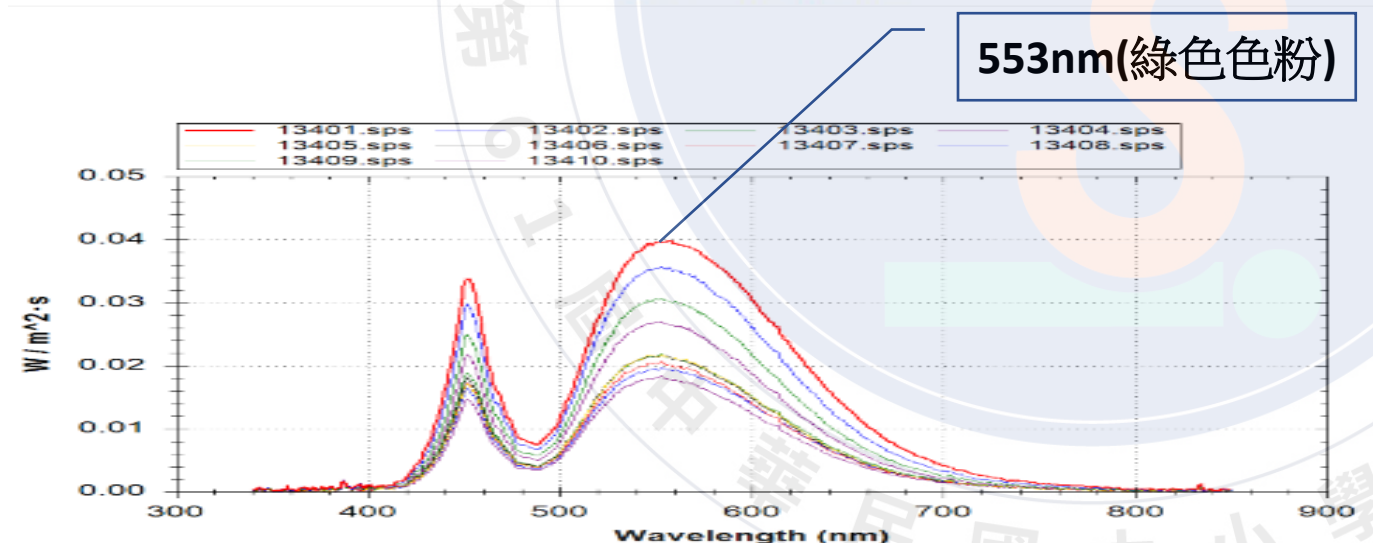
## 【討論一】色粉濃度比較



隨著紅色色粉濃度的增加，峰波長的值呈現遞增的情況。並且在峰波長達到614nm時便不再增加。由此可之614nm為峰波長紅移的臨界值。



無論是紅移或藍移，兩組實驗視覺上的顏色變化皆非常明顯，但因為光譜圖沒有辦法明確的顯示其差異。因此在下一個討論中利用色標精準的標示不同的顏色。



隨著綠色色粉濃度的增加，峰波長的值呈現遞減的情況。並且在峰波長達到553nm時便不再減少。由此可之553nm為峰波長藍移的最小值。

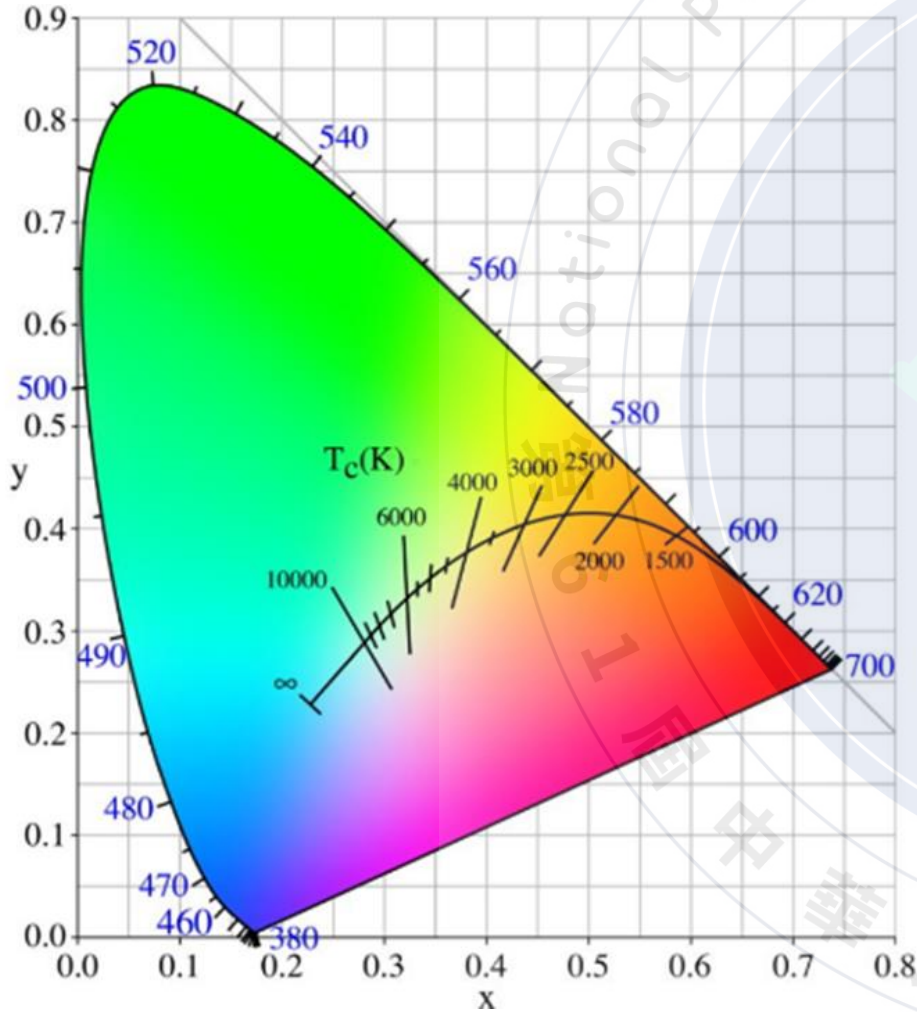
# 研究討論

## 【討論二】色標和色溫關係探討

經由所測得色標(Chromaticity coordinates)數值，對照色度圖(Chromaticity point)，可得到理論上的色溫。再比對所測量到的色溫數值即可知固定色標後，能得到固定的色溫。

色溫 (K)	CIE1931 X	CIE1931 Y	色溫 (K)	CIE1931 X	CIE1931 Y
2092	0.48	0.37	4235	0.38	0.39
4353	0.37	0.41	3299	0.42	0.4

紅色試片:色標約為(0.48,0.37)，而所測得的色溫約在2100K到2500K之間。代入光度圖可得約在2000K至2500K和所測數據吻合。  
綠色試片:色標約為(0.37,0.41)，所測得的色溫在4300K到4550K之間。將色標代入色度圖即可得知約在4000K到5000K左右。  
由此討論可知能透過控制色標的方法控制色溫。



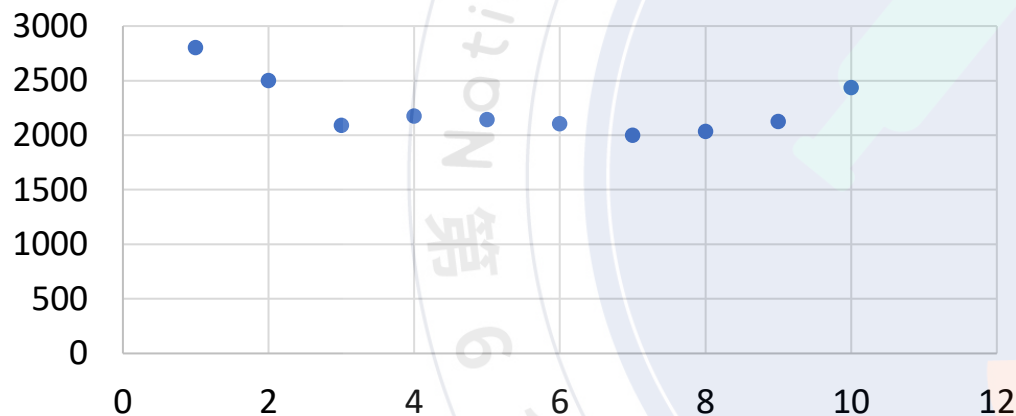
# 研究討論

## 【討論三】各項變因與色溫關係

### (1) 釉藥顏色濃度

色粉所佔比例和色溫關係圖(紅色)

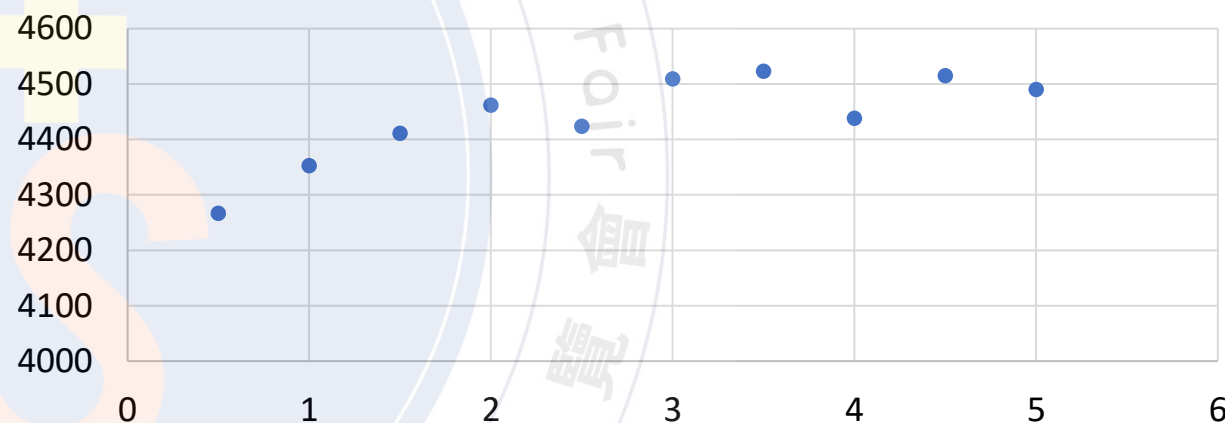
x:濃度% y:色溫K



此為加入紅色色粉的實驗。因紅色為低色溫，故當色粉濃度越濃，也就是試片紅色越來越濃厚時，色溫會越來越低。但是色溫和色粉濃度的關係圖不會呈線性關係。

色粉所佔比例和色溫關係圖(綠色)

x:濃度% y:色溫K



此實驗為添加綠色色粉。綠色本身為高色溫的顏色，因此當綠色色粉濃度越高、試片綠色越濃厚時，色溫即會逐漸增加。

# 研究討論

## 【討論三】各項變因與色溫關係 (2)各種金屬氧化物

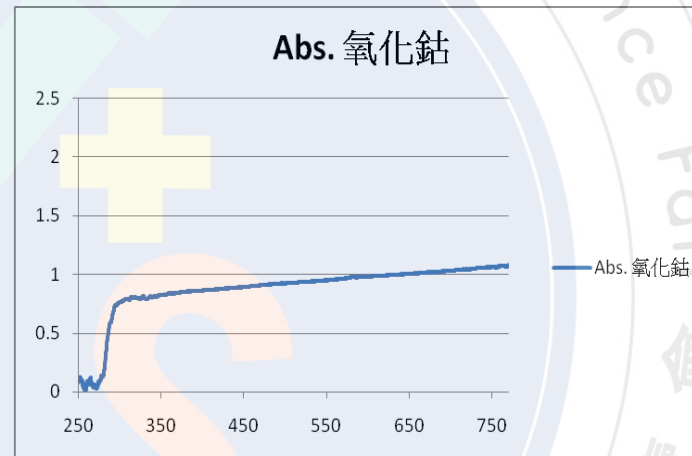
色溫(K)	所混合的氧化物	色溫(K)	所混合的氧化物	色溫(K)	所混合的氧化物
6620	#5	4038	#1	3357	#1+#2
5473	#1+#5	3848	#2+#6	3333	#3+#6
5139	#2+#5	3820	#2+#4	3327	#2+#3
4999	#5+#7	3774	#3+#7	3299	#3
4741	#3+#5	3741	#2+#7		
4416	#4	3730	#1+#4		
4216	#4+#6	3708	#3+#4		
4168	#7	3613	#1+#6		
4159	#1+#7	3584	#2		
4129	#4+#5	3569	#6		
4098	#4+#7	3525	#1+#3		
4046	#5+#6	3491	#6+#7		

在基本實驗二中，比較不同氧化物和色溫的關係。

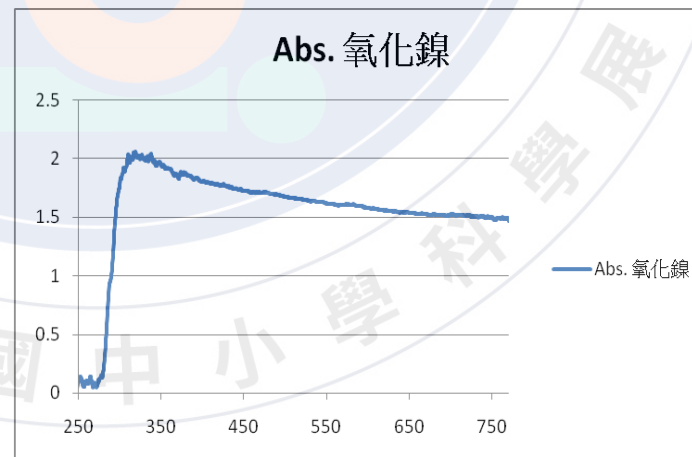
#1:無氧化物 #2:氧化鉻 #3:氧化錳 #4:紅氧化鐵 #5:氧化鈷  
#6:氧化鎳 #7:碳酸銅

由上表可推得釉藥中氧化物對色溫高低的影響為：  
#5氧化鈷>#4紅氧化鐵>#7碳酸銅>#1無氧化物>#2  
氧化鉻>#6氧化鎳>#3氧化錳  
固可透過控制氧化物的種類影響色溫的變化

而我們也測量了六種添加的氧化物未混合釉藥前純粉末的紫外可見光吸收光譜圖，如下：



使色溫最高的氧化鈷之光譜，波長愈長吸收愈多，而且變化非常明顯



使色溫較低的氧化鎳之光譜，波長愈長吸收愈少，而且變化更加明顯。

但其他的氧化物則無明顯規律，再次證實鍛燒之後會使釉藥產生極大的變化。

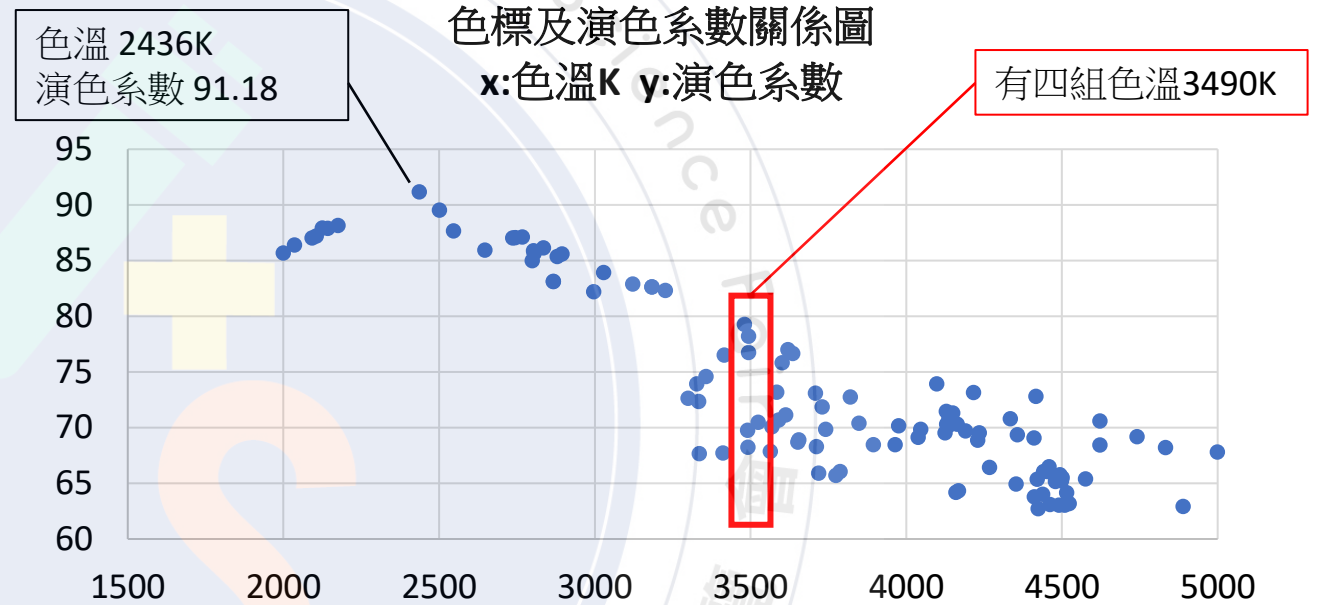
# 研究討論

## 【討論三】各項變因與色溫關係 (3)不同釉藥顏色混合

紅色比例	黃色比例	藍色比例	色溫K
0	0	50	5717
10	0	40	5298
20	0	30	4833
30	0	20	4622
0	10	40	4622
10	10	30	4229
40	0	10	4137
0	20	30	3976
20	10	20	3964
0	40	10	3894
0	50	0	3788
10	40	0	3719
20	30	0	3712
10	20	20	3655
30	10	10	3652
40	10	0	3590
0	30	20	3564
30	20	0	3492
50	0	0	3480
20	20	10	3412
10	30	10	3335

由圖可見，當藍色比例比較多的時候，色溫比較高。而當紅色和黃色的比例比較多的時候，色溫就比較低。故由此可推知冷色系為高色溫，而暖色系為低色溫。

## 【討論四】色溫和演色系數關係之探討



藉由上圖推測得到色粉和釉藥的關係原先一直呈現正比，但當色溫到達2436K時，演色系數一達到最高值91.18。接下來便開始和色溫呈反比下降。

色溫2436K以下:取得最高的演色系數 91.18  
色溫大於2436K:選用此一色溫最高演色系數之釉藥



## 結論

- 一、藉由前面幾組的研究探討可得到許多不同控制色溫的方法，例如控制色粉濃度、釉藥顏色、金屬氧化物種類以及色標等變因。而這一個討論則藉由上圖推測得到色粉和釉藥的關係原先一值呈現正比，但當色溫到達 2436K 時，演色系數一達到最高值 91.18。接下來便開始和色溫呈反比下降。
- 二、
  - 1.演色系數最高：基本實驗五紅色色粉濃度 10%試片，色溫 2436K，演色系數 91.18
  - 2.色溫最低：基本實驗五紅色色粉濃度 7%試片，色溫 2000K，演色系數 85.69
  - 3.色溫最高：基本實驗二 27 號釉藥:氧化鈷加碳酸銅，色溫 4999K，演色系數 67.82
- 三、承前項，而色溫大於 2436K 時則選用色溫最高演色系數之釉藥種類。  
以色溫 3490K 為例：其中演色系數最高者為基本實驗四 10 號試片 (矽鋁比例 10.5，三氧化二鋁 0.325 克)。相同色溫時，選用演色系數較高者能得到較完善的燈光效果。
- 四、此研究成功找出釉藥成份和比例，任意控制間接燈光的色溫及演色系數，符合當時的情境需求。故能根據各式用途客製化的調整，兼具藝術及實用價值。

## 參考資料

- 一 薛瑞芳，2013，「釉藥學 GLAZE」，藝術家出版社
- 二 劉偉仁，2014，「LED螢光粉技術」，五南圖書出版股份有限公司