中華民國第52屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組　物理科

佳作

040110

鬥豔爭輝－氧化薄膜干涉之探討

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者：	指導老師：
高二 陳一德 高二 林祐任	田蘭玲

關鍵詞：金屬氧化薄膜、薄膜干涉

摘要

本實驗是在探討針尖加熱後週期性顏色出現之現象。將針置於不同氣體中加熱，得知此現象為金屬氧化後之氧化薄膜所造成。並利用自製傾角微調裝置改變光的入射角以觀察顏色位移，證實此現象與干涉現象有關。由自製干涉儀測出的干涉條紋間距來換算薄膜厚度變化，探討顏色週期性出現之原因。由實驗得知，膜厚的變化造成特定顏色建設性干涉，導致週期性顏色出現之現象。但膜厚在一定範圍內，才會有週期性顏色出現。最後，還有測量溫度與顏色出現的關係，得知溫度與顏色出現有一規律性。而藉由均勻加熱的方式，可將單一顏色均勻地呈現在一樣本上。

壹、研究動機

有次我順手拿起一旁的縫衣針，並用打火機將針尖燒至火紅，令人訝異的是，在燃燒針尖後，其後方居然出現美麗的顏色，而且顏色是有週期性地出現!令我感到十分的新奇。在那之後，我便開始注意到，其實在我們日常生活中這種奇妙的現象是隨處可見的。例如：金屬焊接處的周圍、傳統打製而成的農具上..等。再加上我們推論此現象與在高中選修物理第五章所學-光的干涉有關，且因為喜愛此部分之課程，因而開始設計實驗假說及實驗步驟並進行實驗，來解開這神祕之謎！

(圖一、針尖後方顏色週期性出現)

(圖二、金屬焊接處的周圍)

(圖三、傳統打製而成的農具上)

貳、研究目的

由於上述動機，於是我們進行實驗設計以達到以下研究目的:

一、探討有顏色部份之表面成分。

二、探討顏色順序性排列及循環之原因。

三、探討溫度與顏色之關連。

參、研究設備與器材

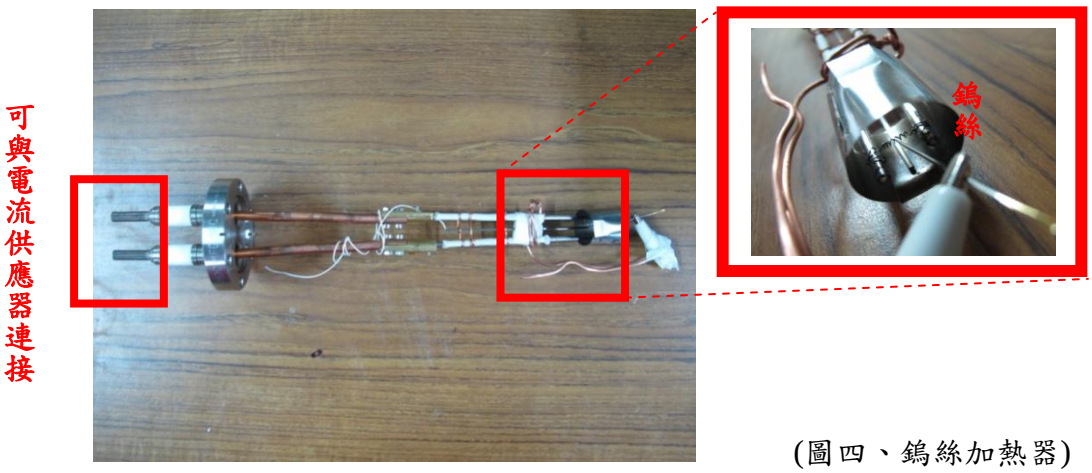
一、真空加熱裝置:

(一)設計目的:

我們自行設計一組真空加熱裝置，可以控制加熱針時的環境，並觀察針在不同種環境中加熱後之顏色變化與否，以得知針上週期性顏色出現部分之表面成分。

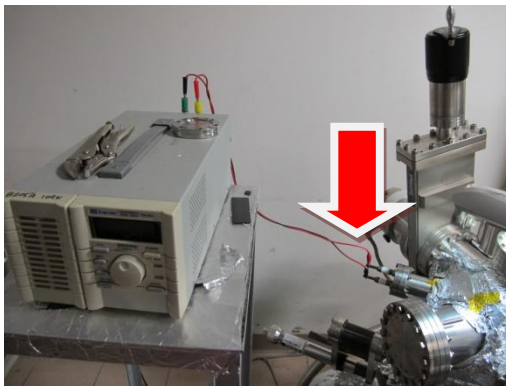
(二)裝置設計:

為使針可在不同環境中加熱，我們製作一組鎢絲加熱器(如圖四)，以便在不同環境中當加熱源。

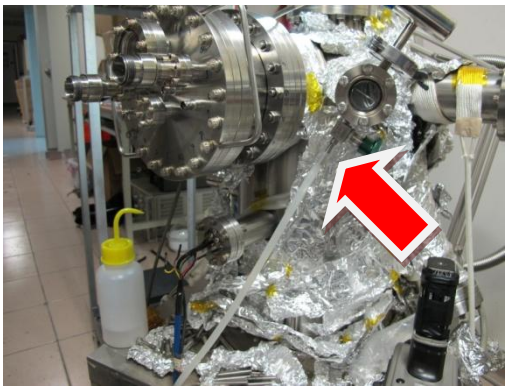


(圖四、鎢絲加熱器)

我們將自製鎢絲加熱器與真空腔體組合起來，再接上電流輸出器以控制鎢絲加熱器的溫度(如圖五)，並裝上一台抽氣馬達以及氣壓值顯示器，以便得知真空腔體內的氣壓值。此裝置除了可抽氣至真空之外，我們還有裝上一個塑膠軟管(如圖六)，以充不同種氣體進入腔體，達到改變加熱環境之目的。



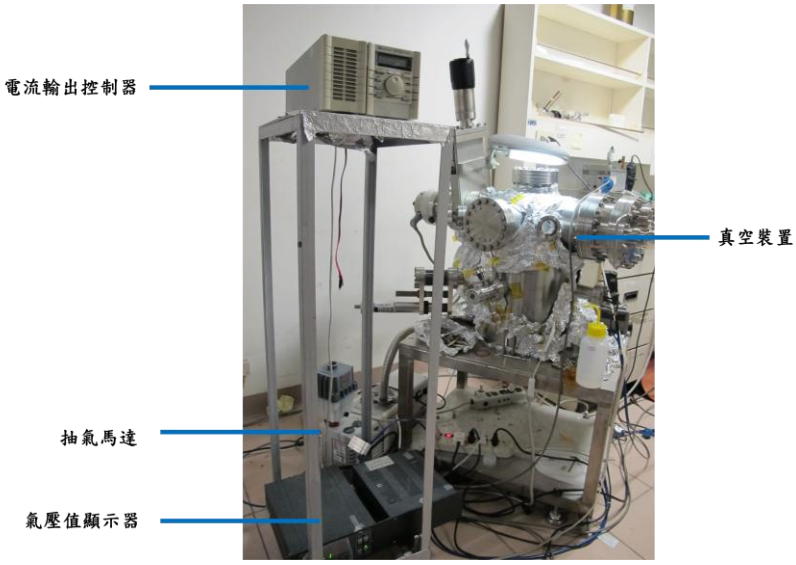
(圖五、電力連接)



(圖六、供充入氣體用之軟管及閥)

(三)裝置使用方式:

將腔體內調整為所需的環境後，開啟電流供應器，一邊調整輸出之電流值加熱樣本，一邊以紅外線測溫槍測量樣本之溫度，加熱樣本。(在加熱樣本前會先做電流值與溫度的測試，以便快速控制樣本之加熱溫度)加熱完畢後，取出鎢絲加熱器，並觀察針上的顏色變化與否。



(圖七、真空加熱裝置完成圖)

(圖八、真空加熱裝置內部圖)

二、自製傾角微調裝置:

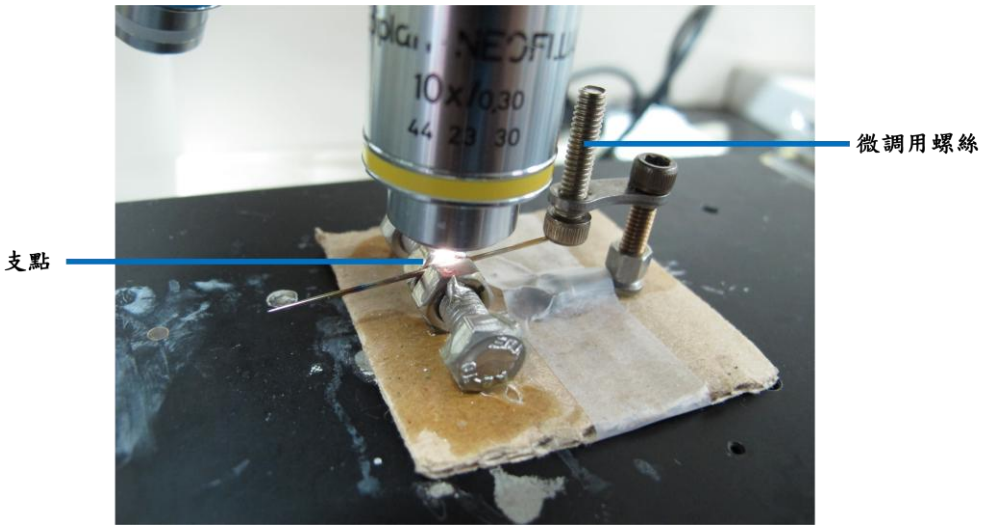
(一)設計目的:

我們設計並製作一組傾角微調裝置，藉由改變入射光入射樣本的角度，來觀測顏色位移與否，以此證明週期性顏色出現之原因是否與干涉現象有關。

(二)裝置設計:

1.我們使用像蹺蹺板的槓桿原理-將樣本欲觀察之位置置於支點處，如此，當改變樣本傾角大小時，較不會跑出顯微鏡的視窗範圍。

2.為了達到微調的效果，我們使用螺絲與螺帽搭配，使得樣本的傾角可由旋轉螺絲來控制，可較穩定地達到微調之效果。



(圖九、自製傾角微調裝置完成圖)

(三)裝置使用方法:

將樣本欲觀察處放置於支點上，並關掉實驗處之光源，使用顯微鏡本身的光源。於此過程中視需要微調螺絲以改變樣本之傾角，並使用不同倍率之物鏡觀察。

三、自製干涉儀:

(一)設計目的:

我們自行設計並製作一組干涉儀，藉由樣本打出的干涉條紋，推算出顏色變化處之膜厚變化，以探討顏色週期性變化之原因。

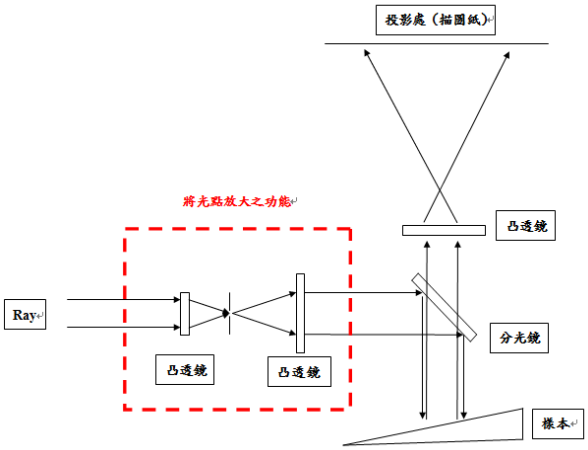
(二)裝置設計:

1.使用藍、綠雷射光，其波長分別為 488nm 及 514nm。

2.利用凸透鏡成像的原理將原本的雷射光點範圍放大縮小，以便尋找干涉條紋及控制解析度。

3.將光點打至傾斜 45 度的分光鏡，使得雷射光可打至樣本，由樣本所反射出的光線直接穿過分光鏡並入射凸透鏡。

4.再利用凸透鏡成像的原理，使此光線在聚焦後交叉放大成像，以便觀察及記錄。

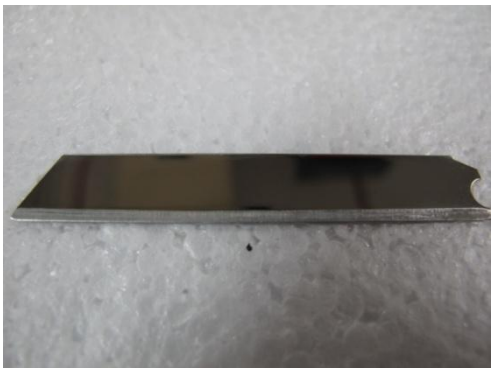


(圖十、自製干涉儀架構圖)

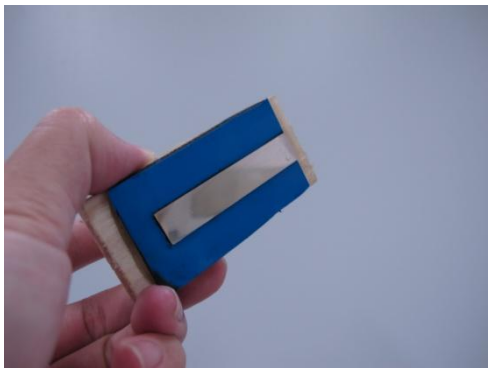
(圖十一、自製干涉儀完成圖)

(三)樣本使用:

1.使用不鏽鋼刀片及鎳片來做樣本，且在使用前會進行拋光以降低散射現象。



(圖十二、拋光過之刀片)



(圖十三、拋光過之鎳片)

四、加熱管:

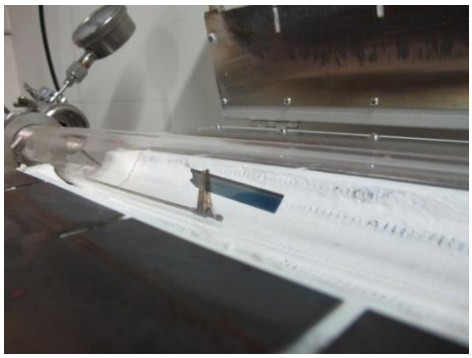
(一)使用目的:

以往使用自製鎢絲加熱器都是以一熱點去加熱樣本，而使用加熱管加熱樣本可以使樣本被均勻加熱，也使得氧化膜可以較均勻的生長(樣本會均勻地出現單一顏色)。

(二)裝置使用方法:

將樣本以一夾具放置於加熱管的正中央，使之得以較均勻地被加熱(如圖十四)。且可以控制加熱溫度以及加熱時間，為了加熱溫度的控制要更加準確，我們會先將加熱管調定一溫度後放置一小時，使管內溫度均勻且穩定，再開始進行實驗。

(圖十四、加熱管)



(圖十五、正中央均勻加熱)

肆、研究過程與方法

一、實驗原理:

(一)氧化薄膜材質與折射率:

1.由實驗結果得知以刀片為基材之氧化薄膜成分為氧化鐵(Fe_2O_3)。

我們認為以鎳片為基材之成分應同樣為其氧化物，才得以產生顏色週期變化。氧化鎳又大致有 NiO 及 Ni_2O_3，但是將 Ni_2O_3 加熱至 600°C，便會分解成 NiO 和水，而我們加熱的溫度大致上都在 1000°C 左右，因此，我們推論以鎳片為基材之氧化薄膜成分為 NiO。

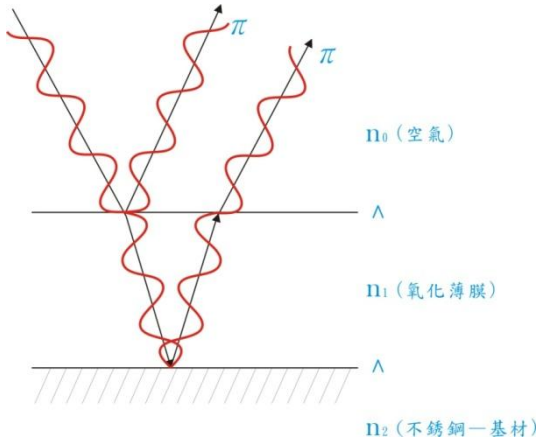
2.本實驗使用之氧化鐵折射率為 2.918(n=2.918)；氧化鎳折射率則是介於 2~2.1 之間，運算時取平均值(n=2.05)做計算。

(二)氧化薄膜干涉:

1.光由空氣入射到氧化薄膜時，因為氧化薄膜的折射率比空氣大，所以入射光與表面反射會有 180 度的相位差。

2.當光穿透氧化薄膜入射至基材表面時，又會因為基材折射率遠比氧化薄膜折射率高，所以入射光與基材反射會有 180 度的相位變化。

3.因為兩者相位變化相同，所以此時得以改變兩者相位的因素只有光在氧化薄膜中所走的光程差。



(圖十六、氧化薄膜干涉圖)

4.已知計算光程差的公式為$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} 2nd\cos\theta$，再加上自製干涉儀所入射到樣本的光線角度接近零度，所以$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} 2nd\cos 0° = \frac{2\pi}{\lambda} 2nd$。

(λ: 波長 ；n: 折射率 ；d: 薄膜厚度 ；θ: 折射率)

5.因為要得到建設性干涉，兩光線之光程差須為一個波長之整數倍，故兩亮紋間距所對應之相位差為$\alpha' = 2m\pi$。

6.將兩者合併後，可得出$2m\pi = \frac{2\pi}{\lambda} 2nd$，經整理過後就可以得到實際膜厚的計算公式:$d = \frac{m\lambda}{2n}$。

7.我們由相差幾個干涉條紋，以準確代入Δm的值, 來運算出條紋間距內所對應之膜厚變化量：$\Delta d = \frac{\Delta m \times \lambda}{2n}$。

二、實驗流程與步驟:

(一) 探討有顏色部份之表面成分:

實驗一:將針以不同種可燃物來加熱，並觀察其顏色變化

1.以打火機加熱針尖，並觀察其顏色變化。(使用有機化合物-丁烷)

2.以自製鎢絲加熱器加熱針尖，並觀察其顏色變化。

3.推測顏色週期變化處之表面成分。

實驗二:將針置於不同種氣體中加熱，並觀察其顏色變化(使用鎢絲加熱)

1.將針置於空氣中加熱做為對照組。

2.將針置於真空中加熱，並觀察其顏色變化。(抽氣至 10^{-3} 托耳)

3.將針置於氮氣中加熱，並觀察其顏色變化。

(抽氣至 10^{-3} 托耳再充氮氣至 10^{2} 托耳，即接近於一大氣壓。)

4.將針置於氧氣中加熱，並觀察其顏色變化。

(抽氣至 10^{-3} 托耳再充氧氣至 10^{2} 托耳，即接近於一大氣壓。)

5. 推測顏色週期變化處之表面成分。

實驗三:以 XPS(X-ray Photoelectron Spectrometer)測量表面顏色處之成分

1.將以刀片為基材的樣本送往檢測。

2.討論檢測的表面電子能譜圖，以得知表面顏色處之成分。

(二) 探討顏色順序性排列及循環之原因:

實驗四:觀察光之入射角對於顏色之關係

1. 隨著改變傾斜角度之變化，以倍率小的鏡頭來觀察在支點處的顏色。

2. 隨著改變傾斜角度之變化，以倍率大的鏡頭來觀察在支點處的顏色。

實驗五:前後移動樣本觀察干涉條紋

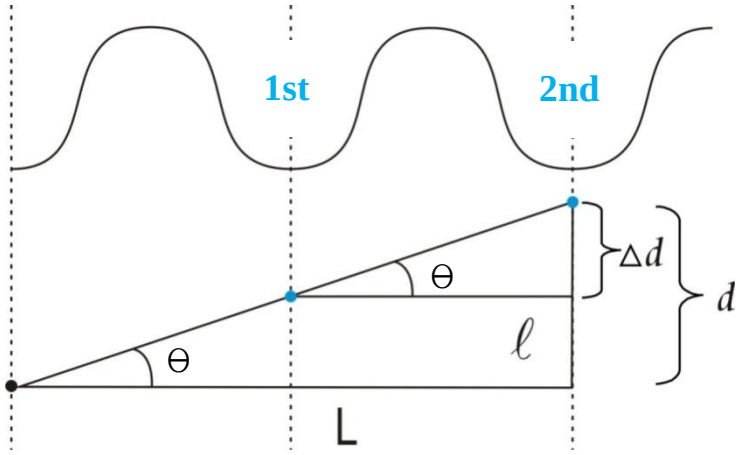
1.將光點由樣本最前端掃至最末端，觀察干涉條紋與其出現之位置。

2.將光點由樣本最前端掃至最末端，觀察從各區塊打至屏幕上之光的強弱。

3.由此實驗討論氧化薄膜光干涉之現象。

實驗六:推算出各顏色區域之膜厚

1.由實驗推論薄膜變化為曲線, 但因為膜厚很薄, 所以θ很小, 也因為如此, 可以以相似三角形的觀念來計算出干涉條文對應處之膜厚 。 ($\frac{\Delta d}{d} = \frac{l}{L}$，得 d) 如此便可得到干涉條紋處相對於樣本顏色起點處的相對膜厚值。(因為不知道實際薄膜為 0 的位置在哪，因此，無法以此方法計算出實際膜厚)



(圖十七、相似三角形觀念)

(**Δd** **:**兩干涉條紋間隔內所對應的膜厚變化；**d：** 第二週期干涉條紋處所對應的實際膜厚；**l** ：兩干涉條紋所對應的間隔距離；**L**： 由測量原點到第二週期干涉條紋間的距離；**θ** :l / Δd = L / **Δd**)

2. 反覆實驗 25 次，並在取平均值後，以圖表方式呈現，以便比較。

(三) 探討溫度與顏色之關連:

實驗七:測量加熱過程中顏色出現時該點與熱源之溫度

1.在加熱前將電偶式溫度計的感應端接觸於加熱後顏色開始出現的地方。(如圖十八)

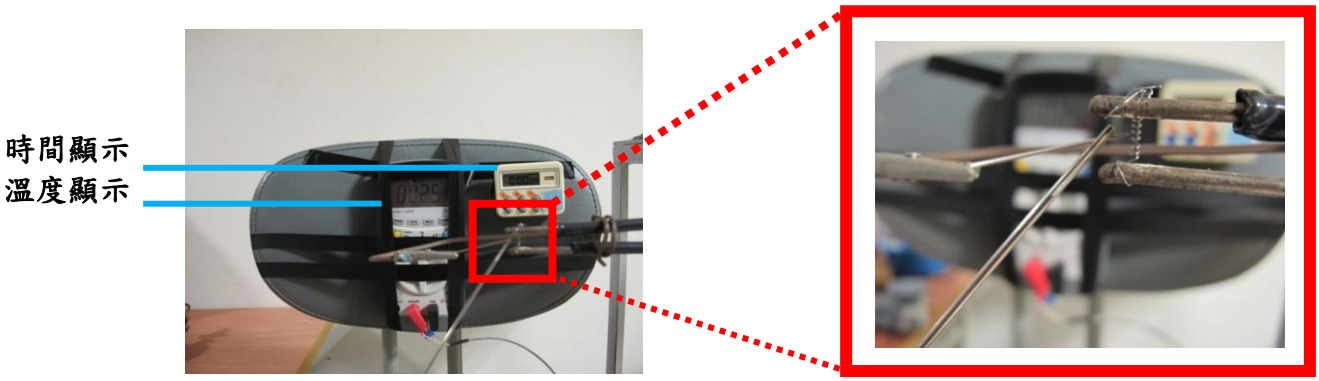
2.控制電流輸出器的電流大小，並開始加熱。

3.在加熱過程中記錄顏色出現時，該點與熱源之溫度。

(熱源溫度以紅外線測溫槍測量)

4.反覆實驗 20 次，並在取平均值後，以表格方式呈現，以便比較。

5.探討顏色出現時該點與熱源溫度，並討論顏色出現之情形。



(圖十八、電偶式溫度計的感應端接觸於針上)

實驗八:均勻加熱控制氧化膜增長

1.控制樣本加熱時間及溫度(攝氏 300、400、500、600、700 度 C)

，並記錄其加熱後之顏色。

2.觀察顏色的變化。

3. 討論薄膜增長與溫度的關係。

4.討論在均勻加熱下，樣本表面對於膜厚成長速率之影響。

伍、研究結果

一、探討有顏色部份之表面成分:

實驗一:將針以不同種可燃物來加熱，並觀察其顏色變化

實驗顯示，以打火機加熱針尖會有週期性顏色變化。以自製鎢絲加熱器加熱針尖，也會使針尖有週期性顏色變化。

實驗二:將針置於不同種氣體中加熱，並觀察其顏色變化(使用鎢絲加熱)

將針置於不同種氣體中加熱後，發現當針置於真空中加熱時，不管加熱多久，只有燒紅處變為灰色，其餘的部分都沒有顏色出現:

(圖十九、針置於真空中加熱後之顏色變化)

當針置於氮氣中加熱，我們發現不管加熱多久，在針尖後方只有一層土灰色出現，其餘的部分也沒有顏色出現:

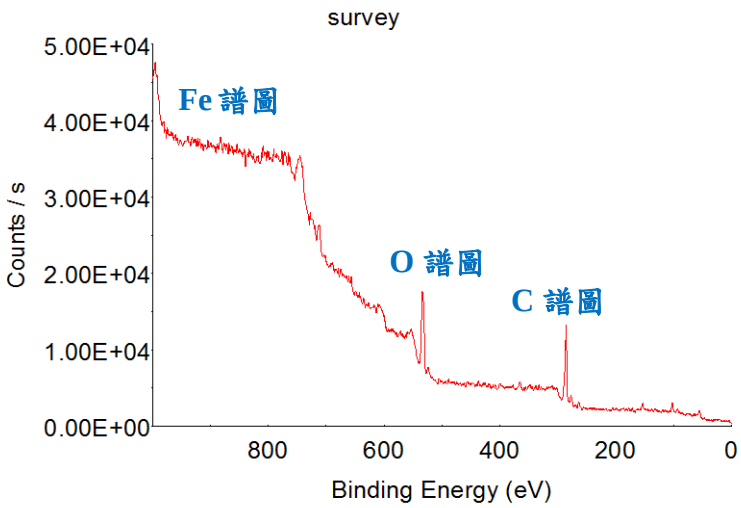
(圖二十、針置於氮氣中加熱後之顏色變化)

最後，將針置於氧氣中加熱後，我們發現在針尖後方有明顯的顏色變化出現，且在氧氣中加熱時間不到 20 秒，就已有顏色變化出現:

(圖二十一、針置於氧氣中加熱後之顏色變化)

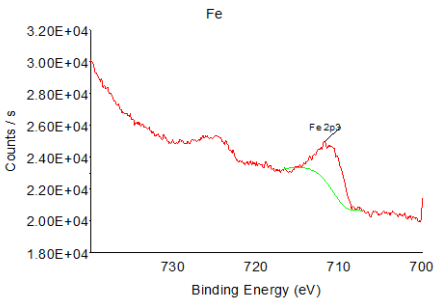
實驗三:以 XPS 測量刀片表面顏色處之成分。

刀片表面顏色處由 XPS 檢測出的電子能譜如下:

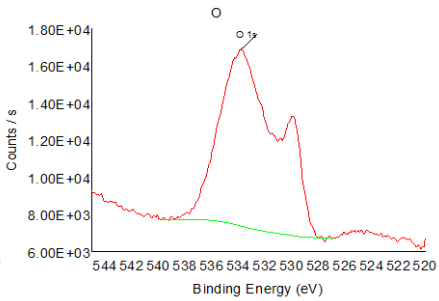


(圖二十二、電子能譜總譜)

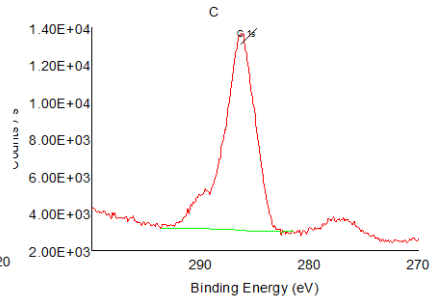
由此圖，我們大致上可以發現三個峰值，各將其分割放大如下:



(圖二十三、Fe 譜圖)



(圖二十四、O 譜圖)



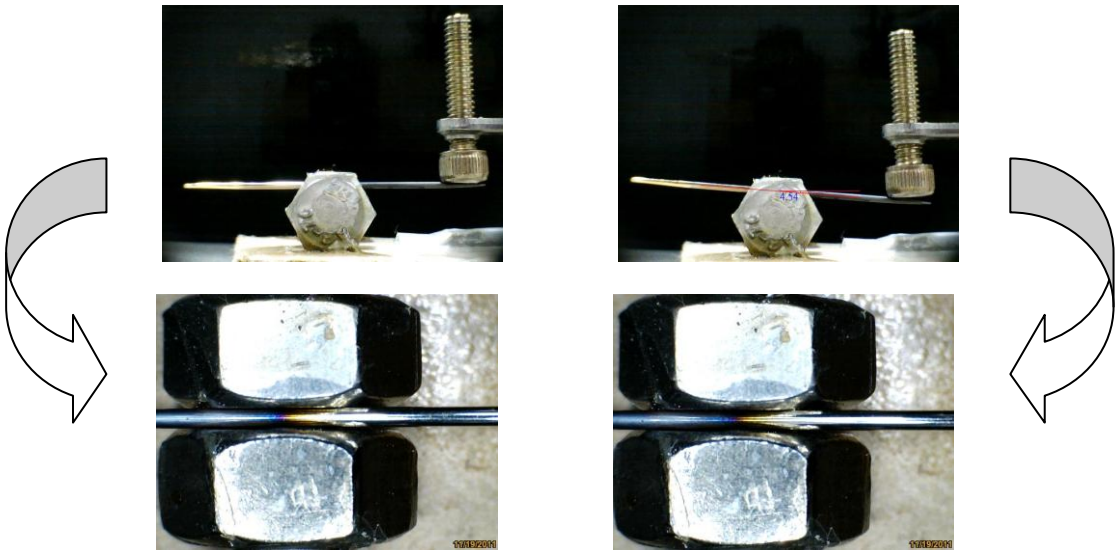
(圖二十五、C 譜圖)

由此可得知有顏色處的表面成分主要是由 Fe_2P_3、O1s 及 C1/s 等電子軌域所構成，其中以 Fe 的含量最多，C 的含量最少。

二、探討顏色順序性排列及循環之原因:

實驗四:觀察光之入射角對於顏色之關係

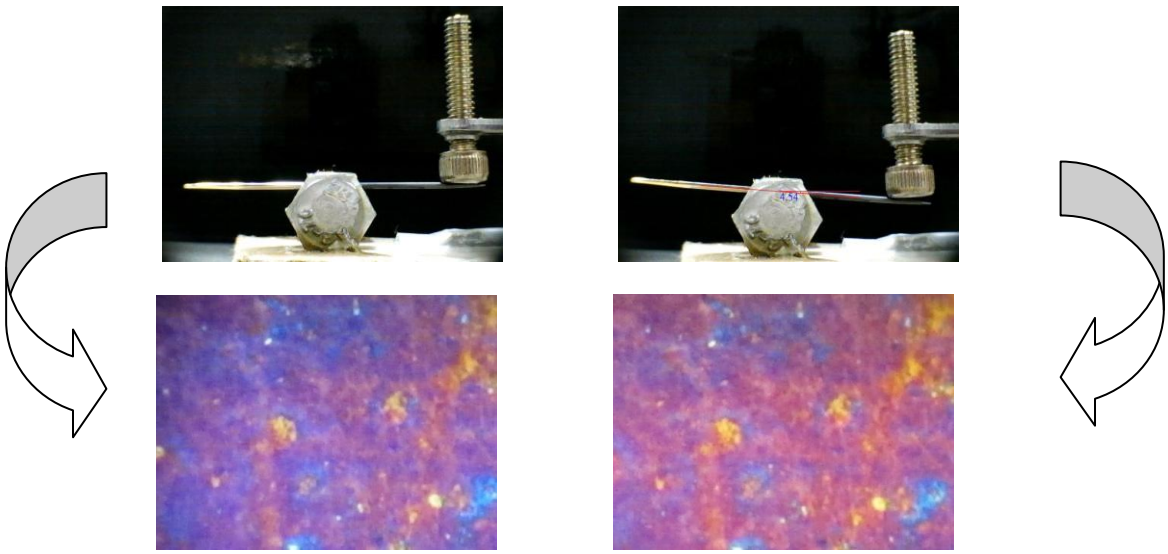
在觀察光之入射角對於顏色之關係時，先以較低的倍率來做觀察:



(圖二十六、低倍率觀察入射角對於顏色之關係)

由圖中，可以發現在大尺度的範圍裡觀察，當傾斜角度改變後，一個週期的顏色變化處會些微往左移動(往針尖方向)，但這樣子觀察其實會受到一點角度變化所造成視覺上顏色距離的變化(有些顏色因為變得比較近所以感覺被放大，反之則變小)，所以為了要更準確地證實光之入射角對於顏色變化之關係，所以必須以較高倍率再觀察一遍。

在觀察光之入射角對於顏色之關係時，以較高的倍率來做觀察:

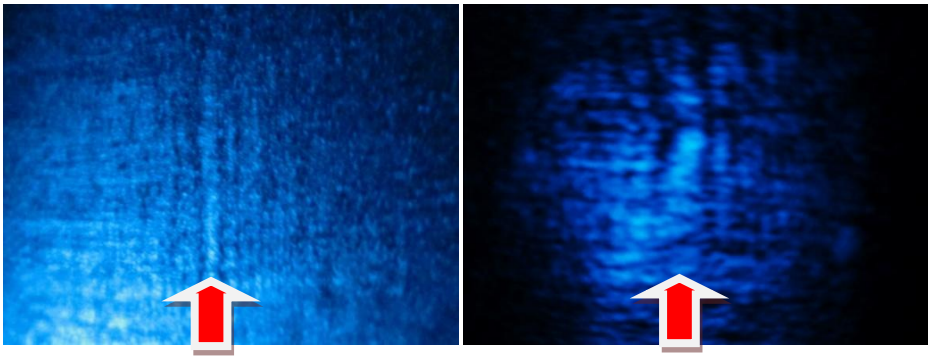


(圖二十七、高倍率觀察入射角對於顏色之關係)

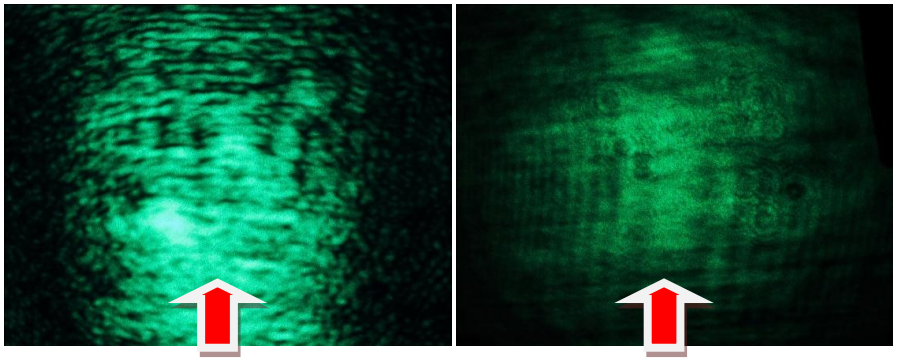
由圖中，可以發現在小尺度的範圍裡觀察，當傾斜角度改變後，一個週期的顏色變化處依然會些微往左移動(往針尖方向)，也使得原本是藍色的表面變成比較紫紅色，而這也顯示在針上的顏色週期性出現會隨著光對於針的入射角有所不同而有前後位移的現象，也因為如此，證實了**顏色週期性出現與干涉現象有關**。

實驗五:前後移動樣本觀察干涉條紋

將光點由樣本最前端掃至最末端，可以發現以特定波長雷色光打出的干涉條紋只會在該色塊出現，而且在同一色塊內只會出現一條較粗的干涉條紋。

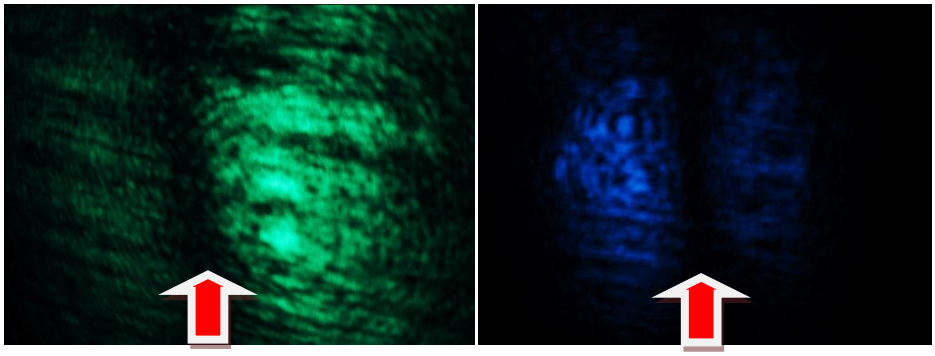


(圖二十八、藍雷射干涉條紋)



(圖二十九、綠雷射干涉條紋)

除了發現干涉條紋只會在該色塊出現之外，也發現隨著樣本移動，打至屏幕的光，會一亮一暗地相間，且不同波長的雷色光可以打出的較亮區塊及較暗區塊位置不盡相同。



(圖三十、亮暗相間)

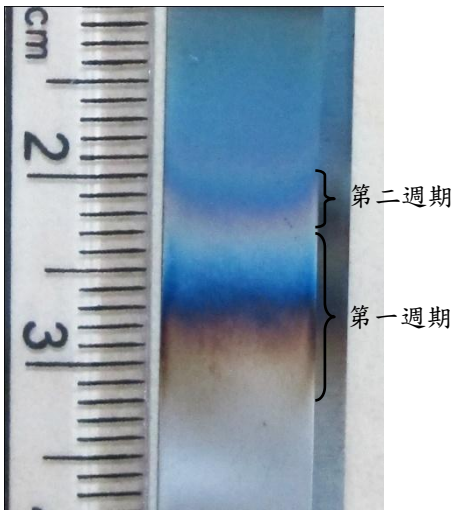
實驗六:推算出各顏色區域之膜厚

在實驗中所測量到的干涉條紋位置，可以相似三角形的觀念求出干涉條紋的相對膜厚。再求得各干涉條紋對應處之相對膜厚後，再加上干涉條紋與顏色出現起點(原點)之相對距離，便可整理出此表格:

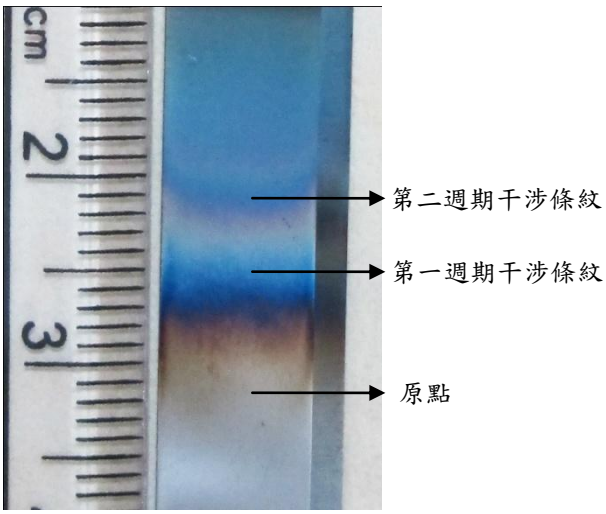
1. 薄膜成分為 Fe_2O_3:

	相對距離(mm)	相對膜厚(nm)	備註
原點	0	0	顏色出現起點
第一週期干涉條紋	3.3	24	由 488nm 藍雷射打出
第二週期干涉條紋	7.26	108	由 488nm 藍雷射打出

(圖三十一、Fe_2O 薄膜干涉條紋對應處之相對膜厚)



(圖三十二、刀片 - 顏色週期)

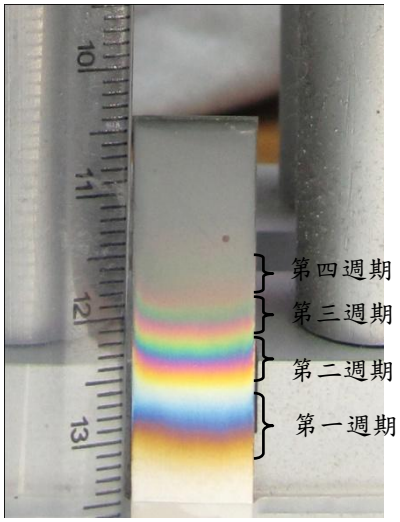


(圖三十三、刀片 - 干涉條紋對應處)

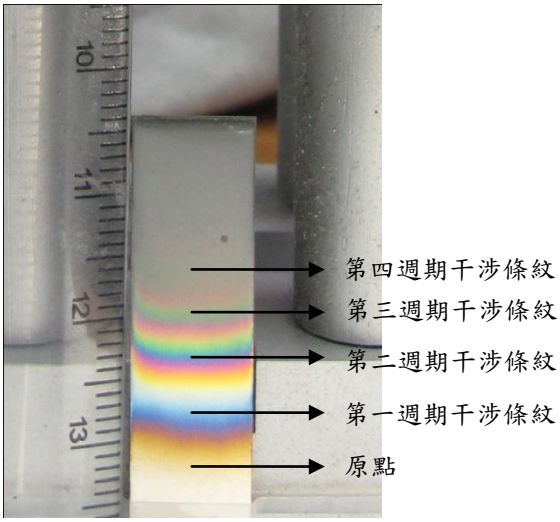
2.薄膜成分為 NiO:

	相對距離(mm)	相對膜厚(nm)	備註
原點	0	0	顏色出現起點
第一週期干涉條紋	5.31	34	由 488nm 藍雷射打出
第二週期干涉條紋	9.49	153	由 488nm 藍雷射打出
第三週期干涉條紋	12.84	366	由 514nm 綠雷射打出
的四週期干涉條紋	16.18	491	由 514nm 綠雷射打出

(圖三十四、NiO 薄膜干涉條紋對應處之相對膜厚)



(圖三十五、鎳片 - 顏色週期)



(圖三十六、鎳片 - 干涉條紋對應處)

三、探討溫度與顏色之關連:

實驗七:測量加熱過程中顏色出現時該點與熱源之溫度:

測量針在加熱過程中各顏色出現時之溫度，並予以平均得其出現時該點之平均溫度(熱源之溫度因為範圍較大故以一範圍表示):

	出現時該點之溫度平均(℃)	出現時熱源之溫度範圍(℃)	實驗情形
黃色 1	230	700 度左右	最快出現
紫色 1	342	800 度左右	幾乎同時出現(肉眼無法辨識)
藍色 1			
黃色 2	432	900~1000 度左右	幾乎同時出現(肉眼無法辨識)
紫色 2			
藍色 2			

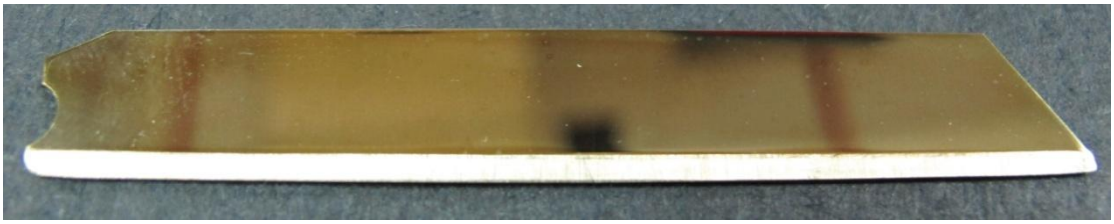
(圖三十七、加熱過程中顏色出現時該點與熱源之溫度)

在第二次顏色出現時是由紫色與藍色幾乎一同出現；在第三次顏色出現時幾乎所有顏色一同出現。

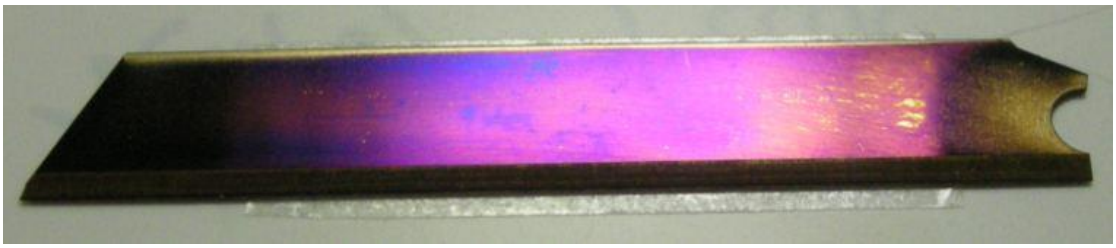
在本實驗中，有明顯三次顏色出現的時間點，而這三點的溫度間隔(加熱過程中顏色出現時該點與熱源之溫度)剛好大約是 100 ℃左右。

實驗八:均勻加熱控制氧化薄膜增長

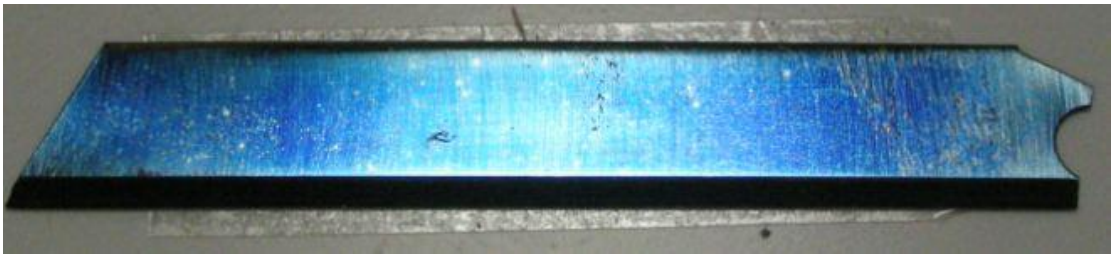
我們認為在均勻加熱下，膜厚會均勻的增長，而最好的證明是顏色的均勻度，以下是我們在使其均勻加熱下所產生之顏色變化:(固定溫度、控制時間)



(圖三十八、均勻加熱至黃色)



(圖三十九、均勻加熱至紫色)



(圖四十、均勻加熱至藍色)

陸、討論

一、探討有顏色部份之表面成分:

實驗一:將針以不同種可燃物來加熱，並觀察其顏色變化

實驗顯示,以打火機加熱針尖會有週期性顏色變化,我們推測週期性顏色變化出現，可能是因為有機化合物在燃燒後所產生的碳粒附著造成(表面成分為碳)，也有可能是與空氣中的某種氣體化合而成。

以自製鎢絲加熱器加熱針尖，也會使針尖有週期性顏色變化，如此一來，表面成分為碳的可能性就大幅降低。推論週期性顏色變化處的表面成分可能是由針與空氣中的某種氣體化合而成。

實驗二:將針置於不同種氣體中加熱，並觀察其顏色變化(使用鎢絲加熱)

由針置於真空中加熱的實驗，因為完全沒有顏色產生，所以代表針上週期性顏色變化的出現與空氣中的某種氣體化合而成的可能性非常高，而在氧氣中加熱後又有非常明顯的顏色變化出現，所以我們確定針上**週期性顏色變化處的成分為氧化鐵**。(雖然針置於氮氣中加熱後似乎有一點顏色出現的感覺，但是因為此顏色大約在加熱 40 秒後才出現，再加上我們所使用的氮氣並不是非常純，所以我們認為樣本與氮氣化合的機率很低。)

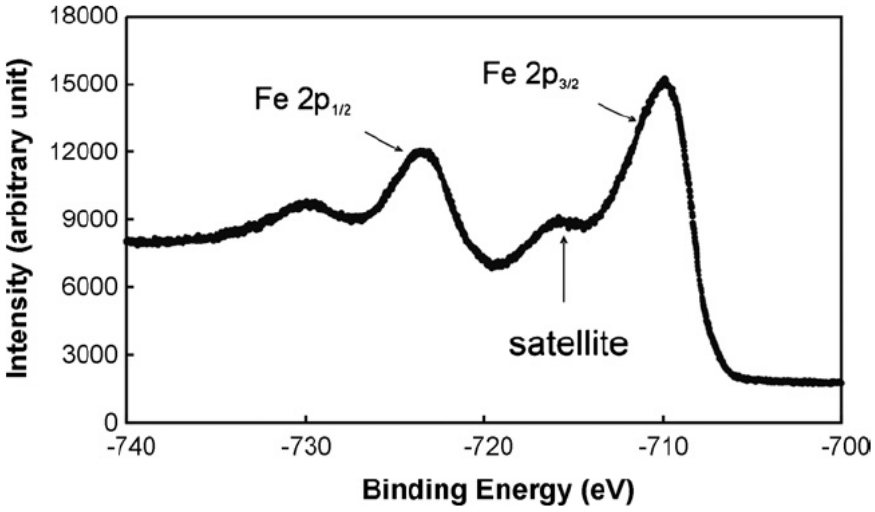
實驗三:以 XPS 測量表面顏色處之成分

由實驗結果: 有顏色處的表面成分主要是由 Fe_2p_3、O1s 及 C1/s 等電子軌域軌域所構成，其中以 Fe 的含量最多，C 的含量最少。

C 的含量最少，我們推論是因為此樣本是以噴火槍加熱處理，所以難免會有一點碳粒殘留於表面。在此我們應該去討論 Fe_2p_3 與 O1s 兩電子軌域之組成代表的是何種化合物。

通常做 XPS 的研究是為了判斷樣本是 Fe_2O_3、Fe_3O_4 還是 FeO，所以可以從 Fe 與 O 的鍵結方式來判斷，也就是 Fe_2p_3 和 O1s 這兩種鍵結軌域的數據去比較。而因我們樣本的譜圖與 FeO 範例譜圖差太多就不予討論。所以應該去討論是 Fe_2O_3 還是 Fe_3O_4。

判斷樣本中為 Fe2+或 Fe3+的要素在於 Fe_2p_3 的圖譜中若在 715.5 eV 的地方有一 satellite peak，就會屬於 Fe 2+的貢獻 (如圖、四十一)，但我們的樣本裡沒有這個 satellite peak，**故成分應為 Fe3+ (Fe_2O_3)**。



(圖四十一、Fe 2+的貢獻)

二、探討顏色順序性排列及循環之原因:

實驗四:觀察光之入射角對於顏色之關係

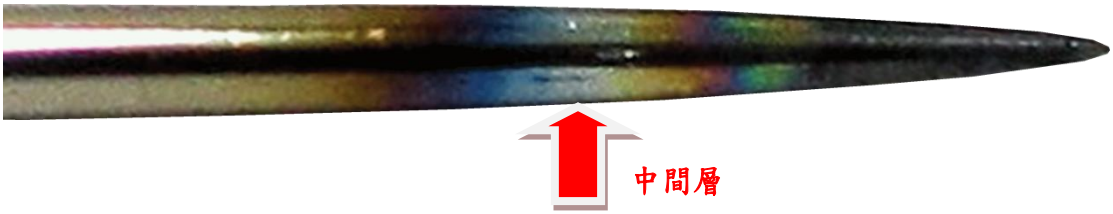
由此實驗結果:可以發現在小尺度的範圍裡觀察，當傾斜角度改變後，一個週期的顏色變化處依然會些微往左移動，也使得原本是藍色的表面變成比較紫紅色，而這也顯示在針上的顏色週期性出現會隨著光對於針的入射角有所不同而有前後位移的現象，也因為如此，證實了**顏色週期性出現與干涉現象有關**。

除此之外，顏色位移得如此細微，推論這也代表著造成干涉現象的薄膜應該會非常薄，使可見光在薄膜中的光程很短，如此一來，就算入射角度改變再大，光程差所造成的顏色位移就會很小。 (可見光由薄膜表層穿透至基材表面的距離，可能會是可見光折射至該成分中的一個波長左右。)

實驗五:前後移動樣本觀察干涉條紋

由實驗結果: 光點由樣本最前端掃至最末端，可以發現以特定波長雷色光打出的干涉條紋只會在該色塊出現，而且在同一色塊內只會出現一條較粗的干涉條紋 (如圖二十八、二十九)。由此我們可以推論，**一塊顏色區域代表的是同一個 m 值干涉區塊**。

另外，由實驗結果:發現隨著樣本移動，打至屏幕的光，會一亮一暗相間，且不同波長的雷色光可以打出的較亮區塊及較暗區塊位置不盡相同。由此，除了可以再一次的證明此現象為干涉現象之外，也可以發現了，在第一週期與第二週期之間，會有**一個與樣本原本顏色相同的區塊**(如圖四十二)，而此區域在紅、藍、綠雷射光照射下，投影出來都屬於亮的區塊，因此，可以推論**此區域對於所有可見光皆可以產生建設性干涉**。

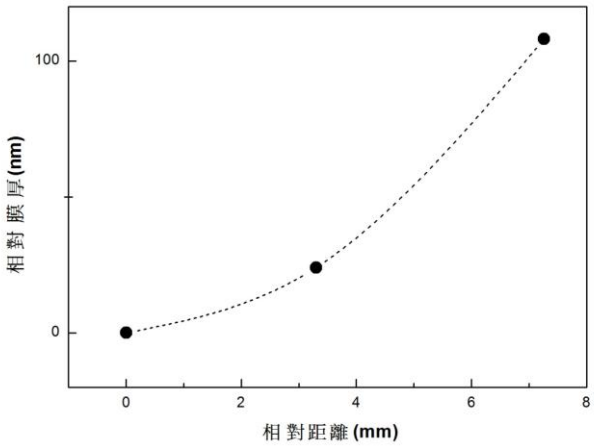


(圖四十二、干涉實驗中樣本之顏色變化)

實驗六:推算出各顏色區域之膜厚

為了方便做膜厚變化的比較與討論，所以將表格繪製成膜厚變化圖如下:

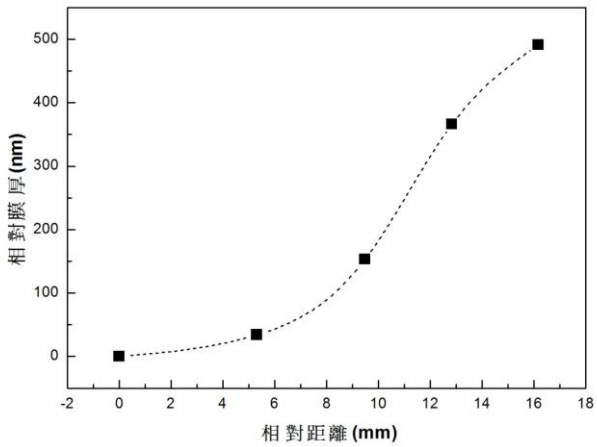
1. 薄膜成分為 Fe_2O_3:



(圖四十三、Fe_2O_3 膜厚變化圖)

由此圖可以發現，刀片在不均勻加熱之後，膜厚變化並非等斜變化，而是膜厚變化斜率越來越大，也就是說，越接近樣本燒紅處，吸收越多熱，單位面積上薄膜增長地越快速。(以刀片為樣本的兩顏色週期皆出現在燒紅處外。)

2. 薄膜成分為 NiO:

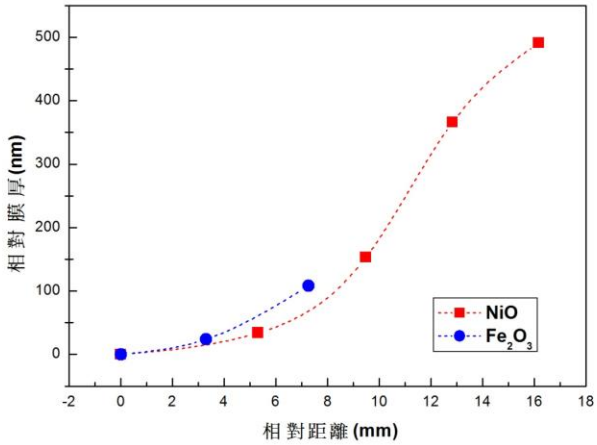


(圖四十四、NiO 膜厚變化圖)

由此圖，除了得知膜厚變化與 Fe_2O_3 薄膜相同地並非等斜變化之外，最大的不同在

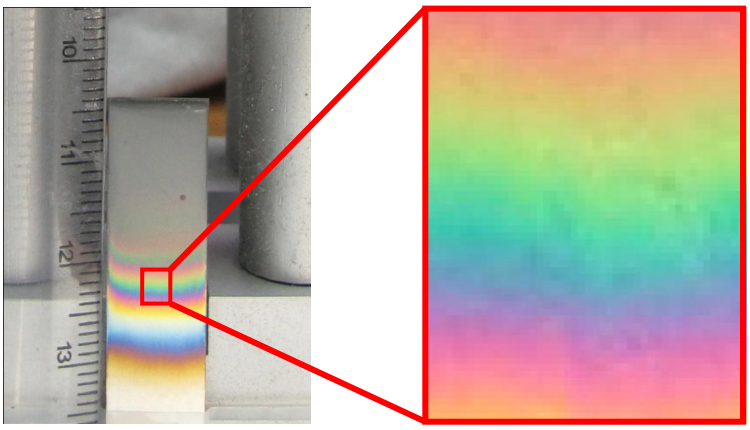
於 NiO 薄膜變化斜率並非一直增大，而是在第三週期左右薄膜變化斜率又逐漸減小。在加熱鎳片的過程中，會發現第四週期位於樣本燒紅處，而第三週期也在燒紅處邊緣，由此，我們推論，NiO 薄膜變化之所以不像 Fe_2O_3 薄膜一樣越靠近燒紅處，得到越多熱，單位面積上薄膜增長地越快速，是因為燒紅處內(火裡面)及其邊緣，已消耗許多氧氣做為燃燒使用，所以，可以與基材化合的氧減少，導致單位面積上薄膜增長地越來越慢。

3. Fe_2O_3 與 NiO 膜厚變化較圖:



(圖四十五、Fe_2O_3 與 NiO 膜厚變化較圖)

我們發現，似乎因為 NiO 膜厚變化在第二週期與第三週期交接區域幾乎等斜成長，使得其顏色變化異於 Fe_2O_3 薄膜的第二週期部分，是非常明顯的連續光譜。



(圖四十六、連續光譜)

由圖四十五中，可以發現 Fe_2O_3 薄膜與 NiO 薄膜位於第一週期的膜厚變化極為類似，也造成兩者第一週期的顏色變化相同。

由以上討論，可以發現膜厚變化對於顏色的變化是一大關鍵，因此，我們推論膜厚變化曲線也就代表著顏色週期性出現的原因，也就是說，**此一膜厚變化曲線剛好可使可見光中的幾個顏色達到建設性干涉並相繼出現。**

然而顏色週期性地出現不會一直反覆出現，當薄膜太薄時(小於 m 以 1 帶入所求出的膜厚值)，或這是當薄膜太厚時(太厚時氧化薄膜的透光率降低，甚至還會使吸光率提高)，可見光就無法達到建設性干涉，因此，**顏色週期性出現只會在一範圍內發生，而此範圍的大小則與材質的種類及形狀有關** (本實驗中，鎳片厚度約為刀片兩倍)。

三、探討溫度與顏色之關連:

實驗七:測量加熱過程中顏色出現時該點與熱源之溫度:

由實驗結果:在第二次顏色出現時是由紫色與藍色幾乎一同出現。我們推論這是因為紫色波長與藍色波長較為接近，因而使得紫色與藍色幾乎同時出現；在第三次顏色出現時幾乎所有顏色一同出現，我們推論這是因為此週期之膜厚變化會比第一週期快，但也有可能是因為熱源溫度本身就比較高所導致膜厚變化比較快，所以才會使得第二週期之顏色會幾乎同時出現。

由另一實驗結果:在本實驗中，有明顯三次顏色出現的時間點，而這三點的溫度間隔(加熱過程中顏色出現時該點與熱源之溫度)剛好大約是 100 ℃左右。關於此部分我們推論會與樣本之材質有關，因為不同種材質的氧化程度以及其折射率會有所不同，但有可能平均出現溫度間隔會有一特定比例(隨著材質不同而不同)。

實驗八: 均勻加熱控制氧化薄膜增長

在均勻加熱的實驗中，我們有發現到雖然溫度固定，但顏色出現的時間除了受到材質影響外，還會受到表面粗糙度的影響，我們覺得這是因為表面越粗糙時會造成反應速率加快，也就是膜厚增長速率加快，因此，粗糙度會導致顏色均勻度與出現時的時間。此實驗證明了**只要使薄膜均勻的增長，則可以控制溫度、時間與粗糙度，來改變表面的顏色，即控制薄膜的成長**。

柒、結論

一、結論:

本研究根據研究目的、研究過程及方法、研究結果與討論提出下列結論:

(一)表面有顏色變化處之表面成分為基材之氧化物。

(二)因為氧化層表面反射以及基材表面反射的兩道光線造成光程差而有干涉現象的產生。

(三)膜厚變化使得特定波長之色光達到建設性干涉並接連出現。

(四)一塊顏色區域代表的是同一個 m 值的干涉區塊。

(五)與基材原本顏色相同的區域，由於此處的膜厚變化，使得所有可見光皆得以達到建設性干涉。

(六)顏色週期性出現只會在一範圍內發生。

(七)可以以薄膜材質與顏色粗略判斷其薄膜厚度。

二、應用:

(一)由於顏色的出現與加熱源的溫度有關，且似乎有一規律存在(在本實驗中溫度間隔皆為攝氏 100 左右)，所以，在焊接工作開始前，可以先對欲焊接的金屬做加熱源溫度與顏色出現之關係測試，若一樣有一規律性存在，則在焊接時可以直接看焊接處旁的顏色，來粗略得知目前焊接之溫度，以便快速掌控其火力大小。

三、未來展望:

在把測量干涉條紋間距的準確度提高後，我們將會在同一片樣本上以紅、藍、綠雷射光打出干涉條紋，並記錄各色光所打出之干涉條紋對應位置，以計算出更為精準的薄膜變化圖。另外，我們將試試以測量電阻的方式，測出薄膜變化程度，若可行，將可進行交叉比對，以追求更確切的實驗結果，將此現象解釋的更為透徹。

捌、參考文獻

一、高中選修物理(上)第五章-光的干涉。南一書局企業股份有限公司。

二、許朝墉(2002)。物理光學。俊傑股份有限公司。

三、吳漢雄(2002)。工程光學與實習。國立編譯館。

四、何建娃(2009)。物理光學課程講義-薄膜干涉。

【評語】040110

1. 優點：觀察金屬表面受氧化產生氧化物干涉條紋，實驗分析內容充實。

2. 待改進：題材為一般之薄膜干涉屬於常見題目，宜增加創新性。