

第六屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA6-221

作品名稱：光干涉法測量微距振動變化探討

姓名：劉翰霖

關鍵字 磁振動、光干涉、壓電材料

目錄

零、	研究題目.....	P.3
壹、	摘要.....	P.3
貳、	研究動機.....	P.3
參、	研究目的.....	P.4
肆、	研究設計.....	P.4
伍、	研究過程.....	P.8
陸、	結論.....	P.17
柒、	討論及應用.....	P.17
捌、	參考資料.....	P.18

零、 研究題目

光干涉法測量微距振動變化探討

壹、 摘要

本次實驗利用麥克森干涉儀進行量測，實驗中在光路上加入介質，並試圖改變其溫度或者是壓力來觀察干涉圖形變化，並推測折射率之改變。由於干涉測量法之精密度可達到 0.5 個光波長的精密度，雖然可以很明顯的看出及為微小的物理量變化，但相較之下受到外在影響的變化也較明顯。

貳、 研究動機

每天早晨走在大街上，微微的晨光打在庸擾的城市中，使我們看見道路上的來回車輛以及忙碌的人群；放學回家的途中，靄靄的夕陽鋪陳在燈火通明的馬路上，讓我們看到背負著一整天疲倦正要回家的人們。在我們的生活中，光給了我們一切，因此我們看的到萬物，能從陽光中擷取可利用能源，甚至是做到我們原本做不到的事。

因此我們對光也有很大的興趣，在高一上寒假的某一天我們到了學校詢問老師有關於光學實驗的問題，剛好碰到以前畢業的學長在實驗室使用干涉儀，於是請教了學長有關於光干涉方面的一些問題，並且在這之後查閱許多相關的書籍，我們對於干涉現象之利用有了不同的想法，不管是在書籍或文獻上我們看到的大部分都是應用在測量光的波長，因為測量的尺度極為微小，就想說將之應用在其他微小變化上。

參、 研究目的

這次實驗計畫以麥克森干涉為背景，將研究目的分成三個區塊去探討干涉儀之應用。分別是光源移動、偏折、偏極化而造成的現象，以圖形變化做為依據，進而測量變化的物理量。

- 一、 測量圖形變化及鏡面位移之關係。
- 二、 測量壓電晶片之微小振動範圍。
- 三、 測量喇叭之微小振動範圍。
- 四、 測量壓力對於折射率之關係。
- 五、 測量溫度對於折射率之關係。
- 六、 測量磁伸縮之微小振動範圍。
- 七、 測量不同偏振片之旋轉角度。
- 八、 測量各種物質之折射率。

肆、 研究設計

一、 實驗原理

甲、 光干涉測量法：

光的干涉現象是由於兩道相同頻率的光波打在同一點上，所產生的振幅合成(破壞性及建設性干涉)，而一明一暗的干涉圖形是由於兩道光波的相位差所形成的干涉現象，因此，若以微小的位移或者角度改變其相位差，就能看到很明顯的圖形變化，最小尺度可以計算到幾個光波長(紅光雷射波長大概在 630~680nm 左右)，也就是說其精細度極高。計算方式如下：

$$\mathbf{【0.5*紅光波長 \lambda = 鏡子位移(\mu m)/圖形變化數】}$$

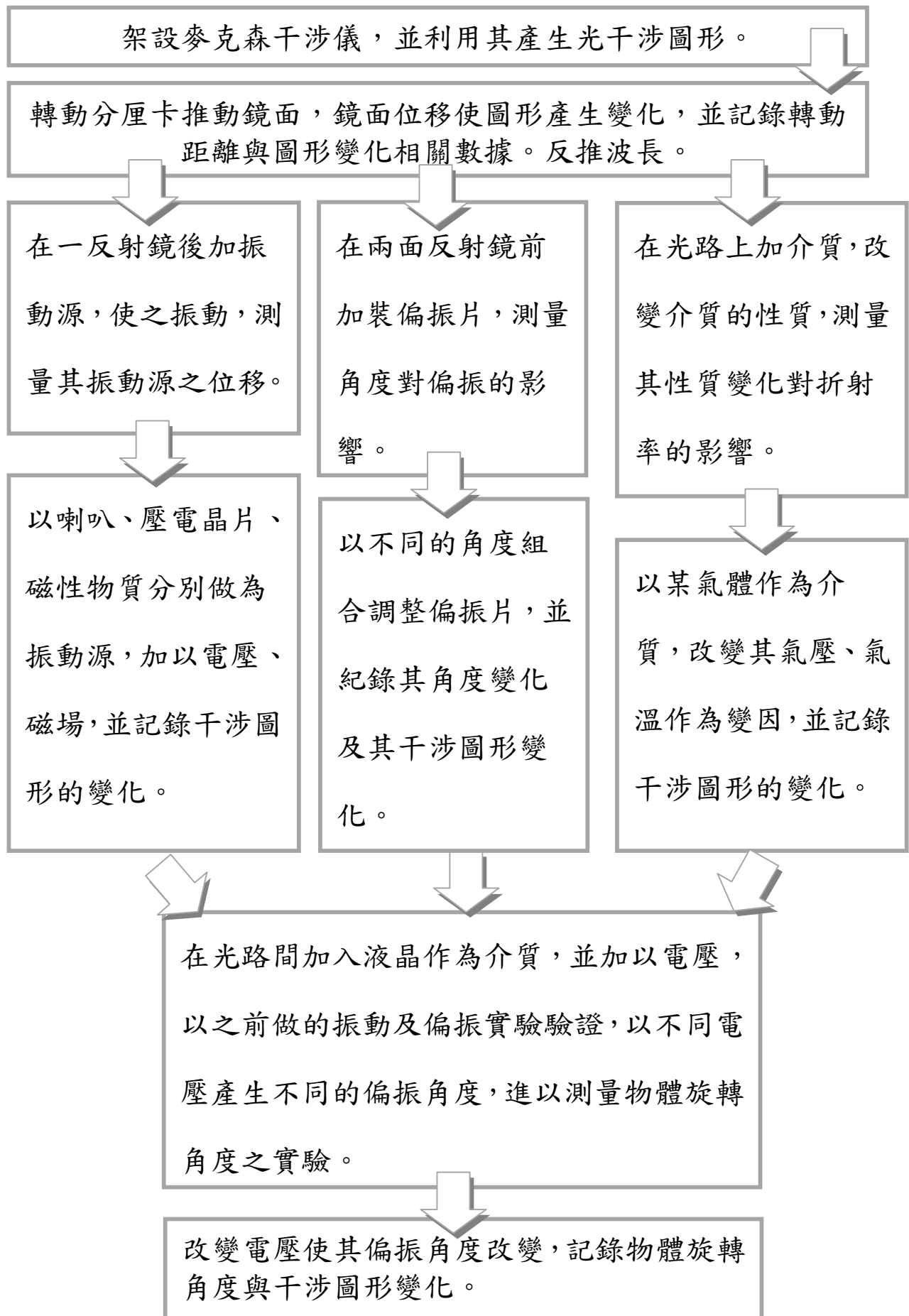
乙、逆壓電效應---電能轉為機械能：

當在壓電材料表面施加電場(電壓),因電場作用時電偶極矩會被拉長,壓電材料為抵抗變化,會沿電場方向伸長。加以電壓時會產生位移。計算方式如下：【 $\Delta m * \lambda / 2 / (f * t^2) = d$, Δm 是圖形變化個數(個), λ 是波長, f 是頻率(Hz), t 是時間(s), d 是位移量(μm)】

丙、氣體折射率量測：

在 $t=15^{\circ}C$ 下,壓強 P 為 $101325Pa$,即 $760mmHg$ 時,空氣對真空中波長為 $0.633 \mu m$ 的光的折射率 $=1.00027652ns$ 。它與真空折射率之差為 $(n-1) s = 2.7652 * 10^{-4}$,這個折射率差用一般方法很難測出,我們使用干涉法可以很方便地測量且準確度很高。通常,在溫度處於 $15\sim 300C$ 範圍時,空氣折射率可用下式計算： $(n-1) = 2.8793P / 1 + 0.003671t * 10^{-9}$ 式中溫度 t 的單位為 C ,壓強 P 的單位為帕。可見,在一定溫度下, $(n-1)_{t,p}$ 可以看成是壓強 P 的線性函數。即： $(n-1)_p = KP$ 從而有： $[(n_2-1)_t - (n_1-1)_t] = (n_2 - n_1) = K(P_2 - P_1)$ 我們測出空氣壓強從 P_1 變到 P_2 時干涉圖形變化量 $= \Delta m$ 就可得出比例係數 K 值【 $d(n_2 - n_1)_t = \Delta m \lambda / 2$, d 是氣室長度, λ_0 是光的真空波長】。

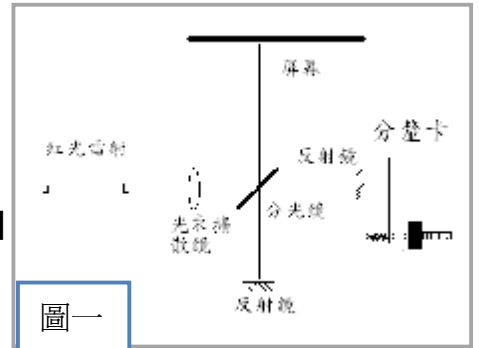
二、 實驗流程



三、 實驗方法

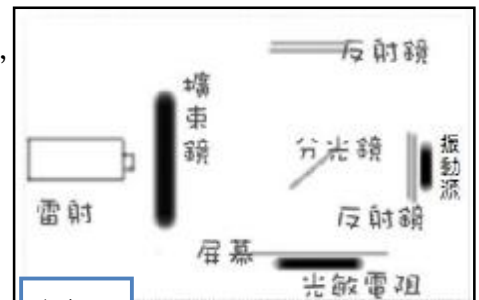
- (一) 利用麥克森干涉儀**找出紅光雷射**之干涉圖形。
- (二) (如圖一) 推動分厘卡使鏡面形成位移，利用光感測器紀錄圖形變化之次數，算出**位移及圖形變化之關係**。

$$\text{【紅光波長}(\mu\text{m}) = \text{鏡子位移}(\mu\text{m}) / \text{圖形變化數} \text{】}$$



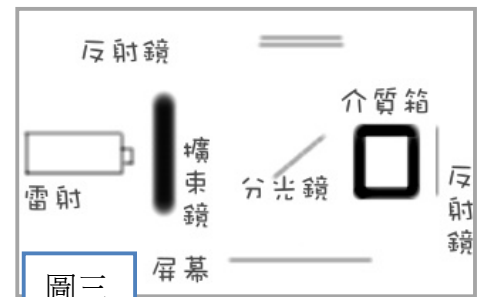
圖一

- (三) 以壓電材料、喇叭、磁性物質作為振動源，在振動源上黏上一鏡面做為干涉儀之反射鏡(如圖二)，將壓電材料、喇叭接上訊號產生器，磁性物質加磁場，使之產生振動，利用光感應器接收圖形變化之訊息，進而**測量壓電晶片、喇叭之振動範圍大小以及磁場對磁伸縮的影響**。



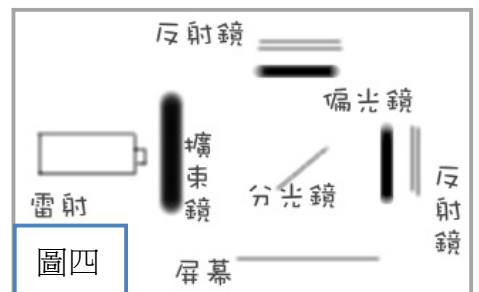
圖二

- (四) 在開放的介質箱中，加入已經事先升溫（降溫）過的水（如圖三），因為暴露在空氣中，必會與空氣做熱平衡，產升溫度變化，利用溫度感測器紀錄溫差，進而利用光感測器測量干涉圖形變化，**測量溫度對折射率的關係**。



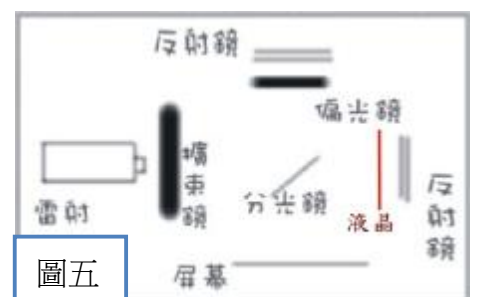
圖三

- (五) (如圖四) 在一反射鏡前加入介質箱，以幫浦儀抽氣或者是灌氣後，因儀器架構本身是用塑膠管相接，以致於會漏氣，我們利用這點來測量空氣壓力變化（漏氣）時的干涉圖形變化，進而利用公式推得折射率變化。分析**壓力差對折射率變化的關係**。



圖四

- (六) 在干涉儀的兩個反射鏡鏡面前**加上標好角度的偏振片**（如圖五），利用角度感測器紀錄不同的角度組合並利用光感測器紀錄圖形變化，再將圖表加以分析。



圖五

- (七) 在一光路加入**液晶作為介質**（如圖六），並將液晶通上交流電，再用光感測器測量圖形變化後，分析圖表。

伍、 研究過程

依照上述設計方式，測量紅光波長，利用鏡面位移、光路偏折以及偏極化等方式，測量各種不同的性質。使用 PASCO750 接光感測器，接收干涉圖形光強的變化，配合軟體 DATA STUDIO 製成週期性圖形(如下圖六)，數據分析方式則是利用有光(圖形高點)到下一次有光為 $\lambda/2$ 所走的位移，推得操縱變因與干涉圖形光強變化的對應值，套入公式計算，得到結果。

以下是各實驗的詳細說明及結果：

實驗一 圖形變化及位移之關係

使用麥克森干涉儀找出干涉圖形。轉動分厘卡推動鏡面，鏡面位移使圖形產生變化，並記錄轉動距離與圖形變化相關數據。反推波長。計算公式如下

$$\text{【}0.5 \times \text{紅光波長 } \lambda = \text{鏡子位移}(\mu\text{m}) / \text{圖形變化數}\text{】}$$

表一 圖形變化量與鏡面位移推倒光波長

圖形變化量	鏡面位移 (μm)	光波長 (μm)
32	10	0.62
33	10	0.61
44	15	0.68
50	15	0.60

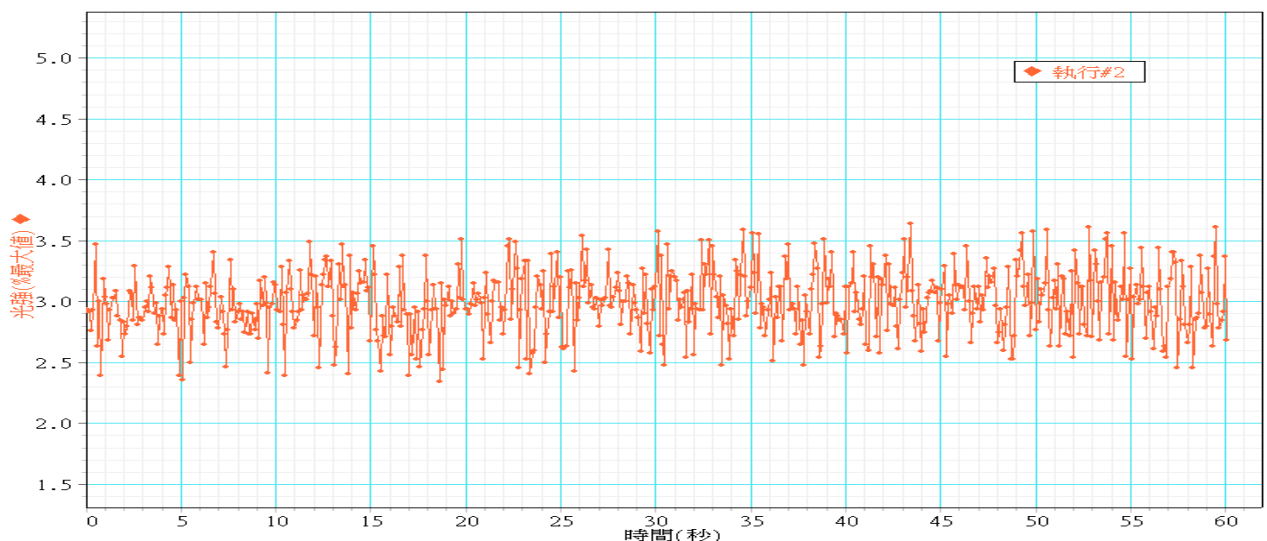
>> 紅光波長取準確值約 $0.628 \mu\text{m}$

得到紅光波長為 $0.6 \mu\text{m}$ ，理論值相符合。

實驗二 測量喇叭的振動位移大小

以喇叭的振動面黏上反射鏡代替干涉儀中之一反射鏡，加以電壓使喇叭振動，推動鏡面，接收圖形光強的變化量，並記錄電壓。公式如下

$$\text{【} \Delta m \times \lambda / 2 / (f \times t) = d \text{ } \Delta m \text{ 圖形變化個數， } \lambda \text{ 波長， } f \text{ 頻率， } t \text{ 時間， } d \text{ 距離}\text{】}$$



圖六 喇叭加電壓振動的光強變化

波長 0.628(μm) 頻率 1Hz 表二 位移對喇叭振動次數的關係

實驗次數	振動次數(次)	圖形變化量	位移(μm)
1	15	42	0.4396
2	5	15	0.471
3	5	15	0.471

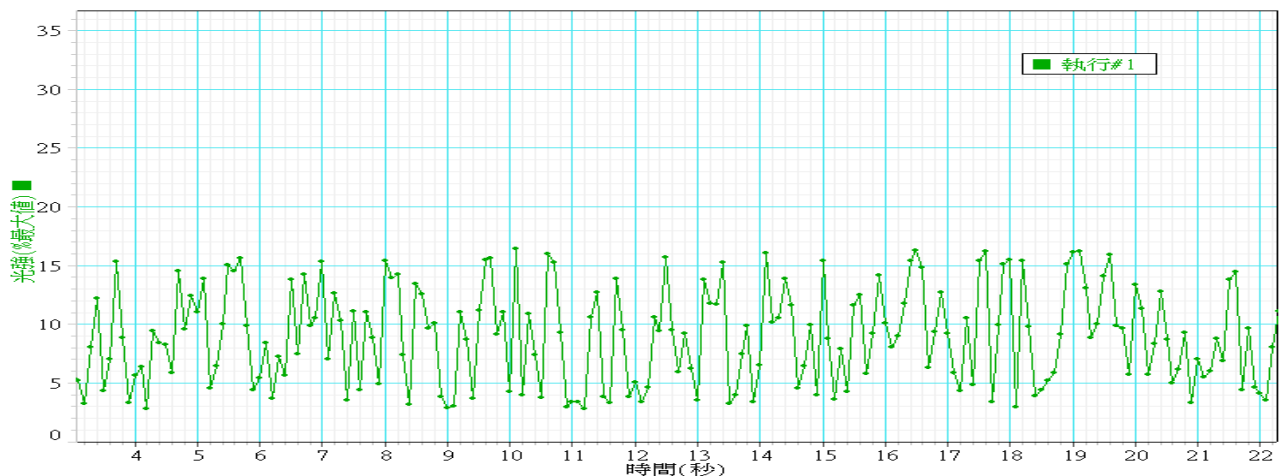
>>>喇叭振動平均位移 0.460533 μm

(一)圖六中，光干涉圖形受喇叭振動推動鏡面，光程差改變，光干涉圖形也隨之改變，呈現有光與無光的來回，在圖六中可以看出光強大小來回跑動。
 (二)分析數據時，用兩高點之間為 $\lambda/2$ 所走的位移，計算時間內圖形變化個數，由時間乘上頻率得到振動次數，時間內走的位移除以振動次數可得喇叭的振動位移。

實驗三 測量壓電晶片的振動位移大小

由實驗二得知如此方式可行，因此測量壓電晶片方式如法炮製。公式如下

【 $\Delta m * \lambda / 2 / (f * t) = d$ 】 Δm 圖形變化個數， λ 波長， f 頻率， t 時間， d 距離



圖七 壓電晶片加電壓振動的光強變化

表三 位移對壓電晶片振動次數的關係

實驗次數	振動次數(次)	圖形變化各數(個)	位移(μm)
1	10	18	0.2826
2	10	20	0.314
3	10	21	0.3297
4	10	21	0.3297
5	10	24	0.3768

>>>壓電晶片振動平均位移 0.324467 μm

(一)經喇叭振動實驗延伸，利用相同方法計算壓電晶片振動位移量的數據，但因第一次及第五次實驗的數據有太大的落差，所以再算平均值時並不採納其數據。
 (二)比較表一和表二，得知喇叭振動位移大小較壓電晶片大。

實驗四 測量壓力對折射率的關係

在光路上加一介質箱，利用幫浦儀控制介質之壓力，產生干涉圖形變化，並用 PASCO750 接上壓力感測器同時接收光強變化以及壓力變化，製成週期性變化之圖表。公式如下

【 $d(n_2 - n_1)_t = \Delta m \lambda_0 / 2$ ， d 是氣室長度 = 3cm， λ_0 是光的真空波長 】

表四 壓力每改變一單位造成的折射率差（紅光）

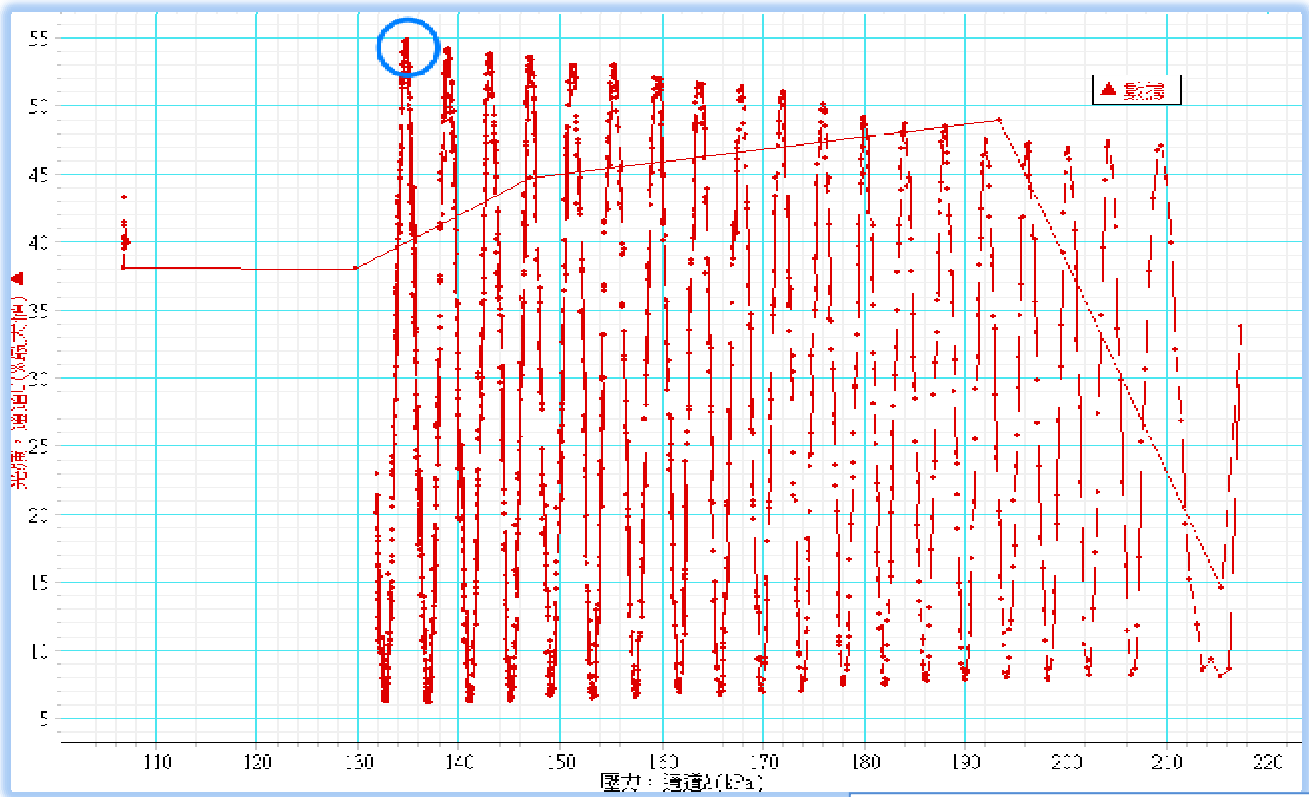
圖形變化量	折射率變化量(10^{-4})	壓力差(KPa)	折射率差 (10^{-4}) / 壓差(KPa)
12	1.256	50	0.025
5	0.523	20	0.026
10	1.047	40	0.026
12	1.256	45	0.028
7	0.733	30	0.024
5	0.523	20	0.026

>> 壓力平均變化 1KPa 時的折射率變化為 ($0.025 * 10^{-4}$)

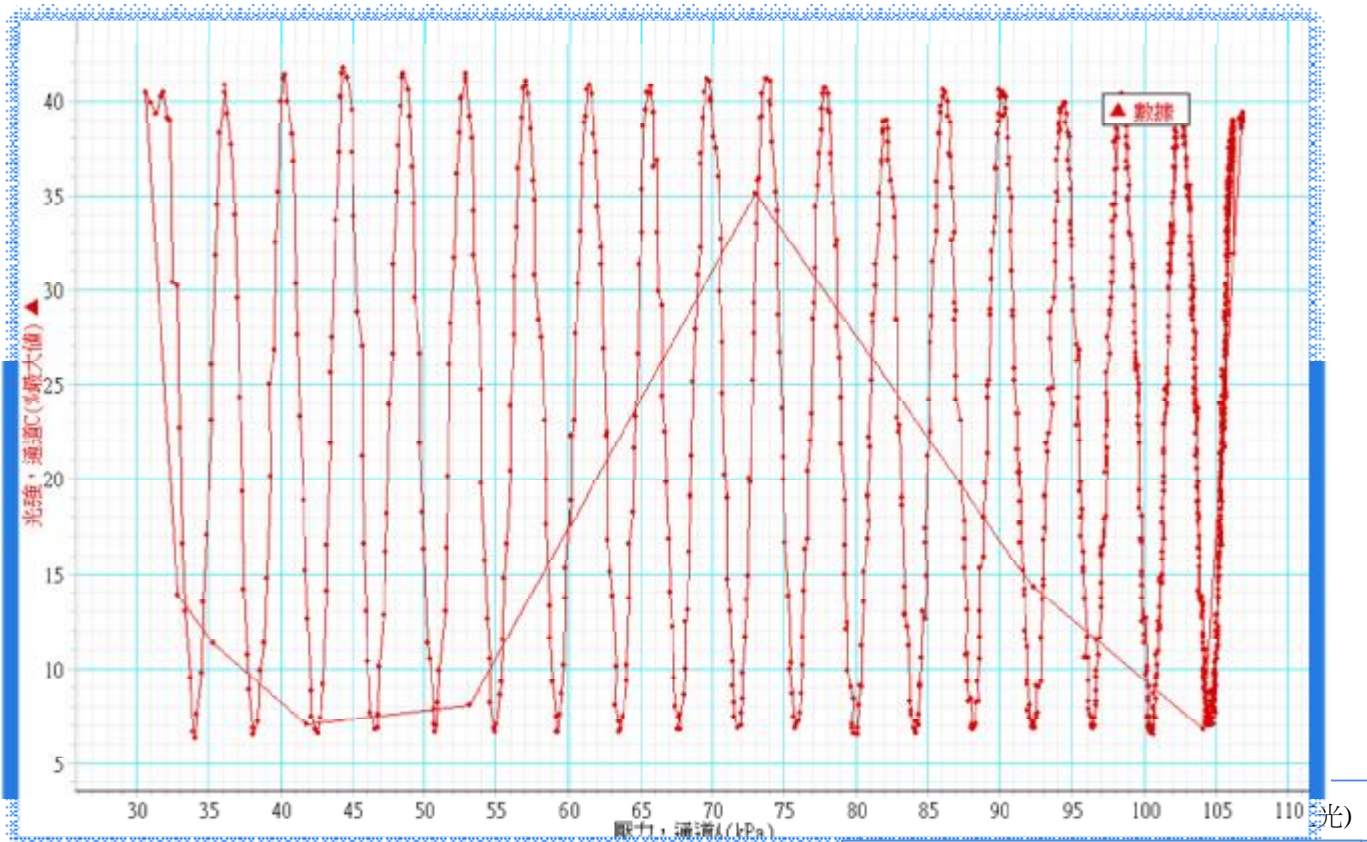
表五 壓力每改變一單位造成的折射率差（綠光）

圖形變化量	折射率變化量(10^{-4})	壓力差(KPa)	折射率差 (10^{-4}) / 壓差(KPa)
18	1.560	60	0.026
6	0.520	20	0.026
12	1.040	45	0.023
14	1.213	50	0.024
7	0.607	25	0.024

>> 壓力平均變化 1KPa 時的折射率變化為 ($0.025 * 10^{-4}$)

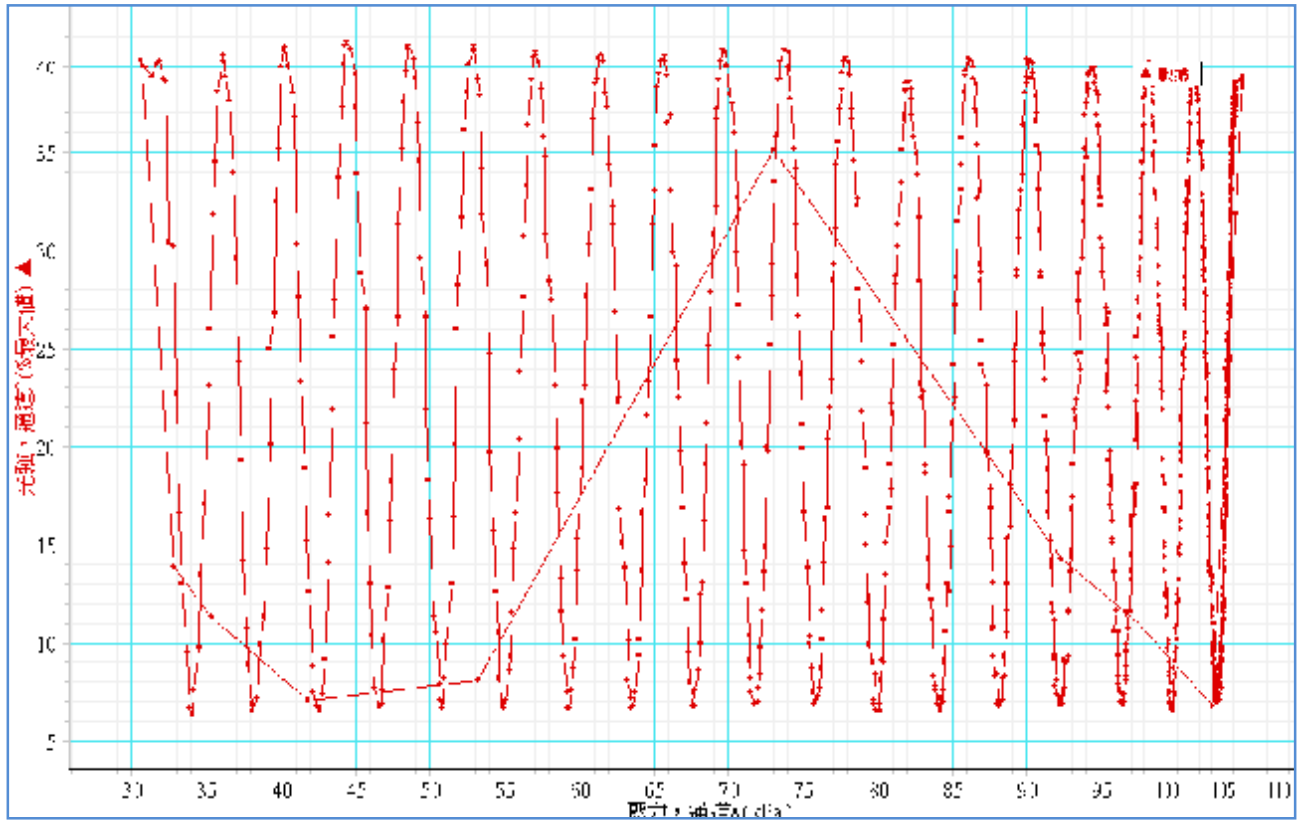


圖八 空氣加壓後洩氣的光強變化(紅光)

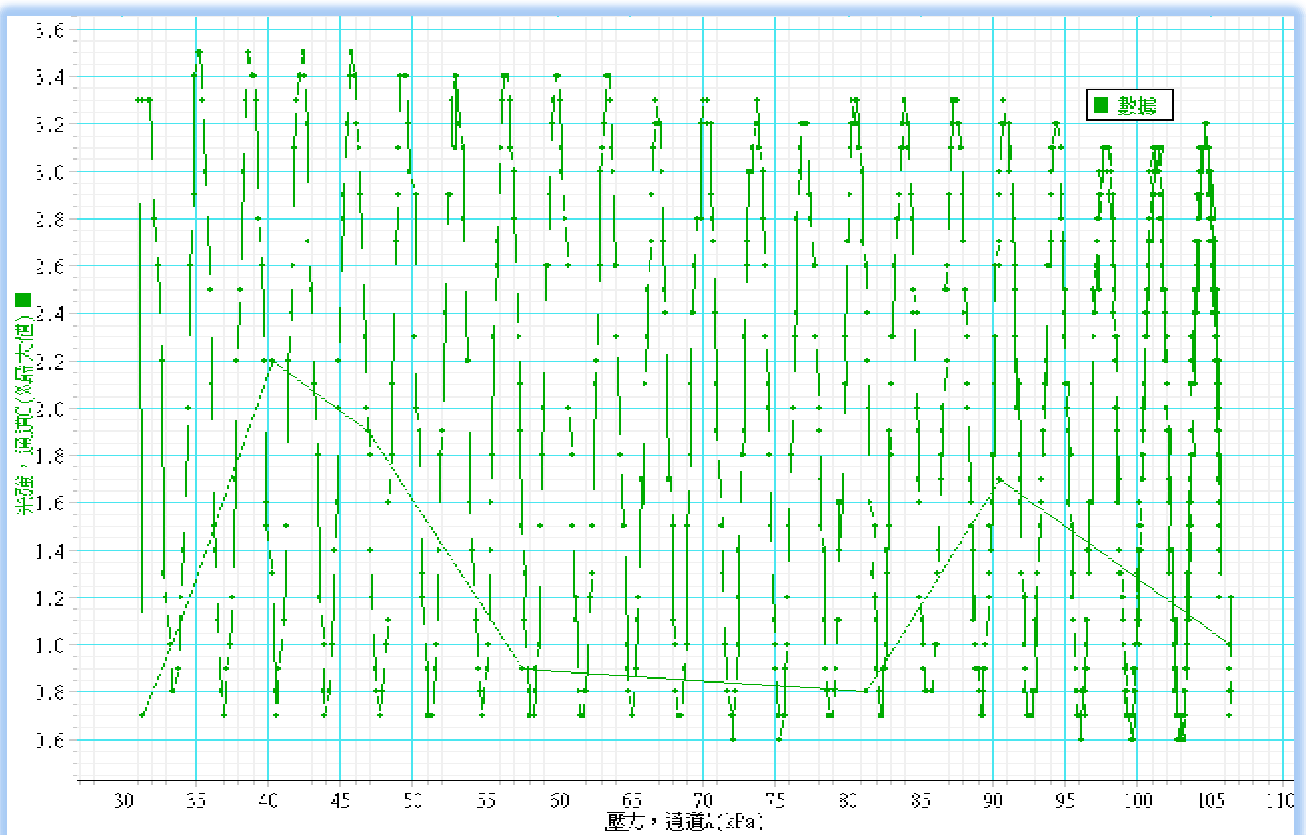


圖九 空氣降壓後充氣的光強變化(紅光)

由圖六和圖七的比較，得知先將壓力降低後再洩氣的準確率較高。所以後面的實驗皆以先降壓再充氣的方式進行。



圖十 空氣降壓後充氣的光強變化(紅光)



圖十一 空氣降壓後充氣的光強變化(綠光)

而由圖八和圖九的比較中發現，不管是用紅光和綠光測出的直都沒有很大的差異，代表用不同的光得到的結果都是一樣的。

實驗五 測量溫度對折射率的關係

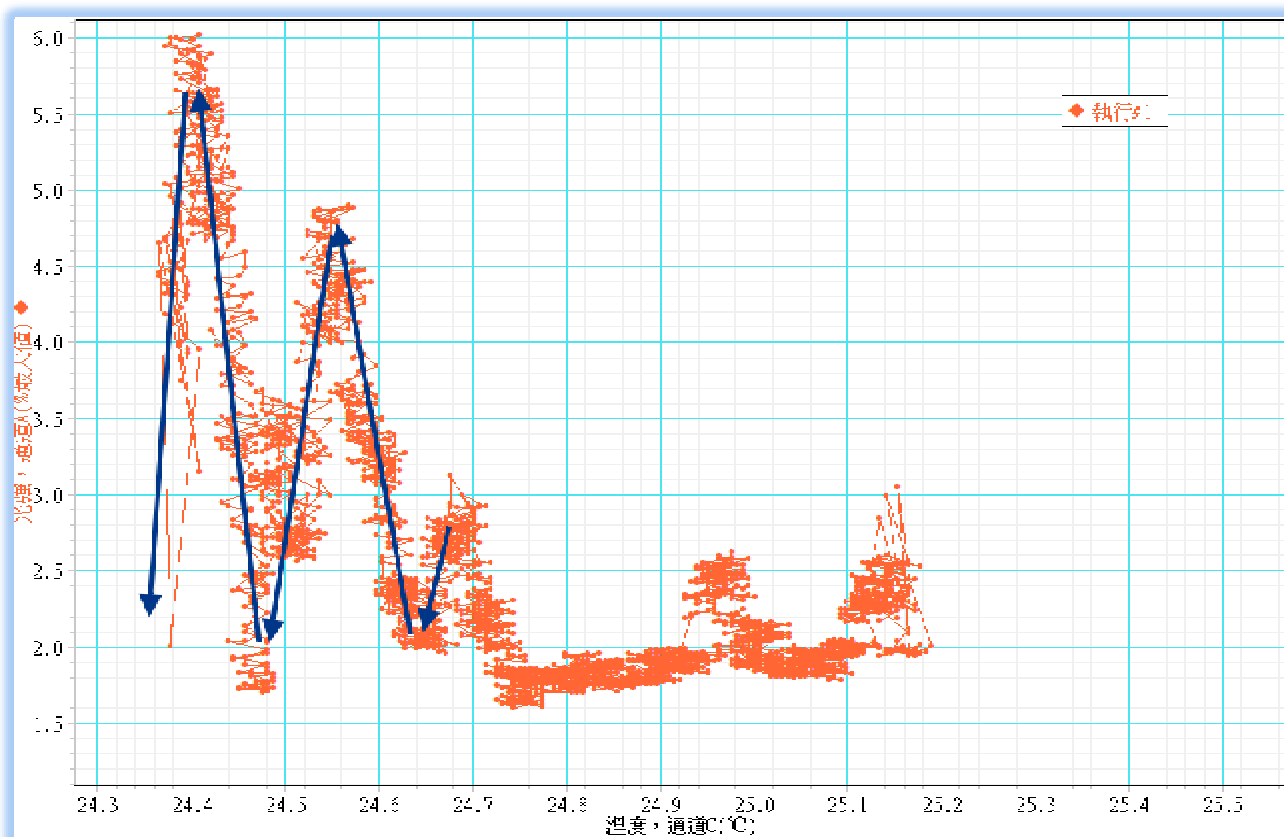
在光路上加一介質箱，以水當介質，放入不同水溫的水，使其與室溫做熱平衡，產生干涉圖形變化，並用 PASC0750 接上壓力感測器同時接收光強變化以及溫度變化，製成週期性變化之圖表。公式如下

【 $d(n_2 - n_1)_t = \Delta m \lambda_0 / 2$ ， d 是氣室長度 = 3cm， λ_0 是光的真空波長 】

表六 溫度每改變一單位造成的折射率差

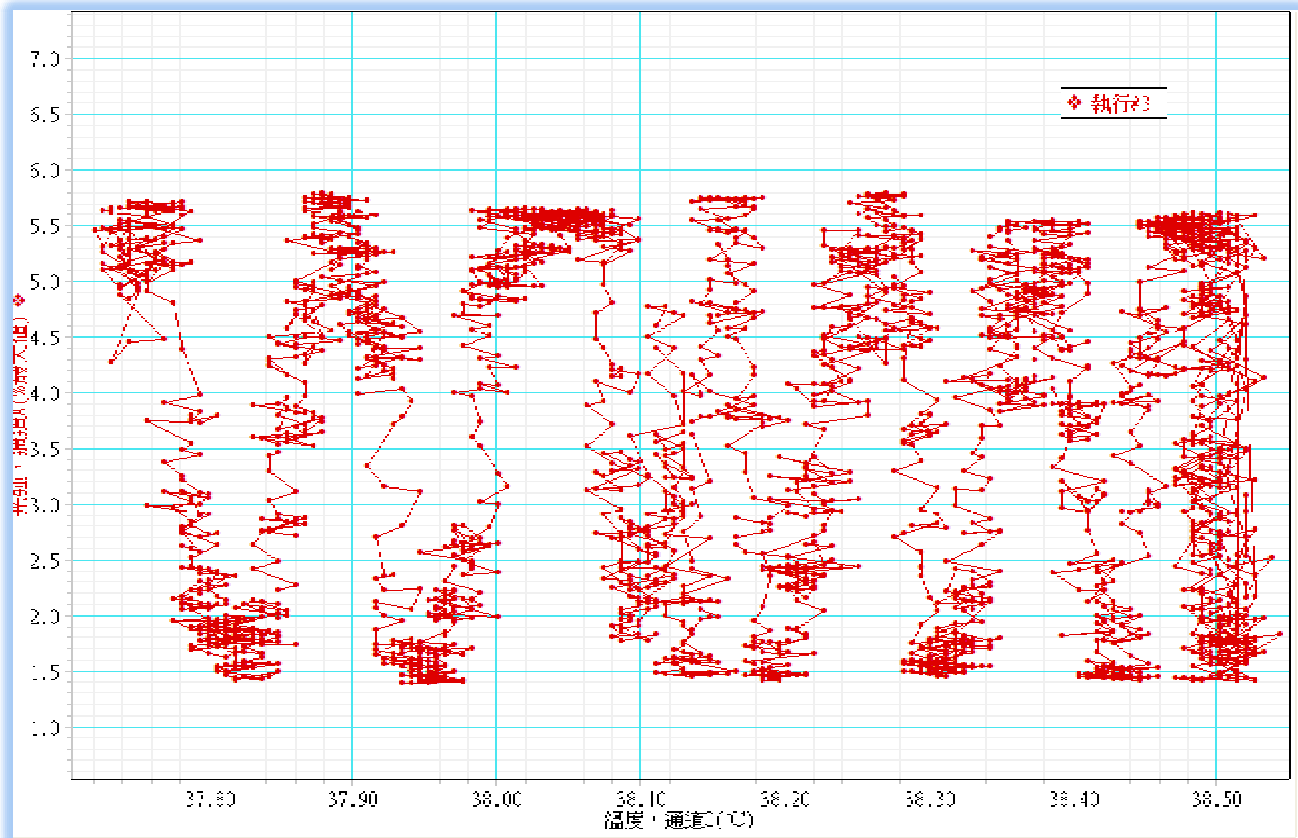
圖形變化量	折射率變化 (10^4)	溫度差 ($^{\circ}\text{C}$)	折射率差(10^4) / 溫度差
6	1.519	0.70	2.171
4	1.013	0.50	2.026
2	0.506	0.30	1.688
8	2.026	1.00	2.026
2	0.506	0.20	2.532
3	0.760	0.30	2.532
2	0.506	0.25	2.026

>>溫度平均變化一單位折射率變化量為 ($2.1 \cdot 10^4 / ^{\circ}\text{C}$)

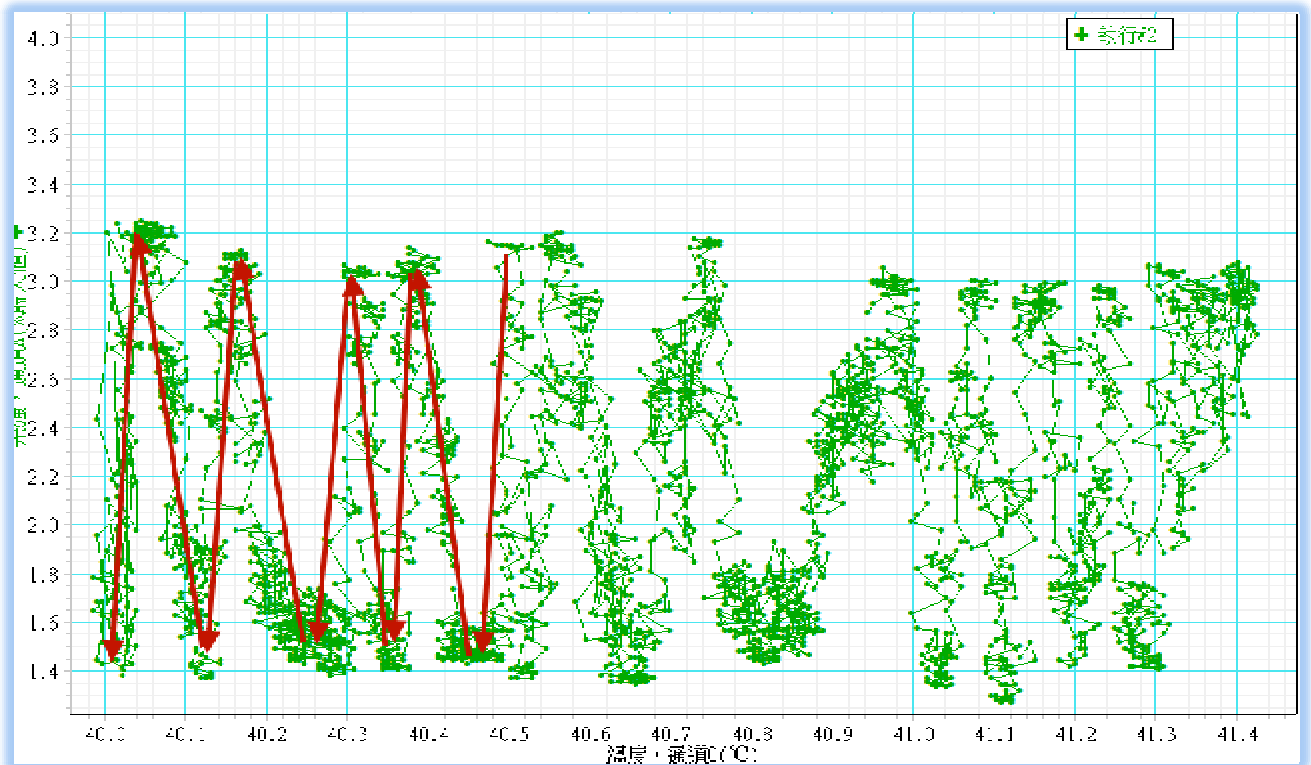


圖十二 水升溫過程的光強變化(紅光)

圖十二 是先將水溫降低再量測知再與空氣做熱平衡時的升溫變化，在圖中期時看不出類似週期性的變化，是因為在實驗過程器皿上因低溫而形成水滴凝結影響，不過在圖十的左半段，些許可以看見一兩個週期變化，算出來的值和之前相比誤差並不大。



圖十三 水降溫過程的光強變化(紅光)

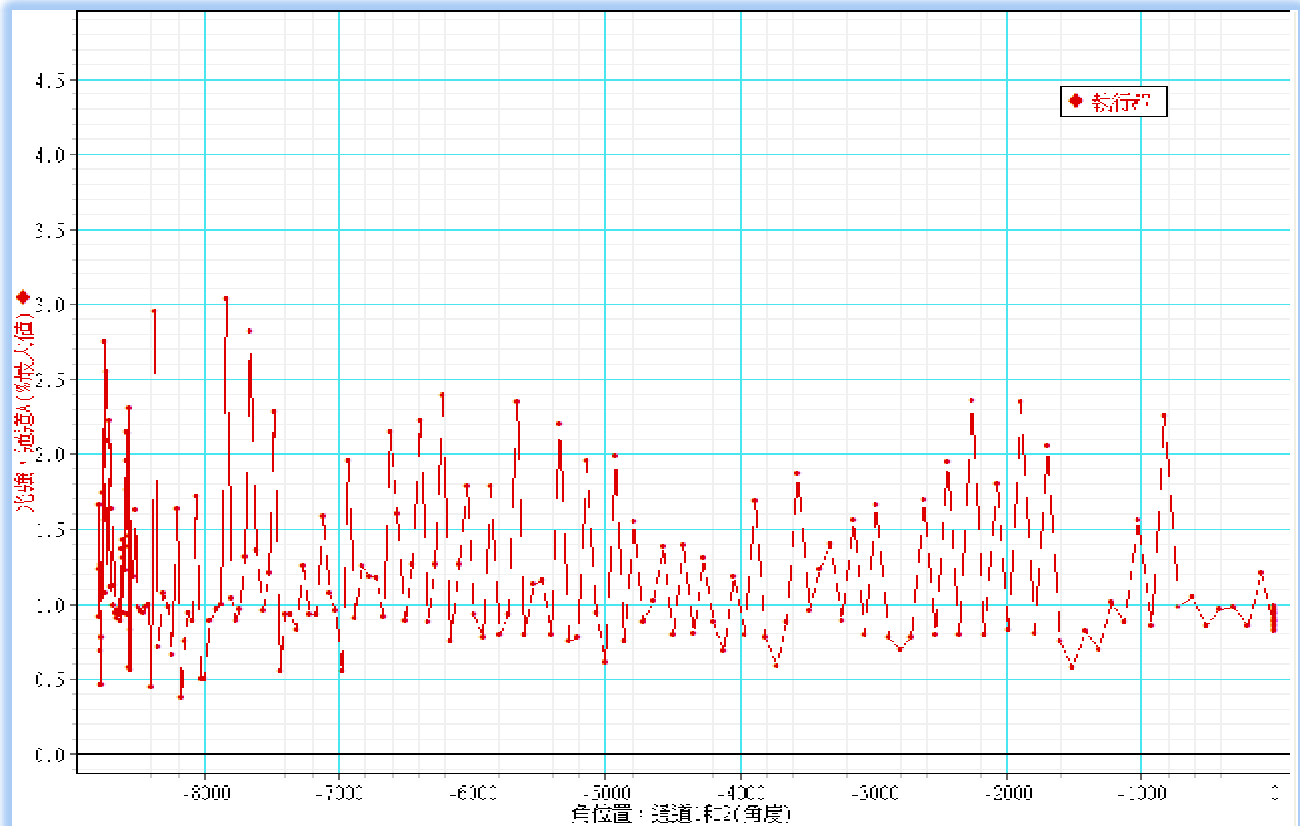


圖十四 水降溫過程的光強變化(紅光)

圖十一和圖十二都是先將水加後等待和空氣做熱平衡的降溫過程，上列圖形雖然有點亂，不過仍可以看出類似週期性的變化，算出圖形變化量，進而推出溫度和光程差(圖形變化量*0.5 光波長)的關係。

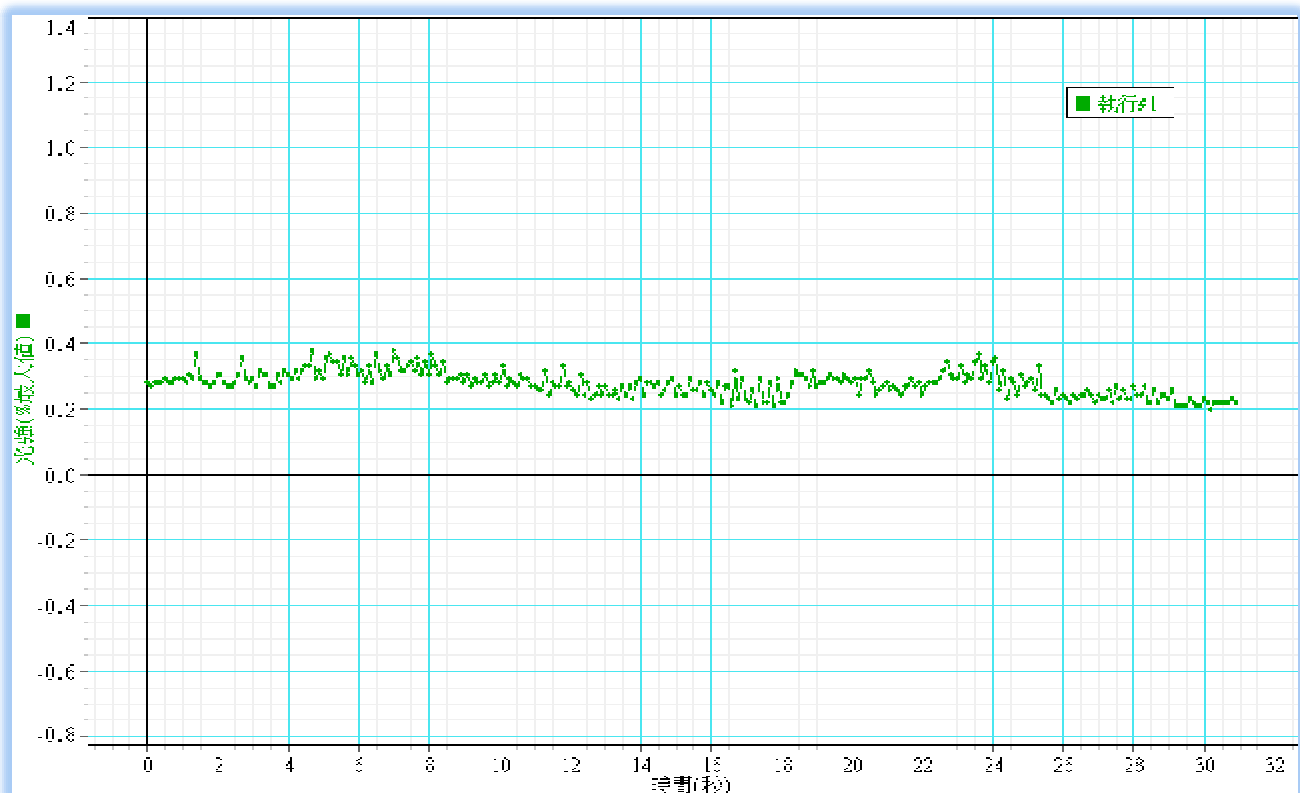
實驗五 圖形變化與偏極化角度之關係

在光路上加入偏振片，並使用 PASCO750 接旋轉角度感測器，同時接收光強變化以及旋轉角度變化，製成週期性變化之圖表。再改用液晶操作。

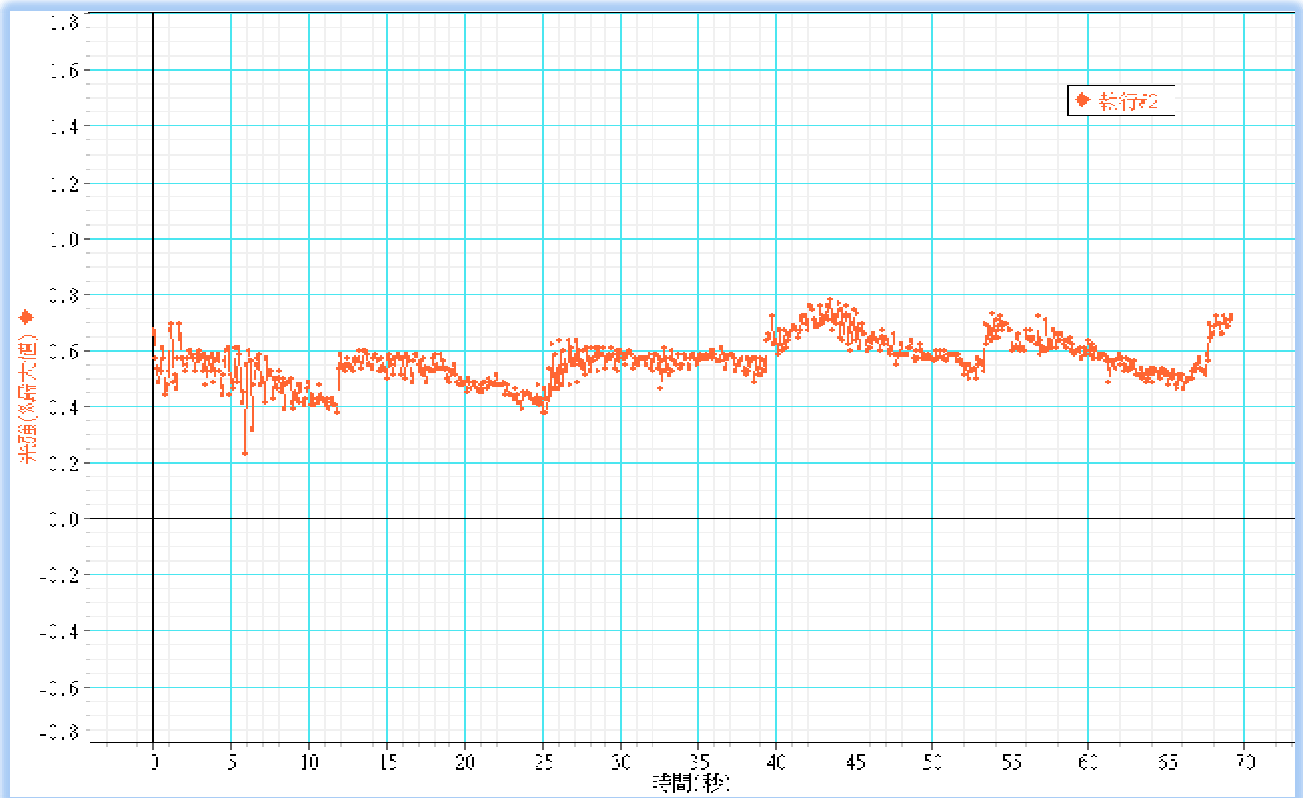


圖十四 偏振片旋轉角度不同的光強變化(紅光)

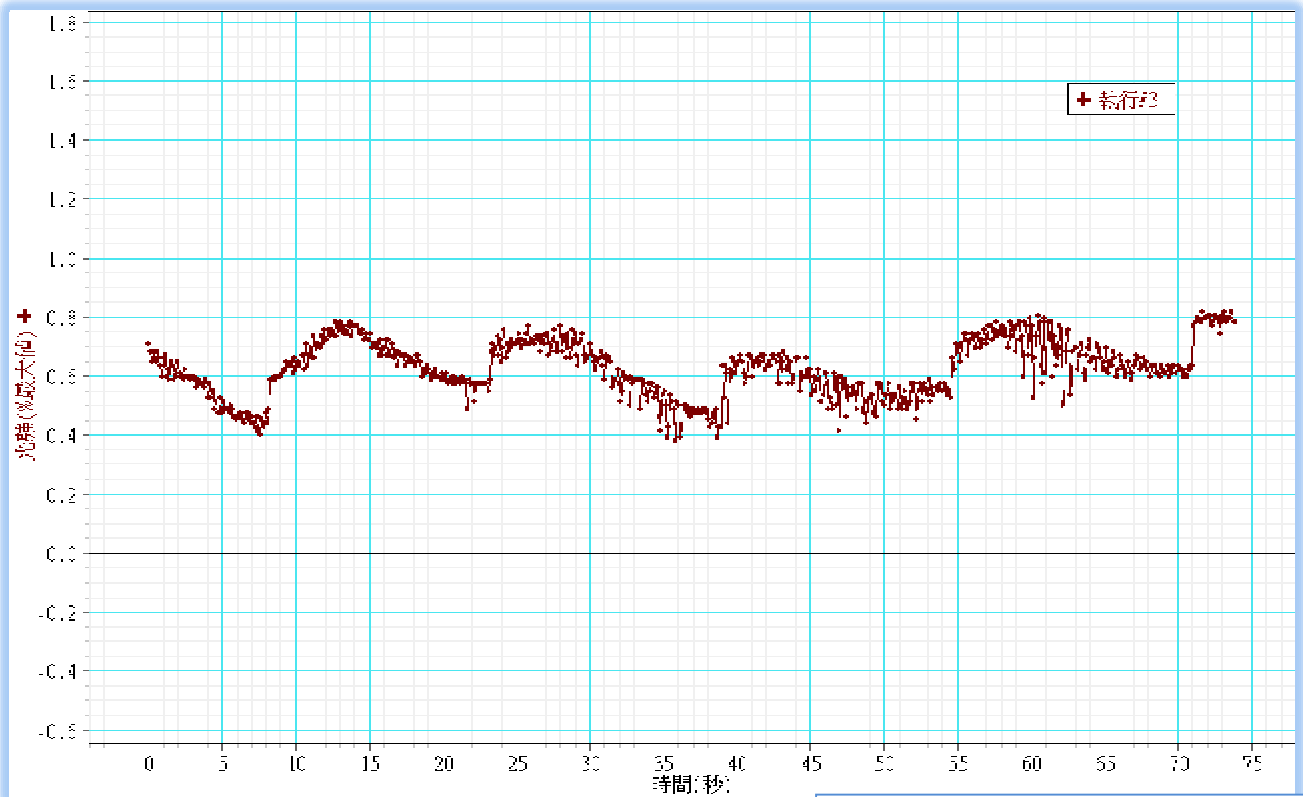
圖十四中量測光強與偏振片角度之關係，在兩張偏振片角度垂直時光強會下降，平行時則上升。



圖十五 液晶不加電壓下的光強變化(紅光)



圖十六 液晶加交流電下的光強變化(紅光)



圖十七 液晶加交流電下的光強變化(紅光)

在圖十六和十七中，在光路間加入液晶，液晶通入電壓後會開始旋轉，改變一光路的偏極化角度，造成光強度變化，而圖中的光強變化有類似週期性的現象。

陸、 結論

- 一、本實驗是利用光干涉技術作為量測工具，所以量測的精確度能達到半個光波長，但相對的受到外在影響卻很明顯。
- 二、實驗測量出紅光波長為 $0.628 \mu\text{m}$ ，符合紅光正常波長，代表能量測的最小範圍在微米尺度。
- 三、在喇叭振動的實驗中，經過計算得到，加電壓時，喇叭的振動的位移量為 $0.460533 \mu\text{m}$ 。
- 四、在壓電晶片振動的實驗中，經過計算得到，加電壓時，壓電晶片振動的位移量為 $0.324467 \mu\text{m}$ 。
- 五、喇叭振動位移大小較壓電晶片大。
- 六、在氣壓影響折射率的實驗中，經過測量及計算後得到 壓力平均變化 1KPa 的折射率變化為 (0.025×10^{-4}) 。然而因為此實驗做出的圖形較有規律性，若是測量對象低於最小刻度，則可用相位分析法推出數據。
- 七、在溫度影響折射率的實驗中，經過測量及計算後得到 水溫變化 1 度的折射率變化為 (2.062×10^{-4}) 。

柒、 討論及應用

- 一、實驗測量出的紅光波長為 $0.6 \mu\text{m}$ ，符合紅光正常波長範圍。
- 二、在圖形變化與折射率之實驗中，利用紅光測出的數據和綠光相同，綠光波長較小，數據也比較準確。
- 三、在做在光路上介質加壓及減壓的實驗中，因加壓及減壓的速度太快，光感測器的取樣頻率不夠高，無法記錄精確的數據。發現施加壓力後有自動減壓的情形，利用此情況，測量穩定動態的壓力變化量。在實驗後發現加壓後再漏氣的實驗圖形中，得知光強越來越高，代表先加壓的實驗方式會使介質箱產生些微的形變，導致光強越來越高。

- 四、在加壓及改變溫度的實驗中，實驗結果的圖雖然有點混亂，但仍可看出類似週期性的圖形趨勢，則藉此讀出數據。
- 五、在測量溫度與折射率變化關係的實驗中，冰水溫度太低導致盛裝水的實驗器皿的表面產生小水珠，其圖形因一邊的光路被小水珠擋住，以至於冰水實驗的圖形呈現先有變化，後來變化則不明顯的情形。
- 六、實驗時，實驗所做的量測範圍是微米尺度，在實驗進行中任何多餘的光源、任何物體的振動包括走動、關門、甚至是一點點的微風都會影響到實驗的準確度。
- 七、此實驗有做到能夠測量壓力差，可測範圍也非常小，期許能夠拿來測量駐波管內的壓力變化。
- 八、未來之應用，利用此測量法來量測喇叭振動面的振動是否平整，以測量喇叭的好壞。

捌、 參考資料

- 一、科學月刊 1993 年 5 月第 281 期陳志忠相對論的先驅之「麥克森」
- 二、國立台灣大學普物實驗
- 三、中原大學應用物理研究所碩士學位論文
[奈米級干涉式材料表面形貌及薄膜量測系統]
- 四、<http://ethesis.lib.fcu.edu.tw/ETD-search/getfile?URN=etd-0806103-155428&filename=etd-0806103-155428.pdf>
- 五、<http://etdncku.lib.ncku.edu.tw/ETD-db/ETD-search/getfile?URN=etd-0629103-123222&filename=etd-0629103-123222.pdf>
- 六、台大物理系-物理教學示範教室
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/index.php>