

# 中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

第一名

030809

變大變小，一付搞定--可變倍率透鏡及其應用

學校名稱：臺北市立大直高級中學

作者： 國三 蕭季威	指導老師： 惠沁宜
---------------	--------------

關鍵詞：透鏡、可變倍率、液體透鏡

# 作品名稱：變大變小，一付搞定 -- 可變倍率透鏡及其應用

## 摘要

顯微鏡、望遠鏡、相機等所使用的每個光學玻璃透鏡，只有固定的焦距，無法靠單一透鏡做到倍率的改變，必須靠拉長或縮短多個透鏡之間的距離。因此鏡頭的長度、系統的體積、和成本上都不是最佳的選擇。

我進行可改變倍率透鏡之研究，將傳統光學玻璃透鏡改為高彈性薄膜和高折射率液體所組成的液體透鏡，透過控制透鏡內層的液體填充量，可讓彈性膜有不同的表面曲度，形成具多重倍率的液體透鏡。

在這個研究中，我進行許多研究工作，包括透鏡的設計、彈性膜和填充液的特性研究、填充液改變量的影響分析及調整方法、透鏡相關理論、透鏡教學教具、非接觸式測距等，完成了可變倍率透鏡，在物理的透鏡成像教學和生物觀察，以及實際應用上，都提供很多的幫助。

## 壹、研究動機

去年我在做科展的實驗時，爲了看到微小的鐵粉粒被油脂包覆情形，我得不斷地變換低倍率和高倍率物鏡，並在有限的視野內搜尋目標物。這時我想到如果單片的物鏡可以有很多種焦距，那顯微鏡觀察的工作就方便多了。所以我開始思考如何作出一種透鏡，可以連續地改變透鏡的焦距和倍率。

近年來，荷蘭 Philips 公司研製出液體變焦光學鏡頭 FluidFocus [1]，使用兩種不相溶並具有不同折射係數的液體，靠著控制電壓產生電潤濕作用來改變兩液體面相接界面的曲率，達到改變焦距的目的。但這種鏡頭因爲是靠電潤濕作用，只適用於小口徑的鏡頭，如手機上的相機，同時倍率無法太高，且在非水平位置時，易受重力影響。所以並不符合我的研究目標。

每天生活中有很多的地方都需要可變倍率的透鏡，如放大鏡、望遠鏡、相機鏡頭，而且學校在透鏡成像部分的實驗，也可以有連續改變焦距而觀察到成像的變化，讓學生更容易瞭解透鏡的成像原因。

## 貳、研究目的

我的研究目的是要做出具有多種倍率的可變倍率透鏡。如果將傳統的固定焦距光學透鏡，改成彈性透明物質的鏡片，就可以任意改變鏡片的表面曲率，也就改變了焦距和放大倍率。

因此在這個研究中，我必須要解決的基本問題包括：

1. 鏡片的選擇：

鏡片表面的曲率要能變化，鏡片要有彈性。

鏡片本身的透光率要高，要盡可能透明。

2. 倍率的改變控制：

調整倍率的控制方式要方便有效，不要有太多的機械元件。

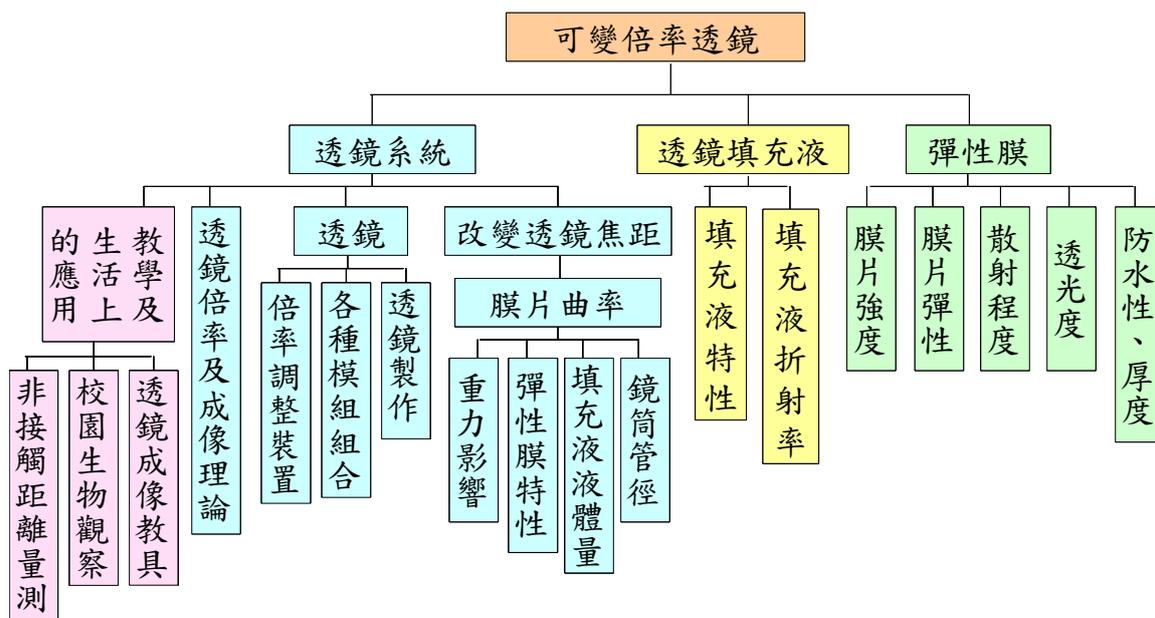
3. 焦距變化的範圍要大：

應該能有不同的透鏡組合，構成平凸或雙凸或凹凸透鏡。

我的各項研究目的和流程列在下面圖表。

研究探討分項工作如下：

研究目的		研究項目
研究一	可變倍率透鏡的規劃與設計	(一) 表面曲率可變的彈性鏡片 (二) 透光率高的鏡片 (三) 方便有效的焦距調整方式
研究二	彈性膜的特性研究	(一) 彈性膜的條件與選擇 (二) 彈性膜的透光度和散射度 (三) 彈性膜的彈性 (四) 彈性膜的強度
研究三	填充液的特性研究	(一) 填充液折射率的探討 (二) 填充液種類的選取
研究四	填充液改變量的影響	(一) 透鏡曲率和折射率的探討 (二) 彈性膜曲率的變化
研究五	透鏡位置的影響	(一) 透鏡水平角度對彈性膜曲率的影響
研究六	如何改變透鏡內填充液量	(一) 改變透鏡內層填充液量
研究七	可變倍率透鏡系統的設計	(一) 鏡筒尺寸 (二) 防漏 (三) 模組接合
研究八	填充液量調整控制裝置	(一) 填充液量控制裝置
研究九	可變倍率透鏡理論的探討	(一) 探討液體透鏡焦距量測、校正……等
研究十	可變倍率透鏡系統的應用	(一) 透鏡成像教學教具的應用 (二) 校園生物觀察的應用 (三) 非接觸式測距的應用



研究與教材相關性：

課程教材	章節	單元名稱	內容相關性
自然與生活科技(1 上)	活動 2-1.1 活動 2-1.2	複式顯微鏡的使用 解剖顯微鏡的使用	顯微鏡的構造、影像放大、使用方法
自然與生活科技(2 上)	4-3	光的折射及透鏡	光的折射、透鏡的結構、焦距、成像
自然與生活科技(2 上)	4-4	光學儀器	顯微鏡和相機的構造及成像原理

## 參、研究設備及器材

研究項目	研究設備與器材	研究設備與器材內容
彈性膜的特性	原料	保鮮膜、樹脂膜、矽膠膜、塑膠手套、乳膠手套、培養皿封膜、包裝膜(PVC)、手機包膜、金屬保護膜、鍵盤保護膜、保險套
	器材	光感測器、雷射光筆、馬達、自製薄膜透光散射自動測量系統、自製彈性測量系統、Robolab
填充液的特性	原料	水、甘油
	器材	MSDS 表
填充液改變量的影響	器材	壓克力管(管徑外徑 10, 12, 15, 20, 22, 25, 30, 35, 40, 45 mm)、10 ml 針筒、橡皮塞、氣球、橡膠圈、透鏡焦距模擬軟體
透鏡位置的影響	器材	10 ml 針筒、簡易液體透鏡、量角器、雷射光筆、自製鏡筒旋轉測量系統
可變倍率透鏡系統	器材	鋁管、塑鋼、壓克力圓片(直徑 35mm、厚度 1mm)、O 型環
可變倍率透鏡教具	器材	自製壓克力方形管、鋁軌、滑動台

## 肆、研究過程與方法

### 研究一、可變倍率透鏡的規劃與設計

可變倍率透鏡主要的問題有：

1. 表面曲率可變的彈性鏡片；
2. 透光率高的鏡片
3. 方便有效的焦距調整方式。

我分析了幾個可能的解決方法和優缺點。

#### (一)、表面曲率可變的彈性鏡片：

要讓鏡片本身的曲率產生變化，就是讓鏡片可以變形，改變了鏡片的曲率和焦距。可以採用的方法有：

1. 利用高熱膨脹係數的金屬，當溫度升高時，金屬會向兩側脹大，造成材料的曲率改變。缺點是要造成明顯的材料曲率改變，需要很高的溫度。
2. 利用壓電材料做成一個微凸的薄圓碟，當加上電壓時，會變形向外膨脹，造成曲率改變。但壓電材料的變形量都很小。
3. 利用環氧樹脂做成一個薄圓碟，當施加壓力時，「光彈效應」讓環氧樹脂的折射率改變，因此可以改變焦距。但光彈效應引起的折射率變化不太大。
4. 利用兩片彈性膜，形成中空的囊袋，中間裝有透明液體；當擠壓囊袋時，會將膜片向外撐，使得倍率改變(如圖 1.1)。因為膜片容易變形，可以有很大的的變形量，因此焦距的變化容易而且變化範圍大，是可行的方法。

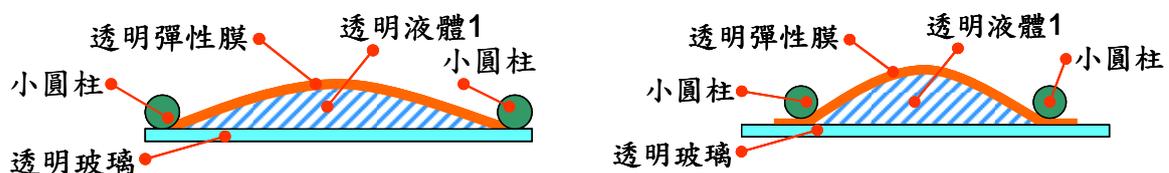


圖 1.1 可變倍率透鏡的方法概念圖

#### (二)、高透光率的鏡片：

1. 高熱膨脹係數的金屬：金屬不透明；
2. 壓電材料：壓電材料中含有鉛，為不透明材料；
3. 環氧樹脂：透光率高；
4. 彈性膜片和液體：可以找到透明材質。

(三)、方便有效的焦距調整方式：

較不好的方法是溫度或力量控制，較好的方法是電壓電流控制。若使用電壓控制小滾筒或壓電材料擠壓囊袋，可使用電極控制，因此也可行。

綜合各種可行性方法的分析，其整理如表 1.1。

表 1.1 製作可變倍率透鏡之可行方案分析表

製作可變倍率透鏡之可行方案	高熱膨脹係數金屬	壓電材料	光彈效應	彈性膜片
使用方法	溫度升高→金屬膨脹→曲率改變	加上電壓→材料變形→向外膨脹→曲率改變	施加壓力→有「光彈效應」→折射率改變	周邊擠壓膜片→液體將膜片向外撐→焦距改變
可變鏡片曲率 ~鏡片可變形	△ 需要高溫度	○ 只需小電壓	X 折射率變化不大	○ 焦距變化容易且範圍大
高鏡片透光率 ~鏡片要透明	X 不透明	X 不透明	○ 可找到透明材質	○ 可找到透明材質
方便的控制方式 ~電壓電流控制	△ 溫度控制	○ 電壓電流控制	○ 壓力控制	△ 擠壓控制
** 可行性：○ 高， △: 中， X: 低				

根據表 1.1 的分析，我決定使用彈性膜片和液體來作為可變倍率透鏡的架構，如圖 1.2。圓形鏡筒設計成上下兩格，中間用透明玻璃隔開，上下端用圓形透明玻璃作為密封和保護。在每格的中間，裝有透明的彈性膜。內層空間灌入高折射率透明液體，外層則為低折射率透明液體或空氣；此時光線平行穿過鏡筒。

當改變內層的液體量時，液體便壓迫彈性膜，讓彈性膜變形，因此改變了彈性膜的曲率。圖 1.3 是示意圖，在圖 1.3.I 為雙凸透鏡，圖 1.3.II 為平凸透鏡，圖 1.3.III 為凹凸透鏡，因此可以得到非常大的焦距變化範圍。變化的方式如表 1.2，共計有 9 種型式的凸透鏡 / 凹透鏡。

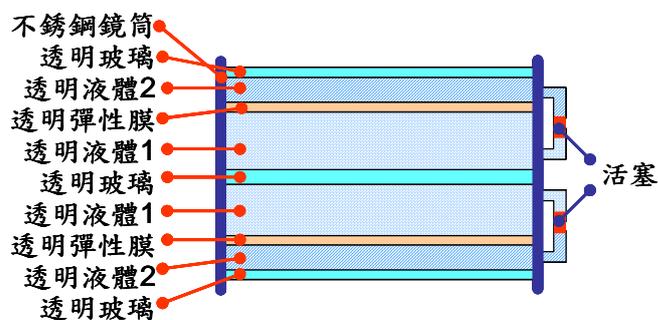


圖 1.2 可變焦距鏡片的架構圖

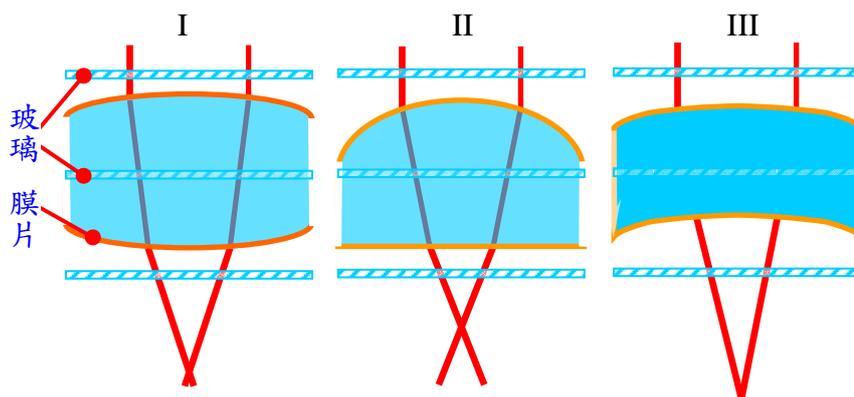


圖 1.3 彈性膜的凹凸與焦距變化

表 1.2 不同型式的凸、凹透鏡

類型		上層彈性膜		
		凹	平	凸
下層彈性膜	凹	雙凹透鏡	平凹透鏡	凹凸透鏡/凸凹透鏡
	平	平凹透鏡	平面鏡	平凸透鏡
	凸	凸凹透鏡/凹凸透鏡	平凸透鏡	雙凸透鏡

## 研究二、彈性膜的特性研究

### (一) 彈性膜的條件與選擇

透明、有彈性和防水是薄膜的基本三個選擇條件。

#### 1. 研究過程

- (1). 根據三個基本條件，找尋可用的薄膜。
- (2). 尋找的途徑有四種：
  - a. 根據日常生活經驗：包括保鮮膜、樹脂膜、矽膠膜、塑膠手套、乳膠手套；其中樹脂膜和矽膠膜分別是用樹脂糊和防水矽膠接著劑，經過圓筒自己滾壓成的薄膜(如圖 2.1)；手術用乳膠手套彈性好，但都是淡黃色；塑膠手套則是半透明，但彈性差。
  - b. 根據老師的建議：包括手機包膜、培養皿封膜。
  - c. 網路上搜尋：包括金屬保護膜、筆記型電腦鍵盤保護膜。
  - d. 店家的建議：包括保險套、包裝膜。保險套彈性好，但是材質都是透明度差的乳膠，而且都塗有油脂，所以就沒有使用。



a. 滾壓樹脂糊，作成樹脂模

b. 擠壓防水矽膠在塑膠片上

c. 將矽膠抹平

d. 矽膠抹平乾燥後，便形成薄膜

圖 2.1 自製矽膠模的過程

## 2. 研究結果

- (1) 各種薄膜的優缺點評估如表 2.1。
- (2) 樹脂膜遇水會溶化，防水性差；
- (3) 乳膠類薄膜(乳膠手套、保險套)是淡黃色，透明度差；
- (4) 手機包膜較硬，彈性很差；
- (5) 矽膠類膜(矽膠膜、金屬保護膜、鍵盤保護膜)的透明度不佳，且薄的矽膠膜不容易找。

表 2.1 各種薄膜的優缺點評估

類別	保鮮膜	樹脂膜	矽膠膜	塑膠手套	乳膠手套	手機包膜	培養皿封膜	金屬保護膜	鍵盤保護膜	保險套	包裝膜
透明度	○	△	△	△	×	○	×	×	△	×	○
彈性	×	○	○	△	○	×	×	○	○	○	○
防水性	○	×	○	○	○	○	×	○	○	○	○

\*\* 可行性：○: 高， △: 中， ×: 低

## 3. 研究小結論

經過表 2.1 的初步分析，有些薄膜不適合研究的目的，因此研究中僅針對 7 種薄膜進行透明度、散射度、彈性度、強度的分析。

### (二) 彈性膜的透光度和散射度

透鏡薄膜需要高透光度及低散射度，成像才能清晰。我自製了「薄膜透光散射自動測量系統」，利用雷射光筆的光束通過薄膜，在膜的另一端用光感測器等速掃過整片薄膜並接收雷射光強度，來分析薄膜的透光度和散射度。

### 1. 研究過程

- (1).將保鮮膜、樹脂膜、矽膠膜、塑膠手套、乳膠手套、培養皿封膜、包裝膜等 7 種薄膜裁剪成 9 x 2 cm 的大小；
- (2).將各種薄膜夾在中間有 8.1 x 1.2 cm 窗口的樣板(如圖 2.2)，作成薄膜試片；
- (3).製作測試平台(如圖 2.3)，讓雷射光筆光束通過薄膜試片正中心，並以移動台讓光感測器等速掃過薄膜試片，測得整片薄膜試片的光強度分布情形。
- (4).撰寫控制程式(如圖 2.4)，讓移動台等速移動，每 0.1 秒量測光強度並自動記錄。

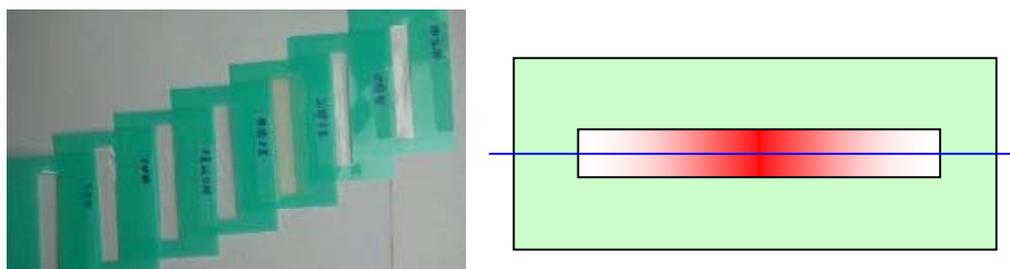


圖 2.2 薄膜試片及受雷射光束照射之示意圖

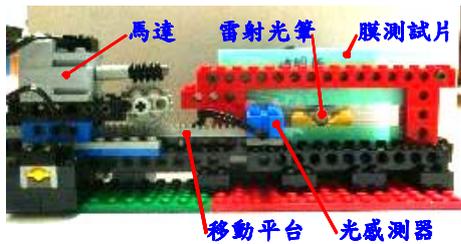


圖 2.3 自製薄膜透光散射自動測量系統

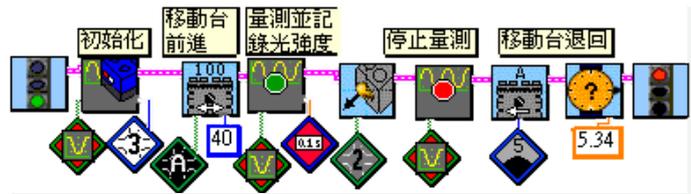


圖 2.4 薄膜透光散射自動測量系統的控制程式

## 2. 研究結果

- (1) 圖 2.5 說明如何分析曲線結果來決定透明度和散射程度，因為散射程度不容易定義，所以我使用光強度起始上升點到結束下降點之所需時間來代表散射程度。
- (2) 圖 2.6 是空氣和各種薄膜的實驗曲線。
- (3) 各種薄膜的透光度分析整理在表 2.2，並畫出比較圖 2.7。
- (4) 由表 2.2 及圖 2.7 可看出保鮮膜和包裝膜的透光度最好，乳膠手套的透光度最差；包裝膜的散射程度最低，而樹脂膜的散射程度最高。

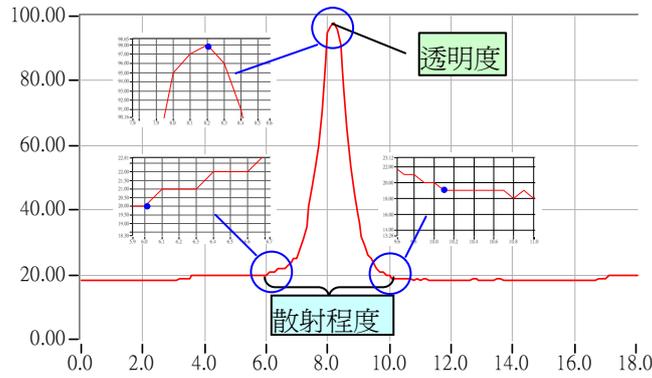


圖 2.5 由實驗結果曲線分析薄膜之透光與散射

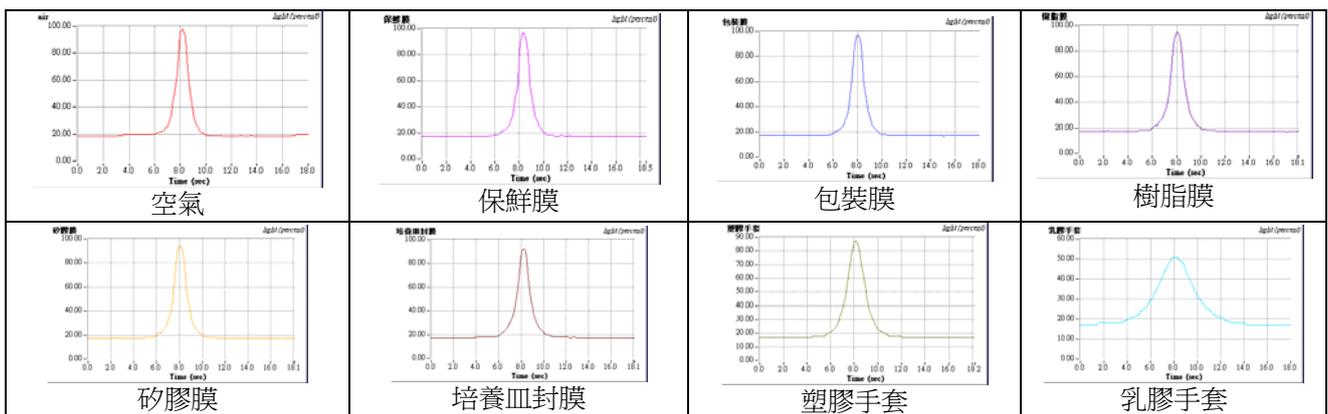


圖 2.6 由實驗結果曲線分析薄膜之透光與散射

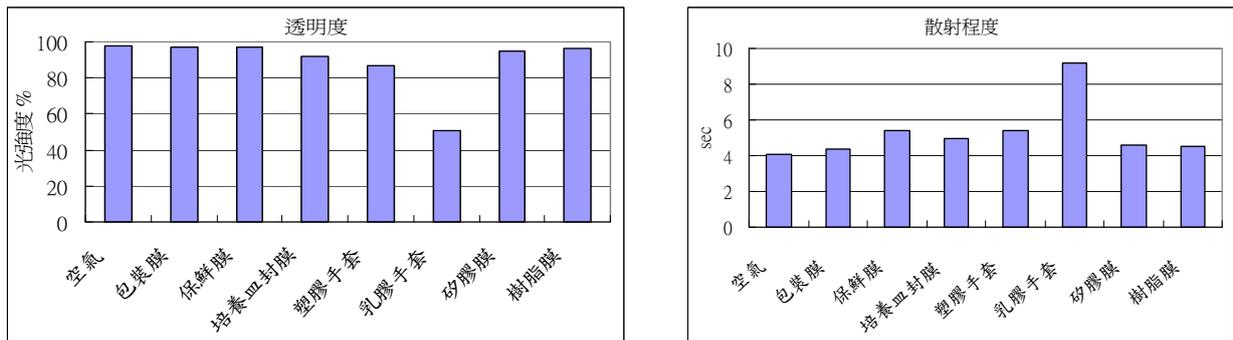


圖 2.7 各種薄膜之透光度和散射程度實驗結果比較

表 2.2 各種薄膜的透光度及散射程度分析

類別	透明度	高透明度排比	透光度開始及結束變化之時間	散射程度	低散射程度排比
空氣	98.0		6.0/10.1	4.1	
包裝膜	97.0	1	5.6/10.0	4.4	1
保鮮膜	97.0	1	5.5/10.9	5.4	5
培養皿封膜	92.0	4	5.8/10.8	5	4
塑膠手套	87.0	5	5.5/10.9	5.4	5
乳膠手套	51.0	6	3.6/12.8	9.2	6
矽膠膜	95.0	3	5.8/10.4	4.6	3
樹脂膜	96.0	2	5.9/10.4	4.5	2

### (三) 彈性膜的彈性

薄膜要向外膨脹或內縮，因此透過實驗量測各種薄膜的彈性，包括彈性係數和降伏強度。

彈性物質的受力和變形量具有下列的關係： $F = k \cdot x$ 。

其中  $F$  是施力， $x$  是彈性體變形量， $k$  是彈性係數。因此只要改變施力  $F$ ，便可以由  $k = F / x$  知道彈性物質的彈性係數， $k$  值愈小，表示較小的施力就可以產生同樣的變形量，因此更適用於可變倍率透鏡。彈性物質如果受力太大，就會產生永久變形，而開始產生永久變形的單位面積的力量稱為降伏強度 [3]。

#### 1. 研究過程

- (1). 各膜片裁剪成 10 x 2 cm 的長條，並在各膜片上作兩記號點，相隔 4cm(如圖 2.8)。
- (2). 膜片兩端黏在兩個固定棒上，用彈簧秤往外拉，給膜片張力(如圖 2.9)。
- (3). 彈簧秤分別施力 100、200、300、400、500 g 的力量。
- (4). 每次施力後，量測並記錄膜片變形量；再移除施力，量測並記錄膜片永久變形量；
- (5). 對各膜片重覆(2)~(4)之實驗步驟。



圖 2.8 各膜片的試片

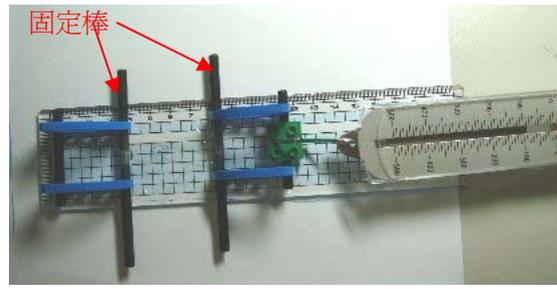


圖 2.9 膜片的彈性實驗

## 2. 研究結果

- (1) 各膜片的實驗數據如表 2.3，實驗曲線圖在圖 2.10。
- (2) 各種薄膜的彈性和降伏強度分析整理在表 2.4。
- (3) 由表 2.4 可看出樹脂膜、矽膠膜、包裝膜的彈性係數最低，保鮮膜和塑膠手套的彈性係數很高，要較大的力量才能讓薄膜產生變形，因此不利於用在液體透鏡中。

表 2.3 各膜片的彈力實驗的數據 (變形量 cm / 永久變形量 cm)

類別	產生變形量和永久變形量的施力大小					
	100 g	200 g	300 g	400 g	500 g	破裂時變形量 (cm)
包裝膜	0.4 / 0	1.0 / 0	1.5 / 0.1	2.1 / 0.15	2.0 / 0.4	7.1
保鮮膜	0.1 / 0	0.1 / 0	0.2 / 0	0.3 / 0	0.4 / 0	1
培養皿封膜	0 / 0	0 / 0	0.1 / 0	0.2 / 破裂	--	0.2
塑膠手套	0.7 / 0	1.3 / 0.2	2.1 / 0.3	2.5 / 0.4	3.2 / 0.4	10.3
乳膠手套	0.7 / 0	2.6 / 0.1	5.5 / 0.3	8.4 / 0.5	12.4 / 0.5	28
矽膠膜	2.8 / 0	4.6 / 0	6.7 / 0	7.3 / 0	9.8 / 0	15.0
樹脂膜	1.3 / 0.6	5.0 / 2.5	8.1 / 3.4	11.0 / 3.5	13.5 / 4	15.4

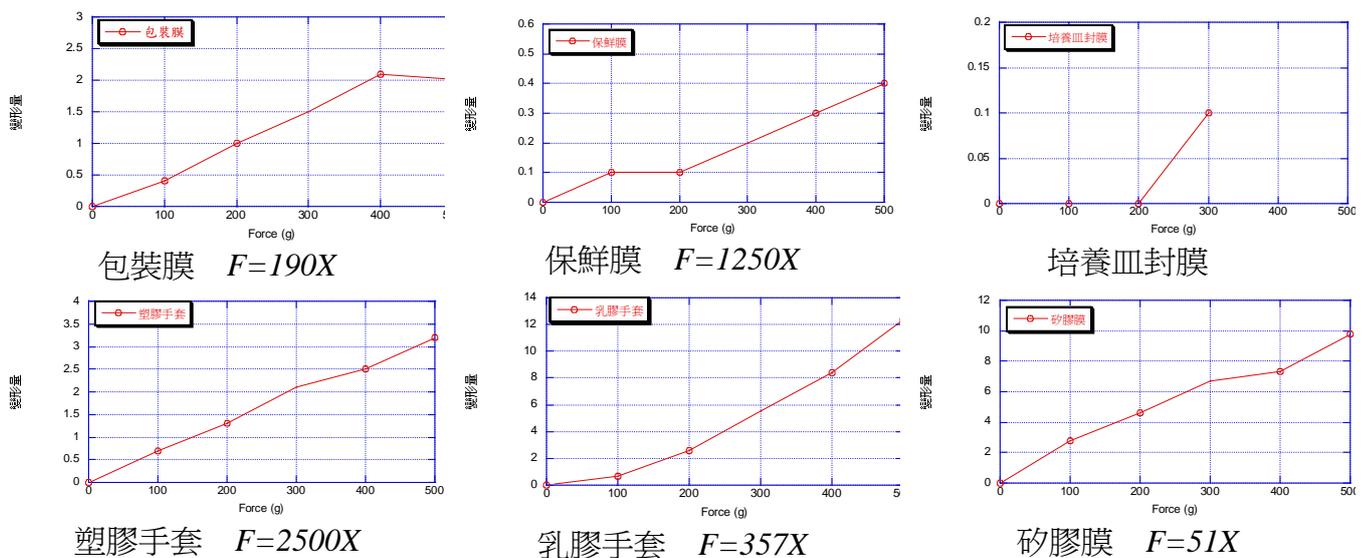
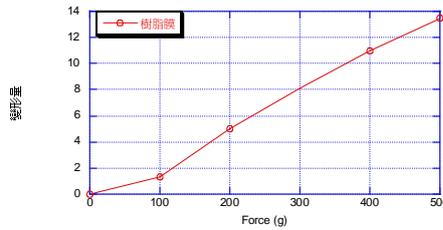


圖 2.10 薄膜的彈力實驗曲線圖



樹脂膜  $F=37X$

圖 2.10 薄膜的彈力實驗曲線圖 (續)

表 2.4 各薄膜之彈性係數和降伏力

類別	包裝膜	保鮮膜	培養皿封膜	塑膠手套	乳膠手套	矽膠膜	樹脂膜
彈性係數 (g/cm)	190	1250	---	2500	357	51	37
降伏力 (g)	300	> 500	400	200	200	> 500	100

#### (四) 彈性膜的拉伸強度

薄膜拉伸強度要好，否則往外撐開便容易破裂。但有些膜片很強韌，要較大刻度的彈簧秤才能量測出拉斷的力量，因此我改用膜片拉斷時的變形量及其彈性係數來求出薄膜的拉伸力。

##### 1. 研究過程

(1). 將上面實驗的一個固定棒用力往外拉，記錄膜片開始破裂時的變形量。

##### 2. 研究結果

(1) 實驗的數據在表 2.5，由破裂時變形量算出各膜片的拉伸力。

(2) 由表 2.5 可看出塑膠手套和乳膠手套的強度最好，不易斷裂；而培養皿封膜、樹脂膜的強度差，很容易便拉破。

表 2.5 各膜片的破裂時變形量和拉伸強度

類別	破裂時變形量 (cm)	彈性係數 (g / cm)	拉伸力 (g)
包裝膜	7.1	190	1349
保鮮膜	1	1250	1250
培養皿封膜	0.2	---	400
塑膠手套	10.3	2500	25750
乳膠手套	28	357	9996
矽膠膜	15.0	51	765
樹脂膜	15.4	37	570

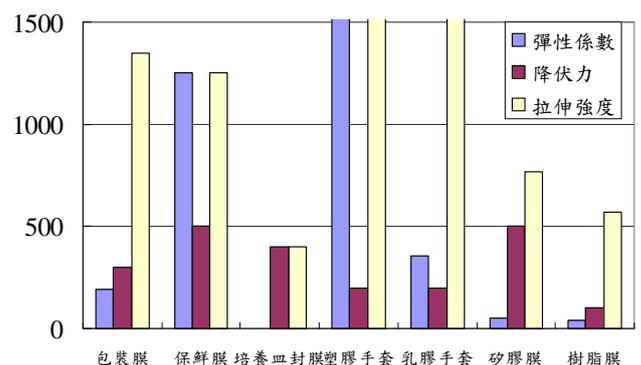


圖 2.11 各薄膜的彈性和強度之比較

(\*部分數值超過 1500g, 僅畫至 1500g)

#### (五) 研究二結論

各薄膜的彈性和強度整理在圖 2.11，而全部特性則在表 2.6 中，並依程度給予排序，最後再將排序相加(透明度和低散射度很重要，所以給兩倍的加權值)，總和最低者代表是可應用在液體透鏡上的最好薄膜。依表 2.6，包裝膜為最佳之薄膜，因此後續之研究都使用包裝膜。

表 2.6 各薄膜的特性整理及排序

類別	高透明度	低散射程度	彈性	降伏力	拉伸強度	排比總和	總排比
包裝膜	1	1	3	3	3	13	1
保鮮膜	1	5	5	1	4	22	3
培養皿封膜	4	4	7	2	7	32	5
塑膠手套	5	5	6	4	1	31	4
乳膠手套	6	6	4	4	2	34	6
矽膠膜	3	3	2	1	5	20	2
樹脂膜	2	2	1	5	6	20	2

### 研究三、填充液的特性研究

薄膜決定鏡片的表面曲率，填充液則決定鏡片折射率和鏡片厚度。若要有較大倍率，鏡片的折射率要大，也就是填充液的密度要大。因此填充液的選擇要考量的因素有：

1. 光學性質：密度及折射率。
2. 化學性質：對膜片腐蝕性、揮發性、毒性。

#### 1. 研究過程

- (1) 由書籍中找出折射率較高之液體。
- (2) 參考 MSDS 表，找出各液體之密度、腐蝕性、揮發性、毒性。

#### 2. 研究結果

- (1) 可用之液體包括丙醇、甲醇、乙醇、苯、二硫化碳、四氯化碳、三氯甲烷、乙醚、甘油、松節油、橄欖油。
- (2) 根據 MSDS 表及參考資料，各種液體的密度、透光度、對膜片腐蝕性、低揮發性(高沸點)、毒性、安定性(自燃溫度、閃火點)等整理如表 3.1。
- (3) 根據表 3.1 之整理結果，填充液以甘油及水較為理想。

表 3.1 填充液各種性質

類別	分子式	密度	折射率	透光度	低揮發性(沸點)	自燃溫度	閃火點	無腐蝕性/無毒性
乙醚	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ·O·C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	0.7135	1.3538	○	35	170	-45	×
丙醇	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	0.785	1.3593	○	82.3	399	12	×
甲醇	CH <sub>3</sub> OH	0.79	1.3290	○	64.7	385	12	×
乙醇	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	0.789	1.3618	○	78.4	363	13	×
松節油	C <sub>19</sub> H <sub>16</sub>	0.86	1.4721	○	154	253	35	×
橄欖油		0.92	1.4763	△				○
水	H <sub>2</sub> O	1.00	1.3330	○	100			○
甘油	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1.260	1.4730	○	290			○
二硫化碳	CS <sub>2</sub>	1.263	1.6276	○	46.3		-30	×
三氯甲烷	CHCl <sub>3</sub>	1.484	1.4467	○	61			×
四氯化碳	CCl <sub>4</sub>	1.594	1.4607	○	76.5			×
苯	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0.877	1.5012	○	80	498	-11	×

## 研究四、填充液改變量的影響

透鏡內的填充液量改變時，會使薄膜外張或內縮，讓薄膜表面形成曲面，變成一個液體透鏡，也改變了透鏡的表面曲率，形成不同的透鏡焦距。但是填充液量的改變與薄膜表面曲率和透鏡焦距有何種關係呢？

### (一) 透鏡曲率和透鏡折射率

透鏡的曲率若太大，反而可能造成無法聚焦 [2]。因此我先測試各種不同透鏡曲率和透鏡折射率對焦點的影響，來確定液體透鏡可使用的曲率範圍和高折射率液體的可用範圍。

但是不可能找到所有各種曲率和各種折射率的透鏡，幸運地我找到台灣師範大學黃福坤老師設立的物理教學示範實驗教室 [2]，其中就有「面鏡與(厚)透鏡成像動畫」，可以讓我改變透鏡曲率和透鏡折射率等條件來進行模擬。

#### 1. 研究過程

圖 4.1 是使用該程式進行模擬以及整理數據的情形。我以透鏡曲率和透鏡折射率作為變數，量測焦點離透鏡後端的位置用來瞭解焦點的位置，並量測光束離開透鏡後端時的一半寬度用來瞭解光束聚焦的情形。

#### 2. 研究結果

(1) 模擬的結果整理在表 4.1 中。

(2) 由表 4.1 中可知道液體折射率愈大，焦距愈短；當使用水(折射率 1.333)或甘油(折射率 1.473)，若曲率半徑過大(>53.2 cm)時，光束不易聚焦，也就是影像會不清晰；曲率半徑過小(<31.9 cm)時，焦距會很長(超出程式可模擬範圍)，就要有較長的鏡筒(註：此處曲率半徑的定義使用該模擬軟體的定義)。

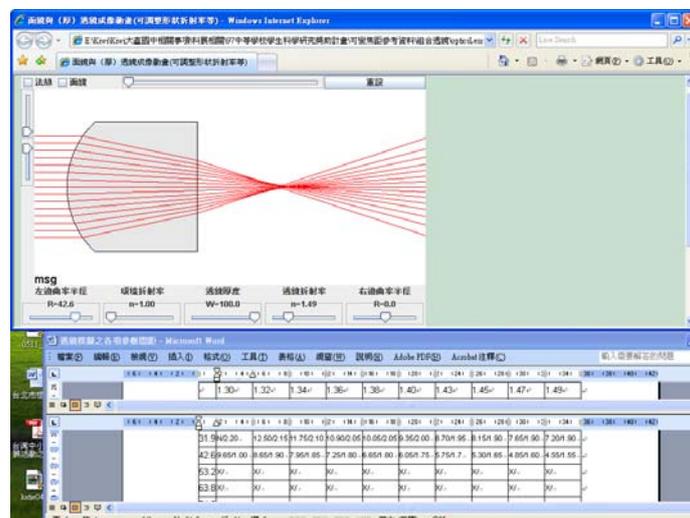


圖 4.1 使用程式進行透鏡焦點模擬

表 4.1 透鏡模擬之結果

透鏡條件		透鏡折射率									
		1.30	1.32	1.34	1.36	1.38	1.40	1.43	1.45	1.47	1.49
透鏡曲率半徑 (cm)	2.1	N/3.00	N/2.95	N/2.95	N/2.95	N/2.90	N/2.90	N/2.90	N/2.90	N/2.85	N/2.85
	10.6	N/2.75	N/2.65	N/2.65	N/2.6	N/2.6	N/2.55	N/2.55	N/2.55	N/2.50	N/2.50
	21.3	N/2.40	N/2.45	N/2.45	N/2.30	N/2.30	N/2.25	N/2.25	N/2.25	N/2.20	12.50/2.20
	31.9	N/2.20	12.50/2.15	11.75/2.10	10.90/2.05	10.05/2.05	9.35/2.00	8.70/1.95	8.15/1.90	7.65/1.90	7.20/1.90
	42.6	9.65/1.00	8.65/1.90	7.95/1.85	7.25/1.80	6.65/1.80	6.05/1.75	5.75/1.7	5.30/1.65	4.85/1.60	4.55/1.55
	53.2	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/
	63.8	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/
	74.5	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/
	85.1	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/
	95.7	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/	X/

\*\* 數據 p/q : p : 鏡平後端至焦點距離, q : 鏡平後端光束寬的一半。  
 \*\* N : 焦距太遠; X : 散焦

## (二) 對彈性膜曲率的變化

這個研究是要瞭解填充液的變化量對彈性膜曲率的影響。我用透明壓克力管來替代鏡筒，目的是方便觀察光束的折射情形，以確定研究的構想是否正確可行，也測量焦距的變化。實驗中將包裝膜套在壓克力管前端，用橡膠圈束緊，後端再連結 10 ml 的塑膠針筒，用來壓入填充液，此階段先使用水作為填充液。

由於包裝膜容易被壓克力管前緣給劃破，經過不斷的嘗試後，最後在管前端先套上一圈氣球膜，再套上薄膜，就解決了問題。另外因水壓大會滲漏，經過嘗試後，以單孔橡皮塞先壓入壓克力管，塑膠針筒再壓入塞孔中，便解決了滲漏的問題。實驗中使用兩枝光束平行的雷射光筆並排射入光束，則很容易便發現兩光束的交會點就是焦距。完成品如圖 4.2。

### 1. 研究過程

- (1) 準備不同管徑(外徑 10, 12, 15, 20, 22, 25, 30, 35, 40, 45 mm)透明壓克力管共 10 個。
- (2) 各壓克力管前端套上氣球膜和包裝膜束緊，後端連結單孔橡皮塞和塑膠針筒。
- (3) 緩慢地注入填充液，並反覆抽壓，讓管內充滿填充液而沒有氣泡，並讓薄膜保持平面。
- (4) 以兩隻雷射光筆的平行雷射光束由管前端與管軸平行射入壓克力管內(如圖 4.2)。
- (5) 慢慢將塑膠針筒內填充液壓入管內，觀察並記錄薄膜的表面曲率變化和焦距的變化。
- (6) 另外量測填充液壓入管內時，薄膜頂端向外擴張的距離(如圖 4.3)



圖 4.2 簡易液體透鏡及填充液

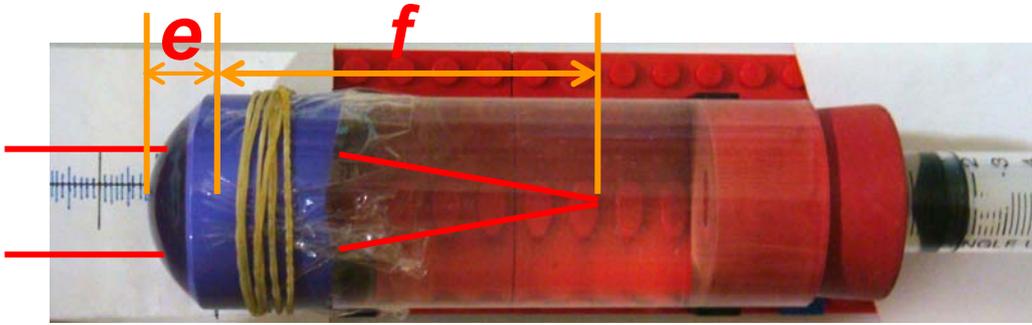


圖 4.3 量測薄膜頂端向外擴張的距離

## 2. 研究結果

- (1) 改變填充液量，便改變薄膜的表面曲率和透鏡焦距，證明研究構想是確實可行。
- (2) 經過實驗測試，決定 25 和 30 mm 管徑可得到較佳的觀測範圍，同時給薄膜足夠的支撐力。因此後續研究均以管徑 25 和 30 mm 進行實驗分析。
- (3) 填充液改變量和透鏡外擴距離之關係如圖 4.4，可發現填充液改變量和薄膜外擴距離成正比，兩者的關係如式(1)，其中  $e$  為薄膜外擴距離(mm)， $\Delta q$  為增加之液體量(c.c.)。

$$e = -0.589 + 2.125 \cdot \Delta q \quad (1)$$

- (4) 薄膜外擴距離  $e$  與透鏡曲率的關係可由圖 4.5 推算出，其中  $r_d$  為管半徑 13 mm。

由圖 4.5 可知  $r^2 = (r - e)^2 + (r_d)^2$ ，得到  $2er = e^2 + r_d^2$ ，

亦即曲率半徑  $r = \frac{e^2 + r_d^2}{2e}$  (2)，或薄膜外擴距離  $e = r - \sqrt{r^2 - r_d^2}$  (3)

由公式(1)和(2)，可以知道：

$$r = \frac{e^2 + r_d^2}{2e} = [e + \frac{r_d^2}{e}] / 2, \text{ 即 } r = \frac{1}{2} \cdot \left[ -0.589 + 2.125 \cdot \Delta q + \frac{r_d^2}{-0.589 + 2.125 \cdot \Delta q} \right] \quad (4)$$

或 
$$\Delta q = \frac{r - \sqrt{r^2 - r_d^2} + 0.589}{2.125} \quad (5)$$

因此從公式(4)或(5)就可以得到填充液改變量  $\Delta q$  和液體透鏡曲率  $r$  的關係了。所以便可以知道壓入多少填充液後，透鏡曲率半徑的值；或是要得到何種曲率半徑時，所需的填充液量。

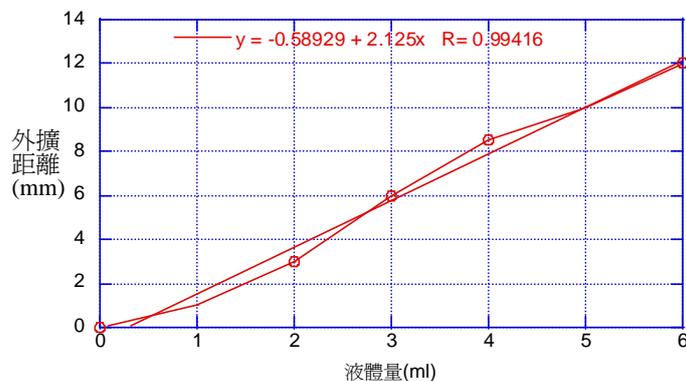


圖 4.4 簡易液體透鏡填充液改變量和鏡片薄膜頂端向外擴張的距離之關係

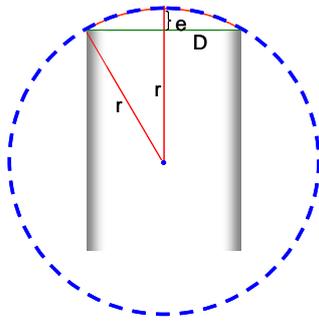


圖 4.5 填充液改變量和鏡片薄膜頂端向外擴張的距離之關係

### 研究五、透鏡位置的影響

重力是否會對液體透鏡造成影響？例如透鏡水平擺放時，重力是否會使下端的薄膜受力較大，因此薄膜形成上下不對稱的曲面呢？因此我設計了一個自製鏡筒旋轉測量系統(如圖 5.1)，後面有量角器，底端有兩平行雷射光束，用來觀測焦距是否有所變化。

#### 1. 研究過程

- (1) 將液體透鏡管安裝在自製鏡筒旋轉測量系統的旋轉盤上。
- (2) 旋轉盤傾斜角度分別為 0(水平)、30、45、60、90(側放)、120、135、150、180 度(倒立)，觀察曲面是否變形，並觀察焦距的位置是否改變(如圖 5.2)。

#### 2. 研究結果

- (1) 因為焦距點不容易直接量測，因此改為先拍照，再由相片分析焦距長度。
- (2) 因為相機會有移動，每張相片拍出的液體透鏡管大小不一，因此每個由相片上量到的距離要經過校正，校正的方法是以第一張液體透鏡管垂直時相片的管徑為基準管徑，其他各張相片中的管徑除以基準管徑的比例就是各張相片的縮放比例，再把各相片量到的焦距長度乘上這個比例，便是校正後的焦距長度。
- (3) 由各角度下的校正後焦距長度可知，傾斜角度對液體透鏡的焦距沒有影響，因此液體透鏡的位置並不會讓重力對液體透鏡造成影響。



圖 5.1 自製鏡筒旋轉測量系統

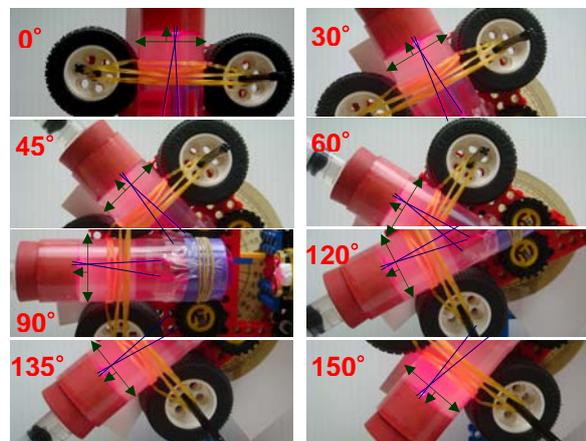


圖 5.2 自製鏡筒旋轉測量系統測量情形

## 研究六、如何改變透鏡內填充液量

對這個部分我初始的想法如下：

- (1) 在彈性膜內外層使用不同折射率的液體，內外層以圓管相連，但中間使用微活塞阻隔，若控制微活塞向下移動，會使內層液量增加、外層液量減少，因此彈性膜將向外凸起；反之若控制微活塞向上移動，彈性膜將向內凹入(如圖 6.1)。
- (2) 在彈性膜外層使用空氣，兩格內層將分別接上微幫浦，用來控制彈性膜內層的液體量，進而改變鏡片焦距(如圖 6.2)。

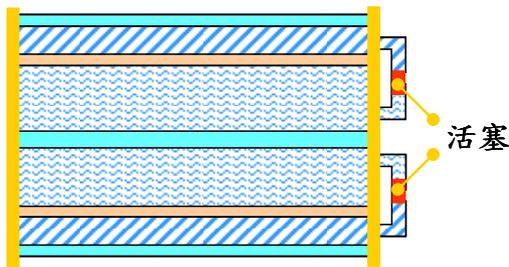


圖 6.1 活塞法

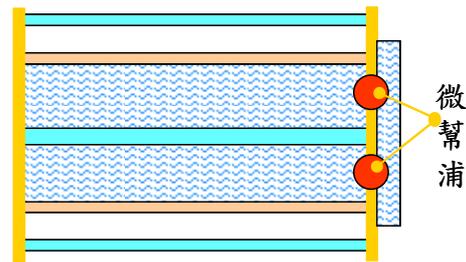


圖 6.2 微幫浦法

### 1. 研究過程

- (1) 設計使用微活塞和微幫浦的液體透鏡。
- (2) 在書籍、網頁、產品型錄上找尋適合的微活塞和微幫浦。

### 2. 研究結果

- (1) 使用微活塞和微幫浦的液體透鏡分別如圖 6.1 和 6.2。
- (2) 微活塞法的想法可行性高，因為薄膜上層要使用低折射率介質，若使用空氣，液體透鏡只要單個活塞連接薄膜下層便可以，不需要連接薄膜上下層，簡化了液體透鏡的設計。但這樣的活塞要能防漏和輕巧，找了三個月的時間都找不到有成品出售，因此後續研究中會使用微活塞法的概念，但以塑膠針筒替代使用。
- (3) 微幫浦法：微幫浦可快速將液體注入薄膜內層，缺點是噪音比較大。但是這樣的微幫浦不容易找到，機械工業上使用的都是大流量；我原本想醫療上會有這樣的微幫浦，但找了三個月的時間也都找不到。
- (4) 我後來採用微幫浦法的概念，另外再設計了彈性囊袋法，如圖 6.3。概念是在透鏡外設一圈彈性的密封囊袋，只留一開口和透鏡內層相連通。囊袋外側可用彈性束帶環繞。當囊袋被壓縮，填充液便被壓入透鏡內，使透鏡焦距改變；當束帶放鬆時，透鏡彈性膜的彈性會將填充液壓回囊袋，使透鏡曲率減小。這方法可快速改變透鏡焦距。而壓縮囊袋的方式可用圖 6.4 以小馬達控制彈性束帶的收緊或放鬆，或以圖 6.5 的方式用滾輪來移動壓縮囊袋。

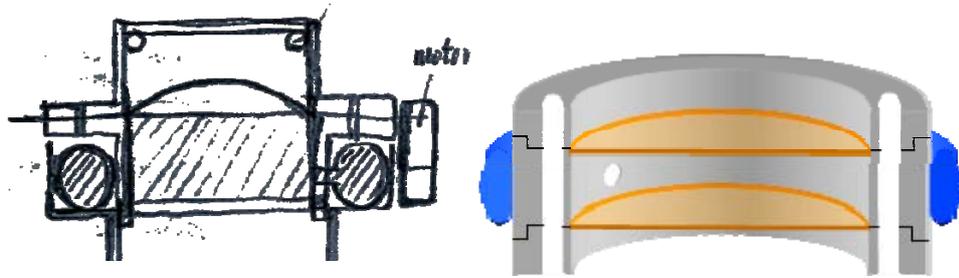


圖 6.3 彈性囊袋法

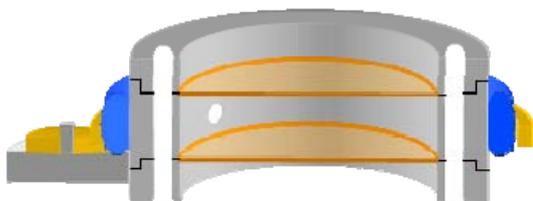


圖 6.4 馬達控制彈性束帶來壓縮囊袋

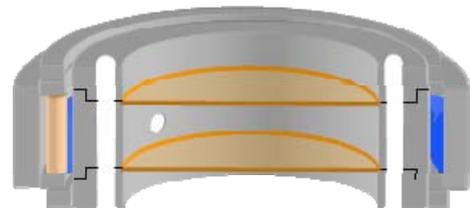


圖 6.5 滾輪移動壓縮囊袋

### 研究七、可變倍率透鏡系統的設計

我將可變倍率透鏡系統使用模組化的設計，整個系統分為液體透鏡模組和連接組兩部分。

#### 1. 研究過程

- (1) 設計液體透鏡模組，必須考慮能將膜緊壓，防止填充液滲漏出來。
- (2) 設計連接組，用來連接兩個液體透鏡模組。

#### 2. 研究結果

- (1) 第一代液體透鏡模組如圖 7.1，藍色部分是透明玻璃，黃色部分是薄膜，玻璃與薄膜皆固定在鏡筒上。
- (2) 但第一代的設計無法替換薄膜，因此再設計出第二代(如圖 7.2)，將液體透鏡模組分為上中下三個單元，形成一個雙凸透鏡。中間單元包含一個玻璃片，其他空間裝滿填充液。上下單元為相同之設計，不裝填充液，用來夾緊薄膜和防止薄膜被損壞。兩薄膜夾在各單元間，並加上 O 型環的設計，再用螺絲鎖緊，就可以防止填充液滲漏出來。

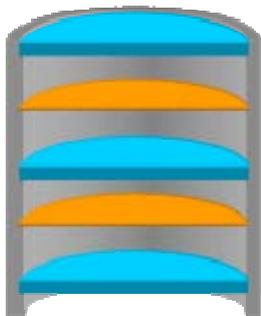


圖 7.1 第一代液體透鏡模組設計

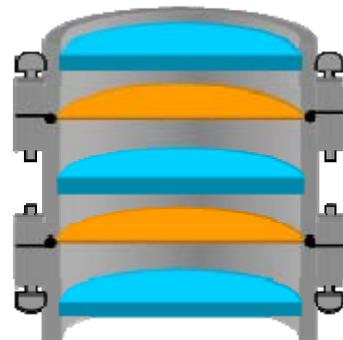


圖 7.2 第二代液體透鏡模組設計

- (3) 圖 7.3 為第三代，把第二代改為兩組單凸透鏡，每個單凸透鏡由相同的兩個單元互相接合在一起，兩單元間夾緊薄膜，所以共有四個相同的單元，如圖 7.3。第三代使用相同模組，製造比較簡化，也容易有單一透鏡的組合或雙凸透鏡的組合，使用上彈性更大。第三代的設計圖草稿在圖 7.4，實體液體透鏡模組如圖 7.5。
- (4) 經過實際測試，確定可以連續改變液體透鏡的倍率，且成像清楚，放大倍率目前在 10 倍左右(圖 7.6)。

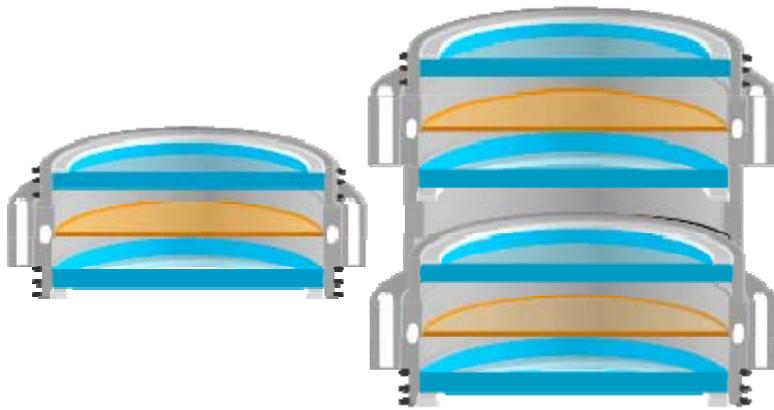


圖 7.3 第三代液體透鏡模組設計

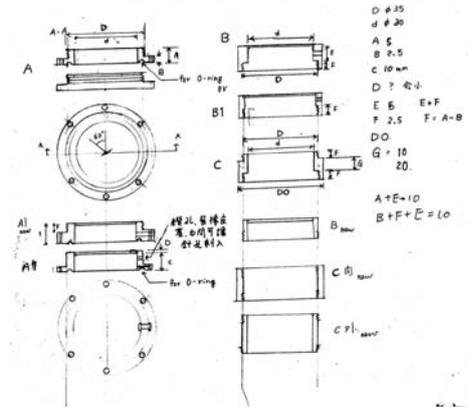


圖 7.4 第三代液體透鏡模組設計草圖



圖 7.5 完成之第三代液體透鏡模組和可變焦距鏡片系統



圖 7.6 可將 14 號字體放大

- (5) 第三代雖然具有雙凸或雙凹透鏡的功能，但體積較大，且雙凹透鏡很少使用，因此再改良成第四代的雙凸透鏡，如圖 7.7，有上中下三個單元接合在一起，上下為完全相同的單元。每兩單元間夾緊薄膜，中間單元則鑽有小孔，讓填充液進出。整個液體透鏡體積大為縮小，方便使用與攜帶。
- (6) 第四代的詳細設計圖在圖 7.8，實體液體透鏡模組如圖 7.9。我更進一步將原先的鋁合金

材質改用較輕的塑鋼，完成第 4.5 代，重量為原先的一半，僅有 29 克。

- (7) 第四代液體透鏡模組可以連續改變液體透鏡的倍率，可清楚的看見螞蟻細部構造(圖 7.10a)，或印刷文件的頁面網紋(圖 7.10b)，且成像清楚，放大倍率約 20 倍左右(部分影像略模糊是因為數位相機使用近拍模式，景深淺，相機無法各點都對焦清楚)。

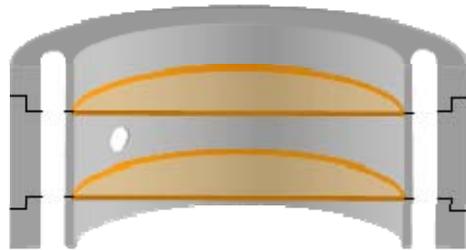


圖 7.7 第四代液體透鏡模組設計

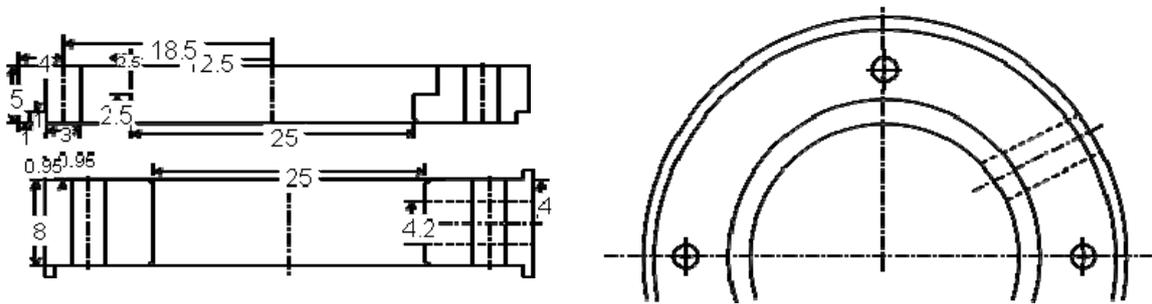


圖 7.8 第四代液體透鏡模組設計草圖



(a)



(b)

圖 7.9 第四代鋁合金液體透鏡模組(a) 及第 4.5 代塑鋼液體透鏡模組(b)



(a) 螞蟻細部構造



(b) 12 號英文字及印刷文件的頁面網紋

圖 7.10 第四代液體透鏡模組的效果

## 研究八、填充液量調整控制裝置

可變倍率透鏡的焦距倍率調整是採用彈性囊袋法，靠壓縮囊袋的方式來改變填充量。圖 6.4 以小馬達控制彈性束帶的收緊或放鬆，或以圖 6.5 的方式用滾輪來移動壓縮囊袋，都是可行又方便的方法。

### 1. 研究過程

- (1) 圖 6.4 和圖 6.5 是以彈性束帶環繞囊袋，保護囊袋不受損傷；圖 6.4 使用馬達控制彈性束帶的收緊和放鬆，來控制囊袋中的填充液進入或流出透鏡內，使透鏡焦距改變。
- (2) 圖 6.5 是在透鏡外圈設一圈外環，外環上有一垂直滾輪(如圖 8.1a)，轉動外環時可讓滾輪由囊袋末端位置向囊袋開口位置滾動，則可以壓縮囊袋(如圖 8.1c)，控制囊袋中的填充液進入或流出透鏡內，而外環可以用馬達驅動或是手動調整，而手動調整方式非常適合學校透鏡單元的教學使用。

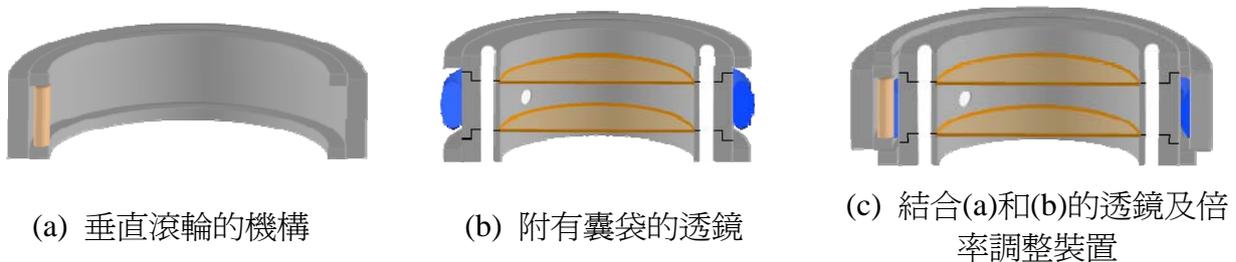


圖 8.1 具垂直滾輪和囊袋的透鏡倍率調整裝置

### 2. 研究結果

使用者可清楚看到目標物由低倍率連續變換到高倍率，也不再在倍率變換過程中找不到目標物的問題了。

## 研究九、可變倍率透鏡理論的探討

### 一、液體透鏡為薄透鏡或厚透鏡

透鏡精確的焦距是由一個假想的主平面量起，雙凸透鏡前後兩面的焦距也是根據各自的主平面來計算焦距。但對於厚度 6mm 以下的薄透鏡，前後兩面的主平面相距有限，通常將此兩平面間的距離忽略，因此焦距由鏡心量起。

液體透鏡的透鏡厚度隨內部填充液量的不同而改變，其厚度介於 5mm~ 11mm 之間，因此在研究中仍將其近似當作薄透鏡，其焦距由亦由鏡心算起。但這個假設是否正確，要由後面的實驗來證實。

## 二、液體透鏡之焦距計算

對雙凸透鏡的焦距，可由光學理論中的造鏡者公式求得。

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[ \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{n-1}{nR_1R_2} d \right] \quad (6)$$

其中

$f$ ：為焦距，即主平面  $H$  至焦點  $F$  的距離 (如圖 9.1)

$n$ ：透鏡之折射率

$R_1$ 、 $R_2$ ：透鏡前後兩邊鏡面之曲率半徑

$d$ ：透鏡厚度，即透鏡前後兩鏡面頂點之距離

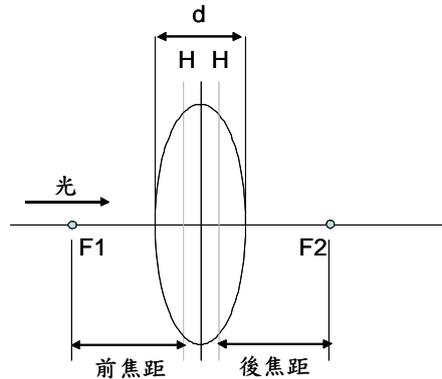


圖 9.1 透鏡的焦距與主平面

在液體透鏡中，光線會經過空氣、薄膜和填充液三種介質，因此焦距推導複雜。但是因為薄膜的厚度僅有 0.02 mm，厚度可忽略，因此僅考慮空氣及填充液的折射率。

空氣之折射率近似 1，填充液若使用水，其折射率為 1.333，甘油則為 1.473。第四代液體透鏡兩面對稱，因此透鏡前後兩邊鏡面之曲率半徑相等，因此令  $R = R_1 = -R_2$ 。所以式(6)可簡化為：

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[ \frac{2}{R} - \frac{n-1}{nR^2} d \right] \quad (7)$$

而距離  $d = H + 2e$ ， $e$  為薄膜外擴之距離，因此

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[ \frac{2}{R} - \frac{n-1}{nR^2} (H + 2e) \right] \quad (8)$$

或

$$f = \frac{nR^2}{(n-1) \cdot [2nR - (n-1) \cdot [H + 2e]]} \quad (9)$$

焦距也可以用曲率半徑代表。

因為曲率半徑  $R = \frac{e^2 + r_d^2}{2e}$ ，且  $d = H + 2e = H + 2(R - \sqrt{R^2 - (D/2)^2})$ ，則焦距

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[ \frac{2}{R} - \frac{n-1}{nR^2} \cdot [H + 2(R - \sqrt{R^2 - (D/2)^2})] \right] \quad (10)$$

或

$$f = \frac{nR^2}{(n-1) \cdot [2nR - (n-1) \cdot [H + 2(R - \sqrt{R^2 - (D/2)^2})]]} \quad (11)$$

而放大率為

$$m = \frac{-250 \text{ (mm)}}{f} \quad (12)$$

其中”-“代表虛像。

### 三、液體透鏡的量測實驗之校正

液體透鏡的倍率和焦距是可變的，所以要實驗瞭解液體填充量對倍率、焦距的影響。實驗的設計是以兩道互相平行的雷射光束通過液體透鏡，並調整透鏡位置讓光束集中於焦點，然後量出焦距和薄膜外擴量。但實驗前要先進行器材的校正。

1. 雷射光筆的光點校正：雷射光筆的光點太大且模糊，因此我將雷射光筆的前端貼上黑膠帶，再以針刺出小孔，來減小雷射光筆的光點，如圖 9.2；實驗結果證明雷射光筆的光點變得細小且清晰。
2. 兩道雷射光束的平行校正：市售的雷射光筆的光軸和光筆並不是完全平行，所以要先進行校正，讓兩隻雷射光筆的光束互相平行。校正方法是：
  - a. 將兩隻雷射光筆綁在一起，讓兩道雷射光束射向 20 公尺遠方的牆壁；
  - b. 在兩隻雷射光筆中間插進楔形塊、調整楔形塊，讓兩道雷射光束的距離在射出口和在 20 公尺遠的牆壁都是相等(12.1 mm)，即完成校正。
3. 液體透鏡薄膜平直之校正：薄膜平直時，垂直薄膜平面的平行光線通過時，不會有折射現象，光線仍然平行。校正方法是：
  - a. 讓液體透鏡擺在校正過的兩支雷射光筆前；
  - b. 調整液體量，直到前方兩光束之間的距離和光束在出口時的距離都相等(12.1 mm)，如圖 9.3，即完成校正，此時薄膜為平直狀態，液體透鏡為平面鏡。

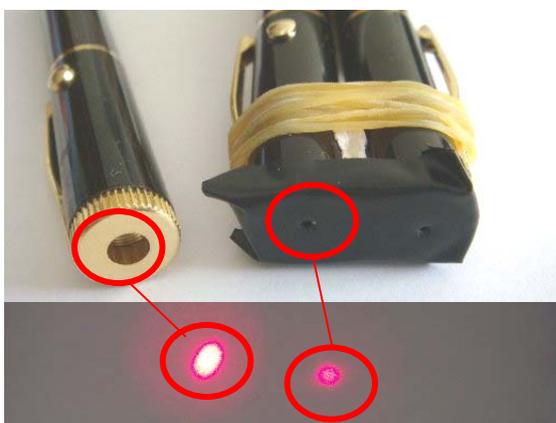


圖 9.2 雷射光筆的光點改善方法及結果

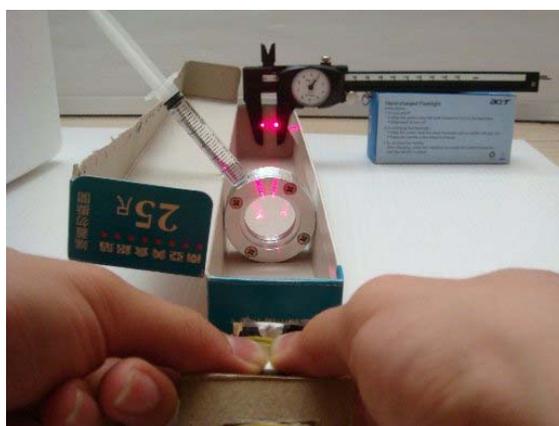


圖 9.3 液體透鏡薄膜平直之校正

#### 四、液體透鏡之薄膜外擴距離量測和曲率半徑計算

液體透鏡曲率半徑  $R$  隨透鏡內液體填充量來決定。而對一球面而言，薄膜外擴距離和曲率半徑的關係為  $R = \frac{e^2 + r_d^2}{2e}$ ，因此要先知道薄膜外擴距離才能求出薄膜曲率半徑。

薄膜外擴距離的量測方法是以 0.5 ml 為單位，逐次改變液體透鏡的填充量，用游標卡尺測量薄膜中心的位置，如圖 9.4，再算出外擴距離。

第四代液體透鏡之  $r_d = 12.5\text{mm}$ ，對第四代液體透鏡，由實驗中可發現薄膜外擴距離  $e$  和液體填充量  $\Delta q$  的關係為式(13)，或如圖 9.5：

$$e = 0.2638 + 1.757 \cdot \Delta q \quad (13)$$



圖 9.4 薄膜外擴距離的量測方法

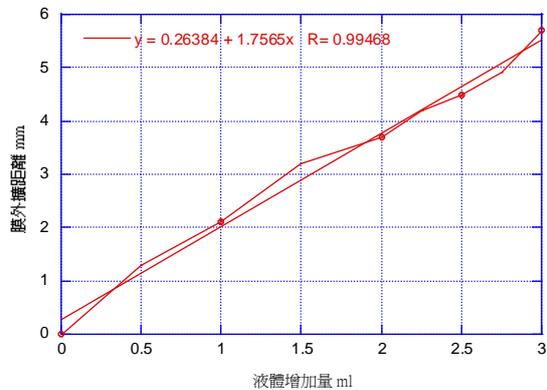


圖 9.5 第四代透鏡薄膜外擴距離  $e$  和液體填充量  $\Delta q$  的關係

圖 9.5 顯示薄膜外擴距離  $e$  和液體填充量  $\Delta q$  約略成正比關係。由外擴距離  $e$  可以計算出液體透鏡之曲率半徑  $R$ ，如圖 9.8，顯示曲率半徑  $R$  和液體填充量  $\Delta q$  約略成反比關係，無填充量時，薄膜為平直，因此曲率半徑無限大；當填充量愈大，薄膜愈外凸，因此曲率半徑愈小。

#### 五、液體透鏡之焦距量測

將液體透鏡擺在校正過的兩支雷射光筆前(如圖 9.3)，以 0.5 ml 為單位，逐次改變液體透鏡的填充量。在每個填充量下，前後移動液體透鏡，讓在液體透鏡前方的兩雷射光點合為一點(如圖 9.6)，此時光點位置即為液體透鏡在此填充量下的焦點，而焦點與鏡心的距離即為焦距。實驗結果如表 9.1 和圖 9.7。

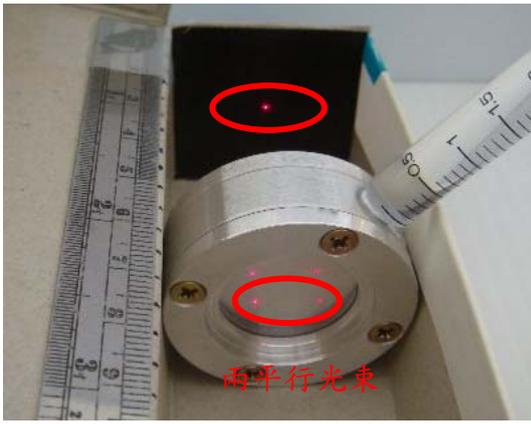


圖 9.6 液體透鏡焦距的量測方法

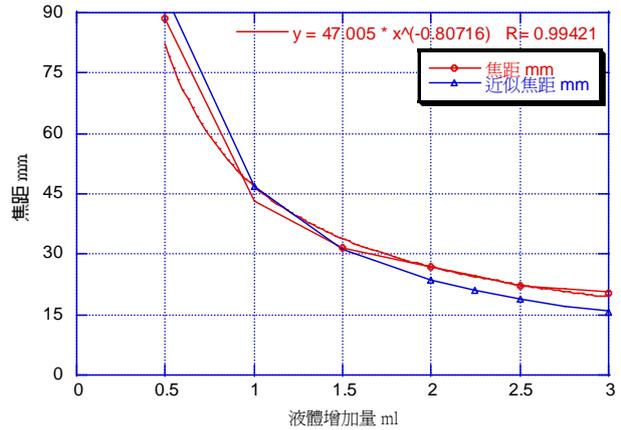


圖 9.7 第四代液體透鏡焦距和液體填充量關係

而由實驗的結果圖 9.7 中，可發現焦距和液體填充量的關係為：

$$f = 47 \cdot (\Delta q)^{-0.8} \quad \text{或近似於 } f \cdot \Delta q = 47 \quad (14)$$

顯示焦距和液體增加量約略成反比關係，即填充量愈大，薄膜愈外凸，因此焦距愈短。

#### 六、液體透鏡之焦距量測值與計算值之誤差

式(9)可計算出把液體透鏡當作薄透鏡時的焦距理論值，表 9.1 則列出各種液體增加量下，焦距的量測值、理論值、和兩者的誤差；在圖 9.8 中，也顯示焦距量測值、薄透鏡焦距理論值、和曲率半徑對液體增加量的關係。由表 9.1 可知道，焦距量測值和薄透鏡焦距理論值之誤差在 20% 左右，這個誤差的原因是因為理論的焦距是從假想的主平面到焦點的距離，但是在實際量測時是從鏡心到焦點的距離，因此會有大約 20% 的焦距誤差，也說明了所設計液體透鏡不是完全的薄透鏡。

在圖 9.8 中也顯示了量到的液體透鏡曲率半徑和理論焦距相同，說明了液體透鏡的表面是球面表面，因此不容易有像差或視野太小的問題。

表 9.1 焦距的量測值和理論值

條件	液體增加量 ml							
	0.5	1	1.5	2	2.25	2.5	2.75	3
焦距量測值 mm	88.625	43.325	31.525	26.925	24.725	22.325	21.325	20.225
焦距理論值 mm	62.464	38.466	25.254	21.916	19.414	18.198	16.829	14.730
焦距誤差	29.5%	11.2%	19.9%	18.6%	21.5%	18.5%	21.1%	27.2%

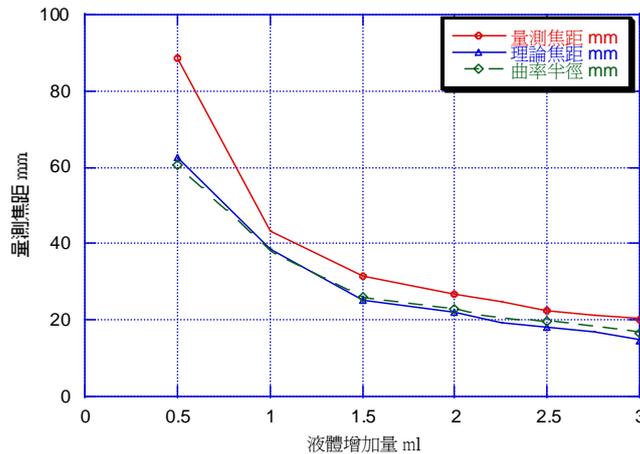


圖 9.8 焦距量測值、薄透鏡焦距理論值、和曲率半徑對液體增加量的關係

## 七、液體透鏡之放大倍率

液體透鏡的放大倍率可由式(12)來求得，其中焦距使用焦距量測值和薄透鏡焦距理論值來分別計算放大倍率和理論放大倍率。因此可知單一液體透鏡的放大倍率可由 1 倍到 13 倍，這已經比一般的放大鏡倍率要高得多。若是兩個液體透鏡一起使用，其放大倍率將可達 40 倍，已經達到生物顯微鏡的程度。因此研究結果證實液體透鏡有很好的可變倍率功能，可提供 1~40 倍的倍率，對中小學之透鏡教學及學生觀察生物，有很大的幫助。

表 9.2 液體透鏡之放大倍率的量測值和理論值

比較項目	液體增加量 ml							
	0.5	1	1.5	2	2.25	2.5	2.75	3
放大倍率	2.821	5.770	7.930	9.285	10.111	11.198	11.723	12.361
理論放大倍率	4.002	6.499	9.899	11.407	12.878	13.738	14.855	16.972

## 研究十、可變倍率透鏡系統的應用

最後就是要進行可變倍率透鏡系統在物理教學及生活上的應用時的系統設計。

### (一) 透鏡成像教學教具的應用

可變倍率透鏡系統，可應用在學校的物理教學。一般在透鏡的物理教學上，要用許多固定焦距的凸透鏡或凹透鏡來觀察光線的匯聚及發散程度；但使用一個可變倍率透鏡系統就可以觀察到這些現象，也可以觀察到透鏡曲率對焦距的影響，使學生更容易瞭解透鏡的光學性質，大大減低教學實驗器材的複雜性和提高教學的瞭解性。因此在教學上有很大的助益。

#### 1. 研究過程

(1) 以壓克力及木板製作一長 86x89x500 mm 的透明箱體，底部釘上兩條鋁軌，一側為活動

門，如圖 10.1。

- (2) 製作承載液體透鏡、雷射光源、屏幕的小車，可在箱體內滑行。
- (3) 為使光束可見，以線香產生煙霧送入箱體。

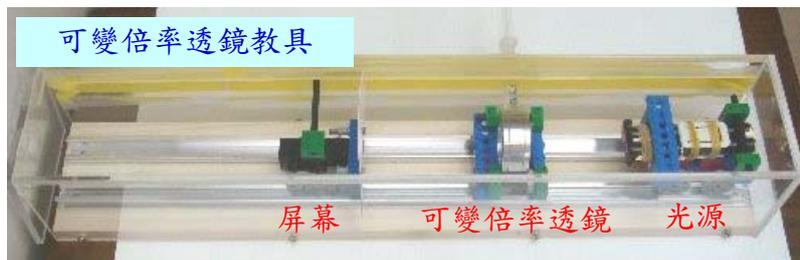


圖 10.1 可變倍率透鏡教具

## 2. 研究結果

- (1) 由圖 10.2~10.4 可看出透鏡與屏幕固定，調整透鏡倍率時可觀察到焦點的集中與分散。
- (2) 由圖 10.5 可觀察到不同倍率下光束的行進與匯聚。
- (3) 該教具可交替使用平行雷射光源模組或LED 模組，如圖 10.8。使用平行雷射光源模組(圖 10.5) 可以清楚呈現各種倍率下光線的行進與匯聚，並標定出焦點。而使用 LED 模組(圖 10.6, 10.7) 則可取代現在學校成像實驗所使用的蠟燭，可清楚看出倒立放大實像，瞭解焦距與成像的觀念。
- (4) 為了防止箱體內部的煙霧逸散，我設計了氣密簾，並改良成伸縮式氣密簾(如圖 10.9)，使用後效果十分良好。
- (5) 可變倍率透鏡教具確實有助於學生瞭解透鏡成像原理和倍率焦距等觀念，而且可以有非常多的倍率可使用，不像目前學校中只有兩三種透鏡倍率可作實驗，對於教學成效和設備成本都很大的幫助。



圖 10.2 兩光束集中於焦點

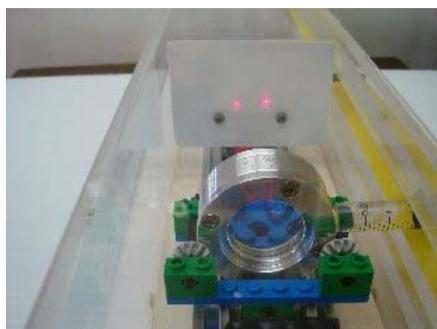


圖 10.3 倍率改變，焦點改變

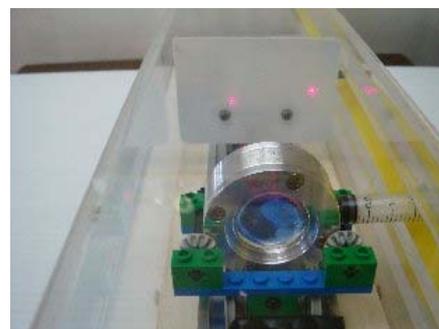
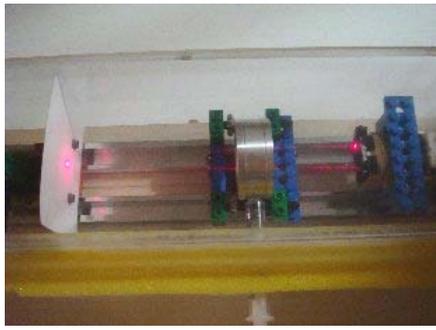
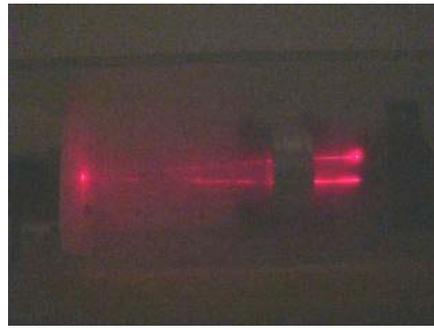


圖 10.4 倍率改變，焦點改變



(a)未關燈



(b)關燈

圖 10.5 可清楚見到兩光束的行進與匯聚

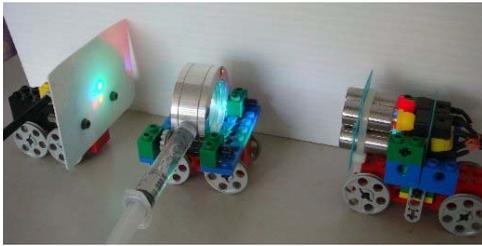


圖 10.6 透鏡成像 LED 模組

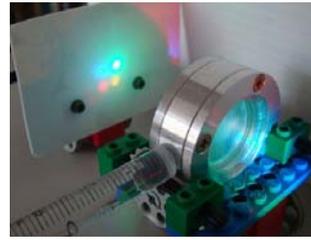


圖 10.7 清楚看出倒立放大實像



圖 10.8 LED 模組和雷射模組可互換

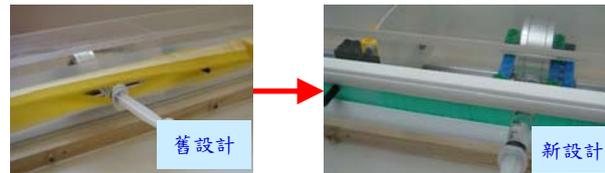


圖 10.9 氣密簾可防止煙霧逸出

## (二) 校園生物觀察的應用

可變倍率透鏡可在生物教學上應用，因為可變倍率透鏡可以提供連續的倍率變換，不但能夠很容易的搜尋目標，也可觀察生物由原尺寸大小到 20 倍的顯微構造(如圖 10.10)；而且可以直接在活體上觀察，不需要把葉片摘下或把動物捕回實驗室，因此可觀察到更真實的生物行為，也因為成本較低加上攜帶方便，可以讓每個學生一人一具可變倍率透鏡系統，提高學生的參與性。因此在教學上有很大的助益。

在生活上也可以用在看細小的電路或是做為修理手錶等用途使用(如圖 10.11, 10.12)，或作為聰明的老花眼鏡，減少了體積及提高方便性。



圖 10.10 螞蟻的觀察



圖 10.11 千元鈔下方有英文字



圖 10.12 千元鈔玉山圖案中有數字 1000

### (三) 非接觸式測距的應用

可變倍率透鏡系統也應用在非接觸式測距，其流程如圖 10.13，只需要調整透鏡中的液體量，使兩平行雷射光束，匯聚於目標物上，再藉由曲線圖表的推算，便能得知與目標物的距離(如圖 10.14)。因為可以不需接觸便測出與目標物的距離，能避免危險，而且成本低、攜帶方便，又可以快速測距，因此能有很高的實用性。



圖 10.13 非接觸式測距儀原理的流程圖

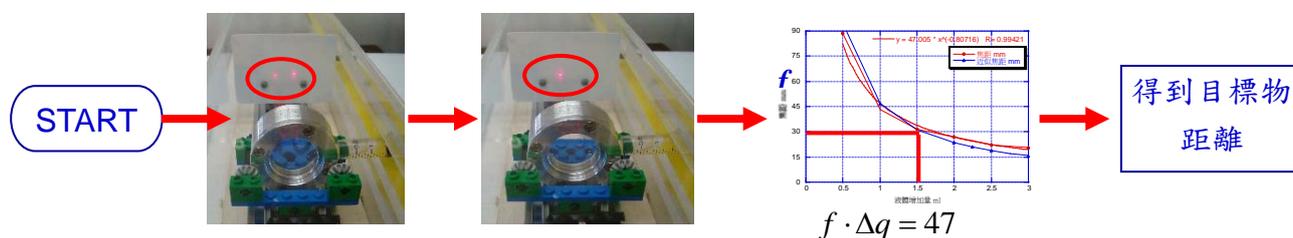


圖 10.14 非接觸式測距流程示意圖

## 伍、討論

本研究完成了可變倍率透鏡的設計、製作、與理論探討，更發展出三項對教學及生活都有極高助益的應用。下面是對可變倍率透鏡的一些討論。

一、可變倍率透鏡跟傳統透鏡相比，有哪些優缺點？

第 4.5 代可變倍率透鏡比起傳統透鏡，有倍率可變、倍率高、重量輕、成本低、耐用度高、攜帶方便等優點，如下表。

	倍率	重量	成本	耐用度	攜帶性	應用性
傳統透鏡	固定	約 75g	中	低 (透鏡易磨損)	中	低
4.5 代可變倍率透鏡	連續可變	約 29g	低 (射出成型)	高 (薄膜可隨時更換)	高 (輕巧)	極高 (應用範圍廣)

二、可變倍率透鏡的填充液是否會變質？

填充液目前使用水或甘油，兩者都是沸點高、無毒性的穩定液體，而且密封在透鏡中，沒有氧化的問題，也不與鏡身或薄膜互相反應。因為使用的是純水或純甘油，均勻且無雜質，所以沒有沉澱及混濁的問題。同時填充液更換容易，必要時可重新裝填。

## 陸、結論

- 一、本研究設計出一個可變倍率透鏡系統，讓透鏡的焦距和倍率可以連續改變，並藉著模組化的設計，可得到大範圍的放大倍率。
- 二、實驗結果顯示包裝膜(PVC)具有高透明度和低散射度，彈性和降伏力都很好，是很好的薄膜材料。而水和甘油是無毒安全的高折射率液體。
- 三、可變倍率透鏡改變填充液量，便改變薄膜的表面曲率和透鏡焦距；且填充液改變量和薄膜外擴距離成正比，填充液改變量和曲率半徑成反比。由研究所得的公式，便可以知道壓入多少填充液後，透鏡曲率半徑的值；或是要得到何種曲率半徑時，所需的填充液量。
- 四、可變倍率透鏡傾斜或倒立時，其焦距不受影響。
- 五、第四代液體透鏡採用模組化和彈性囊袋法設計，體積小，使用與攜帶方便。
- 六、所設計的可變倍率透鏡擁有單一透鏡倍率可變、放大倍率高、觀察方便、體積小、蒐尋目標物容易、透鏡磨損可快速更換等優點。
- 七、研究中應用可變倍率透鏡，設計並製作出三項教學及生活上的應用，包括透鏡成像教學教具、生物觀察器、非接觸式測距儀，都有很高的實用性。
- 八、依我和同學的學習經驗，在國中小的光學透鏡教學中，學生往往對焦距、實像、虛像等觀念很模糊，不容易瞭解當透鏡焦距改變後，成像為何有不同的變化。學校通常僅能提供兩三種焦距的透鏡讓我們學生作實驗，其效果有限。可變倍率透鏡教具有助於學生瞭解透鏡成像原理和倍率焦距等觀念，而且可以有非常多的倍率可使用，對於教學成效和設備成本都有很大的幫助。

## 柒、參考資料

- 1、荷蘭 Philips 公司，[http://www.research.philips.com/technologies/light\\_dev\\_microsys/fluidfocus/](http://www.research.philips.com/technologies/light_dev_microsys/fluidfocus/)
- 2、物理教學示範實驗教室，<http://www.phys.ncku.edu.tw/~optlab/modernoptics/fiber%202/modulator.htm>
- 3、Beer & Johnston & DeWolf， *Mechanics of Materials* 材料力學，高立出版社

## **【評語】 030809**

本作品架構完整，實驗步驟明確，循序分析測試所使用器材，並輔以理論驗證，產品精密輕巧，並應用教學觀察上，富有教育價值，方便於日常使用。作品版面及學生反應佳。