

第十一屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA11-418

作品名稱：

平板也可做印章?!—新式塑膠材料開發與應用

姓名：陳泰維

關鍵字：高分子聚合物、光聚合、塑膠製程

目錄

- 壹、研究動機
- 貳、研究目的
- 參、研究器材及設備
- 肆、研究過程
- 伍、結論
- 陸、討論與應用
- 柒、參考資料

研究動機

塑膠材料是一種有機高分子聚合物，衍生出許多日常生活的必需品，如垃圾袋，免洗餐盤等等…帶給我們許多便利；而在塑膠加工製程上，常排出廢氣、廢熱、廢料或有毒副產物等問題，造成環境的污染甚大。想要開發出製程簡易、對於環境污染性低，能使大眾廣為接受的新型塑膠材料，是本研究的動機與想法。

印章是中華文化的代表之一。舉凡結婚生子、簽辦信用卡、領取信件……等等日常生活中的事務，印章總是扮演著不可或缺的角色。印章材料的演進史中，陶瓷曾為印章最古老的材料，後來後漸發展為金屬、植物、獸骨、石塊等材質，乃至現代的塑料、橡膠。

不過因為印鑑章的辨識不甚容易，且易於仿冒，近年來有愈來愈多廢除印鑑證明之聲浪產生，本研究試著改良聚合製程，並結合時下流行之平板電腦及 APP 以製作圖章，便可應用於藏書章、或是落款等功能。

壹、 研究目的

一、 以簡單、易取得之實驗器材，進行光誘導聚合測試

- (一)、 查詢文獻及相關資料
- (二)、 設計新型高分子材料製程
- (三)、 使用既有的器材自製升降平台與組裝器具，用於聚合測試

二、 訂定標準作業程序、初步材質檢測

- (一)、 將此流程標準程序化
- (二)、 觀察材質表面：以偏光顯微鏡觀察表面結構的完整性

三、 應用聯想－光刻印章的製作

本研究由光誘導性質連結到印章之製作，改良聚合製程

四、 光刻印章材質測試

- (一)、 接觸角測量：用接觸角判對親(疏)水性，決定光刻印章使用的塗料
- (二)、 硬度實驗：使用摩氏硬度計判斷硬度等級

五、 開發新式製程

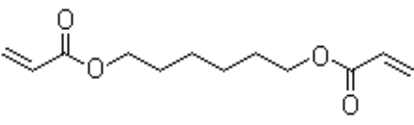
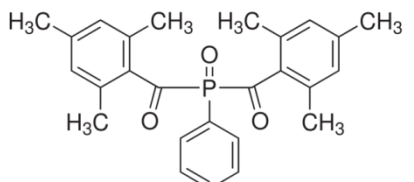
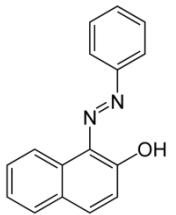
- (一)、 研製印章製作機：精簡實驗器材，設計一體成型的載具，並更進硬體
- (二)、 結合 APP 至製程：用以上市之 APP 製作出具「親筆簽名」的效果的圖章

六、 新式印章性質測試

- (一)、 垂直面承受壓力：以邵氏硬度計測試聚合物硬度
- (二)、 反射效率鑑定：以照度計測試反射鏡的反射效率

貳、 研究器材及設備

一、 實驗藥品

中文名	己二醇二丙烯酸酯 	苯基雙(2,4,6-三甲基苯甲基)氧 化磷 	蘇丹紅一號 
原名	1,6-hexanediol diacrylate	Phenylbis(2,4,6-trimethylbenzoyl) phosphine oxide	Sudan I
用途	配置藥品		

中文名	丙酮	乙醇	去離子水
原名	Acetone	Ethanol	Distilled water
用途	清洗成品、器具		

二、 實驗器材

實驗器材	器材載具	必需物件	校準器具	測試儀器
實驗用固定夾	木材	筆記型電腦	水平儀	偏光顯微鏡
實驗用玻璃器皿	木工工具組	平板電腦		接觸角測量儀
	線鋸機	DLP 投影機		摩氏硬度計
	鑽床	平面鏡		FT-IR
	實驗架	放大鏡		
		天頂鏡		

參、 實驗過程

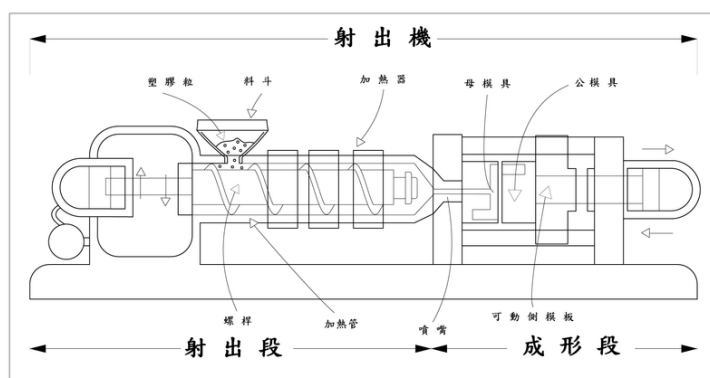
一、 文獻探討

塑膠高分子簡介：

聚合物又可稱為高分子或巨分子，也是一般俗稱的塑膠或樹脂。塑膠為合成樹脂的一種，形狀跟天然樹脂中的松樹脂相似，因經過化學合成，而被稱之為塑膠。

90%生活日常用品塑膠是經由射出成型製備，也是熱塑性塑膠材料的主要加工方式之一，優點為成型快速、連續生產，且可得到終端產品的一種成型方式，為用途最為廣泛的一種塑膠加工方法。

射出成型的一般製程可簡單分為熔融、流動及固化 3 個階段，此 3 個程序在加工過程中持續循環進行(如圖一)。



圖一：塑膠加工機具

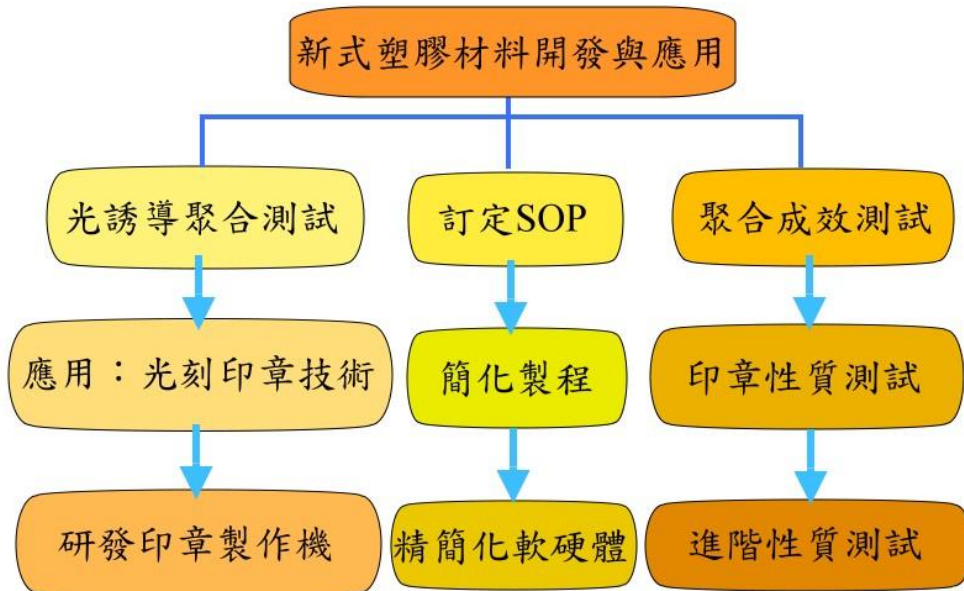
另外，塑膠製品業(如表一)在射出成型的生產過程中，常因投料、設備運作、操作參數設定及操作人員訓練不足等問題，而間接衍生能資源及環境問題，如廢熱、廢水、VOCs(揮發性有機物，Volatile Organic Compounds, VOCs)及廢料等。

表一：五大泛用塑膠及用途

塑膠名稱	分子式	應用	塑膠名稱	分子式	應用
低密度 聚 乙烯 (LDPE)	$\left[\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{Cl} \end{array} \right]_n$ 聚乙烯	容器、塑膠袋、膠膜、管子	聚氯乙 烯 (PVC)	$\left[\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right]_n$ 聚氯乙 烯	瓶子、薄膜、保鮮膜...等
高密度 聚 乙烯 (HDPE)	$\left[\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & = & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{Cl} \end{array} \right]_n$ 聚乙烯	膠管、膠布...等	聚丙 烯(PP)	$\left[\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$ 聚丙烯	保險桿、儀表板、纖維...等
聚苯 乙 烯 (PS)	$\left[\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_n$ 聚苯乙 烯	外殼、玩具、壁磚...等			

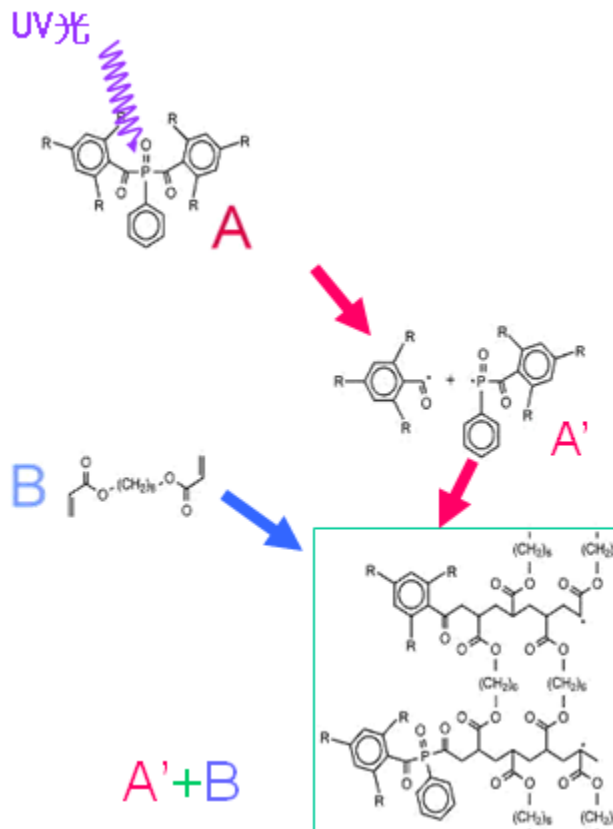
為了有效解決塑膠製品於自然環境或垃圾場中難以分解的問題，先進國家已逐漸限制使用或強制回收塑膠等製品。例如歐盟在包裝材和廢棄包裝材指令中，已針對包裝材及塑膠製品成分，如特定重金屬、PVC 或苯乙烯等加以限制，以降低其對環境生態之衝擊。

二、 研究流程圖



圖二：研究流程圖

三、 高分子材料聚合設計



圖三：高分子結構

四、 實驗步驟

(一)、 第一代製程：光誘導聚合測試

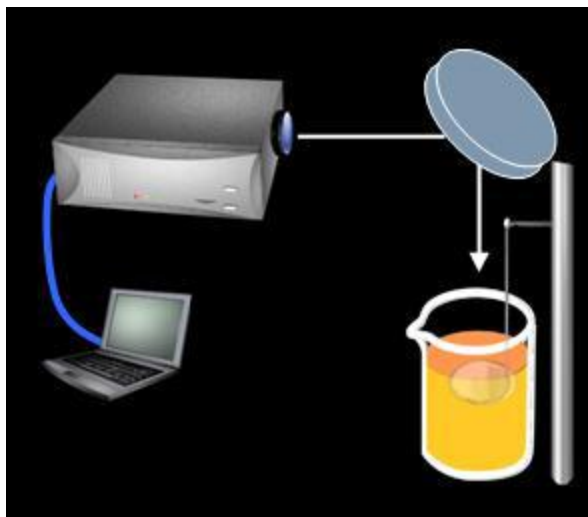
1. 取 2g 的苯基雙氧化磷、98ml 己二醇二丙烯酸酯為聚合物單體，再加入 0.006g 的蘇丹紅一號，當做光誘導試劑。
2. 將上述三種藥品依序倒入 100ml 有蓋的樣品瓶中，密封後放入磁攪拌子攪拌數天(大約三天左右)，直到混合均勻、完全溶解。此時樣品外壁須用鋁箔紙包裹住，放置於陰暗處，避免光線照射產生不必要的反應。
3. 準備抽屜滑輪組、牙條、螺桿、木材，自行組裝、製作升降平台



圖四：升降平台

4. 架設器材及設備

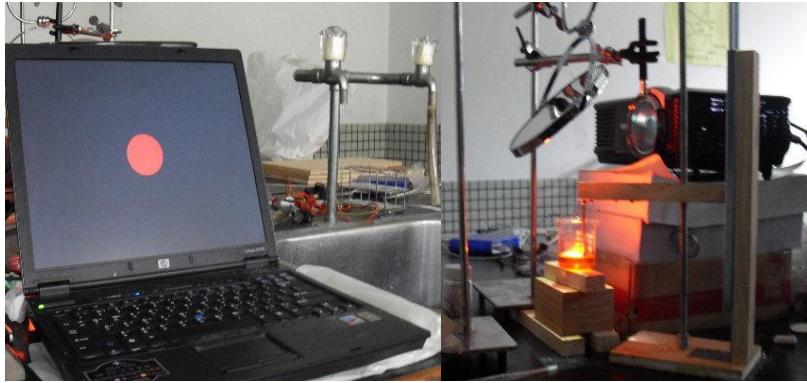
- (1). 將筆記型電腦連接於特定的 DLP 投影機上(光源須具備 DMD 機蕊)
- (2). 將放大鏡(焦距 15cm)裝設在滴定管夾上，並放置於投影機的鏡頭前
- (3). 把平面鏡架設於滴定管夾上，並設置在放大鏡前
- (4). 擺設升降平台至燒杯附近



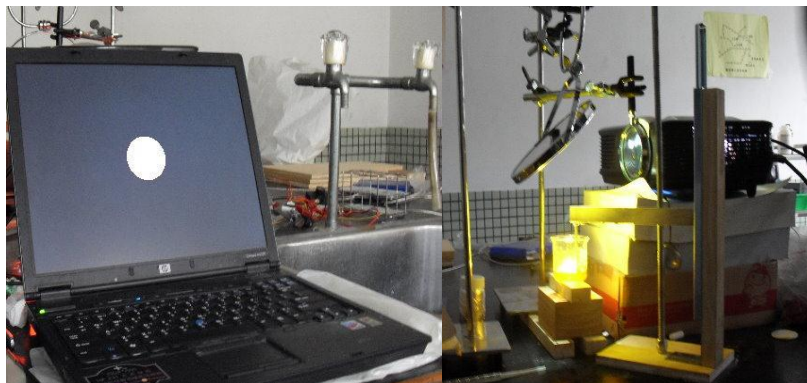
圖五：第一代製程器材配置

5. 光誘導聚合測試

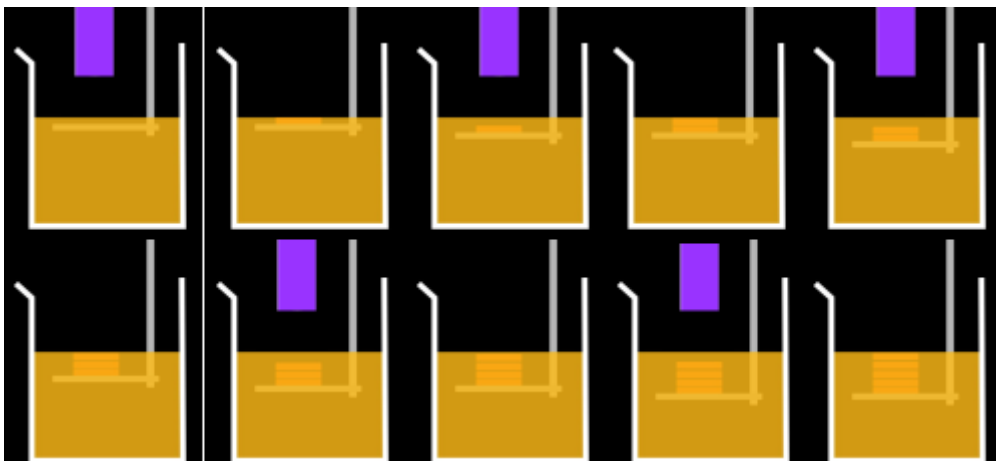
- (1). 用滴管吸取配製好的溶液並注入於燒杯中
- (2). 轉動牙條，使平台上懸空的鋁片緩慢伸入燒杯中，直到浸入溶液液面即可
- (3). 開啟投影機，利用筆記型電腦播放投影片，將光源轉變至紅光



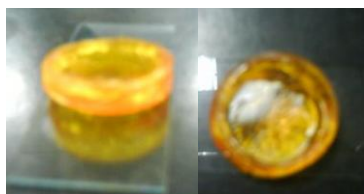
- (4). 使用放大鏡及平面鏡微調光源，讓紅光影像投射在鋁片的正中央
- (5). 將投影機的光圈對焦於鋁片上，至清晰可見
- (6). 轉動平台上的牙條使溶液在鋁片薄薄地覆蓋一層
- (7). 確認鋁片並無晃動，再將投影片調至白光(含 UV)，並計時十秒



- (8). 二十秒過後，再將投影片切換回紅光，轉動牙條四分之一圈，使鋁片微微地下降
- (9). 重覆 7、8 步驟，直至模型完成（如下圖，重複次數視模型設計之層數和大小而定）



- (10). 將平台的鋁片挪移至另一裝滿水的燒杯中
- (11). 用滴管吸取清水並沖洗完成品，直到表面無殘留的液體
- (12). 將完成品用刀片刮下，放至通風處晾乾即完成製作過程



(二)、 第二代製程—光刻印章製作

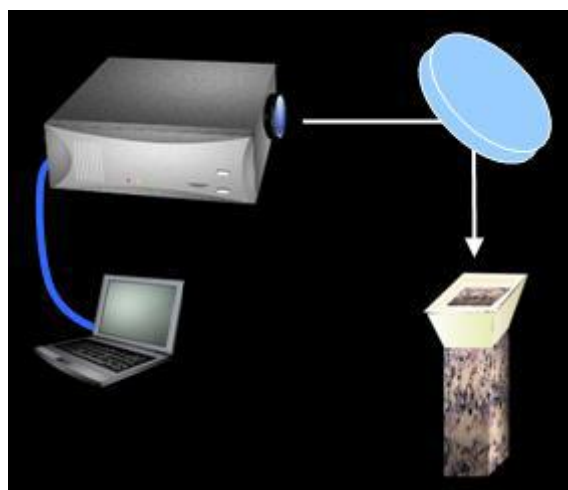
1. 印章圖案設計

我們以下圖的「旺」圖示為例，將其擷取之後以簡報軟體修改，並加上底圖，整合後製作成投影片後就用以可以製作印章。



圖六：旺字圖樣(白色為實驗必須顏色，其紫外光含量較高)

2. 製作光刻印章



圖七：第二代製程裝置

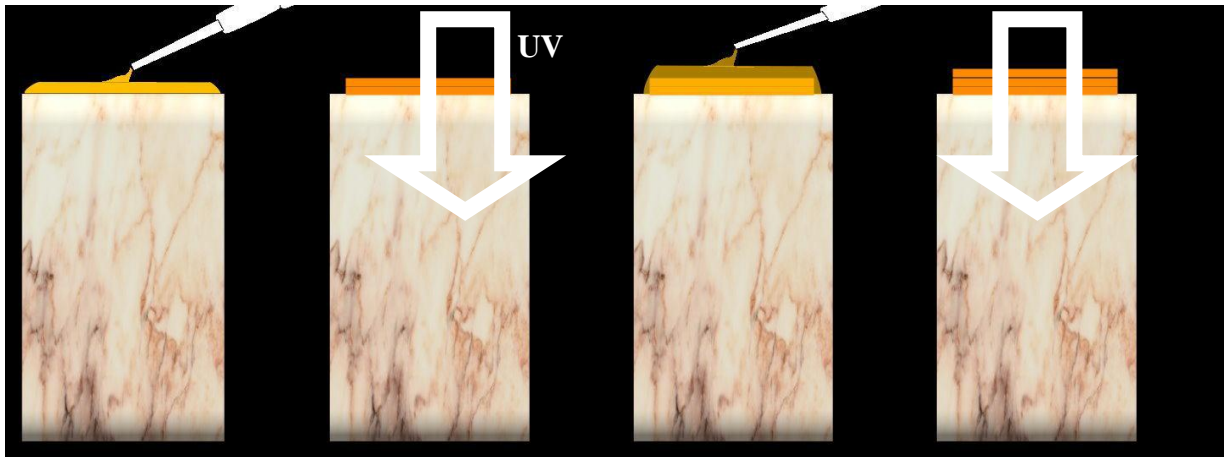
- (1). 將印章石固定於平面鏡下方，並以黏土包覆其邊緣防止溶液滲出
- (2). 開啟投影機，利用筆記型電腦播放投影片，將光源轉變至紅光
- (3). 以平面鏡微調光的路徑，讓紅光影像投射在印章上
- (4). 轉動投影機光圈直至影像清晰可見



- (5). 用滴管抽取適量高分子，並塗佈於印章上
- (6). 確認印章並無晃動，再將投影片調至白光(含 UV)，並計時十秒



- (7). 十秒過後，再將投影片切換至黑幕，再次塗佈高分子至印章表面
- (8). 重覆步驟，直至印章完成（重複次數視印章刻紋深淺程度）



- (9). 將印章移至一裝滿丙酮的燒杯中
- (10). 用滴管吸取丙酮並沖洗完成品，將表面剩餘液體溶掉
- (11). 將成品放至通風處晾乾即完成製作過程

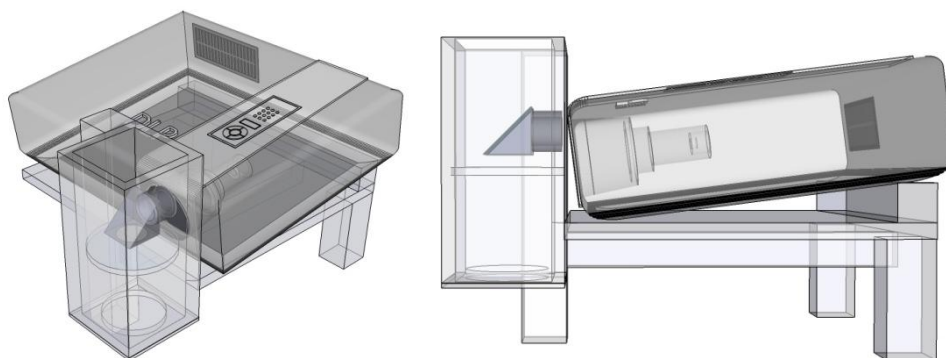
(三)、 第三代製程—印章製作機

1. 自組機臺，以承載實驗器具

第二代的製程中，器材的準備及架設相當繁瑣，為了精簡化，我設計了一座載具，做為印章製作機的本體：



圖八：機臺實際照片



圖九：機臺透視圖

機臺的支柱付了螺桿，可以控制機臺維持水平；原本需要實驗用固定夾的放大鏡現在以左方木匣固定，可以上下控制位置，以調節像距；另外我以天頂鏡取代了原先平面鏡的位置，當作反射投影機光源的媒介，更換的原因詳載於討論章節。

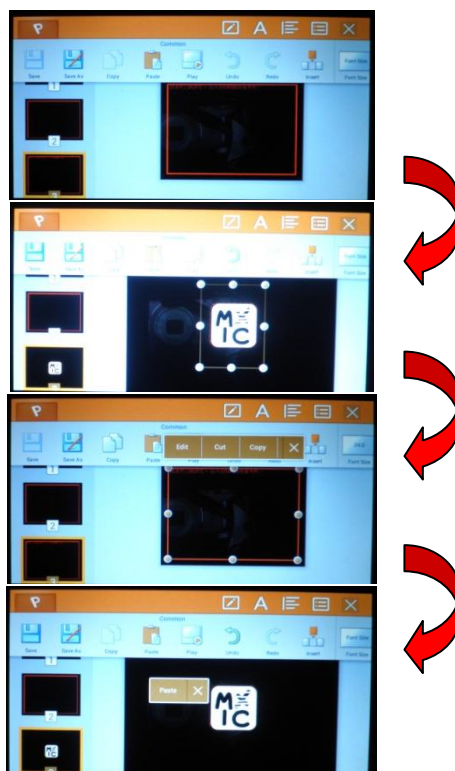
2. 使用以上市之 Android APP 做出親筆簽名的圖章樣式

(1). 以繪圖程式—Picasso 為例，在預設的图片上簽下名字或是畫出圖案，之後儲存到記憶卡中備用，如圖所示，畫筆的粗細可以自行調整，必須注意，若是陽刻要以白筆作畫；若是陰刻，則以黑筆作畫。



3. 新式印章製作步驟說明

(1). 圖章的樣式設計好之後，以”Kingsoft Office”文件編輯程式為例，製作投影片：執行程式，開啟本研究預先設計之簡報檔，在第三張投影片的黑屏剪下，插入剛才設計的圖章樣式，再貼上覆蓋。

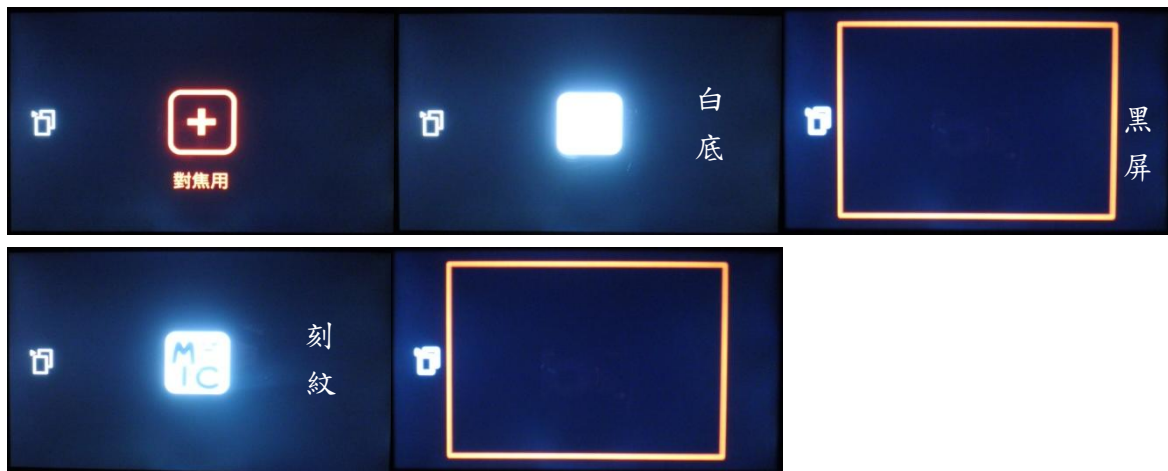


(2). 將一玻璃培養皿至於木匣底部，把平板電腦連接至機臺上的投影機，並以水平儀確認機

臺是否水平，如圖所示擺設：



- (3). 抽取些許溶液塗抹於培養皿中，使其薄薄地沾上一層(之後的步驟中，液體也不能一次加太多，只能稍微淹過聚合好的部分)
- (4). 開始播映投影片，投影片會自行播放動畫，期間有白色圖案出現時為高分子聚合的時間(10 秒)，這段時間請勿晃動、吸取溶液；當黑屏出現時，為使用者抽取液體，塗抹於對疊好的固體之上的時間(5 秒)



- (5). 底圖會重複 20 遍，刻紋部分亦會重複 20 遍，直到成品完成前，請確認沒有移動培養皿或是液面傾斜的狀況
- (6). 投影片播放結束後，回收溶液至樣品瓶中，將乙醇倒入培養皿至八分滿浸泡成品，再以去離子水清洗一遍，蔭乾後就可使用
- (7). 印章刻紋的平滑面可以用黏著劑貼至自己想要做為印章的物品

(四)、 性質測試

1. 表面結構觀察

本研究以偏光顯微鏡觀察其表面、結構、厚度，以確定其聚合情形是否成功。

偏光顯微鏡原理簡介

具有旋光性質或複屈光率的物體會使偏振光震盪的角度改變，而且不同波長的光線改變的程度不同，因此在兩片偏光鏡之間，只會濾出特定波長的光線。

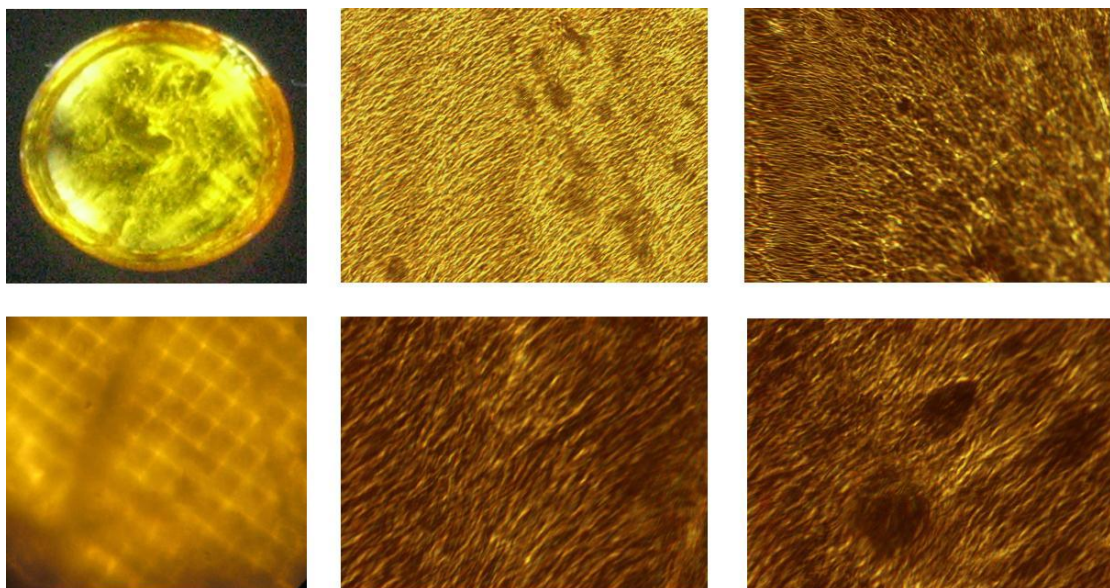
若是物體的厚度不同，震盪角度改變的程度也會不同，在兩片偏光鏡之間時，濾出的光線波長也會不同。

因此，在兩片偏光鏡之間，便可以清楚分辨物體是否具有旋光性質或複屈光率，也可以分辨具有旋光性質或複屈光率物體的厚度（如圖，玻璃片不具有旋光性質及複屈光率）。



左圖為各物體在偏光顯微鏡下的面貌；右圖為偏光顯微鏡
偏光顯微鏡即利用此性質，以突顯礦物、晶體或生物組織，或是測量高分子聚合物的厚度。

下圖是我們的聚合物在偏光顯微鏡下的外觀，可以看出它具有相當明顯的紋理，而且色澤上的差異不大，可以藉此判斷聚合的情形是具有規則的，而且表面平整，厚度均勻。

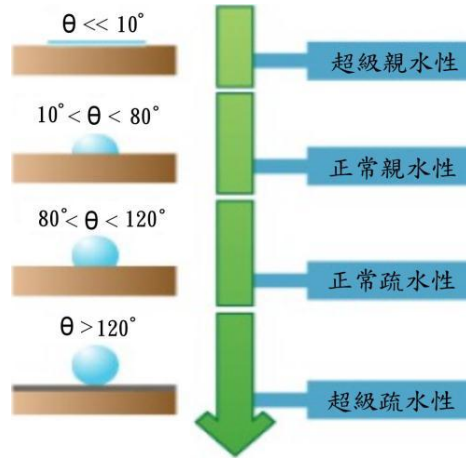


圖十：高分子聚合物在偏光顯微鏡下的外觀

2. 接觸角測量

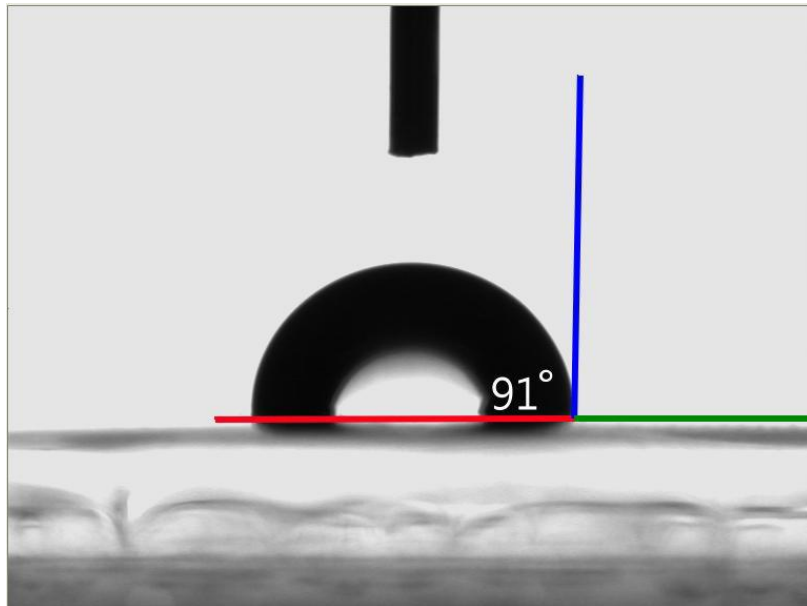
為了決定光刻印章所適用的印章塗料為水性或油性，我以接觸角測量儀檢視其接觸角

定義為液體切線和固體表面之夾角，接觸角的大小可以判斷物質表面的親水或疏水程度：接觸角愈小，物質的親水度越好，反之則較為疏水。



圖十一：接觸角與親(疏)水性對照

本研究之聚合物的接觸角為 91° ，屬於正常疏水性，因此我們將以印泥當作我們光刻印章的塗料。



3. 墨水、印泥測試

透過接觸角測量儀的檢測後，我們得知若要使得光刻印章能夠達到蓋印的效果，必須使用油性的印泥方能使用，以下為水性墨水印台及油性印泥的蓋印測試：

(1). 水性墨水印台測試



如圖，可明顯看出墨水為水珠狀的分布，無法順利蓋印。

(2). 油性印泥測試



如圖，可明顯看出印章以印泥蓋印的效果比墨水更能均勻的形成圖案。

4. 摩氏硬度計檢測

摩氏硬度，是一種利用礦物的相對刻劃硬度劃分礦物硬度的標準，將十種常見礦物的硬度按照從小到大分為十級，即（1）滑石、（2）石膏、

（3）方解石、（4）螢石、（5）磷灰石、（6）正長石、（7）石英、（8）黃玉、（9）剛玉、（10）金剛石，如下圖：



圖十二：摩氏硬度計等級

我們將聚合物之試片與上述的礦物互相刻劃，發現其硬度大約介於 3 級，與一般印章石（方解石）的硬度差異不大，因此可確保其耐用的程度。

5. 邵氏硬度測試

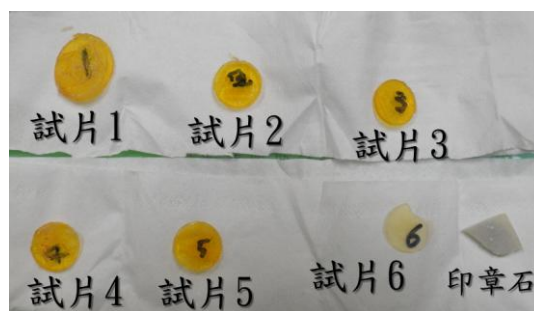
為了測試印章在使用時所能承受的耗損程度，我以邵氏硬度計來測試高分子的硬度：
邵氏硬度簡介：

一般用以測試塑膠材料或是橡膠材質的硬度，邵氏硬度計分為 A 型、C 型和 D 型三種刻度，其硬度讀數分別用 HA,HB,和 HC 表示。邵氏 A 型適用於軟質塑料和橡膠，邵氏 C 型和 D 型則適用於較硬或硬質塑料和硫化橡膠。

原理：

邵氏壓痕硬度計的工作原理是將規定形狀的壓針在標準的彈簧壓力下，在規定時間內，把壓針壓入試樣的深度轉換為硬度值，表示該試樣材料的硬度等級，直接從硬度計的指示表上讀取。指示表為 100 個分度，每一個分度即為一個邵氏硬度值。

本次研究委託儀器公司協助測量，以 Shore D 方式測量，其數據如下：



圖十三：試片照

表二：Shore D 硬度對照

Shore D	聚合物種類
90~86	硬質塑膠
83~65	中硬質塑膠
60~42	軟質塑膠
38~4	橡膠

表三：試片硬度數據

	試片 1	試片 2	試片 3
第一次	78.1	78.9	76.3
第二次	77.7	77.6	77.5
	試片 5	試片 6	印章石
第一次	77.1	80.4	89.5
第二次	78.4	80	87.2

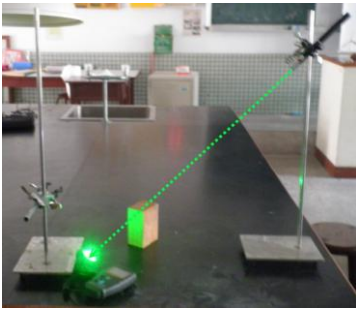
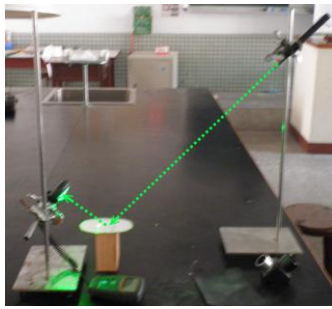
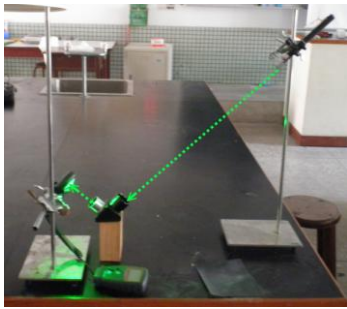
由此可知，本研究之塑膠雖然邵式硬度小於印章石的硬度，但仍屬中硬質塑膠，可以作為印章刻紋的材料。

6. 反射鏡之反射效率測定

我在第三代製程的硬體設備中，更換了平面鏡並以天頂鏡取代之，使得反射的效率提高，讓投影機的光源更準確地照射到高分子上誘發聚合，為了證實天頂鏡的反射效率高於平面鏡，我做了以下的實驗：



實驗的裝置如上圖，我以簡易式照度計及綠光雷射筆作為測試的儀器，並設定三種實驗情況：

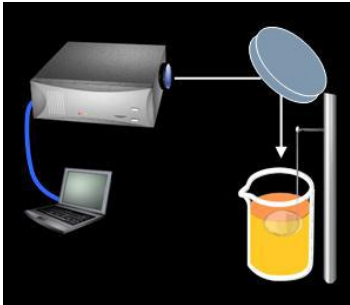
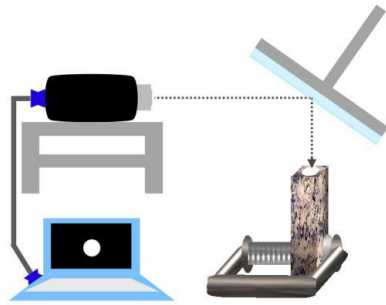

(1).直接照射感光元件	(2).以平面鏡反射	(3).以天頂鏡反射
		
測得的照度為 41400(Lux)	測得的照度為 34600(Lux)	測得的照度為 37400(Lux)

由此可知，雷射光再透過平面鏡的反射後，感光元件所測得的數據比以天頂鏡測得的還要小，可推斷天頂鏡的反射效果是比平面鏡來的更好的，因此加裝了天頂鏡後，實驗的成功率更為提升。

肆、 結論

本研究的新型塑膠材料製程，有別於現今塑膠產業，如吹瓶、注射等製程方式，減少了塑膠加工的問題，符合現今綠色化學的概念。

表三：第一～三代製程對照、比較

	第一代製程：光誘導聚合測試	第二代製程：光刻印章製程	第三代製程：印章製作機
圖示			
藥品	皆為己二醇二丙烯酸酯、苯基雙氧化磷、蘇丹紅一號		
透鏡	放大鏡		
反射鏡	平面鏡		天頂鏡
投影機	皆為 DLP 投影機		
軟體	簡報軟體	簡報軟體	APP
載具	實驗用固定器具		自組裝機臺
成效	確立光誘導聚合，但聚合效果 欠佳，堆疊情形極差	高分子與印章石之附著情 況甚好，刻紋清楚，但器材 籌備不易	僅做印章刻紋部分，自由 度較高，器具整合為一， 做法新穎，刻紋更清晰

在硬體設備方面，不同於傳統工廠的大型機房，僅使用平板電腦、天頂鏡、放大鏡、投影機等既有器材，並運用高分子光誘導的特性，將預先設計好的投影片照射之，使受光照的部分因為紫外光誘發而生成一體成形的結構，簡化了一般製程中繁瑣的加工程序。

在軟體設計方面，也不需多繁雜的繪圖軟體，只需以支援 Android 系統的 APP 簡報軟體與 APP 繪圖板設計所需的圖形，便可製作出如印章刻紋的立體結構。

而本研究的主旨在將此新式高分子推廣到日常生活面，如隨處可見的印章刻紋，使大眾更能接受，並廣泛使用之。



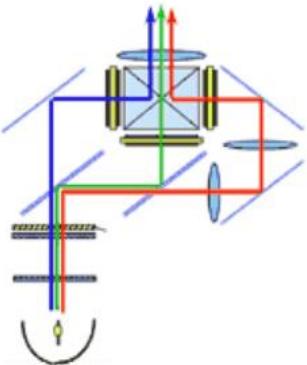
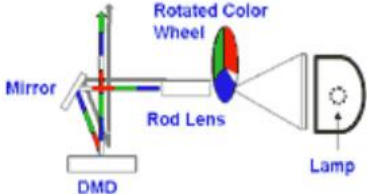
伍、 討論與應用

在整個實驗過程中，遇到了許多的瓶頸與難題，在老師的協助下逐個克服。我將解決後的心得統整成下列各點問題以做討論：

一、 投影機機蕊對實驗的影響

一開始操作實驗的時候，並沒有特別考慮投影機的光源，以為光源只要夠亮就可以了，因此在實驗過程中，聚合物一直無法順利的成形。後來我們發現實驗所需之光源必須要具備波長介於 380~400nm 的 UV 光，方可使實驗成功，所以選擇機蕊晶片在實驗過程中是相當重要的一環，為此我們做了一個表格來比較現行市面上投影機機蕊晶片差異。

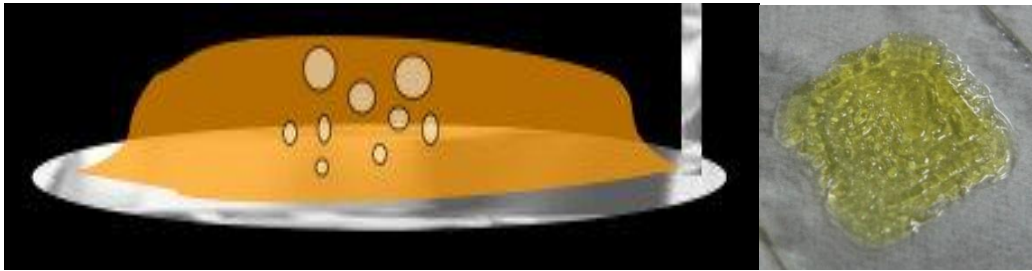
表三：投影機機蕊晶片-----LCD、DMD 之差異比較

	LCD 晶片	DMD 晶片
機型		
圖示	<p>LCD R,G,B light is projected at same time</p> 	<p>DLP R,G,B,W light is projected sequentially</p> 
原理	<p>利用分光濾鏡將影像光源分為紅、綠、藍(R、G、B)三色光，再分別透過內部三片 LCD 面板將影像重疊聚合成一全彩的影像，最後透過鏡頭將影像投射至螢幕上。</p>	<p>DMD 機蕊：鑲嵌著微小鏡片的半導體晶片，當其接收投影機的數位訊號，會使的鏡片轉動一定的幅度，讓光源反射至鏡頭色輪：涵蓋三色光區域的輪盤，旋轉知速度與 DMD 同步 屬於反射式投影機</p>

LCD 投影機由於其光緣經過多次分光濾鏡，紫外光耗損太多，含量不足以誘發聚合；反之 DLP 投影機的光源是**直接反射**，紫外光的耗損較少，含量恰足以使高分子反應。

於是我們馬上設法更改為另一台具備 DMD 機蕊晶片的投影機之後，果然在操作實驗時的成功率就大幅提升。

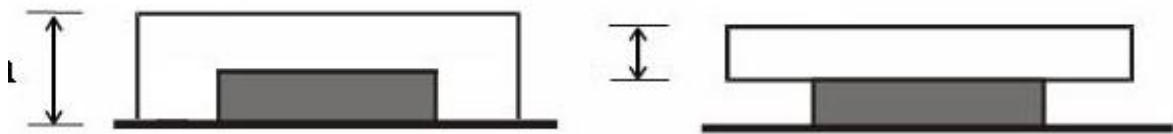
二、 照光聚合之時間對於聚合製程的影響
在誘發聚合測試，產生猶如山丘形狀的隆起



在與老師討論後，我推測這次的問題是因為照光聚合的時間拉得太久，導致聚合物吸收太多來自光源的熱能，使其產生氣泡並膨脹，讓實驗品的生成無法達成預期的形狀或圖案。
在反覆測試後，得出了每一層的最佳照光秒數：十秒(本研究經驗值)。

三、 本研究之藥品—蘇丹紅一號對於聚合效果的影響

由於我們使用的方法是光誘導自由基聚合，在光誘導劑選擇的是蘇丹紅一號(以下簡稱藥劑)，在查詢文獻後，得知其具有吸收紫外光的效果



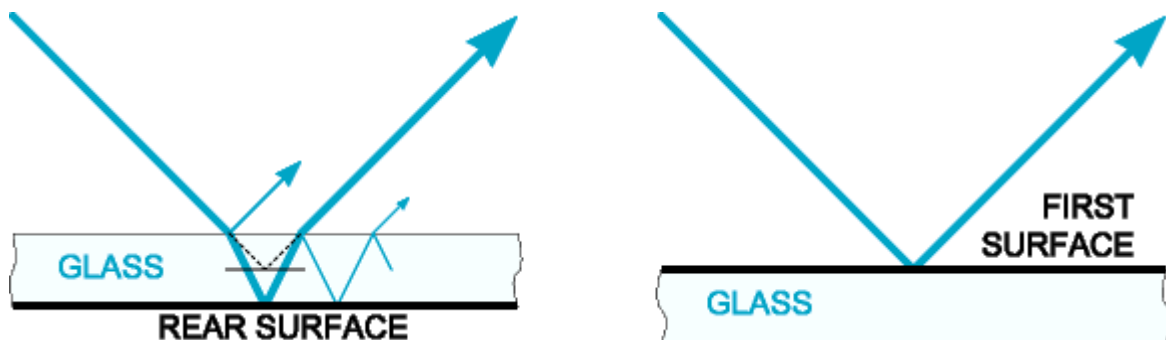
左圖為未加入藥劑的效果，紫外光穿透到底部，無法讓新生成的部分堆疊至已聚合的部分；右圖為加入了藥劑的效果，由於部分紫外光被吸收掉，新生成的高分子才能堆疊上去。

因此本研究加入了微量的蘇丹紅一號於高分子溶液中，讓印章刻紋的製作更能成功。

四、 天頂鏡的反射效果與一般平面鏡的差異

在第一、二代製程時，我選用一般的平面鏡做為反射投影機光源的媒介，不過到了第三代製程時，我改用了天頂鏡取代之，是為甚麼呢？

是因為平面鏡的金屬鍍層是在玻璃的背面，光線在反射的過程還需經過二折一反才穿出鏡面；而天頂鏡的金屬鍍層位於鏡面表層，所以光線反射的路徑近乎垂直鏡面，使光線更能直接的投射在高分子上(如圖所示)。



左圖為一般平面鏡；右圖為 FS 鏡

陸、 參考資料

- 一、 高分子材料導論，徐武軍，五南
- 二、 天然高分子材料，鄭學晶，化學工業出版社
- 三、 高分子材料與工程，徐堅、瞿金平、等主編，科學出版社
- 四、 光聚合技術與應用，聶俊，化學工業出版社
- 五、 科學人 8 月號/2010 第 102 期
- 六、 高分子光化學導論——基礎和應用，吳世康，科學出版社
- 七、 新禾科技 - Toshiba。
<http://www.grainew.com.tw/p1-projector.asp>
- 八、 富可士(廣州)數碼科技有限公司。數位式 DMD(DLP)與三片式 Polysilicon LCD 投影機機種比較。取自 <http://www.gzfks.com/fn/news2.asp?id=57>
- 九、 Sigma-Aldrich - Chem Product Central。實驗用所需藥物參考資料。取自
<http://www.sigmaaldrich.com/chemistry/chemical-synthesis/chemical-synthesis-catalog.html>
- 十、 教育部學習加油站。聚合物之一般性質與分類。取自
http://content.edu.tw/senior/chemistry/tp_sc/content1/number4/3/15-1.htm
- 十一、 機械材料－塑膠材料與成型，楊申語
- 十二、 維基百科全書。DLP 技術。取自
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%95%B0%E5%AD%97%E5%85%89%E5%A4%84%E7%90%86>
- 十三、 Wikipedia。First surface mirror。取自
http://en.wikipedia.org/wiki/First_surface_mirror