

# 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 農業與食品學科

探究精神獎

第二名

052202

一葉知秋、一膜知熟——製備複合光子晶體薄膜  
及探討乙烯催熟水果

學校名稱：國立中興大學附屬高級中學

作者：  高二 吳怡蓉  高二 王咨允  高二 許仲儀	指導老師：  施子方  游宗憲
-----------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：高分子薄膜、乙烯、香蕉催熟

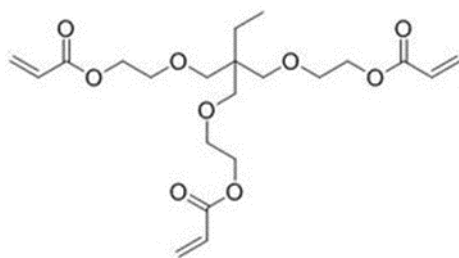
## 摘要

本研究透過多孔性薄膜因孔洞內物質比例變化所造成的光譜波峰位置改變之特性，來吸附乙烯-酒精溶液，以用於檢測無法輕易從表皮得知其成熟度之水果。首先利用具有可有效吸附酒精之官能基的甲基丙烯酸-2-羥基乙酯(HEMA)高分子及乙氧基化三羥甲基丙烷三丙烯酸酯(ETPTA)高分子製成複合高分子薄膜，並利用其吸附乙烯-酒精溶液，放置至尚未催熟之青綠色香蕉旁，觀察香蕉成熟情形。再利用紫外線光譜儀檢測薄膜之波峰位置，並將波長數值代入公式 $\lambda = 2nd \sin \theta$ 求出薄膜內所剩的乙烯體積百分比，並對應出香蕉被催熟的情形。

## 壹、 研究動機

有一次，聽媽媽說香蕉和蘋果放在一起，香蕉可以比較快熟，於是我們上網查了資料，得知是蘋果會釋放乙烯的緣故。可是我們又在想，有一些水果並不是像香蕉可以直接看表皮就能知道其是否成熟，我們抱持這個疑惑去詢問老師。老師告訴我們現在有一種技術是利用多孔性光子晶體薄膜來觀察溶液的吸放情形，於是我們把這兩個想法結合：

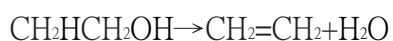
- 一、 利用甲基丙烯酸-2-羥基乙酯(HEMA)及乙氧基化三羥甲基丙烷三丙烯酸酯(ETPTA)來製備複合高分子薄膜。由於乙醇蒸氣凝結於薄膜孔洞內，使 HEMA 高分子膨潤，因而增加乙醇吸附在薄膜內的時間，以達到我們想要利用薄膜慢慢催熟水果的目的；並增加平均有效折射率，使得薄膜所繞射光波產生紅移現象，於是我們可以利用光譜波峰位置的變化，來推算此時薄膜內剩餘的乙烯量。



▲ ETPTA 結構圖

▲ HEMA 結構圖

- 二、 滴上我們製備的乙烯-酒精溶液。由於乙烯是氣體，不易直接吸附於薄膜孔洞內，所以我們利用硫酸和酒精加熱至 180°C，並將所製備的乙烯氣體溶於酒精溶液中。利用 HEMA 高分子易於吸收酒精溶液的特性，同時也吸附了乙烯。



- 三、 隨著乙烯從複合高分子薄膜內慢慢釋放出來，香蕉也漸漸被催熟。利用

薄膜光譜波峰位置的變化，我們可將所測得的波峰數值代入布拉格繞射公式 $\lambda = 2nd \sin \theta$ ，由於薄膜內含的乙烯含量不同，因此平均有效折射率也不同，進而算出此時薄膜內所含的乙烯含量，我們就可得到薄膜內乙烯平均釋放的速率；並對應香蕉每日的熟成情形。由此我們可以達成我們的目的—利用薄膜釋放出乙烯，來催熟水果。

- 四、 我們選用的水果是香蕉，因為香蕉是否熟成可以直接從外表觀測出來。記錄下我們利用多少乙烯-酒精溶液以及香蕉催熟的天數，希望可以利用這個方法來催熟香蕉，並應用在不同的水果上。

## 貳、 研究目的

本實驗的研究目的是藉由多孔性高分子薄膜孔洞內物質的分率改變，造成光譜波峰位置改變，因此我們將波峰所在的波長數值代入繞射公式

$\lambda = 2nd \sin \theta$ ，因為波長位置改變而得到不同的平均有效折射率(n)，藉此我們可以得知此時薄膜內所剩乙烯的體積百分比，另一方面也逐日觀察香蕉被催熟的情形。

常見的香蕉催熟法，大致可分為 3 種：

- 一、 小農常用「固態乙炔」來催熟。固態乙炔俗稱電石，加入水後會變成乙烯，隨著化學變化會出現熱度，會激發香蕉本身的乙烯，讓果皮快速從綠轉黃。（其熱度不至於會發生氣爆危險，仍須看現場是否有其他易燃物引發相關作用）
- 二、 對於數量龐大的香蕉催熟，多使用工業酒精。剛採收的香蕉，通常會放進 15~20 的冰庫內；冰庫內會放置乙烯發生器，將工業酒精倒入發生器後，會產生乙烯氣體讓香蕉表皮接觸乙烯，就能讓香蕉釋放乙烯加速熟成。
- 三、 一般家庭若要催熟香蕉，可在香蕉旁擺放蘋果或拜拜用的香，蘋果釋放的乙烯能讓香蕉跟著釋放乙烯加速熟成。

本實驗的催熟方法：



將 330.55g 乙醇、35.1g H<sub>2</sub>O、16.2g NH<sub>3</sub> 倒入錐形瓶後，置於加熱板上使其均勻攪拌混合 30~60 分鐘後，再加入 31.5g 二氧化矽前驅物—TEOS（四乙氧基矽烷）均勻攪拌一天後，呈現白色的 SiO<sub>2</sub> 溶液。再將玻璃基材浸入此溶液中，使 SiO<sub>2</sub> 粒子均勻自組裝至玻璃基材上。然後再將高分子填入，製成薄膜。接著利用 1%HF<sub>(aq)</sub> 蝕刻掉薄膜上的 SiO<sub>2</sub> 粒子，即形成規則排列的孔洞結構。之後將製備的乙烯-酒精溶液填入薄膜孔洞中，和香蕉放置在一起以催熟香蕉。

## 參、 研究設備及器材

### 一、 研究材料

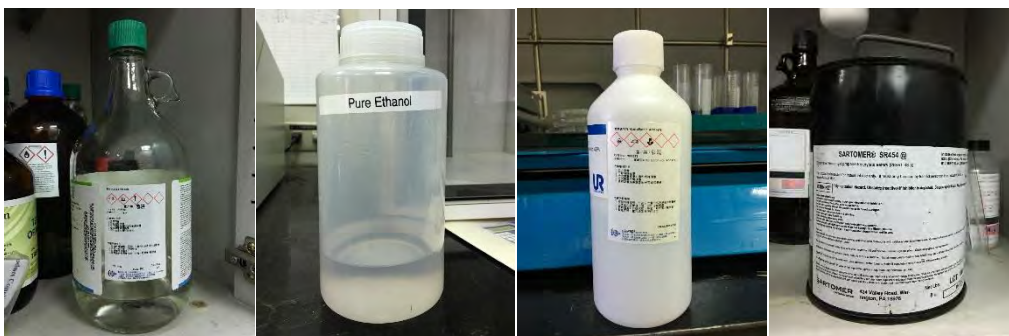
- (一) 氨水 (圖.參-一-1)
- (二) 去離子水
- (三) 純酒精 (圖.參-一-2)
- (四) HF(圖.參-一-3)
- (五) 乙氧基化三羥甲基丙烷三丙烯酸酯(ETPTA)高分子 (圖.參-一-4)
- (六) 甲基丙烯酸-2-羥基乙酯(HEMA)高分子 (圖.參-一-5)
- (七) 乙烯-酒精溶液 (圖.參-一-6)
- (八) 二氧化矽前驅物 TEOS(圖.參-一-7)
- (九) 光啟始劑 (圖.參-一-8)

### 二、 研究器材

- (一) 錐形瓶
- (二) 離心管
- (三) 小盒子
- (四) 針筒
- (五) 燒杯
- (六) 拭鏡紙
- (七) 磁石
- (八) 玻璃基材 (圖.參-二-1)

### 三、 研究儀器

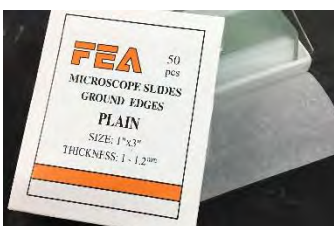
- (一) 電子秤 (圖.參-三-1)
- (二) 超音波破膜機(圖.參-三-2)
- (三) 離心機 (圖.參-三-3)
- (四) 磁石攪拌加熱板 (圖.參-三-4)
- (五) 紫外線光譜儀 (圖.參-三-5)
- (六) 震盪攪拌儀 (圖.參-三-6)
- (七) UV Box (圖.參-三-7)



▲ 圖.參一-1 ▲ 圖.參一-2 ▲ 圖.參一-3 ▲ 圖.參一-4



▲ 圖.參一-5 ▲ 圖.參一-6 ▲ 圖.參一-7 ▲ 圖.參一-8



▲ 圖.參二-1



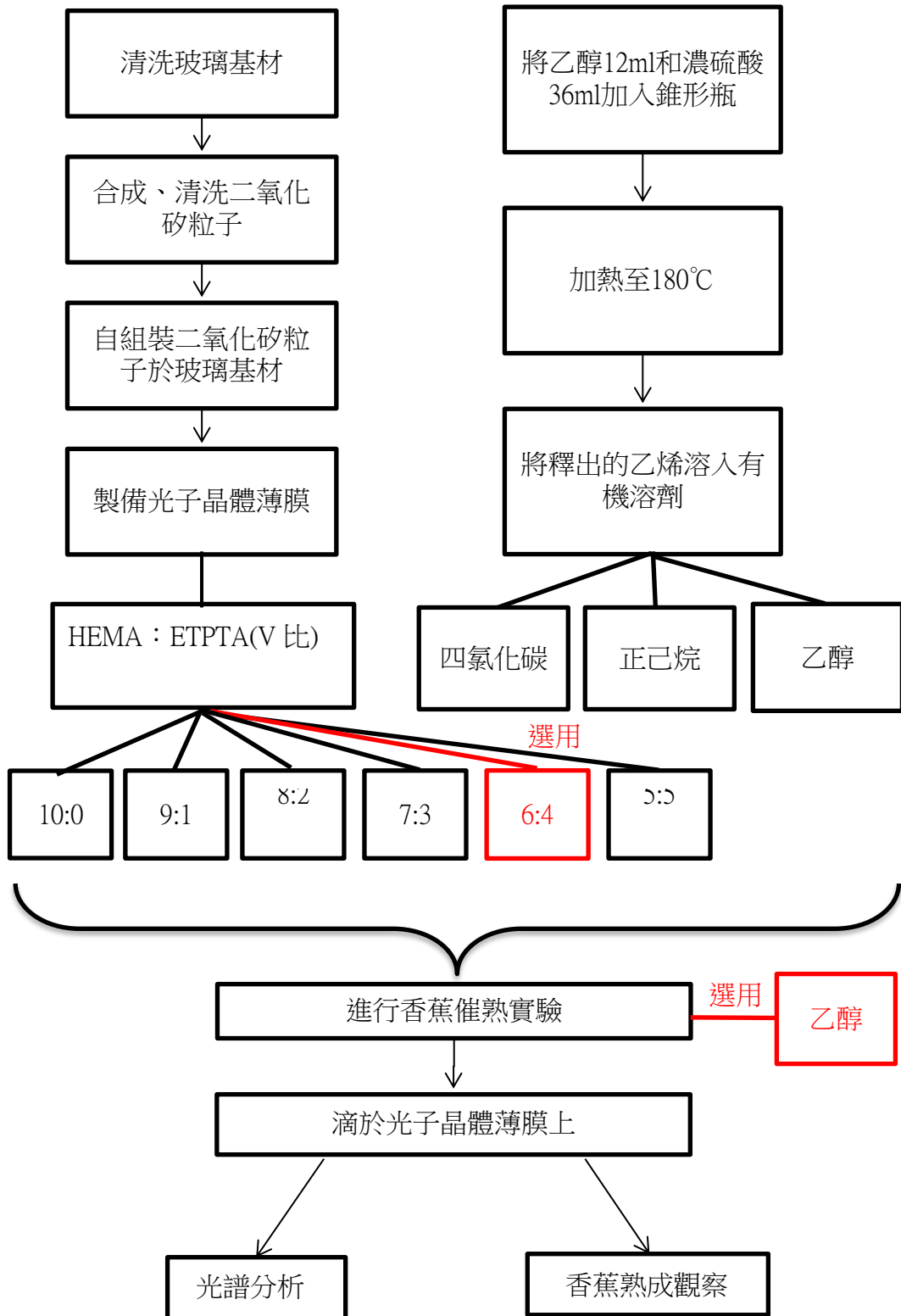
▲ 圖.參三-1 ▲ 圖.參三-2 ▲ 圖.參三-3 ▲ 圖.參三-4



▲ 圖.參三-5 ▲ 圖.參三-6 ▲ 圖.參三-7

## 肆、研究過程或方法

文獻回顧





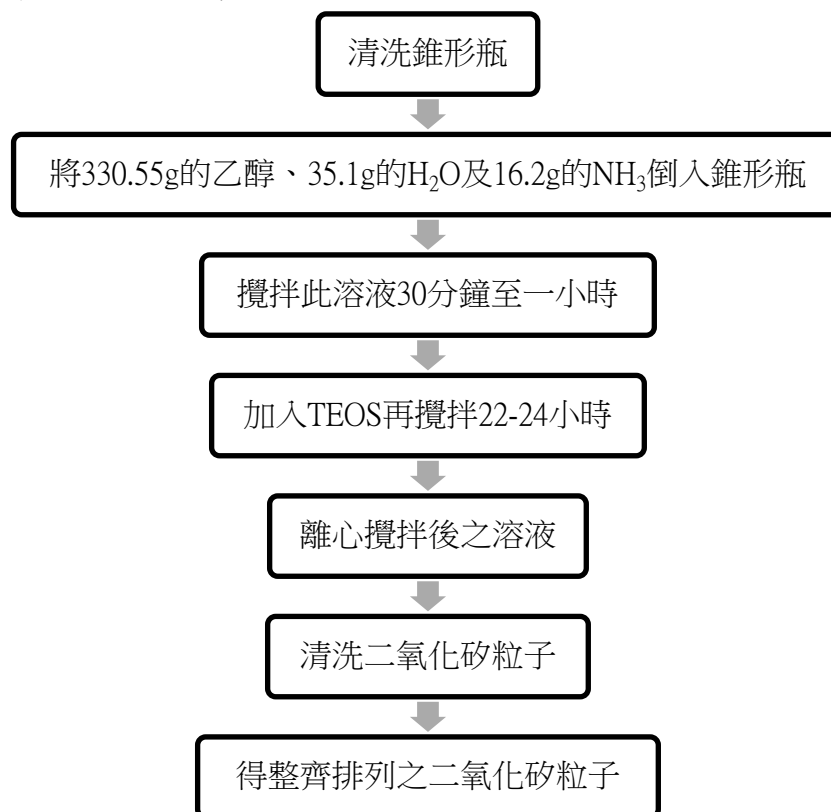
## 一、含 OH 基於玻璃基材

- (一) 將要清洗之玻璃基材排列在大培養皿內。(圖.肆-一-1)
- (二) 先加入  $\text{H}_2\text{O}$  700 毫升及氨水 140 毫升於玻璃培養皿內，以加熱板  $70^\circ\text{C}$  加熱 30 分鐘。
- (三) 30 分鐘後再加入  $\text{H}_2\text{O}_2$  140 毫升。(  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$  之體積比為 5:1:1)此時溶液會冒泡，是因為釋出  $\text{O}_2$  的緣故。
- (四) 包上鋁箔紙，並插入控溫棒。
- (五) 等到溶液不再釋出氧氣時，即可開始清洗玻璃：用鑷子夾起玻璃基材以酒精沖洗後，保存在 1% $\text{HF}_{(\text{aq})}$  中。(圖.肆-一-2)



▲ 圖.肆-一-1 ▲ 圖.肆-一-2

## 二、合成、清洗 $\text{SiO}_2$ 粒子



- (一) 將 1%HF<sub>(aq)</sub> 倒入錐形瓶內約九分滿並放置 15 分鐘以清除雜質（用 PARAFILM 封口），15 分鐘後用酒精沖洗，再利用吹風機吹乾（吹乾時要將錐形瓶倒放，且吹風機不可朝向瓶口內吹，避免清洗好的錐形瓶又吹入灰塵）。
- (二) 先後加入 330.55g 的乙醇、35.1g 的 H<sub>2</sub>O 及 16.2g 的 NH<sub>3</sub>（當催化劑用）。
- (三) 將裝有溶液的錐形瓶放入磁石並置於加熱板上用約 500~700 轉攪拌（可調整轉速，以溶液不產生氣泡為準）30min~60min 使溶液均勻混合。（圖.肆-二-4）
- (四) 再加入 31.5g 的 SiO<sub>2</sub> 前驅物—TEOS（四乙氧基矽烷）攪拌 22~24Hr（圖.肆-二-1）  
（約 10min 後會慢慢呈現濁白色，表示 SiO<sub>2</sub> 粒子漸漸形成；若太快出現白色，表已有部分 SiO<sub>2</sub> 合成，但其餘 SiO<sub>2</sub> 粒子尚未反應，會有粒子大小不一的情況，則此 SiO<sub>2</sub> 溶液品質不佳）
- (五) 將攪拌後的溶液分裝至離心管並置於離心機內以轉速 6500 離心 5min，使其呈現上澄清（乙醇+H<sub>2</sub>O+NH<sub>3</sub> 混合溶液）、下堆疊 SiO<sub>2</sub> 粒子的狀態（圖.肆-二-3）（若離心完後溶液呈現混濁貌，可調整時間或轉速，轉速以 7000 為限、須將離心管對稱放置在離心機內）
- (六) 離心完後開始清洗 SiO<sub>2</sub> 粒子：將離心完的 SiO<sub>2</sub> 溶液的上方澄清液倒掉，加入乙醇後，置於超音波破膜機以功率 0.5~1.5 破膜後再離心。重複此步驟約三次以清洗掉殘餘之 NH<sub>3</sub>。（圖.肆-二-2）
- (七) 清洗完後可看見亮亮的 SiO<sub>2</sub> 粒子堆疊塊，表 SiO<sub>2</sub> 粒子整齊排列。（圖.肆-二-5）



▲ 圖.肆-二-1

▲ 圖.肆-二-2

▲ 圖.肆-二-3





▲ 圖.肆-二-4



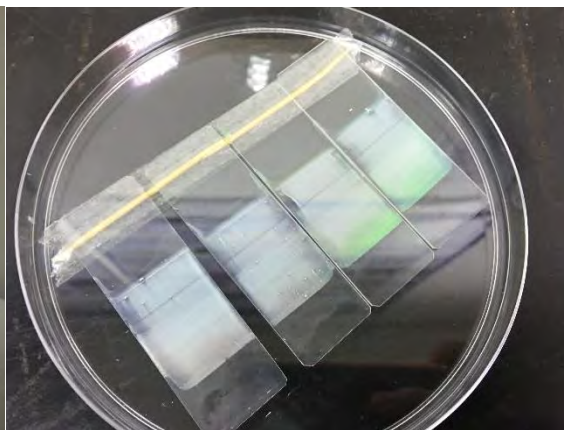
▲ 圖.肆-二-5

### 三、 將 $\text{SiO}_2$ 粒子自組裝至玻璃基材

- (一) 破膜完成的溶液須加入乙醇稀釋以免載至玻璃基材的結晶層過厚導致薄膜品質不佳。
- (二) 將先前清洗好之玻璃基材擦乾後裁切放入 sample 瓶內並倒入稀釋後之溶液。(圖.肆-三-1)
- (三) 靜待乙醇揮發，讓  $\text{SiO}_2$  粒子載至玻璃基材上。(圖.肆-三-2)



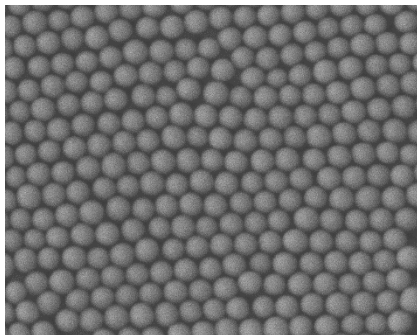
▲ 圖.肆-三-1



▲ 圖.肆-三-2

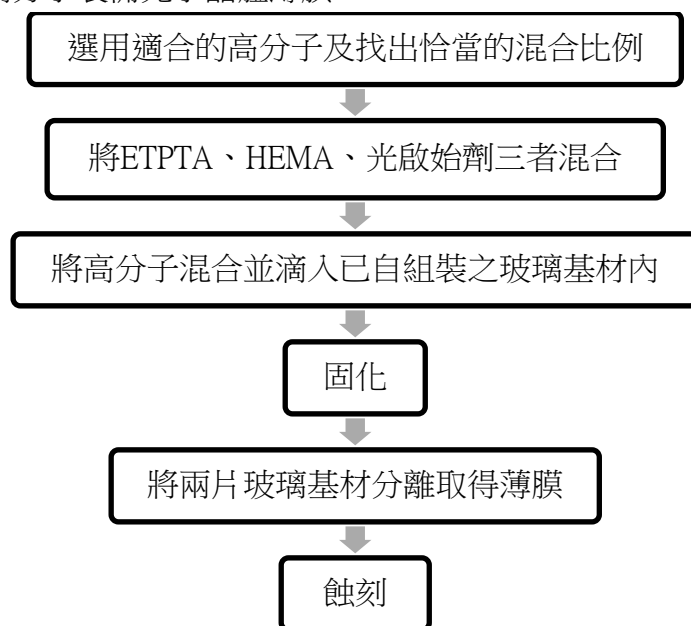
### 四、 照 SEM

- (一) 觀察  $\text{SiO}_2$  粒子排列堆積整齊程度並得知  $\text{SiO}_2$  粒徑大小。(圖.肆-四-1)



▲ 圖.肆-四-1

## 五、 添加高分子製備光子晶體薄膜



(一) 採用高分子乙氧基化三經甲基丙烷三丙烯酸酯(ETPTA)及甲基丙烯酸-2-羥基乙酯(HEMA)。

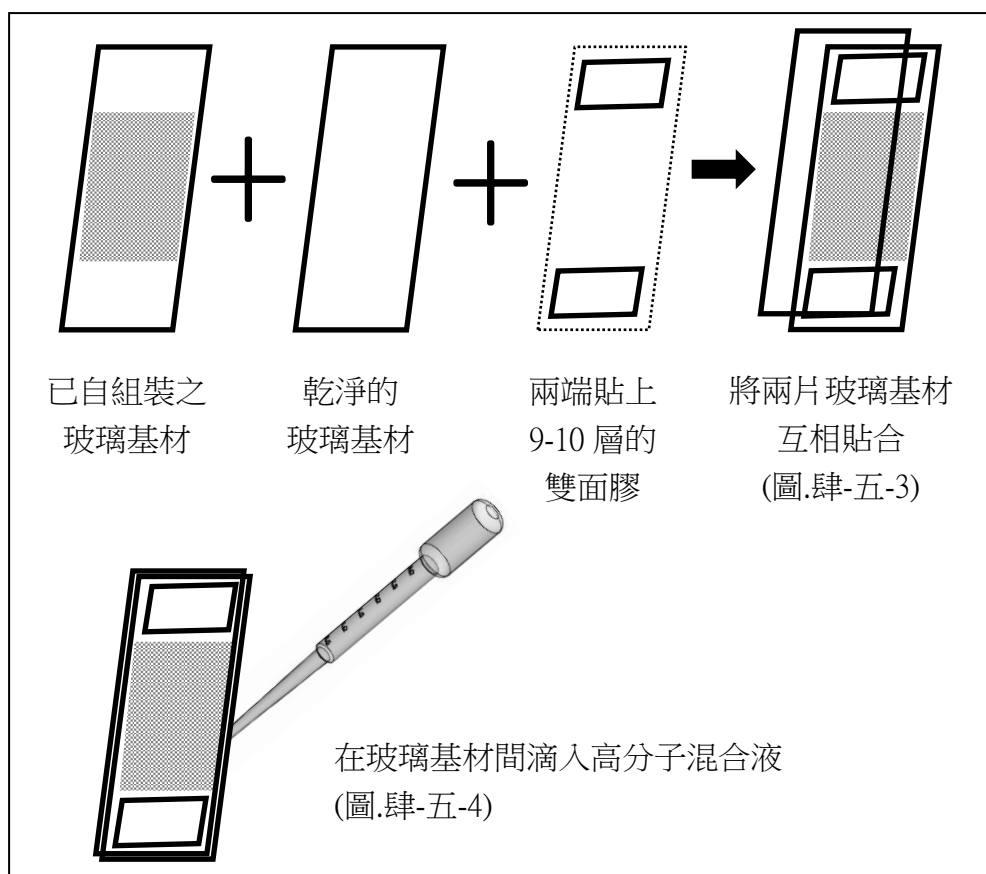
※因為 HEMA 高分子上有 OH 基，較能使乙醇蒸氣吸附於薄膜孔洞內，增加乙醇吸附於薄膜內的時間。又如果只用 HEMA 來製作薄膜，則薄膜無法成形、是膠狀的，因此我們結合了 ETPTA 與 HEMA 來製作複合高分子薄膜。(圖.肆-五-1、圖.肆-五-2)

以 ETPTA：HEMA 的質量比來檢測何種複合高分子薄膜適合進行我們的實驗：

1. 將 ETPTA：HEMA 分別以 1：9、2：8、3：7、4：6 及 5：5 的比例均勻混合。
2. 將上述混合的高分子分別填入玻璃基材並放入 UV box 固化，發現只有 ETPTA：HEMA 重量比為 4：6 及 5：5 的混合性高分子有成膜。  
→為了使乙醇吸附於薄膜的時間延長，我們採用了 ETPTA：HEMA 重量比為 4：6(2：3)的複合高分子薄膜來進行之後的實驗。

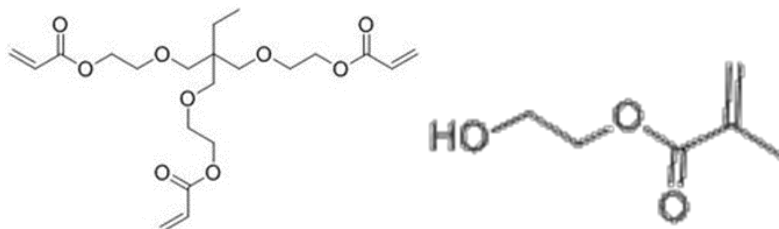
(二) 取 ETPTA：HEMA 重量比為 2：3，加入離心管內（製作一片薄膜大約需要 2g 的高分子，因此視每次製作的薄膜數來斟酌高分子的量），並加入 1~2 滴光啟始劑，置於震盪攪拌器混合均勻。(離心管要包覆鋁箔紙，以免高分子及光啟始劑遇光即先發生反應)

(三) 將高分子滴入兩層玻璃基材(一片玻璃基材上載有 SiO<sub>2</sub> 粒子，另一片是步驟一的玻璃基材。再將兩片玻璃基材以雙面膠黏貼 9-10 層。)中並靜置 2~3min，使高分子滲入整齊排列 SiO<sub>2</sub> 粒子的孔隙中。

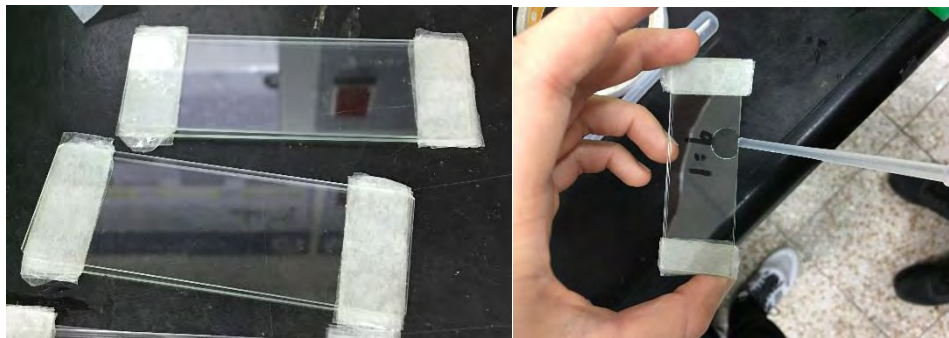


▲ 步驟 3.之示意圖

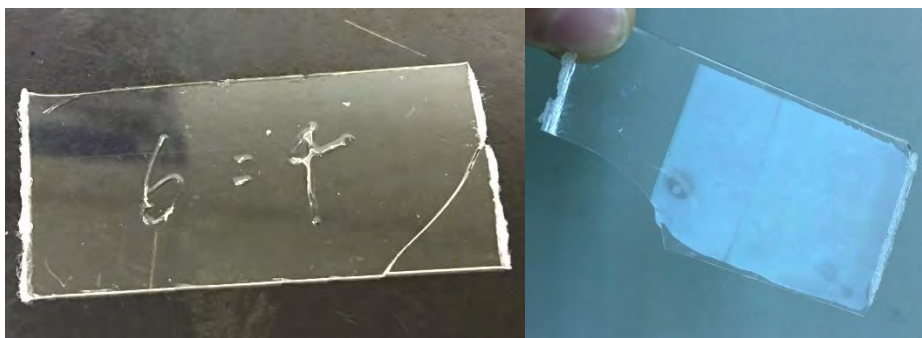
- (四) 放入 UV box 內固化約 2 分鐘。
- (五) 取出固化完成的玻璃基材。將兩片玻璃基材分離後，即得到我們要的光子晶體薄膜。(圖.肆-五-5)
- (六) 浸入 1%HF<sub>(aq)</sub>中將 SiO<sub>2</sub> 粒子蝕刻，留下整齊排列的孔洞。(圖.肆-五-6)



▲ 圖.肆-五-1ETPTA 結構圖 ▲ 圖.肆-五-2HEMA 結構圖



▲ 圖.肆-五-3 ▲ 圖.肆-五-4



▲ 圖.肆-五-5 ▲ 圖.肆-五-6

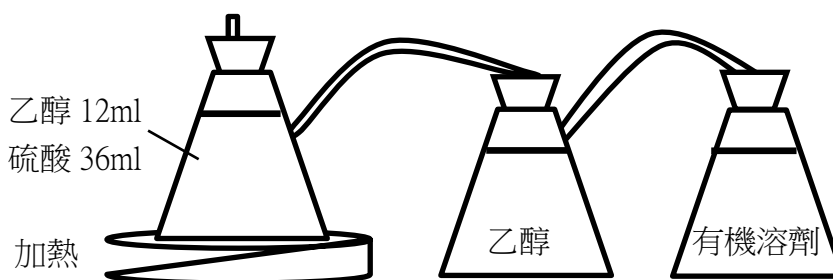
#### 六、測光譜（利用程式”SpectraSuite”）

（一）可得知薄膜的波長為何，並代入  $\lambda = 2nd \sin \theta$  求出  $\text{SiO}_2$  的粒徑。

#### 七、製備乙烯溶液

（一）將乙醇 12mL 及硫酸（18M）36mL 放入錐形瓶中，並放置在加熱板上加熱至  $180^\circ\text{C}$ 。以導管連接另兩個錐形瓶（中間瓶內裝入適量乙醇；另一瓶裝入有機溶劑：四氯化碳或正己烷）。

（中間瓶裝乙醇是為了讓加熱後揮發而未反應的乙醇蒸氣可以溶進中間瓶內，避免乙醇蒸氣和乙烯一起溶進四氯化碳或正己烷中而影響實驗結果。）（圖.肆-七-1）（↓ 示意圖）



（二）以過錳酸鉀滴定乙烯-酒精溶液（暗紫色變成粉紅色），算出每 1mL 溶液中含有  $2.885 \times 10^{-4} \text{ mol}$  的乙烯。（過錳酸鉀若遇雙鍵會由深紫色變為粉紅色，而乙烯含有一個雙鍵，所以可藉由過錳酸鉀的顏色變化看出這三種溶液是否含有乙烯）（圖.肆-七-2）



▲ 圖.肆-七-1 ▲ 圖.肆-七-2

#### 八、 乙烯揮發催熟水果

- (一) 將溶有乙烯的有機溶劑(乙醇、四氯化碳、正己烷)取 1mL 分別直接滴在香蕉表皮及集中滴在旁邊的衛生紙上，並觀察香蕉熟成的情形。

※觀察了六組香蕉的熟成情形後，發現正己烷及四氯化碳分別滴在香蕉表皮上的香蕉皆會發黑；這兩者分別集中滴在衛生紙上的香蕉會出現不均勻分布的黑。將乙醇滴在香蕉表皮上香蕉會出現不均勻分布的褐色，而集中滴於一處則只有綠轉黃的變化。我們推測可能是四氯化碳及正己烷對香蕉具有腐蝕性，因此接下來的實驗皆採用乙烯-酒精溶液來當作我們的催熟劑。

- (二) 最後選用乙烯-酒精溶液，並將之滴在 HEMA-ETPTA 複合性高分子薄膜上，觀察香蕉的催熟情形。
- (三) 測量薄膜的光譜圖波峰波長位置變化，代入 $\lambda = 2nd \sin \theta$ ，藉由平均有效折射率隨時間的變化，可得到不同時間薄膜孔洞中剩餘乙烯的體積百分比。


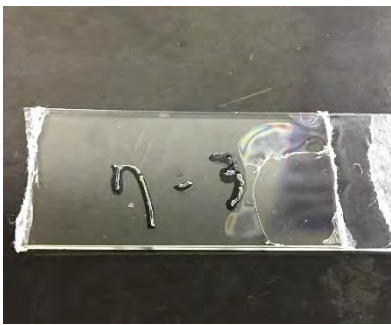

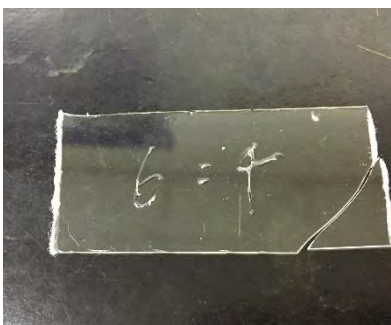




## 伍、 實驗結果

### 一、 找出能夠成膜之 HEMA：ETPTA 比例

因為 HEMA 高分子上有 OH 基，較能使乙醇蒸氣吸附於薄膜孔洞內，增加乙醇吸附於薄膜內的時間。又如果只用 HEMA 來製作薄膜，則薄膜無法成形、是膠狀的，因此我們結合了 ETPTA 與 HEMA 來製作複合高分子薄膜。

因此我們試了以下六種比例之 HEMA-ETPTA 混合液來製作光子晶體薄膜：

HEMA：ETPTA (V 比)	10:0	7:3
成膜情形		
HEMA：ETPTA (V 比)	9:1	6:4
成膜情形		
HEMA：ETPTA (V 比)	8:2	5:5
成膜情形		

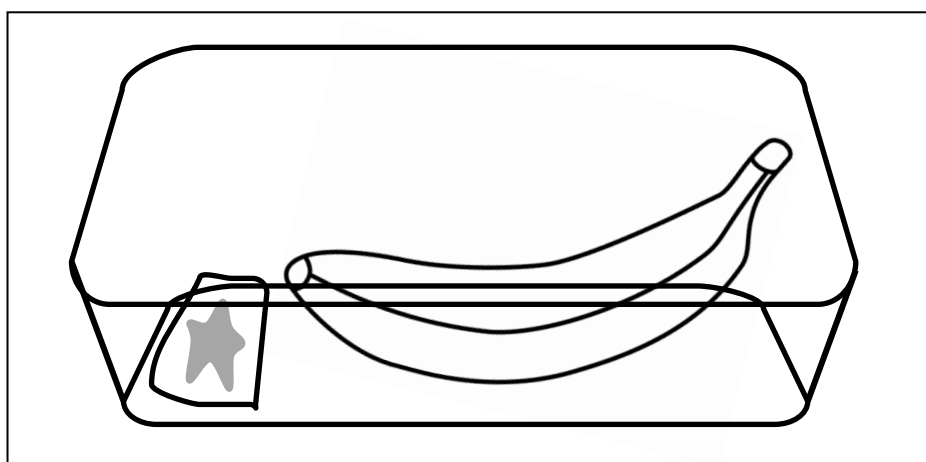


## 二、以香蕉當範例水果進行實驗

※因為香蕉成本較低、較易取得且易觀察其成熟程度，因此我們皆利用尚未催熟之香蕉做為實驗對象，做為後續其他水果之範本。

### (一) 找出較適合乙烯催熟水果之溶劑

1. 我們利用三種可溶入乙烯的有機溶劑，分別是四氯化碳、酒精及正己烷來做實驗
2. 實驗器材:塑膠盒、保鮮膜、未催熟之香蕉、衛生紙、溶有乙烯之四氯化碳/酒精/正己烷溶液
3. 實驗裝置:將香蕉及滴有溶液之衛生紙擺在塑膠盒裡，衛生紙和香蕉不接觸，並用保鮮膜將開口處封起來(戳幾個小洞保持透氣)，三組裝置的操縱變因為乙烯溶液之溶劑



▲實驗裝置示意圖

四氯化碳	酒精	正己烷
		

(二) 檢測乙烯是否能真正有效催熟水果

1. 為了再次確認我們所製備的乙烯-酒精溶液是否真的含有可以催熟水果的乙烯，我們做了以下實驗
2. 實驗器材：塑膠盒、香蕉、衛生紙、酒精、乙烯-酒精溶液、保鮮膜
3. 實驗裝置：將香蕉及衛生紙擺在塑膠盒內，一為只有香蕉的對照組，二為在衛生紙上滴酒精，三為在衛生紙上滴乙烯-酒精溶液

(1) 不滴任何溶液

第一天	第二天	第三天
		

(2) 衛生紙上滴酒精

第一天	第二天	第三天
		

(3) 衛生紙上滴乙烯-酒精溶液

第一天	第二天	第三天
		


(三) 使用薄膜吸附乙烯-酒精溶液催熟香蕉並比較薄膜內不同乙烯含量催熟香蕉的時間

1. 實驗器材：塑膠盒、HEMA/ETPTA 複合性多孔薄膜、香蕉、乙烯-酒精溶液








2. 實驗裝置：將香蕉及光子晶體薄膜擺在塑膠盒內

將實驗分為五組：






(1) 盒子內只有香蕉

第一天	第二天	第三天	第四天
			
第五天	第六天	第七天	
			






(2) 薄膜上滴純酒精

	第二天	第三天	第四天
			
第五天	第六天	第七天	
			







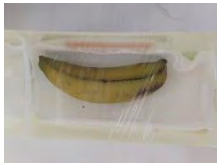
(3) 薄膜上滴入乙烯—酒精溶液後，馬上放入裝有香蕉的盒子內

第一天	第二天	第三天	第四天
			
$x=75.3\%$	$x=36.41\%$	$x=30.53\%$	$x=23.94\%$
第五天			
			
$x=21.35\%$			

(4) 薄膜上滴入乙烯—酒精溶液一小時後，再放入裝有香蕉的盒子內

第一天	第二天	第三天	第四天
			
$x=39.82\%$	$x=27.36\%$	$x=26.18\%$	$x=23.59\%$
第五天			
			
$x=22.89\%$			

(5) 一天前薄膜上滴入乙烯—酒精溶液，隔天再放入裝有香蕉的盒子

第一天	第二天	第三天	第四天
			
$x=23.68\%$	$x=21.56\%$	$x=19.91\%$	$x=19.44\%$
第五天	第六天	第七天	
			
$x=19.44\%$	$x=18.97\%$	$x=18.97\%$	

## 陸、 討論

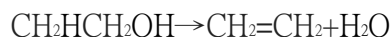
- 一、 在實驗過程中發現製作薄膜的高分子若只有 ETPTA(乙氧基化三羥甲基丙烷三丙烯酸酯)，則酒精溶液很快就揮發殆盡。於是我們加入另一種高分子 HEMA(甲基丙烯酸-2-羥基乙酯)來製備複合高分子薄膜，因為 HEMA 高分子上有 OH 基，酒精蒸氣較容易吸附在薄膜孔洞，使得 HEMA 高分子膨潤，增加酒精溶液蒸發的時間，以達成我們想要利用薄膜逐漸釋放乙烯來催熟香蕉的想法。

10 : 0	9 : 1	8 : 2
成膜失敗	成膜失敗	成膜失敗
7:3	6 : 4	5 : 5
成膜失敗	成膜成功	成膜成功

### ▲ HEMA:ETPTA 不同重量比製作的薄膜

我們試了 6 種不同 HEMA 和 ETPTA 的比例來製備薄膜，但前四種 HEMA 高分子所佔的比例太高，製成的薄膜過軟，因此成膜失敗。ETPTA:HEMA 重量比為 6 : 4 及 5 : 5 的則順利製成複合高分子薄膜。但我們為了使酒精蒸氣吸附於薄膜孔洞內的時間拉長，於是我們選用 HEMA 高分子比例較高的薄膜以 1%HF<sub>(aq)</sub>蝕刻，再以此進行香蕉催熟的實驗。

- 二、 以酒精和硫酸加熱至 180°C 製備乙烯



- (一) 分別取 1 毫升及 2 毫升由上述實驗所得的乙烯-酒精溶液，以 0.1M 過錳酸鉀(KMnO<sub>4</sub>)滴定。

消耗的 KMnO <sub>4</sub> 體積	3mL	2.6 mL	1.9 mL	2.3 mL
每 1 mL 中所含乙烯莫耳數	$3.35 \times 10^{-4}$	$3.25 \times 10^{-4}$	$2.375 \times 10^{-4}$	$2.875 \times 10^{-4}$

### ▲ 取 2 毫升乙烯-酒精溶液以 0.1M 過錳酸鉀(KMnO<sub>4</sub>)滴定

消耗的 KMnO <sub>4</sub> 體積	4.6 mL	3.5 mL
每 2 mL 中所含乙烯莫耳數	$5.75 \times 10^{-4}$	$4.375 \times 10^{-4}$
每 1 mL 中所含乙烯莫耳數	$2.875 \times 10^{-4}$	$2.1875 \times 10^{-4}$

### ▲ 取 2 毫升乙烯-酒精溶液以 0.1M 過錳酸鉀(KMnO<sub>4</sub>)滴定

由以上滴定實驗所得的每 1 mL 中所含乙烯莫耳數取平均，得到平均每 1 mL 中所含乙烯莫耳數：

$3.35 \times 10^{-4}$	$2.375 \times 10^{-4}$	$2.875 \times 10^{-4}$
$3.25 \times 10^{-4}$	$2.875 \times 10^{-4}$	$2.1875 \times 10^{-4}$

→ 平均每 1mL 含有  $2.885 \times 10^{-4}$  莫耳的乙烯



(二) 由滴定實驗結果可得知以下數據

1. 乙烯-酒精溶液莫耳濃度： $2.885 \times 10^{-1} \text{M}$
2. 取 1mL 乙烯-酒精溶液秤重：0.84g
3. 密度： $0.84 \text{g/cm}^3$
4. 每 1 毫升乙烯-酒精溶液中含有  $2.885 \times 10^{-1}$  莫耳的乙烯 (分子量=28)
5. 每 1 毫升乙烯-酒精溶液中乙烯重： $2.885 \times 10^{-1} \times 28 = 8.08 \text{g}$   
 溶液重： $1000 \times 0.84 = 840 \text{g}$   
 酒精重： $840 - 8.08 = 831.92 \text{g}$

三、觀察香蕉的顏色變化可知乙烯確實能將香蕉催熟。於是我們更進一步利用 HEMA-ETPTA 複合多孔性薄膜，於其上滴入我們製備的乙烯-酒精溶液，來催熟香蕉。並將光譜圖上的波峰數值代入布拉格繞射公式

$\lambda = 2nd \sin \theta$ ，以平均折射率求出薄膜內所剩乙烯的體積百分比

$\lambda = 2nd \sin \theta$

$\lambda$	波峰(nm)
n	平均有效折射率
d	$\sqrt{2/3}$ 晶格間距(254nm)
$\sin \theta$	$\theta$ 入射光源角度(垂直入 $\sin \theta = 1$ )

(一) 未滴入乙烯未滴入乙烯-酒精溶液時，HEMA-ETPTA 複合高分子薄膜平均有效折射率： $\lambda = 2nd \sin \theta \rightarrow 439.99 = 2 \times n \times \sqrt{2/3} \times 254 \times 1$ ， $n = 1.06$

(二) 滴入乙烯-酒精溶液後觀察薄膜光譜波峰位置的變化，並記錄下波長一蝕刻去二氧化矽孔洞後，孔洞所佔的體積百分率為 74%；HEMA-ETPTA 複合高分子所佔的體積百分率為 24%。假設薄膜孔洞內含的乙烯-酒精體積百分率為 x，已知酒精平均折射率約為 1.36：

$$\lambda = 2nd \sin \theta$$

$$\rightarrow \lambda = 2(0.74(1.36x + 1(1-x)) + 0.26 \times 1.06) \times \sqrt{2/3} \times 254 \times 1$$

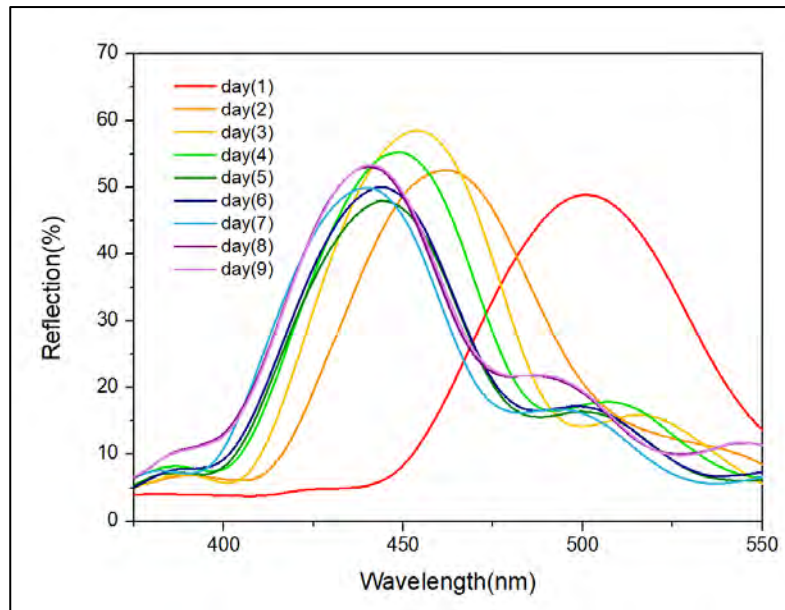
將實驗分為三組：

(1) 薄膜上滴入乙烯-酒精溶液後，馬上放入裝有香蕉的盒子內

第一天	504.56nm	x=75.3%
第二天	461.57nm	x=36.41%
第三天	455.07nm	x=30.53%
第四天	447.79nm	x=23.94%
第五天	444.93nm	x=21.35%

▲不同時間下，薄膜光譜波峰波長位置變化及薄膜孔洞內含的乙烯-酒精體積百分率(x)

由實驗結果可得知香蕉約需要 5 天的時間，即可成功被薄膜內的乙烯催熟。

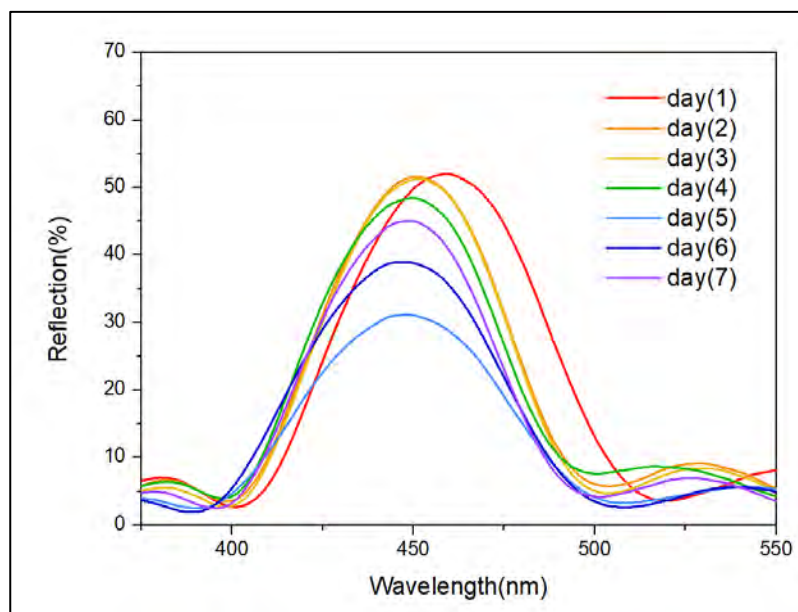


(2) 薄膜上滴入乙烯-酒精溶液一小時後，再放入裝有香蕉的盒子內

第一天	467.02nm	x=39.82%
一小時後	461.05nm	x=34.42%
第二天	453.25nm	x=27.36%
第三天	451.95nm	x=26.18%
第四天	449.09nm	x=23.59%
第五天	448.31nm	x=22.89%

▲ 不同時間下，薄膜光譜波峰波長位置變化及薄膜孔洞內含的乙烯-酒精體積百分率(x)

由實驗結果可得知香蕉約需要 5 天的時間，即可成功被薄膜內的乙烯催熟。

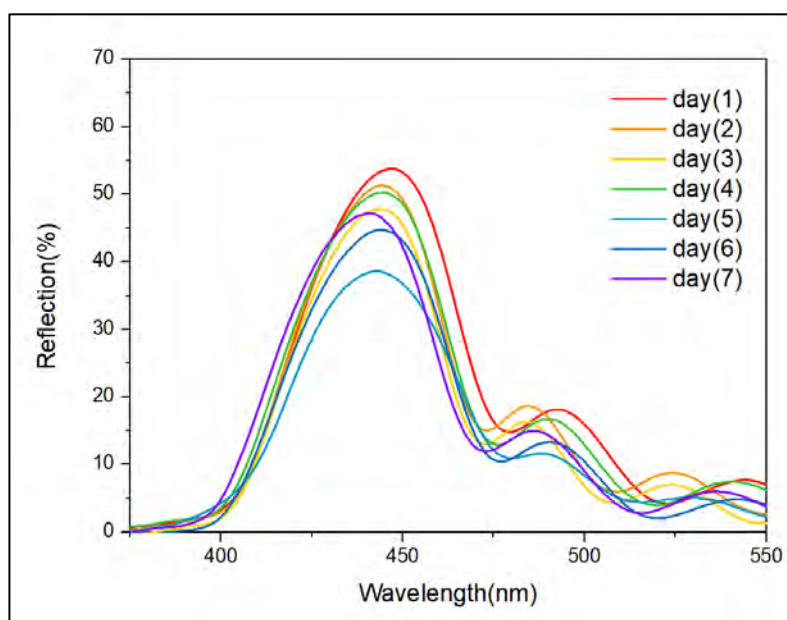


(3)一天前在薄膜上滴入乙烯酒精溶液，隔天再放入裝有香蕉的盒子內

滴上乙烯酒精溶液	453.77nm	x=28.62%
第一天	448.31nm	x=23.68%
第二天	445.97nm	x=21.56%
第三天	444.15nm	x=19.91%
第四天	443.63nm	x=19.44%
第五天	443.63nm	x=19.44%
第六天	443.11nm	x=18.97%
第七天	443.11nm	x=18.97%

▲不同時間下，薄膜光譜波峰波長位置變化及薄膜孔洞內含的乙烯-酒精體積百分率(x)

由實驗結果可得知香蕉約需要 7 天的時間，即可成功被薄膜內的乙烯催熟。



## 柒、 結論

- 一、 我們的薄膜採用 ETPTA：HEMA 重量比為 2：3 的複合高分子來製作，將乙烯-酒精溶液滴在複合多孔性薄膜上並將其與香蕉放在一起裝在密封的盒子裡，確保空氣流通不會影響實驗的進行。
- 二、 我們將乙烯溶進有機溶劑四氯化碳、正己烷及酒精中，把這些溶液分別滴在衛生紙上、和未催熟的綠香蕉放在一起；觀察後發現乙烯-四氯化碳及乙烯-正己烷會讓香蕉表皮發黑，而乙烯-酒精溶液沒有這個問題，因此我們採用乙烯-酒精溶液來接續以下的實驗。
- 三、 我們接續讓香蕉放在不同環境下：純香蕉、酒精+香蕉、乙烯-酒精溶液+香蕉（三種都在密封的盒子裡），觀察乙烯真的能有效催熟香蕉。所以我們將乙烯-酒精溶液滴在薄膜上，讓薄膜吸附乙烯-酒精溶液並逐漸揮發，達到催熟香蕉的效果，約需 5 天。
- 四、 比較薄膜內不同乙烯含量催熟香蕉的效果：發現當薄膜滴入乙烯-酒精溶液一小時內，光譜圖上波峰位置變化量最多。  
於是，我們分別用三種不同乙烯含量的薄膜：發現薄膜內乙烯的含量越少，催熟香蕉所需要的時間也越長。其中，一天前滴入乙烯-酒精溶液的薄膜，約需要七天的時間才能把香蕉催熟；而滴入乙烯-酒精溶液後馬上放入盒子內的薄膜以及一小時後放入盒子內的薄膜，則需要五天的時間即可把香蕉催熟。我們希望能藉此透過薄膜內乙烯的含量來控制香蕉被催熟的時間。
- 五、 純香蕉、滴入酒精的薄膜+香蕉、滴入乙烯-酒精的薄膜+香蕉分別放在密封的盒子裡。觀測薄膜光譜波峰位置的變化，代入公式 $\lambda = 2nd \sin \theta$ 求出薄膜內所剩的乙烯-酒精溶液之體積百分比，並對應香蕉催熟的情形。

## 捌、 未來展望

- 一、目前我們可以利用薄膜的光譜圖，由光譜圖上的波長數值得到薄膜內剩餘的乙烯體積百分率。未來我們希望可以嘗試用不同的高分子來製備薄膜，並藉由薄膜顏色的變化就可以得知剩餘的乙烯含量。
- 二、透過不同孔徑大小的薄膜來比較薄膜釋放乙烯催熟香蕉所需的時間。

## 玖、 參考資料

- 一、 柯雅齡（2015）。刮刀塗佈自組裝多孔性光子晶體於蒸氣檢測之應用。中興大學化學工程研究所碩士學位論文。中興大學。
- 二、 王柏傑、劉冠伯、吳軒安（2014）。乙烯水果熟不熟。  
<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/53/pdf/040204.pdf>
- 三、 邱芷柔、顏宏駿（2017 年 1 月 26 日）。台灣香蕉研究所：催熟香蕉 有 3 種方式。自由時報。<http://news.ltn.com.tw/news/society/paper/1074190>

## 【評語】 052202

1. 本計畫主題為製備複合光子晶體薄膜及探討乙烯催熟水果。
2. 實驗設計方法符合科學精神。
3. 應用高分子自組裝及模板蝕刻技術製備可吸附或控制釋放之材料，構想具新穎性及挑戰性。
4. 樣品重複數與標準偏差應說明清楚。



## 摘要

本實驗利用甲基丙烯酸-2-羥基乙酯(HEMA)高分子及乙氧基化三羥甲基丙烷三丙烯酸酯(ETPTA)高分子製成複合高分子薄膜，滴入我們製備的乙烯-酒精溶液，待薄膜揮發出乙烯以催熟水果。再利用紫外線光譜儀檢測薄膜之波峰位置，並將波長數值代入公式求出薄膜內所剩的乙烯體積百分比，並對應出香蕉被催熟的情形

## 壹、研究動機與目的

常見的催熟方法：

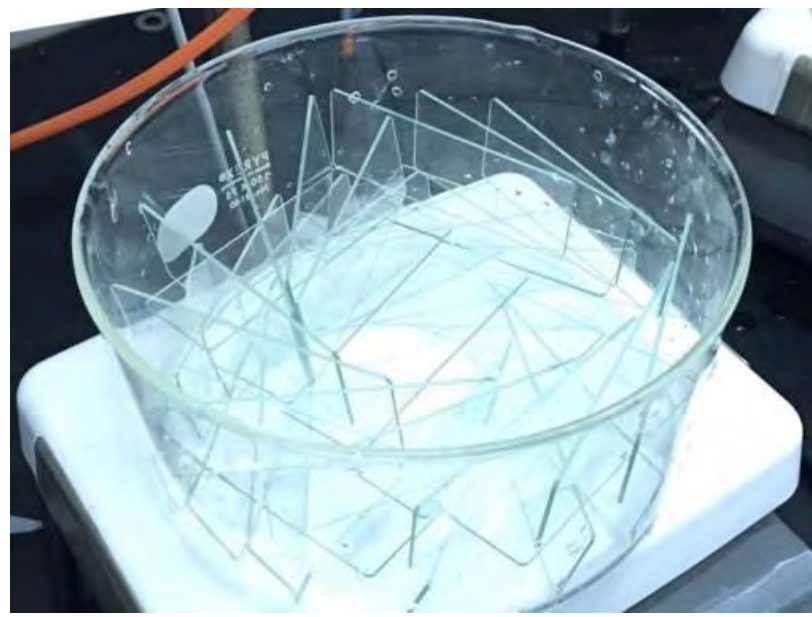
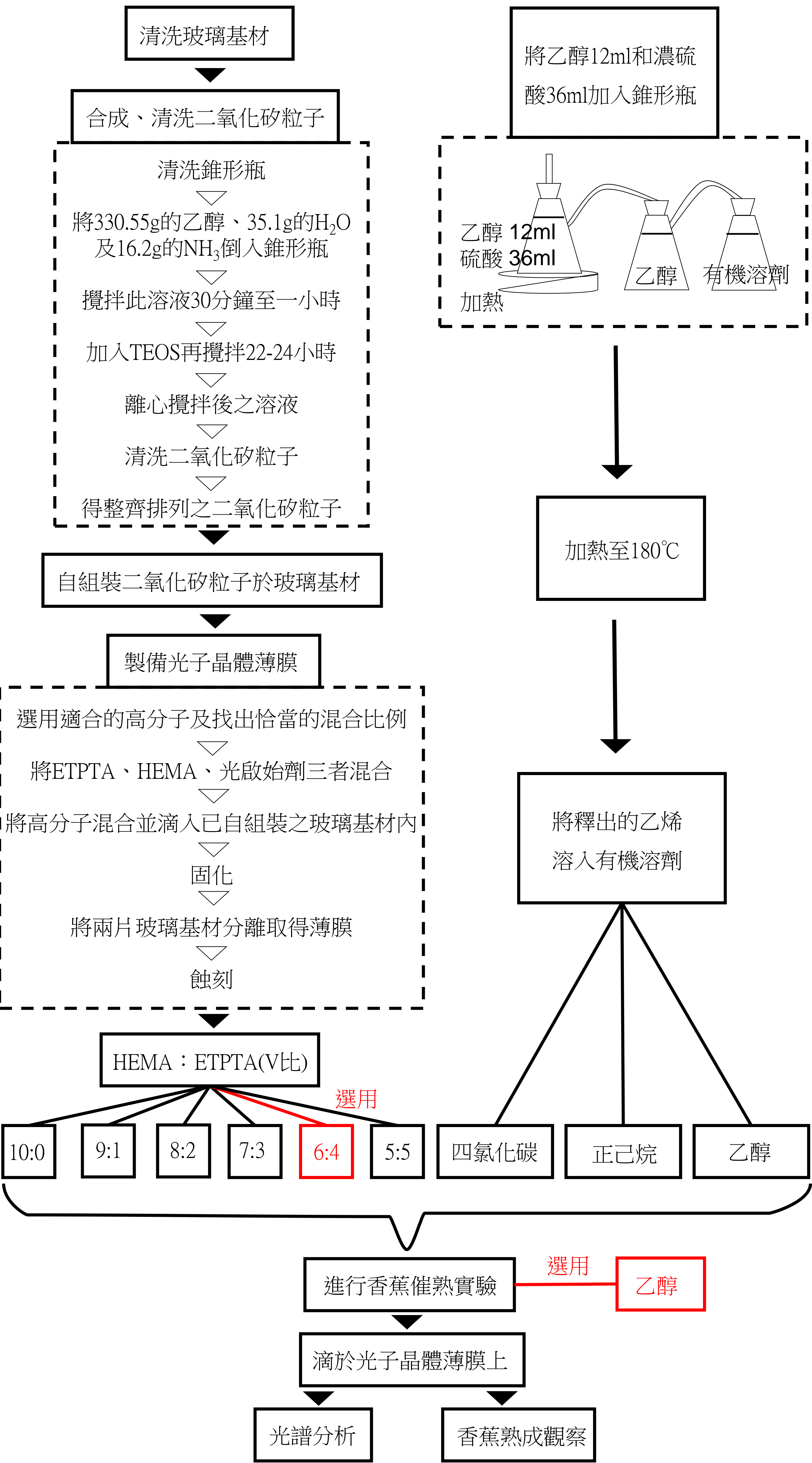
- 一. 小農常用「碳化鈣」來催熟。碳化鈣俗稱電石，加入水後會變成乙炔，會激發香蕉本身的乙烯，讓果皮快速從 綠轉黃。
- 二.大量的香蕉，通常會放進15~20度的冰庫內；冰庫內會放置乙烯發生器，將工業酒精倒入發生器，會產生乙烯氣體讓香蕉表皮接觸乙烯，就能讓香蕉釋放乙烯加速熟成。
- 三. 一般家庭若要催熟香蕉，可在香蕉旁擺放蘋果或拜拜用的香，蘋果釋放的乙烯能讓香蕉跟著釋放乙烯加速熟成。

我們想要藉由薄膜慢慢釋放乙烯來催熟香蕉，以期利用在外銷水果的市場上，為果農解決水果過剩的危機。

## 貳、研究藥品與器材

- 一.藥品：氨水、去離子水、純酒精、HF、乙氧基化三羥甲基丙烷三丙烯酸酯(ETPTA)高分子、甲基丙烯酸-2-羥基乙酯(HEMA)高分子、乙烯-酒精溶液、二氧化矽前驅物TEOS、光啟始劑
- 二.器材：錐形瓶、離心管、針筒、燒杯、拭鏡紙、磁石、玻璃基材、小盒子、電子秤、超音波破膜機、離心機、磁石攪拌加熱板、紫外線光譜儀、震盪攪拌儀、UV Box

## 參、研究過程與方法



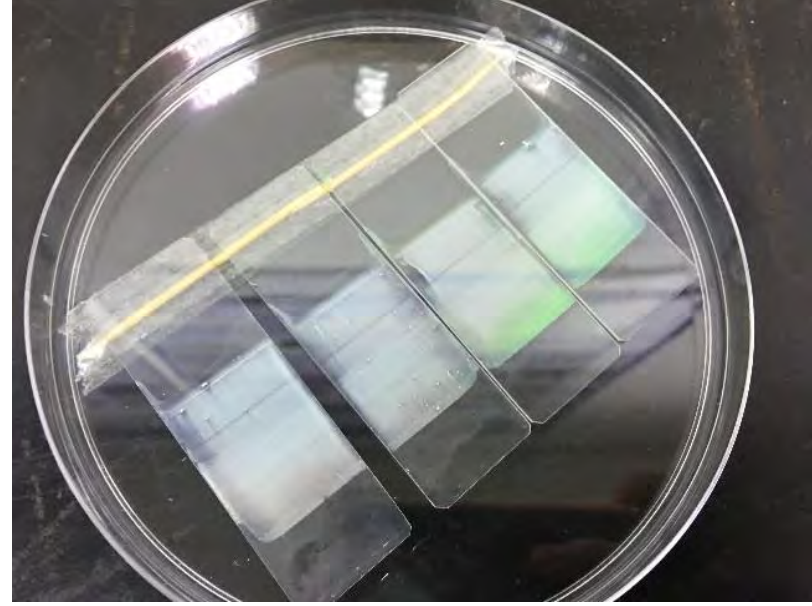
1. 合 OH 基於玻璃基材



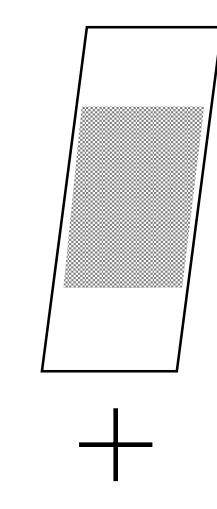
2. 合成SiO<sub>2</sub>粒子



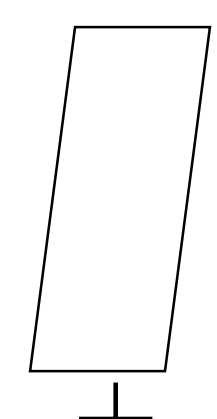
3. 清洗SiO<sub>2</sub>粒子



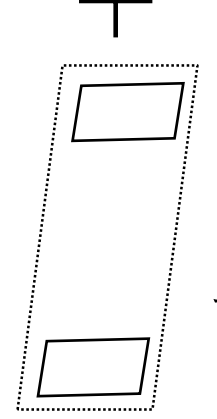
4. 已自組裝之玻璃基材



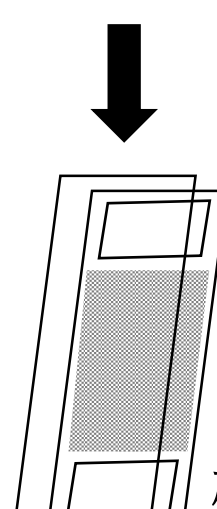
已自組裝之玻璃基材



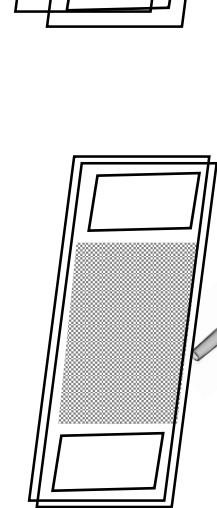
乾淨的玻璃基材



兩端貼上9-10層的雙面膠

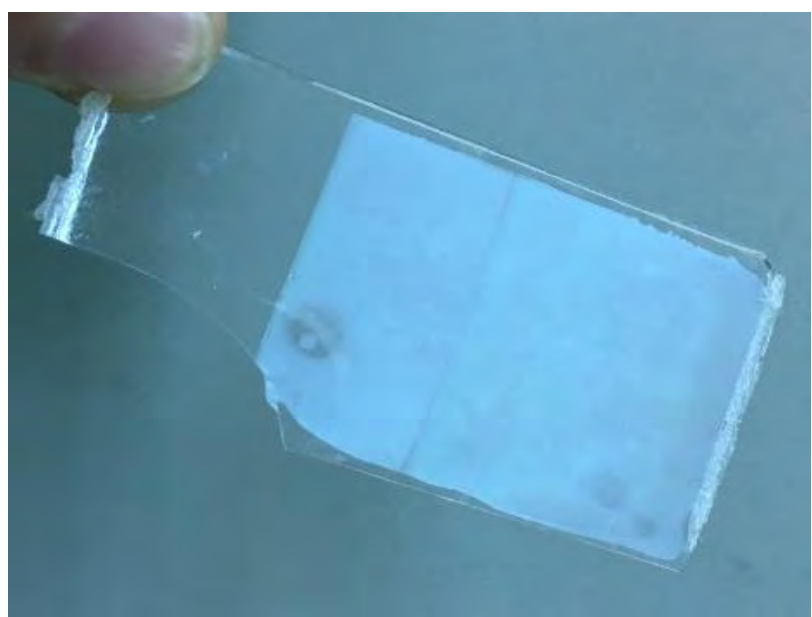


將兩片玻璃基材互相貼合



在玻璃基材間滴入  
高分子混合液

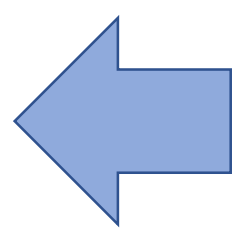
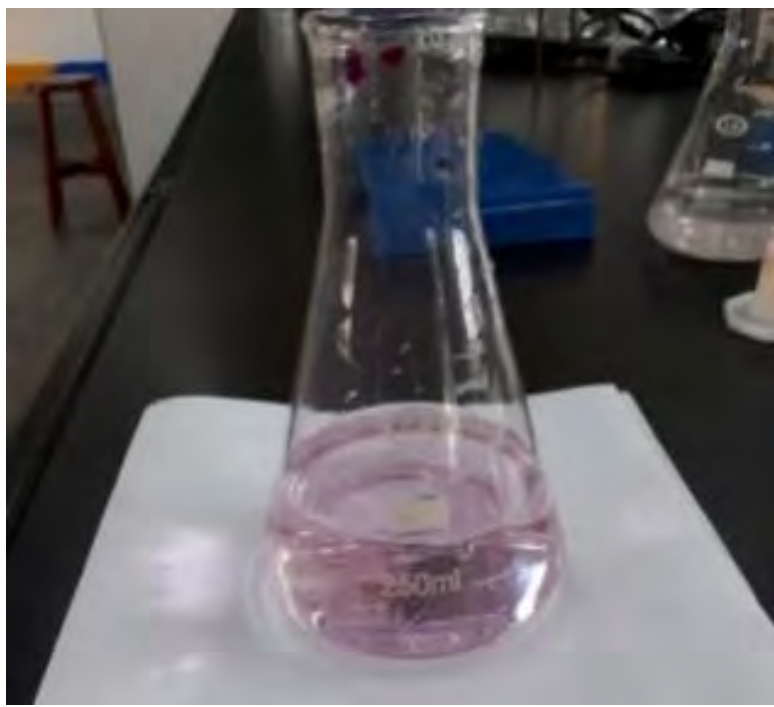
5. 製作光子晶體薄膜之示意圖



6. 蝕刻後的光子晶體薄膜



肆、實驗結果與討論



以過錳酸鉀滴定乙烯-酒精溶液(暗紫色變成粉紅色)，算出每1mL溶液中含有 $2.885 \times 10^{-4}$ mol的乙烯。

一、以酒精和硫酸加熱至180℃ 製備乙烯  $\text{CH}_2\text{HCH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O}$

分別取1毫升及2毫升由上述實驗所得的乙烯-酒精溶液，以0.1M過錳酸鉀(KMnO<sub>4</sub>)滴定。

消耗的KMnO <sub>4</sub> 體積	3mL	2.6 mL	1.9 mL	2.3 mL
每1 mL中所含乙烯莫耳數	$3.35 \times 10^{-4}$	$3.25 \times 10^{-4}$	$2.375 \times 10^{-4}$	$2.875 \times 10^{-4}$

▲ 取1毫升乙烯-酒精溶液以0.1M過錳酸鉀(KMnO<sub>4</sub>)滴定

消耗的KMnO <sub>4</sub> 體積	4.6 mL	3.5 mL
每2 mL中所含乙烯莫耳數	$5.75 \times 10^{-4}$	$4.375 \times 10^{-4}$
每1 mL中所含乙烯莫耳數	$2.875 \times 10^{-4}$	$2.1875 \times 10^{-4}$

▲ 取2毫升乙烯-酒精溶液以0.1M過錳酸鉀(KMnO<sub>4</sub>)滴定

由以上滴定實驗所得的每1 mL中所含乙烯莫耳數取平均，得到平均每1mL含有 $2.885 \times 10^{-4}$ 莫耳的乙烯。

由滴定實驗結果可得知以下數據：

(一)乙烯-酒精溶液莫耳濃度： $2.885 \times 10^{-1}\text{M}$ ，每1毫升乙烯-酒精溶液中含有 $2.885 \times 10^{-4}$ 莫耳的乙烯 (分子量=28)

(二)溶液重： $1000 \times 0.84 = 840\text{g}$ ，酒精重： $840 - 8.08 = 831.92\text{g}$

二、找出能夠成膜之HEMA：ETPTA比例

HEMA：ETPTA (W比)	10：0	9：1	8：2
成膜情形			
HEMA：ETPTA (W比)	7：3	6：4	5：5
成膜情形			

我們加入高分子HEMA來製備複合高分子薄膜，因為HEMA高分子上有OH基，酒精蒸氣較容易吸附在薄膜孔洞，使得HEMA高分子膨潤，增加酒精溶液蒸發的時間。我們試了6種不同HEMA和ETPTA的比例來製備薄膜，但前四種HEMA高分子所佔的比例太高，製成的薄膜過軟，因此成膜失敗。為了使酒精蒸氣吸附於薄膜孔洞內的時間拉長，我們選用HEMA高分子比例較高的薄膜(6：4)，以此進行香蕉催熟的實驗。

三、在薄膜上滴入我們製備的乙烯-酒精溶液來催熟香蕉，並將光譜圖上的波峰數值代入布拉格繞射公式 $\lambda = 2nd \sin \theta$ ，以平均折射率求出薄膜內所剩乙烯的體積百分比

我們將實驗分為三組：

(一)薄膜上滴入乙烯-酒精溶液後，馬上放入裝有香蕉的盒子內

第一天	504.56nm	x=75.3%
第二天	461.57nm	x=36.41%
第三天	455.07nm	x=30.53%
第四天	447.79nm	x=23.94%
第五天	444.93nm	x=21.35%

▲ 不同時間下，薄膜光譜波峰波長位置變化及薄膜孔洞內含的乙烯-酒精體積百分率(x)

由實驗結果可得知香蕉約需要5天的時間，即可成功被薄膜內的乙烯催熟。

(二)薄膜上滴入乙烯-酒精溶液 一小時後，再放入裝有香蕉的盒子內

一小時後	467.02nm	x=39.82%
第一天	461.05nm	x=34.42%
第二天	453.25nm	x=27.36%
第三天	451.95nm	x=26.18%
第四天	449.09nm	x=23.59%
第五天	448.31nm	x=22.89%

▲ 不同時間下，薄膜光譜波峰波長位置變化及薄膜孔洞內含的乙烯-酒精體積百分率(x)

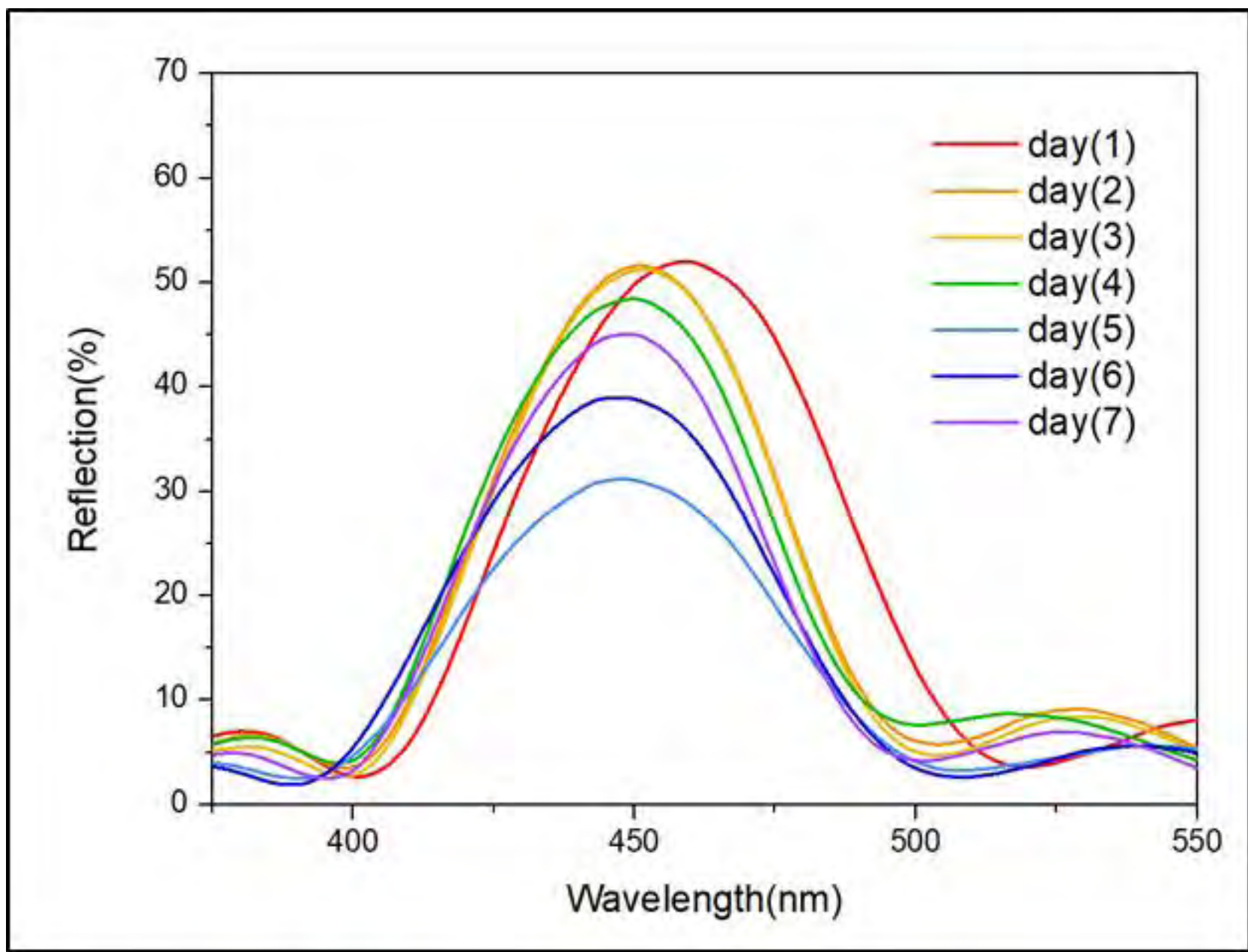
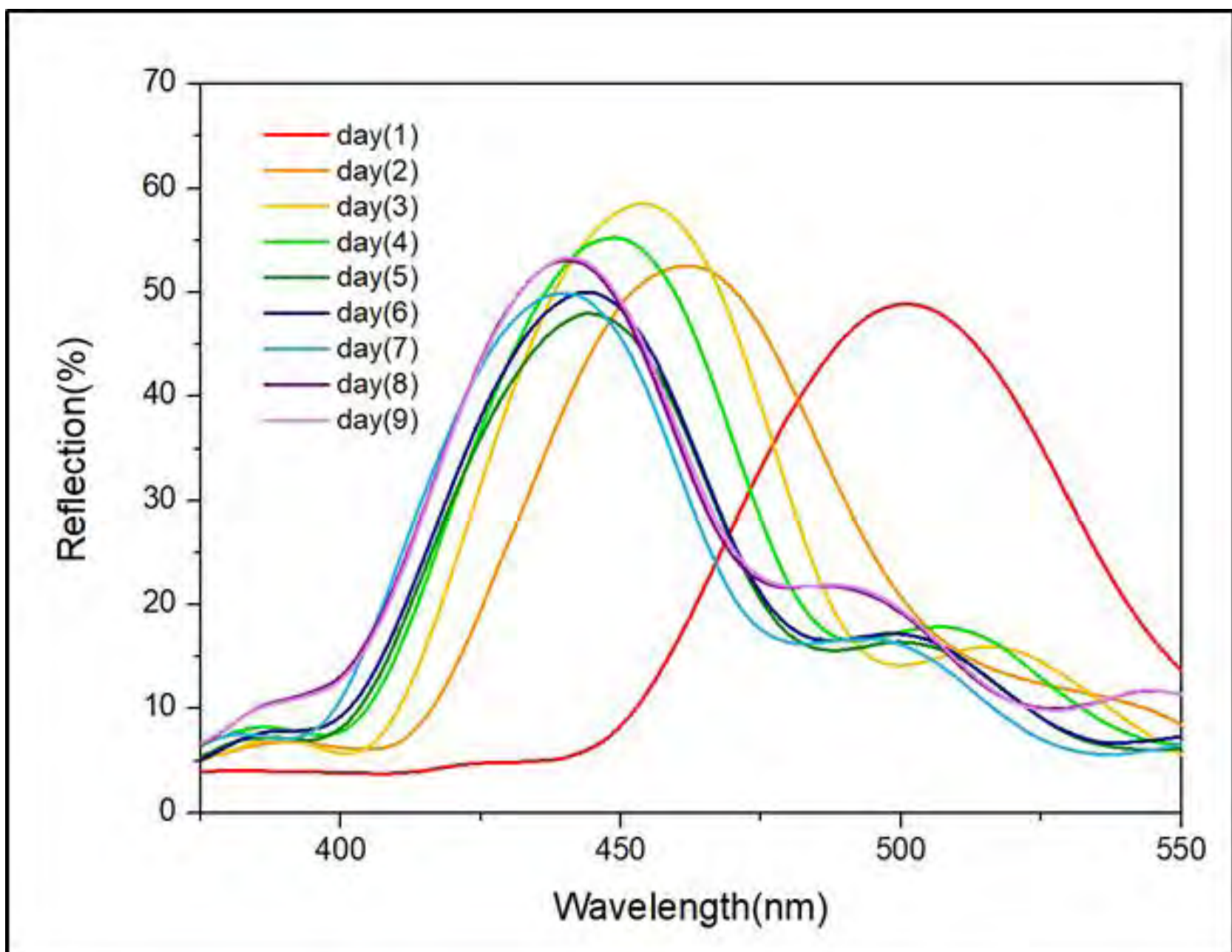
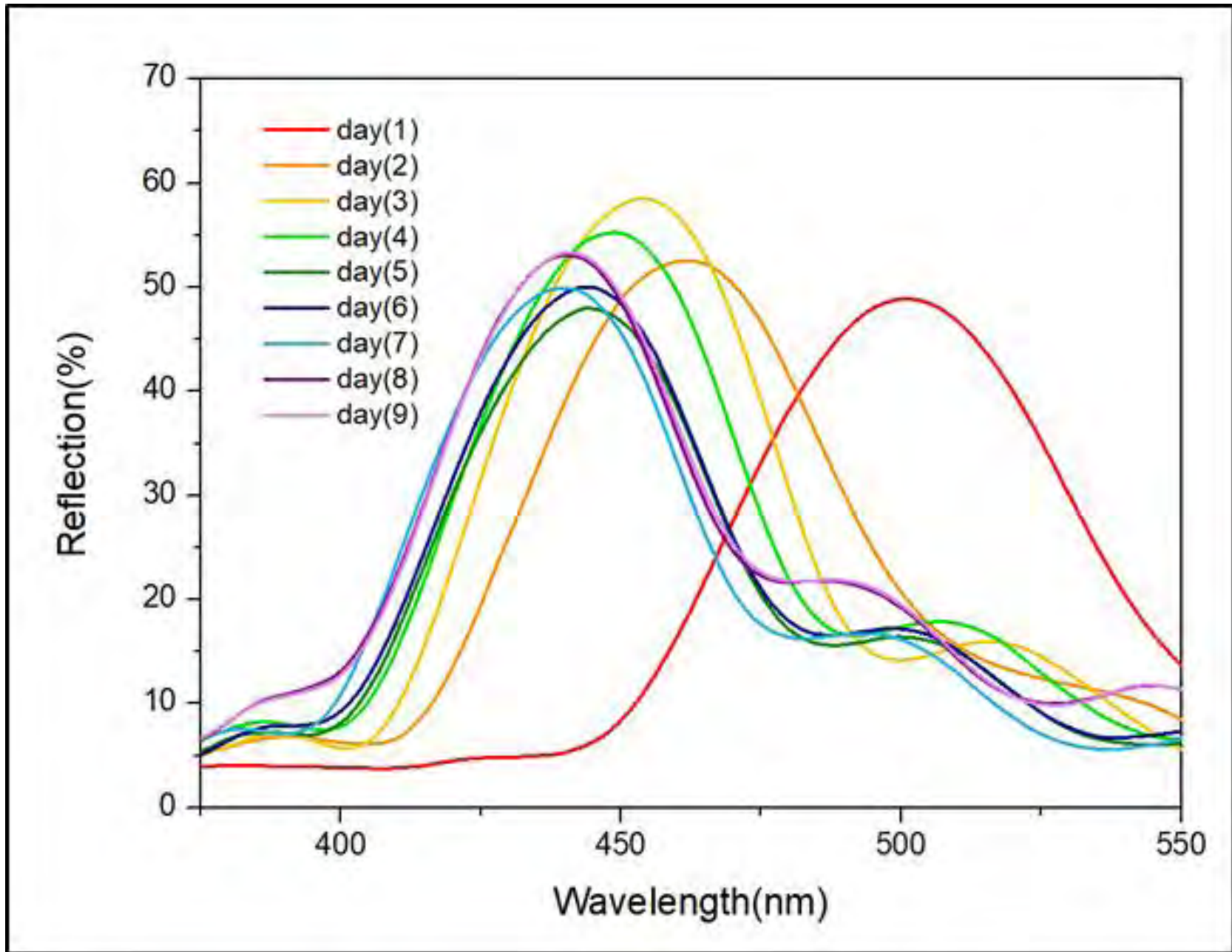
由實驗結果可得知香蕉約需要5天的時間，即可成功被薄膜內的乙烯催熟。

(三)一天前在薄膜上滴入乙烯酒精溶液，隔天再放入裝有香蕉的盒子內

滴上乙烯酒精溶液	453.77nm	x=28.62%
第一天	448.31nm	x=23.68%
第二天	445.97nm	x=21.56%
第三天	444.15nm	x=19.91%
第四天	443.63nm	x=19.44%
第五天	443.63nm	x=19.44%
第六天	443.11nm	x=18.97%
第七天	443.11nm	x=18.97%

▲ 不同時間下，薄膜光譜波峰波長位置變化及薄膜孔洞內含的乙烯-酒精體積百分率(x)

由實驗結果可得知香蕉約需要7天的時間，即可成功被薄膜內的乙烯催熟。





(三) 使用薄膜吸附乙烯-酒精溶液催熟香蕉並比較薄膜內不同乙烯含量催熟香蕉的時間

1. 實驗器材：塑膠盒、HEMA/ETPTA複合性多孔薄膜、香蕉、乙烯-酒精溶液
2. 實驗裝置：將香蕉及光子晶體薄膜擺在塑膠盒內

將實驗分為五組:






(1)盒子內只有香蕉

第一天	第二天	第三天	第四天	第五天	第六天	第七天
						






(2)薄膜上滴酒精

第一天	第二天	第三天	第四天	第五天	第六天	第七天
						

(3)薄膜上滴入乙烯—酒精溶液後，馬上放入裝有香蕉的盒子

第一天	第二天	第三天	第四天	第五天
				
X=75.3%	X=36.41%	X=30.53%	X=23.94%	X=21.35%

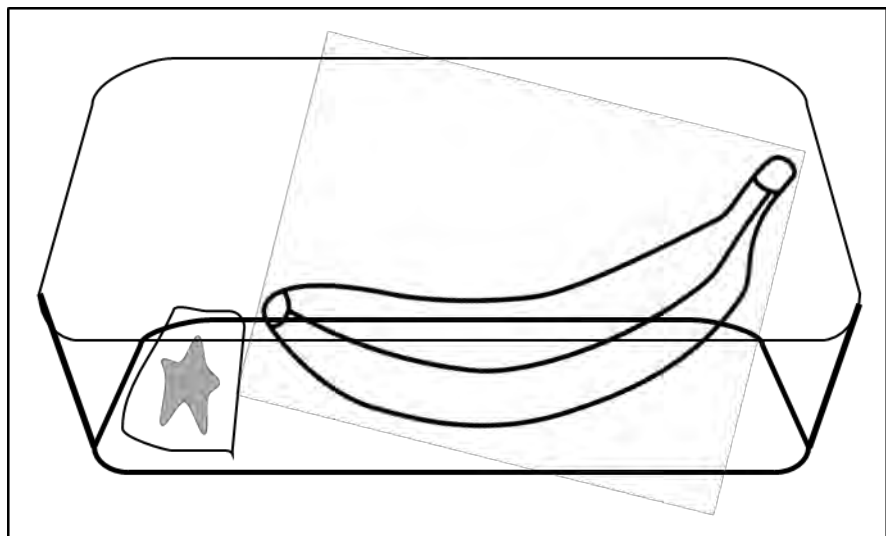
(4)薄膜上滴入乙烯—酒精溶液一小時後，再放入裝有香蕉的盒子

第一天	第二天	第三天	第四天	第五天
				
X=39.82%	X=27.36%	X=26.18%	X=23.59%	X=22.89%

(5)一天前薄膜上滴入乙烯—酒精溶液，隔天再放入裝有香蕉的盒子

第一天	第二天	第三天	第四天	第五天	第六天	第七天
						
X=23.68%	X=21.56%	X=19.91%	X=19.44%	X=19.44%	X=18.97%	X=18.97%

實驗裝置:  
在塑膠盒內放入香蕉及薄膜，薄膜上依實驗需求分別滴上不同溶液，再用保鮮膜密封。



▲ 實驗裝置示意圖

## 伍、結論

一.本研究發現，薄膜採用ETPTA：HEMA重量比為2：3的複合高分子來製作，可以有最佳的的成膜情形。

二.香蕉催熟:

1. 純香蕉組和薄膜內吸附酒精，這兩組的香蕉在7天後都還沒有被催熟的情形。
2. 薄膜內吸附乙烯酒精溶液(X=75.3%)的香蕉組於五天後成熟。
3. 薄膜內吸附乙烯酒精溶液(X=39.82%)的香蕉組於五天後成熟。
4. 薄膜內吸附乙烯酒精溶液(X=23.68%)的香蕉組則需要7天才能催熟香蕉。
5. 由以上三點我們推測：當薄膜內承載的乙烯含量越多，催熟香蕉所需的時間越短；但當薄膜內乙烯含量高於40%時，催熟效果無明顯提升。

三.經紫外線光譜圖可觀測到薄膜的波峰位置變化，並且將波長數值帶入布拉格繞射公式 $\lambda = 2nd \sin \theta$ ，即可求出薄膜內所剩的乙烯體積百分率，並且對應香蕉被催熟的情形。

## 陸、未來展望

- 一.目前我們可以利用薄膜的光譜圖，由光譜圖上的波長數值得到薄膜內剩餘的乙烯體積百分率。未來我們希望可以嘗試用不同的高分子來製備薄膜，並藉由薄膜顏色的變化就可以得知剩餘的乙烯含量。
- 二.透過不同孔徑大小的薄膜來比較薄膜釋放乙烯催熟香蕉所需的時間。

## 柒、參考資料

- 一.柯雅齡（2015）。刮刀塗佈自組裝多孔性光子晶體於蒸氣檢測之應用。中興大學化學工程研究所碩士學位論文。中興大學。
- 二.王柏傑、劉冠伯、吳軒安（2014）。乙烯水果熟不熟。
- 三.邱芷柔、顏宏駿（2017年1月26日）。台灣香蕉研究所：催熟香蕉有3種方式。自由時報。  
<http://news.ltn.com.tw/news/society/paper/1074190>