

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(二)科

第二名

082931

隱形的木材-透明木材的製作、性質與應用

學校名稱：臺中市南屯區惠文國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳稚澧	陳俊明
小六 賴又瑄	陳姿杏
小六 彭雋皓	
小六 陳相佐	
小五 郭子琦	
小五 李若瑄	

關鍵詞：透明木材、透光度、木質素

## 摘要

透明木材是什麼?透明木材是一種嶄新的未來性材料，兼具木材和玻璃的優點，材質輕盈、機械性佳、耐熱且不易被破壞，具有高透光、能阻隔紫外線及高光學霧性等。透明木材的製作可用 1 mm 飛機木放入去木質素液加熱 6 小時再經過水洗、漂白、以 95%酒精清除木質素、填充環氧樹脂，在真空環境中靜置成形。實驗中發現以 1M 氫氧化鈉加 0.8M 亞硫酸鈉組成的去木質素鹼液製成的透明木材透光度最好，可達 65%。在應用上，將透明木材放在太陽能光電板前，僅比玻璃減少 5%的電壓，顯示透明木材可阻止光線卻不會減低太陽能光電板的發電能力。實驗也發現，透明木材的導熱能力和木片、玻璃相當。以透明木材製作光霧百葉窗，能濾除 44%光線，提升 23%室內均勻度，值得更深入研究。

## 壹、前言

### 一、研究動機

在報紙看到美國的科學家發明了一種透明木材，有 90%的透光度，是未來重要的材料，剛好看到一位國中生以簡單的方法作出透明木材，這引起我的好奇，想試試可不可以製作出透明木材。

### 二、研究目標

1. 了解透明木材製作的原理。
2. 探究透明木材製作的方法，並找出最佳操作條件。
3. 學習如何測量透明木材的性質。
4. 找尋透明木材在生活中的應用。

### 三、文獻探討

我們最早是在網路上看到關於透明木材的訊息，經過搜尋，國內科展並沒有找到相關的研究，只能在網路上找到一些介紹的文章，其中在英文的維基百科，以「Transparent Wood」可以找到相關資料，再利用線上翻譯了解做法。此外，在影音資料，大部分是外國人製作的影片，但有一段是國內國中生拍攝的製作過程，我們參考這幾段影片設計我們的實驗流程。

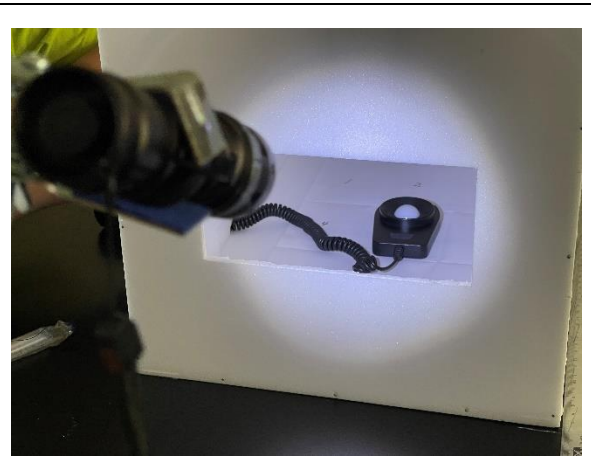
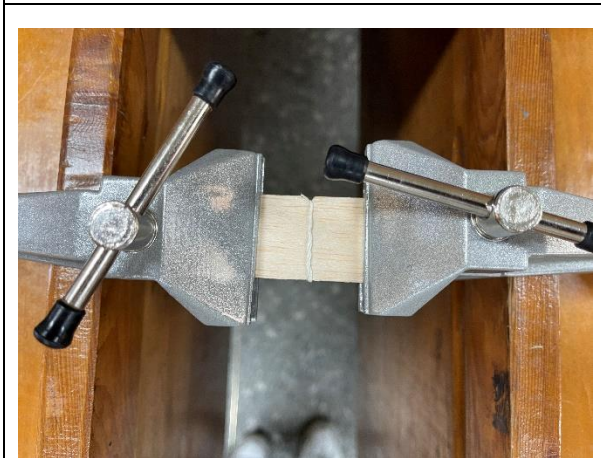
## 貳、研究設備及器材

### 一、研究器材設備：

黑晶爐、電磁攪拌器、手動真空裝置、真空馬達、真空釜、酸鹼計、電子秤、計時器、溫度計、漏斗架、工作鉗台、微距鏡、照相設備、太陽能光電板、三用電表、黑燈管、打火機、熱熔槍、各式燒杯、各式量筒、表玻璃、分離式照度計、燈泡、紙箱、保麗龍盒、洗滌瓶、吸管、美工刀、剪刀、鑷子、刻磨機。

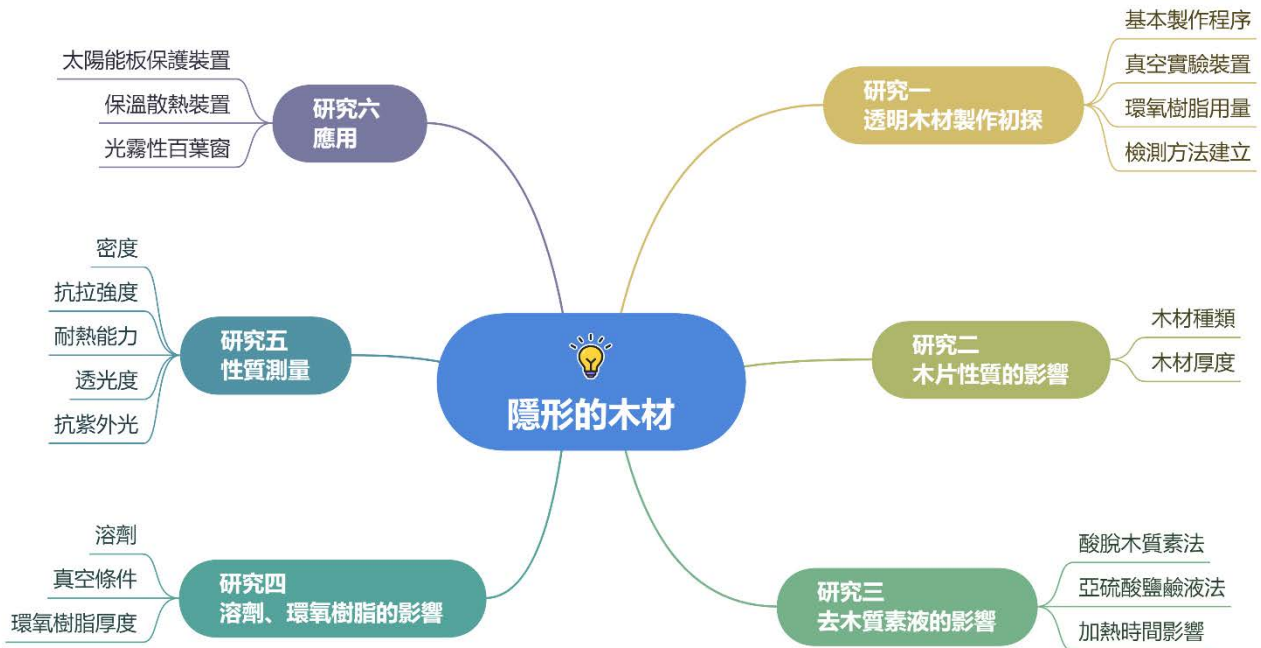
### 二、研究材料：

飛機木、檜木、椴木、氫氧化鈉、亞硫酸鈉、次氯酸鈉、冰醋酸、99.5%酒精、95%酒精、丙酮、異丙醇、乙醚、環氧樹脂、檸檬酸鐵銨、赤血鹽、鋁箔紙、水、珍珠板。



# 參、研究過程、結果與討論

## 一、研究架構



## 二、實驗方法


### 研究一 透明木材製作初探

我們參考所蒐集的文獻資料與影片，制定了透明木材的製作步驟，選擇 1 mm 厚度的飛機木為原料，先以鹼液加熱破壞木質素，接著進行漂白，再以溶劑清洗，最後添加環氧樹脂和真空處理就可以做成透明木材，並進行透明度、透光度測試，以了解材料的性質。

#### 一、研究方法



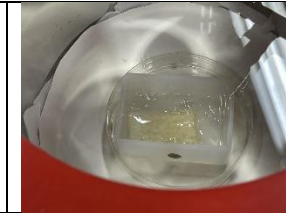
##### (一)第一次測試

			
<p><b>1.裁切木片</b> 將木材裁成 5×3 公分木片。</p>	<p><b>2.溶解木質素</b> 配製 2.5M 氫氧化鈉+0.4M 亞硫酸鈉溶液，將木片浸入溶液加熱 8 小時。</p>	<p><b>3.沖洗木片</b> 以洗滌瓶裝水，沖洗去除木片上的鹼液。</p>	<p><b>4.漂白木片</b> 將木片浸泡在 8% 的雙氧水，加熱 1 小時。</p>

			
<b>5.溶劑去除木質素</b> 將木片浸泡在 100 毫升 95%酒精，至少 12 個小時。	<b>6.添加環氧樹脂</b> 以矽膠模具，放入木片，並倒入 10 公克環氧樹脂。	<b>7.抽真空</b> 將矽膠模放入真空裝置，以手抽工具抽至真空。	<b>8.靜置成形</b> 將抽完真空的成品放置 48 小時，取出進行測試。

(二)第二次測試：真空裝置的改良


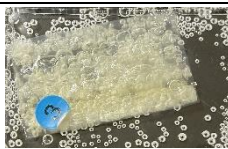










因為第一次測試時，所使用的手抽真空裝置**無法達到需要的真空度**，且不易去除環氧樹脂的氣泡，所以**修正使用真空馬達除氣泡及提升真空度**。

		
第一次測試使用的手抽真空裝置	第二次測試使用真空馬達+真空釜	真空釜內環氧樹脂因達真空冒泡情形

(三)透光度測量、透明度、表面觀察

透光度測量	透明度觀察	表面紋路觀察
		

二、研究結果

	第一次測試		第二次測試	
透光度	24%	12%	49%	41%
成品				
透明度觀察				
表面觀察				

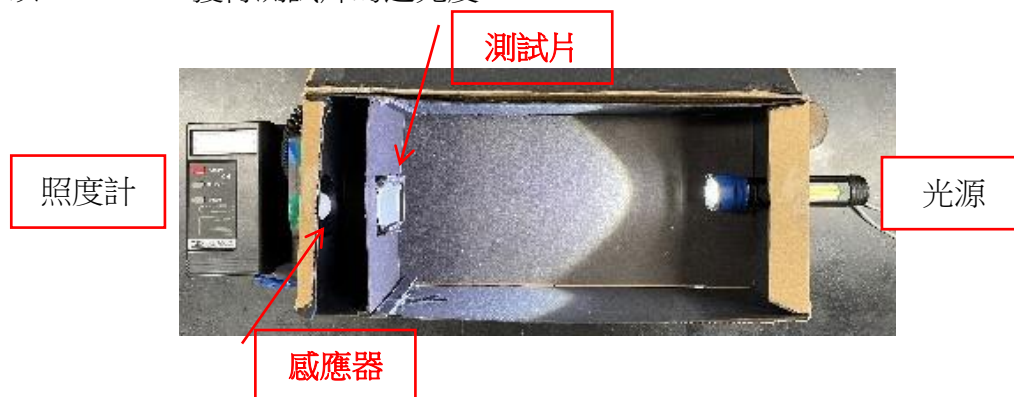
### 三、研究發現與討論

1. 在製作過程中，各步驟的目的(或注意事項)與觀察如下：

裁切木片	去木質素	沖洗木片	漂白木片
			
將木片裁切成適當大小，在我們的研究中，木片是裁切成 5 x3 公分，且 <b>長邊是順木材紋路切齊，這樣可以增加木片的強度。</b>	以氫氧化鈉+亞硫酸鈉去除木材的木質素，加熱時間為 6~8 個小時，過程中應注意木片是否彎曲，底部易有木屑沉積，影響加熱。	由於加熱時，脫落的木屑會覆蓋在木片上，為避免影響實驗，以 0.5 公升逆滲透水沖洗，保持測試木片的清潔。	漂白過程容易使木片斷裂或破損， <b>當雙氧水濃度越高，破損的比例也增加</b> ，故雙氧水的濃度以不超過 8%為原則。
			
溶劑去除木質素	添加環氧樹脂	抽真空	靜置成形
			
浸泡溶劑的目的可以去除已被破壞的木質素，實驗中發現 <b>木片浸入溶劑後，會使木片的強度增加</b> ，在實驗中使用的溶劑為 95%酒精。	經過多次測試，我們 <b>所添加的環氧樹脂為 2:1 型</b> ，先在底部倒入 5 克混合好的樹脂，再放入木片，最後再加 5 克樹脂。	以手抽式真空裝置抽真空，目的是讓環氧樹脂滲入木片纖維束，除此之外，也可以協助去除氣泡，採用抽 3 分鐘，靜置 3 分鐘，共 3 次。	抽完真空，若還有氣泡，可用打火機除泡，靜置一天後已可成形，但尚未完全硬化，至少需 48 小時才能脫模。
			

2. 兩次測試製作成品的透光度在 12%~49%之間，和文獻最高可以達到 90%相比差距頗大，代表可改善的部分還很多。我們透光度實驗是設計一個觀察盒(如下圖)，在一端設置 LED 手電筒，末端放置照度計，在距離光源 30 公分處加一個隔板，上有孔洞可放置測試片，實

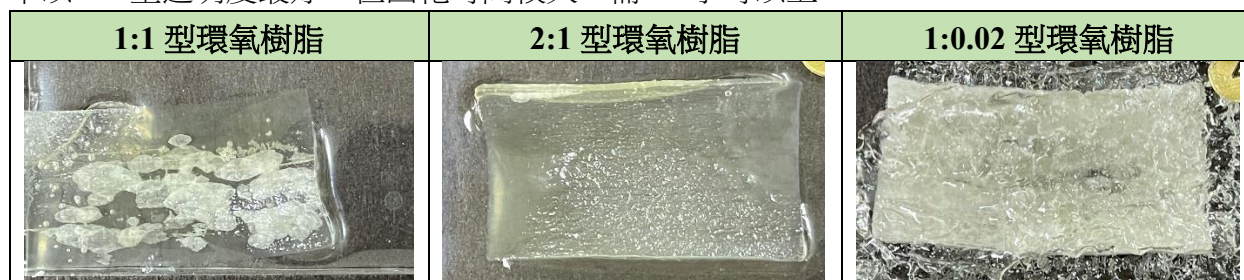
驗前須測試是否可完全遮光，在無測試片時記錄照度值(A)，放置測試片後在側一次照度值(B)，以  $B/A \times 100\%$  獲得測試片的透光度。



3. 實驗中也設計以簡易手機微距鏡觀察過程中木材表面的紋理變化，在過程中，可以看到維管束裡液體有流動的情形，可惜卻無法以拍照方式清晰呈現。



4. 在維基百科及大學論文都建議使用 MMA 為填充劑，但考量操作技術與價格，我們還是以環氧樹脂來進行實驗。環氧樹脂是一種熱固性塑膠，分為 A 劑(樹脂)和 B 劑(固化劑)，使用時將 A 劑與 B 劑混合，會發生反應放出熱量，經過一段時間形成固化。市面上有許多不同配方和比例的環氧樹脂，我們測試了三種，分別為 2:1 型、1:1 型和 1:0.02 型，其中以 2:1 型透明度最好，但固化時間較久，需 48 小時以上。



5. 在研究一最大的發現是抽真空裝置所造成的影響，原先使用臉書社團科學 maker 所製作的手抽式真空裝置，過程中發現抽完真空後，環氧樹脂仍有許多氣泡，使得成品的透明度不佳，經過資料探討，決定改用 1/4 馬力的真空馬達搭配真空釜，讓透明度提升許多，也不需另外進行除泡作業。
6. 綜合以上討論，依照我們設計的實驗流程，確實可以製作出具有部分透明度的透明木材，若要進一步提升木材的透明度，還需要改變部分實驗的變因。

## 研究二 木片種類對木材透明度的影響

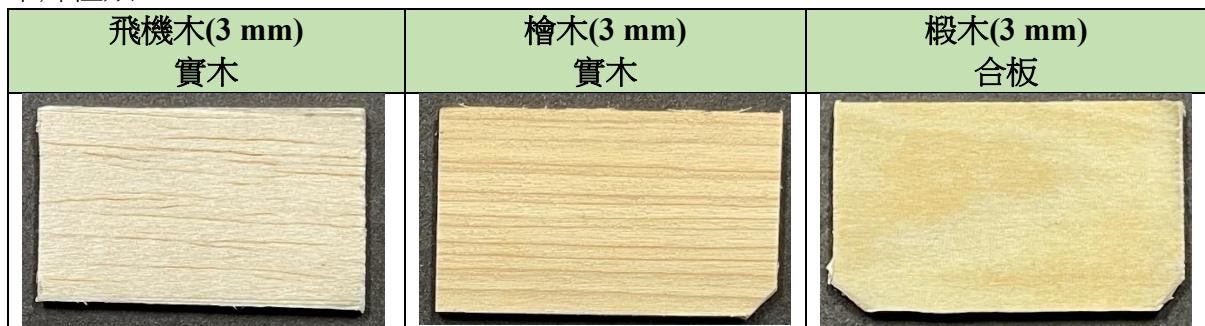
在研究一我們建立了透明木材的製作步驟，由於透明度不佳，所以我們進行各項變因的探討，試著找尋最佳的操作條件。首先針對木材種類進行探討，研究二選擇不同材質的木片，受限於市售木材的厚度我們比較了飛機木、檜木與椴木三種，此外也比較不同飛機木厚度木材。

### 一、研究變因

#### 1. 實驗變項

木片	(1)木片種類：飛機木、檜木與椴木 (2)飛機木厚度 1 mm、2 mm、3 mm
溶解木質素	浸泡 2.5M 氫氧化鈉+0.4M 亞硫酸鈉溶液並加熱 8 小時
沖洗木片	以 0.5 公升水沖洗木片表面
漂白木片	以 8%雙氧水加熱 1 小時
溶劑浸泡	95%酒精浸泡至隔日
環氧樹脂	以 2:1 型環氧樹脂，加入 8 克
抽真空	真空馬達，抽 3 分鐘、靜置 3 分鐘，共 3 次
靜置成形	放置 48 小時

#### 2. 木片種類







### 二、研究方法

實驗步驟同研究一，並參考上述實驗變項。

### 三、研究結果


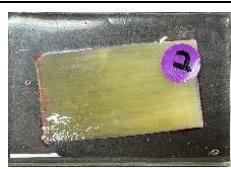
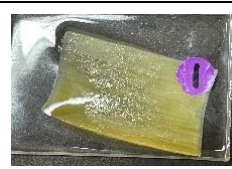



#### (1) 木片種類

	飛機木 (3 mm)	檜木 (3 mm)	椴木內層 (2 mm)	椴木薄片 (0.5 mm)
透光度	6%	1%	28%	38%
成品				





(2) 飛機木厚度

	飛機木 (3 mm)	飛機木 (2 mm)	飛機木 (1 mm)
透光度	4%	15%	23%
成品			
透明度 觀察			

四、研究發現與討論

- 我們測試了三種材質的木材：飛機木、檜木和椴木。飛機木，或稱為巴沙木，是世界上密度最小的木材之一，因為質輕、均勻容易加工，常作為絕緣材料、隔音設備等用途，也因為容易切割，可製作厚度極薄的木片；檜木，為扁柏屬的樹種，有不易腐朽的特性，常用於建材；椴木，木質軟，易切割，是製作木質餐具和其他家用物品的主要木材，本實驗是使用椴木合板。
- 文獻資料所使用的為樺木和新西蘭松木，我們考慮木片厚度的相似性，所以選擇上述三種木材進行實驗與比較。由實驗結果顯示：當木片厚度為 3 mm 時，因為是合板型式在加熱過程就已經分離成三片(椴木內層及椴木薄片)，而外層的薄片透光度最佳，可達 38%透光度，內層為 28%，雖然透光度較佳，但因為很薄非常容易破損。飛機木及檜木則可觀察到僅有測試片外圍有些微透明的情形，與研究一比較，當厚度較厚時，並不容易製作出透明木材。
- 因為無法購得更薄的檜木及椴木，所以只能以飛機木進行不同厚度的實驗。實驗結果顯示：木片厚度越薄，越容易製作出較高透明度的成品，只是還未達合理的透明程度。

## 研究三 去木質素溶液及加熱時間對木材透明度的影響



由研究二可以發現利用 1 mm 厚度的飛機木最容易製作透明木材，所以接下來的實驗都使用 1 mm 厚度的飛機木為原料。在本研究中，主要在探討去木質素溶液的種類、濃度與加熱時間，是否能提升測試片的透明度。

### 一、研究變因

木片	飛機木(厚度 1 mm)
溶解木質素	(1)次氯酸鈉法 (2)改變氫氧化鈉、亞硫酸鈉濃度 (3)加熱時間
沖洗木片	以 0.5 公升水沖洗木片表面
漂白血片	以 8%雙氧水加熱 1 小時
溶劑浸泡	95%酒精浸泡至隔日
環氧樹脂	以 2:1 型環氧樹脂，加入 8 克
抽真空	真空馬達，抽 3 分鐘、靜置 3 分鐘，共 3 次
靜置成形	放置 48 小時

### 二、研究方法

#### 1.次氯酸鈉法：

		
1. 取 500 毫升次氯酸鈉	2.以冰醋酸調整溶液的酸鹼度至 pH=4.6	3.將木片浸入溶液，加熱 6 小時

其餘步驟同研究一，並參考上述實驗變項。

#### 2.氫氧化鈉+亞硫酸鈉法：

(1) 以 1M 氫氧化鈉+0.4M 亞硫酸鈉配製去木質素溶液。

其餘步驟同研究一，並參考上述實驗變項。

(2) 以 2.5M 氫氧化鈉+0.4M 亞硫酸鈉配製去木質素溶液。





其餘步驟同研究一，並參考上述實驗變項。

(3) 以 1M 氫氧化鈉+0.8M 亞硫酸鈉配製去木質素溶液。







其餘步驟同研究一，並參考上述實驗變項。

### 三、研究結果







#### (1)次氯酸鈉法

	測試片 1	測試片 2
透光度	8%	11%
成品		
透明度觀察		





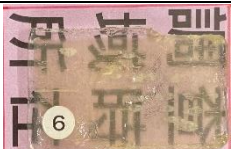

(2)1M 氫氧化鈉+0.4M 亞硫酸鈉法

	加熱 4 小時	加熱 5 小時	加熱 6 小時
透光度	49%	55%	59%
成品			
透明度觀察			

(3)2.5M 氫氧化鈉+0.4M 亞硫酸鈉法

	加熱 4 小時	加熱 5 小時	加熱 6 小時
透光度	38%	44%	55%
成品			
透明度觀察			

(4)1M 氫氧化鈉+0.8M 亞硫酸鈉法

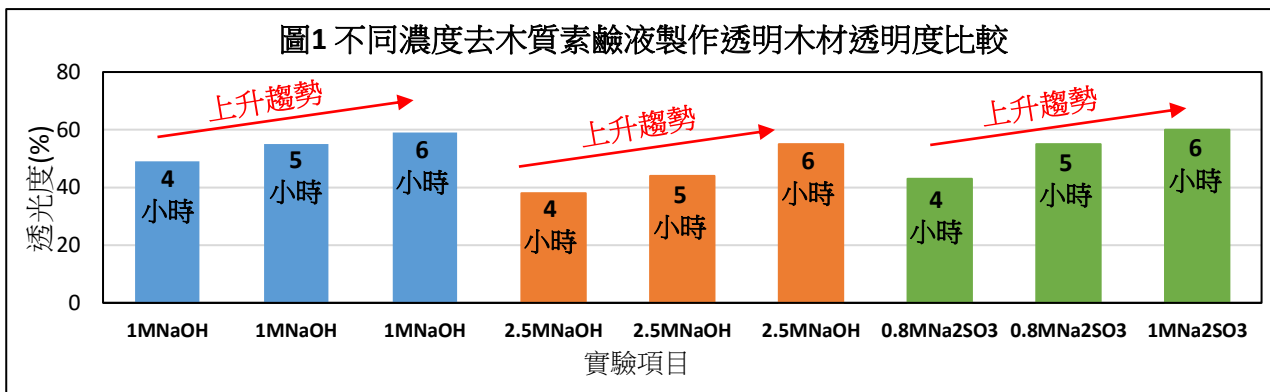
	加熱 4 小時	加熱 5 小時	加熱 6 小時
透光度	43%	55%	60%
成品			
透明度觀察			

#### 四、研究發現與討論

1. 以次氯酸鈉溶液加熱木片的方式稱為「酸脫木質素法」，是以冰醋酸調整 pH 值，這個實驗一定要在通風良好的地方進行，最好有通風櫥，因為在添加酸的過程，由於 pH 值下降，形成次氯酸，也有部分會轉換成氯氣，實驗過程中也會聞到像游泳池消毒水的味道，加酸的過程，溶液的顏色會從淡黃色轉變成透明無色狀態。除了味道之外，木片會變得很脆弱，甚至以鑷子夾的力道大一些就造成木片的破損。由數據可以看到，利用次氯酸鈉法製得的木片，透光度僅有 10% 左右，從透光度和操作安全性來看，都不適合我們使用。



2. 以 0.4M 濃度亞硫酸鈉分別加入 1M 及 2.5M 不同濃度的氫氧化鈉做比較，同時探討加熱時間(4/5/6 小時)的影響，結果發現：在 0.4M 濃度亞硫酸鈉加上 1M 濃度的氫氧化鈉，效果較佳，當加熱時間越長，成品的透明度越好，加熱 6 小時可達 60% 的透明度，這樣的結果已經大大突破先前實驗的透明度。若是將氫氧化鈉的濃度提高到 2.5M，研究結果透明度還是隨這增加加熱時間而呈現上升的趨勢，但卻沒有比 1M 時來得高，代表要獲得較佳的透明度，氫氧化鈉要在適合的濃度範圍內。
3. 如果把氫氧化鈉的濃度固定在 1M，將亞硫酸鈉的濃度由 0.4M 提高到 0.8M 時，也可以發現，當加熱時間越久，測試片的透明度也隨之增加，加熱 6 小時也可得到最高透明度 60%，顯然作為還原劑的亞硫酸鈉在高濃度下，可提升木材的透明性。



## 研究四 溶劑種類及環氧樹脂用量對木材透明度的影響

由研究三的實驗結果可以知道，去木質素的濃度與加熱時間是影響透明木材的透明度的主要因素之一，在實驗的過程中我們發現，漂白後的木片，在浸泡溶劑前後，木片的透明度有很大的變化，所以本研究將針對溶劑種類進行探討。













### 一、研究變因


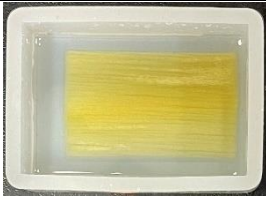
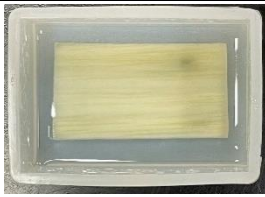




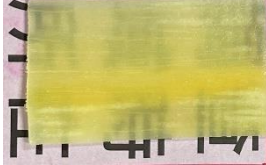


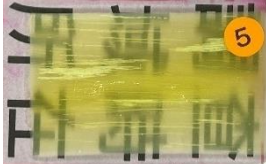

木片	飛機木(厚度 1 mm)
溶解木質素	1M 氫氧化鈉+0.8M 亞硫酸鈉，加熱 6 小時
沖洗木片	以 1 公升水沖洗木片表面
漂白木片	以 8%雙氧水加熱 1 小時
溶劑浸泡	浸泡不同種類溶劑至隔日
環氧樹脂	以 2:1 型環氧樹脂，加入 8 克環氧樹脂
抽真空	真空馬達，抽 3 分鐘、靜置 3 分鐘，共 3 次
靜置成形	放置 48 小時

### 二、研究方法

1. 浸泡溶劑種類：99.5%酒精、95%酒精、丙酮、乙醚、異丙酮、水
2. 其餘步驟同研究一，並參考上述實驗變項。

### 三、研究結果

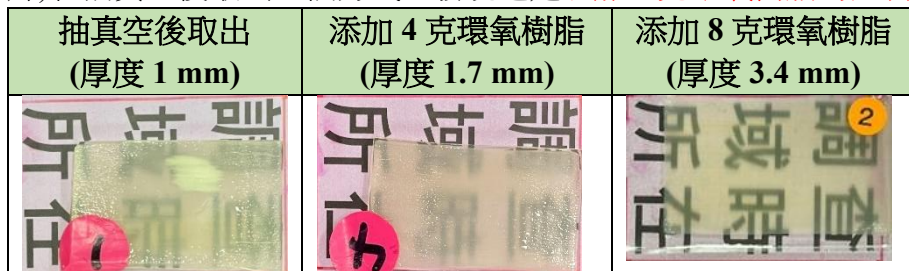
	99.5%酒精	95%酒精	丙酮
透光度	66%	60%	60%
填充環氧樹脂			
透明木材成品			
浸泡溶劑後透明度			
填充樹脂後透明度			

	乙醚	異丙醇	水
透光度	5%	35%	8%
填充 環氧樹脂			
透明木材 成品			
浸泡溶劑 後透明度			
填充樹脂 後透明度			

#### 四、研究發現與討論

1. 在透明木材的製作過程中，以強鹼及亞硫酸鈉加熱可以溶解木材中的木質素，而浸泡溶劑的目的是去除還附著在纖維上的木質素，因此，必須選擇適當的溶劑才能完整去除，讓環氧樹脂填充進去。在實驗的觀察中，木片浸泡溶劑前後，除了透明度有明顯的變化，表面形態也有很大的變化，木片漂白後，表面有些粗糙，但浸泡溶劑後，則顯得平整，顏色變黃，硬度也變硬。
2. 在實驗中也發現，隨著浸泡溶劑的時間增加會提高木片的透明度，至少要浸泡 12 小時以上，木片的透明度才能穩定，低於 12 小時，木片的透明度會降低。本研究共使用 6 種溶劑，由浸泡溶劑後木片的透明度與填充樹脂後的透明度比較可以發現，浸泡 99.5%酒精、95%酒精、丙酮與異丙醇後的木片，都可略微看到字，當填充了環氧樹脂後，透明度更好，已能完全看清字跡；浸泡乙醚的木片則完全都無法看到，浸泡水的木片在未填充環氧樹脂時還有透明性，填充後也完全無法看透。
3. 由透光度數據可以發現，浸泡 99.5%酒精的木片，透光度最高，可以達到 66%，浸泡 95%酒精與丙酮的木片其次，透光度也有 60%，而浸泡異丙醇的木片，透光度僅為 35%，水及乙醚則低於 10%。

4. 實驗過程中，我們也曾針對環氧樹脂的添加量以及抽真空的方式進行研究。在環氧樹脂添加量的部分，我們測試了 8 克(液面高過木片 0.2 公分)、4 克環氧樹脂(液面剛好浸泡到木片)和抽真空後取出三個方式，發現還是**以加 8 克環氧樹脂的透明度比較好**。

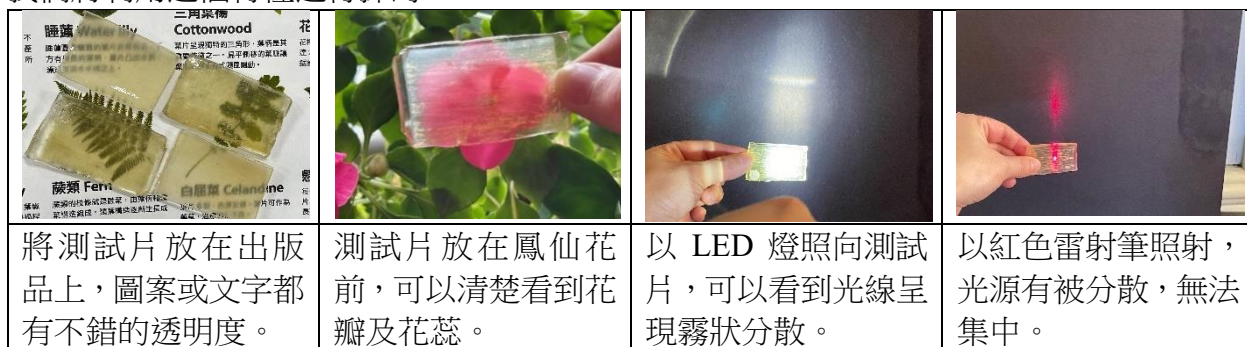


5. 在抽真空的方式，我們也測試了三種方法，分別是 3-3-3 法(抽真空 3 分鐘-真空下靜置 3 分鐘、共 3 次)、15-15 法(抽真空 15 分鐘-真空下靜置 15 分鐘)、15-隔日法(抽真空 15 分鐘-真空下靜置至隔日)，**由實驗觀察發現差異不大**，在考量時間的因素，最後選擇 3-3-3 法。

6. 雖然浸泡 99.5%酒精的透光度最佳，在考量溶劑的成本，我們仍採用 95%酒精為最適當的溶劑種類。**綜合以上的實驗結果，我們發展出的透明木材製作流程如下：**

1.木片選擇	2.溶解木質素	3.沖洗木片	4.漂白木片
1 mm 飛機木	1M 氫氧化鈉+ 0.8M 亞硫酸鈉 加熱 6 小時	0.5 公升水沖洗 木片兩側	8%雙氧水 加熱 1 小時
5.浸泡溶劑	6.添加環氧樹脂	7.抽真空	8.靜製成型
95%酒精浸泡 12 小時以上	8 克環氧樹脂(2:1 型) 液面高過木片	以真空馬達抽真空 抽 3 分鐘 靜置 3 分鐘 共 3 次	放置 48 小時

7. 我們除了利用觀察盒測量透光度、以微距鏡觀察液體流動和以字卡觀察字體的清晰度外，我們也用不同材質書籍、實物及光線照射來了解透明木材的相關性質，發現除了有不錯的透光、透明性外，透明木材照光後會讓光線分散，達到均勻照度的能力，在後續的研究中，我們將利用這個特性進行探討。



## 研究五 透明木材性質的探究

在完成透明木材的製作步驟後，我們進一步想了解透明木材的性質，看看這樣的材質能不能應用於日常生活中。我們以玻璃、木材與透明木材做比較，探討三者密度、機械性、耐熱性、透光性方面的能力。

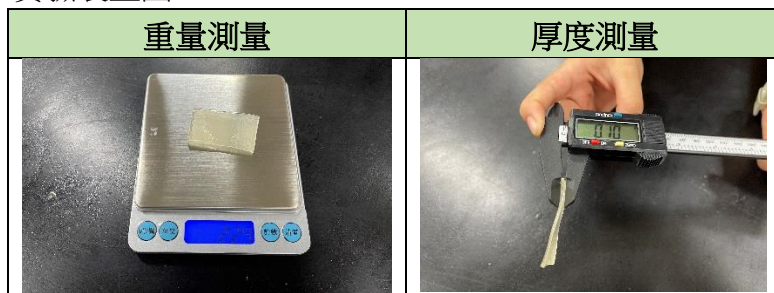
### 一、研究方法

#### (一)測試片種類



#### (二)密度測量

##### 1.實驗裝置圖

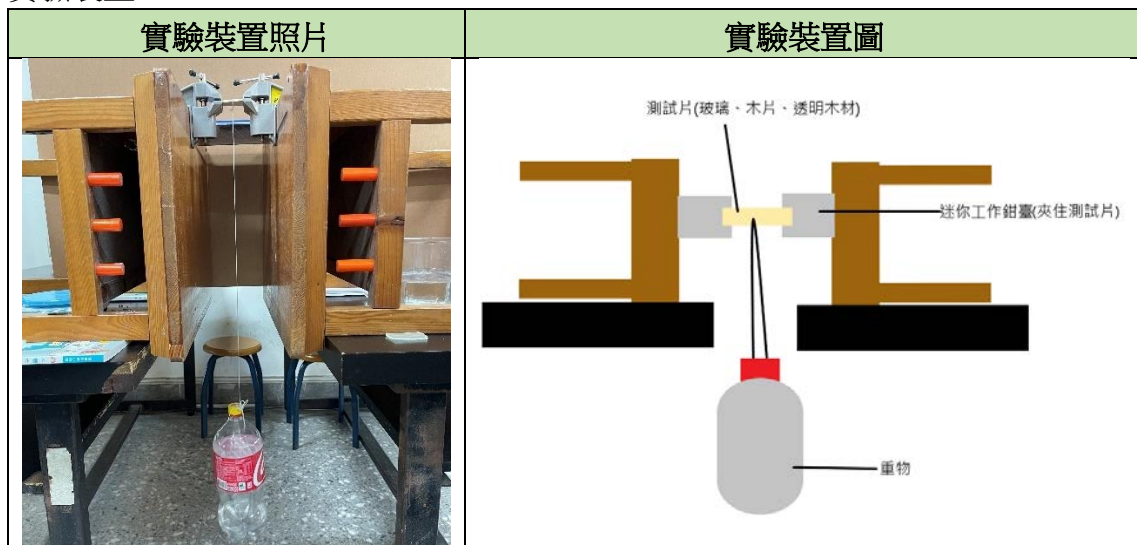


##### 2.實驗步驟

- (1)分別測量測試片的淨重。
- (2)分別測量測試片的長度、寬度和厚度。
- (3)以重量除體積計算材質的密度。

#### (三)機械性質測量

##### 1.實驗裝置





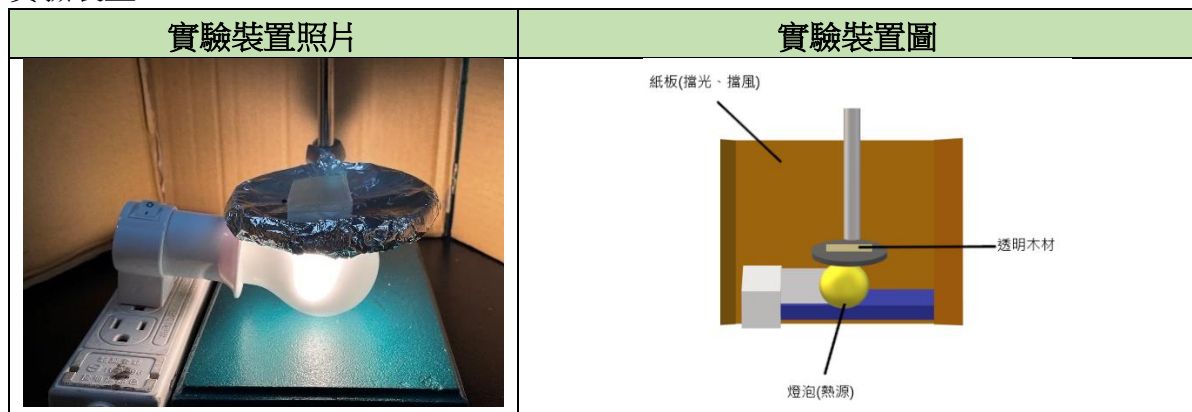
## 2. 實驗步驟

- (1) 以兩個工作鉗台固定測試片。
- (2) 在測試片下方吊掛 2 公升容量空寶特瓶。
- (3) 每次添加 100g 水於寶特瓶內(計時 1 分鐘，觀察測試片是否斷裂)直到 2000g 為止。
- (4) 以兩種方式放開寶特瓶，觀察測試片是否斷裂。
  - (a) 將裝水的寶特瓶直接吊掛在測試片下方 50 公分。
  - (b) 將裝水的寶特瓶從測試片高度放下。



## (四)耐熱性測試

### 1. 實驗裝置



## 2. 實驗步驟

- (1) 在漏斗架包覆鋁箔紙。
- (2) 以 40W 燈泡為熱源，加熱鋁箔紙。
- (3) 以溫度計紀錄鋁箔紙表面溫度的變化，並將透明木材放置上方。
- (4) 每 30 分鐘觀察透明木材表面是否融化變形，持續加熱 8 小時。

## (五)透光性測試

### 1. 實驗裝置

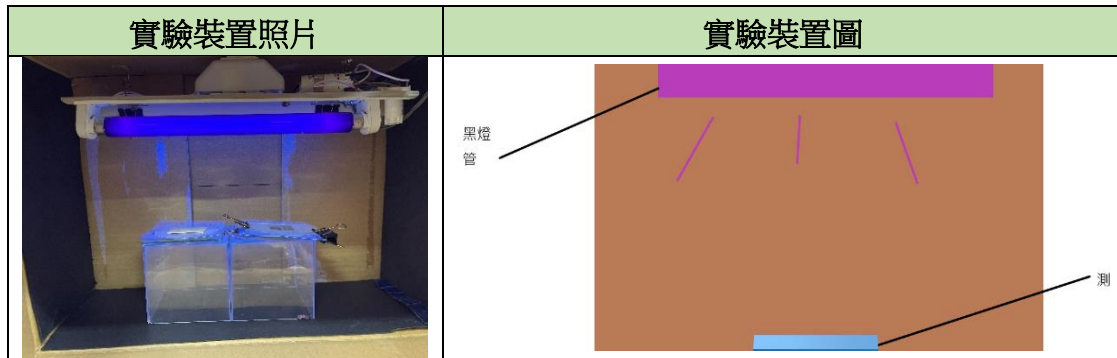


## 2. 實驗步驟

- (1) 實驗前先測量無測試片時的最大照度。
- (2) 依序放入三種測試片，記錄最大照度。
- (3) 算出透光度。

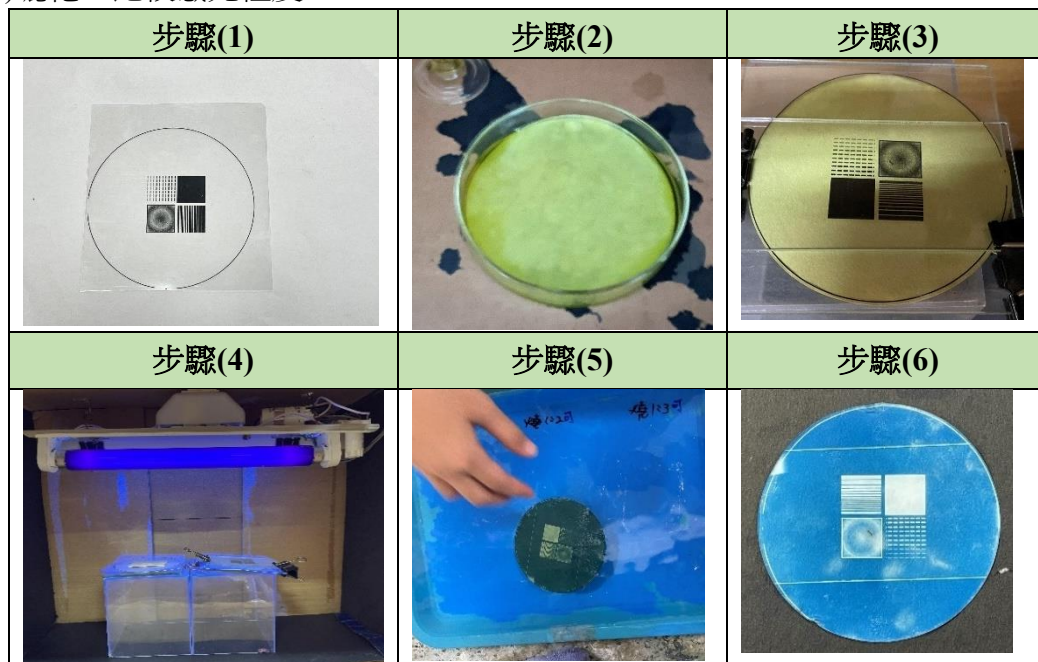
## (六) 紫外光測試

### 1. 實驗裝置



### 2. 實驗步驟

- (1) 製作感光透明模板。
- (2) 以檸檬酸鐵銨和赤血鹽製作藍晒圖感光紙。
- (3) 將感光紙、模板與測試片依序疊放在一起。
- (4) 以黑燈管(UVA:315~400nm)照射 15 分鐘。
- (5) 感光紙以水漂洗，去除未感光藥劑。
- (6) 曬乾，比較感光程度。






## 二、研究結果

(一)密度測量

測試片種類	木片	透明木材	玻璃片
重量(g)	0.77	5.32	5.06
尺寸(cm)	5×3×0.3	5×2.9×0.34	7.5×2.5×0.1

(二)機械性質

測試片種類	木片(3mm 厚度)		透明木材		玻璃片	
	吊掛	重物落下	吊掛	重物落下	吊掛	重物落下
斷裂時重量(g)	1000	500	>2000	>2000	>2000	200
照片						

(三)耐熱性測試(透明木材)

(1)表面溫度：50~57°C



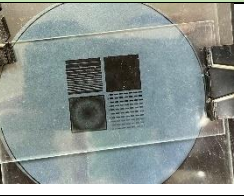


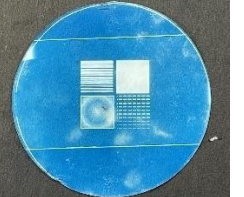
(2)材質表面：

		
經過 50°C 以上加熱 8 個小時，透明木材表面並無融化、破壞情形	經過 50°C 以上加熱 8 個小時，以手用力扳動，會有彎曲情形	經過 50°C 以上加熱 8 個小時，如扳動太大力，測試片出現裂痕

(四)透光性測試

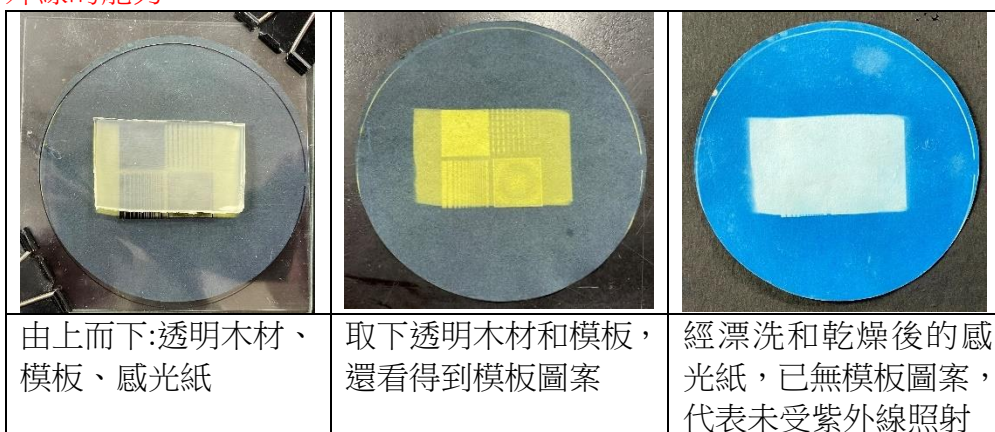
測試片種類	木片	透明木材	玻璃片
透光度(%)	5%	66%	95%

(五)紫外光測試

測試片種類	木片	透明木材	玻璃片
感光紙覆蓋模板和測試片			
藍晒感光結果			

### 三、研究發現與討論

1. 材質密度：經過計算，木材、透明木材和玻璃片的密度為  $0.17$ 、 $1.08$ 、 $2.7\text{g/cm}^3$ ，透明木材的密度介於兩者之間，以此換算，製作一片 1 平方公尺厚度 1 公分的材料，重量分別為 1.7 公斤、10.8 公斤和 27 公斤，顯然透明木材較輕巧，和玻璃片相比，重量只有 40%。
2. 機械性質：當透明木材吊掛 2 公斤的重物時，不會對透明木材造成任何破損或變形，即使以 2 公斤重物向下拉扯，也僅造成  $15^\circ$  的彎曲，而相同厚度的木片則無法承受 500 公克重物的向下拉扯，吊掛 500 公克重物時，在木片兩側會產生割痕，代表木片已受到破壞，顯然透明木材的耐重能力高於木材和玻璃。
3. 耐熱性：以  $50^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$  溫度加熱透明木材 8 個小時，對其表面並不會產生破壞或融化的情形，僅在用力彎折時有略為變形，非常用力扳折時，會有裂痕產生，代表若無外力下，材質本身在  $60^\circ\text{C}$  以下表面不會受到破壞變形。
4. 透光性：我們的實驗可以做出透光度 66% 的透明木材，雖然不像玻璃幾乎完全透光，但是已能阻擋部分光線進入室內，除了有減光的效果，還具有均勻室內照度、高光學霧性的功能。
5. 抗紫外光：我們想到既然透明木材可以阻止光線進入，那還會阻擋哪種光的前進，紫外線會造成皮膚的傷害，所以就想測試看看透明木材到底能不能阻止紫外光？我們由學姊的研究找出靈感，以藍晒圖是感光液受紫外線照射而感光的原理，設計了測試的方法，以三種測試片覆蓋在模板與感光紙上，如果感光紙可以印出模板的圖形，代表紫外線能穿透測試片，反之，如果印不出來，代表紫外線無法穿透。由實驗結果，果真發現透明木材和木片可以阻止波長為  $315 \sim 400 \text{ nm}$  的 UVA，玻璃片則無法阻止，這代表我們的透明木材具有隔絕紫外線的能力。



6. 綜合以上實驗結果，已我們的配方所製作出來的透明木材，材質輕、可抵抗重物的拉力、可耐受  $60^\circ\text{C}$  高溫不會變形，更重要的是還具有降低光線直接穿透、阻隔紫外光與均勻照度的功能，的確是值得深入開發的材料。

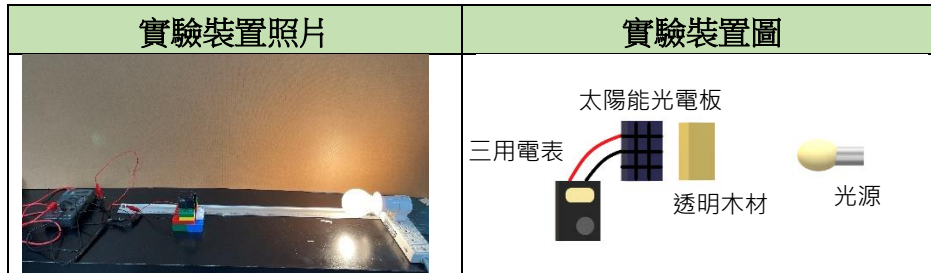
## 研究六 透明木材的應用

經由配方的研究及性質的探討，我們發現透明木材具有材質輕、抗拉、耐熱、透光、使照明均勻等優點，我們想利用這些特性，進一步應用在太陽能板的保護裝置、製作成保溫散熱裝置以及能均勻室內照度的光霧百葉窗。

### 一、研究方法

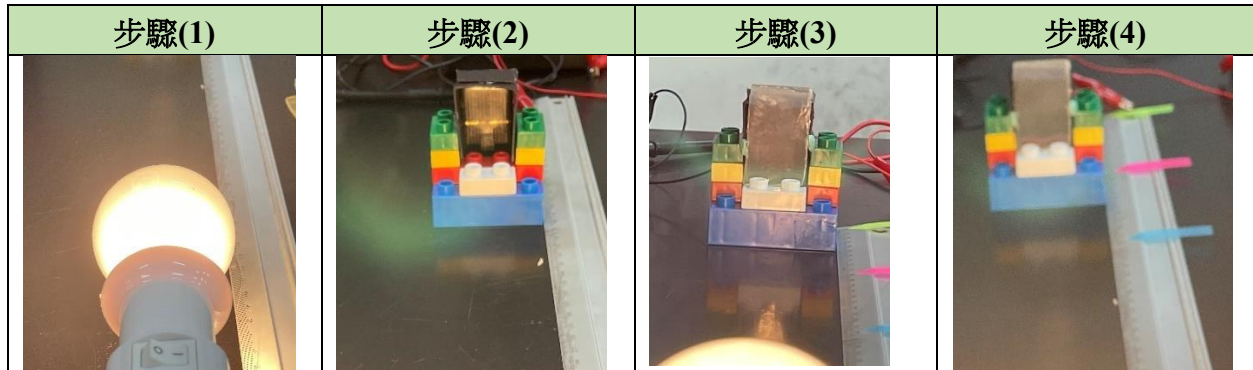
#### (一)是否影響太陽能板發電能力測試

##### 1. 實驗裝置圖



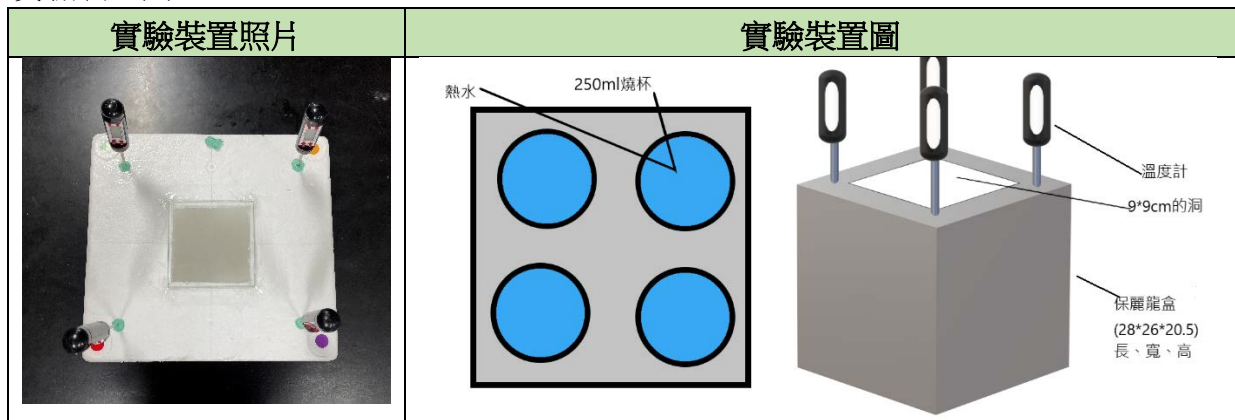
##### 2. 實驗步驟

- (1)以 40W 燈泡為光源。
- (2)在太陽能光電板套上遮光板，讓太陽能光電板只能接收燈泡光線。
- (3)將測試片放置於太陽能光電板前方。
- (4)分別測量 30、40、50 公分處的電壓。



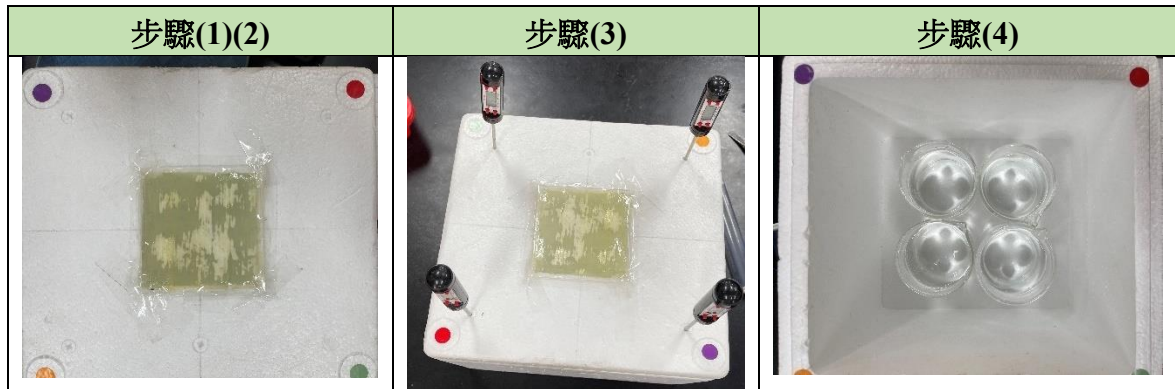
#### (二)保溫散熱能力測試

##### 1. 實驗裝置圖



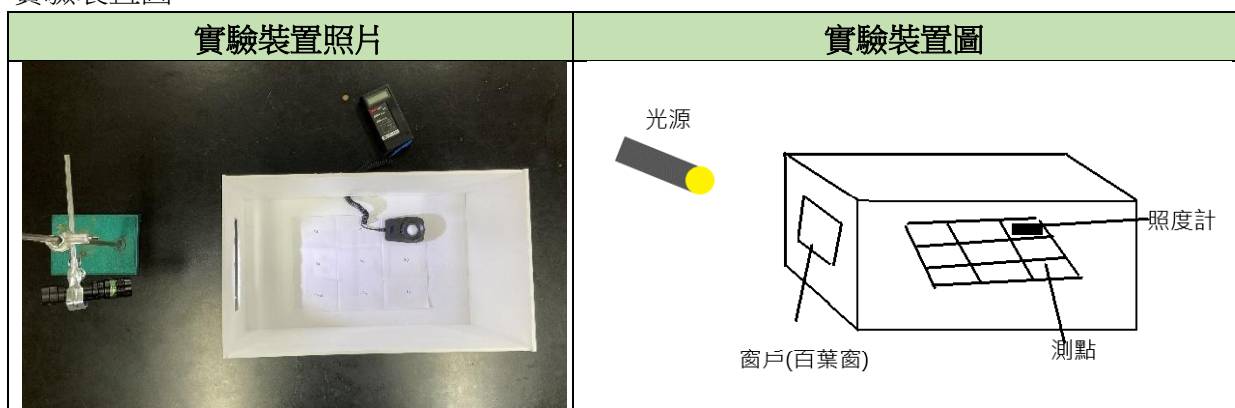
## 2. 實驗步驟

- (1) 使用有蓋保麗龍箱(28×26×20.5 公分)，在蓋子上挖 9×9 孔洞。
- (2) 將透明木材安裝在蓋子上。
- (3) 四個角落各放一支溫度計，以測量盒內的溫度。
- (4) 盒內放 2 公升熱水，蓋上蓋子後，每 5 分鐘測量一次溫度，共計一小時。

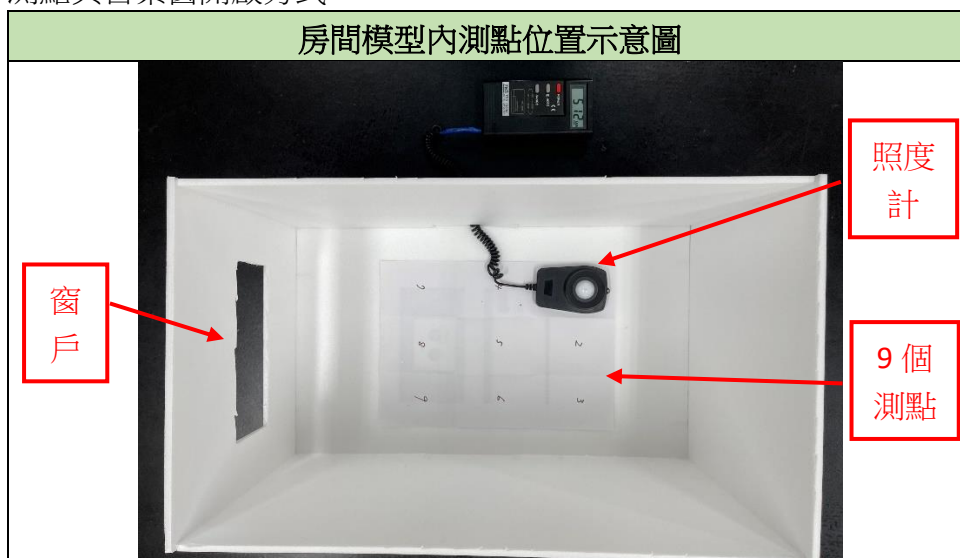


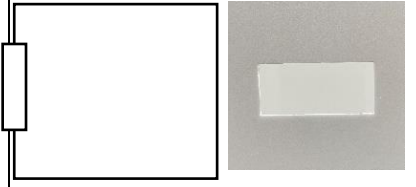
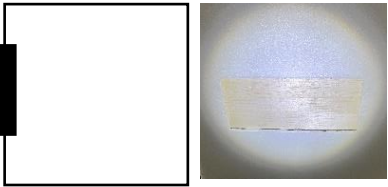
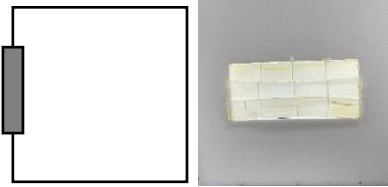
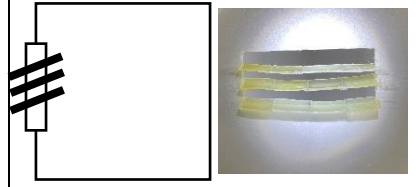
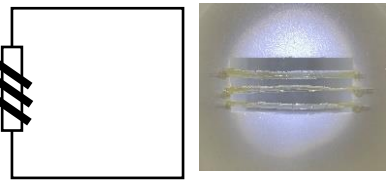
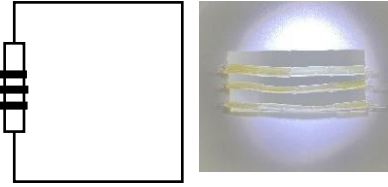
## (三) 光霧百葉窗

### 1. 實驗裝置圖









### 2. 測點與百葉窗開啟方式



模型內百葉窗開啟方式		
無百葉窗	木片百葉窗全關	光霧百葉窗全關
		
光霧百葉窗斜下	光霧百葉窗斜上	光霧百葉窗平放
		

### 3. 實驗步驟

- (1) 以珍珠板製作房間模型。
- (2) 將四片透明木材以熱熔膠黏在透明塑膠條上，製作成百葉窗。
- (3) 將三條百葉窗固定於模型窗戶處，並依照不同條件轉動角度。
- (4) 以手電筒作為光源，設置在窗戶前 20 公分，傾斜 45 度角。
- (5) 在模型內設置 9 個測點，將照度計感應器模型內，並蓋上上蓋，讀取照度值。
- (6) 觀察模型內明暗的區域。

步驟(1)	步驟(2)	步驟(3)
		
步驟(4)	步驟(5)	步驟(6)
		

## 二、研究結果

### (一) 是否影響太陽能板發電能力測試



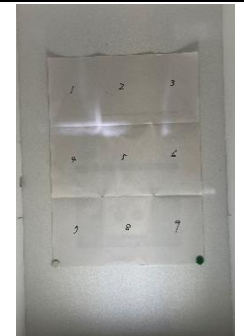
	無	透明木材	玻璃片	木片
30 公分	0.915V	0.865V	0.900V	0V
40 公分	0.865V	0.805V	0.850V	0V
50 公分	0.820V	0.757V	0.800V	0V

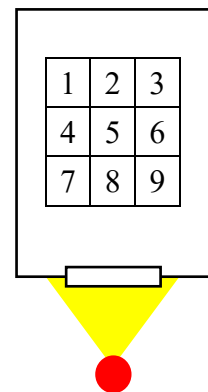
### (二) 保溫散熱能力測試

	透明木材	玻璃片	木片
5 分鐘	60.3°C	59.1°C	58.6°C
10 分鐘	60.2°C	59.0°C	57.8°C
15 分鐘	59.2°C	58.2°C	56.4°C
20 分鐘	57.6°C	56.5°C	55.3°C
25 分鐘	56.3°C	55.3°C	54.1°C
30 分鐘	55.1°C	53.9°C	53.2°C
35 分鐘	53.8°C	53.8°C	52.0°C
40 分鐘	53.1°C	51.7°C	51.3°C
45 分鐘	52.2°C	50.8°C	50.2°C
50 分鐘	51.5°C	49.8°C	49.3°C
55 分鐘	50.6°C	48.9°C	48.5°C
60 分鐘	49.7°C	47.6°C	47.8°C

### (三) 光霧百葉窗模型內照度測量


無百葉窗 照度值(lux)			木片百葉窗全關 照度值(lux)			光霧百葉窗全關 照度值(lux)		
596	630	539	56	58	49	271	276	270
726	830	651	53	52	52	275	349	313
827	952	771	111	96	66	352	405	335





光霧百葉窗斜下 照度值(lux)			光霧百葉窗斜上 照度值(lux)			光霧百葉窗平放 照度值(lux)		
718	774	665	836	926	723	715	767	672
351	344	330	409	369	390	338	336	332
479	485	806	552	600	504	492	592	628

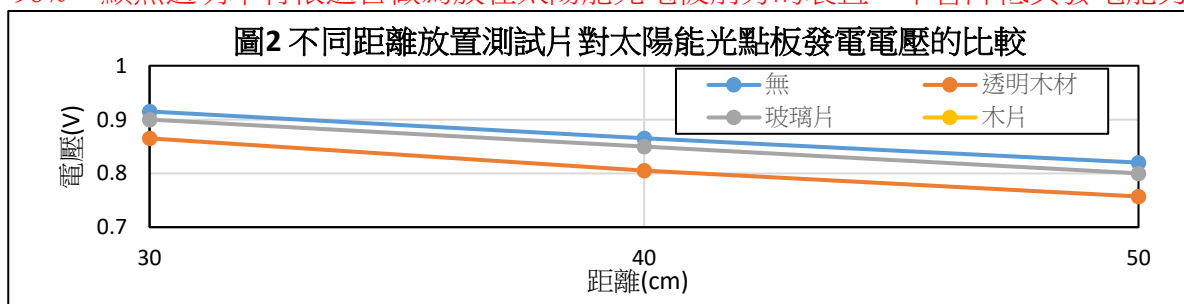


### 三、研究發現與討論

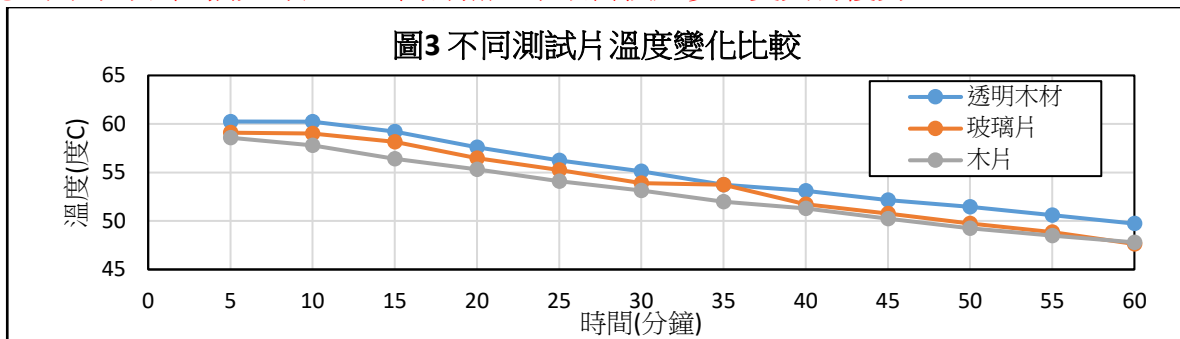
- 本研究為了比較透明木材和其他材質的發電與保溫能力，還是同時進行木片與玻璃片的實驗，在發電能力部分，能製作 5x3 公分尺寸的透明木材測試片，而保溫散熱能力實驗，則另外製作 9x9 公分的透明木材測試片，製作時雖然增加加熱時間及去木質素鹼液的量，但是所製作出來的透明木材仍有一部分未透明，也符合文獻上，目前無法製作較大尺寸透明木材的情形，但因為只用於保溫實驗，對實驗結果應該不會太大影響。



- 是否影響太陽能板發電能力測試：根據我們實驗的結果顯示，**隨光源距離的增加，太陽能光電板的發電能力反而下降**。三種測試片，以玻璃片的發電能力最接近空白測試，木片則完全無法發電，**透明木材的透明度雖然只有玻璃片的 68%，但發電能力仍有玻璃的片 94%~96%**，顯然透明木材很適合做為放在太陽能光電板前方的裝置，不會降低其發電能力。



3. 保溫散熱能力測試：根據我們實驗的結果顯示，三種測試片都會讓保溫箱裡的熱水降溫，且下降的幅度相近，透明木材與木片每分鐘下降 0.18 度，玻璃片每分鐘下降 0.19 度，這說明三種材質在保溫或散熱的能力相當，也可以說他們的導熱效果差不多，但以透明木材來說，因為可以阻擋光線進入，內部熱量不致蓄積太多，更具有優勢。



4. 在光霧性實驗中，因各測量點的照度值不易探討，所以我們將 9 個測點數據平均，再將各測點照度值除以平均值，這樣我們就可以清楚看到每個測點的「均勻度」(該點數值÷平均值)，由各測點的數值再來判斷有無局部過暗或過量的現象。

無百葉窗 均勻度			木片百葉窗全關 均勻度			光霧百葉窗全關 均勻度		
0.82	0.87	<b>0.74</b>	0.85	0.88	<b>0.74</b>	0.86	0.87	0.85
1.00	1.14	0.90	0.80	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>	0.84	1.10	0.87
1.14	<b>1.31</b>	1.06	<b>1.68</b>	<b>1.45</b>	1.00	1.11	<b>1.28</b>	1.06
光霧百葉窗斜下 均勻度			光霧百葉窗斜上 均勻度			光霧百葉窗平放 均勻度		
<b>1.31</b>	<b>1.41</b>	<b>1.21</b>	<b>1.42</b>	<b>1.57</b>	<b>1.23</b>	<b>1.32</b>	<b>1.42</b>	<b>1.24</b>
<b>0.64</b>	<b>0.63</b>	<b>0.60</b>	<b>0.69</b>	<b>0.63</b>	<b>0.65</b>	<b>0.62</b>	<b>0.62</b>	<b>0.61</b>
0.87	0.88	<b>1.47</b>	0.94	1.02	0.86	0.91	1.09	1.16

$$= \frac{270(\text{測點照度})}{316(\text{平均照度})} = 0.85$$

5. 經由均勻度的換算，我們再將「大於 1.20」以紅色表示，代表該區域過亮，「小於 0.80」以藍色表示，代表該區域過暗，這樣就能清楚了解，在不同條件時，模型內的明暗程度。由數據顯示：

- (1) 當沒有百葉窗時，有 5 個測點高於平均，4 個測點低於平均，最高和最低相差 0.57 倍，除此之外，平均照度達 725lux，代表此狀態下室內光線太亮。
- (2) 使用傳統木質百葉窗全關時，室內平均照度只有 66lux，已經低於適合閱讀的亮度，還必須開燈以增加照度，在均勻度部分，有 6 個測點高於平均，最高和最低相差 0.84 倍。
- (3) 以光霧百葉窗全關時，高於平均值測點 4 個，低於平均值測點 5 個，最高和最低相差 0.44 倍，是所有條件中最好的，平均照度為 316lux 也是非常適宜的照明度。
- (4) 將光霧百葉窗以斜放或平放時，可以發現靠內側測點太亮，中間測點太暗的情形。

6. 以無百葉窗、木片百葉窗及光霧百葉窗全關三者比較，如果採用光霧百葉窗在全關的情形，**室內照度為無百葉窗時的 44%，可濾除一半的光線，且其均勻程度提升了 23%**；光霧百葉窗全關與木片百葉窗比較，**平均照度為木片百葉窗的 4.8 倍，均勻度更優於木片百葉窗的 2 倍**，顯示善用透明木材光霧的特性所製作的百葉窗有濾除過亮光線、均勻分配室內光線的能力，讓室內有更舒適的照明品質，也能夠節省用電。
7. 綜合以上的實驗，透明木材的確可以阻隔過亮的光線、進一步分配光線，但還能讓太陽能光電板發電，且有不錯的導熱能力。

## 肆、研究結論

### 一、透明木材的製作

1. 透明木材製作步驟為：木片放入以 1M 氫氧化鈉+0.8M 亞硫酸鈉配製的去木質素鹼液加熱 6 小時，以水沖洗木片表面後，用 8%雙氧水加熱 1 小時漂白木片，再以 95%酒精浸泡 12 小時使木質素脫離纖維，將半透明的木片填充入 2:1 型環氧樹脂，最後以真空馬達抽真空 18 分鐘，於靜置 48 小時後，可得到透光度 66%的成品。
2. 使用木材宜選用 1mm 飛機木，越厚木片需要的加熱時間越長，面積越大片，加熱時間也要加長。
3. 去木質素鹼液是能否成功製作出透明木材的關鍵，氫氧化鈉濃度不宜太高或太低，以 1M 最為適合，亞硫酸鈉濃度較高，有助於製作高透明度木材，建議濃度為 0.8M。
4. 浸泡溶劑的目的在脫除留在纖維的木質素，可以選擇 99.5%酒精、95%酒精或丙酮，酒精濃度越高，透明度也越高，在考量費用因素下，以 95%酒精為最佳選擇。
5. 如能使用 MMA 壓克力樹脂，木材透明度更高，但操作條件較為複雜，不適合小學生進行，以 2:1 型環氧樹脂填充，亦有不錯的透明度。
6. 一定要用真空馬達抽真空，除了更容易讓環氧樹脂填入木材內部，也能幫助消除環氧樹脂的氣泡，提升透明度。

### 二、透明木材的性質

1. 材質輕盈，密度低於玻璃，僅為玻璃的 40%，代表製作相同大小的材料，重量僅有玻璃的 40%，大大降低搬運成本與物件的負荷。
2. 抗拉力強，能抵抗 2 公斤重物的拉力，相當於每平方公分可以承受至少 133 公克的力量，沒有任何變形，是玻璃的 10 倍，木片的 4 倍。
3. 耐熱，透明木材放在 50°C ~60°C 鋁箔紙上加熱 8 小時，不會對材料表面造成任何破壞或變形，在有外力彎折時，才會有彎曲情形發生。
4. 高透光阻紫外線，透光度是玻璃的 68%，具有均勻室內照度達到高光學霧性的優勢，以藍晒法測試，透明木材具有阻隔紫外線(UVA)的能力。

### 三、透明木材的應用

1. 將透明木材放在太陽能光電板前方，發電能力為 0.865V(30 公分處)，與玻璃相比，僅降低 5%(玻璃 0.9V)，代表透明木材可遮光阻紫外線，卻不會減低發電能力，可製成太陽能光電板的保護裝置。
2. 透明木材、玻璃、木片三者的導熱能力差距很小，因為透明木材可阻擋較多的光線進入，減少內部溫度的變化，又可增加室內照明的均勻度，可作為百葉窗的材料。
3. 以透明木材做成的百葉窗，當全關時，可以有效濾除 56%的光線，且能提升室內各區域照明的均勻程度，使明暗間的差距縮小到 0.44 倍，能提供舒適閱讀的光線，也能降低因為明暗落差造成的不適感，更能有減少開燈、節能減碳的效用。

## 伍、參考資料

### 一、科展報告

1. 王鈺瑄、李瑛蕙、陳品研、黃宥綸、李佩佳、何宇涵，**夢想藍圖—藍晒圖顯色的研究**，107 學年度臺中市中小學科展作品說明書。

<http://science.tc.edu.tw/index.php>

### 二、網路資料

1. Transparent wood composite，維基百科(英文資料)，

[https://en.wikipedia.org/wiki/Transparent\\_wood\\_composite](https://en.wikipedia.org/wiki/Transparent_wood_composite)

2. 新技術讓木材變透明，科技大觀園

<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000008/detail?ID=8759c2a4-aa03-469a-9e7e-4c05ded61603>

3. Wood windows? Transparent wood material used for buildings, solar cells

[Wood windows? Transparent wood material used for buildings, solar cells -- ScienceDaily](#)

4. 好看又環保 將木材變透明，人間福報

<https://www.merit-times.com/NewsPage.aspx?unid=614523>

5. Transparent Wood，instructables，bloggg

<https://www.instructables.com/Transparent-Wood/>

### 三、影音資料

1. 最低成本的透明木材實驗(透明木頭) How to make transparent wood at home.

[https://www.youtube.com/watch?v=ApM\\_zNQxlEI](https://www.youtube.com/watch?v=ApM_zNQxlEI)

2. Making Transparent Wood

<https://www.youtube.com/watch?v=5qS9AKzXYOY>

## 【評語】 082931

本作品經由閱讀相關報導和觀摩他人拍攝影片後，嘗試使用可獲得的素材和設備，透過一系列的條件測試後找出合適的製作流程。為了測量木材性質，研發出各種工具如:耐受度、耐熱性、透光性、紫外光等用以檢測木材性質，研究過程嚴謹，架構完整。透明木材亦可阻隔紫外線 A 的穿透，應用性高，建議可增加無木材之環氧樹脂組或塑膠進行對照組測試比較與抗拉能力測試比較，將更凸顯其應用價值。

## 作品簡報

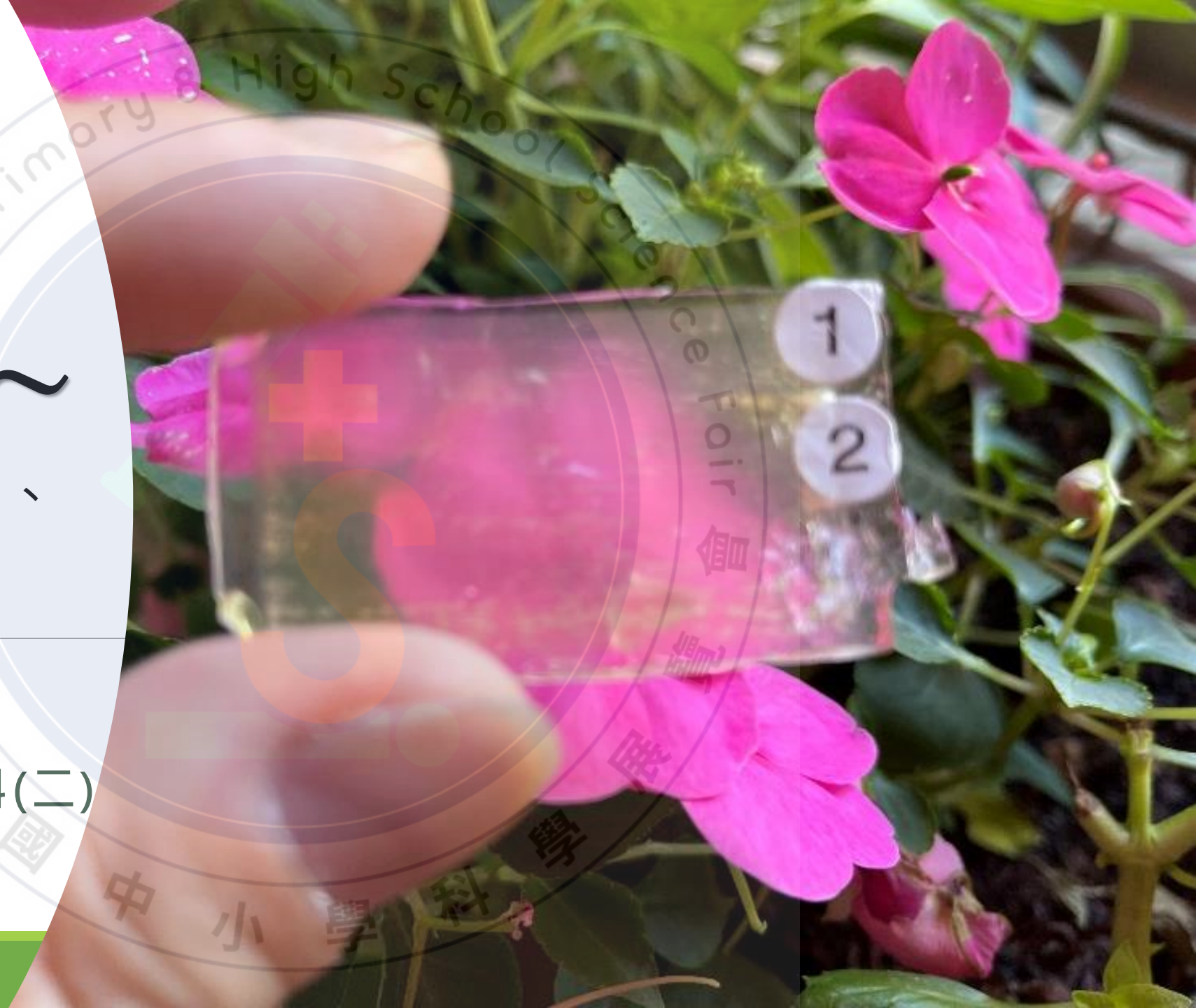


# 隱形的木材～

透明木材的製作、  
性質與應用

組別：國小組

科別：生活與應用科學科(二)



## 研究動機

在報紙看到美國的科學家發明了一種透明木材，**有90%的透光度，是未來重要的材料**，剛好看到一位國中生以簡單的方法作出透明木材，這引起我的好奇，想試試可不可以製作出透明木材。

## 研究目的

1. 了解透明木材製作的**原理**。
2. 探究透明木材製作的方法，並找出**最佳操作條件**。
3. 學習如何測量透明木材的**性質**。
4. 找尋透明木材在生活中的**應用**。

## 研究架構

### 研究一

- 透明木材製作初探
- 基本製作程序
- 真空裝置
- 環氧樹脂
- 基本性質測量

### 研究二

- 木片性質的影響
- 木材種類
- 木材厚度

### 研究三

- 去木質素液的影響
- 次氯酸鈉法
- 氫氧化鈉濃度
- 次氯酸鈉濃度
- 加熱時間

### 研究四

- 溶劑、真空條件的影響
- 溶劑種類
- 抽真空方法
- 抽真空時間
- 環氧樹脂厚度

### 研究五

- 透明木材性質測量
- 密度測量
- 抗拉強度
- 耐熱能力
- 透光度
- 抗紫外外線

### 研究六

- 透明木材的應用
- 太陽能發電
- 保溫散熱
- 光霧性

# 研究方法 — 透明木材製作方法探討

木材選擇

去木質素

溶劑種類

環氧樹脂

真空條件



裁切木片



溶解木質素



沖洗木片



漂白木片



靜置成形



抽真空



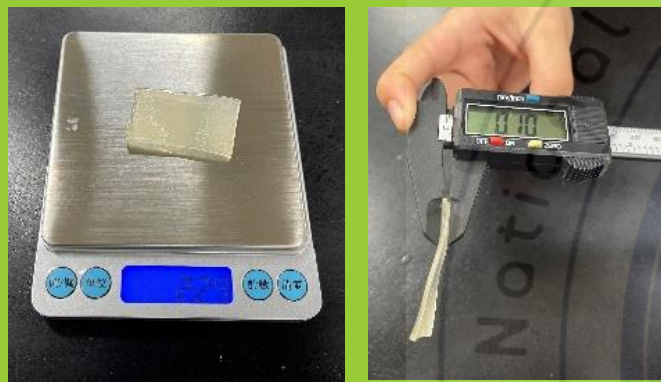
添加環氧樹脂



溶劑除木質素

# 研究方法 — 透明木材性質探討

## 密度測量



## 機械性質測量



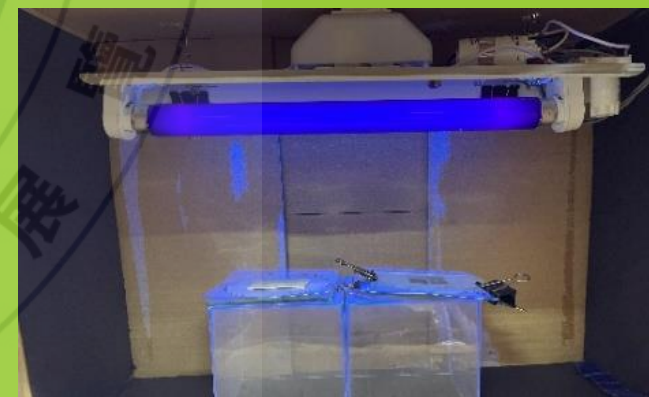
## 耐熱性測試



## 透光性測試



## 紫外光測試

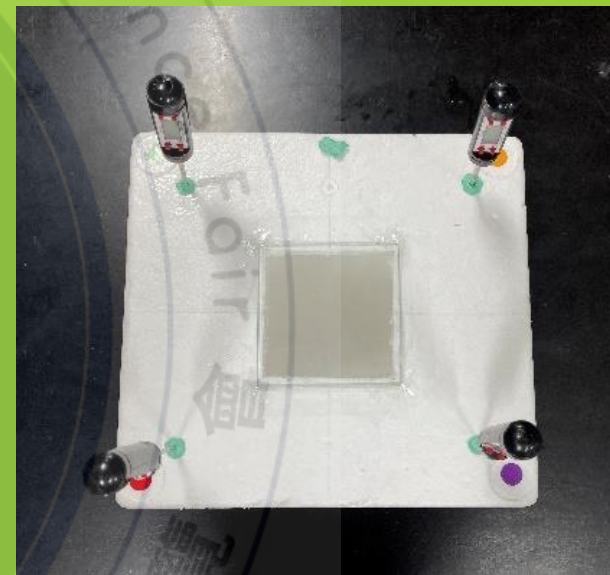


## 研究方法 — 透明木材應用探討

### 發電能力測試



### 保溫散熱測試


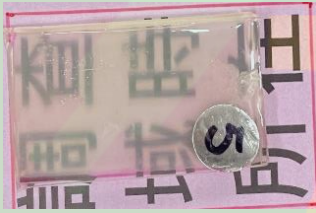


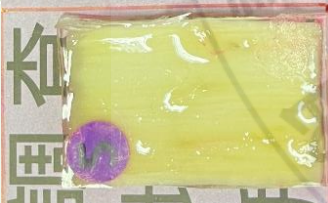





### 光霧性測試



# 研究結果 — 透明木材製作

# 透明木材製作變因探討結果比較


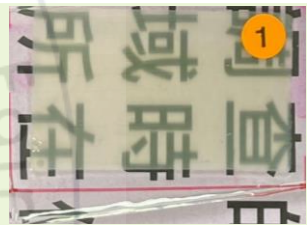


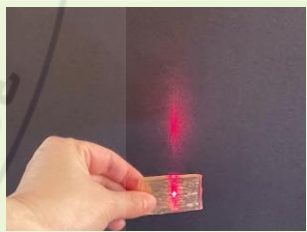

實驗項目	木材厚度	去木質素濃度	加熱時間	溶劑種類
實驗變因	飛機木(1mm)	1M氫氧化鈉 0.4M亞硫酸鈉	加熱4小時	酒精99.5%
透光度	23%	59%	43%	66%
照片				
實驗變因	飛機木(3mm)	1M氫氧化鈉 0.8M亞硫酸鈉	加熱6小時	丙酮
透光度	4%	60%	60%	60%
照片				

# 研究結果 — 透明木材製作

## 透明木材製作最佳條件

1.木片選擇	2.溶解木質素	3.沖洗木片	4.漂白木片
1mm飛機木	1M 氫氧化鈉 + 0.8M 亞硫酸鈉 加熱6小時	0.5公升水沖洗 木片兩側	8%雙氧水 加熱1小時
5.浸泡溶劑	6.添加環氧樹脂	7.抽真空	8.靜置成型
95%酒精浸泡 12小時以上	8克環氧樹脂(2:1 型)液面高過木片	真空馬達抽真空 抽3分鐘 靜置3分鐘 共3次	放置48小時

## 透明木材照光測試

3*5測試片	透明度測試	光霧性測試
		
10*10測試片	雷射光測試	光霧性測試
		




# 研究結果 — 透明木材性質

## 密度測量

測試片種類	木片	透明木材	玻璃片
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.17	1.08	5.06

製作一片1平方公尺厚度1公分的材料，重量分別為1.7公斤、10.8公斤和27公斤，**顯然透明木材較輕巧，和玻璃片相比，重量只有40%。**

## 機械性質

測試片種類	木片(3mm厚度)		透明木材		玻璃片	
	方式	重物落下	方式	重物落下	方式	重物落下
斷裂時重量 (g)	1000	500	>2000	>2000	>2000	200
照片						

**透明木材的耐重能力高於木材和玻璃：**當透明木材吊掛2公斤的重物時，不會對透明木材造成任何破損或變形。



# 研究結果 — 透明木材性質

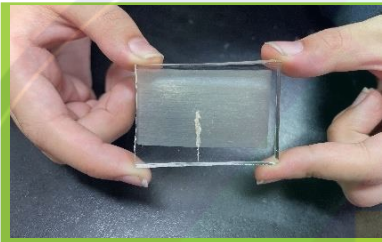
## 耐熱性測試



經過50°C以上加熱8個小時，透明木材表面並無熔化、破壞情形



經過50°C以上加熱8個小時，以手用力扳動，會有彎曲情形



經過50°C以上加熱8個小時，如扳動太大力，測試片出現裂痕

## 透光性測試

測試片種類	木片	透明木材	玻璃片
透光度 (%)	5%	66%	95%

能阻擋部分光線進入室內，除了有減光的效果，還具有均勻室內照度、高光學霧性的功能。

## 紫外光測試

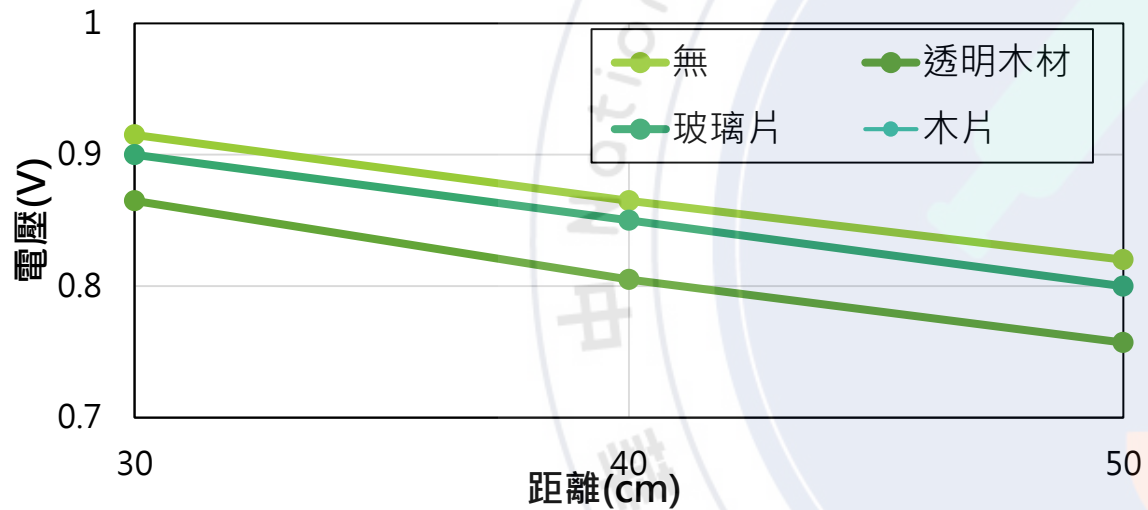
測試片種類	木片	透明木材	玻璃片
感光紙覆蓋模板和測試片			
藍晒感光結果			

透明木材和木片可以阻止波長為315~400nm的UVA，玻璃片則無法阻止，這代表我們的透明木材具有隔絕紫外線的能力。

# 研究結果 — 透明木材應用

## 發電能力測試

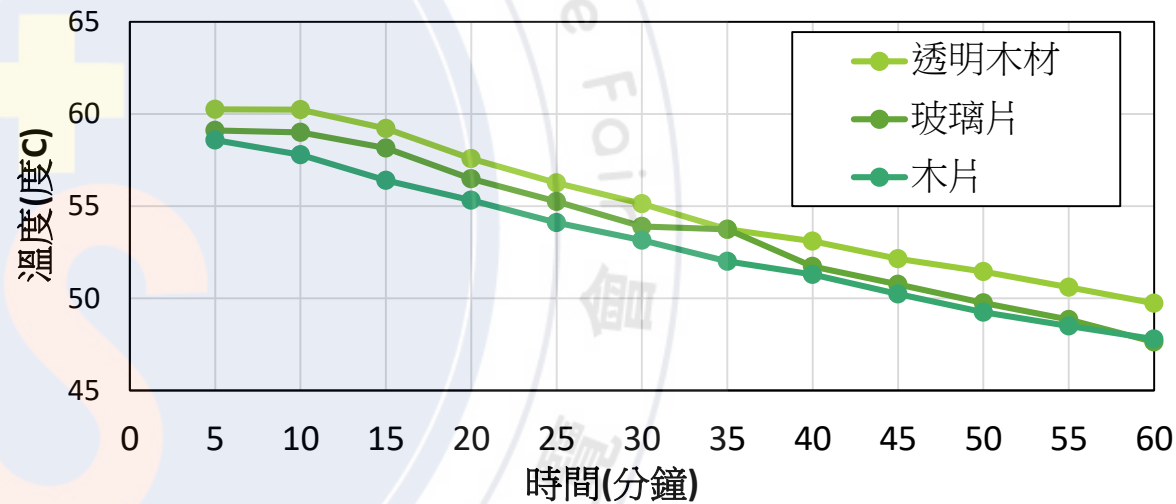
圖2 不同距離放置測試片對太陽能光點板發電電壓的比較



透明木材的透明度雖然只有玻璃片的68%，但發電能力仍有玻璃的片94%~96%，顯然透明木材很適合做為放在太陽能光電板前方的裝置，不會降低其發電能力。

## 保溫散熱能力測試

圖3 不同測試片溫度變化比較



三種材質在保溫或散熱的能力相當，但以透明木材來說，因為可以阻擋光線進入，內部熱量不致蓄積太多，更具有優勢。

# 研究結果 — 透明木材應用

## 光霧性測試

無百葉窗



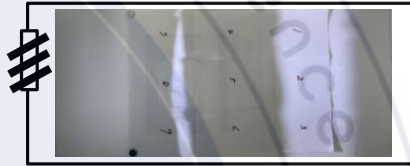
木片百葉窗全關



百葉窗全關



百葉窗斜下



百葉窗平放



照度

827	726	596
952	830	630
771	651	539

111	53	56
96	52	58
66	52	49

352	275	271
405	349	276
335	313	270

479	351	718
485	344	774
806	330	665

492	338	715
592	336	767
628	332	672

均勻度

1.14	1.00	0.82
1.31	1.14	0.87
1.06	0.90	0.74

1.68	0.80	0.85
1.45	0.79	0.88
1.00	0.79	0.74

1.11	0.84	0.86
1.28	1.10	0.87
1.06	0.99	0.85

0.87	0.64	1.31
0.88	0.63	1.41
1.47	0.60	1.21

0.91	0.62	1.32
1.09	0.62	1.42
1.16	0.61	1.24

室內照度值高  
均勻度差距小

平均照度只有  
66lux，已低於  
適合閱讀照度

室內照度值適合  
閱讀且平均  
均勻度差距最小

室內後側太亮  
明暗不均情形  
均勻度差距大

室內有大塊太  
亮區域  
均勻度差距大

# 研究結論

## 1.透明木材製作：

去木質素鹼液是能否成功製作出透明木材的關鍵，  
氫氧化鈉濃度不宜太高或太低，以1M最為適合，  
亞硫酸鈉濃度較高，有助於製作高透明度木材，建議濃度為0.8M。

## 2.透明木材性質：

材質輕盈，密度低於玻璃，僅為玻璃的40%；  
抗拉力強，能抵抗2公斤重物的拉力；  
耐熱，以60℃加熱8小時，不會對表面造成任何破壞或變形；  
具高透光，光霧性佳且能抗紫外線。

## 3.透明木材應用：

可遮光阻紫外線，不減低發電能力，可製成太陽能光電板保護裝置；  
透明木材、玻璃、木片三者的導熱能力差距很小；  
具光霧性，能使室內平均照度減少56%，適合閱讀且更加均勻。

# 參考文獻

- Transparent wood composite，維基百科(英文資料)，  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Transparent\\_wood\\_composite](https://en.wikipedia.org/wiki/Transparent_wood_composite)
- Transparent Wood，instructables，bloggg  
<https://www.instructables.com/Transparent-Wood/>
- 最低成本的透明木材實驗(透明木頭) How to make transparent wood at home.  
[https://www.youtube.com/watch?v=ApM\\_zNQxlEI](https://www.youtube.com/watch?v=ApM_zNQxlEI)

## 製作

- 確認操作步驟
- 確認配方及濃度
- 確認加熱時間不宜太長

## 研究特色

### 應用

- 太陽能板保護裝置
- 保溫導熱裝置
- 光霧百葉窗

### 性質

- 設計測量方法
- 機械性質優
- 光霧性佳、抗紫外線