

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

佳作

080110

忘「黏」之「膠」—光柵壓印對乾式膠帶效果之
研究

學校名稱：國立臺中教育大學附設實驗國民小學

作者： 小六 王若瑜 小六 黃子恩 小五 李唯瑄 小五 張福安	指導老師： 黃尚偉 簡辛如
---	-----------------------------

關鍵詞：乾式膠帶、光柵、微米壓印

摘要

因為對壁虎攀爬能力有興趣，我們決定研究**不黏手**的**乾式膠帶**！藉由自製**穩定施力的檢測裝置**，進行乾式膠帶**作法**和**變因**探討。

我們發現**矽膠**最適合製作乾式膠帶，壓印板推薦柵欄結構的**光柵**。當光柵**刻線密度越密**，**剪切力越大**！**1000 條光柵乾式膠帶**（剪切力 853 g/cm^2 ）是市售奈米膠帶的 **2.75 倍**！**矽膠**壓印可達到 $1\mu\text{m}$ 單位，我們稱為「**微米壓印**」，是小學生就能使用的技術！

光柵形狀會影響剪切力！訂製光柵太昂貴，我們藉由**雷雕**「**模擬低密度光柵**」形狀。推薦**橫向、同心圓及正六邊形**，形狀越小越密，剪切力越大。

我們研發出 **7099** 和**台 AB 光柵乾式膠帶**，擁有**不黏手、無殘膠、易剝離、單雙面皆可用、彩虹光澤**特性，**水洗能恢復黏性**、還能**當作光柵及二次壓印光柵**，具有推廣價值。

壹、研究動機

壁虎居然能在光滑的牆壁上攀爬！我們搜尋資料後，發現壁虎腳趾有很多細小的剛毛，這些**剛毛的匙突產生凡得瓦力**，讓壁虎能吸附在牆上。當**壁虎將腳抬起**，**吸引力就會消失**，也不會殘留任何痕跡。

如果有一種膠帶能夠像壁虎一樣，可以**選擇性的黏貼在想要的接觸面！不會黏手，也不會留痕跡**，那該有多好呀！我們上網搜尋，發現這種仿生壁虎攀爬能力的膠帶，稱為「**乾式膠帶**」。我們在網路找到一位網紅嘗試用矽膠製作乾式膠帶（見文獻一），他運用了各種方法將矽膠做出小凹洞，但最後失敗了！這激起我們想研究乾式膠帶的興趣！經過簡單測試後，發現自製乾式膠帶是可行的（見圖 3）！

我們想要探究**乾式膠帶的作法和變因**影響，進而製作出**不黏手、好剝離的乾式膠帶**！並將這種實用性高的乾式膠帶推廣出去。

貳、研究目的

- 一、 研發自製乾式膠帶的最佳方法。
- 二、 測試影響乾式膠帶的變因。
- 三、 分析細小結構壓印的可能性。
- 四、 研究光柵壓印的變因與效果。



圖 1：壁虎能夠在光滑牆面上爬行。

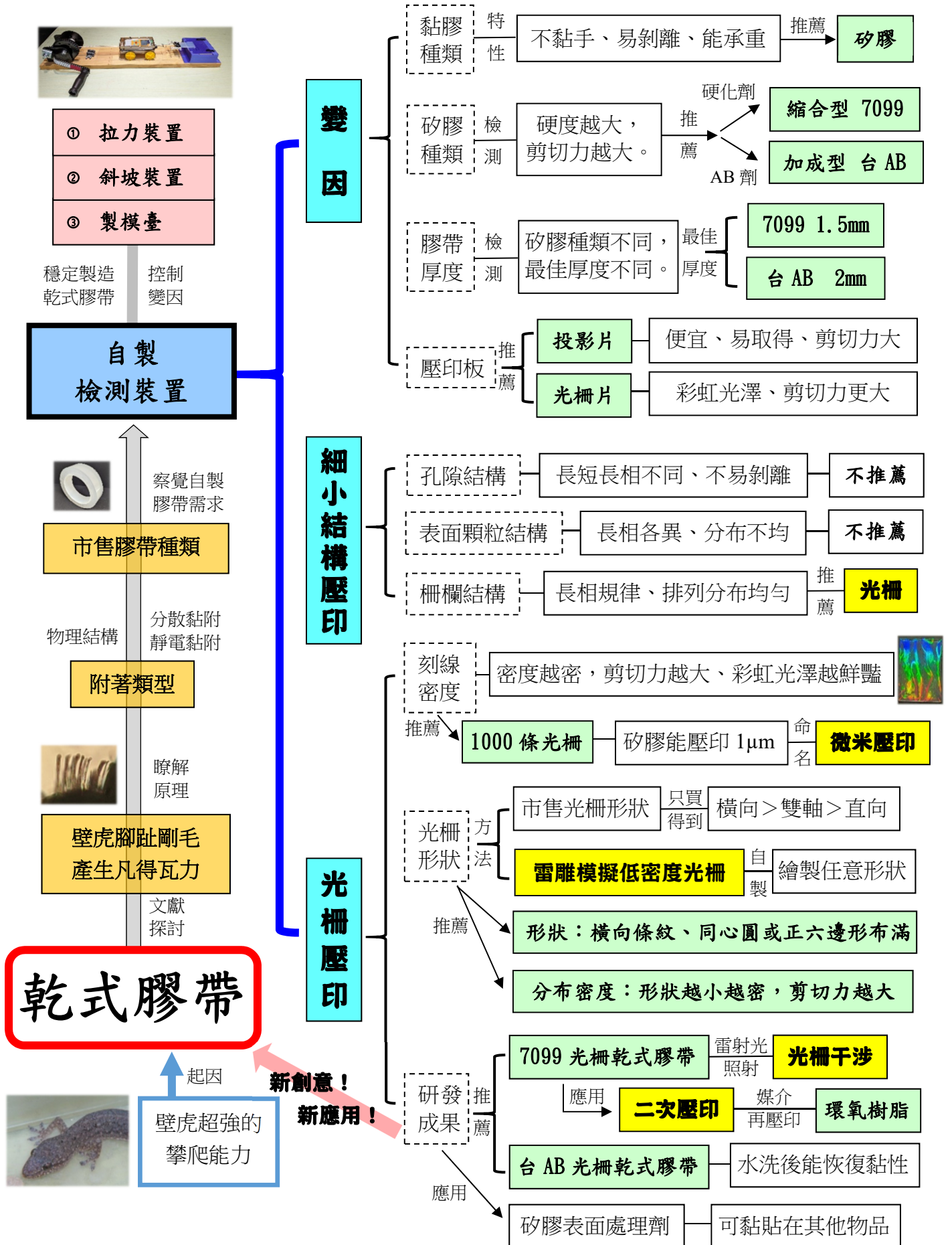


圖 2：網紅製作乾式膠帶，失敗了。（文獻一）



圖 3：我們以矽膠做出圓形乾式膠帶，能夠將紙固定在櫃子上。

參、流程概念圖



肆、文獻探討

一、壁虎的吸附原因：

根據文獻二，壁虎能在光滑牆壁或天花板爬行，是因為壁虎的腳趾上有數百萬根**剛毛**，每根剛毛前端有 100~1000 根的分叉，每根分叉前端有寬度約 $0.2\mu\text{m}$ 的**匙突**。像湯匙形狀的**匙突和牆面接觸時能產生凡得瓦力**！這些剛毛匙突累積起來的吸附力，讓壁虎能夠吸附和遊走在光滑的表面上。而藉由**改變剛毛匙突的角度**，就能在「黏」和「不黏」性質中**切換**！還可以不斷重複使用，黏性不會消失！

因此壁虎並不是藉由黏膠的化學作用產生吸附牆壁的效果，而是**使用物理結構的特性產生吸附效果**，而且藉由**改變剛毛角度**，能夠將附著的剛毛快速剝離牆面。



圖 4：壁虎腳趾上的剛毛能夠產生凡得瓦力。

圖 5：使用解剖顯微鏡拍攝壁虎的腳趾。

圖 6：使用解剖顯微鏡拍攝腳趾的剛毛。

圖 7：剛毛前端的匙突（圖片引自文獻三）。

二、黏附的類型：

我們從網路搜尋到關於黏附現象的分類（請見文獻四）。**兩種物質之間產生黏附的現象，一般將形成原因分成五種可能**，分別是：

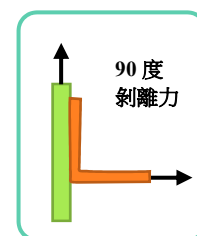
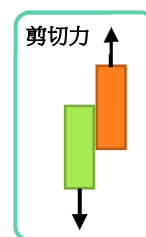
1. **機械黏附**：黏附物質填滿另一物質凹凸的表面或孔隙，形成力學上的互鎖。
2. **分散黏附**：兩種物質藉由凡得瓦力黏合在一起，又稱為物理吸附。
3. **靜電黏附**：兩種物質藉由靜電黏合在一起。
4. **擴散黏附**：兩物質的分子都可移動和溶解，以原子擴散黏合在一起。
5. **化學黏附**：在黏附處的兩物質形成新的化合物，兩種物質的原子共享或交換電子。

以上五種可能，能用在膠帶上的是第一~三種。**市面上的膠帶製作通常是在塑膠薄膜上敷一層黏膠**，被稱為「**濕式膠帶**」，這是**機械黏附**的應用。而**使用分散黏附、靜電黏附是使用物理結構產生黏貼力量**，被稱為「**乾式膠帶**」。壁虎膠帶便是乾式膠帶的一種應用！

三、黏性的檢測

乾式膠帶的黏性效果，需要用自製檢測裝置測量數據。但究竟黏性有哪些定義和檢測方向呢？我們上網搜尋相關資料（見文獻五），將膠帶黏性的檢測分成三種方法：

1. **初黏力**：初黏力定義是「在很輕的壓力和很短的時間中，與其它物體的表面產生黏合作用」。初黏力高低是由黏膠能否快速潤濕其接觸表面的能力來決定。例如蒼蠅紙就是初黏力很大的黏膠。當蒼蠅被黏到時會用力掙扎，因此需要初黏力很高，才能避免蒼蠅飛走。因此初黏力也能測量膠帶是否會黏手。我們使用**斜坡裝置**來測量膠帶的初黏力。
2. **剪切力**：剪切力定義是「外力大小相等、方向相反，與黏接面平行力道作用，材料橫截面沿該外力作用方向發生的相對錯動變形現象」。剪切力就是**承重力**，膠帶承受力道時，抗拒滑動的力量。我們使用**拉力裝置**水平施力測量剪切力。
3. **剝離力**：剝離力定義是「外力作用的方向與黏接面成 90 度或 180 度施力，將膠帶剝開的力道」。剝離力可知膠帶貼上後，施力多少會將它剝開。我們使用**拉力裝置**以 90 度和 180 度剝離力測試過各種市售膠帶。發現 180 度剝離力容易受到膠帶厚度影響。最後選擇用 **90 度剝離力**來測量。



四、歷屆科展作品研究


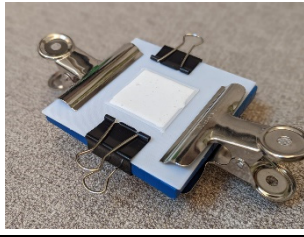
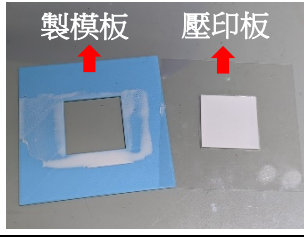
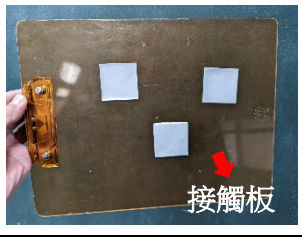
我們搜尋了**歷屆全國科展的研究**，找到了與**乾式膠帶**相關的研究，整理如下：

屆數組別	作品名稱	作品相關內容	作品分析
第 50 屆 國中組 (文獻六)	黏黏有虞？—各品牌膠帶黏性測試實驗	對市售的各種膠帶進行不同的黏性檢測。	此作品採用了「垂直拉扯法、斜面法」的檢測方法，並針對接觸面材質和施加正向力做研究。可作為裝置設計和控制變因掌握的參考。
第 62 屆 國小組 (文獻七)	與豬謀皮～豬皮萃取明膠製成黏著劑之研究	以豬皮製作出黏著劑，並進行檢測黏性。	之前的科展作品大多都是用掛砝碼測量剪切力，但此作品最後使用捲揚機搭配拉力計進行黏性拉力檢測。可作為裝置設計的參考。
第 62 屆 國小組 (文獻八)	有「膠」無痕—乾式膠帶的製造	以白膠作為原料，在校內樹葉、生活用品與塑膠材質上製作乾式膠帶，並做拉力檢測。	<ul style="list-style-type: none"> ● 材料以白膠為主體製作乾式膠帶。雖然白膠便宜，但壓印和承重效果差，且不容易乾。我們希望可以找到更適合的原料。 ● 製作乾式膠帶的黏性檢測和製造過程並沒有完全掌握控制變因，我們可以嘗試看看更精確的方法進行製作和檢測。 ● 乾式膠帶研究並沒有進行表面結構的探討。壁虎是因為腳趾細小的剛毛產生凡得瓦力，因此我們可挑戰壓印細小的結構！

伍、實驗裝置設計

為了能準確測量膠帶的黏性效果，我們上網搜尋黏性的定義，將黏性分成「**初黏力**、**剪切力**和**剝離力**」。我們自製「**斜坡裝置**」和「**拉力裝置**」，來準確測量各種黏性的力道。同時訂出測量的**標準實驗流程**，讓測量更加精準。為了穩定製作乾式膠帶和檢測，我們針對**模具**、**膠帶掛勾**和**膠帶厚度**都進行了研究，並研發出專屬的方法，讓控制變因能夠穩定！

一、**名詞定義**：在前測實驗之後，我們整理出**自製乾式膠帶的簡易流程**，流程如下：

1.黏膠灌模	2.靜放硬化	3.膠帶脫模	4.黏貼測試
			
將黏膠倒入模具中，將模具均勻灌滿。	將模具靜放，等待黏膠硬化。	將硬化的自製膠帶從模具中拆下來。	將自製膠帶貼在板子上，測試黏性效果。

測試過程中，我們發現模具的底層和邊框拆開，膠帶脫模才會方便。而且黏膠會壓印模具的底層，造成製作出的膠帶結構和黏性有差異！我們將**有壓印功能的模具底層命名為「壓印板」**。實驗初期，我們以「**投影片**」作為壓印板。因為投影片表面平滑、容易取得。

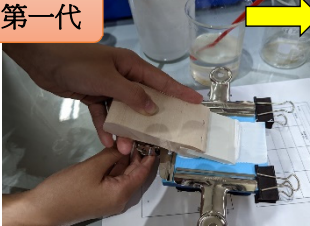
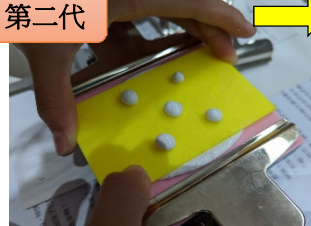
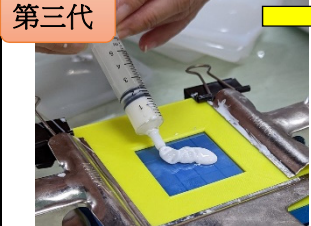
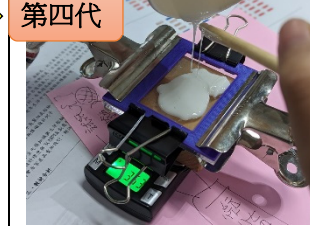
此外，我們發現乾式膠帶的大小、厚度和形狀，會影響膠帶黏性。我們**使用 3D 列印印製模具邊框**，控制膠帶厚度和大小。我們將**固定膠帶範圍和厚度的邊框命名為「製模板」**。

乾式膠帶黏貼在不同材質的板子上，會有黏性差異！我們將**膠帶黏附的板子命名為「接觸板」**。實驗初期，我們以「**壓克力板**」作為接觸板，因為容易取得、切割方便。

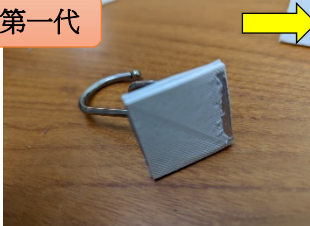
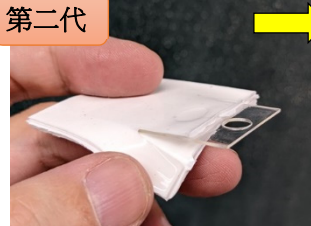
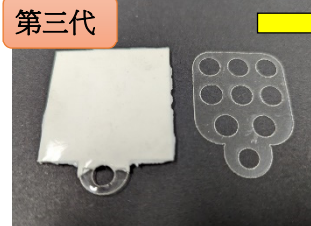
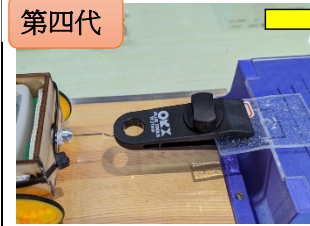
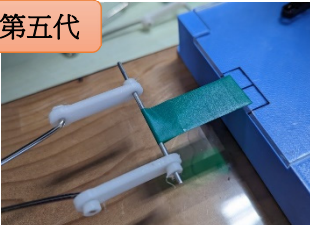

二、**製模臺**：黏膠灌模的模具需要能夠更換壓印板和製模板！我們**設計方便拆裝的製模臺！**

第一代	第二代	第三代	第四代
			
以 3D 列印印製淺盤的模具，但不易脫膜，且壓印板效果差。	以黏土將塑膠環黏在投影片上，但無法控制高度，也無法改變形狀。	積木墊高底板，以長尾夾夾住製模板、投影片和底板。更換方便！	以壓克力板取代數學積木當作底板，表面平滑又能大量複製。

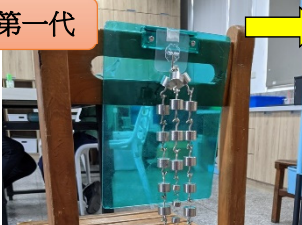
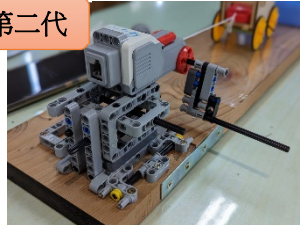

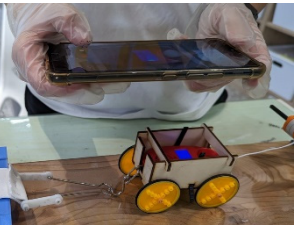
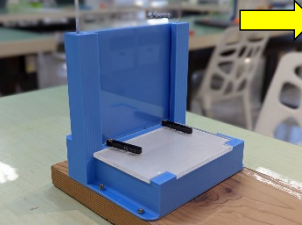
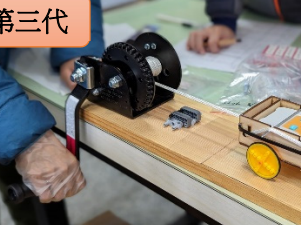


三、**固定矽膠厚度**：在實驗中期，我們發現**矽膠最適合製作乾式膠帶**。但我們發現**矽膠的厚度會影響到黏性檢測**。最後我們找到使用**秤重**來**固定矽膠厚度**。

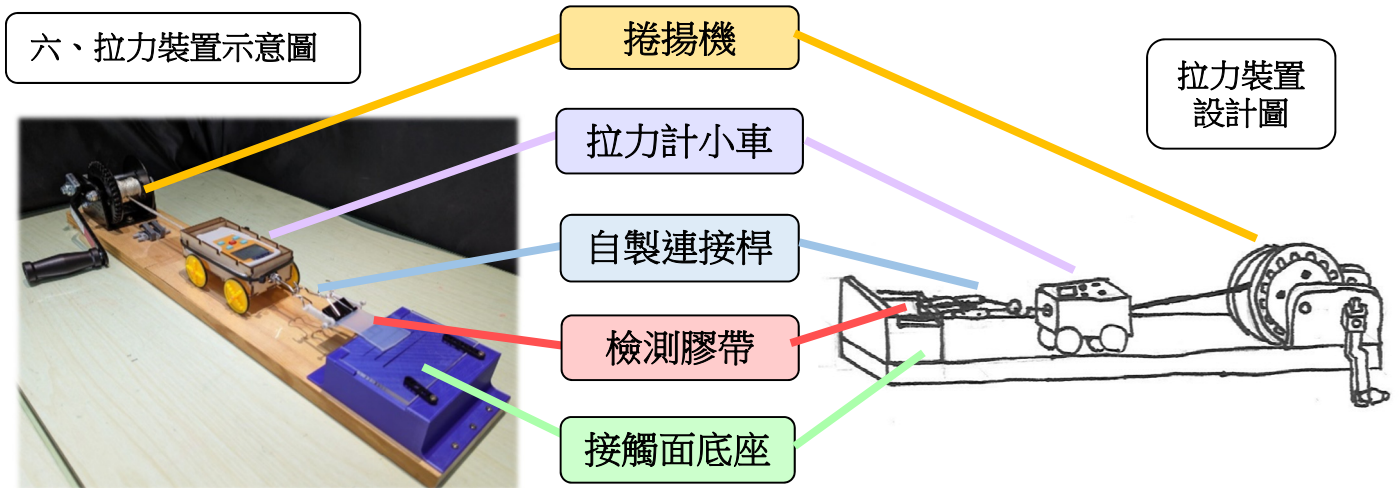
<p>第一代</p> 	<p>第二代</p> 	<p>第三代</p> 	<p>第四代</p> 
<p>以刮刀刮除多餘矽膠，但矽膠會沾黏在刮刀上，讓膠帶厚度減少。</p>	<p>以打洞蓋子去除多餘矽膠，但表面氣泡很多，且膠帶無法平整。</p>	<p>以針筒測量矽膠體積，但矽膠太黏稠，不易擠出。準確度很低。</p>	<p>以電子秤測量矽膠重量，反覆測試，確認矽膠厚度所需克數。</p>

四、**自製連接桿（矽膠掛勾）**：歷屆科展作品測量黏性是將膠帶貼上掛勾再掛重物。但我們發現「**矽膠製作的乾式膠帶無法黏上掛勾**」！因為矽膠是**難接著材質**，無法黏上其他膠帶！最後我們將**膠帶反折**，以**自製連接桿**固定膠帶，自創出矽膠掛勾！

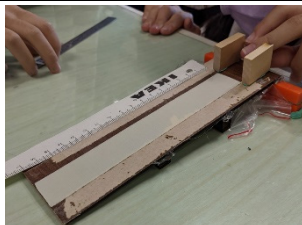
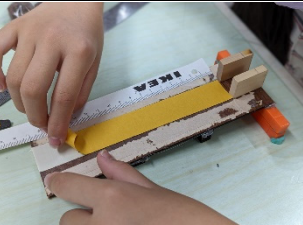
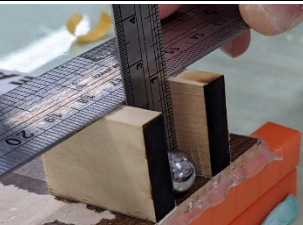
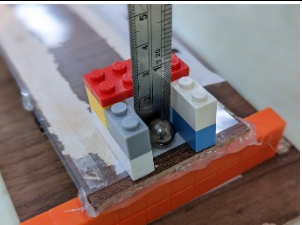
<p>第一代</p> 	<p>第二代</p> 	<p>第三代</p> 	<p>第四代</p> 
<p>矽膠灌模一半，放入掛勾，再灌矽膠，將掛勾鑲在矽膠中。</p>	<p>將 1mm 厚的壓克力板鑲在矽膠中，但壓克力板太厚，會分開。</p>	<p>改用投影片做成掛勾，厚度更薄，製作方便，也不易脫落。</p>	<p>購買市售的露營夾，轉鈕能鎖緊膠帶，但會對膠帶造成咬痕。</p>
<p>第五代</p> 	<p>第六代</p> 	<p>矽膠反折無法自黏，我們利用長尾夾夾住矽膠，避免脫落。</p>	<p>自製連接桿能夠固定矽膠膠帶，連接拉力計。我們自創出矽膠掛勾！</p>
<p>使用膠帶反折，中間夾上輪軸鐵棒。反折膠帶能避免膠帶鬆開。</p>	<p>TPU 線材印製連接桿，用來固定膠帶。修正了很多次設計！</p>	<p>矽膠反折無法自黏，我們利用長尾夾夾住矽膠，避免脫落。</p>	<p>自製連接桿能夠固定矽膠膠帶，連接拉力計。我們自創出矽膠掛勾！</p>

五、**拉力裝置（剪切力、剝離力）**：為了測量膠帶**剪切力**和**剝離力**，我們需要**穩定的水平施力**和**顯示拉力數據**的測量器。我們使用 3D 列印印製「**接觸面底座**」，可更換不同材質的接觸板。使用可記錄最大施力的「**拉力計**」顯示拉力數據，並製作拉力計小車方便拉力計前後滑動（減少摩擦力影響）。使用「**捲揚機**」和尼龍繩產生穩定的水平施力，搭配**自製連接桿**固定檢測膠帶。我們設計出能產生穩定水平施力的「**拉力裝置**」！

<p>第一代</p> 	<p>第二代</p> 		
<p>膠帶貼在掛勾上，掛上砝碼測負重。但是不準確又不方便。</p>	<p>以電子樂高零件製作手搖捲線機，藉由捲線產生水平施力。</p>	<p>製作小車，讓電子彈簧秤順暢的前後移動又可避免摔落桌面。</p>	<p>電子彈簧秤配合手機錄影，測量膠帶脫離接觸面的最大拉力。</p>
	<p>第三代</p> 		
<p>以3D列印印製「接觸面底座」，可更換接觸板的材質。</p>	<p>實驗中期，電子樂高馬達扭力不足！改用捲揚機產生更大的施力。</p>	<p>電子彈簧秤測量數據麻煩，改用能記錄最大施力的拉力計。</p>	<p>我們自製了能產生穩定水平施力的「拉力裝置」。</p>



七、斜坡裝置（初黏力）：為了測量膠帶會不會黏手，我們需要測量膠帶的**初黏力**。我們製作長 20cm、角度 15 度的木板斜坡，將長 17cm 的檢測膠帶貼在斜坡上。以**直徑 1cm 鋼珠**從斜坡上方滑落，**鋼珠會因為膠帶的黏性而停住**。記錄鋼珠停在斜坡上的位置。


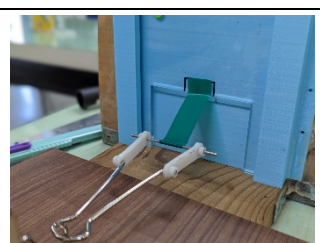
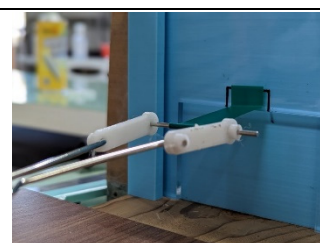
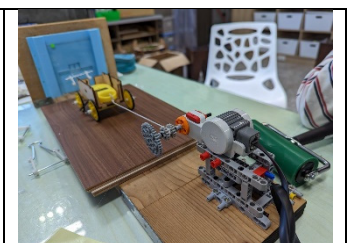
			
<p>木板鋪上投影片，再以積木墊高，製作出角度 15 度的斜坡。</p>	<p>將檢測膠帶黏貼在投影片上，只要更換投影片就能更換膠帶。</p>	<p>以二把鐵尺卡住鋼珠，將小鐵尺抽離，鋼珠會自然滾落。</p>	<p>改裝成以樂高積木做成卡樺，小鐵尺擋住鋼珠。</p>

八、「剪切力」(拉力裝置) 標準檢測流程

- 固定檢測膠帶**：將檢測膠帶一端輕放在水平接觸板上，另一端膠帶反折固定在連接桿上。
- 連接拉力計**：將連接桿另一端與拉力計掛勾鉤在一起，以捲揚機將線卷到拉撐狀態。
- 滾筒滾動施壓**：檢測膠帶上放一張投影片，以拓印滾筒在膠帶來回滾動三次，給予膠帶相同重壓施力，再將膠帶上的投影片移除（放投影片是避免檢測膠帶黏在拓印滾筒上）。
- 捲揚機捲線**：以捲揚機開始捲線，以相同速度產生穩定的水平施力。
- 記錄拉力計數據**：當檢測膠帶被水平施力拉離接觸板時，觀看拉力計的最高數值，記錄剪切力的數據。每片膠帶測五次，再將兩片膠帶數據計算平均！

			
膠帶輕放接觸板 膠帶一端輕放在壓克力板上，對齊切線。	反折固定連接桿 膠帶另一端反折，以長尾夾夾住膠帶和鐵棒。	連接拉力計掛勾 將連接桿另一端鉤住拉力計的掛勾。	放置投影片 膠帶上方放投影片，避免膠帶黏到滾筒。
			
滾筒滾動施壓 以拓印滾筒對膠帶來回滾動三次施壓。	捲揚機捲線 拿掉投影片，以捲揚機捲線，水平施力。	膠帶脫落接觸板 膠帶被拉離接觸板，停止捲揚機捲線。	記錄數據最大值 觀看拉力計最高數值，測五次，求平均。

九、「剝離力」(拉力裝置) 標準檢測流程

			
固定檢測膠帶 檢測膠帶固定在連接桿和接觸板上。以滾筒滾動施壓三次。	固定接觸板 將接觸板垂直放入接觸面底座，連接桿鉤住拉力計掛勾。	90 度施力剝離 以樂高馬達捲線，產生水平拉力，將膠帶 90 度剝離。	記錄數據最大值 膠帶被剝離接觸面，觀看拉力計最高數值，測三次，求平均。

陸、研究過程及結果

實驗一、市售膠帶種類：








(一)、研究動機：

市售的各種膠帶中，哪些是**濕式膠帶**？又有哪些是**乾式膠帶**呢？膠帶使用時會有黏手的问题嗎？標榜奈米效果的膠帶是真的嗎？我們蒐集了**市售有代表性的**膠帶，以及**標榜有奈米效果**的膠帶，用各種方法檢測它們的**初黏力**、**剪切力**與**剝離力**效果。

(二)、研究方法：

1. 挑選與購買市售常見的代表膠帶（編號 1-6），以及號稱奈米無痕的膠帶（編號 7-8）。
2. **溶劑去膠**：以水（泡三天）和「檸檬貼紙除膠劑」嘗試將檢測膠帶的黏性去除。
3. **接觸面附著**：將檢測膠帶貼在各種接觸面（衛生紙、壁報紙、水泥牆），檢測膠帶撕下時是否黏住殘渣（紙屑、油漆屑），並以透明方格紙計算膠帶沾黏殘渣的面積比例。
4. **初黏力**：以斜坡裝置測試鋼珠在檢測膠帶上的滾動距離，測三次，求平均。
5. **剪切力**：將檢測膠帶（1cm X 2.5cm）貼在水平的接觸板（壓克力材質），以拉力裝置水平施力，直到檢測膠帶脫離接觸板，測量當時最大力道，測三次，求平均。
6. **剝離力**：將檢測膠帶（1cm X 2.5cm）貼在垂直的接觸板（壓克力材質），使用拉力裝置以 90 度方向拉動膠帶，將膠帶剝離接觸板，測量分離時的力道，測三次，求平均。

(三)、實驗數據（初黏力、剪切力、剝離力數據皆為檢測膠帶測量三次後的平均值）：

編號	1	2	3	4	5	6	7	8
名稱	透明膠帶	電火布	雙面膠	泡棉膠帶	地毯膠	壓克力膠	奈米無痕貼	奈米雙面膠
類型	單面	單面	雙面	雙面	雙面	雙面	雙面	雙面
圖片								
價格(元/公尺)	0.4	0.6	1.2	6.0	5.2	6.3	8.3	43.0
成分	基底	聚丙烯	聚氯乙烯	離型紙	泡棉離型紙	棉布離型紙	聚氯乙烯	聚氯乙稀
	膠	膠	膠	壓克力膠	壓克力膠	膠		
厚度(mm)	0.05	0.14	0.20	2.20	0.40	1.72	0.68	2.13
延性	無法拉長	勉強拉長	無法拉長	勉強拉長	無法拉長	會拉長	無法拉長	會拉長
溶劑去膠	水	○	△	○	○	○	○	△
	除膠劑	○	○	○	○	○	○	X
	判定	濕式膠帶	濕式膠帶	濕式膠帶	濕式膠帶	濕式膠帶	濕式膠帶	濕式膠帶

【溶劑去膠：○（完全去膠，無黏性）、△（部分去膠，黏性減弱）、X（無法去膠，黏性相同)】

名稱		透明膠帶	電火布	雙面膠	泡棉膠帶	地毯膠	壓克力膠	奈米無痕貼	奈米雙面膠
接觸面附著(%)	衛生紙	100.0	39.0	96.0	100.0	88.0	100.0	83.0	93.0
	壁報紙	35.0	0	54.0	58.0	24.0	33.0	47.0	0
	水泥牆	4.1	0	0.4	40.0	35.4	2.5	72.3	0
初黏力(cm)		2.1	5.9	3.3	1.5	1.0	1.3	1.2	1.1
剪切力(kg)		3.96 (Δ)	0.61 (Δ)	3.47 (#)	5.72 (#)	4.99	3.43 (Δ)	3.95	0.93 (Δ)
剝離力(kg)		0.66	0.07	0.45	0.44	1.05	0.75(Δ)	1.04	0.59

【記號標示：Δ（膠帶拉長）、#（膠帶斷掉）】

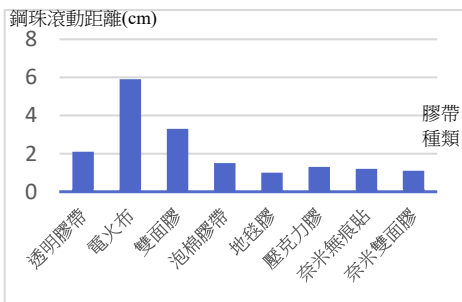


表 1：市售膠帶種類初黏力長條圖

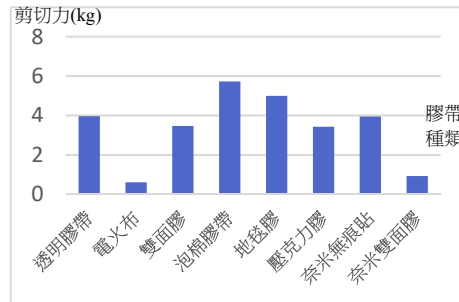


表 2：市售膠帶種類剪切力長條圖

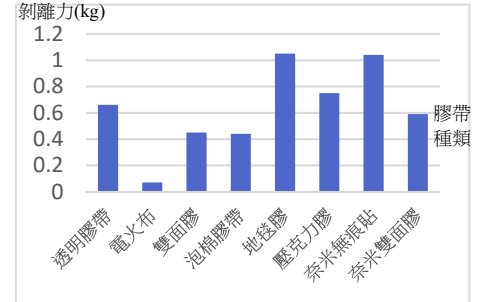


表 3：市售膠帶種類剝離力長條圖

(四)、測試結果：

1. 膠帶分成單、雙面。單面膠是塑膠布塗一層膠。雙面膠是以膠為主體（或一片材質兩邊上膠），加上離型紙避免彼此互相黏住。以膠為主體的雙面膠，容易被拉長和拉斷！
2. 市售膠帶的價錢不一，**最便宜的膠帶和最貴的膠帶價差一百多倍**。奈米無痕貼是 6cm x6cm 一片 1 元，但以比例換算面積一公尺長（2.5cm 寬）的價錢卻要 8.3 元，很昂貴！
3. 從溶劑去膠的測試可發現，只有「奈米雙面膠」不受到水和除膠劑影響。因此市售膠帶中**只有「奈米雙面膠」是乾式膠帶，其他都是濕式膠帶。**
4. 當鋼珠在斜坡上滾動距離越近（數據越小），代表初黏力越大，也越黏手！**市售膠帶中初黏力較小（不黏手）的是電火布和雙面膠**，其他初黏力都很大（都很黏手）。
5. 剪切力越大，代表膠帶越黏、能夠承受的負重也越大！**大部分市售膠帶的剪切力都很大（能承重），只有奈米雙面膠和電火布剪切力很小（承重力差）。**
6. 剝離力越大，代表膠帶不易被剝離。地毯膠和奈米無痕貼剝離力大，**電火布最易剝離。**
7. 市售膠帶可以購買到乾式膠帶「奈米雙面膠」，初黏力大、剝離力大，但剪切力並不大！**雖會黏手，會沾黏衛生紙！但卻不會沾黏壁報紙和水泥牆！而且價錢昂貴！**



圖 8：將膠帶貼在水泥牆，測試是否黏殘渣。



圖 9：以透明方格紙計算膠帶黏殘渣百分比。



圖 10：奈米雙面膠是乾式膠帶，但會黏衛生紙

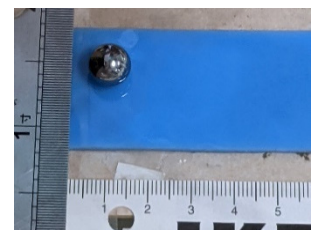


圖 11：奈米雙面膠初黏力大(只滾動 1.1cm)

實驗二、黏膠種類：

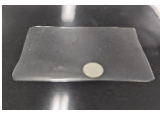

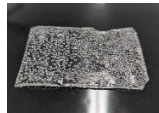
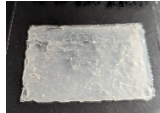
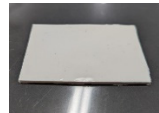
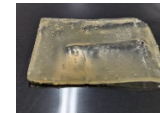
(一)、研究動機：

我們要嘗試自己製作乾式膠帶了！我們推測讓液態狀的黏膠慢慢硬化，就能做出自製乾式膠帶！我們蒐集了市售的各種黏膠進行測試，來試試看有哪些黏膠能夠製作出乾式膠帶。

(二)、研究方法：

- 收集市售六種液態狀的黏膠。以下列三種方式製作檢測的乾式膠帶。
 - 初黏力：印製 TPU 3cmX17cm 長方形框，貼在投影片上，將黏膠倒入框中硬化。
 - 剪切力：印製厚 2mm 的 4 cm x 6 cm 製模板，將黏膠倒入製模臺裡硬化。
 - 剝離力：印製厚 2mm 的 4 cm x 4 cm 製模板，將一半的液態黏膠倒入製模臺裡，放入投影片掛勾，再倒入剩下另一半的黏膠，等待硬化。
- 手戴橡膠手套（避免手上髒汙污染膠帶），將自製乾式膠帶拆下來。
- 能否當膠帶**：膠帶放在壓克力板上，滾筒滾三次，將壓克力板直立，看膠帶是否掉落。
- 厚度變化率**：以「厚度計」測量 4 x 6 cm² 自製膠帶乾燥後的厚度變化。計算硬化後的厚度變化率 = $(2 - \text{黏膠硬化後厚度}) / 2 \times 100\%$ 。（液體狀黏膠原本高度是 2mm）
- 接觸面附著**：以自製膠帶黏貼各種接觸面，計算附著殘渣的百分比。
- 初黏力**：將 3 X 17 cm² 自製膠帶貼在斜坡裝置上，測量初黏力。測三次，求平均。
- 剪切力**：4 x 6 cm² 自製膠帶以拉力裝置測量接觸面 4 x 3 cm² 剪切力。測三次，求平均。
- 剝離力**：4 x 4 cm² 自製膠帶以拉力裝置測量接觸面 4 x 3cm² 剝離力。測三次，求平均。

(三)、實驗數據（初黏力、剪切力、剝離力數據皆為檢測膠帶測量三次後的平均值）：

名稱	膠水	白膠	保麗龍膠	矽利康	矽膠	熱熔膠
成分	聚乙烯醇	聚乙烯酯酸脂	聚乙酸乙烯酯	矽橡膠	矽膠	乙烯、醋酸乙烯
自製膠帶圖片						
乾燥時間	3 天	5 天	1 天	1 天	6 小時	3 分鐘
膠帶特色	變得很薄，很透明。	變得很薄，很久才會乾。	氣泡很多，很難脫膜。	無法從投影片拆下來！	有彈性，容易脫膜。	會立即硬化，表面無法平整！
能否當膠帶	X	○	○	X	○	○
厚度(mm)	0.14	0.31	1.16	1.18	1.73	1.46
厚度變化率(%)	93.0	84.5	42.0	41.0	13.5	27.0
接觸面附著(%)	衛生紙	0	0		0	0
	壁報紙	0	0		0	0
	水泥牆	0	0		0	0
初黏力(cm)	X(無法測量)	X(無法測量)	X(無法測量)		X(無法測量)	X(不平整，無法測)
剪切力(kg)	0	0.11	1.78		3.05	1.60
剝離力(kg)	自動掉落	0	0		0	0

【能製作乾式膠帶的黏膠，鋼珠都無法停留在斜坡上，會自然滾落至桌上。因此無法測量移動距離。】

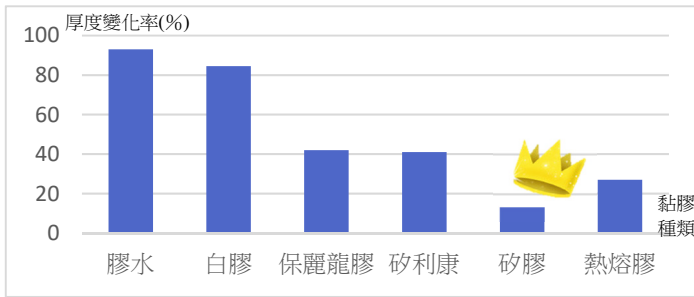


表 4：黏膠種類厚度變化率長條圖

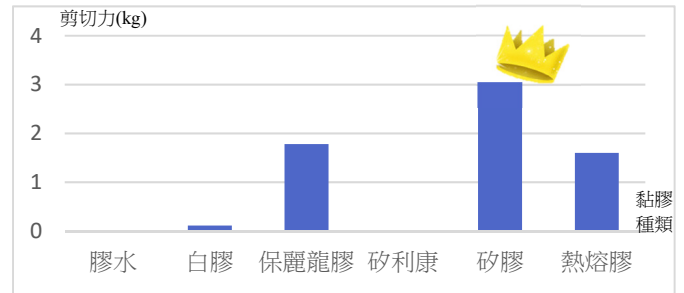


表 5：黏膠種類剪切力長條圖

(四)、測試結果：

1. 液態狀黏膠能夠製作出乾式膠帶的是**白膠、保麗龍膠、矽膠和熱熔膠**。但熱熔膠硬化速度過快，無法將表面刮平，因此不考慮製作乾式膠帶。
2. 矽利康黏死在投影片上，無法剝離。膠水膠帶無法黏附在壓克力板上，會直接掉落。
3. 以乾燥速度來看，**矽膠 6 小時**、保麗龍膠和矽利康一天，膠水和白膠超過 3 天才硬化。
4. 從厚度變化率來看，**矽膠變化率最小**，白膠和膠水變化率最大。推測是白膠和膠水的含水量很高，水分蒸發後造成厚度變薄。也因為需要等待水分蒸發，因此乾燥時間很久。
5. 矽膠、矽利康沒有水分蒸發，但厚度還是會減少。我們推測「製作乾式膠帶，以刮刀將多餘的膠刮除時」，液態膠會因沾黏刮刀，造成克數減少，厚度減少！我們必須重新思考如何**讓矽膠維持相同厚度**的方法（見伍、實驗裝置設計的第三點「固定矽膠厚度」）。**種自製乾式膠帶都無法測出初黏力**，鋼珠會直接滾落斜坡，無法被膠帶黏住。同時以自製乾式膠帶貼附各種接觸面，也都不會黏住任何殘渣。因此**乾式膠帶不會黏手！**
6. 自製乾式膠帶測量剪切力，**承重效果最佳的是矽膠**，其次是保麗龍膠、熱熔膠和白膠。效果最佳的矽膠剪切力（3.05kg）約是白膠（0.11kg）的 27 倍左右！
7. 各種自製乾式膠帶的剝離力檢測都是 0，代表**乾式膠帶都能用很小的力道剝離！**
8. 各種自製乾式膠帶的特性是**不黏手、易剝離，但能承重！**其中承重效果最佳的是矽膠！同時矽膠硬化速度快、厚度變化率小，因此接下來實驗皆以**矽膠**作為自製膠帶的原料。



圖 12：膠帶硬化時放在水族箱中，避免灰塵。



圖 13：以壓克力板檢測自製膠帶是否黏貼。



圖 14：以厚度計測量自製乾式膠帶的厚度。



圖 15：測量剝離力，自製乾式膠帶皆易剝離。

實驗三、矽膠種類：

(一)、研究動機：

化工行的矽膠有很多種類，究竟哪一種最適合製作乾式膠帶？！我們蒐集不同種類和硬度的矽膠，製作成乾式膠帶並進行測試，希望找到最適合製作乾式膠帶的矽膠種類。

(二)、研究方法：

- 市售矽膠的製作方式分成兩種，一種是縮合型（主劑和少量的硬化劑均勻混合），另一種是加成型（分成 A 劑和 B 劑，以等量均勻混合）。我們購買了兩種類型的矽膠，甚至加成型還從美國和台灣兩個不同地點購買（分別簡稱「美 AB」和「台 AB」）。
- 市售的矽膠是以邵氏硬度（A）作為硬度單位，我們購買了各種不同硬度的矽膠。
- 我們將檢測矽膠以相同重量（5.5 克）利用製模臺製作成「長 6cm、寬 4 cm、厚 2mm」的乾式膠帶（壓印板為投影片），並以厚度計測量厚度，確認厚度約為 2mm。
- 為了提高測量的準確度，每一種檢測矽膠會製作兩片乾式膠帶！檢測時，每片膠帶會測五次，再將兩片乾式膠帶的數據計算出平均！當兩片乾式膠帶的數據差異太大，會製作第三片和第四片，重新檢核測量數據，避免檢測數據沒有代表性！
- 以拉力裝置測量面積 $4 \times 3 \text{ cm}^2$ 剪切力，每片膠帶測五次，再將兩片膠帶數據計算平均！
- 矽膠無法測量初黏力，測剝離力都是 0，因此接下來實驗都不測量初黏力和剝離力。

(三)、實驗數據（每種檢測膠帶皆製作二片，每片分別測量五次後，求平均值。）：

製作方式	縮合型					加成型	
名稱	403	S-810	312	533	7099	台 AB	美 AB
硬度(A)	9	12	15	27	40	10	15
價格(元/g)	0.42	0.53	0.53	1.16	0.95	0.50	1.54
膠帶顏色	乳白色	乳白色	乳白色	乳白色	透明	半透明	半透明
厚度(mm)	1.80	1.77	2.18	2.20	2.15	2.02	1.96
剪切力(kg)	2.37 (Δ)	3.47 (Δ)	3.74 (Δ)	4.72 (Δ)	5.88	5.45 (Δ)	5.55 (Δ)

【記號標示：Δ（膠帶拉長）】

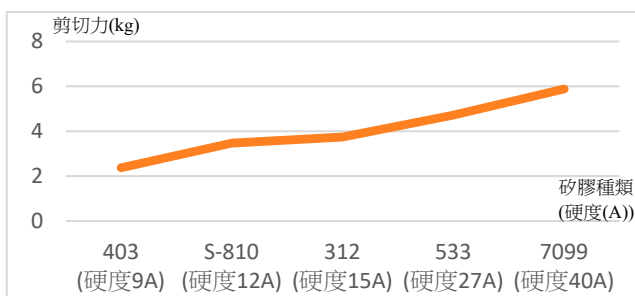


表 6：縮合型矽膠硬度剪切力折線圖

	縮合型	加成型
流動速度 製作狀況	不易流動， 需手動鋪平。	容易流動， 會自動鋪平。
脫模狀態	不易剝離， 平整度較差	容易剝離， 平整度高
成品狀況	容易出油， 厚度不太均勻	穩定，有韌性 ，厚度均勻

表 7：縮合型與加成型矽膠差異比較表

(四)、測試結果：

1. 各種矽膠都能夠製作出乾式膠帶，但製作的方便度、膠帶性質和黏性不一定相同。
2. 縮合型矽膠的**硬度越大，剪切力會越大！**但也越沒有延性（無法拉長）。
3. **加成型矽膠**比縮合型矽膠適合製作乾式膠帶，原因如下：
 - (1) **加成型矽膠流動性高！**將加成型矽膠倒在製模臺後，矽膠會自動均勻鋪平在製模板中。縮合型流動性低，十分黏稠需要手動傾斜製模臺，讓矽膠慢慢流滿，不易均勻。
 - (2) **加成型矽膠脫模方便**，能夠從壓印板上輕鬆剝離。縮合型脫模時，有時邊角會黏在壓印板上，需花較多時間將邊角的渣渣清除。
 - (3) **以加成型矽膠製作的乾式膠帶厚度均勻，成品穩定，韌度較佳。**縮合型的乾式膠帶厚度易不均勻（因為製作時流動性差），而且放久容易出油、黏手。
 - (4) 硬度低的縮合型矽膠有彈性。硬度高的縮合型（7099）則會沒有延性，不會變形。
4. **透明（半透明）乾式膠帶**因為膠帶透明，檢測時可觀察到**膠帶與壓克力板的貼合狀況**。
5. 經過測試和評估，我們從七種矽膠中挑出三種矽膠做進一步的測試，分別為：
 - (1) **S-810（12A）**：縮合型硬度低代表！乳白色的矽膠裡面性質最穩定，又容易購買。
 - (2) **7099（40A）**：縮合型硬度高代表！透明的矽膠，施力不會被拉長，且剪切力高。
 - (3) **台 AB（10A）**：加成型代表！台灣就能購買到，性質穩定、密合度高、製作方便。
6. 以拉力裝置測試時，乾式膠帶大多會被拉長。推測**膠帶透過形變拉長來影響拉力效果**。



圖 16：購買各種硬度矽膠，秤重作膠帶。

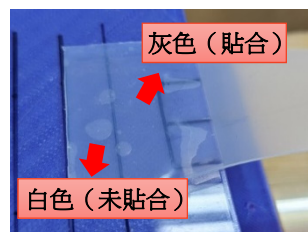


圖 17：透明矽膠可看到膠帶密合度。灰色為貼合，白色為未貼合。

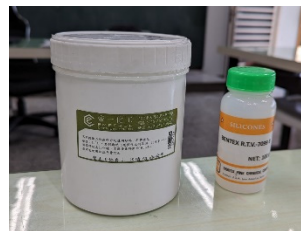


圖 18：推薦使用縮合型 7099（40A）矽膠。



圖 19：推薦使用加成型台 AB（10A）矽膠。

實驗四、膠帶厚度與面積大小：

(一)、研究動機：

測試實驗時，我們發現乾式膠帶的**厚度會影響剪切力大小**！但究竟哪一種厚度最適合自製乾式膠帶？我們將實驗三選出的三種矽膠，製作出**不同厚度（0.5~3mm）**的乾式膠帶檢測效果。另外我們想研究膠帶面積大小是否會影響剪切力，並以台 AB 矽膠進行研究。

(二)、研究方法：

- 為了能準確製作出不同厚度的乾式膠帶，我們以 S-810 矽膠反覆估計與測試各種厚度的矽膠重量。以「長 6cm、寬 4 cm」模子，得出不同厚度所需矽膠重量比例數據如下：

厚度 (mm)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
矽膠重量 (g)	1.2	3.0	4.2	5.5	7.3	8.5

- 以矽膠厚度與重量的數據，製作出 S-810、7099、台 AB 三種矽膠 0.5~3mm 厚度的乾式膠帶各二片。並以厚度計測量驗證製作出來的乾式膠帶厚度，避免厚度誤差過大。
- 以拉力裝置測量面積 4 x 3 cm² 剪切力，每片膠帶測五次，再將兩片膠帶數據計算平均！
- 實驗三測試時，我們發現不同種類矽膠製作的膠帶以拉力裝置測試時，膠帶會被拉長成不同長度。因此我們在測量剪切力時，同時以尺測量乾式膠帶被拉長的長度。
- 我們使用台 AB 製作出厚度皆 2mm 但不同面積（4x3~1x3 cm²）膠帶進行剪切力測量。

(三)、實驗數據（每種檢測膠帶皆製作二片，每片分別測量五次後，求平均值。）：

1. 膠帶厚度：

種類	厚度 (mm)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
S-810 (硬度 12A)	剪切力(kg)	2.24 (#)	4.15	3.48	3.34	3.10	2.15
	拉長長度(cm)	膠帶斷掉	14.0	13.0	9.4	8.2	5.9
7099 (硬度 40A)	剪切力(kg)	5.46 (#)	6.78	7.02	5.38	5.17	3.73
	拉長長度(cm)	膠帶斷掉	6.9	3.5	3.6	3.1	3.5
台 AB (硬度 10A)	剪切力(kg)	3.23 (#)	5.48 (#)	6.36	7.10	4.41	4.23
	拉長長度(cm)	膠帶斷掉	膠帶斷掉	10.1	9.7	7.8	6.8

【記號標示：#（膠帶斷掉）】

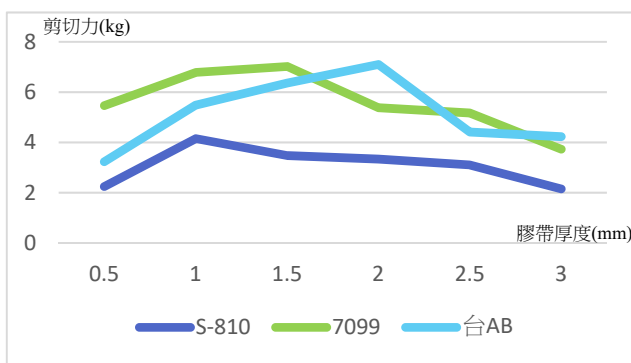


表 8：膠帶厚度剪切力折線圖

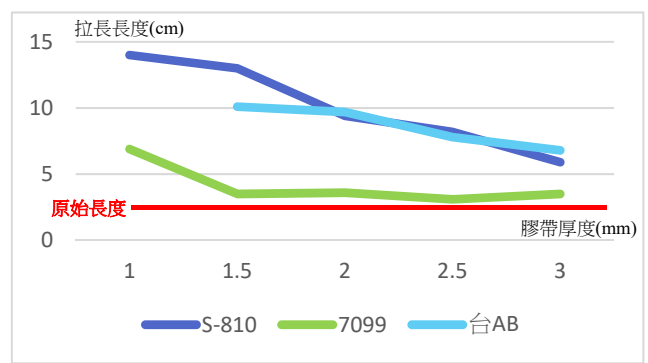


表 9：膠帶厚度拉長長度折線圖

2. 膠帶面積大小：

面積大小(cm ²)	4 x 3	3 x 3	2 x 3	1 x 3
剪切力(g)	7096.0	4475.0	3221.6	1086.6
單位剪切力(g/cm ²)	591.3	576.9	536.9	362.2

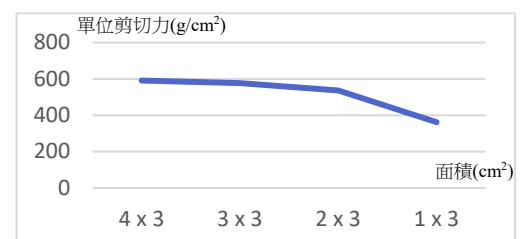


表 10：膠帶面積單位剪切力折線圖

(四)、測試結果：

1. **膠帶厚度會影響剪切力**。當膠帶太薄或太厚，剪切力都會變差。
2. 膠帶**太薄**，**膠帶厚度無法承受剪切力力道**，易導致膠帶斷掉。因此薄膠帶真正黏性應該更大，但太薄導致斷掉，無法測量。也許這是單面膠帶需要使用塑膠布當基底的原因。
3. 膠帶太厚，剪切力會降低。推測是**膠帶的厚度增加了體積和重量**，黏性需要負擔的膠帶厚度變大，因此導致剪切力下降。
4. **矽膠種類會影響最佳厚度**，因此**不同矽膠種類有自己最適合的最佳厚度！**S-810 最佳厚度是 1mm，7099 最佳厚度是 1.5mm，台 AB 最佳厚度是 2mm。
5. 硬度越大的乾式膠帶，越不易被拉長變形。7099 是硬度 40A，當厚度達到 1.5mm 時，施力是無法改變膠帶長度。
6. 7099 和台 AB 的剪切力明顯優於 S-810。矽膠自製乾式膠帶推薦使用**縮合型的 7099**或是**加成型的台 AB**。7099 是「硬式乾式膠帶」，建議使用**厚度 1.5mm**，特色是施力不會變形，遇到剝離的力道會整塊直接剝落。台 AB 是「軟式乾式膠帶」，建議使用**厚度 2mm**，施力會形變拉長，但與接觸面的密合度很高。剝離是慢慢分開剝落。
7. **面積越大，剪切力越大。但如果以單位面積剪切力來看，變化差異不大**（但若面積小於 $1 \times 3 \text{ cm}^2$ 差異大）。因此**當面積大於 6 cm^2 ，剪切力可用正比來進行換算！**

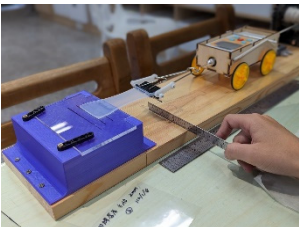


圖 20：使用尺測量乾式膠帶拉長長度。

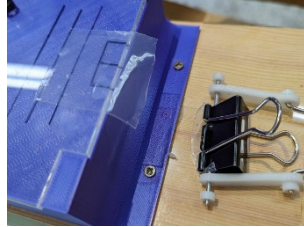


圖 21：0.5mm 厚度的乾式膠帶容易斷裂。

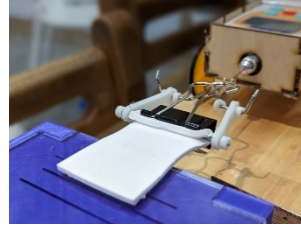


圖 22：3mm 厚度的乾式膠帶剪切力反而低。



圖 23：1mm 厚度 S810 乾式膠帶形變拉很長。

實驗五、壓印板結構：

(一)、研究動機：

壁虎能貼附牆壁，是因為壁虎腳趾的細小剛毛產生凡得瓦力！我們在家中發現一隻剛死掉的壁虎，**嘗試以矽膠壓印壁虎的腳趾**。但壁虎腳趾太軟又太細，**無法成功壓印**（見圖 24、25）！

生活中有**細小結構**的物品，是不是可以取代壁虎腳趾進行壓印，進而增加黏性呢？我們決定蒐集各種**可當作壓印板的細小結構物品**，壓印在乾式膠帶上，進行剪切力測試！



圖 24：發現新鮮壁虎屍體，嘗試矽膠壓印。

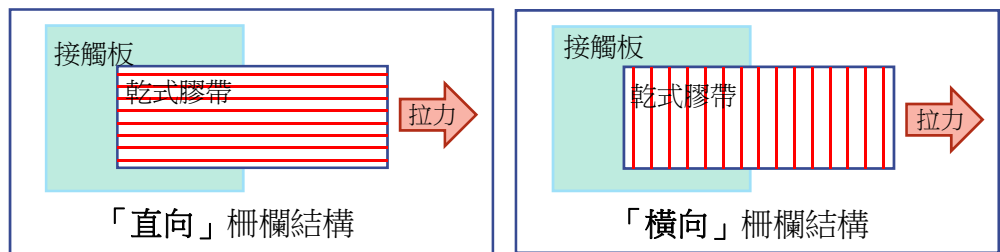






圖 25：壁虎腳趾太軟又太細，壓印失敗！

(二)、研究方法：

1. 我們尋找與購買各種細小結構或號稱奈米效果的材料，當作壓印板讓矽膠進行翻模壓印。我們將這些壓印板結構分成三大類，分別是「**孔隙、表面顆粒和柵欄結構**」。
2. 壓印板部分：若能裁切，則以剪刀或雷射雕刻機切成 8 cm x 8 cm 大小（如圖 27），將壓印板放入製模臺，以加成型「台 AB」矽膠製作出 6 cm x 4 cm 乾式膠帶二片。無法裁切的，則將 6 cm x 4 cm 方框黏在壓印板上，將矽膠灌入方框製作出乾式膠帶（如圖 28）。
3. 柵欄結構的壓印板是條紋形結構，製作成乾式膠帶會有**條紋方向的差異**。因此我們製作兩種方向的乾式膠帶，「**直向**」是條紋和施力方向平行，「**橫向**」是條紋與施力方向垂直



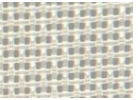
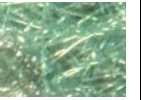









（如右圖）。






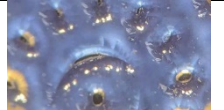




4. 菲涅爾透鏡是同心圓，雷射切割出「直向 、橫向 、同心圓 」。
5. 光碟片無法製作出 6 cm x 4 cm 面積的乾式膠帶，只能製作出 6 cm x 2 cm，我們擷取光碟片部位如圖示：。再將檢測出的數據乘以 2。（**面積大小可正比換算**請見實驗四）
6. **結構照片**、**膠帶照片**：檢測壓印板和乾式膠帶以 40 倍解剖顯微鏡觀察，以手機照相。
7. **能否當膠帶**：膠帶放在壓克力板上，滾筒滾三次，將壓克力板直立，看膠帶是否掉落。
8. **剪切力**：以拉力裝置測 4cm x 3cm 剪切力，每片膠帶測五次，再將兩片膠帶數據平均！

(三)、實驗數據（每種檢測膠帶皆製作二片，每片分別測量五次後，求平均值。）：






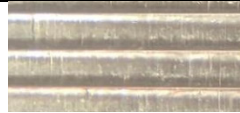




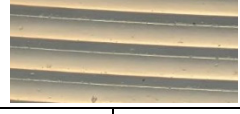


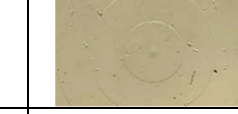

1. 「**孔隙**」結構（各種細小的孔隙、網洞，擁有能夠讓水或氣流通過的孔洞。）：










名稱	定性濾紙	防霾紗網	絹網	口罩	奈米海綿	奈米氣泡石	陶瓷透氣板
孔洞大小(μm)	15~20	75	48	約 1			
壓印板結構照片							
乾式膠帶照片							
膠帶狀況	膠帶上黏毛、粉塵	很難從紗網上剝離	很好剝離	膠帶上黏毛，很難剝離	無法製作，矽膠會漏光	膠帶上黏粉塵	膠帶上黏粉塵
能否當膠帶	○	○	○	○		○	○
平均剪切力(g)	0	0	0	0		0	0

2. 「表面顆粒」結構（表面有各種細小的顆粒和結構，表面不會透水。）：

名稱	水砂紙 (20000 目)	白鋼玉磨刀石(10000 目)	金鋼砂研磨片(3000 目)	磨腳皮石
顆粒大小(μm)	0.65	1.30	4.33	1500
壓印板 結構照片				
乾式膠帶 照片				
膠帶狀況	膠帶上黏滿粉塵	膠帶上黏滿粉塵	膠帶有各種凹凸的顆粒印痕	膠帶有大大小小的圓環印痕
能否當膠帶	○	○	○	○
平均剪切力(g)	0	0	2869	810

3. 「柵欄」結構（有規律的條狀結構）：

名稱	驗鈔卡		菲涅爾透鏡		
	直向	橫向	直向	橫向	同心圓
紋路形狀	直向	橫向	直向	橫向	同心圓
間距大小(μm)	400	400	300	300	300
膠帶表面紋路					
壓印板 結構照片					
乾式膠帶 照片					
膠帶狀況	好剝離，有直條紋	好剝離，有橫條紋	好剝離，有弧度直條紋	好剝離，有弧度橫條紋	好剝離，有同心圓條紋
能否當膠帶	○	○	○	○	○
平均剪切力(g)	0	269	214	288	3296

名稱	CD 光碟片	DVD 光碟片	BD(藍光光碟片)
紋路形狀	直向	直向	直向
間距大小(μm)	1.60	1.10	0.48
膠帶表面紋路			
壓印板 結構照片	 彩虹光	 藍色光	 像鏡子的全反射
乾式膠帶 照片			
膠帶狀況	好剝離、很平滑（看不到條紋）	好剝離、很平滑（看不到條紋）	好剝離、很平滑（看不到條紋）
能否當膠帶	○	○	○
平均剪切力(g)	4312	4138	5104

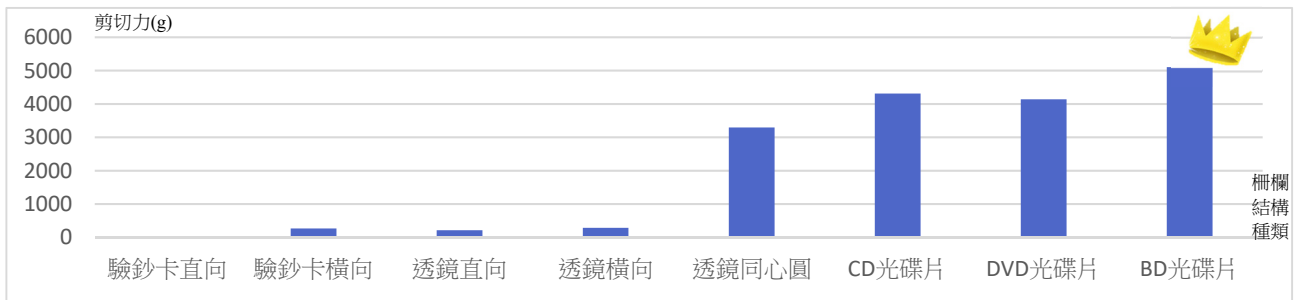


表 11：柵欄結構剪切力長條圖

(四)、測試結果：

1. **加成型「台 AB」矽膠**能夠對**細小結構產生壓印效果**，完整複製壓印板的形狀！
2. 以細小結構當成壓印板製作出的乾式膠帶，**剪切力比投影片壓印板低很多！**投影片乾式膠帶與接觸板的密合度很高，但**細小結構乾式膠帶需用力壓才會密合**，當施力消失，密合也跟著消失。推測是**細小結構的突起會干擾膠帶與接觸面密合**。
3. 「孔隙」結構無法當壓印板。矽膠會流進孔隙。當下方沒有墊投影片，矽膠從孔隙滲漏漏光（例：奈米海綿）。製作的乾式膠帶結構不規律，雖然能黏貼，但剪切力都是 0。
4. 「表面顆粒」結構不太適合當作壓印板，表面太容易有雜質粉塵，製作出的乾式膠帶結構不規律，雖然可以黏貼，但測出的剪切力效果很差。
5. **「柵欄」結構當作壓印板的效果較佳！**柵欄是規律、堅固、不透水的結構，矽膠能夠清楚的壓印出條紋結構！製作出的乾式膠帶剪切力效果較佳。
6. 「柵欄」結構的**方向和形狀**會影響到剪切力的大小！以驗鈔卡和菲涅爾透鏡的數據，可推測**「同心圓>橫向>直向」**。
7. 壓印板表面不適合有毛或顆粒結構，乾式膠帶會黏到毛和粉塵，導致黏性降低。
8. **光碟片（CD、DVD、BD）剪切力都很高！**推測是光碟片內部有**許多等距、平行的鋸齒狀光柵凹槽**（如圖 26），**適合當作壓印板**，製作乾式膠帶。且光柵間距越小，剪切力效果越好。但**光碟片能做乾式膠帶的範圍太小了！**

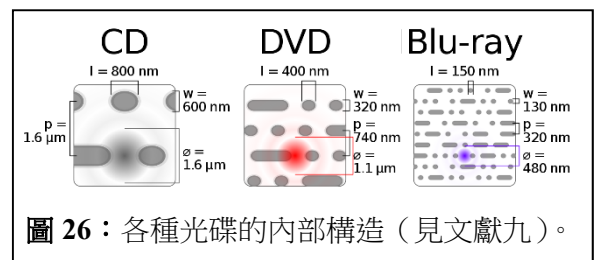


圖 26：各種光碟的內部構造（見文獻九）。

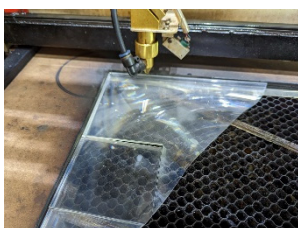


圖 27：雷雕機切割菲涅爾透鏡，方便製模。



圖 28：以磨腳皮石當作壓印板製作膠帶。

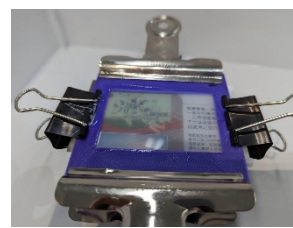


圖 29：以驗鈔卡上的柵欄結構進行壓印。



圖 30：剝下奈米氣泡石上的乾式膠帶。

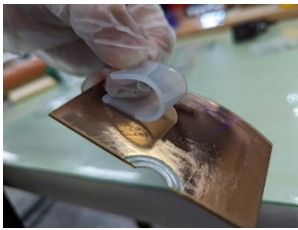


圖 31：從藍光光碟片剝下壓印的膠帶。



圖 32：光碟片壓印的膠帶，剪切力很大。

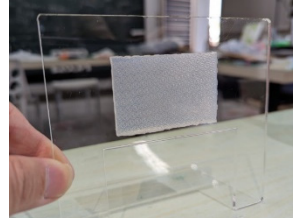


圖 33：磨腳皮石膠帶可以黏在壓克力板上。





圖 34：以解剖顯微鏡和手機拍攝壓印板結構。

實驗六、光柵刻線密度：

(一)、研究動機：

從實驗五可知光碟片因為有等距的光柵凹槽，很適合當壓印板。但光碟片可以做乾式膠帶的範圍太小了！我們在網路上看到網紅使用光柵製作乾式膠帶（見文獻十）。光柵片是否能夠取代光碟片呢？我們決定購買各種刻線密度的光柵片進行乾式膠帶的測試。

(二)、研究方法：

1. 我們購買的光柵片刻線密度有不同的單位，分成 LPI (line/inch) 和 L/mm (line/mm)。為了方便確認間距大小，我們統一換算成 L/mm，代表「每 1mm 裡面有幾條光柵線」。
2. 光柵片為條紋形結構，乾式膠帶的條紋方向會影響剪切力。我們製作兩種方向的乾式膠帶，「直向」是條紋和施力方向平行 ，「橫向」是條紋與施力方向垂直 .
3. 我們將光柵片放入製模臺，以台 AB 矽膠製作出乾式膠帶二片。用拉力裝置測 4cm x 3cm 剪切力，每片膠帶測五次，再將兩片膠帶數據平均！並以手電筒照光進行照相。
4. 我們發現 1000 條 (L/mm) 光柵製作乾式膠帶效果最佳，而且膠帶表面還有彩虹光澤，於是將各種矽膠都以 1000 條光柵製作出乾式膠帶進行剪切力測試並觀察彩虹光澤。
5. 經過測試後，我們發現 7099 和台 AB 都很適合做成乾式膠帶，於是比較「壓印板使用投影片和 1000 條 (L/mm) 光柵」的剪切力差異，並換算成單位剪切力。

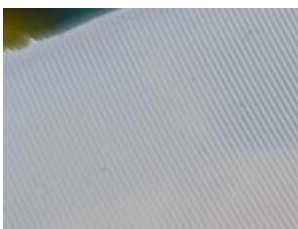


圖 35：使用矽膠能夠壓印出光柵的結構。

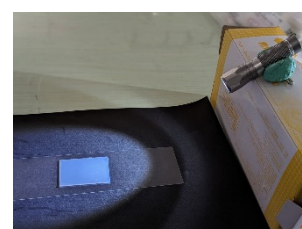


圖 36：以手電筒檢測膠帶照光的現象。

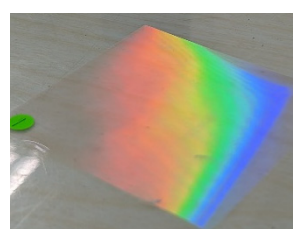


圖 37：光柵片照太陽時，能看到彩虹光澤。

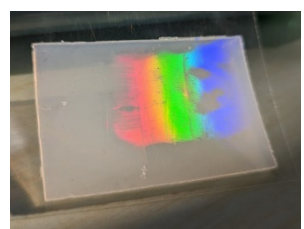


圖 38：以光柵壓印出的台 AB 矽膠膠帶，表面也有彩虹光澤。

(三)、實驗數據 (每種檢測膠帶皆製作二片, 每片分別測量五次後, 求平均值。):

1. 不同「光柵刻線密度」剪切力效果:

刻線密度(L/mm)	0 (投影片) (對照組)	1.96		3.93		6.33	
紋路形狀		直向	橫向	直向	橫向	直向	橫向
間距大小(μm)		510.2		254.4		158.0	
光柵 照光照片							
乾式膠帶 照光照片							
平均剪切力(g)	6191	0	236	0	249	0	252

刻線密度(L/mm)	100		500		1000		531.4
紋路形狀	直向	橫向	直向	橫向	直向	橫向	雙軸十字
間距大小(μm)	10.0		2.0		1.0		1.8
光柵 照光照片							
乾式膠帶 照光照片							
平均剪切力(g)	988	4380	4666	5903	5614	6820	5367

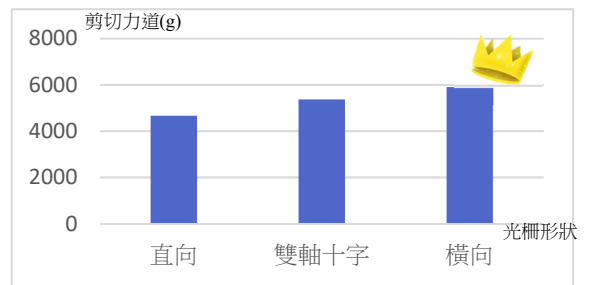
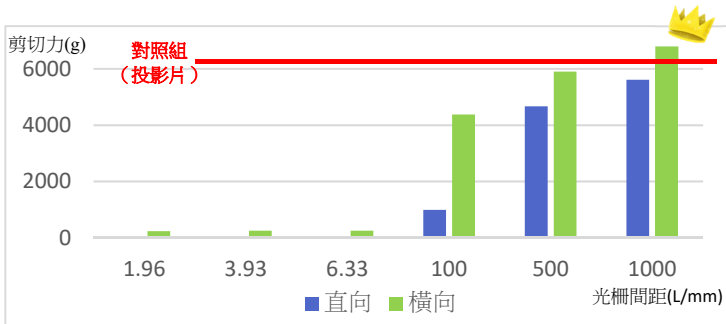


表 12: 光柵刻線密度剪切力長條圖

表 13: 約 500 條光柵形狀剪切力長條圖

2. 各種矽膠以光柵 1000 條 (L/mm) 製作乾式膠帶效果:

製作方式	縮合型					加成型
名稱	403	S-810	312	25A	7099	台 AB
硬度(A)	9	12	15	25	40	10
膠帶顏色	乳白色	乳白色	乳白色	乳白色	透明	半透明
剝離狀況	無法剝離	無法剝離	無法剝離	無法剝離	可以剝離	可以剝離
彩虹光澤					有	有
平均剪切力(g)					10.23	6.82

3. 7099、台 AB 單位剪切力 (g/cm²) 比較:

矽膠種類 壓印板	7099	台 AB
投影片	583 g/cm ²	516 g/cm ²
光柵 1000 條	853 g/cm²	568 g/cm ²

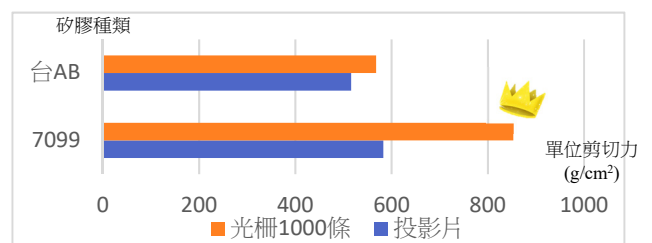


表 14: 台 AB 與 7099 剪切力長條圖

(四)、測試結果：

1. 矽膠能夠壓印出光柵的柵欄結構，目前證明能**壓印的最小間距是 $1\mu\text{m}$ (1000 條光柵)**。
2. 「**奈米壓印**」是指壓印奈米模具，這是**企業廠商才能做到的技術** (見文獻 11)。而我們測出矽膠能壓印的最小單位為 $1\mu\text{m}$ ，這樣的方法我們稱為「**微米壓印**」！這是**小學生就能使用的技術**！能藉由矽膠 7099 **壓印生活中微米等級物品或紋路**，進一步觀測研究。
3. 並非所有矽膠都能成功壓印 1000 條光柵 (乳白色矽膠都無法剝離光柵)，能成功壓印出光柵的矽膠種類是「**縮合型的 7099 (40A)**」和「**加成型的台 AB (10A)**」。
4. 光柵刻線密度會影響乾式膠帶的剪切力。當**刻線密度越密，剪切力效果越大**！
5. 當光柵刻線密度很疏時，剪切力會比投影片乾式膠帶還要低！當**光柵刻線密度為 1000 條時，光柵乾式膠帶的剪切力才會大於投影片乾式膠帶**。推測是刻線密度很疏，會造成乾式膠帶無法密合接觸板。當刻線密度的間距為 $1\mu\text{m}$ 時，密合效果才會超越投影片。
6. 光柵形狀會影響乾式膠帶剪切力，根據 6 種刻線密度光柵都顯示「**橫向 > 直向**」。
7. 我們將大約 500 條的直向 (500 條)、橫向 (500 條)、雙軸 (531.4 條) 進行比較，發現不同光柵形狀的剪切力「**橫向 > 雙軸 > 直向**」，顯示光柵形狀會影響剪切力。
8. 當光柵刻線密度 100 條以上，製作出來的乾式膠帶就能在表面看到彩虹光澤 (必須在陽光或燈泡光線下)。**光柵刻線密度越密，彩虹光澤越明顯**。
9. 以 7099 和台 AB 製作的乾式膠帶，「1000 條光柵乾式膠帶」的剪切力都大於「投影片乾式膠帶」。其中「**7099 製作的 1000 條光柵乾式膠帶**」($4 \times 3 \text{ cm}^2$) 剪切力可達 **10.23kg**！
10. 光柵很適合作為壓印板製作乾式膠帶！推薦 **7099** 和 **台 AB** 以 **1000 條光柵** 壓印的乾式膠帶！其中 **7099 (透明) 彩虹光澤比台 AB (半透明) 面積更大更鮮豔**！

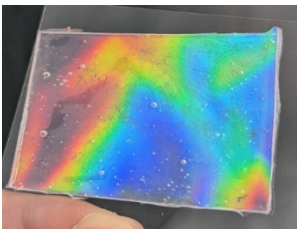


圖 39：7099 光柵膠帶彩虹光澤更大更豔麗。



圖 40：檢測剪切力時，也會看到彩虹光澤。

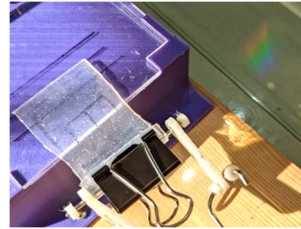


圖 41：陽光照到膠帶，在桌面折射出彩虹。

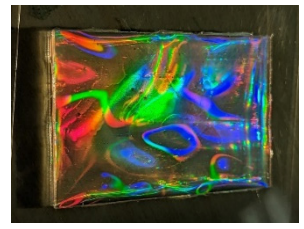
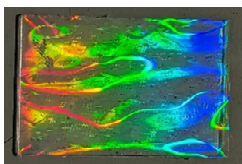
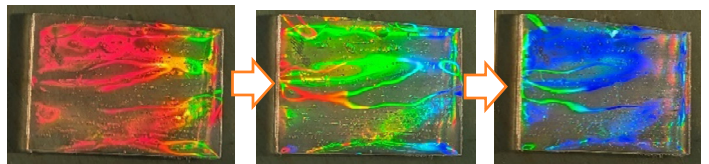


圖 42：7099 光柵膠帶在陽光照射下更加炫麗！

7099 近看同時有紅、綠、藍色。



7099 遠看紅、綠、藍輪流出現。



實驗七、雷射自製柵欄：

(一)、研究歷程：

從實驗五和六，我們發現光柵的形狀會影響到乾式膠帶的剪切力！但市售光柵只有直線和雙軸，沒有其他形狀能夠測試。我們上網搜尋能訂製光柵形狀的廠商。和廠商聯繫後，發現訂製一份光柵模具就要數萬元！我們沒辦法花這麼多錢去測試各種不同形狀的光柵！

不過，在實驗六我們發現刻線密度很低的光柵（1.96~6.33 L/mm），雖然剪切力很差，但是光柵形狀不同（直向和橫向）會產生差異！這些低密度光柵的間距在 0.5~0.1mm 左右！而雷射雕刻機的雷射光大約是 0.1~0.2mm，是否可以雷射雕刻機來模擬低密度光柵的間距呢？！經過不斷測試，發現以功率 80 速度 50 雕出線條 0.1mm 間距 0.3mm 的自製柵欄壓印板，能夠模擬 1.96 條（L/mm）光柵片的剪切力效果

我們使用以下流程在壓克力板上設計與製作「雷射自製柵欄」：

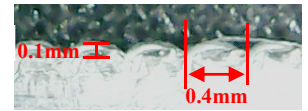


圖 43：以電子放大鏡拍攝 1.96 條光柵。

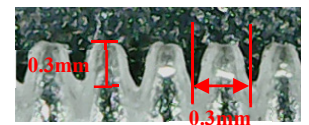
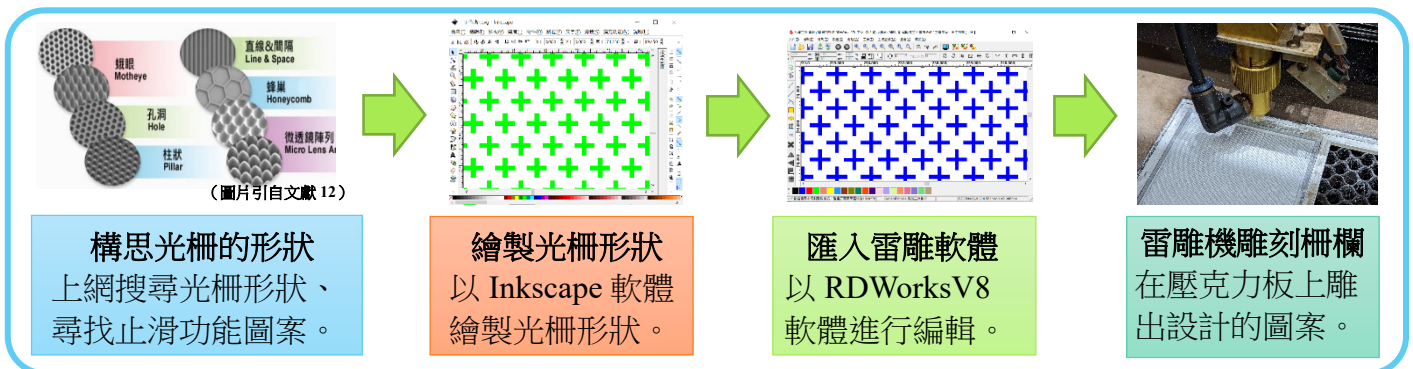


圖 44：以電子放大鏡拍攝雷射自製柵欄。

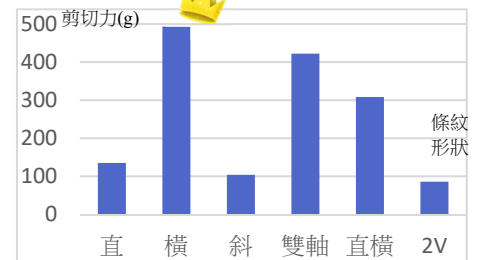


我們將各種自製形狀的柵欄（間距 0.3mm）放入製模臺，以台 AB 矽膠製作出乾式膠帶。用拉力裝置測 4cm x 3cm 剪切力，每片膠帶測五次，計算平均！

(二)、實驗數據（每種檢測膠帶皆製作二片，每片分別測量五次後，求平均值。）：

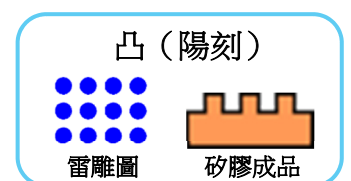
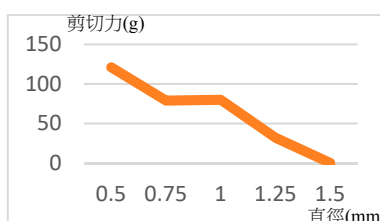
1. 條紋形狀：以線條條紋（間距 0.3mm）組成不同形狀。

條紋形狀	直	橫	斜	雙軸	直橫交錯	2 V 相接
形狀圖示						
平均剪切力(g)	135	493	104	422	308	86

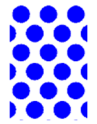
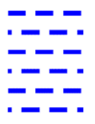
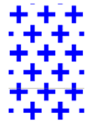
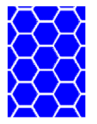
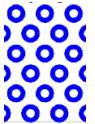



2. 圓點直徑：以圓點直徑大小組成排列，以凸（陽刻）進行雕刻，測量剪切力：

直徑(mm)	0.5	0.75	1	1.25	1.5
平均剪切力(g)	121	79	80	32	0



3. **布滿形狀**：各種形狀均勻分布排列。為了確保雷雕形狀完整，每種形狀直徑 1.25mm。

形狀	圓	一字	十字	六角	空心圓	同心圓
形狀圖示						
平均剪切力(g)	70	49	53	87	81	89

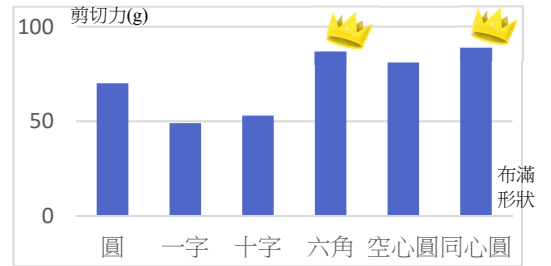


表 17：布滿形狀剪切力長條圖

(四)、測試結果：

1. 使用**雷雕自製不同形狀的柵欄**，壓印出來的乾式膠帶，可以檢測出不同的剪切力。
2. 線條形狀中「**橫 > 雙軸 > 直**」。由此可知**橫向形狀越多，產生剪切力越大**。
3. **圓點直徑越小，剪切力會越大**。
4. 布滿形狀中，**形狀內的紋路越多層，剪切力越大**。例如「**同心圓 > 空心圓 > 圓**」。
5. 光柵形狀推薦使用**橫向條紋、同心圓或正六邊形布滿**，而且**形狀越小越密會越好**。

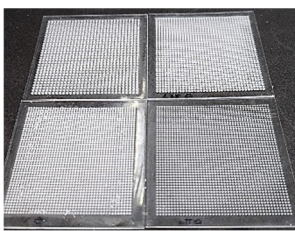


圖 45：在壓克力板雷雕出不同直徑的圓。



圖 46：直橫交錯形狀的自製雷雕柵欄。



圖 47：製作出 1.25mm 十字形狀的乾式膠帶。

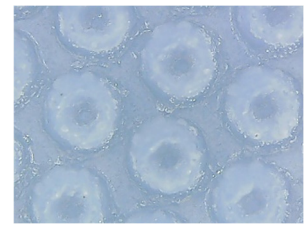


圖 48：以電子放大鏡拍攝 1.25mm 空心圓膠帶。

柒、討論

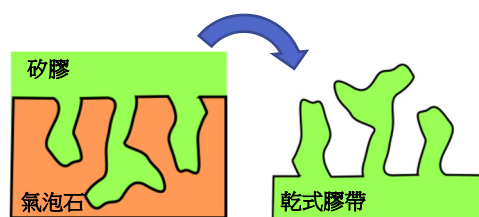
一、「壓印板結構」分析：

很多物品表面都有細小的結構，**物品表面的結構會影響到壓印結果**。在「實驗五、壓印板結構」，我們以各種結構的物品作為壓印板。分析**壓印板結構**並**推理原因**。並將壓印板製作出來的**乾式膠帶**，放在**40 倍解剖顯微鏡**下觀看，**藉由真實的結構影像，驗證推論原因！**

孔洞結構

孔洞長相深度不一，表面凹凸不平，造成壓印出來的乾式膠帶結構會長短不同、分布不均。

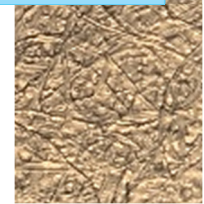
推理結構圖



解剖顯微鏡下膠帶照片



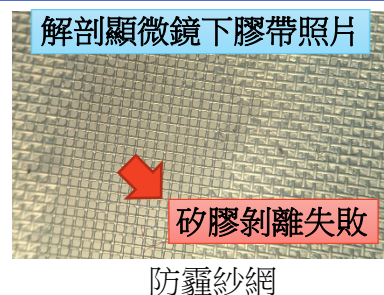
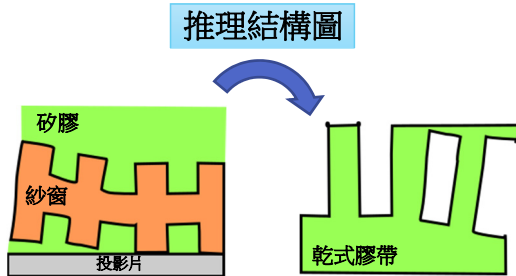
陶瓷透氣板



定性濾紙

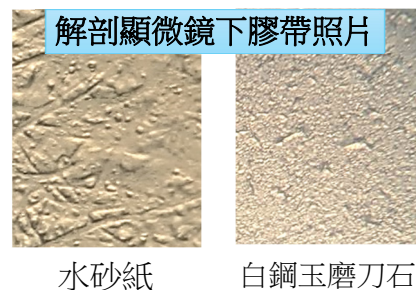
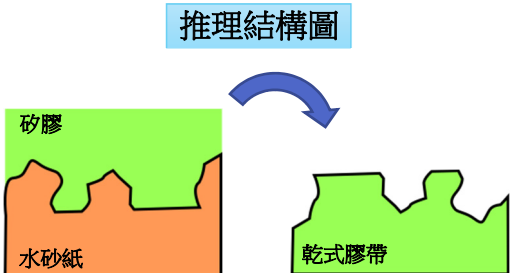
網格結構

紗窗和下方投影片不易貼緊，矽膠容易滲漏，造成壓印膠帶長相不同，甚至無法剝離。



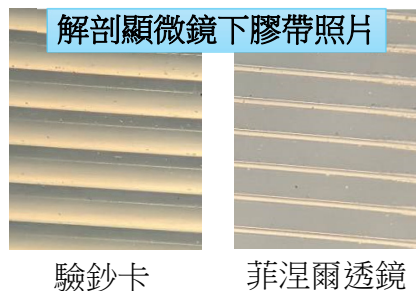
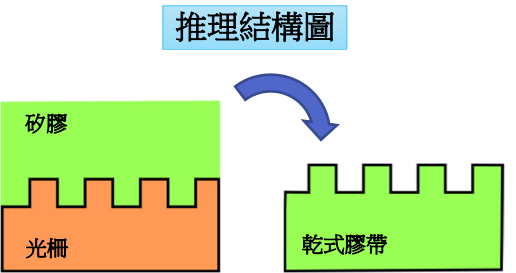
顆粒結構

顆粒長相不同、分佈位置不一，造成壓印出來的膠帶結構會長相各異，且分布不均。



柵欄結構

塑膠製的條狀規律結構，矽膠不會滲漏，壓印的膠帶也會出現相同的規律結構。



我們藉由解剖顯微鏡拍攝乾式膠帶的各種結構，證實了我們對於不同結構效果的推理！

並且歸納出壓印板結構最適合的條件是「堅硬不變形、不會滲漏、長相規律、分布均勻」，

符合上述條件的是「柵欄結構」！其中最推薦的是光柵片！

二、「光柵刻線密度」分析：

根據「實驗六、光柵刻線密度」可知，當光柵刻線密度越密，剪切力會越大。但使用沒有任何刻線的投影片（刻線密度為0），剪切力卻很大！特別是光柵刻線密度在10條（L/mm）以下（例如1.96條），剪切力都不到300g（見下表18）。我們推測原因如下：

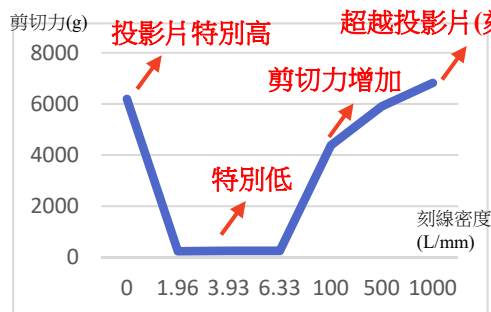
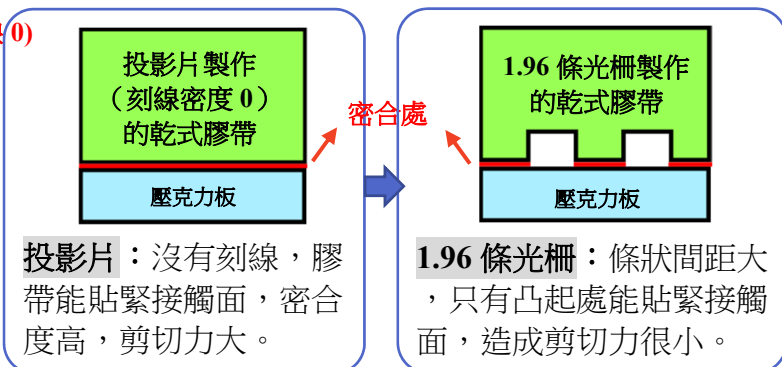
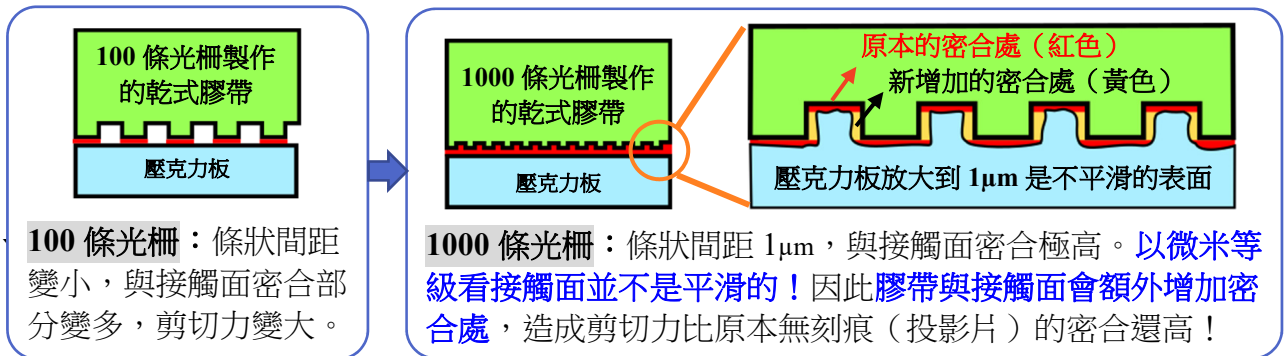


表 18：光柵刻線密度對剪切力折線圖



隨著光柵刻線密度的增加，剪切力也跟著增加。當光柵刻線密度到達 1000 條 (L/mm) 時，**剪切力比投影片 (刻線密度 0) 還要大**。我們推測原因如下：

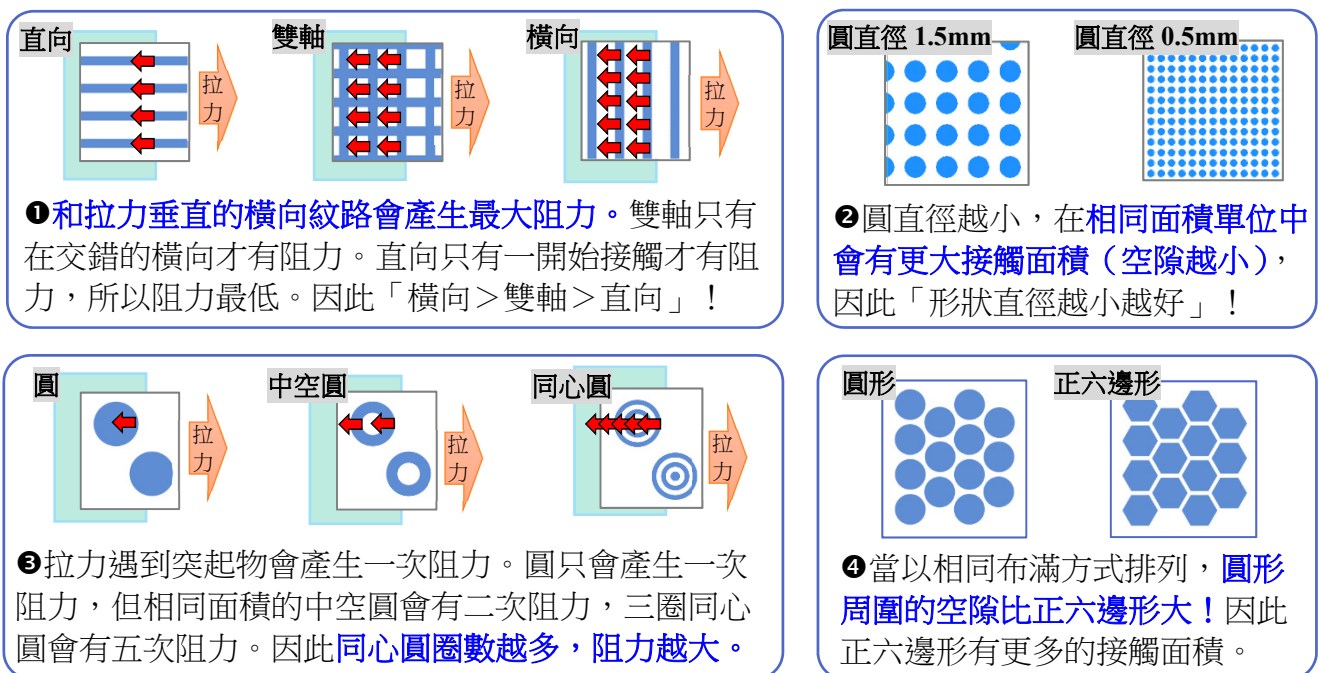


因此當光柵刻線密度越高，與接觸面能密合的面積會增加越多，摩擦力增加，剪切力因此越大！此外壁虎剛毛是 $0.2\mu\text{m}$ ，1000 條光柵間距是 $1\mu\text{m}$ ，雖然無法達到壁虎剛毛的奈米等級，但我們推測細小結構之間的凡得瓦力也可能增加了 1000 條光柵乾式膠帶的剪切力。

三、「模擬低密度光柵形狀」分析：

根據實驗五和六，柵欄結構的形狀會影響剪切力。在實驗七，我們使用雷射雕刻機雕刻壓克力板，模擬低密度光柵形狀。我們比較了「直向、橫向、雙軸」三種形狀在約 500 條市售光柵及自製 0.3mm 柵欄的剪切力數據 (見表 13、15)，得到相同的實驗結果「橫向 > 雙軸 > 直向」！由此證明以雷射柵欄「模擬低密度光柵形狀」對剪切力的影響效果是可行的！

根據實驗七，推薦「橫向、同心圓、正六邊形，直徑越小越好」，以摩擦力推論原因如下：



由上可知「垂直拉力的紋路」越多層，會產生更多次阻力。在相同單位面積中，空隙越小，產生接觸面積越多，會產生更大阻力。

四、「自製光柵乾式膠帶」特色分析：

我們研發出兩種光柵乾式膠帶（7099、台 AB），與市售奈米雙面膠比較，歸納出以下特色：

來源	膠帶名稱	使用方式	價錢 (元/cm ²)	衛生紙 附著(%)	初黏力 (cm)	單位剪切力 (g/cm ²)	剝離力 (g)	水洗後	光柵 彩虹光
自製	光柵 7099	單、雙	0.33	0	無	853	0	無黏性	很多
	光柵台 AB	單、雙	0.23	0	無	568	0	有黏性	少許
市售	奈米雙面膠	雙面	0.17	93	1.1	310	590	有黏性	無

- 不黏手，無殘膠**：以矽膠製作的乾式膠帶，完全不會黏手（無初黏力），甚至不會沾黏衛生紙！黏貼的接觸面也不會產生任何殘膠！因此可使用矽膠乾式膠帶黏貼影印紙，不會讓紙受傷。而市售奈米雙面膠會有初黏力，會黏手，也會沾黏衛生紙。
- 易剝離，可重複使用**：以矽膠製作的乾式膠帶，可以很容易就剝離取下（剝離力 0）。當重複使用多次，沾滿灰塵導致黏性減少，可水洗，風乾後恢復黏性。原本剪切力為 6.8kg 的台 AB，水洗後仍然維持 6.0kg！而市售奈米雙面膠的剝離力大，不容易取下。
- 剪切力大，單雙面皆可用**：自製光柵乾式膠帶的剪切力很大，7099 剪切力是市售奈米雙面膠的 2.75 倍！矽膠乾式膠帶因為不黏手，單面和雙面都能夠使用。
- 光柵效果**：藉由透明度高的 7099 壓印 1000 條光柵，可自製任意厚度的 1000 條光柵！7099 在光照時能出現彩虹光澤。以雷射筆照射，會出現干涉現象（見圖 49、50）。
- 二次壓印**：將 7099 光柵乾式膠帶蓋在準備硬化的環氧樹脂上，當環氧樹脂硬化後，會產生第二次光柵壓印，讓環氧樹脂表面產生光柵結構！二次壓印也適用在其他材質上。
- 可結合其他物品**：矽膠是難接著材質，無法與其他物品相黏。但將矽膠乾式膠帶的表面塗上「矽膠表面處理劑」，就能以三秒膠黏在其他物品上（有危險性，由老師操作）。我們在圖卡、白板、掛勾…各種物品，黏上矽膠乾式膠帶，產生更多使用用法！

我們自製的加成型 7099 和縮合型台 AB 的光柵乾式膠帶，各自優點如下：

7099 光柵乾式膠帶	剪切力大、透明度高、不會變形、可當光柵、二次壓印、有彩虹光
台 AB 光柵乾式膠帶	製作方便、密合度高、有彈性、能水洗重複使用、有彩虹光



圖 49：1000 條光柵片以雷射筆照射會有干涉。



圖 50：7099 光柵乾式膠帶也能出現干涉。



圖 51：塗上矽膠表面處理劑（老師操作）。

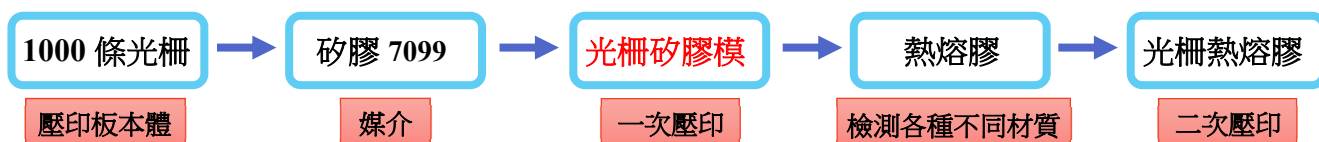


圖 52：矽膠膠帶能結合圖卡、掛勾、白板…！

五、意外新發現—「可微米壓印材質」與「二次壓印」

在「實驗六、光柵刻線密度」，我們發現矽膠能夠壓印出微米等級（1 μ m），我們稱為「微米壓印」。但除了矽膠外，其他材質是否也能夠進行微米壓印？如何壓印最方便？

我們決定用各種能夠硬化的材質在 1000 條光柵上進行壓印。但過程中，發現有些材質會直接黏住光柵片，無法剝離（見圖 53）。我們想到矽膠為難接著材質，可以利用它翻模製作出底部壓印 1000 條光柵的矽膠方盒（命名為「光柵矽膠模」）。將各種材質倒入光柵矽膠模中硬化，並進行二次壓印！以下用熱熔膠舉例，說明各種材質二次壓印光柵的流程：



1000 條光柵片貼在 3D 列印方框模	將矽膠 7099 倒入 3D 列印方框模中	翻模出底部 1000 條光柵的矽膠方盒模	將熱熔膠加熱，倒入光柵矽膠模中	脫模，製作出壓印光柵的熱熔膠

以下是經過實驗測試後，能成功進行微米壓印，而且用手電筒光照能產生彩虹光的材質：

壓印材質	巧克力	冰糖	膠水	熱熔膠	3D 列印線材	UV 膠	環氧樹脂
壓印光柵 照光照片							
壓印特色	天氣太熱 會融掉	天氣太熱 會融掉	硬化太久 厚度變薄	高溫加熱 製作不易	高溫加熱 製作不易	價格昂貴 、效果佳	製作方便 、效果佳

我們發現很多能硬化的材質都能進行微米壓印，但最推薦的是環氧樹脂！製作出來的成品彩虹光很鮮豔、表面平整、又不易損壞。當使用巧克力或冰糖壓印出光柵的彩虹光後，我們發現原來彩虹光澤的巧克力因為室溫太高，造成表面融化後，彩虹光也跟著消失！證明彩虹光的確是光柵壓印產生的效果！我們也發現將 7099 光柵乾式膠帶直接蓋在矽膠模型的上方，就能夠對立體矽膠模進行二次壓印，製作出有光柵壓印的立體模型（圖 55、56）！

雖然這些材質都不適合製作乾式膠帶，但，微米壓印這樣的新發現，配合「自製光柵乾式膠帶」和「二次光柵壓印環氧樹脂」，都是很適合推廣光柵的科普活動！



圖 53：光柵片壓印環氧樹脂會拆不下來。



圖 54：利用光柵矽膠模製作出的環氧樹脂。

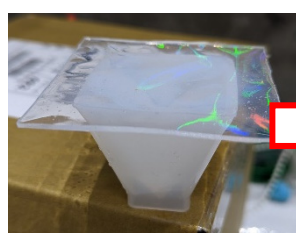


圖 55：將 7099 光柵乾式膠帶蓋在矽膠模上。



圖 56：製作出底部有光柵效果的立體模型。

捌、結論

一、最佳化乾式膠帶：

1. 矽膠最適合自製乾式膠帶，矽膠種類推薦使用「**縮合型 7099**」及「**加成型 台 AB**」。
2. 矽膠乾式膠帶擁有「**不黏手、無殘膠、易剝離、單雙面皆可用**」特性。
3. 壓印板推薦使用 **1000 條光柵**，1000 條光柵乾式膠帶剪切力可達 853 g/cm^2 ，是市售奈米膠帶的 **2.75 倍**！壓印板也推薦投影片（剪切力 583 g/cm^2 ），價錢便宜，且容易取得。
4. 光柵壓印的乾式膠帶在光線下會出現**彩虹光澤**。透明度高的 **7099 乾式膠帶**，彩虹光澤面積更大更鮮豔！以雷射光照射，會出現**光柵干涉**。可當作**光柵**，還可**二次壓印光柵**！
5. 台 AB 製作的乾式膠帶，**水洗後能恢復黏性**。當乾式膠帶沾滿灰塵後，可清洗再使用。
6. 矽膠乾式膠帶經過矽膠表面處理劑塗抹後，能**以三秒膠黏在物品上，增加實用性**！

二、影響乾式膠帶變因：

1. 液態狀黏膠能製作乾式膠帶的是白膠、保麗龍膠、矽膠和熱熔膠。
2. 各種自製乾式膠帶都沒有初黏力，膠帶**不會黏手**！因此可同時當單面膠或雙面膠使用。
3. 各種自製乾式膠帶的剝離力都是 0，代表自製乾式膠帶都能**用很小的力道剝離**！
4. **矽膠**是自製乾式膠帶最適合的原料，因為硬化速度快、厚度變化率小、剪切力大。
5. 縮合型矽膠當**硬度越大，產生的剪切力會越大**！但也越沒有延性（無法拉長）。
6. **膠帶厚度會影響剪切力**。當膠帶太薄或太厚，剪切力都會變差。
7. 當膠帶面積大於 6cm^2 ，**膠帶面積可正比推算剪切力大小**。
8. **矽膠種類會影響最佳厚度**。7099 最佳厚度是 1.5mm，台 AB 最佳厚度是 2mm。

三、細小結構壓印效果：

1. 矽膠能夠對細小結構產生壓印效果，但壓印細小結構反而會讓剪切力降低，因為**細小結構的突起會干擾膠帶與接觸面密合**。
2. 「**孔隙**」、「**表面顆粒**」結構都不適合當壓印板，最適合的是「**柵欄**」結構，因為「**堅硬不變形、不會滲漏、長相規律、分布均勻**」，其中以**光柵**效果最佳！

四、光柵壓印效果：

1. 矽膠能壓印 1000 條光柵的柵欄結構，證明**矽膠壓印達到 $1\mu\text{m}$** ，我們稱為「**微米壓印**」。是**小學生就能使用的技術**！可以將矽膠壓印**使用在生活中其他微米等級的物品**！
2. 除了矽膠外，很多能硬化的材質都能進行微米壓印，其中最推薦的是**環氧樹脂**。
3. 光柵**刻線密度越密**，壓印出的乾式膠帶**剪切力越大**！當光柵刻線密度 1000 條時，剪切力會大於投影片乾式膠帶。推測刻線密度間距 $1\mu\text{m}$ 時，與接觸面產生更多密合面積。
4. 光柵刻線密度 100 條以上，乾式膠帶能看到彩虹光澤。**刻線密度越密，彩虹光越明顯**。
5. 可使用**雷雕壓克力板**，**雕刻出柵欄形狀，模擬低密度光柵的形狀，測量剪切力**。
6. 光柵**形狀**會影響剪切力！推薦「**橫向條紋、同心圓或正六邊形布滿**」形狀。因為垂直拉力紋路越多層，會產生更多次阻力。而且**形狀越小越密，接觸面積越大，剪切力越大**。

玖、心得

這次科展研究有新、舊成員。舊成員打理好自己，要擔任學長、姐的角色帶領學妹們。新加入的學妹則帶著開心和擔心的心情，嘗試面對挑戰。在研究的這些日子中，我們一直在重複相同的實驗步驟！做膠帶、寫資料、測數據…，會讓人感到疲憊和無聊。但我們總是邊研究邊有說有笑，製造了不少歡樂和辛酸的回憶。記得被捲揚機捲到手的悲痛經驗、等了好多天矽膠卻沒有硬化的煩躁、猛盯著電子秤數字產生的眼睛疲勞，都歷歷在目！但當光柵乾式膠帶發出彩虹光的七彩繽紛，那時的燦爛與夢幻，都在我們心中刻下難以忘懷的篇章！

經過這次的研究，我們瞭解平常不曾接觸的事物，還磨練了很多能力！科展筆記本的撰寫，讓我們培養抓到重點的能力和如何有效的利用時間！小組之間分工合作，增加了團隊合作能力和工作效率！很感謝每一位伙伴，都很用心的付出和做實驗，也謝謝老師、家人和周遭貴人的鼓勵和支持，讓我們在這條路上意義非凡！

實驗中做拉力檢測時，常常會因為乾式膠帶的黏性太強，在與捲揚機拉扯的過程中，因為分開的衝擊力太大，導致膠帶飛出去。膠帶在空中劃過一道驚艷的拋物線，更在我們心中劃下永恆的彩虹！

拾、參考文獻資料

	參考資料內容	參考資料出處
1	網紅嘗試製作壁虎膠帶	Making DIY gecko tape - work in progress (Youtube) https://www.youtube.com/watch?v=9XQfYKYO380
2	壁虎的剛毛上匙突產生凡得瓦力	獨步江湖的壁虎功(科技大觀園) https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=29d5fcde-5fdb-421c-bf75-dcd95b644
3	壁虎剛毛的匙突圖片	黏黏滑滑：摩擦力與表面科學的祕密。羅麗·溫克里斯。晨星出版社
4	黏附的五種類型	黏附(維基百科) https://zh.wikipedia.org/zh-hant/%E9%BB%8F%E9%99%84
5	黏性的各種檢測方法	膠粘劑粘接強度的分類與檢測方法!(每日頭條) https://kknews.cc/science/gala3kl.html?fbclid=IwAR0_nvDmJm2drBrnVoc00Tq2To5v0qSm5BK1emsMP8iWf48imrFq6n9hmN4
6	「黏黏有虞?」全國科展作品	第50屆全國科展國中組生應科(台灣網路科教館 科展群傑廳) https://www.ntsec.edu.tw/Att.ashx?id=5062
7	「與豬謀皮」全國科展作品	第62屆全國科展國小組化學科(台灣網路科教館 科展群傑廳) https://www.ntsec.edu.tw/Att.ashx?id=15631
8	「有「膠」無痕」全國科展作品	第62屆全國科展國小組生應(二)科(台灣網路科教館 科展群傑廳) https://www.ntsec.edu.tw/Att.ashx?id=15705
9	CD、DVD、BD構造圖	Comparison CD DVD HDDVD BD(維基百科) https://zh.m.wikipedia.org/wiki/File:Comparison_CD_DVD_HDDVD_BD.svg
10	網紅以光柵製作膠帶	Climbing Walls With RAINBOWS - DIY Gecko Tape (Youtube) https://www.youtube.com/watch?v=vpTX32KdVBQ
11	奈米壓印技術	奈米壓印(Nanoimprint Lithography,NIL)技術的最新應用發展(材料世界網) https://www.materialsnet.com.tw/docview.aspx?id=6455
12	各種光柵形狀圖片	奈米壓印模具(緯宸國際股份有限公司) https://waytech.com.tw/nanoimprint/

【評語】 080110

本作品自製微細條紋乾式膠帶，以捲揚機世紀製作拉力計，測試影響乾式膠帶的變因與效果。有趣的探究主題，頗具實用潛力。雖然考量多項變因，但是數據分析與作圖仍有改善空間，數據有效數字以及單位表示有待加強。相較於類似的研究作品，其內容的嚴謹性與充實性都顯得薄弱。實驗與實作非常多，但是真正觸及物理科學的部分仍顯不足。

作品海報

摘要

因為對壁虎攀爬能力有興趣，我們決定研究**不黏手**的**乾式膠帶**！藉由自製穩定施力的檢測裝置，進行乾式膠帶作法和變因探討。

我們發現**矽膠**最適合製作乾式膠帶，壓印板推薦柵欄結構的**光柵**。當光柵刻線密度越密，剪切力越大！**1000條光柵乾式膠帶**（剪切力853 g/cm²）是市售奈米膠帶的2.75倍！矽膠壓印可達到1μm單位，我們稱為「**微米壓印**」是小學生就能使用的技術！訂製光柵太昂貴，我們藉由**雷雕**「**模擬低密度光柵**」方法，確認**光柵形狀**會影響剪切力！推薦橫向、同心圓及正六邊形，形狀越小越密，剪切力越大。

我們研發出**7099**和**台AB**光柵乾式膠帶，擁有**不黏手、無殘膠、易剝離、單雙面皆可用、彩虹光澤特性**，**水洗能恢復黏性**、還能**當作光柵及二次壓印光柵**，具有推廣價值。

壹、研究動機

「壁虎居然能在光滑的牆壁上攀爬！」文獻提到壁虎腳趾上有許多細小**剛毛**，上面的**匙突**具有**凡得瓦力**，能讓壁虎吸附在牆上又能自由移動。像這種仿生壁虎攀爬能力，以物理結構產生附著力的膠帶，稱為「**乾式膠帶**」。

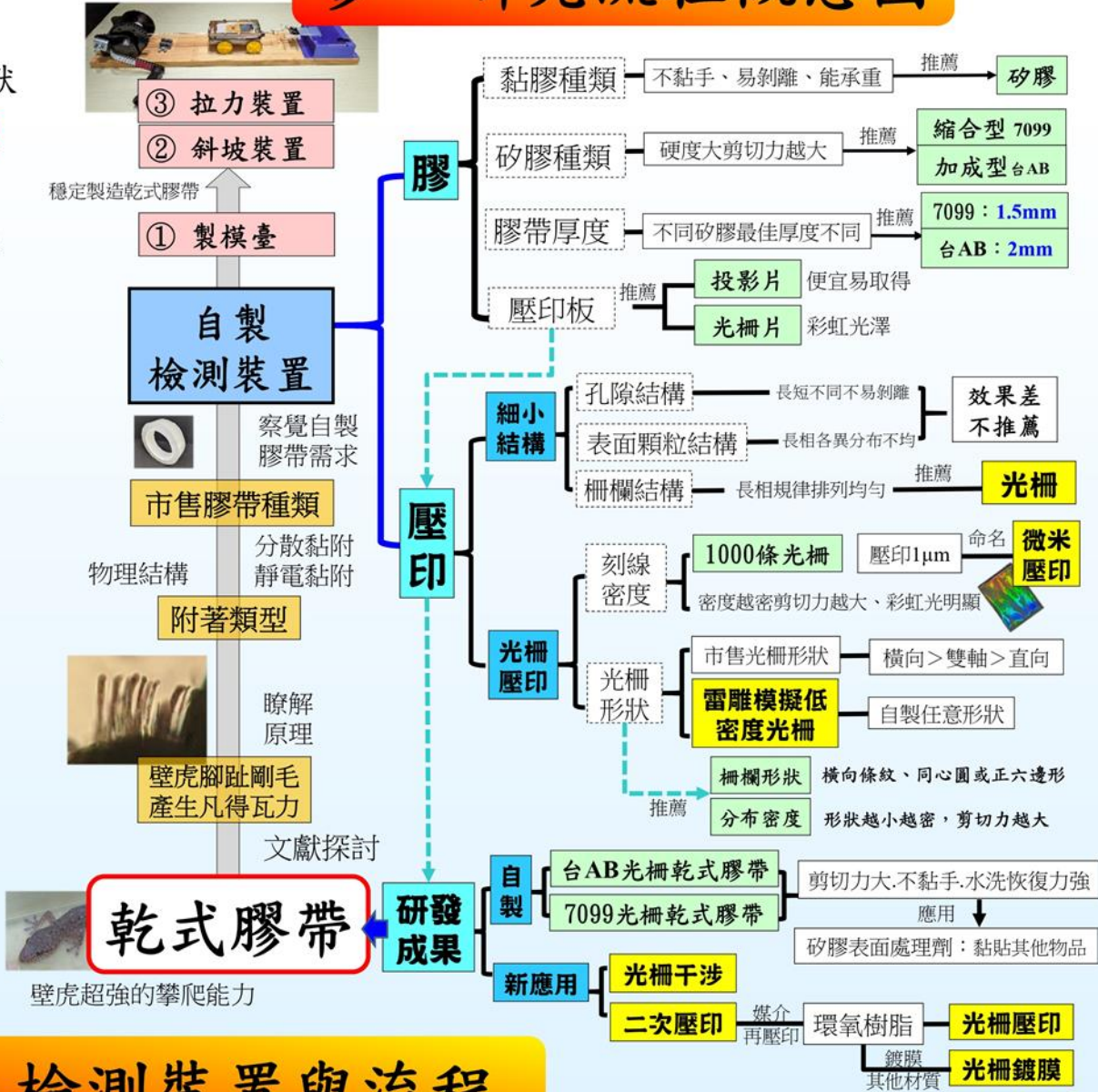
網路上有一位網紅也嘗試用矽膠製作壁虎膠帶，試著做出小凹洞，希望增加黏性但卻失敗了！這激起我們想研究乾式膠帶的興趣！

我們想要探究**乾式膠帶的作法和變因**影響，進而製作出**不黏手、好剝離**的**乾式膠帶**！並將這種實用性高的乾式膠帶推廣出去。

貳、研究目的

- 一、研發自製乾式膠帶的最佳方法。
- 二、測試影響乾式膠帶的變因。
- 三、分析細小結構壓印的可能性。
- 四、研究光柵壓印的變因與效果

參、研究流程概念圖



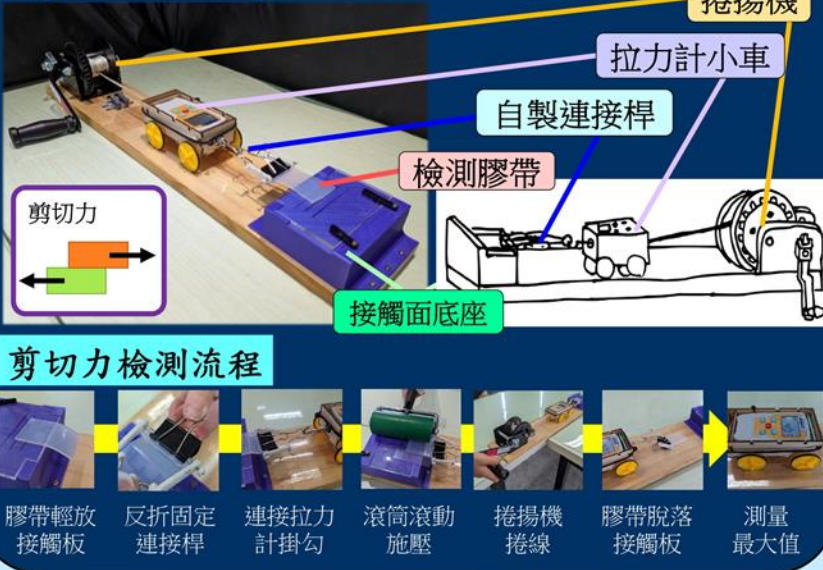
肆、檢測裝置與流程

一、檢測流程及裝置：

穩定製作乾式膠帶的製模台



進行檢測 檢測工具(1)-剪切力



檢測工具(2)-初黏力



檢測工具(3)-剝離力



第一部分：膠類測試

一、市售膠帶測試：

研究原因：我們測試各種市售膠帶不同黏力及效果

實驗紀錄及結果：1. 市售膠帶測試結果

名稱	透明膠帶	電火布	雙面膠	泡棉膠帶	地毯膠	壓克力膠	奈米無痕貼	奈米雙面膠
圖片								
價格(元/公尺)	0.4	0.6	1.2	6.0	5.2	6.3	8.3	43.0
延性	差	一點點	差	一點點	差	佳	差	佳
溶劑去膠	水	無黏性	△減弱	遇到水，就變得完全無黏性！				△減弱
	除膠劑	遇到除膠劑，就變得完全無黏性！						不影響
接觸面附著%	衛生紙	100	39	96	100	88	100	83
	壁報紙	35	0	54	58	24	33	47
	水泥牆	4.1	0	0.4	40.0	35.4	2.5	72.3
初黏力(cm)	2.1	5.9	3.3	1.5	1.0	1.3	1.2	1.1
剪切力(kg)	3.96 (拉長)	0.61 (拉長)	3.47 (斷)	5.72 (斷)	4.99	3.43 (拉長)	3.95	0.93 (拉長)
剝離力(kg)	0.66	0.07	0.45	0.44	1.05	0.75 (拉長)	1.04	0.59

表1：市售膠帶種類初黏力

表2：市售膠帶種類剪切力

表3：市售膠帶種類剝離力

結論：只有奈米雙面膠是乾式膠帶，但初黏力很大會黏手。

二、黏膠種類測試：

研究原因：哪一種黏膠最適合製作乾式膠帶呢？

實驗紀錄及結果：1. 不同膠類製作乾式膠帶效果測試

名稱	膠水	白膠	保麗龍膠	矽利康	矽膠	熱熔膠
成分	聚乙烯醇	聚乙酸乙烯酯	聚乙酸乙烯酯	矽橡膠	矽膠	乙炔、醋酸乙炔
自製膠帶圖片						
乾燥時間	3天	5天	1天	1天	6小時	3分鐘
膠帶特色	很薄又透明	很薄但久乾	氣泡多難脫膜	無法脫模	有彈性易脫模	立即硬化表面不平
能否當膠帶	X	○	○	X	○	○
厚度(mm)	0.14	0.31	1.16	1.18	1.73	1.46
厚度變化率(%)	93	84.5	42.0	41.0	13.5	27.0
接觸面附著%	衛生紙	0	0	0	0	0
	壁報紙	0	0	0	0	0
	水泥牆	0	0	0	0	0
剪切力(kg)	0	0.11	1.78		3.05	1.60
剝離力(kg)	自動掉落	0	0		0	0

表4：黏膠厚度變化率

表5：黏膠剪切力

結論：

1. **矽膠**最適合製作乾式膠帶製作出來的乾式膠帶具有：**①剪切力大** **②厚度變化率小** **③乾燥快** **④易脫模**。

2. 各種膠製作出來的乾式膠帶**初黏力**和**剝離力**都很小。

三、矽膠種類的差異：

研究原因：矽膠是膠類中製作乾式膠帶效果最好的，而市面的矽膠有很多不同硬度(邵氏硬度A)，我們想看見其差異。

研究方法及記錄：矽膠種類及效果測試

照片	縮合型		加成型				
	403	S-810	312	533	7099	台AB	美AB
製作	難 不易流動	易 易流動					
脫膜	不易剝離 不平整	易剝離 平整度高					
成品	厚度不均	厚度均勻					
製作方式	縮合型		加成型				
名稱	403	S-810	312	533	7099	台AB	美AB
硬度(A)	9	12	15	27	40	10	15
價格(元/g)	0.42	0.53	0.53	1.16	0.95	0.50	1.54
膠帶顏色	乳白	乳白	乳白	乳白	透明	半透明	半透明
厚度(mm)	1.80	1.77	2.18	2.20	2.15	2.02	1.96
剪切力(kg)	2.37	3.47	3.74	4.72	5.88	5.45	5.55



表6：縮合型矽膠硬度剪切力

研究結果：

- 縮合型矽膠硬度越高，剪切力越大
- 加成型矽膠較易製作膠帶：
 - ①易流動 ②脫模方便 ③厚度均勻
- 評估後選擇這3種矽膠做後續研究
 - ①縮合型：S-810(軟)、7099(最硬)
 - ②加成型：台AB

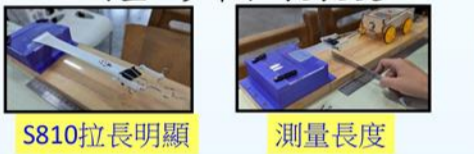
四、矽膠厚度與面積：→不同厚度和面積，會有什麼變化呢？

研究方法：

1. 找出矽膠重量與厚度的比例

厚度(mm)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
矽膠重(g)	1.2	3	4.2	5.5	7.3	8.5

→2. 測試厚度和面積剪切力
→3. 測量膠帶拉長長度



S810拉長明顯 測量長度

實驗紀錄：1. 不同厚度乾式膠帶測試

種類	厚度(mm)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
S-810 (12A)	剪切(kg)	2.24	4.15	3.48	3.34	3.10	2.15
	拉長(cm)	膠帶斷	14.0	13.0	9.4	8.2	5.9
7099 (40A)	剪切(kg)	5.46	6.78	7.02	5.38	5.17	3.73
	拉長(cm)	膠帶斷	6.9	3.5	3.6	3.1	3.5
台AB (10A)	剪切(kg)	3.23	5.48	6.36	7.10	4.41	4.23
	拉長(cm)	膠帶斷	膠帶斷	10.1	9.7	7.8	6.8

2. 不同面積的單位剪切力

面積大小(cm ²)	4x3	3x3	2x3	1x3
剪切力(g)	7096.0	4475.0	3221.6	1086.6
單位剪切力(g/cm ²)	591.3	576.9	536.9	362.2

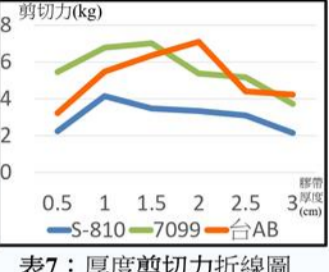


表7：厚度剪切力折線圖

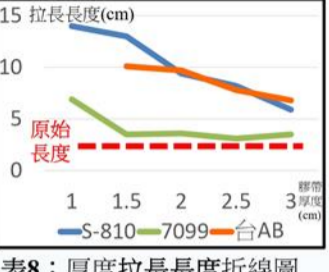


表8：厚度拉長長度折線圖

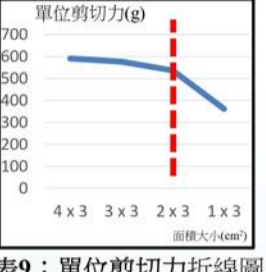


表9：單位剪切力折線圖

研究結果：

- 膠帶厚度會影響剪切力，太薄易斷、太厚整體重量增加
- 效果最佳：7099最佳厚度1.5mm；台AB則為2mm。
- 面積大於6cm²，剪切力可用正比來進行換算！

五、壓印板結構：

研究原因：矽膠適合製作乾式膠帶，而文獻中也提到壁虎腳上的細小結構是壁虎黏貼在牆壁上的主因。我們也試著用壁虎的腳做壓印模板，但失敗了！因此開始搜尋各種生活中細小結構作為壓印板嘗試！

實驗紀錄：1. 生活中壓印材料的選擇及效果(分成三大部分①孔隙結構、②表面顆粒結構、③柵欄結構)

(1) 孔隙結構(細小孔隙)

名稱	定性濾紙	防霾紗網	絹網	口罩	奈米海綿	奈米氣泡石	陶瓷透氣板
孔洞大小(μm)	15~20	75	48	約1			
乾式膠帶照片							
膠帶狀況	黏毛、粉塵	難剝離	易剝離	黏毛、難剝離	矽膠漏光X	黏粉塵	黏粉塵
當膠帶	○	○	○	○	○	○	○
剪切力(g)	0	0	0	0	0	0	0

(2) 表面顆粒結構(細小顆粒不透水)

名稱	水砂紙 20000目	白鋼玉磨刀石 10000目	金鋼砂研磨片 3000目	磨腳皮石
顆粒大小(μm)	0.65	1.30	4.33	1500
壓印板結構				
膠帶狀況	黏沙塵	黏沙塵	有凹凸印痕	有圓環紋
當膠帶	○	○	○	○
剪切力(g)	0	0	2869	810

(3) 柵欄結構(條狀結構不透水)

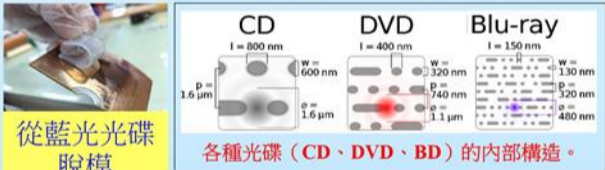
名稱	驗鈔卡	菲涅爾透鏡			CD光碟片	DVD光碟片	BD(藍光光碟片)
紋路形狀	直向	橫向	直向	橫向	同心圓	直向	直向
間距大小(μm)	400	400	300	300	300	1.6	1.1
膠帶表面紋路							
乾式膠帶結構照片							
膠帶狀況	易剝離 直條紋	易剝離 橫條紋	易剝離 有直紋	易剝離 有橫紋	易剝離 有圓紋	好剝離、很平滑 (看不到條紋)	
當膠帶	○	○	○	○	○	○	○
剪切力(g)	0	269	214	288	3296	4312	4138



表10：柵欄結構剪切力

研究結果：

- 加成型「台AB」矽膠能壓印出細小結構模型，能複製壓印板形狀。
- 不同結構分析：
 - ①孔隙結構無法當壓印板。
 - ②表面顆粒結構會使表面有雜質。
 - ③柵欄結構最適合做乾式膠帶壓印板！因其規律、堅固、不透水。且柵欄的紋路形狀會影響剪切力大小
- 光碟片(CD、DVD、BD)有許多等距、平行鋸齒狀凹槽的柵欄結構，是各種細小結構中剪切力最高的！



從藍光光碟脫模 各種光碟(CD、DVD、BD)的內部構造。

4. 以細小結構當成壓印板做出的乾式膠帶，剪切力比投影片壓印小。推測是細小結構的突起會干擾膠帶與接觸面密合。



菲涅爾透鏡切割 驗鈔卡壓印 解剖顯微鏡觀察

六、柵欄式壓印板—光柵刻線密度

研究原因：光碟片細小光柵結構製成的乾式膠帶，剪切力比較大但範圍有限！因此，我們選擇面積大的柵欄結構—光柵，嘗試效果。

研究方法：

選擇不同光柵片
(單位L/mm)

製作橫向、直向紋路膠帶

測4cm x 3cm
剪切力(2片各5次)

→

找出最佳光柵刻線密度

→

以不同矽膠測試最佳光柵效果

意外發現：光柵密度100以上就有彩虹光

光柵刻線密度越密，彩虹光澤越明顯

手電筒檢測彩虹光 7099有明顯彩虹光

實驗紀錄：1. 不同光柵刻線密度效果：

刻線密度(L/mm)	0	1.96	3.93	6.33	100	500	1000	531.4
紋路形狀	投影片	直向	橫向	直向	橫向	直向	橫向	直向
間距大小(μm)	對照組	510.2	254.4	158.0	10.0	2.0	1.0	1.8
光柵照光照片								
乾式膠帶照光照片								
剪切力(g)	6191	0	236	0	249	0	252	988
								4380
								4666
								5903
								5614
								6820
								5367

2. 不同矽膠壓印光柵1000條(L/mm)效果

製作方式	縮合型				加成型	
名稱	403	S-810	312	25A	7099	台AB
硬度(A)	9	12	15	25	40	10
膠帶顏色	乳白色				透明	半透明
剝離狀況	無法從光柵剝離				可剝離	
彩虹光澤					有	有
剪切力(kg)					10.23	6.82

3. 最佳單位剪切力(g/cm²)

	7099	台AB
投影片(g/cm ²)	583	516
光柵1000條(g/cm ²)	853	568

研究結果：

- 以矽膠壓印1μm間距的方式，我們稱為「微米壓印」。這是小學生就能使用來替代高價奈米壓印的新模式。
- 只有縮合型7099和加成型的台AB矽膠，能順利壓印出1μm。
- 光柵刻線密度越密，剪切力越大，且彩虹光澤越明顯。密度為1000條時，乾式膠帶的剪切力會大於投影片製成的乾式膠帶
- 光柵形狀會影響乾式膠帶剪切力「橫向>雙軸>直向」
- 7099製作的1000條光柵乾式膠帶，剪切力可達10.23kg！

七、雷雕自製柵欄結構

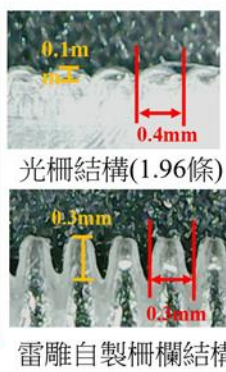
研究原因：從實驗中我們發現光柵形狀會影響乾式膠帶的剪切力，究竟形狀差異會有怎樣的影響呢？

研究方法：市售光柵昂貴變化少!!

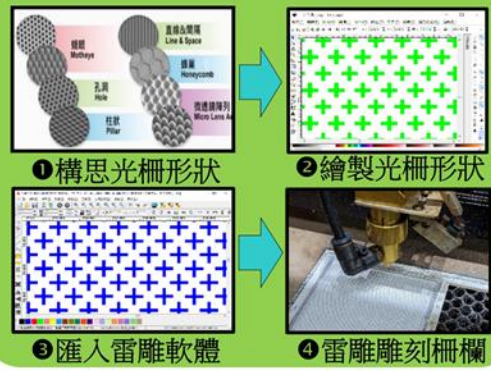
1. 利用雷雕柵欄取代光柵

- (1)市售光柵僅兩種(橫/雙軸)
- (2)訂製光柵形狀價格過高!
- (3)實驗六中刻線密度低的柵欄結構(1.96~6.33 L/mm)就能測試橫直的差異。
- (4)雷雕機的光束寬度約0.1~0.2mm可取代低密度光柵

功率80速度50
雕出
線條：0.1mm
間距：0.3mm的
自製柵欄壓印板，
能夠模擬1.96
條(L/mm)光柵片
的剪切力效果!

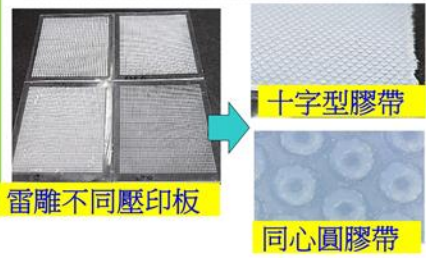


2. 雷雕自製柵欄流程



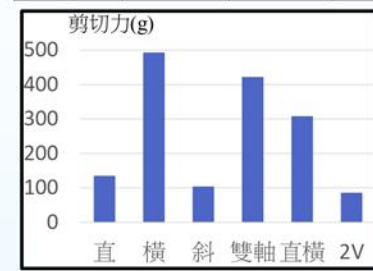
3. 測試!

矽膠：台AB矽膠
剪切力：測4cm x 3cm
兩片各五次計算平均



實驗記錄：1. 不同條紋形狀剪切力

條紋形狀	直	橫	斜	雙軸	直橫交錯	2V相接
形狀圖示						
剪切力(g)	135	493	104	422	308	86

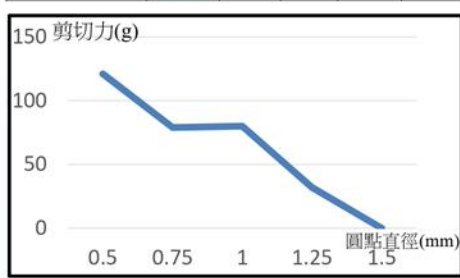


研究結果：

1. 橫 > 雙軸 > 直 > 斜
2. 橫向形狀越多，產生剪切力越大。
3. 直向越多，剪切力越小。

2. 圓點直徑

直徑(mm)	0.5	0.75	1	1.25	1.5
剪切力(g)	121	79	80	32	0

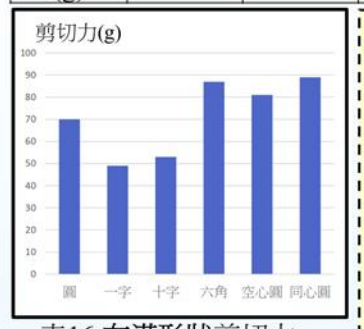


研究結果：

圓點直徑越小，剪切力越大

3. 布滿形狀

形狀	圓	一字	十字	六角	空心圓	同心圓
形狀圖示						
剪切力(g)	70	49	53	87	81	89



研究結果：

1. 完整形狀的剪切力比線條形狀佳。
- 例如：圓形/六角 > 一/十字
2. 形狀內的紋路越多層，剪切力越大，例：
同心圓 > 空心圓 > 圓

★★光柵形狀推薦使用橫向條紋、同心圓或正六邊形布滿，而且形狀越小越密會越好★★

八、原理探討：

壓印板結構

物品表面都有細小結構，這些結構會影響到乾式膠帶的效果

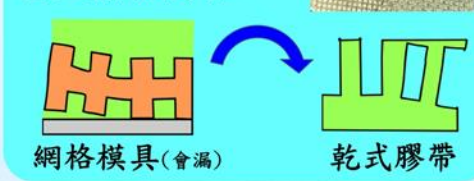
①孔洞結構：

孔洞長相深度不一，造成壓印的乾式膠帶會長短不同。



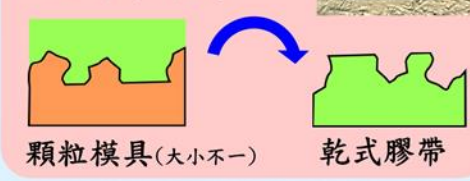
②網格式結構：

矽膠易滲漏，壓印膠帶長相不同，甚至無法剝離。



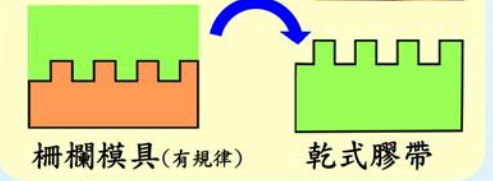
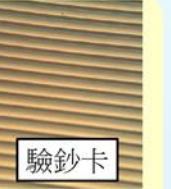
③顆粒結構：

顆粒分佈不一，造成膠帶會長相各異，且分布不均。



④柵欄結構：

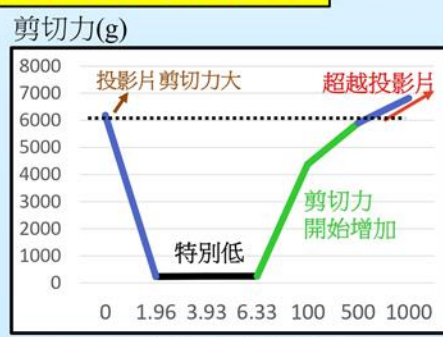
矽膠不會滲漏，壓印的膠帶會出現條狀規律結構。



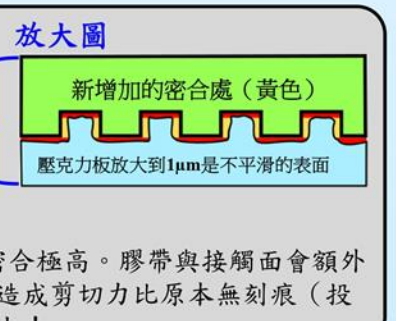
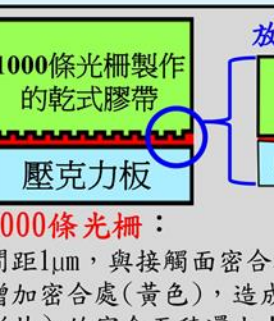
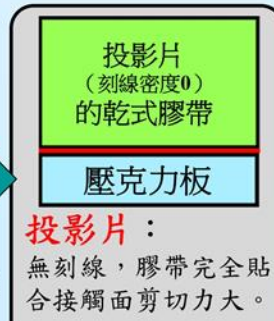
總結：壓印板結構適合的條件是「堅硬不變形、不會滲漏、長相規律、分布均勻」，符合上述條件的是光柵片!

光柵刻線密度

光柵刻線密度越密，剪切力越大。但沒有刻線的投影片(刻線密度=0)剪切力卻很大!



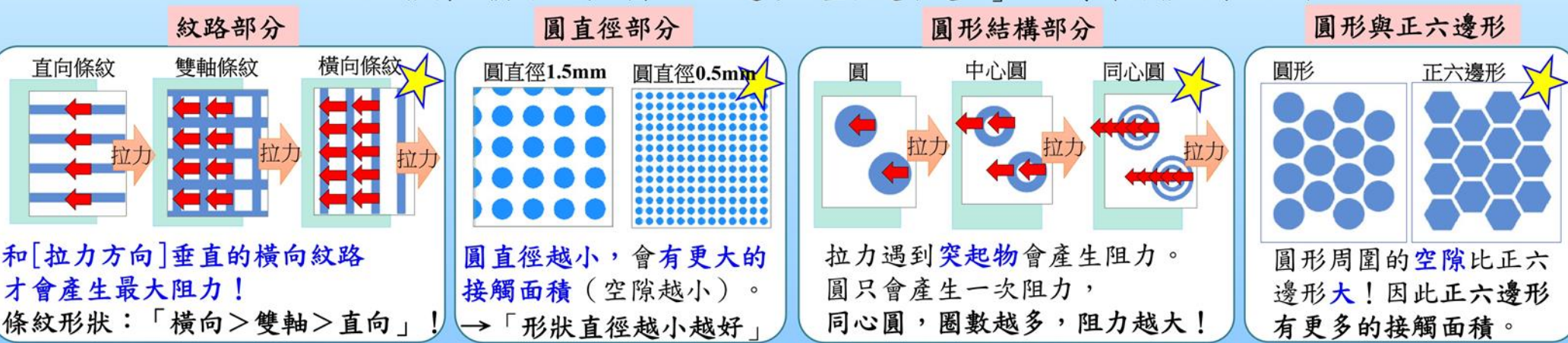
推測原理



總結：當光柵刻線密度越高，與接觸面密合的面積會越多，摩擦力增加，剪切力因此越大!壁虎剛毛是0.2μm，1000條光柵間距為1μm比壁虎大很多。不過，我們推測除了摩擦力，凡得瓦力也可能增加了剪切力。

模擬低密度光柵形狀

我們利用雷雕壓克力板來模擬光柵的形狀，雖然黏性不大，但也能檢測出形狀上的影響，推薦「橫向、同心圓、正六邊形，直徑越小越好」，以摩擦力推論原因如下：



總結：垂直於拉力的紋路越多層、單位面積中空隙越小、接觸面積越大，會產生更多的阻力。

陸、結論

一、乾式膠帶配方最佳化：

項目	配方
膠體	矽膠最適合→縮合型7099、加成型台AB
壓印板	1000條光柵最適合→剪切力：853 g/cm ²
厚度	不同矽膠種類最佳厚度不同

二、自製乾式膠帶與市售比較：

膠帶名稱	使用方式	價錢(元/cm ²)	衛生紙黏(%)	初黏力(cm)	單位剪切力(g/cm ²)	剝離力(g)	水洗後	光柵彩虹光
自製光柵7099	單雙	0.33	0	無	853	0	無黏	很多
自製光柵台AB	單雙	0.23	0	無	568	0	有黏	少許
市售奈米雙面膠	雙面	0.17	93	1.1	310	590	有黏	無

<優點>自製乾式膠帶優點：

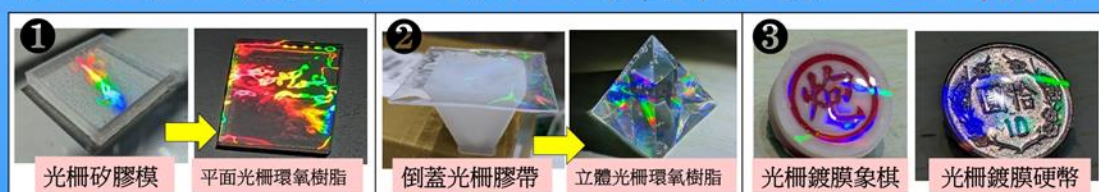
- ①不黏手
- ②無殘膠
- ③易剝離
- ④單雙面皆可用
- ⑤可水洗(台AB)
- ⑥可當光柵、二次壓印光柵(7099)

三、壓印：

1. 最適合進行壓印的是「柵欄」結構，它不變形、不會滲漏、長相規律、分布均勻，其中以光柵效果最佳!
2. 光柵刻線密度越密，壓印出的乾式膠帶剪切力越大。
3. 不同形狀會影響壓印的效果，接觸面積越大，剪切力越大

四、延伸新應用：

乾式膠帶不僅是膠帶，還能搭配環氧樹脂進行二次壓印光柵



以7099矽膠和光柵片製作出的光柵矽膠模子，能夠光柵壓印原本無法壓印的材質!

將7099光柵乾式膠帶倒蓋在有環氧樹脂的立體矽膠模上，能夠在成品底部壓印光柵!

在平面材質上滴環氧樹脂，再蓋上7099光柵膠帶，能在材質表面鍍上一層光柵!