

顯微光譜即時監控極化膜片灰階漂白技術之建立以及應用於二維極化元件製作

Fabrication of Micro Polarization Optics Device by Laser Bleaching and Study of Its Characterization by Microspectrophotometer

翁俊仁、范振亮、林宇軒、林郁欣

Chun-Jen Weng, Chen-Liang Fan, Yu-Hsuan Lin, Yu-Hsin Lin

本研究提出一種雷射灰階漂白之技術，建置具備顯微光譜即時監控之雷射灰階漂白系統，來達成製作灰階變化之二維微偏振元件。由於本研究中採用偏振膜片作為雷射漂白所需要之基材，所製作之元件將具有低成本、高明暗比之動態範圍、寬頻以及高接受角之特性。本研究前半部分著重於單點偏振薄片漂白技術建立及完成偏振顯微光譜影像量測方法，找出雷射漂白最適合波長，以及探討雷射功率與漂白後偏振薄片明暗比之相對關係。後半部分則將著重於二維陣列偏振薄片漂白技術建立、即時監控技術，以自動化程式控制二軸移動平台進行線性偏振薄片二維佈點雷射漂白，並搭配顯微光譜即時監控之即時監控其偏振特性，製作具明暗比調控之二維微偏振元件，未來可應用於高動態對比之灰階光罩製作 (256 階以上)、高儲存容量之記憶體以及製作高解析度、高明暗比之線性偏光光柵。

A grey scale laser bleaching method has been proposed in this study. A polarimetric microspectrophotometer (MSP) was built in this project in the first. Then, the two dimensional micro polarization optics devices with controllable extinction ratio was made from the polarizer film through laser bleaching via monitoring by this MSP. The devices made from conventional polarizer films have the special characteristics such as low cost, broadband, high dynamic range of extinction ratio and high acceptance angle. This work about setup of the MSP and single point laser bleaching scheme was done in the first. Optimized laser bleaching wavelength and the relationship between extinction ratio of bleached polarizer film and laser power was studied by the spectrometer. The polarimetric image distribution of bleached polarizer film was measured by the image camera. Next, two dimensional micro polarization optics devices based on linear polarizer film was fabricated with 2-axis linear stages controlled by LabVIEW program. A polarimetric MSP was used as real-time polarimetric analysis in order to control the extinction ratio and other polarimetric characters. These devices have the potential in the high grey scale mask, high density optical data storage, linear polarizer based grating and circular polarizer based grating.

表 1. LD/LB/CD/CB 特性說明。

	簡稱	說明
Linear Dichroism	LD	物質對兩正交的線性偏振光有不同的吸收，稱為線偏吸收特性 ($\Delta A = A_x - A_y$)
Linear Birefringence	LB	正交的線性偏振光在物質中感受到不同的折射率，造成速度不同，稱為線偏延遲特性 ($\Delta n = n_x - n_y$)
Circular Dichroism	CD	物質對左、右旋圓偏振光有不同的吸收，稱為圓偏吸收特性 ($\Delta A = A_L - A_R$)
Circular Birefringence	CB	左、右旋圓偏振光在物質中感受到不同的折射率，造成速度不同，稱為旋光特性 ($\Delta n = n_L - n_R$)

一、前言

近來微奈米光學元件製程之精進與研究學者之創意實現，各式各樣讓人驚艷的微奈米光學元件被開發並深入研究探討，已成功應用在日常生活當中。微奈米光學元件具有獨特性與多樣性，本研究所討論範圍是具有偏振相關特性 (polarization dependence) 之二維陣列微奈米光學元件，此種元件常被用來作為光的強度操控 (intensity modulation) 或相位操控 (phase modulation)，例如應用於 3D 電視應用之圖案式微相位波片元件 (patterned retarder⁽¹⁾)、相移數位全像術 (phase-shifting digital holography)⁽²⁾、影像式偏光陣列感測器 (imaging polarimeter)⁽³⁻⁵⁾、微偏振陣列即時干涉儀 (micro polarizer based interferometer)⁽⁶⁾、高容量全像儲存術 (polarization holographic optical data storage)⁽⁷⁾、高容量之電漿子元件 (plasmonic spectra for information storage)⁽⁸⁾、以及生物醫學應用之偏

光檢測技術 (tissue polarimetry)⁽⁹⁻¹⁰⁾ 等，都是國內外許多前瞻團隊所積極開發與研究之標的，本研究團隊也積極投入這些領域應用中。上述之微奈米光學元件之檢測，通常以線性偏振以及旋光偏振特性為主，例如線性二色性 (linear dichroism, LD)、圓二色性 (circular dichroism, CD)、線性雙折射 (linear birefringence, LB) 以及 (circular birefringence, CB) 等，將四種偏振特性簡單說明並整理於表 1 當中。

本研究係利用雷射漂白技術來製作微偏振元件，樣品基材將選用偏振膜片，選擇包含線性偏振薄片 (linear polarizer film) 以及旋光偏振薄片 (circular polarizer film) 兩種。這兩種偏光材料，國內廠商明基電通是國內主要供應商，也是全世界前四大之供應商 [[https:// www.benqmaterials.com](https://www.benqmaterials.com)]，如圖 1 示意圖所示，主要結構包含 PET 保護膜、PSA 感壓性黏著劑、TAC 三醋酸纖維素、PVA 聚乙烯醇與 PET 離型膜等，主要偏光機制是在於 PVA 層。目前最常採用的偏光膜為高分子二色性

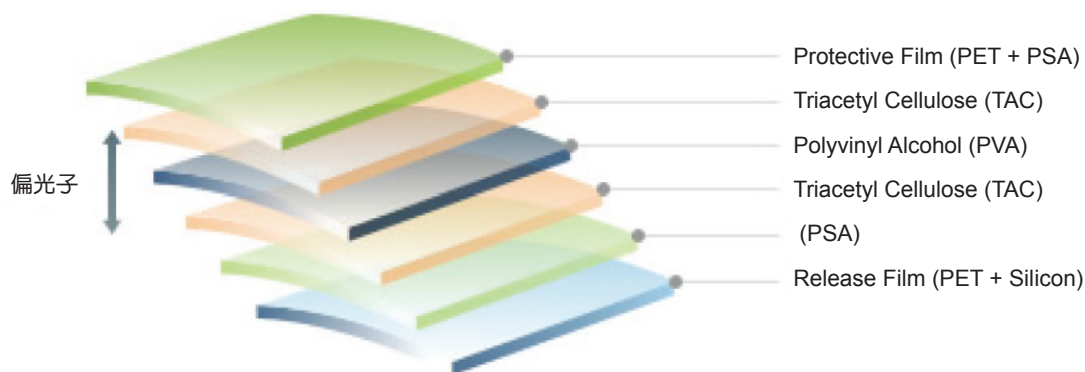


圖 1. 偏振膜片之示意圖 (本圖片節錄自明基材料公司網頁)。

型，所以偏光基體是利用透光性良好的高分子薄膜 (常用 PVA)，加入二色性物質 (碘系、染料系材料等)，使碘離子或染料擴散滲入內層 PVA 中，加熱後拉伸 PVA 膜原本 PVA 分子為任意角度，受外力拉伸後分子就逐漸偏轉於作用力方向上，而附著在 PVA 上的碘離子或染料也隨之有方向性，因此它可以吸收平行於其排列方向的光束分量，只讓垂直方向的光分量通過，而形成偏光膜的獨特功能 (主要是 LD 特性)。旋光偏振膜片具備 LD、LB 及 CD 特性，其架構與線性偏振膜片接近，只是多加了一層雙折射塑膠膜片作為四分之一波長延遲膜片 (plastic QWP)，將線偏光轉換旋光偏光，依據其貼合方位角度，決定是左旋偏光或是右旋偏光。偏振薄片能將自然光轉換成偏光之元件，透過大尺寸平面顯示器及 3D 顯示器之需求帶動下，這些偏振薄片價格相當低廉，透過一般商用 roll to roll 之生產，其材料偏振分布特性均勻性良好，此種偏光材料具有高明暗偏光對比，在某些波段其明暗比通常可高達 20,000，且具有較大的偏振可接受角度 (accept angle) 也可高達 30 度，由於這幾種優異特性，因此本研究中將採用此種偏振膜片作為雷射漂白所需要之基材。

二、研究目的

微奈米技術乃是目前各國爭相競爭掌握之關鍵技術，主要因其可以對人類的生活產生重大改變，尤其當今面臨能源短缺、綠能環保意識高漲以及優質生活之期待，微奈米技術提供了一個無限可能的研究空間，然所製作的微奈米光學元件，卻面臨可以設計並製作，然而卻常面臨無法完整檢測的窘境當中，微奈米元件的特性不容易完全掌握，加上微奈米加工技術尚未臻於完美，造成設計與製作有很大的容差問題，必須高度仰賴儀器量測的回饋而作設計與製作修正參考之依據。然而隨著微奈米光學科技之發展，各種微奈米尺度光學元件之製作、加工技術蓬勃發展，各式樣的微奈米尺度之光學元件或薄膜被開發出來，然而卻缺乏一個通用量測儀器平台，此塊研究空缺剛好正是本團隊所需扮演之角色與任務。一般微奈米光學元件通常藉由高解析度

之顯微鏡或近場光學顯微鏡來觀測，然而上述之微奈米尺度光學元件具備不同之偏振相關性，以一般顯微鏡並無法進行偏振相關特性之量測，而一般商用光譜式橢圓偏光術或光譜式偏光量測技術又缺乏微奈米尺度定位、顯微放大之功能，因此需開發可以同時結合顯微鏡以及光譜式偏光量測技術，來進行微奈米尺度光學元件寬頻偏振特性量測，在儀器自製部分，本單位扮演關鍵角色，也常在國際前瞻儀器應用上嶄露頭角，近來在檢測儀器方面，本研究團隊積極投入微奈米檢測技術之開發，包含原子力顯微術、高解析近場顯微術以及偏振顯微光譜量測平台之開發等，並積極服務學術界與產業界進行前瞻之研發。另外，本研究以雷射漂白技術製作二維微偏振陣列元件，由於結合偏光顯微光譜儀之即時監控特性，因此可以控制此種元件之明暗比分布 (extinction ratio)。

三、文獻探討

具有偏振相關特性之二維陣列微奈米光學元件，其相關應用具有非侵入性、高容量、即時量測、具相位量測以及高對比增強之特性，此類應用也不再需要傳統偏振量測所需之可動機構件，大幅提升量測之實用性與通用性。文獻上目前有幾種製作二維陣列微偏振元件之技術，包含雷射加工技術 (laser ablation)⁽¹¹⁾、選擇性蝕刻 (etched dichroic polymers)^(4, 12)、次波長金屬光柵排列技術 (wire grid polarizer)^(3, 13)、光子晶體製程技術 (photonic crystal)⁽¹⁴⁾、光學對位液晶聚合物成形技術 (photo aligned liquid crystal polymers)⁽¹⁵⁻¹⁸⁾。如圖 2(a) 所示，雷射漂白技術通常使用高功率 argon laser 或 CO2 laser 透過物鏡聚焦於偏振膜片上，透過二軸位移平台之移動，而達成二維微偏振元件之製作目的，然而此種技術所製作的微偏振陣列，只有兩種狀態漂白或不漂白，經雷射漂白後通常此時穿透率提升呈現透明狀態，偏光對比則大幅下降，雷射沒有曝光之處則呈現原偏振膜片的狀態，維持相同之高偏振對比，通常呈現暗沉之顏色。此種技術具有寬頻特性 (可見光波段約 ~400 nm)，同時具備相當高之偏振對比 (high extinction ratio)，若能適當控制雷射功

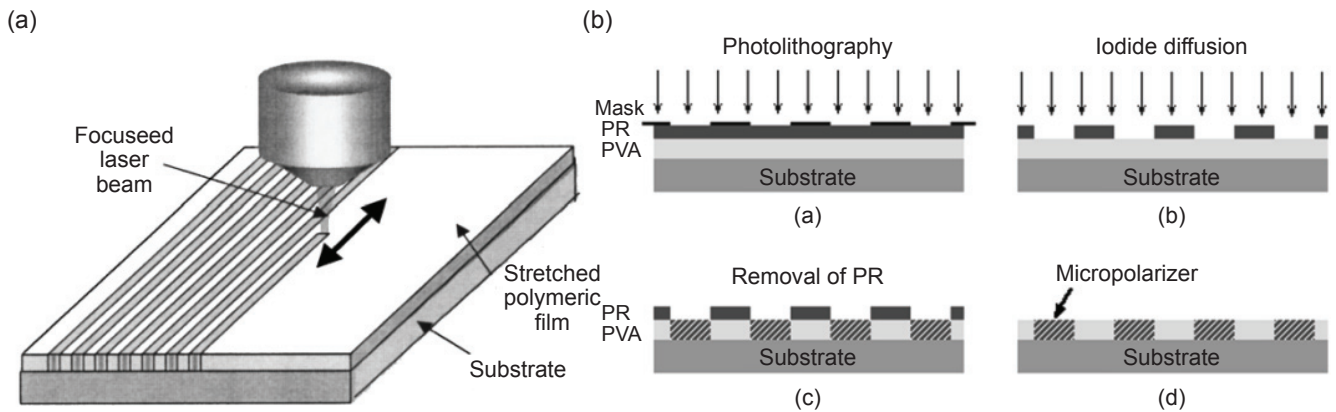


圖 2. (a) 雷射漂白作用⁽¹¹⁾、(b) 選擇性蝕刻⁽¹²⁾。

率而形成所謂完全漂白，則漂白與非漂白其偏振對比可高達 20,000，而且沒有漂白區域保留偏振膜片之原本高接受角度 (accept angle ~30 度) 之特性，然而由於偏振膜片是由高分子材料所製成，因此若雷射功率沒有適當控制，此類元件容易由於雷射功率控制不當造成燒毀，因而此項技術雖有許多團隊嘗試，然而最後都因雷射漂白技術不易控制而放棄。由於雷射漂白技術不容易控制，然而偏振膜片價格十分低廉容易取得，以及上述所提及之高對比、高接受角度及高穿透率之特性，因此許多團隊仍喜好選用此種偏振膜片作為基材，而加工方式改為選擇性蝕刻技術，如圖 2(b) 示意圖所示，透過黃光製程對位、光阻及蝕刻技術之搭配，而可以選擇性蝕刻偏振膜片之區域，目前可製作最小尺寸為 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ ，透過堆疊 (stack) 及對位技術，可以製作多層二維微偏振元件，而達成各種偏振狀態之組合 (例如 0 度 / 45 度 / 90 度)，此種技術如同雷射漂白技術，未加工或蝕刻之區域，都可以保持高偏

光對比及較大接受角度之特性，然而經過蝕刻後，偏振薄膜受到結構性破壞，變的相當脆弱，並且由於蝕刻過程中，不易即時控制蝕刻參數，因此容易造成過度蝕刻 (over etching) 或蝕刻不足，以及由於非等向性之蝕刻，所蝕刻結構容易造成底切蝕刻 (under cut) 且擴大表面粗糙度，這些都會造成串聽 (cross talk) 導致偏光對比下降。如圖 3(a) 所示，文獻上此種技術只有日本東北大學團隊在進行，以介電質材質製作光子晶體陣列，光子晶體排列方向而產生 TE 及 TM 波有不同穿透率，利用光子晶體空間調變製作二維陣列元件，此種技術有幾項缺點，除了製程複雜昂貴外，其頻寬通常小於 100 nm，另外其入射接受角度亦相當受限。另一種技術稱為次波長金屬光柵排列技術，如圖 3(b) 所示，利用半導體製程製作奈米金屬線光柵 (結構尺寸通常小於 100 nm)，調整奈米金屬線之排列方向並利用黃光製程產生二維陣列，利用奈米金屬線之線性二色性性質 (linear dichroism)，來產生兩正交偏振狀態

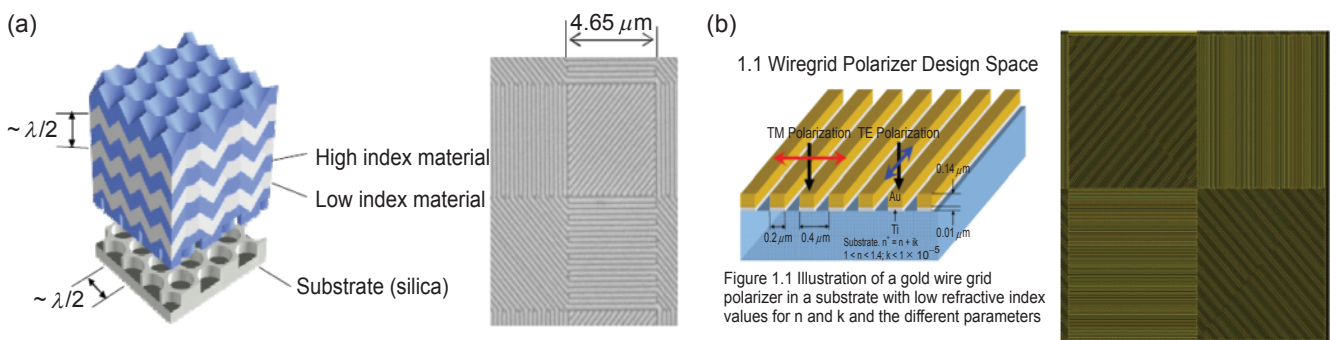


圖 3. (a) 光子晶體陣列⁽¹⁴⁾，(b) 次波長金屬光柵排列技術⁽³⁾。

之吸收對比而形成偏振元件之效果，當入射偏振狀態平行於奈米金屬線則呈現高吸收，若兩者垂直則高穿透。此製程技術所製作之微偏振元件，雖具有寬頻性能但其偏振對比通常只在 20 dB 上下，且受到金屬線之遮蔽其光學穿透率較低，已有商用產品可供選擇，由於需利用到奈米製程 (例如 e-beam 或 FIB 製程)，因此單價極高。文獻上最後一種技術稱作光學對位液晶聚合物成形技術，如圖 4 所示，光學對位液晶聚合物成形技術係透過黃光製程以及液晶鋪排技術之結合，利用光導引技術使得液晶分子具有規則性排列之特性，照射具偏振 UV 曝光光源會給予液晶分子光不同導引效果，造成液晶分子產生扭轉 (twisted，就像是 retarder or rotator 之特性)，而改變其偏振軸向，藉由改變 UV 曝光光源之偏振方角度，透過光阻選擇性曝光而達成製作二維微偏振元件之目的。文獻上此種元件可見光波段頻寬可達 250 nm，穿透率可達 70%，然偏振對比只有 100 左右，雖可透過一些製程對準提升至 1,000，不過並不成熟。本研究將上述之敘述做成一表格，方便比較參考。前文提及具偏振相關特性之二維陣列微奈米光學元件，通常具備特殊色彩反應、色散響應、吸收共振譜線以及偏振相關特性，然而目前缺乏一套通用的前瞻儀器可供前瞻團隊進

行定性定量之研究，國外商用顯微光譜儀可以解決部分問題，然而在微奈米光學元件的寬頻全偏振特性檢測，卻沒有任何商用儀器或國內外團隊進行開發研究，另外上述顯微光譜儀發展到目前為止，並不具備完整偏振功能之定量量測功能，本研究團隊有堅強的光機電整合團隊，可以積極扮演前瞻儀器開發之角色，因此將透過本計畫建置一套寬頻全偏振顯微光譜影像量測系統，並且利用此套系統結合雷射漂白技術即時監控制作二維微偏振元件。

四、研究方法

本計畫以雷射漂白技術製作微偏振元件及其顯微光譜影像特性分析之研究，成功製作雷射漂白二維陣列微偏振關鍵元件，應用可包含數之灰階光罩、單點之高儲存容量之記憶體應用，以及高明暗比之線性偏光光柵應用於偏振式寬頻分光應用中，我們將研究內容、進行步驟整理如下之工作表所示。

用來製作微偏振元件之偏振膜片，本研究選擇線性偏振薄片 (linear polarizer film)。為了耐受高功率雷射之漂白作用而不破壞樣本，因此本研究將選用有保護鏡片之偏振膜片架構 (protective window

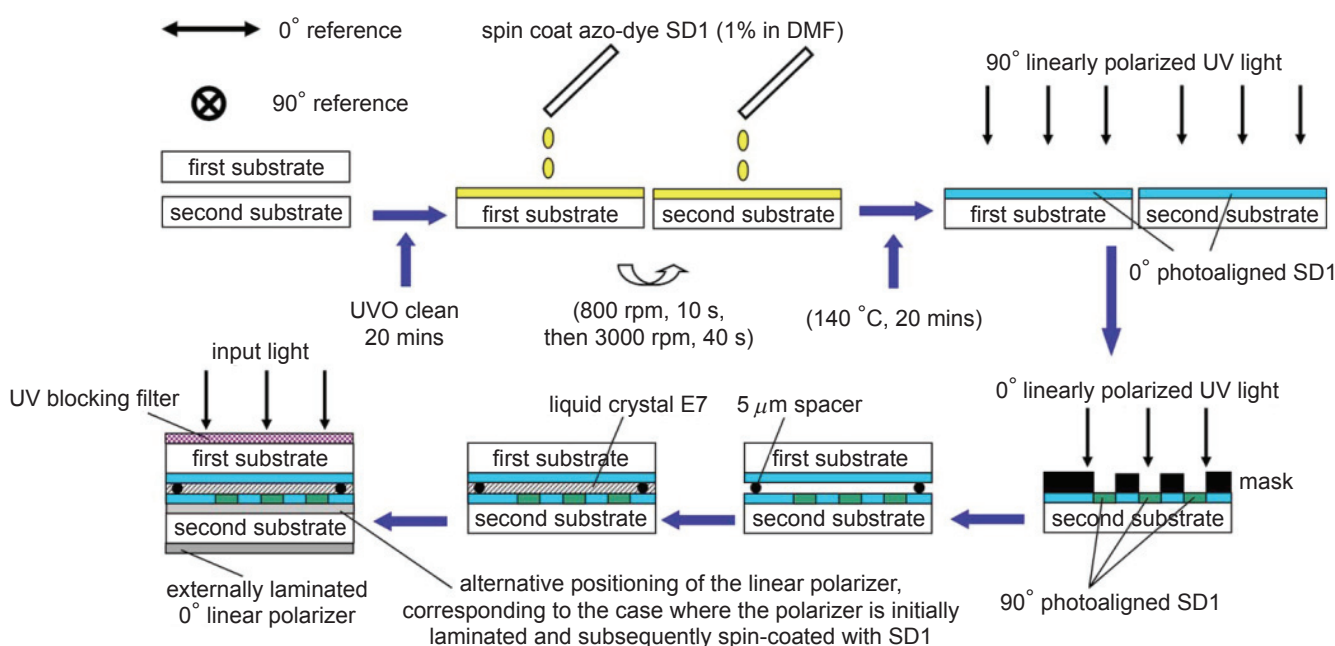


圖 4. 光學對位液晶聚合物成形技術 (photo aligned liquid crystal polymers)⁽¹⁵⁾。

表 2. 文獻上各種技術之比較。

	使用偏振之材料	優點	缺點
1. 雷射加工技術	二色性偏光膜片 (dicroism polarizer film)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 偏振材料非常便宜，通常 42 吋約 1000 元。 2. 高偏光對比 (可高達~20,000)。 3. 材料寬頻 (~400 nm) 且波段選擇廣泛 (UV/VIS/NIR)。 4. 較大之接受角度 (~30 度)。 5. 微偏振漂白大小由雷射光點決定，可以接近 2 μm 左右。 6. 表面粗糙度佳。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 雷射功率控制不當，夾層用之高分子材料容易燒毀。 2. 無法控制偏振狀態之明暗比由於無法即時量測，因此雷再現性較差。
2. 選擇性蝕刻 (etched dichroic polymers)	二色性偏光膜片 (dicroism polarizer film)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 偏振材料非常便宜。 2. 高偏光對比 (可高達 20,000)。 3. 材料寬頻 (~400 nm) 且波段選擇廣泛 (UV/VIS/NIR)。 4. 較大之接受角度 (~30 度)。 5. 可製作最小尺寸為 10 μm * 10 μm。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 結構受到物理性破壞，較為脆弱。 2. 表面粗糙度較差。 3. 蝕刻速度不易控制，容易過度蝕刻或不足。 4. 非等向性之蝕刻，底切效應明顯。 5. 訊號串音較為明顯。
3. 光子晶體製程技術 (photonic crystal)	介電質之光子晶體 (dielectric photonic crystal)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 極高之穿透率 (~95%)。 2. 明暗比可達 3,000。 3. 黃光製程容易批次量產。 4. 容易製作任意角度之微偏振陣列。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 製程複雜昂貴。 2. 頻寬通常小於 100 nm。 3. 入射接受角度較小。
4. 次波長金屬光柵排列技術 (wire grid polarizer)	次波長奈米金屬線光柵 (sub-wavelength metal grating)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 黃光製程容易批次量產 2. 容易製作任意角度之微偏振陣列 (0 度 / 45 度 / 90 度 / 135 度)。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 金屬線尺寸小於 100 nm，製程複雜昂貴 (E-beam, FIB 等)。 2. 明暗比較低 ~100。 3. 穿透率較低 ~65%。 4. 入射接受角度較小 ~10 度。
5. 光學對位液晶聚合物成形技術 (photo aligned liquid crystal polymers)	液晶分子 (liquid crystal)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 黃光製程容易批次量產。 2. 寬頻 ~250 nm。 3. 表面粗糙度較佳。 4. 可製作線性偏振及旋光偏振，可組合出完整之偏振狀態 (full stokes vector)。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 穿透率 ~70%。 2. 偏振明暗對比 ~1000。 3. 容易受到溫度之影響。

表 3. 研究內容。

題目	顯微光譜即時監控極化膜片灰階漂白技術之建立以及應用於二維極化元件製作。
研究內容	單點偏振薄片漂白技術建立及完成偏振顯微光譜影像量測方法。以雷射光源進行線性偏振薄片之雷射漂白研究。 二維陣列偏振薄片漂白技術建立及其即時監控技術，以及二維陣列微偏振元件應用及其顯微光譜特性量測。以自動化程式控制二維移動平台，進行線性偏振薄片二維佈點雷射漂白。利用偏振顯微光譜即時監控偏振特性製作高密度灰階雷射漂白微偏振陣列，預計可應用於高動態對比之灰階光罩製作以及高儲存容量之記憶體應用中 (單點 256 位元)。

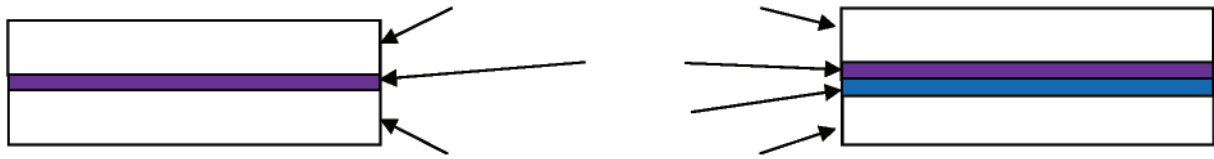


圖 5. 線性偏振膜片 (左) 及旋光偏振膜片 (右) 之示意圖。

laminated polarizer film) ，這種之雷射功率損害閾值可高達 1 W/cm^2 或 0.4 J/cm^2 ，如圖 5 意圖所示，線性偏振薄片主要結構 PVA 及保護鏡片，主要偏光機制是在於 PVA 層，吸附上二色性物質 (碘系、染料系等)，使碘離子或染料擴散滲入內層 PVA 中，微熱後拉伸 PVA 膜原本 PVA 分子為任意角度無規則性分佈，受力拉伸後分子就逐漸偏轉於作用力方向上，而附著在 PVA 上的碘離子或染料也隨之有方向性，因此它可以吸收平行於其排列方向的光束分量，只讓垂直方向的光分量通過，利用此偏極特性就是偏光膜的獨特功能。旋光偏振膜片原理及架構與線性偏振膜片接近，只是多加了一層雙折射塑膠膜片作為四分之一波長延遲膜片 (plastic QWP) ，將線偏光轉換旋光偏光，依據其貼合方位角度，決定是左旋偏光或是右旋偏光。

偏振薄片能將自然光轉換成偏光之元件，透過大尺寸平面顯示器及 3D 顯示器之產業需求帶動下，這些偏振薄片價格相當低廉，其材料偏振分布特性均勻性良好，此種偏光材料具有高明暗偏光對比，在某些波段其明暗比通常可高達 20,000 ，且具有較大的偏振可接受角度 (accept angle) 也可高達 30 度，由於這幾種優異特性，因此本研究中將採用此種偏振膜片作為雷射漂白所需要之基材，並預期所製作完成之微偏振元件將可應用於多項實務需求中。偏振膜片漂白機制，如示意圖 6 下角所示，雷射光源引入顯微鏡組中，經由高倍率物鏡聚焦於偏振薄片，偏振膜片內的二色性物質會受到聚焦之雷射漂白作用，而顏色逐漸由深色轉淺色，亦即穿透軸向及吸收軸向穿透率將會提升，亦即受到雷射漂白後，偏振薄片之明暗比將下降，因此本研究將透過精密控制雷射功率及曝光時間之調整，藉由偏振顯微光譜儀即時量測監控，達到操控偏振膜片之明暗比之目的。本研究提出一種創新的實驗方法，使用近紅外光雷射作為雷射漂白技術所需光源，以及結合自製之寬頻顯微光譜儀，作為顯微偏

振光譜影像特性分析及即時監控之用，預期將可成功製作高性能之二維陣列微偏振元件，本研究主要鎖定可控制明暗比之灰階漂白以及高明暗對比技術，並探討其可能之應用，包含高密度灰階雷射漂白微偏振陣列，預計可應用於高動態對比之灰階光罩製作以及高儲存容量之記憶體應用中 (單點 256 位元) 以及製作高解析度、高明暗比之線性偏光光柵及旋光光柵與其寬頻分光應用探討。如圖 6 之示意圖所示，主要包含兩組分別光路:雷射光源路徑作為激發漂白光束之用 (pump beam) 以及顯微鏡內建燈泡路徑做為探測光束量測之用 (probe beam) 。將雷射光源引入顯微鏡組中，經由高倍率物鏡聚焦於偏振薄片進行雷射漂白作用，藉由選定不同波段之雷射光源來找出適合的漂白雷射波長，而快速光學切換開關 (shutter) 將用來作為漂白曝光時間之調整，另外光路中使用寬頻偏振產生模組 (polarization state generator, PSG) ，會包含一片寬頻偏振片及消色差設計之四分之一波長延遲片，藉由高解析馬達帶動偏振片來產生兩組正交之偏振狀態，包含水平/垂直偏振以及左旋/右旋偏振狀態，來測試不同偏振入射光對偏振薄片漂白作用之差異，藉由電腦自動化程式帶動二軸移動平台，即可以進行二維偏振薄片之雷射漂白，以便製作二維微偏振陣列元件。另外一組光路，顯微鏡內建燈泡路徑當中，則分別加入一組寬頻偏振產生模組 PSG 以及另一組寬頻偏振解析模組 (polarization state analyzer, PSA) 架構與 PSG 一樣，只是元件順序對調，藉由 PSG 及 PSA 之搭配，使用寬頻光譜儀及 CCD ，分別可以量測經雷射漂白作用後，偏振薄片之寬頻偏振光譜特性以及偏振特性之影像分佈，並可以藉由電腦控制來達成即時監控之目的。

透過廠商資料搜尋，英國廠商 KNIGHT OPTICAL 公司出產了各種波段之線性偏振薄片產品，其相關規格如圖 7 所示，其中 UVIS 波段線性偏振薄片波長範圍約 $400 \text{ nm} - 800 \text{ nm}$ ，偏光明暗

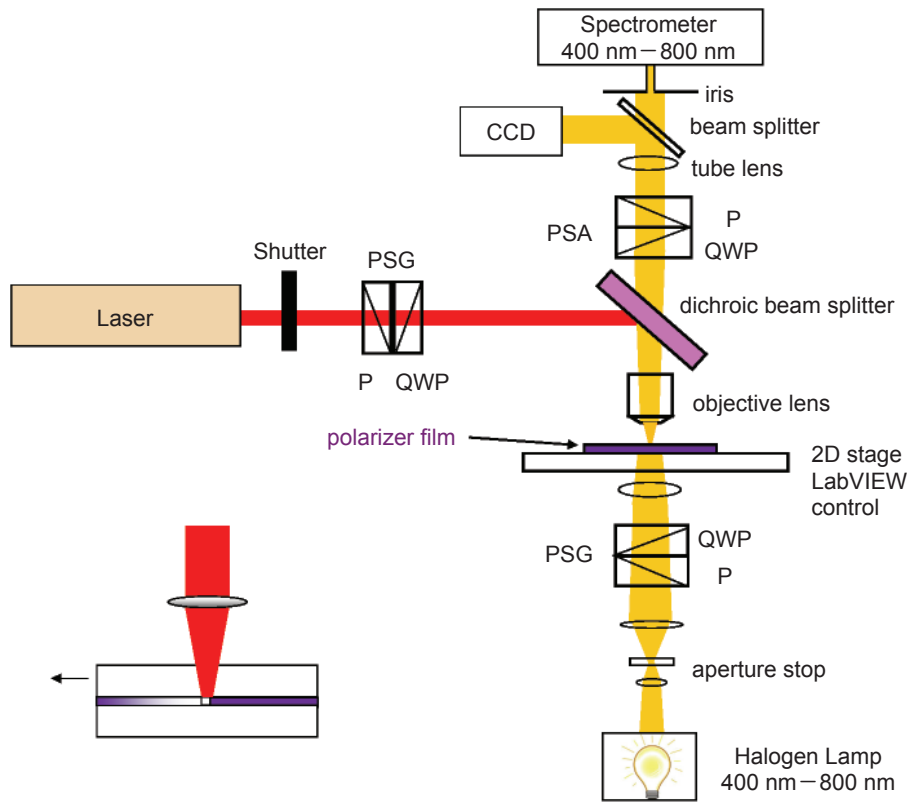


圖 6. 雷射漂白製作二維微偏振元件及偏振顯微光譜量測之示意圖。

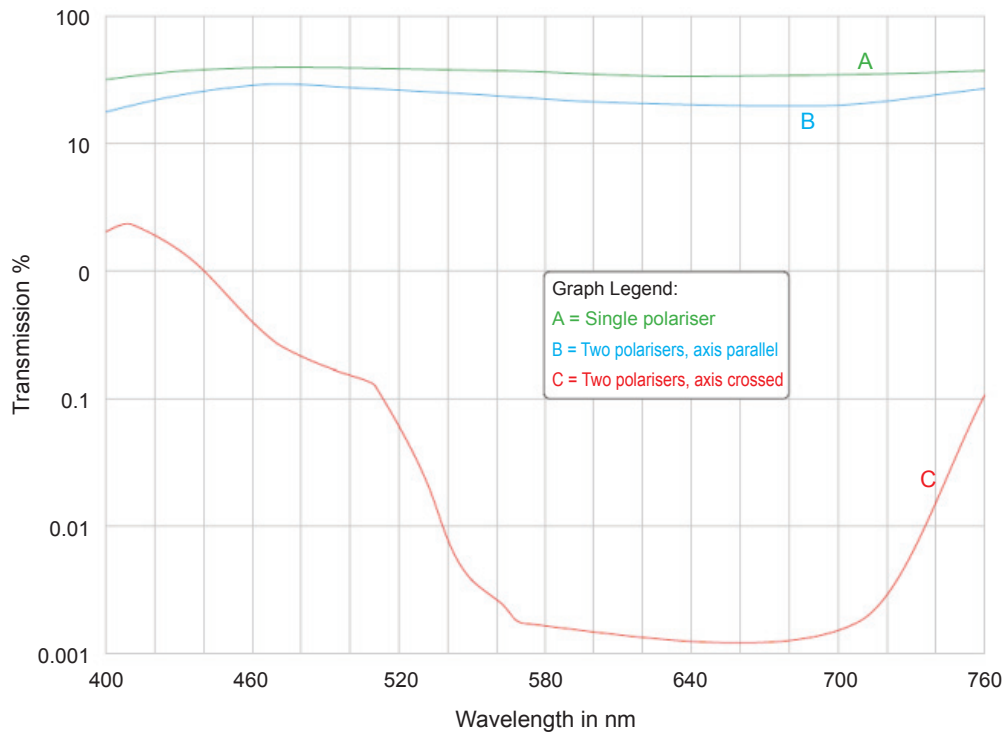


圖 7. 商用 VIS 偏振薄片之性能。

比在藍光波段表現較差，然而在紅光波段其明暗比更可高達 20,000 ($\sim 2^{14}$) 以上，預期以 VIS 偏振膜片進行雷射漂白所製作微偏振元件，將可以運用於高密度大容量之光學記憶體應用 (單點紀錄資訊高於 2^8) 以及高對比式偏光光柵之製作應用中及偏光相機 (polarimetric camera) 之應用。

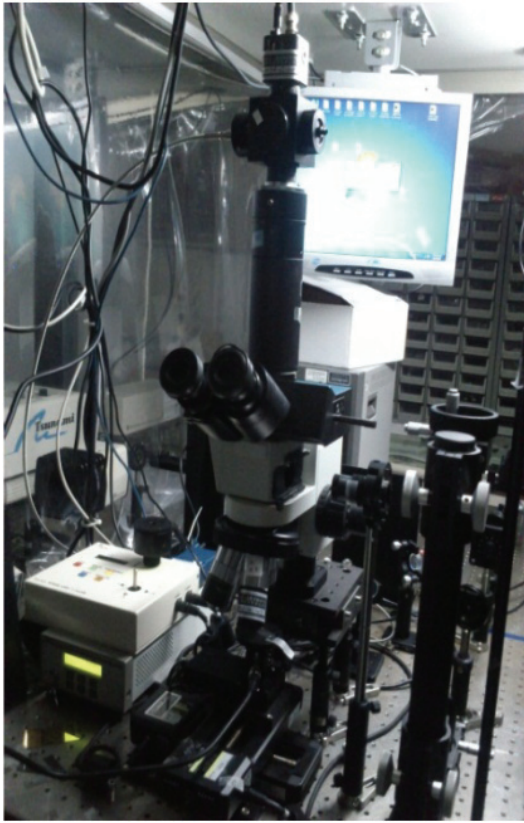
偏振顯微光譜影像量測方法，著重於找出漂白技術中之最佳化雷射相關參數與對應之偏振特性，下半年則將進一步進行偏振顯微影像量測技術建置，以便量化二維陣列微偏振元件之偏振分布特性。受到雷射漂白作用之微偏振元件其尺寸約可介於 $5\ \mu\text{m} - 100\ \mu\text{m}$ 之間，目前尚未有同時具備線性偏振光以及旋光偏振功能顯微光譜量測系統，因此本研究自行架設量測系統，量測經雷射漂白後偏振薄片寬頻顯微光譜響應。自行架設寬頻顯微光譜儀作為即時監控之用，為了不破壞已經經過雷射漂白作用後之微偏振元件，因此進行實驗量測時，將會關閉雷射光源而改用顯微鏡內部之燈泡做為量測光源，此燈源由於非同調光且功率密度較低，不會進一步將為偏振片繼續漂白，顯微光路可在反射光路及透光路裝載寬頻偏振產生模組 (polarization state generator, PSG)，在物鏡收光後光路架設偏振解析模組 (polarization state analyzer, PSA)，透過 PSG 產生各種寬頻偏振狀態，來測試微偏振元件對於不同偏振狀態之寬頻響應，並藉由 PSA 來解析經過微偏振元件後之偏振狀態。實驗上藉由高解析馬達帶動偏振片及四分之一波長延遲片之轉動，經過顯微光譜影像儀之量測，經過電腦影像及光譜運算處理，即可得知微偏振片之寬頻偏振色散響應以及二維影像偏振特性分布。透過上半年之單點微偏振片雷射漂白技術最佳化以及寬頻光譜量測後，計畫執行的下半年將步入二維陣列微偏振片雷射漂白技術，利用 2 維高解析移動平台搭配偏振顯微光譜之即時監控，來製作具有高解析、可控制高明暗對比之圖案式微偏振陣列 (pattern micro polarizer)，包含高密度灰階雷射漂白微偏振陣列，以及高明暗比之線性偏光光柵及旋光光柵與其寬頻分光應用探討。並透過偏振顯微影像量測方法來定量觀測圖案式微偏振陣列之偏振特性及分布。而可達成即時監控雷射漂白之微偏振元件之特性分析，

透過設定的自動化程式 LabVIEW 之執行，控制二軸移動平台來達成二維維偏振元件之製作。第二年所藉由即時監控製作完成的二維微偏振元件，預計包含高密度灰階雷射漂白微偏振陣列，以及高解析度、高明暗對比之線性偏光光柵及旋光光柵，再搭配第一年所發展之寬頻偏振顯微光譜影像量測方法，來進行定量分析量測這些二維微偏振元件之偏光狀態分佈。

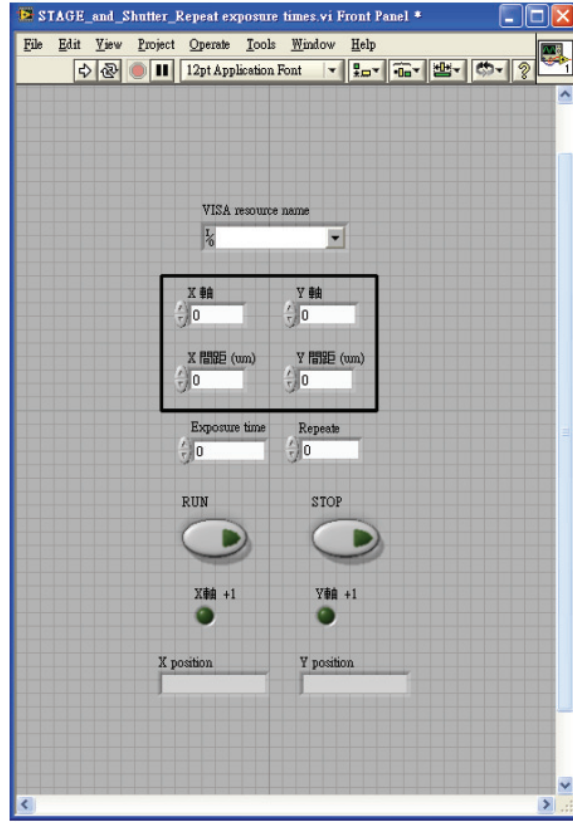
五、結果與討論

本研究提出利用雷射灰階漂白技術配合顯微光譜即時監測設備製作出具備可調偏振比的二維顯微偏振光學元件，顯微光學偏振濾波具有大容量、相位操控、沒有機械元件以及偏振比，因此他被應用在許多強度以及相位調控的科技上，比如三維顯示科技、相移數位全像術、全息投影、影像式偏光陣列感測器、微偏振陣列即時干涉儀、大容量全像儲存術、電漿光譜資訊儲存以及生物醫學應用之偏光檢測技術。許多文章表明了製作二維顯微光學偏振濾波器的方法，例如雷射漂白、選擇性蝕刻、次波長金屬光柵排列技術以及光學對位液晶聚合成型技術。此研究建立了寬帶極化的顯微光譜，並利用它量測偏振片之偏振特性，同時本研究也提出灰階雷射漂白技術。

顯微光譜可用於量測顯微樣品的透射率、反射率、吸收率、螢光、輻射率。此量測方法為非破壞性的量測，在微光學、奈米光學、生物光學、電漿科學以及材料學上都有著廣泛的應用。不同的應用都對應著不同的光波頻寬，大部分基於顯微光學以及奈米光學的應用都有著偏振的特性，但由於顯微光學以及奈米光學的量測解析度不足以及低放大率，使得傳統的橢圓偏振儀以及偏光儀無法量測出其偏振特性。顯微鏡對於量測微光學是很好的平台，但傳統的顯微光譜對於偏振功能以及頻寬範圍的量測範圍有限。本研究建構出一顯微光譜系統，可用於量測出顯微光譜的偏振特性，圖 8 為系統架構以及使用者介面。此系統由雷射光源、偏振態產生器、偏振態分析儀、光譜儀以及顯微鏡所構成。雷射光源為漂白用途，其快門可控制曝光時間。此



(a)



(b)

圖 8. (a) 灰階雷射漂白與顯微光譜儀整合後之系統、(b) LabVIEW 人機介面。

系統能夠以非破壞性的方式對樣品進行量測。顯微光譜系統將被應用於偏振態的即時監測，配合雷射漂白技術以偏振膜片為基材，能夠製作出微偏振光學元件。

二向色偏振器被廣泛的使用在光電子學系統中，例如液晶面板。拉伸聚乙烯醇最常被用於製作二向色偏振器。將參雜碘的 PVA 片置入三乙酸纖維素以及 B270 玻璃的夾層中，可增加偏光片的耐久度以及剛性。PVA 偏振片能夠在許多光學方面的相關廠商取得，例如 Edmunds optics，一般的偏振片通常都有對應到的頻寬 (UV-VIS-NIR)，不同的頻寬對應到不同的應用，考量到光波長的兼容性、光訊息儲存以及成本，本研究以可見光偏振片作為研究目標，本研究所選用的偏振片為 Edmunds Optics 編號 #86-178 的產品。為了符合規範，該偏振片三明治結構的厚度為 $180\ \mu\text{m}$ 。圖 9 為 PVA 偏振片的顯微影像。在此偏振片 PVA 層的厚度為 $25\ \mu\text{m}$ 。這兩種偏振片對於 $750\ \text{nm}$ 光波的偏振對

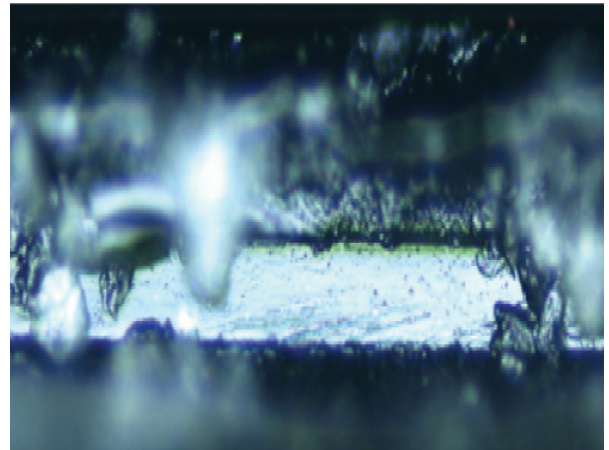


圖 9. PVA 層的側視圖。

比皆為超過 9000。使用傳統旋光儀 (Meadowlark Polarview 3000) 對此偏振片的偏振特性的量測結果為圖 10，其偏振程度為線性，橢偏為 0.001。

圖 11 為片偏振片在 10X 物鏡下，非偏振與線性偏振模式穿透率的量測結果。在非偏振模式下，

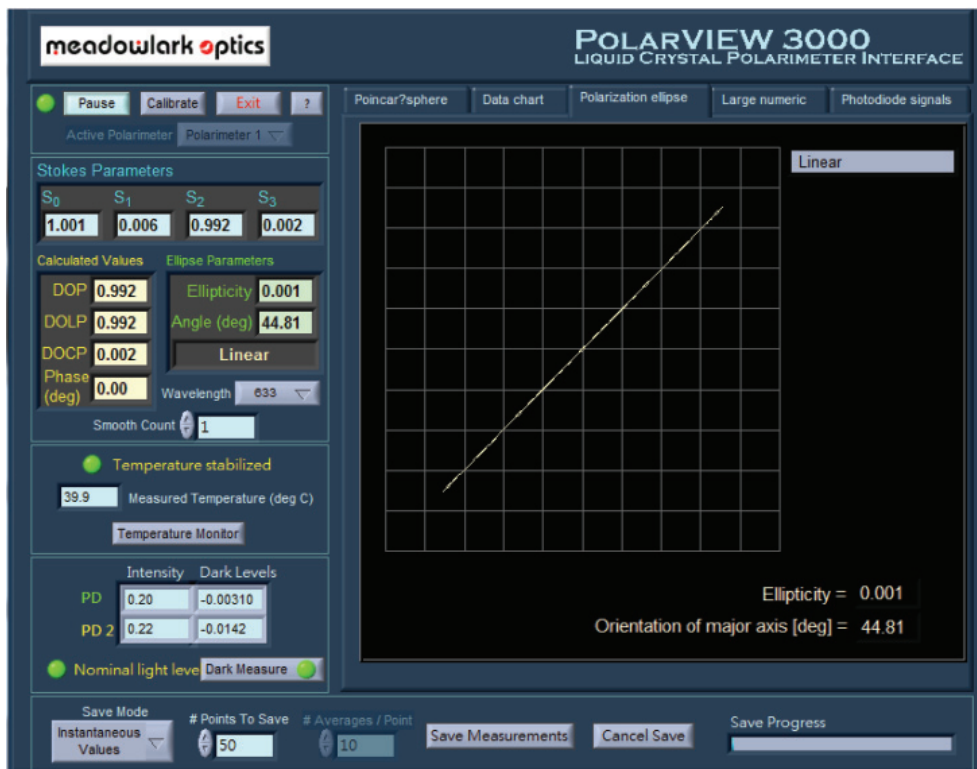


圖 10. 由旋光儀 (Meadowlark Polarview 3000) 量測出的極化量測結果。

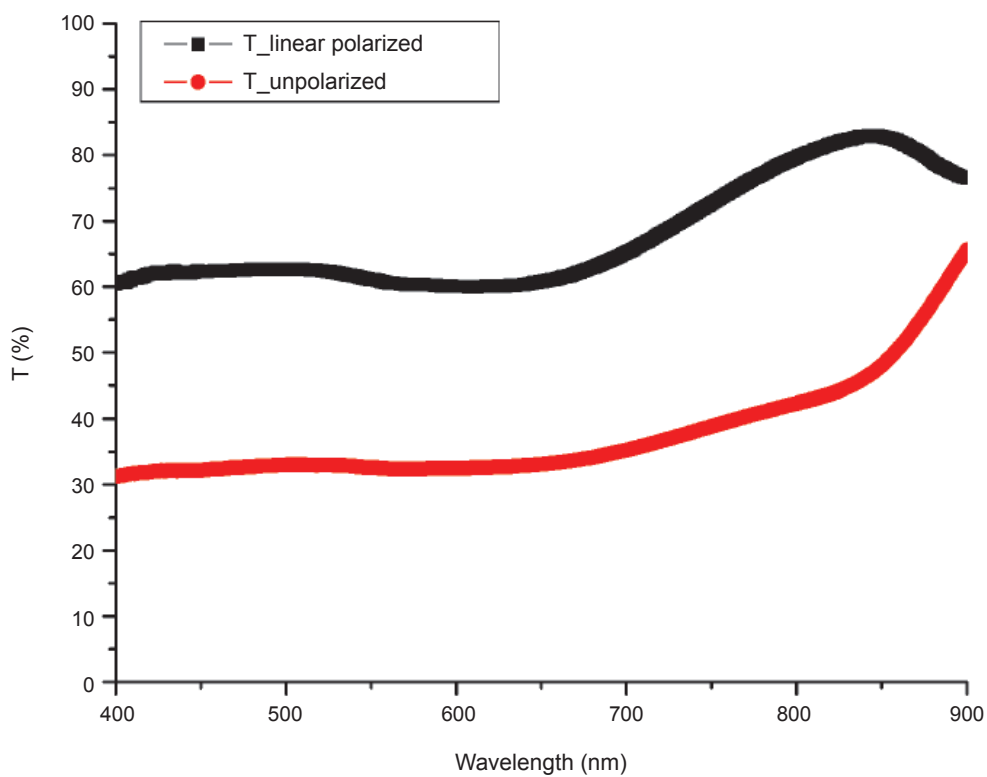


圖 11. 偏振片的穿透率與波長關係。

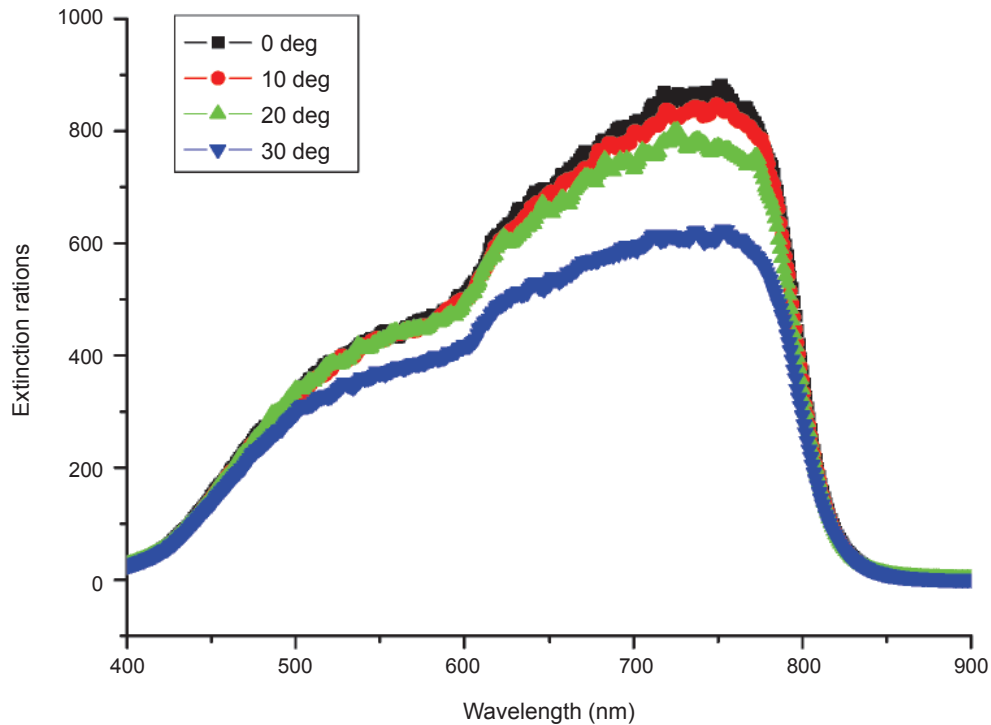


圖 12. 偏振片之偏振比與波長關係。

可見光頻段的穿透率皆大於 30%，而近紅外光的頻段在大於 850 nm 的波長下穿透率大於 50%，在 900 nm 的情況下，穿透率可以達到 65%，但這已經超出高偏振比量測的理論值 50%，這意味著在長波長時，顯微偏振片的偏振降解。在線性偏振下的穿透率皆大於 60%，而在可見光的頻段，線性偏振模式的穿透率為非偏振模式下的兩倍，但在大於 850 nm 時，此兩種模式的曲線為獨立的，偏振片最重要的指標為偏振對比。

此實驗中，使用顯微光譜在不同入射角度下對偏振片的偏振對比進行量測，圖 12 為量測結果，在波長 400 到 730 nm 時，偏振比為快速的增長，在 730 到 760 nm 時，偏振比緩慢的增長至最大值。在 760 到 850 nm，偏振比急速的下降。在 850 nm 後各角度的偏振比皆為一致。在此實驗中，最高的偏振比為 880，發生在垂直於偏振片入射時（入射角等於 0），在 750 nm 的位置處。此偏振片的有效頻寬（偏振比大於 100）為 350 nm，偏振片對於入射角度的接受度也相當高，範圍為正負 30 度。

利用本研究提出的顯微光譜進行即時監控，以及雷射漂白技術製作出可調控偏振比的二維顯微偏振光學元件。為了避免灰塵附著在偏振片的 TAC 表面上，在漂白前先將外層薄膜去除，再使用高壓空氣做清潔。如果雷射漂白的功率過高或曝光時間過長時，將會造成偏振片表面燒焦，如圖 13。

圖 14 為利用 405 nm、532 nm 以及 632 nm 對片偏振片進行漂白的結果，此元件由商用的偏振膜片為基材製作而成，此偏振膜片的特性為低成本、寬帶、對於偏振比以及高入射角動態範圍。在灰階遮罩的製作以及高密度光資訊儲存有較高的潛力。

在偏振成像中，顯微偏振片依然是最具吸引力的研究主題之一，它可以被應用在偏振成像以及三維顯示科技上。在此應用中，沒有任何的機械移動元件，因此是即時回饋的。使用光蝕刻法能夠蝕刻顯微偏振片，因此他與成像感應陣列是相容的然而現今仍然沒有商用的顯微光譜儀器能夠測量顯微偏振片之偏振特性。此雷射漂白技術配合顯微光譜即時監控能夠製作出各種形狀的偏振片，比如線條、S 型線條、網格以及方形等，如圖 15。

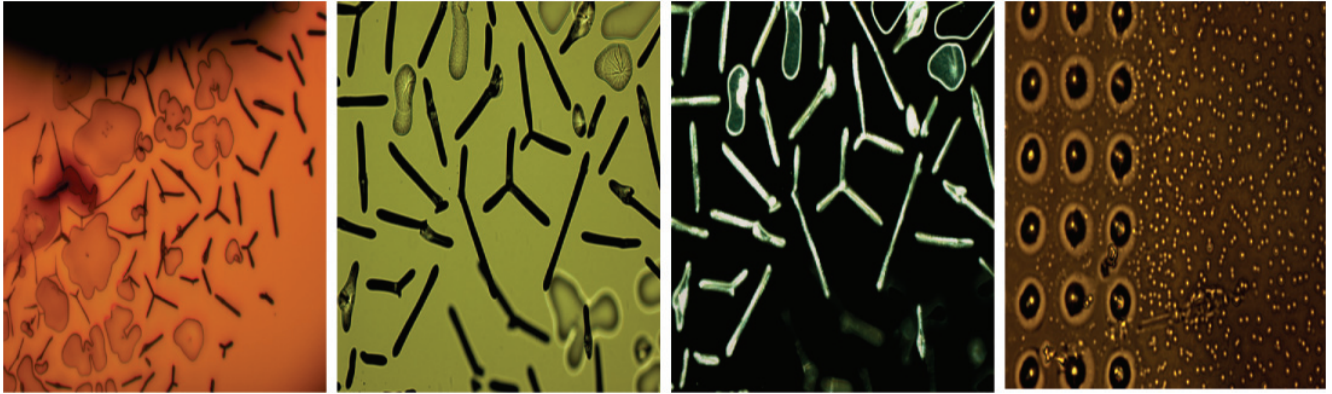


圖 13. 若雷射功率或是曝光時間控制不當時，造成偏振片燒焦的表面。

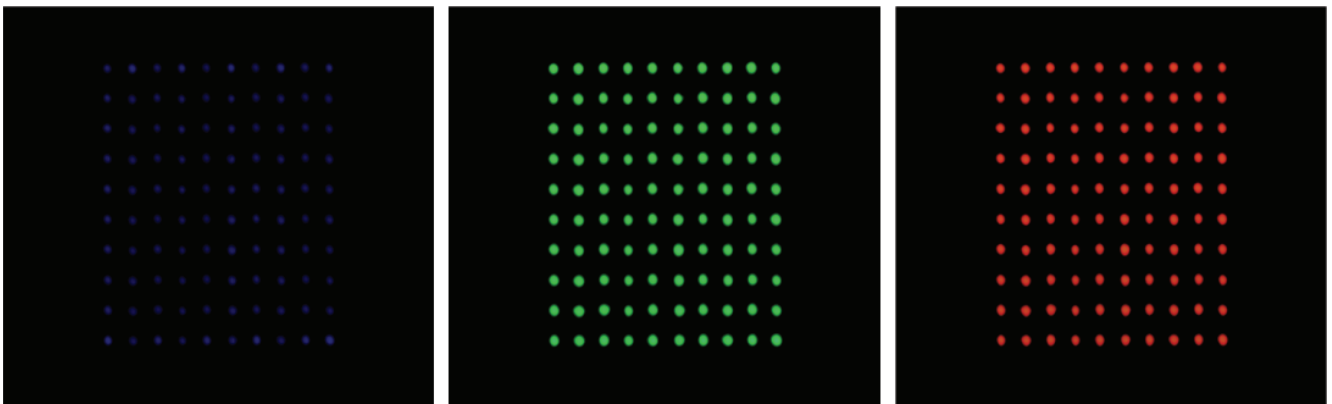


圖 14. 使用雷射波長為 405 nm、532 nm 以及 632 nm 進行漂白的結果。

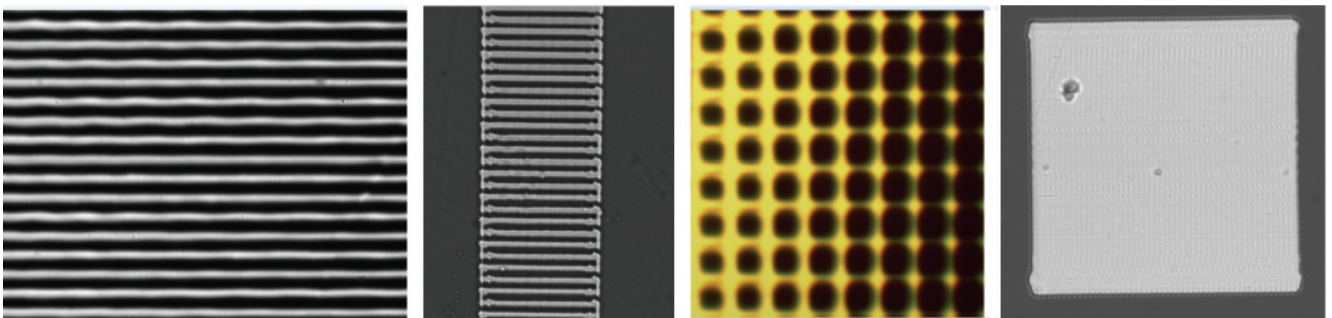


圖 15. 利用雷射漂白出不同的形狀的偏振片，例如線條、S 型線條、網格以及方形。

DAQ 被應用於即時分析偏振片的偏振比以及極化特性，利用此技術以偏振膜片為基材能夠製作出可調控偏振比的顯微偏振光學元件。圖 16 為穿透率與曝光時間的關係，可以看出規一化的後的穿透率隨著曝光時間的加長 (0 到 1000 ms)，其穿透率也從 0 增長至 1。

對單點顯微光譜監測以及雷射漂白已被建置，圖 17 為雷射漂白與 PVA 偏振片顯微光譜之特性。圖 17(a) 為穿透率與曝光時間關係。圖 17(b) 為漂白表現最佳的波長曝光時間與穿透率之關係，此數據由本研究所提出之顯微光譜系統所觀測。不同的曝光時間可以製作出不同曝光程度的二維顯微偏振

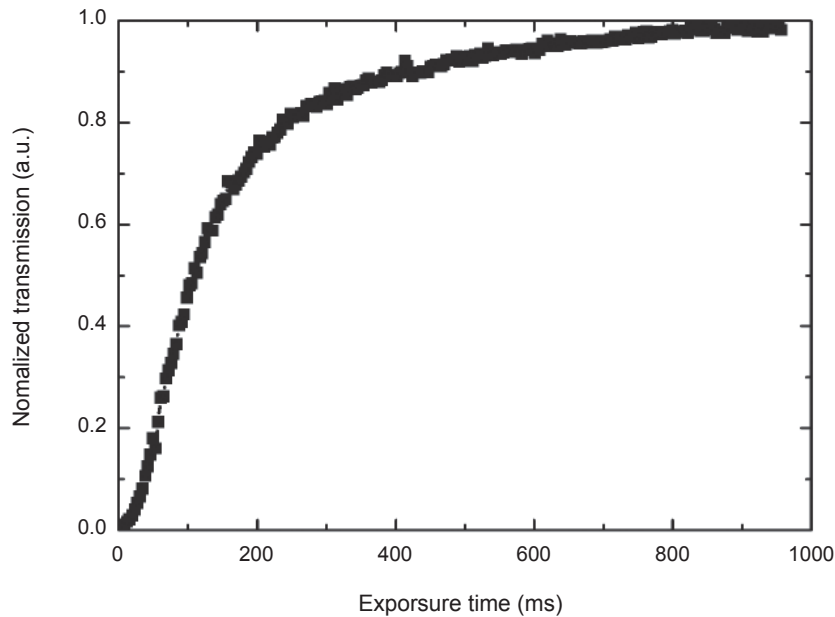


圖 16. 使用 DAQ 測得雷射漂白偏振片之穿透率與曝光時間關係。

陣列，由極化影像攝影機所拍攝的極化影像分布為圖 18。漂白比為 0 至 1，並且具有 360 階的解析度，很顯然的，此研究能夠製作出具有不同灰階解析度的白光二維顯微偏振陣列。圖 18(b) 為利用波長 405 nm、470 nm、632 nm、632 nm、650 nm 以及 780 nm 進行雷射漂白之結果。總體來說，本研究建構一雷射漂白系統，並藉由比研究所提出的顯微光譜系統進行即時監控，以達到二維顯微偏振陣列的光學元件製作。顯微光譜用於製作時的即時監控以及分析，透過監控偏振元件的偏振比以及偏振特性，並利用雷射漂白技術可以製作出具有不同偏振比的顯微偏振陣列。

六、結論與建議

在這篇研究我們已建立出顯微光譜即時監控極化膜片灰階漂白技術應用於二維極化元件製作，將顯微光譜即時監控技術用於控制偏振片的明暗比分布以及偏振特性。使用偏振薄片以及雷射漂白技術可製作出不同明暗比分布的二維顯微偏振陣列，此研究並找出最佳的用於漂白的雷射波長以及偏振薄片的明暗比分布與雷射功率的關係。

誌謝

本研究承蒙科技部經費補助 (MOST 105-2221-E-492-019&MOST 106-2622-E-492-004 -CC3 &106-2622-E-492-024 -CC3)，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。另外，也感謝本單位同仁提供的協助與相關資料，在此一併感謝。

參考文獻

1. Chao-Te Lee et al., *Optics Express*, **18** (26), 27079 (2010).
2. Tatsuki Tahara et al., *Optics Express*, **18** (18), 18975 (2010).
3. Viktor Gruev et al., *Optics Express*, **18** (18), 19087 (2010).
4. Junpeng Guo et al., *Applied Optics*, **39** (10), 1486 (2000).
5. Matthieu Dubreuil et al., *Optics Express*, **15** (21), 13660 (2007).
6. James Millerd et al., *Proc. of SPIE*, **5531**, 304 (2004).
7. Baoli Yao et al., *Applied Optics*, **44** (34), 7344 (2005).
8. Wei Ting Chen et al., *APL*, **98** (17), 171106 (2011).
9. Nirmalya Ghosha et al., *Journal of Biomedical Optics*, **16** (11), 110801 (2011).
10. In Hee et al., *Journal of Biomedical Optics*, **15** (1), 016028 (2010).
11. J. Hossfeld et al., *Optical Engineering*, **32** (8), 1835 (1993).
12. Viktor Gruev et al., *Optics Express*, **15** (8), 19292 (2010).
13. Zhi Wu et al., *Optics Letters*, **33** (15), 1653 (2008).
14. Takashi Sato et al., *Applied Optics*, **46** (22), 4963 (2007).
15. Graham Myhre et al., *Applied Optics*, **48** (32), 6152 (2009).
16. Graham Myhre et al., *Optics Express*, **18** (26), 27777 (2010).
17. Xiaojin Zhao et al., *Optics Express*, **18** (17), 17776 (2010).

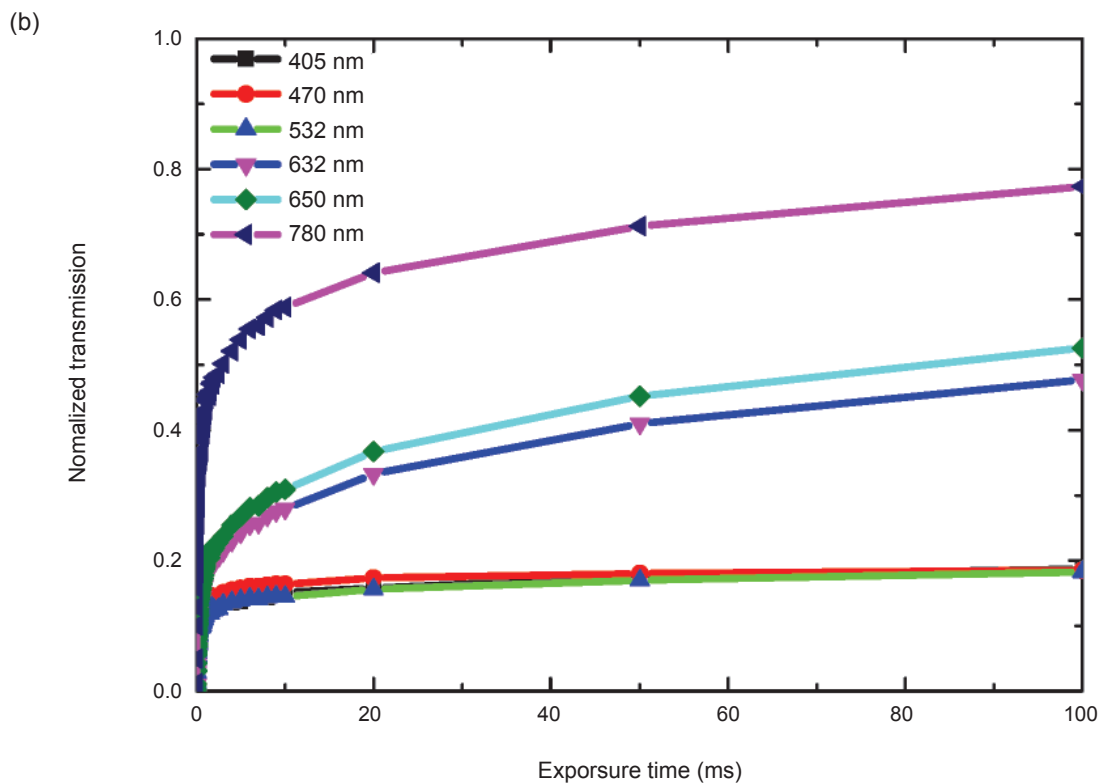
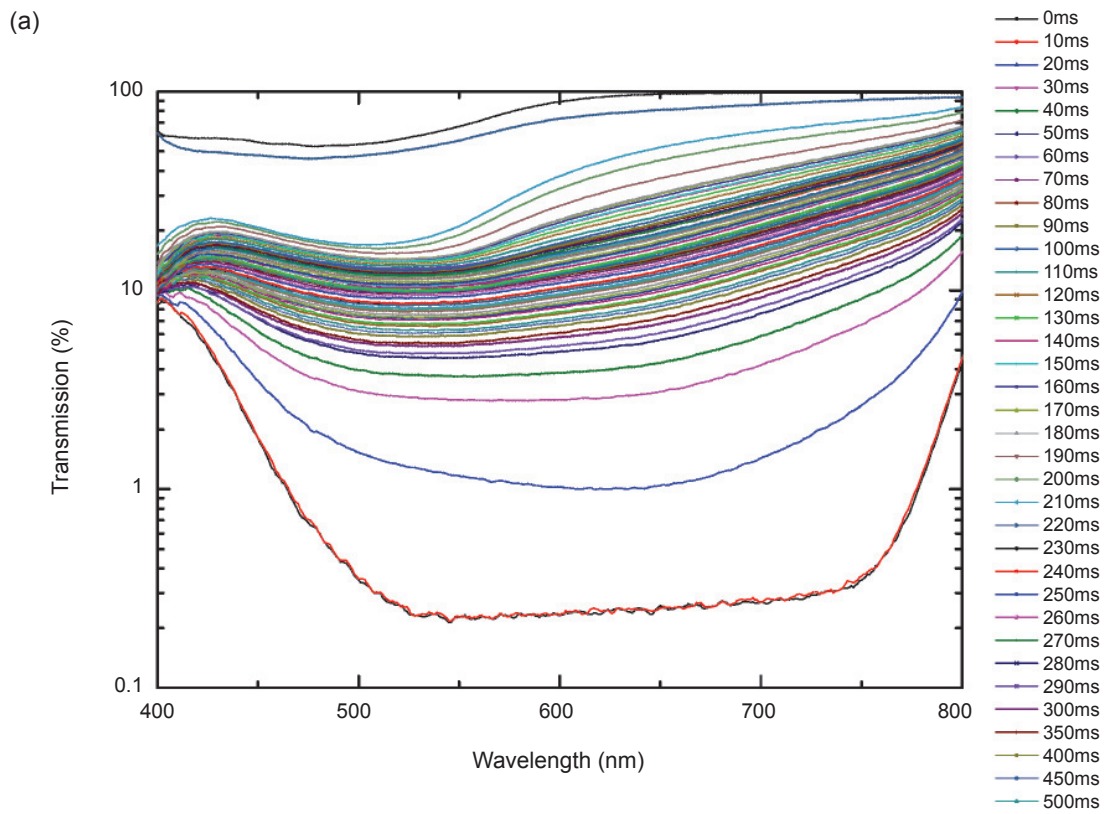


圖 17. (a) PVA 層的顯微光譜特性與灰階雷射漂白 (b) 波長 405 nm、470 nm、532 nm、632 nm、650 nm 以及 780 nm 之穿透率與曝光時間關係。

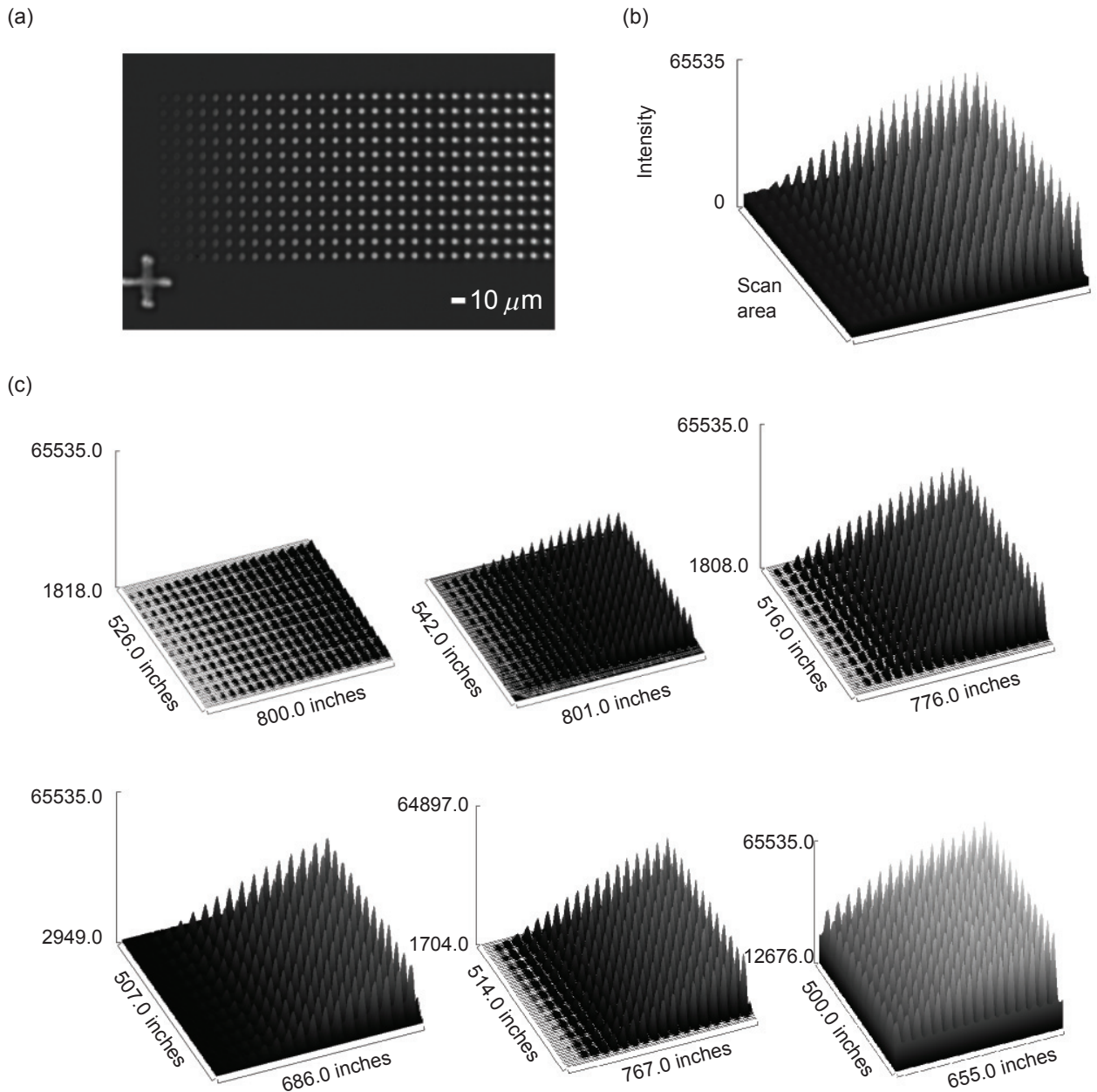


圖 18. (a) 灰階雷射漂白之 PVA 層極化影像分析 (b) 波長 405 nm、470nm、532 nm、632 nm、650 nm 以及 780 nm 之漂白後穿透率與曝光時間關係。



翁俊仁先生為國立交通大學光電工程研究所博士，現為國家實驗研究院儀器科技研究中心研究員兼任光學儀器小組長。

Chun-Jen Weng received his Ph.D. in electro-optical engineering from National Chiao Tung University. He is currently a research fellow & team leader of optical instrument at the Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



范振亮先生現為國立交通大學機械所碩士研究生。

Chen-Liang Fan is currently a M.S. student in mechanical engineering at National Chiao Tung University.



林宇軒先生為國立交通大學電子物理博士，現為國家實驗研究院儀器科技研究中心生醫與曝光機系統組副研究員。

Yu-Hsuan Lin received his Ph.D. in electrophysics from National Chiao Tung University. He is currently an associate researcher at the Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



林郁欣先生為國立交通大學機械工程博士，現為國家實驗研究院儀器科技研究中心副研究員。

Yu-Hsin Lin received his Ph.D. in mechanical engineering from National Chiao Tung University. He is currently an associate researcher at the Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.