

科技部

110年度大專學生研究計畫申請書

一、綜合資料：

申請條碼：110CFA0100002



申請人 【學生】	姓 名	鄭泊聲	身分證號碼	A13145****
	就 讀 學 校、 科 系 及 年 級	國立臺灣大學經濟學系暨研究所 2 年級	電 話	28223283
	學 生 研 究 計 畫 名 稱	研發雷射掃描共軛焦顯微鏡下的新穎高光譜影像技術		
	研 究 期 間	自110年7月1日至111年2月底止，計8個月		
	計 畫 歸 屬 司 別	自然司		
	研究學門代碼及名稱	M032500A2 -- 光電物理－實驗		
	上年度曾執行本部大專學生研究計畫	否		
指導教授	姓 名	張玉明	身分證號碼	L12114****
	服 務 機 構 及 科 系(所)	國立臺灣大學凝態科學研究中心		
	職 稱	特聘研究員	電 話	02-3366-5277
補助經費	每位學生每月6,000元研究助學金，研究期間為8個月，共計48,000元			

表C801

研發雷射掃描共軛焦顯微鏡下的 新穎高光譜影像技術

Development of novel hyperspectral imaging technology for laser
scanning confocal microscope

計畫申請人: 鄭泊聲* 指導教授: 張玉明†

January 12, 2021

計畫摘要

本研究計畫提出研發一套在雷射掃描共軛焦顯微鏡下可用的新穎高光譜影像技術。我們預期藉由結合新穎的高光譜影像技術與實驗室現有的雷射掃描共軛焦顯微鏡 (Laser Scanning Confocal Microscope, LSCM) 核心技術，實現快速量測待測樣品在實域 (real space domain) 及動量域 (momentum domain) 的高光譜影像 (HyperSpectral Image, HSI)。此新穎光譜技術的建立，將能針對實驗室目前研究中的新穎材料及其微結構，進行各式雷射顯微光譜 (例如反射、螢光、拉曼...等) 的量測分析，進而理解這些新穎材料的微結構物理特性，並了解其如何與光產生交互作用 (light-matter interaction)。

1 研究動機與研究主題

傳統的光譜量測技術，是將樣品螢光送入光譜儀中展開，透過樣品的激發光譜或反射光譜了解其光學特性。在光譜儀中，被展開的樣品光譜多半以線性光譜 (spectrum) 呈現，記錄其在各個波長的訊號強度。對於由單一物質組成的均勻樣品，這樣的觀測方式相當有效率，但觀測者若想了解樣品在不同位置上的光譜性質差異，則必須對樣品的每個位置分別進行光譜展開，才能建立出一張含有位置訊息的光譜影像 (spectrum image)。以最常見的二維掃描來說，必須沿著樣品座標軸上所設定的二維區域進行掃描，再透過後處理將每個位置的光譜資訊重新建立成一張二維平面的光譜影像。

*國立台灣大學經濟學系大學部二年級。contact: b07611002@ntu.edu.tw

†國立台灣大學凝態科學研究中心特聘研究員

簡而言之，傳統的光譜量測是對不具空間維度的光譜資訊進行展開，若要建立帶有位置訊息的光譜影像，就必須對每個要觀測的空間維度進行掃描；而高光譜影像技術，則是將帶有一維空間位置訊息的光譜資訊進行展開，能夠大幅減少光譜影像所需的掃描時間。舉例來說，在一個二維卡式座標中，傳統的雷射掃描共軛焦顯微鏡一次只能對「一個點」進行展開，若要建立帶有二維空間資訊的光譜影像，就必須進行二維的「面掃描」；而高光譜影像技術，則是對樣品上的「一條線」，將線上每個點之光譜一次性展開。因此，透過高光譜影像技術，只要沿著與線光源垂直之方向進行一維掃描，就能快速地完成一張二維區域的光譜影像，如此可大幅提升顯微光譜影像的量測速率。

本研究希望將高光譜技術與雷射掃描共軛焦顯微鏡 (LSCM) 結合，藉此對不同尺度的新穎材料做更深入的光譜特性研究。透過高光譜技術，將能以線掃描方式取代傳統雷射顯微掃描系統的點掃描，以更高的速率得到顯微光譜影像，進而對樣品的微奈米結構與二維空間特徵有更深入의 觀測。我們也將更進一步，以背焦面影像技術 (Back Focal Plane image)，進行樣品光譜的動量域成像，觀測光譜的散射角度訊息，進而了解樣品的微結構如何影響光與物質交互作用。

藉由以上兩個研究主題，我們希望能提升新穎材料研發過程的光譜檢測效率，透過更先進、更全面的光譜量測方法，了解新穎材料的光譜特性。在工程領域，本研究帶來的高速掃描能力，也可應用於更大面積的掃描，對精密光電元件的生產、積體電路檢測，甚至是生物組織工程、生物晶片...等領域，也都將能提供巨量光譜檢測分析的新技术。

2 文獻回顧與原理探討

2.1 高光譜量測的原理與應用

高光譜影像技術的核心，可以分為兩部分，第一是能將線光源分光的分光儀 (spectrometer)，第二是將一維空間影像組合成二維影像的影像處理，前者屬於硬體範疇，後者則透過軟體來達成。在本研究中，主要欲達成二維空間影像，在硬體層面以一個二維影像感測器記錄線光源展開的一維空間光譜，¹如此只需要對樣品進行一維線掃描 (push-broom)，即能生成一張二維空間的光譜影像。與傳統的光譜影像掃描技術相比，可大幅提升光譜量測的速度，後續光譜影像的資料分析也將更有效率。這樣的技術優勢使高光譜技術也能應用於巨觀空間尺度的光譜量測，例如材料分類、廢棄物分類、商品檢測、地貌繪測等巨觀尺度中。² 高光譜

¹線光源上每個點的光譜，會被分光儀在垂直線光源的方向展開。

²高光譜技術的線光源分光儀，其光譜解析度自然無法與傳統光譜儀相比。本研究的主要目標在於高光譜影像與 LSCM 系統的軟硬體整合建立，因此不會在光譜解析度這方面著墨過多。

技術發展至今，硬體架構的設計已經趨於成熟，市面上販售高光譜相關設備的廠商不計其數，其在商業領域的領域也相當廣泛，例如廢棄物回收的塑膠分類、食品、藥品在生產線上的分類與品管等方面。

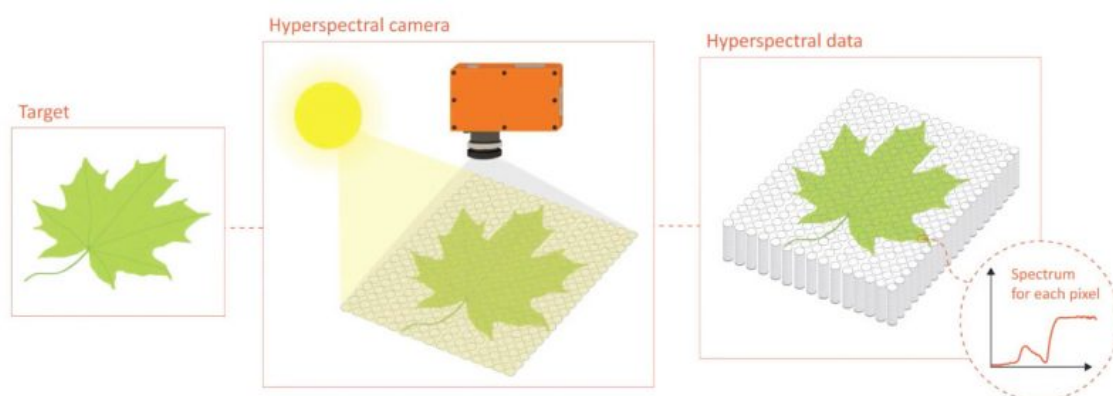


圖 1: 高光譜影像的原理 [1]

2.2 顯微高光譜影像的發展現況

顯微高光譜影像技術在研究領域的發展，涵蓋相當廣的層面。觀測的範圍從最常見的樣品螢光、雷曼散射，到相干反斯托克斯拉曼光譜 (CARS) 都有 [2–4]。研究應用的領域，也相當廣泛，尤其以生物相關的研究最為豐碩 [5, 6]，而奈米材料相關的研究當然也不再話下 [2]。

近期的相關研究更在高光譜影像資料處理有不少突破，過去以影像處理演算法的開發為主 [7, 8]，並以影像偵測的相關研究成果較為豐盛 [9]，到近年更有將深度學習應用於高光譜影像處理的成果 [10]。

2.3 實域與動量域的成像原理

動量域成像的理論基礎是傅立葉光學，而傅立葉光學的數學核心即是傅立葉轉換。在光學領域，透過傅立葉轉換，能將實域**位置**的光線訊息，轉換為動量域**散射角度**的光線訊息。以數學語言來說，原本以 $f(x)$ 定義的光學訊息，代表的是每個 x 位置上的光線，透過傅立葉轉換

$$E(k_x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{ik_x x} dx$$

後，將呈現出在每個角動量 k_x 方向上的光線資訊。

傅立葉光學最簡單的實例就是干涉現象，在光圈或狹縫背後的干涉圖樣，即傅立葉光學的所呈現出的動量域影像。除此之外，傅立葉光學的概念也早已廣泛應

用，例如全像攝影將光線的二維空間資訊加上角度資訊，建立出會隨著觀看角度而變化的影像。傅立葉光學也被應用於空間濾波器的設計，透過在動量域對光線進行濾波，再到實域成像，能將影像中不同頻率的雜訊移除。

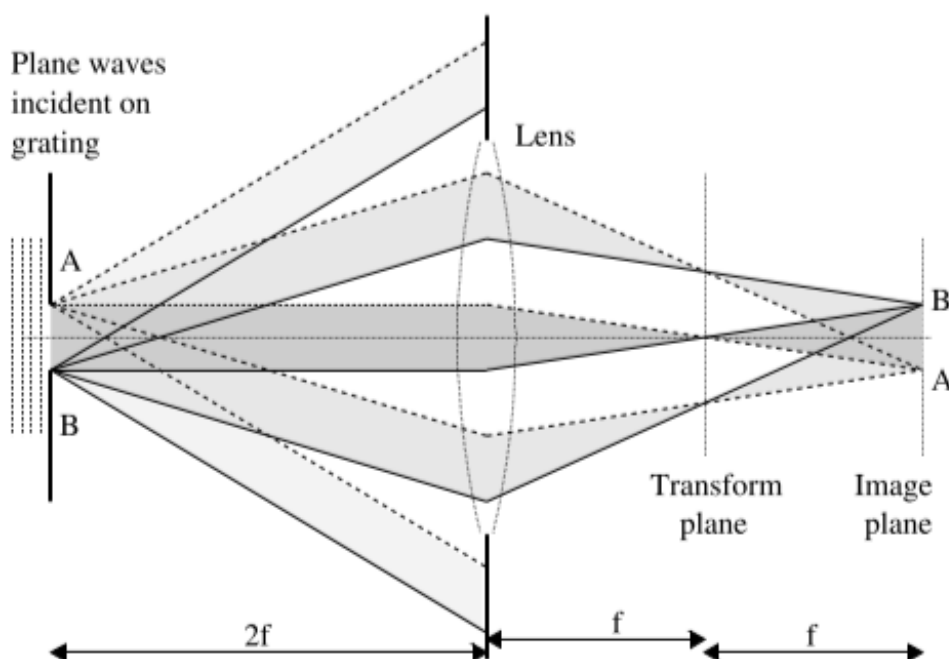


圖 2: 背焦面成像原理 [11]

在本計畫中，我們將以「背焦面影像」來實現動量域的觀測。背焦面影像的技術，可以透過圖 2 中的光線示意來理解。在圖 2 中，來自樣品上同一位置的光線，將會在實域成像平面 (圖 2 中的 Image plane) 的同一對應位置匯聚，因此實域影像代表光線的空間位置訊息。而來自樣品上同樣散射角度的光線，會在背焦面 (圖 2 中的 Transform plane, 傅立葉轉換面) 的同一個對應位置匯聚成像，因此背焦面影像將代表光線的散射角度。由此可見，來自樣品實域的光線，若在背焦面成像，就相當於經過了一次傅立葉轉換，由實域轉換至動量域，因此背焦面也被稱為傅立葉轉換面。在透鏡的成像側，我們能夠選擇於實域的成像面上成像，或是在動量域的背焦面上成像。在背焦面成像，即能在動量域觀測光線，同時也可以在該平面進行濾波或其他光線的調變，以對實域做影像處理。

若將圖中的透鏡想像為顯微鏡的物鏡與成像鏡，則可以輕易了解，只要分別在成像面與背焦面觀測，即可在實域影像與動量域影像之間切換。但由於多數顯微物鏡的背焦面位在鏡筒中，無法直接在該處成像，因此本研究參酌其他文獻 [12] 所描述的方式，透過加上另一片成像鏡，將原本的背焦面影像移動 (relay) 至易於成像的位置，如此才能在同一部影像感測器上切換實域與動量域的觀測。在圖 3 中，樣品的發散光經物鏡後，透過 L3 透鏡匯聚於針孔處。在針孔後放置一個

L4 透鏡，與針孔的距離正好是 L4 的焦距，此時針孔處的影像就相當於是 L4 的待測物，若將光譜儀或 CCD 放置於 L4 的背焦面，即可觀測樣品的動量域影像；若在 L4 後方加上另一成像鏡 L5，則可在 L5 的焦點觀測到實域影像。

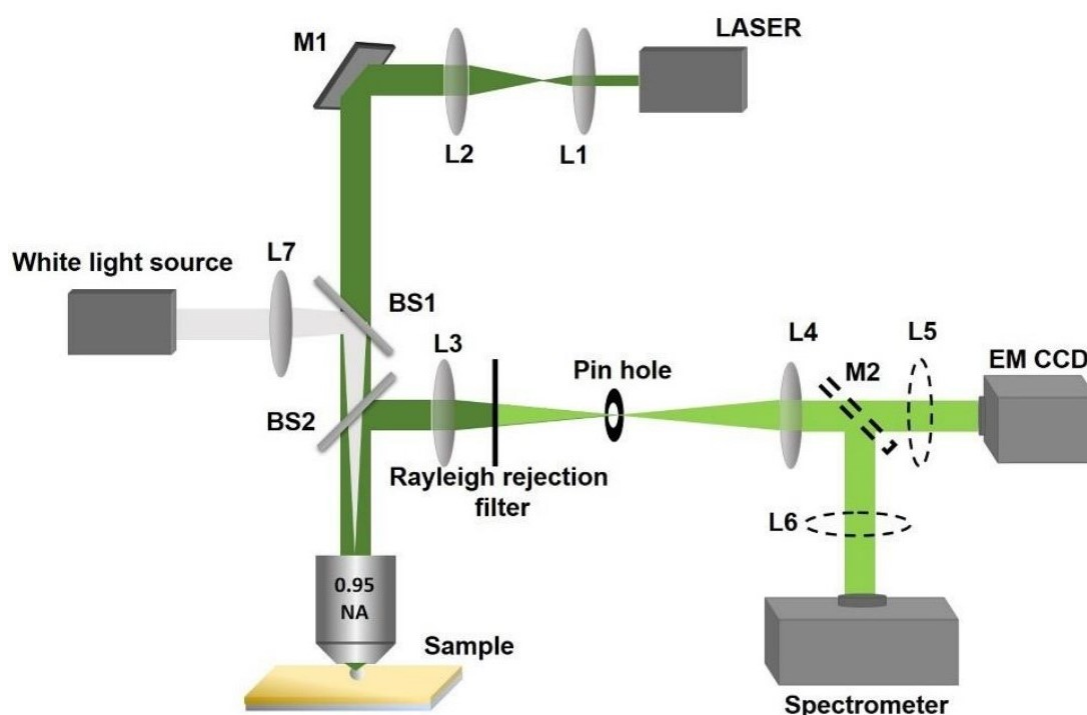


圖 3: 動量域影像的成像光路參考 [12]

在背焦面影像的領域，則多半以應用於微結構與光線散射分布的研究為主。例如以背焦面影像觀測電漿子的研究，或是光子晶體相關的研究 [13–15]。透過干涉的背焦面影像技術實現其他微結構觀測方法的研究也有許多，例如透過背焦面影像實作光線散射觀測的研究 [16]，或是橢圓偏振技術的實現 [17]。

近年來專注於高光譜技術與背焦面影像技術整合的研究則較為稀少，在一些高光譜影像系統開發的研究中，確實有提及在背焦面對影像進行調變 [18]，但與本研究希望以背焦面影像成像為主的目標仍有差異。

3 研究方法與步驟

本研究的核心在於系統的建立與整合，研究過程將依據不同的實作難度，分階段將子系統一一建立，以求整個系統的各個功能緊密整合。本計畫將研究分為四個子系統，分別有三個硬體系統對應不同的觀測條件，以及一個共用的軟體系統來實現掃描及影像資訊的處理。本研究將使用實驗室現有的 Specim V10E 高光譜分光儀，搭配 Andor iXon EMCCD 897 作為二維影像感測器，並依據掃描方式及

樣品大小挑選合適的電動載物台與雷射掃描機台。³

3.1 光學架構

整個系統的終極目標是將雷射掃描共軛焦顯微鏡與高光譜影像技術結合，並應用在動量域的光譜影像量測分析。根據規畫的時程，我們預計開發三個具有不同光路的光學子系統運用於不同的研究場域，其差別主要在於觀測尺度的不同、掃描方式的不同，以及觀測域的不同。每個子系統也正好代表本研究的各個開發階段，也有各自的開發目標，以期循序漸進完成最終的研究結果。

3.1.1 巨觀實域觀測

本系統為較基礎的光路規劃，亦是最常見的高光譜影像技術系統，將用於尺寸在公分等級的樣品之實域觀測，系統將採用外部線光源的方式照明，以電動載台進行掃描，且使用廣角焦距的物鏡搭配分光儀，觀測樣品的反射光譜影像。開發本子系統的主要目的，在於熟悉高光譜影像技術與其基本光路的架設。

在這階段，我們希望可以透過本系統更深入地了解高光譜影像對光源的要求，例如：是否一定必須使用線光源？光源需涵蓋的光譜範圍必須多大？強度必須多強？另外，對於所使用的 CCD，其輸入/出解析度、靈敏度、訊噪比、遲滯、線性表現等性質，也希望能有更深入的了解。各個光學元件的 NA 匹配、是否需要合適的濾波、如何節省所需的空間與元件數量等，也都是開發本子系統的過程中希望習得的知識與經驗。

3.1.2 微觀實域觀測

本系統的主要應用場域是微米等級樣品的實域觀測，因此將原本使用的廣角物鏡改為顯微物鏡，並與雷射掃描共軛焦顯微鏡系統結合，兩套技術之間的整合問題可能是本子系統最大的挑戰。

傳統顯微物鏡的 NA、景深、各波段穿透率、成像圈...等規格，是否能和符合高光譜影像之需求，是本子系統開發的重點項目。如何操控雷射、同步 galvo 掃描、如何確保樣品上每個位置的光線皆能同步精確量測、如何實作線掃描，及撰寫軟體以符合研究需求等，都是本系統所必須完成的目標。

3.1.3 動量域觀測

本階段我們將在第二套子系統的光路中加入可進行動量域影像的量測功能，因應這樣的研究需求，我們相信在光路的設計規劃上勢必更加複雜。如何設計出能在

³本研究將延續實驗室現有的 LSCM 系統，使用 galvo 作為雷射掃描裝置。

實域觀測與動量域觀測之間切換的光路，是本系統的主要目標與挑戰。有效地建立能夠在背焦面實作雷射共軛焦顯微高光譜影像的系統後，本計畫規劃的光學系統即告完備。⁴

3.2 軟體開發

本研究的軟體系統，主要功能在於線掃描高光譜影像擷取與分析功能的建立，相較於傳統雷射掃描方式，高光譜影像一次須處理的資料更龐大，軟體系統必須有效地進行資料擷取與分析。另外，如何計算不同物鏡下分光儀不同的空間解析度，並在 CCD 上的合適範圍讀取資料進行影像拼接，也是軟體系統開發的關鍵問題。除此之外，掃描元件的控制、影像的截取與呈現、CCD 的同步控制、使用者介面的建立等，亦是軟體開發的範疇。影像資料分析功能的建立，更是軟體開發後期的主要任務，尤其面對不同觀測域的影像，分析功能的內容勢必更加複雜。我們將採用 LabVIEW 來開發操作介面 (GUI) 及應用程式主體，並以 C++ 實作動態含式庫 (.dll) 輔助後台的影像處理及資料流。

3.3 研究進度規劃

針對研究進度的規劃，將根據四個子系統來安排與設定研究目標，基本上是由較簡單的光路設計出發，逐漸走向更複雜的光路安排。在第一階段，目標要完成第一個硬體子系統 (3.1.1節) 與軟體系統 (3.2節)。硬體方面，關鍵在於熟悉高光譜技術的光學元件與限制。軟體方面，以影像拼接、與掃描元件的配合...等尤為重要。軟體開發的成果將援用於其他光學子系統中，但隨著系統的應用場域與搭配原件更改，軟體的開發也會一步步配合改變並逐步精進。

完成這兩個子系統後，我們認為高光譜影像技術的軟硬體架構已具雛型。接著，在第二階段中，開發第二個光學硬體系統 (3.1.2節)，使其與 LSCM 技術整合，應用於微觀尺度的觀測，並在第三階段中加入動量域的觀測功能 (3.1.3節)，並開發軟體中更完整的影像分析功能。我們預計在 2021 年 07 月之前完成第一階段的觀測系統建置。⁵ 接著以各約四個月的時間分別完成微觀尺度的觀測功能，與動量域觀測功能的加入。具體的研究時程安排與研究目標設定，可參考圖 4 說明。

⁴惟動量域的光譜分析屬高等研究領域，本計畫的研究目標僅設定在於光學系統與量測技術的建立，研究樣品的背焦面光譜影像分析將不在本計畫的研究範疇。

⁵第一階段屬於前期研究，將在計畫正式開始前完成。

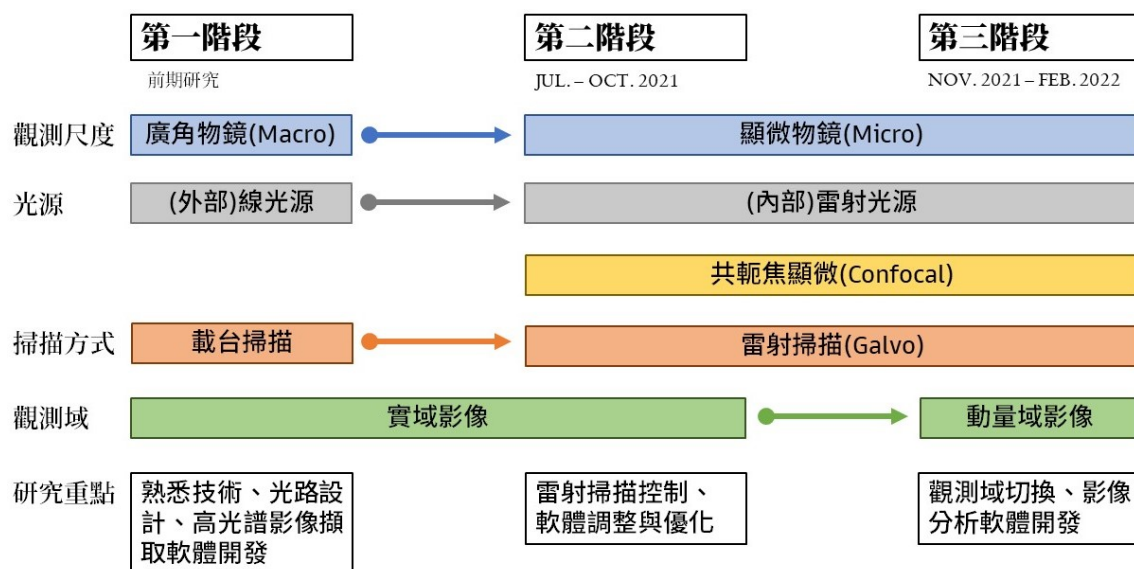


圖 4: 研究進程與系統概述

4 預期結果

本研究的預期結果是一架易用且穩定的光學系統，並以雷射掃描共軛焦顯微鏡結合高光譜影像技術應用於動量域觀測為核心功能。與現有的雷射掃描共軛焦顯微鏡比較，本研究透過高光譜技術，將能大幅提升光譜影像的掃描速度，並透過動量域影像對樣品的微結構有更深入的了解。

以實驗室過去曾做過的 4 吋晶圓檢測為例，傳統的 LSCM 需要以數小時完成的掃描工作，希望能以本研究的技術縮短至數分鐘以內。掃描速度的提升，也意味著觀測範圍更加擴大。以生物領域為例，過往 LSCM 的觀測範圍都以細胞或是玻璃切片為主，因應生化相關領域近年的發展方向，本研究的技術將能使觀測範圍提升至組織層次，並應用在生物組織工程的研究領域。另外，LSCM 所帶來的高畫質、高對比、精確對焦的優勢，也將是過去的顯微高光譜系統所未見。

保守預估，本研究中高光譜技術的掃描速度與現有的 LSCM 相較，將能提高至少 50 倍以上；樣品掃描範圍依不同倍率之物鏡，至少能從微米尺度掃描提升至公分尺度。針對開發完成的系統之軟硬體特色與規格，則試以表 1 來簡要說明。

硬體	軟體
1. 各光學元件相互匹配	1. 操作直觀
2. 照明完善	2. 資料呈現易於理解
3. 系統操作之整合度高	3. 系統穩定度與相容性佳
4. 具雷射共軛焦顯微鏡的高畫質	4. 高光譜影像的合成
5. 以高光譜技術提升其掃描速度	5. 掃描裝置的操控
6. 動量域觀測	6. 樣品在各位置的光譜訊息呈現
7. 公分尺度的樣品掃描	7. 自由調整掃描範圍
	8. 執行校正
	9. 各觀測域影像資料分析功能

表 1: 硬體與軟體之規格與功能。

5 參考資料

- [1] SPECTRAL IMAGING LTD. SPECIM. *What is HyperSpectral imaging?* URL: <https://www.specim.fi/library/what-is-hyperspectral-imaging/>. (accessed: 02.01.2021).
- [2] Gary A Roth et al. "Hyperspectral microscopy as an analytical tool for nanomaterials". In: *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology* 7.4 (2015), pp. 565–579.
- [3] Delong Zhang et al. "Quantitative vibrational imaging by hyperspectral stimulated Raman scattering microscopy and multivariate curve resolution analysis". In: *Analytical chemistry* 85.1 (2013), pp. 98–106.
- [4] Adrian F Pegoraro et al. "Hyperspectral multimodal CARS microscopy in the fingerprint region". In: *Journal of biophotonics* 7.1-2 (2014), pp. 49–58.
- [5] Silas J Leavesley et al. "Hyperspectral imaging microscopy for identification and quantitative analysis of fluorescently-labeled cells in highly autofluorescent tissue". In: *Journal of biophotonics* 5.1 (2012), pp. 67–84.
- [6] Vincent Studer et al. "Compressive fluorescence microscopy for biological and hyperspectral imaging". In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109.26 (2012), E1679–E1687.
- [7] Dimitris Manolakis and Gary Shaw. "Detection algorithms for hyperspectral imaging applications". In: *IEEE signal processing magazine* 19.1 (2002), pp. 29–43.

- [8] José MP Nascimento and José MB Dias. “Vertex component analysis: A fast algorithm to unmix hyperspectral data”. In: *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing* 43.4 (2005), pp. 898–910.
- [9] Dimitris Manolakis et al. “Is there a best hyperspectral detection algorithm?” In: *Algorithms and technologies for multispectral, hyperspectral, and ultraspectral imagery XV*. Vol. 7334. International Society for Optics and Photonics. 2009, p. 733402.
- [10] Yushi Chen et al. “Deep learning-based classification of hyperspectral data”. In: *IEEE Journal of Selected topics in applied earth observations and remote sensing* 7.6 (2014), pp. 2094–2107.
- [11] Ian Kenyon. *The light fantastic: a modern introduction to classical and quantum optics*. Oxford University Press, 2008.
- [12] Deepak K. Sharma darsh B. Vasista and G V Pavan Kumar. “Fourier plane optical microscopy and spectroscopy”. In: *Wiley-VCH Encyclopedia of Applied Physics* (2003).
- [13] Nicolai Hartmann et al. “Radiation channels close to a plasmonic nanowire visualized by back focal plane imaging”. In: *ACS nano* 7.11 (2013), pp. 10257–10262.
- [14] Douguo Zhang et al. “Back focal plane imaging of directional emission from dye molecules coupled to one-dimensional photonic crystals”. In: *Nanotechnology* 25.14 (2014), p. 145202.
- [15] Rebecca Wagner et al. “Back focal plane imaging spectroscopy of photonic crystals”. In: *Applied Physics Letters* 101.8 (2012), p. 081904.
- [16] Mark P Davidson. *Interferometric back focal plane scatterometry with Koehler illumination*. US Patent 7,061,623. June 2006.
- [17] Gilbert D Feke et al. “Interferometric back focal plane microellipsometry”. In: *Applied Optics* 37.10 (1998), pp. 1796–1802.
- [18] Liang Gao et al. “Snapshot image mapping spectrometer (IMS) with high sampling density for hyperspectral microscopy”. In: *Optics express* 18.14 (2010), pp. 14330–14344.

6 需要指導教授指導內容

本計畫規劃的三個研究階段，皆需在光路設計、硬體設計、光學元件匹配、軟體設計、影像處理…等面向上，獲得指導教授實驗室的研究資源支持與協助。其中系統光路的設計與搭設，可能是最需指導教授指導之內容，因為光學元件的選用與匹配，光源的設計與整合，光路設計與光學元件配置，是我較生疏沒有經驗的領域。另外在軟體設計方面，也會需要指導教授對使用者體驗、介面設計、光譜分析與展示功能…等等面向，提供我寶貴的建議。

大專學生研究計畫指導教授初評意見表

一、學生潛力評估：

本人認識申請人鄭泊聲同學的機緣，是在他 2019 年大一升大二的暑假期間(2019.07.01-2019.08.31)，透過台大凝態中心林麗瓊主持的教育部高教深耕計畫 AI-MAT 特色研究中心舉辦的第一屆暑期大專實習生計畫，透過遴選加入本人主持的「台大凝態中心光電工坊」成為暑期實習生。在那兩個月的實習期間，泊聲與另外兩位成功大學大一共同參與了一項光電工坊的光譜技術開發專案：「光學顯微鏡下的 Google Map」，其中泊聲負責的子專案是：「採用全幅 CANON 相機作為感光元件的光學顯微鏡」。該子專案的執行目標是：(a) 搭設一套大觀測視野的反射式光學顯微鏡、(b) 整合全幅 CANON 單眼相機觀測 OM 影像、及(c) 開發 LabView 程式進行相機功能操控及顯微鏡影像擷取。

該次的暑期實習過程，泊聲學會了 Canon 相機的 LabView 操控程式開發，過程中解決了 LabView 與 C 語言 pointer 的記憶體資料調用問題，學會建立動態函式庫 dll，並且成功操控 Canon 相機進行拍攝與存檔。該期間泊聲也在其他實習夥伴彼此合作下，成功地組裝一台為市售全片幅相機客製的光學顯微鏡，其特色是可達到鏡頭最高規格的觀察視野。值得一提的是，一年後此技術專案的研發成果獲選為 2020 年「科技部未來科技突破獎」，我們同時也將當年參與該專案的三位 AI-MAT 大專實習生列入該技術的共同發明人，認同並肯定他們在此專案中做出了具體的技術貢獻。

二、對學生所提研究計畫內容之評述：

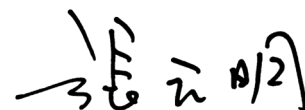
至於這次泊聲提出大專生研究計畫的緣由，其實是 2020 年上學期「光電工坊」主動邀請他加入實驗室並授權他負責主導一個全新的光譜技術開發專案：「顯微鏡下的高光譜技術」才孕育出來的研究計畫。本計畫的原始構想主要源自於本人目前執行中的科技部個人研究計畫，其中有一項是針對「新穎材料結構的顯微鏡背焦面光譜影像量測與分析」的研究需求。至於本計畫的執行目標與內容則是，透過本學期泊聲與我每星期一次的專題討論，由他自己利用課餘時間自主學習後主動提出並撰寫的研究計畫書。該計畫書經本人審視後，認為其設定的研究目標與執行方式具體可行，對大學部學生是具有挑戰性的題目。而他願意挑戰這樣高難度的光學技術開發，也是我對這位年輕人最欣賞之處。

三、指導方式：

經過過去半年與泊聲在實驗室的互動與觀察，本人認為他已具備獨立思考與主動學習的能力，因此才會極力鼓勵他提出本年度大專生研究計畫申請。如果本研究計畫案能獲得科技部的支持，「光電工坊」承諾會積極提供實驗室現有的研究資源，來協助泊聲執行此大專生研究計畫。也會透過每週實驗室的 group meeting，適時地提供他研究上的建議與指導。

四、本人同意指導學生瞭解並遵照學術倫理規範；本計畫無違反學術倫理。

指導教授簽名：



2021 年 01 月 12 日

國立臺灣大學學生歷年成績表

學 號	B07611002	姓 名	鄭泊聲	出生日期	89年4月20日	入學年月	107年9月
學院名稱	社會科學院						畢業年月
系組名稱	經濟學系			輔系系組			
雙修系組	生物機電工程學系			跨域專長			
課 號	科 目 名 稱	學 分	成 績	課 號	科 目 名 稱	學 分	成 績
<u>線上採計課程</u> Online 0006 唐詩新思路 1 採計 107學年度第1學期 JpnL 1001 日文上 3 A- PE 1003 健康體適能 1 A- ECON 1004 經濟學原理與實習上 4 A- AdvEng 3102 印尼文一上 3 A+ MATH 1201 微積分甲上 4 A Phys 1006 普通物理學甲上 3 A- Phys 1026 普通物理學實驗上 1 B+ BME 1102 生物產業機電工程概論 1 A BME 1106 工程圖學與電腦製圖 1 A+ BME 1108 工程用生物學 2 A+ BME 1105 計算機程式語言 2 A+ 修習學分：25.00 實得學分：25.00 學期GPA：3.94 107學年度第2學期 CHIN 1082 大學國文二 3 A JpnL 1002 日文下 3 C+ PE 2097 棒球初級 1 B+ ECON 1005 經濟學原理與實習下 4 A+ BME 1101 服務學習一 0 通過 Soc 1005 社會學甲下 3 B+ AdvEng 3202 印尼文一下 3 A+ MATH 1202 微積分甲下 4 B+ Phys 1007 普通物理學甲下 3 A+ Phys 1027 普通物理學實驗下 1 A- BME 1107 微控制器原理與應用-機電整合(一) 3 A+ 修習學分：28.00 實得學分：28.00 學期GPA：3.75 108學年度第1學期 ECON 2020 總體經濟學上 3 A StuAct 1020 服務學習(二)校內服務 (0) 不通過 Agron 1010 現代農業體驗一 1 B+ BME 5927 動物細胞培養與實習 3 A+ LAW 1076 民法總則 3 A- BME 2103 工程數學一 3 A+ BME 2102 熱力學(一) 3 A- BME 2120 應用力學二 2 B+ BME 2110 機械工作法實習 1 A BME 2115 電工學與實習 3 A 修習學分：22.00 實得學分：22.00 學期GPA：3.90 108學年度第2學期 PE 2102 網球初級 1 A+ ECON 2021 總體經濟學下 3 A StuAct 1015 服務學習三課業輔導 0 通過 BME 2104 工程數學二 3 A BME 2119 應用力學一 1 A- BME 2108 材料力學 3 B+ BME 2111 機動學一 3 A BME 2117 物理化學 3 A+ BME 2116 電子學與實習 3 A+ 修習學分：20.00 實得學分：20.00 學期GPA：3.99 109學年度第1學期 ECON 2018 個體經濟學上 (3) 未到 Acc 1003 會計學甲一上 (3) 未到 BME 2118 工程材料 (2) 未到				BME 3105 流體力學 (3) 未到 BME 3112 感測器原理與應用-機電整合(二) (3) 未到 BME 3111 自動控制 (3) 未到 BME 5010 資料結構與演算法實務 (3) 未到 (以下空白)			
備 註	◆109學年自生物機電工程學系轉入(降轉1年)						
實得總學分 96.00				註冊組主任			
修習及格學分	95.00	抵免學分	0.00	免修學分	0.00	暑修學分	0.00
採計學分	1.00						