

菲涅爾透鏡於微型拉曼光譜儀之應用

電資四 李元蓁

電機四 陳楓文

摘要

本專題參考一篇以結合窄帶濾光片陣列與 CMOS 感測器的片上拉曼光譜儀的論文，該論文透過將窄帶通濾光片陣列直接整合在 CMOS 影像感測器 (CIS) 上，配合 785 nm 雷射與微型共焦探頭，來達到拉曼光譜儀微型化，本專題嘗試改良文章中的共焦探頭設計，使用繞射型菲涅爾透鏡與針孔共焦為核心、搭配 CIS 片上窄帶濾光片陣列的微型拉曼光譜儀。

設計結構



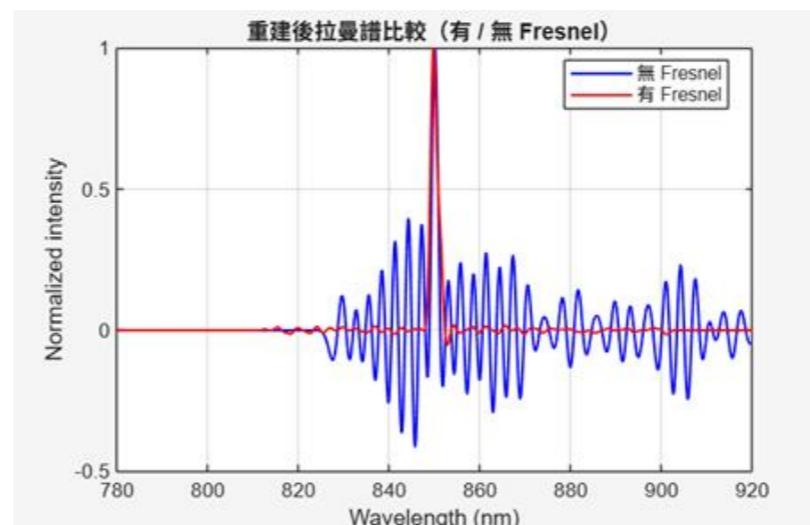
設計KPI

- 體積: 整體 $\leq 60 \times 35 \times 25$ mm
- AOI 控制: 在 CIS 面, $\geq 80\%$ 能量落在 $|\theta| \leq 3-5^\circ$
- 光譜性能:
 - 硬體通道 FWHM ≈ 1.5 nm
 - 重建後解析度 ≈ 1.0 nm
 - 峰位誤差 $\leq \pm 0.3$ nm
- 量測效率: 在相同 SNR 下, 積分時間縮短 2 倍以上
- 穩定性: 日內波長漂移 $\leq \pm 0.3$ nm (在標準環境條件下)

效能評估與成果

- AOI 角度控制與通道中心藍移

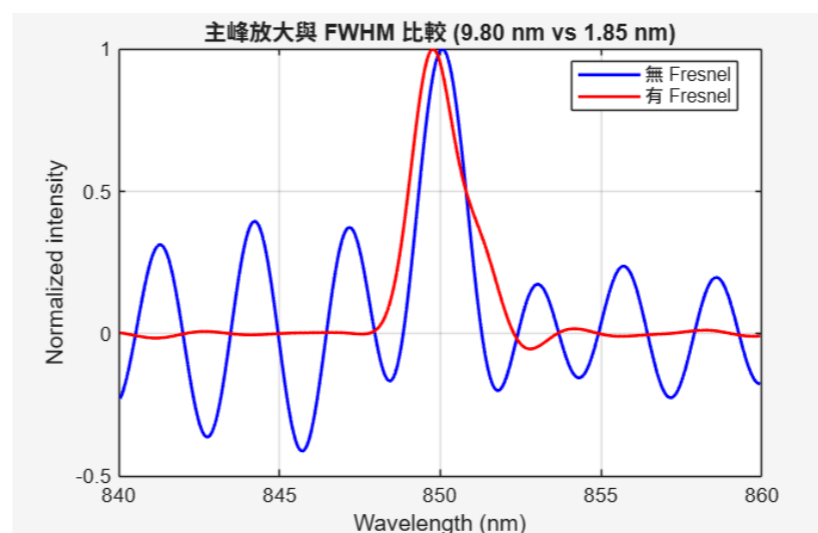
項目	無 Fresnel	有 Fresnel
AOI	12°	3°
中心波長藍移 $\Delta \lambda$	18.57 nm	1.16 nm



無 Fresnel: 主峰附近有明顯震盪, 基線噪聲大
有 Fresnel: 基線穩定, 峰形尖銳

- 光譜解析度 (FWHM) 比較

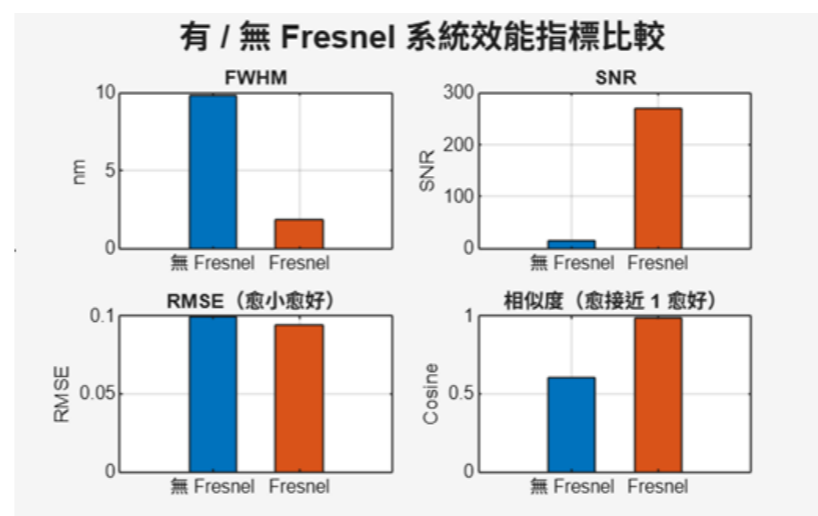
系統	FWHM (nm)	提升倍率
無 Fresnel	9.80 nm	—
有 Fresnel	1.85 nm	提升 5.30 倍



直接顯示解析度從 9.80 nm 改善至 1.85 nm

- 訊雜比 (SNR) 比較

系統	SNR	提升倍率
無 Fresnel	15.8	—
有 Fresnel	269.6	提升 17.04 倍



以直觀柱狀圖呈現 FWHM、SNR、RMSE、Cosine 四項指標, 可知 Fresnel 系統皆優於原本的微型拉曼光譜儀

- 光譜重建品質

指標	無 Fresnel	有 Fresnel
RMSE (愈小愈好)	0.0995	0.0944
Cosine similarity	0.6060	0.9880

結論

菲涅爾共焦系統是推動「超小型、單拍、高解析度拉曼光譜儀」的關鍵技術之一, 成功突破微型拉曼光譜儀在光路長度、入射角控制、收光效率不足等瓶頸, 具有高度可實作性與商品化價值。