

大面積面射型雷射在不同溫度下之能量密度模擬分析

專題生：陳往誼 指導教授：梁興弛

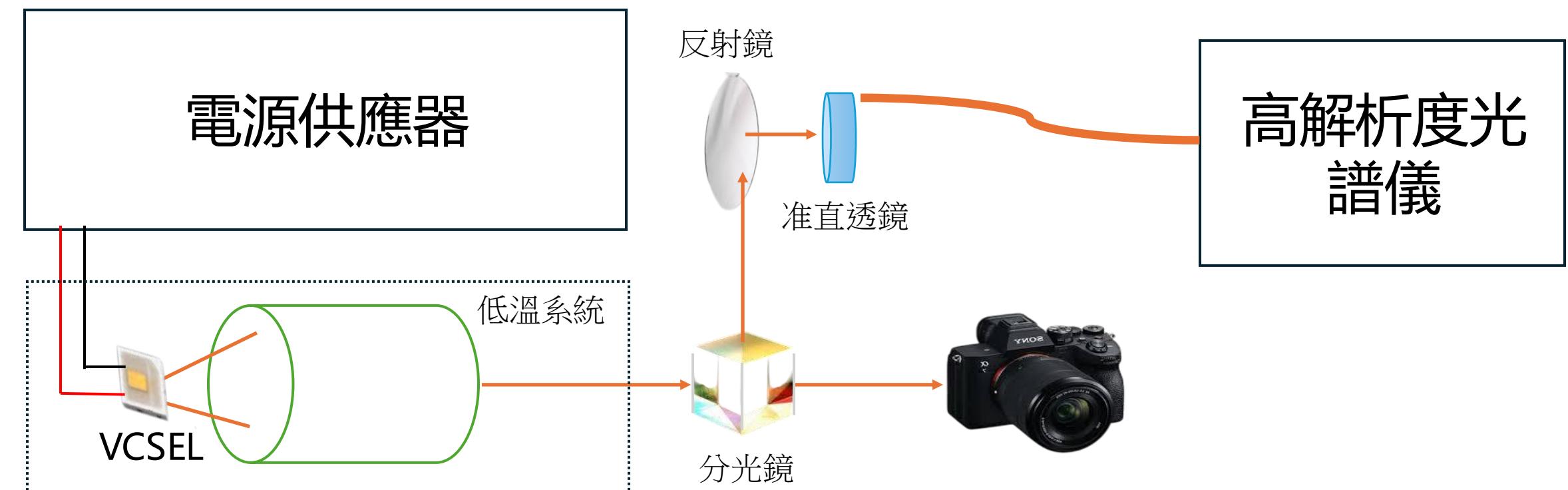
Electronics and Photonics Post-undergraduate Second Degree Program, National Yang Ming Chiao Tung University

介紹

實驗利用垂直腔面發射雷射 (VCSEL) , 透過調整腔體的參數，找出粒子在量子球台運動軌跡的能量分布狀態。實驗中會進一步透過光學透鏡的調整，在近場 (Near-Field) 與遠場 (Far-Field) 之間進行切換，以獲取不同空間下的光場分佈，其中遠近場分別對應到真實空間以及動量空間的波函數。而為觀察不同溫度對於能量分布表現的影響，這邊將溫度區分為常溫以及超低溫，前者電流以 0.2mA 後者以 1mA 為間隔，進行調整與測量。

實驗架構

- 採用垂直共振腔面射型雷射，並以穩定電流控制其輸出功率。
- 實驗透過相機上的變焦透鏡來切換近場與遠場分佈。
- 最後，採用光譜分析儀進行量測，並將取得的數據進行分析。



公式

$$\text{模態分佈函數(K空間)} \quad \rho(k) = \sum_{m_1, m_2} \delta(k - k_{m_1, m_2})$$
$$\downarrow \text{空間轉換 (傅立葉轉換)}$$
$$\text{模態分佈函數(L空間)} \quad \rho_{FT}(L) = \int \rho(k_t) e^{-ikL} dk = \rho_0(L) + \sum_n A_n \delta(L - L_{p,q})$$

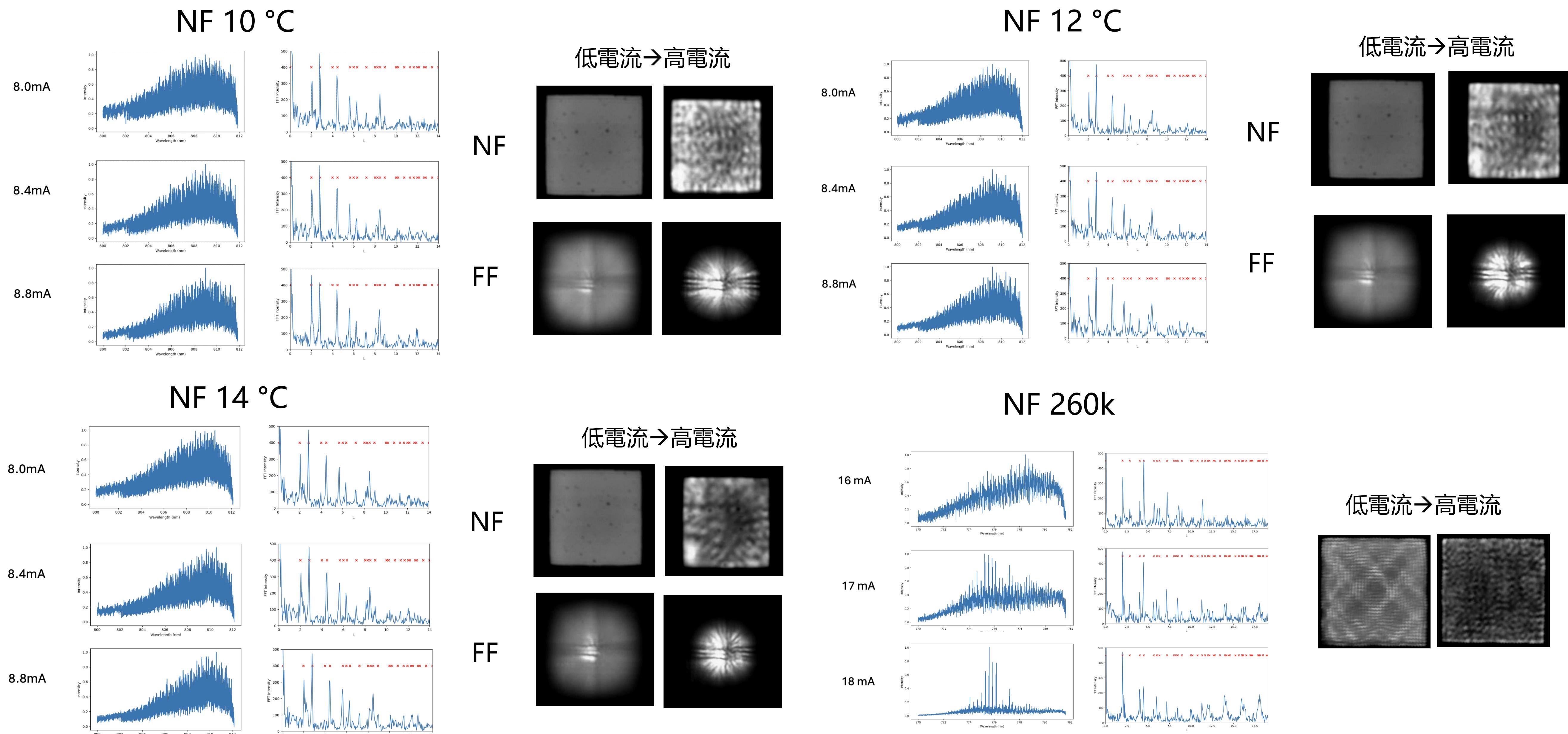
→ 長度分布頻譜

$$\text{波的量化條件} \quad k_{m_1, m_2} = \frac{\pi}{a} \sqrt{m_1^2 + m_2^2}$$

$$\text{特徵長度} \quad L_{p,q} = 2a\sqrt{p^2 + q^2}$$

→ p, q 為 x, y 方向邊界的碰撞次數
→ a 為二維正方形邊界的邊長

實驗結果



- 實驗中主要為觀察近場的模態，當雷射接近閾值時，光譜會展現出多個峰值的圖像，進而得出其模態與週期軌道的關聯
- 隨著實驗中溫度的持續降低，可以發現光譜的振盪結構更加明顯，傅立葉轉換後的長度分布圖也呈現更清晰的震盪軌跡（峰值更顯著）
- 輸入電流提升，更多的高階模態會被激發，形成由單一模態發展成多重模態的現象
- 隨著工作溫度的降低，能隙變大，再由 $K(T) \propto Eg(T)$ 的關係可以看到，K值變大代表橫向折射率差增加（波導深），使腔體可呈現更多橫向模態，因此在低溫下較容易觀察到高階橫向模態的激發。
- 更可以看出在零下低溫時的粒子震盪表現明顯高於一般低溫

結論與心得

在雷射接近閾值時，藉由實驗及後續的數據處理，可以看出粒子在晶體中的行為（由其模態決定），而模態的能量分佈又受晶體結構的周期性影響，此外實驗又使用降低溫系統，使得這些特徵更加明顯。對我來說在實驗過程中，最大的挑戰在於如何適當調整雷射的角度，以便在光譜上能夠呈現清晰的峰值結構；另一方面，低溫環境也使得實驗器材容易凝結水氣，增加了操作上的難度。整體而言，參與實驗和思考如何解決問題的過程，都讓我覺得獲益良多。

參考文獻：

Chen, Y.-F., Lin, S.-Q., Chang, R.-W., Yu, Y.-T., & Liang, H.-C. (2023). Systematically Constructing Mesoscopic Quantum States Relevant to Periodic Orbits in Integrable Billiards from Directionally Resolved Level Distributions. *Symmetry*, 15(10), 1809.

余彥廷、段必輝、蘇冠峰、黃凱風 (2013)。利用大面積面射型雷射類比研究二維量子彈子球檯的特徵。科儀新知, (196), 54-70。

江盛攸 (2015)。用波導模型研究面射型半導體雷射的物理特性 (碩士論文, 國立交通大學)