

雷射中空間與時域上的鎖模特性及結構性光場的形成

Spatial and temporal mode locking in lasers and generation of structured optical waves

國立交通大學 電子物理學系 博士生三年級董容辰

指導老師：陳永富教授

研究重點

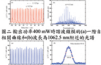
1. 探討不同維度下空間與時域上的鎖模特性。
2. 設計實驗來產生準晶格光束，並從物理理論討論證實其具有很大的角動量，並有鎖模的現象。

研究成果

關於雷射中空間與時域上的鎖模特性，首先探討鎖模特性中的縱向鎖模，利用二維極化激發態無序排列的Nd:5rGaGa₃O₉雷射晶體，藉由控制增益介質和輸出鏡的距離可以得到重複率80 GHz的鎖模雷射。當吸收功率為6.1 W時，平均輸出功率可達到415 mW，其中光轉換效率和雷射效率分別為6.3%和8.1%。當輸出功率達400 mW時，脈衝寬度為616 fs [Opt. Lett. 37, 461 (2012)]。此外利用輸出波長為532nm的腔內二維極化激發準晶格雷射(OPSL)也發現有此現象[Opt. Lett. 37, 4609 (2012)]。由實驗與理論結果可知，雷射光束在其腔體內具有空間與時域上的鎖模現象，並透過理論計算結果，我們證明實驗現象可藉由具有TEM₀₀和包含高階角向模態的全體來解釋。



圖一 自發性鎖模雷射系統的實驗架構



圖二 (左) 圖二內所對應的二階自相關曲線(右)第一階自相關高斯封套曲線



圖四 OPSL系統的共振腔結構



圖五 輸出模態在不同空間上的(0+1)電流12.8A下時域電壓的實驗結果(左)和500nm附近的理論分析

雷射共振腔內若具有空間上的複雜性而需考慮橫向鎖模，利用 inhomogeneous Helmholtz equation 理論分析雷射腔內縱向模態和橫向模態的比值為一分數且能量為開閉時，雷射輸出上的影響和在其橫斷面上的激發分布[Phys. Rev. A 88, 033827 (2013)]。理論計算顯示雷射腔輸出功率，當雷射共振腔長度短於雷射腔，雷射模態會明顯落在光路軸上。在實驗上分析這些準晶格雷射的脈衝結構和質量，去雷射不同腔長下所對應空間上的輸出圖樣，若將不同能量的準晶格雷射進行疊加，就能產生與時域相關的幾何鎖模雷射，並具有空間度特性。因此在實驗上我們利用在腔軸下的二維極化激發準晶格雷射(Nd:YVO₄)雷射，在共振腔下產生自相位鎖模和橫向模態輸入功率2.5 W時，縱向模態和橫向模態的比值為1/4時($\omega_x/\omega_y=1/4$)的腔長下，可產生平均輸出功率為490 mW的幾何鎖模雷射，也稱為M-mode [Laser Phys. Lett. 10, 105804 (2013)]。



圖一 實驗架構圖



圖二 理論計算雷射腔不同(0+1)電流的空間結構



圖三 不同雷射腔長下，透過雷射腔模態的理論計算與實驗結果



圖四 輸出模態的雷射腔內自發性鎖模和橫向模態實驗結果圖



圖五 M-mode 實驗量測的脈衝序列

關於結構性光場的形成，我們設計一實驗架構來產生小角度偏離光軸的準晶格光束[Appl. Phys. Lett. 99, 593-597 (2012)]，即如近軸雷射光束，並從理論分析雷射腔能使其與光軸呈一角度後，可於受擾動的光束中引入一相對相位(relative phase)。理論計算證實轉換角度後可產生更多階次的準晶格光束。實驗上其結果與理論計算有很好的的一致性。我們深入分析這些準晶格光束其具有很大的角動量，可形成光束渦旋(vortex)的結構結構。另外我們也提出在圖樣上規律分布的多重高斯波(Gaussian waves)會產生二維準晶格圖案的原理，並從物理意義的量子化角度去解釋他上的準晶格圖樣。進一步地說，藉由在原先多重的雷射腔的中心增加額外一多波干涉，會產生二維準晶格圖案產生有趣的現象。因此實驗上，我們實際利用空間鎖模產生的雷射光束去證實二維準晶格圖案具有有趣的現象。[Europhys. Lett. 99, 10005 (2012)]



圖一 產生近軸雷射光束的實驗架構



圖二 隨不同旋轉角形成的實驗與理論結果圖(左)和(右)



圖三 隨不同旋轉角形成的實驗與理論結果圖(q=20)與異相性分布圖



圖四 q=1第一列(q=2)第二列光束在進行方向的不同位置上實驗結果的圖案



圖五 q=1第一列(q=2)第二列光束在不同時間下產生的圖案

在許多貴人的幫助與鼓勵下，我幸運地得以順利修習博士學位到現在。過程中，除了專業知識的成長，更寶貴的也是學到了許多人間際的培養以及待人處事之道。感謝我的指導教授陳永富教授這幾年來心血的指導與鼓勵，奠定了我深厚的學術研究基礎及專業能力，也感謝交大雷射物理實驗室裡所有夥伴，平時除了學術知識上的切磋和合作，大家也都會不吝於分享生活中的趣事與互相鼓勵。我在寶貴的研究生活中共同參與許多休閒活動，增進彼此間的感情。未來的日子裡，我會讓這一路走來的生活點滴，並持續自我提升，期待未來能發揮所長為雷射物理領域有所貢獻，並回饋社會。