

雷射系統動力學研究  
從混亂無序到類似周期性弛張振盪

研究生：楊榮輝

指導教授：陳永富教授

國立交通大學 理學院應用科技學程



摘 要

本論文研究主要是藉由實驗觀察發現，由平行平面光學共振腔結構在一般的示波器(500MHz)觀察下，其輸出的時域(time domain)信號，是連續波 (continuous wave: CW)輸出信號，是與時間軸平行的橫線輸出。但在高速示波器(40GHz)的觀察下，時域信號則是一個混亂無序不平整的輸出信號，也就是說，CW 光學共振腔中仍然有動態(dynamic)現象發生。進一步實驗觀察在不同情況下動態行為的變化情形：這些上下波動(fluctuation)不平整的信號，可藉由使用緊密式耦合共振腔(closed coupled cavity)的

結構，改變不同的光學元件(如楔形雷射晶體(wedge-cut laser crystal)及楔形輸出耦合鏡(wedge-cut output coupler))，得到一個整齊而有週期性的自我脈衝(self-pulsation)的輸出信號，近似於鎖膜(mode-locked)輸出信號。因此，緊密式耦合光學共振腔，可提供了一個微小簡縮腔(compact resonator)結構，也很容易的調整腔長並獲得不同的信號重複率。由於高重複率的雷射輸出信號、腔長變短、結構簡單，很有潛力的廣泛應用在產業界中：如運用在通訊系統等方面。



# Dynamic Behavior Study In Laser System

## From Chaos To Quasiperiodic Relaxation Oscillations

Student : Rong-Huei, Yang

Advisor : Dr. Yung-Fu Chen

Department of Degree Program of Applied Science and Technology  
National Chiao Tung University



### Abstract

The purpose of this study is by experiments and observations to discover the output signal, it is produced by the plane-parallel resonator. The output time domain signal is continuous wave (CW) observed under the general oscilloscope (resolution 500MHz). The CW signal is parallel with X-axis (time axis). But when we observed the signal under the high speed oscilloscope (resolution 40GHz), there

were still dynamic phenomena in the optical resonator. By means of changed the different factors, for examples, changed wedge-cut laser crystal and wedge-cut output coupler, we can clearly observe dynamic variations and fluctuations in different situations. Therefore, to advance experiments and discover that using the closed coupled cavity is to form the optical resonator. It may obtain not only a uniform periodic self pulsations signal but also a near perfect mode-locking output pattern. Besides the cavity can also offer a compact size resonator, easily modulate the length of the optical cavity, and obtain different repeating frequency. Due to the higher laser output repeating frequencies, shortened the cavity and simple resonator structure characteristics, it can extremely get promising applications in industrial fields, such as applications in telecommunication systems.

## 誌謝

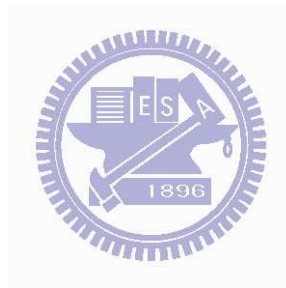
時光飛逝，感謝這四年來，老師、學長們、同學們，陪著我一起成長，且讓我開啟另一扇門，從對雷射的陌生，到學得更多、更廣、更深入。感恩。

首先，感謝爸爸、妻子和孩子的支持，鼓勵我努力的學習，雖然不能在年輕的時候修完碩士學位，但我還是非常珍惜能再有機會讀書充實知識。還要感謝老婆的體諒並照顧小孩，讓我可以利用例假日，放心的努力學習再衝刺。再來要感謝的就是老師，在學習過程中總是給我指引方向及提醒，並修正研讀的方向。並且耐心的教導我們這群來自不同科系、不同領域的學生們。最後要感謝的是實驗室的學長們，感謝黃郁仁、黃依萍博士、蘇冠暉老師...等，感謝他們在實驗過程中給予幫助與指導，讓我在實驗中習得杜威所提倡的「做中學」，亦習得實驗技能。也感謝陪我一起上課學習的同學和學弟妹們，這些年來在學校中過得很充實，也學習很多。也讓我在雷射方面的知識長進許多，謝謝你們。感恩。

# 目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	iii
誌謝	.....	v
目錄	.....	vi
圖表目錄	.....	viii
第一章	簡介.....	1
1-1	動態行為的重要性.....	1
1-2	研究動機.....	2
1-3	本文組織.....	3
第二章	雷射共振腔.....	5
2-1	簡介.....	5
2-2	縱模.....	7
2-2-1	平行平面共振腔結構.....	7
2-2-2	緊密式共振腔結構.....	9
2-2-3	Fabry-Perot etalon(法布里-珀羅標準具) .....	10
2-3	橫模.....	13
第三章	耦合空間分佈局部模態的雷射模型.....	25
3-1	背景說明.....	25
3-2	Otsuka 實驗架構.....	25
3-3	結論.....	29
第四章	從混亂無序到類似周期性弛張振盪的實驗架構.....	36
4-1	背景說明.....	36
4-2	實驗一 Fabry-perot resonator 結構.....	40

4-3	實驗二 輸出耦合鏡切 wedge 的架構·····	41
4-4	實驗三 雷射晶體 Nd:YVO <sub>4</sub> 切 wedge 的架構·····	42
4-5	實驗四 雷射晶體 Nd:YVO <sub>4</sub> 切 wedge 和輸出耦合鏡切 wedge 的架構·····	44
第五章	結論與未來展望·····	62
5-1	結論·····	62
5-2	未來展望·····	63
參考文獻	·····	64



## 圖表目錄

圖 1-1	CW(continuous wave)連續波輸出.....	4
圖 1-2	CW 連續波輸出用高解析度示波器量測.....	4
圖 2-1	雷射系統結構圖.....	16
圖 2-2	side-pumping 結構圖.....	16
圖 2-3	end-pumping 結構圖.....	17
圖 2-4	共振腔型態.....	17
圖 2-5	緊密式共振腔結構圖.....	18
圖 2-6	縱模圖形.....	18
圖 2-7	雷射增益曲線.....	19
圖 2-8	etalon 示意圖.....	19
圖 2-9	光在法布里-珀羅共振腔內傳遞示意圖.....	20
圖 2-10	裝置在腔內的 etalon 結構圖.....	20
圖 2-11	多重縱模分佈與單縱模輸出圖.....	21
圖 2-12	etalon 型態圖.....	21
圖 2-13	電磁波圖.....	22
圖 2-14	高斯光束示意圖.....	22
圖 2-15	橫模圓柱座標形態描述.....	23
圖 2-16	橫模直角座標形態描述.....	23
圖 2-17	多重橫模.....	24
圖 3-1	傳統的平行平面共振腔與 Otsuka 實驗所用的晶體共振腔	31
圖 3-2	relaxation oscillation 圖.....	31
圖 3-3	Otsuka 實驗架構一.....	32



圖 3-4	Otsuka 實驗架構二.....	32
圖 3-5	grain boundaries 示意圖.....	33
圖 3-6	歪向稜鏡圖.....	33
圖 3-7	實驗架構二非對稱 pumping 相對溫度分佈情形.....	34
圖 3-8	不同的 pumping 功率下，不同的橫模輸出圖案.....	34
圖 3-9	不同激勵功率(58mW 和 80mW)的光譜分佈圖形.....	35
圖 4-1	緊密式共振腔示意圖.....	47
圖 4-2	耦合腔示意圖.....	47
圖 4-3	實驗一 緊密式共振腔結構圖.....	48
圖 4-4	實驗一 RF spectrum.....	48
圖 4-5	實驗一 time domain 輸出動態圖 20ns/div.....	49
圖 4-6	實驗一 time domain 輸出動態圖 0.5ns/div.....	49
圖 4-7	實驗一 波長與輸出光強度圖.....	50
圖 4-8	實驗一 入射功率與平均輸出功率圖 .....	50
圖 4-9	實驗二雷射晶體沒切 wedge，切 wedgeOC 結構圖.....	51
圖 4-10	實驗二 RF spectrum.....	51
圖 4-11	實驗二 time domain 輸出動態圖 20ns/div.....	52
圖 4-12	實驗二 time domain 輸出動態圖 0.5ns/div.....	52
圖 4-13	實驗二 波長與輸出光強度圖.....	53
圖 4-14	實驗二 入射功率與平均輸出功率圖 .....	53
圖 4-15	實驗三晶體切 wedge，OC 不切 wedge.....	54
圖 4-16	實驗三 RF spectrum.....	54
圖 4-17	實驗三 time domain 輸出動態圖 20ns/div.....	55
圖 4-18	實驗三 time domain 輸出動態圖 0.5ns/div.....	55
圖 4-19	實驗三 波長與輸出光強度圖.....	56

圖 4-20	實驗三 入射功率與平均輸出功率圖 .....	56
圖 4-21	實驗四晶體切 wedge, OC 切 wedge 結構圖.....	57
圖 4-22	實驗四 RF spectrum.....	57
圖 4-23	實驗四 time domain 輸出動態圖圖 20ns/div.....	58
圖 4-24	實驗四 time domain 輸出動態圖 0.5ns/div .....	58
圖 4-25	實驗四 波長與輸出光強度圖.....	59
圖 4-26	實驗四 入射功率與平均輸出功率圖 .....	59
圖 4-27	四組實驗的 RF spectra 比較.....	60
圖 4-28	四組實驗的 time domain 的輸出比較.....	60
圖 4-29	Otsuka 實驗的輸出現象(relaxation oscillation) 與實驗四的輸出比較(mode-locked 現象)比較圖.....	61

