


耦合雙微碟共振腔之光學特性研究

研究生:陳志豪

指導教授:張文豪 教授

國立交通大學 電子物理學系

中文摘要



本論文探討由砷化銦量子點作為發光主動層之耦合雙微碟共振腔。將微碟轉移至藍寶石基板上，並且利用光纖探針製造耦合雙微碟。由顯微光激螢光系統可以看到許多很窄的譜線，即為耳語廊模態。透過電場偏振實驗與有限時域差分法，可確認實驗量測的耳語廊模態之方位角與徑向模態數。藉由穩定地改變其中一個微碟的折射率，可清楚地觀察束縛態與反束縛態的現象，證明耦合雙微碟為強耦合效應。我們發現當耳語廊方位角模態數越大時，其耦合強度越小。此現象為較高的等效位能屏障將電磁波侷限在微碟共振腔，使模態之間耦合減小。

Optical properties of coupled double microdisk microcavities

Student: Chih-Hao Chen

Advisor: Dr. Wen-Hao Chang

Department of Electrophysics
National Chiao Tung University

Abstract

The optical properties of microdisk microcavities with embedded InAs quantum dots (QD) in GaAs membrane are investigated. The microdisks are transferred to a sapphire substrate and fabricated closely spaced double microdisks by using a fiber tip. The emission spectra of the double microdisks are investigated by micro-photoluminescence (μ -PL) measurements. Several sharp emission lines arise from the Whispering gallery modes (WGMs) of the microdisks have been observed. Polarization resolved μ -PL and finite-difference time-dominant simulation (FDTD) are used to identify the azimuthal and radial mode number of the measured WGMs. By continuously increasing the refractive index of one of the double microdisks using laser local heating, we observed clear molecular modes with bonding states and antibonding states due to a strongly coupling of the double microdisk. We found that the higher-order WGMs always have smaller coupling strengths. This phenomenon can be explained by the effective potential confining the electromagnetic wave in the microdisk microcavity.

致謝

時光飛逝，短短兩年的時間轉眼間就過了，剛來到研究所時，對於很多事物都是懵懵懂懂。這期間受到許多人的開導與照顧，心中充滿無限的感謝。首先感謝的是指導老師 張文豪教授，每次實驗上碰到問題時，給我的建議總能夠切中要點讓我解決問題。並且苦口婆心的點出我做事的缺點，糾正我錯誤的觀念。”當你覺得什麼事情該做時，趕快做就對了”這些警惕我的話永遠都會印在我心中。同時也感謝李明知教授，總是在進度報告時可以給我們客觀的建議。感謝徐子民、周武清、林聖迪及李柏聰口試委員們，在口試時針對研究內容給予建議，並且點出論文的錯誤與缺點，使論文更加完美。再來要感謝我的家人，謝謝你們支持我繼續升學，並且在我最難熬的時候關心我，對於我所做的事情給予我百分之百的信任。平常在家都沒什麼表示，其實我是很愛你們的。

感謝儀哲、京玉、昱安、少甫、阿賢、大雄 博士班學長姐，謝謝你們在研究方面費心的教導，使我能夠較快的熟悉實驗儀器與研究方向。謝謝我的直屬學姐 林萱，這兩年真的是辛苦你了，忍受我的慢動作與犯錯，並且花了很大的耐心讓我通過口試。小周、酥酥魚、阿龐、士興、家和、芳葦、道偉，當然是少不你們這些一起努力一起玩的夥伴，這些日子有你們讓我不寂寞。最後謝謝國榮、詠盛、健家、峰菖學弟們在實驗上的幫忙，讓我研究可以順利的完成。

目錄

| | |
|------------------------|-----|
| 中文摘要..... | I |
| 英文摘要..... | II |
| 致謝..... | III |
| 目錄..... | IV |
| 圖目錄..... | VI |
| 第一章 導論..... | 1 |
| 第二章 微碟共振腔理論分析..... | 3 |
| 2-1 微碟共振腔之共振模態..... | 3 |
| 2-2 解析近似法..... | 5 |
| 2-3 雙微碟模態耦合理論..... | 11 |
| 2-4 FDTD 模擬雙微碟耦合..... | 17 |
| 第三章 微碟共振腔製作與實驗架構..... | 18 |
| 3-1 量子點主動層結構..... | 18 |
| 3-2 微碟共振腔的製作..... | 19 |
| 3-3 顯微光激螢光實驗架構..... | 22 |
| 3-4 變功率顯微光激螢光實驗架構..... | 23 |

| | |
|----------------------------|-----------|
| 第四章 實驗結果與討論 | 24 |
| 4-1 單微碟共振腔的譜線特徵..... | 24 |
| 4-1.1 單微盤共振腔之光譜..... | 24 |
| 4-1.2 單微盤共振腔之改變激發光源實驗..... | 31 |
| 4-2 雙微碟共振腔之光學特性..... | 33 |
| 4-2.1 雙微碟共振腔之螢光光譜..... | 33 |
| 4-2.2 雙微碟共振腔之強耦合效應..... | 35 |
| 4-3 結果討論..... | 41 |
| 第五章 結論 | 45 |
| 參考文獻 | 46 |



圖目錄

| | |
|---|----|
| 圖[2-1] 圓形共振腔內部的三種共振模態示意圖 | 4 |
| 圖[2-2] TE 模態與 TM 模態的電場定義圖 | 4 |
| 圖[2-3] 微碟共振腔三層結構與電場分布示意圖 | 7 |
| 圖[2-4] (a)共振模態 $l=1,2$ 波長分布圖 | |
| (b) $l=1,2$ 磁場強度在徑向分布圖 | 9 |
| 圖[2-5] $TE_{25,1}$ 、 $TE_{21,2}$ 磁場在空間分布圖 | 10 |
| 圖[2-6] 雙微碟共振腔示意圖 | 12 |
| 圖[2-7] (a)強耦合模態的能量與半高全寬隨著能量差變化圖 | |
| (b)模擬強耦合模態光譜圖 | 14 |
| 圖[2-8] (a)弱耦合模態的能量與半高全寬隨著能量差變化圖 | |
| (b)模擬弱耦合模態光譜圖 | 16 |
| 圖[2-9] 利用 FDTD 模擬不同間距的雙微碟譜圖 | 17 |
| 圖[3-1] 砷化銦量子點結構 | 18 |
| 圖[3-2] 製作微碟共振腔示意圖 | 21 |
| 圖[3-3] 微碟共振腔轉移至藍寶石基板示意圖 | 21 |
| 圖[3-4] 顯微光激螢光實驗架構圖 | 22 |
| 圖[3-5] 變激發功率顯微光激螢光實驗架構圖 | 23 |

| | |
|---|----|
| 圖[4-1] 塊材與微碟共振腔的光譜比較圖 | 25 |
| 圖[4-2] 平躺、立起微碟共振腔示意圖 | 26 |
| 圖[4-3] 平躺、立起微碟共振腔的螢光光譜 | 27 |
| 圖[4-4] (a)立起微碟螢光光譜 (b)微碟在極座標擺置 | 28 |
| 圖[4-5] WGMs 電場偏振圖 | 28 |
| 圖[4-6] 砷化鎵量子點基態電場偏振圖 | 29 |
| 圖[4-7] 實驗與 3D-FDTD 的模擬譜圖 | 30 |
| 圖[4-8] (a)、(b)在室溫下，不同激發功率的螢光光譜圖 | |
| (c) $TE_{26,1}$ 、 $TE_{22,2}$ 波長對激發功率的關係圖 | 32 |
| 圖[4-9] (a) 單一微碟共振腔的光激螢光光譜圖 | |
| (b) 測量雙微碟共振腔之一的光激螢光光譜圖 | 34 |
| 圖[4-10] 量測左右微碟共振腔的 μ -PL 譜線 | 35 |
| 圖[4-11] 耦合雙微碟共振腔的光譜圖 | 36 |
| 圖[4-12] 改變激發光功率之譜圖 | 37 |
| 圖[4-13] (a)模態能量與能隨著光激發功率的變化圖(b)半寬變化圖 | |
| (c)模態能量變化圖 | 38 |
| 圖[4-14] (a)、(c) 為 $TE_{21,2}$ 與 $TE_{25,1}$ 的模態能量與能量差異變化圖 | |
| (b)、(d) 為 $TE_{22,2}$ 與 $TE_{26,1}$ 的模態能量與能量差異變化圖 | 39 |
| 圖[4-15] 模態波長隨著激發功率的變化圖 | 41 |

圖[4-16] 位能與電場在半徑方向的分布圖43

圖[4-17] 在微碟外部，不同模態的電場強度比較圖44

圖[4-18] $TE_{25,1}$ 與 $TE_{21,2}$ 的等效位能比較圖44

