

光纖和微碟共振腔耦合之特性研究

研究生:趙士興

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

在本論文中,利用光纖側收量測砷化銦量子點的微碟共振腔所發出的螢光。特定模態與光纖的耦合可使螢光效率比傳統正向收光高達 10 倍左右。另外借由有限差分時域法模擬波導和微碟共振腔耦合的情形,對照實驗所觀察的現象進行解釋。

本論文也利用近場光學技術研究微碟共振腔的空間場強分佈,進而了解耳語廊模態以駐波的形式存在於微碟共振腔中。另外,不同徑向模態數 ℓ 的空間分佈亦被探討。最後,微碟共振腔盤面的光瓣數為 m 個。顯示近場所掃描出的場強分布並非只由耳語廊模所貢獻,而是由砷化鎵量子點的場與耳語廊模態的場互相疊加後的結果。

The coupling characteristics between fiber and microdisk microcavities

Student: Shih-Shing Chao

Advisor: Dr. Wen-Hao Chang

Department of Electrophysics

National Chiao Tung University

Abstract

We used optical fiber tip to collect emissions from the sidewall of microdisk cavities with embedding InAs/GaAs quantum dots. By using optical fiber tip, the collection efficiency of some particular whispering-gallery modes (WGMs) can be improved by a factor of 10. Finite-difference time-domain simulations are used to calculate waveguide coupled microdisk cavity.

Scanning near-field optical microscopy (SNOM) is also used to study optical modes of microdisk cavity. Near-field images show that WGMs are standing wave in microdisk cavity. WGMs with different radial mode numbers are also investigated. Finally, we found that near-field images of the WGMs reveal m azimuthal maxima around the disk circumference. The results explain the intensity imaging arises from the superposition between the WGMs and InAs QDs field.

致謝

兩年了，一轉眼碩士生涯就結束了。兩年內發生不少事情，讓我成長不少。對於大家的感謝，並非只有短短幾行，就能表達清楚。但我還是想盡量表達出來。首先，最感謝的就是我的指導教授 張文豪教授。感謝您這兩年的指導，讓我學到許多知識及做人處事的道理。因為我的不懂事，給老師添了許多不必要麻煩，但老師總能寬宏的原諒我所犯的錯。也一樣很感謝 李明知教授的共同指導，因此讓我們比別人有更多的機會學習。感謝口試委員們， 徐子民教授、 周武清教授、 林聖迪教授及 李柏聰教授在口試時給我的建議，讓論文得以更完善。

感謝實驗室博班學長姐們的照顧，讓我們實驗室總是充滿著活力。仗哲、京玉、阿賢、育安、大雄、林萱及少甫學長姐，謝謝你們。特別是林萱學姐，這兩年來真是辛苦您了。最後您還熬夜幫我改論文及修投影片，讓我口試能夠順順利利的結束。

小周、酥酥魚、阿龐、神龍、家和、芳葦及道偉，感謝你們讓我在碩班生活更為充實而有趣，也一起努力著畢業。感謝國榮在實驗上給我許多幫助。感謝詠勝、健家及峰菖在日常上的幫忙。

最後要感謝我的家人，謝謝你們一路默默支持著我，陪伴著我，讓我能快樂的成長。還有我的好朋友們，謝謝你們總是在我失落時，陪我談心，讓我能夠不這麼孤單，謝謝你們。

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 理論介紹.....	3
2-1 微碟共振腔.....	3
2-1-1 耳語廊模態理論.....	3
2-1-2 品質因子.....	6
2-2 微碟共振腔和光纖波導之耦合.....	6
2-2-1 耦合理論.....	6
2-2-2 耦合因子.....	9
2-3 有限時域差分法.....	10
第三章 樣品製備與實驗架設.....	12
3-1 量子點主動層結構.....	12
3-2 微碟共振腔製作程序.....	13

3-3 實驗系統架設.....	14
第四章 波導和微碟共振腔耦合的數值分析.....	16
4-1 單一微碟的模擬.....	16
4-2 單一微碟共振腔和波導耦合特性.....	18
4-2-1 耦合的譜線特徵.....	18
4-2-2 不同間距的場強模擬.....	21
4-2-3 不同模態與波導耦合的模擬.....	22
第五章 實驗結果與討論.....	24
5-1 單一微碟共振腔譜線特徵.....	24
5-2 光纖波導側收的譜圖特徵.....	26
5-2-1 μ -PL 及光纖波導側收的譜圖比較.....	26
5-2-2 不同微碟共振腔直徑的譜圖.....	29
5-2-3 不同間距的共振波長特徵.....	32
5-3 單一微碟共振腔的 SNOM 量測.....	35
5-3-1 SNOM 理論背景.....	35
5-3-2 SNOM 的盤面解析.....	36
第六章 結論.....	42
參考文獻.....	43

圖目錄

【圖 2-1】微碟共振腔和光纖波導之耦合示意圖.....	7
【圖 2-2】在 $t=0.95$ ， α 和波導穿透率的關係圖.....	8
【圖 2-3】相位匹配的示意圖.....	9
【圖 2-4】FDTD 空間電磁場配置與電磁場計算時間配置圖.....	11
【圖 3-1】砷化銦量子點結構示意圖.....	12
【圖 3-2】微碟共振腔的 SEM 影像.....	14
【圖 3-3】 μ -PL 正打正收及光纖探針側收示意圖.....	15
【圖 4-1】2D-FDTD 模擬直徑為 $3\ \mu\text{m}$ 的微碟共振腔譜圖.....	17
【圖 4-2】2D-FDTD 模擬 $\text{TE}_{16,1}$ (a)場圖(b) $y=0$ ，微碟共振腔場圖分佈譜....	18
【圖 4-3】2D-FDTD 模擬 $\text{TE}_{12,2}$ (a)場圖(b) $y=0$ ，微碟共振腔場圖分佈譜....	18
【圖 4-4】波導和微碟共振腔耦合模擬示意圖.....	19
【圖 4-5】2D-FDTD 模擬不同間距譜圖.....	20
【圖 4-6】2D-FDTD 模擬 $\text{TE}_{12,1}$ 不同間距之(a)品質因子(b)共振波長.....	20
【圖 4-7】不同間距的耦合情況.....	22
【圖 4-8】當間距為 $100\ \text{nm}$ 時，不同耳語廊模態的耦合情況.....	23
【圖 5-1】室溫下量測砷化鎵量子點的微光激發螢光訊號.....	25
【圖 5-2】直徑為 $2.57\ \mu\text{m}$ 微碟共振腔， μ -PL 及 3D-FDTD 模擬譜圖.....	26

【圖 5-3】直徑為 3.2 μm 微碟共振腔， $\mu\text{-PL}$ 及光纖側收的譜圖.....	27
【圖 5-4】光纖側收微碟共振腔的 OM 影像.....	28
【圖 5-5】光纖側收微碟共振腔示意圖.....	28
【圖 5-6】不同直徑的微碟共振腔之 $\mu\text{-PL}$ 譜圖.....	30
【圖 5-7】不同直徑的微碟共振腔之光纖波導側收譜圖.....	30
【圖 5-8】微碟共振腔和光纖波導相位匹配圖。點線為 3D-FDTD 的微碟共振腔譜圖，而(a) $\ell=1$ (b) $\ell=2$ 。虛線則為直徑為 1.3 μm 的光纖波導在微碟共振腔側邊時之相位匹配曲線。不同的點線代表了不同的微碟半徑，由下到上依序為 2.6 μm 、2.8 μm 、3 μm 、3.2 μm 及 3.4 μm	32
【圖 5-9】(a)利用光纖在距離微碟共振腔不同間距之下所收的光激發螢光的譜圖(b) $\text{TE}_{13,2}$ 放大圖.....	33
【圖 5-10】不同間距隨距離的強度.....	34
【圖 5-11】光纖探針熔拉完成之 SEM 影像，(a)3000 倍(b)30000 倍.....	35
【圖 5-12】SNOM 系統架構圖.....	36
【圖 5-13】微碟共振腔直徑為 2.5 μm (a)微光激螢光光譜圖(b) $\text{TE}_{12,1}$ 近場場圖(c) $\text{TE}_{13,1}$ 近場場圖.....	38
【圖 5-14】微碟共振腔直徑為 3 μm (a)微光激螢光光譜圖(b) $\text{TE}_{16,1}$ 近場場圖(c) $\text{TE}_{12,2}$ 近場場圖.....	39

【圖 5-15】 $TE_{12,1}$ 及 $TE_{13,1}$ 的光瓣數.....40

【圖 5-16】 WGM 為 $TE_{13,1}$ 所模擬出(a) H_z 的場圖。(b)(c)(d)分別代表當 H_0 為 0， $|H_{\max}/2|$ 及 $|H_{\max}|$ 時， $(H_0+ H_z)^2$ 的強度圖，其 H_{\max} 中為(a)的最大值.....41

