

分子束磊晶成長 InAs/InGaAs 量子點 之銻表面活化效應

研究生：江振豪

指導教授：陳振芳 博士

國立交通大學電子物理所

摘要

本論文主要是探討 InAs/InGaAs 自聚式量子點之銻(Sb)表面活化效應，藉由光激發螢光(PL)、原子力顯微鏡(AFM)、穿透式電子顯微鏡(TEM)以及電流-電壓(I-V)、電容-電壓(C-V)電性量測方式探討摻入不同含量的Sb對 InAs 量子點的影響。我們成長三片不同 Sb 含量的 InAsSb 量子點，Sb 分子束的等效壓力(Beam Equivalent Pressure, BEP)分別為 0(torr)、 1.8×10^{-8} (torr)、 6×10^{-8} (torr)，由 PL 量測得知隨著 Sb 含量的增加，發光波長從 1323nm 藍移至 1295nm，顯示量子點變小顆或應力變大的效應，這個現象亦導致了 Sb 量最多的樣品基態和第一激發態離砷化鎵導帶較近，使得溫度升高載子侷限力較差。變功率 PL 得知隨著 Sb 量增加，在室溫(300K)時第一激發態/基態(E./G.)強度的比值從 1.06 提升至 7.057，在低溫(25K)這個現象更明顯，第一激發態訊號大到涵蓋基態訊號，顯示 Sb 含量多的樣品基態容易被填滿進而填第一激發態，所以隨 Sb 含量增加量子點密度有明顯下降的趨勢(二個數量級)。為了進一步證實這個推論，我們從 AFM 影像來估計量子點密度，隨著 Sb 含量增加量子點密度由 $3.5 \times 10^9 \text{cm}^{-2}$ 下降至 $6 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$ 到小於 $1 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$ (Sb 含量最多的樣品)。

在低溫低頻之電容-電壓電性量測發現，隨著 Sb 量增加縱深分佈的(E./G.)比值從 0.6937 提升至 1.2102 與光性分析有相同趨勢，半高寬(FWHM)有下降趨勢顯示隨 Sb 增加量子點有較均勻的現象；在 Sb 含量最多

的樣品發現，隨著量測頻率下降基態的濃度有明顯增加的趨勢(2×10^{17} 增加至 2.15×10^{19})，使的基態峰值顯得更陡峭，由於可以在電性明顯的量測出基態的變化，是因為量子點密度低與均勻度好的原因，這個結果與之前的分析有相同趨勢。

由以上的結果顯示出 Sb 的摻入可以有效延長 wetting layer 的成長，增加 2D 轉 3D 長晶模式的臨界厚度，抑制量子點的形成，量子點密度減少二個數量級以上，並且使量子點長的更小顆更均勻，對降低量子點密度的應用提供了一個有效的方法，將有助於單一量子點基本性物理之探討。



Surfactant Effect of Sb on InAs/InGaAs Quantum Dots Grown by Molecular Beam Epitaxy

Student : Chen-Hao Chiang

Advisor : Dr. Jenn-Fang Chen

Department of Electrophysics
National Chiao Tung University

Abstract

Surfactant effect of Sb on self-assembled InAs/InGaAs quantum dots(QDs) is investigated by current-voltage(I-V), capacitance-voltage(C-V), photoluminescence(PL), atomic force microscopy(AFM) and cross-section transmission electron microscopy(TEM). Three samples with different Sb beam equivalent pressure(BEP) of 0, 1.8×10^{-8} and 6×10^{-8} torr are grown by molecular beam epitaxy(MBE). With increasing Sb beam flux, the room-temperature emission from the InAs QDs is blue shifted from 1323nm to 1295nm and the emission intensity is reduced. This indicates a reduction of dot size as Sb beam flux is increased. With increasing Sb beam flux, we find an increase of the ratio of the PL intensity of excited state/ground state from 1.06 to 7.057, suggesting an easy fill up of the ground state for the sample with high Sb content. This result shows that increasing Sb beam flux reduces the QDs density. This is consistent with atomic force microscope results that show a marked reduction in the dot density from $3.5 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ to less than $1.0 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$. In addition. The C-V

profiles display two well-separated sharp peaks that are originated from the ground and excited states of the QDs, respectively , suggesting an improved uniformity and decreased dot density.

The addition of Sb can retard the 3D growth mode and expand the critical thickness of the growth mode from 2D to 3D. The results here show a reduction two orders of magnitude in the dot density; a decreased dot size and improved uniformity. This technique is effective in reducing the dot density and is useful for the study of the properties of a single quantum dot.



目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
目錄.....	V
圖表目錄.....	VII
第一章 緒論.....	1
1.1 InAs/GaAs 量子點材料介紹.....	1
1.2 Dots in Well(DWELL)結構介紹.....	2
1.3 研究動機.....	3
1.4 論文架構.....	3
第二章 樣品製備與量測系統簡介.....	4
2.1 樣品製備.....	4
2.2 電極的製作.....	5
2.2-1 蕭基接面的製作.....	5
2.2-2 歐姆接面的製作.....	6
2.3 量測系統簡介.....	7
2.3-1 光性量測系統.....	7
2.3-2 電性量測系統.....	9
2.3-3 AFM 量測系統.....	10
2.3-3-1 掃描探針顯微鏡(SPM)歷史發展	10
2.3-3-2 原子力顯微鏡(AFM)工作原理	10
2.3-3-3 凡得瓦力(Vander Waals Force)	10
2.3-3-4 原子力顯微鏡工作模式.....	11
第三章 光性量測結果與分析.....	17
3.1 三片樣品室溫及低溫比較	17
3.2 三片樣品定功率(0.13mW)變溫 PL 圖.....	18
3.3 三片樣品室溫 300K 及低溫 25K 變功率 PL 圖.....	20
3.3-1 室溫 300K 變功率 PL 圖.....	20

3.3-2 低溫 25K 變功率 PL 圖.....	21
第四章 電量測結果與分析.....	24
4.1 電流-電壓(I-V)量測與分析.....	24
4.2 電容-電壓(C-V)量測與分析.....	25
4.2-1 C-V 量測的基礎理論.....	25
4.2-2 C-V 量測結果與分析.....	27
第五章 AFM 和 TEM 量測結果與分析	31
第六章 結論	34
參考文獻	36



圖表目錄

圖 2-1 樣品結構圖	13
圖 2-2 樣品能帶圖	14
圖 2-3 PL 量測系統架設圖	15
圖 2.4 (a)AFM 懸臂樑及針頭 TEM 圖	16
圖 2.4 (b)凡得瓦力與距離的關係圖	16
圖 2.4 (c)AFM 示意圖	16
圖 3-1(a) 三片樣品之室溫 PL 圖	39
圖 3-1(b) 三片樣品之低溫(30K)PL 圖	39
圖 3-2(a) RT34(Sb=0)之變溫 PL 圖	40
圖 3-2(b) RT35(Sb=少)之變溫 PL 圖	40
圖 3-3(a) RT37(Sb=多)之變溫 PL 圖(小功率)	41
圖 3-3(b) RT37(Sb=多)之變溫 PL 圖(大功率)	41
圖 3-4 三片樣品之峰值位置對溫度變化圖	42
圖 3-5(a) 三片樣品之基態放射能量對溫度變化圖	43
圖 3-5(b) 三片樣品之第一激發態放射能量對溫度變化圖	43
圖 3-6 三片樣品之積分強度對溫度倒數變化圖	44
圖 3-7(a) RT34(Sb=0)室溫 300K 變功率 PL 圖	45
圖 3-7(b) RT35(Sb=少)室溫 300K 變功率 PL 圖	45
圖 3-8(a) RT37(Sb=多)室溫 300K 變功率 PL 圖(小功率)	46
圖 3-8(b) RT37(Sb=多)室溫 300K 變功率 PL 圖(大功率)	46
圖 3-9(a) RT34(Sb=0)低溫 25K 變功率 PL 圖	47
圖 3-9(b) RT35(Sb=少)低溫 25K 變功率 PL 圖	47
圖 3-10 RT37(Sb=多)低溫 25K 變功率 PL 圖	48

圖 3-11	三片樣品在室溫變功率之擬合圖	49
圖 3-12	三片樣品在低溫 25K 變功率的擬合圖	50
圖 4-1	三片樣品之室溫正反向電流-電壓特性圖	51
圖 4-2(a)	三片樣品之室溫(10KHz)電容-電壓特性圖	52
圖 4-2 (b)	三片樣品之室溫(10KHz)縱深分佈特性圖	52
圖 4-3(a)	三片樣品之低溫 83K(3KHz)電容-電壓特性圖	53
圖 4-3(b)	三片樣品之低溫 83K(3KHz)縱深分佈特性圖	53
圖 4-4(a)	RT34(Sb=0)室溫變頻縱深分佈特性圖	54
圖 4-4(b)	RT35(Sb=少)室溫變頻縱深分佈特性圖	54
圖 4-5(a)	RT37(Sb=多)室溫變頻電容-電壓特性圖	55
圖 4-5(b)	RT37(Sb=多)室溫變頻縱深分佈特性圖	55
圖 4-6(a)	RT34(Sb=0)低溫 83K 變頻電容-電壓特性圖	56
圖 4-6(b)	RT34(Sb=0)低溫 83K 變頻縱深分佈特性圖	56
圖 4-7(a)	RT35(Sb=少)低溫 83K 變頻電容-電壓特性圖	57
圖 4-7(b)	RT35(Sb=少)低溫 83K 變頻縱深分佈特性圖	57
圖 4-8(a)	RT37(Sb=多)低溫 83K 變頻電容-電壓特性圖	58
圖 4-8(b)	RT37(Sb=多)低溫 83K 變頻縱深分佈特性圖	58
圖 4-9(a)	RT34(Sb=0)低頻 5KHz 變溫電容-電壓特性圖	59
圖 4-9(b)	RT34(Sb=0)低頻 5KHz 變溫縱深分佈特性圖	59
圖 4-10(a)	RT35(Sb=少)低頻 5KHz 變溫電容-電壓特性圖	60
圖 4-10(b)	RT35(Sb=少)低頻 5KHz 變溫縱深分佈特性圖	60
圖 4-11(a)	RT37(Sb=多)低頻 5KHz 變溫電容-電壓特性圖	61
圖 4-11(b)	RT37(Sb=多)低頻 5KHz 變溫縱深分佈特性圖	61
圖 4-12	三片樣品在低溫低頻縱深分佈的擬合圖	62

圖 4-13 RT37(Sb=多)低溫 83K 變頻縱深分佈特性圖	63
圖 4-14 RT37(Sb=多)低溫 90K 變頻縱深分佈特性圖	64
圖 4-15 RT37(Sb=多)低溫 100K 變頻縱深分佈特性圖	65
圖 4-16 RT37(Sb=多)低溫 120K 變頻縱深分佈特性圖	66
圖 4-17 RT37(Sb=多)低溫 83K 之濃度與頻率關係圖	67
圖 5-1 InAsSb(6)樣品之 SIMS 縱深曲線分析圖	68
圖 5-2 三片樣品之 AFM 平面圖與立體圖	69
圖 5-3(a) InAs 樣品之 AFM 剖面分析圖	70
圖 5-3(b) InAsSb(1.8)樣品之 AFM 剖面分析圖	71
圖 5-4 InAsSb(6)樣品不同尺寸掃描下之 AFM 圖	72
圖 5-5 InAsSb(6)樣品之 AFM 剖面分析圖	73
圖 5-6 InAsSb(6)樣品之 AFM 剖面分析圖	74
圖 5-7 InAsSb(6)樣品之 TEM 剖面分析圖	75
圖 5-8 InAsSb(6)樣品之 RHEED patterns	76
表 1-1 樣品的長晶條件表	5
表 3-1 三片樣品 E. s. 及 G. s. 峰值位址比較表	18
表 3-2 300K(E./G.)強度的比值	22
表 3-3 25K(E./G.)強度的比值	22
表 4-1 三片樣品之 I-V 特性比較表	25
表 4-2 三片樣品經 C-V 曲線求得之參數表	27
表 4-3 三片樣品經 Gaussian 擬合後參數比較表	29
表 5-1 三片樣品之 quantum dots 數量比較表	32