



臺灣大學

國立台灣大學 光電工程學研究所 博士班五年級 吳仲倫  
指導教授：林恭如 博士

### 矽量子點於光電元件之應用與研究

#### Si quantum dots based optoelectronics devices

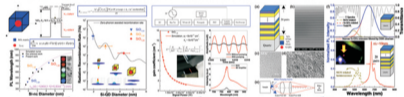


#### 研究重點

為促進晶片上光互連技術(Optical Interconnection)之研發，發展矽基光源為一重要且具潛力之研究。但矽基材料為非直接能隙材料，導致其發光效率不佳。為了克服這項困難，我們在矽基材料(富矽氧化矽)中嵌入矽量子點，在矽量子點直徑小於 5 nm 的情況下，能藉由矽量子點產生之量子局限效應放大矽基材料的能隙，並產生一近似直接能隙之矽基材料而增強其在可見光波段之發光效率。本研究工作主要為進行光耦合矽基晶片光互連技術所需光源與被動元件之開發與設計，包括以矽量子點與矽基材料之光源開發、光波導光放大器元件、全光波導調變器元件應用之研究。

#### 研究成果

我們利用了量子局限效應與普魯賓金定律估算出量子點尺寸，能與大小與量子點間的關係(如圖一所示)，並且將矽量子點與矽基材料矽層製成光波導元件。利用矽量子點於可見光波段發光的特性製備出可見光波段的波導放大器。圖二為小訊號注入矽量子點波導放大器的實驗系統圖與實驗結果。透過量子速率方程的模擬，我們發現了增益飽和的現象，並定量的模擬實驗結果。然而此種材料之發光波長與矽量子點尺寸相關，但由於我們是利用化學氣相沉積法與熱氧化製程技術進行材料之製備，因此不容易成長出具單一尺寸之矽量子點。這樣的情況將導致材料之發光頻寬具有不小之線寬(大約為150-200 nm)。我們以Distributed Bragg Reflector (DBR)結構壓縮矽基材料之發光線寬，不同於大部份研究團隊使用DBR結構作為一維布拉格結構之兩端反射鏡，我們將矽基材料與DBR結構結合在一起。只需製作一多層DBR發光結構(富矽氧化矽/富矽化矽/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)，利用結構本身自我選波的效果，可將原本具 150nm 光譜線寬之矽基材料壓縮至 10 nm(如圖二所示)。

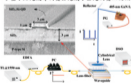


圖一

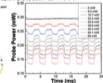
圖二

圖三

矽量子點雖然在可見光波段能提供些許的增益，但其材料特性與三五族半導體相比，提供光增益能力還是略遜一籌。這是由於自由載子吸收的特性使然。在這裏高增益的同時，透過不斷的增加發射功率，然而自由載子吸收也會增強，進而抑制增益能力，此為在光功率放大探測上遇到的一大瓶頸。不過就是利用該特性，近期我們發展了矽量子點於光通訊波段之光波導調變器。圖四為矽量子點波導調變器元件示意圖以及量測系統圖。我們使用405-nm GaN雷射二極體當作激發源，去激發矽量子點波導結構，根據激發雷射之調變訊號強弱，矽量子點內自由載子濃度也隨時間而改變。此時，打入一波長為1550 nm之非調變訊號光，由於自由載子濃度被405-nm雷射激發源所調變，使得波導內產生一個隨激發雷射脈衝調變的自由載子吸收特性，因此對注入之1550 nm訊號光達到調變的效果。圖五為在不同雷射激發功率下，訊號光被調變的結果圖。透過量子速率方程模擬後，我們可以得到矽量子點的自由載子吸收面積(如圖六所示)。最後，我們實際構造了一個具有碼格式的信號，並且成功利用矽量子點波導調變器完成了全光調變以及訊號格式的轉換(如圖七所示)。



圖四



圖五



圖六



圖七

#### 研究生活及心得

在研究所的這些年，非常感謝我的指導教授非常有耐心以及細心的指導我，讓我能夠面對研究瓶頸時，可以一步一步穩健的解決困難。因此累積了許多豐富的研究成果。最後感謝中技社提供我獎學金，這份獎學金不僅僅是金錢上的資助，而是對於一個研究工作者所付出的時間、心血做了最正向的支持。