



材料工程系專題製作成果報告

題目：超晶格薄膜之 XRR 檢測技術及電子能隙研究
 學生：程柏叡
 指導教授：盧榮宏 博士

簡介

本研究利用反應式濺鍍法製備周期性量子井薄膜，進行電子能隙工程探討。我們藉由 FE-SEM 觀察薄膜周期性層狀的排列，並經由 X 光反射(X-Ray Reflection XRR)檢測技術分析量子井結構的周期厚度。藉由 MatLab 軟體對 Kronig-Penney 模型加上介面模糊寬度理論計算，探討不同量子井寬度其能帶分佈的情形，及 UV-Vis 與 FTIR 的光學量測，分別探討能帶及子能帶躍遷吸收的現象。

儀器設備

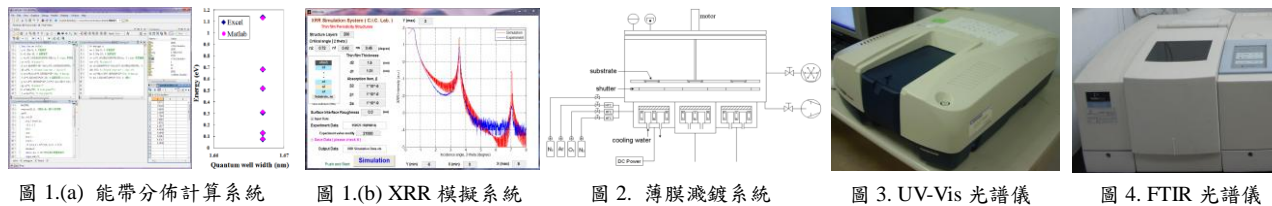


圖 1.(a) 能帶分佈計算系統

圖 1.(b) XRR 模擬系統

圖 2. 薄膜濺鍍系統

圖 3. UV-Vis 光譜儀

圖 4. FTIR 光譜儀

XRR 檢測技術

(I) 理論架構

多光束干涉-遞歸法

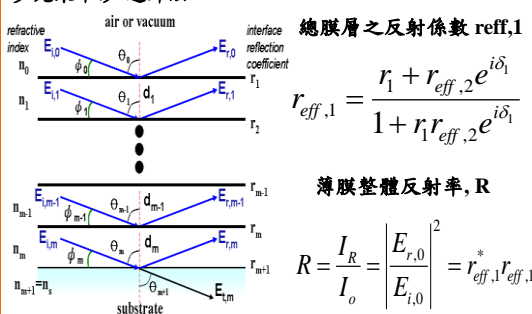


圖 5. 複層結構的樣品示意圖，基板上有多層薄膜，每層薄膜皆標示出電磁波入射角 θ 、材料折射率 n 、薄膜厚度 d 、介面的反射係數 r

(II) XRR 厚度分析與 FE-SEM 比較

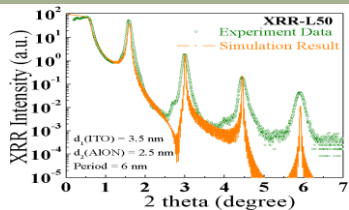
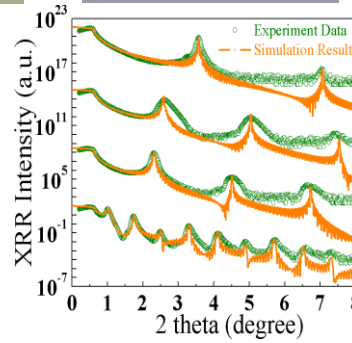


圖 6. XRR 周期厚度分析



圖 7. FE-SEM 平均周期厚度

(III) 周期厚度分析



Sample	井寬 (nm)	周期厚度 (nm)
L100	1.5	2.51
L73	2.2	3.53
L61	2.15	3.95
L25	7.15	10.9

電子能隙研究

(I) 理論架構

Modified Kronig-Penney 模型

$$\frac{\gamma^2 - \alpha^2}{2\alpha\gamma} \sinh(\gamma b) \sin(\alpha a) + \cosh(\gamma b) \cos(\alpha a) = \cos k(a+b)$$

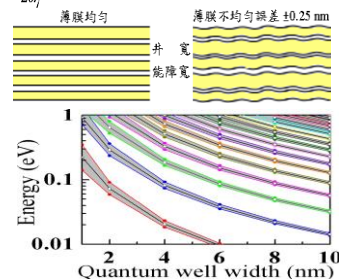


圖 8. 不同量子井寬度，穿透率變化

(II) 能帶躍遷實驗

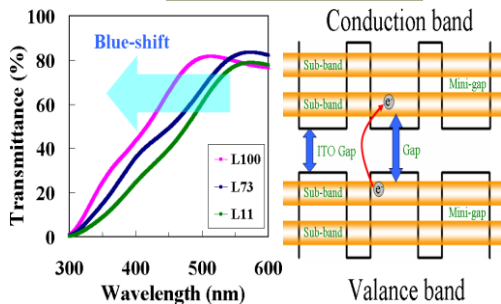
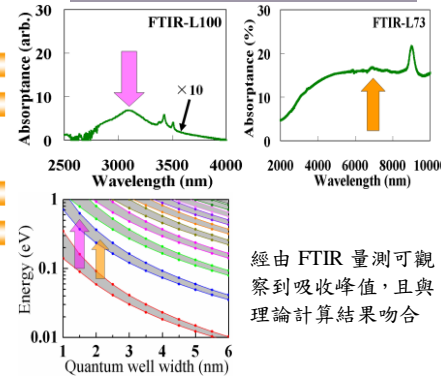


圖 9. 能帶躍遷示意圖

(III) 子能帶躍遷吸收實驗



經由 FTIR 量測可觀察到吸收峰值，且與理論計算結果吻合

結論

- 一、利用實驗室自行開發之 XRR 檢測技術分析層狀之奈米結構材料，分析結果與 FE-SEM 比對相吻合，且此法為非破壞性檢測並具有次奈米級的解析度，可應用於線上奈米薄膜製程之品質管理。
- 二、本實驗利用 MatLab 軟體理論計算不同量子井寬度其能帶分佈的情形，計算結果顯示隨量子井寬度縮小，電子躍遷所需之能量增加。
- 三、藉由 UV-Vis 與 FTIR 的光學量測與理論計算比對，可指出在可見光波長下能帶躍遷的藍位移現象，以及紅外線波長下，井寬為 1.5 nm 及 2.2 nm 之樣品在波長分別為 3200 nm ($E_g=0.39\text{eV}$) 與 7000 nm ($E_g=0.18\text{eV}$) 時具有子能帶躍遷的吸收現象。