

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

氧化光瞳面射型雷射之光性研究

計畫類別： ˘ 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 90-2215-E-009-118

執行期間：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

計畫主持人：顏順通

共同主持人：

計畫參與人員：蔣華龍、蔡子健、楊呈尉

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：

中 華 民 國 91 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

氧化光瞳面射型雷射之光性研究

Preparation of NSC Project Reports

計畫編號：NSC 90-2215-E-009-118

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：顏順通 國立交通大學電子研究所

計畫參與人員：蔣華龍、蔡子健、楊呈尉 國立交通大學電子研究所

一、中文摘要

針對 650 nm 面射型雷射，由我們的理論模型發現，量子井成長方向為[110]，會造成其 TE 模增益頻譜有最大非等向性 1.2 的增益性質

關鍵詞：

Abstract

The anisotropy of optical gain in mis-orientated QWs has been theoretically studied for 650-nm VCSELs. It is found that the [110] QWs can give a stable polarization of radiation with an anisotropy of 1.2 for TE mode gain.

Keywords:

二、目的

近年來，650 nm 短波長量子井雷射光源已經廣泛地應用在光資訊上。我們針對量子井的應變、井寬、組成材料、成長方向及電子電洞濃度，來模擬雷射的最佳化結構。尤其在光增益特性方面，發現只有在[001]與[111]方向成長的量子井，其 TE 模的光增益為等向性；其他方向成長的量子井，其光增益為非等向性。此特性可以用來穩定雷射光偏極化的方向，可以應用於磁光碟機 (Magneto-Optical Disk Drive) 雷射讀取頭的製作。

三、能帶結構與動量矩陣元素

對於半導體在 Γ 點 ($k = 0$) 附近的能帶分布問題，我們考慮了 Luttinger Hamiltonian [1] 與 Bir-Pikus Hamiltonian

[2]。Luttinger Hamiltonian [1] 著重於輕電洞帶 (light-hole band, LH band) 與重電洞帶 (heavy-hole band, HH band) 間的交互作用，而 Bir-Pikus Hamiltonian [2] 是加入的應變 (strain) 的影響。

這裡，我們以發光波長為 650 nm 的材料 $[\text{Ga}_y\text{In}_{1-y}\text{P}/(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}]$ 作模擬。

首先找出選定方向成長之量子井的全部 Hamiltonian，然後選擇一組基底函數 [3]，即得此方向成長的量子井偏極化為 TE 模與 TM 模的動量矩陣元素。動量矩陣元素的定義為：

$$\mathbf{M}_{nm}^{\eta}(k_1, k_2) \equiv \langle \Psi_{m, k_1, k_2}^v | \mathbf{p} | \Phi_{n, k_1, k_2}^{c, \eta} \rangle \quad (1)$$

Ψ 為電子在價帶的波函數， Φ 為電子在傳導帶的波函數， m 指第 m 條價帶， n 指第 n 條傳導帶， η 表示自旋 \uparrow 或 \downarrow 。

在圖一中，我們把動量矩陣元素平方並作規一，可比較量子井在受應變或無應變的情況下，其動量矩陣元素隨著 k_1 變化的情形。在這裡值得注意的是圖一 (a) 的 C1-HH1(TE) (傳導帶與重電洞帶間的 transition) 曲線及 (b) 的 C1-LH1(TM) (傳導帶與輕電洞帶間的 transition) 曲線，它們是影響增益的主因。因為在計算增益時，我們是基於 Fermi's golden rule [4,5] 以及考慮了能帶上的狀態密度 (density of states)。造成在壓縮應變及無應變的情形下，TE 模的增益會大於 TM 模的增益；在張力應變的情形下，結果剛好相反。

我們定義 μ 為在任意方向成長的量子井中，偏極化為 TE 模在 Γ 點的動量矩陣元素平方的最大值與最小值的比值。由圖二可知，只有 [001] 和 [111] 方向的 TE 模動量矩陣元素平方的大小比值為 1，所以只有在 [001] 和 [111] 方向成長的量子井，在平行量

子井的方向上具有等向性 (isotropy)。對於在[110]方向成長的量子井其比值為 1.2, 以[110]方向成長之量子井的 TE 模動量矩陣元素 (對 C1-HH1 的 transition) 作成的極座標圖 (圖三) 是一個橢圓, 有非等向性 (anisotropy)。

利用 Fermi's golden rule [4,5], 考慮了能隙縮減效應與 Lorentzian lineshape, 得到增益頻譜; 再計算自發放射率以及輻射電流密度 [4]。在這裡我們只考慮在量子井中被量化的能帶部分, 不考慮量子井外沒有電子被侷限之能帶對增益頻譜的影響。

由圖四可得, 在壓縮應變及無應變的情形下, TE 模的增益會大於 TM 模的增益, 且壓縮應變相對於無應變, 壓縮應變的 TE 模增益頻譜有增大的趨勢, 而 TM 模增益頻譜相對減小; 在張力應變的情形下, TM 模的增益會大於 TE 模的增益, 原因即 TE 模與 TM 模的 C1-HH1 與 C1-LH1 的 transition 曲線, 因為它們是影響增益曲線的主因。

波長的變化主要受到能帶填滿效應 (band filling effect) 的影響。由圖五可知無應變的量子井結構其最大增益所對應到波長在 650 nm 附近。

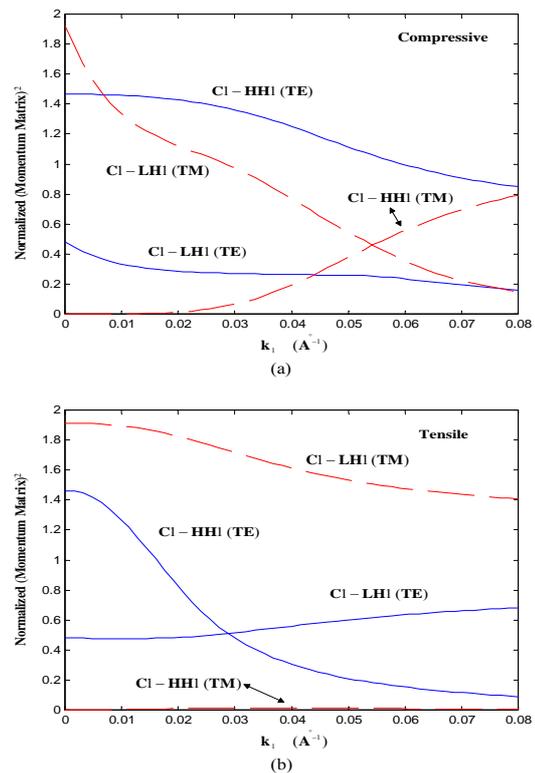
四、結論

在本研究中, 我們發現許多重要的結果, 尤其是改變量子井的成長方向會造成其 TE 模增益頻譜有非等向性的性質。其中在[111]方向系列中, [110]方向成長的量子井有最大的非等向性, 以及無應變的量子井結構其最大增益所對應到波長在 650 nm 附近。這對於需要特別偏極化方向的雷射應用 (如: 磁光碟機雷射讀取頭的設計) 有很大的幫助。

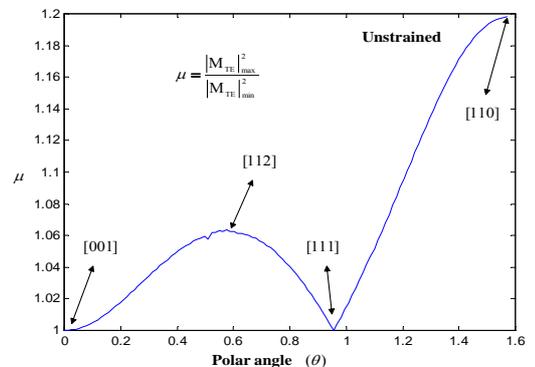
五、文獻

[1] J.M. Luttinger, Phys. Rev. 102, 1030(1956).
 [2] G.L. Bir and G.E. Pikus, *Symmetry and Strain-Induced Effects in Semiconductors* (Wiley, New York, 1974), p.331.

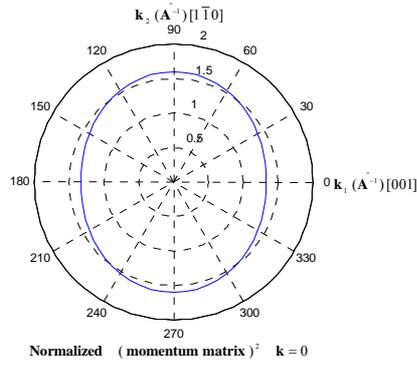
[3] E.O. Kane, *Semiconductor and Semimetal*, Vol. 1, edited by R.K. Wilardson and A.C. Beer (Academic, New York, 1966), p.75.
 [4] S.L. Chuang, *Physics of Optoelectronic Devices* (Wiley, New York, 1995).
 [5] A. Yariv, *Quantum Electronics*, 3rd ed. (Wiley, New York, 1989).



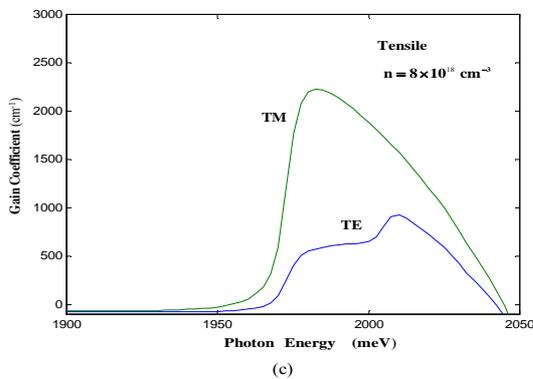
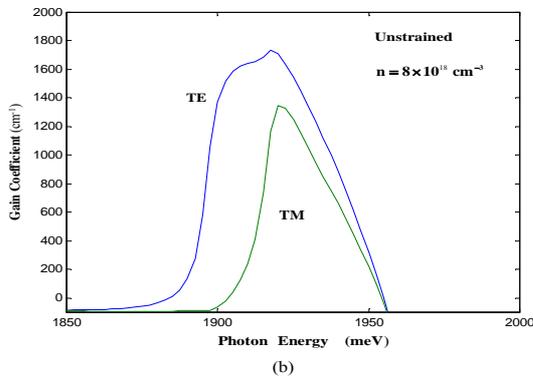
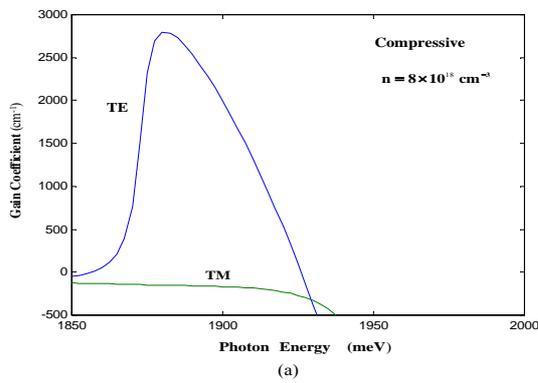
圖一 成長在 [001] 方向的量子井 $\text{Ga}_y\text{In}_{1-y}\text{P}/(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 在兩個不同應變下的動量矩陣元素平方, 包含 TE 模與 TM 模的 C1-HH1 與 C1-LH1 的 transition。(a) $y = 0.4$, 量子井寬 40 Å (b) $y = 0.6$, 量子井寬 80 Å。



圖二 對於成長在[111]方向基板的無應變量子井, 針對 C1-HH1 的 TE 模動量矩陣元素的比值 μ 作圖。

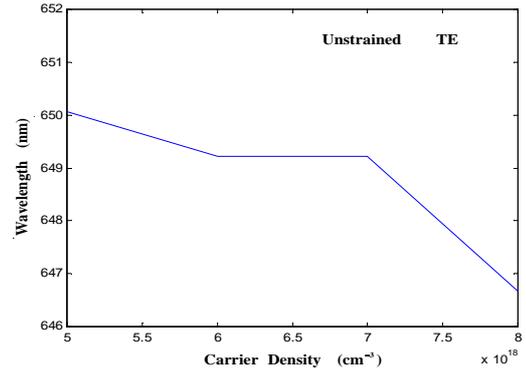


圖三 對於成長在[110]方向基板的無應變量子井，針對 C1-HH1 的 TE 模動量矩陣元素的極座標圖。



圖四 成長在 [001] 方向的量子井 $\text{Ga}_y\text{In}_{1-y}\text{P}/(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 在三個不同應變下的增益頻譜，其載子濃度為 $n = 8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。(a) $y = 0.4$ ，量子井寬 40 \AA (b) $y = 0.5$ ，量子井寬 60 \AA (c) $y = 0.6$ ，

量子井寬 80 \AA 。



圖五 成長在 [001] 方向的量子井 $\text{Ga}_y\text{In}_{1-y}\text{P}/(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 在無應變下的載子濃度對應於增益頻譜的最大值之波長特性。 $y = 0.5$ ，量子井寬 60 \AA