

藉由氧化層退火來改善 AlGaInP 雷射二極體的電特性

黃俊達 林朝陽

大葉大學電機工程學系

彰化縣大村鄉山腳路 112 號

摘 要

本篇論文主要是利用爐管將二氧化矽退火，使得二氧化矽的緻密性更高，來改善 AlGaInP 雷射二極體特性並探討氧化層退火溫度對元件的影響。本實驗是在爐管中通入氮氣退火二氧化矽，並改變退火溫度在 300 ~450 之間以探討最佳的退火條件。本實驗得知隨著氧化層退火溫度的上升，起振電流跟著降低，由未經退火的 32.82mA 降至 450 退火的 24.83mA，而斜率效率也由未經退火的 0.57W/A 上升到 300 退火的 0.8W/A；所以可見藉由氧化層退火可有效的降低起振電流與增加斜率效率。除此之外，我們並改變工作溫度來探討 AlGaInP 雷射二極體的溫度穩定性，得到本元件可在 90 正常操作且代表溫度穩定性的特性溫度 T_0 從未經退火的 110.9K 上升到 450 退火的 116.6K，可知氧化層退火溫度的上升所得到的元件溫度穩定度較高。而就目前所知本論文是首先利用二氧化矽退火來改善 AlGaInP 雷射二極體的電特性。

關鍵詞：AlGaInP 雷射二極體，起振電流，斜率效率，特性溫度

Improving the Electrical Characteristics of AlGaInP Laser Diode by Oxide Annealing

JUN-DAR HWANG and CHAO-YANG LIN

Department of Electrical Engineering, Da-Yeh University

112 Shan-Jiau Rd., Da-Tsuen, Changhua, Taiwan

ABSTRACT

In this thesis, the silicon dioxide is annealed by furnace so that the density of silicon dioxide is raised and improves the performance of the AlGaInP laser diode. In addition, we also investigate the dependence of annealing temperature on devices. In this study, nitrogen gas is introduced to anneal silicon dioxide and the annealing temperature is changed from 300 to 450 to find the optimum annealing condition. From our study, the threshold current I_{th} is reduced by increasing the annealing temperature; I_{th} is 32.82mA and 24.83mA at non-annealed and 450 annealed sample, respectively. The slope efficiency is also increased from a non-annealed sample of 0.57W/A to 300 annealed sample of 0.8W/A. Thus, the oxide annealing effectively reduces the threshold current and increases the slope efficiency. Furthermore, we change the operation temperature to investigate the temperature stability of AlGaInP laser diode; this device can normally operate at 90 and the characteristic temperature T_0 is increased from 110.9K for non-annealed sample to 116.6K for 450



annealed sample. Thus, the high temperature annealed sample exhibits high stability for temperature. As far as we know, this is the first time the performance of AlGaInP laser diode is improved by oxide annealing.

Key Words: AlGaInP laser diode, threshold current, slope efficiency and characteristic temperature

一、前言

磷化鋁鎵銻的紅光雷射二極體因用途廣泛，如雷射列印，條碼掃描和光資料儲存，所以一直是產業界的主力產品。然而在需要一個穩定，且功率達幾十毫瓦的應用上，常使用埋藏型山脊式 (buried ridge) 的波導結構 [1,5-6]，雖然此種結構可得到束縛性良好的高功率紅光雷射二極體，但它的缺點是需要一次或更多次的再成長 (regrowth) 步驟，所以製程繁雜，而且這些二極體有相當高的損失和低量子效率 [2]。

最近有許多機構研究將自然氧化層覆蓋在鋁的 - 族化合物上 [3-4,5]，也得到了不錯的量子效率並降低了起振電流。但目前產業界似乎不感興趣，因為它的缺點：(1) 電與光的束縛採用 AlO_x 的自然氧化層取代傳統的二氧化矽，但 AlO_x 氧化層的品質並沒有真正詳細的被探討且它的可靠性也沒有被完整的測試過 (2) AlO_x 的折射係數介於 1.6~1.8 之間，不像二氧化矽的折射係數 1.46 那麼低所以光的束縛性仍然存疑。(3) AlO_x 自然氧化層的形成是將飽和的水蒸氣在 95 煮沸，再通以氮氣將水蒸氣帶入爐管中在 530 氧化 4 小時，首先它的方式較複雜，且溼氣的氧化速率慢故需長時間 (4 小時) 的氧化，所以對產業界而言，產出量太慢。

因 AlO_x 自然氧化層的不確定性仍然相當高，無法量產，所以我們就尋找在既有的製程上作改良；由雷射二極體的諸多研究都証實要改良它的電與光的束縛特性，都必須由氧化層的品質加以改良 [4]。所以本論文仍採用目前最受大家肯定，並一直用在 - 族化合物上的電漿化學氣相沉積氧化層 (PECVD SiO_2)，此氧化層是在電漿化學氣相沉積系統通入 SiH_4 與 O_2 兩種氣體在 100 下成長二氧化矽，因目前產業界對此二氧化矽的光罩圖形 (pattern) 並不採用溼蝕刻，而是利用浮離 (lift-off) 的方法，所以是先上光阻再成長 SiO_2 ，此時以 PECVD 系統成長的 SiO_2 就不能超過 150 否則光阻無法去除，所以 SiO_2 的成長溫度才會在 100，而在 SiO_2 浮離之後，並沒有再做退火，祇是在做金屬電極的歐姆接觸時才做退火。而本論文在 SiO_2 浮離之後以爐管

(furnace) 來將 SiO_2 退火，使得 SiO_2 的緻密性更高而增加電與光的束縛性並得到低的起振電流 (threshold current)，高的斜率效率 (slope efficiency) 與量子效率 (quantum efficiency)，而且代表溫度穩定度的特性溫度 T_0 (characteristic temperature) 也明顯增高。

二、元件製程與量測

本實驗的磊晶片是使用有機金屬化學氣相沉積系統 (MOCVD) 於 n 型的砷化鎵 (GaAs) 基板上先成長 n-GaAs 的緩衝層約 $0.8\mu\text{m}$ ，然後成長 n- $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 的覆蓋層 (cladding layer) $1.2\mu\text{m}$ 及未摻雜濃度的 AlGaInP/InGaP 量子井 (quantum well)，障壁層 (barrier layer) AlGaInP 與井層 (well layer) InGaP 分別為 50Å 與 40Å ；上面再長 p- $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{InP}$ 的覆蓋層 $1.5\mu\text{m}$ ，最後再成長高濃度的 p-GaAs 5000Å 當作歐姆接觸層。再於 AlGaInP 的磊晶片上以 PECVD 系統低溫成長二氧化矽，並在二氧化矽絕緣層上定義出雷射二極體的山脊 (ridge) 寬度約 $4\mu\text{m}$ ，然後蝕刻至 p-AlGaInP 覆蓋層，因為 ridge 上還有光阻保護 p-GaAs 層，所以成長二氧化矽時溫度要低於 150 來浮離 (lift-off) ridge 上面的光阻和二氧化矽層裸露出 p-GaAs 層當作歐姆接觸。如前所述，為改進 AlGaInP 雷射二極體的特性，我們以爐管來將二氧化矽退火，並改變退火溫度從 300 到 450，退火時間 30 秒以探討最佳的退火條件；最後再以濺鍍系統 (sputtering) 分別鍍上金屬 Ti/Pt/Au 與 AuGe/Au 形成 p 型與背面 n 型的歐姆電極，再以快速熱退火 (RTA) 450，15 秒以降低歐姆接觸電阻，圖 1 為元件的結構圖。

本論文製造完成的 AlGaInP 雷射二極體的共振腔長度 (cavity length) 與元件寬度 (stripe width) 分別為 350 與 $300\mu\text{m}$ ，我們量測這個元件的光輸出功率與電流的關係 (L-I 特性)、起振電流、斜率效率和量子效率，並改變工作溫度探討它對溫度的變化，計算特性溫度以比較它們的溫度穩定度。雷射二極體的特性溫度 T_0 值愈高，代表這個元件的溫度穩定性愈佳，其定義如下：



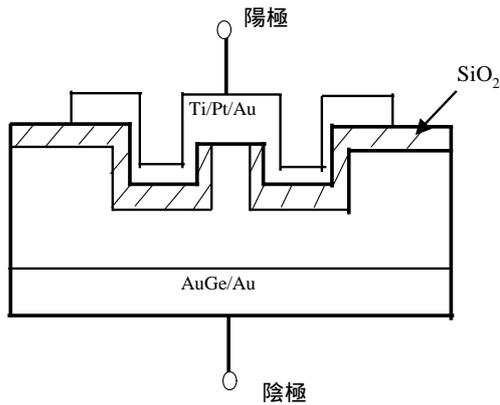


圖 1. AlGaInP 雷射二極體的結構圖

$$T_0 = \frac{1}{d \ln(I_{th}) / dT} \quad (1)$$

三、結果與討論

圖 2 是氧化層經過不同退火溫度後 AlGaInP 雷射二極體的光輸出功率對電流的特性，為方便比較，氧化層未經退火的特性亦顯示於圖中，由圖中可知隨著退火溫度的上升，曲線跟著往左移；為比較它們的起振電流與斜率效率的關係，我們將它們顯示在圖 3 中，由圖中可知隨著退火溫度的上升，起振電流跟著降低，由未經退火的 32.82mA 降至 450 退火的 24.83mA，所以可見藉由氧化層退火可有效的降低起振電流；而斜率效率也由未經退火的 0.57W/A 上升到 300 退火的 0.8W/A，而當退火溫度改變時，斜率效率值雖有些降低，但幾乎不受影響，約在 0.74-0.8W/A 之間。量子效率的關係則在圖 4 表示，未經退火的量子效率為 54.4%，300 退火的為 76.3%，而當退火溫度改變時，量子效率值雖有些降低，但亦幾乎不受影響。為了瞭解工作溫度上升對本雷射二極體的影響，我們亦作了加溫測試，經 450 退火的光功率輸出對電流的特性曲線示於圖 5，隨著工作溫度的上升，它們的起振電流會增加；而元件對於溫度的穩定度以特性溫度 T_0 來表示，它們的關係亦可從圖 4 得知，特性溫度 T_0 從未經退火的 110.9K 上升到 450 退火的 116.6K，可知氧化層退火溫度的上升所得到的元件溫度穩定度較高。

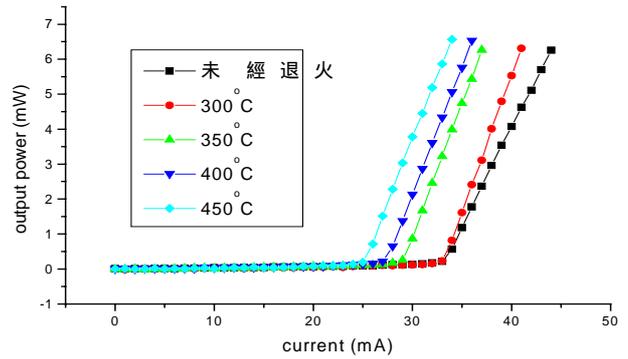


圖 2. 氧化層經過不同退火溫度後光輸出功率對電流的特性

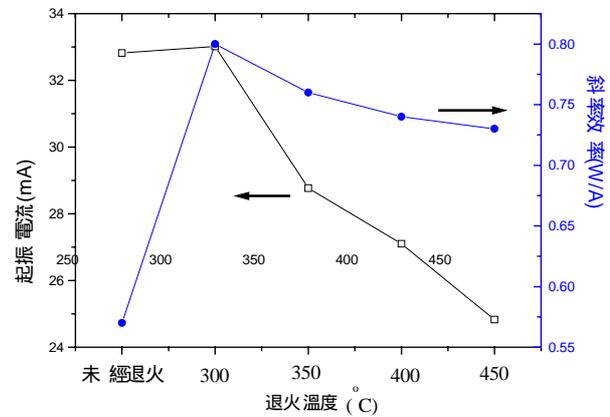


圖 3. 起振電流與斜率效率對退火溫度的關係

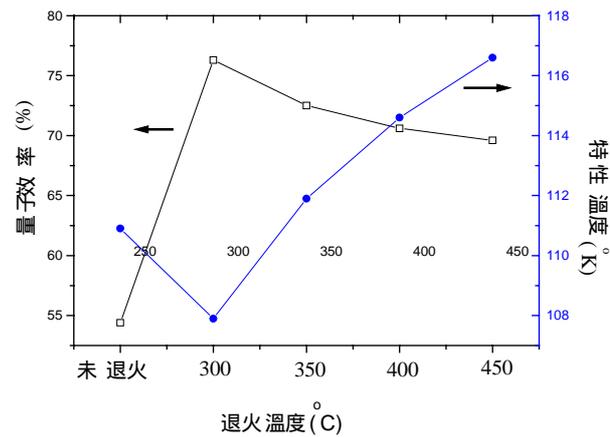


圖 4. 量子效率與特性溫度對退火溫度的關係

四、結論

本論文利用爐管對電漿化學氣相沉積系統 (PECVD) 所成長的二氧化矽層作退火，實驗顯示隨著退火溫度的上升，起振電流跟著降低，而且元件的斜率效率與量子效率跟



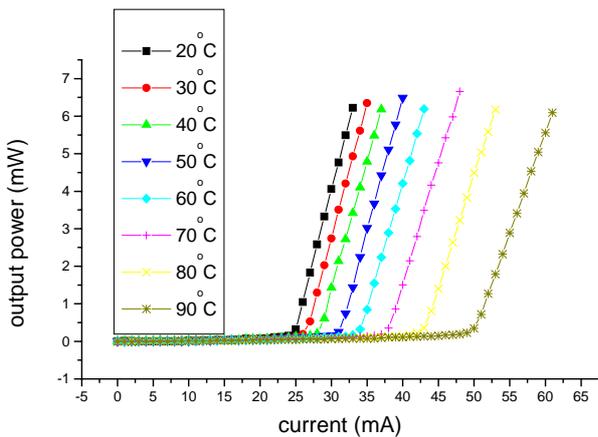


圖 5.450 退火加溫測試的光功率輸出對電流的特性曲線

著增加；同時代表溫度穩定度的特性溫度 T_0 也隨著增加；所以本實驗的二氧化矽層作退火，確實可以使得二氧化矽變得更緻密而增加電與光的束縛特性，因而得到較佳的雷射二極體特性。雖然本實驗只是一個製程上的小改變，所增加的成本極低，但是對於雷射二極體的特性卻得到相當大的改善。

參考文獻

- Ishikawa, M., H. Shiozawa, K. Itaya, G-I. hatakoshi and Y. Uematsu (1991) Temperature dependence of the threshold current for InGaAlP visible laser diodes. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 27(1), 23-29.
- Kim, H.-K., D.-C. Oh, S.-L. Hwang, Y.-D. Bae, K.-H. Suang and J.-J. Jung (1998) High performance AlAs native oxide-confined GaInP/AlGaInP 635 nm laser diode. Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting, CEOS'98. IEEE.
- Kish, F. A., S. J. Caracci, N. Holonyak Jr., S. A. Maranowski, J. M. Dallesasse, R. D. Burnham and S. C. Smith (1991) Visible spectrum native-oxide coupled-stripe $\text{In}_{0.5}(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{P} - \text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ quantum well heterostructure laser arrays. *Applied Physics Letters*, 59(22), 2883-2885.
- Maranowski, S. A., F. A. Kish, S. J. Caracci, N. Holonyak, Jr., J. M. Dallesasse, D. P. Bour and D. W. Treat (1992) Native-oxide defined $\text{In}_{0.5}(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{P}$ quantum well heterostructure window lasers (660nm). *Applied Physics Letters*, 61(14), 1688-1690.
- Watanabe, M., H. Matsuura, N. Shimada and H. Okuda (1995) Optimum tensile-strained multi-quantum-well structure of 630-nm band InGaAlP lasers for high temperature and reliable operation. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 1(2), 712-716.
- Yoshida, L., T. Katsuyama, J. Hashimoto, Y. Taniguchi and H. Hayashi (1992) Room temperature 632.7nm CW operation of AlGaInP strained multi-quantum well lasers grown on (100) GaAs. *Electronics Letters*, 28(7), 628-629.

收件：92.02.17 修正：92.04.10 接受：92.04.18

