

2013 維基夥伴獎學金成果報告

磷化銦高電子遷移率場效電晶體 InP-HEMT

學生：鄭守博

指導老師：張翼、黃國威、陳坤明 老師

交通大學

電物系大四 → 電子所 (固態組)

(9821038)

(0250147)

I 簡介：

高電子遷移率場效電晶體(High electron mobility transistor, HEMT)，其結構為異質結構，亦可參考下面兩張圖範例：

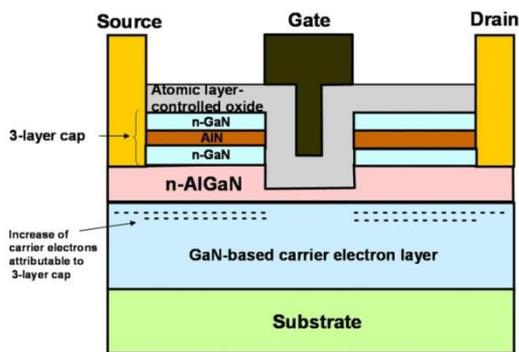


Fig. a GaN-HEMT

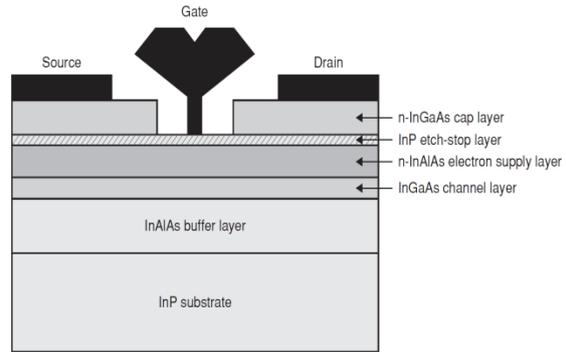


Fig. b InP-HEMT

這種特殊結構擁有：較高的電子遷移率，意味更快的電子傳輸速度、較高的操作電壓、電流密度、崩潰電場、截止電壓…等等；較低的雜訊干擾、能量損耗…等等。主要應用在電流感測、通訊科技、高頻應用…等等。

本篇報告以磷化銦高電子遷移率場效電晶體(InGaAs/InAlAs/InP High Electron Mobility Transistors, InP-HEMT)為主，參考圖 b 其結構由下而上以磷化銦為 substrate 基板，先沉積 500 nm $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ 作為 buffer layer 緩衝層，15 nm $\text{In}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{As}$ 作為 channel layer 通道層，3 nm $\text{In}_{0.40}\text{Al}_{0.60}\text{As}$ 或 $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ 作為 spacer 間隔層，以濃度 $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 矽作為 delta-doping layer 摻雜層，11 nm $\text{In}_{0.40}\text{Al}_{0.60}\text{As}$ 或 $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ Schottky barrier layer，10-20 nm $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 摻雜濃度 1×10^{19} - $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 矽作為 cap layer。以分子束磊晶 MBE 方式沉積，可參考圖 c 其結構以 STEM 影像剖面圖。

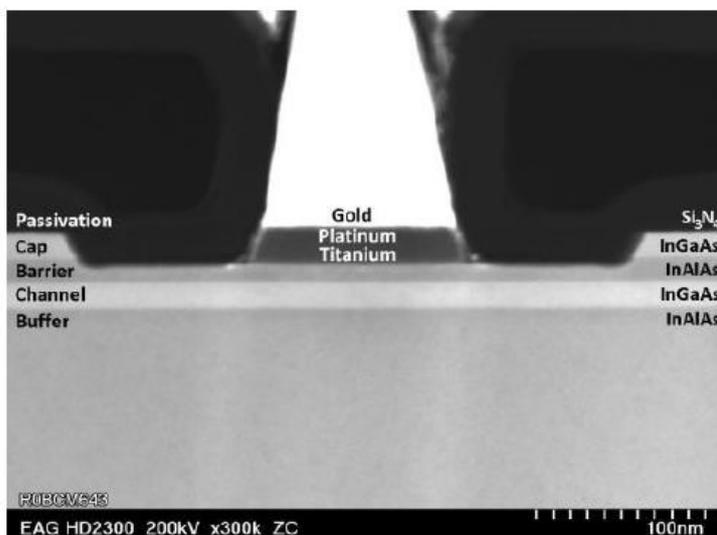


Fig. c Cross sectional STEM image of gate region in a 130 nm InP-HEMT

II 原理簡介：

參考圖 d 由於 InAlAs 和 InGaAs 形成異質結構，因異質結構有不同的費米能階 Fermi-levels 以及因材料產生的極化效應 Polarization effect，在兩種不同材料界面處會產生二維電子氣的位能井(2-dimensional electron gas, 2DEG)。

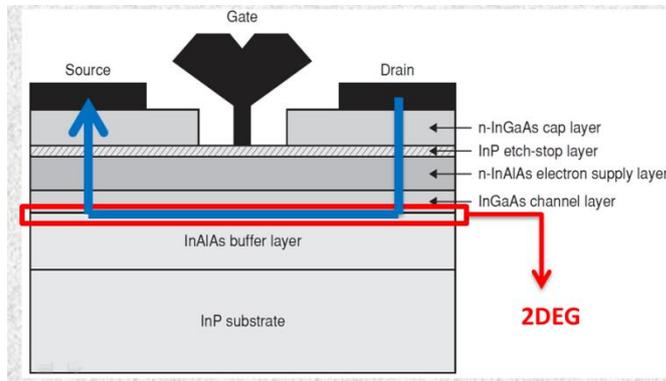


Fig. d InP-HEMT 二維電子氣位能井位置標記及電流方向

藉由在閘極給定不同的電壓可控制位能井的變化，參考圖 e 及圖 f。

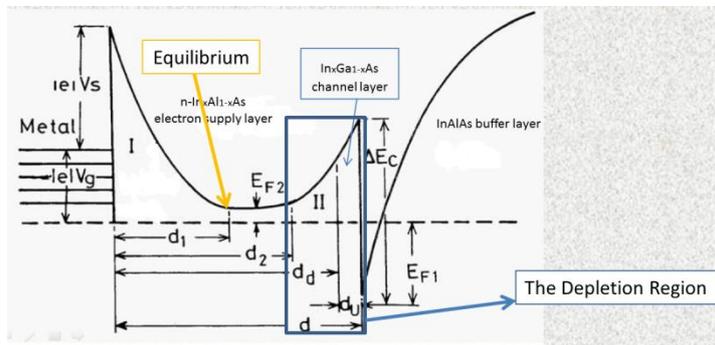


Fig. e InP-HEMT 能帶圖

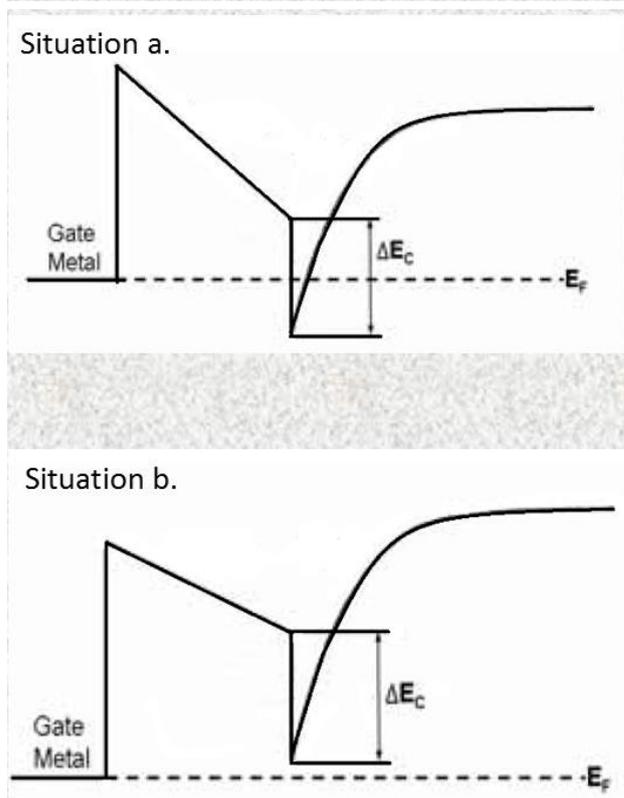


Fig. f 2DEG 位能井變化能帶圖

情況 a.

1. 費米能階高於 2DEG 位能井
2. 電子經由位能井穿隧效應遷移
3. On-State

情況 b.

1. 費米能階低於 2DEG 位能井
2. 電子不能遷移
3. Off-state

III 材料參考分析結果和討論：

量測與比較使用不同的表面鈍化方式(passivation)所得到的 I_D & V_D 和 I_D & V_G ，分別使用 PECVD Si_3N_4 與 ALD Al_2O_3 兩種方式，結果如下圖。

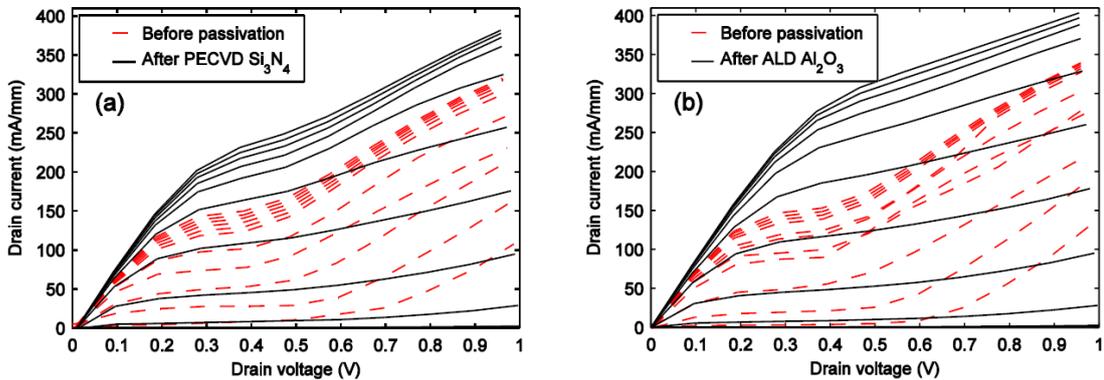


Fig. g I-V characteristics of $2 \times 50 \mu\text{m}$ InP HEMTs before and after passivation. Gate voltage was swept in steps of 0.1 V from -0.4 V (lower curve) to 0.6 V (upper curve)

左邊 PECVD Si_3N_4 右邊 ALD Al_2O_3

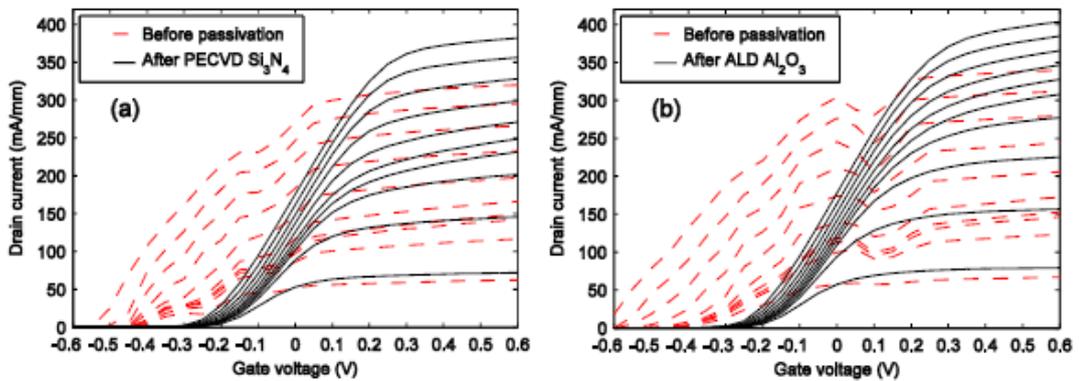


Fig. h Extrinsic transfer characteristics of $2 \times 50 \mu\text{m}$ InP HEMTs before and after passivation. Drain voltage was swept in steps of 0.1 V from 0.1 V (lower curve) to 1 V (upper curve)

左邊 PECVD Si_3N_4 右邊 ALD Al_2O_3

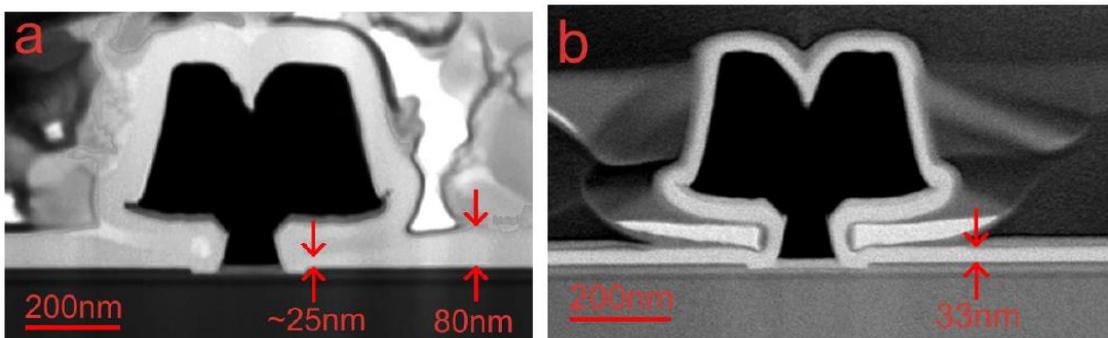


Fig. i TEM image of the Gate region.

左邊 PECVD Si_3N_4 右邊 ALD Al_2O_3

觀察 I_D & V_D 在尚未鈍化前可以從虛線發覺：當電壓變大時，電流會發生扭結效應(Kink effect)，其原理圖解參考圖 j。但經過鈍化改善後減少扭結效應的影響也增加元件的特性，並且其中以 ALD Al_2O_3 效果較好。

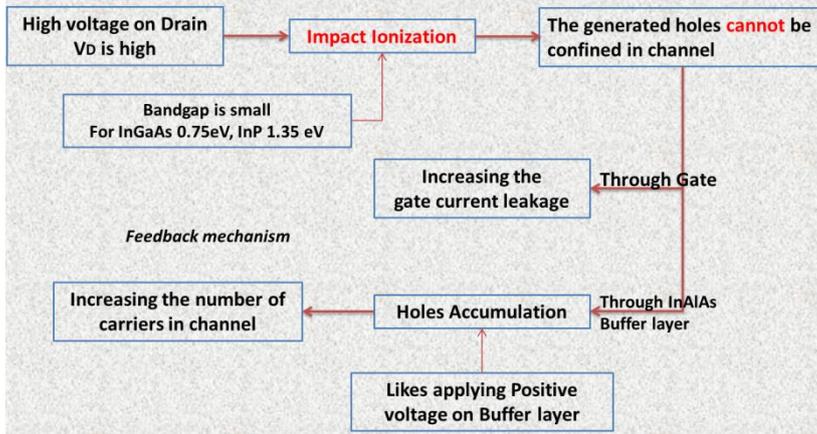


Fig. j Kink effect
扭結效應原理圖解

藉由操作量測機台，可以了解元件在高頻操作下其小訊號參數，如：內部參數： R_{in} 、 R_{ds} 、 C_{gs} 、 C_{gd} 、 C_{ds} 、 g_m 、 τ ；外部參數： R_g 、 R_d 、 R_s 、 L_g 、 L_d 、 L_s 。首先將外部寄生元件參數量測求出，再依據量測到的 S 參數運用矩陣運動萃取出電晶體內部參數。

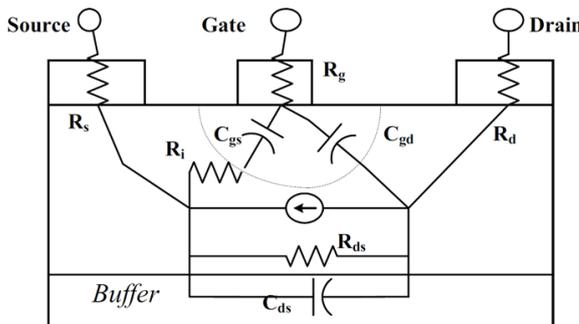


Fig. k HEMT 小訊號實際模型

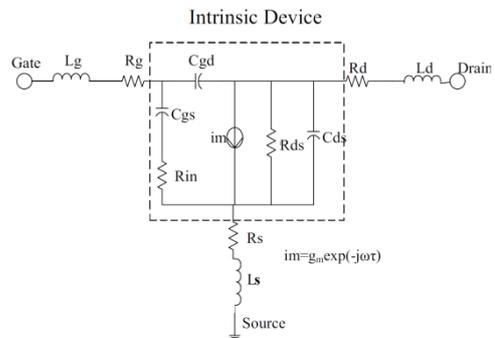


Fig. l HEMT 小訊號模型

IV 結論和心得：

藉由參與計畫提早步入半導體的相關先進實驗，激起學生興趣及熱情。

學生於推甄時進入交大電子所，且提早與實驗室老師、學長姊一起學習半導體知識，在這期間遇到許多不會的問題與困難，感謝老師的耐心地教導、以及學長姊的指教，我想在實驗室中討論並且一起解決問題，這才是我的收穫最大的來源，留下遺憾的是這次實驗並沒有完美地完成，但預計 8 月底會參與國家奈米中心的訓練課程，不僅可以繼續動手這次的研究，並且更深入的了解相關知識，等訓練課程結訓後，定會是另一個新的努力開始，也謝謝給予學生機會，提早學習的機會。