

低溫分子束成長砷化鎵負電容研究及交互式光調制反光譜 技術及應用

studies of negative capacitance at low frequency for low- temperature grown GaAs

計畫編號： NSC 88-2112-M-009-032

執行期間： 87年08月01日至88年07月31日

個別型計畫： 計畫主持人: 陳振芳 交大電子物理系教授

一. 中文摘要

[關鍵字: 低溫砷化鎵]

本文探討 n-LT-I-p 結構，低溫成長層是在 300°C 成長，而退火溫度是在 620°C。我們利用導納頻譜分析在低頻下獲得一個負電容。由圖 1 可以看出在低頻時不僅二條曲線隨頻率的變化相似且時間常數約略相等，這說明了充放電電流的時間常數等於慣性漏電流的時間常數，因此我們推斷應該是來自同一個缺陷。基於這些理由，我們驗證活化能為 0.77eV 且此能階為低溫砷化鎵中最主要的產生-再結合中心造成慣性的產生-再結合電流，並進一步造成負電容的現象。

英文摘要

(keywords : LT-GaAs)

The GaAs sample under study is n-low

temperature-i-p structure grown by molecular beam epitaxy with a low-temperature (LT) layer grown at 300°C and annealed at 620°C for 1 hour. Admittance measurements on this sample reveal a negative capacitance at low frequency. This work analyzes the origin of the negative capacitance and its corresponding frequency-dependent conductance by combining two current components: charging-discharging current and the inertial conducting current. Analysis result indicate that the activation energies and time constants of both current components closely resemble each other and should correspond to the same trap. Based on the results presented herein, we can conclude that the negative capacitance at low frequency provides evidence of a generation-recombination center with an activation energy of 0.77eV in the LT layer.

二. 計畫緣由與目的

砷化鎵經過退火處理後，材料的阻值便上升，而且還能保持很短的光

激載子壽期，晶格常數也恢復為一般砷化鎵的大小，而高濃度多餘的砷原子凝聚在一起形成高濃度的砷沉積。總的來說，經退火處理的低溫成長砷化鎵具有高阻值、極快的光電反應、高的崩潰電場、不太低的載子遷移率，以及良好的 overgrowth 特性，使其可應用在諸多元件上，如 MESFET、光導開關、光二極體偵測器等。

三. 研究方法與目的

① 晶體成長與元件製作：

我們首先先在 620°C 成長 0.2 μm 的 n+ 型砷化鎵；而後將磊晶溫度降至 300°C 以成長 0.2 μm 的無摻雜低溫成長砷化鎵；繼之將溫度回升至 620°C，以成長 0.6 μm 的無摻雜砷化鎵；而後再成長 0.4 μm 的 p 型砷化鎵，經過 1.1 小時 620°C 的退火，便完成了樣品製作。

② 方法與成果：

變溫電性量測系統包括 HP4145B 量測元件 I-V 曲線；HP4194A 量測 C-V 暫態電容和導納頻譜以及一套變溫系統。

四. 討論與結論

我們考慮如圖 2(c) 的導通電流。考慮缺陷形態為偏向電子缺陷的產生-

再結合中心，當外加一反向偏壓時，缺陷中電子的填充率會下降。而產生-再結合電流是須要一定的時間才能由較小的值達到加上反向偏壓後的較大值，因此此產生-再結合電流是具有慣性的，且其時間常數會等於電子填充率的時間常數 τ_i ，因此這一部分的導通電流可以表示為 $\delta V G_i (1 - \exp(-t/\tau_i))$ 。最後，我們將所有電流加起來，即將接面電容的充放電電流、圖 2(b) 中缺陷的充放電電流、以及圖 2(c) 中具有慣性的產生-再結合電流相加而成的暫態電流，則

$$C(\omega) = C_\infty - (G_i \tau_i - \delta C_i) + \frac{(\omega \tau_i)^2 (G_i \tau_i - \delta C_i)}{1 + (\omega \tau_i)^2} \quad (1)$$

$$G(\omega) = G_0 + \frac{\delta C_i}{\tau_i} + \frac{(G_i \tau_i - \delta C_i) / \tau_i}{1 + (\omega \tau_i)^2} \quad (2)$$

由(1)式可以看出，如果慣性導通電流這一項大於缺陷的充放電電流，就會造成低頻電容值小於高頻電容值的現象：即如圖 1 中直流偏壓 0V 曲線的負電容。而(4)式中電導的低頻極限 $G(\omega=0) = G_0 + G_i$ 即為直流下的電導值。由直流電導的定應 $G = \partial I / \partial V$ ，利用此式與在 0V 與 -2V 下的直流電導值與在 A.C. 量測所得在低頻極限下的電導值相吻合，而且直流偏壓 0V 時的直流電導遠大於 -2V

時的直流電導，因此前面所述負電容成立的條件 $G_t > \delta C_t / \tau_t$ 在直流偏壓為 0V 時較易滿足，可以解釋圖 1 中直流偏壓 0V 的曲線有負電容的現象，而 -2V 時沒有。

我們利用反向偏壓漏電流求出產生-再結合的電流活化能 0.77eV，另外，我們也利用了由電容隨頻率變化所求得之活化能、載子捕捉截面積、及電容-電壓量測所求得之缺陷濃度，來估計反向偏壓漏電流的大小，發現與量測的結果相互吻合，由這些現象，可以推論同一個缺陷能階造成所有的這些現象。這裡我們透過負電流機制的研究，直接證明了不僅缺陷充放電的活化能與漏電流的活化能相等，且其時間常數相同，其活化能為 0.77eV，且此能階為低溫成長砷化鎵中最主要的產生-再結合中心，造成慣性的產生-再結合電流，並進一步造成負電容的現象。

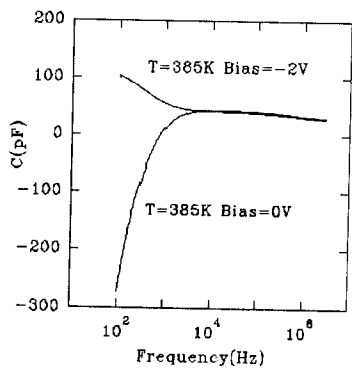


圖 1 . n-LT-i-p 樣品 385K 時 -2V 與 0V 電容隨頻率的變化。

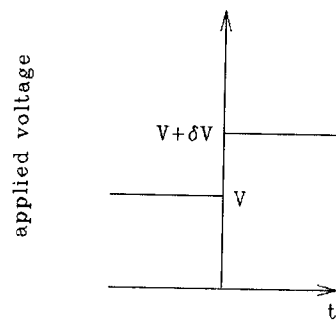


圖 2(a) . 時間為零時外加偏壓由 V 改為 $V + \delta V$

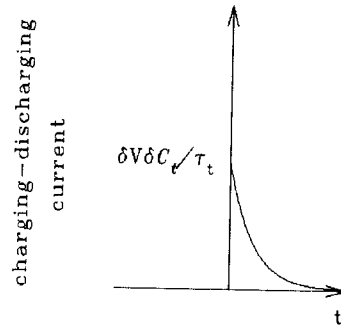


圖 2(b) . 導通電流的部分，包含與時間無關的項與慣性項。

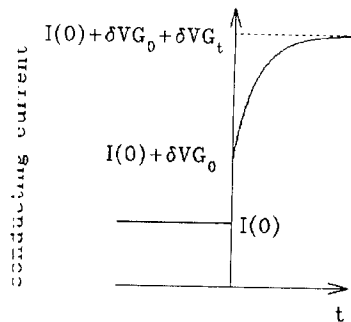


圖 2(c) . 導通電流的部分，包含與時間無關項與慣性項。

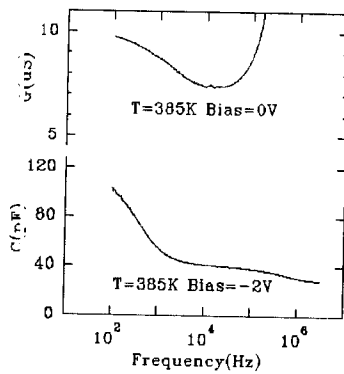


圖 3 . 直流偏壓 0V 時電導隨頻率的變化及 -2V 時電容隨頻率的變化。