

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

光電及量子元件之研究（三）

Study On Optoelectronic and Quantum Devices

計畫編號：NSC 88-2215-E009-015

執行期限：87 年 08 月 01 日至 88 年 07 月 31 日

主持人：張俊彥 教授 國立交通大學電子研究所

一、摘要

本計劃之目的在於對目前光電元件方面之重要題目，包括藍光材料 GaN 的磊晶成長、高速元件的開發製作、以及光纖通訊用 0.98 μ m 雷射之製作，進行一系列之研究。本年度(第三年)完成之成果包括 p-type GaN 的摻雜研究、多次離子佈植以製作發光二極體、p 型 GaN 歐姆金屬接點之研究及 HEMT 高速元件之製作及其高頻特性之量測。

關鍵詞：氮化鎵、離子佈植、歐姆金屬接點

Abstract

The object of this project is studying on several important topics of optoelectronic and quantum devices, including epitaxial growth of GaN, developing of high speed-devices, and fabrication of 0.98 μ m laser diode for optical communication. We have achieved the study of p-GaN epitaxial growth by LP-MOCVD, multiple high-dose Si implantation in P-GaN to fabricate an n⁺/P light emitting diode, and the study of p-type ohmic contacts for p-GaN. In addition, fabrications of the δ -doping InGaP/GaAs HEMT

devices are also studied. The high frequency performance of the δ -doping InGaP/GaAs HEMT is achieved. The cut-off frequency is as high as 23.8 GHz.

Keyword : GaN, InGaP, HEMT

二、簡介

在過去十年來，由於寬能隙半導體材料磊晶技術的重大進步，可見光發光元件已經由紅光逐漸推展到藍光與綠光的範圍，而其中最重要的就是氮化物材料磊晶技術的突破，包括 GaN、AlN、以及 InN 等。GaN 的能隙為 3.45eV，利用 GaN 與 AlN (6.28eV) 和 InN (1.95eV) 所形成的三元化合物，其發光範圍可從綠光到紫外光，可以用來製作藍光與綠光之發光二極體，以及短波長的半導體雷射，因此 GaN 的磊晶成長研究是非常重要的，尤其是 P-GaN 的成長。另外，在 p 型金屬歐姆接點上的研究亦是一重要課題。

在 HEMT 等高速元件方面，過去多採用 Al_xGa_{1-x}As/GaAs 異質結構來製作，但是當 Al 的含量超過 0.3 時，便會導致一些問題如 DX 中心的產生，而且容易與氧反應，降低蕭基接面的

性能。 $\text{In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$ (1.9eV)其晶格常數與GaAs相符合，由於沒有DX中心等問題，而且也相當安定不易氧化，所以InGaP已經逐漸被用來取代 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 來製作以GaAs材料為基礎的各種異質結構元件。 δ -摻雜由於可以產生高濃度的準二維電子，亦被用來提供高速元件如HEMT所需的載子，在GaAs與AlGaAs材料上已經被廣泛的研究，但是在InGaP這方面的研究還不多。本計劃將製作 δ -摻雜HEMT元件及量測其高頻響應的特性。

三、GaN之n及p型摻雜研究

本實驗採用低壓有機金屬氣相磊晶法(LPMOCVD)在氧化鋁基板上成長GaN薄膜，成長原料為TEGa和 NH_3 ，成長溫度為 1000°C ，V/III比為5000，成長速率為 $0.72\mu\text{m/hr}$ 。我們採用Cp2Mg為GaN的p型摻雜源，樣品的摻雜濃度、載子的電性以及載子移動率是使用霍爾量測來檢定。

在p型GaN的實驗中我們使用Cp2Mg為其p type的source，其成長溫度約為 1000°C ，成長完後之p type GaN須在氮氣環境下 750°C anneal 15min，其p型載子的濃度為 $7.5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 。

接著我們利用離子佈植的方式在此p-type GaN摻雜Si原子以形成一n+/p二極體。圖(一)為anneal溫度對carrier concentration的關係圖，由圖(二)的結果我們可以計算出當Si原子以ion implantation的方式植入GaN內其活化自由載子的活化能，其活化能經計算為72.6 meV。圖(三)為n+/p結構的電流-電壓特性圖。由圖中可知其二極體整流特性非常明顯，在順向偏壓

下，可發出藍光，但因阻值太高，所以串連阻值太高，電壓被限流，故仍有改善空間。

在P-型歐姆接點金屬的研究上，我們首先針對Pd/Au研究事先清洗對特性的影響。研究中分別以王水、HF，及HCl清洗表面，然後以E-Gun蒸鍍金屬。圖(四)所示為Au/Pd/p-GaN在不同化學溶液清洗下的電流-電壓特性圖。由圖中可知以HCl清洗可得到最佳的歐姆接點特性。其特性電阻為 $9.6 \times 10^{-4}\ \Omega\text{cm}^2$ 。

另外，我們也比較了Ni/AuZn及Ni/Au的歐姆接點特性。圖(五)所示為Ni/AuZn及Ni/Au在退火前後的電流-電壓特性圖。由圖中可知Ni/AuZn的歐姆接點特性較Ni/Au的歐姆接點特性佳。圖(六)及圖(七)則分別是退火溫度與接觸電阻的關係及退火時間與接觸電阻的關係。由圖(六)可知在退火時間為5分鐘，且溫度在 450°C 到 650°C 之間，Ni/AuZn有較低的阻值且呈現緩慢下降的趨勢。圖(七)則是在最佳溫度下，退火不同時間。可知Ni/Au的阻值會下降但仍比Ni/AuZn高，且Ni/AuZn的熱穩定性亦較佳。圖(八)則是Ni/AuZn及Ni/Au在退火前後的SIMS縱深分佈。由圖中可知Zn會擴散到p-GaN使阻值降低，有效改善其接觸電阻。

四、 δ -摻雜InGaPHEMT之研製

在上一年度中我們完成了 δ -摻雜之熱處理，其目的主要是要增加載子濃度，降低游離化雜質的散射效應，以增加載子的傳輸特性，使 δ -摻雜能更適合運用於高速元件上。

我們根據以上的研究進行 δ -摻雜

InGaP HEMT 元件的研製，在元件製作上我們研發的主要技術為：台地隔絕，歐姆接處及蕭基接處。我們使用濕式選擇性蝕刻法進行元件的 Mesa-isolation，我們調配 $H_2PO_4:HCl:H_2O=1:1:1$ 作為蝕刻 InGaP 的溶液，此一溶液無法蝕刻 GaAs，因此可作為選擇性蝕刻 InGaP 的溶液，此一溶液對 InGaP 的蝕刻速率為 260 nm/min。而 $NH_4OH:H_2O_2:H_2O=3:1:20$ 溶液只蝕刻 GaAs 而不蝕刻 InGaP，其對 GaAs 的蝕刻速率為 1.2 μ m/min。Au(120nm) / Ti(24nm) / Ge(630nm) / Pd(30nm) 為此 HEMT 元件的 ohmic-contact metal。其 contact resistance 與 annealing temperature 的關係如圖(九)所示，由圖(九)可知在 375 $^{\circ}C$ anneal 20min 可得到最佳的 ohmic contact。另以 Ti/Au 金屬作為 GaInP 的 Schottky Gate，電子束微影技術則被用以形成次微米尺寸的 T 型 Gate，其 Gate length 為 0.25 μ m 如圖(十)。而此一 T-Gate GaInP HEMT 的 DC 特性如圖(十一)所示，其 $G_{m,max}$ 為 140mS/mm。圖(十二)為 f_T 對閘極長度之縮小而增加，若元件更小則 f_T 可再增加。圖(十三)為此元件之高頻特性，其電流截止頻率為 23.8GHz，最大振盪頻率為 100GHz。

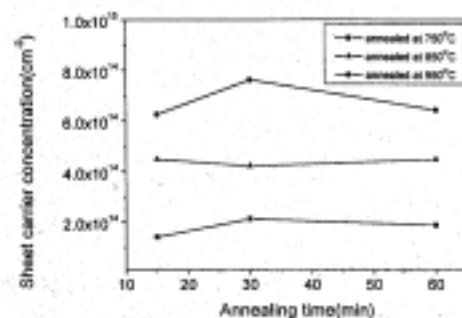
六、參考文獻：

1. S. Nakamura, T. Mukai and M. M. Senoh: Jpn. J. Appl. Phys. 31, pp.2883. (1992)
2. H. Murakami, T. Asahi, H. Amano, K. Hiramatsu, N. Sawaki and I. Akasaki:

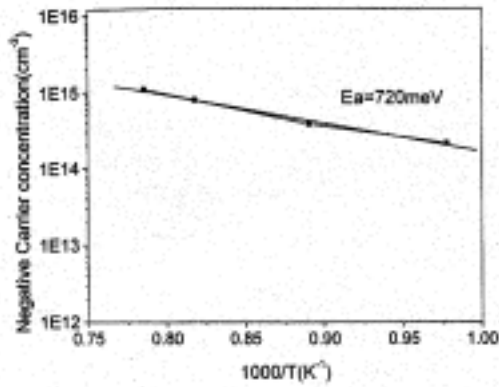
J. Cryst. Growth, 115(1991)648.

3. C. Y. Chang, W. Lin, W. C. Hsu, T. S. Wu, S. Z. Chang and C. Wang, Jap. J. Appl. Phys., Vol. 30, No6, June, 1991, pp. 1158-1163.
4. W.C. Lai, M. Yokoyama, C. Y. Chang, J. D. Guo, J. S. Tsang, S. H. Chan, and S. M. Sze, MRS'99, Symposium Y 5.8 U.S.A.
5. W.C. Lai, M. Yokoyama, C. Y. Chang, J. D. Guo, J. S. Tsang, S. H. Chan, and S. M. Sze, ICNS'99, We_P030, France.
6. W.C. Lai, M. Yokoyama, C. C. Tsai, C. H. Chang, J. D. Guo, J. S. Tsang, S. H. Chan, and C. Y. Chang, Jpn. J. Appl. Phys., 38, pp.L802(1999)

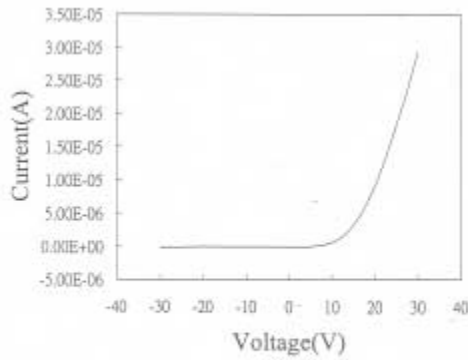
七、圖表：



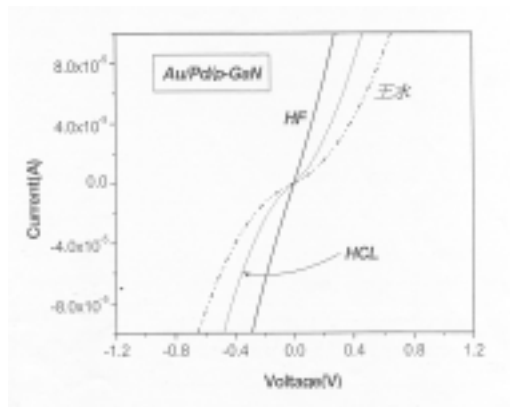
圖(一) anneal 溫度對 carrier concentration 的關係圖



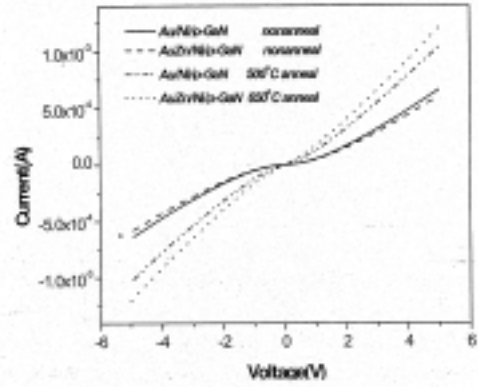
圖(二) 為 ion implant Si 原子在 GaN 內活化自由載子的活化能，其活化能經計算為 72.6 meV。



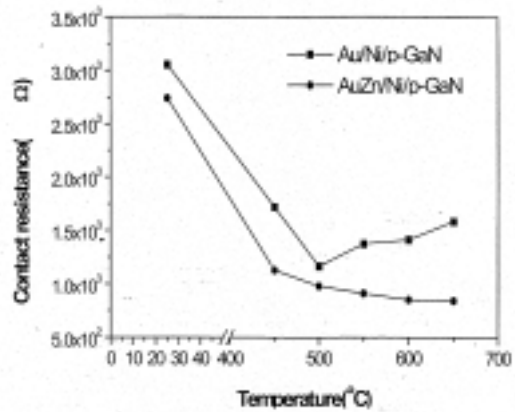
圖(三) 為 n+p 結構的電流-電壓特性。



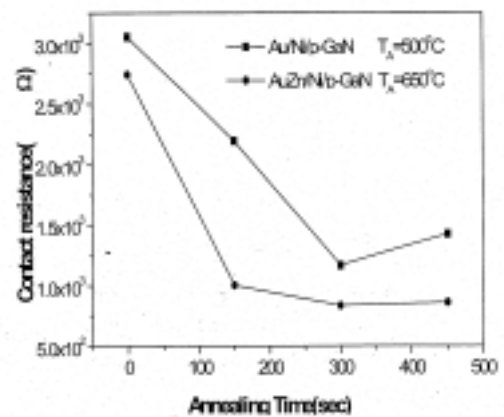
圖(四) 所示為 Au/Pd/p-GaN 在不同化學溶液清洗下的電流-電壓特性圖。



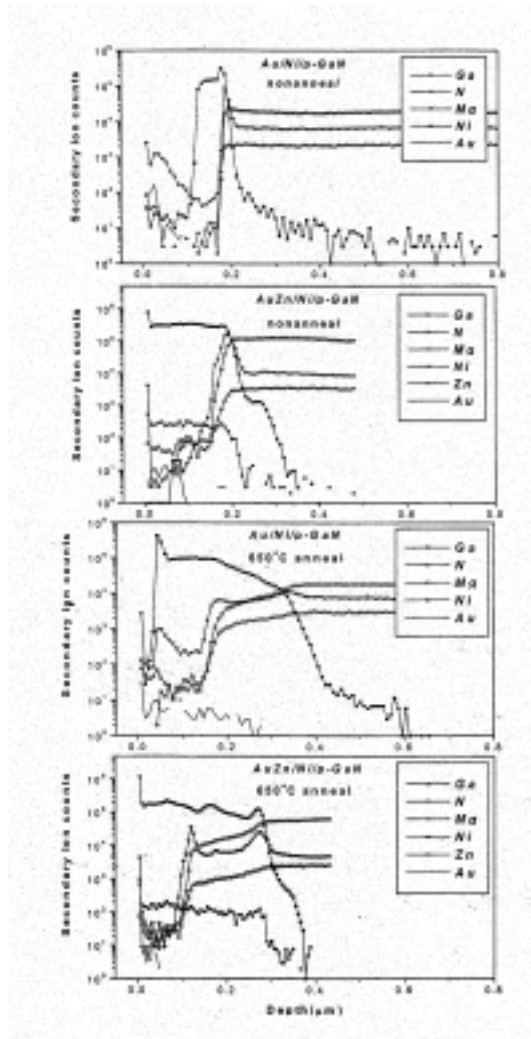
圖(五) Ni/AuZn 及 Ni/Au 在退火前後的電流-電壓特性圖。



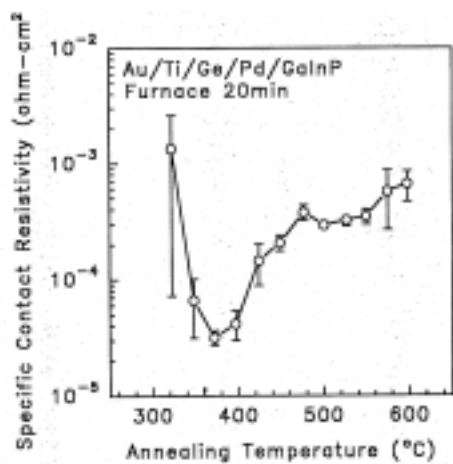
圖(六) 退火溫度與接觸電阻的關係。



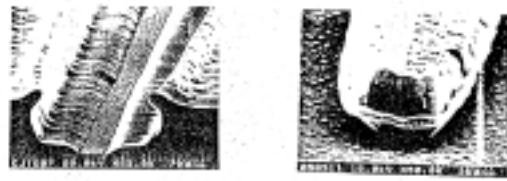
圖(七) 退火時間與接觸電阻的關係。



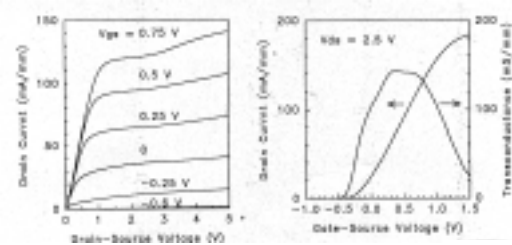
圖(八) 則是 Ni/AuZn 及 Ni/Au 在退火前後的 SIMS 縱深分佈。



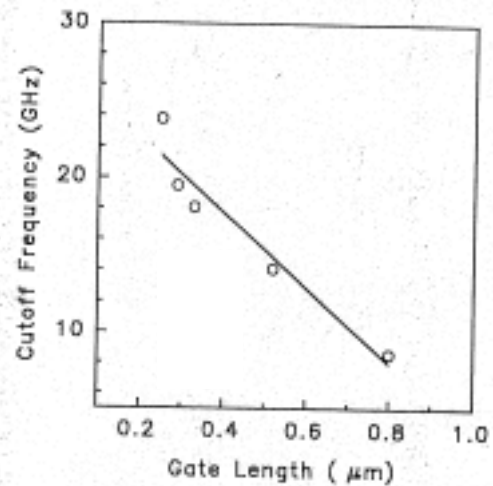
圖(九) contact resistance 與 annealing temperature 的關係。



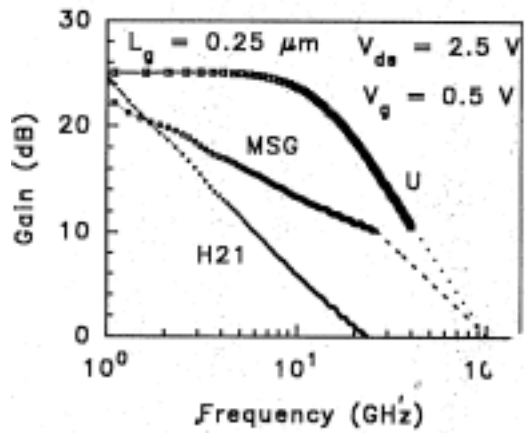
圖(十) 電子束微影技術所直寫之 T-Gate，其 gate width 為 0.25μm。



圖(十一) T-Gate GaInP HEMT 的 DC 特性。



圖(十二) f_T 對開極長度的關係。



圖(十三) 此元件之電流截止頻率為
 23.8GHz，最大振盪頻率為
 100GHz。