

# 氮化鎵歐姆接觸之研究

## The Study of Ohmic Contacts of GaN

林詣超、黃耀聰、杜孟政、蘇炎坤、張守進

I.C. Lin, Y.C. Huagn, M.Z. Du, Y.K. Su, and S.J. Chang

國立成功大學微電子研究所

光電及微波元件實驗室

National Cheng Kung University Institute of Microelectronics

Optival and Microwave device Laboratory

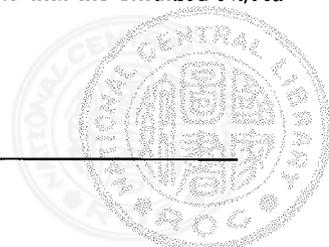
(Received July 18, 2000; Accepted September 4, 2000)

### 摘要

在本論文中我們嘗試利用功函數較低的金屬，如鈦、鋁，來作為n型氮化鎵的歐姆接觸；並利用功函數較高的金屬如，鎳、鈮、鉑、金，來作為p型氮化鎵的歐姆接觸。我們發現到金屬的功函數的確對氮化鎵的歐姆接觸有很大的影響，這個現象表示氮化鎵並沒有發生費米能階定位(Fermi level pinning)。在n型氮化鎵中，未經過熱處理的鈦／鋁歐姆接觸具有 $2.35 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}^2$ 的特殊接觸電阻，而在經過 $600^\circ\text{C}$ 的熱處理過後，其電阻可降低到 $7.4 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}^2$ 。而在p型氮化鎵的歐姆接觸研究當中，我們發現鎳金在經過氧化的熱處理後，可得到最低電阻值 $1.02 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}^2$ 。

### Abstract

In this paper we tried to use metals with lower work functions, such as Ti, Al, to form ohmic contacts to n-GaN. Then we used metals with higher work functions, such as Ni, Pd, Pt, and Au to form ohmic contacts to p-GaN. We found that the work functions of these metals indeed influence the performance of ohmic contacts, indicating that the Fermi level of GaN is unpinned. The specific contact resistance was  $2.35 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}^2$  for as deposited to Ti/Al on n-GaN, and found to decrease as annealing temperature increased until a minimum,  $7.4 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}^2$ , was obtained at  $600^\circ\text{C}$ . We also found that the oxidized Ni/Au contact schemes on p-GaN studied here.



## 一、前言

最近幾年來，氮化鎵(GaN)的研究成果相繼提出，無論應用在可見光及紫外光範圍的雷射二極體或發光二極體、操作在高溫高電壓的場效電晶體或是紫外光範圍的光檢測器上，我們都可以得到相當輝煌的成果。為了改善元件特性，除了需要高品質的氮化鎵薄膜之外，金半接面的品質也扮演著非常重要的角色，在本篇論文中，我們將嘗試使用不同的金屬來改善金屬和氮化鎵間的接觸電阻。

## 二、Ti/Al在n型氮化鎵上的歐姆接觸

在這個研究裡，GaN薄膜是用MOVPE成長在c-face的Sapphire上。使用TMG和NH<sub>3</sub>當作Ga和N的來源。Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>則當作n型施體的來源。GaN成長溫度為1050°C。Si摻雜的GaN磊晶層厚度是2.5μm。霍爾量測顯示出薄膜的本體載子濃度大約7×10<sup>17</sup> cm<sup>-3</sup>，移動率大約250 cm<sup>2</sup>/V-s。

在放入GaN進入蒸著反應腔之前，先用TCA、ACE、CH<sub>3</sub>OH在超音波中震盪五分鐘。之後再浸泡在HCl:H<sub>2</sub>O (1:1)溶液中30秒，然後用去離子水沖洗。沖洗完後用氮氣吹乾馬上放進E-gun鍍金屬。在壓力大約3×10<sup>-6</sup> Torr下用電子束蒸著Ti/Al (250Å/1000Å)。

應用Lift-off製程來定義圓形結構，此TLM方法可用來測量特徵接觸電阻。如圖1-1的環狀gap的圓形接觸。此圓形設計可以不用藉著蝕刻來絕緣金屬與金屬間的接觸結構。這種方法是很有用的，因為用圖案需要電漿製程來達成特定的蝕刻速率是困難的。外圓的半徑是200μm，外環跟內環間隔各是5、10、15、25、35、45μm。在Lift-Off之後Sample放在氮氣中用RTA來回火。

蒸鍍之前，n-type Ti/Al接觸的I-V特性如

圖1-2。Sample在600°C和900°C各回火30秒來做比較。沒有回火之前觀察到輕微的整流特性，然而回火之後則呈現歐姆特性。此外，我們發現600°C的接觸電阻比900°C小，這可能是Ti/Al在高溫氧化所致。在不同回火溫度之中也可以發現同樣的結果。

圖1-3顯示Ti/Al接觸的特徵接觸電阻是快

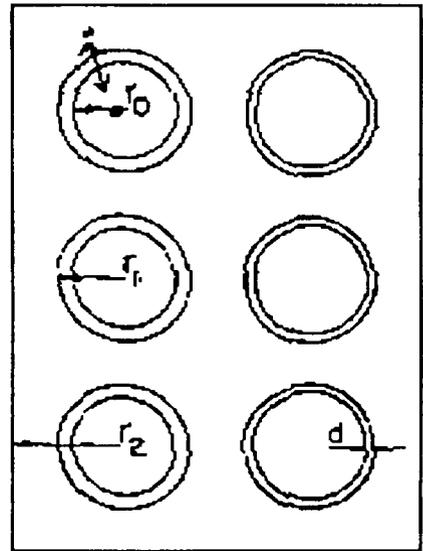


圖1-1 環狀TLM模型

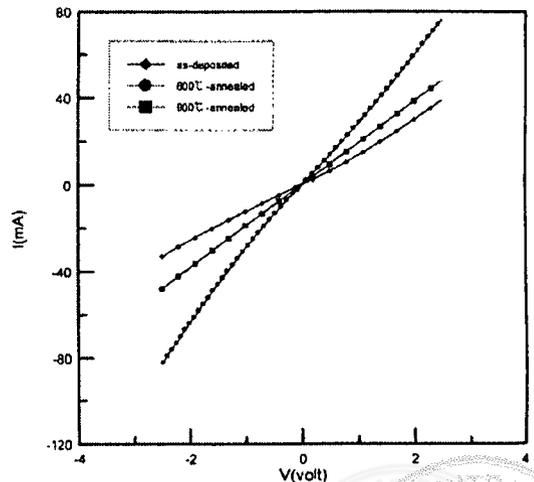


圖1-2 Ti/Al接觸的I-V特性圖

速回火溫度的函數。回火時間約30秒在還沒回火之前特徵接觸電阻是 $2.35 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}^2$ ，但發現它會隨著回火溫度的增加減少到一個最小值( $7.4 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}^2$ 在600度)。

圖1-4顯示在600°C回火之下特徵接觸電阻

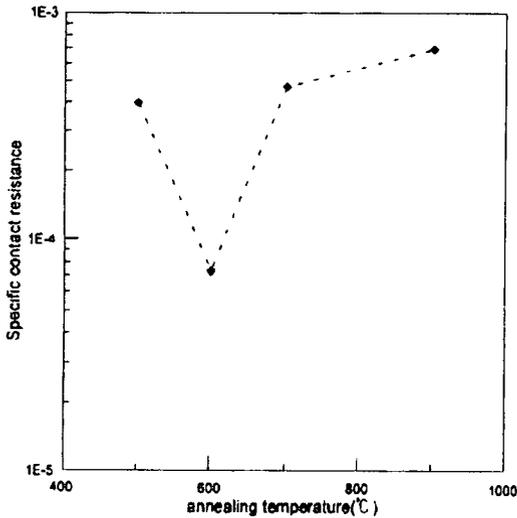


圖1-3 Ti/Al特殊接觸電阻與快速回火溫度關係圖

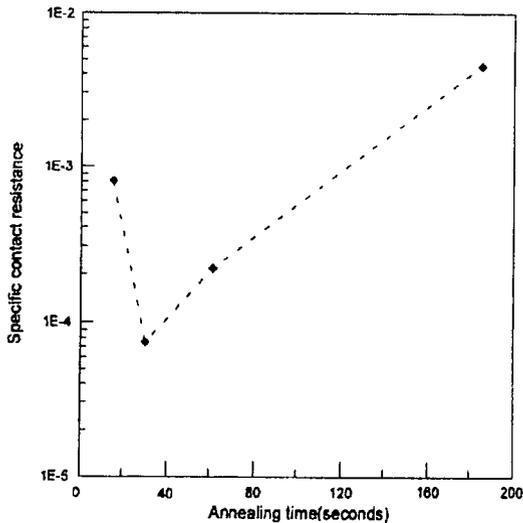


圖1-4 600°C下特徵接觸電阻與回火時間關係圖

是回火時間的函數。在30秒回火時間之下最小值 $\rho_c$ 是 $7.4 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}^2$ 。氧化可能是導致較長時間回火下電阻值變差的原因。

造成雙層Ti/Al金屬的低特徵電阻可能是高參雜的n-type GaN層和在GaN和Ti之間薄TiN界面層的形成有關。高參雜的GaN層應該會造成電流穿透過位障，而且TiN表面層也許低於有效的位障高度，以幫助介面間的電流傳導。

圖1-5顯示Ti/Al(250Å/1000Å)回火在600度30秒電流電壓溫度特性。我們可以很清楚的發現，I-V特性在150K到450K之間幾乎相同。因此，我們可以假設電流傳導機制是由穿透電流所主導，穿透的成因是因為在金屬GaN表面高參雜所造成。

### 三、p型氮化鎵上的歐姆撞接觸

#### (a) Ni/Au

圖2-1顯示Ni/Al (400Å/500Å)在氮氣、大氣環境下回火的I-V特性曲線。可以觀察到的是在還沒回火之前的Ni/Au在-10V到10V之間，接觸呈現整流特性，然而回火之後則顯示歐姆

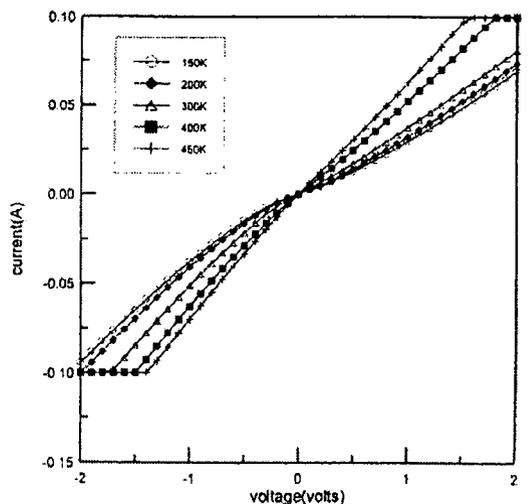


圖1-5 Ti/Al (250Å/1000Å)回火在600°C 30秒電流電壓及溫度特性圖

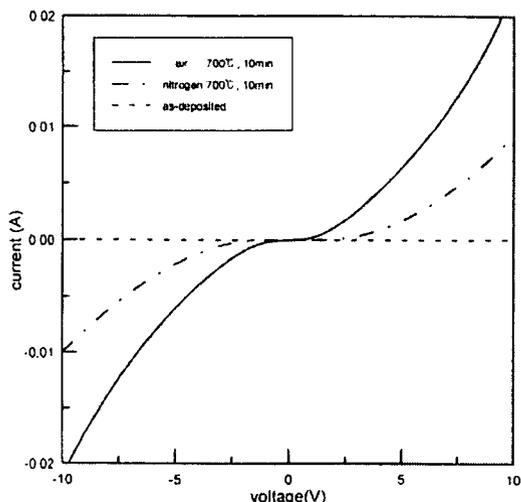
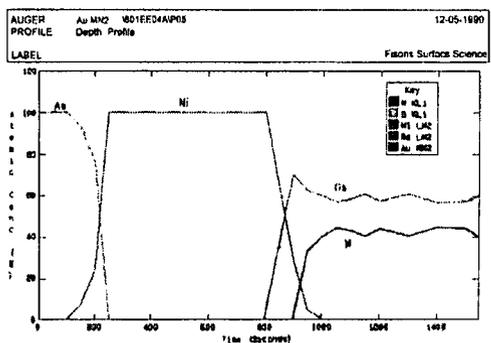
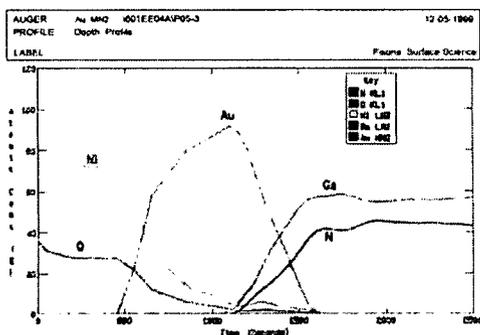


圖2-1 Ni/Au在不同回火環境下的電流-電壓關係圖



(a)



(b)

圖2-2 Ni/Au接觸之AES曲線圖其中(a)回火前的圖形, (b)為經過500°C大氣環境下回火之後AES縱深圖形

特性。觀察到Ni/Au接觸在大氣中回火比在氮氣中回火更線性。當大氣換成純氧中回火顯示同樣的結果。當在700度大氣環境下回火10分鐘可得到最低的特徵電阻為 $1.02 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}^2$ 。

圖2-2顯示出Ni/Au(300Å/200Å)回火之前跟之後的AES深度圖。在回火之前沒有往內部擴散，Au、Ni和GaN之間有清楚的介面(圖2-2(a))。然而，在2-2(b)Sample在500度回火30分鐘後Ni擴散進去Au裡面到達接觸的表面且被氧化。Jin-Kuo Ho和Co-Works推斷氧化Ni/Au接觸的改善跟NiO的形成有關。NiO像一個帶著氮空位或氧空位的p-type半導體。Sato et al.發現Sputtering沈積的NiO電洞濃度可以高達 $1.3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ，它比平常的p-type GaN高十到一百倍。NiO的高濃度使的金屬容易造成歐姆特性。Ho假設氧化Ni/Au實際接觸可以當作一個Au/p-NiO/p-GaN的介面。然而，在我們的研究裡，NiO幾乎形成在Au的頂端而Au靠近p-GaN，如圖2-2(b)。可以觀察到在Au和GaN的介面只有一些Ni和氧。更進一步的研究，例如高解析度的TEM和高解析度高功率的x-ray繞射分析，我們可以瞭解表面的反應。這些表面化學產物會影響接觸的電特性。

儘管Foresi和Moustakas觀察到在GaN的金屬接觸應該有一個位障，這個位障直接和在金屬、GaN之前的功函數有關。然而，一般而言在金屬和半導體間的化學產物可以充分的影響金屬半導體接觸的電特性。在一個實際上帶有費米能階定位的金屬半導體系統，蕭基位高度表示為 $f_{bn} = S f_m + C$ ，S是一個斜率參數，C是常數。換言之，在熱回火時靠近金屬/GaN介面化合物的形成可能可以導致S參數的減小，因此影響位障。

Ni/Au在700度回火10分鐘溫度相依的I-V測量如圖2-3。電流隨著量測溫度的增加而增加。因此傳導機制應該是熱離子發射所主導。



(b)Pd/Au

圖2-4顯示p-GaN Pd/Au (500Å/1000Å) I-V曲線。沒有回火前顯示不出整流特性，然而在氮氣中用RTA 800度回火3分鐘的Sample顯示較佳的特性但還是些微的整流。跟Ni/Au比較，

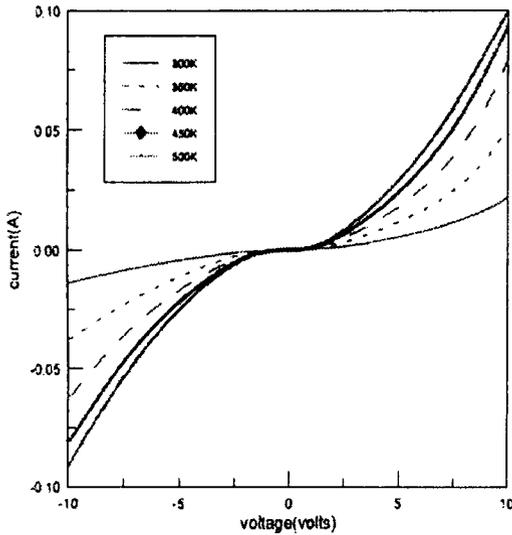


圖2-3 Ni/Au接觸在不同量測溫度下的I-V特性圖

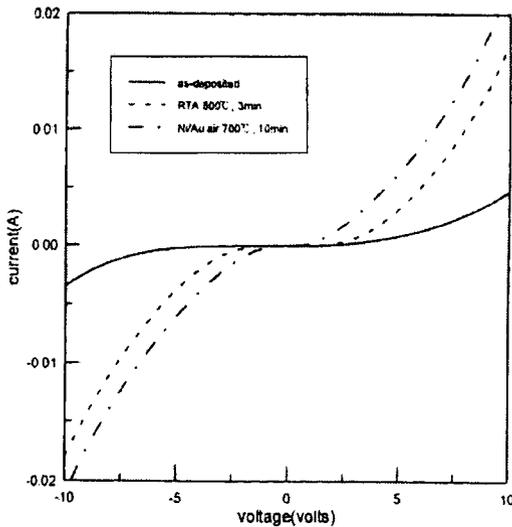
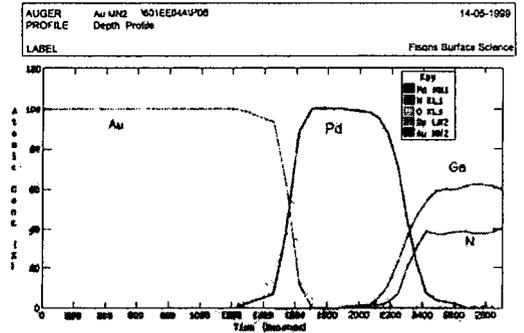


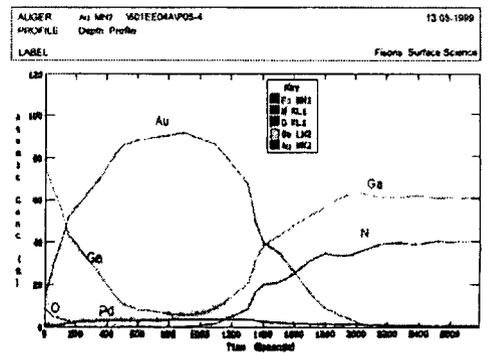
圖2-4 p-GaN Pd/Au (500Å/1000Å) I-V曲線圖

Ni/Au比Pd/Au更線性。

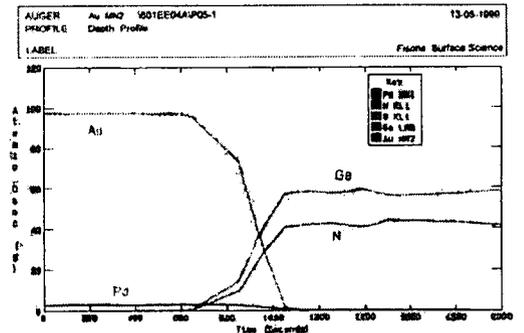
圖2-5是Pd/Au回火前跟回火後的AES縱深分析。這些Sample的反應是和Ni/Au不同的。對沒有回火的Sample而言金屬並沒有往內部擴



(a)



(b)



(c)

圖2-5 Pd/Au回火前跟回火後的AES縱深分析

散。然而。當Pd/Au接觸在600度回火30分鐘之後（如圖2-5(b)），可以發現Pd擴散進入Au層但不像Ni經過它。我們也發現Pd的量在活火後也被消耗。當回火溫度提高到800度時Ga<sub>2</sub>N游離的證據如圖2-5(c)。氮往外擴散留下N的空缺，這些空缺作用像是Shallow Donors，這可以解釋接觸電阻的增加。

### (b) Pt/Au and Pt/Ni/Au

我們可期待的是Pt/Au顯示出最低的接觸電阻因為Pt的功函數(5.56eV)比Ni(5.15eV)和Pd(5.12eV)高。但結果卻和期待相反，在回火之前Pd/Au接觸為三者中最低，如圖2-6。我們推測Pd/Au的最低阻值是因為Pd在Ga<sub>2</sub>N中它作用像是受體，且這個現象導致靠中近表面部分的高摻雜。

三種Pt/Ni/Au接觸的I-V曲線也顯示在圖2-6。從之前的研究，我們發現氧化的Ni/Au接觸呈現出最低接觸電阻，整流特性也被發現在原點附近，這表示值的注意的位障存在金屬-GaN之間，所以我們利用更高的金屬功函數Pt當作

Ni/Au和Ga<sub>2</sub>N間的內層。藉著Pt/Ni/Au金半面的位障的確比Ni-Au接觸來的小。圖2-7顯示Pt/Ni/Au回火前跟回火後的I-V曲線。在RTA回火900度3分鐘，I-V特性有顯著的改善而且呈現出接近線性，這指出跟Ni/Au相比它的位障減少了。然而，應該注意的氧Pt/Ni/Au變的非常差，然而氧化Ni/Au則改善它的特性。

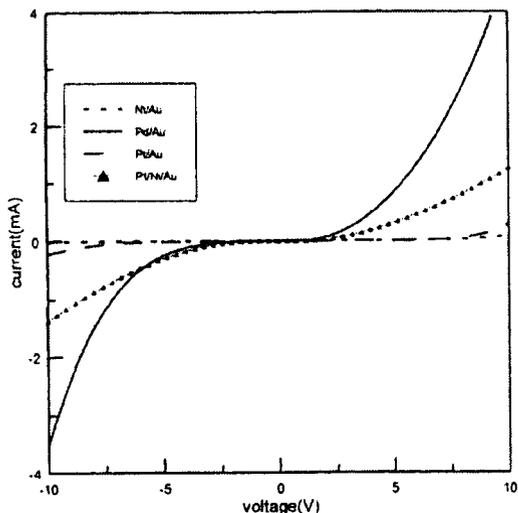


圖2-6 未回火前，不同金屬接觸之I-V特性圖

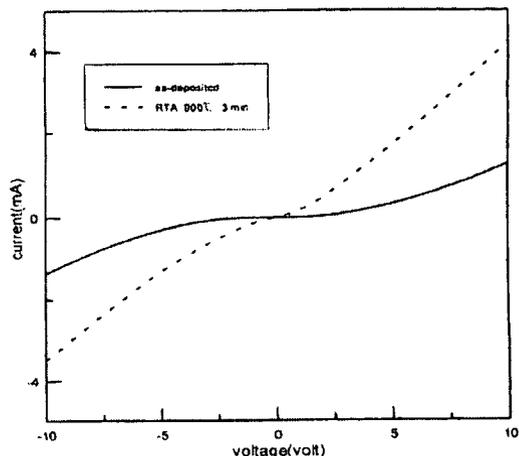


圖2-7 Pt/Ni/Au回火前跟回火後的I-V曲線圖

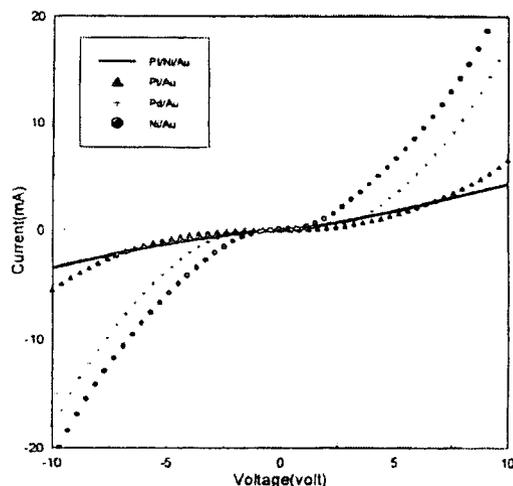


圖2-8 Ni/Au、Pd/Au、Pt/Au、Pt/Ni/Au接觸最好的結果

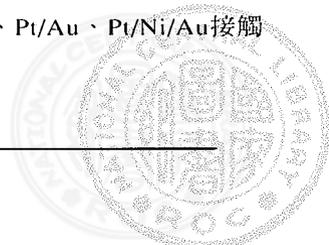


圖2-8顯示出i/Au、Pd/Au、Pt/Au、Pt/Ni/Au接觸是接近線性，然而其他則是整流。

#### 四、結論

在本篇論文中我們嘗試使用低功函數的金屬Ti/Al在n型的GaN上形成歐姆接觸。在未回火前Ti/Au的特徵電阻值為 $2.35 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}^2$ ，在經過600°C 30秒RTA的回火之後我們可以得到最低接觸電阻值 $7.4 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}^2$ 。緊接著我們利用高功函數的金屬如Ni、Pd、Pt和Au在p型GaN上形成歐姆接觸，在比較Ni/Au、Pd/Au、Pt/Au之後，我們可以得到最低的電阻值是經由Ni/Au的氧化處理之後 $1.02 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}^2$ 。另外我們也嘗試使用Pt/Ni/Au三元結構與GaN形成接觸，在經過回火之後我們可以發現Pt/Ni/Au的I-V特性曲線較接近線性關係，而其他的金屬則為整流。

#### 參考文獻

1. S. Strite, M. E. Lin and H. Morkoc, Thin Solid Films 231, 197 (1994).
2. R. F3 Davis, Proc. IEEE 5, (New York: IEEE, 1991), p. 702 (1991).
3. T. Lei, K. F. Ludwig and T. D. Moustakis, J.

- Appl. Phys. 74, 4430 (1993).
4. H. Morkoc, S. Strite, G. B. Gao, M. E. Lin, B. Sverdlov and M. Burns, J. Appl. Phys. Rev., 76, 1363 (1994).
5. S. N. Mohammad, A. Salvador and H. Morkoc, Proc. IEEE, 83, 1306 (1995).
6. S. N. Mohammad and H. Morkoc, Prog. Quantum Electron., in press.
7. M. Asif Khan, J. N. Kuznia, A. R. Bhattarai and K. T. Olson, Appl. Phys. Lett. 62, 1786 (1993).
8. E. D. Jungbluth, Laser Focus 5, 33 (1993).
9. S. Nakamura, T. Morkia and M. Senoh, Appl. Phys. Lett. 64, 1689 (1994).
10. S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, and Y. Sugimoto, Jpn. J. Appl. Phys. 35, L74 (1996).
11. H. Morkoc, S. Strite, G. B. Gao, M. E. Lin, B. Sverdlov and M. Burns, J. Appl. Phys. Rev., 76, 1363 (1994).
12. J. I. Pankove, E. A. Miller and J. E. Berkeyheiser, ROA Rev. 32, 383 (1971).
13. Chen, Q., Yang J. W., Osinsky, A., Gangopadhyay, S., Lim, B., Anwar, M. Z., Khan, M. A., Kuksenkov, D. and Temkin, H., Appl. Phys. Lett., 70, 2277 (1997).

