

열처리에 따른 p-GaN의 오믹접촉 특성에 관한 연구

김두수, 이세준, 성규석, 강윤목, 차정호, 김남화, 정 응, 조훈영, 강태원, 김득영
동국대학교 양자기능반도체연구센터
이연환
동국대학교 정보통신공학과
02-2285-3803

Study on characteristics of p-GaN ohmic contacts by rapid thermal annealing

D. S. Kim, S. J. lee, K. S. Seong, Y. M. Kang, J. H. Cha, N. H. Kim, Y. H. Lee, W. Jung,
H. Y. Cho, T. W. Kang, and D. Y. Kim
Dongguk University, Seoul 100-715, Korea
E-mail : semicon1@hanmail.net

Abstract

In this study, the Au/Ni and Au/Ni/Si/Ni layers prepared by electron beam evaporation were used to form ohmic contacts on p-type GaN. Before rapid thermal annealing, the current-voltage(I-V) characteristic of Au/Ni and Au/Ni/Si/Ni contact on p-type GaN film shows non-ohmic behavior. A specific contact resistance as low $3.4 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}^2$ was obtained after 450°C-RTA. The Schottky barrier height reduction may be attributed to the presence of Ga-Ni and Ga-Au compounds, such as Ga_4Ni_3 , Ga_4Ni_3 , and GaAu_2 at the metal-semiconductor interface. The mixing behaviors of both Ni and Au have been studied by using X-ray photoelectron spectroscopy. In addition, X-ray diffraction measurements indicate that the Ni_3N , NiGa_4 , Ni_2Si , and Ni_3Si_2 compounds were formed at the metal-semiconductor interface.

I. 서론

GaN는 청색 및 자외선 특성을 갖는 wide band gap 물질로써 광소자뿐만 아니라 고출력·고온동작 FET 및

HEMT와 같은 전기소자로써도 널리 응용되고 있다.^{[1][2]} 소자를 제작할 경우 오믹접촉은 필수적이고 그 중 p형 GaN의 오믹접촉에 대한 문제점을 보완하고자 하는 연구가 활발히 진행중이다.^{[3][4][5]} 최근에 오믹접촉의 문제점을 줄이기 위한 방법으로 heavily doping된 p-GaN를 제작하는 방법, p-GaN와 금속의 증착 과정에서 자연 산화막을 줄여주기 위한 surface cleaning을 달리하는 방법, 그리고 높은 일함수를 가진 금속을 사용하여 증착한 후 고온의 열처리과정을 통해 GaN과 금속사이에서 화학적 반응을 일으켜 캐리어 농도를 증가시키는 tunneling current mechanism을 이용하는 방법등들이 연구되고 있다.^{[6][7][8][9]} 최근에 Ni/Au의 증착으로 매우 낮은 specific contact resistance의 값을 얻기 위한 실험들이 진행 중에 있다.^{[10][11]} 본 연구에서는 p-GaN에 Au, Ni 및 Si 등의 ohmic 금속을 증착한 후, 열처리 온도의 변화에 따른 접촉 특성을 연구하였다.

II. 실험

본 연구에서는 sapphire 기판 위에 MOCVD 방법으로 성장된 Mg이 $8 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 과 $2.5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 으로 도핑된 p형 GaN(1 μm)를 시료로 사용하였다. 시료의 전처리 과정으로 HCl:DI (1:1) cleaning 방법을 사용하였으며 circular transmission line model(C-TLM) 패턴

마스크를 사용하여 사진공정을 한 후, 자연 산화막을 줄이기 위한 cleaning 과정을 거쳐 여기에 일함수가 높은 Au/Ni(400Å/200Å) 및 Au/Ni/Si/Ni(200Å/70Å/700Å/300Å) 등과 같은 금속을 e-beam evaporator를 사용하여 증착하고 lift-off 과정을 통해 오믹 접촉을 형성하였다.

제작된 시료는 급속 열처리법으로 N₂ 분위기에서 400°C~800°C까지의 온도변화로 60초간 후처리하였다.

열처리에 따른 ohmic contact의 전기적 특성과 계면에서의 반응을 I-V곡선과 XPS 그리고 XRD 측정을 통하여 고찰하였다.

III. 결과 및 논의

시료의 전기적인 특성을 열처리 온도변화에 따라 I-V 곡선을 통하여 분석하였다. 그림 1에서와 같이 Au/Ni/GaN 구조를 갖는 시료의 경우에는 열처리 온도를 400°C에서 450°C로 증가시키기에 따라 I-V특성이 크게 개선되었으나, 다시 500°C로 증가시키자 특성이 저하되는 결과를 보였다. 450°C에서의 접촉 특성 비저항을 계산한 결과 가장 낮은 값($\rho_c = 3.4 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}^2$)을 나타내었다. 한편 Au/Ni/Si/Ni/GaN 구조의 경우에 그림 2에서 보는 바와 같이 450°C의 결과와 500°C의 결과가 동일한 특성을 보였으며, 600°C 열처리의 경우에서부터 점차 저하되는 I-V특성을 나타내었다. 이 구조에서는 450°C에서 Au/Ni/GaN 구조보다 낮은 값인 $6.12 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}^2$ 의 접촉 특성 비저항을 나타낸다.

그림 3에서는 열처리에 따른 증착 박막에서의 조성 변화를 XPS 측정 결과를 나타내었다.

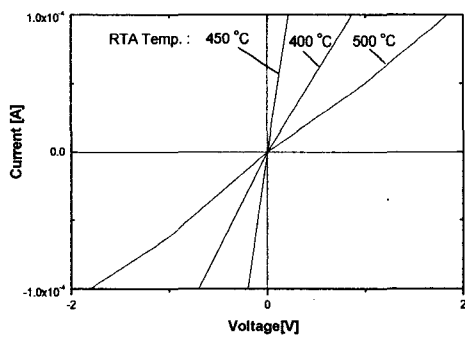


그림 1. Au/Ni/GaN의 열처리에 따른 I-V 특성곡선

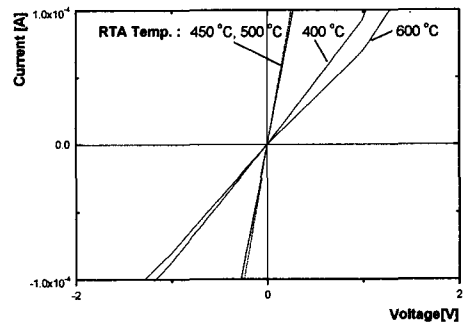
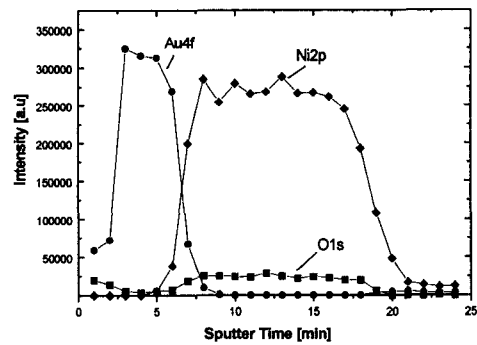
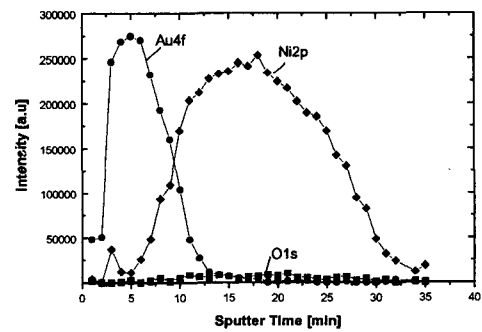


그림 2. Au/Ni/Si/Ni의 열처리에 따른 I-V 특성곡선

Au/Ni/GaN 구조의 경우 열처리를 함으로써 Au가 Ni쪽으로, Ni가 GaN쪽으로 mixing되는 현상을 나타내었다. 한편 Au/Ni/Si/Ni/GaN 구조는 그림 4와 같이 Au가



(a)

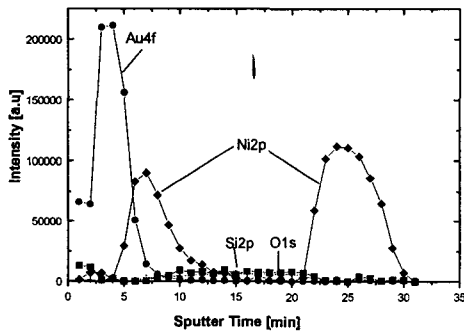


(b)

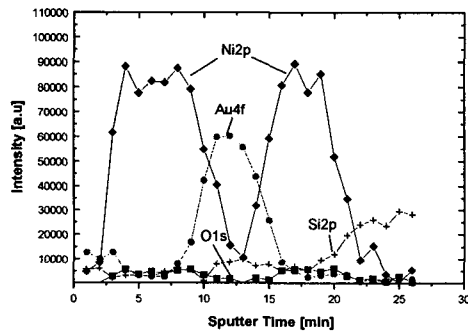
그림 3. Au/Ni/GaN의 XPS 결과
(a) 열처리 전, (b) 열처리 후

Ni 안쪽으로의 침투가 두드러지게 나타나고 Si층 위아래에 있는 Ni은 모두 Si쪽으로의 침투를 나타내고 있다. 즉, Au/Ni/Si/Ni 구조에서는 Ni이 Si층에서 Ni-silicide가 형성되었음을 의미한다. 한편 O성분은 열처리를 함으로써 모두 감소되는 현상을 보인다.

이와 같은 현상은 실제 XRD 측정으로 확인 할 수 있었다. 그림 5.(a)에서 보면 열처리 전에는 GaAu상이 관측되지 않았으나, 열처리를 함으로써 GaAu₂, Ga₄Ni₃(531), Ga₄Ni₃(440)의 peak가 나타났다. 이는 앞의 XPS 결과에서 확인한 바와 같이 온도의 증가함에 따라 Ni과 Au가 Ga으로 침투해 들어가는 것에 인한 mixing으로 볼 수 있다. 그림5.(b)의 Au/Ni/Si/Ni/GaN의 구조에서는 열처리 전에 GaN의 peak가 크게 보이다가 온도의 증가함에 따라 작아지고, Ni₃N(1120), NiGa₄(222), Ni₂Si, Ni₃Si₂, Ni₃Si₂(150) 등의 phase가 나타나고 있으며, Au/Ni/GaN의 구조와는 달리 Ni이

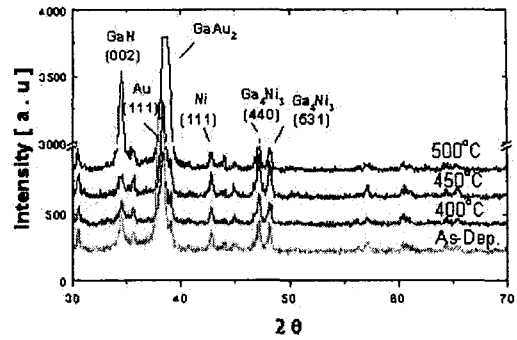


(a)

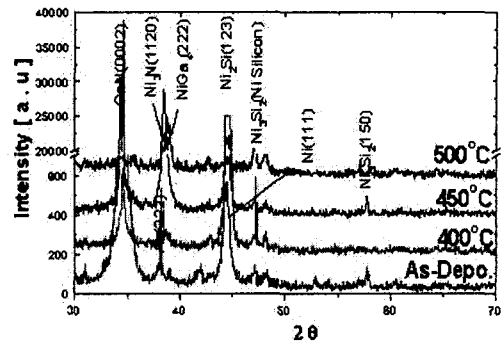


(b)

그림4. Au/Ni/Si/Ni/GaN의 XPS
(a) 열처리 전, (b) 450°C 열처리 후



(a)



(b)

그림 8. (a) Au/Ni/GaN 구조의 XRD 분석
(b) Au/Ni/Si/Ni/GaN 구조의 XRD 분석

Si쪽으로의 mixing현상을 보이며 Ni Silicide의 phase를 형성함을 보여주고 있다.

VI. 결론

본 연구에서는 MOCVD로 성장된 Mg이 도핑된 p-GaN에 Au, Ni, Si 등을 증착하여 열처리에 따른 특성을 분석하였다. 전기적 특성을 I-V 곡선으로 분석한 결과 Au/Ni/GaN 구조에서 450°C 열처리한 시료에서 비교적 낮은 specific contact resistance($\rho_c = 3.4 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}^2$)를 얻을 수 있었다. Au/Ni/Si/Ni/GaN의 경우에는 Ni이 Si층으로 혼입되어 Ni-silicide가 형성됨을 알 수 있었다.

본 연구는 동국대학교 양자기능반도체연구센터 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

V. References

- [1] S. Nakamura, M. Senoh, N. Iwasa, and S. Nagahama, *Jpn. J. Appl. Phys., Part 2* 34, L797 (1995)
- [2] G. Mohs, B. Fluegel, H. Giessen, H. Tajalli, and N. Peyghambarian, *Appl. Phys. Lett.* 67, 1515(1995)
- [3] J.-S. Jang, I.-S. Chang, H.-K. Kim, T.-y. Seong, S. Lee, and S.-J. Park, *Appl. Phys. Lett.* 74, 70 (1999)
- [4] J.-L. Lee, J. K. Kim, J. W. Lee, Y. J. Park, and T. Kim, *Phys. stat. sol. (a)* 176, 763 (1999)
- [5] M. Suzuki, T. Kawakami, T. Arai, S. Kobayashi, Y. Koide, T. Uemura, N. Shibata, and M. Murakami, *Appl. Phys. Lett.* 74, 275 (1999)
- [6] H. Ishikawa, S. Kobayashi, Y. Koide, S. Yamasaki, S. Nagai, J. Umezaki, M. Koike, and M. Murakami, *J. Appl. Phys.* 81, 1315 (1997)
- [7] T. Maeda, Y. Koide, and M. Murakami *Appl. Phys. Lett.* 75, 26 (1999)
- [8] W. E. Spicer, Z. L. Weber, N. Newman, T. Kendelewieg, R. Cao, C. Mccant, P. Mahowald, K. Miyano, and I. Lindau, *J. Vac. Sci. Technol. B* 6, 1245 (1988).
- [9] A. K. Fung, J. E. Borton, M. I. Nathan, J. M. Van Hove, R. Hickman II, P. P. Chow, and A. M. Wowchak, *J. Electron. Mater.* 28, 5 (1999).
- [10] J. K. Sheu and Y. K. Su, *J. Appl. Phys.* 83, 6 (1998).
- [11] L.-C. Chen, J.-K Ho, F.-R. Chen, J.-J Kai, L. Chang, C.-S. Jong, C. C. Chien, C.-N. Huang, and K.-K. Shih, *Phys. stat. sol. (a)* 176, 773 (1999)