

질소 분극면을 갖는 N형 질화물반도체의 접촉저항 감소를 위한 산소 플라즈마 효과에 관한 연구

남태양^a · 김동호^a · 이완호^a · 김수진^a · 이병규^a · 김태근^{a*} · 조영창^b · 최연식^b

^a고려대학교 전자전기공학과, 서울 136-701

^b전자부품연구원 메디컬IT융합연구센터, 성남 463-816

(2009년 8월 28일 받음, 2009년 12월 21일 수정, 2009년 12월 22일 확정)

본 논문은 N-face n-type GaN 표면에 산소 플라즈마 처리에 의해서 오믹전극과 접촉 저항을 낮추기 위한 연구를 하였다. 120초 산소 플라즈마 처리후 Ti (50 nm) / Al (35 nm)을 증착한 결과 오믹 전극을 구현하였으며, $1.25 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}^2$ 의 접촉저항을 보였다. 이는 산소 플라즈마 처리가 기존의 플라즈마 처리와 같이 질소결원이 발생하였기 때문이다. 이를 통해 쇼트키 장벽 높이(SBH)이 낮아지게 되었고, 오믹 전극및 플라즈마 처리를 안 한 경우보다 더 낮은 접촉저항의 결과를 획득하였다.

주제어 : 수직형 LED, N-face n-type GaN, 산소 플라즈마 처리, 질소결원

LED (Lighting emitting diode)는 에너지 절약과 환경 문제를 개선하기 위한 친환경 소재이며, 현재, LCD BLU, 자동차의 램프 등에 많이 사용되고 있다. 앞으로 LED는 조명 시장을 대체하기 위한 차세대 제품이 될 것으로 판단된다.

하지만, 기존의 Top-emitting LED 구조에서는 저출력, 소형의 LED 칩만이 제작이 가능하며, 불규칙한 전류주입, 고르지 못한 전류 확산, 그리고 사파이어 기판 때문에 열 방출이 잘 되지 않아 고출력, 고효율의 칩을 제작하기 어렵다. 그래서 이러한 단점을 극복하고, 고출력, 고효율을 위한 대면적 수직형 LED에 대한 요구가 제시되고 있다.

수직형 LED의 경우, 에피성장 기술, N- & P- 전극 기술, 광추출 향상 기술 등의 부분에서 연구가 진행되고 있다. 그 중에서도 수직형 LED의 N-전극 구현은 기존의 Top-emitting LED n-type GaN의 표면과 다르기 때문에 오믹 전극과 접촉저항을 낮추는 것은 어려운 것으로 판단된다.

Top-emitting LED n-type GaN의 표면(Ga-face n-type GaN)은 three nitrogen dangling bond가 생성되는 C-plane[0001]으로 성장한다. 수직형 구조의 n-type GaN의 표면(N-face n-type GaN)은 기존의 Top-emitting LED의 구조를 뒤집은 후, 사파이어를 KrF 레이저를 이용하여 제거하였기 때문에, n-type GaN 표면은 Single

Nitrogen bond로 생성되는 -C plane[000-1]이 된다 [1]. 이로 인하여 N-face n-type GaN의 경우, 자기유도분극 (Spontaneous polarization)의 방향이 기존 Ga-face n-type GaN의 방향과 반대방향이 되고, 이로 인하여 쇼트키 장벽 높이(SBH)가 증가하게 된다 [2]. 따라서, 기존의 n-type GaN에 대한 전극 구조(Ti/Al)를 적용하면 오믹 전극이 되지 않는다.

현재까지 진행된 선행연구를 조사해보면, N-face n-type GaN의 SBH를 낮추기 위하여, Pd를 장벽 금속으로 사용하여 갈륨과의 결합을 향상시켜 오믹 전극 구현 [3], Ti 보다 Work function이 낮은 TiN을 사용하여 SBH를 낮추는 연구 [4], 그리고 화학적 식각을 이용한 BOE 표면처리를 통하여 질소결원을 향상시키는 연구 [5], 그리고 산소 플라즈마 처리를 통하여 박막의 특성 및 열처리에 대한 특성의 향상을 통한 연구가 진행되고 있다 [6,7].

이번 연구에서는 표면의 식각 없이 질소 결원 생성을 위하여 산소 플라즈마 처리를 제안하였다. N-face n-type GaN 표면에 산소 플라즈마 처리 한 후 Ti (50 nm) / Al (35 nm)을 증착하였다. 이를 통해 오믹 전극을 구현하였으며, 접촉저항은 $1.25 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}^2$ 을 보였다.

우선 사파이어 위에 올려진 시편을 KrF 레이저를 사용하여 사파이어 기판을 GaN과 분리시킨 후, u-GaN을 ICP

* [전자우편] tgkim1@korea.ac.kr

로 식각하여 제거하였다. 이런 공정을 거쳐 수직형 LED를 제작하였으며, n-type GaN의 표면은 N-face n-type GaN이 되었다. 시편을 아세톤, 메탄올, 정제된 물에 각각 1분 씩 세정하였다. 그 다음 산소 플라즈마 처리를 120초하였다. 그 후 BOE에 3분 처리하였다. 그 다음에는 CTLM 패턴으로 포토리소그래피 공정을 진행하였다.

CTLM 패턴 내부 반지름은 200 μm이고 원 사이의 간격은 5 μm 부터 45 μm 간격으로 되었다. 그리고 electron beam evaporator (E-Beam) 장비를 이용하여 Ti (50 nm) / Al (35 nm)을 증착 시킨 후 parameter analysis (Kethely 4200)를 이용하여 전류-전압특성을 측정하였다.

Fig. 1은 산소 플라즈마 처리 전 후의 전류-전압 특성을 나타낸다. 산소 플라즈마 처리 전 후 모두 옴믹 전극을 보여주고 있다. 특히 산소 플라즈마 120초 처리 후에는 기울기가 더 높아지게 된다. 이것은 120초 산소플라즈마 처리 후가 더 좋은 접촉저항 특성을 나타내는 것으로 판단할 수 있다.

Fig. 2는 산소 플라즈마 처리에 따른 접촉저항을 나타낸 것이다. 우선 접촉저항은 식 (1)과 식 (2)를 사용하여 계산하였고, 패턴의 모양은 Fig. 3과 같다. 여기서 Rsh = sheet resistance of the material, r₂ = radius of the outer circular contact, d = gap spacing (r₂ - r₁), L_T = transfer length이다.

CTLM 패턴에서, 전극 사이의 저항 R은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

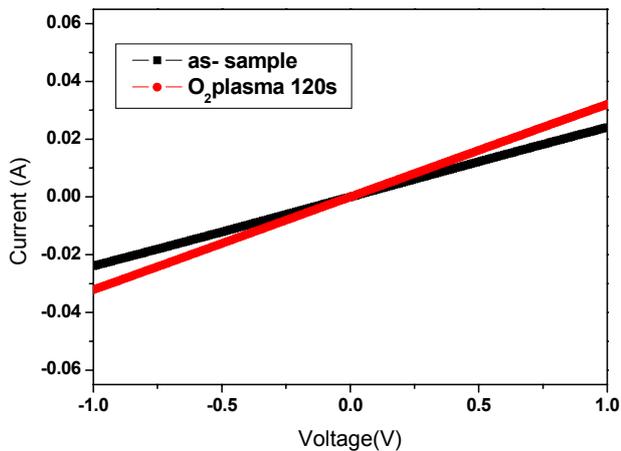


Figure 1. I-V Characteristic of Ti (50 nm) / Al (35 nm) contacts on N-face n-type GaN before and after O₂ plasma treatments.

$$R = \frac{Rsh}{2\pi} \left\{ \ln \frac{r_2}{r_2-d} + L_T \left(\frac{1}{r_2-d} + \frac{1}{r_2} \right) \right\} \quad (1)$$

$$\rho_c = L_T^2 \cdot Rsh \quad (2) [8]$$

계산 결과, 산소 플라즈마 처리 전의 경우, 접촉저항이 4.3 × 10⁻¹ Ω cm²이며, 120초 처리 후는 1.25 × 10⁻³ Ω cm²의 특성을 보였다. 이를 통해 산소 플라즈마 처리를 했을 경우, 안 했을 경우보다 10⁻² Ω cm² 이상 저항이 더 낮아졌음을 확인할 수 있다. 즉 120초 산소 플라즈마 처리하게 되면, 처리 전보다 더 낮은 접촉저항을 가지게 된다.

위 실험의 결과로부터 플라즈마 처리는 시편에 질소 결원을 유도하여 전자 밀도를 높이며, GaN의 결합에너지의 증가를 유발시키는 것으로 판단할 수 있다 [9]. 즉 결합에너지의 증가로 인해 Fermi energy level이 증가하며, band bending이 증가하는 것으로 판단된다. 이로 인하여 SBH는 낮아지게 된다 [10]. 하지만, 기존의 BCl₃, Cl₂ 등의

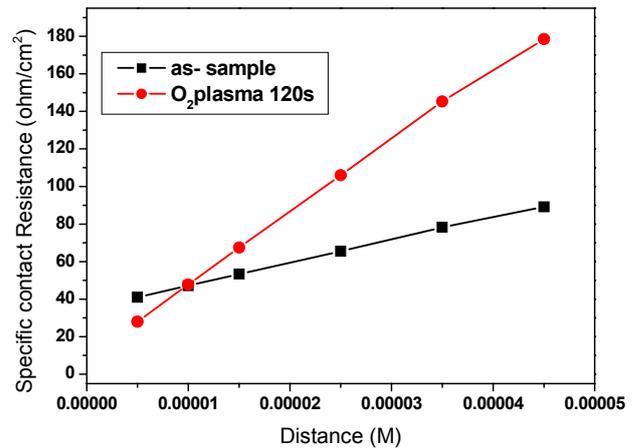


Figure 2. Contact resistivity of Ti (50 nm) / Al (35 nm) contacts on N-face n-type GaN before and after O₂ plasma treatments.

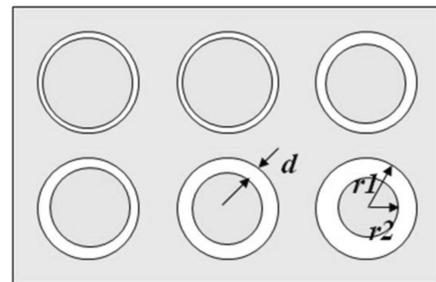


Figure 3. Circular Transmission Line Method Pattern. d = 5,10,15,25,35,45 μm, r₂ = 200 μm.

가스를 사용하게 되면 GaN의 표면에 식각이 발생하게 되어 시편의 표면의 변형 및 성질의 변화가 발생하게 된다. 그래서 표면의 변형을 최소화 하기 위하여, GaN의 표면에 식각이 발생시키지 않는, 산소 플라즈마를 사용하였다. 위의 결과에서 보듯이, 표면의 변형이 최소화되고, 질소 결원으로 인해 전자가 다량으로 발생하게 된다. 이런 상태에서 SBH가 낮아지게 되므로 인해서 전극과 시편 사이의 전자의 이동이 원활히 이루어지게 된다. 그렇기 때문에 오믹전극이 형성되고 접촉저항이 낮아지게 되는 것으로 판단 할 수 있다.

요약하면, 질소 분극면 표면에 산소 플라즈마 처리를 통한, Ti/Al 전극 구조의 접촉저항 감소를 위한 연구를 진행하면서 ohmic 전극을 구현하였고, 120초 산소 플라즈마 표면 처리를 통해 가장 낮은 $1.25 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$ 을 확인하였다.

산소 플라즈마 처리는 다른 플라즈마 처리와 같이 GaN 시편 내부에 질소결원을 발생시키고 GaN의 결합에너지의 증가를 유발시켜 전자를 다량을 발생시킨다. 그리고 SBH는 낮아지게 되어 전자의 이동이 전극쪽으로 쉽게 이루어진다. 그래서 오믹 전극이 가능하게 하며, 120초에서 최적의 접촉저항 ($1.25 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$)을 제시한다. 산소 플라즈마 처리로 인한 N-face n-type GaN의 오믹전극 구현은, 추후 소자레벨에서 제작할 때, 전류의 유입을 원활히 하여 빛을 발생시키는데 충분한 전압을 제공할 것이며, 그리고 전류로 인한 소자의 열 발생으로 인한 결함을 최소화 할 것으로 판단된다. 또한, 기존의 공정프로세스에서 열처리를 하지 않음으로 인해 공정프로세스를 최소화하고 비용을 절감할 수 있으며, 기존보다 더 향상된 특성을 보이는 최적의 방법으로 판단된다.

감사의 글

본 연구논문은 지식경제부 IT R&D 사업(2009-F-022-01)과 국제협력 R&D 사업(10030797)에 의해 지원받았음.

참고문헌

- [1] M. Sumiya, K. Yoshimura, T. Ito, K. Ohtsuka, S. Fuke, K. Mizuno, M. Yoshimoto, H. Koinuma, A. Ohtomo, and M. Kawasaki, *J. Appl. Phys.* **88**, 1158 (2000).
- [2] H. Kim, J. H. Ryou, R. D. Dupuis, S. N. Lee, Y. Park, J. W. Jeon, and T. Y. Seong, *Appl. Phys. Lett.* **93**, 192106 (2008).
- [3] T. Jang, S. N. Lee, O. H. Nam, and Y. Park, *Appl. Phys. Lett.* **88**, 193505 (2006).
- [4] H. K. Cho, S. K. Kim, and J. S. Lee, *J. Appl. Phys.* **41**, 175107 (2008).
- [5] J. W. Jeon, T. Y. Seong, H. Kim, and K. K. Kim, *Appl. Phys. Lett.* **94**, 042102 (2009).
- [6] 이선균, 김지영, 광호상, 권봉준, 고향주, 조용훈, *한국진공학회지* **16**, 463-467 (2007).
- [7] 오세만, 정명호, 조원주, *한국진공학회지* **17**, 199-203 (2008).
- [8] Gregory S. Marlow and Mukunda B. Das, *Solid-state Electronics* **25**, 91-94 (1982).
- [9] U. Karrer, O. Ambacher, and M. Stutzmann, *Appl. Phys. Lett.* **77**, 2012 (2000).
- [10] A. Rizzi and H. Lüth, *Appl. Phys. Lett.* **80**, 530 (2002).

Study of Oxygen Plasma Effects to Reduce the Contact Resistance of n-type GaN with Nitrogen Polarity

T. Y. Nam^a, D. H. Kim^a, W. H. Lee^a, S. J. Kim^a, B. G. Lee^a, T. G. Kim^{a*}, Y. C. Jo^b, and Y. S. Choi^b

^a*Dept. of Electronics Eng., Korea Univ., Seoul 136-701*

^b*Dept. Medical IT Convergence Center, Korea Electronics Technology Institute, Seongnam 463-816*

(Received August 28, 2009, Revised December 21, 2009, Accepted December 22, 2009)

We studied the effect of O₂ plasma treatments on the electrical property of Ti / Al ohmic contacts to N-face n-type GaN. The surface of N-face, n-type GaN has been treated with O₂ plasma for 120 s before the deposition of bilayered electrodes, Ti (50 nm) / Al (35 nm), and its contact resistance was compared with that of the reference sample without O₂ plasma. As a result, we found that the ohmic contact was reduced from $4.3 \times 10^{-1} \Omega\text{cm}^2$ to $1.25 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}^2$ by applying O₂ plasma on the surface of n-type GaN, which was attributed to the reduction in the Schottky barrier height (SBH), caused by nitrogen vacancies formed during the O₂ plasma process.

Keywords : Vertical LED, O₂ Plasma treatment, Ti / Al, Ohmic contact

* [E-mail] tgkim1@korea.ac.kr