

## GaN 소자의 Schottky 특성 향상에 관한 연구

이복형, 홍주연, 이문교, 윤용순, 유순재\*, 박성주\*\*, 이진구

동국대학교 밀리미터파 신기술 연구 센터

전화 : (02) 2260-8697 / 팩스 : (02) 2277-4796

\*선문대학교 전자공학과

\*\*광주과학기술원 신소재공학과

### Improvement of Schottky Characteristic for GaN Devices

B. H. Lee, J. Y. hong, M. K. Lee, Y. S. Yoon, S. J. Yu\*, S. J. Park\*\*, J. K. Rhee

Millimeterwave INnovation Technology Research Center, Dongguk Univ.

E-mail : jkrhee@cakra.dongguk.ac.kr

\*Dept. of Elec. Eng., Sunmoon University

\*\*Dept. of Mat. Science Eng., Kwangju Institute of Science and Technology

#### Abstract

A Schottky characteristic is one of the important properties to determine the performance of GaN electronic devices. In this paper, we have studied how to improve the property after n+ layer etching by ICP(Induced Coupled Plasma)-RIE(Reactive Ion Etching). We have tried N<sub>2</sub> radiation, annealing after N<sub>2</sub> radiation, and annealing in N<sub>2</sub> environment. We have found that a simple annealing method in N<sub>2</sub> environment is enough to improve the Schottky characteristic for electronic device-quality application.

#### I. 서론

GaN 반도체 재료는 넓은 에너지 갭 (3.4eV), 높은 결합 에너지 (8.9eV), 높은 전자 포화 속도 ( $2.2 \times 10^{17}$  cm/sec), 큰 항복전계 ( $3.3 \times 10^6$  V/cm)를 갖고, 열에 안정적인 물질이다. 따라서 GaN계 전자소자는 고온, 극저온 및 방사능 환경 등에서 매우 안정적인 출력 특성을 갖고 있다.[1-4] GaN계 전자 소자의 제작은 소자 패턴 형성을 위한 식각 공정이 필수적이다. 그러나 GaN계 재료는 화학물질에 안정적이기 때문에 습식식각이 어려워 건식 식각에 대한 연구가 광범위하게 이루어지고 있다. GaN의 식각율을 높이기 위해 Cl<sub>2</sub> 계열의 가스를

이용한 ICP-RIE를 수행한 연구가 발표되었다.[5-6] 그러나 ICP-RIE 방법은 GaN계 재료 표면 근처에 격자 부정합을 발생시키기 때문에 금속-반도체의 쇼트키 접촉 특성을 저하시킨다. 따라서 GaN 전자 소자 제작시에 대한 해결이 필수적이다.

본 논문에서는 GaN 쇼트키 다이오드를 제작하였다. 제작시에 ICP-RIE 방법을 사용하여 소자의 패턴을 형성하였으며, 이 과정에서 발생하는 금속-반도체의 쇼트키 접촉 특성이 저하되는 문제점을 해결하고 쇼트키 특성을 향상시키기 위한 방법을 연구하였다.

#### II. GaN 쇼트키 다이오드 제작

GaN 쇼트키 다이오드 제작에 사용된 웨이퍼의 에피층 구조는, c-plane Sapphire(0001) 기판 위에 버퍼층(buffer-layer), 쇼트키 장벽층(barrier-layer) 및 오믹(Ohmik) 접촉 특성의 향상을 위한 n+층을 Ion removed ECR(Electron Cyclotron Resonance)-MBE(Molecular Beam Epitaxy)를 사용하여 성장시켰다.

소자의 패턴 형성을 위하여 Oxford Plasma Lab. 1000의 ICP-RIE 장비를 사용하여 건식 식각하였다. 소자의 패턴 형성을 위한 마스크 물질로 SiO<sub>2</sub>를 사용하였고 식각 공정 조건을 표1에 나타내었다. 식각된 GaN의 총 두께는 2.25 μm이다.

쇼트키 다이오드의 음극전극을 형성하기 위해 오믹 접촉을 형성하였다. 사용된 오믹 금속은 Ti/Al (200

A / 2000 Å)을 사용하였고, 접촉 비저항을 줄이기 위하여 전기로에서 열처리하였다. 열처리는 450 °C와 500 °C의 질소 분위기에서 수행하였으며, 열처리 시간에 따른 접촉 비저항을 TLM(Transmission Line Method) 패턴을 이용하여 측정하였다. 그림 1은 시간과 온도에 따른 접촉 비저항을 나타낸 것으로, 500 °C에서 60분 동안 열처리하였을 때  $3.6 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 의 접촉 비저항을 얻었다.

표 1. ICP-RIE 식각 공정 조건

Gas	종류	H <sub>2</sub>	Ar	Cl <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
	flow rate(sccm)				
		8	16	30	8
공정 압력 (mTorr)		10			
기판 온도 (°C)		20			
ICP power(W)		1500			
RF power(W)		150			

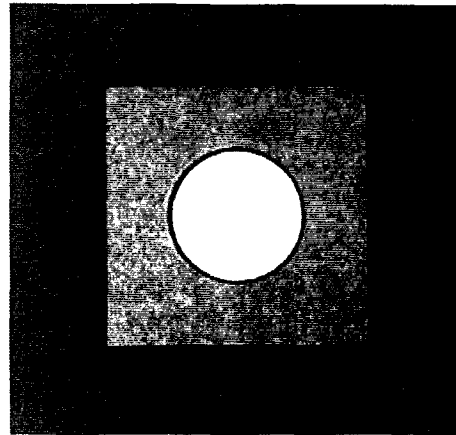


그림 3. 쇼트키 다이오드의 표면 사진

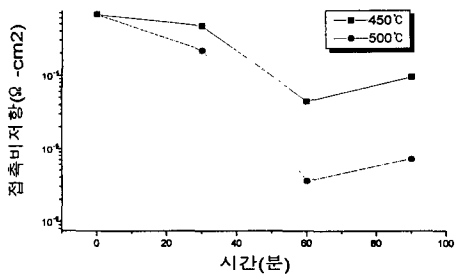


그림 1. 온도 및 시간에 따른 접촉 비저항 변화

쇼트키 다이오드의 양극전극을 형성하기 위하여 표 1과 동일한 공정 조건으로 800 Å을 식각하여 n+층을 제거한 후 Ni/Au (500 Å / 4000 Å)를 증착하였다. 그림 2는 상기의 공정으로 제작된 쇼트키 다이오드의 단면 구조이고, 그림 3은 표면 사진이다.

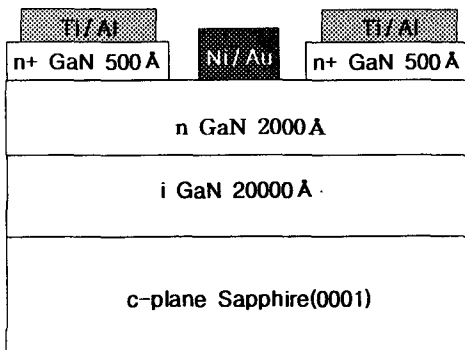


그림 2. 쇼트키 다이오드의 단면구조

### III. 쇼트키 접촉 특성 향상 실험

쇼트키 다이오드 제작에 있어서 쇼트키 특성(정류 특성)을 저하시키는 원인은 건식 식각 중의 손상이다.

손상의 종류로는 표면에 생기는 non-Stoichiometric 계면과 표면 근처의 격자 부정합의 발생 및 식각 물질의 주입효과를 들 수 있다.[7] 본 실험에서는 상기의 손상으로 인해 저하된 쇼트키 특성을 회복시키기 위해 기존에 제안된 N<sub>2</sub> radiation, N<sub>2</sub> radiation 후 N<sub>2</sub> 분위기에서의 열처리 공정[8] 및 본 논문에서 제안한 전기로를 이용한 600 °C의 질소 분위기에서 열처리하는 공정을 수행한 후 양극전극을 형성하기 위한 금속층을 증착하였다.

그림 4는 쇼트키 특성 향상을 위해 제안된 공정을 수행하기전의 제작된 쇼트키 다이오드의 전류-전압 특성으로 쇼트키 특성이 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다.

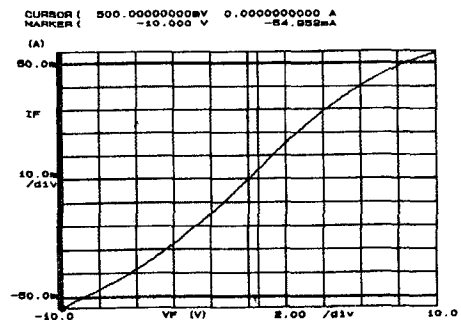


그림 4. 제안된 공정 전의 전류-전압 특성

그림 5는 RIE 장비를 이용하여 N<sub>2</sub> plasma를 발생시켜 웨이퍼 표면에 N<sub>2</sub>를 radiation 시킨 후 양극전극 금속을 증착한 쇼트키 다이오드의 전류-전압 특성이다. 그림 5에서 쇼트키 특성이 일부 개선된 사실을 확인할 수 있다.

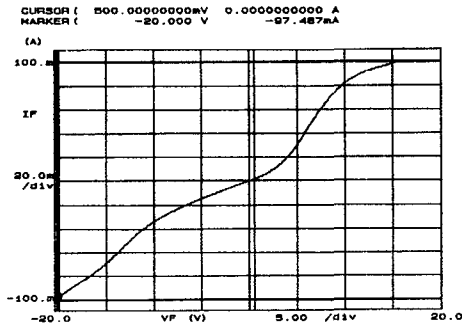


그림 5. N<sub>2</sub> radiation 된 전류-전압 특성

그림 6은 N<sub>2</sub> radiation을 한 다음 열처리한 쇼트키 특성 결과로, N<sub>2</sub> radiation을 한 후 전기로를 이용하여 600 °C의 질소 분위기에서 열처리하여 양극전극을 형성한 쇼트키 다이오드의 전류-전압 특성이다. 그림 5와 그림 6의 비교를 통하여 N<sub>2</sub> radiation 만을 수행한 결과 보다 600 °C의 질소 분위기에서 열처리했을 때 향상된 쇼트키 다이오드 특성을 확인할 수 있다. 그러나 그림 6에서 역방향 쇼트키 특성을 관찰하기 위하여 -20 V의 전압을 인가하였을 때 전류가 -84.186 mA로 완전한 쇼트키 특성을 얻을 수 없었다. 또한, 순방향 쇼트키 특성도 옴 손실이 발생하여 전자 소자로 적용이 불가능하다는 사실을 확인할 수 있었다.

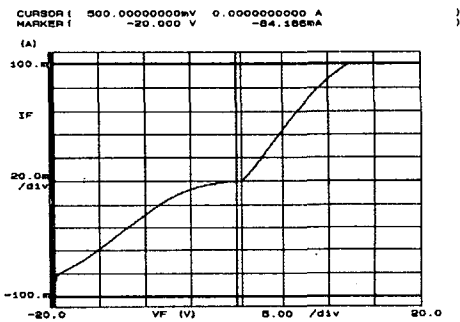


그림 6. N<sub>2</sub> radiation 및 열처리 된 전류-전압 특성

그림 5와 그림 6의 결과로부터 N<sub>2</sub> radiation 공정과 N<sub>2</sub> radiation 및 열처리를 실시하는 공정은 본 연구에

서는 적용할 수 없다는 것을 확인하였다. 따라서, 본 논문에는 N<sub>2</sub> radiation을 하지 않고 열처리를 하는 새로운 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 방법은 옴 접촉 공정 후 n+층을 식각한 다음 N<sub>2</sub> radiation을 하지 않고 전기로를 이용하여 600 °C의 질소 분위기에서 열처리를 하여 다이오드의 양극전극을 형성하는 방법이다. 그림 7은 N<sub>2</sub> radiation 및 열처리를 사용하여 제작된 쇼트키 다이오드의 제작 순서이고, 그림 8은 본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 제작한 쇼트키 다이오드의 제작 순서이다.

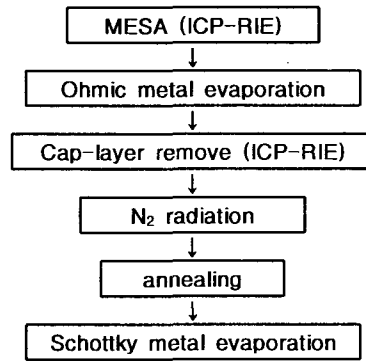


그림 7. 쇼트키 다이오드 제작 순서 (N<sub>2</sub> radiation 및 열처리)

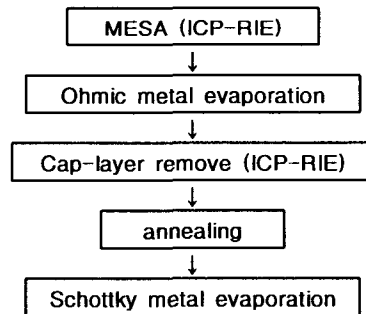


그림 8. 제안한 쇼트키 다이오드 제작 순서

그림 9는 본 논문에서 제안된 방법을 이용하여 제작된 쇼트키 다이오드 전류-전압 특성이다. 그림 6의 특성 보다 더욱 향상된 쇼트키 특성을 확인할 수 있었다. 그림 9에서 역방향 특성으로 -20 V의 인가 전압에서 -5.1573 mA의 전류가 측정되었으며, -20 V 이상의 역방향 항복 전압을 확인하였다. 또한, 순방향 특성은 전류가 100 mA까지 증가하는 동안 옴 손실이 발생하지 않았으며, 전자 소자에 적용 가능한 것을 확인할 수 있었다. 이때의 이상지수(ideality factor)는 1.25이다.

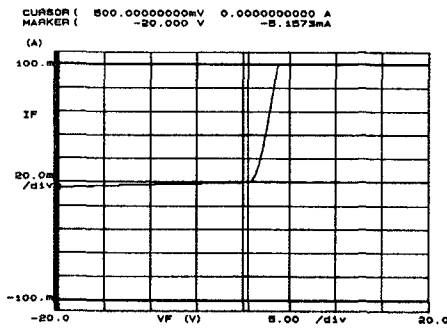


그림 9. 제안된 방법의 쇼트키 다이오드의 전류-전압 특성

## VI. 결 론

본 논문에서는 GaN를 이용한 쇼트키 다이오드를 제작하였다. 소자의 패턴 형성을 위해 ICP-RIE를 하였고, 오믹 공정을 통해 음극전극을 형성하였다. 이때의 접촉 비저항은  $3.6 \times 10^{-6} \Omega\text{-cm}^2$ 의 결과를 얻었다.

또한, 양극전극 형성을 위한 쇼트키 특성 향상 연구의 수행으로, 기존에 제안된 방법과 본 논문에서 제안된 방법을 사용하여 쇼트키 다이오드를 제작 및 측정하였다. 기존에 제안된  $N_2$  Radiation 과  $N_2$  Radiation 후 열처리 공정은 주목할 만한 개선효과를 보이지 않은 반면 전기로를 이용한 질소 분위기에서의 열처리 방법은 간단한 공정 단계를 추가함으로 효과적인 개선 효과를 보였으며, 역방향 특성으로 -20V의 인가 전압에서 -5.1573 mA의 전류가 측정되었고 -20 V 이상의 역방향 항복 전압을 얻었다. 또한 전자 소자에 적용 가능한 순방향 특성을 얻었으며, 이때의 이상지수 (ideality factor)는 1.25이다.

본 논문에서 수행된 연구는 GaN MESFET 및 HEMT 등의 GaN계 초고주파 전자 소자의 개발 및 GaN계 MMIC 개발 연구에도 적용 가능할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] See, for example, Gallium Nitride and Related Materials, edited by C. R. Abernathy(MRS Symposium 1997)
- [2] T. Egawa, H. Ishikawa, T. Jimbo and M. Umeno, ELECTRONICS LETTERS 19th March 1998
- [3] S. C. Binari, L. B. Rowland, W. Kruppa, G. Kelner, K. Doverspike and D. K. Gaskill, ELECTRONICS LETTERS 21th July 1994

- [4] Seikoh Yoshida and Joë Suzuki, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 1 JUNE 1999
- [5] Hyeon-Soo Kim, Yong-Hyuk Lee, Geun-young Yeom, Jae-Won Lee, Tae-II Kim, Materials Science and Engineering 1997
- [6] Heon Lee, David B. Oberman, and James S. Harris, Jr., Appl. Phys. Lett. 18 september 1995
- [7] S. J. Pearton, J. W. lee, D. Mackenzie, and C.R.Abernathy and R. J. Shul, APPLIED PHYSICS LETTERS 16 OCTOBER 1995
- [8] X. A. Cao, H. Cho, and S. J. Pearton, G. T. Dang, A. P. Zhang, and F. Ren, R. J. Shul and L. Zhang, R. Hickman and J. M. Van Hove, APPLIED PHYSICS LETTERS 12 JULY 1999

※ 이 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 우수연구센터(MINT)의 지원에 의한 연구결과임