

## Electrochemical Metallization방법을 이용한 GaN Schottky Diode의 제작과 전기적 특성 향상 및 분석

이철호, \*Dejun Fu, 이명재, 광성관, \*\*김동식, 정관수, \*강태원  
경희대학교 전자공학과, \*동국대학교 QSRC, \*\*인하공업전문대학

전화 : 031-201-2958 / 핸드폰 : 016-602-7428

### Electrical Characteristics of n-GaN Schottky Diode Fabricated by using Electrochemical Metallization

Chul Ho Lee, Dejun Fu, Myung Jea Lee, Sung Kwan Kwak, Dong Sik Kim,  
Kwan Soo Chung, Tea Won Kang  
Dept. of Electronic Engineering, KyungHee University  
E-mail : eleclee@netian.com

#### Abstract

Schottky barrier diodes are fabricated on a intrinsic GaN(4 $\mu$ m) epitaxial structure grown by rf plasma molecular beam epitaxy (MBE) on sapphire substrates. First, We make Ohmic electrodes (Ti/Al/Ti/Au) by evaporator. Next, we contact RuO<sub>2</sub> by dipping in the solution (RuCl<sub>3</sub>+HClO<sub>4</sub>), and then we deposit Ni/Au on the surface of RuO<sub>2</sub> by evaporator. We study the electrical characteristics of GaN Schottky barrier diodes made by these methods. Measurements are C-V, I-V, SEM, EDX, and XRD for the characteristics of devices. Thickness of RuO<sub>2</sub> layer depends on supplied voltage and dipping time. Device of thinner RuO<sub>2</sub> layer have a good Schottky characteristics compare with device of thicker RuO<sub>2</sub> layer

#### I. 서론

넓은 energy bandgap의 GaN는 blue 또는 ultraviolet wavelength를 갖는 광소자에 응용이 기대되며, high power, high temperature에서 동작할 수 있

는 FET, HEMT와 같은 electronic device로 널리 응용되고 있고 고밀도 정보 저장용 CD와 새로운 full color display 제조 용도로 LED나 LD와 같은 광 소자에 응용되고 있다. GaN은 성장장비로 MO-CVD나 MBE가 이용되고있으며 기판과의 격자 차이로 인해 양질의 GaN을 얻기 힘들어 이러한 격자 차이를 줄이기 위한 방법으로 buffer층의 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 격자차이에 의해 발생하는 많은 dislocation은 소자 응용을 위한 p-type GaN의 Ohmic과 n-type GaN Schottky metallization이 문제가 되고 있어 이 또한 많은 연구가 지속되고있는 상황이다. 또한 GaN의 큰 bonding energy로 인해 소자제작에 어려움을 느끼고있는 etching도 또한 계속 연구중이며 많은 solution들이 제시되고 있다.

본 논문에서는 rf-plasma MBE로 성장된 n-GaN에 RuO<sub>2</sub>를 이용하여 새로운 metallization 방법으로 Schottky barrier diode를 제작하였고, 이렇게 만들어진 소자의 특성을 분석하기 위하여 XRD, SEM, EDX, I-V, C-V를 측정 분석하였다.

#### II. 실험

이 실험에서는  $1.2 \times 10^{17}/cm^3$ 의 carrier concentration,  $70cm^2/V \cdot s$ 의 mobility,  $4\mu m$ 의 두께의 MBE로 성장된 n-GaN을 이용하였다. 소자 제작하기 전에 TCE, Acetone, Methanol, DI로 cleaning을 하였고,  $Ga_2O_3$ 막을 제거하기 위하여 희석한 HCl을 사용하였다. 새로운 방법인 electrochemical dipping 방법을 이용하기 위하여 간단한 photo lithography 과정을 거친 후 전극으로 사용될 Ohmic 접촉을 evaporator를 이용하여 Ti/Al/Ti/Au(100Å/200Å/100Å/300Å)의 멀티층으로 증착하였다. Adhesion의 향상을 위하여 750°C에서 30초간 R.T.A 처리하였다. 그런 다음 그림1 처럼 손수 제작한 장비를 통해 Schottky 전극으로  $RuO_2$ 를 접촉하였다.

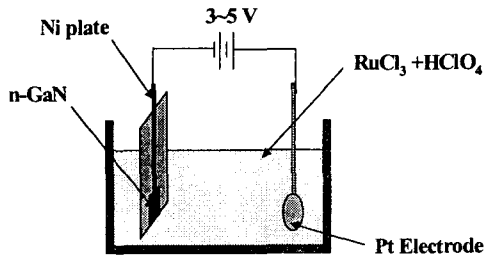


그림1. System for Electrochemical dipping

분말인  $RuCl_3$ 와  $HClO_4$ 의 혼합을 위해 magnetic spinner를 이용하였다. 인가된 전압의 변화와 dipping 시간의 차이에 따라 실험을 하였고 이렇게 만들어진 Schottky 전극위에 지름이 0.3mm인 Ni/Au(300Å/400Å) dot을 evaporator를 이용하여 증착하였다.(그림2)

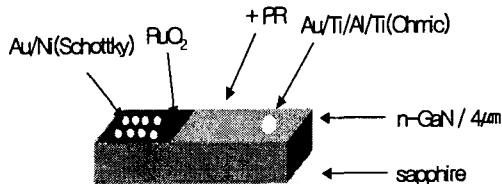


그림2. n-GaN Schottky barrier diode

#### IV. 실험결과 및 분석

인가된 전압의 변화와 dipping 시간의 차이에 따라  $RuO_2$ 의 표면의 uniformity를 SEM으로 관찰하였다.(그림3,4,5)

림3,4,5)

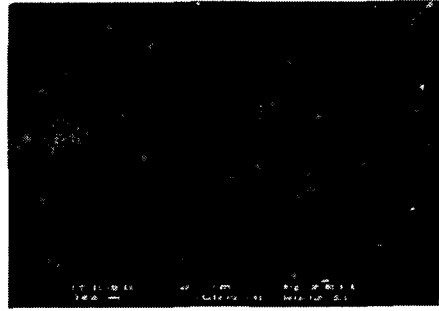


그림3. 3.4V에서 20분동안 dipping 한  $RuO_2$  표면

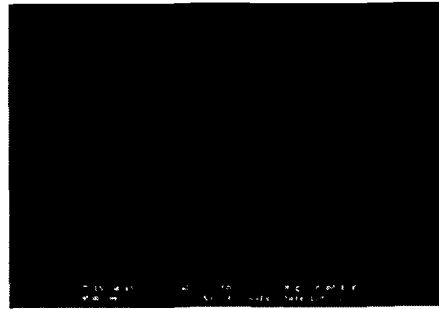


그림4. 3.4V에서 30분동안 dipping 한  $RuO_2$  표면



그림5. 4.5V에서 10분 동안 dipping 한  $RuO_2$  표면

Dipping 시간과 인가된 전압에 따라 표면의 uniformity가 다를 수 있음을 확인할 수 있었다. 그림6-(a,b)은 XRD측정을 통해  $RuO_2$ 의 존재 여부를 확인하기 위한 자료이다. 그림에서 볼 수 있듯이  $35.2^\circ$  부근에서  $RuO_2(101)$ 가 존재함을 확인할 수 있었다. 그림7-(a,b)은 EDX data이다. 여러 데이터들의 비교를 통해 알 수 있는 Ru와 O의 구성비가 조금씩 차이가 나는 것은

Electrochemical Metallization방법을 이용한 GaN Schottky Diode의 제작과 전기적 특성 향상 및 분석

GaN의 Ga이 O와 결합할 경우 차이가 생길 것으로 판단된다.

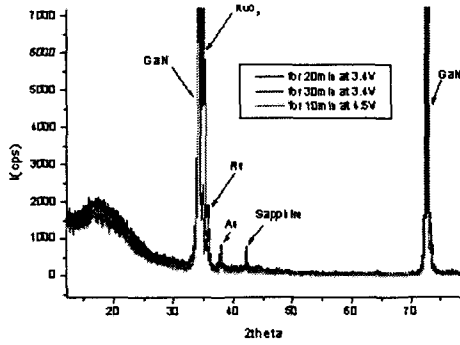


그림6-a. Schottky diode의 XRD data

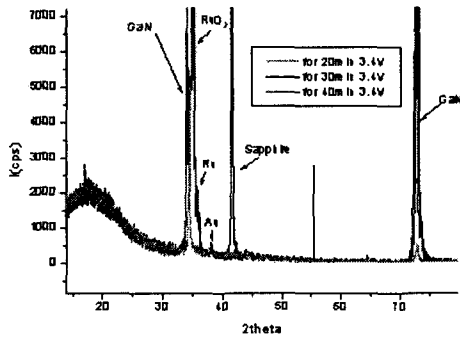


그림6-b. Schottky diode의 XRD data

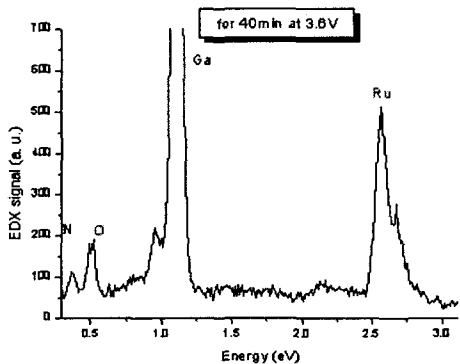


그림7-a. Schottky diode의 EDX data

그림8에서 볼 수 있듯이 Ohmic 전극에서 멀어질수록 RuO<sub>2</sub>의 thickness는 얇아지게 되고 이러한 현상에서 RuO<sub>2</sub>가 두꺼워질수록 metallic 특성을 갖게되고 얇아

질수록 insulator의 특성을 나타내게 된다는 사실을 알 수 있다. 즉, dipping 시간의 증가에 따라 RuO<sub>2</sub>의 두께는 커지게 되고, 인가된 전압이 커질수록 또한 두꺼워짐을 알 수 있다. 이러한 사실은 그림 9에서 더욱 확실하게 알 수 있다. 위 사실을 근거로 Ohmic 특성과

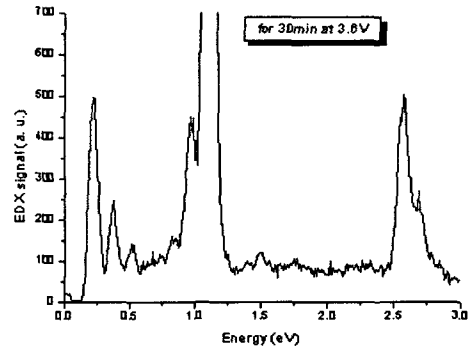


그림7-b. Schottky diode의 EDX data

Schottky 특성의 향상을 동시에 만족하는 두께와 RuO<sub>2</sub> 표면 uniformity를 찾기 위한 실험을 계속하였다.

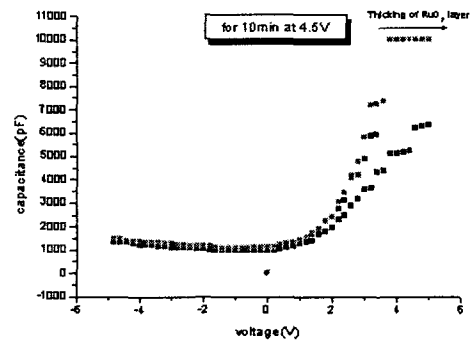


그림8. Schottky diode의 C-V data

두 특성을 동시에 만족하는 전압 값은 3.6V이고 시간은 20분 임을 알았다.

V. 결론

Schottky 접촉에서의 leakage current의 원인이 되는 dislocation을 가지고있는 GaN의 소자제작은 더욱 힘든 것으로 알려져 있다. 이는 결국 mobility 저하의 원

인이기도 하다. 이 실험에 사용된 GaN의 특성이 매우 좋지 못함에도 불구하고 Schottky diode의 제작에 있어 전기적인 특성을 확인할 수 있었다. 이는 GaN의 소자제작의 어려움을 극복하고 소자로의 응용가능성을 확인할 수 있는 기회가 되었다. GaN 소자제작에서의 RuO<sub>2</sub>의 특성인 낮은 reverse leakage current와 high metallic conductivity, good diffusion barrier property, high thermal stability 그리고 우수한 전기적인 특성들을 이용하여 GaN를 이용한 많은 소자들에 응용가능성이 기대되어진다.

solution", Journal of Applied Physics, p4591, 2000  
 [9] L.Zhang, "Epitaxially-Grown GaN junction Field Effect Transistors", IEEE, p507, 2000  
 [10] J.A.Bardwell, "Fabrication of high performance GaN modulation doped field effect transistors", American Vacuum Society, p750, 2000

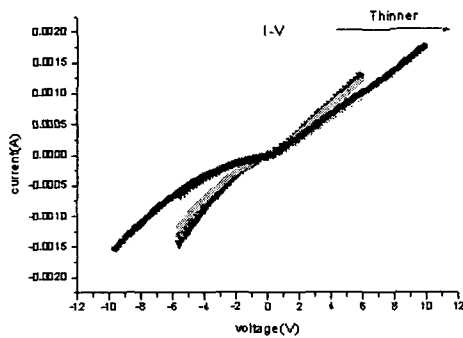


그림9. Schottky diode의 I-V data

**참고문헌(또는 Reference)**

[1] J.A. Bardwell, "Fabrication of high performance GaN modulation doped field effect transistors", American Vacuum Society, p750, 2000  
 [2] R. Therrien, "Charge Redistribution at GaN-Ga2O3 Interfaces:A Microscopic Mechanism for Low Defect Density Interfaces in Remote Plasma Processed MOS Devices Prepared on Polar GaN Gases", Phys, Stat, Sol, p793, 1999  
 [3] X. A. Cao, "Creation of high resistivity GaN by implantation of Ti, O, Fe, or Cr", Journal of Applied Physics, p1091, 2000  
 [4] M. Toth and M. R. Phillips, "Detection of Cr impurities in GaN by room temperature cathodoluminescence spectroscopy", Applied Physics Letters, p3983, 1999  
 [5] T.G.G. Maffei, "GaN Cleaning by Ga Deposition, Reduction and Re-Evaporation An SXPS Study", Phys, Stat, Sol, p751, 1999  
 [6] Chul Huh, "Effective sulfur passivation of an n-type GaN surface by an alcohol-based sulfide