

## 누설전류를 줄이기 위한 원형 AlGaIn/GaN 쇼트키 장벽 다이오드

### Low Leakage Current Circular AlGaIn/GaN Schottky Barrier Diode

김민기<sup>1</sup>, 임지용<sup>1</sup>, 최영환<sup>1</sup>, 김영실<sup>1</sup>, 석오균<sup>1</sup>, 한민구<sup>1,a</sup>

(Minki Kim<sup>1</sup>, Jiyong Lim<sup>1</sup>, Young-Hwan Choi<sup>1</sup>, Young-Shil Kim<sup>1</sup>, Ogyun Seok<sup>1</sup>, and Min-Koo Han<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

We proposed circular AlGaIn/GaN schottky barrier diode, which has no mesa structure near the current path. Proposed device showed low leakage current of 10 nA/mm at -100 V while that of the rectangular device was 34 nA/mm at the same condition. Proposed circular AlGaIn/GaN SBD showed high forward current of 88.61 mA at 3.5 V while that of the conventional device was 14.1 mA at the same condition.

**Key Words** : AlGaIn/GaN, Schottky barrier diode(SBD), Implantation, Leakage current

#### 1. 서론

최근 AlGaIn / GaN 이종접합구조 고 전자 이동도 트랜지스터 (High Electron Mobility Transistor, HEMT)와 쇼트키 장벽 다이오드 (Schottky Barrier Diode, SBD)는 와이드 밴드갭, 높은 항복 전계, 높은 포화 속도 등의 우수한 물질적 특성 때문에 전력 소자로 각광을 받고 있다[1]. 높은 항복전압과 낮은 누설전류는 전력소자로 이용되기 위한 중요한 특성이고, 이러한 특성을 향상시키기 위해 layout 최적화[2], 패시베이션[3], 패시베이션 막에 As<sup>+</sup> 이온을 주입하는 연구[4],플로팅 메탈 링[5] 등이 관심을 받고 있다.

패시베이션 공정은 GaN 표면에서의 전자 트랩핑 현상을 줄이고, 애노드와 캐소드 사이의 전계 분포를 변화시켜 항복전압을 향상시킨다[6]. As<sup>+</sup> 이온 주입은 역방향 바이어스에서 애노드로부터 전자 보상을 유발하고 가상 애노드의 형성을 막아 줌으로써 캐소드로의 전계집중을 완화시키고 항복 전압을 향상시킨다[4]. 또한, 쇼트키 접합이 집중되는 전계를 완화하기 위하여, 쇼트키 접합 근처에 추가적인 플로팅 메탈을 증착시키고 전계 분포를 변화시켜 항복전압을 향상 시킨다[5].

AlGaIn/GAN 이종접합구조에서 GaN 버퍼층 위에 AlGaIn층이 증착 되어있다. GaN 버퍼층과 AlGaIn 층 경계에는 격자구조의 차이에 의하여 이차원 전자 가스 (Two-Dimensional Electron Gas, 2DEG)가 생기고, 소자의 채널로 이용된다. GaN 버퍼층과 AlGaIn 층 사이에는 항상 전자가 생겨 있으므로 소자간 격리를 위해 건식 식각을 이용하여 메사공정을 한다.

기존의 SBD 소자는 사각형으로, 전류 통로 부근의 메사 구조에서 누설전류가 발생하게 된다. 메사공정은 플라즈마 건식 식각 공정을 이용하게 되는데, 이러한 플라즈마의 영향을 받은 메사 벽은 누설전류를 발생시키는 원인이 된다. 이러한 누설 전류를 줄이기 위한 해결방안으로, 전류 통로 부근에 메사공정을 하지 않는 원형의 AlGaIn/GaN 쇼트키 장벽 다이오드(Schottky Barrier Diode, SBD)에 대한 연구를 하였다.

기존 사각 소자의 전류통로가 메사 벽을 지나는 반면에 제안된 원형 소자는 전류통로가 메사 벽을 지나지 않기 때문에 누설 전류를 줄일 수 있었다. 제안된 원형소자는 -100 V의 역방향 전압을 인가 하였을 때 10 nA/mm 인 반면 기존의 사각형 소자의 누설전류는 같은 조건 하에서 34 nA/mm로 원형 소자의 특성이 우수했다. 제안된 원형의 AlGaIn/GaN SBD는 항복전압이 612 V였으며, 이 수치는 기존의 사각형의 AlGaIn/GaN SBD의 항복전압인 684 V와 비슷한 수준이었다.

1. 서울대학교 전기·컴퓨터공학부  
(서울시 관악구 관악로 599)

a. Corresponding Author : mkh@snu.ac.kr

접수일자 : 2009. 7. 22

심사완료 : 2009. 8. 4

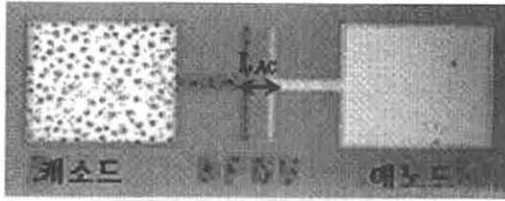


그림 1. 기존의 사각형 소자.  
Fig. 1. Top view of the conventional rectangular AlGaIn/GaN Schottky barrier diode.

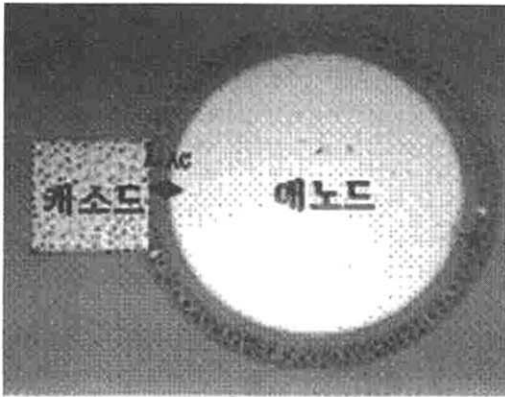


그림 2. 제안된 원형 소자.  
Fig. 2. Top view of the proposed circular AlGaIn/GaN Schottky barrier diode.

## 2. 실험

기존의 사각형의 소자와 제안된 AlGaIn/GaN SBD가 그림 1~그림 4에 나타나있다. AlGaIn/GaN의 이종접합 구조는 금속 유기 화학 기상 증착법(Metal Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)에 의해 반 절연 4H-SiC 기판 위에 성장되었다. 소자 간 분리를 위하여 유도 코일 플라즈마 반응성 이온 식각기(Inductively Coupled Plasma Reactive Ion Etcher, ICP RIE)를 이용하여 270 nm 길이의 메사 구조를 형성하였다. 캐소드의 오픈 접합을 위해 금속 Ti/Al/Ta/Au(20 /80 /20 /100 nm)을 전자빔 증착기를 사용하여 순차적으로 증착하였고, 리프트-오프 기법을 이용하여 패터를 형성하였으며, 질소 분위기 850°C에서 30 초 간 어닐링 하였다. 애노드 영역의 쇼트키 접합을 위한 금속인 Ni/Au/ Ni(50 /300 /50 nm) 또한 전자빔 증착기를 이용하여 순차적으로 증착하였고, 리프트-오프 기법을 이용하여 패터를 형성하였다. 제안된

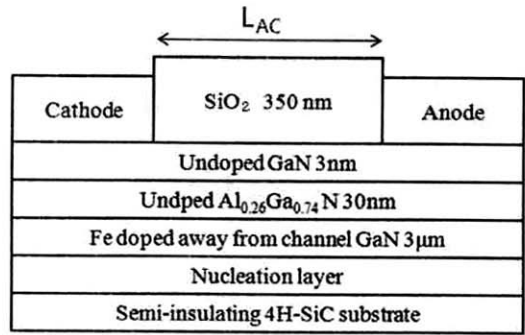


그림 3. 기존 사각형 소자의 단면도.  
Fig. 3. Schematic cross sectional view of the conventional AlGaIn/GaN rectangular SBD.

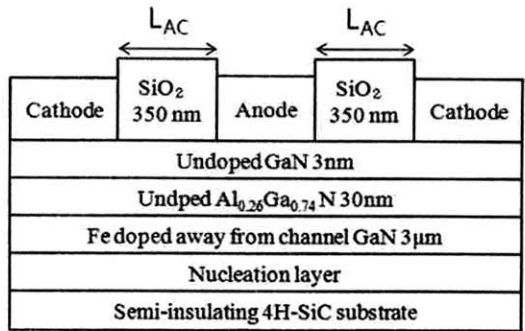


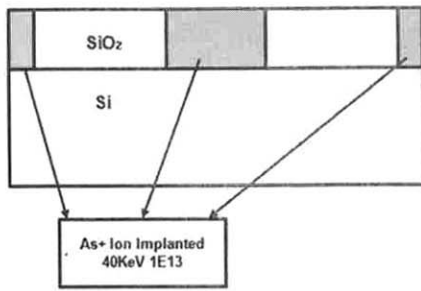
그림 4. 제안된 원형 소자의 단면도.  
Fig. 4. Schematic cross sectional view of the proposed AlGaIn/GaN circular SBD.

소자와 기존 소자는 캐소드에서 애노드까지의 길이(L<sub>AC</sub>) 각각 15 μm와 20 μm인 소자를 실험하였다. SiO<sub>2</sub> 패시베이션(350 nm)은 유도 코일 플라즈마 화학 기상 증착법(Inductively Coupled Plasma Chemical Vapor Deposition, ICP CVD)에 의해서 증착이 되었다. 항복전압을 높이기 위해서 As<sup>+</sup> 이온을 패시베이션 층에 40 KeV의 가속에너지와 1×10<sup>13</sup> atoms/cm<sup>2</sup>의 도즈량을 주입하였다[4].

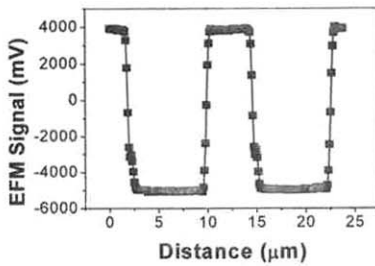
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 As<sup>+</sup> 이온 주입 효과

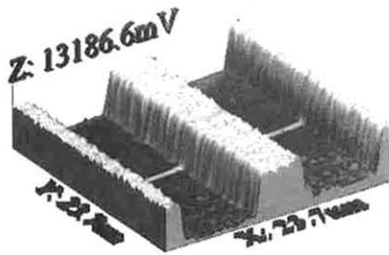
기존 소자와 제안된 소자는 항복전압을 향상시키기 위해 SiO<sub>2</sub> 패시베이션막에 As<sup>+</sup> 이온을 주입하였다. As<sup>+</sup> 이온 주입 공정 후, 패시베이션 층 내에서의 양이온의 영향을 확인하기 위해 전기력 현



(a) 표본



(b) 프로파일



(c) 이미지

그림 5. EFM 측정 결과.

Fig. 5. Schematic view of EFM sample (a) and EFM result image (b) and line profile(c).

미경(Electric Force Microscopy, EFM)을 이용하여 표면 전위를 측정하였다. 그림 5는 EFM 측정을 한 단면과 측정 결과를 나타낸 것이다. As<sup>+</sup> 이온 주입 이후에 공핍 영역의 폭이 향상되었고, 최대 전계가 감소하여 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> SBD의 항복전압이 향상되고 누설전류가 감소되었다[7].

### 3.2 소자의 I - V 특성

제안된 원형 소자와 기존의 사각형 소자의 전류-전압 특성이 그림 5와 그림 6에 나타나있다. 제안된 원형 소자의 캐소드와 애노드의 폭(L<sub>AC</sub>)이 기존의 사각형의 소자보다 더 넓기 때문에 제안된 소자의 전류밀도는 기존의 소자의 전류밀도보다 더

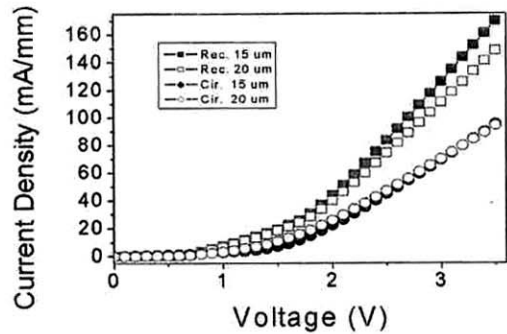


그림 6. 기존소자와 제안된 소자의 전류밀도-전압 특성.

Fig. 6. Measured forward current density per unit length of the proposed and convnctional AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> SBDs.

났다. 제안된 소자와 기존의 소자의 전류밀도는 L<sub>AC</sub>가 20 μm 애노드 전압 3.5 V에서 각각 94 mA/mm 와 148 mA/mm 이었다.

제안된 소자의 전류레벨은 기존의 소자의 전류 레벨에 비해 매우 높았다. L<sub>AC</sub>가 20 μm인 기존 소자의 전류가 애노드 전압 3.5 V에서 14 mA인 반면에, 같은 L<sub>AC</sub>를 갖는 제안된 소자의 전류는 84 mA이었다. 제안된 소자의 동작영역의 넓이가 기존 소자 동작영역 넓이의 4배이지만, 제안된 소자는 패드부분까지 포함하고 있고, 전류가 제안된 소자가 기존 소자의 6배 이므로 단위 면적당 전류는 제안된 소자가 1.5배 정도 더 높았다. 제안된 소자의 애노드에서 캐소드까지의 길이는 애노드의 길이와 패드 영역의 비에 비해 상대적으로 길다. 따라서 큰 면적의 애노드와 캐소드가 단위 면적당 전류를 생각했을 때 더 효과적인 설계라고 할 수 있다.

### 3.3 소자의 누설 전류

제안된 소자와 기존 소자의 누설 전류 측정 결과가 그림 7에 나타나있다. 원형소자의 전류가 흐르는 경로 부근에는 메사 구조가 없으므로, 제안된 소자의 누설 전류 밀도가 기존의 소자에 비해 낮았다. 캐소드-애노드사이의 길이가 20 μm일 때, 제안된 소자와 기존소자의 단위 길이당 누설전류는 100 V의 캐소드 전압에서 각각 10 nA/mm와 34 nA/mm 로 나타났다.

### 3.4 소자의 항복전압

그림 8은 제안된 소자와 기존의 소자의 항복전압이다. 20 μm의 캐소드-애노드길이에서의 제안된

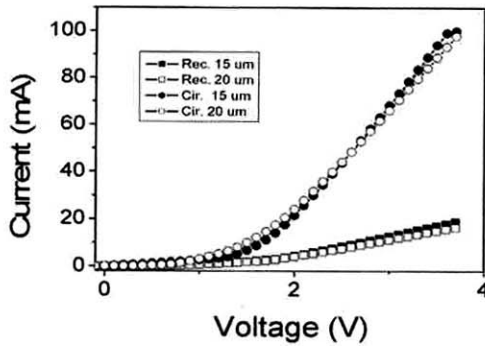


그림 7. 기존소자와 제안된 소자의 전류-전압 특성.  
Fig. 7. Measured leakage current density per unit length of the proposed and conventional AlGaIn/GaN SBDs.

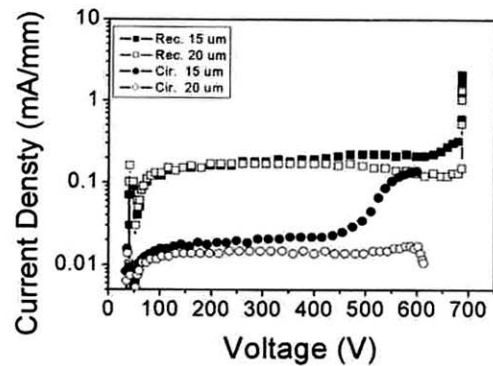


그림 9. 기존소자와 제안된 소자의 항복전압.  
Fig. 9. Measured breakdown voltage of the proposed and conventional AlGaIn/GaN SBDs.

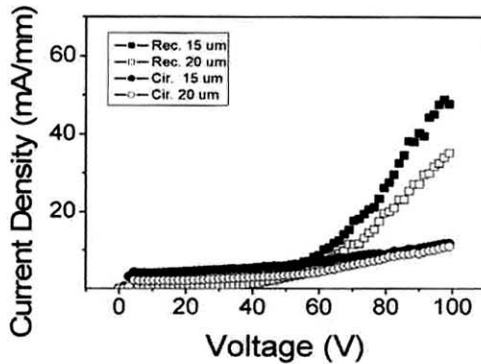


그림 8. 기존소자와 제안된 소자의 누설전류.  
Fig. 8. Measured leakage current density per unit length of the proposed and conventional AlGaIn/GaN SBDs.

소자의 항복전압은 기존소자의 항복전압과 비슷하다. 에노드와 캐소드 사이의 거리가 20  $\mu\text{m}$  일 때 제안된 소자의 항복전압은 기존 소자의 항복전압과 비슷한 수준이다. 제안된 원형소자와 기존의 사각형 소자의 항복전압은 각각 612 V 와 684 V 이었다.

### 3.5 고찰

AlGaIn/GaN SBD에서의 누설전류는 여러 경로에서 발생 할 수 있다. 본 논문에서 개선하고자 하는 누설전류는 메사 누설전류이다. GaN 버퍼층은 메사 공정시에 플라즈마의 영향을 받게 되고, 표면에 많은 결함을 발생 시키게 된다. 이러한 결함들은 누설전류를 발생시키는 원인이 된다. 메사 벽

부분은 결함이 발생 했을 때 전자가 머무를 공간을 마련해 주면서 누설전류를 발생시키는 주 원인이 된다. 메사 벽에 의한 누설 전류 발생을 줄이기 위하여 전류의 통로가 메사 벽을 지나지 않는 원형 소자를 제안하고 제작 하였다. 기존소자의 전류 통로가 메사 벽을 지나는 반면에 원형소자의 전류 통로는 메사 벽을 지나지 않고 원의 중심으로 향하기 때문에 누설 전류를 줄일 수 있다. 제안된 소자의 누설 전류는 에노드 캐소드 사이의 거리가 20  $\mu\text{m}$ 이고 100 V의 캐소드 전압에서 10 nA/mm 이고, 같은 조건에서 기존소자가 가지는 34 nA/mm 보다 낮게 측정 되었다.

## 4. 결론

본 연구를 통해 누설전류를 줄이기 위한 원형의 AlGaIn/GaN SBD를 제안하고 제작하였다. 제안된 소자는 전류가 흐르는 경로 근처에서 메사 단면이 필요 없기 때문에 누설전류가 억눌렸다. 기존소자의 누설전류는 캐소드 전압이 100 V일때 32 nA/mm 이고, 그에 반해 제안된 소자의 누설전류는 10 nA/mm 이었다. 원형의 AlGaIn/GaN SBD는 항복전압과 순방향 전류의 감소 없이 누설전류를 줄이는 매우 간단하고 우수한 소자이다.

## 감사의 글

본 연구는 전력IT사업단을 통해 지식경제부의 전력산업기술개발사업으로부터 지원받아 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- [1] M. N. Yoder, "Wide bandgap semiconductor materials and devices", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 43, No. 10, p. 1633, 1996.
- [2] Y.-S. Lin, "Layout Optimization of AlGaIn/GaN HEMTs for High-power Applications", Solid State Devices and Materials, p. 156, 2007.
- [3] M.-W. Ha, Y.-W. Choi, J. Lim, and M.-K. Han, "SiO<sub>2</sub> passivation effects on the leakage current in AlGaIn/GaN/ high-electron- mobility transistors employing additional schottky gate", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 4B, p. 2291, 2007.
- [4] J. Lim, "Increase of Breakdown Voltage in AlGaIn/GaN HEMTs by Employing As<sup>+</sup> Ion Implantation on SiO<sub>2</sub> Passivation Layer", Solid State Devices and Materials, p. 168, 2007.
- [5] M.-W. Ha, "An improved junction termination design employing shallow trenches and field limiting rings for power devices", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 45, No. 2A, p. 626, 2006.
- [6] Y. Ohno, "Effects of surface passivation on breakdown of AlGaIn/GaN high-electron-mobility transistors", Appl. Phys. Lett., Vol. 84, No. 12, p. 2184, 2004.
- [7] J. Lim, "1.4 kV AlGaIn/GaN HEMTs employing As<sup>+</sup> ion implantation on SiO<sub>2</sub> passivation layer", IEEE Power Electronics Specialists Conference(PESC), p. 88, 2008.