

항복전압 향상을 위해 As⁺ 이온을 주입한 AlGaIn/GaN 쇼트키 장벽 다이오드

김민기, 임지용, 최영환, 김영실, 석오균, 한민구
서울대학교

1.2KV AlGaIn/GaN Schottky Barrier Diode Employing As⁺ Ion Implantation on SiO₂ Passivation layer

Min-Ki Kim, Ji-Yong Lim, Young-Hwan Choi, Young-Sil Kim, Oh-Gyun Seok and Min-koo Han
Seoul National University

Abstract - SiO₂ 패시베이션 층에 As⁺ 이온을 주입한 1.2 kV급 AlGaIn/GaN 쇼트키 장벽 다이오드(Schottky Barrier Diode , SBD)를 제작하였다. 주입된 As⁺ 이온들은 역방향 바이어스에서 공핍 영역의 곡률을 변화 시켰고, 이로 인해 항복 전압이 증가하고 누설 전류가 감소하였다. 제안된 소자의 항복전압이 1204 V 이었고, 기존 소자의 항복전압은 604 V 이었다. 캐소드 전압이 100 V일 때 제안된 소자의 누설전류는 21.2 nA/mm 이었고, 같은 조건에서 제안된 소자는 80.3 μA/mm 이었다. 주입된 As⁺ 양이온은 이차원 전자 가스(Two-Dimensional Electron Gas, 2DEG)에 전자를 유도했고, 채널의 농도가 미세하게 증가하였다. 따라서 순방향 전류가 증가하였다.

1. 서 론

AlGaIn/GaN 쇼트키 장벽 다이오드와 고 전자 농도 트랜지스터 (High electron mobility transistors , HEMTs)는 GaN의 와이드-밴드갭과 높은 항복 전계로 인하여 전력용 반도체 소자로 주목 받고 있다.[1,2] 고전압 시스템에서 소자의 항복전압은 매우 중요하다. 소자의 항복전압을 증가시키기 위해 SiO₂ 패시베이션, 플로팅 메탈 링, Ni/Au 게이트 산화와 같은 상당히 많은 연구가 진행 되고 있다.[3-5] AlGaIn/GaN SBD의 항복전압은 애노드와 캐소드 전극 사이의 전계 분포와 관련이 있다. 패시베이션 공정은 소자 표면에서의 전자 트랩핑 현상을 줄이고, 애노드와 캐소드 전극 사이의 전계 분포를 변화시켜, 항복전압을 향상시킨다.[6]

패시베이션 공정을 하지 않았을 경우, 소자의 역방향 바이어스에서 애노드와 캐소드 사이의 표면에 전자들이 주입되는 트랩핑 현상이 발생한다. 따라서 애노드-캐소드 사이의 접촉 영역에서 유사 애노드가 생기고, 캐소드 가장자리에 높은 전계를 가지는 영역이 발생한다. [6,7] 이러한 캐소드 가장자리에서의 높은 전계는 패시베이션을 통하여 완화 된다. 전압 강하는 애노드 모서리에서 발생 하고, 유사 애노드의 역제로 인하여 전계 집중이 완화 된다.[6]

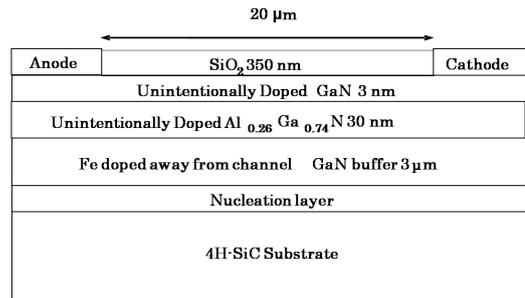
본 논문에서 연구하고자 하는 것은 AlGaIn/GaN SBD의 항복전압 증가를 위해 SiO₂ 패시베이션층으로 As⁺ 이온 주입을 하는 것이다. 패시베이션의 후처리에 대한 연구는 거의 보고 되지 않았다. 본 논문에서는 AlGaIn/GaN SBD를 제작하여 SiO₂ 패시베이션 한 후 패시베이션 막에 As⁺ 이온을 주입하였다. As⁺ 이온을 도즈량 1 × 10¹⁴ /cm²과 80keV의 가속에너지로 주입한 후 공핍 영역 곡률이 향상되었고, 최대 전계가 감소하여 항복전압이 증가되고 누설전류도 감소되었다. 제안된 소자의 항복전압은 1204 V 였고, 같은 조건에서 기존 소자는 604 V 이었다. 캐소드에 전압 100 V에서 누설전류는 제안된 소자가 21.2 nA/mm, 같은 조건에서 기존소자는 80.3 μA/mm 이었다,

2. 본 론

2.1 소자 구조 및 제작

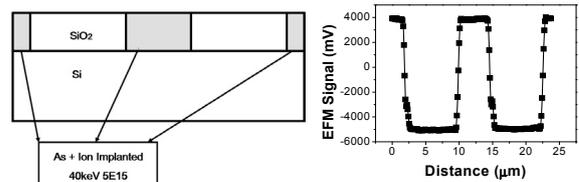
그림.1은 제안된 AlGaIn/GaN SBD의 단면도이다. AlGaIn/GaN 이중접합구조는 반 절연 4H-SiC 기판위에 금속 유기 화학 기상 증착법(Metal Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)을 이용하여 증착하였다. 소자 간 분리를 위해 유도 코일 플라즈마 반응성 이온 식각기(Inductively Coupled Plasma Reactive Ion Etcher, ICP-RIE)를 이용하여 270 nm 식각하였다. 캐소드 오믹 접합을 위해 리프트-오프 기법과 전자 빔 증착기를 이용하여 Ti/Al/Ta/Au(20 /80 /20 /100 nm)를 증착했고, 질소 분위기 850 °C에서 30초간 어닐링 하였다. 애노드 쇼트키 접합을 위해 리프트-오프 기법과 전자 빔 증착기를 이용하여 Ni/Au/Ni(50 /300 /50 nm)를 증착하였다. 유도 코일 플라즈마 화학 기상 증착법(Inductively Coupled Plasma Chemical Vapor Deposition, ICP-CVD)를 이용하여 실리콘 산화막 패시베이션층을 350 nm 증착하였고, 패시베

이션 층으로 As⁺ 이온 주입 공정을 하였다.



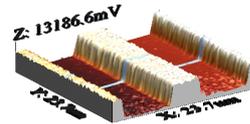
<그림 1> AlGaIn/GaN 쇼트키 장벽 다이오드의 단면도

2.2 실험 결과 및 고찰



(a) 표본

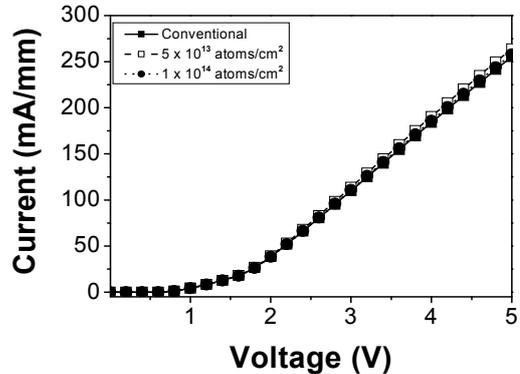
(b) 프로파일



(c) 이미지

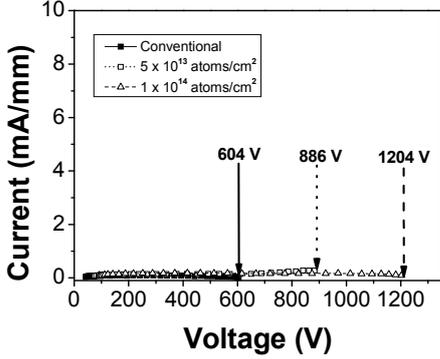
<그림 2> EFM 측정 결과

As⁺ 이온주입 공정 후, 패시베이션 층 내에서의 양이온의 영향을 확인하기 위해 전기력 현미경(Electric Force Microscopy, EFM)을 이용하여 표면 전위를 측정하였다. 그림.2 는 EFM 측정된 단면과 측정 결과를 나타낸 것이다.



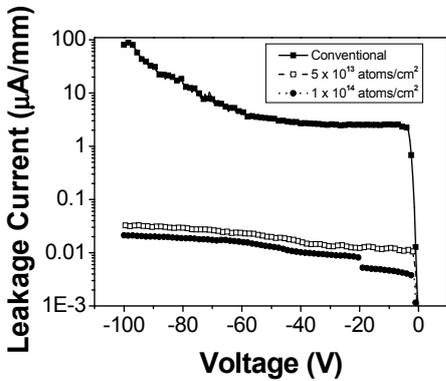
<그림 3> 소자의 I-V 특성

이온 주입 공정 이후에 패시베이션 층의 As⁺ 이온에 의해 이차원 전자 가스의 농도가 $8.28 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 에서 $8.38 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 로 약간 증가했고, 순방향 전류 또한 미세하게 증가하였다. 그림.3은 순방향 전류를 측정 한 것이다.



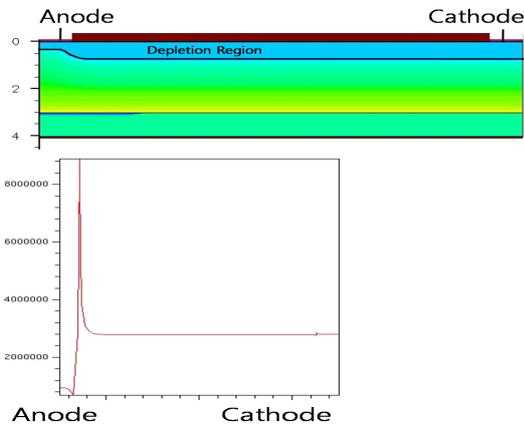
<그림 4> 소자의 항복 전압

그림.4는 As⁺ 이온 주입 공정 전후의 SBD 항복전압을 측정 한 것이다. 도즈량 $1 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 와 가속 에너지 80 KeV 로 이온 주입 공정을 했을 때, As⁺ 이온들에 의한 전계 완화 작용에 의해 항복전압이 604 V 에서 1204V로 상당히 증가하였다.

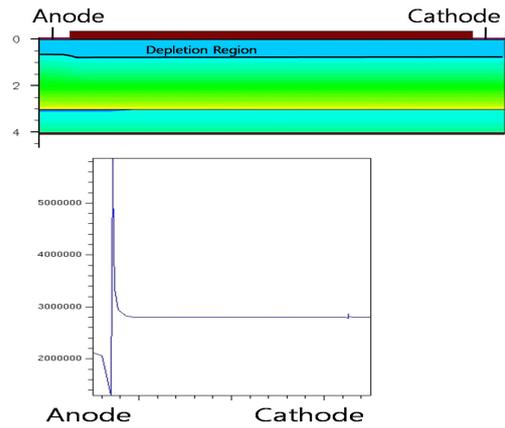


<그림 5> 소자의 누설 전류

그림.5는 제안된 소자의 역방향 누설 전류를 측정 한 것이다. 패시베이션 층 내의 As⁺ 이온 주입으로 전계의 집중이 완화되었기 때문에 역방향 누설전류가 80.3 μA/mm에서 21.2 nA/mm로 감소하였다. 그림.6은 2D 시뮬레이션을 통한 전계 완화 효과를 관찰한 결과이다. As⁺ 이온 주입후, 역방향 바이어스에서 공핍영역의 곡률이 개선되었고, 최대 전계의 크기가 감소하였다 .



(a) 기존 소자의 시뮬레이션 결과



(b)제안된 소자의 시뮬레이션 결과

<그림 6>애노드-캐소드 전압 -100 V에서 TCAD 시뮬레이션

As⁺ 이온 주입 방법은 AlGaIn/GaN SBD의 항복전압의 향상 뿐 아니라 누설전류를 줄일 수 있는 간단하고 효과적인 후처리 공정이다. 제안된 AlGaIn/GaN SBD는 순방향 특성의 열화 없이 1204 V의 높은 항복 전압, 21.2 nA/mm의 낮은 누설전류를 나타냈고, 반면에 기존 소자는 각각 604 V, 80.3 uA/mm 이었다. As⁺ 이온 주입을 통하여 AlGaIn/GaN SBD의 순방향 특성 저하 없이 항복전압과 누설전류 등 역방향 특성이 개선되었다. As⁺ 이온의 양전하는 역방향 인가 상태에서 애노드로부터 주입된 전자의 음전하를 보상하게되어 유사 애노드의 형성을 막아준다. 따라서 캐소드 근처에서의 전계 집중이 완화되고 제안된 소자의 전계가 기존 소자보다 더 고르게 분포 된다. AlGaIn/GaN 이종접합구조의 2DEG 농도는 표면 상태와 관련이 있다. 주입된 As⁺ 이온은 2DEG에 전자를 유도하고, 2DEG의 농도와 순방향 전류가 증가하였다.

3. 결 론

패시베이션을 한 AlGaIn/GaN SBD에 As⁺ 이온을 주입한 소자를 제작 하였다. 도즈량 $1 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 와 가속에너지 80 KeV의 이온 주입 이후에 공핍 영역의 곡률이 향상되었고, 최대 전계가 감소하여 AlGaIn/GaN SBD의 항복전압이 향상되고 누설전류가 감소하였다. 기존 소자의 항복 전압이 604 V 이고, 제안된 소자는 1204 V 이다, 캐소드 전압이 100V 일때 기존 소자의 누설전류가 80.3 μA/mm 이고, 같은 조건에서 제안된 소자는 21.2 nA/mm 이다. As⁺ 이온 주입 방법은 AlGaIn/GaN SBD의 항복전압 향상뿐만 아니라 누설전류를 감소시켜주는 간단하고 효과적인 후처리 공정이다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부가 지원하는 전력계통기술개발사업인 "계통연계형 인버터 시스템을 위한 고효율 전력소자 기반기술개발"을 통해 개발된 결과임을 밝힙니다.

[참 고 문 헌]

- [1]S. J. Pearton, "GaN: Processing, defects, and devices", J. Appl. Phys., Vol. 86, pp1-78, 1999.
- [2]Y.-F. Wu, et. al., "Very high breakdown voltage and large transconductance realized on GaN heterojunction field effect transistor", Appl. Phys. Lett., Vol. 69, pp1438-1440, 1996.
- [3]S. Arulkumaran, et. al., "Surface passivation effects on AlGaIn/GaN high-electron-mobility transistors with SiO₂, Si₃N₄, and silicon oxynitride" Appl. Phys. Lett. Vol. 84, pp613-615, 2004
- [4]M.-W. Ha, et. al. "AlGaIn/GaN High-Electron-Mobility Transistor Employing an Additional Gate for High-Voltage Switching Applications", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, pp6385-6388, 2005
- [5]S.-C. Lee et. al., Jpn. J. Appl. Phys., "Leakage Current of Ni/Au Schottky Barrier Diode Fabricated on AlGaIn/GaN Heterostructure by Oxidation", Vol. 45, pp 3398-3400, 2006
- [6]Y. Ohno, et.al., "Effects of surface passivation on breakdown of AlGaIn/GaN high-electron-mobility transistors", Appl. Phys. Lett., Vol. 84, pp2184-2186, 2004
- [7]R. Vetry, et. al., "The impact of surface states on the DC and RF characteristics of AlGaIn/GaN HFETs", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 48, pp560-566, 2001