

4H 탄화규소 쇼트키 다이오드에서 접합종단기법에 따른 항복전압특성

정희중*, 방 옥, 강인호, 김상철, 한현숙+, 김남균, 이용재*
 한국전기연구원, *동의대학교, +경남대학교

Reverse voltage characteristics of 4H SiC Schottky Diode by Edge termination Method

Hui Jong Cheong*, Wook Bahng, In Ho Kang, Sang Cheol Kim, Hyeon Sook Han+, Nam-Kyun Kim, Yong Jae Lee*
 Korea Electrotechnology Research Institute(KERI), *Donguei Univ., +Kyungnam Univ.

Abstract : The reverse breakdown voltages of 4H-SiC SBD(schottky barrier diode)s with FP(Field Plate) and/or FLR(Field Limiting Ring) as a edge termination, were investigated. The breakdown voltages of SBDs with FP were investigated varying the overlap width from 1 μ m to 30 μ m. The maximum average breakdown voltages was 475V. There is no significant changes for the devices with overlap width of between 5 μ m~30 μ m. It was confirmed that the dielectric breakdown of the thin thermal oxide is main cause of device failure. However, the breakdown voltage of SBD with FLR was 1400V even though the FLR edge termination structure was not optimized.

Key Words : 4H SiC, Schottky diode, Edge termination, Field plate, Field limiting ring, Electric field dispersion, Breakdown voltage.

1. 서 론

4H 탄화규소 쇼트키 다이오드는 2.2~3.3eV의 넓은 밴드갭(wide bandgap)과 우수한 열적 안정성 및 열전도 특성을 가지는 탄화규소로 인해 1000°K 이상의 고온 동작이 가능하며, 같은 항복전압을 갖는 실리콘 소자에 비해 높은 집적도를 가지며, 같은 크기의 실리콘 소자와 비교한다면 약 10배 정도 높은 항복전압을 얻을 수 있다[1-3]. 그러나 이러한 우수한 열적, 전기적 특성에도 불구하고 단순한 구조의 탄화규소 쇼트키 다이오드는 이론적인 항복전압보다 열화된 특성을 보인다. 이는 금속접합의 가장자리에서 발생하는 전계집중으로 인해 이곳에서 먼저 항복이 일어나기 때문이다. 따라서 높은 항복전압 특성을 얻기 위하여 금속접촉 가장자리에서의 전계집중을 완화시킬 필요가 있다. 전계집중을 완화시키기 위한 방법으로는 전계제한테(FLR, Field Limiting Ring) 구조, 전계판(FP, Field Plate) 구조와 접합종단연장(JTE, Junction Termination Extension) 구조 등이 있다. 본 실험에서는 전계판 구조와 구조를 중심으로 탄화규소 쇼트키 다이오드의 항복전압 특성을 비교 관찰 하였다.

2. 실험

실험에 사용된 웨이퍼는 저항이 0.018 Ω -cm이고 두께가 399.0 μ m인 n형 기판위에 6.5 $\times 10^{15}$ cm⁻³의 농도를 갖는 10 μ m 두께의 n형 박막으로 구성되어있다. 그림1은 본 실험에서 제작된 전계판 구조와 전계제한테 구조를 갖는 탄화규소 쇼트키 다이오드의 단면이다. 전계판구조는 건식산화 방식으로 550Å의 산화막을 성장시켰고, 기판의 뒷면을 1420Å의 Ni를 증착한 후 950°C로 90초 동안 열처리하여 오믹 접촉을 형성하였다. 쇼트키 접촉은 1500Å의 Ni를

증착한 후 500°C로 90초 동안 열처리하되, overlap size를 1~30 μ m까지 다양하게 변화시켜 제작하였다. 전계제한테 구조는 테의 두께가 쇼트키 접촉의 가장자리에서부터 각각 10 μ m, 5 μ m, 5 μ m이며, 테 사이의 간격은 5 μ m로서 n형 박막에 보론(B)을 이온주입한 후 1600°C에서 30분 동안 활성화시켜 형성하였고, 오믹 접촉과 쇼트키 접촉은 전계판 구조에서와 동일한 조건으로 제작하였다.

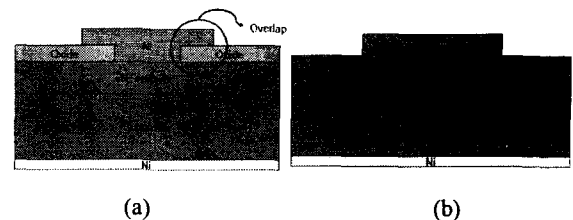


그림 1 제작된 SBD개략도 (a) FP 구조 (b) FLR 구조

3. 결과 및 고찰

그림2는 산화막과 금속층의 겹쳐지는 길이(overlap size)가 1 μ m~30 μ m를 가지는 전계판 구조 탄화규소 쇼트키 다이오드의 평균 항복전압을 보여주고 있다. 그림2에서 알 수 있듯이 전계판 구조의 탄화규소 쇼트키 다이오드는 5 μ m 정도에서 475V로 가장 높은 항복전압 특성을 보이며 그 이상의 overlap size에서는 비슷한 항복전압 특성을 나타내었다. 또한 이미 항복이 일어난 소자는 전기적으로 회복 불가능(irrecoverable)한 특성을 보였다. 이러한 소자들을 현미경으로 관찰한 결과 항복은 금속과 산화막이 겹쳐지는 부분에서 일어났으며 특히 금속층의 가장자리에서 일어났음을 알 수 있었다. 그 이유를 알아보기 위해 Silvaco사의 소자 simulator인 Atlas를 이용하여 산화막과 금속층의 겹쳐지는 길이의 변화에 따른 수평전계를 simulation하였다.

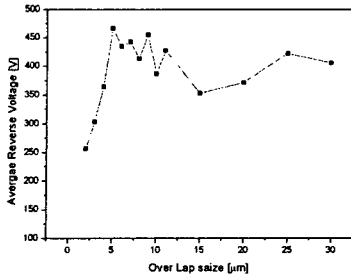


그림 2 overlap size의 변화에 대한 평균항복전압

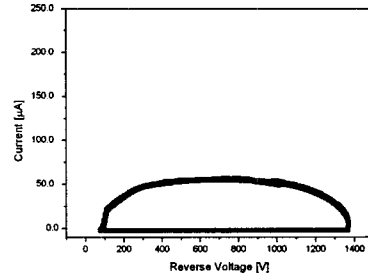


그림 4 FLR구조에서 항복전압 특성 (약1400V)

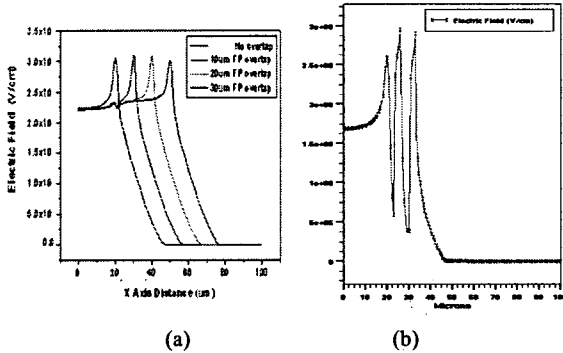


그림 3. (a) FP 구조에서 overlap size에 따른 전계 simulation 결과, (b) FLR 구조에서 전계 simulation 결과

그림3(a)에서 알 수 있듯이 쇼트키 접촉은 10 μ m로 고정되었지만 전계판이 산화막 위로 10 μ m~30 μ m로 확장되어도 역시 전계는 금속층의 가장자리에 집중되어 있다. 따라서 실험결과처럼 금속층의 가장자리 아래에 분포하는 강한 전계를 이기지 못한 산화막에서 절연파괴가 일어나 소자의 항복이 발생하였음을 추측할 수 있다. 또한 산화막(SiO₂)의 절연강도(dielectric strength)가 약 10MV/cm인 것을 감안할 때, simulation 결과인 3MV/cm에서 항복이 일어났다는 것은 전계판 구조가 산화막의 질에 민감하다는 것을 알 수 있다.

이상에서 전계판 구조는 전계분산이 효과적이지 못하며 산화막의 질에 민감하기 때문에 전계제한에 구조의 쇼트키 다이오드를 제작하였다. 우선 이 구조가 효과적으로 전계분산 특성을 보이는지를 알아보기 위해 athena를 이용하여 평범한 FLR 구조에 대해 simulation을 하였다. 결과인 그림 3(b)를 보면 Ring 부분에서 전계가 전계판구조에 비하여 잘 분산되는 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라 산화막에 비해 안정적인 p-n 접합으로 구성된 전계제한에 구조는 그림 4에서 나타난 것과 같이 1400V의 높은 항복전압 특성을 보였다.

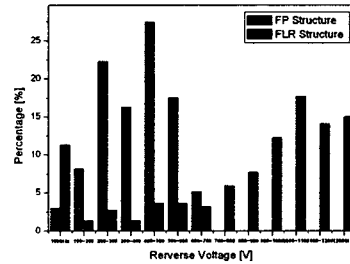


그림 5. FP구조와 FLR구조에서 항복전압 분포.

그림 5에서 FP 구조와 FLR 구조의 항복전압 분포를 보면 FP구조에서는 400~500V에서 17.6%분포로 나타났고, FLR구조에서는 1000~1100V에서 18%의 분포로 나타났다. 이는 FLR 구조가 FP 구조에 비해 우수한 항복전압특성을 가진다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

전계판 구조는 접합종단기법 중 공정상 가장 간단한 구조이지만 전계제한에 구조와 비교할 때 비효과적인 전계 분산과 산화막의 질에 대한 민감성으로 인해, 즉 공정에 민감 때문에 열화된 항복전압 특성을 보였다. 반면 전계 제한에 구조는 최적화된 구조가 아님에도 효과적인 전계 분산과 안정된 p-n 구조로 인해 전계판 구조보다 2배 이상의 항복전압특성을 보였다.

참고 문헌

[1] D.T Morissette, J.A Cooper, Jr., M.R. Melloch, G.M. Dolny, P.M. Shenoy, M. Zafrani, J. Gladish, IEEE tr., Electron Devices, Vol. 48(2001), p.349

[2] C.E Weitzel et al., "Silicon carbide high-power devices", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 43, No. 10, 1732-1741, 1996.

[3] K. Shenai et al., Optimum Semiconductors for high-power electronics", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 36, No. 9, 1811-1823, 1989.