한국전기전자재료학회 2003년도 하계학술대회 논문집

Junction termination 기법에 따른 4H-SiC 소자의 항복전압 특성분석

김형우, 방 욱, 송근호, 김남균, 김은동
한국전기연구원 전력반도체연구그룹

Junction termination technology for 4H-SiC devices

H. Y. Kim, W. Bahng, G. H. Song, N. K. Kim, and E. D. Kim
KERI

Abstract

In the case of high voltage devices, junction termination plays an important role in determining the breakdown voltage of the device. The mesa junction termination has been demonstrated to yield nearly ideal breakdown voltage for 6H-SiC p-n junctions. However, such an approach may not be attractive because of the nonplanar surface, which is difficult to passivate. Moreover, in case of 4H-SiC, ideal breakdown voltage could not be achieved using mesa junction termination. For 4H-SiC planar junction termination technique is more useful one rather than mesa junction termination.

In this paper, breakdown characteristics of the 4H-SiC device with planar junction termination, such as FLR(Field Limiting Ring), FP(Field Plate) and JTE(Junction Termination Extension), is presented. In the case of the FLR, breakdown voltage of 1800V is obtained. And breakdown voltage of 1000V and 1150V is also obtained for the case of FP and JTE case, respectively.

Key Words : 4H-SiC, Junction termination, Breakdown voltage

1. 서 론

Silicon carbide(SiC)는 물질자체의 전기적, 열적 특성으로 인해 최근에 고전압, 고주파 및 높은 온도 특성을 필요로 하는 소자의 제작에 있어서 각광받고 있는 물질[1,2]로서 고전압 반도체 소자 분야에서 많이 연구되고 있다.

고전압 소자의 경우 edge termination 기법은 소자의 항복전압을 결정짓는데 있어 중요한 역할을 하는 부분이다. 특히 mesa edge termination 기법은 6H-SiC pn 접합에서 이상적인 항복전압을 얻을 수 있는 방법으로 알려져 있다. 하지만 mesa edge termination 기법의 경우 표면이 평평하지 않기 때문에 passivation이 힘들다는 단점이 있어 소자의 제작시 많이 사용되지는 않고 있다. 또한 4H-SiC의 경우 mesa 구조보다는 planar edge termination 기법이 더 높은 항복전압을 얻을 수 있는 방법으로 알려져 있다. [3]

본 논문에서는 4H-SiC pn 접합에 대해 FLR(Field Limiting Ring), FP(Field Plate), JTE(Junction Termination Extension)와 같은 planar edge termination 기법을 사용할 경우 항복전압의 특성에 대해 분석하였으며, 온도 변화에 따른 소자의 특성 변화도 함께 알아보았다. 소자의 특성은 이차원 소자 simulator인 ATLAS를 이용해 검증하였다. [4]

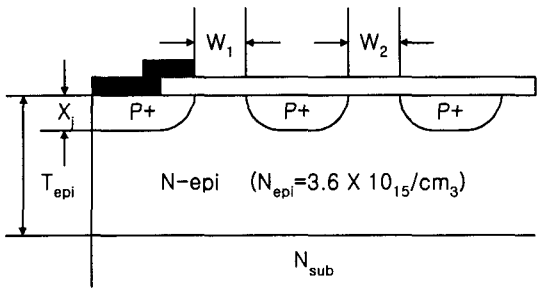
2. 본 론

2.1 소자 구조도

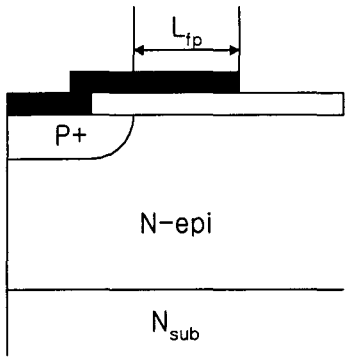
그림 1에 simulation에 사용된 junction termination 기법을 나타내었다. 본 논문에서는 FLR, FP 및 JTE의 세가지 junction termination 기법을 사용하여 항복전압 특성을 분석하였다.

FLR의 경우 2개의 링을 사용하였으며 주접합과 링간의 간격 및 첫 번째 링과 두 번째 링사이의

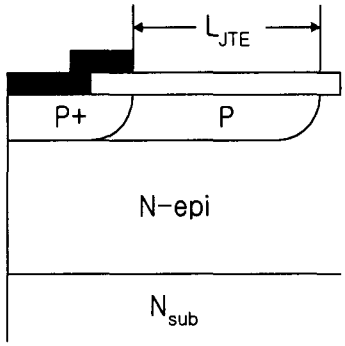
간격은 각각 5㎛로 고정하였다. FP의 경우 주접합의 끝단에서 FP의 끝단까지의 거리를 10㎛로 하였으며 JTE의 경우도 FP와 마찬가지로 접합의 길이를 10㎛로 고정하였다. 세가지 경우 모두 에피층의 농도는 $3.6\times10^{15}/cm^3$을 사용하였으며, 에피층의 두께는 10㎛를 사용하였다. 주접합의 접합깊이는 모두 0.65㎛, 농도는 $1\times10^{18}/cm^3$을 사용하였고, FLR의 경우 링의 접합깊이 및 농도는 주접합과 동일하게 하였다.



(a) Field Limiting Ring



(b) Field Plate



(c) Junction Termination Extension

그림 1. Simulation에 사용된 termination 구조.

2.1 Simulation 결과 및 분석

그림 2에 각각의 구조들의 항복전압을 나타내었다. 그림에서 FLR의 경우 약 1800V의 항복전압을 나타내었고, FP 및 JTE의 경우 각각 1150V 및 1000V의 항복전압을 나타내었다. 각각의 구조 모두 에피층의 농도는 $3.6\times10^{15}/cm^3$을 사용하였으며 주접합의 깊이는 0.65㎛를 사용하였다.

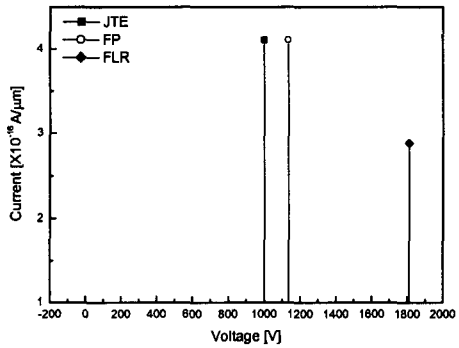
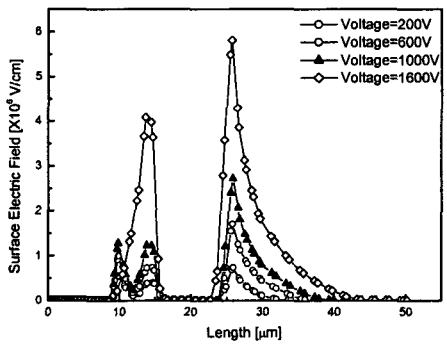
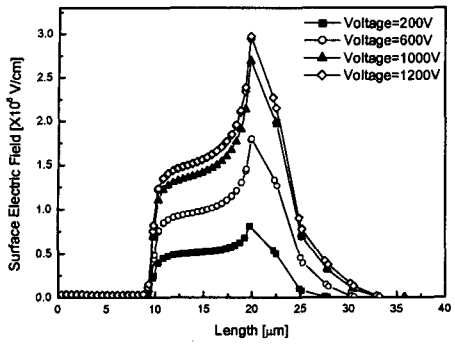


그림 2. Junction termination 구조에 따른 항복전압특성.

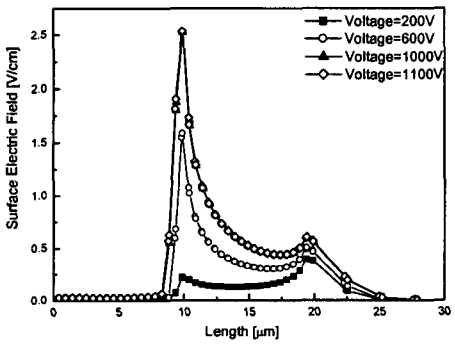
그림 3에 각각의 junction termination에서 전압의 변화에 따른 표면전계분포를 나타내었다.



(a) Field Limiting Ring



(b) Field Plate



(c) Junction Termination Extension

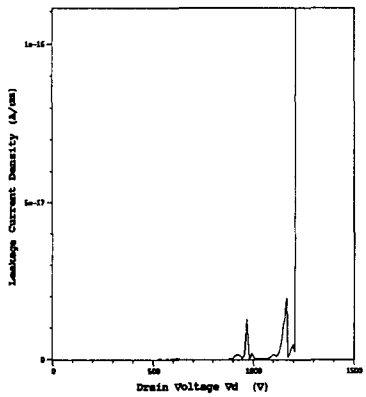
그림 3. 표면전계분포.

본 논문에서 사용된 구조의 경우 에피층의 두께가 10㎛정도로 얇기 때문에 대략 700~800V의 전압이 인가되면 공핍층이 n-epi/n-sub 의 경계면에 도달하게 되고, 이후에는 공핍층이 수평형 소자와 같이 수평방향으로 뻗어나가게 된다. 따라서 각각의 junction termination 기법들의 역할은 수평방향으로 퍼지는 공핍층의 폭을 넓혀 줌으로써 더 높은 항복전압을 얻는데 있다.

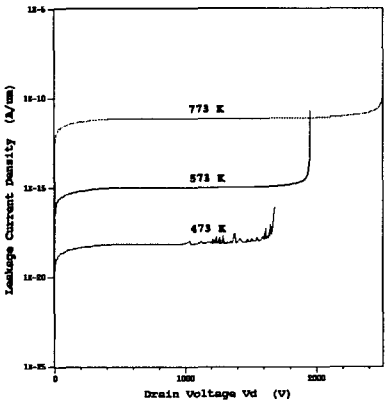
따라서 각각의 구조에 있어서 링의 경우는 링간의 간격 W_1, W_2, FP의 경우에는 L_{FP}, JTE의 경우에는 L_{JTE}의 길이를 최적화하는 것이 중요하다.

하지만 아직까지 SiC 소자의 경우 junction termination에 대해 많이 연구된바가 없고, 최적화에 대한 연구가 많이 되어있지 않기 때문에 본 논문에서는 각각의 값을 임의의 값으로 선택하여 simulation 하였다.

그림에서 FLR의 경우 대략 1600V 이상의 전압을 인가한 경우 링에서의 peak 전계값이 임계치를 넘어서는데 비해 FP 및 JTE의 경우 대략 1200V 및 1000V 정도의 전압을 인가할 경우 peak 전계값이 임계값을 넘어서고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 FP의 경우 주접합의 끝나에서 FP의 끝단까지의 거리에 따라 전계의 분포가 달라지게 되며, FP의 길이가 지나치게 긴 경우에는 주접합의 끝단에서 길이가 짧은 경우에는 FP의 끝단에서 전계의 peak 값이 나타나게 된다. 또한 JTE의 경우에는 JTE 영역의 농도와 길이에 따라 항복전압이 결정되게 되며, 설계시에는 JTE 영역 전체가 deplete 되도록 설계하여야 한다. 본 논문에서 사용한 값의 경우 아직 최적화가 이루어지지 않았기 때문에 항복전압이 이상적인 값에 미치지 못하지만 추후 최적화가 이루어질 경우 보다 높은 항복전압을 얻을 수 있을 것으로 보여진다.



(a) 300K



(b) 473K ~ 773K

그림 4. 온도에 따른 항복전압 특성변화.

그림 4에 온도의 변화에 따른 항복전압의 변화를 나타내었다. 온도 변화 simulation에 사용된 소자 구조는 일반적인 pn diode의 구조를 사용하였으며, 온도가 300K일때 항복전압은 대략 1210V정도를 나타내었고, 온도가 올라갈수록 누설전류의 증가와 함께 항복전압도 함께 증가하였다.

3. 결 론

4H-SiC의 junction termination 구조에 따른 항복전압 특성에 대해 알아보았다. SiC의 경우 물질 특성으로 인해 고전압 및 고온 특성을 필요로 하는 소자에 많이 사용되어지는 물질이다. 특히 고전압 소자에 있어서 SiC를 사용할 경우 Si에 비해 높은 농도에서도 높은 항복전압을 얻을 수 있어 최근에 활발히 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 이러한 SiC를 이용하여 pn 접합 simulation을 수행하였으며 FLR의 경우에는 대략 1800V, FP 및 JTE의 경우 1000V 및 1150V 정도의 항복전압을 얻을 수 있었다. 또한 온도를 300K에서 773K까지 증가시켜가며 항복전압을 simulation 한 결과 300K에서 약 1210V 정도의 항복전압을 얻을 수 있었으며 온도가 증가함에 따라 누설전류의 증가와 함께 항복전압도 함께 증가함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부 차세대연구개발서업인 "SiC 반도체 기술개발 사업 (SiCDDP)"의 지원으로 이루어진 것입니다.

참고 문헌

[1] M. Bhatnagar and B. J. Baliga, IEEE Trans. Electron Devices, vol 40, pp. 645-655, 1993

[2] R. J. Trew, H. B. Yan, and P. M. Mock, Proc IEEE, vol 79, pp. 598-620, 1991.

[3] Dev Alok, R. Raghunathan, and B. J. Baliga, IEEE Trans. Electron Devices, vol 43, pp. 1315-1317, 1996.

[4] Silvaco TCAD Manuals, Atlas, Silvaco International, Co. USA.