

# The Research of Deep Junction Field Ring using Trench Etch Process for Power Device Edge Termination

Yo-Han Kim\*, Ey-Goo Kang, Man-Young Sung

김요한\*, 강이구\*\*, 성만영\*\*

### Abstract

The planar edge termination techniques of field-ring and deep junction field-ring were investigated and optimized using a two-dimensional device simulator TMA MEDICI. By trenching the field ring site which would be implanted, a better blocking capability can be obtained. The results show that the p-n junction with deep junction field-ring can accomplish near 30% increase of breakdown voltage in comparison with the conventional field-rings. The deep junction field-rings are easy to design and fabricate and consume same area but they are relatively sensitive to surface charge. Extensive device simulations as well as qualitative analyses confirm these conclusions.

### 요약

2차원 소자 시뮬레이터인 TMA 메디치를 이용하여 필드링과 깊은 접합 필드링에 대해 연구하였다. 이온 주입될 위치를 미리 트랜치 식각을 시킴으로써 항복전압 특성을 향상시킬 수 있었다. 시뮬레이션 결과 기존 필드링의 항복전압대비 깊은 접합 필드링 항복전압은 약 30%의 증가를 보였다. 깊은 접합 필드링은 같은 면적을 차지하는 조건하에서 설계 및 제작이 비교적 용이하고, 표면 전하의 영향도 적은 것으로 나타났다. 본 논문에서는 여러 분석을 통해 깊은 접합 필드링의 향상된 특성을 논하였다.

*Key words : power device, breakdown, edge termination, trench, field-ring*

## 1. 서론

전력반도체는 인버터, 고압 스위치, 모터 구동 등과 같은 산업용에서 가전분야까지 그 적용 영역이 점차 확대 되고 있다.[1] 하지만 전력용 반도체의 Planar P-N 접합은 그 접합 굴곡에 의한 전계의 집중에 의해 항복전압이 제한되는 것으로 잘 알려져 있다.[2] 항복전압을 증가시키고 고전압 P-N접합의 신뢰성 향상을 위해서는 강한 역방향 전압 인가시 임계 전계를 반도체 표면에서부터 기판 아래쪽으로 이동시켜야 하

고, 그 위치를 여러 곳으로 분산시켜야만 한다. 이를 위해 다양한 방법들이 사용되어 왔는데 그 중 하나인 field ring 기술은 그림 1.(a)에서 볼 수 있듯이 주접합 주위에 전기적으로 플로팅되어 있는 접합들을 만들어 줌으로써 전계를 효과적으로 감소시켜주는 매우 유용한 방법으로 알려져 있다. 하지만 기존의 field ring 구조는 표면 전계가 높고 Si-SiO<sub>2</sub> 계면전하에 의해 표면전위가 쉽게 변동 되는 문제를 갖고 있다.[3] 이 논문에서는 그림 1.(b)에서와 같이, 링을 형성하기 위한 이온주입공정 영역을 미리 트랜치 식각함으로써 만들어 질 수 있는 deep junction field ring 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 기존 공정에 단지 트랜치 식각 공정을 추가함으로써 접합 깊이를 효과적으로 확장시키고 링 간격 등의 변화 없이도 항복전압을 증가시킬 수 있다.

\* 고려대학교 전기공학과 반도체 및 CAD연구소

\*\* 극동대학교 컴퓨터정보표준학부

★ 고려대학교 전기공학과 반도체 및 CAD연구소,  
교신저자 (Corresponding author)

※ 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력IT사업에 의하여 지원되었음

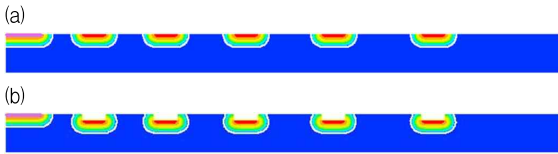


Fig 1. (a) The structure of conventional field limiting ring, (b) The structure of proposed deep junction field limiting ring

그림 1. (a) 기존 field limiting ring의 구조(위), (b) 제안된 deep junction field limiting ring의 구조(아래)

## II. 본 론

### 1. Trench etched junctions

그림 2는 각 트랜치 식각 깊이에 따른 planar 접합의 모양을 나타낸다. 기존 field ring의 접합 깊이는 10.1 $\mu\text{m}$ 인데 트랜치 식각 후 이온주입한 접합의 경우 15.1 $\mu\text{m}$ 까지 깊이가 증가하였다. 반면에 접합의 너비는 트랜치 식각 깊이에 큰 변화가 없었다.

Trench depth( $\mu\text{m}$ )	Junction Depth( $\mu\text{m}$ )	Junction Width( $\mu\text{m}$ )	structure
0	10.1	37.7	
1	11.1	37.6	
2	12.1	36.9	
3	13.1	37.1	
4	14.0	37.1	
5	15.1	37.1	

Fig 2. Junction depth, width and concentration of a deep junction field limiting ring

그림 2. 트랜치 깊이에 따른 접합 깊이, 너비, 농도 분포

### 2. Breakdown Voltage

트랜치 깊이에 따른 항복전압의 변화와 각각의 접합 깊이를 같이 나타낸 것이 그림 3이다. 트랜치 깊이가 깊어질수록 접합 깊이는 일정하게 증가하였고, 이에 따라 항복전압 특성도 큰 폭으로 향상되는 것을

볼 수 있다. 기존 구조의 항복전압이 1725V였는데 5 $\mu\text{m}$  deep junction field ring은 2244V로 30%증가하였다.

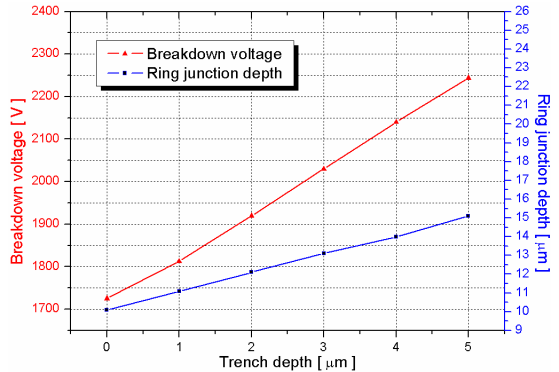


Fig 3. Junction depth and Breakdown voltage

그림 3. 트랜치 깊이에 따른 접합 깊이와 항복전압

### 3. Analyses of electric field distributions

항복전압이 증가하는 이유를 알아보기 위해 breakdown이 일어날 때의 electric field contour를 분석하여 그림 4에 나타내었다. 그림 4의 (a)는 기존 구조의 electric field를 2차원 평면상에 도시한 것으로 전계 집중이 주로 안쪽 링에서 일어나고 있다는 것을 알 수 있다. 이 현상을 좀 더 자세히 분석하기 위해 표면근처의 전계를 3차원 평면상에 나타낸 것이 그림 5의 (a)이다. 1,2,3번째 링이 임계 전계(2.50X 10<sup>5</sup>V/cm)에 도달하고 있으며 4,5,6번째 링은 전압 분배기로서 큰 역할을 하지 못하고 있다. 그림 5의 (b),(c)는 트랜치 식각을 각각 3,5 $\mu\text{m}$ 로 했을 때의 전계인데, critical field가 약 2.25X10<sup>5</sup>V/cm 로 낮아졌을 뿐만 아니라 6개 모든 링들에 비교적 균등한 전계가 가해지고 있다. 이것은 field limiting ring구조가 전압 분배기로서 최적 작동되어 이로부터 가장 높은 항복전압 특성을 얻어 낼 수 있음을 말한다.[4]

접합 깊이가 깊을수록 역방향 전압이 가해졌을 때 공핍층에 대한 접합곡률 반경이 상대적으로 커지므로 항복전압은 증가한다.[5] 그림 4의 (b),(c),(d)의 삽입 그림들은 각각 6번째 field ring의 전계를 확대한 것인데, 트랜치 식각이 깊을수록 접합 깊이와 함께 최대 전계 지점의 위치 또한 표면에서부터 점점 깊어지는 것을 확인할 수 있다. 최대 전계 지점의 위치를 표면으로부터 벌크 내부 방향으로 이동시키는 것은 항복전압을 증가시키는 것뿐 아니라 고전압 소자의 신뢰성을 향상시킨다.[6]

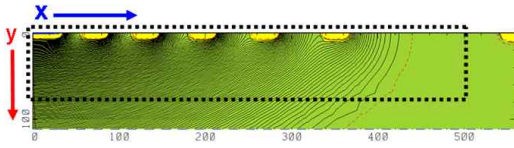


Fig 4. The electric field distribution of a conventional field limiting ring

그림 4. 기존 field ring의 전계분포

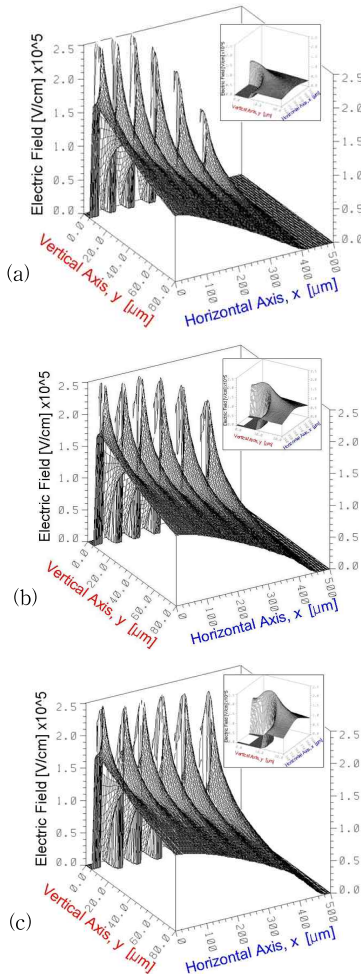


Fig 5. (a) The surface field distribution of a conventional field limiting ring (b) The surface field distribution of 3 $\mu\text{m}$  deep junction ring (c) The surface field distribution of 5 $\mu\text{m}$  deep junction ring

그림 5. (a) 기존 field ring의 표면 전계, (b) 3 $\mu\text{m}$  트랜치 식각된 deep junction ring의 표면 전계, (c) 5 $\mu\text{m}$  트랜치 식각된 junction field ring의 표면 전계

#### 4. The effect of surface charge

전력 소자의 항복전압은 표면 전하량,  $Q_f$ 에 매우 큰 영향을 받는다. 깨끗하지 않은 process 또는 ionizing radiation등의 결과 필드 산화막에 트랩이 만들어 지고, 이는 표면 전하를 유도한다. 이러한 전하들은 접합의 표면 포텐셜을 변화시켜 대부분 항복전압 특성을 악화시킨다.

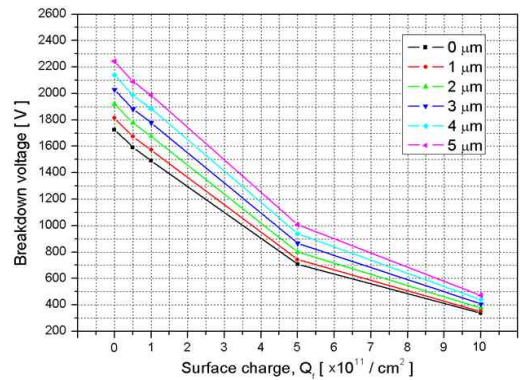


그림 6. 표면 전하량에 대한 항복전압의 변화

트랜치 깊이와 표면 전하량에 대해 항복전압의 변화를 그림 6에 나타냈다. 트랜치 깊이가 깊을수록 전체적인 항복전압은 높았지만 표면전하에 대한항복전압의 민감도는 더 악화되었다. 이것은 높은 표면 전하량일수록 항복전압이 일어나기 전에 필드링간의 punch-through가 잘 일어나지 않기 때문이다. 링들간의 거리를 좀 더 줄이는 방법으로 이러한 항복전압의 민감도를 감소시킬 수 있다.

### III 결론

기존 field ring에 이온주입 할 부분을 미리 트랜치 식각함으로써 링의 접합 깊이를 깊게 한 deep junction field ring에 대해 고찰하였다. 트랜치 식각의 깊이에 따라 링의 접합 깊이도 선형적으로 증가하였으며 이에 따라 항복전압 특성도 크게 향상되었다. 기존 구조와 제안된 구조의 전계분포를 비교해본 결과, 기존 구조에서는 약  $2.50 \times 10^5 \text{V/cm}$ 에 달하는 임계전계가 주접합 가까이 있는 몇몇의 링에 집중되었던 반면, 제안된 구조에서는 다소 낮아진  $2.25 \times 10^5 \text{V/cm}$ 의 전계가 모든 링들에 골고루 분산되었음을 확인 할 수 있었다. 특히 임계 전계 지점이 접합 굴곡의 표면에서 벌크 내부로 이동하고 있음을 알 수

있었는데 이는 전력 소자의 항복전압 특성뿐만 아니라 신뢰성까지 향상시킬 수 있음을 보여주었다. 표면 전하량과 항복전압과의 관계도 알아보았다. 그 결과 제안된 구조에서 전반적으로 높은 항복전압을 얻을 수 있었던 반면, 표면 전하량에 대한 항복전압 감소 폭은 더 커졌다. 이를 개선하기 위해 deep junction field ring간의 폭을 더 촘촘히 위치시키는 방안이 논의되었으며, 이에 대한 구체적인 연구가 좀 더 필요할 것이다.

### 참고문헌

- [1] 유승우, 이한신, 경진수, 성만영, "Floating P층을 전계 방지막으로 설계한 2000V급 Insulated Gate Bipolar Transistor(IGBT)의 특성 해석에 관한 연구, 제14회 한국반도체학술대회, FP2, p.1087~1088, February 2007
- [2] Y.C.KAO, "High-Voltage Planar p-n Junctions", Proceedings of the IEEE, Vol.55, No.8, August 1967
- [3] Hamza Yilmaz, "Optimization and Surface Charge Sensitivity of High-Voltage Blocking Structure with Shallow Junctions", IEEE transactions on electron device. Vol.38. No.7. July 1991
- [4] K.R.Davis, R.D.Schrimpf, F.E. Cellier, and K.F.Galloway, "The Effect of Ionizing Radiation on Power-MOSFET Termination Structures", IEEE transaction on nuclear science, Vol.36. No.6. December 1989
- [5] Power Semiconductor Devices, B.Jayant Baliga, PWS Publishing Company, 1996
- [6] Chun-Yen Chang, "An Analytic Approach for Optimal Field Ring Spacing of a Diode Under Punchthrough Operation", IEEE Electron Device Letters, Vol. EDL-7, No.1, January 1986

### 저 자 소 개

#### 김 요 한 (정회원)



2006년 : 고려대학교  
전기전자전파공학부 졸업  
2006년 8월~현재 :  
고려대학교 대학원  
전자전기공학과(공학석사)  
<주관심분야>

IGBTs, Power MOSFETs, Power device edge termination technologies, etc.

#### 성 만 영



1989~ 현재 : Professor in  
Electrical Engineering at  
Korea University  
<주관심분야>  
IC design, Power devices &  
ICs, Compound Semiconductor  
& Thin Film, etc.