

내압특성개선을 위한 트렌치 필드링 설계 및 전기적특성에 관한 연구

A Study on Electrical Characteristics of Trench Field Ring for Breakdown Characteristics

강이구^{1,a}, 김범준¹, 이용훈¹
(Ey Goo Kang^{1,a}, Beum Jun Kim¹, and Young Hun Lee¹)

Abstract

In this paper, we proposed trench field ring for breakdown voltage of power devices. The proposed trench field ring was improved 10% efficiency comparing with conventional field ring. we analyzed five parameters of trench field ring for design of trench field ring and carried out 2-D devices simulation and process simulations. That is, we analyzed number of field ring, junction depth, distance of field rings, trench width, doping profield. The proposed trench field ring was better to more 1000 V.

Key Words : Power devices, Trench field ring, Breakdown voltage, Field plate, Trench depth

1. 서론

오늘날, 전기자동차 및 전력계통형 인버터에서 전력반도체 수요가 급증함에 따라 높은 내압을 유지하면서 안정성있는 전력반도체가 필수적으로 요구되고 있다.

600 V급, 1200 V급, 1700 V급 및 2000 V 이상의 고내압 전력반도체에서 항복전압을 유지하기 위해 다양한 방법이 쓰이고 있다. 접합부근에 전계가 집중하는 현상을 분산시키기 위해서 대표적인 방법으로 활성 접합 이외에 전계분산용 접합을 만들어주어 전계를 분산시키는 필드링을 사용하는 방법이 있으며, 이외에 필드 플레이트, Junction Termination Edge의 설계 방법이 있다.

이중에서 필드링을 설치하는 방법은 필드링의 개수, 필드링의 접합깊이, 필드링들 사이의 간격이 주요 변수인데, 이러한 변수들의 최적화는 거의 이루어진 상태이다.

따라서 본 연구에서는 필드링의 구조적인 설계를 통해 내압특성을 개선하고자 하였으며, 구조설계에 따른 변수의 최적화를 이루고자 하였다. 본 연구에서는 기존의 접합링을 사용하지 않고, 트렌치 구조의 필드링을 제안하였으며, 그에 따른 필드링의 수, 트렌치 깊이 및 넓이, 그리고 링 사이의 간격 등을 소자 및 공정시뮬레이터를 이용하여 최적화 하여 내압 특성을 개선하였다.

2. 결과 및 고찰

2.1 공정제작구조

우선 4가지 구조의 breakdown voltage(BV)향상 구조에 대한 비교할 필요성을 느껴 아래 그림 1과 같이 가장 일반적인 field ring 구조와 field plate 구조, trenched field ring구조, field plate trenched field ring구조를 모든 설계 파라미터는 동일하게 하고 각 구조의 특징에 대한 파라미터만 변화시켜 시뮬레이션을 수행해 보았다.

그 결과 conventional field ring의 경우 BV가 1166 V, Field plate의 경우 1209 V, Trenched field ring의 경우 1284 V, field plate trenched field ring의 경우 1298 V임을 알 수 있었다. 이를

1. 극동대학교 컴퓨터정보표준학부
(충북 음성군 감곡면 왕장리 산5)
a. Corresponding Author : keg@kdu.ac.kr
접수일자 : 2009. 10. 12
1차 심사 : 2009. 12. 7
심사완료 : 2009. 12. 21

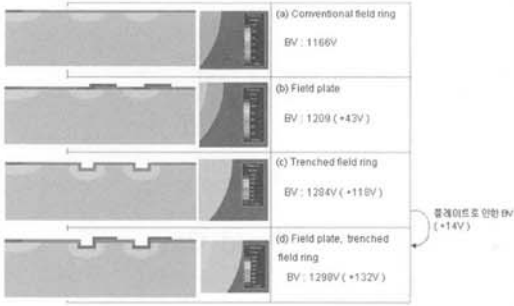


그림 1. 4가지 구조의 breakdown voltage 비교.
 Fig. 1. Breakdown voltage characteristics of four structures.

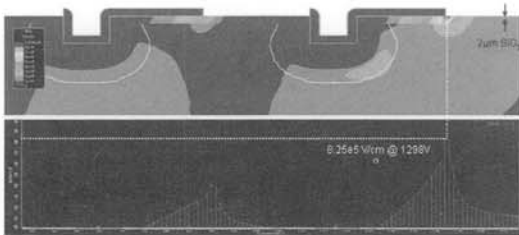


그림 2. Field plate trenched field ring의 plate 모서리에서의 전계집중.
 Fig. 2. Electric Field concentration of field plate trenched field ring.

통해 Trenched field ring구조와 Field plate trenched field ring구조가 가장 특성이 좋다는 것을 확인하였으며 두 구조의 여러 가지 특징을 비교하여 그 중 보다 나은 구조를 선택하였다.

2.2 Field plate trenched field ring의 단점

Field plate가 초고압 전력 소자에 적용될 경우, 그림 2와 같이 plate 전극 모서리에 전계가 집중될 수 있으며 이에 의해 예상했던 항복전압이하에서 소자가 breakdown될 수 있다.

또한 일반적으로 실리콘 산화막에 0.800 MV/cm 이상의 전계가 걸릴 경우 실리콘 산화막의 열화현상(degradation)발생 확률이 기하급수적으로 증가하는데 위와 같은 plate 전극 모서리 부분에서의 전계의 집중은 그 아래 존재하는 산화막에 열화현상(degradation)을 발생시키며 결과적으로 열적 파괴에 다다르게 할 가능성이 높아지게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위해 고압소자로 갈수록 기판과 plate사이에는 보다 두꺼운 유전체(산화막)가 필요하게 되는데 이는 공정상 제한을 받게 된다.



그림 3. Plate 모서리에서 전계의 세기.
 Fig. 3. Electric field of plate edge.

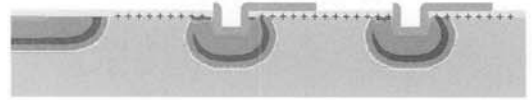


그림 4. 유전체 계면의 원치 않는 전하 형성.
 Fig. 4. Charge formation of interface.

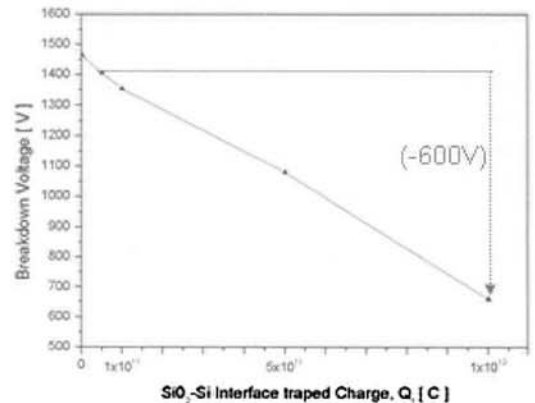


그림 5. 유전체 계면의 전하에 의한 breakdown voltage의 감소.
 Fig. 5. Reducing breakdown voltage by interface charge.

Plate를 만들기 위해서는 유전체 식각, 금속증착 및 금속 식각 공정 등을 거쳐야 되는데 그 과정에서 기판 표면과 유전체 계면에 전하가 만들어질 가능성이 높다. 특히 유전체로 실리콘 산화막을 사용할 경우에는 그림 4와 같이 양의 전하가 만들어지면서 최적화된 구조의 전계분포 능력을 크게 저하시키게 되는데 저하되는 정도가 plate를 사용함으로써 얻어지는 14 V의 breakdown voltage 향상보다 훨씬 크다.

2.3 Trenched field ring의 장점

Trenched field ring의 가장 큰 장점은 junction depth가 깊게 형성된다는 점이다. 이는 그림 6을 통해서 알아 볼 수 있는데 약 20% 정도 junction depth가 깊어졌다.

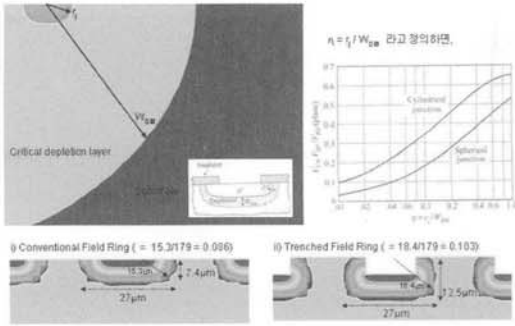


그림 6. Trenched field ring의 접합깊이.
 Fig. 6. Junction depth of trench field ring.

Parameters	levels	3 Levels
1) Dose (cm ⁻²)		3e14 ~ 1e15
2) Energy (KeV)		120~180
3) Trench Depth (um)		3~7
4) Trench Width (um)		10~20
5) Diffusion Time (minutes)		800~1000

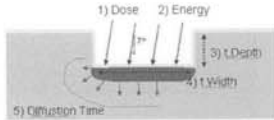


그림 7. Trenched field ring의 5가지 변수.
 Fig. 7. Five parameter of trench field ring.

일반적으로 파워 반도체 소자의 경우 junction depth는 breakdown voltage에 상당히 큰 영향을 미친다. 두 구조의 비교 결과 비록 breakdown voltage는 field plate trenced field ring이 조금 높지만 그 구조가 가지고 있는 단점과 불안정성에 비해서는 매우 미약하다는 것을 알 수 있었다. 또한 trenced field ring의 경우 junction depth를 깊게 하여 효과적으로 최대 전계를 낮추어 breakdown 을 높여준다는 것을 알게 되었다.

2.4 Trenched field ring의 최적화를 위한 실험 및 변수 추출

Trenched field ring의 설계에 영향을 미칠 수 있는 변수로는 dose량, energy, trench depth, trench width, diffusion time으로 총 5가지 종류를 생각할 수 있었다. 첫 번째는 dose량으로 field ring의 농도를 결정할 변수이며 두 번째는 energy로 junction depth에 영향을 미치는 변수이다. 세 번째로는 trench depth로 이 역시 junction depth에 영향을 미칠 것이고 네 번째 trench width는

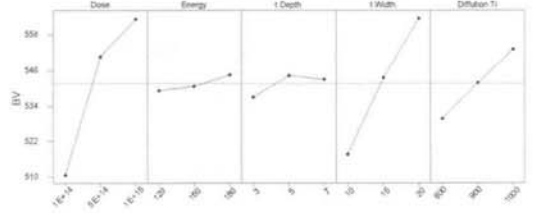


그림 8. Trenched field ring의 5가지 변수들이 BV에 미치는 영향.
 Fig. 8. Breakdown voltage variation by five parameter of trench field ring.

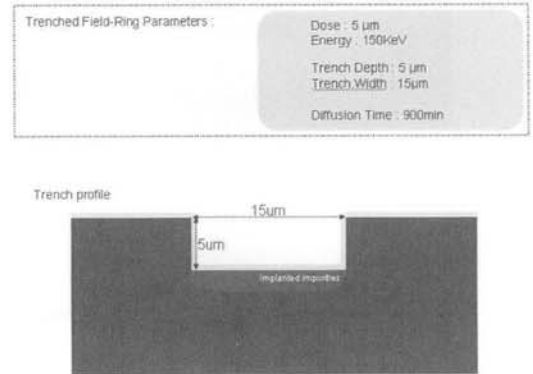


그림 9. Trenched field ring에서 5가지 변수들의 값.
 Fig. 9. Results of five parameter of trench field ring.

전계분배에 영향을 미치는 변수이다. 마지막 diffusion time은 역시 junction depth에 영향을 미치는 변수이다. 이제 5가지의 변수를 각각 3가지 level를 두어 총 243번의 실험결과를 통하여 그 값을 정하여 나갈 것이다.

D.O.E를 통하여 총 35개의 샘플에 대한 항복전압을 분석해본 결과 아래와 같은 개별 변수들이 항복전압에 미치는 영향을 표시한 그래프를 얻을 수 있었다.

우선 trench depth를 쉽게 결정할 수 있는데 5 um의 경우가 가장 BV가 높다는 사실을 알 수 있다. 또한 trench width와 diffusion time을 결정하여야 하는데 이 두 가지 변수는 BV뿐만 아니라 cell size를 결정하는 요소이기도 하다. 따라서 단순 BV만을 따지는 것 보다 면적효율을 고려하였을 때 trench width는 15 um, 확산시간은 900 분을 사용하는 것이 가장 적합하다고 판단하였다.

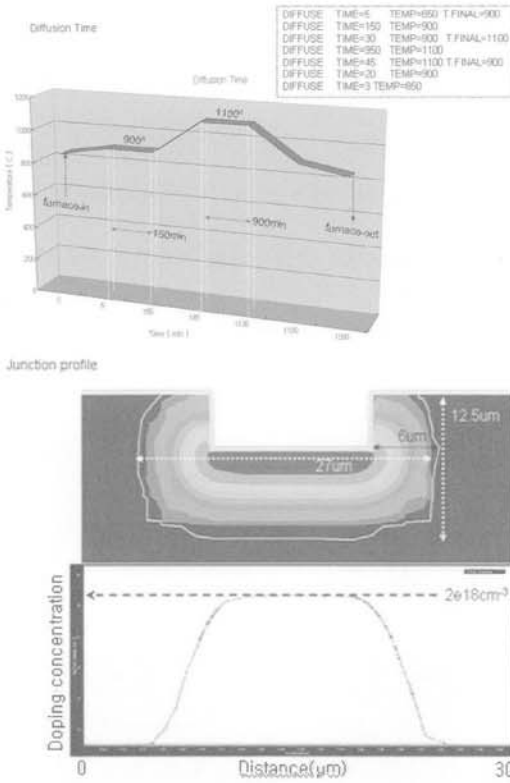


그림 10. 확산시간과 온도에 따른 도핑 프로파일.
Fig. 10. Doping profile by diffusion time and temperature.

또한 공정 조건에 의해 나머지 두 가지 설계 변수들의 값은 dose량은 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$, energy 150 KeV 으로 정할 수 있었다. 따라서 최종적으로 각 설계 변수의 값들은 아래와 같이 정리할 수 있다.

앞에서 정한 설계 변수 값들을 이용하여 시뮬레이션을 통하여 trench field ring을 만들어 보았다. 그림 10과 같이 diffusion time과 온도를 조절하여 field ring 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과 junction profile은 그림 10과 같다.

새롭게 제안한 trenched field ring의 향상 점을 알아보기 위하여 기존의 conventional field ring과 trenched field ring이 1400 V, 2400 V의 voltage를 견디기 위하여 얼마의 거리가 필요한지를 시뮬레이션을 통하여 알아보았다. 그 결과 그림 11에서 나타낸 바와 같이 1400 V에서는 을 살펴보면 area efficiency가 약 20%가량 증가한다는 것을 알 수 있었고 2400 V 이상에서는 약 10%정도 향상된다는 것을 알 수 있었다. 이는 trench를 이용함으로써

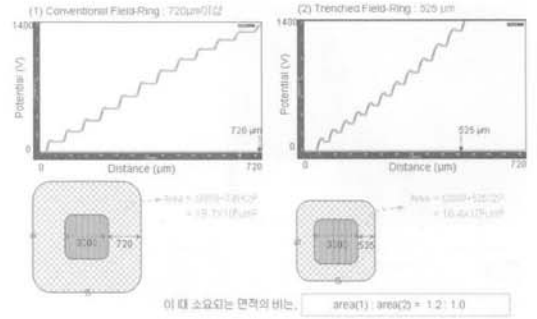


그림 11. 1400 V를 견디기 위해 일반 필드링과 제안한 필드링에서 필요한 거리와 면적의 비교.
Fig. 11. Comparing with 1400 V conventional field ring and trench field ring.

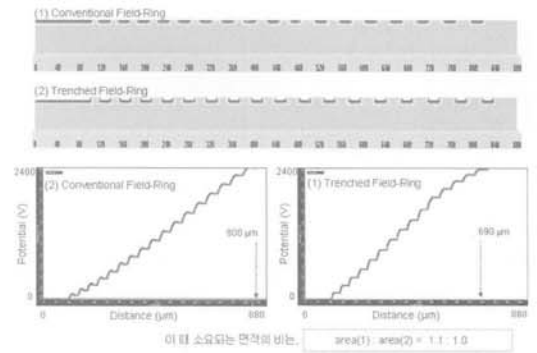


그림 12. 2400 V를 견디기 위해 일반 필드링과 트렌치 필드링에서 필요한 거리와 면적의 비교.
Fig. 12. Comparing with 2400 V conventional field ring and trench field ring.

junction depth가 깊어지고 이에 따라 trenched field ring의 width가 conventional field ring의 경우보다 작아도 같은 전압을 견딜 수 있기 때문이다.

앞서 설정된 설계 변수들을 사용하고 field ring 간의 간격을 조정하여 3000 V급 trenched field ring을 설계하였다. 이때 필요한 총 field ring의 수는 17개였으며 소요되는 총 면적은 819 μm^2 이다. field ring간의간격은 8/9/10/11/12/13/13/14/15/16/17/18/19/20/21/22/22 로 점차적으로 증가시켜 나갔으며 그 결과 3005 V의 breakdown voltage를 가지는 field ring을 설계할 수 있었다. 이는 그림 12에서와 같이 같은 조건하에서 parallel plan까지

Potential Distribution

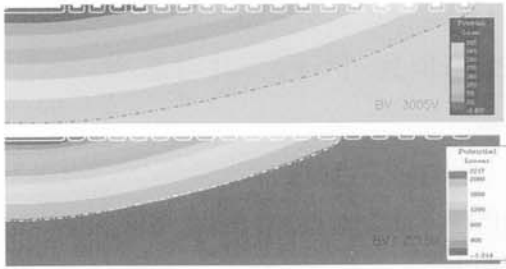


그림 13. 트렌치 필드링의 breakdown voltage 향상.
Fig. 13. Improved breakdown characteristics of trench field ring.

junction의 breakdown voltage인 3830 V의 약 78%에 해당하는 값으로 같은 조건에서의 conventional field ring의 2216 V에 비해서는 약 173% 향상된 breakdown voltage를 가진다는 것을 알 수 있다.

위와 같이 설계한 *trenched field ring*의 전계 분포도를 그림 13에서 살펴보면 총 17개의 field ring 중에서 최고 전계는 2.45×10^5 V/cm, 최저 전계는 2.35×10^5 V/cm로 그 차이가 0.1×10^5 V/cm밖에 나지 않는다는 것을 알 수 있다. 즉 planar junction의 모서리 부분에 집중되던 전계를 골고루 잘 분배하였기 때문에 최고 전계의 크기를 낮출 수 있었고 그 결과 breakdown voltage가 향상되었다는 사실을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 전력반도체의 내압을 유지하는데 있어서 가장 중요한 필드링의 개선을 위해 새로운 구조의 필드링을 제안하였다. 제안한 트렌치 필드링은 기존의 일반 필드링에 비해 10%이상 효율을 개선하였다. 트렌치 필드링의 설계를 위해 5가지의 변수를 두고 최적화 시뮬레이션을 수행하였으며, 수행한 파라미터 결과를 가지고 마스크를 설계하여 제작을 진행하였다. 내압이 증가하면 증가할수록 트렌치 필드링이 일반 필드링보다 더 좋은 결과를 가져올 수 있었다. 이러한 결과는 앞으로 전력반도체 소자인 IGBT, Power MOS 및 MCT 소자의 설계에 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

Electric Field Distribution

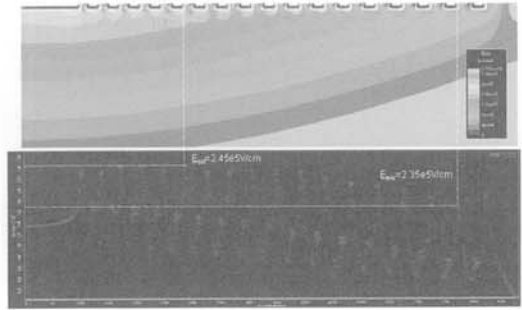


그림 14. 트렌치 필드링의 전계 분포.
Fig. 14. Electric field distribution of trench field ring.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 전력산업원천기술개발 중 전력선행기술사업 (2008T100100248)과 전력 IT 사업의 지원을 받아 수행되었음.

참고 문헌

- [1] E. G. Kang and M. Y. Sung, "A novel lateral trench electrode IGBT for super electrical characteristics", J. of KIEEME(in Korean), No. 15, Vol. 9, p. 758, 2002.
- [2] K. Sheng, S. J. Finney, and B. W. Williams, "Improved understand- switched thyristors", Proceedings of the ISPSD, p. 48, 1994.
- [3] S. Sridhar and B. J. Baliga, "The dual gate emitter switched thyristor", IEEE EDL, Vol. 32, No. 17, p. 25, 1996.
- [4] N. Iwamuro and A. Okamoto, "Forward biased safe operating area of emitter switched thyristor", IEEE Trans. ED, Vol. 42, p. 334, 1995.
- [5] N. Thapar and B. J. Baligar, "An experimental evluation of the on-state performance of trench IGBT designs", SSE, Vol. 45, No. 5, p. 771, 1998.
- [6] F. Udera and S. S. M. Chan, "1.2 kV trench insulated gate bipolar transistors with ultra low on resistance", IEEE Trans. EDL, Vol. 20, No. 8, p. 428, 1999.