

# 고 내압 전력 소자 설계를 위한 필드 링 최적화에 관한 연구

## Optimal Design of Field Ring for Power Devices

강 이 구\*\*  
Ey goo Kang\*\*

### 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 profile. The proposed trench field ring was better to more 1000V.

### 요 약

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

*Key words* : Power Devices, Trench Field Ring, Breakdown Voltage, Field Plate, Trench Depth.

### 1. 서론

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

600V급, 1200V급, 1700V급 및 2000V이상의

\* 極東大學校 太陽光工學科

(Department of Photovoltaic Engineering, Far East University)

★ 교신저자 (Corresponding author)

※ 감사의 글 (Acknowledgment) : 본 연구는 한국연구재단의 기초연구사업의 지원에 의해 수행되었음.

接受日:2010年 9月 2日, 修正完了日: 2010年 9月 29日

고내압 전력반도체에서 항복전압을 유지하기 위해 다양한 방법이 쓰이고 있다. 접합부근에 전계가 집중하는 현상을 분산시키기 위해서 대표적인 방법으로 활성 접합이외에 전계분산용 접합을 만들어 주어 전계를 분산시키는 필드 링을 사용하는 방법이 있으며, 이외에 필드 플레이트, Junction Termination Edge의 설계 방법이 있다.

이중에서 필드링을 설치하는 방법은 필드링의 개수, 필드링의 접합깊이, 필드링들사이의 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 필드 링을 사용하지 않고, 트렌치 구조의 필드 링을 제안하였으며, 그에 따른 필드 링의 수, 트렌치 깊이 및 넓이, 그리고 링 사이의 간격등을 소자 및 공정시뮬레이터를 이용하여 최적화 하여 내압 특성을 개선하였다.

## II. 본론

### 1. 공정제작구조

우선 4가지 구조의 항복전압상 구조에 대한 비교할 필요성을 느껴 아래 그림 1과 같이 가장 일반적인 필드 링 구조와 field plate구조, 트렌치 필드 링구조, field plate 트렌치 필드 링구조를 모든 설계 파라미터는 동일하게 하고 각 구조의 특징에 대한 파라미터만 변화 시켜 시뮬레이션을 수행해 보았다.

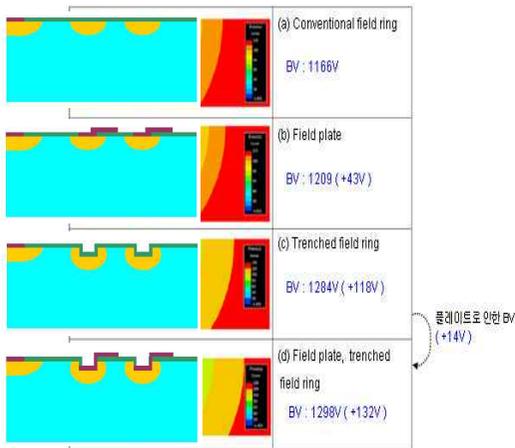


그림 1. 4가지 구조의 항복전압 비교

Fig. 1 Breakdown voltage characteristics of four structures

그 결과 기존의 필드 링의 경우 BV가 1166 V, 필드 플레이트의 경우 1209 V, 트렌치 필드 링의 경우 1284 V, 필드 플레이트 트렌치 필드 링의 경우 1298 V임을 알 수 있었다. 이를 통해 트렌치 필드 링구조와 Field plate 트렌치 필드 링구조가 가장 특성이 좋다는 것을 확인하였으며 두 구조의 여러 가지 특징을 비교하여

그 중 보다 나은 구조를 선택하였다.

### 2. 필드 플레이트 트렌치 필드 링의 단점

필드 플레이트가 초고압 전력 소자에 적용될 경우, 아래 그림 2와 같이 플레이트 전극 모서리에 전계가 집중될 수 있으며 이에 의해 예상했던 항복전압이하에서 소자가 항복이 될 수 있다.

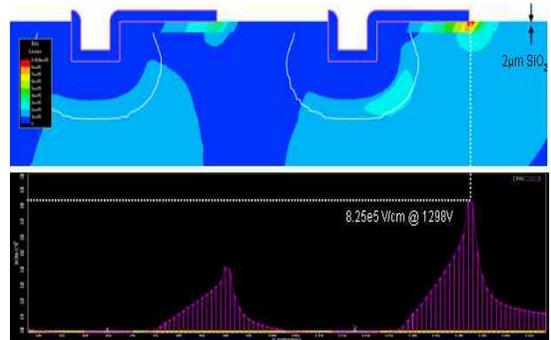


그림 2. 필드 플레이트 트렌치 필드 링의 플레이트 모서리에서의 전계집중

Fig. 2 Electric Field concentration of Field plate trenched field ring

또한 일반적으로 실리콘 산화막에 0.800 MV/cm 이 상의 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 열적파괴에 다다르게 할 가능성이 높아지게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위해 고압소자로 갈수록 기판과 플레이트사이에는 보다 두꺼운 유전체(산화막)가 필요하게 되는데 이는 공정상 제한을 받게 된다.

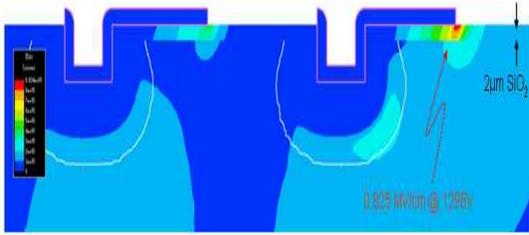


그림 3. 플레이트 모서리에서 전계의 세기  
Fig. 3 Electric Field of plate edge

플레이트를 만들기 위해서는 유전체 식각, 금속증착 및 금속 식각 공정 등을 거쳐야 되는데 그 과정에서 기관 표면과 유전체 계면에 전하가 만들어질 가능성이 높다. 특히 유전체로 실리콘 산화막을 사용할 경우에는 아래 그림 4와 같이 양의 전하가 만들어 지면서 최적화된 구조의 전계분포 능력을 크게 저하시키게 되는데 저하되는 정도가 플레이트를 사용함으로써 얻어지는 14 V의 항복전압 항상 보다 훨씬 크다.

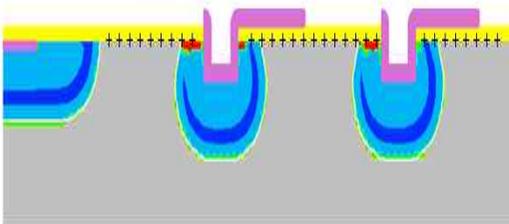


그림 4. 유전체 계면의 원치 않는 전하 형성  
Fig. 4 Charge formation of interface

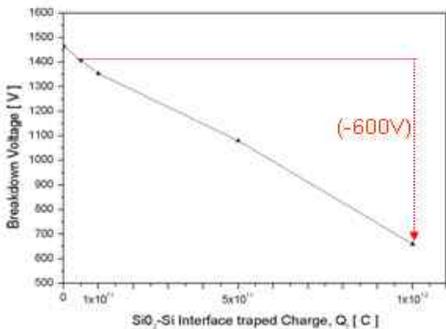


그림 5. 유전체 계면의 전하에 의한 항복전압의 감소  
Fig. 5 reducing breakdown voltage by interface charge

### 3. 트렌치 필드 링의 장점

트렌치 필드 링의 가장 큰 장점은 접합깊이가 깊게 형성된다는 점이다. 이는 아래 그림 6을 통해서 알아 볼 수 있는데 약 20 % 정도 접합깊이가 깊어졌다.

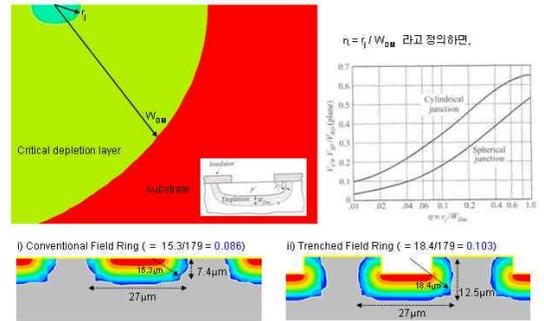


그림 6. 트렌치 필드 링의 접합깊이  
Fig. 6 Junction depth of trench field ring

일반적으로 파워 반도체 소자의 경우 접합깊이는 항복전압에 상당히 큰 영향을 미친다. 두 구조의 비교 결과 비록 항복전압은 필드 플레이트 트렌치 필드 링이 조금 높지만 그 구조가 가지고 있는 단점과 불안정성에 비해서는 매우 미약하다는 것을 알 수 있었다. 또한 트렌치 필드 링의 경우 접합깊이를 깊게 하여 효과적으로 최대 전계를 낮추어 항복전압을 높여준다는 것을 알게 되었다.

### 4. 트렌치 필드링의 최적화를 위한 실험 및 변수추출

트렌치 필드 링의 설계에 영향을 미칠 수 있는 변수로는 dose량, energy, trench depth, trench width, diffusion time으로 총 5가지 종류를 생각할 수 있었다. 첫 번째는 dose량으로 필드 링의 농도를 결정할 변수이며 두 번째는 에너지로 접합깊이에 영향을 미치는 변수이다. 세 번째로는 트렌치 깊이로 이 역시 접합깊이에 영향을 미칠 것이고 네 번째 트렌치 너비는 전계분배에 영향을 미치는 변수이다. 마지막 확산시간은 역시 접합깊이에 영향을 미치는 변수이다. 이제 5가지의 변수를 각각 3가지 level를 두어 총 243번의 실험결과

를 통하여 그 값을 정하여 나갈 것이다.

Parameters	3 Levels
1) Dose (cm <sup>-2</sup> )	1e14 ~ 1e15
2) Energy (KeV)	120~180
3) Trench Depth (μm)	3~7
4) Trench Width (μm)	10~20
5) Diffusion Time (minutes)	800~1000

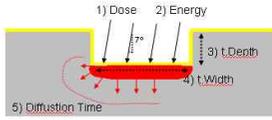


그림 7. 트렌치 필드 링의 5가지 변수

Fig. 7 five parameter of trench field ring

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

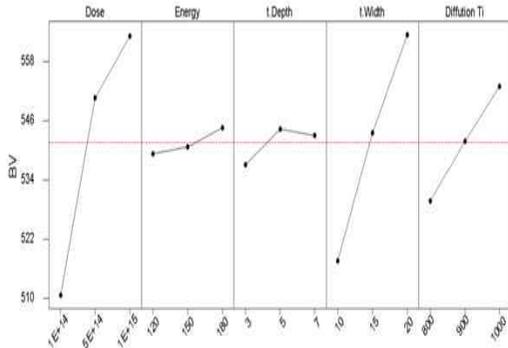


그림 8. 트렌치 필드 링의 5가지 변수들이 BV에 미치는 영향

Fig. 8 Breakdown voltage variation by five parameter of trench field ring

우선 트렌치 깊이를 쉽게 결정할 수 있는데 5 μm의 경우가 가장 BV가 높다는 사실을 알 수 있다. 또한 트렌치 너비와 확산시간을 결정하여야 하는데 이 두 가지 변수는 BV뿐만 아니라 cell size를 결정하는 요소이기도 하다. 따라서 단순 BV만을 따지는 것 보다 면적 효율을 고려하였을 때 트렌치 너비는 15 μm, 확산시간은 900 분을 사용하는 것이 가장 적합하다고 판단하였다.

또한 공정 조건에 의해 나머지 두 가지 설계변수들의 값은 dose량은  $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ , energy 150 KeV으로 정

할 수 있었다. 따라서 최종적으로 각 설계변수의 값들은 아래 그림과 같이 정리할 수 있다.

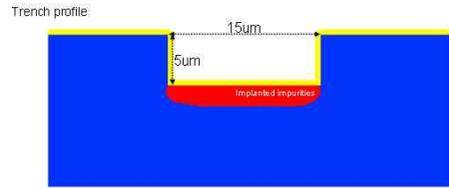


그림 9. 트렌치 필드 링에서 5가지 변수들의 값

Fig. 9 Results of five parameter of trench field ring

앞에서 정한 설계 변수 값들을 이용하여 시뮬레이션을 통하여 트렌치 필드 링을 만들어 보았다. 아래 그림과 같이 확산시간과 온도를 조절하여 필드 링 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과 접합 프로파일은 아래 그림 10과 같다.

새롭게 제안한 트렌치 필드 링의 향상 점을 알아보기 위하여 기존의 기존의 필드 링과 트렌치 필드 링이 1400V, 2400 V의 전압을 견디기 위하여 얼마의 거리가 필요한지를 시뮬레이션을 통하여 알아보았다. 그 결과 1400 V에서는 아래 그림 11을 살펴보면 면적 효율이 약 20 %가량 증가한다는 것을 알 수 있었고 2400 V 이상에서는 약 10 %정도 향상된다는 것을 알 수 있었다. 이는 트렌치를 이용함으로써 접합깊이가 깊어지고 이에 따라 트렌치 필드 링의 너비가 기존의 필드 링의 경우보다 작아도 같은 전압을 견딜 수 있기 때문이다.

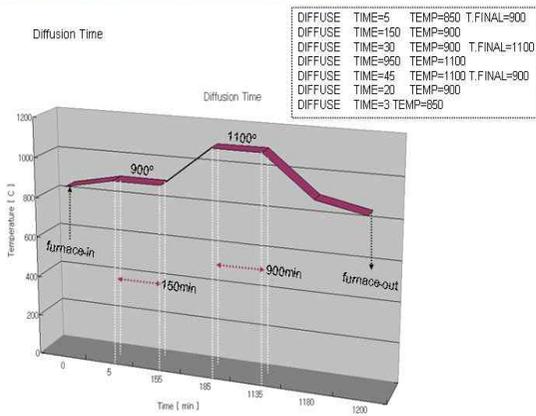


그림 10. 확산시간과 온도에 따른 도핑 프로파일  
 Fig. 10 Doping profile by diffusion time and temperature

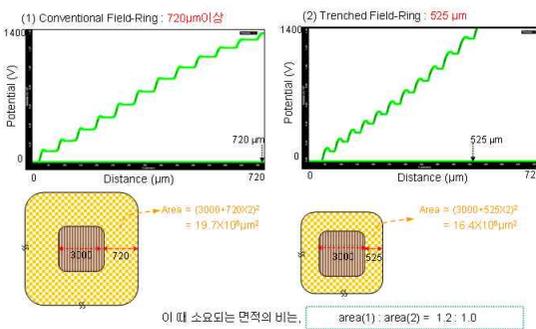


그림 11. 1400V를 견디기 위해 일반 필드 링과 제한된 필드 링에서 필요한 거리와 면적의 비교  
 Fig. 11 comparing with 1400V conventional field ring and trench field ring

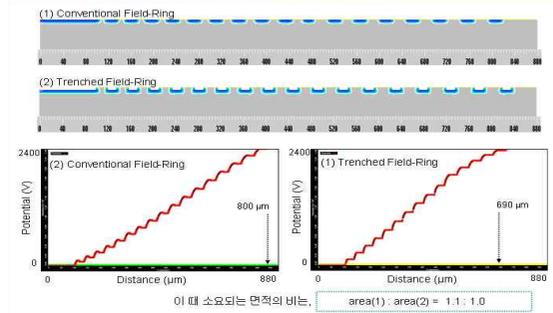


그림 12. 2400V를 견디기 위해 일반 필드 링과 트렌치 필드 링에서 필요한 거리와 면적의 비교  
 Fig. 12 comparing with 2400V conventional field ring and trench field ring

위에서 정한 설계 변수들을 사용하고 필드 링간의 간격을 조정하여 3000V급 트렌치 필드 링을 설계하였다. 이때 필요한 총 필드 링의 수는 17개였으며 소요되는 총 면적은 819 μm이다. 필드 링간의 간격은 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 항복전압을 가지는 필드 링을 설계할 수 있었다. 이는 아래 그림에서와 같이 같은 조건하에서 병렬 플래너 접합의 항복전압인 3830 V의 약 78 %에 해당하는 값으로 같은 조건에서의 기존의 필드 링의 2216 V에 비해서는 약 173 % 향상된 항복전압을 가진다는 것을 알 수 있다.

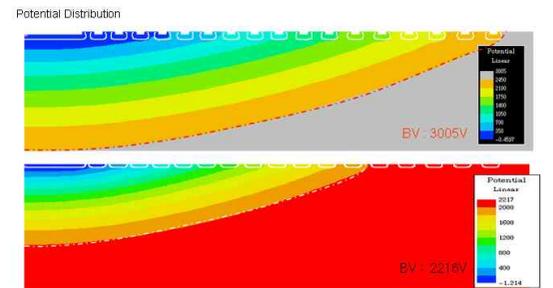


그림 13. 트렌치 필드 링의 항복전압 향상  
 Fig. 13 Improved breakdown characteristics of trench field ring

위와 같이 설계한 트렌치 필드 링의 전계 분포도를 아래 그림에서 살펴보면 총 17개의 필드 링 중에서 최고 전계는  $2.45 \times 10^5 \text{V/cm}$ , 최저 전계는  $2.35 \times 10^5 \text{V/cm}$ 로 그 차이가  $0.1 \times 10^5 \text{V/cm}$ 밖에 나지 않는다는 것을 알 수 있다. 즉 플래너 접합의 모서리 부분에 집중되던 전계를 골고루 잘 분배하였기 때문에 최고 전계의 크기를 낮출 수 있었고 그 결과 항복전압 향상되었다는 사실을 알 수 있다.

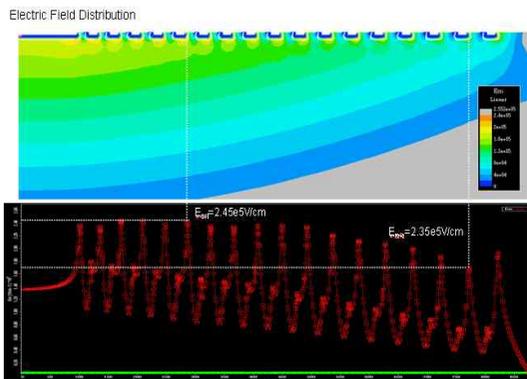


그림 14. 트렌치 필드 링의 전계 분포  
 Fig. 14 Electric field distribution of trench field ring

### III 결론

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

### 참고 문헌

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

### 저 자 소 개

#### 강 이 구 (정회원)



1993년 : 고려대학교 전기공학과 졸업 (공학사)  
 1995년 : 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)  
 2002년 : 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)  
 2003년 3월~현재 : 극동대학교 태양광공학과 부교수  
 <주관심분야> 전력반도체 소자 및 ICs 분야, 신재생 에너지용 부품분야, 태양광 소자 분야