

3.3 kV 이상의 전력반도체 소자 구현 및 신뢰성 향상을 위한 필드링 최적 설계에 관한 연구

강이구^a

극동대학교 태양광공학과

The Optimal Design of Field Ring for Reliability and Realization of 3.3 kV Power Devices

Ey Goo Kang^a

Department of Photovoltaic Engineering, Far East University, Chungbuk 27601, Korea

(Received January 12, 2017; Revised February 8, 2017; Accepted February 9, 2017)

Abstract: This research concerns field rings for 3.3kV planar gate power insulated-gate bipolar transistors (IGBTs). We design an optimal field ring for a 3.3kV power IGBT and analyze its electrical characteristics according to field ring parameters. Based on this background, we obtained 3.3kV high breakdown voltage and a 2.9V on state voltage drop. To obtain high breakdown voltage, we confirmed that the field ring count was 23, and we obtained optimal parameters. The gap distance between field rings $13\mu\text{m}$ and the field ring width was $5\mu\text{m}$. This design technology will be adapted to field stop IGBTs and super junction IGBTs. The thyristor device for a power conversion switch will be replaced with a super high voltage power IGBT.

Keywords: Power device, Breakdown voltage, Field ring, Super high voltage, On state voltage drop

1. 서론

최근 에너지 절감이 큰 사회적 문제로 대두되면서 신재생 에너지인 태양광산업의 발전과 에너지 절감을 위한 태양광 인버터 시장이 증가하고 있다. 또한 이러한 전력용 반도체 모듈은 전력 변환장치(power conditioning unit, PCU), 산업용 인버터(uninterruptible power supply, UPS), 대용량 파워 서플라이(power supply) 등의 핵심 부품으로 시장의 급성장에 따라 수요량이

급격히 증가되고 있다.

또한, 대용량 전력반도체 산업 기술이 급진전되면서, 송배전분야에서도 기존에 사용하던 사이리스터계열의 소자에서 전력 IGBT 소자로 대체되어가고 있다. 즉, 3.3 kV 또는 4.5 kV 전력 변환 스위치로 IGBT 소자로 바뀌면서 안전성의 문제가 대두되고 있으며, 이에 따라 항복전압을 유지하기 위한 구조적인 문제도 있지만, 필드링과 같은 접합마감기술의 최적화하는 것이 핵심으로 나타나고 있다.

접합마감 기술은 전력반도체 소자의 가장자리(main blocking junction)에 강한 전계가 집중되어 소자가 파괴되는 현상을 막고 고내압 특성과 신뢰성을 향상시켜주는 기술이다. 접합 마감기술 중 가장 많이 사용되는 필드링 구조를 통해 고내압 특성과 신뢰성을 확보하기 위한 연구를 진행하였다. 필드링은 소자의 가장자

a. Corresponding author; keg@kdu.ac.kr

Copyright ©2017 KIEEME. All rights reserved.
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

리에 PN접합을 통해 전계가 집중되는 것을 분산 및 감소시켜 항복전압 특성을 올려주는 기술이다. 필드링 연구의 주요 테마는 필드링의 전체적인 길이는 감소하면서 항복전압은 증가되면서 전계분포도 또한 첫 필드링에서 제일 높은 전계를 보이면서 마지막 필드링으로 갈수록 점차적으로 감소하는 전계분포도를 가진 것이 요즘의 추세이다. 따라서 본 논문에서는 필드링 설계연구를 위해 필드링 설계 방법에 대한 연구와 공정시뮬레이터인 TSUPREM4와 디바이스 분석 시뮬레이터인 MEDICI를 사용해 설계를 하였고 전기적 특성을 비교 분석하였다. 필드링 설계는 3,300 V급 필드링을 설계하였으며 3,300 V급 필드링의 경우 설계 방법에 따라 필드링의 길이감소와 내압특성 및 전계분포도 또한 우수한 특성을 보이는 것을 확인하였다.

2. 실험 방법

본 논문에서는 3.3 kV 이상의 대용량 전력 IGBT를 구현하기 위한 필드링 설계를 수행하였다. 대용량 전력 반도체 맞는 필드링을 설계하기 위하여 TCAD tool을 이용하였으며, 이를 이용하여 공정 및 설계 파라미터를 도출하고, 구조적인 설계를 완료하였다. 또한 최적 설계된 필드링 구조를 NPT planar gate IGBT에 적용하여, 소자의 전기적인 특성을 분석하여, 대용량 전력변환 스위치에 충분히 적용할 수 있다는 것을 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 필드링 설계에 따른 공정 및 설계 파라미터 도출

그림 1은 3.3 kV 이상의 대용량 전력 IGBT를 위한 필드링 구조를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 활성 셀 옆으로 23개의 필드링을 구성하였으며, 접합의 길이, 접합 깊이 및 링의 간격등에 따라 시뮬레이션을 수행하였다. 필드링의 중요한 핵심 파라미터 중에 하나인 링의 간격은 3~12 μm 으로 변화시키면서 수행하였고, 또한 접합의 너비도 6~12 μm 로 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 표 1은 시뮬레이션 수행을 위한 파라미터를 보여주고 있다.

그림 2는 설계된 필드링이 적용될 NPT 플래너 게이트 IGBT의 구조도를 보여주고 있다. 게이트는 플래너 구조로 구성하였으며, 항복전압은 3.3 kV에 맞추어서 설계 및 공정 파라미터를 구성하였다.

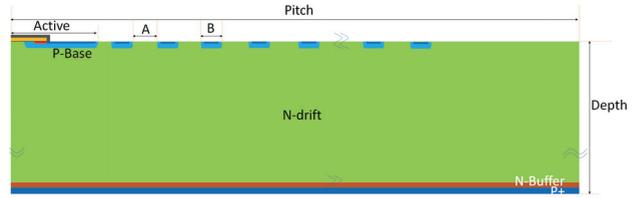


Fig. 1. The structures of field ring for 3.3 kV NPT planar gate power IGBT.

Table 1. The process parameters of NPT planar gate power IGBT.

Classification	Unit	Value
Pitch	μm	700
Depth	μm	500
Resist	Ω	180
P-base dose	cm^{-2}	6.5×10^{13}
Active cell pitch	μm	20
Distance between field ring to field ring (A)	μm	3~15
Width of field ring (B)	μm	6~12
Ring	ea	23

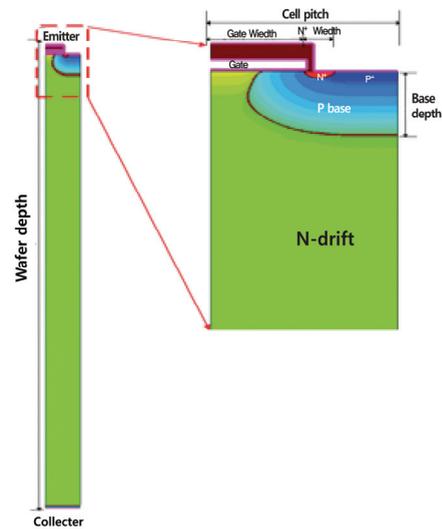


Fig. 2. The structure of NPT planar gate power IGBT.

3.3 kV 이상을 확보하기 위한 필드링을 구현하기 위해서 그림 2에서는 NPT 플래너 게이트 전력 IGBT를 보여주고 있다. 필드링을 적용하기 위해서 전력 IGBT를 설계하였으며, 목표로 하는 항복전압은 3.3

Table 2. The process and design parameter of NPT planar gate power IGBT.

Classification	Unit	Value	Classification	Unit	Value
Cell pitch	μm	24	Cell depth	μm	430
Gate width	μm	14	P+ depth	μm	0.6
P-base width	μm	10	P-base depth	μm	2.4
N+ width	μm	1.5	P+ collector depth	μm	0.5
N+ emitter	cm ⁻²	1E16	JFET	cm ⁻²	1E12
P+base emitter	cm ⁻²	3E15	N-drift (resistivity)	Ω·cm	160
P-base emitter	cm ⁻²	6.5E13	P+ collector	cm ⁻²	1E16

kV로서, 표 2에 이것을 실현하기 위한 설계 및 공정 파라미터를 보여주고 있다. 높은 항복전압을 유지하기 위해서 드리프트 층에 해당하는 셀의 깊이는 430 μm로 설계하였으며, 셀의 피치는 24 μm로 설계하였다. 그리고 온전압 강하특성에 영향을 끼치는 드리프트 층의 저항은 160 Ω·cm로 설계하였다.

3.2 3.3 kV 필드링이 적용된 NPT 플래너 게이트 전력 IGBT의 전기적인 특성 분석

앞 절에서 제시된 소자 및 공정 파라미터에 의해 설계된 전력 IGBT소자에 대해 전기적 특성 시뮬레이션을 수행함과 동시에 분석을 하였다. 그림 3은 문턱 전압 특성을 나타내고 있으며, 약 6 V 정도의 문턱 전압을 보여주고 있다.

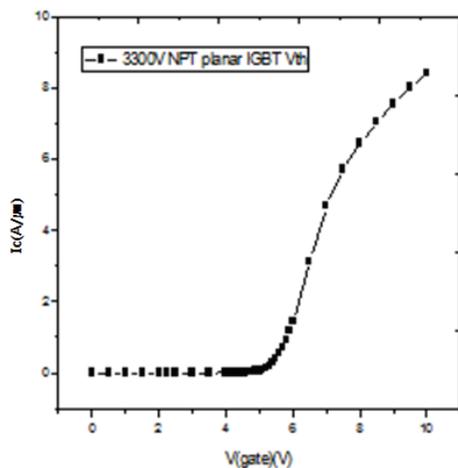


Fig. 3. The threshold voltage characteristics of NPT planar IGBT.

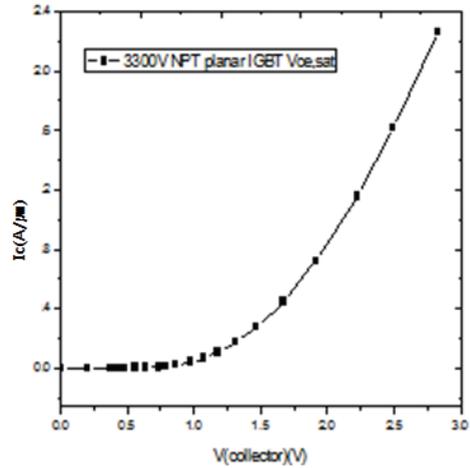


Fig. 4. The on state voltage drop characteristics of NPT planar IGBT.

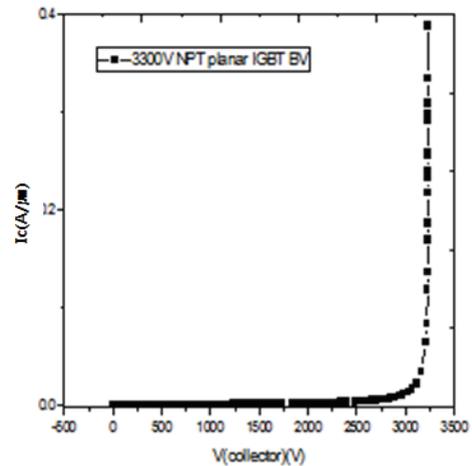


Fig. 5. The breakdown voltage characteristics of NPT.

그림 4와 5는 각각 온전압강하 및 항복전압 특성을 보여주고 있다. 그림에서 보여지는 바와 같이 온전압강하는 2.9 V 정도 보여주고 있으며, 항복전압은 3,300 V 정도 나타내고 있다. 온전압강하 특성은 에너지 손실에 직접적인 영향을 끼치는데, 3 V 이하의 우수한 특성을 보여주고 있다.

3.3 필드링 변수에 따른 전력 IGBT의 특성 변화

필드링과 전력반도체의 항복전압은 필드링의 개수, 필드링 사이의 간격 및 필드링 너비와 가장 깊은 관계가 있다. 3.3 kV의 항복전압을 유지하기 위해서는 필

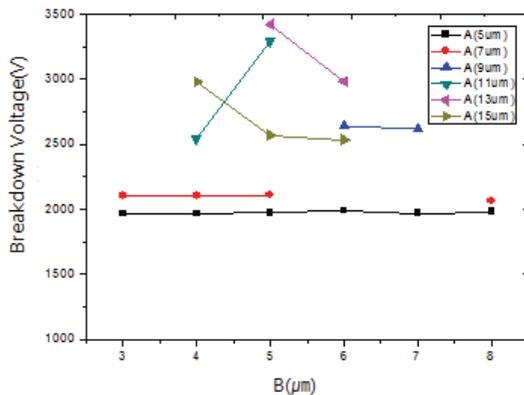


Fig. 6. The breakdown voltage characteristics of NPT planar IGBT according to length and width of field ring.

드링의 개수는 23개 이상이어야 하는데, 본 실험에서는 23개로 고정시켜놓고, 필드링 사이의 간격은 5~15 μm 로 변화시킴과 동시에 필드링의 너비는 3~8 μm 변화시키면서 항복전압을 분석하였다. 분석한 결과 그림 6에서 보는 것처럼 다양한 항복전압 특성을 보여주고 있다. 대부분 3 kV 이하의 전압 특성을 보이고 있지만 필드링의 너비가 5 μm 이면서 필드링의 간격이 13 μm 일 때 3.3 kV 이상의 높은 항복전압 특성을 보이고 있는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 송배전용 전력변환 스위치로 사용되는 대용량 전력 IGBT 소자에 적용되는 필드링을 설계하여 3.3 kV NPT 플래너게이트 전력 IGBT 소자에 적용한 다음 전기적인 특성을 분석하였다. 우선, NPT 플

래너 게이트 전력 IGBT의 전기적인 특성을 분석한 결과 온 상태 전압강하는 3 V 이하, 항복전압은 3.3 kV의 특성을 얻을 수 있었다. 또한 필드링의 경우는 3.3 kV를 얻기 위해서는 23개의 필드링이 필요하며, 필드링 사이의 간격은 13 μm , 필드링의 너비는 5 μm 의 최적 파라미터를 얻을 수 있었다. 이러한 전력 IGBT의 설계 기반 기술은 필드 스톱 IGBT 초 접합 IGBT에도 적용될 수 있으며, 송배전 전력변환 스위치로 가장 많이 사용되는 사이리스터 계열의 소자를 모두 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] E. G. Kang and M. Y. Sung, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **15**, 758 (2002). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2002.15.9.758>]
- [2] T. J. Nam, H. S. Chung, and E. G. Kang, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **24**, 713 (2011). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2011.24.9.713>]
- [3] A. Malvino and D. J. Bates, *Electronic Principles* (McGraw-Hill College, New York, 2006).
- [4] E. Gates, *Introduction to Electronics*, 4th ed. (Cengage Learning, Delmar, 2001).
- [5] S. S. Kyoung, J. H. Seo, Y. H. Kim, J. S. Lee, E. G. Kang, and M. Y. Sung, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **22**, 12 (2009). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2009.22.1.12>]
- [6] H. S. Lee, E. G. Kang, A. R. Shin, H. H. Shin, and M. Y. Sung, *KIEE*, **7** (2006).
- [7] W. H. Hayt, Jr., *Eng Ineer Ingelect Romagnetics-7/E* (Mc Graw-Hill, New York, 2005).