

1,200 V Reverse Conducting IGBT의 전기적 특성 분석

김세영, 안병섭, 강이구 

극동대학교 에너지IT공학과

Electrical Characteristics of 1,200 V Reverse Conducting-IGBT

Se Young Kim, Byoungsub Ahn, and Ey Goo Kang

Department of Energy IT Engineering, Far East University, Eumseong 27601, Korea

(Received February 12, 2020; Revised March 6, 2020; Accepted March 10, 2020)

Abstract: This paper focuses on the 1,200-V level reverse conducting-insulated gate bipolar transistor (RC-IGBT). The structure of the RC-IGBT has an n+ collector at the collector terminal. The breakdown voltage, V_{th} , V_{ce-sat} , and turn-off time, and the electrical characteristics of a field-stop IGBT (FS-IGBT) and RC-IGBT are compared and analyzed using simulations. Based on the results, the RC-IGBT obtained a turn-off time of 320.6 μ s and a breakdown voltage of 1,720 V, while the FS-IGBT obtained a turn-off time of 742.2 μ s and a breakdown voltage of 1,440 V. Therefore, RC-IGBTs have faster on/off transitions and a higher breakdown voltage, which can reduce the size of the element.

Keywords: Reverse conducting, IGBT, Breakdown voltage, Latch-up, Power device

1. 서론

본 논문에서는 전력장치용의 반도체 소자인 파워 소자(power device) 중 하나로 전력의 변환이나 제어용으로 최적화되어 있어서 전력 전자공학의 핵심 소자이며 고전압화·고전류화·고주파수화된 것이 특징인 IGBT (insulated gate bipolar transistor) 소자에 관한 연구이다 [1].

전력 IGBT 소자가 가장 많이 이용되는 분야는 전기 자동차, 신재생에너지 인버터산업 분야 등이며, 600~3,300 V 이하의 전력 IGBT 소자가 사용되고 있다 [2,3].

전력반도체 소자는 하이브리드, 전기자동차 등 첨단 기기의 핵심으로 활용되는 첨단기술로, 전체 발전 에너지 중 60~70% 정도를 소모하는 전동기 에너지를 약

20~40%가량 절감시킬 수 있다 [4-6].

본 논문에서는 이러한 1,200 V IGBT 소자에 대한 낮은 전력손실과 높은 구동능력을 위하여 소자 및 공정 시뮬레이터인 T-CAD를 이용하여 RC (reverse conducting)-IGBT의 아래층의 N형에 따른 핵심적인 전기적 특성들인 항복 전압(breakdown voltage)과 문턱 전압(임계전압, V_{th})과 온 상태 전압 강하(V_{ce-sat})의 특성, turn-off time의 특성을 분석하고 1,200 V RC-IGBT의 설계에 대한 연구를 하였다.

2. 실험 방법

2.1 RC-IGBT의 구조 및 변수

그림 1과 표 1은 항복 전압(breakdown voltage)이 1,200 V인 필드 스톱(field stop)-IGBT를 설계 후 콜렉터(collector) 부분의 N+ 영역을 제외한 모든 부분은 똑같은 조건으로 리버스 컨덕팅(reverse conducting) IGBT를 설계하는 공정 시뮬레이션을 위한 공정 및 설

✉ Ey Goo Kang; keg@kdu.ac.kr

Copyright ©2020 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.

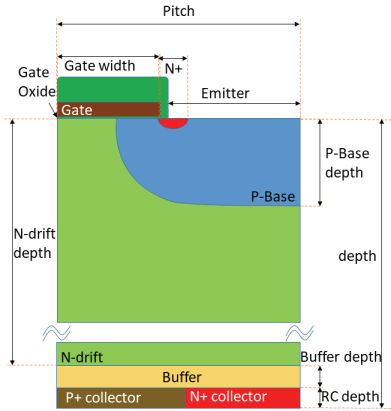


Fig. 1. The structure of reverse conducting-IGBT.

Table 1. Process and design parameters of the reverse conducting IGBT for simulation.

Classification	Unit	Value
Cell pitch	μm	5
Cell depth	μm	120
Resistivity	Ω	100
P-base dose	$/\text{cm}^2$	6.1×10^{13}
Gate width	μm	3
N+ collector width	μm	0.2~4.8
N+ collector dose	$/\text{cm}^2$	$1 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{20}$

계 파라미터를 보여주고 있다. 이러한 값은 기존의 자료를 분석한 기준으로 설정한 값이며, 표 1에 나와 있는 변수를 기준으로 하여 각 변수의 변화에 따른 IGBT의 핵심적인 전기적 특성인 항복 전압과 문턱전압(V_{th}), 온 상태 전압강하(V_{ce-sat})와 턴-오프(turn-off)의 변화 추이를 고찰하였다. 또한, 콜렉터층에 있는 N영역의 너비와 농도에 변화를 주어 전기적인 특성을 분석하여 비교하였다.

2.2 RC-IGBT의 wafer N+ 콜렉터층의 너비에 따른 특성 변화

그림 2와 같이 reverse conducting IGBT의 wafer의 아래 콜렉터층에 있는 N+의 영역을 점차 넓히며 설계를 하여 전기적 특성을 비교하였다.

콜렉터 N+ 영역에 따른 전기적 특성인 항복 전압, 문턱전압, 온 상태 전압강하에는 변화가 없었으며 그림 3과 같이 턴-오프 시간 중에서 커런트 테일(current tail)에 변화가 있는 것을 확인할 수 있었다.

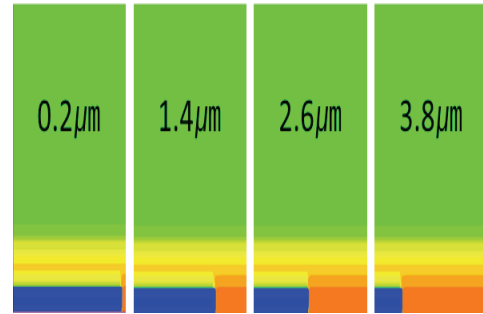


Fig. 2. The variation of the width of the N+ area in RC-IGBT.

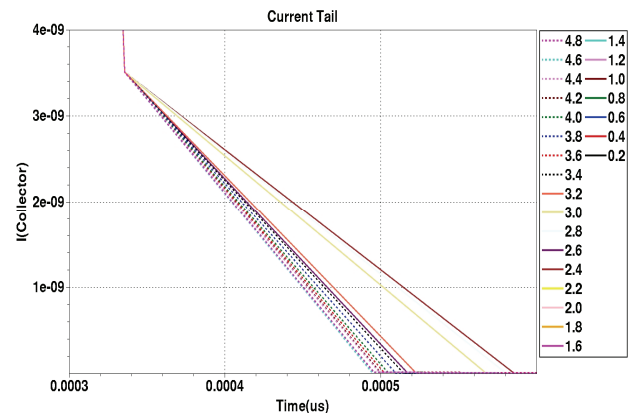


Fig. 3. The turn off characteristics according to the width of n+ collector in RC-IGBT.

2.3 RC-IGBT의 wafer N+ 콜렉터층의 농도에 따른 특성 변화

리버스 컨덕팅 IGBT의 웨이퍼의 아래 콜렉터층의 N+ 너비에 따른 전기적 특성 변화가 같아 너비를 0.2로 고정 후 그림 4와 같이 농도를 점차 높이며 설계를 하여 전기적 특성을 비교하였다.

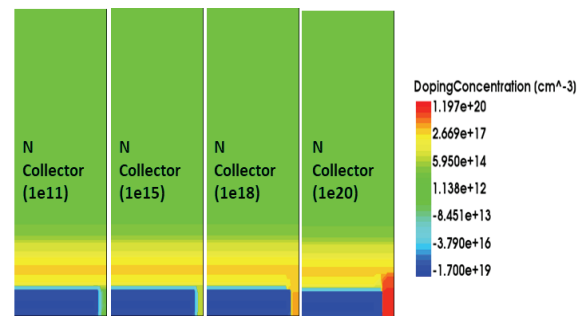


Fig. 4. The variation of concentration of N+ area in RC-IGBT.

3. 결과 및 고찰

평면형 필드스톱 IGBT와 리버스 컨덕팅 IGBT를 비교하기 위해 콜렉터 부분의 N+ 영역을 제외한 모든 부분을 똑같은 조건으로 제작하여 전기적 특성을 비교한 결과이다.

그림 5와 같이 필드스톱 IGBT는 항복 전압이 1,440 V급으로(1,200 V급에 마진을 약 20%를 주어야 하기에 1,440 V가 됨) 맞추어 리버스 컨덕팅 IGBT를 설계했을 때 항복 전압이 1,719 V로 높아지는 것을 확인하였다.

그림 6과 같이 문턱전압이 필드스톱 IGBT는 5.41 V, 리버스 컨덕팅 IGBT는 4.19 V인 것을 확인하였으며, 문턱전압이 낮아 켜지는 속도가 빨라진다는 장점이 생기며, 문턱전압이 RC의 경우 MOSFET과 유사하게 올라가는 것을 확인할 수 있었다.

그림 7과 같이 턴-오프 시간이 필드스톱 IGBT는 742.2 μ s, 리버스 컨덕팅 IGBT는 320.6 μ s로 더 빠르게 꺼지는 것을 확인할 수 있었다.

표 2에서는 FS-IGBT와 RC-IGBT의 핵심 전기적인 특성을 정리하였으며, 정리한 결과 항복 전압의 특성은 매우 좋아짐과 동시에 턴오프 특성이 개선되어 에너지

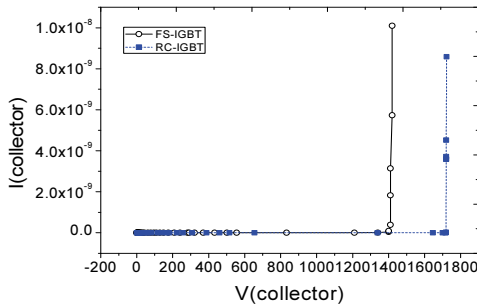


Fig. 5. The breakdown voltage characteristics of the FS-IGBT and RC-IGBT.

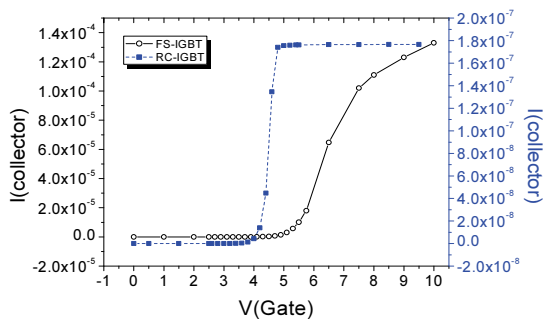


Fig. 6. The FS-IGBT, RC-IGBT threshold voltage characteristics.

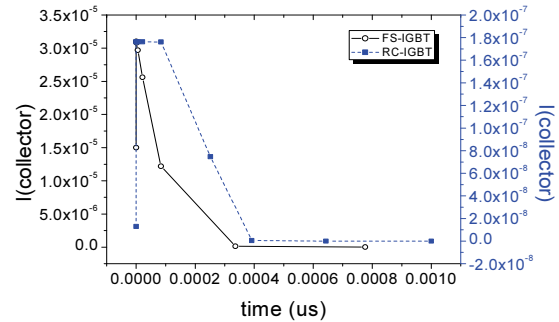


Fig. 7. The turn-off time characteristics of the FS-IGBT and RC-IGBT.

Table 2. Electrical characteristics of the FS-IGBT and RC-IGBT.

	Threshold voltage (V)	Breakdown voltage (V)	Turn-off time (μ s)
Field stop IGBT	5.41	1,440	742.2
Reverse conducting IGBT	4.19	1,719	320.6

효율적인 측면에서 우수한 특성을 갖는다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 TCAD 시뮬레이션을 통하여 필드스톱 IGBT와 리버스 컨덕팅 IGBT를 비교했을 때 항복 전압이 1,719 V로 약 279 V 더 높아졌으며, 턴-오프 시간이 421.6 μ s 더 좋아지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 문턱전압이 각 5.41 V, 4.19 V인 것을 확인할 수 있었다.

리버스 컨덕팅 IGBT의 경우 콜렉터의 N+ 부분의 너비에 따라서는 전기적 특성이 큰 변화는 없었지만, 농도에 따라 변화가 큰 것을 확인할 수 있어 전기적 특성의 필요에 따라 농도로 맞출 수 있을 것으로 확인되며, N+ 영역이 생김으로 인하여 항복 전압이 높아져서 소자의 크기를 더욱 줄일 수 있어 리버스 컨덕팅 IGBT가 효율이 더 좋다는 것을 확인할 수 있었다.

ORCID

Ey Goo Kang

<https://orcid.org/0000-0001-7600-7303>

감사의 글

본 논문은 소재부품사업(10080429)과 한국연구재단 (2019015186)에 의해 지원되었음.

REFERENCES

- [1] E. G. Kang, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **29**, 263 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2016.29.5.263>]
- [2] J. Won, J. G. Koo, T. Rhee, H. S. Oh, and J. H. Lee, *Electron. Telecommun. Res. Inst.*, **35**, 603 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.4218/etrij.13.1912.0030>]
- [3] J. M. Geum, E. S. Jung, E. G. Kang, and M. Y. Sung, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **25**, 253 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2012.25.4.253>]
- [4] E. G. Kang, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **29**, 523 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2016.29.9.523>]
- [5] E. G. Kang, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **21**, 1 (2017). [DOI: <https://doi.org/10.7471/ikeee.2017.21.1.1>]
- [6] E. G. Kang, *Trans. Electr. Electron. Mater.*, **17**, 50 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.4313/TEEM.2016.17.1.50>]