

Trench Gate를 이용한 Field Stop IGBT의 전기적 특성 분석에 관한 연구

남태진¹, 정은식², 정현석¹, 강이구^{1,a}

¹ 극동대학교 태양광공학과

² 메이플 세미컨덕터(주)

A Study on Electrical Characteristics Improvement on Field Stop IGBT Using Trench Gate Structure

Tae-Jin Nam¹, Eun-Sik Jung², Hun-Suk Chung¹, and Ey-Goo Kang^{1,a}

¹ Department of Photovoltaic Engineering, Far East University, Chungbuk 369-700, Korea

² Maple Semiconductor, Incorporated, Bucheon 421-150, Korea

(Received March 20, 2012; Revised March 24, 2012; Accepted March 24, 2012)

Abstract: The most recently IGBT (insulated gate bipolar mode transistor) devices are in the most current conduction capable devices and designed to the big switching power device. Use this number of the devices are need to high voltage and low on-state voltage drop. And then in this paper design of field stop IGBT is insert N buffer layer structure in NPT planar IGBT and optimization design of field stop IGBT and trench field stop IGBT, both devices have a comparative analysis and reflection of the electrical characteristics. As a simulation result, trench field stop IGBT is electrical characteristics better than field stop IGBT.

Keywords: Power device, Field Stop, IGBT, Trench gate

1. 서 론

파워 반도체 소자는 보통 1와트 이상의 전력 변환이나 제어를 하는 반도체 소자로 정류 다이오드, BJT (bipolar junction transistor), GTO (gate turn off thyristor), power MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor), IGBT (insulated gate bipolar transistor) 등이 사용되고 있다. 그 중 IGBT 소자는 전류전도 능력이 뛰어난 소자이며, 큰 전력을 처리하기 위해 설계된 스위칭 디바이스로써 전원 공급 장치, 변환기, 태양광 인버터, 가전제품 등에 널리 사용되고 있다. 이러한 IGBT의 소자의 쓰임새가 많아짐에 따라 효율을 높이

기 위해 여러 가지 구조들이 나오고 있으며 그 중 하나인 trench gate IGBT 구조가 나온 이후 기생 JFET (junction gate field-effect transistor) 성분이 발생하지 않으며 수직으로 형성된 gate channel을 통한 전류의 흐름이 원활하기 때문에 온 상태 전압강하 특성이 좋다. 또한 동일한 크기의 소자에서는 trench gate 구조가 항복전압 특성이 좋다. 본 논문에서는 최적화 planar field stop IGBT와 trench field stop IGBT를 설계하여 두 소자의 전기적 특성 분석을 비교 분석 및 고찰하였다.

2. 실험 방법

2.1 600 V급 field stop IGBT 회로 설계

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

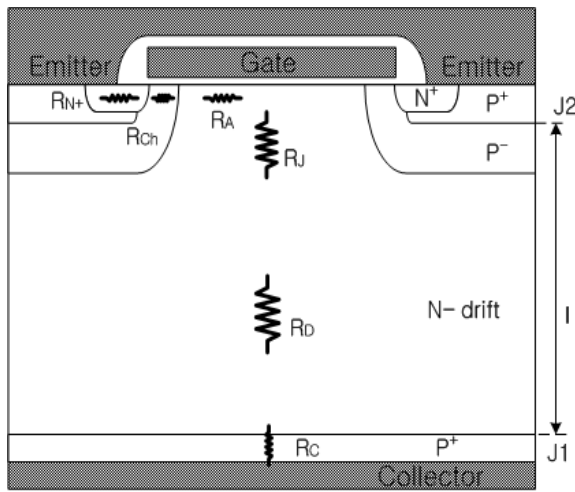


Fig. 1. Planar type IGBT on-resistance.

그림 1은 planar type IGBT의 단면도 및 on 저항 성분을 나타낸 그림이다. MOSFET에서 Ron은 on 상태 동안 소스와 드레인 사이의 총 저항이다. Ron은 다음 수식 (1)과 같다.

$$R_{on} = R_{N^+} + R_{ch} + R_a + R_j + R_d + R_c \quad (1)$$

R_{N^+} 는 N+ 확산을 가진 소스 영역의 저항이다. R_{on} 의 다른 성분들과 비교해 작은 부분임으로 무시한다. R_{ch} 는 R_{on} 의 가장 중요한 요소인 채널 영역의 저항이다. R_a 는 게이트 전압이 공급되면서 전하들이 N-drift에 축적되기 시작하며 표면 그리고 채널과 JFET영역 사이에 전류 path가 형성되어 생기는 축적 영역의 저항이며 R_j 는 JFET 영역의 저항이다. IGBT에서 P base 사이의 전류 통과 영역은 온 상태에서 P base와 n-drift 영역의 공핍층 확장에 의해 면적이 변한다. 이 지역의 저항은 공핍층 크기에 따라 변하게 된다. R_D 는 N-drift 영역의 저항이다. R_c 는 collector층의 저항이며 일반적으로 매우 작다.

그림 1에서의 가장 많은 영향을 끼치는 R_{on} 저항은 R_{ch} , R_a , R_j , R_D 가 많은 영향을 주는 저항이다. NPT planar IGBT의 R_j 부분인 JFET 부분을 trench gate 구조를 사용함으로써 온 상태 전압강하를 줄일 수 있다.

그림 2는 trench 구조를 사용함으로써 R_{on} 저항에 많은 영향을 미치는 R_j 부분이 없어지고 R_D 부분이 gate가 내려옴으로써 저항이 낮아질 수 있다.

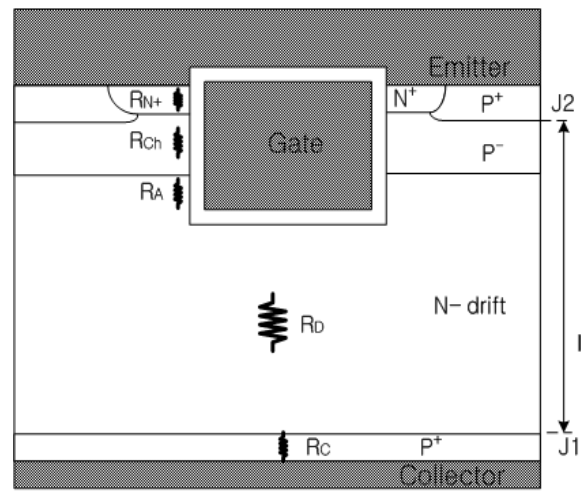


Fig. 2. Trench type IGBT on-resistance

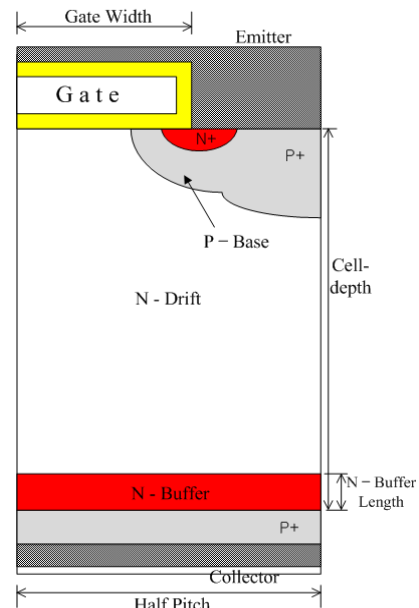


Fig. 3. Structure design of 600 V planar field stop planar IGBT.

그림 3은 최적화된 planar field stop IGBT이다.

표 1의 공정 조건을 바탕으로 시뮬레이션을 하여 문턱전압은 약 4.0 V, 온 상태 전압 강하 1.16 V, 항복전압 734 V을 만족하는 planar field stop IGBT를 설계하였다. 600 V planar field stop IGBT 공정 조건을 토대로 그림 4의 trench field stop IGBT를 설계하였다. Trench field stop IGBT의 문턱전압 역시

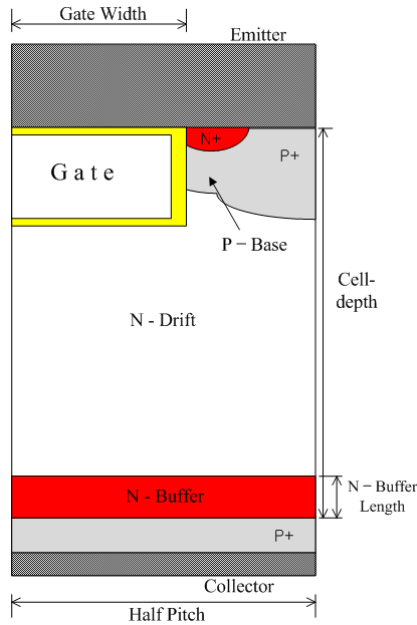


Fig. 4. Structure design of 600 V trench field stop IGBT.

Table 1. Parameter of 600 V planar field stop IGBT.

Design Parameters			
Half Pitch	5.25 μm	P-base Dose	$7.5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$
Gate Width	2.5 μm	P+ Emitter Dose	$5.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$
Cell -depth	50 μm	N+Emitter Dose	$5.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$
N-drift Resistivity	40 $\Omega \text{ cm}$	N JFET Dose	$4.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
N Buffer	$1.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$	P+ Collector Dose	$8.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$

4.0 V로 맞추어 planar field stop IGBT와 전기적 특성을 비교 가능하게 설계를 하였고, 표 2의 공정조건 중 P base dose량을 보면 4.0 V의 문턱 전압을 위한 P base의 dose량을 $1.3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 하였다.

표 3은 trench gate 깊이에 따른 항복 전압과 온 상태 전압강하를 나타내었다. 이 중 가장 최적의 값인 2.5 μm 의 gate 깊이를 사용하였다. Trench field stop IGBT의 buffer 공정 조건은 planar field stop

Table 2. Parameter of 600 V trench field stop IGBT.

Design Parameters			
Half Pitch	5.25 μm	P-base Dose	$1.3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$
Gate Width	2.5 μm	P+ Emitter Dose	$5.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$
Cell -depth	50 μm	N+Emitter Dose	$5.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$
N-drift Resistivity	40 $\Omega \text{ cm}$	N JFET Dose	$4.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
N Buffer	$1.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$	P+ Collector Dose	$8.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$

Table 3. Breakdown voltage characteristic of trench gate IGBT.

N-drift Resistivity ($\Omega \text{ cm}$)	Gate Depth (μm)	Breakdown Voltage (V)	On state voltage drop (V)
40	2.5	753	0.98
	2.25	753	0.98
	2.0	753	0.99
	1.75	752	0.99
	1.5	752	1.00

IGBT의 공정 조건과 같은 공정 값을 주었다.

이와 같이 설계된 planar field stop IGBT와 trench gate field stop IGBT의 전기적 특성인 항복 전압 및 온 상태 전압 강하 특성을 시뮬레이션하여 그 결과를 도출하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 5는 NPT planar type IGBT와 field stop IGBT trench field stop IGBT의 문턱 전압과 항복전압 온 상태 전압강하를 나타낸 그래프이다. 문턱전압은 세 가지 모두 4.0 V로 동일하게 실험하여 4.0 V의 특성을 보이며 항복전압은 planar type IGBT가 약 690 V이며 field stop IGBT가 734 V, trench IGBT가 753 V이며 온 상태 전압 강하는 planar type IGBT가

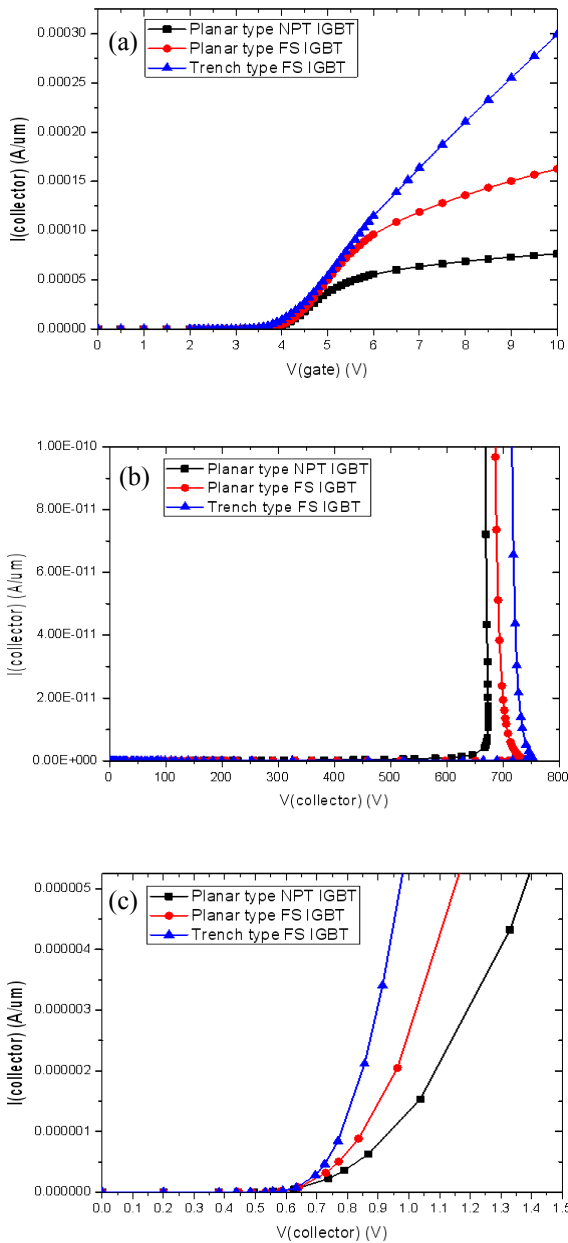


Fig. 5. NPT Planar IGBT VS field stop IGBT VS trench field stop IGBT (a) threshold voltage, (b) breakdown voltage, (c) on-stage voltage drop.

1.45 V, field stop IGBT가 1.16 V, trench field stop IGBT가 0.98 V인 것을 그래프를 통하여 확인하였다.

Field stop IGBT와 trench field stop IGBT의 온 상태 전압강하를 비교해보면 0.18 V 정도의 차이를 보이며 항복 전압은 약 19 V 정도의 차이를 보여준다.

Trench gate 구조를 사용하여 JFET 영역이 없어져 온 상태 전압강하 차이를 보여준 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문은 planar field stop IGBT의 전기적 특성 향상을 위해 trench gate 구조를 제안하여 그 항복 전압과 온 상태 전압강하 특성을 소자 시뮬레이션으로 확인하고 분석하였다. 그 결과 trench gate 구조에 의해 JFET 영역이 없어짐으로, 온 상태 전압강하를 낮출 수 있었다. 또한 미미하지만 항복 전압 특성도 개선된 것을 확인할 수 있었다. 결과적으로 planar field stop IGBT에 trench gate 구조를 사용하여 planar field stop IGBT 보다 trench field stop IGBT 구조가 더 좋은 항복 전압과 온 상태 전압 강하를 보여주는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청 산학연 국제공동기술개발 및 한국연구재단의 지역혁신 인력 양성사업과 한국산업진흥원 지역산업 기술개발 사업으로 수행된 연구결과입니다.

REFERENCES

- [1] S. S. Kyoung, J. H. Seo, Y. H. Kim, J. S. Lee, E. G. Kang, and M. Y. Sung, *J. KIEEME*, **22**, 12 (2009).
- [2] E. G. Kang, B. S. Ahn, and T. J. Nam, *J. KIEEME*, **23**, 273 (2010).
- [3] J. S. Lee, E. G. Kang, and M. Y. Sung, *J. KEEEME*, **19**, 912 (2006).
- [4] E. G. Kang and M. Y. Sung, *J. KIEEME*, **13**, 371 (2000).
- [5] B. J. Baliga, *Power Semiconductor Devices* (PWS Publishing Company, New York, 1996).