

낮은 온-저항 특성을 갖는 2500V급 IGBTs

*신 사 무 엘, 손 정 만, 하 가 산, 원 종 일, 정 준 모, 구 용 서
 서경대학교 전자공학과
 e-mail : shotai999@skuniv.ac.kr

Low on Resistance Characteristic with 2500V IGBTs

*Samuell Shin, Jungman Son, kasan Ha, Jongil Won,
 Junmo Jung, Yongseo Koo

*Department of Electronic Engineering, Seokyeong University

Abstract

This paper presents a new Insulated Gate Bipolar Transistor(IGBT) for power switching device based on Non Punch Through(NPT) IGBT structure. The proposed structure has adding N+ beside the P-base region of the conventional IGBT structure. The proposed device has faster turn-off time and lower forward conduction loss than the conventional IGBT structure.

Keywords: IGBT, Vce.sat, Power Device,

I. 서론

본 논문에서는 IGBT의 전기적 특성 중 대표적인 트레이드-오프 관계에 있는 순방향 손실과 스위칭 속도를 개선시키기 위한 새로운 구조의 IGBT를 제안하였다[1][2]. 제안된 구조는 기존 IGBT에 캐리어 축적 층인 N+를 도입한 구조이며, 낮은 순방향 손실과 빠른 스위칭 스피드의 특성을 갖는다.

제안된 구조는 공정 시뮬레이터인 TSUPREM-4와 디바이스 분석 시뮬레이터 MEDICI를 이용하여 구조의 전기적 특성을 기존 IGBT와 비교 분석하여, 그 우수성을 증명하였다.

II. 본론

2.1 소자 구조 제안 및 동작특성 분석

그림 1의 (a)와 (b)는 각각 기존 수평(Planar) 게이트

IGBT와 제안된 새로운 구조의 IGBT를 보여주고 있다. 제안된 IGBT는 기존 IGBT가 갖는 P-베이스 영역 우측 폴리 게이트 하단 부분에 캐리어 축적 층인 N+을 도입한 구조이다. 제안된 구조는 2차원 소자 시뮬레이터인 MEDICI를 이용하여 작용과 특징에 대해 분석하였으며, 표 1.를 통해 시뮬레이션에서 사용된 중요 파라미터를 나열하였다.

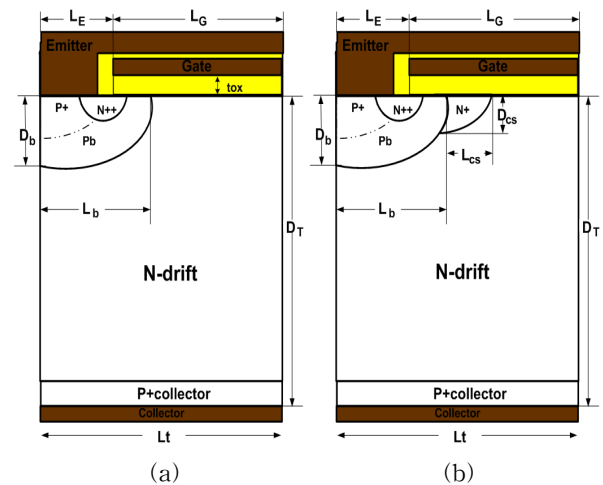


그림 1 (a). 기존 IGBT 구조의 단면.
 (b). 제안된 IGBT 구조의 단면.

제안된 그림 1.의 (b)구조는 기존 IGBT의 순방향 손실과 턴-오프 특성을 개선하기 위한 구조로써 P-베이스 우측 부분에 캐리어 축적 층인 N+를 도입한 구조이다. 도입된 N+는 P-베이스 영역과 N-드리프트 영역간의 에너지 장벽을 기존 IGBT의 에너지 장벽보다 높여 주는 역할을 한다. 또한, N+는 P+ 컬렉터 영역에서 P-베이스 영역으로 주입되는 정공 전류의 흐름을 방해하여 캐리어 축적 층인 N+주위에 밀집시키는 역할을 한다. 따라서 캐리어 축적 층 주위로 밀집된 정공은 JFET 영향을 개선시킴으로 순방향 전압손실을 감소

시키며, 정공전류의 밀도를 캐리어 축적 층인 N+ 영역으로 집중시킴으로 턴-오프 시간을 감소시키는 역할을 한다[3].

표 1. 시뮬레이션에서 사용되는 중요 파라미터

L_G	- gate electrode length (um)	13
L_E	- emitter electrode length (um)	8
L_T	- total length (um)	23
L_{cs}	- carrier stored region length (um)	3
L_b	- P-base region length (um)	10
D_T	- total depth (um)	390
D_b	- P-base region depth (um)	3
D_{cs}	- carrier stored region depth (um)	1.5

2.2 제안된 구조의 시뮬레이션 결과 및 고찰

2.2.1 순방향 전도 특성

제안된 소자의 순방향 전압강하 특성은 3.08V이며 이것은 기존 IGBT가 갖는 3.66V에서 약 0.6V 감소된 특성으로 기존 IGBT보다 우수한 특성을 나타낸다.

그림 2는 IGBT의 순방향 동작 상태에서 동작전류 100A/cm²에서의 포화전압을 농도와 사이즈 변화에 따라 나타낸 그림이다.

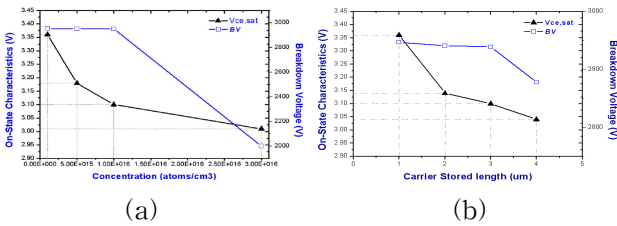


그림 2 (a). 농도변화에 따른 Vce,sat과 BV의 영향
(b). 사이즈 변화에 따른 Vce,sat과 BV의 영향

그림 2에서 확인 할 수 있듯이 N+의 도입은 낮은 항복전압을 유발함으로 캐리어 축적영역의 크기와 농도는 낮은 항복 전압 특성에 매우 큰 영향을 준다. 따라서 순방향 특성과 높은 항복특성을 만족시키기 위해 그림 3에서 보여 지는 바와 같이 N+의 농도는 1E16(atoms/cm³) 이하의 레벨에서 순방향 전압강하에 따른 낮은 항복전압의 문제점이 적게 발생하는 것을 확인 할 수 있었으며 N+의 사이즈는 3um 이하의 영역에서 서로간의 문제점이 적음을 확인할 수 있었다.

2.2.2 턴-오프 특성

제안된 소자의 턴-오프 특성은 3.4us이며 이것은 기존 IGBT가 갖는 3.65us에서 약 0.25us 감소된 특성으로 기존 IGBT보다 우수한 특성을 나타낸다.

그림 3은 IGBT 소자의 대표적인 트레이드-오프 관계인 순방향 전압강하 특성과 턴-오프 특성간의 관계를 N+의 농도와 사이즈 변화에 따라 나타낸 그림이다.

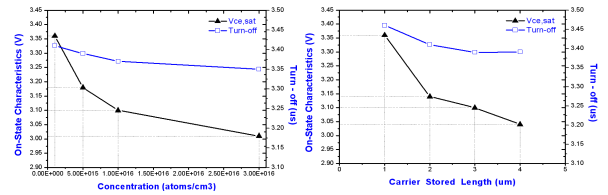


그림 3 (a). 농도변화에 따른 Vce,sat과 Turn-off의 영향
(b). 사이즈 변화에 따른 Vce,sat과 Turn-off의 영향

그림 3의 (a)와 (b)는 앞서 설명한 그림 2의 분석을 바탕으로 N+의 도핑 농도를 1E15(atoms/cm³) 부터 5E16(atoms/cm³)까지 증가 시킬 때의 턴-오프 특성과 N+의 사이즈를 1um부터 4um까지 증가 시킬 때의 턴-오프 특성을 순방향 전압강하와 비교한 것이다. 그림 2과 3에서 확인할 수 있듯이 순방향 전압강하는 캐리어 축적 층인 N+ 농도와 사이즈가 높아질수록 개선되는 것을 보이는 반면 턴-오프 특성은 변화가 적음을 확인할 수 있었다. 따라서 캐리어 축적 층의 농도와 사이즈변화에 따른 항복전압을 고려할 때, N+ 농도는 1E16(atoms/cm³), 사이즈는 3um 이하의 영역에서 서로간의 손실이 적게 발생하는 것을 확인 할 수 있었다.

III. 결론

본 논문에서는 IGBT 소자의 대표적인 트레이드-오프 관계에 있는 순방향 전압강하 특성과 턴-오프 특성을 개선시킨 구조로써 시뮬레이션 결과 캐리어 축적 층인 N+의 도입은 기존 IGBT의 순방향 전압강하를 기존 3.66V에서 3.08V로 약 0.58V 향상된 특성을 보였으며 턴-오프 특성은 기존 3.65us에서 3.4us로 약 0.25us 향상된 특성을 보였다. 그림 4는 순방향 전압 강하의 시뮬레이션 결과로 N+ 도입에 따라 발생하는 더 많은 양의 정공전류(IH)와 전자전류(IE)의 전류 밀도를 보여주며, 기존 IGBT와 제한된 IGBT 구조의 순방향 전압강하 특성을 나타낸 결과이다.

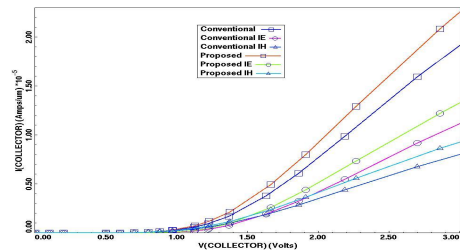


그림 4. 제안된 IGBT의 순방향 전도 특성

참고문헌

- [1] Vinod Kumar Khanna. "The Insulated Gate Bipolar Transistor Theory and Design" IEEE press. A John Wiley & Sons, INC., 2003..
- [2] S.Huang, G.A.J.Amaratunga,"The Injection Efficiency Controlled IGBT" IEEE Electron Device letter, Vol.23, No.2, pp. 89-90, February 2002.
- [3] Donald A. Neaman, Semiconductor Physics and Devices, IRWIN. pp 176-181, 1997.

감사의 글

본 논문은 산업자원부 전력 IT 사업에 의하여 지원되었음.