

## CT-IGBT의 최적 설계 및 전기적 특성에 관한 분석

곽상현, 서준호, 서인곤, 성만영\*  
고려대학교 전기공학과

### An Analysis on Optimal Design and Electrical Characteristics of CT-IGBT(Circular Trench IGBT).

Sang-Hyeon Kwak, Junho Seo, In-Kon Seo and Man Young Sung  
Department of Electrical Engineering, Korea University  
E-mail : \*semicad@korea.ac.kr

**Abstract :** The conventional IGBT has two problems to make the device taking high performance. The one is high on state voltage drop associated with JFET region, the other is low breakdown voltage associated with concentrating the electric field on the junction of between p base and n drift.

This paper is about the structure to effectively improve both the lower on state voltage drop and the higher breakdown voltage than the conventional IGBT. For the fabrication of the circular trench IGBT with the circular trench layer, it is necessary to perform the only one wet oxidation step for the circular trench layer.

Analysis on both the on state voltage drop and the Breakdown voltage show the improved values compared to the conventional IGBT structure. Because the circular trench layer disperses electric field from p base and n drift junction to circular trench, the breakdown voltage increase. The on state voltage drop decrease due to reduction of JFET region and direction change of current path which pass through reversed layer channel.

**Key Words :** Circular trench, wet oxidation, breakdown voltage, on state voltage drop

### 1. 서 론

절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(IGBT)는 현재 널리 적용되고 있는 고전압용 반도체 소자로 산업용뿐만 아니라 가정용 가전 등의 분야로 그 적용 영역이 확대되고 있다. 특히 초고압 시스템의 산업용으로 적용 시에는 항복전압에 대한 내성 및 낮은 온-상태 전압강하가 중요한 요구 조건이며 여러 연구그룹들이 높은 항복전압, 낮은 온-상태 전압강하와 빠른 스위칭 특성을 향상시키기 위한 연구를 수행하고 있다.[1]

일반적인 IGBT 는 기생 JFET 성분이 온 상태 시 소자의 전체 온-저항의 큰 부분을 차지하여 온-상태 전압강하를 크게 한다.[2] CT-IGBT(원형 트렌치 IGBT) 는 뛰어난 온-상태 전압강하 특성을 보이는데 그 이유는 구조상 기생 JFET 성분이 줄어들고 원형 트렌치 게이트를 따라 형성된 채널에 의해 전류의 흐름이 캐소드 쪽으로 기울기 때문이다. 낮은 온-상태 전압강하 특성을 확보하기 위해 그림 1.(b) 와 같이 CT-IGBT 구조가 제안되었다.[3] 이에 제안된 소자의 타당성을 검증하고자 MEDICI 와 TSUPREM4 를 사용하여 시뮬레이션 하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 제안 구조와 제조 공정

그림 1.(b) 는 본 논문에서 제안하는 원형 트렌치를 이용하는 CT-IGBT 구조이다. 일반적인 IGBT 구조와 달리

CT-IGBT 구조는 원형 트렌치 공정이 추가된다. 트렌치 공정에서 원형 트렌치의 너비와 P 베이스 사이의 거리가 축적층 영역 저항 증가에 영향을 주기 때문에 P 베이스와 트렌치 영역간의 일정 간격을 유지하도록 주의해야 한다. 또한 원형 트렌치의 깊이가 P 베이스의 깊이보다 깊으면 원형 트렌치 하단에 전계가 집중하여 항복전압의 감소를 야기하므로 원형 트렌치의 깊이는 P 베이스의 깊이와 같거나 작게 해야 한다.

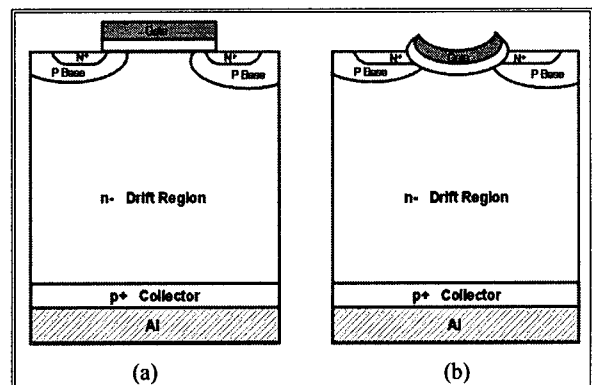


그림 1. 소자 구조

(a) 일반적인 IGBT (b) 제안된 CT-IGBT

원형 트렌치를 이용하는 CT-IGBT 구조는 일반 DMOS 공정과 비교하여 원형 트렌치 공정을 위해 추가 마스크

한 장과 비교적 긴 시간 동안 추가적인 습식 산화 공정이 필요하다. UMOS 공정과 비교하여서는 추가적인 습식 산화 공정이 필요하지만 산화막 식각 후 원형 트렌치 영역의 표면이 매우 평탄하여 폴리 게이트 평탄화 작업이 필요 없을 뿐 아니라 트렌치 영역을 만들기 위한 실리콘 식각 시 웨이퍼의 손상에 대한 우려가 없는 등 공정상 이점이 있다.[4]

## 2.2 기존 IGBT 구조와 제안 구조의 비교 분석

일반적인 IGBT 와 CT-IGBT 의 전기적 특성을 살펴보기 위해 MEDICI 와 TSUPREM4 를 사용하여 시뮬레이션 하였다. N 이미터 두께를 0.5  $\mu\text{m}$ , P 베이스 두께를 2.5  $\mu\text{m}$ , N 드리프트 두께를 250  $\mu\text{m}$  으로 고정하였고 N 드리프트 영역의 농도는  $5.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ , 게이트 산화막의 두께를 5000  $\text{\AA}$  으로 하였다. 또한 두 구조 모두 단위 셀 크기는 14  $\mu\text{m}$  로 동일하게 형성하였다.

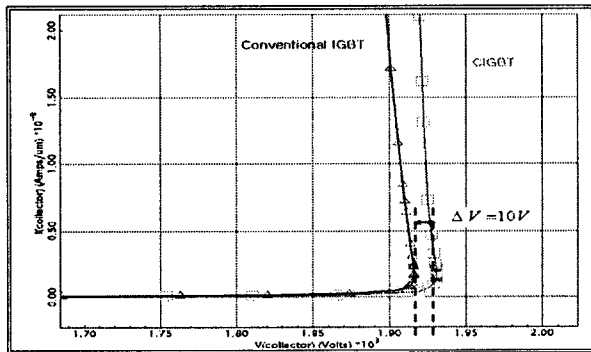


그림 2. 항복전압 특성 비교

시뮬레이션 결과 기존 IGBT 에 비해서 제안한 구조의 소자가 항복전압의 향상과 온-상태 전압강하의 감소에서 우수한 특성을 보였다. 우선, CT-IGBT 의 항복전압이 일반적인 IGBT 에 비해 10 V 향상하였다. 그림 2. 에서 보는 바와 같이 일반적인 IGBT 구조의 항복전압은 1920 V 였으나 CT-IGBT 구조의 항복전압은 1930 V 로서 10 V 상승하였다.

이는 일반적인 IGBT 에서 P 베이스 / N 드리프트 접합에 집중되었던 전계를 CT-IGBT 의 원형 트렌치 하단으로 분산시킴으로 더 높은 항복전압을 얻은 것이다.

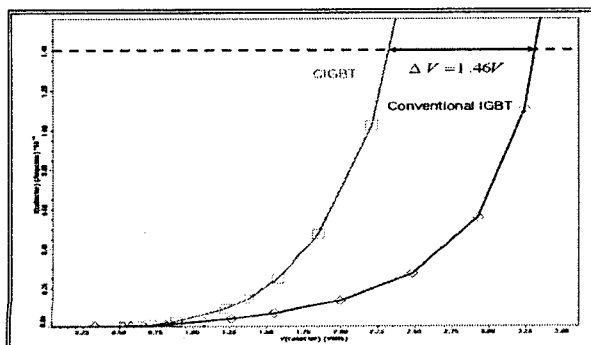


그림 3. 온-상태 전압강하 특성 비교

다음으로 일반적인 IGBT 와 CT-IGBT 의 온-상태 전압강하 값을 비교하였다.[4] 시뮬레이션 결과 온-상태 전압강하가 일반적인 IGBT 에 비해 1 V 감소하였다. 그림 3. 에서 보는 바와 같이 일반적인 구조의 온-상태 전압강하는 3.79 V 이며 원형 트렌치 구조의 온-상태 전압강하는 2.33 V 로 원형 트렌치 구조가 일반적인 구조보다 1.46 V 작은 온-상태 전압강하특성을 보였다.

이는 CT-IGBT 구조의 소자가 원형 트렌치 영역에 의해 인접한 P 베이스 사이 JFET 영역을 감소시켰기 때문이다. 또한 원형 트렌치의 측면에 형성된 채널을 따라 흘러나오는 전류의 방향이 캐소드 쪽으로 기울어져 병목현상을 줄였기 때문이다.[3]

## 3. 결론

원형 트렌치를 이용하는 CT-IGBT 구조는 JFET 영역의 감소로 온-상태 전압강하를 감소시키는 효과뿐만 아니라 트렌치 하단의 전계분산효과로 항복전압을 높이는 특징을 가지고 있다. 또한 CT-IGBT 구조는 추가적인 습식 산화 공정만으로 쉽게 형성할 수 있어 일반적인 트렌치 IGBT 에 비해 공정상 이점이 많은 구조이다.

본 논문에서 제안하는 원형 트렌치를 이용하는 원형 트렌치 IGBT 구조는 전력용 반도체에 있어서는 아주 효과적인 구조이며, 향후 원형 트렌치 깊이와 너비에 대해 심층적인 연구를 통하여 최적화된 특성을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 고려대학교 특별연구비에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- [1] B. Jayant Baliga, "Power semiconductor devices", PWS, 1996
- [2] Michio Nemoto and B. Jayant Baliga, "The Recessed-gate IGBT Structure", ISPSD, 1999, pp. 149-152.
- [3] Vladimir Tsukanov, Nathan Zommer, Shallow Trench Power MOSFET and IGBT, U.S. Patent No. 7.063.975 B2, Washington DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [4] Jong-Seok Lee, Ho-Hyun Shin, Man Young Sung, "The Effect of a Shielding Layer on Breakdown Voltage in Trench gate IGBT", ICPE07, 10 2007, pp. 62-65.