

## 스마트 파워 IC에의 활용을 위한 소형 LTEIGBT의 제작과 전기적인 특성에 관한 연구

### A Study of The Electrical Characteristics of Small Fabricated LTEIGBTs for The Smart Power ICs

오대석, 김대원, 김대중, 염민수, 강이구, 성만영

(Dae Suk Oh, Dae Won Kim, Dae Jong Kim, Min Soo Youm, Ey Goo Kang, Man Young Sung)

#### Abstract

A new small size Lateral Trench Electrode Insulated Gate Bipolar Transistor (LTEIGBT) is proposed and fabricated to improve the characteristics of device. The entire electrode of LTEIGBT is placed to trench type electrode. The LTEIGBT is designed so that the width of device is  $19\mu\text{m}$ . The latch-up current density of the proposed LTEIGBT is improved by 10 and 2 times with those of the conventional LIGBT and LTIGBT. The forward blocking voltage of the LTEIGBT is 130V. At the same size, those of conventional LIGBT and LTIGBT are 60V and 100V, respectively. Because that the electrodes of the proposed device is formed of trench type, the electric field in the device are crowded to trench oxide. We fabricated the proposed LTEIGBT after the device and process simulation was finished. When the gate voltage is applied 12V, the forward conduction currents of the proposed LTEIGBT and the conventional LIGBT are 80mA and 70mA, respectively, at the same breakdown voltage of 150V.

**Key Words** : Trench Electrode, Latch-up, Forward blocking voltage, High speed

#### 1. 서론

개별 소자로 많이 사용되는 수직형 IGBT는 그동안 많은 발전을 이루어 최근에는 2000V, 10A 이상의 높은 전압-전류 정격을 갖는 소자도 보고되고 있다. 반면에 인텔리전트 파워 IC에 사용되는 수평형 IGBT의 경우, 전류밀도에 있어서는 단락된 애노드 LIGBT, 이중 게이트 LIGBT 그리고 트랜치 게이트형 LIGBT 등 그 구조적인 개선으로 말미암아 래치 업이 일어나지 않은 상태에서 높은 전

류밀도를 갖는 소자를 개발하여 왔으나 정격전압을 유지하기 위해서 소형화 그리고 경량화를 이루지 못하고 있는 상황이다[1-2].

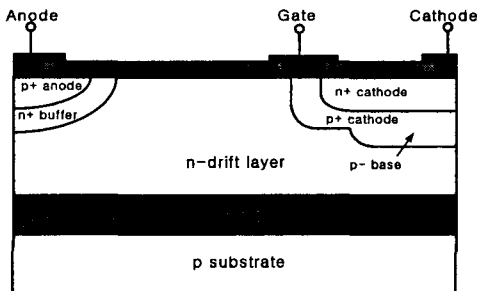
따라서 본 논문에서는 위와 같은 단점을 보완하기 위해서 모든 전극을 트랜치 형으로 대체함과 동시에 소자의 정격전압에 결정적인 영향을 주는 드리프트층의 길이를  $19\mu\text{m}$ 으로 설계한 수평형 트랜치 전극형 LIGBT(Lateral Trench Electrode IGBT : LTEIGBT)를 제안하였다. 일반적으로 LIGBT 소자의 드리프트 층의 길이는  $80\mu\text{m}$ 이상으로 설계하여 200-300V의 전압을 유지하고 있다[3].

고려대학교 전기공학과  
(서울시 성북구 안암동 5가 1번지)  
Fax : 02-921-0544  
E-mail : semicad@korea.ac.kr

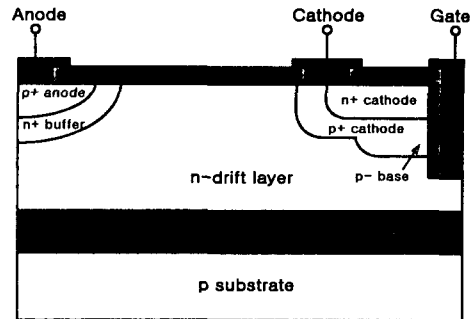
## 2. 소자의 구조 및 동작

그림 1은 기존의 범용 LIGBT, LTIGBT 그리고 제안된 LTEIGBT의 구조를 보여주고 있다. 범용 LIGBT와 LTIGBT와의 주요 차이는 그림 1에 나타낸 바와 같이 게이트 전극 구조이다. 범용 LIGBT는 애노드 전극과 캐소드 전극 사이에 게이트 전극을 설치하여 전자전류를 제어하고 있으며, 범용 LTIGBT는 게이트 전극 구조를 트렌치 타입으로 형성하여, 애노드와 게이트 전극 사이에 캐소드 전극을 형성한 구조이다. 범용 LIGBT의 경우, 소자가 온 상태에 있게 되면 애노드에서 주입된 대부분의 홀들이 캐소드 전극 밑에 놓여 있는 래치 업의 주원인인 p 베이스 층과 p+ 캐소드 층을 지나서 흐르게 되어 낮은 전류에서 래치 업이 발생하게 되어 소자의 동작 안전 영역이 크게 줄어들게 된다. 그러나 범용 LTIGBT에서는 게이트 전극이 트렌치 구조이기 때문에 채널이 수평으로 형성되지 않고 수직으로 형성하게 되며, 캐소드 전극과 게이트 전극의 순서를 바꾸었기 때문에, 애노드에서 주입된 홀들이 p 베이스층을 지나지 않고 캐소드 전극으로 흐른다. 따라서 범용 LIGBT보다는 래치 업이 늦게 발생하게 되며 최대 전류밀도도 상당히 높아지게 된다.

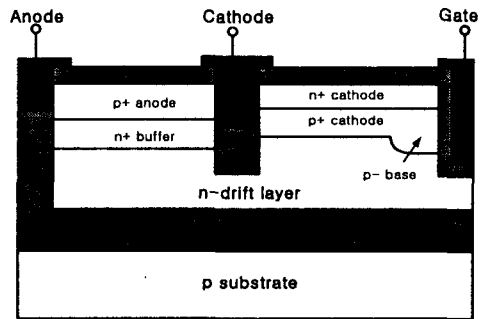
범용 LTIGBT 소자와 제안한 LTEIGBT 소자의 주요 차이점은 애노드와 캐소드 전극의 모양이다. 제안한 LTEIGBT는 온 상태에서 흐르는 홀 전류가 p 베이스 층을 지나지 않고 바로 캐소드 전극으로 흐른다는 LTIGBT의 장점을 포함하면서, 애노드와 캐소드 전극을 모두 트렌치 형의 구조로 설계하여 순방향 저지 능력을 극대화한 구조이다. 제안한 구조에서는 소자 내부에 걸리는 전계가 저항이 큰 트렌치 산화막에 집중하게 되어 소자를 작게 만들더라도 항복전압은 그대로 유지할 수 있는 효율적인 구조이다.



(a)



(b)



(c)

그림 1. 기존의 범용 LIGBT, LTIGBT 그리고 제안된 LTEIGBT 소자들의 단면도 (a) 범용 LIGBT (b) 범용 LTIGBT (c) 제안된 LTEIGBT

Fig. 1. The cross sections of the conventional LIGBT, conventional LTIGBT and proposed LTEIGBT (a) The conventional LIGBT (b) The conventional LTIGBT (c) The proposed LTEIGBT

## 3. 소자 및 공정 시뮬레이션

소자를 제작하기에 앞서 제안된 소자의 타당성을 검증하기 위해 2-D 소자 및 공정 시뮬레이터인 MEDICI와 TSUPREM4를 이용하여 소자 및 공정 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 2는 제안된 LTEIGBT와 기존의 범용 LIGBT 그리고 LTIGBT의 순방향 전도 특성을 나타내고 있다. 순방향 전도 특성은 게이트에 20V의 입력전압을 인가하여 채널을 형성한 다음, 애노드 전극에 전압을 점진적으로 증가시켜 측정된 것이다. 기존의 범용 LIGBT의 경우 애노드 전압 0.7V, 전류밀도  $120 A/cm^2$ 에서 래치 업이 발생하고 있으며, LTIGBT의 경우 애노드 전압 2.0V, 전류밀도

540 A/cm<sup>2</sup>에서 래치 업이 발생하고 있다. 제안된 LTEIGBT의 경우 그림 2에서 나타난 것처럼 애노드 전압 8V, 래칭 전류밀도 1230 A/cm<sup>2</sup>에서 래치 업이 발생하고 있다. 이는 기존의 소자들에 비해 각각 10배 그리고 2배 정도의 높은 전류밀도를 나타내고 있다.

그림 3은 소자들의 중요한 특성 중 하나인 순방향 항복특성을 나타내고 있다. 기존의 범용 LIGBT와 범용 LTIGBT의 경우에는 항복전압은 각각 60V와 100V가 측정되었으며, 범용 LTIGBT가 범용 LIGBT보다 높게 나온 것은 게이트 영역을 트랜치 구조로 설정하여 내부에 걸리는 전계가 게이트 영역의 산화막쪽으로도 나누어 집중되기 때문에 펀치스루 항복이 늦게 발생되기 때문이다. 이와 반면에 제안된 LTEIGBT의 경우 이전의 소자와는 달리 모든 전극을 트랜치 형태로 설정되었기 때문에 소자에 걸리는 전계가 모두 3개의 트랜치 산화막과 매몰 산화막에 집중하여 소자의 내부에 있는 접합에는 작은 전계가 인가되게 된다. 따라서 공핍층의 확장은 늦어지게 되며, 펀치스루 항복보다는 보다 높은 전압에서 이루어지는 충돌이온화에 의한 눈사태 항복이 일어나는 것으로 밝혀졌다. 따라서 항복전압은 기존의 범용소자보다 각각 2.3배, 1.4배정도 증가한 140V로 측정되었다. 이러한 구조의 응용은 LIGBT 뿐만 아니라 다른 파워 소자에도 응용하여 항복전압을 높일 수 있는 아주 유용한 구조라고 판단된다. 그림 4는 제작 공정을 고찰하기 위해 수행된 공정 시뮬레이션을 통해 얻어진 소자의 최종 구조도이다.

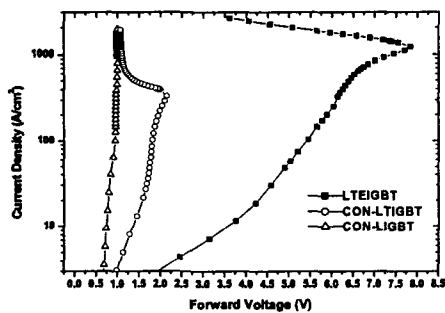


그림 2. 범용 LIGBT, LTIGBT 그리고 제안된 LTEIGBT의 순방향 전도 특성  
Fig. 2. The forward conduction characteristics of the conventional LIGBT, LTIGBT and the proposed LTEIGBT

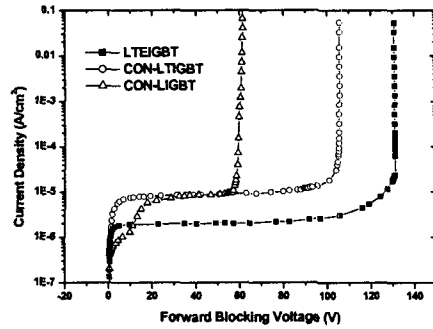


그림 3. 범용 LIGBT, LTIGBT 그리고 제안된 LTEIGBT의 순방향 항복 특성  
Fig. 3. The forward blocking characteristics of the conventional LIGBT, LTIGBT and the proposed LTEIGBT

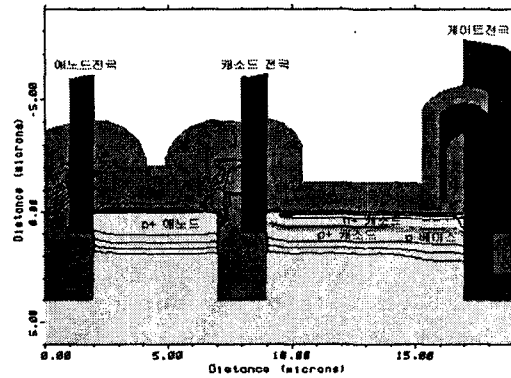


그림 4. 공정시뮬레이션을 통해 얻어진 제안된 LTEIGBT 소자  
Fig. 4. Al etching for forming cathode and anode electrode

#### 4. 소자의 제작 및 전기적 특성 분석

소형 LTEIGBT 소자를 제작하기 위해서 N형, (1,0,0) 방향을 가지며, 비저항 1-10 Ω-cm를 갖는 웨이퍼를 선택하였다. 제작 공정을 수행한 결과, 게이트 산화막의 두께는 1000Å이며, 드리프트 층의 길이는 17μm이다. 그리고 n+ 캐소드 영역의 농도는  $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 이고, p+ 애노드 영역의 농도는  $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 이다. 또한 채널 형성을 위한 p 베이스 영역의 농도는  $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 이다.

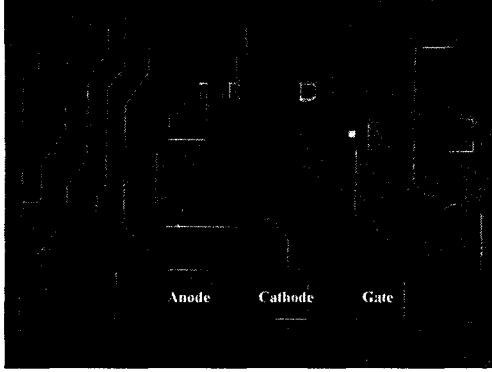


그림 5. 제작된 LTEIGBT 소자(FE-SEM)  
Fig. 5. The fabricated LTEIGBT (FE-SEM)

제안된 소자들의 제작을 위해 본 연구에서는 총 7장의 마스크를 설계하여 제작하였으며, 4인치 웨이퍼 공정을 수행하기 위해 5인치 크롬 마스크를 제작하였으며, 4×4 어레이(Array) 구성을 통해 총 16개의 단위 셀이 4인치 웨이퍼에 제작되도록 하였다.

그림 5는 제작된 LTEIGBT의 최종 평면도를 보여주고 있다. 그림 6은 제안된 LTEIGBT와 기존의 범용 LIGBT의 I-V 특성을 비교하고 있는 것으로 두 소자 모두 150V의 항복 내압을 가지며 제작된 LTEIGBT는 게이트 전압 12V일 때 최대전류값은 80mA로 기존 LIGBT에 비해 약 10mA 정도가 더 높은 전류 특성을 보여주고 있다.

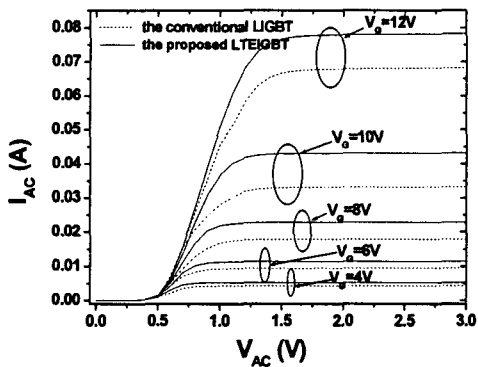


그림 6. 제작된 LTEIGBT소자와 범용 LIGBT 소자의 I-V 특성 비교  
Fig. 6. The comparison of I-V characteristics of the fabricated LTEIGBT and conventional LIGBT (BV=150V)

## 5. 결 론

본 논문에서는 파워 소자의 소형화, 경량화 및 고성능화를 추구하기 위해 소형 LTEIGBT 소자를 제안하고, 시뮬레이션과 제작을 통한 전기적인 분석을 통해 소자의 타당성을 검증하였다. 두 분석을 통해 래칭 전류밀도의 경우 제안된 소자가 기존의 소자에 비해 우수한 특성을 갖는 것으로 판명됨과 동시에 항복내압에 있어서도 소자의 크기가 작음에도 불구하고 큰 내압을 가질 수가 있었다. 이와 같은 결과로 미루어 보아 본 논문에서 제안된 소자는 인텔리전트 파워 IC 시스템의 소형화 및 고성능화에 크게 기여할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 과학기술부(2000-J-EH-01-B02)와 과학재단의 특정기초과제연구(1999-2-302-017-5)의 지원에 의해 수행된 일부임.

## 참고 문헌

- [1] Jun Cai, K. O. Sin Johnny, K. T. Mok Philip, A new lateral trench-gate conductivity modulated power transistor, in IEEE Trans., Electron Devices, Vol. 46. No. 8, pp. 1778- 1793, 1999
- [2] I. Y. Park and Y. I. Choi, Trench cathode TIGBT with improved latch-up characteristics, in Physica Scripta. Vol. T79, pp. 337-340, 1999
- [3] F. Udrea and G. Amaratunga, The trench insulated gate bipolar transistor a high power switching device, in Proc. 20th Int. Conference on Microelectronics, pp. 369-374, 1995