

## 스마트 파워 IC를 위한 p+ Diverter 구조의 횡형 트랜치 IGBT

### A Latch-Up Immunized Lateral Trench IGBT with p+ Diverter Structure for Smart Power IC

문승현, 강이구, 성만영, 김상식

(Seung Hyun Moon, Ey Goo Kang, Man Young Sung, Sangsig Kim)

#### Abstract

A new Lateral Trench Insulated Gate Bipolar Transistor (LTIGBT) with p+ diverter was proposed to improve the characteristics of the conventional LTIGBT. The forward blocking voltage of the proposed LTIGBT with p+ diverter was about 140V. That of the conventional LTIGBT of the same size was 105V. Because the p+ diverter region of the proposed device was enclosed trench oxide layer, the electric field moved toward trench-oxide layer, and punch through breakdown of LTIGBT with p+ diverter was occurred, lately. Therefore, the p+ diverter of the proposed LTIGBT didn't relate to breakdown voltage in a different way the conventional LTIGBT. The Latch-up current densities of the conventional LTIGBT and proposed LTIGBT were 540A/cm<sup>2</sup>, and 1453A/cm<sup>2</sup>, respectively. The enhanced latch-up capability of the proposed LTIGBT was obtained through holes in the current directly reaching the cathode via the p+ divert region and p+ cathode layer beneath n+ cathode layer.

**Key Words** : Power Integrated Circuit, p+ Divert Structure, Forward Blocking Voltage, Turn-off, Latch-up

#### 1. 서론

LIGBT(Lateral Insulated Gate Bipolar Transistor)는 현재 가장 주목받고 있는 전력 스위칭 소자의 한가지로서 종래의 바이폴라 파워 트랜지스터와 비교할 때 MOS gate에 의한 구동의 간소화와 캐리어 주파수의 고속화가 도모되는 전력 반도체 소자이다. 특히, 전력 변환장치에서의 인버터 장치는 소형 경량화, 고성능화, 고효율화 그리고 무소음화가 급속히 진전되어 그 적용범위가 확대되고 있다. 또한, LIGBT는 전도도 변조(conductivity modulation)

으로 인해 순방향 전압강하가 작고, 입력임피던스가 크기 때문에 스마트 파워 IC에 매우 적합한 소자이다[1,2]. 그러나 LIGBT에는 그 구조상 p+ 애노드, n-드립트 층, p-베이스, n+ 캐소드로 구성되는 기생 사이리스터가 존재한다. LIGBT가 정상적으로 동작할 때는 기생 사이리스터는 동작하지 않으나, 전류가 일정한 값 이상이 되면 사이리스터가 턴 온 되는데, 이것을 래치 업 특성이라고 한다. 래칭 현상이 발생하면 LIGBT는 MOS 게이트의 조정능력을 상실하기 때문에 래치 업 현상은 LIGBT의 전류 제어 능력을 제한하고, SOA(Safe Operating Area)를 결정짓는 가장 중요한 요소 가운데 하나이다.

최근에 래치 업 특성을 효과적으로 향상시키기 위한 트랜치 구조의 LIGBT에 대해 연구되고 있다[3-7]. 그러나 일반적인 LTIGBT(Lateral Trench IGBT)의 크기가 작아짐에 따라 래치 업 전류밀도를 포함한 전기적인 특성이 나빠지게 된다. 그 동안 p-

고려대학교 전기공학과  
(서울특별시 성북구 안암동 5-1 고려대학교)  
Fax : 02-921-1325

E-mail : semicad@mail.korea.ac.kr )  
2001년 4월 30일 접수, 2001년 5월 17일 1차심사완료  
2001년 5월 29일 2차심사완료

베이스 영역에서의 정공전류로 인한 전압강하 격감과 래치 업 전류밀도 향상에 대해서는 많은 연구가 있었으나, p+ 다이버터 구조를 갖는 LTIGBT는 n-드리프트 층이 감소하면서 순방향 저지전압이 크게 감소하기 때문에 효과적이지 않은 구조로 평가되어져왔다.

본 논문에서는 n-드리프트 층의 폭이 17 $\mu$ m 이하이고 p+ 다이버터를 포함한 LTIGBT의 전극을 트랜치 타입으로 교체한 새로운 구조를 제안하여 그 타당성을 검증했다. p+ 다이버터는 애노드 전극과 캐소드 전극사이에 위치하며, 시뮬레이션을 통하여 래치 업 전류밀도, 순방향 저지전압과 턴-오프 같은 전기적인 특성을 기존의 LTIGBT와 비교 고찰하여, 그 우수성을 증명하고자 하였다.

### 2. 소자의 구조 및 동작

그림 1은 기존의 LTIGBT와 제안된 p+ 다이버터를 가지는 LTIGBT의 구조이다. 기존 LTIGBT와 제안된 p+ 다이버터를 가진 LTIGBT의 주된 차이점은 캐소드, 애노드 전극의 위치와 p+ 다이버터 영역의 위치이다. 제안된 구조에서는 전극이 트랜치 구조로 되어있기 때문에 소형화가 가능하며, 이것은 n+ 캐소드, p+ 애노드 집합과 p+ 다이버터 영역을 형성하는데 트랜치-산화막이 효과적인 마스크 역할을 하기 때문이다. 또한, 소자에서 전계가 트랜치-산화막 층에 집중되기 때문에 소형화되고 p+ 다이버터를 가지더라도 높은 저지전압을 가질 수 있다[7].

p+ 다이버터를 가진 LTIGBT는 두 개의 전류경로를 가지게된다. 하나는 기존 LTIGBT의 경로와 같다. 순방향 동작모드에서 애노드 pn접합은 턴오프되며 트랜지스터의 n-드리프트 영역으로 정공을 주입시킨다. 이 정공 중 일부는 n-드리프트 영역에서 p-베이스 영역을 거치지 않고 바로 p+ 캐소드 영역으로 들어간다. 다른 전류경로는 p+ 다이버터 영역으로 향한다. 전자전류는 정공전류를 유도해서 이 정공전류가 n+ 캐소드 밑의 p+ 캐소드 영역을 지나지 않고 p+ 다이버터 영역을 경유하여 바로 캐소드 접촉으로 흐르게 한다. 이 전류는 래치 업과는 무관하게 된다.

### 3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

2-D 시뮬레이터인 MEDICI를 이용하여, 제안된 p+ 다이버터를 가진 LTIGBT 구조와 기존의 LTIGBT의 전기적인 특성과 동작을 비교하였다[8]. 표

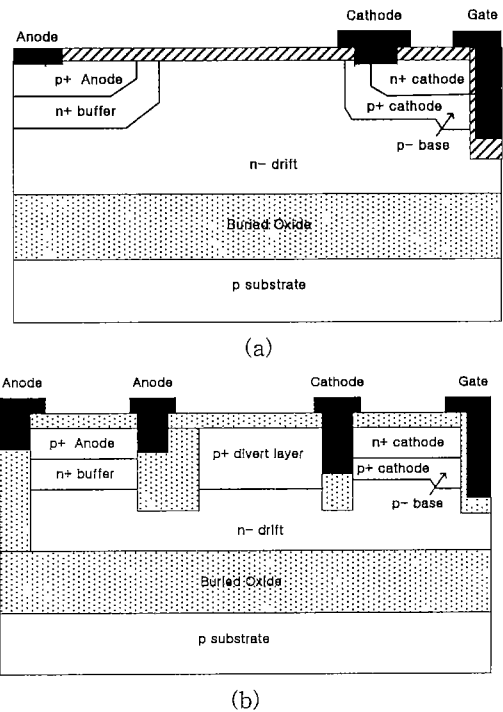


그림 1. (a) 기존 LTIGBT 구조의 단면 (b) 제안된 p+ 다이버터를 가진 LTIGBT 구조의 단면.

Fig. 1. Cross-section of the (a) conventional LTIGBT (b) proposed LTIGBT with p+ diverter.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 소자 파라미터.

Table 1. Device parameters used in the simulations.

	Depth/ Thickness ( $\mu$ m)	Concentration ( $\text{cm}^{-3}$ )
Gate oxide thickness	0.5	
Trench depth of gate	4.5	
Trench depth of cathode	4.5	
Trench depth of anode	6.0	
Cell width	19.0	
p+ diverter layer	2.0	$10^{18}$
n+ cathode layer	0.5	$10^{21}$
p+ cathode layer	1.5	$10^{18}$
p+ anode layer	0.5	$10^{21}$
p- base layer	2.0	$10^{16}$
n drift region	6.0	$5 \times 10^{15}$
n+ buffer layer	1.0	$10^{17}$

1에서는 시뮬레이션에서 사용된 소자의 파라미터를 나타내고 있다.

그림 2는 제안된 p+ 다이버터를 가진 LTIGBT와 기존 LTIGBT의 전류-전압(I-V) 특성을 나타내고 있으며, 이 그림에서 양의 저항성 영역에서 음의 저항성 영역으로 변하는 점이 래치 업이 발생하는 지점이다[9]. 기존 LTIGBT와 제안된 p+ 다이버터를 가지는 LTIGBT의 래치 업 전류밀도는 각각 540A/cm<sup>2</sup>, 1453A/cm<sup>2</sup>이다. 제안된 구조가 기존의 LTIGBT보다 2.7배 높은 래치 업 전류밀도를 가지는 우수한 특성을 보여주고 있다. p+ 다이버터를 가진 LTIGBT 구조는 정공전류가 p+ 다이버터 영역과 n+ 캐소드 층 밑의 p+ 캐소드 층을 거쳐서 캐소드에 바로 도달하기 때문에 래치 업 특성의 향상을 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

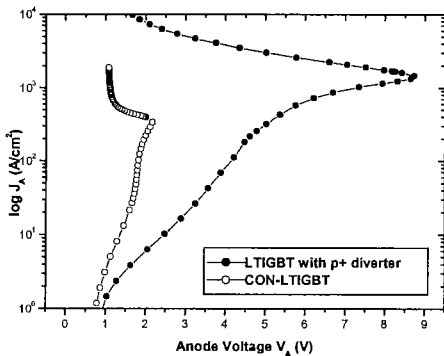


그림 2. 기존의 LTIGBT와 제안된 p+ 다이버터를 가진 LTIGBT의 순방향 전도특성.

Fig. 2. Forward conduction characteristics of the conventional LTIGBT and the proposed LTIGBT with p+ diverter.

On 상태에서 소자의 전자전류, 정공전류 벡터를 그림 3과 그림 4에 나타내었다. p+ 다이버터를 가진 LTIGBT에서 수직채널을 통해 n-드리프트 영역으로 흘러가는 전자와 p+ 애노드에서 n-드리프트 영역으로 주입되는 정공을 확인할 수 있다. 정공의 일부는 n-드리프트 층에서 p+ 캐소드 층으로 흘러 들어가고 다른 정공의 일부는 n-드리프트 층에서 p+ 다이버터 영역으로 들어간다. 캐소드는 래치 업 발생 없이 p+ 캐소드와 p+ 다이버터 영역으로 들어오는 정공들을 모으게 되고, 따라서 n+ 캐소드 층의

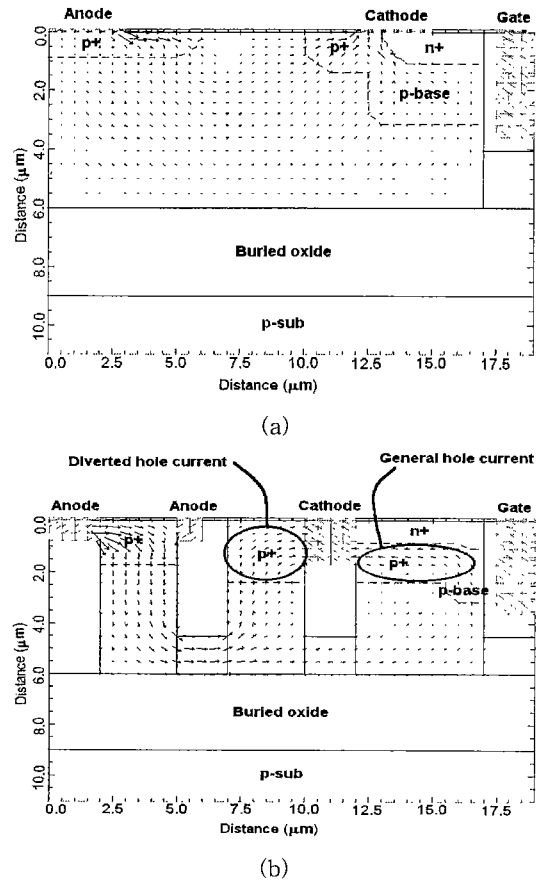
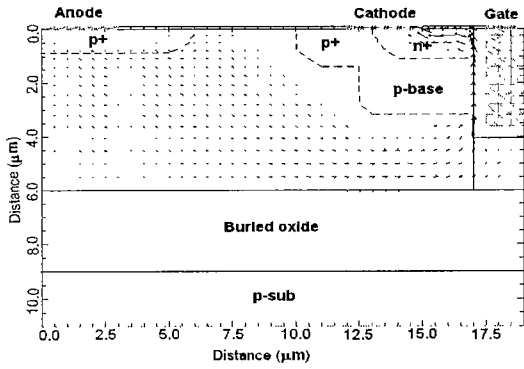


그림 3. 정공전류 벡터 (a) 기존 LTIGBT (b) 제안된 p+ 다이버터를 가지는 LTIGBT.

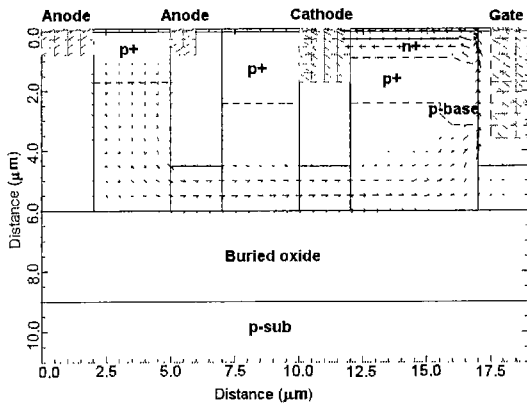
Fig. 3. Hole current vectors of the (a) conventional LTIGBT (b) the proposed LTIGBT with p+ diverter.

밑 부분과 p+ 다이버터 영역에 많은 정공들이 있음을 발견할 수 있다. 이와는 달리, 기존의 LTIGBT에서는 많은 정공들이 p-베이스 층을 통하여 캐소드 전극으로 향하는 것을 알 수 있으며, 그림 2의 특성을 증명하고 있다.

그림 5에서 나타내고 있는 것은 소자를 규정하는 특성 중의 하나인 순방향 저지 특성이다. 일반적으로 p+ 다이버터 영역으로 인해 n-드리프트 층의 길이가 감소하면, 순방향 저지 전압이 크게 줄어들게 된다. 이런 이유로 기존에는 p+ 다이버터를 가진 LTIGBT를 제작할 수 없었다. 그러나 제안된 p+ 다이버터를 가지는 LTIGBT에서는 전극이 트랜치 형태로 만들어져서 소자 내에서 전계가 이 트랜치-산



(a)



(b)

그림 4. 전자전류 벡터 (a) 기존 LTIGBT (b) 제안된 p+ 다이버터를 가진 LTIGBT.

Fig. 4. Electron current vectors of the (a) conventional LTIGBT (b) the proposed LTIGBT with p+ diverter.

화막 층에 집중하게 되며, 펀치쓰루 항복현상이 늦게 나타나게 된다. 같은 크기의 소자를 비교해봤을 때, 기존의 LTIGBT의 순방향 저지전압은 105V 이하고 제안된 구조는 약 140V의 순방향 저지전압을 나타내었다. 제안된 p+ 다이버터를 가지는 LTIGBT의 순방향 저지전압이 기존 LTIGBT의 순방향 저지전압의 1.3배에 정도 향상되었음을 알 수 있다.

제안된 구조와 기존 LTIGBT의 턴-오프 특성을 그림 6에서 볼 수 있다. 전력 IGBT에서 일반적으로 턴 오프 시간은 온 상태일 때 애노드 전류의 초기값의 10% 가 될 때까지의 시간으로 정의하고 있는데 [10], 기존 LTIGBT의 턴-오프 시간은 2μs으로 나

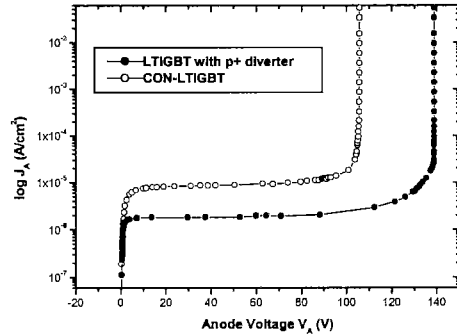


그림 5. 기존 LTIGBT와 제안된 p+ 다이버터를 가진 LTIGBT의 순방향 저지 특성.

Fig. 5. Forward blocking characteristics of the conventional LTIGBT and proposed LTIGBT with p+ diverter.

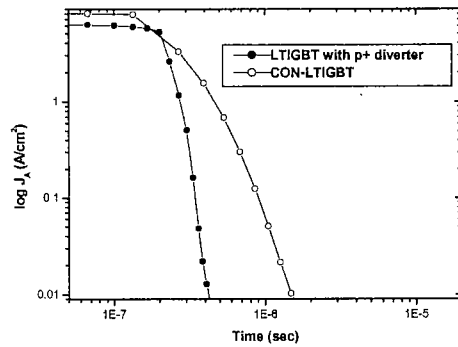


그림 6. 기존 LTIGBT와 p+ 다이버터를 가진 LTIGBT의 턴-오프 특성.

Fig. 6. Turn-off characteristics of the conventional LTIGBT and proposed LTIGBT with p+ diverter.

타나 있다. 그리고 제안된 구조에서는 0.3μs를 나타내고 있어 매우 빠른 스위칭 속도를 가짐을 알 수 있다[11]. 이것은 트랜치-산화막이 n-드리프트 영역의 일부를 차지하고 있어서 n-드리프트 층에서 축적된 소수 캐리어의 양이 줄어들기 때문이다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 스마트 파워 IC 용 LTIGBT의 래치 업 특성 향상과 순방향 저지전압을 높이기 위하여 p+ 다이버터를 가진 새로운 구조의 LTIGBT를 제시하고, 그 타당성을 검증하기 위하여 2-D 시뮬레이터인 MEDICI를 이용하여 전기적인 특성을 비교 분석하였으며, p+ 다이버터는 애노드 전극과 캐소드 전극 사이에 위치하게 된다. p+ 다이버터를 가진 LTIGBT의 래치 업은 8.7V의 애노드 전압과 1453A/cm<sup>2</sup>의 전류밀도까지 효과적으로 억제되었다. 반면에 기존 LTIGBT는 540A/cm<sup>2</sup>의 애노드 전류밀도에서 래치 업이 발생하였다. 순방향 저지전압도 같은 크기의 기존 LTIGBT가 105V 이하인 반면에 p+ 다이버터를 가진 LTIGBT는 140V를 나타내었다. 이것은 제안한 구조에서 p+ 다이버터가 트랜치-산화막 층으로 싸여있기 때문에 전계가 트랜치-산화막 층으로 옮겨져 걸리게 되고, 그래서 p+ 다이버터를 가진 LTIGBT의 펀치쓰루 항복이 늦게 일어나는 것이다. 그러므로 기존 LTIGBT와는 달리 제안된 LTIGBT에서 p+ 다이버터가 항복현상에 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있었다. 따라서 제안된 p+ 다이버터를 가진 LTIGBT는 기존의 LTIGBT 보다 더 높은 전류밀도와 순방향 전압에서 사용할 수 있으므로 차세대 전력사업인 스마트 파워 IC에 많은 활용을 할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 KOSEF ( Korea Science and Engineering Foundation, 1999-2-302-017-5 )의 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] B. J. Baliga, "Power Semiconductor Devices", PWS Publishing Company, 1996.
- [2] B. J. Baliga, "Trends in Power Semiconductor Devices", Vol. 43, No. 10, pp. 1717-1731, 1996.
- [3] S. K. Ghandi , "Semiconductor Power Device", New York : John Wiley and sons, pp. 46-50, 1977.
- [4] B. K. Bose, "Power Electronics - A Technology Review", proc. of IEEE, Vol. 76, No. 8, pp. 1303-1334, 1992.
- [5] E. G. Kang S. H. Moon, M. Y. Sung, "LIGBT with Dual Cathode for Improving Breakdown Characteristics", Transactions on Electrical and Electronic Materials, Vol. 1, pp. 16-19, 2000.
- [6] 강이구, 정만영, "래치업 특성의 개선과 고속 스위칭 특성을 위한 다중 게이트 구조의 새로운 LIGBT", 전기전자재료학회논문지, Vol. 13, No. 5, pp 371-375, 2000.
- [7] E. G. Kang, S. H. Moon, M. Y. Sung, "Simulation of a Novel Lateral Trench Electrode IGBT with Improved Latch-up and Forward Blocking Characteristics", Transactions on Electrical and Electronic Materials, Vol. 2, No. 1, pp. 32-38, March 2001.
- [8] TMA MEDICI : Two-Dimensional Device Simulation Program, Technology Modeling Associate, Inc., 1993.
- [9] M. R. Simpson, "Analysis of Negative Differential Resistance in the I-V Characteristics of Shorted-Anode LIGBT's", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 38, No. 7, July, 1991.[8] D. M. Boisvert, "The Complementary Insulated-Gate Bipolar Transistor (CIGBT) - A New Power Switching Device", IEEE Electron Device Letters, Vol. 11, No. 9, pp. 368-370, 1990.
- [10] B. J. Baliga, "Fast Switching Insulated Gate Transistor", IEEE Trans. Electron Devices Letters, Vol. EDL-4, No. 12, pp. 452-454, 1983.
- [11] Jun Cai, "A New Lateral Trench-Gate Conductivity Modulated Power Transistor", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 46, No. 8, pp. 1788-1792, 1999.