

이중 애노드 구조의 SOI LIGBT

최승필*, 전병철*, 한민구*, 최연익**
 서울대학교 전기컴퓨터공학부*, 아주대학교 전자공학부**

Dual Anode LIGBT on SOI Substrates

S. P. Choi*, B. C. Jeon*, M. K. Han*, Y. I. Choi**
 *Seoul National University, **Ajou University

Abstract - 새로이 제안한 이중 애노드 LIGBT (Dual Anode LIGBT)는 빠른 스위칭을 위한 기존의 단락 애노드 구조를 캐소드의 양쪽에 위치시킴으로써 단락 애노드 구조가 갖는 부성저항영역을 효과적으로 제거했다. 뿐만 아니라 순방향전압강하 또한 기존의 분리된 단락 애노드 LIGBT (Seperate Shorted Anode LIGBT)에 비해 30%의 개선 효과를 갖는다.

1. 서 론

단락 애노드 LIGBT(Lateral Insulated Gate Bipolar Transistor)는 n+ 단락 애노드를 채용함으로써 LIGBT에 비해 빠른 스위칭 속도를 가진다[1]. 단락 애노드가 전자의 소용 경로를 제공해주기 때문에 드리프트 영역에 있는 전자가 빨리 빠져나가면서 턴-오프 시간이 현저하게 줄어들게 된다. 하지만, 단락 애노드 LIGBT는 온-동작 시 두 가지의 다른 동작원리를 따르는 과정에서 부성저항영역이 나타나게 된다[2]. 따라서 단락 애노드 LIGBT는 이를 피하기 위해 상당히 높은 전류밀도에서 작동하여야 하나, 이 경우 자칫 SOI LIGBT의 기생 Thyristor가 터지게 되는 래치-업(Latch-up)문제가 발생할 수 있다[3].

이러한 단락 애노드 LIGBT에서 부성저항영역을 제거하려는 연구는 다양하게 시도되었다[4][5]. 우리는 이미 항복전압이나 턴-오프 시간의 별다른 손실없이 부성저항영역을 효과적으로 억제시킨 분리된 단락 애노드 LIGBT를 제안한 바 있다 [6].

이번 연구의 목적은 이전의 분리된 단락 애노드 LIGBT에 비해 항복전압과 턴-오프 시간의 희생없이 순방향전압강하를 30%나 줄인 새로운 이중 애노드 LIGBT를 제안하는 것이다.

2. Device Structure

기존의 분리된 단락 애노드 LIGBT의 단면구조가 그림 1(a)에 나타나 있다. 게이트 전압을 인가하고서 애노드에 양의 전압을 가하기 시작하면, n+ 소오스에서 n-채널을 지나 n+ 애노드로 흘러드는 전자흐름이 형성된다. 다시 말해서 LD MOS(Lateral Double-diffused MOS)와 같은 동작을 보인다. 애노드 전압이 점차 증가하면 전자의 흐름도 커지면서 그림 2에서 보듯이 단락 애노드 간의 전압강하(V_{RB}) 또한 증가한다. 이 전압강하가 다이오드의 자생전위(약0.7V)에 다다르면 p+ 애노드에서 드리프트 영역으로의 정공주입이 시작하면서 소자는 LIGBT의 동작을 나타낸다. 부성저항영역은 이 같은 두 동작의 급작스런 전이과정에서 발생한다.

분리된 단락 애노드 LIGBT는 부성저항을 줄이기 위해 애노드 사이의 저항을 증가시킨다. 이를 위해 애노드 사이 길이(L_s)가 수 마이크로를 넘는다. 하지만, 이로 인해 소자의 면적이 넓어지고 부성저항영역이 완전히 사라지지는 않는다[7]. 뿐만 아니라 RESURF

(REduced SURface electric Field) 항복현상은 p+ 애노드 접합 아래에서 발생하기 때문에 애노드 사이 길이를 늘린다 할지라도 항복전압은 향상되지 않는다.

그림 1(b)에는 제안한 이중 애노드 LIGBT의 단면구조가 나타나 있다. 이중 애노드는 캐소드의 양편에 위치하고 있으며, 온-동작 시 n-채널을 통과한 전자전류가 캐소드를 빙 돌면서 n+ 애노드로 빠져나가기 때문에 분리된 이중 애노드에 비교해볼 때, 동일한 전류밀도에서 전압강하가 현저하게 증가한다. 결국 이중 애노드 LIGBT는 상대적으로 낮은 전류밀도에서 LIGBT 동작을 시작한다.

3. Simulation Results

제안한 이중 애노드 LIGBT와 기존의 분리된 애노드 LIGBT에 대해서 이차원 소자 시뮬레이터인 Medici로 분석하였다. 비교에 충실하기 위해 동일한 조건에서 행하였으며 이와 관련한 파라미터는 표1에 나타나있다. 또한 항복전압을 향상시키기 위해서 모든 소자는 RESURF 조건을 만족하도록 설계하였다.

그림 3에는 모의실험한 I_D-V_D 특성 곡선이 나타나있다. 분리된 단락 애노드 LIGBT에서 부성저항영역을 억제하기 위해 분리된 애노드 사이의 거리(L_s)를 상당히 크게 하고 있지만, 전체 소자길이의 절반에 이르는 15um 정도의 spec에서도 부성저항은 완전히 사라지지 않는 것을 알 수 있다. 반면에, 이중 애노드 LIGBT는 이에 상관없이 성공적으로 부성저항이 사라진 것을 알 수 있다. 이중 애노드 LIGBT에서 IGBT 동작이 시작되는 시점은 10A/cm²의 전류밀도일 때인데, 이는 분리된 단락 애노드 LIGBT에 비해 1/3인 시점인 셈이다. IGBT 동작이 빨리 일어나야 부성저항을 줄일 수 있으며, 그림 5에 이러한 동작을 증명할 수 있는 정공의 도입시점에서의 전류흐름단면도가 나타나 있다. 또한 이중 애노드 LIGBT의 순방향전압강하는 0.92V로 이 역시 분리된 단락 애노드 LIGBT에 비해 30%의 향상된 특성을 갖는다. 참고로 순방향전압강하는 100 A/cm²의 전류밀도에서 결정했다.

그림 5는 trade-off 관계에 있는 순방향전압강하와 항복전압간의 관계를 애노드 사이의 거리를 변화시키면서 모의실험한 결과그래프이다. 전반적으로 이중 애노드 LIGBT가 분리된 단락 애노드 LIGBT에 비해 우수한 특성을 보인다. 항복 전압에 있어 이중 애노드 LIGBT는 분리된 단락 애노드 LIGBT와 비슷한 수준을 보이고 있다. 다만 L_s=5um일 때 이중 애노드 LIGBT의 항복 전압이 급격히 감소하는 것을 알 수 있는데, 이 경우는 이중 애노드 LIGBT의 항복현상이 p+ 애노드 쪽이 아닌, n+ 애노드 쪽으로 일어나기 때문이다

이중 애노드 LIGBT에 저항성 load를 부과하여 턴-오프 특성을 알아보았다. 이를 위해 전류밀도 동작상태에서 게이트에 구동전압인 15V에서 0V로 20ns만에 떨어뜨리는 파형을 인가하여 모의실험하였다. 대체로 턴-오프 시간은 초기 전류밀도에서 10분의 1에 도달하는

시간을 일컫는데[8], 그림 7에서 보듯이 이중 애노드 LIGBT의 턴-오프 속도는 분리된 단락 애노드 LIGBT 모두 n+ 단락 애노드가 전자를 뽑아내기 때문에 일반적인 LIGBT에 비해 열 배 이상의 빠른 모습을 보이고 있다.

4. Conclusion

이중 애노드 LIGBT라 명명한 새로운 SOI LIGBT를 2-D 모의실험을 통해 조사하였다. 이를 통해 기존의 분리된 단락 애노드 LIGBT에 비해 공정상의 아무런 추가 없이 부성저항영역을 깨끗이 제거할 수 있으며, 순방향 전압강하 또한 30% 향상되는 것을 알 수 있었다. 이는 온-동작 시 전자의 이동경로를 캐소드 영역을 돌아가 게끔 설계함으로써 가능한 것이며, 단락 애노드 구조를 유지하기 때문에 종래의 LIGBT보다 열 배 이상의 빠른 턴-오프 속도를 보인다. 이러한 특성은 향후 PIC (Power Integrated Circuits)에 유용하게 사용되리라 기대한다.

참고문헌

- [1] P. A. Gough et al, "Fast switching lateral insulated gate transistor", IEDM Tech. Dig, 1986.
- [2] M. R. Simpson et al, "Analysis of negative differential resistance in the I-V characteristics of shorted-anode LIGBT", IEEE Trans. Electron Devices, vol. 38, no. 7, 1991
- [3] B. H. Lee et al, "A new gradual hole injection dual-gate LIGBT", IEEE Electron Device Letter, vol. 19, no. 12, 1998.
- [4] Garter, M et al, "Bistability and hysteresis in the characteristics of segmented-anode lateral IGBTs", IEEE Trans. Electron Devices, vol. 45, no. 7, 1998
- [5] Chow, T. P et al, "A reverse-channel, high-voltage lateral IGBT", Proc. of 4th International Symposium On Power Semiconductor devices and ICs, 1994.
- [6] J. H. Chun et al, "A Fast-Switching SOI SA-LIGBT without NDR region", Proc. of 12th International Symposium On Power Semiconductor devices and ICs, 2000.
- [7] S. P. Choi et al, "A new Trench SSA-LIGBT on the SOI substrates", Proc. of 9th European Conference on Power Electronics and Applications, 2001
- [8] B. J. Baliga, "Power Semiconductor Devices", PWS Publishing Company, pp. 478-479, 1996.

표1. 소자의 파라미터

Gate Oxide thickness		60 nm
Buried oxide thickness		1.0 μm
Junction depth	p+ anode, n+ shorted anode	0.5 μm
	p- body	2.5 μm
	n-buffer	3.0 μm
Length	p+ anode, n+ shorted anode	2.0 μm
	cathode region	5.0 μm
n-drift region	Doping	$1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$
	Length	20 μm
	Thickness	5, 10 μm
Separation distance (L_s)		5, 10, 15 μm

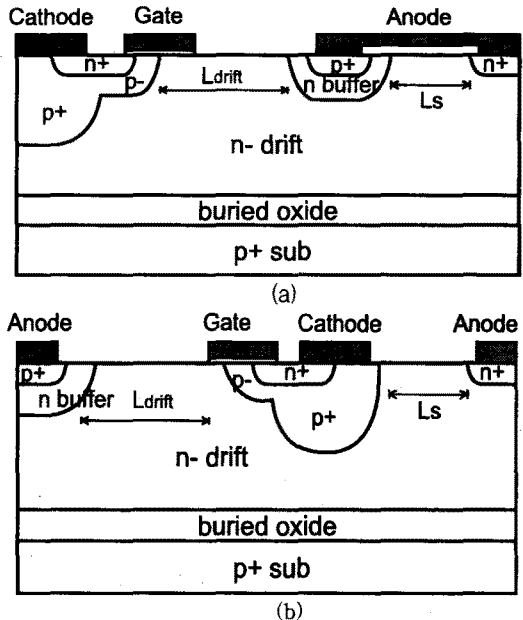


그림 1. (a) 분리된 단락 애노드 LIGBT와 (b) 이중 애노드 LIGBT의 단면구조

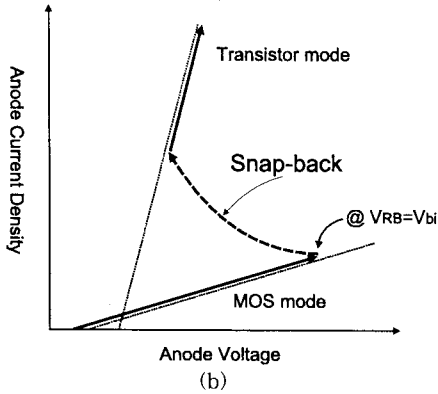
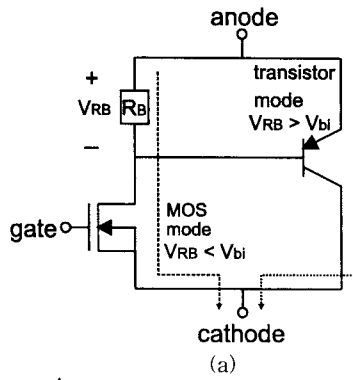


그림 2. (a) 단락 애노드 LIGBT의 등가회로 (b) 부성저항영역의 개략도

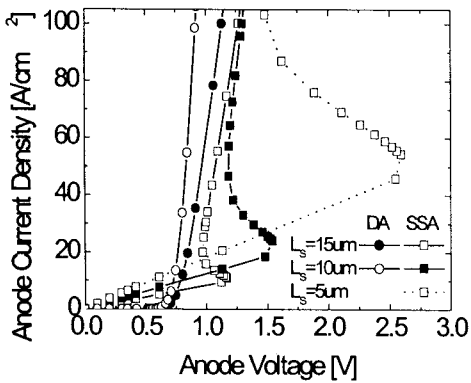
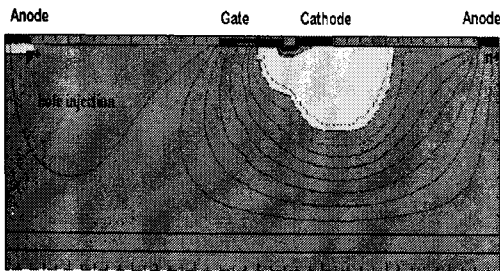
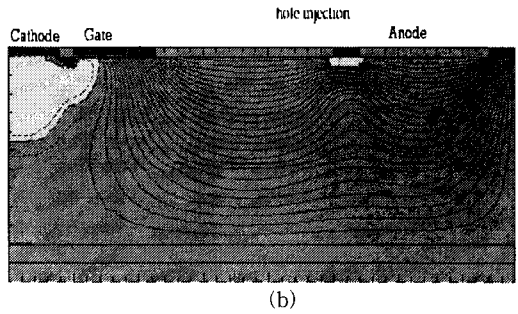


그림 3. 모의실험한 이중 애노드 LIGBT와 분리된 단락 애노드 LIGBT의 I_D - V_D 특성



(a)



(b)

그림 4. (a) 이중 애노드 LIGBT와 (b) 분리된 단락 애노드 LIGBT의 IGBT 동작이 시작되는 시점에서의 전류흐름

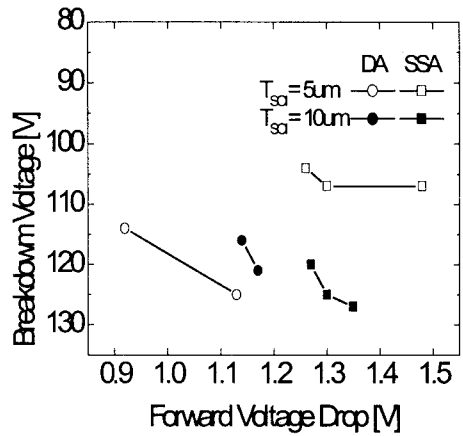


그림 5. 순방향 전압강하와 항복전압 간의 trade-off 관계 곡선

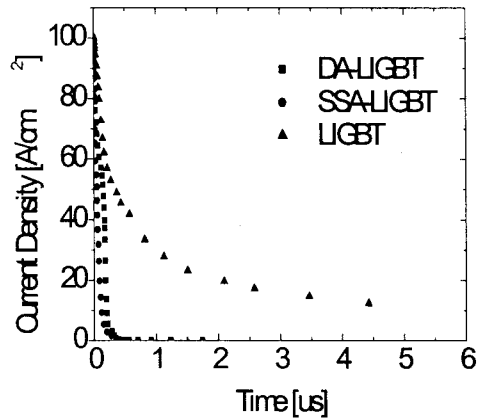


그림 6. 모의실험한 이중 애노드 LIGBT, 분리된 단락 애노드 LIGBT와 일반적인 LIGBT의 턴-오프 곡선