

트렌치 구조를 갖는 단락 애노드 SOI LIGBT

論 文
51C-5-3

Trench Shorted Anode LIGBT on SOI Substrates

崔承弼* · 河珉宇** · 韓民九*** · 崔然益§
(Sung-Pil Choi · Min-Woo Ha · Min-Koo Han · Yearn-Ik Choi)

Abstract - A trench shorted anode LIGBT (TSA-LIGBT) which decreases the device area and the forward voltage drop has been proposed and verified by 2D device simulations. The trench located in the shorted anode would form the shorted anode. The simulation results show that TSA-LIGBT decrease the device area by about 20% and the forward voltage drop by over 75% compared with the conventional ones. Also the troublesome negative differential resistance (NDR) regime has been eliminated successfully in the TSA-LIGBT.

Key Words : SA-LIGBT, NDR regime, TSA-LIG

1. 서 론

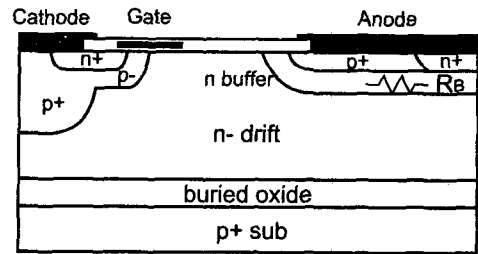
단락 애노드 LIGBT(Lateral Insulated Gate Bipolar Transistor)는 n+ 단락 애노드를 채용함으로써 LIGBT에 비해 빠른 스위칭 속도를 가진다[1]. 단락 애노드가 전자의 소통 경로를 제공해주기 때문에 드리프트 영역에 있는 전자가 빨리 빠져나가면서 턴-오프 시간이 현저하게 줄어들기 때문이다. 하지만, 단락 애노드 LIGBT는 온-동작 시 두 가지의 다른 동작원리를 따르는 과정에서 부성저항영역이 나타나게 된다[2]. 따라서 단락 애노드 LIGBT는 이를 피하기 위해 상당히 높은 전류밀도에서 작동하여야 하나, 이 경우 자칫 SOI LIGBT의 기생 Thyristor가 터지게 되는 래치-업(Latch-up) 문제가 발생할 수 있다[3]. 따라서 단락 애노드 LIGBT는 소자의 동작에 있어 상당히 제한된 영역에 국한되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 단락 애노드 LIGBT에서 부성저항영역을 제거하려는 연구는 다양하게 시도되었다 [4][5].

이번 연구의 목적은 단락 애노드 LIGBT에 비해 항복전압과 턴-오프 시간의 희생 없이 순방향전압강하를 75%나 줄인 새로운 TSA-LIGBT를 제안하는 것이다.

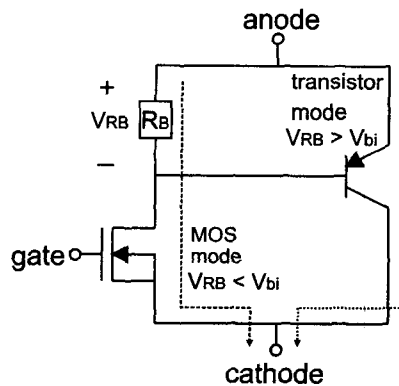
2. 소자의 구조

기존의 단락 애노드 LIGBT의 단면구조가 그림 1(a)에 나타나 있으며, 이 소자의 온 동작은 그림 1(b)에 나타난 등가 회로를 통해서 쉽게 설명할 수 있다. 게이트 전압을 인가하

고서 애노드에 양의 전압을 가하기 시작하면, n+ 소오스에서 n-채널을 지나 n+ 애노드로 흘러드는 전자흐름이 형성된다. 다시 말해서 LDMOS(Lateral Double-diffused MOS)와 같은 동작을 보인다. 애노드 전압이 점차 증가하면 전자의 흐름도 커지면서 단락 애노드 간의 전압강하(VRB) 또한 증가한다. 이 전압 강하 값이 다이오드의 자생전위(약0.7 V)에 다다르면 p+ 애노드에서 드리프트 영역으로의 정공 주입이 시작하면서 소자는 IGBT의 동작을 나타낸다. 그림 1(c)에서 보는 것처럼 부성저항영역은 이 같은 두 동작의 급작스런 전이과정에서 발생한다.



(a)



(b)

* 崔承弼 : 서울大學 電氣工學部 碩士卒業

** 河珉宇 : 서울大學 電氣工學部 碩士課程

** 韓民九 : 서울大學 電氣工學部 教授 · 工博

§ 崔然益 : 亞洲大學 電子工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2002年 1月 28日

最終完了 : 2002年 3月 27日

3. 모의실험 결과

제안한 TSA-LIGBT와 기존의 단락 애노드 LIGBT에 대해서 이차원 소자 시뮬레이터인 Medici로 분석하였다. 비교에 충실하기 위해 동일한 조건에서 행하였으며 이와 관련한 파라미터를 표 1에 정리해놓았다. 또한 항복전압을 향상시키기 위해서 모든 소자는 RESURF 조건을 만족하도록 설계하였다.

표 1 소자의 파라미터

Table 1 The parameter of proposed device

Gate oxide thickness		55 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 μm
Length	p+ anode (for TSA-LIGBT)	2.0 μm
	n+ shorted anode	2.0 μm
n-drift region	Doping concentration	$1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$
	Length (L_{drift})	15 μm
	Thickness	5.0 μm
Trench variation	Depth (D_T)	1.5 ~ 3.0 μm
	Width (L_T)	1 ~ 3.0 μm
p+ Shorted Anode Length		5, 10, 15 μm

그림 3에는 모의실험한 ID-VD 특성 곡선이 나타나있다. 그림에서 TSA-LIGBT의 경우 부성저항영역이 성공적으로 억제된 것에 비해 단락 애노드 LIGBT의 경우 심한 부성저항영역이 나타난다. 200 A/cm²의 전류밀도에서 측정된 순방향 전압강하 역시 TSA-LIGBT는 1.35 V로 단락 애노드 LIGBT의 5.4 V에 비해 75%의 향상된 특성을 갖는다. 또한, TSA-LIGBT의 래칭(latcting) 전류밀도, IGBT 동작이 시작하는 시점의 전류밀도는 20 A/cm²로 단락 애노드 LIGBT에 비해 6%에 지나지 않는다. 즉 TSA-LIGBT가 IGBT 동작이 더 빨리 시작하기 때문에 부성저항영역이 제거되는 것이라 할 수 있다. 그림 4에는 이러한 동작을 증명할 수 있는 애노드 부근의 전위장벽단면도가 나타나 있다. TSA-LIGBT의 경우 전위장벽차가 0.2 V임에 비해 단락 애노드 LIGBT는 0.5 V에 달하는 것으로 보아 TSA-LIGBT가 기존의 소자에 비해 더 낮은 애노드 전압에서 p+ 애노드부터의 정공 주입이 가능하다는 것을 알 수 있다.

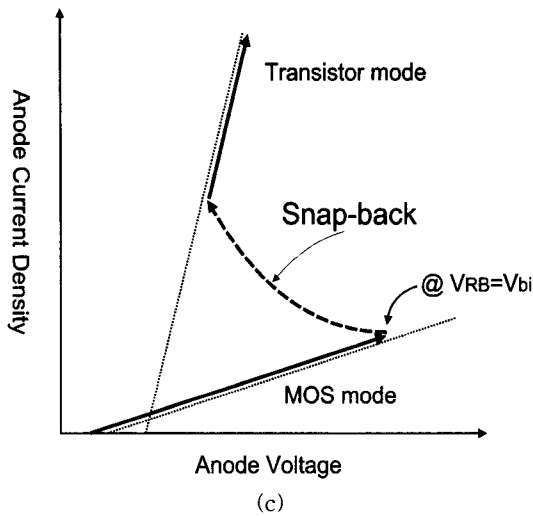


그림 1 (a) 기존의 단락 애노드 LIGBT의 단면도 (b) 단락 애노드 LIGBT의 등가회로 (c) 부성저항영역의 개략도

Fig. 1 (a) The cross sectional view of conventional shorted anode LIGBT (b) The equivalent circuit of shorted anode LIGBT (c) The characteristics of negative resistance regime

단락 애노드 LIGBT는 부성저항을 줄이기 위해 애노드 사이의 저항을 증가시키기 위해 애노드 사이 길이를 증가시키는 방법이 있으나, 하지만, 수평형 소자의 항복 전압을 높이기 위해 RESURF (REduced SURface electric Field) 설계를 위해서 n-buffer의 농도를 $1e17 \text{cm}^{-3}$ 정도로 높여야하기 때문에 애노드 사이의 저항을 증가시키는 데 어려움이 따른다. 또한 이 경우, 소자의 면적이 증가하여 순방향전압강하가 증가한다는 단점을 수반한다.

그림 2에는 제안한 TSA-LIGBT의 단면구조가 나타나 있다. 온-동작 시 동작원리는 기존의 소자와 동일하지만, n-채널을 통과한 전자전류가 드리프트 영역을 거치면서 트렌치를 돌아 n+ 애노드로 빠져나가기 때문에 pinch 저항이 급격하게 증가하게 된다. 따라서 동일한 전류밀도에서 전압강하(VRB)가 현저하게 증가하여, 기존의 소자와 비교해볼 때 상대적으로 낮은 전류밀도에서 IGBT 동작을 시작하여 효과적으로 부성저항영역을 제거할 수 있다.

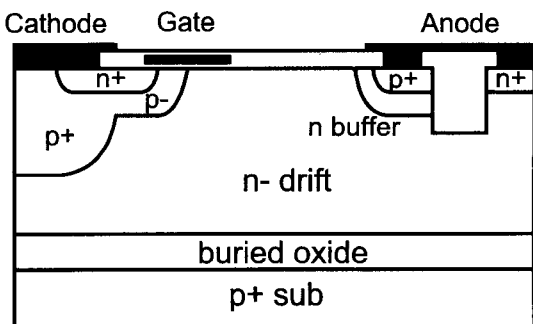


그림 2 제안한 Trench Shorted Anode LIGBT의 단면도
Fig. 2 The Cross sectional view of proposed Trench Shorted Anode LIGBT

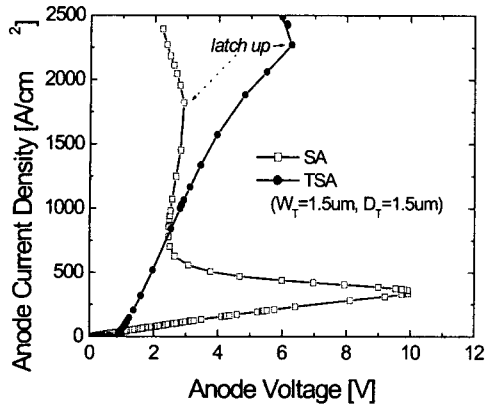


그림 3 모의실험한 TSA-LIGBT와 단락 애노드 LIGBT의 I_D-V_D 특성

FIG. 3 The simulated I_D-V_D characteristics of TSA-LIGBT and shorted anode LIGBT

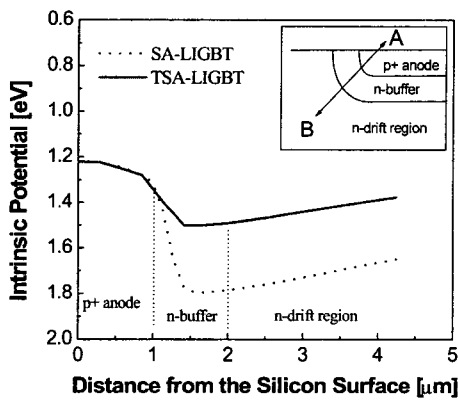


그림 4 p+ anode/n 버퍼/n 드리프트영역간의 전위장벽(애노드 전압 1.63V)

Fig. 4 The potential barrier of p+ anode/n buffer/n drift(at anode voltage 1.63V)

한편 그림 3에서 동일한 전류밀도에서 정공의 비율이 작기 때문에 TSA-LIGBT는 기존의 단락 애노드 LIGBT에 비해 래치-업(Latch-up)이 30% 향상된 것을 알 수 있다. IGBT의 구조상 존재하는 기생 Thyristor가 동작하는 래치-업(Latch-up)이 발생하면 게이트에 의한 소자구동이 불가능해 지는데, 기존의 단락 애노드 LIGBT의 경우 부정저항영역을 피하기 위해 소자의 동작전류밀도를 높이려고 해도 이러한 래치-업 때문에 소자동작에 있어 제약이 따른다. 이에 비해 제안한 TSA-LIGBT는 단락 애노드 LIGBT에 비해 전류동작 영역에 있어 두 배 가까운 증가가 이루어졌음을 알 수 있다.

4. 결 론

TSA-LIGBT라 명명한 새로운 SOI LIGBT를 2-D 모의실험을 통해 조사하였다. 이를 통해 기존의 단락 애노드 LIGBT에 비해 부정저항영역을 현저하게 억제할 수 있으며, 이에 따른 순방향 전압강하 역시 75% 향상되는 것을 알 수 있었다. 또한 래치-업(Latch-up) 특성이 30% 정도 향상되어 TSA-LIGBT는 기존의 소자에 비해 소자특성의 우월성과 소자동작의 안정성을 동시에 획득하였다는 점에서 고무적이라 할 수 있다. 마지막으로, SOI(Silicon On Insulator) 기술을 채용하여 향후 PIC(Power Integrated Circuits)에 유용하게 사용되리라 기대한다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 지원 하에 특정 연구 개발 사업으로 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] P. A. Gough, M. R. Simpson, and V. Rumenik, "Fast switching lateral insulated gate transistor", IEDM Tech. Dig, 1986.
- [2] M. R. Simpson, "Analysis of negative differential resistance in the I_V characteristics of shorted-anode LIGBT", IEEE Trans. Electron Devices, vol. 38, no. 7, 1991
- [3] Garter. M et al, "Bistability and hysteresis in the characteristics of segmented-anode lateral IGBTs", IEEE Trans. Electron Devices, vol. 45, no. 7, 1998
- [4] B. H. Lee, J. H. Chun, M. K. Han and Y. I. Choi, "A new gradual hole injection dual-gate LIGBT", IEEE Electron Device Letter, vol. 19, no. 12, 1998.
- [5] J. H. Chun, D. S. Byeon, M. K. Han and Y. I. Choi, "A Fast-Switching SOI SA-LIGBT without NDR region", Proc. of 12th International Symposium On Power Semiconductor devices and ICs, 2000.