

점진적인 홀의 주입을 통해 스냅백을 억제한 새로운 구조의 SA-LIGBT

速報論文

49C-2-9

A New Snap-back Suppressed SA-LIGBT with Gradual Hole Injection

田正勳* · 李炳勳** · 邊大碩** · 李源五** · 韓民九*** · 崔然益§
(J.-H. Chun · B.-H. Lee · D.-S. Byeon · W.-O. Lee · M.-K. Han · Y.-I. Choi)

Abstract - The gradual hole injection LIGBT (GI-LIGBT) which employs the dual gate and the p⁺ injector, was fabricated for eliminating a negative resistance regime and reducing a forward voltage drop in SA-LIGBT. The elimination of the negative resistance regime is successfully achieved by initiating the hole injection gradually. Furthermore, the experimental results show that the forward voltage drop of GI-LIGBT decreases by 1V at the current density of 200 A/cm², when compared with that of the conventional SA-LIGBT. It is also found that the improvement in the on-state characteristics can be obtained without sacrificing the inherent fast switching characteristics of SA-LIGBT.

Key Words : Gradual injection, lateral insulated gate bipolar transistor, dual-gate, SA-LIGBT, snapback

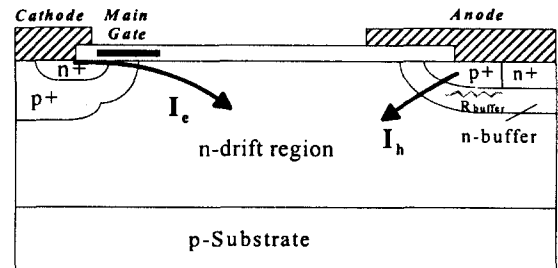
1. 서론

전력집적회로에 응용이 가능한 소자로서, 단락 애노드 수평형 IGBT(SA-LIGBT)는 고속 스위칭 속도 특성과 높은 전류 구동력을 가지고 있어 주목 받아오고 있다.[1,2] 그러나, SA-LIGBT의 전류 이득율이 기존의 LIGBT에 비해 감소하기 때문에 순방향 전압 강하가 기존의 소자에 비해 다소 높게 나타난다. 또한 SA-LIGBT의 동작에서 부저항(negative differential resistance, NDR) 영역이 발생하며, 이는 오실레이션(oscillation)과 같은 바람직하지 못한 동작을 유발할 수 있기 때문에 안정적인 동작을 위해서 억제되어야 한다. 부저항 영역을 억제하기 위하여 일반적으로 p⁺ 애노드를 길게 디자인하게 되나,[3,4] 펀치 스루 항복을 방지하기 위해 n 버퍼 영역의 도핑 농도를 높게 설정하기 때문에 부저항 영역의 억제가 쉽지 않다. 또한, p⁺ 애노드를 길게 설정할 경우, 소자의 집적도를 크게 감소시키게 된다.

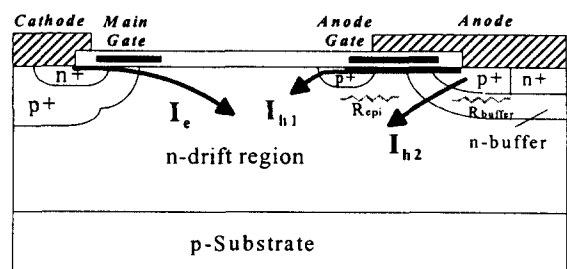
본 논문에서는 소자의 집적도를 감소시키지 않는 가운데 부저항 영역의 발생을 완전히 제거하고, 순방향 전압 강하를 감소시킨 새로운 구조의 SA-LIGBT(Gradual Injection LIGBT, GI-LIGBT)를 제안하고, 그 특성을 보고한다.

2. 소자의 구조 및 동작

그림 1은 기존의 SA-LIGBT와 제안 소자인 GI-LIGBT 구조의 단면도이다. 제안 소자는 기존의 SA-LIGBT의 구조에 애노드 게이트와 p⁺ 인젝터(injector)를 첨가한 구조를 가지며, 제작에 있어서 별도의 마스크와 공정을 필요로 하지 않는다.



(a)



(b)

그림 1 소자의 단면도 (a) 기존의 SA-LIGBT (b) GI-LIGBT
Fig. 1 Cross-sectional views of (a) the conventional SA-LIGBT and (b) the GI-LIGBT.

* 准會員 : 서울大 電氣工學部 碩士課程

** 正會員 : 서울大 電氣工學部 博士課程

*** 正會員 : 서울大 電氣工學部 教授 · 工博

§ 正會員 : 亞洲大 分子技術學科 教授 · 工博

接受日字 : 1999年 10月 22日

最終完了 : 2000年 1月 9日

GI-LIGBT는 n 채널을 형성하기 위한 주 게이트와 p 채널을 형성하기 위한 애노드 게이트를 갖으며, 홀의 주입 효율을 높이기 위해서 애노드 게이트 끝단에 p⁺ 인젝터를 형성하였다.

제안 소자의 동작은 기존의 SA-LIGBT와 유사하나, 애노드 게이트 하단의 p 채널을 통한 홀의 주입으로 인하여 홀의 주입이 점진적으로 이루어지는 차이를 갖는다. 소자의 턴온시에 주 게이트와 애노드 게이트에 각각 문턱전압 이상의 양의 전압과 음의 전압을 인가하게 되면 주 게이트 하단에는 n 채널이 형성되며, 애노드 게이트 하단에는 p 채널이 형성된다. 이때 p 채널에 의해 p⁺ 애노드와 p⁺ 인젝터가 연결되어 p⁺ 애노드가 확장된 것과 같은 효과를 얻게 된다.

n 채널을 통해 주입된 전자는 n 드리프트 영역과 n 버퍼를 거쳐 n⁺ 애노드로 흐르게 된다. 이 전자 전류에 의한 전압강하로 인해 n 드리프트 영역과 p⁺ 인젝터 간과, n 버퍼와 p⁺ 애노드 간에 전위차가 발생하게 된다. n 드리프트 영역과 p⁺ 인젝터 간의 전위차에 의한 순방향 바이어스가 충분히 증가하면 p⁺ 인젝터로부터 n 드리프트 영역으로의 홀의 주입이 시작되며, n 드리프트 영역에 전도도 변조가 발생한다(그림 1(b)의 I_{h1}). 홀의 주입이 시작되는 애노드 전압과 전류 밀도는 기존의 SA-LIGBT보다 상당히 감소하게 되는데, 이는 기존의 SA-LIGBT에서는 비저항이 작은 n 버퍼에서의 전압강하(그림 1(a),(b)의 R_{buffer}에 의한 전압강하)로 인해 전위차가 충분히 크게 될 때, 홀의 주입이 시작되나, GI-LIGBT에서는 비저항이 큰 n 드리프트 영역에서의 전압강하(그림 1(b)의 R_{epi}에 의한 전압강하)로 인한 전위차를 이용하기 때문이다.

애노드 전압이 증가하면서, n 버퍼와 p⁺ 애노드간의 전위차가 충분히 크게 되면, 이제 애노드에서부터의 홀의 주입이 시작되어(그림 1(b)의 I_{h2}) 실질적으로 확장된 p⁺ 애노드 전 영역으로부터 홀이 주입되어 n-드리프트 영역의 전도도 변조는 더욱 증가하게 된다. 그러므로, GI-LIGBT에서는 홀의 점진적인 주입으로 인해 점차 전도도 변조가 증가하게 되어, 급격한 전도도 변조로 인해 발생하는 부저항 영역이 억제된다.

소자의 턴오프시에는, 주 게이트에 인가되는 전압을 문턱전압 이하로 낮추고, 애노드 게이트를 애노드에 단락시키게 된다. 제안 소자의 턴오프 동작은 기존의 SA-LIGBT와 동일하다.[5,6].

3. 실험 결과 및 토의

기존의 SA-LIGBT와 GI-LIGBT를 CMOS공정을 이용하여 제작하였다. 비저항 40 Ω·cm의 P형 기판에 자기 정렬된 twin-well을 형성하였으며, 제작 소자는 이중에 n-well 영역을 이용하였다. n-well의 깊이는 4 μm, 이며 드리프트 영역의 깊이는 12 μm이다. n⁺ 애노드, p⁺ 캐소드의 접합 깊이는 1 μm이며, n-버퍼와 p-body의 깊이는 2 μm이다. 게이트 산화막은 600 Å를 사용하였다.

기존의 SA-LIGBT와 GI-LIGBT의 전류-전압 특성은 그림 2와 같다. SA-LIGBT의 동작에서 나타나는 부저항 영역이 GI-LIGBT에서는 효과적으로 억제된 것을 확인할 수 있다. 200 A/cm²의 전류 밀도에서의 순방향 전압 강하 값을

비교하면, GI-LIGBT가 SA-LIGBT에 비해 1 V 정도 낮은 값을 갖는다.

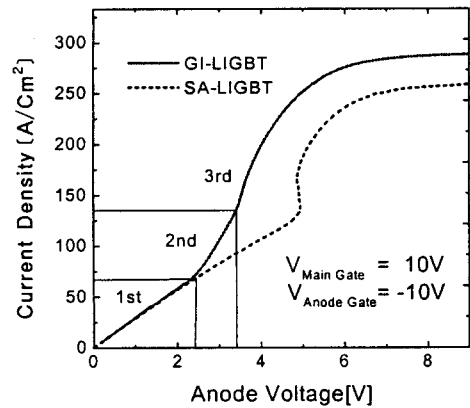
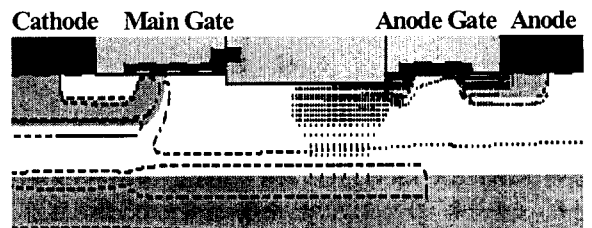
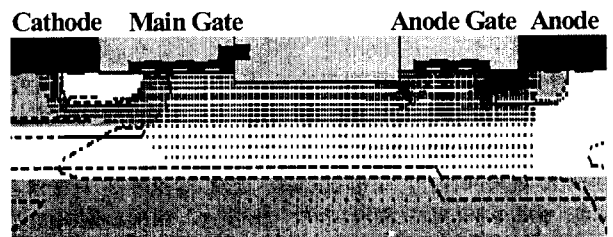


그림 2 GI-LIGBT와 SA-LIGBT의 측정된 전류-전압 특성.

Fig. 2 The measured I-V characteristics of GI-LIGBT and SA-LIGBT.



(a)



(b)

그림 3 GI-LIGBT에서의 홀의 벡터 흐름도 (a) @ 100 A/cm² 전류밀도 (b) @ 200 A/cm² 전류밀도

Fig. 3 The vector-flow of hole (a) @ current density of 100 A/cm² (b) @ current density of 200 A/cm²

SA-LIGBT는 약 5 V에서부터 부저항 영역이 시작되는데, 이는 홀의 주입이 시작되면서 LDMOS와 같은 동작에서 LIGBT와 같은 동작으로 전이되면서 갑작스러운 전도도 변조가 발생하기 때문이다. GI-LIGBT의 전류-전압 곡선에서는 전류가 포화되기 이전에 두번의 기울기 변화가 관찰된다. 첫번째 기울기 변화(그림 2의 1st mode에서 2nd mode로의 변화)는 p-채널을 경유하여 p⁺ 인젝터로부터 홀이 주

입되기 시작하면서 발생하며(그림 3(a)), 두번째 기울기 변화(그림 2의 2nd mode에서 3rd mode로의 변화)는 p' 인젝터와 함께 p' 애노드에서 다량의 홀의 주입되면서 드리프트 영역, 전 영역이 전도도 변조되면서 발생한다(그림 3(b)).

이와 같이 n 드리프트 영역으로 주입되는 홀의 양이 점진적으로 증가하므로 부저항 영역이 억제된다. 그리고, 홀이 주입되는 p' 애노드가 실질적으로 확장되어 홀의 주입 효율이 높아지게 되어 순방향 전압강하가 기존의 SA-LIGBT에 비해 현저히 감소하게 된다.

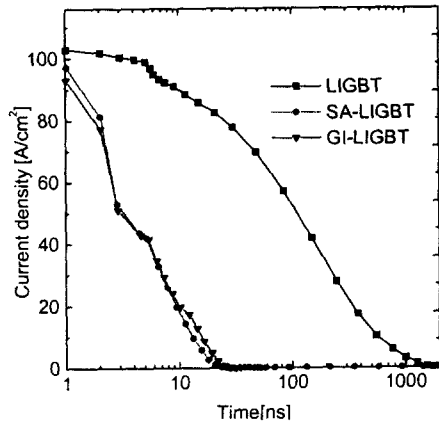


그림 4 SA-LIGBT와 GI-LIGBT의 턴오프 특성의 시뮬레이션 결과

Fig. 4 The simulated turn-off characteristics of conventional LIGBT, SA-LIGBT and GI-LIGBT

2차원 시뮬레이터 MEDICI를 이용한 시뮬레이션으로 소자의 턴오프 특성을 조사하였다. 100 A/cm²의 전류밀도를 갖는 동작영역에서 LIGBT, SA-LIGBT와 GI-LIGBT를 턴오프시켰으며, 저항성 부하를 연결한 가운데 20 ns의 램프타임으로 주 게이트를 접지시켰다. 그림 4에 나타난 바와 같이, LIGBT, SA-LIGBT, GI-LIGBT의 턴오프 시간은 각각 1 μs, 20 ns, 25 ns 이다. 즉, GI-LIGBT는 기존의 SA-LIGBT와 같이 빠른 속도로 턴오프됨을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는, SA-LIGBT의 빠른 스위칭 속도 특성을 희생시키지 않는 가운데, 부저항 영역이 제거되고, 전류 구동 능력이 향상된 소자인 GI-LIGBT를 제안, 제작하였다. 소자의 측정 결과 부저항 영역이 완전히 제거되었으며, 순방향 전압강하가 1 V 정도 감소하였다. 또한 이러한 부저항 영역의 억제가 애노드 게이트와 p' 인젝터에 의한 홀의 점진적인 주입에서 비롯됨을 2차원 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. R. Simpson, P. A. Gough, F. I. Hshieh, and V. Ru-mennik, "Analysis of the lateral insulated gate transistor," in IEDM Tech. Dig., pp.740-743, 1985.
- [2] B. Murari, F. Bertotti, G. A. Vignola, Smart Power ICs., New York: Springer, 1995.
- [3] P. Godignon, J. Fernandez, S. Hidalgo, J. Rebollo and J. Millan, "Analysis of new lateral insulated gate bipolar transistor structures for power applications," Microelectronics Journal, vol.24, pp.87-97, 1993.
- [4] M. R. Simpson, "Analysis of Negative Differential Resistance in the I-V Characteristics of Shorted-Anode LIGBTs," IEEE Trans. Electron Device Lett., vol.EDL-38, no.7, pp.1633-1640, 1991.
- [5] P. A. Gough, M. R. Simpson, and V. Rumennik, "Fast switching lateral insulated gate transistor," in IEDM Tech. Dig., pp.218-221, 1986.
- [6] B.-H. Lee, S.-D. Kim, D.-S. Byeon, W.-O. Lee, J.-H. Chun, M.-K. Han, and Y.-I. Choi, "Dual-Gate Shorted Anode LIGBT with p+ injector Eliminating the Negative Resistance Regime," in Proc. Int. Symp. Power Semiconductor Devices and ICs, 1998.