

최대제어가능전류가 향상된 Corrugated P-베이스 BRT의 공정 변수에 따른 특성 변화

速報論文
50C-2-2

Enhanced Maximum Controllable Current Characteristics of the Corrugated p-base BRT with Varying the Process Parameters

吳在根* · 田秉澈** · 韓民九*** · 崔然益§
(Jae-Keun Oh · Byung-Chul Jeon · Min-Koo Han · Yearn-Ik Choi)

Abstract - We investigated the maximum controllable current characteristics of the CB-BRT (Corrugated p-Base - Base Resistance Controlled Thyristor), which suppresses the snap-back effectively and increases the maximum controllable current(MCC) by employing the corrugated p-base. Experimental result shows that, when compared with conventional BRT, the MCC of the CB-BRT exhibits good stability on various process parameters. The MCC of the CB-BRT is larger than that of the conventional BRT by 50%, and the variation of the MCC in CB-BRT, caused by variation of the process parameters, is only 20% of that of the conventional BRT.

Key Words : BRT (Base Resistance Controlled Thyristor), process parameter, maximum controllable current

1. 서론

고전력 제어 분야에서 사용되던 기존의 GTO(gate turn-off thyristor)에 비해서 MOS 구동 사이리스터는 전압 구동 방식을 채택함으로써 간단한 구동 회로와 낮은 게이트 구동 전류를 이용하여 구동할 수 있는 장점이 있다. MOS 구동 사이리스터 가운데 BRT(Base Resistance controlled Thyristor)[1]는 MOS 구동 사이리스터 계열 소자 가운데 MCT와 함께 낮은 순방향 전압강하를 구현할 수 있는 장점을 가지며 소자 제작 시에 2중 확산(double diffusion) 공정을 이용함으로써 MCT에 비해 제작이 용이하다는 장점을 가진다[2]. 그러나, BRT는 순방향 동작 시에 트랜지스터 방식의 구동을 한 후 사이리스터를 도통시키는 원리를 이용하므로, 소자의 응용 시 문제점을 야기할 수 있는 스냅-백(snap-back)현상이 발생한다[3]. 또한 턴-오프(turn-off)가 가능한 최대 애노드 전류값으로 정의되는 최대 제어가능 전류(Maximum Controllable Current : 이하 MCC)는 BRT 소자의 경우, 대체로 낮은 값을 보이고 있어 소자의 실제 응용을 위해서는 보다 향상된 결과가 요구되는 실정이다. 기존 BRT의 스냅-백 현상을 억제하며 MCC를 향상시킬 수 있는 새로운 BRT가 제안되었으며 이를 CB-BRT라 명명하였다[4].

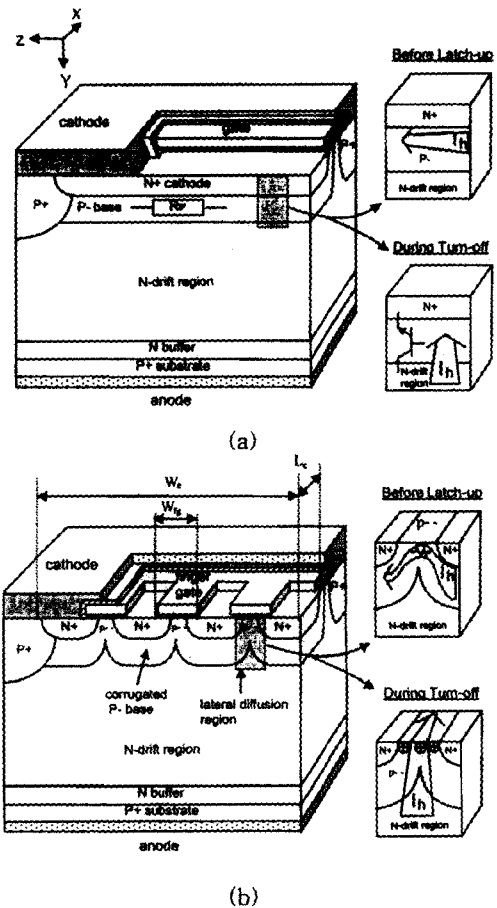


그림 1 CB-BRT의 구조 (a)기존의 BRT (b) CB-BRT
Fig. 1 The schematic views of (a) the conventional BRT, (b) the CB-BRT

* 準會員 : 서울大學 電氣工學部 博士課程
.. 準會員 : 서울大學 電氣工學部 碩士課程
... 正會員 : 서울大學 電氣工學部 教授 · 工博
§ 正會員 : 亞洲大學 分子技術學科 教授 · 工博
接受日字 : 2000年 11月 21日
最終完了 : 2000年 12月 28日

본 논문은 CB-BRT의 MCC 특성과 공정 변수간의 관계를 조사하여 공정 민감도 측면에서 CB-BRT의 우수한 특성을 조사하였다. 소자의 공정 변수를 바꾸면서 CB-BRT와 일반적인 BRT를 제작하여 측정함으로써 CB-BRT의 MCC 특성과 공정 변수의 관계를 일반 BRT와 비교하였다.

2. CB-BRT의 구조

일반적인 BRT와 CB-BRT를 그림 1에 나타냈다. Corrugated p-베이스 구조는 게이트 폴리실리콘을 자기 정렬된 확산창으로 활용하여 p-베이스를 세그먼트 형식으로 점차 확산시켜 형성된다. 각각의 p-베이스는 인접한 p-베이스의 측방향 확산영역에 의해 연결된다[4].

제안된 구조는 저 농도의 측방향 확산영역이 연속적으로 형성되어 수평 경로상의 저항 R_p 를 크게 증가시킴으로써 스냅-백의 억제가 가능하다. 제안된 소자의 MCC는 소자를 턴-오프 시키기 위해 게이트에 음의 전압이 가해질 때, 핑거 게이트 하단에 형성된 정공 축적층이 p-베이스 내에 분포하는 정공 전류를 n^+ 캐소드의 하단을 거치지 않고 p^+ 캐소드 영역으로 우회시킴으로써 기존 구조에 비해 향상된다. 기존의 BRT의 경우, 정공 전류가 n^+ 캐소드의 하단을 거치면서 npn 트랜지스터(n -드리프트 영역/ p -베이스/ n^+ 캐소드)의 베이스 전류 역할을 함으로써 사이리스터의 재발생 현상이 일어나게 되어 MCC가 낮아지는 원인이 된다[4].

3. 소자 제작 및 결과

소자는 에피층의 두께 $60 \mu\text{m}$, 비저항은 $32 \Omega \cdot \text{cm}$ 인 $\langle 100 \rangle$ 결정 방향의 n -형 에피 웨이퍼로 제작하였다. 소자의 제작은 600V 50A 급의 다중-셀 소자 제작을 위해 수행한 공정 중, 소자 특성 조사를 위한 단위-셀로서 진행되었다. 공정변수 변화에 따른 MCC 특성 변화를 조사하기 위해서 p-베이스의 접합 깊이와 p-베이스 표면 농도, n^+ 캐소드의 폭 등을 다르게 하여 제작하였다. 표 1은 제작된 소자의 주요 공정 변수이다.

표 1 제작한 소자의 주요 공정 변수.
Table 1 Device parameters for fabricated device

과 라 미 터	설 계 값
p^- 베이스 접합 깊이	$3 \mu\text{m}$
p^- 베이스 표면 농도	$5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$
n -drift 영역 길이	$50 \mu\text{m}$
핑거 게이트의 폭, W_{fg}	$5 \mu\text{m}$
플로팅 n^+ emitter의 폭/깊이 L_e/W_e	$5, 10, 20 \mu\text{m} / 100 \mu\text{m}$

그림 2는 n^+ 캐소드의 폭(L_e)을 변화시키면서 제작된 소자의 I-V 특성의 측정 결과이다. CB-BRT의 경우 스냅-백이 제거된 것을 볼 수 있다. n^+ 캐소드 폭의 경우 사이리스터 동작이 일어나는 영역을 정의하는 변수이며 또한 스냅-백 현상 및 MCC와도 밀접한 관계를 가진다.

p-베이스 접합 깊이와 표면 농도는 단위 면적 당 붕소 (B) 이온 주입량과 이온 주입 후의 확산 시간에 의해 결정된다. 본 실험에서는 단위 면적 당 붕소 이온 주입량과 확산 시간을 변화시켜서 접합 깊이와 표면 농도를 변화에 따른 특성 변화를 관찰하였다. 소자 제작 이전에 수행한 사전 실험 결과, 단위 면적 당 붕소 이온 주입량이 $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 인 경우 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$, 82 시간의 확산 시간에서 p-베이스의 접합 깊이는 약 $3.0 \mu\text{m}$ 이며 표면 농도는 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 이다. 위의 값을 기준으로 확산 시간과 이온 주입량 변화에 따른 소자의 특성 변화를 관찰하였다.

그림 3은 p-베이스 드라이브-인 시간에 따른 MCC의 변화를 n^+ 캐소드 폭이 $5 \mu\text{m}$ 와 $10 \mu\text{m}$ 인 경우에 대해서 측정 한 값이다. 붕소 이온 주입량이 $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 일 때, p-베이스 확산을 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 70 시간과 82 시간동안 수행하여 소자를 제작한 후 MCC를 측정하였다. n^+ 캐소드 폭이 $10 \mu\text{m}$ 인 경우 일반적인 BRT에 비해 CB-BRT의 경우 MCC가 약 50% 가량 증가한다. n^+ 캐소드 폭이 $5 \mu\text{m}$ 인 경우도 베이스 확산 시간이 82 시간인 경우는 약 50%의 MCC 향상을 관측할 수 있으나 베이스 확산 시간이 70 시간인 경우 그 증가폭이 커져서 100% 이상이 향상된 것을 볼 수 있다.

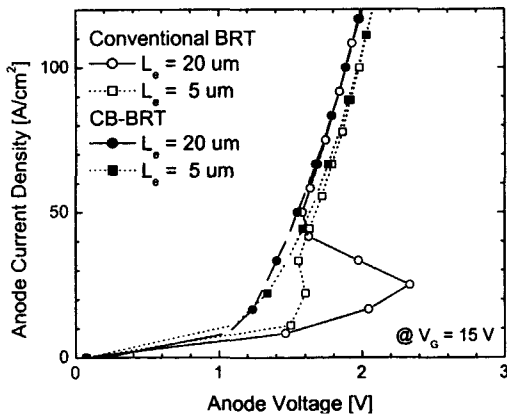


그림 2 L_e 변화에 따른 제작된 CB-BRT의 I-V 특성
Fig. 2. The measured I-V characteristics of the fabricated CB-BRT with varying the L_e

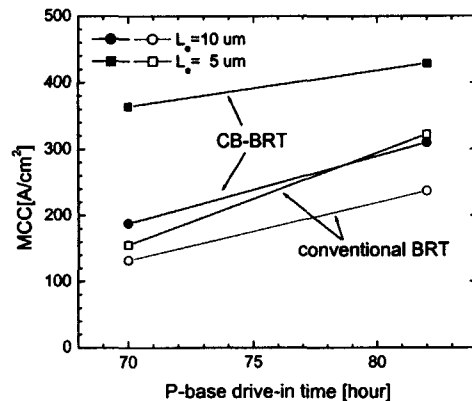


그림 3. p-베이스 드라이브-인 시간에 따른 MCC 변화
Fig. 3. The MCC of the CB-BRT with varying the p-base drive-in time

CB-BRT의 경우 기존의 BRT에 비해 확산 시간 변화에 따른 MCC의 변화가 작다. 특히 n^+ 캐소드 폭이 $5 \mu\text{m}$ 인 소자의 경우 확산시간이 70 시간에서 82 시간으로 증가

함에 따라 일반 BRT는 MCC의 증가율이 약 100%인 것에 반해 CB-BRT는 약 20%에 불과하다. 즉 CB-BRT의 MCC 특성은 베이스 확산 시간, 또는 베이스 접합 깊이 변화에 대해서 덜 민감하다.

소자의 턴-오프 시 게이트에 음의 전압을 가하면 p-베이스 내에 주입되었던 정공은 p-베이스를 지나서 게이트의 p-채널을 통해 p⁺ 캐소드 영역으로 빠져나간다. 소자의 MCC를 결정하는 요소는 p-베이스와 p-채널의 저항이다. 일반적인 BRT와 CB-BRT에서 p-채널 저항의 영향은 동일하므로 MCC의 차이는 p-베이스 저항 차에 의해서 발생한다. p-베이스 저항은, n⁺ 캐소드 폭과 p-베이스의 깊이에 비례하므로 그림 3과 같이 n⁺ 캐소드 폭이 작고 p-베이스 확산 시간이 길수록 작아진다. CB-BRT의 경우 게이트에 음의 전압이 가해지게 되면, 핑거 게이트 하단에 정공의 축적층이 형성되는데, 이 축적층은 턴-오프 시 p-베이스 저항을 감소시켜서 MCC를 향상시키는 효과가 있다[4]. 일반적인 BRT에서 p-베이스의 확산 시간이 적어지면 p-베이스의 단면적이 줄어들어서 p-베이스 저항에 영향을 주지만, CB-BRT의 경우 정공의 주된 흐름은 핑거 게이트 하단의 p-채널을 통하는데 이 축적층의 저항은 p-베이스 확산시간에 비교적 영향을 덜 받아서 일정한 MCC 값을 가진다.

그림 4는 p-베이스의 단위 면적 당 붕소 이온 주입량에 따른 MCC 변화를 n⁺ 캐소드 폭이 5 μm와 10 μm인 경우에 대해서 측정한 값이다. 붕소 이온 주입량이 각각 6×10¹³ cm⁻², 8×10¹³ cm⁻², 1×10¹⁴ cm⁻² 일 때, 1000 °C에서 82 시간동안 확산을 수행하여 소자를 제작한 후 MCC를 측정하였다. 그림 4 역시 그림 3과 비슷하게 n⁺ 캐소드 폭이 5 μm인 CB-BRT 소자의 경우 단위 면적 당 붕소 이온 주입량 변화에 따른 MCC 변화율이 일반 BRT 보다 현저하게 작았다. 즉 CB-BRT의 경우 MCC가 베이스 표면 농도, 또는 베이스 접합 깊이 변화에 대해서 덜 민감하다.

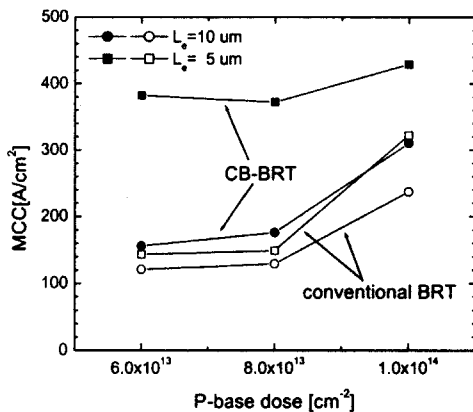


그림 4 p-베이스 불순물 주입량에 따른 MCC 변화
 Fig. 4. The MCC of the CB-BRT with varying the p-base dopant dose

4. 결 론

Corrugated p-베이스를 CB-BRT의 MCC를 공정 변수를 바꾸어 가면서 소자를 제작하여 측정함으로써 실험적으로 검증하였다. CB-BRT는 기존에 발표되었던 스냅-백 억제와 MCC 향상의 장점 이외에도 공정 변수의 변화에 대한 MCC의 안정성이 우수함을 검증하였다. 특히 n⁺ 캐소드 폭이 5 μm인 CB-BRT 소자의 경우 베이스 드라이브-인 시간과 단위 면적 당 붕소 이온 주입량 변화에 대한 MCC 변화가 기존의 BRT의 변화량에 약 20%에 불과하므로 이러한 우수한 특성을 이용하면 소자의 턴-오프 특성의 열화 없이도 다른 특성을 향상시킬 수 있는 소자 설계 최적화에 유리하다.

감사의 글
 본 연구는 한국 과학기술부 후원 전력용반도체 기술개발사업으로 수행되었다.

참 고 문 헌

- [1] M. Nandakumar, et. al., "Theoretical and experimental characteristics of the base resistance controlled thyristor (BRT)," IEEE Trans. ED, Vol. 39, pp. 1938-1945, 1992.
- [2] B. J. Baliga, *Power Semiconductor Devices*. John wiley & Sons, Inc., 1996.
- [3] B.H. Lee, et. al., "A new dual-gate LIGBT with the shorted anode," Proc. of SSDM, pp. 287-289, 1996.
- [4] Dae-Seok Byeon, et. al., "A new base resistance controlled thyristor employing a self-aligned corrugated p-base," IEEE EDL, Vol. 19, No. 12, pp. 493-495, 1998.