

고내압 특성을 위한 진성영역과 트렌치 구조를 갖는 베이스 저항 사이리스터

A Novel Trench Electrode BRT with Intrinsic Region for High Blocking Voltage

강이구, 성만영
(Ey Goo Kang, Man Young Sung)

Abstract

In this paper, we have proposed a novel trench electrode Base Resistance Thyristor(BRT) and trench electrode BRT with a intrinsic region. A new power BRTs have shown superior electrical characteristics including snab-back effect and forward blocking voltage more than the conventional BRT. Especially, the trench electrode BRT with intrinsic region has obtained high blocking voltage of 1600V. The blocking voltage of conventional BRT is about 400V at the same size. Because the breakdown mechanism of BRT is avalanche breakdown by impact ionization, the trench electrode BRT with intrinsic region has suppressed impact ionization, effectively. If we use this principle, we can develop super high voltage power devices and apply to another power devices including IGBT, EST and etc.

Key Words : Trench Electrode, intrinsic region, forward blocking voltage, snab-back, high blocking voltage

1. 서론

전력 반도체 소자의 정격은 일반적으로 두가지로 구분할 수 있는데, 첫 번째는 소자가 제어할 수 있는 최대의 전류밀도 혹은 전류이다. 그리고 나머지 하나는 순방향모드에서 소자를 턴 오프 하였을 때 견딜 수 있는 순방향 항복전압으로 표시한다.

전력반도체 소자인 IGBT와 같은 경우는 래치 업 전류밀도와 순방향 항복전압으로 표시하며, EST의

경우에는 최대 전류제어밀도와 순방향 항복전압으로 나타낸다. 그리고 BRT에서도 최대제어밀도와 순방향 항복전압으로 그 정격을 나타낸다. 그런데 EST와 BRT는 IGBT와는 달리 순방향 동작시에 트랜지스터 방식의 구동을 한 후 사이리스터를 도통시키는 원리를 이용하므로 트랜지스터의 큰 온-저항과 사이리스터의 작은 온-저항간의 차이에 의한 스넵-백 현상이란 독특한 현상이 존재한다. 이러한 스넵 백 현상이 늦게 발생하게 되면, 순방향 전압강하가 높아지게 되어 소자에서의 전력소모가 많이 발생하게 된다. 따라서 BRT소자의 경우에는 최대전류제어밀도, 낮은 스넵백 전압과 전류밀도 그리고 순방향 항복내압을 고려해서 최적으로 설

고려대학교 전기공학과
(서울시 성북구 안암동 5가 1,
Fax : 02-921-1325
E-mail : semicad@mail.korea.ac.kr)

그리고 순방향 항복내압을 고려해서 최적으로 설계해야 한다. 그러나 최대전류제어밀도와 낮은 스넵백 전압과 전류밀도특성은 구조의 개선으로 많은 향상을 가져왔지만 순방향 항복내압은 많은 발전을 이루지 못한 실정이다.[1-3]

따라서 본 논문에서는 스넵-백을 억제함과 동시에 기존의 범용 소자에 비해 우수한 항복특성을 갖는 진성영역이 존재하는 트랜치 전극형 BRT를 제안하고자 한다. 또한 이 소자의 타당성을 검증하기 위해 2차원 소자 시뮬레이터인 MEDICI를 이용하여 전기적인 특성을 분석·고찰하였다.

2. 소자의 구조 및 동작

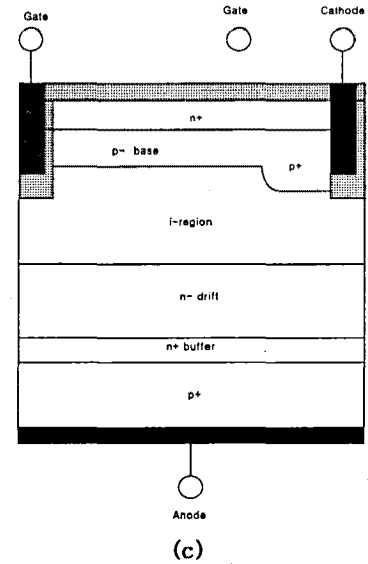
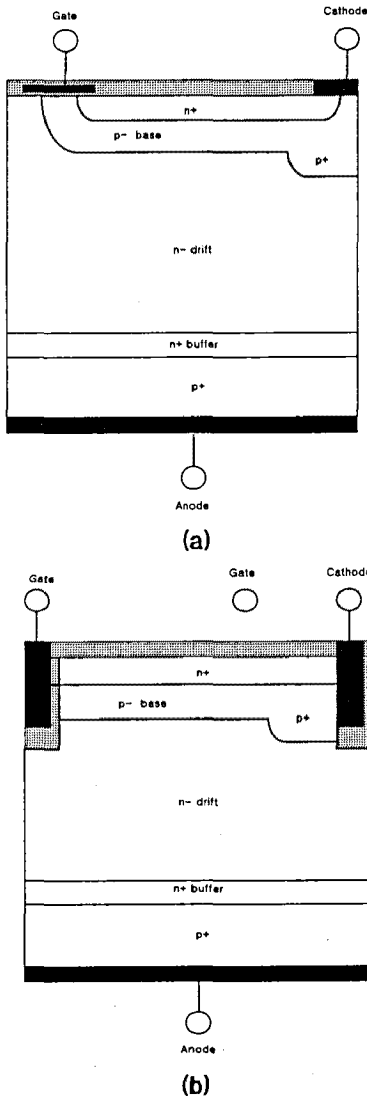


그림 1 소자의 구조 (a) 기존의 수직형 BRT (b) 제안된 수직형 트랜치 전극형 BRT (c) 진성영역이 존재하는 수직형 트랜치 전극형 BRT

Fig. 1 The structure of the conventional and the proposed trench electrode BRTs (a) the conventional BRT (b) the proposed trench electrode BRT (c) the proposed trench electrode BRT with i-region

표1. 시뮬레이션을 위한 소자의 설계 파라미터
Table 1. Design parameter for simulation

| | 너비 | 깊이 | 농도 |
|-----------|------------------|-------------------|-----------------------------------|
| n 드리프트영역 | 40 μm | 55 μm | $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ |
| n+ 캐소드 | 10 μm | 0.5 μm | $1 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ |
| p- 베이스 영역 | 22 μm | 2.5 μm | $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ |
| p+ 캐소드 영역 | 8 μm | 3.5 μm | $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ |
| p+ 애노드 영역 | 40 μm | 1.5 μm | $1 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ |
| n+ 버퍼 | 40 μm | 3.0 μm | $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ |
| 트랜치 산화막 | 5 μm | 6 μm | |
| 전극 산화막 | 40 μm | 1000 Å | |
| 게이트 산화막 | | 500 Å | |
| 채널길이 | 5 μm | | |

그림 1은 기존의 범용 수직형 BRT구조와 제안된 수직 진성영역이 있는 트랜치 전극형 BRT구조를 나타내고 있다. 그리고 표1에서는 소자의 설계를

파라미터를 나타내고 있다.

본 논문에서 제안된 소자는 항복내압을 증가시키고자 캐소드 전극과 게이트1 전극의 구조를 트렌치 형으로 대체하였다. 따라서 순방향 동작원리는 기존의 소자와 같다[1].

이와같이 BRT는 초반에는 트랜지스터 방식으로 도통되므로 온 저항이 크게 나타난다. 이후 npn 트랜지스터가 도통된다. 이때 소자는 사이리스터 방식으로 동작하고, 낮은 온 저항을 보이게 된다.

이러한 두 동작 방식간의 온-저항의 차이에 의해 부저항 영역을 포함하는 스넵 백 영역이 발생한다. 이 스넵 백 현상은 소자의 소모전력에 깊이 관계되기 때문에 그동안 많은 연구가 이루어져 어느 정도 상당한 개선을 이루었다고 판단되며, 본 논문은 항복특성의 개선에 초점을 맞추었다.

제안된 구조들의 경우는 모든 전극을 트렌치 구조로 형성되었기 때문에 소자의 내부에 걸리는 전계가 형성된 트렌치 산화막에 집중된다. 따라서 기존의 구조보다 항복전압을 크게 유지할 수 있다. 또한 홀 전류가 흐르는 길이가 짧아지게 되어 스넵 백 전압이 낮아지는 부수적인 효과를 가져올 수 있었다. 또한 그림(c)는 소자내에 진성영역이 존재하는 구조이다. 일반적으로 전력소자의 항복특성에 대한 메카니즘은 펀치스루 항복과 이온들의 충돌에 의한 눈사태 항복이 일반적이는데 위와 같은 구조의 BRT는 펀치스루 항복이 일어나기 전에 먼저 충돌 이온화 현상에 의해 항복이 일어나고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 (c)와 같은 구조를 제시하게 되었으며, 제안된 구조에 의하여 기존의 구조보다 우수한 항복특성을 얻을 수가 있었다.

3. 장 시뮬레이션 결과 및 고찰

그림 2는 소자의 깊이가 60 μm 일 때 기존의 범용 소자와 제안된 소자들의 순방향 전도특성을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 소자들 모두 기생 사이리스터에 의한 래치 업 특성은 같지만 소자의 동작속도와 소모전력에 영향을 미치는 스넵 백 특성은 다르다. 제안된 소자들 모두 기존의 범용소자에 비해 우수한 스넵 백 특성을 보이고 있는데, 범용소자의 경우 1.7V 정도에서 스넵 백 특성이 나타나는 반면에, 제안된 소자들은 0.9 ~ 1.1V 정도의 스넵 백 전압을 나타내고 있다. 이러한 현상이 나타나는 것은 제안된 소자의 경우 모

든 전계가 트렌치 산화막쪽으로 집중하게 되고 그 결과 그 부근에서 강한 전계에 의한 캐리어의 주입이 기존의 소자에 비해 빠르기 때문이라고 판단되며, 동시에 스넵 백 전류밀도도 커지게 된다.

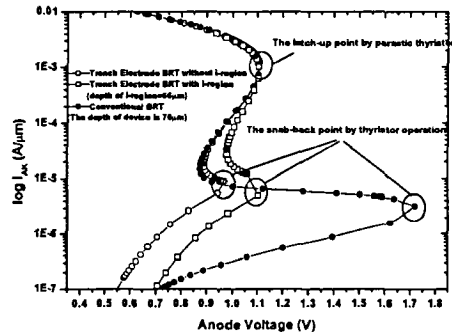


그림 2 기존의 범용소자와 제안된 소자들의 I-V 특성 (소자의 깊이=60 μm)
 Fig. 2 The I-V characteristics of the conventional BRT and the proposed BRTs (the depth of device=60 μm)

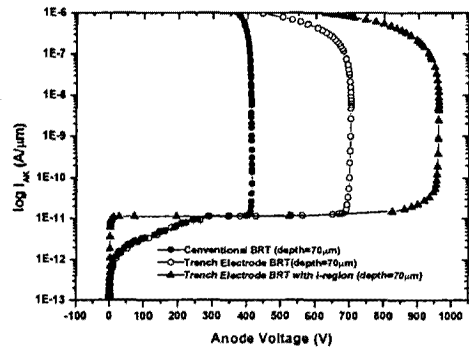


그림 3 기존의 범용소자와 제안된 소자들의 순방향 항복특성 (소자의 깊이=60 μm)
 Fig. 3 The forward blocking characteristics of the conventional BRT and the proposed BRTs (the depth of device=60 μm)

그림 3은 기존의 범용소자와 제안된 소자들의 순방향 항복특성을 보여주고 있다. 기존의 범용소자는 400V에서 항복현상을 보여주는 반면, 진성영역이 없는 트렌치 전극형 소자는 700정도에서 항복 현상이 발생되고 있다. 이는 소자에 분포하는 전계

가 트렌치 산화막층에 집중하게 되어 항복현상이 늦게 발생하였다. 항복현상이 충돌 이온화 현상에 의한 눈사태 항복 메커니즘에 의해 일어난다고 판단되어 제안된 소자에 진성영역을 설정하여 측정 한 결과 소자의 깊이가 $60\mu\text{m}$ 에 불과함에도 불구하고 1000V 정도의 내압을 얻을 수가 있었다.

그림 4는 소자의 깊이가 $200\mu\text{m}$ 일 때 각 소자들의 순방향 항복 모드에서 전기적인 특성을 나타내고 있다. 기존의 범용소자는 소자의 깊이가 $70\mu\text{m}$ 일 때와 같은 400V 에서 항복현상을 보이고 있다. 항복메커니즘이 펀치 스루 항복이라면 소자의 깊이가 커질수록 항복전압이 높아질 것으로 판단되었지만, 소자의 깊이와 상관없이 항복전압이 일정한 것으로 미루어 보면, 소자의 항복 메커니즘은 충돌 이온화 현상에 의해 항복이 발생하는 것으로 판단된다. 진성영역이 없는 트렌치 전극형 BRT 소자 또한 이러한 항복메커니즘으로 인하여 소자이 깊이가 $70\mu\text{m}$ 일때와 같이 760V 정도의 항복전압을 보이고 있다. 그러나 진성영역이 존재하는 트렌치 전극형 BRT 소자는 드리프트 층에 진성영역을 설정하였기 때문에 충돌이온화 현상이 늦어져서 항복전압이 기존의 소자에 비해 4배나 높은 1600V 의 항복전압을 보여주고 있다. 이와 같은 결과를 미루어 볼 때 소자의 항복 메커니즘은 충돌 이온화 현상에 의한 눈사태 항복이라고 사료되며, 소자의 내압을 높이기 위한 진성영역의 설정은 매우 효과적이라 판단된다.

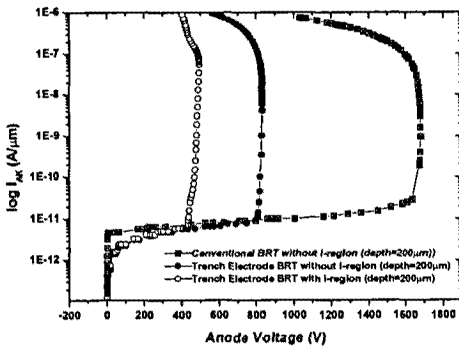


그림 4 기존소자와 제안된 소자들의 순방향 항복특성 (소자의 깊이= $200\mu\text{m}$)

Fig. 4 The forward blocking characteristics of the conventional BRT and the proposed BRTs (The depth of devices= $200\mu\text{m}$)

4. 장 결론

본 논문은 파워 BRT 소자의 내압을 비롯한 전기적인 특성을 개선하기 위해 두 가지 형태의 새로운 구조를 제안하였다. 우선 내압과 스넵 백 특성을 개선하기 위하여 트렌치 전극형 BRT 소자를 제안하였고, 두 번째는 소자의 높은 내압을 얻기 위해서 진성영역이 설정된 트렌치 전극형 BRT 소자를 제안하였다. 제안된 소자들은 모두 기존의 소자에 비해 우수한 전기적인 특성을 얻을 수가 있었으며, 특히 진성영역이 설정된 구조는 이제까지 제시되지 않았던 구조로서 눈사태 항복이 지배적인 파워 BRT 소자의 항복특성을 현저하게 개선할 수 있었다. 소자의 크기를 크게하기 않고도 단순히 진성영역의 설정만으로 기존 소자에 비해 4배 이상의 전압인 1600V 의 고내압을 얻을 수가 있었다. 이러한 원리를 이용한다면 $2000\sim 3000\text{V}$ 이상의 초고압 BRT 소자를 개발할 수 있으며, 다른 파워 소자인 IGBT, EST 그리고 Thyristor등에도 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부의 지원에 의해 수행된 일부분임.

참고 문헌

- [1] D. S. Byeon, B. H. Lee, M. K. Han, Y. I. Choi, "A Base Resistance Controlled Thyristor with the Self-Align Corrugated P-Base", ISPSD'98, 1998
- [2] 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", KIEEME, Vol. 2, No. 1, pp. 32-38, March 2001
- [4] E. G. Kang, S. H. Moon, M. Y. Sung, "A latch-up immunized lateral trench insulated gate bipolar transistor with a p+ diverter structure for smart power IC", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 40, No. 9A, pp. 5267-5270, 2001