

## Static Induction Transistor의 순방향 블로킹 특성 개선에 관한 연구

김제윤<sup>1</sup>, 정민철<sup>1</sup>, 윤지영<sup>1</sup>, 김상식<sup>1</sup>, 성만영<sup>1,\*</sup>, 강이구<sup>2</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 전기공학과, <sup>2</sup>극동대학교 전자공학과

### A Study on the Improvement of Forward Blocking Characteristics in the Static Induction Transistor

Je Yoon Kim<sup>1</sup>, Min Chul Jung<sup>1</sup>, Jee Young Yoon<sup>1</sup>, Sangsik Kim<sup>1</sup>, Man Young Sung<sup>1,\*</sup>, <sup>2</sup>Ey Goo Kang

<sup>1</sup>Korea University, Electrical Engineering, <sup>2</sup>Far-East University, Electronic Engineering

\*Email: semicad@korea.ac.kr

#### Abstract

The SIT was introduced by Nishizawa. in 1972. When compared with high-voltage, power bipolar junction transistors, SITs have several advantages as power switching devices. They have a higher input impedance than do bipolar transistors and a negative temperature coefficient for the drain current that prevents thermal runaway, thus allowing the coupling of many devices in parallel to increase the current handling capability. Furthermore, the SIT is majority carrier device with a higher inherent switching speed because of the absence of minority carrier recombination, which limits the speed of bipolar transistors. This also eliminates the stringent lifetime control requirements that are essential during the fabrication of high-speed bipolar transistors. This results in a much larger safe operating area (SOA) in comparison to bipolar transistors. In this paper, vertical SIT structures are proposed to improve their electrical characteristics including the blocking voltage. Besides, the two dimensional numerical simulations were carried out using ISE-TCAD to verify the validity of the device and examine the electrical characteristics. A trench gate region oxide power SIT device is proposed to improve forward blocking characteristics. The proposed devices have superior electrical characteristics when compared to conventional device. Consequently, the fabrication of trench oxide power SIT with superior stability and electrical characteristics is simplified.

**Key Words** : SIT, ISE-TCAD, Forward blocking characteristics, trench-oxide

#### 1. 서론

전력용 반도체 소자들은 전기 전자 산업의 비약적인 발전과 더불어 산업 설비, 가전기기, 수송, 정보, 통신용 시스템 등의 광범위한 분야에서 전원 장치, 전력 변환 및 제어 장치 등의 핵심 부품으로 꾸준한 발전을 계속하고 있으며 최근 전기 에너지

에 대한 의존도가 높아지면서 고도 정보화 사회와 결합하여 전력 반도체 소자들의 응용 범위가 더욱 넓어지고 있는 실정이다. 현재 전력용 반도체는 대용량화, 고내압화 되는 산업 시스템의 핵심 부품으로 부각되고 있으며 냉장고, 세탁기, 청소기 등에는 인텔리전트 파워 IC 기술을 적용한 인버터가 사용되고 있고 최근 활발히 개발되고 있는

PDP(Plasma Display Panel)의 구동 IC 회로에 포함되는 등 다양한 가전제품에도 응용되고 있다. 또한 인버터는 컴퓨터의 무정전 전원, 엘리베이터, 로봇 등의 공장 설비, 전기 자동차, 지하철 등 정보, 산업, 교통, 전력의 각 분야에서 계속해서 응용 분야를 넓혀가고 있다. [1-3]

이 논문에서는 90년대 이후에 들어서서부터 다양한 종류의 전력용 반도체 소자의 연구가 활발해져 가는 시점에서 SIT(Static Induction Transistor) 소자를 가지고 전력용 파워 소자에 대한 적합성에 초점을 맞추어 SIT의 순방향 블로킹 특성을 개선하고자 기존의 구조에서 트렌치 산화막을 이용하여 향상된 블로킹 특성을 갖는 소자를 제안하였다.

## 2. SIT 구조와 순방향 블로킹 특성

고전류를 수반하는 고내압 전력용 반도체 소자는 수직형 전류전도경로를 가지고 만들어진다. 수직형 전류전도경로는 전계집중현상을 최소화하고, 이를 통해 이상적인 브레이크다운전압 특성을 얻을 수 있게 된다. 또한 고전류를 수반하는 터미널이 수직 구조로 소자 윗부분과 아랫부분의 전극이 설정되어 소자의 면적을 감소시키는 이점을 가지고 있다.

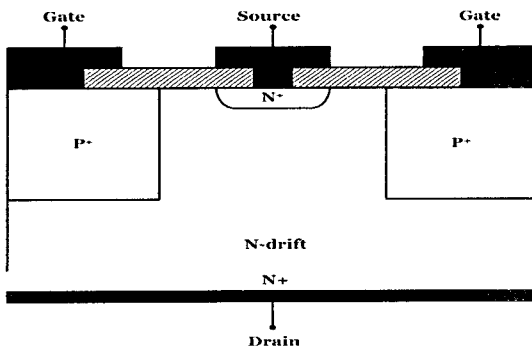


그림 1. 기존 전력용 파워 SIT 소자의 구조

고내압 전력용 파워 SIT의 구조 또한 수직형 구조를 가지고 있는데, 그림 1은 기존의 전력용 파워 소자를 위한 수직형 파워 SIT구조를 나타내고 있다. 게이트에 바이어스를 걸어주지 않았을 때, 드레인-소오스 사이에 전류의 흐름은 n-층에서의 저항에 의해 제한을 받는다. n-층의 영역은 2가지 영역으로 나눌 수 있는데, 하나는 채널 영역이고, 나

머지는 드리프트 영역이다. 게이트 접합사이의 부분을 채널 영역, 게이트 접합 아래의 부분을 드리프트 영역이라 하며 두 영역에 해당하는 저항들을 포함한 전체 저항은 전류의 흐름에 크게 영향을 주게 된다. 게이트에 역바이어스를 걸어주면 게이트 접합의 공핍영역이 점점 채널 영역으로 확장을 하게 된다. 공핍영역은 자유캐리어가 결여된 부분이기 때문에 게이트에 역바이어스를 더욱 증가를 시키게 되면, 채널영역의 저항은 증가를 하게 된다. 결국 게이트 역바이어스를 통하여 게이트 접합 공핍영역을 변화시키고, 이를 통해 SIT의 저항을 변화시킨다. 채널영역의 저항의 변화로 인해 SIT의 채널 전도성도 또한 변화를 하게 되는데, 저전압 신호처리에 SIT를 응용할 때에는 기생 저항을 최소화하기 위해서 드리프트 영역을 작게 디자인하고, 고내압 소자에 응용을 하기 위해서는 넓은 드리프트 영역을 가져야 한다.

순방향 블로킹 모드에서 드레인 전압을 계속 증가를 시키게 되면, 게이트 접합 공핍영역까지도 영향을 주게 되어 공핍영역이 게이트 접합에서 드레인 방향으로 확장되어 진다. 그래서 드리프트 영역의 도핑농도와 두께는 반드시 드레인-게이트 전압에 의한 영향을 고려하여 설계되어야 한다. 그 이유는 드레인-게이트 전압은 게이트 pn 접합을 지나는 총 역바이어스를 결정하기 때문이다. 순방향 블로킹 모드에서 확장된 공핍영역은 채널영역에도 또한 확장되며, 게이트 역바이어스를 인가하였을 때, 채널 안에 전위장벽이 형성된다. 전위장벽의 형성으로 인해 드레인과 소오스 사이에서 흐르는 전자들은 이 장벽을 타고 오르는 현상이 발생하게 되고, 드레인 전압이 증가하였을 경우에는 전위장벽의 높이가 낮아져 전자들은 보다 쉽게 통과를 할 수 있게 된다. 전위장벽을 통과하면서 흐르는 전류는 결국 SIT의 최대 블로킹 전압 능력을 결정하게 된다. [4-5]

## 3. 소자 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서는 빠른 스위칭 특성을 갖는 SIT에 보다 향상된 순방향 블로킹 특성을 개선하고자 기존의 수직형 파워 SIT에 트렌치 산화막을 형성함으로써 블로킹 특성을 개선하였고, 이 소자의 블로킹 특성과 동작원리를 검증하기 위해서 2차원 소자 시뮬레이터인 ISE-TCAD를 이용하여 소자의

전기적 특성을 분석, 고찰하였다.

Table 1. 시뮬레이션 설계 파라미터

	Con		A		B		Doping ( $\text{cm}^{-3}$ )
	L ( $\mu\text{m}$ )	W ( $\mu\text{m}$ )	L ( $\mu\text{m}$ )	W ( $\mu\text{m}$ )	L ( $\mu\text{m}$ )	W ( $\mu\text{m}$ )	
$n^+$ sub region	10	12	10	12	10	12	$1 \times 10^{16}$
$n^-$ epi region	100	12	100	12	100	12	$1 \times 10^{14}$
$p^+$ gate region	6	3	8	3	6.5	3	$1 \times 10^{16}$
channel	6	6	6	6	4.5	6	$1 \times 10^{14}$
trench oxide			2	1.5	2	1.5	

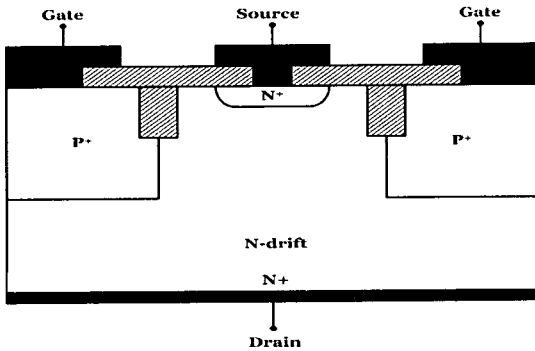


그림 2. 제안된 게이트 산화막 트렌치 파워 SIT

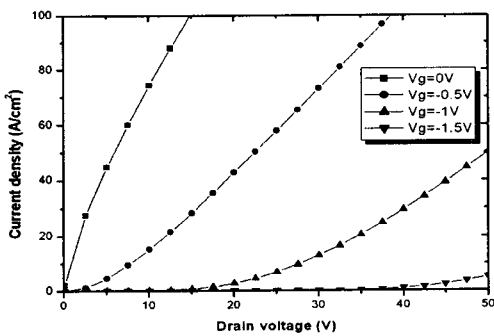


그림 3. 기존의 파워 SIT의 순방향 전도 특성

테이블1은 ISE-TCAD 시뮬레이션 설계를 위한 파라미터를 나타낸다. 기존의 파워 SIT에 게이트와 채널 영역 부근에 트렌치 산화막을 형성시켜 블로킹 특성을 개선한 소자가 A-구조이다. A-구조의 경우에는 기존의 SIT 소자의 채널영역의 길이를 유지하고 새로이 형성된 트렌치 산화막을 위

해 게이트 길이를 트렌치 길이만큼 늘려준 소자이다.

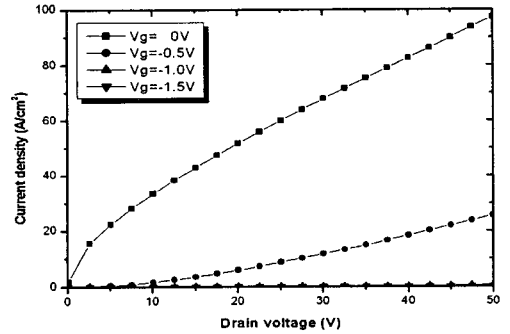


그림 4. 제안된 A-구조의 순방향 전도특성

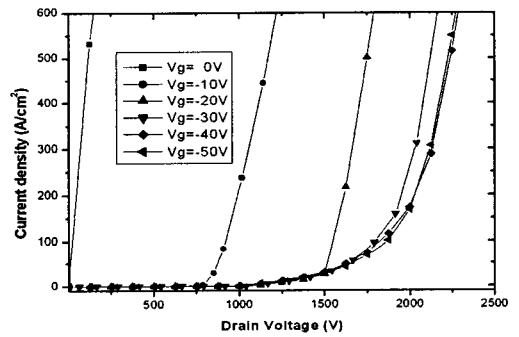


그림 5. Conventional 파워 SIT의 블로킹 특성

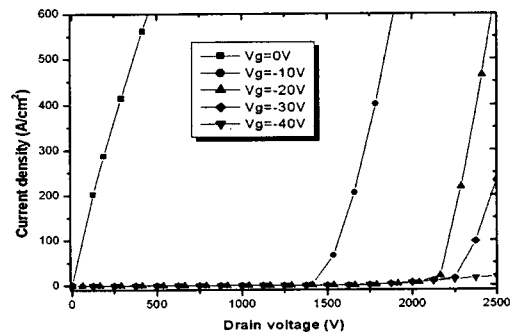


그림 6. A-구조의 블로킹 특성

기존의 소자보다 순방향 전도특성은 그림3과 4를 통해 나빠진 것을 볼 수 있지만, 블로킹 특성은 그림 5와 6을 통해서 게이트에 -10V 인가했을 때,

약 1.5~2배 정도 향상된 것을 볼 수 있다. 이는 SIT의 전류전도의 중요한 파라미터인 채널 영역의 길이를 유지하기 위해서 산화막 트렌치 길이만큼 드리프트 영역의 길이가 감소하여 게이트-드레인 사이의 길이가 감소하여 순방향 전도 특성에 영향을 미치는 동시에 트레이드-오프 관계인 블로킹 특성은 크게 향상된 결과를 가져왔다. B-구조는 A-구조에서의 순방향 전도특성을 향상시키기 위해 채널영역의 길이를 감소시킴으로서 순방향 특성을 개선하고, 동시에 블로킹 특성을 살펴보았다. 순방향 전도특성은 기존의 SIT와 같고, 블로킹 특성은 그림 7에서 볼 수 있다. 그림을 통해 약 40V 정도 블로킹 특성이 향상됨을 볼 수 있었다.

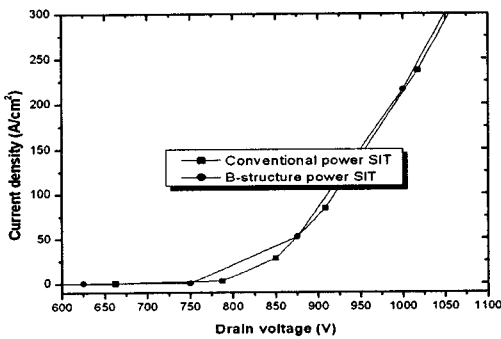


그림 7. 기존의 구조와 B-구조의 블로킹 특성

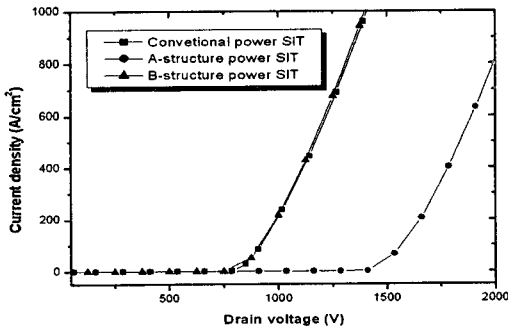


그림 8. ( $V_g = -10V$ )에 대한 블로킹 특성 비교

그림 8은  $V_g = -10V$ 인 시 각각의 블로킹 특성을 보여준다. 순방향 전도특성과 블로킹 전도특성은 트레이드-오프 관계이므로 어느 특성을 개선하면, 다른 특성은 나빠지는 결과를 얻게 되는데, 트렌치

산화막을 통해 순방향 전도특성은 유지하고 동시에 블로킹 특성도 향상됨을 볼 수 있었다.

#### 4. 결론

전력용 파워 SIT는 높은 스피드 특성과 고내압 특성을 동시에 갖는 소자로서, 80년대 중반부터 상업용으로 제품화되고 있는 소자이다. 소자 특성의 영향을 미치는 채널영역은 길이에 따라 순방향 전도특성과 순방향 블로킹 특성은 트레이드-오프 관계를 갖는다. 채널영역을 유지하고 트렌치 산화막을 통해 얻어진 순방향 전도특성과 블로킹 특성을 살펴봤을 때, 향상된 블로킹 특성을 갖은 반면, 순방향 전도특성은 나빠지는 결과를 얻게 되었다. 이 논문에서는 전력용 파워 SIT의 순방향 블로킹 특성에 중점을 두고 ISE-TCAD를 통해 시뮬레이션을 한 결과 약 1.5~2배 높은 블로킹 특성을 얻을 수 있었고, 순방향 전도특성과 블로킹 특성을 동시에 만족시키기 위해 트렌치 산화막 형성과 채널 영역에 변화를 주어, 같은 순방향 전도특성을 유지하면서, 약 40V 높은 블로킹 특성을 얻을 수 있었고, 트렌치 산화막으로 인한 개선된 블로킹 특성을 얻을 수 있었다.

#### 감사의 글

This work was supported by Korea Science and Engineering Foundation Grant (KOSEF-R01-1999-000-00230-0)

#### 참고 문헌

- [1] 김제윤, 김재욱, 성만영, 한국전기전자재료학회 추계 학술대회, Vol. 16, pp. 163 (2003)
- [2] 강이구, 오대석, 김대원, 김대중, 성만영, "인텔리전트 파워 IC 구현을 위한 횡형 트렌치 전극형 IGBT의 제작 및 그 전기적 특성에 관한 연구", 한국전기전자재료학회 논문지, Vol.15, No.9, 758~752 (2002)
- [3] 김대원, 성만영, "A New EST with Dual Trench Gate Electrode (DTG-EST)", 한국전기전자재료학회, TEEM, Vol.4, No.2, 15~20 (2003)
- [4] J. I. Nishizawa, T. T. J. S, IEEE Trans. Electron Dev., ED-22, 185 (1975)
- [5] B. J. Baliga, IEEE Trans. Electron Devices, ED-27, 368-373 (1980)