

트렌치 게이트 하단의 게이트 산화막 확장을 통한 트렌치 IGBT의 항복전압 향상에 대한 연구

이재인, 경신수, 최종찬, 성만영
고려대학교 전기공학과

A Study on Breakdown Voltage Improvement of the Trench IGBT by Extending a Gate Oxide Region beneath the Trench Gate

Jae-in Lee, Sinsu Kyoung, Jongchan Choi and Man Young Sung*
Department of Electrical Engineering Korea University
E-mail : *semicad@korea.ac.kr

Abstract : TIGBT has some merits which are lower on-state voltage drop and smaller cell pitch, but also has a defect which is relatively lower breakdown voltage in comparison with planar IGBT. This lower breakdown voltage is due to the electric field which is concentrated on beneath the vertical gate. Therefore in this paper, new trench IGBT structure is proposed to improve breakdown voltage

In the new proposed structure, a narrow oxide beneath the trench gate edge where the electric field is concentrated is extended into rectangular shape to decrease the electric field. As a result, breakdown voltage is improved to 23%.

Key Words : TIGBT, 산화막, 항복전압

1. 서론

IGBT는 바이폴라 트랜지스터의 장점인 높은 전류구동 능력과 MOSFET 트랜지스터의 빠른 스위칭 특성을 합쳐 놓은 구조이다[1]. DMOS공정을 사용하여 제작되는 일반적인 IGBT는 기술적으로 확산에 의하여 영향을 받고 기생 JFET 성분에 의해 설계상 크기가 제한된다. 트렌치 IGBT(TIGBT)는 구조상 JFET성분이 발생하지 않고 수직으로 형성된 채널을 통하여 전류가 흐르기 때문에 온-상태 전압강하가 매우 감소한다[5]. 하지만 트렌치 게이트 하단에서의 집중된 전계로 인해 n형 드리프트 영역의 농도와 p형 베이스 영역의 농도에 의해 결정되는 일반적인 IGBT의 항복전압에 비해서 낮은 항복전압을 가진다는 단점을 가지고 있다[1].

본 논문에서는 IGBT의 다른 전기적 특성을 저해하지 않는 범위에서 항복전압 특성의 향상을 얻는 새로운 구조를 제시하고 그 구조의 항복전압 향상을 이론적으로 분석함과 동시에 시뮬레이션을 통한 실제적 검증을 하였다.

2. 제안한 구조

일반적인 TIGBT와 항복전압을 향상시키기 위해 제안한 구조를 그림 1에 나타내었다.

제안한 구조는 일반적인 TIGBT에서 트렌치 게이트 하단에 직사각형 모양의 두꺼운 산화막을 추가한 구조이다. 이렇게 추가된 산화막은 게이트 하단에 집중되는 전계를 분산시켜 줌으로써 항복전압을 향상시켜 준다.

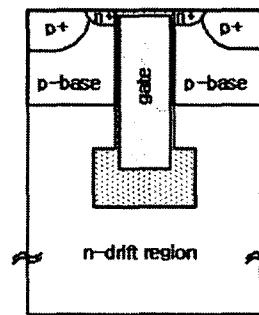


그림 1. 제안한 TIGBT의 구조.

3. 이론적 분석

제안한 구조의 전기적 특성 분석시 편의성을 위하여 트렌치 게이트 하단의 모양을 그림 2와 같이 모서리 부분을 구형 커패시터로 근사화하였다.

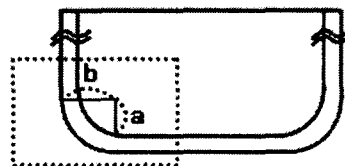


그림 2. 근사화한 트렌치 게이트 하단의 형태

여기서 게이트 모서리의 반지름을 a, 산화막의 반지름을 b라고 하면 최대 전계가 형성되는 게이트와 산화막의 접합부분에서의 전계는 수식 (1)과 같다.[2].

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon a^2} \quad (1)$$

이 때, ϵ 는 산화막의 유전율이다. 또한 내부 도체구가 갖는 총 전하 Q 는 수식 (2)와 같다[2].

$$Q = \frac{4\pi\epsilon V}{\frac{1}{a} - \frac{1}{b}} \quad (2)$$

여기서 V 는 커패시터에 인가된 전압이다. 이제 식 1에 식 2를 대입하여 정리하면 아래 수식 (3)을 얻을 수 있다.

$$V = Ea^2b - Ea^3 \quad (3)$$

수식 3에서 E 를 항복이 발생할 때의 전계라 하면 V 는 항복전압이라고 생각할 수 있다. 결국 a 와 E 가 상수이기 때문에 b 가 증가할수록 항복전압이 비례해서 증가한다는 것을 알 수 있다.

4. 시뮬레이션 결과

일반적인 구조와 제안한 구조를 TSUPREM과 MEDICI를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 수행 결과 일반적인 구조의 경우 온-상태 전압강하가 1.76 V, 문턱전압이 5 V, 항복전압이 1620 V 이고 제안한 구조의 경우 온-상태 전압강하가 1.83 V, 문턱전압이 5 V, 항복전압이 1994 V 임을 알 수 있었다. 따라서 제안한 구조는 일반적인 TIGBT에 비하여 다른 전기적 특성은 유지하면서 항복전압은 374 V 가 증가하여 기존의 1620 V 에 비해 약 23 % 증가하였다.

항복전압의 향상 원인은 그림 3의 게이트하단 산화막에서의 3차원 전계 분포도를 살펴보면 알 수 있다. 그림 3(b) 를 살펴보면 전압이 게이트 하단의 좁은 산화막내에 모두 걸리기 때문에 상당히 높은 전계가 게이트의 모서리에 집중됨을 볼 수 있다. 하지만 그림 3(d) 에서는 산화막 영역이 증가하였고 그에 따라 전압이 보다 넓은 범위에 걸리기 때문에 게이트 모서리에 집중되는 전계의 세기가 약해짐을 볼 수 있다. 따라서 제안한 구조를 통하여 TIGBT의 항복전압을 결정하는 게이트 하단 모서리에서의 전계 집중 정도를 낮출 수 있고 그에 따라 항복전압이 약 374 V 향상되었다는 점을 설명할 수 있다.

5. 결론

일반적인 TIGBT의 게이트 하단에 직사각형 산화막을 성장시킨 새로운 구조의 TIGBT를 제안하였다. 제안한 구조의 최적화 결과 다른 전기적 특성의 변화는 최소화하면서 항복전압은 일반적인 TIGBT에 비해 약 23 % 정도 향상시킬 수 있었다. 그리고 산화막 크기의 증가에 따른 항복전압의 변화에 대한 이론적 분석을 통하여 산화막 크기의 증가에 따른 항복전압의 증가를 보였고 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

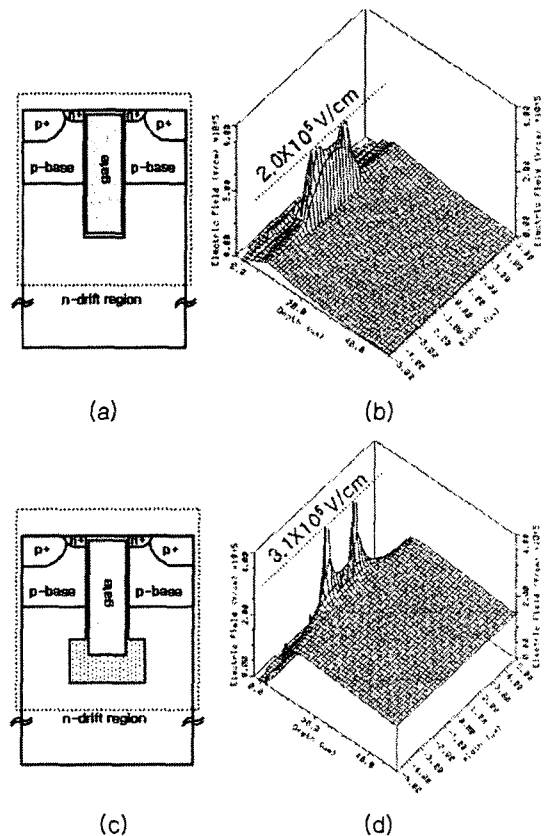


그림 3. 전계 분포에 대한 3차원 시뮬레이션 결과
(a) 일반적인 TIGBT, (b) 일반적인 TIGBT의 3차원 전계 분포, (c) 제안한 TIGBT, (d) 제안한 TIGBT의 3차원 전계 분포

감사의 글

본 논문은 지식 경제부 전력 IT 사업 중 "분산발전 및 산업용 인버터 응용을 위한 전력반도체 기술개발"에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] B. Jayant Baliga, "Power semiconductor devices", PWS, 1996
- [2] William H. Hayt, Jr. John A. Buck, "Engineering Electromagnetics", McGraw-Hill, 2001
- [3] Sima Dimitrijevic, "Principles of Semiconductor Devices", Oxford, 2006
- [4] S. Wolf, R. N. Tauber, "Silicon Processing for the VLSI Era" 2000
- [5] X. Yuan, T. Trajkovic, F. Udreak, J. Thomson, P. R. Waind, P. Taylor, G. A. J. Amaratunga, "Suppression of parasitic JFET effect in trench IGBTs by using a self-aligned p base process", Solid-State Electronics, Vol. 46, p. 1907, 2002