

로컬 도핑을 이용한 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET의 순방향 블로킹특성 개선

김대중*, 김대원*, 성만영*, 이동희**, 강이구***
고려대학교*, 수원대학교**, 극동대학교***

The Improvement in the Forward Blocking Characteristics of Lateral Trench Electrode Power MOSFET by using Local Doping

Dae-Jong Kim*, Dae-won Kim*, Man-Young Sung*, Dong-Hee Rhie**, and Ey-Goo Kang***
Korea Univ.*, Suwon Univ.**., Far East Univ.***

Abstract

In this paper, a new small size Lateral Trench Electrode Power MOSFET with local doping is proposed. This new structure is based on the conventional lateral power MOSFET. The entire electrodes of proposed device are placed in trench oxide. The forward blocking voltage of the proposed device is improved by 3.3 times with that of the conventional lateral power MOSFET. The forward blocking voltage of proposed device is about 500V. At the same size, a increase of the forward blocking voltage of about 3.3 times relative to the conventional lateral power MOSFET is observed by using TMA-MEDICI which is used for analyzing device characteristics. Because the electrodes of the proposed device are formed in trench oxide respectively, the electric field in the device are crowded to trench oxide. And because of the structure which has a narrow drain doping width, the punch through breakdown can be occurred in higher voltage than that of conventional lateral power MOSFET. We observed that the characteristics of the proposed device was improved by using TMA-MEDICI and that the fabrication of the proposed device is possible by using TMA-TSUPREM4.

Key Words : Lateral Trench Electrode Power MOSFET, Trench electrode, Local doping, Punch through breakdown, Forward blocking voltage

1. 서론

전력용 반도체들은 그 주요 영역인 전력전자 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 고도 정보화 사회와 결합하여 그 응용 범위는 더욱 넓어지고 있는 실정이다. 현재 전력용 반도체는 산업 시스템의 핵심 부품으로 부각되고 있으며 냉장고, 세탁기, 청소기 등에는 인텔리전트 파워 IC 기술을 적용한 인버터가 이용되고 있으며 또한 전기 자동차, 지하철 등의 교통, 전력의 각 분야에서

계속 응용 분야를 넓혀가고 있다. 이러한 흐름에 발맞추어 개별 소자의 특성을 파악하고 소자의 특성을 향상시키기 위한 연구 노력은 계속 진행되어 왔다[1-2].

소자의 정격은 그 소자의 응용분야를 결정하는 중요한 요소로 작용하는데 순방향 블로킹전압이 소자 정격 결정요소의 하나라고 할 수 있다. 오늘날 활발히 연구가 진행되고 있는 MOS 구동 사이리스터와 최근 관심을 모으고 있는 DGMOT(Dual Gate MOS Thyristor), IGTHT(Insulated Gate Thyristor) 등과 같은 파워 소자들은 개별 소자로서 그 크기가 보통 100 μ m 정도를 차지하고 있다

[3].

본 논문에서 제안한 소자는 고집적화를 실현할 수 있도록 범용 파워 MOSFET의 구조에서 전극을 트렌치 구조로 변경한 후 2차적으로 드레인 영역의 도핑 영역을 변경시킨 구조로써 범용 파워 MOSFET 보다 우수한 순방향 블로킹특성을 나타냈으며 이때 전기적 특성을 위해서 2차원 소자 시뮬레이터인 MEDICI를, 소자의 제작 가능성을 위해서는 공정 시뮬레이터인 TSUPREM-4를 이용해서 검증하였다.

2. 소자의 구조 및 동작

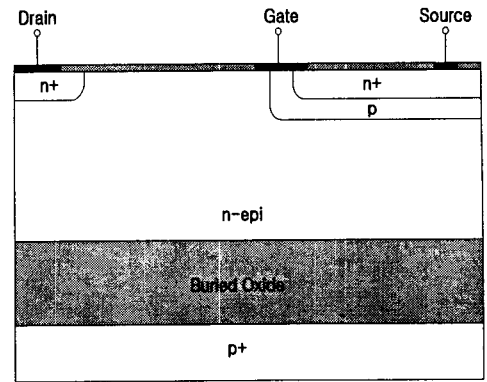
소자의 채널이 수평으로 형성되는 범용 수평형 파워 MOSFET와는 반대로 제안한 소자의 경우엔 채널이 수직으로 형성된다.

일반적인 전극을 갖는 범용 파워 MOSFET의 구조와 트렌치 전극을 갖는 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET 그리고 제안한 로컬 도핑을 갖는 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET의 구조를 그림 1에, 그리고 소자의 설계 파라미터를 표1에 각각 나타내었다.

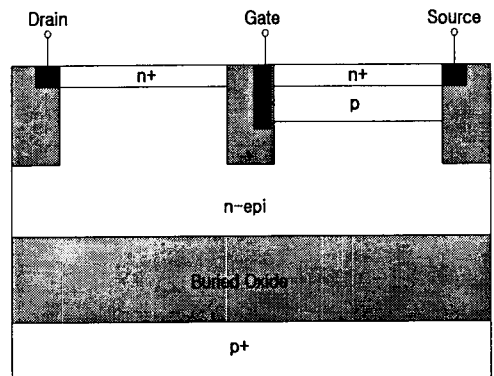
본 논문에서는 SOI (Silicon-on-insulator) 기판 위에 형성시킨 범용소자의 항복내압을 증가시키기 위해서 소스 전극, 드레인 전극, 게이트 전극을 각각 트렌치 구조로 대체시킨 구조에서 2차적으로 드레인 영역의 도핑 폭을 조절하였다. 제안한 소자의 동작은 기존의 MOSFET와 동일하여, 게이트에 문턱전압 보다 큰 전압을 인가하고, 드레인에 전압을 인가하면 전자는 소스를 출발하여 게이트 산화막 우측에 형성된 채널을 통과하여 n+ 드레인 영역으로 주입되어 소자를 구동시키게 된다.

범용 파워 MOSFET는 다수 캐리어 소자로서 소수캐리어 축적현상이 없기 때문에 빠른 스위칭 속도를 갖는다. 그러나 큰 전류를 흐르게 할 수 없고, 구조적으로 고전압에서 견딜 수 없는 단점을 갖는 소자이다. 이러한 점을 보완하기 위해서 제안한 로컬 도핑을 갖는 트렌치 전극 파워 MOSFET는 모든 전극이 트렌치 산화막 위에 형성되어 있기 때문에 횡방향 전계가 모두 트렌치 산화막으로 집중하게 된다.

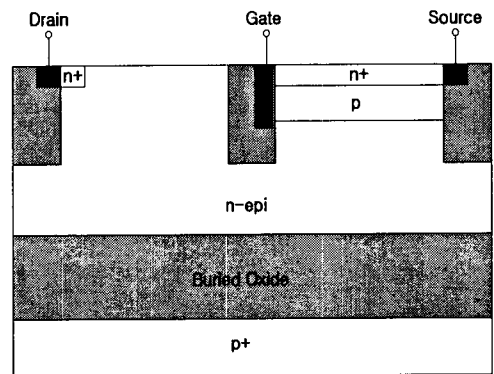
이러한 구조적인 장점은 소자를 작게 만들어도 큰 내압을 얻을 수 있다는 우수한 특성을 얻게 한다.



(a)



(b)



(c)

그림 1. 소자의 구조 (a) 기존의 범용 파워 MOSFET (b) 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET (c) 로컬 도핑을 갖는 제안한 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET

Fig. 1. The structures of the conventional power MOSFET(a), the lateral trench electrode power MOSFET(b) and the

proposed lateral trench electrode power MOSFET with local doping(c)

표 1. 시뮬레이션을 위한 소자의 설계 파라미터.
Table 1. Design parameters for simulation.

	너비(μm)	깊이(μm)	농도($/\text{cm}^2$)
드레인 영역	1	1	1×10^{20}
소스 영역	7	1	1×10^{20}
n-epi	20	6	1×10^{14}
게이트 전극	0.9	2.1	
p- 영역	7	2.1	1×10^{16}
게이트 산화막층	1000Å	.	.
채널	.	1.1	.
트렌치 산화막층	2	3.5	.

소자의 크기에 있어서 일반적으로 200V 이상의 큰 항복내압을 얻기 위해서는 범용 소자의 경우 100 μm 이상의 크기를 가져야 하지만 제안한 소자는 20 μm 의 작은 크기에 지나지 않는 우수하고 효율적인 구조라고 판단된다.

3. 소자의 전기적인 특성 분석

본 논문에서는 제안한 소자의 특성을 분석하는데 있어서 2차원 소자 시뮬레이터인 MEDICI를 이용하여 제안한 소자의 전기적인 특성을 확인하였다.

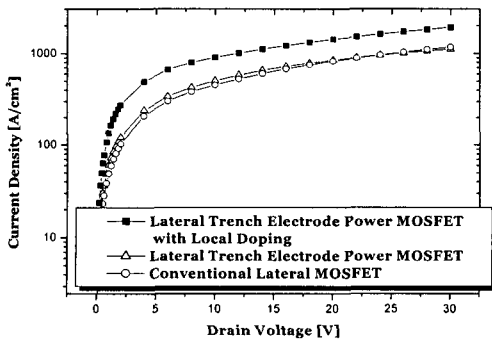


그림 2. 범용 파워 MOSFET, 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET, 제안한 로컬 도핑을 갖는 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET의 I-V 특성곡선

Fig. 2. The I-V characteristics of conventional power MOSFET, the lateral trench electrode power MOSFET and the proposed lateral trench electrode power MOSFET with local doping

그림 2는 범용 파워 MOSFET, 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET 그리고 제안한 로컬 도핑을 갖는 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET의 I-V 특성곡선을 나타내고 있다. 그림에서 나타낸 바와 같이 게이트 전압이 12V 일 때 기존의 범용 파워 MOSFET와 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET의 드레인-소스간 전류인 I_{DS} 가 약 1,012A/ cm^2 로 서로 비슷한 반면 제안한 소자는 1,742A/ cm^2 의 전류가 흐르는 것을 볼 수 있다. 이는 제안한 소자 내부의 대부분을 경유해서 전류가 흐르기 때문에 약 1.7배 더 높은 전류가 흐르는 것을 알 수 있다.

일반적으로, 순방향 블로킹전압을 측정하기 위해서는 게이트 전압을 0V 인가한 상태에서 드레인-소스간의 전압을 인가하면 된다. 파워 MOSFET는 중전류 및 소전압에서 가장 많이 쓰이는 소자로 고압에서는 사용하지 않는데 이것은 파워 MOSFET는 구조적으로 펀치스루가 작은 전압에서 발생하기 때문이다. 이때 블로킹전압이 증가되는 이유는 제안한 로컬 도핑을 갖는 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET의 경우, 기존의 7 μm 드레인 영역 도핑폭을 1 μm 로 좁게 설정했기 때문에 펀치스루에 의한 브레이크다운이 발생하는데 필요한 전압은 더욱 높아져야 하기 때문이다. 또한 소자에 인가되는 모든 전계가 산화막에 먼저 집중하게 되어 결과적으로 높은 전압에서도 항복현상이 발생하지 않는다.

그림 3에 나타난 바와 같이 범용 파워 MOSFET, 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET, 로컬 도핑을 갖는 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET의 순방향 블로킹 전압은 각각 약 150V, 약 250V, 약 500V로 제안한 소자에서 범용소자 보다 3.3배 개선되었다. 수치적으로는 3.3배이지만 500V의 블로킹전압을 갖게 된다는 것은 200V 이상에서도 그 활용 가능성이 충분하다는 의미로써 효율적인 면에서 우수한 특성을 나타내는 것이다.

그림 4는 실제 공정을 수행하기 전에 수행되는 simulation 과정에서 TSUPREM-4를 이용하여 제

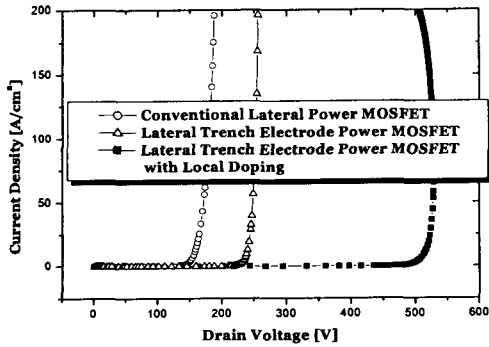


그림 3. 범용 파워 MOSFET, 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET, 제안한 로컬 도핑을 갖는 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET의 순방향 블로킹 특성

Fig. 3. The forward blocking characteristics of conventional power MOSFET, the lateral trench electrode power MOSFET and the lateral trench electrode power MOSFET with local doping

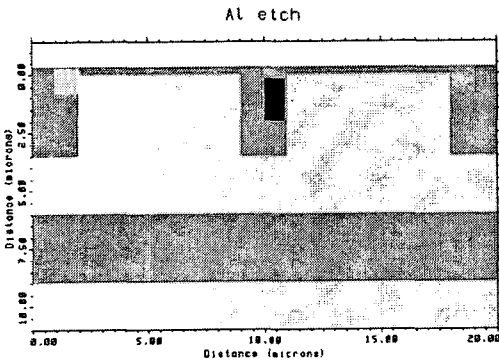


그림 4. TSUPREM-4를 이용하여 제작한 로컬 도핑을 갖는 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET 소자의 최종 단면도

Fig. 4. The final structure of the proposed lateral trench electrode power MOSFET with local doping by carrying TSUPREM-4 process simulator

작한 로컬 도핑을 갖는 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET의 최종 단면도를 보여주고 있으며 이

때 기판은 SOI 구조를 이용하였으며 표 1에서 주어진 공정 및 설계 변수를 사용하였다.

4. 결론

본 논문에서는 범용 파워 MOSFET 이후 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET 보다 전기적 특성이 우수한 로컬 도핑을 갖는 수평형 트렌치 파워 MOSFET를 제안하고 2차원 소자 시뮬레이터인 MEDICI를 이용하여 제안한 소자의 우수한 전기적 특성을 검증하였다. 순방향 전도전류는 1.7배 향상된 $1,742\text{A}/\text{cm}^2$ 이며, 특히 소자의 크기가 $20\mu\text{m}$ 임에도 불구하고 같은 크기의 범용소자보다 3.3배 정도 높은 순방향 블로킹 특성을 얻을 수 있었다. 이로써 제안한 소자는 파워 IC의 궁극적인 목표라고 할 수 있는 Smart Power IC 시스템에 대한 활용 가능성도 충분할 것이라고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2002-042-D00093)

참고 문헌

- [1] 장이구, 성만영, "래치 업 특성의 개선과 고속 스위칭 특성을 위한 다중 게이트 구조의 새로운 LIGBT," 전기전자재료학회 논문지, Vol. 13, No. 5, p. 371, 2000
- [2] Jun Cai, K. O. Sin Johnny, K. T. Mok Philip, "A new lateral trench-gate conductivity modulated power transistor," IEEE Trans., ED, Vol. 46. No. 8, p. 1778, 1999
- [3] Ey Goo Kang and Man Young Sung, "A novel lateral trench electrode IGBT for super electrical characteristics", Journal of KIEEME, Vol. 15, No. 9, p. 758, 2002
- [4] L. Lorenz, H. Mitlehner, "Key Power Semiconductor Device Concepts for the Next Decade", IEEE Conf., Vol. 1, p. 564, 2002
- [5] Baliga. B. J., "The future of power semiconductor device technology", Journal of IEEE, Vol. 89, Issue 6, p.882, 2001
- [6] TSUPREM IV, MEDICI manual, Avanti Associates Inc.