

개선된 항복 특성을 갖는 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET

김대중, 김상식, 성만영, 강이구*, 이동희**

고려대학교 전기공학과, 극동대학교 전자공학과, 수원대학교 전기공학과*

A Lateral Trench Electrode Power MOSFET with Improved Blocking Characteristics

Dae-Jong Kim, Sang-Sig Kim, Man-Young Sung, Ey-Goo Kang*, and Dong-Hee Rhie**

Korea Univ., keukdong Univ.*, Suwon Univ.**

Abstract

In this paper, a new small size Lateral Trench Electrode Power MOSFET is proposed. This new structure, called "LTEMOSFET"(Lateral Trench Electrode Power MOSFET), is based on the conventional MOSFET. The entire electrode of LTEMOSFET is placed in trench oxide. The forward blocking voltage of the proposed LTEMOSFET is improved by 1.6 times with that of the conventional MOSFET. The forward blocking voltage of LTEMOSFET is 250V. At the same size, a increase of the forward blocking voltage of about 1.6 times relative to the conventional 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, the electric field in the device are crowded to trench oxide. 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(LTEMOSFET), Trench electrode, Trench oxide, Forward blocking voltage

1. 서 론

전력 반도체 소자의 응용에 있어서 소자의 개별 특성을 파악하고 보다 향상된 성능을 갖도록 하는 연구는 여러 분야에서 연구되어 왔다[1-2].

전력 반도체 소자의 응용 분야는 소자의 정격을 의해서 결정된다. 특히 항복전압은 그 정격을 결정하는 중요한 요소로 작용하고 있다. 소자 내에서 발생하는 breakdown 때문에 정격을 높여 우수한 특성을 갖는 소자에 대한 연구는 지금까지 이루어져왔으며 앞으로도 계속 이어질 것이다[3-4]. 항복전압을 감안할 때 동시에 검토해야 할 부분은 소자를 턴-온 시킬 때 소자의 bulk 영역과 채널에서 발생하는 저항 성분이다. 전력 소모의 측면에서 볼 때, 턴 온 시킬 때 발생하는 온-저항은 낮을수록 효율적이지만 반대로 온-저항이 너무 낮을 경우엔 순방향 항복전압이 낮아져서 높은 전압 정격이 요구되는 응용 분야에는 사용할 수 없게 된다. 이와

같이 소자를 설계하는데 있어서 온-저항과 항복전압의 trade-off가 매우 중요한 요소로 작용하고 있음을 알 수 있다. 때문에 응용 분야에 따른 소자의 특성 향상에 있어서 온-저항과 항복전압 사이의 최적 조건을 찾는 과정은 반드시 이루어져야 한다.

파워 MOSFET 소자는 이미 잘 알려진 바와 같이 높은 입력 임피던스, 짧은 스위칭 시간 그리고 열적으로 안정하다는 장점을 가지고 있다. 전력 전자 공학 분야에서, 파워 MOSFET 소자는 스위치로 주로 사용되는데 여기서 온-저항과 항복전압을 가장 중요한 파라미터로 간주한다. 정격 전압을 상대적으로 높게 유지하면서 소형화, 경량화 그리고 고집적화가 가능한 파워 MOSFET 소자가 필요한 실정이다. 구조적인 변화를 통해서 보다 높은 순방향 항복전압과 고집적화를 실현하기 위해서 본 논문에서는 일반적인 수평형 파워 MOSFET 소자를 기준으로 해서 소자의 크기는 동일하고 전극 구조를 트렌치 형으로 대체한 새로운 구조의 소자를

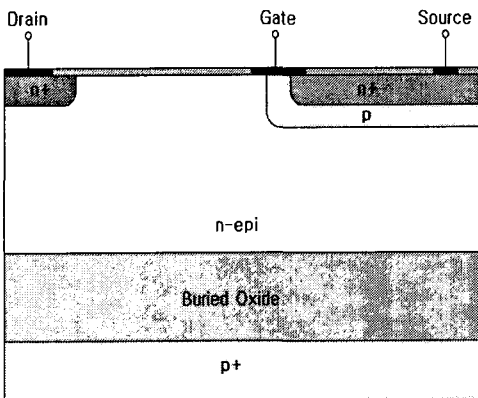
제안하였다. 먼저 일반적인 수평형 파워 MOSFET 소자와 제안한 소자와의 전류-전압 특성을 비교하여 제안한 구조의 소자가 범용 파워 MOSFET 소자와 동일한 전류-전압 특성을 보인다는 것을 먼저 확인하였다. 그다음 2차원 소자 시뮬레이터인 MEDICI를 이용해서 순방향 항복 특성을 비교하였으며 소자의 제작 가능성에 대해서는 공정 시뮬레이터인 TSUPREM-4를 이용해서 검증하였다.

2. 소자의 구조 및 동작

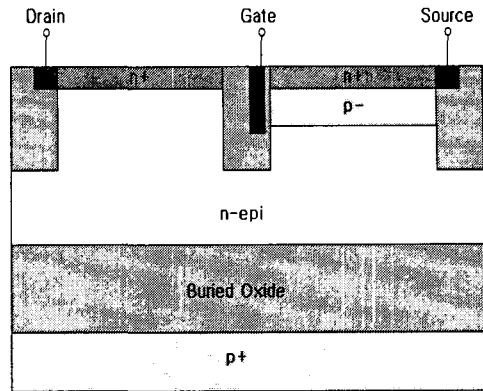
그림 1은 일반적인 전극을 갖는 수평형 파워 MOSFET 소자의 구조와 트렌치 전극을 갖는 제안한 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET 소자의 구조를 보여주고 있다. 그리고 소자의 설계 파라미터를 표1에 나타내었다. 기존의 범용 수평형 파워 MOSFET 소자와 제안한 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET 소자의 주요 차이는 그림에 나타낸 바와 같이 각 전극의 구조이다.

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

| | 너비(μm) | 깊이(μm) | 농도($/\text{cm}^3$) |
|----------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 드레인 영역 | 3 | 0.8 | 1×10^{18} |
| 소스 영역 | 3 | 0.8 | 1×10^{18} |
| n-epi | 21 | 6 | 1×10^{14} |
| 게이트 전극 | 0.9 | 2.2 | |
| p- 영역 | 3 | 2.2 | 1×10^{16} |
| 게이트 산화막층 | 1000Å | | |
| 채널 길이 | | 1.2 | |
| 트렌치 산화막층 | 2 | 3.5 | |



(a)



(b)

그림 1. 소자의 구조 (a) 기존의 수평형 파워 MOSFET (b) 제안한 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET.

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

본 논문에서는 SOI (Silicon-on-insulator) 기판 위에 형성시킨 소자의 항복내압을 증가시키기 위해서 소스 전극, 드레인 전극, 게이트 전극을 각각 트렌치 구조로 대체하였다. 소자의 순방향 동작 원리는 기존의 MOSFET 소자와 동일하다. 제안한 소자의 동작은 게이트에 문턱전압 보다 큰 전압을 인가하면 전자는 소스를 출발하여 게이트 산화막 우측에 형성된 채널을 통과하여 n+ 드레인 영역으로 주입되어 소자를 구동시키게 된다.

범용 Power MOSFET 소자는 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 트렌치 전극 파워 MOSFET 소자는 모든 전극이 트렌치 산화막 위에 형성되기 때문에 횡방향 전계가 모두 트렌치 산화막으로 집중하게 된다. 이러한 구조적인 장점 때문에 소자를 작게 만들어도 큰 항복내압을 얻을 수 있다는 우수한 특성을 갖게 된다. 소자의 크기에 있어서 일반적으로 200V 이상의 큰 항복내압을 얻기 위해서 범용 소자의 경우엔 $100\mu\text{m}$ 이상의 크기를 가져야 한다. 하

지만 제안한 소자는 $20\mu\text{m}$ 의 작은 크기에 지나지 않는다. 전류의 관점에서 보면 전류 경로인 드레인 전극과 소스 전극 사이의 거리가 상당히 가까워지게 되어 전류밀도가 증가하게 되는 우수하고 효율적인 구조라고 판단된다.

3. 소자의 전기적인 특성 분석

본 논문에서는 제안한 소자의 전기적인 특성을 분석하는데 있어서 먼저, TSUPREM-4 공정 시뮬레이터를 이용하여 소자를 제작한 다음, 2-D 소자 시뮬레이터인 MEDICI를 이용하여 제안한 소자의 전기적인 특성을 확인하였다.

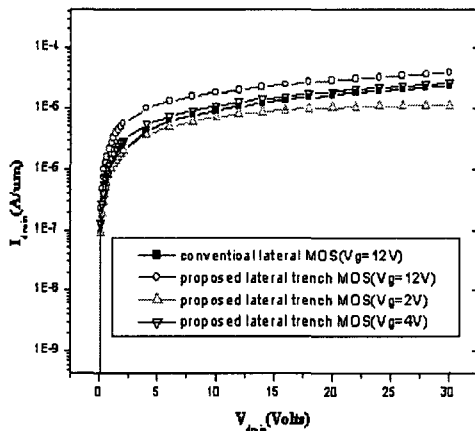


그림 2. 범용 파워 MOS 소자와 제안한 수평형 트랜치 전극 파워 MOSFET 소자의 I-V 특성곡선.

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

그림 2는 제안한 수평형 트랜치 전극 파워 MOSFET 소자와 기존의 범용 파워 MOSFET 소자의 I-V 특성곡선을 나타내고 있다. 그림에서 나타난 바와 같이 게이트 전압이 12V 일 때 기존의 범용 파워 MOSFET 소자는 드레인-소스간 전류인 I_{DS} 가 약 $9 \times 10^{-6} \text{ A}/\mu\text{m}$ 의 전류가 흐르는 반면에 제안한 소자는 $1 \times 10^{-5} \text{ A}/\mu\text{m}$ 의 전류가 흐르는 것을 볼 수 있다. 즉 제안한 소자의 전극간 거리가 상당히 가까워지게 되어 전류 또한 약 1.2배의 높은 전류가 흐르는 것을 알 수 있다.

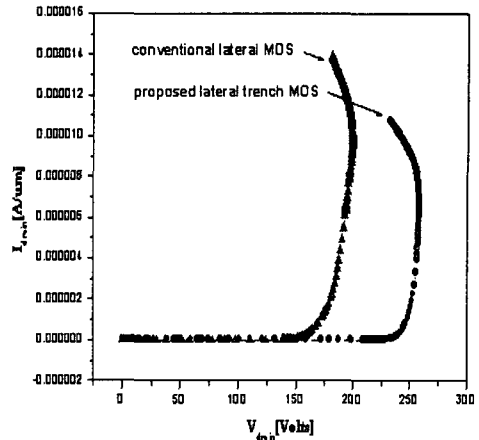


그림 3. 기존의 범용 파워 MOSFET 소자와 제안한 수평형 트랜치 전극 파워 MOSFET 소자의 항복 특성.

Fig. 3. The forward blocking characteristics of conventional power MOSFET and the proposed lateral trench electrode power MOSFET.

그림 3에서 보여주는 것은 범용 파워 MOSFET 소자와 제안한 트랜치 전극 파워 MOSFET 소자의 항복 특성이다. 일반적으로, 항복전압을 측정하기 위해서는 게이트 전압을 0V 인가한 상태에서 드레인-소스간의 전압을 인가하면 된다. 파워 MOSFET 소자는 충전류 및 소전압에서 가장 많이 쓰이는 소자로 고압에서는 사용하지 않는다. 파워 MOSFET 소자는 구조적으로 펀치스루 전압이 작은 전압에서 발생하기 때문이다. 그러나 제안한 수평형 트랜치 전극 파워 MOSFET 소자에서는 소자의 전극을 모두 트랜치 전극으로 설계했다. 때문에 소자에 인가되는 모든 전계가 먼저 산화막에 집중하게 되어 결과적으로 높은 전압에서도 항복 현상이 발생하지 않는다. 그림 3에서 보는 바와 같이 같은 크기에서 기존의 범용소자는 150V의 항복 전압을 갖는 반면에 제안한 트랜치 파워 MOS 소자는 약 250V의 항복전압을 갖게 되어 1.6배의 개선되었다. 수치적으로는 1.6배이지만 250V의 항복 전압을 갖게 된다는 것은 200V 이상에서도 그 활용 가능성이 충분하기 때문에 효율적인 면에서 우수한 특성을 나타내는 것이다.

참고 문헌

- [1] 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
- [2] 강이구, 성만영, "래치 업 특성의 개선과 고속 스위칭 특성을 위한 다중 게이트 구조의 새로운 LIGBT," 전기전자재료학회 논문지, Vol. 13, No. 5, p. 371, 2000
- [3] 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," Trans. on EEM, Vol. 2, No. 1, p. 32, 2001
- [4] E. G. Kang, M. Y. Sung, "A Novel EST with Trench Electrode to Immunize Snab-back Effect and to Obtain High Blocking Voltage," Trans. on EEM, Vol. 2, No. 3, p. 33, 2001
- [5] TSUPREM IV, MEDICI manual, Avanti Associates Inc.

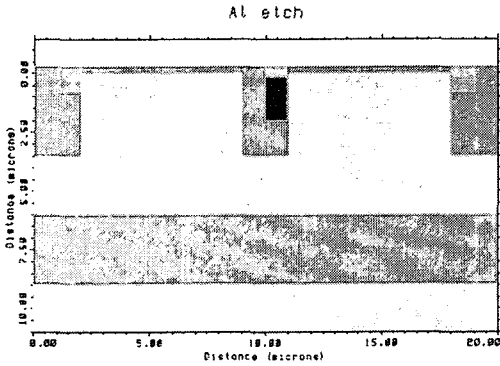


그림 4. TSUPREM-4를 이용하여 제작한 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET 소자의 최종 단면도.

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

그림 4는 실제 공정을 수행하기 전에 먼저 수행되는 simulation 과정에서 TSUPREM-4 공정시뮬레이터를 이용하여 제작한 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET 소자의 최종 단면도를 보여주고 있다. 기판은 SOI 구조를 이용하였으며 표 1에서 주어진 공정 및 설계 변수를 사용하였다.

4. 결론

본 논문에서는 범용 파워 MOSFET 소자보다 전기적 특성이 우수한 수평형 트렌치 전극 파워 MOSFET 소자를 제안하여 2-D 소자 시뮬레이터인 MEDICI를 이용하여 제안한 소자의 우수한 전기적 특성을 검증하였다. 순방향 전도전류는 1.2배 향상되었으며, 특히 항복내압은 소자의 크기가 20 μm 임에도 불구하고 같은 크기의 범용소자보다 100V 이상의 높은 항복전압을 얻을 수 있었다. 또한 소자의 공정에 있어서 중요한 트렌치 게이트 공정도 순조롭게 형성되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 제안한 LTEMOS 소자는 파워 IC의 궁극적인 목표라고 할 수 있는 Smart Power IC 시스템에 대한 활용 가능성도 충분할 것이라고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부(2000-J-EH-01-B02)와 과학재단의 특정기초과제연구 (R01 - 1999 - 000 - 00230 - 0)의 지원에 의해 수행된 일부임.