

## 이중 이온주입 공정을 이용한 트렌치 필드링 설계 최적화 및 전기적 특성에 관한 연구

양성민<sup>1</sup>, 오주현<sup>1</sup>, 배영석<sup>1</sup>, 성만영<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 고려대학교 전기공학부

### The Research on Trench Etched Field Ring with Dual Ion-Implantation for Power Devices

Sung Min Yang<sup>1</sup>, Juhyun Oh<sup>1</sup>, Young-seok Bae<sup>1</sup>, and Man Young Sung<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> The School of Electrical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

(Received March 17, 2010; Revised April 7, 2010; Accepted April 13, 2010)

**Abstract:** The dual ion-implantation trench edge termination techniques were investigated and optimized using a two-dimensional device simulator. By trenching the field ring site which would be dual implanted, a better blocking capability can be obtained. The results show that the p-n junction with dual implanted junction field-ring can accomplish nearly 20% increase of breakdown voltage in comparison with the conventional trench field-rings. The fabrication is relatively difficult. But the trench etched field ring with dual ion-implantation is surpassed for breakdown voltage and consume same area and extensive device simulations as well as qualitative analysis confirm these conclusions.

**Keywords:** Power device, Edge termination, Trench field ring, Dual ion-implantation

#### 1. 서 론

전력반도체는 인버터, 자동차, 고압 스위치, 선박 등과 같은 산업용에서 가전분야까지 그 적용 영역이 점차 확대 되고 있다. 이러한 용도로 사용되는 전력용 반도체는 높은 항복전압의 내성이 요구되는데 마감처리가 없이는 Planar P-N 접합의 모서리 부분의 전계 집중으로 인해 항복전압이 제한되는 단점이 있다 [1]. 따라서 항복전압 감소를 방지하기 위하여 접합 부분에서의 마감처리는 중요한 요소로 간주되고 있다 [2].

전계의 집중으로 제한되는 항복전압을 증가시키고 고전압 P-N접합의 신뢰성을 개선하기 위한 방법으로 전계 집중 부분을 기판 표면에서 반도체 내부로 이동

시키는 기술에 대해 연구가 진행되고 있다. 전계 집중을 완화하는 방법 중 하나인 필드링(field ring, FR) 기술은 그림 1(a)에서 볼 수 있듯이 현재 가장 널리 알려진 구조로 소자의 끝단에 위치한 주 접합 주위에 전기적으로 플로팅 되어있는 접합들을 만들어 줌으로써 전계를 감소하는 구조이며 그림 1(b)는 트렌치 필드링(trench etched field ring, TFR) 기술로 트렌치를 사용하여 기존의 FR 기술보다 접합 깊이를 더 깊게 형성할 수 있는 구조로 항복전압을 줄여줄 수 있는 매우 유용한 방법으로 알려져 있다 [3]. 하지만 이러한 필드링 기술들은 필드링의 개수, 필드링의 접합깊이, 필드링 사이의 간격 등 여러 가지 변수들이 서로 의존적이어서 최적화된 식을 구하기가 쉽지 않다는 어려움이 있다. 따라서 여러 가지 변수들을 고려한 해석을 통해 성능을 평가하였다.

a. Corresponding author; semicad@korea.ac.kr

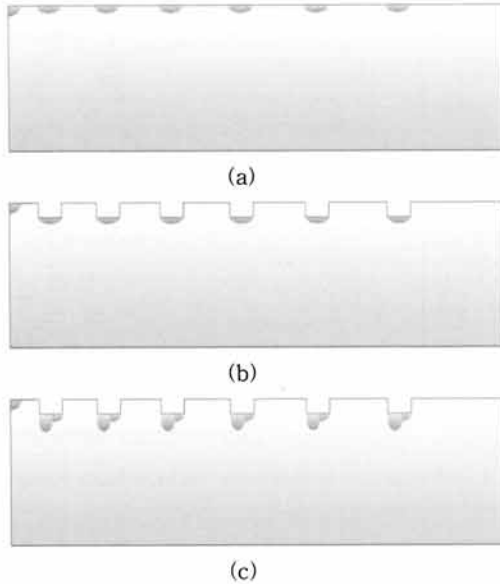


Fig. 1. (a) The structure of conventional field ring. (b) The structure of trench etched field ring. (c) The structure of trench etched field ring with dual ion-implantation.

본 논문에서는 그림 1(c)에서와 같이 필드링의 트렌치 식각 부분에 이중으로 이온주입을 사용하여 전계의 집중 부분을 두 부분으로 분산시킴으로써 TFR 기술보다 항복전압을 더 향상시킬 수 있는 구조인 이중 이온주입 트렌치 필드링(dual ion-implantation trench etched field ring, DITFR) 기술을 제안 하였으며 공정 및 소자시뮬레이터를 사용하여 제안구조의 검증 및 특성을 최적화 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 트렌치 필드링의 제한요소 분석

TFR 구조는 표 1과 같이 트렌치의 깊이가 깊을수록 접합 깊이가 일정하게 증가하며, 이에 따라 항복전압 특성도 큰 폭으로 향상되는 것을 볼 수 있다. 트렌치의 깊이가 5  $\mu\text{m}$ 일 때 2540 V의 가장 큰 항복전압을 가지게 되며 FR 구조와 비교하여 25% 이상 항복전압이 향상됨을 알 수 있었다. 하지만 공정적인 측면으로 접근하면 트렌치 공정은 공정장비와 공정기술에 의해 식각의 깊이가 좌우되는데 현존하는 장비로는 트렌치 식각을 형성하는 것이 공정 기술적으로

Table 1. Junction depth, concentration of a trench etched field ring, breakdown voltage.

Trench depth ( $\mu\text{m}$ )	Junction depth ( $\mu\text{m}$ )	structure	Breakdown voltage (V)
0	9.1		2025
1	10.21		2225
2	10.93		2380
3	11.84		2410
4	12.76		2510
5	13.67		2540
6	15		2510

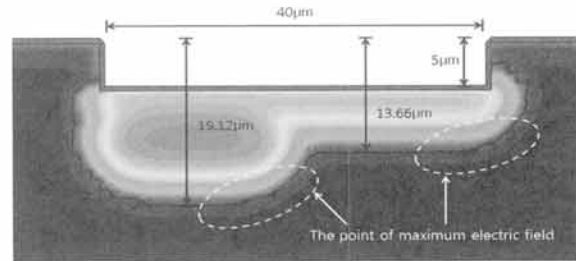
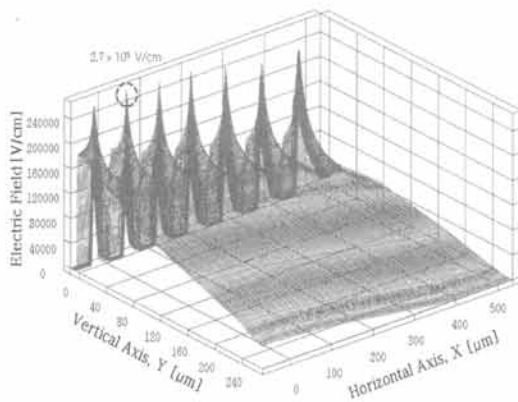


Fig. 2. The structure trench etched field ring with dual ion-implantation.

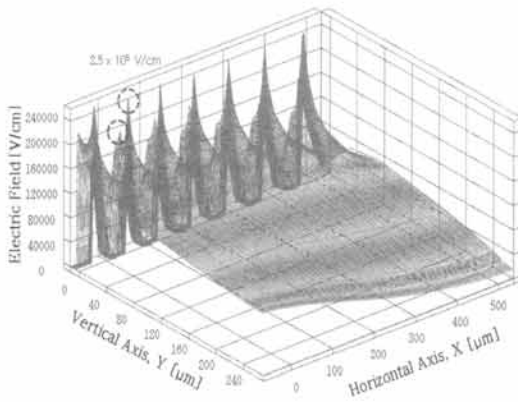
선택비에 제한이 따르며 트렌치 공정의 식각을 또한 높지 않다는 단점이 있다. 이는 결과적으로 항복전압을 향상시키는데 한계점으로 작용하고 있다.

### 2.2 전계분포를 통한 이중 이온주입 공정을 적용한 트렌치 필드링의 장점 분석

DITFR 구조를 사용하는 목적은 트렌치의 선택비가 낮은 공정 환경에서도 항복전압을 크게 향상시킬 수 있는 구조이기 때문이다. 그림 2의 구조에서 트렌치의 왼쪽 부분이 오른쪽 부분에 비해 약 40% 정도 접합 깊이가 더 깊은 것을 볼 수 있다. 이 구조에서는 트렌치 왼쪽에 위치한 주 접합에서부터 오른쪽에 위치한 접지 사이에 역방향 전압이 인가 시 접합 부분의 모서리에서 전계가 집중되는 것을 그림과 같이 두 부분으로 분배할 수 있으므로 FR 구조와 TFR 구조와 비교하여 항복전압을 향상시킬 수 있다.



(a)

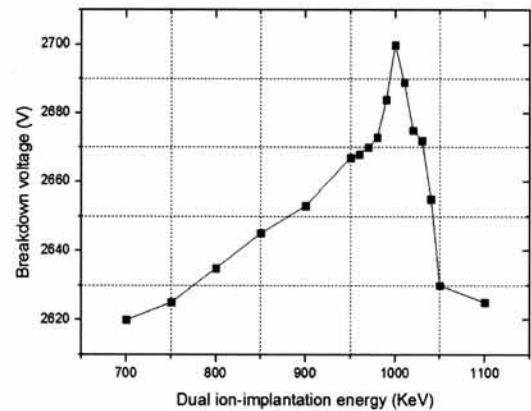


(b)

**Fig. 3.** (a) The curve of the surface field distribution of 5  $\mu\text{m}$  trench field ring, (b) The curve of the surface field distribution of 5  $\mu\text{m}$  trench field ring with dual ion-implantation.

### 3. 결과 및 고찰

그림 3(a)와 그림 3(b)에서는 각각의 TFR 구조와 DITFR 구조의 전계 분포도를 3차원 그래프로 나타낸 것이다. TFR 구조에서는 역방향 전압이 인가 시 이온 주입된 접합영역의 모서리 부분에서 전계가 한 곳으로 집중이 되는 반면, DITFR 구조에서는 트렌치의 왼쪽과 오른쪽에서의 접합깊이의 차이로 이온 주입된 접합영역에서 전계가 두 부분으로 분산이 되는 것을 전계분포로 판단할 수 있다. 최대전계 값을 비교하면 TFR 구조에서는 전계가 한 지점에서 집중되어 약  $2.7 \times 10^5$  V/cm의 임계전계 값을 가지며 DITFR 구조는 전계가 두 지점에서 분포되어  $2.5 \times 10^5$  V/cm의 임계전계 값을 가지는 것을 확인하였다.

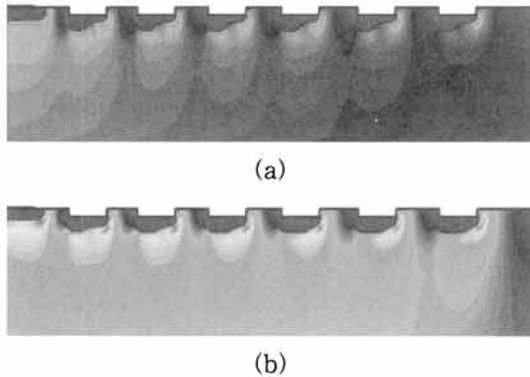


**Fig. 4.** Change of breakdown voltage depending on the dual ion-implantation energy.

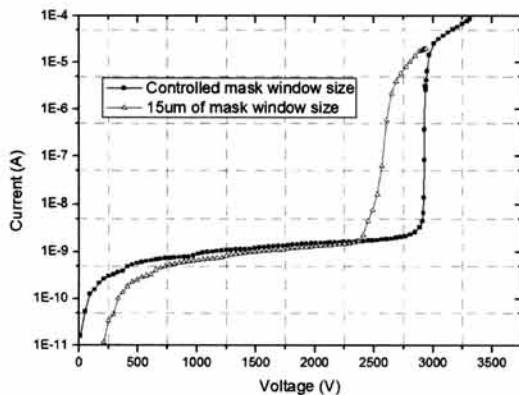
그림 4에서는 이중으로 주입한 이온에너지와 항복 전압과의 관계를 도표로 나타내었다. 이중으로 주입하는 이온에너지가 증가할 경우 이온주입 된 영역이 깊어지며 이에 따라서 전계를 분산하는 영역도 넓어지게 된다. 집중되는 전계의 분산을 통해 임계전계 값이 낮아지게 되어 항복전압을 향상시키는 역할을 한다. 하지만 이중 이온주입 에너지가 일정 값 이상으로 커지게 되면 이중 이온주입 영역의 전계 집중이 1차 이온주입 영역에서의 전계 집중보다 더 커짐에 따라서 필드 상에 존재하는 이중 이온주입 영역에서의 전계 값의 분배가 각각의 필드링에서 일정하지 못하게 된다. 이와 같은 전계 분포의 불규칙성은 항복 전압이 낮추는 단점으로 작용한다.

DITFR 기술을 적용할 경우 이중 이온주입 영역으로 인해 필드링에서의 전계 집중이 완화되는 것을 확인할 수 있었다. 모의실험을 통해서 1000 keV의 이중 이온에너지를 주입하면 2700 V의 항복전압이 최적점이 되는 것을 알 수 있었다.

또한 이중 이온을 주입하기 위해 사용되는 마스크의 윈도우 폭도 고려해야 할 사항이다. 같은 폭의 윈도우를 가진 2차 마스크를 사용할 경우 주 접합에서 가장 가까운 부분에 위치한 필드링에서는 전계의 분포가 양방향으로 잘 일어나는 반면에 주 접합에서 멀리 위치한 필드링일수록 이중 이온주입 부분에서의 전계 분포가 매우 작거나 혹은 분포가 되지 않는 현상을 보이게 된다. 따라서 바깥쪽에 위치한 필드링일수록 이중 이온 에너지를 주입하는 윈도우 폭이 넓어지도록 설계해야 한다.



**Fig. 5.** (a) Electric field of the trench etched field ring with dual ion-implantation for 15  $\mu\text{m}$  window width, (b) Electric field of the trench etched field ring with dual ion-implantation for 15/18/21/24/27/30  $\mu\text{m}$  window width.



**Fig. 6.** I-V curve of trench etched field ring with dual ion-implantation applied 15  $\mu\text{m}$  window width and 15/18/21/24/27/30  $\mu\text{m}$  controlled window width.

그림 5에서는 윈도우 폭에 따른 전계 분포를 나타내었으며, 그림 6에서 윈도우 폭에 따른 항복전압의 관계를 전류-전압 곡선으로 명시하였다. 결과를 살펴보면 마스크의 윈도우 폭을 15  $\mu\text{m}$ 로 고정하였을 때는 항복전압이 약 2450 V이며 15/18/21/ 24/27/30  $\mu\text{m}$ 로 점차 증가시켰을 때 2950 V로 약 20% 이상 향상된

항복전압을 가진다. 따라서 이중 이온주입을 위한 마스크의 윈도우 폭에 의해서 항복전압이 큰 폭으로 변화하는 것을 확인하였다. 이는 마스크 윈도우 폭의 최적화는 항복전압을 향상시키기 위한 중요한 조건임을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 전력반도체의 내압을 유지하는데 있어서 가장 중요한 필드링의 개선을 위해서 새로운 구조를 제안하였다. 기존 TFR 구조에 이중으로 이온을 주입하여 전계의 집중 부분의 접합 깊이를 증가하여 전계의 집중을 완화하였고, 결과적으로 항복전압 특성을 크게 향상시켰다. TFR 구조와 제안된 DITFR 구조의 전계분포를 비교해본 결과, TFR 구조에서는 약  $2.7 \times 10^5$  V/cm에 달하는 최고전계를 가지는 반면, 이중 이온주입 구조는 집중되는 전계가 두 부분으로 분포됨에 따라  $2.5 \times 10^5$  V/cm로 최고전계가 낮아지는 현상을 확인할 수 있었다. 향후 2차 마스크의 윈도우 폭 설정의 최적화를 위해 심층적인 연구를 한다면 더욱 향상된 특성을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원(2008T100100248) 주관으로 수행된 과제임.

#### REFERENCES

- [1] Y. H. Kim and M. Y. Sung, *Proc. International Conference on Integrated Circuit Design & Technology 2008 (ICICDT., Minattec, Grenoble, France, 2008)* p. 71.
- [2] B. J. Baliga, *Power Semiconductor Devices*, 1st ed. (PWS Publishing Company, 1996) p. 91.
- [3] J. S. Lee and M. Y. Sung, *IEICE Electronics Express* 6, (ELEX., 2009) p. 1621.