

8인치 Si Power MOSFET Field Ring 영역의 도핑농도 변화에 따른 전기적 특성 비교에 관한 연구

김권제^{1,2}, 강예환¹, 권영수^{2,a}

¹ (주)파워솔루션

² 동아대학교 나노공학과

Characterization and Comparison of Doping Concentration in Field Ring Area for Commercial Vertical MOSFET on 8" Si Wafer

Gwon Je Kim^{1,2}, Ye hwan Kang¹, and Young-Soo Kwon^{2,a}

¹ Powersolution Incorporated, Pohang 790-784, Korea

² Department of Nano Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

(Received March 13, 2013; Accepted March 19, 2013)

Abstract: Power Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor's (MOSFETs) are well known for superior switching speed, and they require very little gate drive power because of the insulated gate. In these respects, power MOSFETs approach the characteristics of an "ideal switch". The main drawback is on-resistance $R_{DS(on)}$ and its strong positive temperature coefficient. While this process has been driven by market place competition with operating parameters determined by products, manufacturing technology innovations that have not necessarily followed such a consistent path have enabled it. This treatise briefly examines metal oxide semiconductor (MOS) device characteristics and elucidates important future issues which semiconductor technologists face as they attempt to continue the rate of progress to the identified terminus of the technology shrink path in about 2020. We could find at the electrical property as variation p base dose. Ultimately, its ON state voltage drop was enhanced also shrink chip size. To obtain an optimized parameter and design, we have simulated over 500 V Field ring using 8 Field rings. Field ring width was $3 \mu\text{m}$ and P base dose was $1e15 \text{ cm}^{-2}$. Also the numerical multiple 2.52 cm^{-2} was obtained which indicates the doping limit of the original device. We have simulated diffusion condition was split from $1,150^\circ\text{C}$ to $1,200^\circ\text{C}$. And then $1,150^\circ\text{C}$ diffusion time was best condition for break down voltage.

Keywords: Power MOSFET, Planar, Trench, V_{th} , BV, R_{on} , Pbase dose

1. 서 론

최근 전 세계적으로 에너지 절감이 큰 사회적 문제로 대두되면서 전기가 쓰이는 제품에는 필수적으로 적용되는 전력반도체의 수요가 급증하고 있는 추세이다. 이러한 전력공급 장치나 전력변환 장치에 사용되는 power MOSFET 소자는 전압 구동 방식으로 동작하는 소자이며, 큰 전력을 처리하기 위해 설계된 스위칭 소자로 고내압을 유지하기 위해 다양한 방법

Corresponding author: yskwon@dau.ac.kr

Copyright ©2013 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이 쓰이고 있다 [1]. 그 중 대표적인 방법으로 접합부 근에 집중되는 전계를 분산시키는 field ring을 이용한 설계 방법이 있다. Field ring의 주요 변수로는 field ring의 개수, field ring의 접합 깊이, field ring 간격을 생각할 수 있는데 이러한 변수들의 최적화에 대한 연구는 매우 중요하다 [2].

본 연구에서는 시뮬레이션을 이용하여 field ring의 개수, 접합 깊이 등의 최적화 설계를 완료하였으며 Medici를 사용하여 전기적 특성을 분석하였다 [3].

2. 실험 방법

본 연구에서는 500 V급 이상의 항복전압을 갖는 field ring 설계를 위해 8개의 field ring을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다 [3]. Field ring의 너비를 $3\mu\text{m}$ 로 하였고, P base dose을 $1\text{e}15\text{ cm}^{-2}$ 으로 선정하여 최적화 설계를 하였다. 시뮬레이션을 통하여 500 V급 이상을 갖는 구조를 설계하였으며 최종적인 설계 구조 및 파라미터 값을 그림 1과 표 1에 각각 나타내었다.

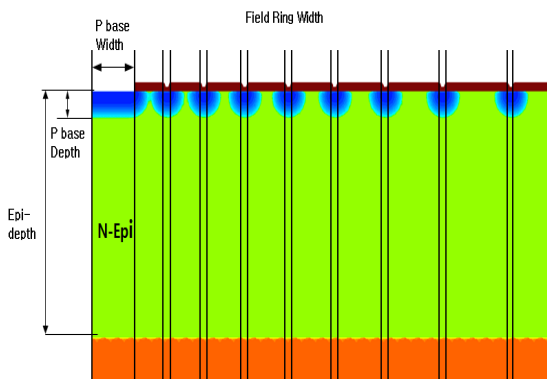


Fig. 1. Optimize 500 V power MOSFET field ring structure.

500 V급 field ring의 항복전압 특성을 그림 2와 표 2에 각각 나타내었다. 500 V field ring의 개수를 8개에서 6개로 감소시키고 동일한 특성을 갖는 최적화 설계를 위해서 epi thickness, resistivity, field ring width를 고정시키고 P base dose, diffusion 공정조건을 split하여 시뮬레이션을 진행하였다.

표 3은 6개의 field ring을 갖는 500 V field ring의 기본 파라미터이다.

Table 1. 500 V power MOSFET field ring parameter.

Parameter	Condition
Epi depth	$56\ \mu\text{m}$
Resistivity	$15.6\ \Omega$
Field Ring num	8 ea
P depth	$7\ \mu\text{m}$
P base width	$68\ \mu\text{m}$
Field Ring width	$3\ \mu\text{m}$
P base dose	$1\text{e}15$
Diffusion temp	$1,150^\circ\text{C}$
Diffusion time	180 min

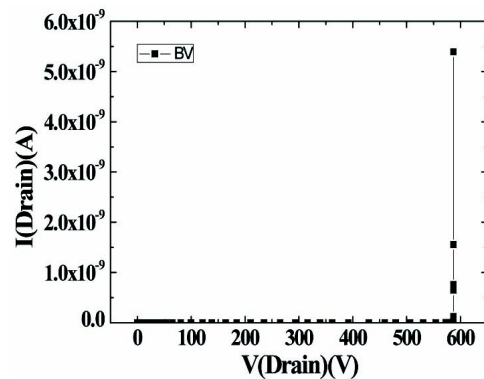


Fig. 2. Breakdown voltage of 500 V power MOSFET field ring.

Table 2. Simulation results to 500 V power MOSFET field ring.

BV(V)	587 V
-------	-------

Table 3. 500 V power MOSFET field ring parameter.

Parameter	Condition
Epi depth	$56\ \mu\text{m}$
Resistivity	$15.6\ \Omega$
Field Ring num	6 ea
P depth	$7\ \mu\text{m}$
P base width	$68\ \mu\text{m}$
Field Ring width	$3\ \mu\text{m}$
P base dose	$1\text{e}15$
Diffusion temp	$1,150^\circ\text{C}$
Diffusion time	180 min

3. 결과 및 고찰

본 논문에서는 P base dose의 조건을 $2.5 \times 10^{13} \sim 8.5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 으로 조건을 split하여 시뮬레이션을 진행하였다. Field ring의 P base dose량을 조절하여 농도가 증가할수록 field ring의 확산되는 범위가 커지고 근접하는 field ring과 가까워져 전계가 분산되어 항복전압이 상승하는 것을 알 수 있었다 [4,5]. 또한 농도가 낮아질수록 field ring의 확산되는 범위는 줄어들었으며, 펀치스루 현상이 나타나지 않는 것을 알 수 있었다. 또한 마지막 field ring까지 공핍 층이 생성되지 않는 것을 확인하였으며 그림 3에 나타내었다. 따라서 내압과 공정 사양을 고려하여 항복전압 592 V인 $6.5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 으로 선정하여 시뮬레이션을 진행하였다.

그림 4는 P dose 변화에 따른 항복전압의 결과를 나타낸 것이다. Diffusion 공정 조건에 따른 항복전압의 변화를 측정하기 위해 diffusion time변화를 split하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션을 진행하기 전에 공정 장비 사양에 맞춰 온도와 시간의 공정 조건을 선정하였으며, 그 결과를 표 4에 나타내었다.

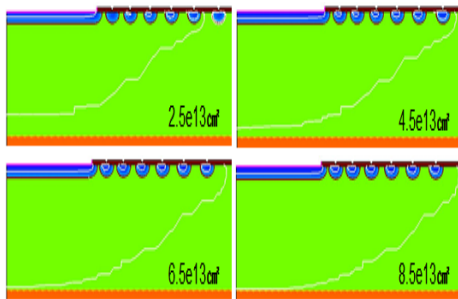


Fig. 3. Depleted layer changed by P base dose split.

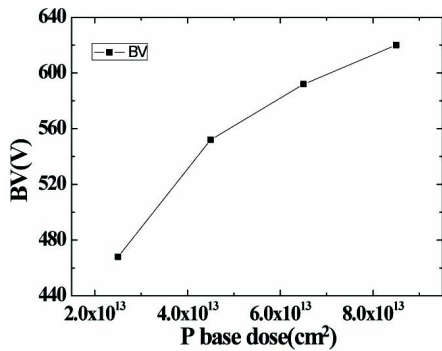


Fig. 4. Break down voltage change by P base dose variation.

Table 4. Diffusion condition.

Diffusion temp(°C)	Diffusion time(min)
1,150	180
1,150	360
1,200	180

Table 5. Break down voltage by diffusion time change.

Diffusion temp(°C)	Diffusion time(min)	BV(V)
1,150	180	530
1,150	360	598
1,200	180	553

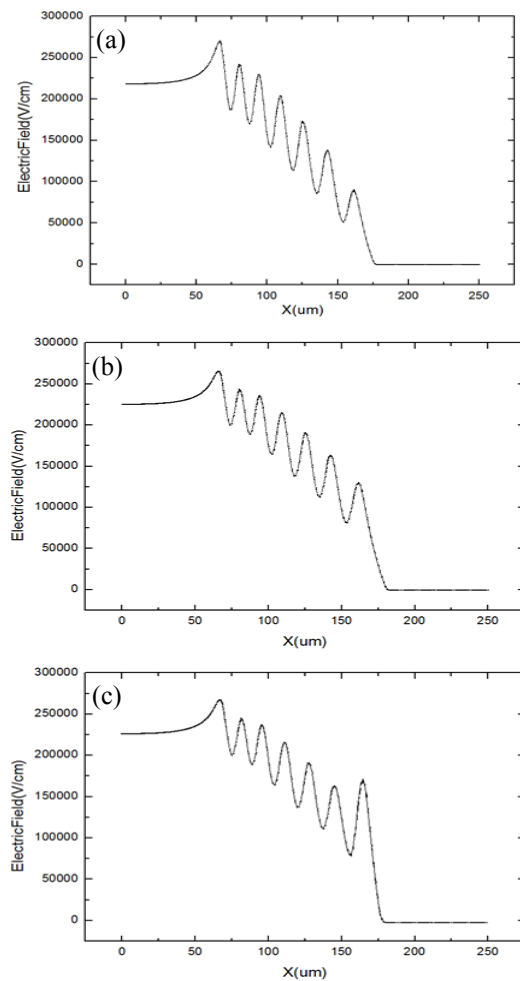


Fig. 5. Electric field distribution by diffusion time change. (a) 1,150°C/180 min, (b) 1,150°C/360 min, (c) 1,200°C/180 min.

그림 5는 diffusion 공정조건에 따른 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 1,150°C 180 min, 그림 5(b)는 1,150°C 360 min, 그림 5(c)는 1,200°C 180 min으로 diffusion 시간을 변화시켜 전계분포의 변화를 측정하였다. 그림에서 알 수 있듯이 1,150°C/360 min일 때 목표로 설정한 항복전압 값을 도출하였으며 전계 확산 효과 또한 향상되었음을 알 수 있다. 또한 기존 field ring과 500 V급 항복전압을 만족하면서 field ring 개수가 약 25%가 줄어들었음을 알 수 있었다.

4. 결론

본 논문은 전력반도체 소자의 내압을 유지하는데 중요한 field ring 개선을 통해 소자의 구조를 최적화하고 또한 전기적 특성은 유지하면서 field ring 개수를 줄일 수 있는 방법을 연구하였다. Field ring의 width를 동일한 조건으로 하고 P base 농도를 $2.5e13 \sim 8.5e13 \text{ cm}^{-3}$ 로 split하였으며, diffusion 조건을 1,150°C/180 min, 1150°C/360 min, 1,200°C/180 min으로 split하여 전기적 특성을 분석하였다.

Field ring 시뮬레이션 결과 field ring의 개수가 약 25%로 감소하였음에도 불구하고 동일한 특성을 갖는 것을 알 수 있었다. 이는 power MOSFET, IGBT 등 전력반도체 소자 설계 시 동일 면적에서 net die의 개수가 증가되어 생산 가격 절감을 가져올 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 기술혁신사업의 지원에 의해 수행되었습니다. (과제번호: 10036102)

REFERENCES

- [1] B. K. Bose, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, **28**, 403 (1992).
- [2] E. G. Kang, B. J. Kim, and Y. H. Lee, *J. KIEEME*, **23**, 1 (2010).
- [3] Y. Jin, C. Zeng, L. Ma, and D. Barlage, *Solid-State Electron.*, **51**, 347 (2007)
- [4] J. He, M. Chan, X. Zhang, and Y. Wang, *Solid-State Electron.*, **50**, 1375 (2006).
- [5] Y. S. Hong, H. S. Chung, E. S. Jung, and E. G. Kang, *J. KIEEME*, **24**, 794 (2011).