

전기자동차 배터리 충전을 위한 DC - DC컨버터용 Super Junction MOSFET 설계에 관한 연구

김범준¹, 홍영성¹, 심관필², 강이구^{3,a}

¹ 극동대학교 정보통신학과

² 극동대학교 에너지반도체학과

³ 극동대학교 태양광공학과

Study on the Design of DC-DC Converter for Super Junction MOSFET Battery Charger of Electric Vehicles

Bum June Kim¹, Young Sung Hong¹, Gwan Pil Sim², and Ey Goo Kang^{3,a}

¹ Department of Information & Telecommunication, Far East University, Eumseong 369-700, Korea

² Department of Energy Semiconductor Engineering, Far East University, Eumseong 369-700, Korea

³ Department of Photovoltaic Engineering, Far East University, Eumseong 369-700, Korea

(Received July 17, 2013; Accepted July 22, 2013)

Abstract: Release competition and development of eco-friendly vehicles have been conducted violently also automaker, it will be a high growth industry of the charger and battery, which is the driving source of the motor of an electric vehicle. Reduces the on-resistance power elements DC - DC converter for battery charger for electric vehicles, must minimize switching losses. Should have a low on-resistance power than existing products. Compare the Super Junction MOSFET and Planar MOSFET, As a result, super junction MOSFET improve on about 87.4% on-state voltage drop performance than planar MOSFET.

Keywords: Planar, MOSFET, Charge balance, Pillar, Deep trench

1. 서론

전 세계적으로 친환경 기술이 화두가 되고 있으며, 향후의 미래 산업을 이끌어갈 동력으로 여겨지고 있는 추세이다. "그린"이라는 용어는 지구 온난화를 방지하기 위해 탄소배출량을 줄이자는 것으로부터 시작되었으며 대부분의 업계에서 이를 위한 기술 개발을 추진 중

에 있다. 이에 따라 자동차 제조업체도 친환경 자동차 개발 및 출시 경쟁이 치열하게 벌어지고 있으며, 전기 자동차 모터의 구동원인 배터리 및 충전기 산업의 고성장을 이룰 것이다. 전기자동차 배터리 충전기의 DC - DC 컨버터용 파워 소자로는 600 V/20 A급의 power MOSFET가 사용되어야 하지만, 기존의 power MOSFET는 높은 온 저항으로 인해 구동 손실이 높아 사용에 어려움이 있다. 이를 위하여 기존의 power MOSFET 대비 온 저항이 크게 낮아지는 super junction 구조를 통하여 기존 planar MOSFET과 비교하여 항복전압의 변화 없이 온 저항을 감소시켜 구동 손실 감소를 구현하고자 하였다.

a. Corresponding author; keg@kdu.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.

2. 실험 방법

2.1 Super junction MOSFET 이론적 고찰

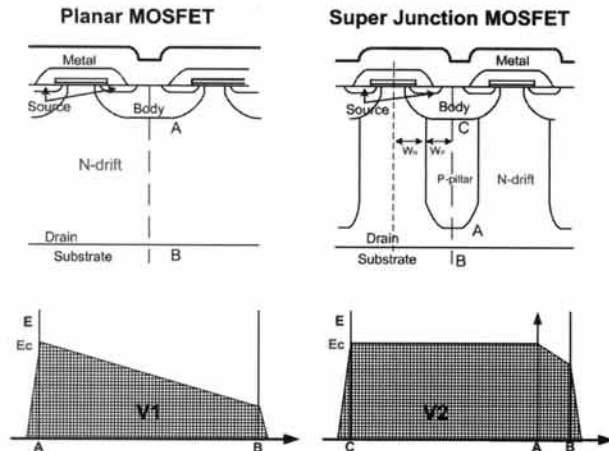


Fig. 1. Planar and super junction power MOSFET electric field.

Super junction MOSFET의 경우 오프 상태에서 수직 방향으로만 공핍층이 형성되는 planar MOSFET와는 달리 수직 방향과 수평 방향으로 모두 공핍층을 형성한다. 이것은 그림 1과 같이 P-필라 영역의 존재로 인하여 역방향 전압이 기존의 P-베이스와 N-드리프트 영역의 접합뿐만 아니라 P-필라와 N-드리프트 영역의 접합으로 확장되어 넓은 접합 면적에 인가되기 때문이다. 항복전압 최적화를 위해서는 P-필라와 N-필라 영역이 동시에 완전한 공핍화가 이루어져야 하고, 이를 위해서 P-필라와 N-드리프트 영역의 전하량이 식 (1)을 만족하여 균형을 이루도록 설계되어야 한다 [1].

$$N_{a, pillar} W_P = N_{d, drift} W_N \quad (1)$$

식 1의 조건을 만족하는 super junction MOSFET은 두 영역 간의 전하량이 동일하므로 P-필라와 N-드리프트 영역 모두 완전 공핍화되어 그림 1과 같이 수평 방향으로 전계가 일정하게 발생한다.

2.2 Planar MOSFET 기본구조 설계

본 논문의 super junction MOSFET과 비교하기 위한 planar MOSFET를 설계하여 표 1에 정리하였다.

Table 1. 600 V planar MOSFET optimization parameter.

Parameter	Unit	Condition
N-drift (Resistivity)	Ωcm^2	18
JFET (Dose)	cm^2	1E12
P-Base (Dose)	cm^2	6.5E13
N+ Substrate (Resistivity)	Ωcm^2	0.018
P+ (Dose)	cm^2	3E15
N+ (Dose)	cm^2	5E15
Gate (Length)	μm	4

Table 2. 600 V planar MOSFET optimization result.

V_{th}	BV	$R_{ds(on)}@100\text{ A/cm}^2$
3.7 V	722 V	$0.15\ \Omega\ \text{cm}^2$

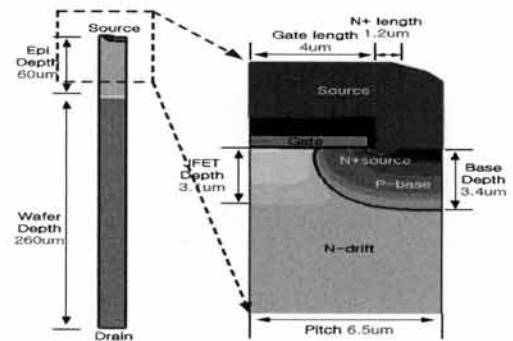


Fig. 2. 600 V planar MOSFET optimization design.

N-드리프트 길이를 super junction MOSFET 구조와 같이 설계하여 항복전압에 따른 온 저항의 차이를 비교할 수 있도록 $60\ \mu\text{m}$ 로 설정하고 N-드리프트 비저항, P-베이스 농도 변화를 통해 600 V에 최적화된 값을 도출해 내었다.

2.3 Super junction MOSFET 기본구조 설계

앞서 설계한 600 V planar MOSFET 구조에 super junction MOSFET 구조를 형성하여 N-필라 (N-드리프트) P-필라의 영역을 구분하고 전하 균형을 맞추어 최적화 설계를 진행하였다. 설계한 결과는 다음 표 3 및 그림 3과 같다.

기본적인 super junction MOSFET 공정 조건 중 P-필라와 N-드리프트 농도의 변화로 항복전압과 전하 균형에 어떠한 영향을 나타내는지 알아보기 위하여 시뮬레이션을 진행한 결과를 표 4와 그림 4에 도시하였다.

Table 3. Super junction MOSFET parameter.

Parameter	Unit	Condition
N-Drift (Resistivity)	$\Omega\text{cm}^{\dagger}$	18 (2.49E14)
P-Pillar (Depth)	μm	45
P-Pillar (Length)	μm	3.25
Deep trench (Angle)	$^{\circ}$	89.5
J-FET	cm^{\dagger}	1E12
P-Base	cm^{\dagger}	6.5E13
N+ Substrate(Resistivity)	$\Omega\text{cm}^{\dagger}$	0.018
P+ (Dose)	cm^{\dagger}	3E15
N+ (Dose)	cm^{\dagger}	5E15
Gate (Length)	μm	4
N+ (Length)	μm	1.2
P-Pillar (Depth)	μm	45
P-Pillar (Length)	μm	3.25
Deep trench (Angle)	$^{\circ}$	89.5

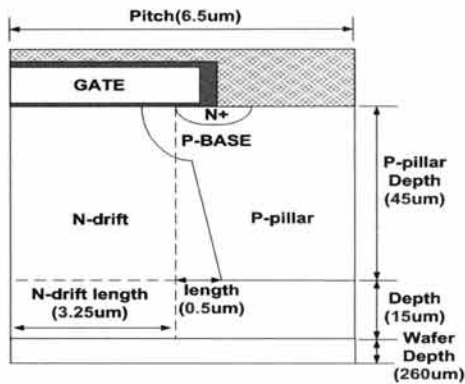


Fig. 3. Super junction MOSFET design.

Table 4. Breakdown voltage which forms the charge balance.

N-Drift (Resistivity)	N-Drift (Dose)	P-Pillar (Dose)	BV
0.1 Ω	8.09E16	2.19E15	37 V
0.9 Ω	5.54E15	6.54E15	680 V
1.0 Ω	4.94E15	5.44E15	730 V
		5.64E15	744 V
		5.84E15	727 V
1.5 Ω	3.22E15	3.71E15	817 V
2.0 Ω	2.37E15	2.55E15	844 V
2.5 Ω	1.88E15	2.24E15	876 V

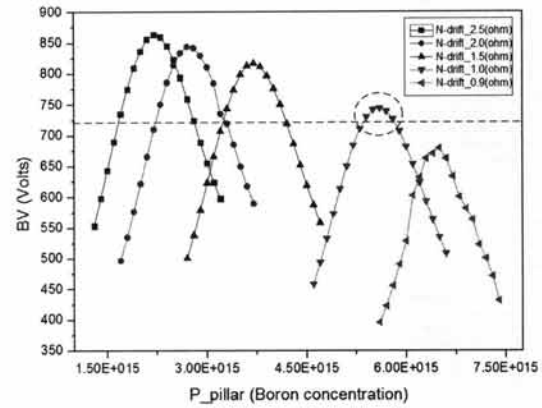


Fig. 4. P-pillar, N-drift resistivity graph.

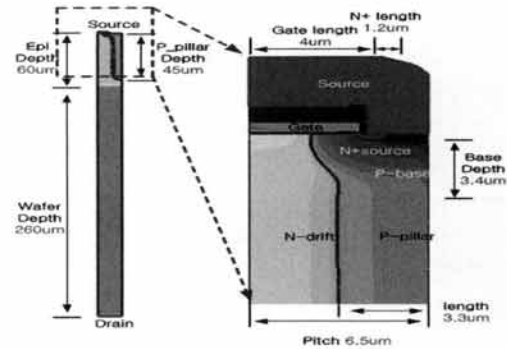


Fig. 5. 600 V super junction MOSFET optimization design.

Table 5. 600 V super junction MOSFET optimization parameter.

Parameter	Unit	Condition
N-drift (Resistivity)	$\Omega\text{cm}^{\dagger}$	1.0 (4.94E14)
P-Pillar (Dose)	cm^{\dagger}	5.84E15
P-Pillar (Depth)	μm	45
P-Pillar (Length)	μm	3.25
Deep trench (Angle)	$^{\circ}$	89.5
J-FET	cm^{\dagger}	1E12
P-Base	cm^{\dagger}	6.5E13
N+ Substrate (Resistivity)	$\Omega\text{cm}^{\dagger}$	0.018
P+ (Dose)	cm^{\dagger}	3E15
N+ (Dose)	cm^{\dagger}	5E15
Gate (Length)	μm	4
N+ (Length)	μm	1.2

Table 6. 600 V super junction MOSFET optimization result.

V _{th}	BV	R _{ds(on)} @(100 A/cm ²)
4.7	727	0.019 Ω cm ²

N-드리프트 비저항을 0.1 Ω에서 2.5 Ω까지 단계 별로 변화시키며 시뮬레이션 한 결과, 그림 4에서 보듯이 비저항이 높을수록 전하 균형을 이룰 때 항복전압도 비저항과 비례하며 높아지는 경향성을 확인하였고, N-드리프트농도가 4.94E15, P-필라 농도가 5.84E15일 때 planar MOSFET와 같은 727 V의 항복전압을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결과 및 고찰

최적화된 planar MOSFET와 super junction MOSFET의 특성 비교를 아래 그림 6과 표 7에 나타내었다.

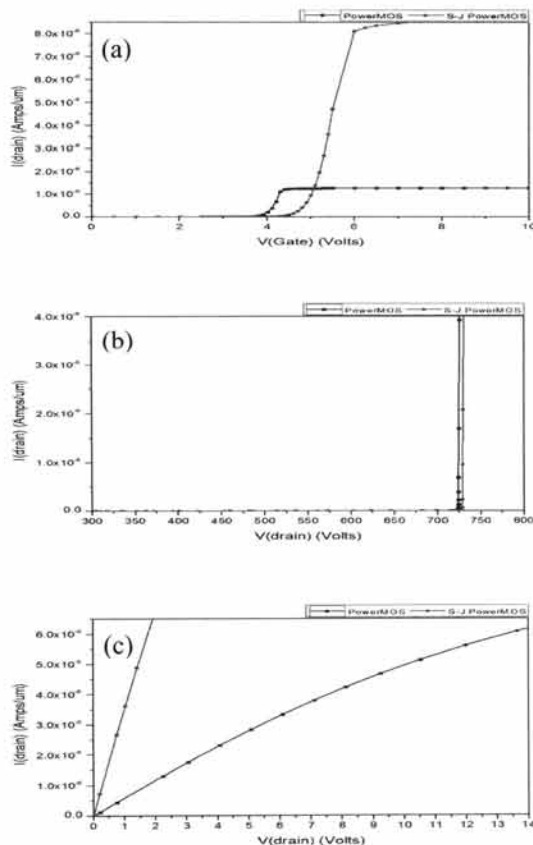


Fig. 6. Threshold voltage, breakdown voltage, on resistance optimization in respect of planar, super junction (a) V_{th}, (b) BV, (c) R_{on}.

Table 7. Threshold voltage, breakdown voltage, on resistance optimization in respect of planar, super junction.

	V _{th}	BV	R _{ds(on)} @ (100A/cm ²)
Planar MOSFET	3.7	722	0.15 Ω cm ²
Super Junction MOSFET	4.7	727	0.019 Ω cm ²

표에서 보듯이 같은 항복전압에서 super junction MOSFET이 온 저항이 큰 차이로 낮아짐을 볼 수 있었다.

4. 결론

Super junction MOSFET 구조에서 최대 항복전압의 특성은 N-드리프트와 P-필라의 전하 균형을 통하여 이루어지게 된다. Planar MOSFET에서 P-필라를 형성하여 전하균형을 통해 항복전압이 향상되는 것을 확인하였으며 게이트 전압을 10 V로 설정하여 planar MOSFET와 super junction MOSFET 특성 비교를 그림 6에 나타내었다. 그 결과 planar MOSFET과 동일한 항복전압을 유지하면서 온 저항이 약 87.4% 향상된 0.019 Ω cm²이 나타남을 알 수 있었으며 이로 인하여 온 저항 특성이 향상되어 전력 소자의 손실 전력을 개선됨을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 산학협동재단의 학술연구비지원과제로 수행된 연구 결과입니다.

REFERENCES

- [1] MOSFET Basics - Fairchild Semiconductor (2000).
- [2] G. P. Sim, B. S. Ann, Y. H. Kang, Y. S. Hong, and E. G. Kang, *J. KIEEME*, 26, 190 (2013).
- [3] H. S. Lee, E. G. Kang, A. Shin, H. H. Shin, and M. Y. Sung, *KIEE*, 2006, (2006).
- [4] Y. S. Hang, E. S. Jung, and E. Y. Kang, *J. KIEEME*, 25, 276 (2012).
- [5] J. H. Lee, E. S. Jung, and E. Y. Kang, *J. KIEEME*, 25, 270 (2012).