

## 고전압 전력소자를 보호하기 위한 센스펫 설계방법

경신수<sup>1</sup>, 서준호<sup>1</sup>, 김요한<sup>1</sup>, 이종석<sup>1</sup>, 강이구<sup>2</sup>, 성만영<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 전기공학과 반도체 및 CAD 연구실(<sup>a</sup>semicad@korea.ac.kr)

<sup>2</sup>극동대학교 컴퓨터정보통신표준학부

### A Design Method on Power Sensefet to Protect High Voltage Power Device

Sin Su Kyoung<sup>1</sup>, Jun Ho Seo<sup>1</sup>, Yo Han Kim<sup>1</sup>, Jong Seok Lee<sup>1</sup>, Ey Goo Kang<sup>2</sup> and Man Young Sung<sup>1,a</sup>

Semiconductor & CAD Lab., Dept. of Electrical Engineering, Korea University(<sup>a</sup>semicad@korea.ac.kr)

<sup>2</sup>Dept. of Information and telecommunication, Far East University

**Abstract** : Current sensing in power semiconductors involves sensing of over-current in order to protect the device from harsh conditions. This technique is one of the most important functions in stabilizing power semiconductor device modules. The sense FET is very efficient method with low power consumption, fast sensing speed and accuracy. In this paper we have analyzed the characteristics of proposed sense FET and optimized its electrical characteristics to apply conventional 450V power MOSFET devices by numerical and simulation analysis.

The proposed sense FET has the n-drift doping concentration  $1.5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ , size of  $600 \mu\text{m}^2$  with  $4.5 \Omega$ , and off-state leakage current below  $50 \mu\text{A}$ . We offer the layout of the proposed sense FET to process actually.

The offered design and optimization methods is meaningful, which the methods can be applied to the power devices having various breakdown voltages for protection.

**Key Words** : Sense FET, Protection, On-state resistance, Breakdown voltage, Size

### 1. 서 론

전력용 반도체에서 전류 감지는 초과 전류를 감지하여 전력반도체 소자를 보호하는 기능으로 전력용 반도체 소자 모듈의 안정성에 있어 가장 중요한 기능 중 하나이다. 일반적인 전류감지 방법에는 직렬로 연결한 저항으로 전류를 감지하는 방법, 전력용 소자에 병렬로 연결된 Rds 저항으로 감지하는 방법 등이 있으나, 그 중 단일소자 형태의 일체형의 전력용 MOS펫 소자의 소스 단자 일부분을 사용하여 병렬로 연결된 MOS를 구성하여 전류를 감지하는 센스펫을 사용한 전류 감지방법은 이전의 어떤 전류 감지방법보다 적은 전력 소모와 빠른 감지 속도, 정확성을 보여 가장 실용적이다[2,3]. 본 논문에서는 센스펫의 특성을 분석하고, 현재 전력용 소자 중 가장 널리 쓰이는 450 V 급 전력용 MOS펫 소자에 가장 적합한 센스펫의 특성을 도출하고, 최적설계를 수행하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 센스펫의 구조

센스펫의 등가회로와 구조를 그림 1에 도시하였다. 센스펫의 등가회로와 구조를 그림 1에 도시하였다. 그림 1에서 보듯이 주소자인 Power MOS와 전류 감지 소자인 센스펫은 드레인 전극을 공유하며, 같은 부하에 연결되어 있는 반면 소스 전극은 분리되어 있다. 즉 power MOS는 전류를 통과시키는 전력용 소자의 기능을 수행하기 위해 접지에 연결되지만 센스펫 는 전류 감지 소자에 연결되어 전류 감지 기능을 수행한다.

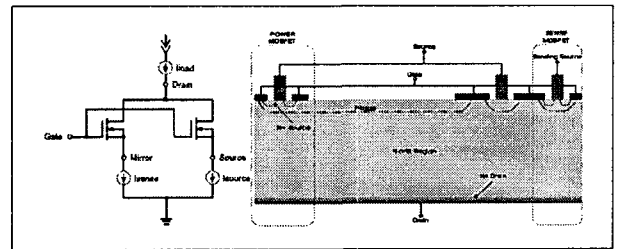


그림 1. 센스펫 등가회로(좌)와 소자의 단면도(우)

Fig. 1. sense FET equivalent circuit(left) and sense FET device cross-section view(right).

#### 2.2 센스펫 설계와 최적화

센스펫 에 있어 중요한 설계 파라미터인 항복전압, on-state resistance, zero gate voltage 드레인 전류를 수식과 시뮬레이션을 통해 설계하였다.

먼저 일반적인 계단접합의 항복전압 수식 (1)을 사용하여, 450 V 의 항복전압에 필요한 이론적인 n-drift 영역의 농도를 구하였다.

$$BV = 5.34 \times 10^{13} N_D^{-3/4} - (1)$$

다시 이를 이용하여 시뮬레이션을 통해 항복전압을 확인한 결과 설계에 사용할 수식 (2)를 구할 수 있다.

$$BV_{eq} \times 0.36 = BV_{device} \Rightarrow BV_{eq} = \frac{BV_{device}}{0.36} - (2)$$

수식 (1) 과 (2), 시뮬레이션을 이용하여 구한 항복전압 과 그에 따른 n-drift 영역의 도핑농도, 순방향 저지시의 공핍층의 길이 등을 표 1에 도시하였다.

표 1. 목표 항복전압에 따른 예상된 항복전압, 공핍층 길이, n- drift 도핑농도

Table1. Predicted breakdown voltage, depletion layer length, and doping concentration depending on target breakdown voltage.

N-drift의 도핑 농도(/cm <sup>3</sup> )	1.5e14	1.0e14	0.8e14
목표 항복전압(V)	450	600	750
시뮬레이션 결과(V)	665	911	700
예상결과(V)(시뮬레이션의 70%)	466	638	744
공핍층 길이(μm)	78	108	133

목표 항복전압 450 V 의 공핍층 길이 78 μm를 고려하여, 마진을 두어 n-drift 영역의 길이를 정한후 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2에 450 V 항복전압을 가진 센스펫이 차지하는 영역의 면적에 따른 온-저항의 크기를 시뮬레이션한 결과를 도시하였다.

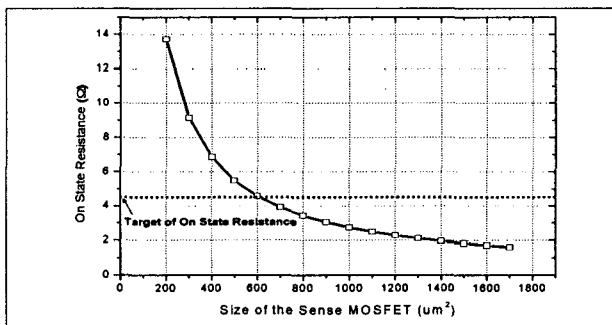


그림 2. 450 V의 항복전압을 가지는 구조의 센스펫 영역 크기에 따른 온-저항의 시뮬레이션 결과

Fig. 2. On-state resistance change depending on the size of sense FET

그림 2에서 보듯이 센스펫이 차지하는 영역의 넓이가 넓을 수록 온-저항이 감소한다. 온-저항의 경우 낮을수록 더욱 좋은 특성의 소자라고 할 수 있지만, 센스펫의 영역이 넓을수록 주소자의 면적이 감소하므로, 목표로 하는 온 저항에 대해서 최소로 작은 면적을 점유하도록 설계하여야 한다. 본 설계에서는 450 V 급에서 상업적인 소자들의 저항을 참고하여 4.5 Ω 미만의 온-저항을 가지도록 설계하였으므로, 센스펫은 600 μm<sup>2</sup>의 면적이 필요함을 그림 2의 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있다.

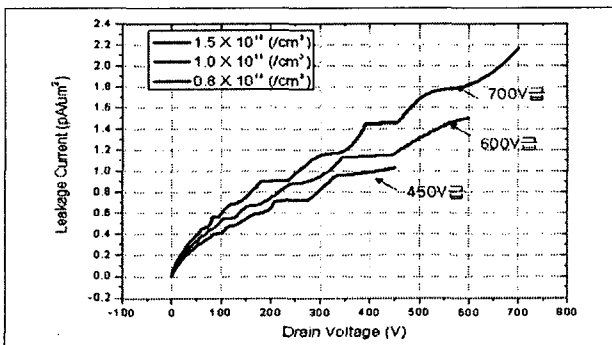


그림 3. 각 항복전압에 따른 '0' 게이트 전압시의 드레인 전류의 시뮬레이션 결과.

Fig. 3. zero gate voltage drain current simulation depending on each breakdown voltages

앞서 설계한 센스펫의 신뢰성을 평가하기 위해 off 상태에서의 누설전류를 나타내는 지표인 '0' 게이트 전압시의 드레인 전류를 시뮬레이션하여 그림 3에 도시하였다.

상업적으로 신뢰성을 가지는 센스펫의 경우 50 μA 미만의 off상태의 누설전류만을 허용하므로 그림 3의 시뮬레이션 결과에 따라 드레인 전압이 300 V에서의 누설전류량 1.03 pA/μm<sup>2</sup>를 고려할 때, 센스펫이 차지하는 면적의 크기는 4.9×10<sup>7</sup> μm<sup>2</sup> 이하가 되어야 한다. 따라서 앞서 설계한 온-저항에 따른 면적 600 μm<sup>2</sup>로 설계한 센스펫은 타당하다.

앞서 설계한 센스펫을 적용한 450 V 급 전력용 모스펫을 제작하기 위한 레이아웃을 그림 4에 도시하였다. 그림 4에 보듯이 접합마감 안에 주소자인 전력용 모스펫 영역의 일부를 센스펫 영역으로 할애하였다.

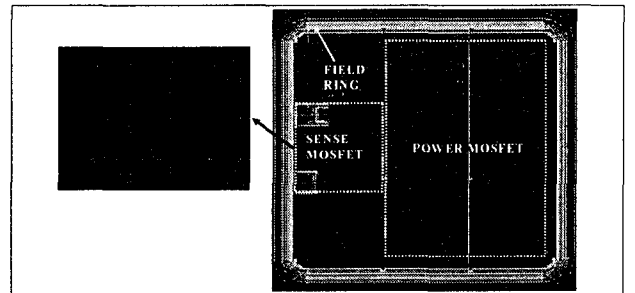


그림 4. 단위소자 레이아웃(좌)과 전체 OM image(우).

Fig. 4. The unit cell layout(left) and OM image(right)

### 3. 결론

시뮬레이션과 수식을 통해 450 V 급 전력용 모스펫에 적용할 수 있는 센스펫을 설계하고 실제 제작할 수 있는 레이아웃을 작성하여 제공하였다. 설계한 센스펫은 1.5×10<sup>14</sup> cm<sup>-3</sup>의 n-drift 농도를 가지고, 600 μm<sup>2</sup>의 공간을 차지하며, 50 μA 미만의 off 상태 누설전류를 가진다. 본 논문에서 제시한 센스펫 설계 방법과 최적화 설계는 여러가지 항복전압을 가지는 전력소자에 적용하여 센스펫을 설계하고 분석할 수 있음에 큰 의미가 있다.

### 참고 문헌

- [1] B.Jayant Baliga, "Power semiconductor devices", PWS, 1996
- [2] H. P. Forghani-zadeh, G. A. Rincon-Mora, "Current-Sensing Techniques for DC-DC converters ", MWSCAS-2002, Vol. 2, pII-577, 2002. 8
- [3] C. M. Yun, M. K. Han, Y. I. Choi, "A new power MOSFET with self current limiting capability", JELECTRONICS, Vol. 80, No. 2, p131, 1996
- [4] Frank. R. and Aloisi, "Power device with integrated protection." Proceedings of 4<sup>th</sup> European conference of PEA,p110, 1993
- [5] Simizu. Y, Harada. Y, Otaka. S, "A new IGBT with a monolithic over-current protection circuit.", Proceedings of ISPSD'94, p31, 1994