

Multi resurf MOSFET의 에피층 농도에 따른 전기적 특성분석

김형우, 김상철, 서길수, 김은동
한국전기연구원 전력반도체연구그룹

Electrical characteristics of the multi-resurf MOSFET

Hyoung-Woo Kim, Sang-Cheol Kim, Kil-Soo Sde, and Eun-Dong Kim
Korea Electrotechnology Research Institute, Power Semiconductor Group

Abstract

Charge compensation effects in multi-resurf structure make possible to obtain high breakdown volatage and low on-resistance in vertical MOSFET. In this paper, electrical characteristics of the vertical MOSFET with multi epitaxial layer is presented. Proposed device has n and p-pillar for obtaining the charge compensation effects and The doping concentration each pillar is varied from $5 \times 10^{14}/cm^3$ to $1 \times 10^{16}/cm^3$. The thickness of the proposed device also varied from $400\mu m$ to $500\mu m$. Due to the charge compensation effects, 4500V of breakdown voltage can be obtained.

Key Words : Multi-resurf, MOSFET, Breakdown, Charge compensation

1. 서론

전력 MOSFET 소자는 이미 널리 알려진 바와 같이 절연된 게이트에 인가되는 전압에 의해 소자의 on, off 상태를 제어하기 때문에 구동회로의 제작과 사용이 용이하고, 소자의 전류가 다수 캐리어에 의한 전류로써 스위칭 속도가 매우 빨라 고속 스위칭을 필요로 하는 응용분야에 적합하다. 그러나 전력 MOSFET는 앞에서 언급한 바와 같이 다수 캐리어만의 전류 흐름을 가지는 소자일 뿐만 아니라, 소자의 전류가 흐를 수 있는 경로가 채널로 제한되기 때문에 소자의 전류 밀도가 낮아 순방향 전압 강하가 크다는 것이 단점이다. 전력 MOSFET의 또 다른 중요한 특성으로 off 상태에 소자가 견디는 내압을 들 수 있다. 높은 내전압 특성을 가지는 전력용 소자를 설계하기 위해서는 소자의 에피층 두께가 두꺼워야 하고 불순물 농도가 낮아야 하지만 MOSFET의 경우 bipolar 소자와 같은 전도도변조 효과가 없기 때문에 소자의 순방향 전압 강하를 증가시키는 결과를 가져온다. 따라서 고전압 MOSFET의 설계시 소자의 내압과 순

방향 전압 강하와의 관계를 고려하여 최적의 조건을 도출하는 것이 소자 설계에 필수적이라고 할 수 있다. 그러나 복합 에피층을 가지는 소자의 경우 전하보상효과에 의해 높은 에피층 농도에서도 높은 항복전압을 얻을 수 있으며, 낮은 순방향 전압 강하 특성을 얻을 수 있다는 장점이 있다.[1-3] 본 논문에서는 n/p-에피층의 복합 에피층 구조를 가지는 MOSFET의 전기적 특성에 대해 연구하였다. 제안된 소자는 전하보상효과를 얻기 위해 에피층을 동일한 폭을 가지는 n/p-epi를 사용하였으며, 각 에피층의 농도는 $5 \times 10^{14}/cm^3$ 에서 $1 \times 10^{16}/cm^3$ 까지 변경하며 사용하였다. 또한 에피층의 두께는 $400\mu m$ 에서 $500\mu m$ 까지 변경시켜가며 사용하였다. 각 에피층의 농도를 $1 \times 10^{15}/cm^3$ 으로 에피층의 두께를 $500\mu m$ 로 사용하여 simulation한 결과 4500V의 항복전압을 얻을 수 있었다. 소자의 특성은 이차원 소자 simulator인 ATLAS를 사용하여 검증하였다.[4]

2. 본론

2.1 소자의 구조

Simulation에 사용된 소자의 구조를 그림 1에 나타내었다. 제안된 소자는 전하보상효과를 얻기 위해 에피층을 n/p-에피층의 복합 구조로 사용하였으며 각 pillar의 폭은 15 μm 로 동일하게 사용하였다. 에피층의 두께는 400 μm 를 사용하였으며, N+/P- base/P+의 접합깊이는 각각 1, 3, 5 μm 를, N+ drain의 두께는 20 μm 를 사용하였다. Pillar의 농도 변화에 따른 전기적 특성의 변화를 보기 위해 각각의 에피층 농도는 5 $\times 10^{14}/\text{cm}^3$ 에서 1 $\times 10^{16}/\text{cm}^3$ 까지 변화시켜가며 simulation을 수행하였다. 표 1에 simulation에 사용된 소자의 변수를 나타내었다.

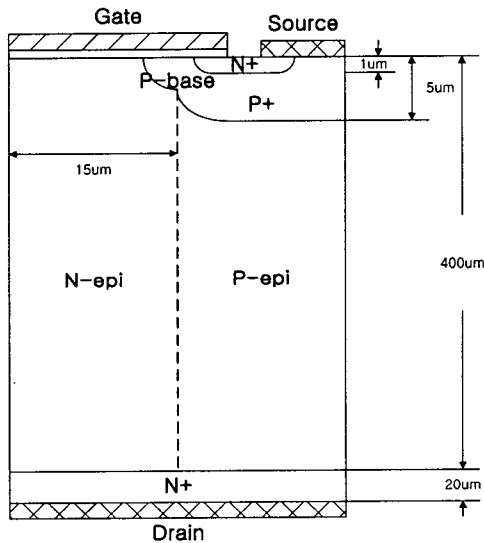


그림 1. Simulation 사용된 소자구조도.

표 1. Simulation에 사용된 소자 변수.

Tepi	400~ 500 μm	N+ depth	1 μm	P-base	3 μm
P+	5 μm	N+ drain	20 μm	Epi width	15 μm

2.2 Simulation결과 및 분석

On 및 off 상태에서 소자의 특성은 이차원 소자 simulator인 ATLAS를 사용하여 검증하였다. 그림 2에 제안된 소자의 I-V 특성을 나타내었다. n-/p-에피층의 농도는 1 $\times 10^{15}/\text{cm}^3$ 을 사용하였으며,

gate에는 10V를 인가하고 에피층의 두께는 400 μm 를 사용하였다. 일반적으로 전류가 흘러가는 영역의 폭이 줄어들 경우 온-저항이 상승하게 되지만 복합 에피층을 사용할 경우 p-에피층이 차지하는 영역이 전류가 거의 흐르지 않는 dead zone이고, 또 에피층의 농도가 높기 때문에 동일한 항복 전압을 가지는 소자에 비해 낮은 온-저항을 얻을 수 있다. 그림 3은 on 상태에서의 소자의 전류 흐림도를 나타낸 것이다. 기존의 n-에피층으로만 된 소자의 경우 p-base 하단의 에피층 영역은 전류가 거의 흐르지 않는 dead zone이었으나 복합 에피층을 가지는 소자의 경우 이 영역이 p-에피층으로 되어 있고, 대부분의 전류가 흐르는 영역만이 n-에피층으로 구성되어 있어 전류의 확산 현상이 줄어들어 전류의 흐름이 n-에피층 전체에 걸쳐 고르게 분포되고 있음을 알 수 있다.

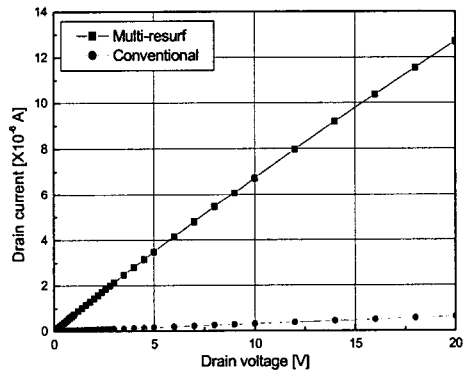
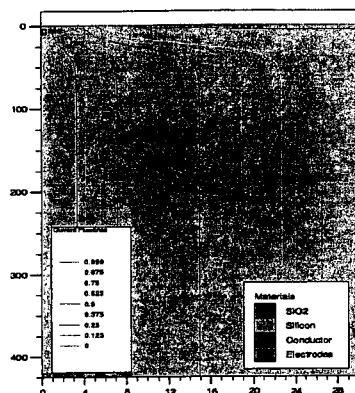
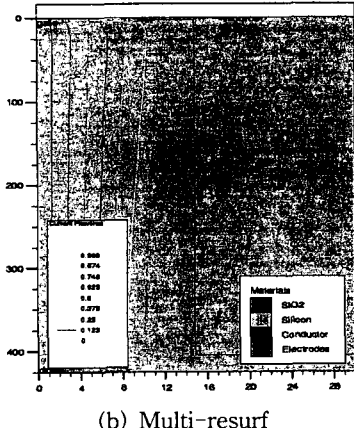


그림 2. 제안된 소자의 I-V 특성.



(a) Conventional



(b) Multi-resurf

그림 3. On 상태에서 소자 내부에서의 전류흐름도.

그림 4는 제안된 소자의 n-/p-에피층의 농도를 $5 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 부터 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 까지 변화시켜 가며 simulation 하였을 때 항복전압의 변화를 나타낸 것이다. 각각의 에피층의 농도를 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 으로 사용한 경우 약 4500V 이상의 항복전압을 얻을 수 있었다. 제안된 소자와 같이 복합 에피층을 사용하는 구조의 경우 에피층 전체가 공핍될 수 있는 농도와 두께를 사용하면 전하 보상 효과에 의해 높은 에피층 농도에서도 높은 항복전압을 얻을 수 있다. 그러나 에피층의 농도가 지나치게 높은 경우에는 에피층 전체가 공핍되지 않게 되고, 너무 낮은 농도를 사용한 경우에는 에피층 전체가 공핍되어도 전계가 에피층 전체에 고르게 분포되지 않고 drain 쪽으로 치우쳐서 분포되기 때문에 낮은 항복전압을 나타낸다.

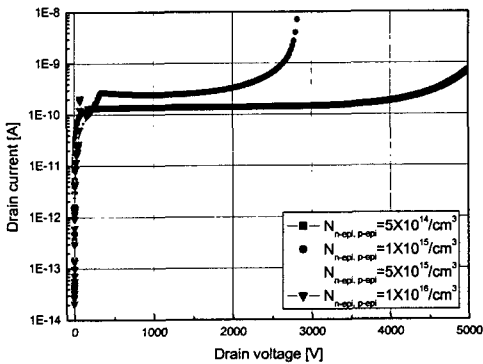


그림 4. 에피층 농도 변화에 따른 항복전압 특성.

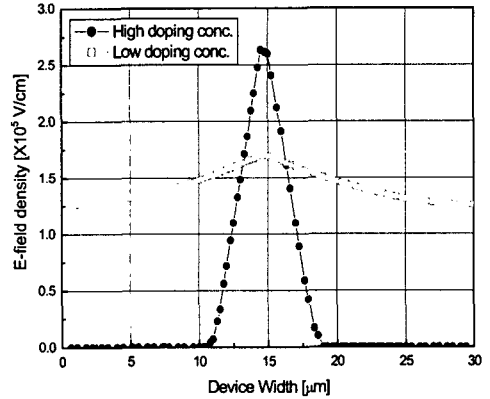


그림 5. 에피층 농도에 따른 전계분포도.

농도가 높은 경우와 낮은 경우에 에피층에서의 전계분포를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 농도가 높은 경우에는 에피층 전체가 공핍되지 않고 n-/p-에피층의 경계에서 최대 전계가 나타나고 농도가 낮은 경우에는 전하 보상 효과에 의해 에피층 전체가 공핍되어 전계의 분포가 비교적 에피층 전체에 고르게 나타남을 알 수 있다.

그림 6은 에피층의 두께에 따른 항복전압의 변화를 나타낸 것이다. 에피층의 농도는 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 으로 고정하였으며, 두께는 400micrometers에서 500micrometers까지 50micrometers씩 증가시켜가며 simulation을 수행하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 에피층의 두께가 500micrometers인 경우에 가장 높은 항복전압을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

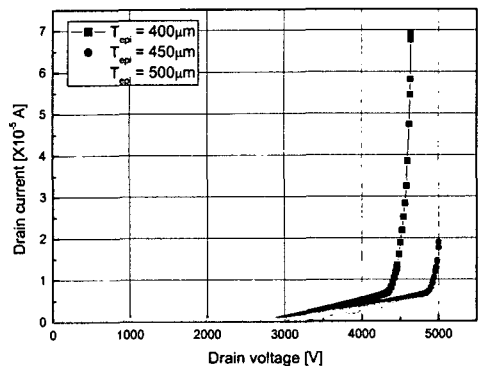


그림 6. 에피층의 두께에 따른 항복전압 특성.

그림 7에 에피층의 두께가 400 μm 인 경우와 500 μm 인 경우에 소자 내부에서의 전계분포와 등전위 분포를 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 500 μm 의 에피층 두께를 사용한 경우 전계의 분포가 에피층 전체에 걸쳐 균일하게 분포되어 있으나 400 μm 의 에피층 두께를 사용하였을 때에는 전계의 분포가 균일하지 않고 drain 쪽으로 좀더 치우쳐서 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 전위 분포에 있어도 500 μm 의 에피층 두께를 사용한 경우가 좀더 완전하게 전위 분포가 일어나고 있다. 이것은 에피층 전체가 공핍되어 전계의 재분포가 일어나고 있는 있으나 에피층 전체에 전계가 균일하게 분포되기 이전에 drain 쪽에서의 전계값이 임계치에 도달하기 때문이다.

3. 결론

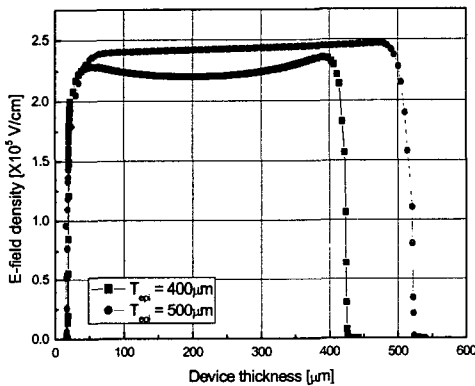
N-/p-의 복합 에피층 구조를 가지는 수직형 MOSFET의 전기적 특성에 관해 조사하였다. 복합 에피층 구조는 전하 보상 효과를 이용하는 소자로 적절한 에피층 농도와 두께를 사용할 경우 온-특성의 저하 없이 높은 항복전압을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 N-/p-에피층의 농도 및 두께가 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$, 500 μm 인 경우에 4500V의 항복전압을 얻을 수 있었다. 또한 동일한 항복전압을 가지는 단일 에피층 구조의 MOSFET와 비교한 결과 순방향 특성에서도 월등히 좋은 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

감사의 글

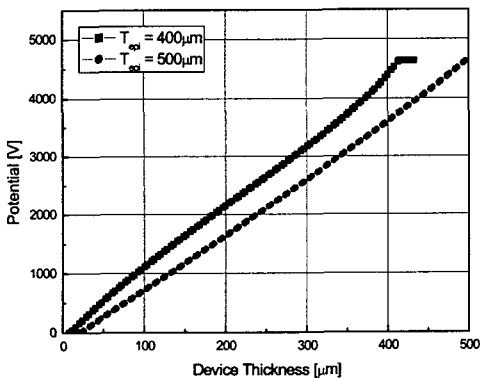
본 논문은 과학기술부 중점국가연구개발사업의 전력용 반도체 기술개발 사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] B. Murari, F. Bertotti, and G. A. Vignola, Smart Power ICs, New York, Springer, 1995.
- [2] Tihanyi, US-patent 5,438,215, 1995.
- [3] Yusuke Kawahuchi et al., "Predicted Electrical Characteristics of 4500V Super Multi-Resurf MOSFET", Proc. 11th ISPSD, pp. 95-98, 1999.
- [4] Silvaco TCAD Manuals, Atlas, Silvaco International, Co. USA.



(a) 전계 분포도



(b) 등전위 분포도

그림 7. 에피층 두께에 따른 소자 내부에서의 전계 및 등전위 분포도