

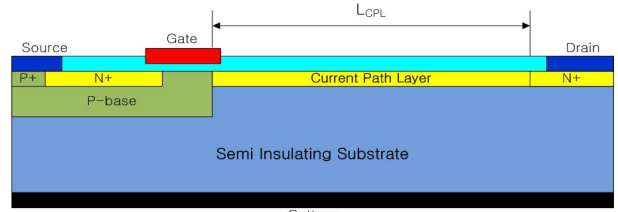
반절연 기판을 이용한 저손실 4H-SiC LDIMOSFET의 동작 특성 연구

김형우*, 김기현*, 이경호*, 김민성**, 서길수*
한국전기연구원*, 창원대학교**

Study on the characteristics of low loss 4H-SiC LDIMOSFET implemented on semi-insulating substrate

Hyoung-Woo Kim*, Ki-Hyun Kim*, Kyoung-Ho Lee*, Min-Sung Kim**, and Kil-Soo Seo*
Korea Electrotechnology Research Institute*, Changwon National University**

Abstract - 반절연 4H-SiC 기판을 이용한 LDIMOSFET에 대해 전류 통전 영역의 길이에 따른 항복전압 및 순방향 특성을 분석하였다. 또한, 온도 변화에 따른 역방향 상태 및 벌크 트랩 유무에 따른 누설전류 특성을 분석하였다. 전류 통전 영역의 두께를 0.2 μm 로 고정시키고 농도를 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 까지 변화하였을 때 $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 인 경우에 1710V로 가장 높은 항복전압을 나타내었으며, 농도가 $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 이상인 경우 항복전압은 감소하는 특성을 나타내었다. 제한한 소자의 순방향 특성에 대해서도 simulation을 통해 특성을 분석하였으며, 항복전압이 1710V인 경우 온 저항은 0.351 $\Omega\text{-cm}$ 를 나타내었다. 또한 벌크 트랩이 있는 경우에 대해 온도 변화 및 전류 통전 영역의 길이 변화에 따른 역방향 바이어스 상태에서의 누설전류 특성 변화에 대해서도 분석하였다.



〈그림 1〉 반절연 탄화규소 기판을 사용한 LDIMOSFET 구조

1. 서 론

탄화규소(SiC) 반도체는 재료 자체의 뛰어난 전기적, 열적 특성으로 인해 고전압, 고온 특성을 필요로 하는 소자에 제작에 많이 사용되는 물질로 고전압 반도체 소자 분야에서도 많이 연구되고 있다.[1,2]

탄화규소의 물질적인 특성은 탄화규소를 사용한 전력반도체 소자가 실리콘을 사용한 소자에 비해 역방향 및 순방향에서 뛰어난 특성을 가질 수 있도록 해준다. 특히 높은 농도에서도 항복전압 특성이 뛰어나기 때문에 낮은 온-저항과 높은 항복전압 특성의 구현이 가능하여 일반적으로 전력반도체 소자가 많이 사용되는 분야인 전원장치의 효율 향상이나 전력소모 절감에 유리하다.

수평형 전력반도체 소자의 경우 고전압 IC 제조분야 및 응용분야에 많이 사용되어 왔다.[3] 그러나 아직까지 탄화규소를 이용한 수평형 반도체 소자에 대한 연구는 미미한 실정이다. 탄화규소를 이용한 수평형 반도체 소자를 전원장치 제어용 고전압 IC 분야에 적용할 경우 제어 IC에서의 전력소모 절감 및 고온 구동이 가능하기 때문에 최근 전원장치 분야에서 필요로 하는 효율 향상 및 대기전력 절감에 유리하다. 특히 휴대용, 패드용 어댑터와 같이 10W 미만의 낮은 출력 전력을 가지는 소용량 전원장치용 제어 IC에 적합하다.

본 논문에서는 일반적으로 수평형 탄화규소 소자의 제작에 많이 사용되는 에피 기판 대신 반절연 탄화규소 기판을 사용한 수평형 소자에 대해 전류 통전 영역의 길이 및 농도 변화에 따른 역방향 및 순방향 특성을 분석하였다. 또한 벌크 트랩이 있는 경우에 대해 온도 변화 및 전류 통전 영역의 길이 변화에 따른 역방향 상태에서의 누설전류 특성 변화에 대해서도 분석하였다.

소자의 특성 검증 및 분석에는 2차원 소자 시뮬레이터인 ATLAS[4]를 사용하였다.

2. 본 론

2.1 소자 구조

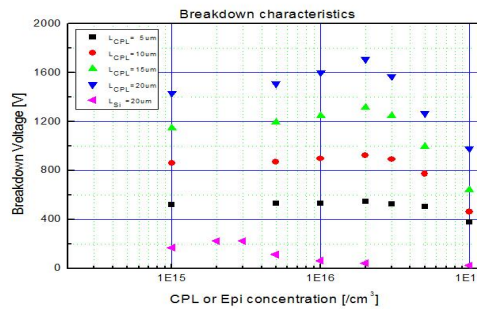
그림 1에 본 시뮬레이션에 사용된 소자의 구조를 나타내었다. 시뮬레이션에 사용된 구조는 수평형 planar 구조로 반절연 기판에서의 전류 통전이 가능하도록 하기 위해 0.2 μm 깊이의 전류 통전 영역을 사용하였다. 전류 통전 영역의 길이 및 농도는 각각 5 ~ 20 μm , $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 로 변화하였다. 상세한 설계 변수는 표 1에 나타내었다.

〈표 1〉 소자 설계 변수

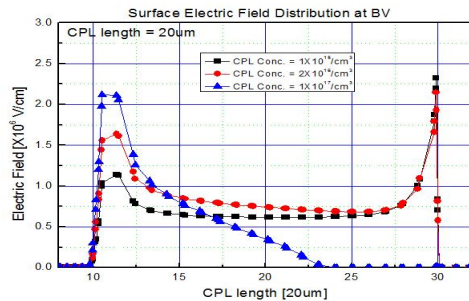
변수	도핑농도	두께 또는 길이
반절연 기판	$1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 이상	-
P-base	$3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$	0.7 μm
N+source/Drain	$1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$	0.2 μm
전류 통전 영역	$1 \times 10^{15}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$	0.2 μm

2.2 시뮬레이션 결과 및 분석

소자의 특성은 2차원 소자 시뮬레이터인 ATLAS를 사용하여 검증하였다. 그림 2에 상온에서 전류 통전 영역의 길이 및 농도 변화에 따른 역방향 특성을 나타내었다. 전류 통전 영역의 농도가 $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 이고 길이가 20 μm 인 경우에 항복전압이 1710V로 가장 높게 나타났으며, 동일한 20 μm 의 전류 통전 영역 길이를 가지는 실리콘 소자에 비해 농도에 따라 약 20배 이상 높은 항복전압을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 그림 2에서 볼 수 있듯이 전류 통전 영역의 길이와 상관없이 농도가 $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 이상으로 증가하거나 낮아질 경우 항복전압은 감소하는 특성을 나타낸다. 이는 그림 3의 표면 전계 분포에서 확인할 수 있듯이 전류 통전 영역의 농도가 증가할 경우에는 전류 통전 영역 전체가 공핍되지 않아 소자의 게이트 하단부에 전계가 집중되고, 농도가 낮은 경우에는 빠른 공핍으로 인해 드레인 하단부에 전계가 집중되기 때문이다.

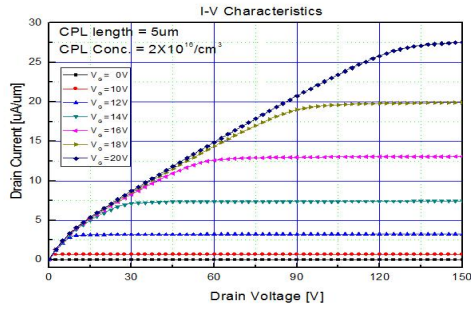


〈그림 2〉 전류 통전 영역 길이 및 농도에 따른 항복전압 특성



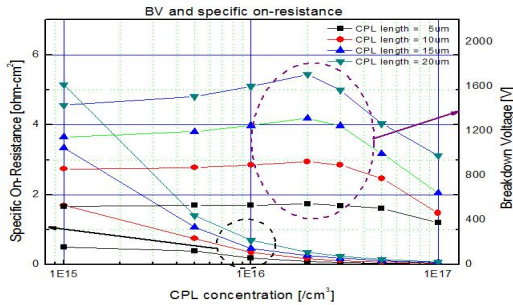
〈그림 3〉 전류 통전 영역 농도에 따른 표면 전계분포

그림 4는 전류 통전 영역의 길이와 농도를 각각 5 μm , $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 로 고정한 경우에 게이트 전압 및 드레인 전압 변화에 따른 순방향 특성을 나타낸 것이다.

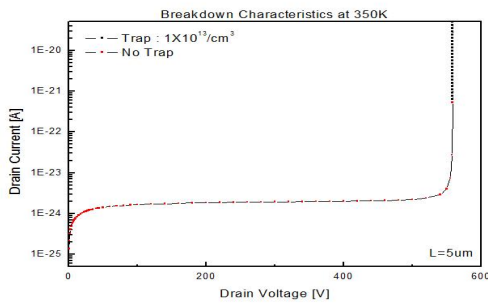


〈그림 4〉 순방향 특성

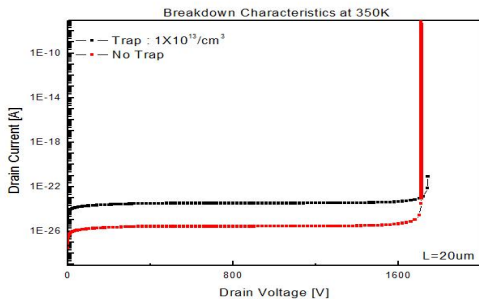
본 논문에서 사용한 소자의 경우 농도가 낮아질 경우 전류 통전 영역의 두께가 얇기 때문에 실리콘에 비해 낮은 전류값을 나타내는데 이는 전류 통전 영역의 두께를 증가시킬 경우 개선이 가능할 것으로 판단된다. 그림 5에 전류 통전 영역의 길이 및 농도 변화에 따른 항복전압 및 온-저항 특성을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 전류 통전 영역의 길이 및 농도가 각각 20 μm 및 $2 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 인 경우에 항복전압은 1710V, 온저항은 $0.351 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 를 나타낸다.



〈그림 5〉 전류 통전 영역 길이 및 농도에 따른 항복전압 및 온-저항 특성



(a) 전류 통전 영역 길이 : 5 μm



(b) 전류 통전 영역 길이 : 20 μm

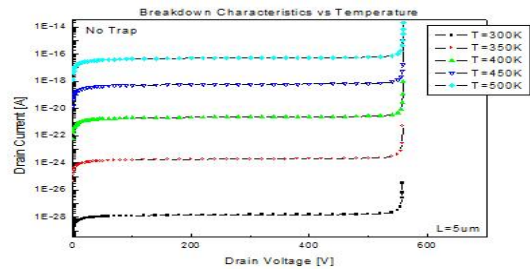
〈그림 6〉 벌크 trap 유무에 따른 역방향 누설 전류 특성

본 논문에서 제안한 소자의 경우 전류 통전 영역의 길이와 상관없이 농도가 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 보다 낮을 경우 실리콘에 비해 높은 온-저항 특성을 가지는데 이는 앞서 기술한 바와 마찬가지로 얇은 전류 통전 영역 두께에 따른 것으로 전류 통전 영역의 두께를 증가시킬 경우 개선이 가능하

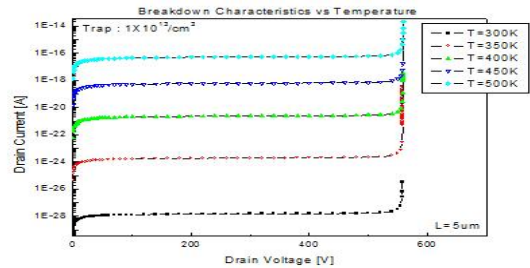
다.

그림 6은 벌크 트랩 유무에 따른 역방향 누설 전류 특성을 나타낸 것이다. 전류 통전 영역의 길이가 5 μm 로 짧은 경우 벌크 트랩은 역방향에서의 누설 전류 특성에 큰 영향을 주지 않으나 전류 통전 영역의 길이가 긴 경우에는 벌크 트랩이 있는 경우 누설 전류가 증가하는 특성을 나타낸다. 일반적으로 벌크 트랩이 있는 경우 carrier generation rate가 증가하기 때문에 누설 전류가 증가하지만 전류 통전 영역의 길이가 짧은 경우에는 벌크 트랩에 의한 carrier generation 보다 높은 전계에 의한 유효 이온화에 따른 carrier generation이 더 큰 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다.

그림 7은 온도 변화에 따른 역방향에서의 누설 전류 특성을 나타낸 것이다. 온도는 300K ~ 500K까지 50K씩 증가하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 온도가 증가할수록 역방향에서의 누설전류가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 온도가 증가할수록 전류 통전 영역에서의 intrinsic carrier 농도가 증가하기 때문이다. 또한 앞서 기술한 것과 같이 전류 통전 영역의 길이가 짧은 경우 벌크 트랩은 온도가 증가해도 역방향 누설 전류 특성에는 영향을 주지 않는 것을 확인하였다.



(a) 벌크 트랩 無



(b) 벌크 트랩 有

〈그림 7〉 온도에 따른 역방향 누설 전류 특성

3. 결 론

반절연 탄화규소 기판을 이용한 LDIMOSFET의 역방향 및 순방향 특성을 분석하였다. 전류 통전 영역의 길이와 농도를 변화시켜가며 시물레이션을 수행한 결과 온-저항은 $0.024 \sim 5.15 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 까지 변화하였다. 항복전압의 경우 520V ~ 1710V까지 변화하였으며, 전류 통전 영역의 길이 및 농도를 20 μm , $2 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 로 하였을 때 1710V로 가장 높은 항복전압을 나타내었다.

반절연 탄화규소 기판을 사용한 LDIMOSFET의 경우 전류 통전 영역의 두께가 최적화되지 않은 상태이기 때문에 향후 최적화를 통해 더 높은 항복전압 및 낮은 온-저항을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

[감사의 글]

본 연구는 2014년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20122020100150)

[참 고 문 헌]

[1] M. Bhatnagar and B. J. Baliga, "Comparison of 6H-SiC, 3C-SiC and Si for power devices", IEEE Trans. ED. Vol. 40, No. 3, pp. 645-655, 1993.
 [2] R. J. Trew, H. B. Yan and P. M. Mock, Proc. IEEE, Vol. 79, pp. 598-620, 1991.
 [3] J. A. Appels and H. M. J. Vaes, IEDM Tech Dig., pp. 238, 1979.
 [4] Silvaco TCAD, Manuals, ATLAS, Silvaco International Co. USA