

탄화규소(4H) 기판의 초고내압용 접합 장벽 쇼트키 다이오드의 특성 모델링

송재열*, 방욱, 강인호, 이용재*

*동의대학교 전자공학과, 한국전기연구원

Characteristics Modeling of Junction Barrier Schottky Diodes for ultra high breakdown voltage with 4H-SiC substrate

Jaeyeol Song*, Uk Bang, Inho Kang, Yongjae Lee*

*Donggeui University, KERI,

E-mail : yjlee@deu.ac.kr

요약

넓은 에너지 갭의 물질인 탄화규소(4H)기판을 사용하여, 초고내압을 위한 접합장벽 쇼트키 구조의 소자를 설계하여 제작하였다. 측정결과로써 소자의 역방향 I-V 특성은 1000V 이상의 항복전압을 보였고 p-grid의 설계 최적 길이는 3 μ m 간격이었다. 이 연구에서는 제작한 소자의 공정 조건 파라미터들을 사용하여 I-V 특성을 모델링 하였고 I-V 특성 파라미터들을 추출하여 실제 소자 파라미터와 비교, 분석하였다.

ABSTRACT

Devices of junction barrier schottky(JBS) structure using 4H-SiC substrates with wide energy band gaps was designed and fabricated. As a measurement results, the device of reverse I-V characteristics was shown as more than 1000 V, its design optimum length of p-grid was 3 μ m space. In this paper, I-V characteristics was modeled by using of device fabricated process conditions parameters and it was extracted that the I-V property parameters, and it was compared and analyzed with between device parameters and model parameters.

키워드

SiC, JBS, P-grid, modeling, trade-off

서론

탄화규소(Silicon Carbide : SiC) 는 밴드갭이 2.2-3.4[ev]로 실리콘의 1.12[ev]와 비교해 2~3배 정도 넓다. 열전도도 역시 4.9[W/cmK]로 실리콘

에 비해 월등한 특성을 나타낸다. 이러한 장점으로 고전압 소자로서 활용할 수 있는 우수한 재료이다. 탄화규소를 이용한 접합장벽 쇼트키(Junction Barrier Schottky : JBS) 다이오드는 전

력용 다이오드의 대표적 구조의 하나로서 쇼트키 다이오드의 낮은 턴온 전압, 빠른 스위칭 특성과 PiN 다이오드의 높은 항복전압, 낮은 누설 전류의 장점만을 이용하기 위해 고안된 소자이다. 이 논문에서는 이론적 해석과 실험결과를 바탕으로 제작된^[4] 접합 장벽 쇼트키 다이오드의 특성분석을 수행하였다.

소자 구조

그림1. 4H-SiC JBS 다이오드의 단면과 등가회로

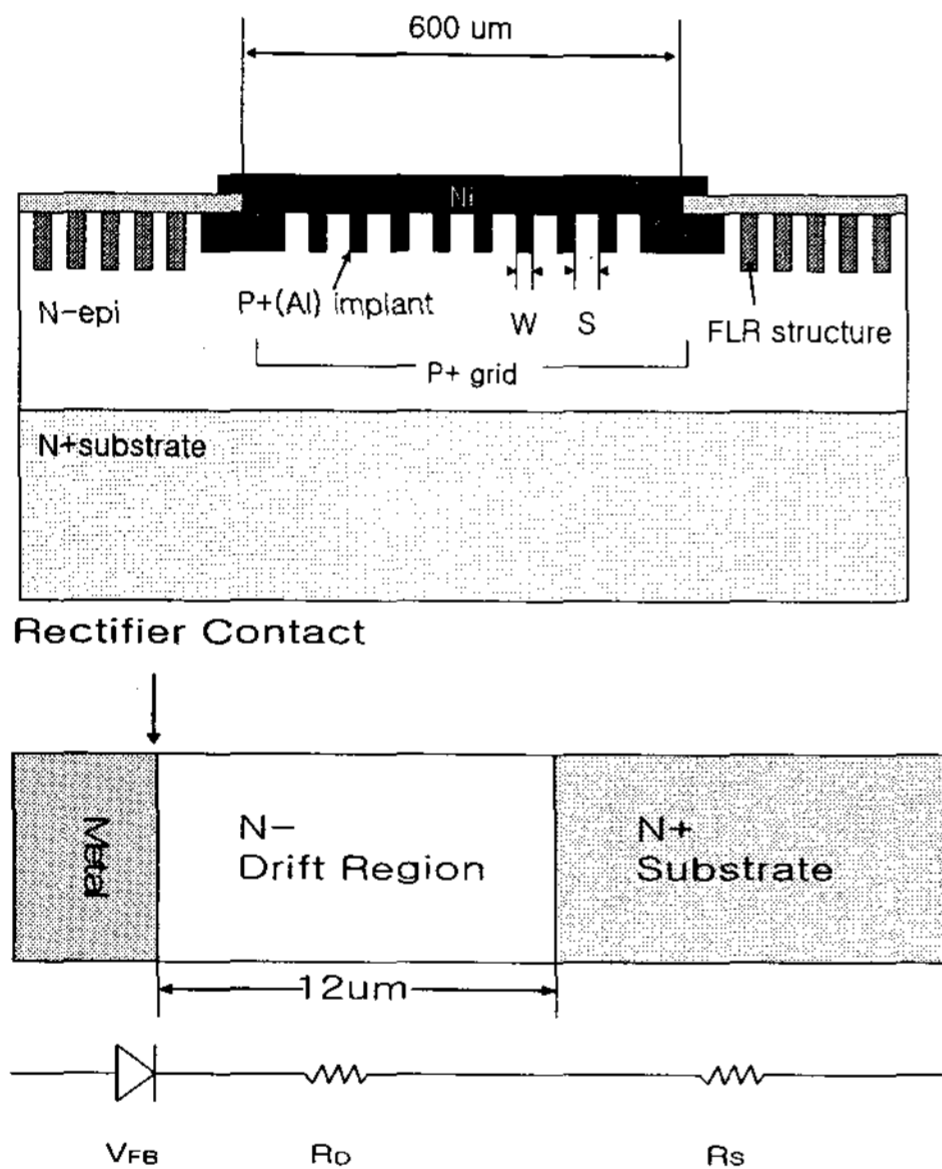


Fig.1 Cross sectional view and equivalent circuit of planer structure JBS

JBS 다이오드의 단면은 그림1과 같다. 에피 두께와 도핑농도는 각각 $12\mu\text{m}$, $5 \times 10^{15} [\text{cm}^{-3}]$ 이며 기판의 농도는 $3 \times 10^{17} [\text{cm}^{-3}]$ 이다. P+그리드 영역의 형성은 Ni/B 이다. p-그리드 영역의 접합 깊이는 대략 $0.8\mu\text{m}$ 정도이다. 앞면의 쇼트키 접촉의 형성을 위해 사용된 금속은 Ni(3000\AA) 이며 이온 주입된 p-그리드(P+grid)는 p-그리드 영역의

폭(W)과 에피층과 메탈간의 쇼트키 영역에서 B(boron)이 측면 확산하기 전의 p-그리드 영역 사이의 공간(S)으로 표현된다. 이 두 파라미터는 순방향 전압 강하와 역방향 누설 전류 사이의 trade-off 에 있어 중요한 설계 파라미터이다.

소자 모델링

SiC JBS 다이오드의 전도 전류는 단지 쇼트키 영역을 통해 흐르기 때문에 순방향 전압 강하는 높은 턴온 전압의 SiC PN 접합 다이오드와 비교해 낮은 쇼트키 장벽 높이에 기인해 낮다. 4H-SiC JBS 다이오드의 순방향 전류 전압(I-V) 특성을 그림2에 나타내었다. 순방향 턴온 전압은 S 가 3, 5, 7, $9\mu\text{m}$ 로 변하고 W 가 $3\mu\text{m}$ 로 고정되었을 때 1.3 V 로 나타났다. 간격의 변화에 따른 JBS 다이오드의 측정결과를 통해 p-그리드 영역간의 간격이 증가함에 따라 순방향 전압강하는 감소하고 series 저항 또한 감소함을 알 수 있었다.

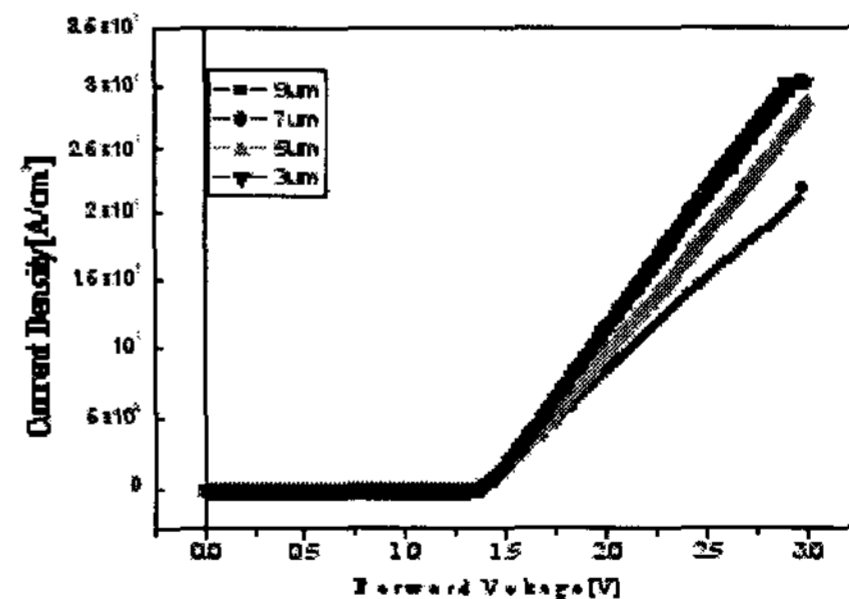


그림2. 순방향 전류전압(I-V) 특성(p-그리드 폭 $3\mu\text{m}$, 간격 3, 5, 7, $9\mu\text{m}$)

Fig2. Forward I-V characteristics along to p- grid width $3\mu\text{m}$ and space($3\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$, $7\mu\text{m}$, $9\mu\text{m}$)

JBS 다이오드의 순방향 I-V 특성은 식(1-1)에 의해 결정된다.^[3]

$$V_F = \frac{\eta k T}{q} \ln \left(\frac{J_F}{A^{**} T^2} \right) + \eta \phi_B + R_{on} J_F \quad (1-1)$$

이 식에서 V_F 는 순방향 전압강하, k 는 볼츠만 상수, η 는 이상화인자, ϕ_B 는 쇼트키 장벽 높이, A^{**} 는 Richardson 상수, 이 값은 SiC에서 보통 $146 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$ 이다.

그림3은 소자 모델링을 위해 중요 파라미터들 (η , ϕ_B , R_{on}) 변화시켜가며 제작된 소자 특성 결과와 비교한 시뮬레이션 그림이다.

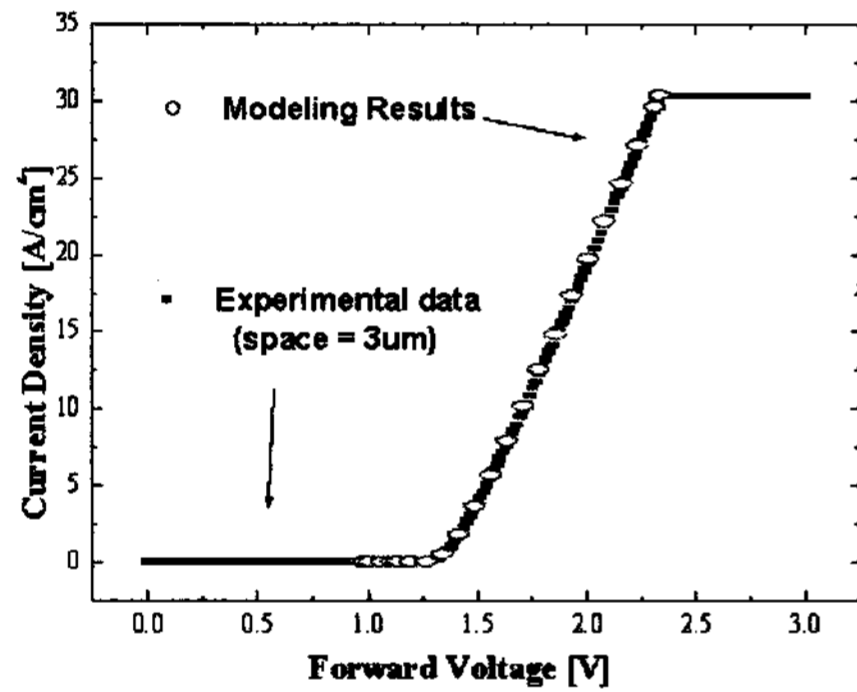


그림3. 실험 결과 와 비교된 시뮬레이션 결과

Fig3. The simulation result compared with experimental result

역방향 I-V 특성은 그림4,5 에 나타내었다.

P 그리드 영역의 간격이 증가함에 따라 JBS 다이오드의 누설전류는 쇼트키 접촉에서의 전계의 증가로 인해 또한 증가함을 확인 할 수 있었다.

최적화된 P-grid 간격인 $3\mu\text{m}$ 에서 1180V 의 최대 항복 전압을 얻을 수 있었다.

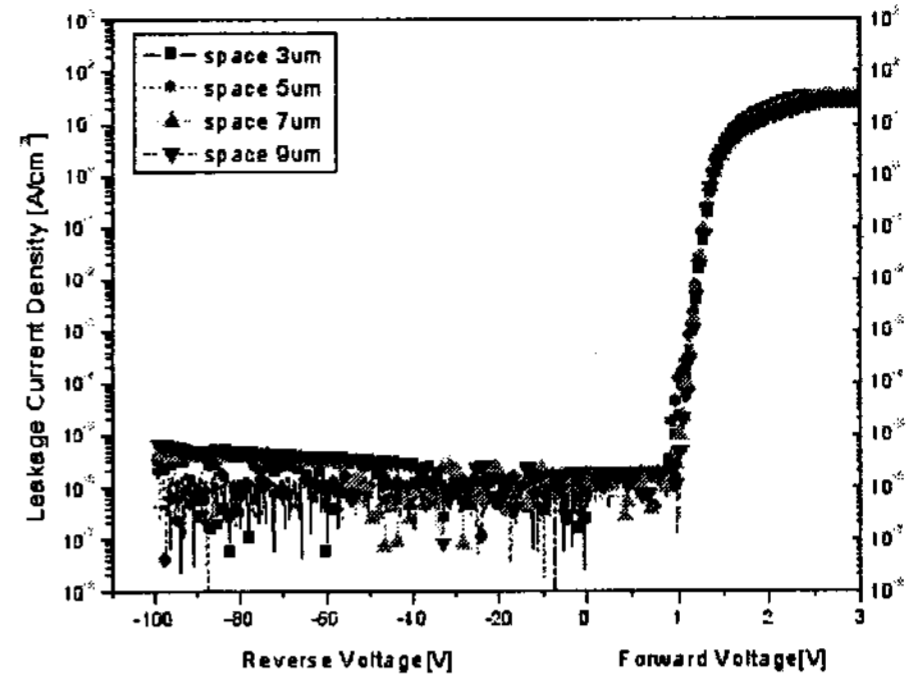


그림4 역방향 누설전류와 순방향 I-V 특성

(p-그리드 폭 $3\mu\text{m}$, 간격 3, 5, 7, $9\mu\text{m}$, 역방향전압 100V)

Fig4 Reverse leakage current and forward I-V characteristic (p-grid width $3\mu\text{m}$, space 3, 5, 7, $9\mu\text{m}$)

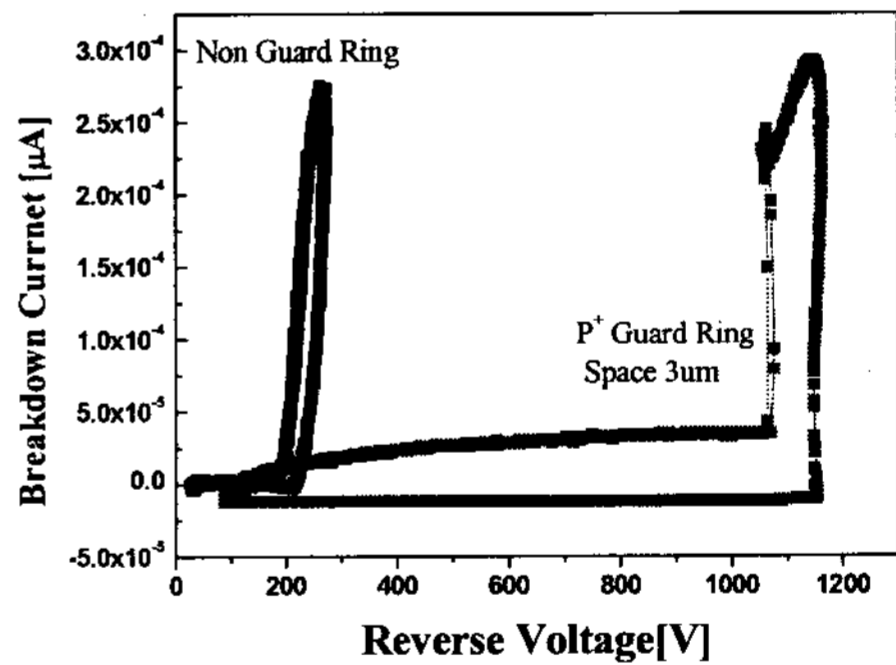


그림4 역방향 항복 전압 특성

(p-그리드 폭, 간격 $3\mu\text{m}$)

Fig4 Reverse breakdown characteristics

(P-grid width, spacing $3\mu\text{m}$)

결론

4H-SiC 접합 장벽 쇼트키(JBS) 다이오드를 설계, 제작하여 특성을 살펴보았다. P+ 영역의 간격이

3 μ m 일 때 순방향에서는 쇼트키 다이오드 같은, 역방향 특성에서는 PiN 다이오드와 같은 특성을 보여 trade-off 면에서 적합함을 확인할 수 있었다. 측정된 결과를 바탕으로 시뮬레이션을 통해 소자 모델링을 시도하였고 소자 특성에 있어 중요한 파라미터들을 추출할 수 있었다.

Acknowledgements

"이 논문은 2007년도 Brain Busan 21사업에 의하여 지원되었음"

Reference

- [1] S. J. Yu "Breakdown Voltage Characteristics of SiC Schottky Barrier Diode with Aluminum Deposition Edge Termination Structure" JKPS Vol. 49. Dec. pp. S768-S773, 2006
- [2] Lin Zhu et al. "Design Fabrication, and Characterization of Leakage Forward Drop, Low Leakage, 1-kV 4H-SiC JBS Rectifiers" IEEE Trans. On Electron Device, vol. 53, no. 2, pp. 363-368, Feb. 2006
- [3] F. Dahlquist, et al.: Mater. Sci. Forum Vol.338-342 (2000), p.1179
- [4] 송재열, 방 욱, 강인호, 이용재. "고내압을 위한 탄화규소(4H) 접합 장벽 쇼트키 다이오드의 전기적 특성 분석" 춘계 합동학술대회 2007.