

Guard Ring을 가진 Trench 쇼트키 다이오드

문진우, 정상구, 최연익
아주대학교 전자공학과

Trench Schottky Diode with Guard Ring

Jin-Woo Moon, Sang-koo Chung
School of Electronics Engineering, Ajou University

Abstract - A Trench schottky diode with guard ring is proposed to improve the forward current density and reverse breakdown voltage. The simulation results by Silvaco have shown that the reverse breakdown voltage of the proposed device was found to be 22.1V while that of conventional trench device was 17.25V. The breakdown voltage of the proposed structure was 28.1% higher than that of the conventional trench structure.

1. 서 론

쇼트키(schottky) 다이오드는 금속과 반도체의 일함수(workfunction) 차이로 생기는 장벽 높이(barrier height)를 사용한 쇼트키 contact을 이용한 다이오드이다. 또한 N⁻ 에피층을 이용한 단일 캐리어 소자로서 순방향에의 낮은 전압 강하와 빠른 스위칭 속도를 특징으로 가져 널리 이용되고 있다. 그러나 역방향에서의 낮은 항복 전압은 약점으로 지적되고 있다.

Trench 쇼트키 다이오드는 trench 구조를 사용해서 애노드의 contact 면적을 늘림으로서 순방향에서의 전류 밀도를 개선시킨 다이오드이다. 그러나 구조적인 특징인 trench 양 끝단에서 항복이 일어남으로 인해 평면 쇼트키 다이오드보다 낮은 항복 전압을 보인다.

제안된 p⁺ guard ring을 가지는 쇼트키 다이오드는 trench 하단에 ring 구조를 만들어 trench 끝단에서 일어나는 항복을 막고, trench 구조의 장점인 순방향 전류 밀도를 개선시킨 소자이다. 기존 구조와 제안한 구조의 순방향 I-V 특성과 역방향 전계 특성 및 항복 특성을 2차원 소자 시뮬레이터인 Silvaco를 사용하여 비교 검토하고 그 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

그림 1에 시뮬레이션에 사용한 소자들의 단면도를 나타내었다. 그림 1. (a)는 trench 다이오드의 단면도이고 그림 1. (b)는 제안된 guard ring을 가진 trench 다이오드의 단면도이다. 제안된 구조는 기존의 trench 다이오드의 trench 하단에 p⁺ 도핑을 함으로써 순방향 바이어스시 기존 trench 다이오드의 전류 밀도를 유지시키면서 항복전압이 더 높을 수 있도록 하였다. 기존의 구조와 제안된 구조를 비교 연구하기 위해서 2차원 소자 시뮬레이터인 Silvaco를 사용하여 순방향 I-V 특성과 역방향 항복 특성을 조사하였다. 표 1에 시뮬레이션에 사용된 여러 가지 변수들의 값을 나타내었다.

변수	값
N 에피 영역의 농도(N _{epi} , cm ⁻³)	1×10 ¹⁷
에피 영역의 두께(d, um)	3
N ⁺ Substrate 영역의 농도(N _{sub} , cm ⁻³)	1×10 ¹⁹
Trench의 깊이(d ₁ , um)	2
메사(mesa) 영역의 넓이(a, um)	0.5
Trench의 넓이(t, um)	0.5
p ⁺ Guard Ring의 농도(N _{epi} , cm ⁻³)	1×10 ¹⁸
p ⁺ Guard Ring의 접합 깊이(X _{p,ring} , um)	0.5

표 1. 시뮬레이션에서 사용한 변수들

2.1 순방향 I-V 특성

소자의 순방향 I-V 특성을 조사하기 위해서 애노드 전압을 증가시키면서 순방향 I-V 특성을 살펴보았다. 그림 2는 기존의 평면 쇼트키 다이오드 및 trench 다이오드와 제안된 guard ring을 가지는 trench 다이오드의 전류 밀도 특성 곡선이다. J_A = 100 A/cm² 에서 순방향 전압 강하는 평면 쇼트키 다이오드인 경우 0.28V, trench 쇼트키 다이오드는 0.24V, 제안된 구조는 0.26V 이다. 제안된 구조의 I-V 특성이 기존의 평면 쇼트키 다이오드와 trench 쇼트키 다이오드의 중간 정도에 있음을 확인할 수 있다. 일반적인 trench 다이오드는 trench 구조를 이용해서 평면 쇼트키 다이오드의 애노드 contact 면적보다 더 많은 면적을 애노드 contact 면적으로 사용, 순방향 전류 밀도가 증가했기 때문이다. 또한 제안된 guard ring을 갖는 trench 다이오드는 guard ring이 존재하는 trench 밑 부분을 제외한 trench 영역을 모두 애노드 contact로 사용해 contact 면적을 늘려 일반 trench 다이오드와 평면 쇼트키 다이오드 사이의 순방향 I-V 특성을 지남을 알 수 있다.

2.2 역방향 전계 분포 및 항복 특성

그림 3은 소자의 한가운데(y=0)를 수직 방향으로 잘랐을 때의 기존 trench 다이오드와 제안된 다이오드의 전계 분포 및 x = 1.3 μm 에서 수평 방향으로 잘랐

을 때 전계 분포를 나타낸 것이다.

논-펀치드루(NPT, Non-Punch-Through)경우의 평면 쇼트키 다이오드에서의 인가 전압 V_R 과 최대 공핍층 거리 d_m 간에는 $V_R = \frac{qN}{2\epsilon_s} \cdot d_m^2$ 의 관계가 성립하여 평면 쇼트키 다이오드의 항복 전압 $V_R=22V$ 경우 $d_m=0.54\mu m$ 임을 알 수 있다.

한편 trench 구조에서의 전위는 다음과 같이 나타낼 수 있다. [1]

$$\Phi(x, y) = \left[1 - \left(\frac{y}{a} \right)^2 \right] \cdot \left[\sigma + \frac{(V_R - \sigma) \sinh \frac{\sqrt{2}}{a} x - \sigma \cdot \sinh \frac{\sqrt{2}}{a} (x_m - x)}{\sinh \frac{\sqrt{2}}{a} x_m} \right] \quad (1)$$

이 때 x방향의 전계($y=0$)를 구하기 위해 (1) 식을 x에 대해 미분하면 다음과 같다.

$$E_m = \left. \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right|_{x=0} = \frac{(V_R - \sigma) + \sigma \cdot \cosh \frac{\sqrt{2}}{a} x_m}{a \cdot \sinh \frac{\sqrt{2}}{a} x_m} \quad (2)$$

이때 여기서 $\sigma = \frac{qN}{2\epsilon_s} \cdot a^2$ 이고 x_m 은 최대 공핍층 거리이다. 식 (2)에 $V_R=17.5V$, $\sigma=19.1V$, $x_m=1.2\mu m$ 을 대입하면 $E_m=3.84 \times 10^5 V/cm$ 을 얻으며 이 값은 그림 3에서 시뮬레이션 경우의 첨두값 $4 \times 10^5 V/cm$ 와 거의 같음을 알 수 있다. 그리고 그림 3에서 제안된 구조는 기존 구조와 거의 같은 전계 분포를 가지나 $2\mu m$ 에서 $3\mu m$ 사이에 또 하나의 전계 첨두가 형성되어 기존 구조보다 더 높은 항복 전압을 가짐을 알 수 있다.

그림 4에는 기존 trench 다이오드와 제안된 구조의 다이오드의 누설 전류 및 항복 전압을 나타내었다. 항복 전압은 각각 평면형 쇼트키 다이오드가 22V, trench 구조의 쇼트키 다이오드가 17.25V, 제안된 구조가 22.1V이다. 제안된 구조의 누설 전류가 기존의 trench 다이오드보다 낮음을 알 수 있다. 이는 기존 trench 다이오드는 trench 양 끝단이 날카로우어 이곳에 전계가 집중되기 때문에 이로 인한 누설 전류가 클 뿐만 아니라 항복 전압도 낮다. 그러나 제안된 trench 다이오드는 trench 양 끝단을 guard ring을 사용하여 감싸줌으로 인해 trench 양 끝단에서 발생하는 누설 전류를 낮추고 항복 전압이 높아짐을 알 수 있다.

3. 결 론

기존의 trench 쇼트키 다이오드의 항복 특성을 개선시키기 위해 guard ring을 가지는 trench 다이오드를 제안하였다. 제안된 구조는 trench 구조를 가짐으로서 순방향에서의 전류 밀도를 유지시키고 guard ring을 이용하여 항복전압과 누설 전류를 향상시켰다. 시뮬레이션 결과 제안된 구조는 22.1V에서 항복이 일어나는데 비해 기존의 구조는 17.25V에서 항복이 일어나므로 기존 구조에 비해 항복 전압이 28.1% 향상되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Sang-Koo Chung and Seung-Youp Han, "Analytical model for the surface field distribution of SOI RESURF devices", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 45, No.6, pp. 1374-1376, 1998.
- [2] B. J. Baliga, *Power Semiconductor Devices*, PWS, 1996.
- [3] S. M. Sze, *Semiconductor Devices*, John Wiley & Sons, 1985
- [4] V. Benda et al., *Power Semiconductor Devices*, John Wiley & Sons, 1999

본 논문은 Brain Korea 21 Project 연구 지원에 의해 작성되었다.

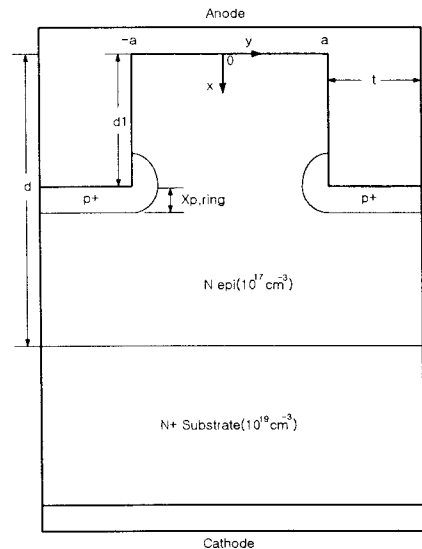


그림 1. 제안된 trench 다이오드 구조

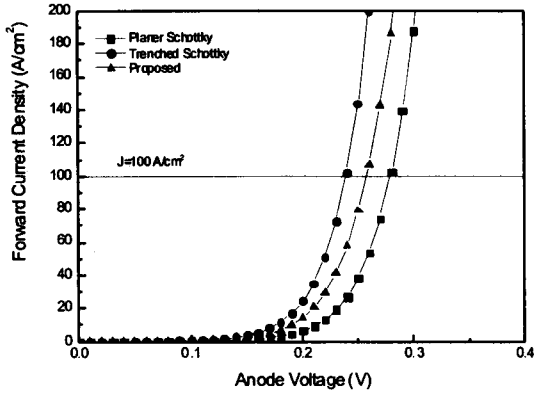


그림 2. 기존 구조와 제안된 구조의 순방향 I-V 특성

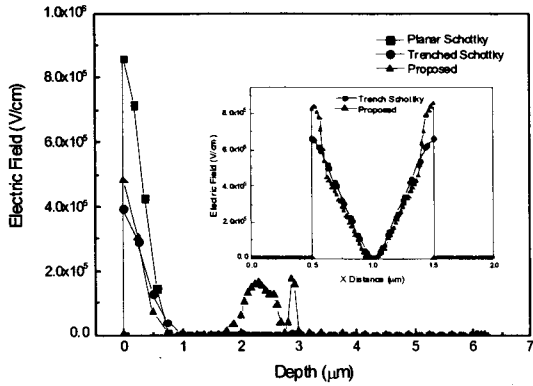


그림 3. 기존 구조와 제안된 구조의 수직 방향(y=0) 및 수평 방향(x=1.3μm)절단시 전계 분포 곡선

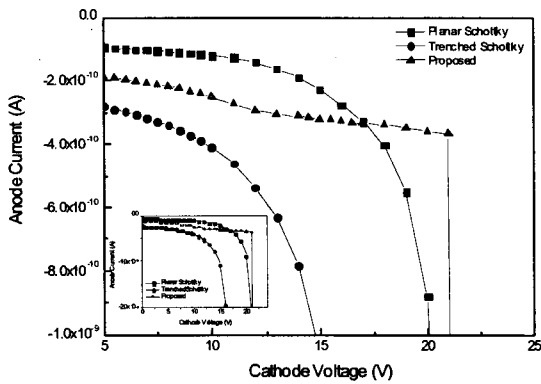


그림 4. 기존 구조와 제안된 구조의 누설 전류 특성 및 항복 특성 곡선