

Buried ring이 있는 FLR(Field Limiting Ring) 구조의 항복특성

• 윤상복, 최연익
아주대학교 전자공학부

Breakdown Characteristics of FLR(Field Limiting Ring) with Buried Ring

• Sang-Bok Yun and Yearn-Ik Choi
School of Electronics Engineering, Ajou University

Abstract - The FLR(Field Limiting Ring) structure with a buried ring is proposed to improve breakdown voltage. The breakdown characteristics of proposed structure is verified by two-dimensional device simulator, ATLAS. It has shown that the breakdown voltage of the proposed structure is increased by 11. % compared with that of the FLR.

복전압에 큰 영향을 미친다. BFLR 구조에서 W_{S1} 과 W_{S2} 가 항복전압에 미치는 영향을 조사하기 위해서 소자 시뮬레이터인 ATLAS를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이때 사용한 pn 다이오드의 최대 항복전압은 300 V이며 최대 공핍층은 19 μm 이다. 표 1은 시뮬레이션에 사용한 변수이다.

표 1. 시뮬레이션에 사용한 변수들

변 수	값
기판 농도 (cm^{-3})	1×10^{15}
p+ 농도 (cm^{-3})	1×10^{19}
접합 깊이, r_j (μm)	5
산화막 두께, t_{ox} (μm)	1.5
Fixed oxide charge (cm^{-2})	1×10^{10}

1. 서 론

항복전압은 전력 반도체 소자의 설계에 있어서 매우 중요한 변수이다. 그런데 실제 소자의 항복전압은 pn 접합의 원통형 접합(cylindrical junction)영역에서 전계가 집중되어 이상적인 항복전압에 비해 현저히 낮은 값을 갖는다. 따라서 소자의 항복전압을 향상시키기 위해 다양한 JT(Junction Termination) 기술이 제안되었다 [1]. 전력 소자를 설계할 때 사용되는 주요한 JT 기술로는 FP(Field Plate), FLR(Field Limiting Ring), JTE(Junction Termination Extension), RESURF(Reduced Surface Field), SIPOS(Semi-Insulation Polycrystalline) 등이 있다. 그 중에서 FLR 구조는 pn 다이오드에서 main 접합과 동시에 확산 창을 열어 플로팅 링(floating) 링을 만드는 것으로 공핍층 영역을 연장시켜 원통형 접합 영역의 전계집중을 완화시킴으로써 항복전압을 높이는 방법이다 [2]. 이 구조는 항복전압을 향상시키기 위한 추가적인 공정이 필요 없는 장점이 있지만, 항복전압이 플로팅 링의 위치에 매우 민감하며 플로팅 링으로 인한 소자면적이 증가하는 단점이 있다.

본 논문에서는 FLR 구조의 단점을 개선하기 위해 FLR 구조의 silicon bulk에 buried ring을 첨가한 BFLR(Buried Field Limiting Ring) 구조를 제안하였다. 그리고 이차원 소자 시뮬레이터인 ATLAS [3]를 사용하여 기존의 FLR 구조와 제안한 buried ring을 첨가한 BFLR 구조를 비교함으로써 그 타당성을 증명하였다.

2. 본 론

2.1 시뮬레이션 결과 및 고찰

그림 1은 기존의 FLR 구조와 BFLR 구조의 단면도이다. 그림 1(a)의 FLR 구조는 한 개의 플로팅 링을 갖는 일반적인 pn 다이오드 구조이다. 그림 1 (b)의 BFLR 구조는 그림 1(a)의 구조에 플로팅 링과 수평 위치는 같고 수직방향으로 실리콘 벌크(silicon bulk)의 적당한 위치에 buried ring을 첨가한 구조이다. 일반적으로 FLR 구조에서 항복 전압에 가장 중요한 변수는 main 접합과 플로팅 링간의 간격, W_{S1} 이다. BFLR 구조에서는 main 접합과 플로팅 링간의 간격, W_{S1} 과 플로팅 링과 buried ring 간의 간격, W_{S2} 가 항

그림 2에 FLR과 BFLR 구조에서 main 접합과 플로팅 링간의 간격, W_{S1} 과 플로팅 링과 buried ring 간의 간격, W_{S2} 에 따른 항복전압의 변화를 나타냈으며 그림 3은 BFLR 구조에서 애노드에 0 V, 캐소드에 150 V를 인가했을 때 플로팅 링과 buried ring의 수직 방향에서 나타나는 전계분포이다.

그림 2에서 보는 바와 같이 FLR 구조에서 main 접합과 플로팅 링간의 간격, W_{S1} 이 5 μm 일 때 가장 높은 항복전압을 얻었다. 이 조건에서 buried ring을 첨가하면 항복전압은 더욱 향상되었다. W_{S2} 가 1 μm 부터 5 μm 까지 변할 때 항복전압은 증가하였다. 그러나 W_{S2} 가 5 μm 보다 커지면 항복전압은 다시 감소하였다. 항복전압의 변화가 그림 2와 같이 변하는 이유는 그림 3의 전계분포를 통해 알 수 있다. 그림 3은 W_{S2} 가 각각 3 μm , 5 μm , 7 μm 일 때 플로팅 링과 buried ring을 수직으로 잘랐을 때의 전계분포이다. W_{S2} 가 3 μm 일 때 플로팅 링과 buried ring이 너무 가깝기 때문에 플로팅 링과 buried ring에 전계가 골고루 분산되지 못하고 buried ring에서 전계의 침투치가 발생하여 항복전압 향상에 큰 효과를 보지 못했다. W_{S2} 가 5 μm 이면 플로팅 링과 buried ring에 전계가 골고루 분산되어 항복전압이 크게 향상되었다. 그러나 W_{S2} 가 7 μm 이면 플로팅 링과 buried ring이 너무 멀기 때문에 W_{S2} 가 3 μm 일 때와 마찬가지로 플로팅 링과 buried ring에 전계가 골고루 분산되지 못하여 항복전압은 다시 감소했다. 이때의 침투치는 플로팅 링에서 나타났다.

이처럼 BFLR 구조에서 플로팅 링과 buried ring의 위치를 최적화 시키면 같은 면적을 갖는 FLR 구조보다 높은 항복 전압을 얻을 수 있다. 230 V의 항복전압을 갖는 FLR 구조에 buried ring의 위치를 플로팅 링과 수직으로 5 μm 떨어지게 위치시키면 256 V의 항복전압

을 얻을 수 있다. 즉 buried ring을 사용하면 기존의 FLR 구조에 비해 약 11 %의 항복전압 향상효과를 얻을 수 있다.

그림 4에 FLR 구조와 BFLR 구조에서 애노드에 0 V, 캐소드에 전압을 증가시켜 항복이 일어났을 때의 공핍층 영역과 전류 흐름도를 나타냈다. 그림 4(a)의 FLR 구조에서 전류의 흐름으로 보아 항복이 main 접합과 플로팅 링에서 동시에 일어나는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 그림 4(b)의 BFLR 구조에서도 항복이 main 접합, 플로팅 링, buried ring에서 일어나는 것을 알 수 있다. 그리고 BFLR 구조에서 buried ring으로 인하여 FLR 구조보다 y방향으로 공핍층이 넓게 분포하는 것을 볼 수 있다.

2.2 BFLR 구조의 제조공정

제안한 BFLR 구조를 형성시키기 위한 제조공정 순서를 그림 5에 나타냈다. N 형 기판위에 산화막을 성장시킨 후 p⁺ buried ring이 위치할 장소의 산화막을 제거한다. 그 다음 붕소(boron) 이온주입(ion implantation)과 후 확산(drive-in)으로 p⁺ buried ring을 형성시킨다. 이어서 식각을 통해 산화막을 제거한 후 N 형 epi를 쌓아 올린다. 다시 산화막을 성장시킨 후 active 영역과 플로팅 링이 위치할 장소의 산화막을 제거한다. 이어서 붕소 이온주입과 후 확산으로 active 영역과 플로팅 링을 형성시킨 후 금속공정을 통하여 애노드, 캐소드를 만들어 제안한 BFLR 구조를 완성한다.

3. 결 론

기존의 FLR 구조에 buried ring을 첨가한 BFLR 구조를 제안하였고 2차원 소자 시뮬레이터, ATLAS를 이용하여 이를 검증하였다. 같은 면적일 때 FLR 구조의 항복전압은 230 V이고 BFLR 구조의 항복전압은 256 V로 BFLR 구조가 기존의 FLR 구조에 비해 약 11 %의 항복전압이 향상되었다. 이로부터 BFLR 구조를 이용하면 플로팅 링의 개수를 증가시키지 않고도 원하는 항복전압을 얻을 수 있기 때문에 소자면적을 줄일 수 있다. 특히 플로팅 링을 많이 사용하는 고전압 소자일수록 더 큰 효과를 얻을 수 있을 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] B. J. Baliga, Power Semiconductor Devices, PWSPublishing., 1996.
- [2] Michael S. Adler *et al.*, "Theory and Breakdown Voltage for Planar Devices with a Single Field Limiting Ring," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-24, pp. 107-112, Feb. 1977.
- [3] ATLAS, Two-dimensional Device simulation Program, *user's manual*, 1997.

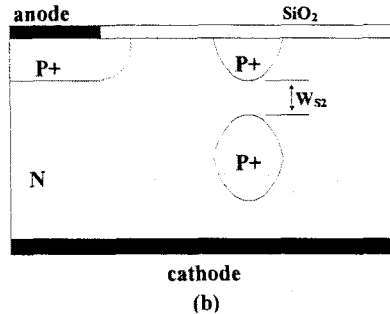
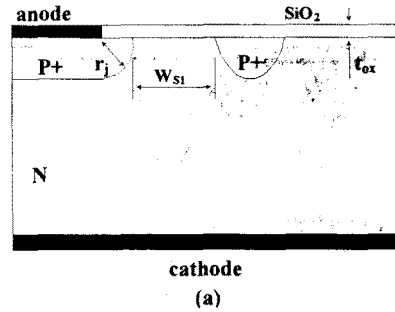


그림 1. (a) FLR 단면 구조 (b) BFLR 단면 구조

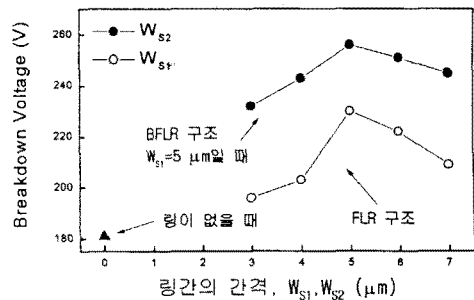


그림 2. 플로팅 링과 buried ring 간의 간격, W_{S2}에 따른 항복전압의 변화.

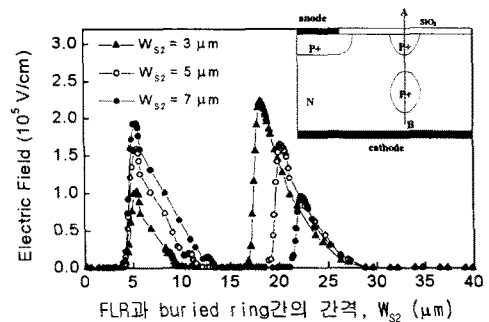
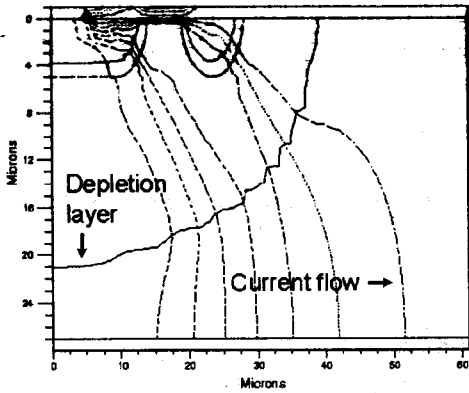
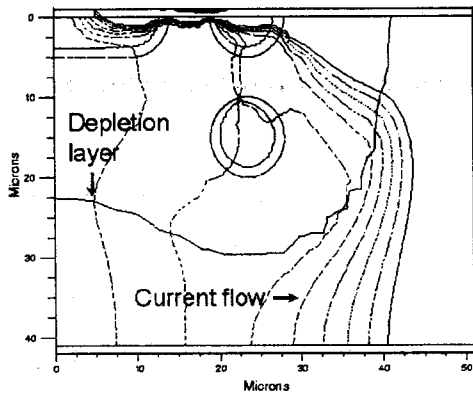


그림 3. W_{S1}이 5 μm이고, W_{S2}가 각각 3 μm, 5 μm, 7 μm일 때 전계분포.



(a)



(b)

그림 4 (a) FLR 구조와 (b) BFLR 구조에서 항복이 어났을 때 공핍층 영역과 전류 흐름도.

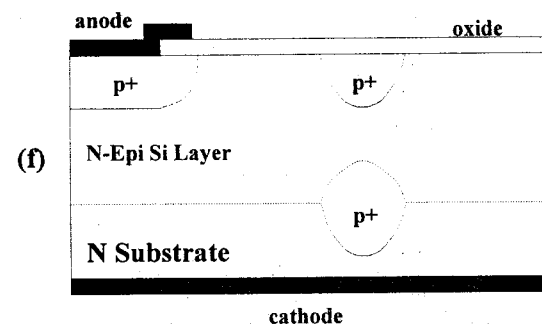
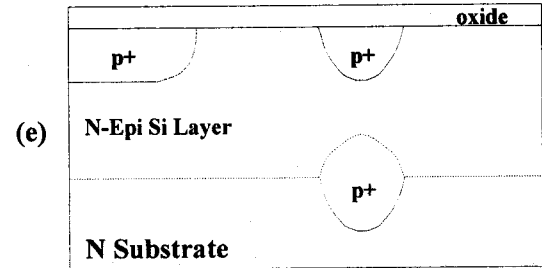
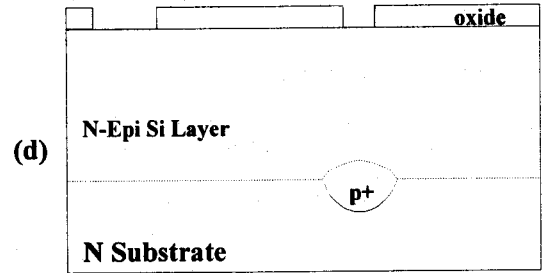
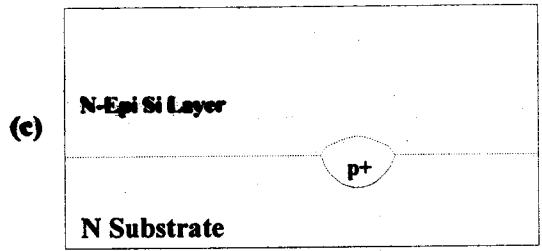
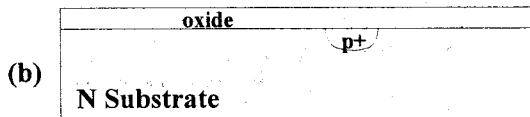
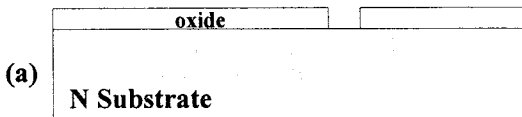


그림 5. 공정 순서.

- (a) 초기 기판위에 산화막 형성 및 식각
- (b) 붕소 이온주입 및 후 확산 (buried ring)
- (c) 산화막 제거 및 N형 epi 형성
- (d) 산화막 형성 및 식각
- (e) 붕소 이온주입 및 후 확산(active 영역 및 FLR)
- (f) 금속공정 및 전극형성