

Defect에 의한 다이오드 reverse recovery특성시의 전류 증가현상

이준호*, 이호성, 박 준, 조종열
아주대학교 전자공학부

Current increase resulted from defect during diode reverse recovery

Ho Jun Lee, Ho Sung Lee, Jun Park, Jung Yol Jo
Dept. of Electronics Engineering Ajou University

Abstract - 본논문은 제작된 다이오드 switching시 나타난 전류 증가현상을 관측하고 그 원인을 분석했다. 증가현상을 보이는 구조는 다이오드에 전자를 조사한 소자로 proton을 조사한 구조에 비해서 접합부근에 high defect density 영역이 형성된다. Reverse recovery시에 이영역에 높은 역방향 전계가 형성, 소자에 순간적으로 전류가 증가하게 한다.

1. 서 론

Bipolar 소자의 minority carrier lifetime을 control 하기 위해 예전에는 Gold, Platinum같은 불순물주입을 하였으나 최근에는 전자나 proton, helium을 소자제작후 조사함으로써 lifetime을 줄여 소자의 switching 특성을 개선시키기 위해 많은 연구가 진행되어지고 있다. 전자를 조사하면 전자에 의한 defect가 소자내부에 uniform하게 형성되고, proton이나 helium같은 이온의 경우는 가속기의 energy를 조정함으로써 이온의 stopping range에 따라 국부적으로 defect가 형성되므로 local lifetime control이 가능하다(1).

본 논문에서는 제작된 소자의 n⁺p접합에서의 defect에 의한 forward 특성과 reverse recovery특성을 측정하고 2-D Simulator인 ATLAS를 사용하여 그 원인을 분석하였다(2).

2. 본 론

2.1 소자의 구조 및 회로도

p-type <100>, 비저항이 20 ohm-cm 인 실리콘 웨이퍼를 사용하여 n⁺p 다이오드를 제작하였다. 먼저 1000℃, 120분의 wet oxidation을 통하여 6000Å의 산화막을 형성하였다. 100 μm 직경을 가진 원형패턴을 사용하였고 다이오드의 접합을 형성하기 위해서 1×10¹⁴의 dose와 120 keV의 energy를 사용하여 phosphorous 이온을 주입했다. 이온주입 전에 얇은 산화막을 형성했다. 이온주입후 dopants를 활성화시키기 위해서 산소분위기, 질소가스 분위기에서 각각 30분, 360분동안의 annealing공정을 했다. 제작된 소자는 각각 2 MeV, 80 kGy 와 2 MeV, 7×10¹¹cm⁻²의 dose로 전자와 proton을 조사하여 소자의 내부에 deep level을 형성시켰다. 마지막으로 annealing을 거쳐 TO-5 header를 사용하여 package 했다.

그림1은 다이오드 스위칭 특성을 측정하기 위한 회로도 MOSFET의 source에 정방향 전압을, 5kΩ의 저항에 역방향 전압을 인가하였다. 50Ω의 로드저항을 연결하여 다이오드에 흐르는 전류를 측정했다.

2.2 측정결과 및 Simulation

그림2에 제작된 다이오드의 reverse recovery특성을 나타냈다. B,C는 80kGy, 2 MeV 에너지로 전자를 조사한 다이오드이고 A는 전자를 조사하지 않은 다이오드의 recovery특성이다. 전자를 조사함으로써 다이오드 turn-off시 recovery특성이 개선됨을 확인할 수 있다. 그러나 역방향 인가전압(V_R)이 커짐에 따라(-160V) B과형(-100V)과 달리, 그림2의 C에 나타나는 것처럼 전류의 증가현상이 일어난다. 따라서 소자의 recovery시에 큰 역방향 전압이 인가되면 전류 증가로 인해 leakage전류를 크게 하므로 불필요한 power 손실을 가져올 수 있다. 그림3은 proton을 조사한 소자의 turn-off특성을 역방향 전압 200V에서 측정한 그림이다. 그림2의 전자를 조사한 소자, 조사하지 않은 소자에 비해 recovery특성이 크게 개선됨을 알 수 있다.

2-D Simulator인 ATLAS를 이용해서 실험상 측정된 전류 증가현상과 유사한 현상을 관찰, 분석했다. Simulation을 위해 측정된 회로와 같은 회로를 ATLAS-Mixedmode를 이용하여 구성하였다. 그림4에서 n⁺p 접합부근(10-20μm)에 1×10¹⁵cm³의 defect 농도를 적용시킨 구조와 그렇지 않은 구조의 정방향 특성을 simulation했다. 접합부근에 defect가 생성된 구조에서 defect에 의한 내부저항의 증가로 인해 정방향 전압강하가 커졌음을 알 수 있다.

실험상 관측된 전류 증가현상과 유사한 전류파형을 그림5에서 볼 수 있다. t3시간대에 급격히 전류가 커짐을 확인할 수 있다. 그림6,7은 그림5의 t1(off후50ns), t2(100ns), t3(200ns)시간에서의 정공전류밀도와 recombination rate를 각각 나타내었다. Recovery 진행시 전류에 크게 관여하는 것은 정공전류밀도로서 그림6에서 보듯이 시간(t1→t2→t3)에 따라 다이오드 drift 영역에서 크게 변화함을 알 수 있다. Simulation에서 trap을 접합부근에 적용시킨 경우가 다른 영역에 적용시킨 경우보다 trap density에 비례해서 전류가 크게 증가했다. 그림6의 E는 다이오드 off후 100ns후의 소자의 정공전류 밀도 Cathode로부터 50μm 떨어진 부근에서 높은 전류밀도를 보이고 있다. 또한 그림7로부터 그 부근에서 excess carrier가 가장 많은 것을 recombination profile로부터 알 수 있다. 즉, simulation상 보인 전류 증가현상은 접합부근에 형성된 defect에 의한 순간적인 정공전류밀도 증가구간(cathode로부터 약 30μm-100μm)의 형성에 의한 것이다.

위의 측정결과와 simulation으로부터 다이오드 내부의 접합부근에 국부적으로 defect가 형성되어 있다면 큰 역방향 전압인가시의 turn-off시에 예기치 않은 전류 증가현상이 생길 수 있음을 입증하고 있다. 정방향, 역방향 전압의 크기가 커짐에 정비례해서 증가의 정도가 변화하고, defect의 density와 영역에도 관계함을 알 수 있다. 따라서 소자 설계시 이러한 defect에 의한 영

항을 고려해서 소자를 설계해야 전류 증가에 의한 power 손실을 줄일 수 있고 안정된 reverse recovery 특성을 얻을 수 있다.

3. 결 론

전자가 조사된 다이오드가 접합부근에서 proton을 조사한 구조보다 defect density가 높아 높은 역방향 전압 인가시 접합부근에 큰 전계가 형성되어 전류 증가현상을 야기한다. 이로인하여 reverse recovery시의 leakage 전류를 크게 하므로 소자의 불필요한 power 손실을 초래한다. 따라서 소자의 switching 특성을 개선하기 위한 minority carrier lifetime control을 위한 전자조사나 proton조사 공정시에 전류 증가에 의한 영향을 고려해야 한다.

[참 고 문 헌]

- {1}N. KESKITALO, "Simulation of forward bias injection in proton irradiated silicon pn-junctions," Solid-State Electronics., vol.39, No.7, pp.1087-1092, 1996.
- {2}ATLAS Users Manual, Silvaco International, Santa Clara, CA.

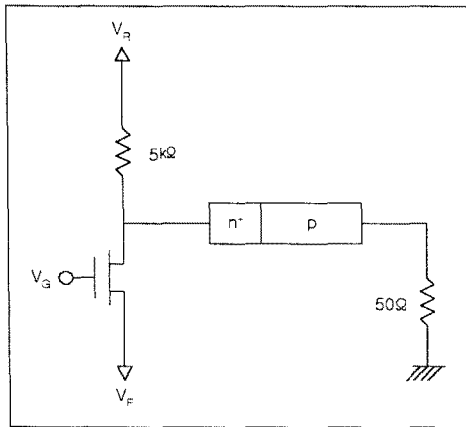


그림 1. Switching 측정회로도.

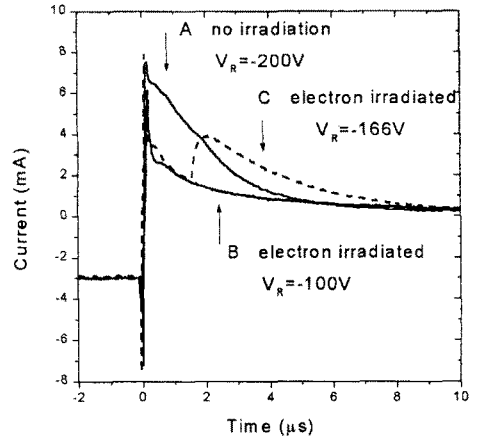


그림 2. Anode의 전류.

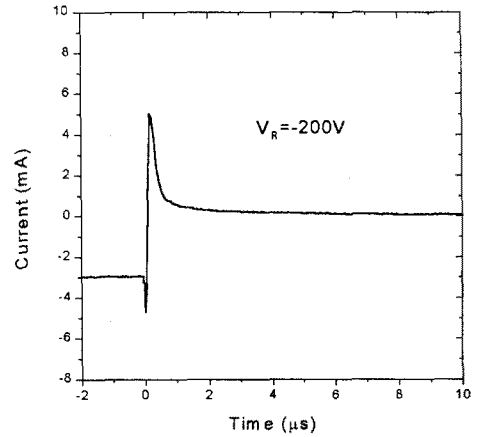


그림 3. Anode의 전류 (proton 조사).

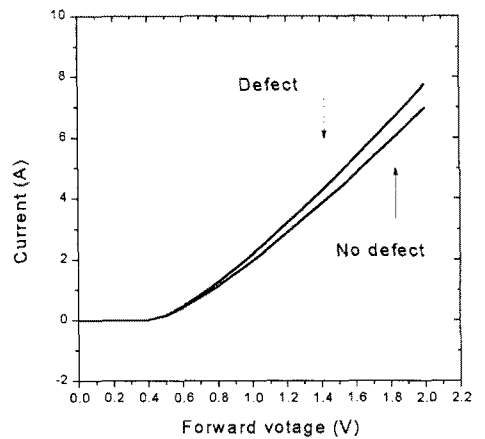


그림 4. 다이오드(simulation)의 정방향특성.

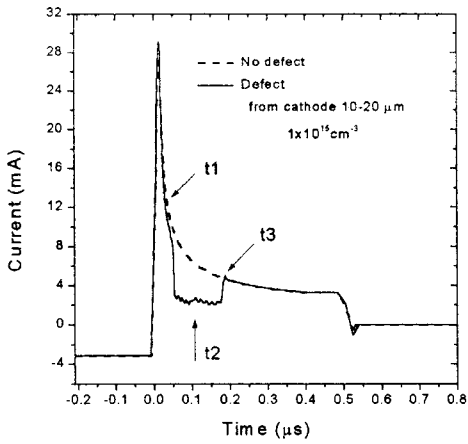


그림 5. Anode 전류 (simulation).

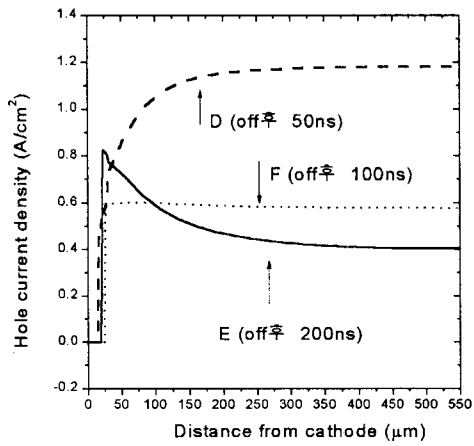


그림 6. 정공전류밀도 (simulation).

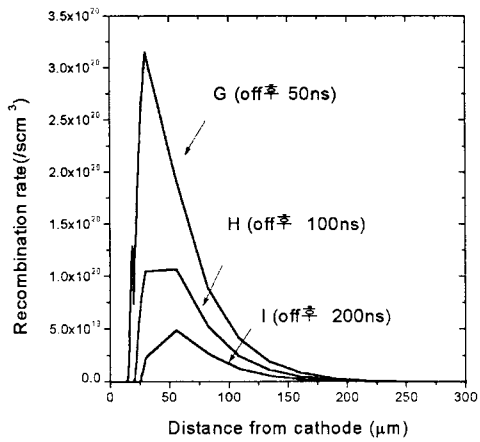


그림 7. Recombination rate (simulation).