

전자와 양성자를 조사한 PN 다이오드의 turn-on/turn-off transient 특성 비교

이 호성, 이 준호, 박 준, 조 중열
아주대학교 전자공학부

Comparison of turn-on/turn-off transient in Electron Irradiated and Proton Irradiated Silicon pn diode

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

Abstract - Carrier lifetime in silicon power devices caused switching delay and excessive power loss at high frequency switching. We studied transient turn-on/turn-off transient characteristics of electron irradiated and proton irradiated silicon pn junction diodes. Both the electron and proton irradiation of power devices have already become a widely used practice to reduce minority carrier lifetime locally[1]. The sample is n+p junction diode, made by ion implantation on a 20Ω.cm p-type wafer. We investigated turn-on/turn-off transient & breakdown voltage characteristics by digital oscilloscope. Our data show that proton irradiated samples show better performance than electron irradiated samples.

1. 서 론

Silicon power device내의 long carrier lifetime은 스위칭 delay나 high frequency 영역에서 과다한 power 손실을 가져올 수 있다. 특히 소자가 고주파 되면서 소자내의 빠른 스위칭을 필요로 하게 되었다. 소자내의 turn-on/turn-off transient time을 결정하는 것은 excess minority carrier로서 좋은 스위칭 특성을 얻기 위해서는 carrier lifetime을 control 하는 것이 중요하다[2].

본 연구에서는 excess minority carrier의 lifetime을 조사(irradiation)를 사용하여 defect가 미치는 영향에 대해 연구하였으며 실리콘 pn 접합 다이오드를 이용하여 defect의 영향을 관찰하였다. 방법으로는 다이오드에 전자와 양성자를 조사하여 defect를 형성한 후 이것이 소자의 transient 특성과 항복전압에 미치는 영향에 대해 연구하였으며 조사하지 않은 n+p 다이오드를 이용하여 defect가 turn-on/turn-off transient와 항복전압에 미치는 영향을 관해 측정 실험을 통하여 비교 연구하였다.

2. 본 론

2.1 소자의 구조

본 연구에 사용된 소자는 n+p junction 다이오드로 비저항 20Ω.cm인 p-type wafer위에 전자와 양성자를 조사하여 제작하였다. 다이오드의 두께는 550μm이고 직경은 100μm이며 순방향 전류 밀도는 3mA로 고정되어 있고 전자는 270 keV로 조사되었으며 양성자는 2 MeV로 조사하였다. 사용된 소자의 dose는 전자의 경우 10¹⁶/cm²이고 양성자는 7×10¹¹/cm²를 사용하였다.

2.2. 측정 회로 구성

다이오드의 turn-on/turn-off transient time과 항복전압을 관찰하기 위하여 그림 1과 같은 회로를 구성하여 측정하였다. MOSFET은 switch역할로 사용되었다. 순방향 전류밀도 3 mA로 고정되어 있으며 등가적으로 38 A/cm²이다. 회로를 구성한 후 측정은 2 Giga sampling/sec 디지털 오실로스코프를 사용하였다.

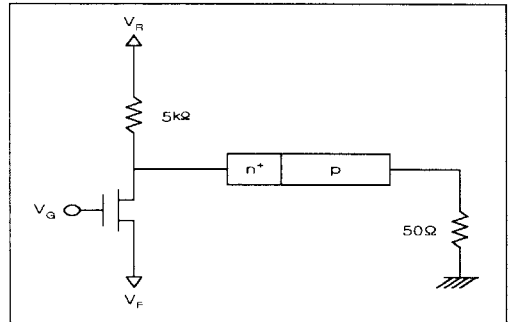


그림 1. 측정 회로도

2.3. 측정결과 및 고찰

그림 2는 역방향 전압을 -150V로 걸어 주었을 경우에 대한 각 다이오드의 역방향 전류 비교를 보여주고 있다. 가장 좋은 특성을 보이는 것은 양성자를 조사한 것으로서 가장 빠른 turn-off 특성을 보인다. 전자를 조사한 경우에도 특성이 좋아지기는 하나 조사하지 않은 경우와 비교하였을 때 많이 나아진 형태를 보이지 않고 있다. 양성자를 조사한 것이 전자를 조사한 것 보다 더 좋은 특성을 보이는 것은 defect의 영향으로 볼 수 있다. 양성자의 defect 경우 아주 협소한 영역에서 나타나는 데 그 범위가 10μm로 한정된다. 전자를 조사한 경우에는 이와는 다르게 아주 넓은 영역에서 defect가 형성되는데 그 범위가 수백μm에 이른다.

그림 3의 경우 전자는 역방향 전압 -193.4V을 인가하였고 양성자는 역방향 전압 -202V를 인가하여 비교하였을 때 양성자의 turn-off 특성이 더 좋음을 보이고 있다. 특이한 것은 전자를 조사한 다이오드의 전류 파형이 몇 개의 peak를 보이고 있다. 이것은 다이오드의 junction안에 생긴 defect에 의해 발생한 것이다. 역방향 전계에 의해서 excess minority carrier들이 사라지게 될 때 defect에 의해서 충돌하게 되고, 이것은 ionization의 원인이 된다. 그래서 전계가 임계 전계보다 낮아지고 ionization은 짧은 시간동안만 유지되면서 전류는 peak 형태를 보이게 된다. 전자를 조사한 다이오드는 조사하지 않은 다이오드와 양성자를 조사한 다이오드보다 낮은 전압에서 전류가 peak 형태를 나타낸다. 전자를 조사한 것과 양성자를 조사했을 경우에 다른 항

복전압 특성을 나타내는 것 또한 defect profile로 설명할 수가 있다. defect의 분포가 전자는 넓은 영역에서 나타나고 양성자는 좁은 영역에서 한정되어 나타나므로 전자를 조사한 구조가 junction 영역에서 더 많은 defect를 형성되어 항복전압 특성이 더 나빠지게 된다.

그림 4는 순방향 전압을 걸어주었을 때 순방향 전류를 비교하여 보여준다. 순방향에서의 전류 peak는 depletion 구간에 majority carrier가 들어오는 것을 나타내며, 때문에 아주 빠르다. 이 peak는 같은 역방향 전압이 일정하게 유지될 때 순방향 전압에 따라서 변한다는 것이 관측되었다. 순방향 전류 파형을 살펴보면 역시 양성자를 조사한 다이오드가 가장 좋은 turn-on 특성을 보인다. 양성자 조사 구조가 $0.7\mu s$ 정도의 lifetime을 보이고 있다. lifetime이 짧으면 적은 양의 minority carrier가 쌓이므로 turn-off도 빠르고 turn-on도 빠르다.

3. 결 론

본 연구에서는 소자의 transient 특성을 결정하는 excess minority carrier를 control하는 방법으로 소자 내부의 defect의 영향을 살펴 보았다. 비교 분석하기 위하여 실리콘 N+P 접합 다이오드에 전자와 양성자를 조사하여 조사하지 않은 다이오드와 함께 비교하였다.

전자와 양성자 조사로 인한 defect profile은 매우 다른 형태를 나타내는데 전자를 조사한 경우에는 매우 넓은 영역에서 defect분포가 나타났으며 이와는 반대로 양성자를 조사한 경우에는 defect분포가 아주 협소한 영역에서 나타났다. 역방향 전압을 가해 transient time을 관찰하였는데 양성자를 조사한 다이오드가 전자를 조사한 다이오드보다 더 좋은 특성을 보이는 것을 알 수 있다. 역방향 전압을 증가 시킬 경우 전자를 조사한 경우에는 excess minority carrier가 defect의 충돌로 인한 ionization 발생의 원인이 되어 전류가 peak 형태를 보인다. 또한 전자를 조사한 구조와 양성자를 조사한 구조에서 항복전압이 특성이 다르게 나타나는데 이것은 defect 분포로 설명되어진다. 전자를 조사한 경우가 더 많은 defect를 넓은 영역에서 가지고 있으며 proton 보다 접합 영역 근처에서 defect를 가지고 더 낮은 항복전압을 보인다. defect가 생김으로서 전자와 양성자를 조사한 다이오드를 조사하지 않은 다이오드와 비교하여 turn-on/turn-off 특성 및 항복전압 특성을 비교하였다. 따라서 excess minority carrier를 control하기에는 전자보다 양성자를 조사하여 defect를 형성하는 것이 보다 나은 transient 특성과 항복전압 특성을 가짐을 알 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] J.Vobecky, P. Hazdra, J. Voves, F. Spurny, "Accurate Simulation of Combined Electron and Ion Irradiation Silicon Devices for Local Lifetime Tailoring", Proc of the 6th Internat Symposium on Power Semiconductor Devices & IC's Davos, Switzerland, p265, May31 June2, 1994.
- [2] N. Keskitalo, A. Hallen, F. Masszi, J. Olsson "Simulation Of Forward Bias Injection In Proton Irradiation Silicon pn-Junctions", Solid state Electronics, Vol.39, No.7, p1087, 1996

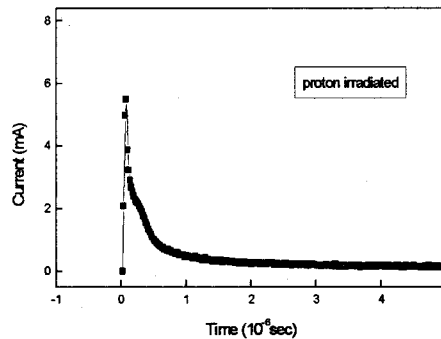
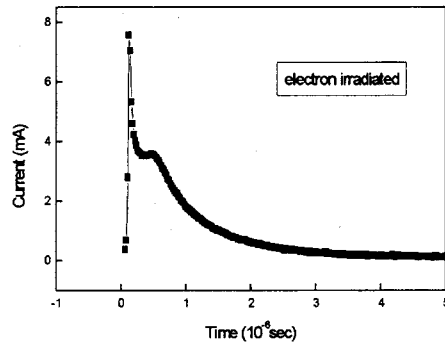
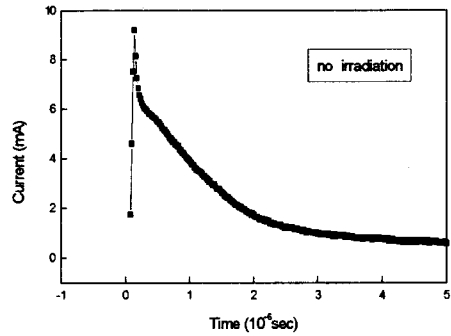


그림 2. 역방향 전압 (-150V)에서 turn-off 특성 비교.

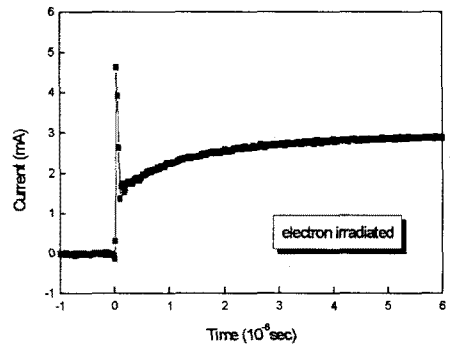
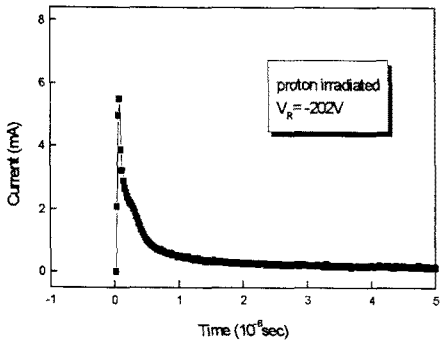
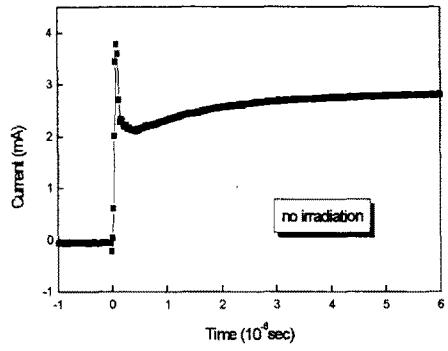
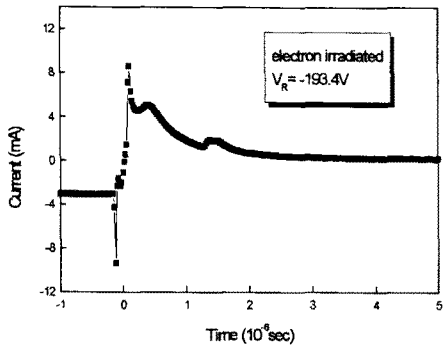


그림 3. 역방향 전압을 증가시켰을 때 전자와 양성자 조사 구조에서 turn-off 특성 비교.

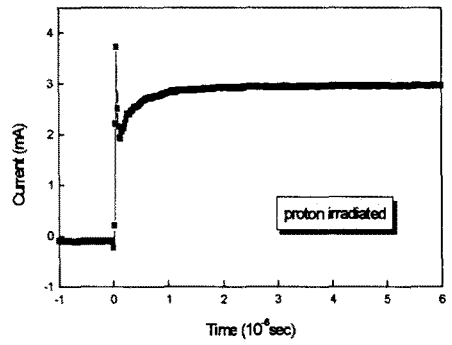


그림 4. 순방향 전압 turn-on 특성 비교.