

양성자 주입 조건에 따른 PT-IGBT의 정특성 및 동특성 분석

최성환, 이용현, 배영호*
경북대학교, *위덕대학교

Static and Dynamic Characteristics of PT-IGBT by Proton Irradiation

Sung-hwan Choi, Yong-hyun Lee, Young-ho Bae*
Kyungpook National Univ. *Uiduk Univ.

Abstract : Proton irradiation technology was used for improvement of switching characteristics of the PT-IGBT. The proton irradiation was carried out at 5.56 MeV energy from the back side of processed wafers and at 2.39 MeV energy from the front side of the wafers. The on-state and off-state I-V characteristics and switching properties of the device were analyzed and compared with those of un-irradiated device and e-beam irradiated device which was conventional method for minority carrier lifetime reduction. The proton irradiated device by 5.56 MeV energy was superior to e-beam irradiated device for the on-state and off-state I-V characteristics, nevertheless turn-off time of proton irradiated device was superior to that of the e-beam irradiated device.

Key Words : PT-IGBT, proton, minority carrier lifetime, defect

1. 서론

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)는 바이폴라 트랜지스터의 낮은 $V_{ce,sat}$ 의 장점과 MOS 구동의 장점을 함께 갖추고 있어 현재 널리 사용되고 있는 전력 반도체 소자이다. 그러나 turn-off시 발생하는 tail 전류로 인해 turn-off 지연 시간이 발생하고 이는 스위칭 속도를 감소시키는 요인으로 작용한다. tail 전류는 on 상태 동안 컬렉터 영역으로부터 n-드리프트 영역으로 주입된 소수 캐리어에 의해 발생된다. 따라서 이 소수 캐리어 수명을 줄임으로써 turn-off 지연 시간을 감소시킬 수 있다. 반도체 소자의 소수 캐리어 수명 제어에 의한 스위칭 동작 속도 향상 기술은 금속 불순물 확산법[1], 전자선 조사법[2] 그리고 양성자 조사법[3]이 있다. 금속 불순물 확산법은 정확한 농도 제어가 불가능하고 공정상의 문제로 다른 특성들이 열화 되기 쉬운 단점이 있다. 전자선 조사법의 경우 전자선이 웨이퍼 전체를 관통하므로 전자선 주입 중 형성되는 결정결함이 소자 내에 전체적으로 균일하게 분포한다. 이에 비해 양성자 조사법은 수소 이온의 주입 공정이므로 주입 에너지와 도즈를 조절하여 웨이퍼 내에서 원하는 부위에만 결정결함을 국부적으로 형성시킬 수 있다. 본 논문에서는 600 V급 PT-IGBT 소자에 양성자를 조사하여 전기적인 특성 변화를 측정하고 이를 양성자를 주입하지 않은 소자, 동일 소자에 전자를 조사한 소자의 특성과 비교 분석하였다.

2. 실험

본 연구에 사용된 소자는 Punch Through 형, 600 V 급의 IGBT 소자이다. 그림 1에 소자의 단면을 나타내었다. 양성자 주입은 소자 제조 공정이 완료된 후 웨이퍼 상태에서 양성자를 조사하였다. 양성자 조사 후 생성된 결정

결함의 안정화를 위하여 300 °C에서 1 시간 동안 열처리 하였다. 양성자는 $1 \times 10^{12}/cm^2$ 의 도즈로 웨이퍼 앞면과 뒷면으로부터 2.39 MeV와 5.56 MeV의 에너지로 각각 조사하여 최대 결정결함 밀도 위치를 컬렉터와 드리프트 접합 영역과 드리프트 영역에 각각 위치시켰다. 제조된 소자의 전기적 특성 분석을 위해 순방향 전압 강하 특성, 누설 전류, 항복 전압, 그리고 turn-off 지연 시간 특성 등을 측정하였으며 그 결과를 아무런 주입도 하지 않은 소자 그리고 전자선을 조사한 소자와 비교 분석하였다.

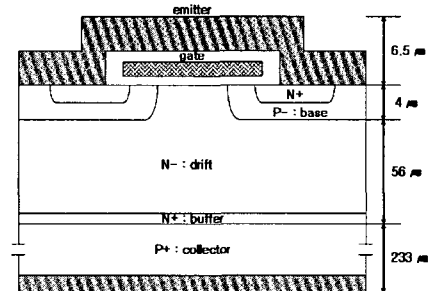


그림 1. IGBT의 단면 구조

3. 결과 및 검토

그림 2는 각 소자들의 순방향 전압 강하 특성을 나타내었다. 입자선을 조사한 소자의 경우 아무런 주입도 하지 않은 소자보다 전압 값이 증가하였다. 이는 입자선 조사에 의한 결정결함이 소수캐리어의 수명을 단축시켜 전도도 변조를 저하시켰기 때문이다. 양성자를 조사한 소자의 전압 값이 전자선을 조사한 소자의 전압 값보다 작은 것을 알 수 있다. 이는 wafer 전체에 결정결함이 분포하는 전자선 조사 소자에 비해 결정결함이 국부적으로 위치하는 양성자 조사 소자가 드리프트 영역의 저항성이 더 작기 때문이다.

그림 3은 각 소자들의 항복 전압 특성을 나타내었다.

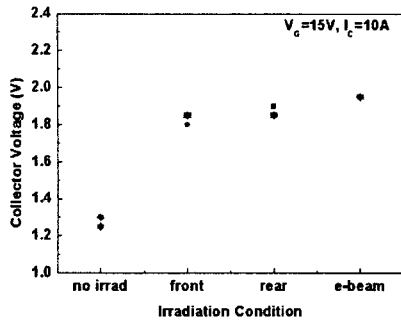


그림 2. 순방향 전압 강하 특성.

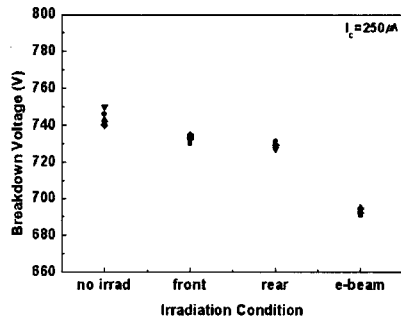


그림 3. 항복 전압 특성.

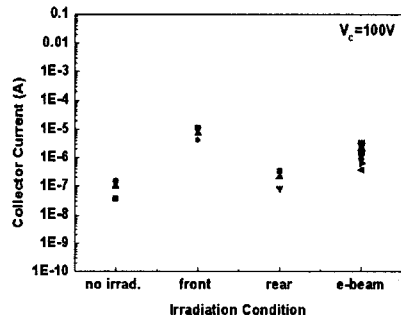


그림 4. 누설 전류 특성.

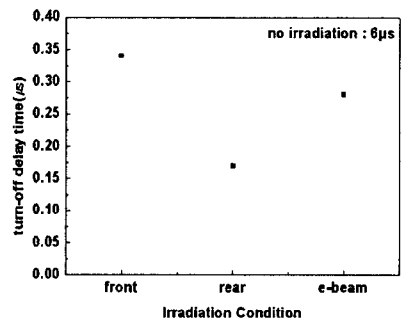


그림 5. turn-off 지연 시간 특성.

입자선을 조사한 소자의 경우 항복 전압 값이 아무런 주입도 하지 않은 소자에 비해 다소 감소한 것을 알 수 있다. 그리고 양성자를 조사한 소자의 항복 전압 값이 전자선을 조사한 소자보다 큰 것을 알 수 있다.

그림 4는 각 소자들의 누설 전류 특성을 나타내었다. 입자선을 조사한 소자의 경우 아무런 주입도 하지 않은 소자에 비해 누설 전류 값이 다소 증가하였다. 이는 입자선 조사에 의해 실리콘 밴드갭 내에 깊은 준위가 생겨나게 되고 이 깊은 준위는 생성 전류를 증가시키기 때문이다.

양성자를 웨이퍼 뒷면으로부터 조사한 소자의 누설 전류 값이 가장 작은 것을 알 수 있다. 이는 oxide와 실리콘 사이의 계면에 아무런 영향을 끼치지 않았기 때문이다.

그림 5은 각 소자들의 turn-off 지연 시간 특성을 나타내었다. 입자선을 조사한 소자의 경우 아무런 주입도 하지 않은 소자에 비해 turn-off 지연 시간이 크게 감소하였음을 알 수 있다. 이는 입자선 조사에 의한 결정결함 밀도가 소수캐리어의 수명을 단축시켰기 때문이다. 양성자를 웨이퍼 뒷면에서 조사한 소자의 turn-off 지연 시간 특성이 가장 우수한 것을 볼 수 있다. 이는 전자를 조사한 소자보다 양성자를 조사한 소자의 결정결함 밀도가 소수캐리어의 수명을 제어하고자 하는 위치에서 더 높기 때문이다. 그리고 결정결함 밀도의 최대치 위치가 컬렉터와 드리프트 접합에 가까이 있는 것보다 드리프트 영역에 있는 것이 turn-off시 소수캐리어의 감소에 더 효과적인 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 600 V급 PT-IGBT 소자를 이용하여 양성자를 웨이퍼 앞면과 뒷면으로부터 각각 조사하여 소자를 제작하고 그 특성을 전자선 조사법으로 제조된 소자 그리고 아무런 주입도 하지 않은 소자와 비교 분석하였다. 입자선을 조사한 소자는 아무런 주입도 하지 않은 소자에 비해 순방향 전압 강하, 누설 전류, 그리고 항복 전압 특성이 다소 저하되었지만 turn-off 지연시간은 큰 폭으로 감소하였다. 양성자를 주입한 소자는 전자선을 주입한 소자보다 순방향 전압 강하, 누설 전류, 항복 전압 특성이 우수하였고 특히 양성자를 뒷면으로부터 주입한 소자의 경우 양성자를 앞면으로부터 주입한 소자 그리고 전자선을 주입한 소자와 비교해 보았을 때 순방향 전압 강하, 누설 전류, 항복 전압 특성이 대등 또는 우수하였으며 turn-off 지연 시간 특성 또한 우수하였다. 따라서 양성자를 웨이퍼 뒷면으로부터 조사하여 순방향 전압 강하, 누설 전류 그리고 항복 전압 특성의 열화를 감소시키면서 우수한 스위칭 특성을 가지는 IGBT 소자를 제작할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 21세기 프론티어연구개발사업으로 시행한 양성자 기반공학기술개발사업의 지원을 받았음.

참고 문헌

- [1] B. J. Baliga, Power Semiconductor Devices, PWS Publishing Company, p. 476, 1996.
- [2] B. J. Baliga, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-31, No. 12, p. 1790, 1984.
- [3] A. Mogro-Campero, R. P. Love, M. F. Chang, and R. Dyer, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-33, p. 1667, 1986.