

## 양성자 조사법에 의한 PT-IGBT의 Turn-off 스위칭 특성 개선

최성환, 이용현, 이종현\*, 배영호\*\*  
 경북대학교, \*페어차일드 코리아, \*\*위덕대학교

### Improvement of Turn-off Switching Characteristics of the PT-IGBT by Proton Irradiation

Sung-Hwan Choi, Yong-Hyun Lee, Jong-Hun Lee\*, Young-Ho Bae\*\*  
 Kyungpook National Univ., \*Fairchild Semiconductor, \*\*Uiduk Univ.

**Abstract :** Proton irradiation technology was used for improvement of switching characteristics of the PT-IGBT. Proton irradiation was carried out at 5.56 MeV energy with  $1 \times 10^{12}/\text{cm}^2$  doze from the back side of the wafer. Characterization of the device was performed by I-V, breakdown voltage, threshold voltage, and turn-off delay time measurement. For irradiated device by 5.56 MeV energy, the breakdown voltage and the threshold voltage were 730 V and 6.5~6.6 V, respectively. The turn-off time has been reduced to 170 ns, which was original 6  $\mu\text{s}$  for the un-irradiated device.

**Key Words :** proton, irradiation, lifetime, PT-IGBT

### 1. 서 론

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)는 낮은 on 전압 강하와 빠른 스위칭 속도 특성으로 넓게 사용되고 있는 전력 반도체 소자이다[1]. 그러나 turn-off시 발생하는 tail 전류로 인해 turn-off 지연 시간이 발생하고 이는 스위칭 속도를 늦춘다. tail 전류는 on 상태 동안 컬렉터 영역으로부터 n-드리프트영역으로 주입된 소수 캐리어에 의해 발생된다. 이 소수 캐리어 수명을 줄임으로써 turn-off 지연 시간을 감소시킬 수 있다[2]. 소수 캐리어 수명 제어기술은 금속 불순물 확산법, 전자선 조사법 그리고 양성자 조사법이 있다. 금속 불순물 확산법은 정확한 농도 제어가 불가능하고 전자선 조사법은 결정결함이 소자 내에 균일하게 분포한다는 단점이 있다. 이에 비해 양성자 조사법은 정밀한 제어가 가능하고 결정결함을 국부적으로 형성시킬 수 있으며 열처리 공정으로 불필요한 결함을 최소화시킬 수 있다. 본 논문에서는 600 V급 PT-IGBT 소자에 양성자를 주입하여 전기적 특성을 측정하고, 양성자를 주입하지 않은 소자와 비교 분석하였다.

### 2. 실험

본 연구에 사용된 소자는 현재 양산에 적용되고 있는 Punch Through 형, 600 V 급의 IGBT 소자이다. 그림 1에 소자의 단면을 나타내었다. 양성자 주입 실험을 위하여 엔지니어링 소자를 제작하였으며 웨이퍼 상태에서 양성자를 조사 후 패키징 하였다. 양성자 조사 후 생성된 결정결함의 안정화를 위하여 300°C에서 1 시간 동안 열처리 하였다. 양성자는 도즈를  $1 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 로 웨이퍼 뒷면으로부터 5.56 MeV의 에너지로 조사하였다. 제조된 소자의 전기적 특성 분석을 위해 I-V, 항복 전압, 문턱 전압, turn-off 지연 시간 특성을 측정하였으며 양성자를 주입하지 않은 소자와 비교 분석하였다.

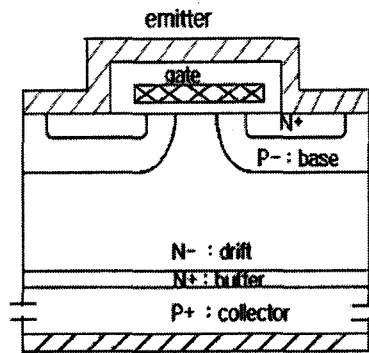


그림 1. PT-IGBT 소자 단면 구조

### 3. 결과 및 검토

그림 2은 양성자를 주입하지 않은 소자와 양성자를 주입한 소자의 게이트 전압 15V에 대한 컬렉터 포화 전류 특성을 나타내고 있다. 양성자를 주입한 소자에서 전류 기울기 값이 양성자를 주입하지 않은 소자보다 감소한 것을 알 수 있다. 이는 양성자 주입에 의한 결정결함에 의해서 n- 드리프트 영역의 저항이 증가했기 때문이다.

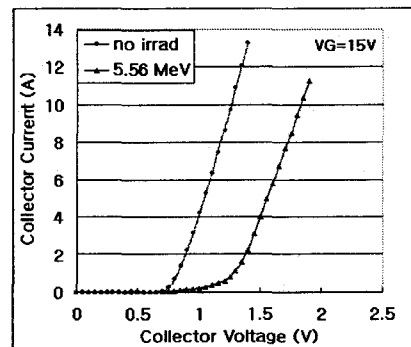


그림 2. 컬렉터 포화 전류 특성

그림 3은 양성자를 주입하지 않은 소자와 양성자를 주입한 소자의 항복 전압 특성을 나타내고 있다. 양성자를 주입한 소자는 양성자를 주입하지 않은 소자보다 항복 전압이 약 10 V정도 감소했음을 알 수 있다. 이는 양성자 주입으로 인해 n- 드리프트 영역의 도너 농도가 증가했기 때문이다[3].

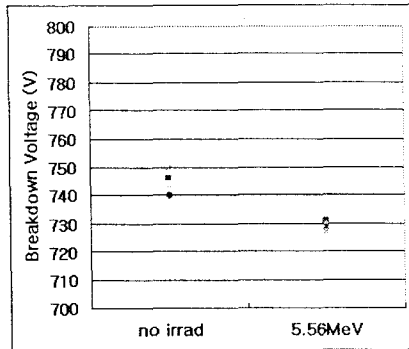


그림 3. 항복 전압 특성

그림 4는 양성자를 주입한 소자와 양성자를 주입하지 않은 소자의 문턱 전압 특성을 나타내고 있다. 양성자를 주입한 소자와 양성자를 주입하지 않은 소자의 문턱 전압은 거의 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 이는 양성자가 웨이퍼 뒷면으로부터 주입되었으므로 채널영역에는 아무런 영향을 주지 않았기 때문이다.

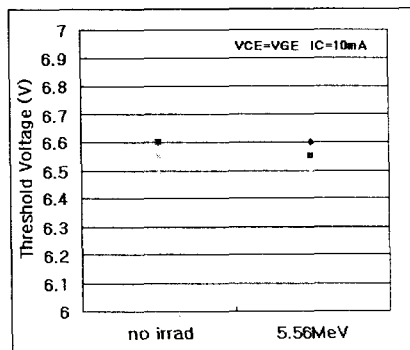
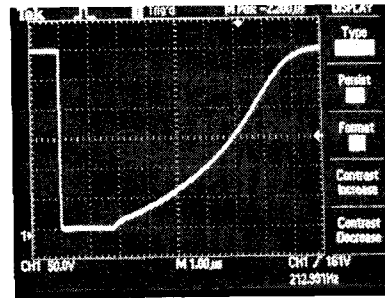
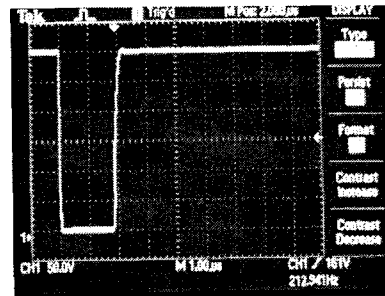


그림 4. 문턱 전압 특성

그림 5는 양성자를 주입한 소자와 양성자를 주입하지 않은 소자의 turn-off 지연 시간을 나타내고 있다. 양성자를 주입한 소자는 양성자를 주입하지 않은 소자보다 turn-off 지연 시간이 크게 감소하였음을 알 수 있다. 이는 양성자 조사에 의한 결정 결함으로 인해 소수 캐리어 수명시간이 단축되었기 때문이다.



(a) 양성자 주입 전



(b) 양성자 주입 후

그림 5. Turn-off 지연 시간

#### 4. 결론

본 연구에서는 600 V급 PT-IGBT의 turn-off 스위칭 속도 개선을 위해 양성자 조사법을 이용하여 소자를 제작하고 전기적 특성을 측정하였다. 제작된 소자는 양성자 주입에 의해 결정 결함이 형성되어 n- 드리프트 영역의 저항이 증가되고 이로 인해 컬렉터 포화 전류 특성 곡선의 기울기가 감소한다. 하지만 소수 캐리어 수명 시간이 단축되어 turn-off 지연 시간이 양성자 주입 전의 6 µs에서 양성자 주입 후 170 ns로 크게 감소한다. 따라서 양성자 조사 기술을 사용하여 우수한 turn-off 스위칭 특성을 가지는 PT-IGBT 소자를 개발하였다.

#### 감사의 글

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

#### 참고 문헌

- [1] 김용주, 정희환, 전기전자재료학회지, 13권, 6호, p. 9, 2000.
- [2] B. Jayant Baliga, Power Semiconductor Devices, PWS Publishing Company, p. 476, 1996.
- [3] 김병길, 최성환, 이종현, 배영호, 전기전자재료학회논문지, Vol.19, No.3, p. 216, 2006.