

양성자 주입법에 의한 PT형 고속전력 다이오드의 제조

배영호, 김병길, 이종현*

위덕 대학교 전자공학부, 페어차일드 코리아*

Fabrication of PT type high power diode by proton irradiation

Young-Ho Bae, Byoung-Gil Kim, Jong-Hun Lee*

Division of Electronic Engineering Uiduk University, Fairchild Korea*

Abstract : 양성자 조사법에 의하여 고속 전력용 다이오드를 제작하기 위하여 punch-through 다이오드에 다양한 조건으로 양성자를 조사하였다. 동일한 소자에 전자선을 조사한 소자와 속도 향상을 위한 공정이 행하여지지 않은 동일한 소자 각각의 특성을 비교 분석하였다. 양성자 주입은 주입 에너지를 1 MeV와 1.3 MeV로, 각 에너지 조건에서 도즈를 $1 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$, $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 로 변화 시켰다. 분석 결과 양성자 주입된 소자에서 역방향 회복시간은 최소 소자의 약 45%, 전자선이 조사된 소자에 비하여 약 73 %의 값으로 향상시킬 수 있었으며 역방향 항복 전압과 순방향 저항은 처리되지 않은 소자와 전자빔이 조사된 시편들의 값과 비슷한 값을 나타내었다.

Key Words : 양성자, 전자선, 소수캐리어 수명

1. 서 론

전력 소자의 수명을 제어 하는 기술에는 실리콘 내에 불순물을 확산시켜 deep level 준위를 만드는 방법과 높은 에너지의 입자를 반도체 내에 조사하여 재결합 센터를 만드는 방법이 널리 사용된다. 최근에는 실온에서 공정이 가능하고, 에너지와 도즈를 변화시켜 재결합 센터의 밀도 조절이 가능하며, 입자 조사 후 불필요한 결함은 열처리에 의해 제거 가능하다는 이점으로 입자 조사 방법이 많이 사용되고 있다. 입자 조사법은 주로 전자선 조사법 또는 양성자나 헬륨 이온을 이용한 조사법을 사용한다.[1-3] 특히, 전자선 조사법의 경우 소자 전체에 결함이 형성되는 반면 양성자나 헬륨 이온 주입법의 경우 원하는 위치에 국부적으로 결함 대역을 형성시킬 수 있다.[4] 본 연구에서는 전력 소자의 동작 속도 향상을 위하여 양성자 조사법을 이용하였다. 양성자가 주입된 소자의 특성과 동일한 소자에 전자를 조사한 소자의 특성, 그리고 속도향상을 위한 처리가 되지 않은 소자의 특성을 측정하였다.

2. 실험

본 연구를 위해 사용된 소자는 N+ 실리콘을 기판으로 하여 제조된 p+/p/n/n+ 구조의 punch through 형 실리콘 다이오드이다. 양성자 주입 에너지는 1 MeV와 1.3 MeV로 변화시켰으며 각각의 조건에서 도즈를 $1 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$, $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 으로 변화시켰다. 제조된 소자의 전기적 특성은 전류-전압 특성 도핑농도 추출을 위한 정전용량-전압 특성, 역방향 회복 시간 등을 측정하였으며 각 소자의 특성을 양성자가 주입된 소자, 전자선이 조사된 소자, 그리고 처리되지 않은 소자의 순방향 및 역방향 전류-전압 특

성, 용량-전압 특성, 역방향 회복시간 등을 측정하여 그 특성을 비교 분석 하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1에 양성자 주입 도즈를 $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 로 고정하 주입 에너지를 변화시킨 소자와 전자선이 조사된 소자 그리고 표준 소자의 순방향 전류-전압 특성을 나타냈다. 그림에 나타난 바와 같이 전자선이나 양성자가 조사된 소자에서 더 큰 전류값을 나타내고 있다. 이는 다이오드 공핍층 내에서의 결정 결함의 생성으로 인한 확산전류의 증가로 인한 것이며 1 MeV 에너지에서 조사한 소자에서 가장 큰 값을 나타내고 있다. 즉 1 MeV의 주입 에너지 조건에서 pn 접합부 주위에 가장 많은 결정 결함이 생성된다는 것을 알 수 있다.

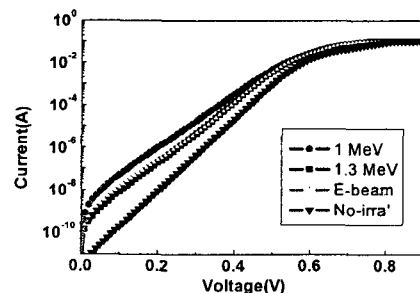


그림 1. 순방향 전류-전압 특성 곡선

그림 2는 역방향 누설 전류 특성 곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 양성자나 전자선이 주입되면 누설 전류가 증가하는 것을 관찰할 수 있으며 이 현상은 공핍층 내에

서 결정결함에 의한 캐리어의 생성이 활발해짐에 의한 것으로 결함 밀도가 높을수록 더욱 증가하게 된다. 1.3 MeV의 에너지로 주입한 경우에는 전자선이 조사된 소자보다 낮은 누설 전류값을 가지며 1 MeV의 에너지로 양성자를 조사한 경우에는 전자선 조사 시편보다 큰 값을 보이고 있다. 하지만 100V의 바이어스에서 약 100 nA의 값으로 여전히 양호한 특성을 보이고 있다.

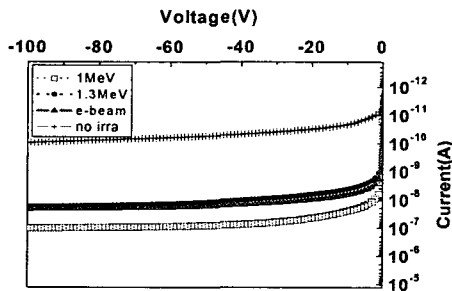


그림 2. 역방향 전류-전압 특성 곡선

그림 3은 정전용량-전압 특성 측정법으로 구한 소자의 도핑 농도 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 1 MeV 에너지에서 양성자를 주입한 소자에서 도핑농도가 약간 감소한 것 이외에는 모두 비슷한 값을 나타내고 있다. 이것은 양성자 주입에 의한 도핑농도의 변화로써 일반적으로 양성자 즉 수소 원자가 실리콘에 주입되는 경우 수소 원자 자체는 도너로 작용하며 결정결함은 억셉터로 작용하는 경향을 보인다. 본 연구에서는 양성자에 의한 결정 결함이 pn 접합부 주위에 많이 분포하는 1 MeV 에너지 조건에서 결정 결함의 영향으로 도핑농도가 감소한 것으로 보인다.

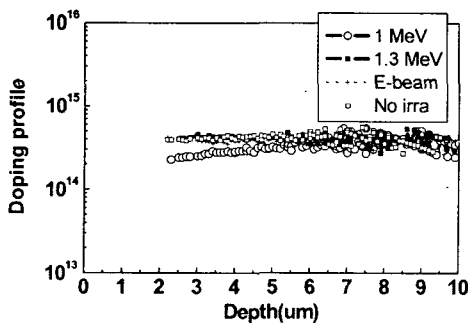


그림 3. 도핑 농도 분포

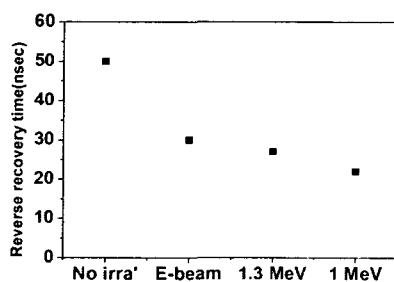


그림 4. 역방향 회복 시간.

그림 4는 다이오드의 역방향 회복시간을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 각 소자의 특성을 비교해 보면 처리되지 않은 소자는 약 50 nsec의 값을 가지며 전자선이 주입된 경우에는 약 30 nsec의 값을 가지고 있고 양성자 주입된 소자의 경우 에너지가 1.3 MeV의 경우에는 27 nsec, 1 MeV의 경우에는 22 nsec의 값을 보이고 있다.

4. 결론

전력용 다이오드의 스위칭 속도 향상을 위한 소수 캐리어 수명을 제어하는 방법으로 양성자 주입 기술을 적용하였다. PT형 pn 다이오드를 제작하고 다양한 조건으로 양성자를 주입하여 소자를 제작한 후 전자선이 조사된 소자의 특성과 비교 분석하였다. $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 의 도즈와 1 MeV의 에너지로 양성자가 주입된 소자에서 약 22 nsec의 역방향 회복시간으로 처리되지 않은 소자 값의 약 45%, 전자선이 조사된 소자값의 약 73%의 값으로 향상 시킬 수 있었다. 누설 전류는 처리되지 않은 소자에 비하여 상당히 증가하였으나 전자선의 경우와는 큰 차이를 나타내지 않았으며 약 100 nA의 값으로 양호한 특성을 보이지 않았다. 순방향 전압강하와 역방향 항복전압은 전체적으로 큰 변화를 보이지 않았다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] B. Jayant Baliga, "Power semiconductor device". Boston, MA: PWS, 1995. pp. 55-59.
- [2] J. Vobecky, P. Hazdra, V. Zahlava, "Impact of the electron, proton and helium irradiation on the forward I-V characteristics of high-power P-i-N diode". Microelectronics reliability 43, 2003, pp. 537-544.
- [3] P. Hazdra, J. Vobecky, K. brand, "Optimum lifetime structuring in silicon power diodes by means of various irradiation techniques", Nuclear Instruments and Methods in physics Research B 186, pp. 414-418, 2002.
- [4] Katsuhiko Nishiwaki, Tomoyoshi Kushida, and Kawashashi, "A Fast & Soft Recovery Diode with Ultra Small Qrr(USQ-Diode) Using Local Lifetime Control by He Ion Irradiation", Proceedings of ISPSD, pp. 235-238, 2001