

입자 조사에 의한 PT형 전력 다이오드의 스위칭 특성 향상

김병길, 최성환¹, 이종현², 배영호,
위덕 대학교 전자공학부, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부¹, 페어차일드 코리아²

Switching Characteristics Enhancement of PT type Power Diodes by means of Particle Irradiation.

Byoung-Gil Kim, Sung-Hwan Choi¹, Jong-Hun Lee², Young-Ho Bae

Division of Electronic Engineering Uiduk University, School of Electrical Engineering and Computer Science Kyungpook National University¹, Fairchild Korea²

Abstract : Local lifetime control by Ion implantation has become an useful tool for production of modern power devices. In this work, punch-through diodes were irradiated with protons for the high speed power diode fabrication. Proton irradiation was executed at the various energy and dose conditions. Characterization of the device was performed by I-V, C-V and Trr measurement. We obtained enhanced reverse recovery time characteristics which was about 45% of original device and about 73% of electron irradiated device. The measurement results showed that proton irradiation was able to effectively reduce minority carrier lifetime.

Key Words : 양성자, 전자선, 입자 조사, 소수캐리어 수명

1. 서론

전력전자 시스템에 있어 전력 소자의 역할은 매우 중요하며 회로의 전력 손실을 줄이고 빠른 스위칭 특성 구현을 위해 많은 연구가 진행되고 있다.[1] 스위칭 특성 향상을 위한 소수 캐리어 수명제어 기술 중에 입자 조사법은 금속 불순물 확산법에 비해 보다 정밀한 제어가 가능하다.[2] 입자 조사법 중 전자선 조사법은 소수 캐리어 재결합을 위한 결정결함이 소자 내에 균일하게 분포되지만, 양성자 주입법은 주입 에너지 조건에 따라서 국부적으로 결함 대역을 형성시킬 수 있다.[3,4] 또 열처리 공정으로 불필요한 결함을 안정화시킬 수 있어서 최근 많은 관심을 받고 있다.[5] 본 논문에서는 PT(punch through)형 전력용 다이오드에 다양한 조건으로 양성자를 주입하여 이에 따른 전류-전압 특성, 역방향 회복시간 특성을 측정하여 동일한 소자에 전자를 조사한 소자와 입자주입이 없는 최초소자의 특성과 함께 비교하였다.

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 에너지 조건에서 도즈를 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$, $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 으로 변화시켰다. 제조된 소자의 전기적 특성을 분석하기 위해 전류-전압 특성, 도핑 농도를 구하기 위한 정전용량-전압 특성, 역방향 회복 시간 등을 측정하였으며 각 소자의 특성을 전자선이 조사된 소자, 입자 조사 처리가 되지 않은 소자의 전기적 특성과 함께 비교 분석 하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1에 양성자가 주입된 소자와 전자선이 조사된 소자 그리고 입자 주입이 없는 최초 소자의 전류-전압 특성을 나타냈다. 그림을 보면 전자선이나 양성자가 조사된 소자의 전류-전압 특성 곡선 기울기가 감소함을 알 수 있다. 이는 대 전류 영역에서 확산 전류의 영향보다는 저항성의 영향이 우세하게 되고, 입자 주입에 의해 결정결함이 증가하여 저항성이 더욱 증가하기 때문이다.

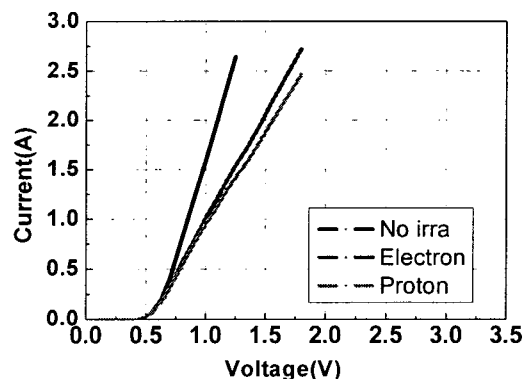


그림 1. 순방향 전류-전압 특성 곡선

그림 2는 양성자의 주입에너지를 1 MeV로 고정시키고 도즈에 따른 역방향 누설 전류 특성을 측정한 결과이다. 그림에서 양성자나 전자선이 주입되면 누설 전류가 증가하는 것을 관찰할 수 있으며 이 현상은 소자 내 결정결함에 의한 캐리어의 생성이 활발해졌기 때문이며 도즈가 증가했을 때 누설 전류가 더욱 증가하게 된다. 하지만 도즈가 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 소자의 경우 100V의 역 바이어스에서 약

100 nA의 값으로 여전히 양호한 특성을 보이고 있다.

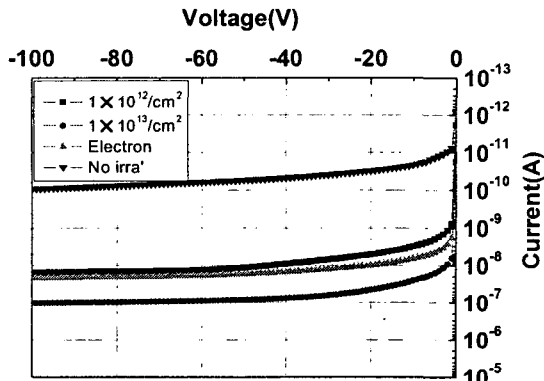


그림 2. 역방향 전류-전압 특성 곡선

그림 3은 주입에너지를 1 MeV로 고정하고 도즈에 따른 정전용량-전압 특성을 측정하여 구한 소자의 도핑 농도 분포를 나타낸 것이다. 약간의 차이를 제외하고 대부분 조건의 소자에서 비슷한 값을 나타내고 있다. 일반적으로 양성자 즉 수소 원자가 실리콘에 주입되면 수소 원자는 도너로, 결정결함은 억셉터로 작용하여 도핑 농도에 변화를 준다. 여기서는 소자 내 결정결함과 수소 이온의 영향이 복합적으로 작용하여 도핑농도의 변화가 크지 않은 것으로 보인다.

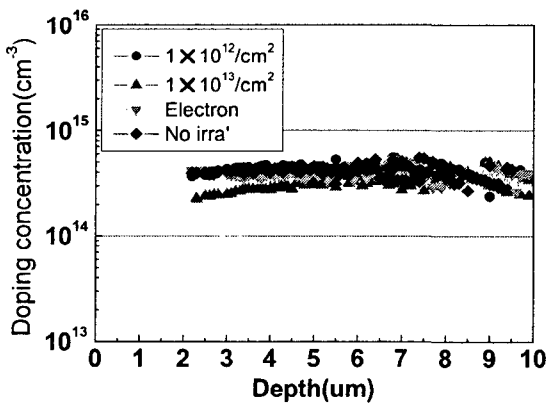


그림 3. 도핑 농도 분포

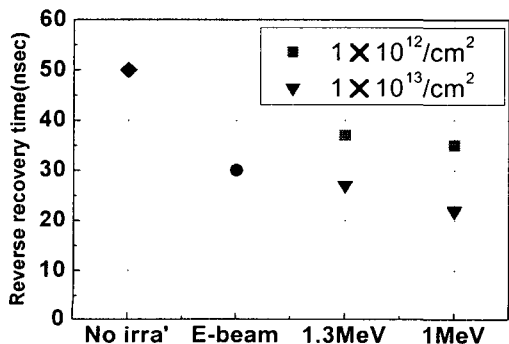


그림 4. 역방향 회복 시간.

그림 4는 다이오드의 역방향 회복시간을 측정한 결과이다. 주입 도즈가 증가할수록 역방향 회복시간이 감소함을 알 수 있는데 이는 도즈 증가로 인한 결정결함의 증가 때문이다. 양성자를 조사한 소자의 역방향 회복시간은 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 의 경우 1.3 MeV 에너지의 소자는 27 ns, 1 MeV는 22 ns로 두 조건 모두 입자 주입이 없는 소자의 50 ns와 전자가 조사된 소자의 30 ns에 비해 역방향 회복시간이 크게 감소하였다. 1 MeV 에너지 소자가 1.3 MeV 소자에 비해 더 빠른 회복시간을 나타내는데, 그 이유는 1 MeV 소자가 소자 내에 더 많은 결정결함을 가지고 있기 때문이다.

4. 결론

전력용 다이오드의 스위칭 속도 향상을 위한 소수 캐리어 수명을 제어하는 방법으로 입자 조사 기술을 적용하였다. PT형 pn 다이오드를 제작하고 다양한 조건으로 양성자를 주입하여 소자를 제작한 후 전자선이 조사된 소자의 특성과 비교 분석하였다. 1 MeV의 에너지와 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 의 도즈로 양성자가 주입된 소자의 순방향 전압강하, 역방향 누설 전류 그리고 역방향 항복전압은 전체적으로 큰 변화를 보이지 않았다. 역방향 회복시간은 약 22 nsec로 입자 조사가 없는 소자 값의 약 45%, 전자선이 조사된 소자 값의 약 73%의 값으로 향상 시킬 수 있었다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] M.T. Rahimo, S.R. Jones, "C-Class ultra fast recovery diodes for high speed switching application", Power division, Semelab plc, United Kingdom.
- [2] 김상철, 김은동, "전력반도체 기술 및 시장동향", 전기전자 재료학회지, 15권, 3호, p.19, 2002.
- [3] P. Cova, R. Menozzi, M. Portesine, M. Bianconi, E. Gombia, R. Mosca, "Experimental and numerical study of H⁺ irradiated p-i-n diodes for snubberless applications", Solid-State Electronics 49, p. 183-191, 2005.
- [4] 이강희, 김병길, 이용현, 백종무, 이재성, 배영호 "양성자 주입 기술을 이용한 초고속 회복 다이오드의 제작", 전기전자 재료학회 논문지, Vol 17, No 12, p.1308-1313, 2004
- [5] P. Hazdra, J. Vobecky, K. brand, "Optimum lifetime structuring in silicon power diodes by means of various irradiation techniques", NIMB 186, pp. 414-418, 2002.