

고선량 감마선 조사에 따른 SiC 검출기의 특성 변화 분석

박준식, 신희성, 김호동, 김용균*, 박세환

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

*한양대학교, 서울시 성동구 행당동 한양대학교

ex-spark@kaeri.re.kr

1. 서론

Silicon carbide(SiC)는 넓은 bandgap energy, 우수한 열전도성을 가진 반도체 소자로서, thermal excitation으로 인한 누설전류가 낮아 종래의 반도체 검출기와 비교하여 고온 환경에서의 동작성이 우수하다. 또한 내방사성이 우수하여, 고방사선 환경에서도 방사선(중성자)을 검출할 수 있는 물질로 주목을 받아왔다. SiC 중성자 검출기의 응용 분야로서, 우주선에서 사용되는 반도체 검출기가 Ruddy등에 의해 제안된 바 있으며[1], BNCT (Boron-Capture Neutron Therapy)에서의 중성자 노출량 감시[2], 폐기물 드럼에서의 열중성자 검출[3], 국가 안보와 관련하여 핵물질 감시[4] 등에도 최근 그 유용성이 입증되어 왔다. 특히 SiC는 사용후핵연료 방사선 감시를 위한 검출기로 적합할 것으로 생각되고 있다. 사용후핵연료 주변은 강한 감마선장(1000 Gy/hr)에 선속이 낮은 (~수백 $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-2}$) 중성자가 섞여있는 특수한 방사선장으로서, 2001년 Dulloo등은 그러한 환경을 재현하여 SiC 중성자 검출기로부터의 강한 감마선장에서 중성자 신호의 분리가 가능함을 보였다. 이어서 2006년 Natsume등에 의하여 실제 사용후핵연료를 대상으로 측정 실험이 수행되었다.[5] 이와 관련하여 감마선 조사량에 따른 SiC 검출기의 노화도를 분석하는 연구 또한 이루어지고 있으며, 현재까지 Ruddy등에 의해 감마선량 5.4 MGy까지 SiC 검출기가 동작했다는 것이 보고되어 있다.[6]

본 연구에서는 몇 종류의 4H p-i-n type SiC 검출기를 제작하여 감마선 조사 시험을 수행하였으며, 전극 구조에 따른 노화도의 차이를 분석하였다.

2. 본론

2.1 검출기 제작 및 감마선 조사

실험에 사용된 $5 \times 5 \text{ mm}^2$ SiC 다이오드의 구조 및 검출기 전극구조를 Fig. 1에 보였다. Buffer

layer는 외부 전극층과 SiC 웨이퍼간의 접착력을 증가시키기 위한 중간층으로서, 스퍼터링법을 이용하여 Cr, Ni, Ti가 증착되었으며 외부 전극은 열증착법을 통하여 Au가 증착되었다. 3개의 서로 다른 buffer layer와 Au 전극을 가지는 검출기와 Al 전극을 가지는 검출기가 제작되었으며, Al 전극 구조의 경우 buffer layer 증착을 하지 않았다.

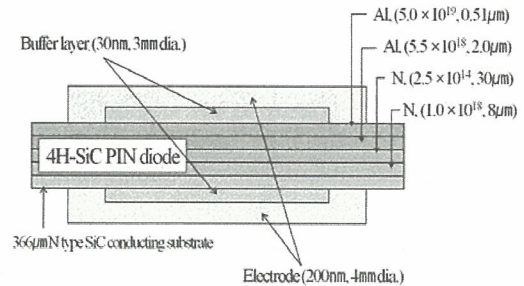
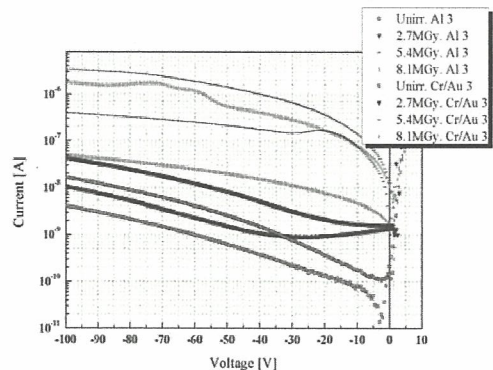


Fig. 1. Schematic cross-section of the SiC p-i-n dioder.

2.2 감마선 조사 및 특성 평가

제작된 SiC 검출기를 원자력연구원 고준위 감마 조사시설에서 조사시킴으로써 누적 선량 8.1 MGy까지의 감마선 조사량에 따른 특성평가를 수행하였다.

I-V curve 측정은 4200 Keithley Semiconductor Characterization System을 이용하여 상온에서 측정하였으며 결과를 Fig. 2에 보였다.



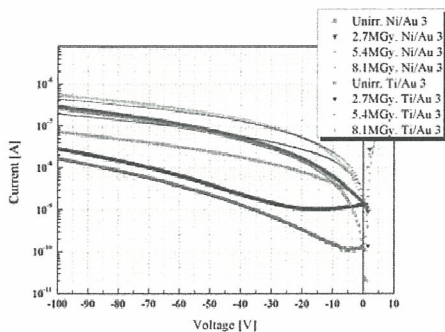


Fig. 2. Forward and reverse bias characteristics of SiC detector before and after irradiation.

알파입자 스펙트럼 측정을 위한 회로는 Fig. 3에 나타냈다. 측정은 각각 5분간 이루어졌으며 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

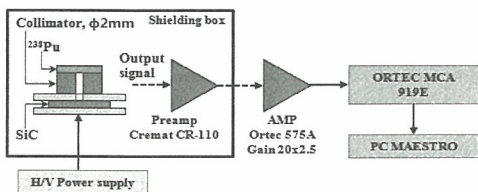


Fig. 3. Experimental setup of alpha spectroscopy.

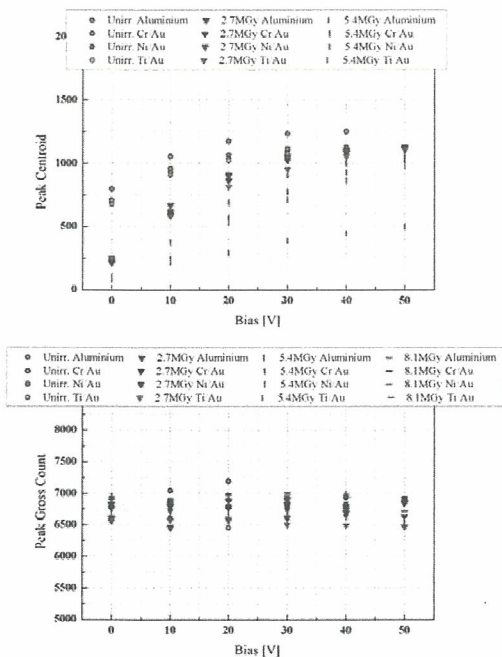


Fig. 4. Peak centroid and summation of SiC detectors with respect to the bias before and after irradiation.

측정 결과 감마선 조사량이 증가함에 따라 Pu-238 알파선 피크가 나타나는 채널이 감소하였으며 full depletion에 도달하는 전압이 매우 증가됨을 예측할 수 있었다. 감마 조사량에 따른 계수율 변화에 특별한 경향은 보이지 않았다.

3. 결론

연구 결과, SiC 검출기의 8.1 MGy 수준의 감마선 조사에 따른 내방사성을 평가하였으며 전하수집률 저하가 나타나지 않았다. 또한 사용후핵연료 뿐만 아니라 원자로 및 우주방사선과 같은 고방사선 환경에서의 응용 가능성을 확인하였다.

4. 감사의 글

이 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 지원 하에 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] Frank H. Ruddy et. al., Proceedings of the Space Nuclear Conference, 468-475, 2005.
- [2] C. Manfredotti et. al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 552 131-137, 2005.
- [3] A. R. Dulloo et. al., Nuclear Instruments & Methods B 213 400-405, 2004.
- [4] Frank H. Ruddy et. al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 598 518-525, 2009.
- [5] T. Natsume et. at., Journal of ASTM International, Online 3, 2006.
- [6] Frank H. Ruddy et. al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 263 163-168, 2007.