

상온반도체를 이용한 민감 핵물질 알파선 측정 장치 연구

강상목, 하장호, 김용균, 박세환, 김한수, 정종은, 김정복

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

사용후 핵연료를 다루는 시설에서는 Pu, U, U-235 등의 민감 핵물질 감시가 매우 중요하다. 이러한 민감 핵물질은 높은 에너지의 알파선을 방출하고 있으며, 알파선의 직접적인 측정을 통한 핵물질 조성 분석이 가능하다. 본 연구에서는 감마선에 대한 반응도가 낮고 알파선을 직접 검출할 수 있는 방안으로 CdZnTe(CZT) 반도체를 이용한 검출기를 제작하여 알파반응 실험을 수행하였다.

반도체 검출기 소재로 널리 사용되고 있는 Si, Ge과 달리 CZT검출기는 넓은 밴드갭(band gap, 1.47 eV)으로 상온에서도 사용이 가능한 반도체이다. 일반적으로 CZT검출기는 뛰어난 분해능으로 엑스선과 감마선 검출기 응용 분야에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 엑스선과 감마선 검출이 아닌 알파선 측정에 CZT 반도체 검출기를 사용하였다. 또한 알파선 검출은 진공환경에서 사용하는 것이 일반적이나 본 연구에서는 공기 중에서 측정 가능한 방안을 연구하였다.

사용된 CZT검출기의 유효검출면적은 $5 \times 5 \text{ mm}^2$ 이며 두께는 2mm이다. CZT검출기의 양쪽 표면은 금을 코팅하여 오믹접합(Ohmic contact)을 형성하였다. CZT검출기는 방사선 실험에 흔히 사용되는 BNC 단자를 이용하여 preamplifier 입력단자에 연결이 용이하도록 일체형으로 제작하였다. CZT검출기 한쪽 표면을 BNC단자의 anode에 전도성 에폭시를 사용하여 직접 고정하였고 방사선이 입사하는 표면은 금으로 코팅된 전선을 이용하여 BNC단자의 표면에 연결하여 전압 인가시에 전기장이 형성되도록 하였다.

알파용담측정에는 5.5-MeV의 Pu-238 방사성 동위원소가 사용되었고 일반 대기 1기압 중에서 실험이 이루어졌다. 스펙트럼 측정을 위하여 eV-Products의 preamplifier와 ORTEC의 shaping amplifier를 사용하였고 multichannel analyser를 이용하여 스펙트럼을 획득하고 분석하였다. 실험 과정에서 노이즈로 작용할 수 있는 자연방사선 및 빛을 차단하기 위하여 차폐된 실험 상자를 구성하고 상자 내부의 CZT검출기가 노출되지 않은 상태에서 preamplifier의 입력신호 단자와 연결될 수 있도록 양방향 BNC연결단자를 사용하여 실험 장치를 구성하였다.

일반적으로 CZT검출기의 동작전압은 양전압(positive voltage)을 사용하며 cathode 방향으로 방사선을 입사시킨다. 입사방사선에 의해 발생하는 전자는 anode를 통해 preamplifier에 전달되어 amplifier와 MCA를 거쳐 스펙트럼 형태로 측정이 된다. 그림1은 CZT검출기 동작전압이 50V와 150V 일 때 측정된 스펙트럼이다. 인가전압이 50V 일 때 보다는 150V에서 분해능이 뛰어났으나 두 경우 모두 스펙트럼의 왼쪽 부분에서 에너지 분해능이 저하되어 있었다. 이러한 스펙트럼 형성의 원인은 세 가지 경우로 정리할 수 있다. 첫째는 스펙트럼을 얻기 위한 실험이 진공상태가 아닌 일반 대기 상태에서 이루어졌기 때문에 알파선이 공기입자에 방해물을 받았기 때문이다. 동일한 실험을 진공 챔버 내에서 실시하면 스펙트럼 좌측에서 관찰되는 노이즈 현상은 최소화 할 수 있지만 본 연구에서 제작하고자 하는 알파선 검출기는 진공이 아닌 일반 대기 환경에서도 알파선을 측정하는 것이 목적이므로 추후 연구 과정에서 보다 정확한 스펙트럼이 요구될 때 진공 챔버를 사용할 예정이다. 두 번째는 방사선 입사 방향에 증착되어 있는 Au 코팅 두께가 알파선의 에너지를 감소시켰기 때문이다. 이러한 두께의 영향은 향후 증착 과정에서 다양한 두께의 검출기 제작을 통해 최적의 조건을 찾을 예정이다. 마지막 요인으로는 사용한 Pu-238 방사성 동위원소의 지름이 CZT검출기의 단면적보다 크기 때문에 입사 방사선이 균일하지 않기 때문이다. 이러한 문제는 동위원소와 검출기 사이에 collimator를 사용하여 보완할 수 있다. 본 실험에서는 엑스선과 감마선 측정 분야에서 많은 연구가 이루어지고 있는 CZT 반도체를 알파선 검출기로서 사용하였

고 스펙트럼 측정 결과 Pu-238에서 발생하는 알파선에 대한 반응성이 높았다. 연구 결과 CZT검출기는 엑스선, 감마선 검출뿐만 아니라 알파선 검출에도 유용할 것으로 판단된다.

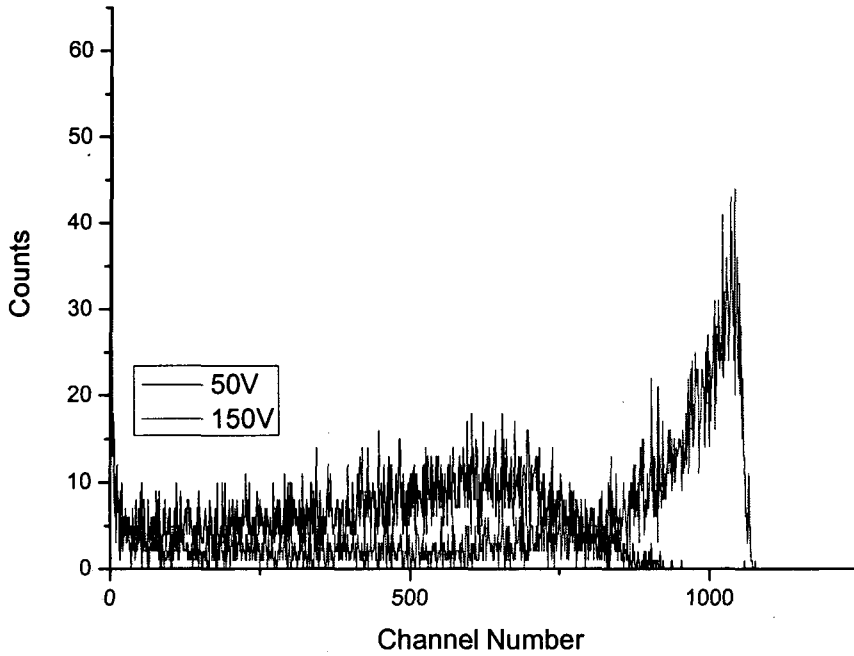


그림 1 동작전압 50V, 150V 조건에서 측정된 알파 스펙트럼

*본 연구는 과학기술부 원자력중장기 과제의 지원으로 수행되었음.