

차세대 반도체 소자를 이용한 방사선 탐지소자 연구

박혜민¹ · 전상준¹ · 문혜진¹ · 김창오¹ · 이태성¹ · 주관식¹ · 윤천호²
명지대학교 물리학과¹ · 화학과²
E-mail: ramilab2011@gmail.com

중심어 : 무기섬광체, 실리콘 광증배소자, 분해능, 반사체, 접합물질

서 론

국내 원자력 산업의 발달에 따라 방사선 검출기의 수요는 계속 증가되고 있으며, 이에 따른 방사선의 정확한 측정 및 검출기의 신뢰도 향상을 위한 연구가 진행되고 있는 가운데 기존에 사용되고 있는 광전자증배관(PMT)은 높은 증폭률과 우수한 신호 대 잡음비를 갖는 장점이 있지만 부피가 크고, 외부 자기장 변화에 민감하며 가격이 높은 단점이 있어 사용이 제한된다.

이러한 단점을 보완하기 위해 본 연구에서는 기존에 사용된 광전자증배관에 비해 매우 작은 부피와 낮은 인가전압, 높은 증폭률 등의 장점을 갖고 있는 차세대 반도체 소자인 실리콘 광증배소자(SiPM)를 사용하여 세 가지 방사선 섬광검출기를 제작하였다.

BGO, LSO, LYSO 세 가지 무기섬광체를 사용한 SiPM 기반 섬광검출기의 검출성능 및 특성을 반사체, 접합물질 등을 변화시켜 분석하였다.

재료 및 방법

BGO, LSO, LYSO 세 가지 섬광체를 3×3×15mm의 동일한 크기로 제작하였고 각 섬광체의 특성은 Table 1.과 같다. SensL사의 4×4 실리콘 광증배소자(SiPM)를 세 가지 섬광체와 결합하여 섬광검출기를 제작하여, 섬광체를 결합하는 방법, 반사체 코팅 및 차폐 방법에 대한 검출 특성 변화를 분석 하였다.

섬광체의 반사체 물질에 따른 섬광검출기의 성능을 비교하기 위해 Teflon tape, TiO₂, MgO, Display backlight reflection film 네 가지 물질을 반사체로 사용한 섬광검출기를 제작, ²²Na 1μCi를 사용

하여 60초 동안 측정하였다.

섬광체와 실리콘 광증배소자의 결합에는 광 구리스와 광학용 에폭시 두 가지를 사용하였을 경우, 결합 물질이 없는 경우의 검출량을 비교 하였다.

Table. 1. Scintillator Property

| Properties | BGO | LYSO | LSO |
|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Density(g/cm ³) | 7.13 | 7.3 | 7.4 |
| Emission Peak(nm) | 510 | 425 | 420 |
| Index of refraction | 2.15 | 1.82 | 1.82 |
| Luminosity(ph/MeV) | 8,200 | 2,700 | 2,800 |

결과 및 고찰

Fig. 1.은 LSO, LYSO, BGO 세 가지 섬광체를 ²²Na 동위원소를 사용하여 측정한 결과이다.

BGO는 LSO와 LYSO에 비교하여 에너지 분해능은 떨어지지만 Count/sec가 LYSO, LSO에 비해 30% 이상 크게 측정되었다. (Fig 1, Table 2) BGO에서는 1275keV 피크가 LYSO, LSO에 비해 크고 분명하게 나타났다.

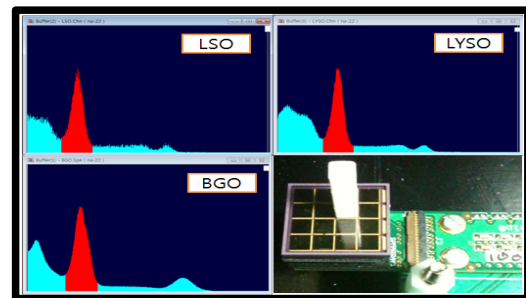


Fig. 1. ²²Na spectrum (LSO, LYSO, BGO)

Table. 2. Energy Resolution at 511keV and Count/sec

| Scintillator | LSO | LYSO | BGO |
|-----------------------------------|------|------|------|
| Energy resolution(%) (511 keV) | 12.5 | 11.9 | 25.5 |
| Count/sec (Na-22 1 μ Ci) | 2584 | 2765 | 3706 |

섬광체의 반사체 물질의 성능 비교에서는 Teflon Tape로 제작할 경우 4겹 이상(200 μ m 이상)의 두께에서 이상적인 성능을 측정 하였고 (Fig. 2.) TiO₂ powder와 투명한 Optical Epoxy를 혼합해 paint를 제작하여 Reflective coating을 제작 할 경우 300 μ m 두께에서 Teflon 4겹과 비슷한 80941 count의 검출량이 측정되었으며 200, 100 μ m 에서는 검출량이 현저하게 떨어졌다.

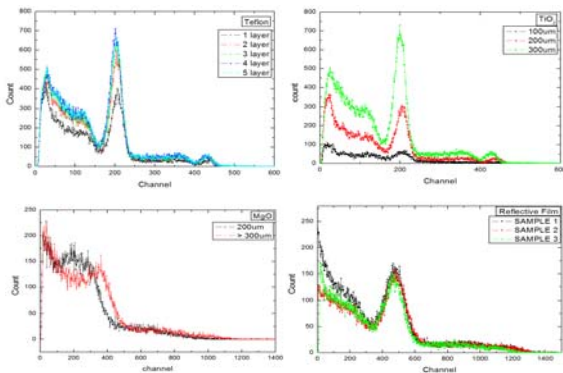


Fig. 2. Spectrum changes due to reflective materials (from upper left, teflon tape, TiO₂ paint, MgO, reflection film)

MgO powder와 투명한 Optical Epoxy를 혼합해 paint를 제작하여 Reflective coating을 제작 할 경우 ²²Na의 전 에너지 피크들이 모두 나타나지 않았으며 전체적인 검출량도 현저하게 떨어졌다. Display back light 반사판용으로 제작된 film을 사용하여 250 μ m 두께이고 3개의 모형을 제작하여 측정 할 경우 511keV 피크는 선명하게 나타났으나 1275keV 피크가 나타나지 않았고 전체 검출량 또한 Teflon 대비 20%정도 떨어졌다.

섬광체와 실리콘 광증배소자 접합물질 연구에서는 LYSO (Teflon reflector 사용)광 구리스와 광학용 에폭

시 두 가지를 사용하였을 경우, 접합 물질이 없는 경우와 검출량을 비교 하였다. 광학용 에폭시가 가장 높게 측정되었으나 광 구리스와 큰 차이를 보이지는 않았다.

Table. 3. Scintillation-SiPM bonding test

| Bonding material | air gap. | Optical glaze | Optical Cement |
|------------------|----------|---------------|----------------|
| count/sec | 2265 | 2765 | 2884 |

결론

이상의 연구를 통해 섬광체 BGO는 섬광체 LSO와 LYSO에 비교하여 분해능은 떨어지지만 계수효율은 높음을 확인 할 수 있었고, 실리콘 광증배 소자와 섬광체의 접합 물질에 따른 광 검출량은 큰 차이가 없었으나 섬광체의 반사체 검출 효율은 반사체의 물질에 따라 영향을 받는 것으로 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소(Agency for Defense Development) 수탁과제(계약번호 : UD110068ID)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사를 표합니다.

참고 문헌

1. G. Llos'a et al. "Characterization of a PET detector head based on continuous LYSO crystals and monolithic, 64-pixel silicon photo multiplier matrices", *Phys. Med. Biol.* 55 (2010) 7299-7315.
2. S. J. Jeon, K. S. Joo, S. H. Beak, J. G. Kim, "Performance evaluation of SiPM based gamma-ray imaging detector using lead shielded scintillator array", *7th International Conference on Isotope*, pp.14, 2011