

혼합형 구조를 적용한 HgI₂ 기반의 방사선 센서 제작 및 특성

장기원, 강현규, 이규홍, 김소영, 박지균*, 최홍국**, 남상희**, 임정기***
인제대학교 의용공학과*, 인제대학교 의료영상연구소**, 서울대병원 진단방사선과***

Fabrication and characteristics of Hybrid-type radiation detector using HgI₂

K. Y. Jang, H. G. Kang, G. H. Lee, S. Y. Kim, J. K. Park*, H. K. Choi**, S.H. Nam**, J. K. Lim***
Dept. of BME of Inje university*, Medical imaging research center of Inje University**, Hospital of Seoul Univ.***

Abstract

본 논문은 고에너지 방사선 검출을 위한 혼합형 구조의 방사선 센서를 제작, 반응 특성을 평가하였다. 먼저, 스크린 인쇄법을 이용하여 형광체 필름을 제작하였으며, 발광스펙트럼(PL, Photoluminescence) 및 잔광 시간(decay time) 측정을 통하여 형광체의 발광 특성을 조사하였다. 제작된 혼합구조의 방사선 센서는 2 μ m 두께의 HgI₂ 와 150 μ m 두께의 형광체 필름으로 제작되었으며, 면적은 2 cm × 2 cm 이다. 방사선에 대한 전기적 검출 신호의 특성을 조사하기 위해 인가전압에 따른 암전류 및 방사선민감도, 선량에 따른 검출신호를 측정하였다. 측정결과, 제작된 HgI₂ 필름은 방사선에 의해 형광체에서 방출된 가시광 파장을 잘 흡수하였으며, 진단영역의 저에너지 방사선에 의해 직접 전기적 신호를 발생시켜 높은 방사선 민감도를 보였다. 뿐만 아니라, 인가전압에 대해 10 pA/mm²이하의 낮은 암전류를 가졌으며, 넓은 조사선량에서 우수한 선형성을 보였다.

Key Words : HgI₂, 혼합형 구조, 발광스펙트럼, 방사선 민감도

1. 서 론

엑스-선 영상 검출기에서 사용되는 광도전 물질은 많은 기능적 조건들이 요구 되어져 왔다. 엑스-선에 대한 높은 흡수율을 가져야 하며, 낮은 암전류(dark current)를 가지기 위해 높은 비저항과 넓은 밴드갭을 지녀야 한다. 그리고 엑스-선에 의한 많은 전자-전공쌍(Electrom-Hole pairs)을 생성하기 위해서는 높은 광자효율(Quantum efficiency)을 가져야 한다. 이로 인해 높은 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio)를 획득할 수 있다. 또한 인가전기장(Electrical field)의 의해 광도전체 내부에서 생성된 전하가 수집전극으로 이동하는 과정에서 전하

트랩(trap)에 의한 전하손실이 없어야 한다. [2]

엑스-선 변화물질로는 a-Se, HgI₂, PbI₂, Cd(Zn)Te 등의 광도전물질이 사용되어지고 있으며, 그 중에서 HgI₂는 기존의 엑스-선 영상 검출기의 광도전물질로 사용되어지는 a-Se 보다 높은 원자 번호(80, 53)를 가지고 있으며, 전자-전공쌍 생성을 위한 낮은 에너지(~5eV)를 가지고 있어 새로운 엑스-선 변화물질로 각광받고 있다. [3, 4] 또한 HgI₂는 엑스-선뿐만 아니라 가시광선에 대해서도 높은 검출감도를 지니는 장점을 가지고 있다. 이런 점을 이용하여 가시광영역의 빛을 발광시키는 형광체를 HgI₂ 필름층에 형성시켜, 광자효율을 증감시킴으로써, HgI₂의 필름층의 두께도 줄일 수 있을

뿐만 아니라 전기적 신호검출도 높일 수 있다.

본 연구에서는 엑스-선 형광체 필름을 제조하여 발광특성을 조사하였으며, 형광체와 HgI₂가 결합된 혼합형 X선 검출기를 제조하여 엑스-선에 대한 전기적 반응 특성을 평가하였다.

2. 실험

2.1 실험시편

본 연구에서 사용된 HgI₂는 Cerac 社의 99.9% 순도의 원료이다. 시편 제작을 위해 사용된 증착기는 저항가열식 진공증착기(Resistive thermal evaporator)로써 증착시 10⁻⁶ Torr의 진공도를 유지하였고, 기판의 온도는 물순환에 의해 상온을 유지하였다. HgI₂ 증착에 앞서 ITO(Indium Thin Oxide)를 dc sputtering 법을 이용하여 유리기판(corning glass, 2 X 5 cm²)에 코팅하였다. ITO가 코팅된 유리 기판위에 HgI₂ powder를 약 90℃로 가열하여 면적이 2 X 2 cm²의 HgI₂층을 형성하였으며, 단일층 필름의 두께는 약 150μm이며, 다층구조의 검출기 제조를 위한 필름의 두께는 2 μm로 증착하였다. HgI₂와 상부전극 사이의 보호층은 PDS(Parlyene deposition system) 2060을 이용하여 약 100Å의 두께로 형성하였다. 혼합구조를 위한 형광체 필름은 스크린 프린터 장치를 이용하여 약 150μm의 두께로 형성시켰다. 마지막으로, 두 시편의 I-V 측정을 위한 상부 전극으로는 Au(Cerac, 99.99%)를 진공증착법으로 1.5 X 1.5 cm²의 면적으로 증착시켰다. 그림. 1은 제작된 단일층과 혼합구조의 검출기 시편의 단면구조이다.

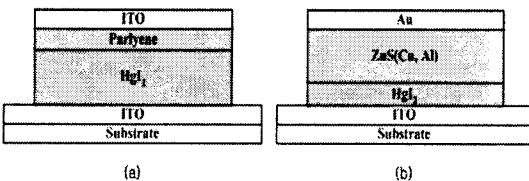


그림 1. 제조된 HgI₂와 ZnS(Cu,Al)/HgI₂ 검출기의 단면구조

2.2 실험방법

형광체 필름의 발광특성을 평가하기 위해서 FS900CDT를 이용하여 발광스펙트럼을 측정하였다. 제작된 시편의 암전류(dark current)의 측정을 위해 고전압 발생기(EG & G 588, USA)를 이용하

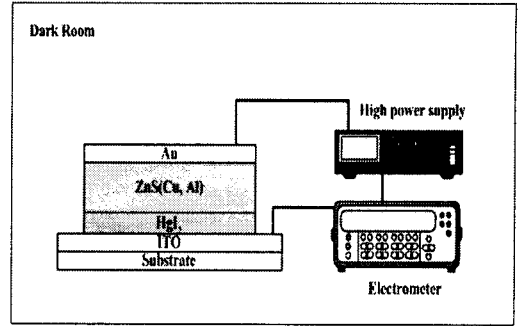


그림 2. 누설전류(Leakage current) 측정시스템 구성도

여 시편의 양단에 0.5 V/μm에서 3 V/μm까지 0.5V/μm의 간격으로 전압을 인가한 후, electrometer (Keithley 6517A)를 이용하여 미세전류를 측정하였다. 그림 2은 누설전류를 측정하기 위한 실험의 개략도이다.

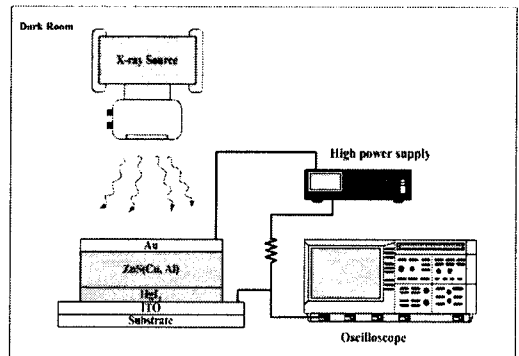


그림 3. 엑스-선 민감도 측정 시스템 구성도

엑스-선 민감도를 측정을 위해 사용된 엑스-선 발생기는 Shimadzu TR-500-125를 사용하였으며, 인가전압에 따른 엑스-선 민감도를 측정을 위해 조사조건은 70 kVp, 100mA, 30ms의 고정하였다., 엑스-선에 의해 발생된 전압값은 오실로스코프에 의해 획득되었다. 방사선 검출기(Ion chamber 2060, Radical Cooperation 社)를 이용하여 조사선량을 측정하였다. 그림 3은 엑스-선 민감도 측정을 위한 실험의 개략도이다.

오실로스코프에서 획득된 전압값을 엑스-선이 조사된 시간 영역에서 적분하고, 그 값을 사용된 저항치로 나누어 줌으로써 발생한 총 전하량을 계산할 수 있다. 총 전하량(Q)과 전류(I)는 검출 회로

의 구성에 의해 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 4는 스크린 인쇄된 형광체 필름들의 발광 스펙트럼을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 다른 방사선 형광체 필름에 비해 ZnS(Cu, Al) 형광체가 가장 높은 발광 강도를 가졌으며, 460 nm에서 640 nm의 상대적으로 넓은 영역의 가시광영역대에서 발광하는 것을 알 수 있었다. 그림 5는 형광체 필름들의 발광 감쇠시간을 보여주며 ZnS 계열의 형광체가 타 형광체들에 비해 매우 빠른 감쇠시간을 가졌으며, 고속 투시영상을 위한 적용을 위한 높은 시간 응답성을 가짐을 확인할 수 있었다.

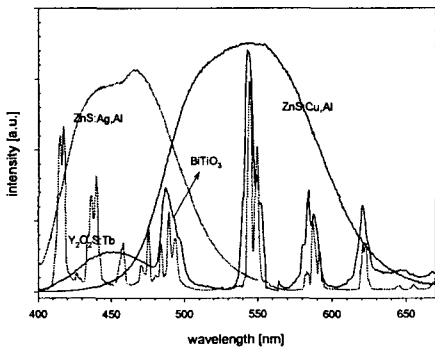


그림 4. 인쇄된 형광체 필름의 발광 스펙트럼

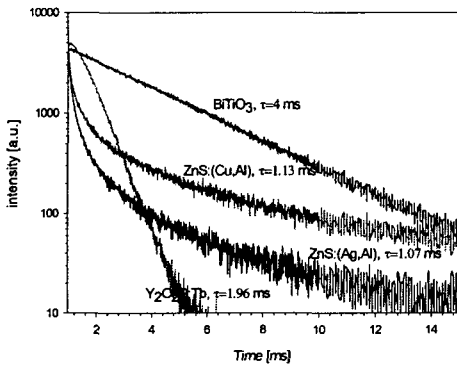


그림 5. 인쇄된 형광체 필름의 발광 감쇠시간

그림 6과 그림 7은 단일층 HgI₂와 혼합형 검출기 각각에 대한 인가전압에 따른 누설전류를 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 누설

전류는 대체적으로 유사한 값을 보이나, 혼합형 검출기에서 조금 높은 값을 나타냄을 볼 수 있다. 또한 혼합형 검출기에서 발생된 총전하량이 상대적으로 단일층 HgI₂ 보다 다소 높은 값을 나타낸다. 이러한 결과는 입사되는 엑스-선이 ZnS(Cu, Al) 층에 흡수되어 가시광선이 방출되고, 가시광선이 HgI₂ 층에 입사하여 발생된 전하량이 기여한 결과로 판단되어진다. 즉 혼합형 구조의 검출기는 형광층에서 발생한 빛과 HgI₂에 직접 입사된 엑스-선에 의해 발생된 전자-정공쌍을 동시에 검출하기 때문에 단일층 HgI₂에 비해 전자-정공쌍 생성 효율이 높아진 것임을 알 수 있었다.

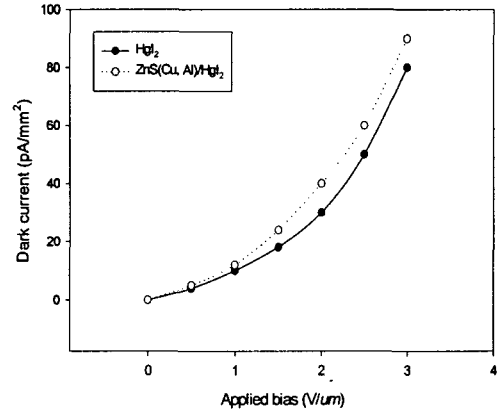


그림 6. 인가전압에 따른 누설 전류

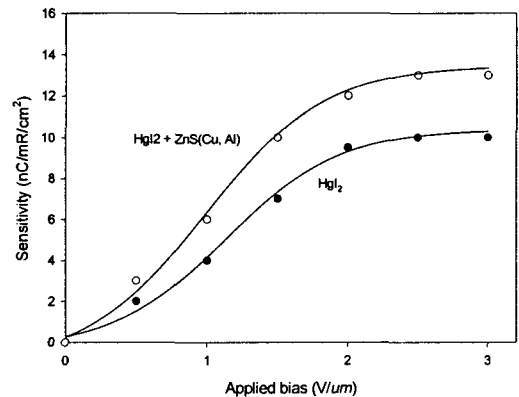


그림 7. 인가전압에 따른 엑스-선 민감도

4. 결 론

본 연구에서는 HgI₂를 이용한 단일층 엑스-선 검출기에서 생성되는 전자-정공쌍(EHP) 생성효율을 향상시키기 위해 엑스-선에 의해 형광체 층에서 발생한 가시광에 의해 변환된 전기적 신호와 엑스-선이 광도전층에서 직접 입사하여 발생한 전자-정공쌍에 의한 신호를 동시에 검출 할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 이에 가시광 영역에서 가장 큰 강도를 가지며 빠른 감쇠시간을 가지고 있는 ZnS(Cu, Al) 형광체를 사용하여 HgI₂와 결합하는 혼합구조의 엑스-선 검출기를 제조 및 전기적 평가를 측정 한 결과, 혼합형 구조에서 발생된 전기적 신호량이 단일층 구조보다 높은 전기적 신호량이 발생되었음을 확인할 수 있었다. 향후의 연구 방향은 보다 우수한 성능의 검출기 제작을 위한 형광체 층과 HgI₂ 층과의 최적의 두께에 대한 연구가 수행 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 원자력 연구 개발사업 지원(M2-0334-01-0001)에 의하여 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] J. S. Iwaczyk, B. E. Patt, C. R. Tull, L. R. MacDonald, N. Skinner, E. J. Hoffman, L. Fornaro, " HgI₂ Polycrystalline Films for Digital X-Ray Imagers", IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 49, No.1, p. 160, Feb. 2002
- [2] M. Schieber, H. Hermon, R. A. Street, S. E. Ready, A. Zuck, A. Vilensky, L. Melekhov, R. Shatunovsky, E. Meerson, Y. Saado, " Radiological X-ray Resopnse of Polycrystalline Mercuric Iodide Detectors", Proc. SPIE, vol. 3977, p. 48, 2000.
- [3] H. Hermon, R. A. Street, L. Melekhov, A. Zuck, A. Vilensky, S. E. Ready, G. Zentai, M. Schieber, L. Partain, " Electrical properties of polycrystalline mercuric iodide X-ray detectors", Proc. SPIE, vol. 4508, p. 20, 2001
- [4] M. K. Klintonberg, M. J. Weber, D. E.

Derenzo, "Luminescence and scintillation of Pbl₂ and HgI₂" J. Lumin. 102-103 (2003) 287-290

- [5] M. Schieber, H. Hermon, A. Zuck, A. Vilensky, L. Melekhov, R. Shatunovsky, E. Meerson, Y. Saado, M. Lukach, E. Pinkhasy, S. E. Ready, R. A. Street, " Thick films of X-ray polycrystalline mercuric iodide detectors", J. of crystal growth, 225(2001)118-123