

HgI₂ 방사선 검출기의 누설전류 저감에 관한 연구

신정욱, 강상식, 김진영, 김경진¹, 박성광², 조홍래², 이형원³, 남상희³
인제대학교 의용공학과, 부산백병원 방사선종양학과, 인제대학교 의료영상 연구소

Study on the dark current reduction of HgI₂ radiation detector

Jung-Wook Shin, Sang-Sik Kang, Jin-Young Kim, Kyung-Jin Kim¹, Sung-Kwang Park², Heung-Lae Jo²,
Hyung-Won Lee³, and Sang-Hee Nan³

Dept. BME of Inje university, Busan Paik Hospital of Inje University², Medical Imaging Research
Center of Inje University³

Abstract

Analog film/screen systems have been being changed to a digital x-ray imaging device using direct conversion materials. Photocoductors for a direct detection flat-panel imager require high x-ray absorption, ionization and charge collection, low leakage current and large area deposition. In this work, HgI₂ films with excellent properties for x-ray detector were deposited by screen printing method. The thickness of HgI₂ film was about 150 μm. The passivation layer is fabricated using a-Se and parlyene, the both fabrication HgI₂ film were compared for analyzing the leakage current reduction. We measured electrical properties-leakage current, photosensitivity, SNR though I-V measurement, As the result, HgI₂ film using a-Se passivation layer had the greater

Key Words : HgI₂, screen printing, passivation layer, I-V characteristics

1. 서 론

X선 영상 검출기에서 사용되는 광도전체 물질은 많은 기능적 요구조건들이 있다. 우선 높은 X선 흡수율을 가져야 하며 넓은 band gap을 가져 누설전류(Dark current)가 낮아야 한다. 또한 X선에 대한 전자-정공쌍(EHP)을 많이 만들어 내기 위해 광자효율(Quantum efficiency)이 높아야 하며, 이로 인해 신호대 잡음비(SNR)이 높은 영상을 얻을 수 있다. 뿐만 아니라 이러한 광도전체 내부에서 발생된 전하를 인가전기장(electric field)에 의해 수집전극으로 이동하는 과정에서 전하 트랩(trap)에 의한 전하손실이 없어야 한다. 이와 같은

요구 조건들은 X선 변환 물질의 물리적 특성에 의하여 결정되어진다.

HgI₂는 높은 원자 번호와 일함수(W)를 가지기 때문에 X선 흡수율이 높고 전자-정공쌍(EHP)의 생성량이 많으며, a-Se에 비하여 상대적으로 낮은 전압에서 구동하므로 TFT(Thin film transistor)와 같은 검출회로의 파괴 및 손상을 막을 수 있다. 이와 같이 HgI₂는 X선 영상 검출기로서의 유용한 특성을 가지지만 누설전류가 높기 때문에 전체 검출기의 신호대 잡음비(SNR)를 저하시킨다. 이러한 문제점은 보호층을 HgI₂ 층과 상부전극층 사이에 형성함으로써 해결 할 수 있다. 일반적으로 사용되는 보호막 물질로는 폴리비닐계열의 비저항이 높은

물질을 사용하는데, 이와 같은 물질은 전극 물질과 HgI_2 사이의 화학 작용을 막고 고전압의 인가를 방지하지만, 내부 생성 정공의 이동을 막기 때문에 전기적 특성 측정 시 tailing effect를 일으킬 수 있다. 광도전체 물질이 X선 변환 층과 상부전극층의 사이에 형성되었을 때 물질간의 화학작용을 방지하고, 고전압의 인가를 방지하는 보호층의 역할을 하면서 한 방향의 전도도를 가지는 버터층의 역할을 수행할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 a-Se 층을 HgI_2 X선 변환 층과 top 전극 층 사이에 형성하여 누설 전류 및 X선 민감도 등의 전기적 특성을 I-V 특성 실험을 통하여 측정하였으며, C-parlyene 물질이 보호 층으로 형성된 HgI_2 필름과 전기적 특성을 비교하였다.

2. 실험

2.1 실험 시편

본 연구의 제작된 HgI_2 시편은 순도 99.9% (3N)으로 사용하였으면, 기존 순도를 높이기 위하여 열처리를 하였다. HgI_2 층의 형성은 스크린 프린팅 방식을 사용하였으며 $150\mu m$ 의 두께로 형성되었다. HgI_2 층을 형성하기 이전에 준비된 ITO glass를 30 분간 초음파 세척을 하고, D.I water로 세척 후 질소 gun으로 수분을 제거하였다. 보호 층으로 사용된 a-Se 물질은 순도가 99.999%(5N)으로 진공 열 증착 방식으로 제작되었다. 제작을 위하여 저진공펌퍼(mechanical pump)와 확산펌퍼(diffusion pump)를 이용하여 챔버 내부 진공을 10^{-6} Torr 정도로 유지시킨 후 pallet 형태의 셀레늄 원료를 SUS boat로부터 증발시켜 약 2~3 μm 정도를 두께를 형성시켰다. 또 다른 보호 층으로 사용된 C-parlyene은 약 $2\mu m$ 의 두께로 PDS(parlyene deposition system)을 이용하여 형성하였다. 보호 층을 형성한 두 시편의 위에는 dark-current 특성이 우수한 Au 전극(두께 120nm, 면적 $1cm^2$)을 증착하여 형성하였다. 제작된 시편의 구조는 아래 그림 1.과 같다.

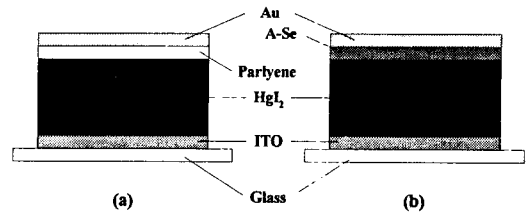


그림 1. 제작된 시편의 개략도 (a) parlyene (b) a-Se

2.2 실험장치

누설전류(Dark current)와 광전류 측정 시 시편 양단의 전극에 인가하는 고전압은 고전압 발생기 (EG&G 558H, USA)를 이용하였으며 암실에서 시편의 양단에 고전압을 인가 후, 발생하는 전류를 Electrometer (Keithley 6517A, USA)를 이용하여 측정하였다. 사용된 X-ray 장치는 일반 촬영용 기기인 Toshiba 社 DRX 35357를 사용하였다. x-ray 조사 조건은 관전압, 70kVp, 관전류, 100mA, 조사 시간은 30ms이다. x-ray 조건에 따른 선량은 Ion chamber 2060(Radical corp. USA)으로 측정 결과 9.75mR이었다. 파형의 획득을 위해 Oscilloscope (LC334AM, Lecroy)을 이용하였다. 측정 시편의 x-ray sensitivity는 Oscilloscope에서 획득된 파형을 AcqKnowledge 3.0을 이용하여 30ms동안 integral하여 photo charge 값을 구하였다. 그림 1과 같이 고전압발생기와 시편, 저항을 차례로 연결하였으며, 오실로스코프(Oscilloscope)는 저항양단의 전압변화를 측정하여 시편의 광전하량을 간접적으로 측정하였다. 다시 말하면, X-ray sensitivity를 계산하기 위해 Oscilloscope를 통해 얻어진 전압값을 X-ray가 조사된 시간 영역에서 적분하고, 그 값을 사용된 저항치로 나누어 발생한 총 photo charge를 계산하였다. 총전하량(Q)와 전류(I)는 검출 회로 구성에 의해 다음의 수식으로 계산할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

제조된 HgI_2 필름에 대해 인가전압에 따른 누설 전류를 측정하였다. 시편에 인가된 전압은 0.2 V/ μm ~5V/ μm 이다.

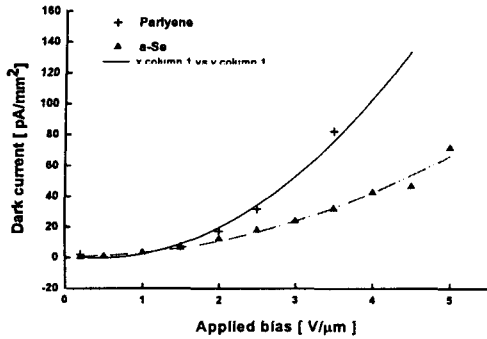


그림 2. 인가전압에 따른 누설 전류 특성

그림 2.은 a-Se 필름과 parlyene 층을 사용한 HgI₂ 필름의 인가전압에 따른 누설 전류 측정 결과를 나타낸다. 측정 결과, 2 V/μm 이하 전기장에서는 거의 유사한 누설전류를 보인 반면, 전기장이 높아질수록 a-Se층을 보호층으로 사용한 구조에서 훨씬 낮은 누설전류를 가졌다. 또한 a-Se 구조는 더 높은 인가전장에도 파괴현상(Breakdown) 현상이 일어나지 않았지만, parlyene를 이용한 HgI₂ 필름은 5 V/μm 이상에서 파괴현상이 일어났다. 이러한 결과는 parlyene 보다 높은 비저항을 가지는 a-Se층이 외부전압에 의한 전압유입을 충분히 차단시킬 뿐만 아니라, a-Se의 P형의 비정질구조에 의해 HgI₂와 a-Se의 계면에서의 공핍층이 증가한 결과임을 확인할 수 있었다.

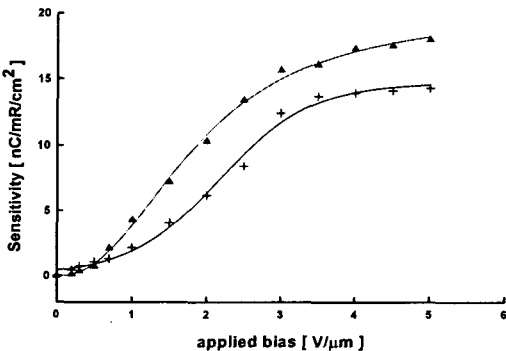


그림 3. 인가된 전압에 따른 X선 민감도

위의 그림 3.는 a-Se 필름과 parlyene 층을 사용한 HgI₂ 필름의 인가전압에 따른 X선 민감도 그래프를 보여준다. Parlyene을 사용한 시편은 X선의 의해 생성된 전하가 전기장에 의해 검출되면서

parlyene과 HgI₂의 계면에서 전하축적이 일어나 내부전기장을 약화시킴으로써 전하의 재결합을 촉진시켜 전하수집효율을 감소시킨다. 반면에, a-Se의 경우 HgI₂ 내부에서 발생된 전하가 a-Se을 통해 상부전극으로 이동하여 내부 전기장 약화를 야기하지 않기 때문에 전하수집효율을 증가시켜 민감도가 향상되었다. 이러한 특성은 민감도 측정 데이터에서도 알 수 있는 것과 같이, 저 전압 인가 시 더 큰 영향을 받는다. 1 V/μm의 전기장이 형성되었을 때, a-Se 보호층을 사용한 HgI₂ 필름은 5.45 nC/mR/cm² 인 반면, parlyene 보호층을 사용한 HgI₂ 필름은 2.37 nC/mR/cm²의 민감도를 가진다.

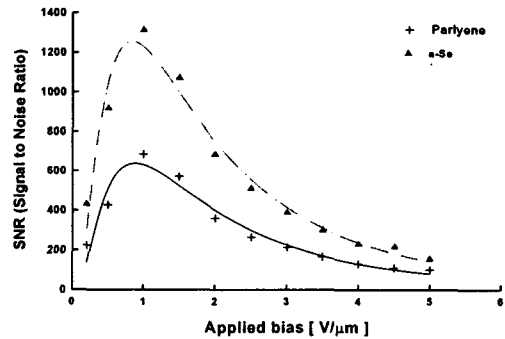


그림 4. 신호대 잡음비(SNR) 측정 그래프

그림 4.는 암전류와 X선 민감도의 비로 계산되어진 인가전압에 따른 신호대잡음비(SNR)를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 a-Se를 보호층으로 사용한 시편은 parlyene을 사용한 시편에 비하여 높은 SNR 특성을 보이고 있다. 특히, 두 시편에서 동일하게 관측되는 최대 SNR을 가지는 1V/μm 전기장이 인가되었을 때 기존 parlyene 보호층을 사용한 시편에 비하여 약 2배에 가까운 SNR을 나타내고 있다. 이는 누설 전류의 저감에 따른 역할도 있지만, HgI₂ X선 변환층 내부의 생성된 전자-정공 쌍의 이동을 방해하지 않기 때문인 것으로 사료된다.

4. 결론

HgI₂는 방사선 검출기로의 우수한 특성을 가지지만 누설전류가 a-Se에 비해 높다는 문제점으로 인하여 검출기로의 사용이 제한되어 왔다. 본 논문에서는 이러한 높은 누설 전류를 저감하기 위하여

기존 사용되어지는 parlyene 보호 층을 대신하여 a-Se 층을 보호 층으로 형성하였을 시 전기적 특성 변화를 조사하였다. 측정 결과, a-Se 보호 층의 사용 시 기존 구조에 비하여 내부 생성된 전자-정공 쌍의 이동을 차단하지 않으면서 고전압 방지 및 물질 간의 화학 작용을 막음으로써 보다 우수한 보호층의 역할을 하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 지원(M1-0104-00-0149)에 의하여 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] M. schieber, H. Hermon, A. Zuck, A. Vilmsky, L. Melekhov, R. shatunovsky, E. Meerson, and Y. Saado, "Polycrystalline mercuric iodide detectors", Proceeding of the SPIE Conf., Denver, CO, July 1999, Vol. 3770, 1999, p. 146.
- [2] M. schieber, H. Hermon, A. Zuck, A. Vilmsky, L. Melekhov, R. shatunovsky, E. Meerson, and R. Turchetta, "High flux X-ray response of composite mercuric iodide detectors", Proceeding of the SPIE Conf., Denver, CO, July 1999, Vol. 3768, 1999, p. 296.
- [3] M. Schieber, H. Hermon, R. A. Street, S. E. Ready, A. Zuck, A. Vilensky, L. Melenkhov, R. Shatunovsky, E. Meerson, Y. Saado, "Radiological X-ray response of polycrystalline mercuric iodide detectors", proceeding of the SPIE Medical Imaging 2000 Conf., Vol. 3977, 2000, p. 48.
- [4] M. Schieber, H. Hermon, R. A. Street, S. E. Ready, A. Zuck, A. Vilensky, L. Melenkhov, R. Shatunovsky, E. Meerson, Y. Saado, "theoretical and experimental sensitivity to X-rays of single and polycrystalline HgI₂ compared with different single-crystal detectors", Nucl. Instr. and Meth.. A 458 (2001) p. 46.
- [5] M. schieber, H. Hermon, A. Zuck, A. Vilmsky, L. Melekhov, R. shatunovsky, E. Meerson, Y. Saado, M. Lukach, E. Pinkhasy, S. E. ready, and R. A. Street, "Thick films of X-ray polycrystalline mercuric iodide detectors", Journal of Crystal Growth 225 (2001) 118-123.
- [6] G. Zentai, L. Partain, R. Pavlyuchkova, C. Proano and G. Virshup, "Mercuric Iodide and Lead Iodide X-Ray Detectors for Radiographic and Fluoroscopic Medical Imaging", Proceeding of the SPIE Vol. 5030, 2003, p. 77.
- [7] R. A. Street, M. Mulato, S. E. Read, R. Lau, J. Ho, K. Van Schuylenbergh, M. Schieber, H. Hermon, A. Zuck, A. Vilensky, K. Shah, P. Bennett and Y. Dmitryev, "Comparative Study of PbI₂ and HgI₂ as Direct detector Materials for High Resolution X-ray Image Sensor", Proc. of the SPIE MI 2001. Vol. 4320 (2001) p. 1.
- [8] R. A. Street, S. E. Ready, L. Melekhov, J. Ho, A. Zuck and B. Breen, "Approaching the theoretical X-ray Sensitivity with HgI₂ Direct Detection Image Sensor", Proc. of the SPIE MI 20012. Vol. 4382 (2002) p. 414.