

X선 영상센서 적용을 위한 광도전체 필름의 전기적 응답특성 연구

강상식, 김찬욱, 이미현, 이광욱, 문용수, 안성아, 노시철*, 박지균

한국국제대학교 방사선학과, 인제대학교 의용공학과*

A study on electrical response property of photoconductor film for x-ray imaging sensor

Sangsik Kang, Chanwook Kim, Mihyun Lee, kwangok Lee, Yongsoo Moon, Sunga An, Cichul No*, Jikoon Park

Department of Radiological Science of Korea International Univ., Department of Biomedical Engineering of Inje Univ.*

요 약

최근 디지털 방사선 영상획득을 위한 평판형 X선 검출기에 이용되는 광도전체(a-Se, HgI₂, PbO, CdTe, PbI₂ 등)에 대한 관심이 증대되고 있다. 본 연구에서는 HgI₂ 와 a-Se 필름 변환체에 대해 X선에 대한 전기적 신호검출 특성을 조사하였다. 수백 마이크로의 두꺼운 광도전체 필름 제작을 위해 HgI₂는 입자침전방법을 이용하였고, a-Se은 종래의 진공열증착법을 이용하였다. 제작된 시편에 대한 전기적 특성 실험은 누설전류, 신호응답 특성, 민감도 등을 측정하였다. 실험결과로부터, HgI₂는 상용화된 a-Se에 비해 낮은 동작전압특성과 우수한 신호 발생율을 보임을 알 수 있었다.

Abstract

Recently, the compound materials(a-Se, HgI₂, PbO, CdTe, PbI₂, etc.) that are used in flat panel x-ray imager have been studied for digital x-ray imaging. In this paper, the signal detection properties of HgI₂ and a-Se conversion layer, are compared. The thick HgI₂ film is fabricated by special particle-in-binder method and the conventional vacuum thermal evaporation is used for a deposition of a-Se film. And an electrical characteristic measurements were investigated about leakage current, signal response property and x-ray sensitivity. From the experimental results show that the HgI₂ film has a low operation voltage and high signal generation than that of a-Se.

Key Word : photoconductor, particle-in-binder, leakage current, sensitivity, electric field, 광도전체, 침전법, 누설전류, 민감도, 전기장

I. 서론

디지털 방사선 영상은 필름/스크린 방식의 아날로그 영상에 비해 획득방법이 간단하고, 영상처리 및 저장이 용이하여 최근 의료진단, 항만검색, 비파괴 검사 등 여러 분야에서 이용이 증대되고 있다¹⁻³⁾.

이러한 디지털 영상을 획득하는 방법에는 크게 형광체와 수광소자(photodiode)를 이용하는 간접변환방식과 두꺼운 X선에 민감한 광도전체를 이용하는 직접변환방식으로 구분할 수 있다. 직접변환방식은 변환과정에서 광의 산란을 야기하는 형광체를 이용하지 않고 직접 전기적신호로 변환되기 때문에 우수한 공간해상도(spatial resolution)을 제공한다. 이러한 직접방식에 이용되는 광

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No.2009-0088856)
Corresponding Author : 박지균
주소: 경남 김해시 진영읍 본산리 후호 1221, E-mail: radiopjk@iuk.ac.kr, Tel: +82-10-9343-7803
투고 일자: 2009년 09월 05일, 심사일자: 2009년 09월 30일, 수정 일자: 2009년 11월 13일, 게재 확정일자: 2009년 12월 22일

도전체 물질은 높은 X선 흡수도, 우수한 전하 수집율, 낮은 누설전류 및 빠른 신호응답특성을 가져야 한다. 이러한 특성들은 원자번호, 에너지 밴드갭, 효율적인 전하 생성 에너지, 전하 이동도 및 수명과 같은 물질의 물리적인 특성에 의존한다. 즉, 광도전체의 밴드갭 에너지는 열적 누설전류를 감소시키기 위해 충분히 커야하며 전자-정공쌍을 생성시키는데 필요한 X선 에너지인 일함수(W)는 낮을수록 민감도를 높일 수가 있다. 또한 전하의 이동도 및 수명이 커야 광도전체 내에서의 생성전하의 수집효율 및 시간응답특성 등이 우수한 특성을 보인다.

현재 상용화되어 이용되고 있는 a-Se는 전자-정공 생성에너지(W)값이 높고, 동작전압이 높아 소자의 파괴 및 수명감소 등의 문제점이 보고 되었다^{4,5}. 반면에 HgI₂는 X선 흡수율, W값이 낮은 장점이 있지만, 열증착 방법으로 수백 마이크로 두께의 필름의 제작이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 입자침전법(Particle-in-Binder)을 이용하여 필름을 제작하여 X선에 대한 전기적 특성을 측정하였고 a-Se과의 X선 검출특성을 비교 평가함으로써 X선 영상 검출기 적용 가능성을 조사하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

시편제작에 앞서, a-Se과 HgI₂ 광도전체 필름의 두께는 MCNPX 코드를 이용하여 70 kVp 에 해당하는 입사 X선 강도의 90% 이상 흡수되는 두께를 모의추정하여 결정하였다. 시편제작은 먼저, X선에 의해 발생된 전하 캐리어의 수집을 위한 하부전극으로 ITO(indium tin oxide)를 유리(2cm × 5cm) 기판위에 DC 스퍼터링법을 이용하여 증착하였다. 그 다음 광도전체 물질로서 비정질 셀레늄(a-Se)는 진공 열증착 시스템을 이용하여 10⁻⁶ Torr 의 진공을 유지하는 동안 약 270도의 열에 의해 증발된 Se 기체입자를 ITO 유리기판위에 약 500μm 두께로 증착시켰다. 반면에, HgI₂ 필름은 HgI₂ 입자 분말과 바인더(DGME+DGMA) 물질을 섞어 상온, 대기압 조건에서 입자침전 공정을 통해 대략 150μm 두께로 형성하여 제작하였다. 끝으로 광도전체 내부에 전기장을 인가하기 위한 상부전극으로 ITO를 형성하였다.

제작된 시편에 대해 X선 신호 반응특성을 조사하기 위해인가전압후 누설전류의 시간응답특성, X선에 의한 신호발생 민감도, 신호대잡음비(SNR)을 측정하였다. 그

림 1은 전기적 응답특성 측정을 위한 실험개략도를 나타내고 있다. 누설전류의 측정은 암상태에서 Electrometer(Kithley 6517A, USA)를 이용하여 측정하였고, 전압을 인가하기 위한 고전압 발생기(EG & G 558H, USA)를 이용하였다. 민감도 및 시간응답특성의 측정은 도시바(社)의 DRX 353570 장비를 사용하여 발생한 전하 신호파형을 오실로스코프(LeCroy LC334AM, USA)로 획득한 후 ACQ 프로그램을 이용하여 정량적 신호량을 계산하였다.

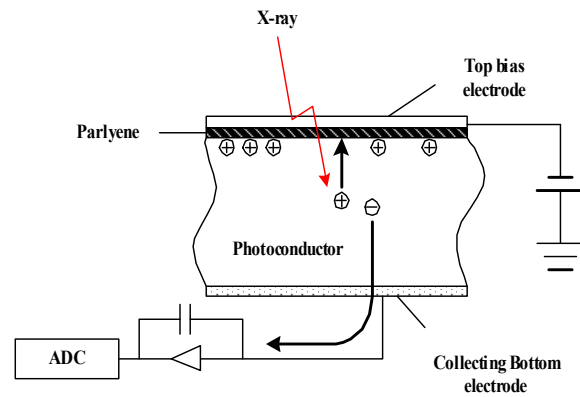
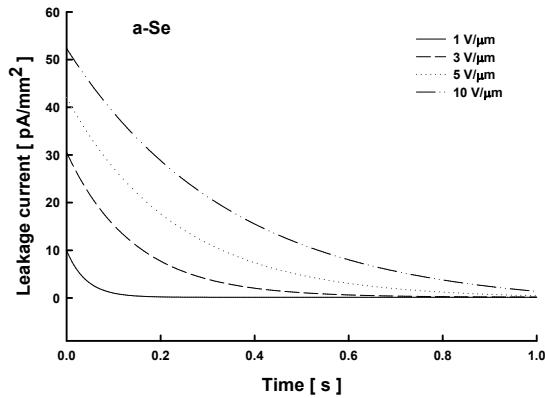


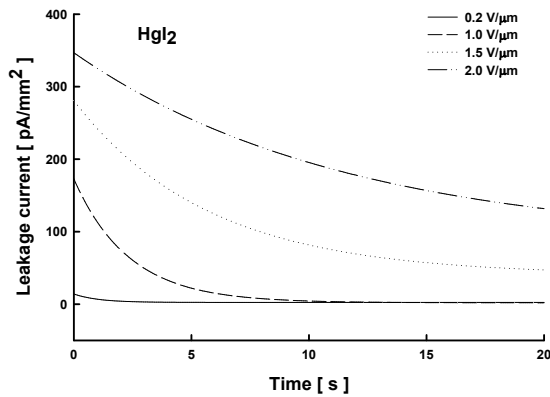
그림 1. 전기적 측정을 위한 실험개략도

III. 결과

그림 2는 제작된 a-Se(500 μm)과 HgI₂(150 μm) 시편의 인가전압 크기에 따른 누설전류의 시간 응답특성 측정 결과를 그래프로 나타내었다. 그림에서와 같이 a-Se 시편은 10 V/μm의 인가전기장에서 전압인가 후 누설전류의 안정화를 위해서 약 1초 정도가 요구되는 반면 HgI₂ 시편의 경우 2 V/μm에서 약 20초 이상이 요구되었다. 또한 두 시편 모두 인가전기장의 크기가 높을수록 누설전류 안정을 위해 더 긴 시간이 요구됨을 확인할 수 있었다.



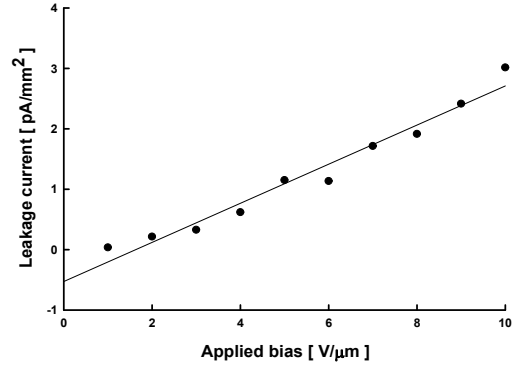
(a) a-Se



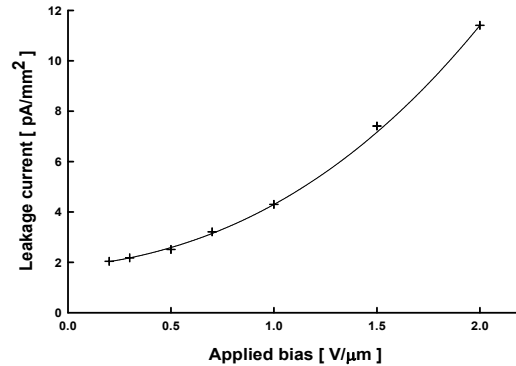
(b) HgI₂

그림 2. 전압인가 후 (a)a-Se과 (b)HgI₂ 누설전류의 시간적 응답특성

그림 3은 a-Se(500 μm)과 HgI₂(150 μm) 시편의 인가전압 크기에 따른 누설전류의 크기를 나타낸다. HgI₂ 필름의 누설전류는 인가전압이 증가함에 따라 지수적으로 증가하는 반면 a-Se는 거의 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 또한 HgI₂의 누설전류 크기는 1 V/μm의 낮은 전기장에서 약 4.3 pA/mm²의 낮은 값을 얻었으며, 그 이상의 전기장에서 누설전류 값이 급격히 증가하였으며, 이에 비해 a-Se의 경우 10 V/μm의 높은 전기장에서도 5 pA 이하의 낮은 누설전류를 안정적으로 유지하는 것을 확인할 수 있었다.



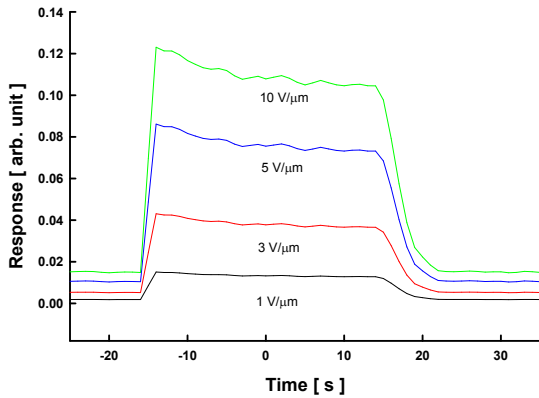
(a) a-Se



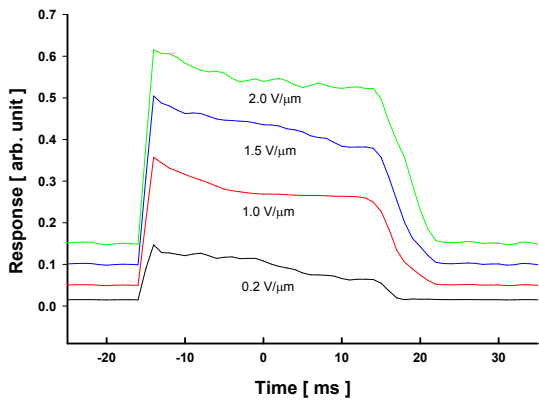
(b) HgI₂

그림 3. 인가전압에 따른 (a)a-Se과 (b)HgI₂의 누설전류

그림 4는 HgI₂와 a-Se의 고유 X선 응답 특성을 시간 변화에 따른 측정치로 나타냈다. 시간변화에 따라 a-Se과 HgI₂ 사이에서 몇 가지 차이점이 나타났다. a-Se 층은 응답특성이 뚜렷한 차이를 보이지 않았고, 시간이 지나 감에 따라 미약한 감소를 보였다. 1V/μm 전장에서 소실된 신호는 약 20%이고, 10V/μm 전장에서 소실된 신호는 약 16%였다. 또한 a-Se 층에서 미세한 tailing effect가 관찰되었다. 반면에 HgI₂ 층의 응답특성은 시간이 지나 감에 따라 큰 감소를 보였다. 이것은 전자재결합에 따라 tailing effect 효과의 증가로 나타난 것이다. 0.2V/μm 전장에서 HgI₂ 층의 소실된 신호는 약 60%였고, 2V/μm 전장에서 소실된 신호는 약 20%였다. 전장이 강한 영역에서는 전하 재결합이 감소했고, 전하의 전달 효율이 증가했다. 이 때문에 tailing effect는 상당히 감소되었다.



(a) a-Se

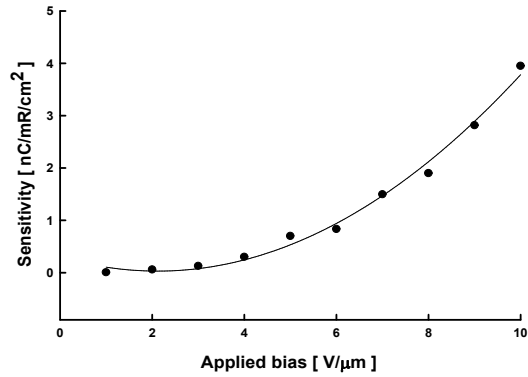


(b) HgI₂

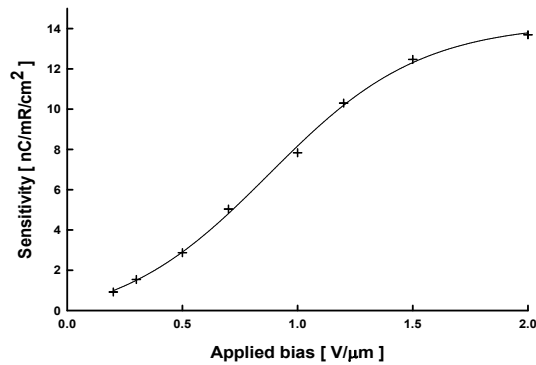
그림 4. X선 조사 후 시간에 따른 (a)a-Se와 (b)HgI₂의 신호응답특성

그림 5는 a-Se와 HgI₂ 시편에 대해 70 kVp의 연속 X선에 대한 반응 민감도 측정결과를 보여준다. HgI₂ 필름의 민감도는 1.6 V/μm의 전기장까지 가파르게 증가하다가 포화하는 경향을 보였으며, 2 V/μm에서 약 14 nC/mR-cm²의 값을 보였다.

이에 비해 a-Se의 경우 거의 지수적으로 증가하였으며 10 V/μm의 전기장에서 약 4 nC/mR-cm²으로 HgI₂에 비해 3배 이상 낮은 민감도를 보였다.



(a) a-Se



(b) HgI₂

그림 5. 인가전압에 따른 (a)a-Se와 (b)HgI₂의 X선 민감도

IV. 고찰

HgI₂ 층은 높은 누설전류와 누설전류가 안정되기 위해서 긴 감쇠 시간이 필요하다. 뿐만 아니라 낮은 전장 세기에서 소실되는 신호는 tailing effect 때문인 것으로 보인다. 그러나 HgI₂ 층의 X선 민감도는 a-Se 보다 높은 값을 보였다. 실험결과로부터, HgI₂가 가진 몇 가지 문제점들이 해결된다면 HgI₂는 방사선 검출을 위한 변환 물질로써 매우 유용하게 쓰일 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No.2009-0088856)

참 고 문 헌

- [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.