

Mercuric Iodide 기반의 디지털 X-선 검출기의 특성 연구

조성호*, 박지균*, 최장용*, 석대우*, 차병열*, 남상희*, 이범중**
인제대학교 의용공학과*, 인제대학교 첨단소재학과**

Characterization studies of digital x-ray detector based on mercuric iodide

Sung-Ho Cho*, Ji-Koon Park*, Jang-Yong Choi*, Dae-Woo Suck*, Byung-Yul Cha*, Sang-Hee Nam*,
Byum-Jong Lee**

Department of Biomedical Engineering, College of Biomedical Science and Engineering, Inje University*,
Department of advanced material chemistry, Inje University**

Abstract

For the purpose of digital x-ray imaging, many materials such as PbI_2 , HgI_2 , $TlBr$, $CdTe$ and $CdZnTe$ have been under development for several years as direct converter layer. HgI_2 film detector have recently been shown as one of the most promising semiconductor materials to be used as direct converters in x-ray digital radiography. This paper, the HgI_2 films are deposited on conductive-coated glass by screen printing, in which HgI_2 powder is embedded in a binder and solvent, and the slurry is used to coat the conductive-coated glass. We investigated electrical characteristic of the fabricated HgI_2 films. The x-ray response to radiological x-ray generator of 70Kvp using the current integration mode will be reported for screen printing films. These results indicate that HgI_2 detectors have high potential as new digital x-ray imaging devices for radiography.

Key Words : Digital radiography, mercuric iodide, screen printing, x-ray sensitivity, dark current

1. 서 론

의학 장비와 컴퓨터 기술의 꾸준한 발전에 의해 필름과 기존 X선 영상 검출 장비를 대체하는 디지털 영상 검출 장치의 연구가 있어 왔다. 이런 X선 영상 검출기에서 사용되는 광도전 물질은 많은 기능적 요구조건들이 있다. 우선 높은 X선 흡수율을 가져야 하며 높은 비저항을 가져 누설전류(leakage 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 수집전극

으로 이동하는 과정에서 전하 트랩(trap)에 의한 전하손실이 없어야 한다. 이러한 X선 변환물질로서는 Si, Ge 등과 함께 a-Se, PbI_2 , HgI_2 , $TlBr$, $Cd(Zn)Te$ 등이 일반적으로 사용되고 있다. 표 1은 이러한 광도전 물질에 대한 물리적 특성을 비교한 것이다. 이러한 물질중에서도 HgI_2 는 그들의 높은 원자번호(80-53)와 넓은 밴드갭(2.15eV)과 전자-정공쌍 발생을 위한 낮은 에너지(~5eV) 등의 우수한 특성으로 인해 새로운 X선 변환물질로 각광을 받고 있다.

HgI_2 검출기를 제작하는 방법으로는 크게 PVD(physical vapor deposition) 방식과 SP(screen print) 기술이 있다. PVD 방식은 대면적 제작이 용이하며 검출기의 성능이 우수하지만 불순물에 의한 HgI_2 필름의 결함이나 트랩 등으로 인한 검출

표 1. X-선 민감 반도체 물질의 비교.

	Poly HgI ₂	Poly PbI ₂	a-Se	Poly CdZnTe
Atomic number	80,53	82,53	34	48,30,52
Energy bandgap (eV)	2.1	2.3	2.2	1.5
Charge pair energy formation (eV)	5.5	6.6	50	4.5
Mobility Life-time product (cm ² /V)	10 ⁻⁷	(h) 1.8×10 ⁻⁶ (e) 7×10 ⁻⁸	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷
Operational electric field (V/cm)	10 ⁴	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁷

기의 성능이 현저히 떨어지는 문제점으로 인해 우수한 결정 성장을 위해서는 여러단계의 정제과정이 필요하다.[1]

반면에 SP 방법은 HgI₂ 파우더를 Polystyrene, Poly-Vinyl-Butyral, Humiseal과 같은 폴리머 바인더에 섞어서 슬러리를 만든후 매쉬를 이용하여 필름을 제조하는 방법으로 일반적인 PVD 방식이다. 최근에 이러한 SP 방식의 검출기가 전에 보고된 X-선 민감도보다 크게 향상되고 있지만 아직까지는 SP 방식의 HgI₂ 검출기의 X-선 민감도는 PVD 방식의 HgI₂ 검출기보다 못하고 있는 실정이다.[2-3] 그림에도 불구하고 대면적의 SP 검출기를 제작하는 데 있어서 매우 낮은 제작 비용과 공정의 간단함으로 인해 매우 활발한 연구가 이루어지고 있는 실정이다. 이에 따라 본 논문에서는 대면적 증착을 위해 SP 방식을 이용한 HgI₂ 검출기의 전기적 특성 및 HgI₂ 파우더의 입자 크기에 따른 전기적 특성을 측정하였다.

2. 실험

2.1 시편제작

본 연구에 사용된 HgI₂는 다결정을 가진 파우더로서 스크린 프린트를 하기 전 준비된 glass는 30분간 초음파 세척을 하고, DI water로 세척후 질소 건조로 수분을 제거하였다.

하부전극은 ITO(indium-tin-oxide)를 DC 스퍼터링을 이용하여 유리기판(corning glass, 2×5 cm)위

에 형성하였다. 이상과 같은 방법을 통해 제작된 ITO glass 위에 정제된 다결정 HgI₂ 파우더를 사용하여 스크린 프린트 방법을 통해 필름을 제작하였다. 사용된 HgI₂의 입자크기는 각각 100, 200, 300 μm이며 솔벤트와 에틸렌, 폴리머 바인더(Poly-Vinyl-Butyral)를 이용하였다. 상부전극으로는 금을 1.5×1.5 cm²의 크기로 진공열증착 방식을 통하여 증착하였다. 제작된 시편의 두께는 100 μm이다.

그림 1은 이상과 같은 방법으로 인해 제작된 시편의 모양을 나타내고 있다.

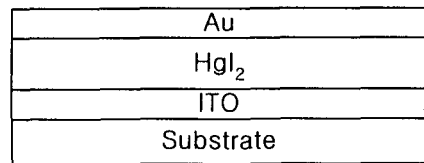


그림 1. 제작된 시편의 단면 구조.

2.2 X-선 민감도 측정

누설전류(Dark current) 측정은 고전압발생기(EG&G 558H, USA)를 이용하였으며 암실에서 시편의 양단에 고전압을 인가 후, 발생되는 전류를 Electrometer(Keithley 6517A, USA)를 이용하여 측정하였다. 또한 X선 조사에 의한 신호발생량을 측정하기 위한 회로를 그림 2와 같이 구성하였다.

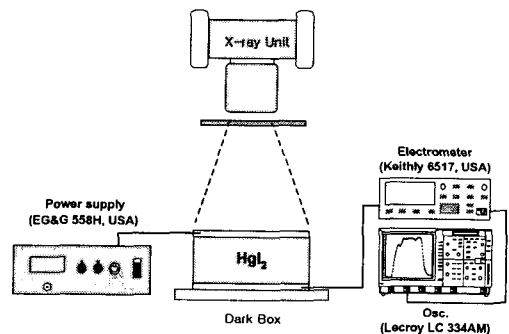


그림 2. 누설전류 및 X-선 민감도 측정 개략도.

전압에 따른 X선 민감도를 측정하기 위하여 인가전압은 0.5-1.5V/μm로 하였으며 시편에 대한 X-ray의 조사조건은 차폐체(Al 및 Cu)를 이용하여 12.5mR의 균일 조사선량으로 측정하였다. X선

발생기는 Toshiba 社 KXO-50N을 사용하였다.

X선 민감도를 계산하기 위해 Electrometer의 preamp out 단자를 Oscilloscope 채널에 연결하였다. Electrometer의 전치증폭기 출력단자는 scaling에 따라 1nA를 1V 전압출력을 나타냄으로 그 출력파형을 Oscilloscope(Lecroy, LC 334AM)에 디스플레이함으로써 시간에 따른 전류의 변화를 관찰할 수 있다. Electrometer와 Oscilloscope를 통해 얻어진 전류값을 X선이 조사된 시간 영역에서 적분하여 계산함으로써 총전하량을 계산하여 X-선 민감도를 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 제작된 시편에 대한 I-V 특성 곡선으로서 누설전류와 X-선 민감도를 나타낸다. 양전압을 인가했을 때 보다 음전압을 인가했을 때, 즉 electron을 수집할 때의 누설전류가 약간 높게 나타났다.

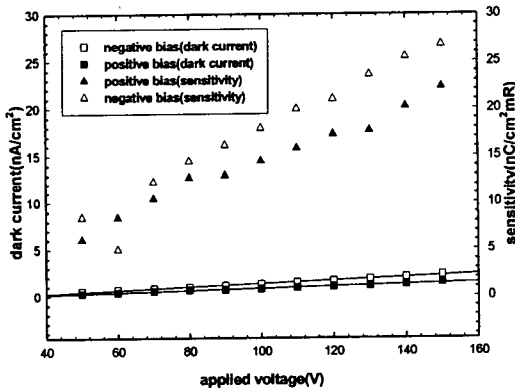


그림 3. HgI₂의 누설전류와 민감도.

문헌상[4-5]에 나와있는 HgI₂의 누설전류는 수십 pA에서 수백 pA이지만 제작된 시편에 대해서는 다소 높은 누설전류가 관측되었다. 이는 SP 방법으로 시편 제작시 시편 표면의 불균일성으로 인한 것으로 사료된다. 또한 입자크기에 따른 누설전류의 요동은 관찰되지 않았다.

X-선 민감도 또한 누설전류와 같은 경향을 보였다.

그림 4는 제작된 시편에 대한 광전류 및 SNR을 나타내고 있다. SNR(signal-to-noise ratio)은 신호 대잡음비로서 제작된 시편에 대한 누설전류와 X-

선 조사시 발생하는 최대 전류값의 비로서 그 값을 계산하였다. 최대전류(peak current)는 X-선 민감도와 마찬가지로 음전압을 인가했을 때 더 크게 나타났지만 실제적인 SNR을 계산했을 때는 양전압을 인가했을 때가 더 크게 나타났다. 이는 음전압 인가시 누설전류의 증감으로 인해 실질적인 X-선 영상으로 표현시 양전압 인가, 즉 정공을 수집하는 것이 더욱 효과적이라는 것을 알 수 있다. 그러나, 양·음 전압 모두 인가전압이 증가할수록 SNR이 떨어지는 경향을 나타내었다. 이는 전압이 증가함에 따른 수집효율이 현저히 떨어지는 것을 의미하므로 이에 대한 연구는 계속 되어야 할 것으로 사료된다.

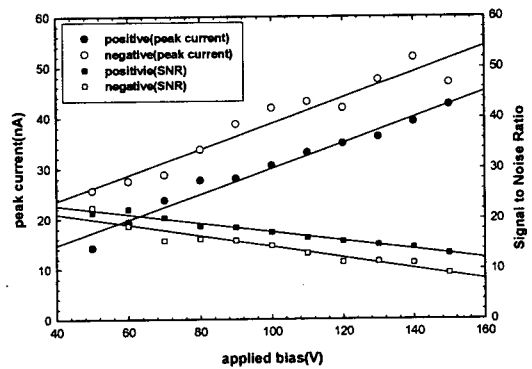


그림 4. HgI₂의 peak current와 SNR.

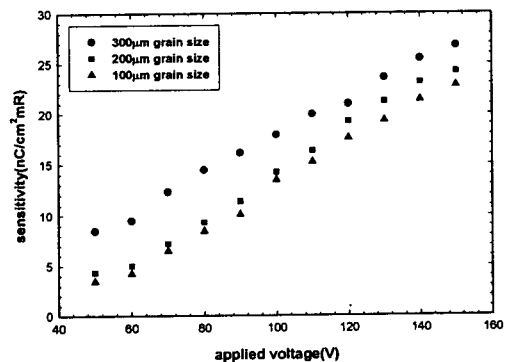


그림 5. HgI₂의 grain size에 따른 X-선 민감도.

그림 5는 HgI₂의 입자크기에 따른 X-선 민감도를 나타낸다. 입자크기가 클수록 X-선 민감도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 HgI₂ 파우더의 결정

크기가 커짐에 따라 X-선과의 상호작용이 더욱 증가하는 것에 의한 것으로 추측된다. 본 연구에서는 입자크기를 최대 300 μm 로 설정하였으나 향후 더욱 큰 입자크기에 따른 연구를 수행해야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 다결정 HgI_2 파우더를 용매와 폴리머 바인더를 사용하여 스크린 프린트 방식으로 필름을 제작하였다. 제작된 시편의 누설전류, X-선 민감도, SNR 및 입자크기에 따른 필름의 전기적 특성을 측정된 결과, 기존에 제작된 HgI_2 필름과 비슷하거나 더욱 우수한 성능의 검출기가 제작됨을 확인 할 수 있었다. 또한 입자크기가 증가할수록 더 큰 민감도를 나타내었다. 이러한 결과는 HgI_2 를 이용한 디지털 방사선 검출기의 개발을 위한 기초자료가 될 것으로 사료된다.

향후 더 큰 입자크기에 따른 X-선 민감도 및 시편 제작시 표면의 균일상태에 따른 누설전류의 영향을 수행 할 것이다.

감사의 글

본 연구논문은 정보통신부의 출연금으로 수행한 정보통신 선도기반 기술개발사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] M. Schieber, H. Hermon, M. Roth, in: R.B. James, T.E. Schlesinger, P. Siffert and L. Franks(Eds.), Materials Research Society Symposium Proceedings, Semiconductors for Room Temperature Radiation Detectors Applications, vol. 342, p347-357, 1993
- [2] M. Schieber, A. Zuck, M. Braiman, L. Melekhov, J. Nissenbaum, R. Turchetta, W. Dulinski, D. Husson, and J.L. Riester, Nucl. Instrum. and Meth., vol 428, p25, 1999
- [3] R. Turchetta, W. Dulinski, D. Husson, J.L. Riester, M. Schieber, A. Zuck, L. Melekhov, Y. Saado, Nucl. Instrum. and Meth., vol 428, p88, 1999
- [4] G. Zentai, L. Partain, R. Pavlyuchkova, G.

Virshup, A. Zuck, L. Melekhov, O. Dagan, A. Vilensky and H. Gilboa. Proc. of the SPIE vol 4682, Medical Imaging vol 592, 2002.

- [5] G. Zentai, L. Partain, R. Pavlyuchkova, C. Proano and G. Virshup. Proc. of the SPIE vol 5030, 2003.