

직접 검출형 평판 검출기 적용을 위한 변환층 설계 및 제작

노시철*, 강상식*, 정봉재*, 최일홍*, 조창훈*, 허예지*, 윤주선**, 박지균*

한국국제대학교 방사선학과*, ㈜포스콤**

The Design and Fabrication of Conversion Layer for Application of Direct-Detection Type Flat Panel Detector

Sicheol Noh*, Sangsik Kang*, Bongjae Jung*, Ilhong Choi*, Changhoon Cho*, Yeji Heo*,
Juseon Yoon**, and Jikoon Park*

Dept. of Radiological Science, International University of Korea, POSKOM Co., Ltd.***

요약

최근 디지털 방사선 영상획득을 위한 평판형 X선 검출기에 이용되는 광도전체(a-Se, HgI₂, PbO, CdTe, PbI₂ 등)에 대한 관심이 증대되고 있다. 본 연구에서는 입자침전법 적용이 가능한 광도전 물질을 이용하여 X선 영상 검출기 적용을 위한 필름층을 제작하여 평가하였다. 먼저, X선 영상에서 일반적으로 사용되는 에너지대역인 70 kVp의 연속 X선에 대한 필름 두께별 양자효율을 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 조사하였다. 평가결과, 현재 상용화된 500 μm 두께의 a-Se 필름에 대한 양자효율인 64%와 유사한 HgI₂의 필름의 두께는 180 μm 정도였으며, 240 μm 두께에서 74%의 높은 양자효율을 보였다. 입자침전법을 이용하여 제작된 239 μm 필름에 대한 전기적 측정결과, 10 pA/mm² 이하의 매우 낮은 암전류를 보였으며, X선 민감도는 1 V/μm의 인가전압에서 19.8 mC/mR-sec의 높은 감도를 보였다. 영상의 대조도에 영향을 미치는 신호 대 잡음비 평가결과 0.8 V/μm의 낮은 동작전압에서 3,125의 높은 값을 보였으며, 전기장의 세기가 높아질수록 암전류의 급격한 증가에 의해 SNR 값이 지속적으로 감소하였다. 이러한 결과는 종래의 a-Se를 이용하는 평판형 검출기를 입자 침전법으로 제작 가능한 필름으로 대체하여 저가형 고성능 영상검출기 개발이 가능할 것으로 기대된다.

중심단어: 검출기, 엑스선 영상, 입자침전법, 요오드화수은, 신호 대 잡음비

Abstract

Recently, Interest to the photoconductor, which is used to flat form X-ray detector such as a-Se, HgI₂, PbO, CdTe, PbI₂ etc. is increasing. In this study, the film layer by using the photoconductive material with particle sedimentation was fabricated and evaluated. The quantization efficiency of the continuous X-ray with the 70 kVp energy bandwidth was analyzed by using the Monte Carlo simulation. With the results, the thickness of film with 64% quantization efficiency was 180 μm which is similar to the efficiency of 500 μm a-Se film. And HgI₂ film has the high quantization efficiency of 74% on 240 μm thickness. The electrical characteristics of the 239 μm HgI₂ films produced by particle sedimentation were shown as very low dark current(under 10 pA/mm²), and high sensitivity(19.8 mC/mR-sec) with 1 V/μm input voltage. The SNR, which

is influence to the contrast of X-ray image, was shown highly as 3,125 in low driving voltage on 0.8 V/μm. With the results of this study, the development of the low-cost, high-performance image detector with film could be possible by replacing the film produced by particle sedimentation instead to a-Se detector.

Key Words : detector, X-ray image, particle sedimentation, HgI₂, SNR

I. 서론

디지털 X선 영상의 획득방법에는 크게 형광체 필름과 광센서 어레이 소자를 이용하는 간접변환방식과 광도전체 층과 CMOS 또는 TFT 어레이 소자를 이용하는 직접변환방식으로 분류된다. 특히, 직접변환방식은 변환과정에서 광의 산란을 야기하는 형광체를 이용하지 않고 직접 전기적신호로 변환되기 때문에 우수한 공간해상력을 제공한다^[1-2]. 이러한 직접방식에 이용되는 광도전체 물질은 높은 X선 양자효율, 높은 전하 수집율, 낮은 암전류, 높은 X선 민감도 및 신호대 잡음비 등이 요구된다^[3].

현재 상용화되어 이용되고 있는 a-Se은 전자-정공 생성에너지(W) 값이 약 50 eV 로 매우 높고, 동작전압이 수 kV 이상으로 높아 TFT 소자의 파괴 및 수명감소 등의 문제점이 보고되었다. 반면에 HgI₂는 높은 원자번호에 의해 고에너지에서 높은 X선 양자효율을 가지며, W값이 수 eV 이하로 낮은 장점이 있지만, 열 증착 방법으로 수백 마이크로 두께의 필름 제작공정의 어려움으로 상용화에 어려움이 있다^[4-5].

따라서 본 연구에서는 MCNPX 코드를 이용하여 a-Se 및 HgI₂의 양자효율을 시뮬레이션 하여 평가하고, 연속 X선 대역에서 필름의 두께 최적화 연구를 수행하였다. 이를 바탕으로 상온에서 제작가능한 입자침전법을 이용하여 필름을 제작하여 물리적 특성 및 X선에 대한 전기적 특성을 측정하여 평판형 영상 검출기로서의 개발 가능성을 제시하고자 하였다.

II. 필름의 양자효율 추정

시뮬레이션에 이용된 방사선 변환체 물질은 현재 상용화된 a-Se(4.3 g/cm³)과 본 연구에서 제작 평가하고자 하는 HgI₂(6.3 g/cm³)를 이용하였다. 면적은 5 cm×5 cm로 하였고, 필름의 두께는 50 μm에서부터 500 μm까지 변화시켜가면서 시뮬레이션을 하였다. 본 연구에서 이

용된 X선 source는 일반적으로 이용되고 있는 텅스텐 타겟의 3 mmAl 필터링된 70 kVp 에 해당하는 연속 X선 에너지 스펙트럼을 이용하였다. 변환층에 대해서 X선이 상호작용한 양자효율(QE)은 다음의 수식과 같다.

$$QE = 1 - e^{-\mu x} \dots\dots\dots (식1)$$

즉, MCNPX 코드를 이용하여 입사되는 연속 X선 광자에 대한 각각의 투과확률을 모의 추정하여 투과 스펙트럼을 얻은 후, 각 확률을 적분하여 총 투과확률을 계산한 다음, 식(1)과 같이 양자효율을 계산하였다. 그림 1은 시뮬레이션에 이용된 소스스펙트럼을 보여준다.

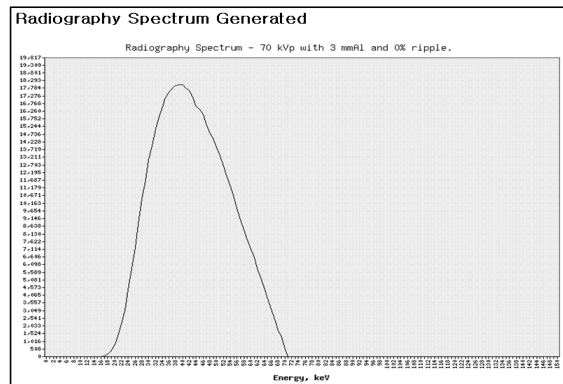


Fig. 1. The input energy spectrum used for MCNPX simulation. ; 70 kVp, 3 mm Al filtration

소스 광자의 샘플링은 SUR 함수를 이용하여 필름의 직육면체의 표면에서 X선 광자들을 출발시켰다. 끝으로, 상호작용 결과로 투과되는 광자를 검출하기 위해 F1 Tally를 이용하여 X선의 한 표면에 입사하는 광자가 반대쪽 표면을 통과할 확률을 추정하였다. 50,000개의 Source particle들이 진단 영역의 연속 X선 스펙트럼과 동일한 확률로 샘플링 되었다.

그림 2는 필름(100 μm, 200 μm, 300 μm)에 입사된 70 kVp의 연속 X선 광자에 대한 투과 에너지 스펙트럼을 나타내었다. 그림에서 보듯이 200 μm 두께에서

50 keV 이하의 X선 광자에 대해 흡수율이 높은 것을 확인할 수 있었고, 상호작용 결과로 약 29 keV 및 34 keV의 특성 X선 피크가 투과되는 것을 알 수 있었다.

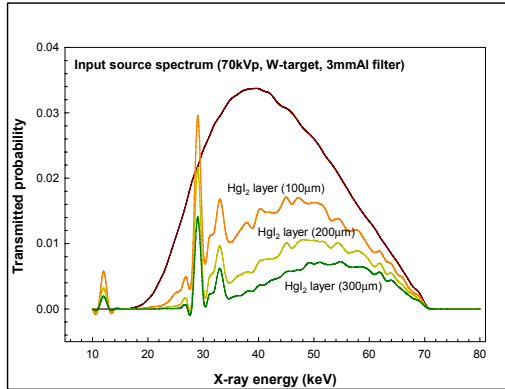


Fig. 2. The penetration energy spectrum according to the film thickness by incidence X-ray spectrum (70 kVp).

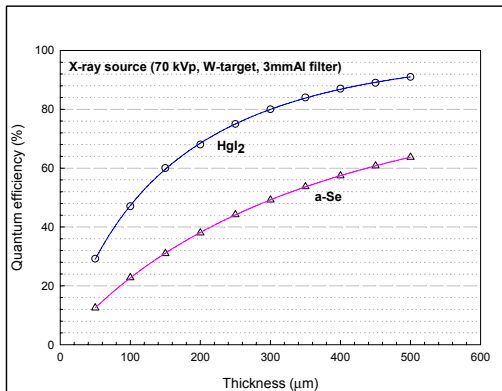


Fig. 3. The quantization efficiency for incidence x-ray spectrum (70 kVp) according to the a-Se and film thickness.

그림 3은 a-Se과 필름의 두께에 따른 70 kVp 연속 X선 광자에 대한 양자효율을 나타낸 것이다. 현재 상용화되고 있는 a-Se 평판형 검출기는 500 μm 두께를 이용하고 있는데, 70 kVp 텅스텐 타겟의 관전압에 대해 약 64 %의 낮은 양자효율을 보였다. 이에 비해 HgI₂는 250 μm의 낮은 두께에서 76 %로 약 20 % 높은 양자효율을 가지는 것을 알 수 있었다.

III. 필름층 제작 및 성능평가

시편 제작은 먼저, X선에 의해 발생된 전하캐리어

의 수집을 위한 하부전극으로 ITO(Indium Tin Oxide)를 유리(2 cm × 5 cm) 기판위에 DC 스퍼터링법을 이용하여 증착하였다. 그 다음 광도전체 물질로서 원료를 이용하여 입자 분말과 바인더(DGME + DGMA) 물질을 섞어 상온, 대기압 조건에서 금속마스크 패턴을 이용하여 입자침전 공정을 통해 약 240 μm 두께로 형성하여 제작하였다. 끝으로 광도전체 내부에 전기장을 인가하기 위한 상부전극으로 ITO를 형성하여 샘플을 제작하였다.

그림 4는 상온 입자침전법을 이용하여 제작된 필름의 단면 SEM 형상을 보여준다. 그림에서 보듯이, 수~수십 μm 크기의 불규칙한 형상의 입자들이 층을 형성하고 있었으며, 두께 편평도는 ±3 % 이내로 우수한 것을 확인할 수 있었다. 또한, 입자들 사이에 빈공간(vacancy)들이 존재하였다. 이는 불규칙한 입자들에 의한 것으로 충진을 저감을 위한 양자효율이 낮아지는 원인이 될 것으로 사료된다. 이러한 결과로부터 마이크로 이하의 미세 입자와 입자들의 응집을 분산시킬 수 있는 분산제를 이용한 입자침전법 공정개선 연구가 필요할 것으로 판단된다.

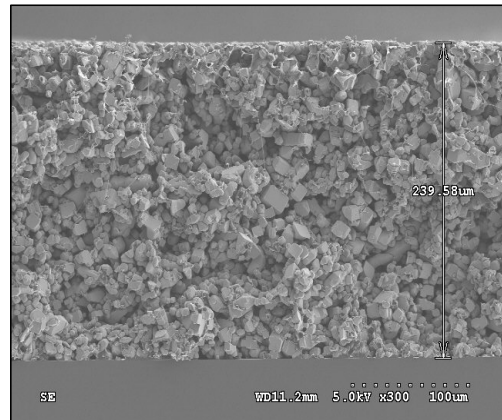


Fig. 4. The cross sectional SEM image of HgI₂ films produced by particle sedimentation.

제작된 시편에 대해 X선 신호 반응특성을 조사하기 위해 인가전압 후 암전류, X선에 의한 신호발생 민감도, 신호 대 잡음비(SNR)를 측정하였다. 그림 5는 전기적 응답특성 측정을 위한 실험 개략도를 나타내고 있다. 누설전류의 측정은 암상태에서 일렉트로미터(Kithley 6517A, USA)를 이용하여 측정하였고, 전기장

을 인가하기 위한 전압 발생기(EG & G558H, USA)를 이용하였다. X선 조사에 이용된 발생장치는 도시바(社)의 DRX 353570 장비를 사용하여 조사 후 필름 내에서 발생한 전하 신호파형을 오실로스코프(LeCroy LC334AM, USA)로 획득한 후 ACQ 프로그램을 이용하여 정량적 신호량을 계산하였다.

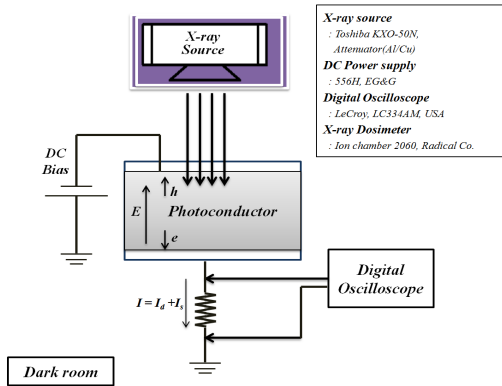


Fig. 5. Experimental schematic for electrical measurements.

IV. X선 반응특성 평가 결과 및 고찰

그림 6은 입자 침전법에 의해 제작된 240 μm 두께의 필름에 대해 인가전압 변화에 따라 측정된 암전류 및 누설전류 결과를 나타낸 것이다. 암전류는 150 μm 두께 시편의 인가전압 크기에 따른 누설전류의 크기를 나타낸다. 필름의 누설전류는 인가전압이 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보였으며, 1 V/μm의 전기장에서 3 pA/mm² 이하의 낮은 값으로 진공 증착법을 이용하여 제작된 200 μm 두께의 HgI₂보다 우수한 노이즈 특성을 보였다.

이러한 값은 에 혼합된 바인더물질에 의한 필름의 노이즈 안정성 향상과 비저항 증가에 기인된 것으로 분석된다. 또한, X선 민감도는 70 kVp, 30 msec, 100 mA의 조사조건에서 1 mR의 X선 조사량에 의해 측정되었다. 그림 6에서와 같이 0.1~1 V/μm 범위의 인가전압에서 X선 민감도는 선형적으로 증가하는 경향을 보이다가 1 V/μm 이상에서는 포화되는 것을 알 수 있었으며, 1 V/μm에서 20 uC/mR-cm²으로 두께가 500 μm인 a-Se에 비해 약 7배 높은 값을 가졌다.

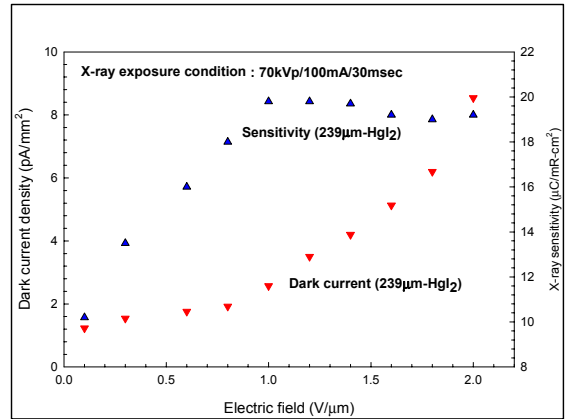


Fig. 6. The Dark current and X-ray sensitivity for HgI₂ films produced by particle sedimentation according to the input voltage.

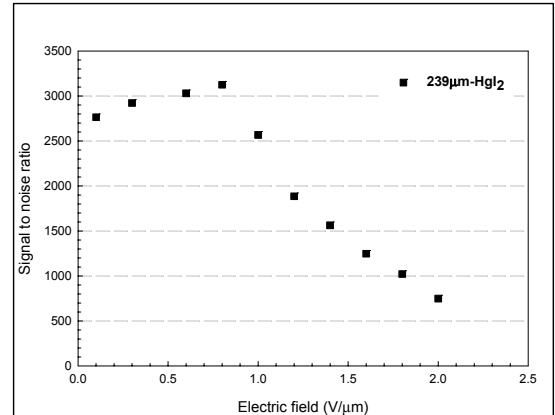


Fig. 7. The signal-to-noise ratio for HgI₂ films produced by particle sedimentation according to the input voltage.

끝으로 그림 7은 인가전압에 따른 신호 대 잡음비를 나타낸 것이다. 신호 대 잡음비는 인가전압에 의해 X선 조사 없이 획득된 누설전하량에 대한 X선 조사에 의해 발생된 총전하량의 비로써 도출하였다. 그림에서와 같이, 신호 대 잡음비는 0.8 V/μm의 인가전압에서 3,125로 가장 높은 값을 보였으며, 더 높은 인가전압에서 급격히 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 X선에 의해 발생된 전하량에 비해 인가전압 증가에 따른 누설 전하량의 급격한 증가에 기인된 것으로 판단된다. 즉, a-Se 필름은 신호수집 효율을 높이기 위해 10 V/μm 이상의 높은 전기장이 필요한 반면, 필름은 1 V/μm 이하의 전기장에서도 높은 전하수집효율을 보

였고, 향후 영상검출기 개발 시 낮은 동작전압에 의한 TFT 소자의 보호 및 수명향상이 기대된다.

V. 결론

본 논문에서 제시한 입자침전법으로 제작된 광도전체 필름은 고온 진공 증착법에 의해 제작된 필름보다 낮은 암전류를 가져 신호 대 잡음비를 향상시킴으로써 저가형 평판형 영상검출기 개발 가능성을 제시하였다. 현재 상용화된 a-Se 광도전체 필름에 비해 낮은 필름 두께에서 우수한 양자효율을 가지며, X선에 대해 보다 우수한 전기적 반응 특성을 가짐을 알 수 있었으며, 향후 대면적 필름 제작 및 영상획득을 통한 성능 평가를 위한 연구가 진행될 것이다. 또한, 필름의 입자 충전율 향상과 밀도의 균일성 향상을 위한 마이크로 이하의 미세 물질을 이용한 필름 제작 및 특성평가도 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의글

이 논문은 2010년 중소기업기술개발 사업의 재원으로 지원받아 수행된 결과입니다.

참고문헌

- [1] M. schieber, H. Hermon, A. Zuck, et. al., "Polycrystalline mercuric iodide detectors", Proceeding of the SPIE Conf., Vol. 3770, pp. 146, 1999.
- [2] M. schieber, H. Hermon, A. Zuck, et. al., "High flux X-ray response of composite mercuric iodide detectors", Proceeding of the SPIE Conf., Vol. 3768, pp. 296, 1999.
- [3] M. Schieber, H. Hermon, R. A. Street, et. al., "Radiological X-ray response of polycrystalline mercuric iodide detectors", proceeding of the SPIE Medical Imaging 2000 Conf., Vol. 3977, pp. 48, 2000.
- [4] M. Schieber, H. Hermon, R. A. Street, et. al., "theoretical and experimental sensitivity to X-rays of single and polycrystalline compared with different single-crystal detectors", Nucl. Instr. and Meth., A 458, pp. 46, 2001.
- [5] M. schieber, H. Hermon, A. Zuck, et. al., "Thick films of X-ray polycrystalline mercuric iodide detectors", Journal of Crystal Growth, vol. 225, pp. 118-123, 2001.