

## 직접방식 엑스선 검출기를 위한 BiI<sub>3</sub> 특성 연구

이상훈, 김윤석\*, 김영빈, 정숙희\*\*\*\*, 박지균\*\*\*, 정원범\*, 장무영\*, 문치웅\*\*\*, 남상희\*\*\*

인제대학교 의료영상과학대학원, 인제대학교 의용공학과\*, 인제대학교 의료영상연구소\*\*, 한국국제대학교 방사선학과\*\*\*, 인피니트\*\*\*\*

### A Study on Bismuth tri-iodide for X-ray direct and digital imagers

S. H. Lee, Y. S. Kim\*, Y. B. Kim, S. H. Jung\*\*\*\*, J. K. Park\*\*\*, W. B. Jung\*, M. Y. Jang\*, C. W. Mun\*\*\*, S. H. Nam\*\*\*

*Inje Univ. Dept of image & science, Inje Univ. Dept of Biomedical Engineering\*, Inje Univ. Medical image research center\*\*, International Univ of korea Dept of Radiological Science\*\*\*. Infinit\*\*\*\**

#### 요약

현재 의료용 엑스선 장비는 기존의 아날로그 방식의 필름, 카세트를 대신하여 디지털 방식인 CR, DR 이 널리 사용되며 그에 관한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 디지털 엑스선 장비의 변환물질로 BiI<sub>3</sub>(Bismuth tri-iodide)를 적용하여 실험하였으며 기존 선행연구에 비해 만족할만한 결과 값을 얻을 수 없었지만 현재 가장 많이 사용되고 있는 a-Se(Amorphous Selenium)의 단점인 고전압인가와 제작방식의 어려움을 보완할 수 있는 새로운 가능성을 제시해 주었다. 본 연구에서 사용되었던 변환 물질은 순도 99.99%의 BiI<sub>3</sub>가 이용되었으며 3cm × 3cm의 크기와 200um의 두께를 가지는 변환물질 층이 제작되었다. 변환 물질의 상하부에는 Magnetron Sputtering system장비를 이용한 ITO 전극이 형성된다. 형성된 BiI<sub>3</sub> 엑스선 변환 물질의 특성 평가를 위해 구조적 분석과 전기적 분석이 이루어졌다. SEM 측정을 통해 제작된 필름의 표면 및 단면적, 구성 성분을 관찰하였고, 전기적 분석을 위해서는 누설전류, 엑스선에 대한 신호량 및 잡음 대 신호비의 관찰이 이루어졌다. 실험 결과 BiI<sub>3</sub>는 1.6 nA/cm<sup>2</sup>의 누설전류와 0.629 nC/cm<sup>2</sup>의 신호량을 측정할 수 있었으며, 이렇게 Screen print method로 제작된 엑스선 검출 물질은 PVD방법을 이용해 제작된 물질과 비슷하거나 더 나은 전기적 특성을 가지고 있었고 이는 제작 방법의 간소화 및 수율을 향상시킬 수 있어 BiI<sub>3</sub>도 a-Se를 대체하기 위한 변환물질로 적합하다고 사료된다.

key words : BiI<sub>3</sub>, X-ray detector, photoconductor, Bismuth tri-iodide, 엑스선 검출기

#### Abstract

Now a days, the Medical X-ray equipments has become digitalized from analog type such as film, cassette to CR, DR. And many scientists are still researching and developing the Medical X-ray equipment. In this study, we used the Bismuth tri-iodide to conversion material for digital X-ray equipments and we couldn't get the satisfying result than previous study, but it opened new possibility to cover the disadvantage of a-Se is high voltage apply and difficultness of make. In this paper, we use BiI<sub>3</sub> powder(99.99%) as x-ray conversion material and make films that have thickness of 200um and the film size is 3cm × 3cm. Also, we deposited an ITO(Indium Tin Oxide) electrode as top electrode and bottom electrode using a Magnetron Sputtering System. To evaluate a characteristics of the produced films, an electrical and structural properties are performed.

Through a SEM analysis, we confirmed a surface and component part. And to analyze the electrical properties, darkcurrent, sensitivity and SNR(Signal to Noise Ratio) are measured. Darkcurrent is  $1.6 \text{ nA/cm}^2$  and sensitivity is  $0.629 \text{ nC/cm}^2$  and this study shows that the electrical properties of x-ray conversion material that made by screen printing method are similar to PVD method or better than that. This results suggest that  $\text{BiI}_3$  is suitable for a replacement of a-Se because of the reduced manufacture processing and improved yield.

## I. 서론

현재 의료용 엑스선 장비는 질병 진단과 치료를 위해 널리 사용되고 있으며, 기존의 아날로그 방식의 필름, 카세트를 대신하여 디지털 방식인 CR, DR 이 널리 사용되며 그에 관한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 최근 세계 디지털 엑스선 검출기 시장은 간접방식이 주를 이루고 있으나 높은 제작단가와 낮은 수율로 인해 비교적 낮은 제작단가와 높은 수율, 그리고 높은 효율의 장점들을 가지는 직접방식의 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 직접방식 디지털 엑스선 검출기의 광도전체 물질 중 가장 많이 이용되고 있는 물질인 a-Se은 연구가 활발히 이루어진 만큼 검출기의 광도전체 물질로 많은 장점들을 가지고 있지만 아주 높은 구동전압과 제작의 어려움 이라는 단점을 가지고 있어 대체물질의 연구, 개발이 필요하다<sup>[1]</sup>. 이에 따라 본 연구에서는 a-Se을 대체 할 수 있는 엑스선 검출기 광도전체 물질을 찾고, 광도전체에 적합여부를 위한 특성평가를 실행하였다. 현재 세계 우수 대학과 연구기관에서 연구되고 있는  $\text{BiI}_3$ (Bismuth tri-iodide)는 초록색이 살짝 감도는 검은 회색을 가지며, 중금속 요오드화합물로 반도체 영역에서 활발한 연구가 이루어지고 있다. 복잡한 결정구조와  $408.6^\circ\text{C}$ 의 녹는점,  $542^\circ\text{C}$ 의 끓는점의 물질 특성을 가지고 있으며, 물질의 밀도도  $5.778 \text{ g/cm}^3$ 로 광도전체 물질로 적합하여 본 연구에서 a-Se을 대체할 광도전체 물질로 선정하게 되었다. 본 연구에서는  $\text{BiI}_3$ 의 엑스선 광도전체 물질에 관련한 특성평가를 실행 하였으며, 또한 Screen printing method를 이용함으로써 복잡한 검출기 제작 공정을 줄임과 동시에 높은 수율의 향상을 이루고자 한다<sup>[2-3]</sup>.

## II. 재료 및 방법

### 1. 샘플 제작

본 연구에서 제작된 샘플은 그림 1.의 순서로 제작되는데 먼저 ITO(Indium tin Oxide)가 증착된 글라스를 준비한다. 글라스 위의 이물질 등의 제거를 위해 왕수(aqua regia)로 12시간 정도 세척한 후 초음파 세척기를 이용하여 3-4시간 동안 세척 후 증류수를 흘려 글라스를 행금으로 글라스의 세척을 완료한다. 그 후  $\text{BiI}_3$ 와 DG2바인더를 "DAE-HWA TECH"社의 "PDM-300V"를 사용하여 혼합하고 "EXAKT"社의 "3RollMill"로 섞어 광도전체(photoconductor) 물질을 제조한다. 물질의 증착

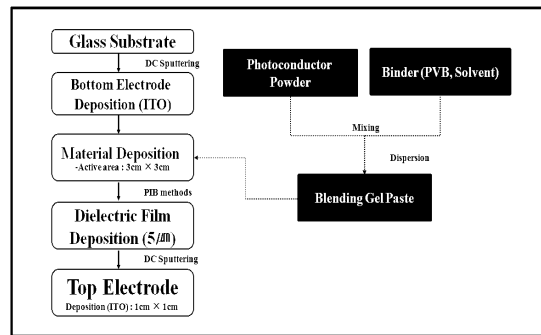


그림 1. 샘플 제작 모식도

방법으로 screen printing method를 이용하였는데, 이 방법은 물질 증착에 널리 사용되는 PVD방식에 비해 수율이 좋고 만족할만한 결과 값을 낼 수 있는 새로운 물질 증착 방법이다. 그리고  $\text{BiI}_3$ 와 바인더를 혼합하여 증착시키는데, 이 바인더가 광도전체 물질의 표면을 감싸면서 누설전류를 감소시키는 효과를 기대 할 수 있으며, 이에 따라 SNR의 증가도 함께 기대할 수 있다. 이 Screen printing method를 이용하여 ITO가 증착

된 글라스 위에 3cm x 3cm 크기와 200um의 두께로 올린다. 마지막으로 상부전극(Top electrode)으로 ITO를 광도전체 물질의 한가운데에 1cm x 1cm 크기로 증착시켜 시편제작을 완료한다. 실험의 신뢰도를 위해 이와 같은 시편을 10개 제작하여 실험을 진행하였다.<sup>[6]</sup>

## 2. 전기적, 형태적 특성 측정

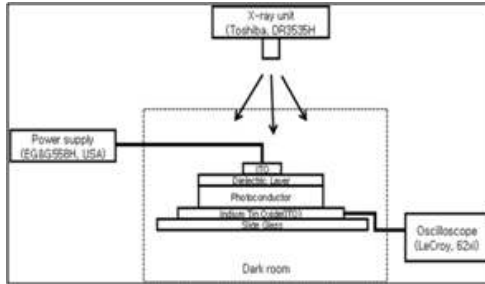


그림 2. 전기적 특성 측정 모식도

엑스선 노출 시 샘플의 전기적 특성을 평가하기 위해 신호량(Sensitivity)과 누설전류(Dark current)를 측정하였다. X선 발생장치는 "TOSHIBA"社의 "DR3535H"를 사용하였으며, 누설전류 측정은 고전압발생기(EG&G 558H, USA)를 이용하여 암실에서 고전압 인가 후 Electrometer(Keithley 6517A, USA)를 이용하여 측정하였다. 신호량의 측정 조건은 다음과 같다. 튜브와 시편과의 거리는 1m이고, 엑스선 발생장치의 조건으로는 70kVp의 관전압(tube voltage)과 100mA의 관전류(current)의 조건에서 엑스선을 0.03초간 조사하여 오실로스코프(LeCroy)를 사용하여 신호를 측정하였다. 그리고 오실로스코프에서 측정한 신호를 AcqKnowledge 프로그램을 사용하여 수치로 얻었다. 실험의 신뢰도를 위해 위에서 만들어진 10개의 샘플을 모두 측정하였으며, 그 중 평균값을 가지는 4개의 시편으로 결과를 도출하였다.

제작된 샘플의 구조적, 형태적 특성은 "HITACHI"社의 "S-2400" SEM(Scanning Electron microscopy)장비를 사용하여 측정하였다.

## III. 실험 결과

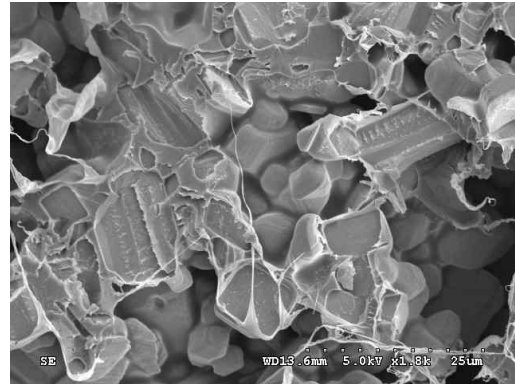


그림 3. 샘플의 상부 사진

다음은 제작된 샘플의 구조적, 형태적 특성평가의 결과이다. 그림 3. 4. 의 SEM사진의 샘플 입자 표면 균일도와 그 크기는 디지털 엑스선 검출기의 광도전체가 요구하는 입자의 표면 균일도와 크기에 충분히 만족시키지 못한다, 샘플의 상부의 사진에서 입자 하나 하나의 크기가 수 마이크로 미터( $\mu\text{m}$ ) 단위를 가지며 그 크기는 나쁘지 않으나, 그 균일도가 좋지 않다. 단면 사진에서도 충전율은 크게 나쁘지 않았으나 입자가 고르지 못하게 분포해 있는 것을 확인 할 수 있는데 이는 물질의 균일도가 좋지 않아 신호의 오차가 커질 수 있을 것이며, 엑스선 검출기 광도전체 물질의 요구 조건인 높은 재현성을 가지는데 문제를 가질 수 있을 것이다.

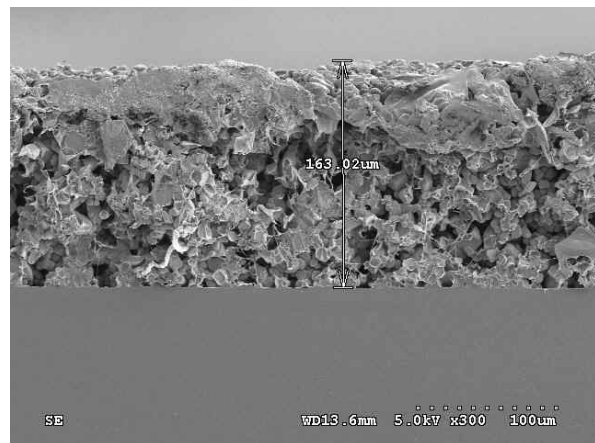


그림 4. 샘플의 단면 사진

그림 5. 6. 7. 은 제작 샘플의 누설전류와 신호량, 그리고 SNR을 나타낸 그래프이다. 측정 결과는  $1V/\mu m$ 에서  $1.6nA/cm^2$ 의 Dark current density를 나타내었고 X-ray sensitivity는  $1V/\mu m$ 에서  $0.629nC/cm^2$ 의 신호량을 측정 할 수 있었다. SNR(Signal to Noise Ratio)은  $1V/\mu m$ 에서 8.98의 SNR을 얻을 수 있었다. 이 값들은 지금 당장 엑스선 검출기 광도전체 물질로 사용하기에는 부족한 결과 값들 이지만 지속적인 연구, 개발로 빠른 시간 내에 충분히 a-Se에 견줄만한 물질이 될 것으로 사료된다. 그리고 아직 초기단계인 본 논문의 결과 값이 해외 논문들과의 비교에도 크게 차이가 나지 않았다<sup>[5]</sup>.

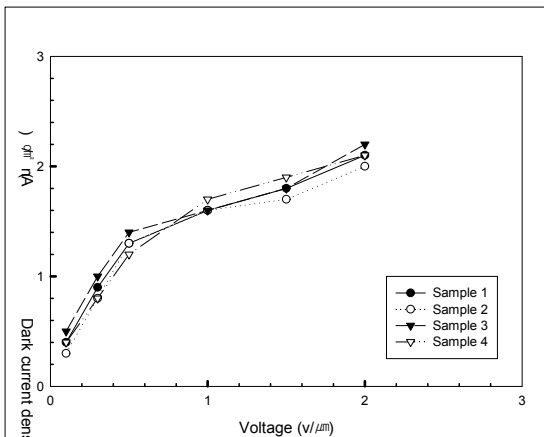


그림 5. Dark current density

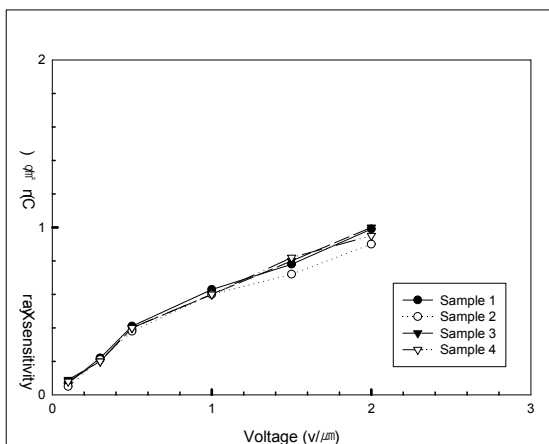


그림 6. X-ray sensitivity

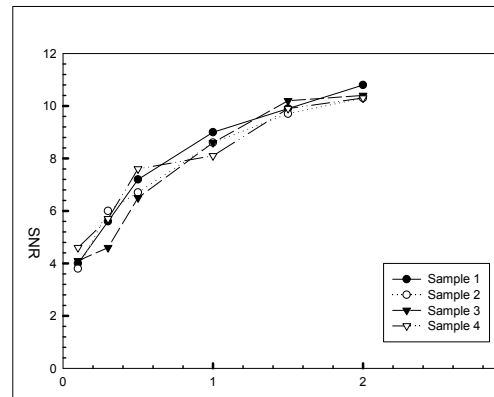


그림 7. SNR(Signal to Noise Ratio)

세부적으로 비교를 했을 때, 누설전류가 본 논문의 시편이 8배 정도 높았지만 신호량도 그만큼 높아져, SNR이 본 논문에서는  $1V/\mu m$ 에서 8.98의 SNR을 나타내었고 해외 비교논문에서는  $1V/\mu m$ 에서 10.27의 SNR을 나타내어 해외 논문과 비슷한 값을 얻을 수 있었다.

#### IV. 결론 및 고찰

본 연구에서는 Screen Printing method를 이용하여  $BiI_3$  샘플을 제조하여 신호 대 잡음 비(SNR), 누설전류(Dark Current), 그리고 엑스선의 민감도(Sensitivity) 등의 전기적 특성을 측정 한 결과,  $BiI_3$  기반의 디지털 방사선 검출기는 기존의 의료 방사선 영상 시스템 변환 물질인 a-Se의 대체에 적용을 위한 매우 큰 가능성을 보여주었으며, Screen Printing method를 이용하여 제조된  $BiI_3$  필름은 PVD 방식과의 비교에도 크게 뒤쳐지지 않는 전기적 특성을 보여주었다. 그리고 본 연구의 실험 결과는 선행연구의 PVD 제작방식의 높은 제작비용과 복잡한 제작공정에 비해 비교적 간단한 공정과 낮은 제작비용으로 가능한 Screen printing method의 우수성을 다시 한 번 확인 할 수 있었으며, 앞으로의 연구가 더 기대되게 하는 부분이다. 그리고 본 논문에서의 제작 공정과 혼합물질의 개선은 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이라 사료된다. 제작공정의 개선으로 인해 표면균일도와 입자간 간격, 충전률 등을 높일 수 있으며, 상하부 전극의 개선과 바인더의 적절한 비율과 혼합을 통해 누설전류의 감소까지 이루어 낼 수 있다면, a-Se 기반의 장치가 가지는 문제점들을 해결할 수 있

을 것이며, 이는 직접방식 엑스선 검출기 광도전체 물질로의 매우 큰 가능성을 제시한다. 그리고 한발 더 나아가 더 좋은 결과 값을 위해 앞으로의 연구, 개발이 반드시 필요하며 충분히 가능할 것 이라 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] S.O. Kasap and J.A. Rowlands, Full Text via CrossRef | View Record in Scopus | Cited By in Scopus (54), Proc. IEEE, Vol.90, pp.591, 2002
- [2] N. Preda, L. Mihut, M. Baibarac, I. Baltog, J. Pandele, C. Andronescu, V. FruthJournal of the European Ceramic Society, Vol.30, pp.475-479, 2010
- [3] A. Cuña, A. Noguera, E. Saucedo, and L. Fornaro Cryst. Res. Technol. VI.39, No.10, pp.912-919, 2004
- [4] A. Cuñã, I. Aguiar, A. Gancharov, M. Pe´rez, L. Fornaro, Cryst. Res. Technol. Vol.39, No.10, pp.899, 2004
- [5] I. Aguiar, S.Kro´ger,L.Fornaro Nucl. Instr. and Meth. A, 2009
- [6] Safa O. Kasap and J.A. Rowlands, IEE Proc. Circ. Dev. Syst.Vol.149, 2002