

# Blocking layer 적용을 통한 HgI<sub>2</sub> 방사선 변환센서의 신호대 잡음비 향상에 관한 연구

박지균\*, 윤인찬\*, 최수림\*, 윤주선\*\*, 이영규\*\*\*, 강상식\*

한국국제대학교 방사선학과\*, (주)포스콤 기술연구소\*\*, 인제대학교 의용공학과\*\*\*

## Study on Improvement of Signal to Noise Ratio for HgI<sub>2</sub> Radiation Conversion Sensor Using Blocking Layer

Jikoon Park\*, Inchan Yoon\*, Surim Choi\*, Jusun Yoon\*\*, Youngkyu Lee\*\*\*, Sangsik Kang\*

Department of Radiological Science of Korea International Univ\*, Reseach center of Poskom Co\*\*,

Department of Biomedical Engineering of Inje Univ\*\*\*

### 요 약

본 연구에서는 적층 구조를 이용하여 누설전류를 저감 시키는 기술을 적용하여 입자침전법을 이용한 방사선 영상 센서의 변환 물질을 개발하였다. 이는 디지털 방사선 영상 검출기의 두 가지 방식 중 하나인 직접방식에 사용되는 핵심 소자로 기존의 비정질셀레늄(a-Se)을 대체하여 더욱 효율이 높은 후보 물질들이 연구되어지는 가운데 태양전지와 반도체 분야에서 이미 많이 사용되어온 이중접합을 이용해 누설 전류를 저감 시키는데 그 목적이 있다. 본 연구에서 사용되는 입자 침전법 제조방법은 검출 물질 제작이 용이하고 높은 수율과 대면적의 검출기 제작에 적합하나 높은 누설 전류가 의료 영상에 있어서 문제가 되어 오고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 적층 구조를 이용하여 누설 전류를 저감시킨다면 PIB법을 이용하여 간편하게 향상된 효율의 디지털 방사선 검출기를 제작 할 수 있다고 사료 되어진다. 본 연구에서는 누설 전류와 민감도에 대한 전기적 신호를 측정하여 제작된 적층 구조의 방사선 검출 물질의 특성 평가가 이루어 졌다.

중심단어 : 누설전류, 민감도, 검출기, 광도전체, 신호대 잡음비

### Abstract

In this study, the basic research verifying possibility of applications as radiology image sensor in Digital Radiography was performed, the radiology image sensor was fabricated using double layer technique to decrease dark current. High efficiency material in substitution for a-Se have been studied as a direct method of imaging detector in Digital Radiography to decrease dark current by using Hetero junction already used as solar cell, semiconductor. Particle-In-Binder method is used to fabricate radiology image sensor because it has a lot of advantages such as fabrication convenient, high yield, suitability for large area sensor. But high leakage current is one of main problem in PIB method. To make up for the weak points, double layer technique is used, and it is considered that high efficient digital radiation sensor can be fabricated with easy and convenient process. In this study, electrical properties such as leakage current, sensitivity is measured to

evaluate double layer radiation sensor material.

key words : leakage current, sensitivity, detector, photoconductor, signal to noise ratio

## I. 서론

형광체를 이용한 방식에 비해 X선 흡수에 의해 생성되는 전자-정공쌍을 직접 검출하여 영상 또는 선량을 측정하는 방식을 직접변환방식이라 한다. 직접변환방식의 신호 특성은 간접변환방식에 비해 훨씬 더 파장이 짧은 신호 특성을 보인다. 즉 분해능이 좋으므로 간접변환방식에 비해서 우수한 해상도를 가진다. 직접변환용 receptor 물질로는 a-Se, CdTe, CdZnTe, PbI<sub>2</sub>, HgI<sub>2</sub> 등이 있으며, 아직까지 a-Se를 제외한 물질들은 높은 누설전류에 의해 신호대 잡음비(SNR)가 낮아 궁극적으로 좁은 동작범위(Dynamic Range)를 나타낼 수밖에 없으며, 대면적 증착의 난점을 지니고 있다. 또한 동시에 발생한 전자·정공쌍의 효율적인 발생과 검출을 위해서 변환물질 내에 강한 전기장을 인가해 주어야 한다는 단점이 있다<sup>[1],[2]</sup>.

PIN 구조는 PN 접합을 이루고 있는 구조에서 순방향으로 전압을 인가하면 PN 경계면에 전자-정공쌍이 형성된다. 이 경우에 전자와 정공이 PN 경계면에만 국한되지 않고 일부 전자가 P형 반도체로 확산되면서 P형 반도체 내부로 들어가며 마찬가지로 일부 정공이 N형 반도체로 확산되어 N형 반도체 내부로 들어간다. 이런 문제를 해결하기 위하여 P형과 N형과의 접합부분 즉, 경계면에 공핍층 에너지가 작은 물질에 아무런 acceptor 나 donor를 첨가하지 않아 P형도 아니고 N형도 아닌 중성(intrinsic)반도체를 삽입한 구조이다. 반면에 이종접합 구조는 PIN 구조와 비슷한 구조이지만 4족 원소를 주로 사용하여 3가의 원소와 5가의 원소를 주입하여 만들어진 PIN 구조에 반해, 에너지 준위가 각각 다른 물질을 접합하여 만들어진 구조이다. 에너지 준위에서 다른 2개의 물질을 접촉시킨 것 갈륨비소 GaAs 소자와 게르마늄 Ge 과 같은 2개의 다른 반도체 간의 접합 반도체와 금속 간의 접합 등은 헤테로 접합의 예이다.

본 논문에서는 HgI<sub>2</sub> 필름위에 BiI<sub>3</sub>, HgTe, HgO를 누

설전류 저감층(blocking layer)로 형성하여 종래의 HgI<sub>2</sub> 단일층에 비해 우수한 신호대잡음비를 가지는 구조 설계 연구를 하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1 시편 제작

본 연구에서 사용된 기판은 ITO corning glass(0.7t)이고, 광전도체 물질 코팅을 위해 이 물질 제거가 이루어 졌다. 제거 과정은 질산과 염산 혼합용액으로 세척한 뒤, 초음파 세척기로 3.4시간 세척하였다.

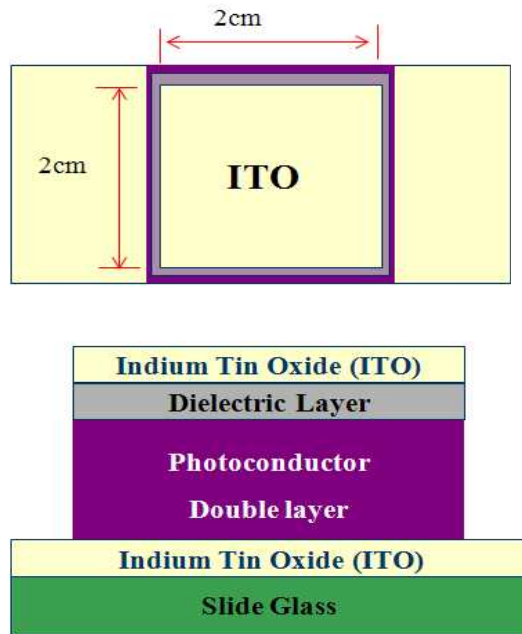


그림 1. 제작된 샘플의 구조

이렇게 기판을 세척 한 뒤 5cm×2cm의 크기로 절단 후 요오드화수은(HgI<sub>2</sub>) 파우더(99.999%, 고순도社, Japan)를 폴리머 물질에 교반 하여 페이스트를 제조 한 뒤 마스크가 부착된 기판위에 코팅한 후 상온에서 2시간 건조 후 40-60℃에서 6시간 정도 건조를 통해 1차

단일층(Single layer) 시편을 제작하였다. 건조가 완료된 후 같은 방법으로 BiI<sub>3</sub>와 HgTe, HgO를 코팅하여 약 100 $\mu$ m 정도의 층을 제작하여 적층구조(Double layer)를 형성하였다. 제작된 시편은 2cm $\times$ 2cm 크기로 제작되었고, 마지막으로 상부전극으로 샘플시편의 최상단에 ITO 전극을 스퍼터링법을 이용하여 증착하였다. 최종적으로 제작된 시편의 단면 모식도가 그림 1.에 나타내었다.

## 2.2 구조적 형상 분석

검출센서의 검출능은 변환체 필름의 물리적, 전기적 특성에 많은 영향을 미치기 때문에 제작된 시편의 구조적 특성을 측정하기 위하여 주사전자현미경(SEM), X-선 회절법(XRD) 분석을 하였다. 먼저, 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 시료의 상태, 적층 구조 부분 형태 및 제작된 박막의 단면 상태를 확인하였다. 다음으로, 제작된 필름의 결정 상태와 정성분석을 위해 XRD를 이용하여 결정구조와 결정의 배향성을 조사하고 내부의 결정 상태 변형을 확인하였다.

## 2.3 누설전류 및 광전류 측정

입사되는 방사선에 의해 실제 발생하는 전기적 신호량의 크기는 매우 작으므로 (일반적으로 pc 정도의 전하량) 방사선 검출기의 제작에 있어 정확한 누설전류(Dark current)의 측정을 통한 검출기의 낮은 누설전류의 제어는 반드시 필요하다. 특히 열잡음(Thermal noise)이 문제시되는 반도체 검출기의 경우 특히 누설전류에 대한 제어는 필수적인 항목이라 할 수 있다. 반도체 검출기 자체가 가지는 누설전류의 영향으로 신호대 잡음비의 감소를 초래하므로 반드시 누설전류에 대한 정확한 측정이 이루어지고 적절한 제어가 필요하다. 암 상태에서의 X-선 변환물질에 대한 전기장의 인가는 광도전체 물질층 내부의 전자·정공쌍의 흐름에 있어 중요한 의미를 가진다. 또한 전기장에 대한 누설전류의 발생은 실 발생 전기량 측정에서의 불필요한 신호이므로 이를 제어하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 PIB 법으로 제작된 시편 위해 저감층(blocking layer)을 삽입하고 누설전류의 저감 확인을 위해 인가전압은 전압발생기(EG&G 558H, USA)를 이

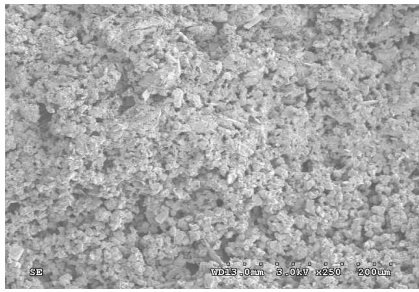
용하여 측정 하였고 이때 발생하는 누설전류를 동일한 조건하에서 측정하기 위하여 전압 인가 후 1분 후 전류측정기(Keithley 6517, USA)를 이용하여 측정하였다. X-선 변환물질의 SNR은 누설전류 대 광전류(Photocurrent)의 비로써 표현할 수 있다. 광전류의 측정 구성은 기본적으로 누설전류의 측정과 비슷한 구조를 가진다. 측정 조건은 RQA5 조건에 따라 70kVp, 21mm Al 부가 필터를 이용하여 광전류를 측정하였다. 측정에 앞서 X-선 광전류 평가의 원활한 계산을 위하여 시편 표면에 조사되는 선량을 1mR/cm<sup>2</sup>으로 고정하였으며, 이를 위해 알루미늄 필터가 사용되었다.

본 연구에서 사용된 방사선량 검출기는 Ion chamber 2060(radical cooperation 社)으로 검출기 표면에 도달하는 선량을 1mR/cm<sup>2</sup>으로 정확히 제어하였다. 또한 제작된 시편에 적절한 X-선을 노출시키기 위해 콜리메이터를 이용하여 조사야를 제어하였다. 제작된 시편의 측정은 전극 양단에 전압을 인가한 후, X-선을 조사한 다음 광도전체에서 생성된 광전류는 일정한 저항의 전위차로써 획득된다. 오실로스코프를 통해 획득된 전압의 파형을 저장하여 ACQ 프로그램을 통해 적분된 값을 획득하여 사용된 저장값으로 계산을 통해 광전류값을 얻었다.

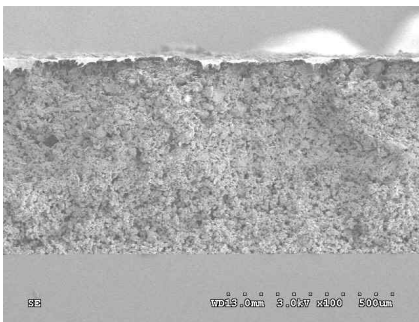
## III. 결과 및 고찰

### 3.1 구조적 특성

진공증착법과는 달리 PIB 법으로 시편을 제작할 때는 시료의 조건이 매우 중요하다. 이는 시료의 grain size가 박막의 표면 상태 등을 포함하는 물리적 성질 및 전기적 성질 등에 큰 영향을 미치기 때문이다. 따라서 본 연구에 앞서 시료의 상태를 관측하기 위해 주사 전자현미경으로 촬영하였다. 그림 2.에서 보는 바와 같이 다결정 입자는 5  $\mu$ m의 grain size에 직사각형 모양으로 침전 시 고밀도 필름형성에 유리한 형상을 확인할 수 있었다. 기존의 문헌에서 언급한 것과 같이 광도전체 입자의 알갱이의 형태와 크기에 따라 필름 제작의 특성에 큰 변화를 보이고 충전율에 영향을 주므로 전기적 특성에 크게 영향을 미침을 확인할 수 있었다.



(a) 제작된 HgI<sub>2</sub> 필름의 표면사진



(b) 제작된 HgI<sub>2</sub> 필름의 단면사진

그림 2. 제작된 HgI<sub>2</sub> 필름의 SEM 표면(a)과 단면(b) 영상

또한 그림 3.에서와 같이 제작된 HgI<sub>2</sub> 필름은 메탈 할로젠족의 BCC 구조로 그림에서 확인할 수 있듯이 매우 조밀하게 결정이 성장된 것이 확인되고 기존 문헌의 PVD 방식으로 제작된 HgI<sub>2</sub> 필름과 비교 하여도 훨씬 조밀하고 높은 충전율을 보임을 확인할 수 있었다. 또한, 각 구간의 피크 값이 뚜렷하게 나타났고, 기존 문헌의 각각의 물질들의 결과 값과 비교하여 정확히 일치함을 알 수 있다. 또한 피크의 폭이 상당히 좁고 방향성이 일정하게 잘 성장되었음을 알 수 있었다.

### 3.2 전기적 특성

디지털 X-선 검출기의 누설전류는 영상 구성에서 중요한 요소로 작용된다. 최소한의 누설전류는 노이즈 감소와 높은 SNR 을 가지게 하며 일반적으로 의료 영상 분야 에서는 동작전압에서 1nA/cm<sup>2</sup>를 적정 수준으로 요구되고 있다. 모든 시편의 누설전류는 0.2-2.0V/ $\mu$ m 범위의 인가전압에서 안정화 된 상태 이후에 측정

되었다.

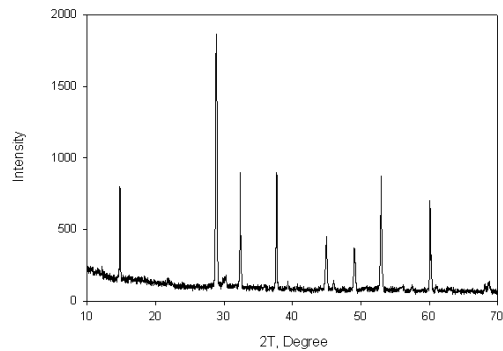


그림 3. 제작된 HgI<sub>2</sub> 필름의 XRD 회절 패턴

그림 4.는 제작된 검출기의 동작전압에서 측정된 누설전류 결과 값을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 HgI<sub>2</sub> 단일층의 필름은 인가전압이 증가함에 따라 지속적으로 급격한 누설전류가 증가하는 경향을 보인 반면, HgO, BiI<sub>3</sub>와 같은 저감층을 형성한 이중접합 구조의 필름은 인가전압의 증가에 따른 선형적인 증가 경향을 보임을 알 수 있었다.

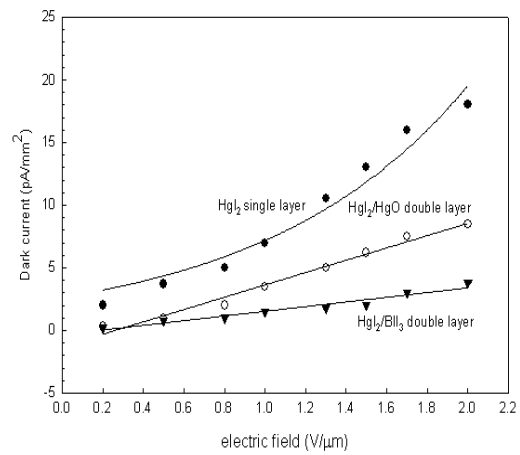


그림 4. 제작된 광도전체 필름의 구조별 인가전압에 따른 누설전류

이러한 결과는 HgI<sub>2</sub>에 비해 HgO, BiI<sub>3</sub> 층이 정공에 대한 전하장벽의 역할에 의한 정공유입율을 저감시키는 역할을 하는 것으로 분석되었다. 또한, 이중접합구조의 두 시편에 대해서 1V/ $\mu$ m이하에서 10pA/cm<sup>2</sup> 이하로 앞서 언급 된 기준 값의 범위 안에서 측정되었다.

획득된 누설전류는 PVD 방법으로 제작된 검출기에 비해 상당히 낮은 수치로 기존 문헌들과 비교 했을 때 PIB 방법으로 제작된 광도전체에 대해서 누설전류 특성이 상당히 향상되었음을 알 수 있었다.

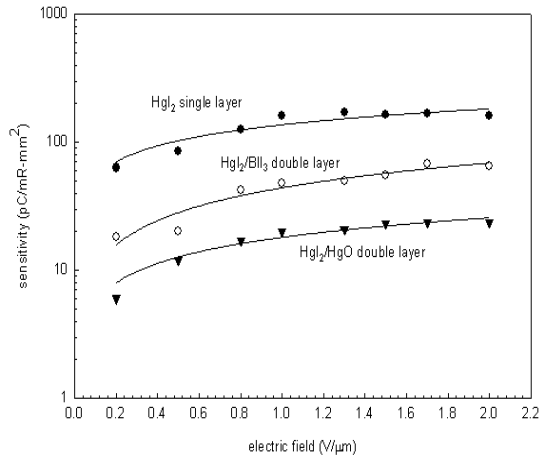


그림 5. 제작된 광도전체 필름의 구조별 인가전압에 따른 광민감도

X-선 광전류 측정은 검출기에 입사된 X-선의 단위 노출과 면적에 수집된 전류량으로 정의 내려진다. 그림 5. 는 X-선에 대한 민감도를 나타내었다. 적층구조에 있어 누설전류 저감 시 민감도가 상당히 많이 떨어지는 특성이 있는데 본 연구에서는 이러한 효과를 최소화 하고자 폴리머 비율의 최적화에 큰 비중을 두었다. 측정결과, HgI<sub>2</sub> 단일층에 비해 이중접합구조의 시편이 다소 낮은 광민감도를 보였으며, 이러한 결과는 HgO, BiI<sub>3</sub>층에서의 전압강하에 의해 HgI<sub>2</sub> 층의 전기장이 약화되어 X선의 의해 생성된 전하 캐리어의 수집 효율을 저감시키는 결과로 분석된다. 하지만, HgO에 비해 BiI<sub>3</sub>층을 저감층로 형성된 시편의 경우, 좋은 광민감도를 가지는 반면, 매우 우수한 누설전류 저감효과를 나타내어 영상검출기의 성능의 중요한 인자인 신호대잡음비 측면에서 오히려 HgI<sub>2</sub>보다 우수한 특성을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 입자침전법을 이용하여 HgI<sub>2</sub> 필름 및 누설전류 저감층을 제작하여 신호대 잡음비가 향

상된 디지털 방사선 영상 검출기를 개발할 수 있는 기초연구를 수행하였다. 연구결과를 통해 HgI<sub>2</sub> 단일층에 비해 BiI<sub>3</sub> 층을 적층구조로 적용하였을 때 누설전류를 크기 낮추어 우수한 보다 우수한 신호대잡음비를 가짐을 확인할 수 있었다. 향후, 동영상 구현을 위해서는 Signal lag 특성이 큰 영향을 미치는데 앞서 언급된 바와 같이 적층구조에서는 신호 전달 효율 감소로 인한 문제점을 연구하여야 할 것으로 사료된다. 또한, 전극 제작에서 제작 과정과 와이어링 시 발생하는 문제 또한 영향을 미친다. 열팽창에 따른 미세 크랙이 반도체 성능에 많은 영향을 미침을 고려 할 때 이 부분은 차후 더욱 연구 되어져야 할 것으로 판단되어진다.

#### Acknowledgement

이 논문은 2010년 정부(지식경제부)의 재원으로 산업원천기술개발사업 연구비 지원을 받아 수행된 사업임. (No.10038652)

#### 참 고 문 헌

- [1] 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, PP.48-53, 2000
- [2] 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 HgI<sub>2</sub> compared with different single-crystal detectors", Nucl. Instr. and Meth.. A, Vol. 458, PP.46-50, 2001
- [3] 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, Vol.225, PP.118-123, 2001