

## 혼합형 CdZnTe 검출기의 X선 반응특성

### X-ray Response Characteristic of Hybrid-type CdZnTe Detector

차병열<sup>1)</sup>, 강상식<sup>\*</sup>, 공현기<sup>\*</sup>, 이규홍<sup>\*</sup>, 김재형<sup>\*\*</sup>, 남상희<sup>2)</sup>

(B. Y. Cha<sup>\*</sup>, S. S. Kang<sup>\*</sup>, H. G. Kong<sup>\*</sup>, G. H. Lee<sup>\*</sup>, J. H. Kim<sup>\*\*</sup>, and S. H. Nam<sup>\*\*</sup>)

#### Abstract

In this paper, for digital x-ray conversion receptor development studied by hybrid technology of based on CdZnTe. For this study, First searched fabricate method of CdZnTe x-ray receptor. Second, search the phosphor material & fabricate method for scintillator layer. Fabricated sample is analyzed with physical & electric measurement. This result is showed good SNR ratio hybrid thechnology with direct method & indirect method. In this paper offer the method can reduce the dark-current in the hybrid X-ray detector.

**Key Words** : hybrid, CdZnTe, phosphor, dark current, X-ray sensitivity

현재 DR(Digital Radiography)기술의 receptor 물질로 많이 쓰이고 있는 비정질 셀레늄은 결정구조를 사용하는 다른 물질에 비해 일반적인 진공 열증착법에 의해서 대면적 구현이 가능하며 제작 비용이 싸기 때문에 가장 먼저 평판 X 선 영상검출기의 광도전층으로 이용되고 있다. 그러나 원자번호가 34인 물질로서 상온에서도 서서히 결정화되는 특성과 190℃에서 열처리를 할 경우에 현저히 결정화 되는 경향을 보인다. 전자정공쌍 수집을 위해 10V/ $\mu\text{m}$ 의 높은 인가전장일 경우  $W_{\pm}=50\text{eV}$  로 다른 광도전물질에 비해 약 10배이상 높으므로써 동일하게 흡수된 에너지에 대해 발생하는 전자 정공쌍 생성효율은 이론적으로 10배 이상 낮다. 또한  $\text{PbI}_2$ ,  $\text{HgI}_2$ ,  $\text{CdTe}$ 에 비해 유효원자번호가 낮기 때문에 저지능의 감소에 의해 흡수에너지도 낮아 변환효율이 낮은 단점을 가진다. 그리고 결정화를 위해 doping 되는 Cl(Chlorine) 및 As(Arsenic) 같은

의 재결합 및 trap을 방지하여 전하수집을 좋게 하기 위해 고전장 인가시 수명 단축이라는 단점을 가져온다.

이런 단점을 가진 amorphous selenium을 대체하기 위해 많은 연구기관에서 다른 물질로 연구 중으로 알려져 있으며 이중 일반적인 광도전물질의 특성을 가지며 x-ray sensitivity가 좋은 CdZnTe 에 hybrid technology를 접목한 혼합형 검출기로서의 x-ray 변환 효율을 알아보하고자 하였다.

우선 이상적인 광도전 물질은 단위 입사 방사선에 대해 많은 전자-정공쌍을 생성시키기 위해 높은 고유 x선 민감도를 가지며, 환자의 피폭을 최소화 하기 위해 광도전층의 x 선 흡수가 커야하며, 낮은 누설전류를 가져야 하며 생성된 전자-정공쌍이 수집전극으로 전자나 정공의 재결합이 없이 빠르게 이동하여야 한다. 야기된 전하들의 deep trapping 이 없어야 하는데 수식적으로  $\mu\tau E > L$  의 조건을 충분히 만족해야 한다. 일반적 광도전 물질

로 쓰이고 있는 여러 물질중 CdZnTe 는 bandgap=1.5 - 2.2[eV] ,  $E_{\text{pair}} = 5.0$ [W]  $\rho=10^{11-12}$ 이 [ $\Omega\text{-cm}$ ]고,  $\mu\tau= 1.0\times 10^{-3}$  [ $\text{cm}^2/\text{V}$ ]의 X선 변환물질로서 충분한 저지능을 가지며 화학적으로나 물리적으로 보다 안정한 물질로 알려져 있다.

일반적으로 Z 가 34인 a-Se과 50인 CdTe가 사용되었을때 민감도에서 6.9배의 증가가 예상된다. CdZnTe는 콤프턴 작용에 비해 광전효과의 가능성도 일반적 관심영역의 에너지에서 더 높고, 높은 감약계수와 넓은 밴드갭에 의한 낮은 bulk leakage current를 포함하여 Si 과 Ge 에 비해 어떤 장점을 가지고 있지만 중요한 단점들 또한 있다. 이러한 화합물 반도체의 중요한 단점은 다소 높은 결함밀도(defect density)를 가지는 것이다. 더구나 leakage current는 결함에 의해 종종 지배를 받아서 밴드갭으로부터 예상할 만큼 낮지 않다. 또 다른 단점은 물질의 편평도와 안정성과 관련되는 것이다. 또 CdZnTe는 전자들의 높은 mobility에 의해 짧은 시간에 대해 높은 전류를 발생키며, 전하들이 trap 되었을때 그것들이 재결합 되거나 또는 바로 detrapp 되어서 지연된 전을 기여하여 높은 안전성을 보이며, 대부분의 경우 detrapping lifetime은 전기적 시간적분보다 훨씬 길기 때문에 detrapping은 주요 신호에 기여하지 않고 본질적으로 DC 전류를 발생시킨다.

이러한 직접방식의 낮은 x-선 변환효율을 증가시키고자 hybrid 방식인 photoemission layer 로써 ZnS:Ag를 접목하여 electric signal과 SNR, Dynamic Range를 증가시키고자 하였다.

ZnS를 간접방식을 이용한 X선 receptor로의 응용에 있어서 조사된 x 선에 의해 이미 발광층에 인가된 전압에 의해 만들어진 전자는 형광층 내에서 발생하는 전계의 세기만큼 여기된다. 이때 여기된 전자가 안정한 상태로 돌아갈 때 전자는 에너지를 방출하면서 빛이 발생하게 된다. 전자의 여기는 전계의 방향이 변화할 때마다 발생하게 된다. 따라서 교류전류가 주입되면 한 주기 동안에 2번의 빛을 방출하게 된다. 이를 직접 변환 물질인 CdZnTe 층에 전달됨으로써 혼합형 hybrid technology 기술의 접목으로 박막의 x-선 변환특성을 보고자 하였다. phosphor type 은 EIA(P20), WDTS(KA)로써 이론적인 Typical Peak Wavelength

는 460nm로써 Fluorescent Color로 blue을 나타내며, 이는 직접방식의 광도전체 물질로 쓰이는 a-Se 이 잘 흡수하는 파장대임을 알수 있다. Chromaticity Coordinates (X,Y)는 0.426, 0.546을 나타내며 Decay time은 34 $\mu\text{s}$ 를 가진다. 빛이 변환되는 Typical Quantum Yield(photons/electronvolt)는 0.063이고, Typical Absolute Efficiency(radiated watts/watt exciation)은 0.10이며 이 ZnS:Ag의 경우 blue 빛을 내는 Good energy conversion photoemission layer로써 적당함을 문헌을 통해 알수 있었다. ZnS:Ag의 경우 wavelength range는 400-450 nm의 blue 빛을 내며 3ms에서 37ms 까지의 decay time을 가진다.

## 2. 실험

### 2.1 실험 시편

본 연구에서 사용된 CdZnTe는 Cerac Co. 사에서 제작된 99.999% 순도의  $\text{Cd}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Te}$  원료이다. 문헌 조사에 의하면 CdZnTe 방사선 검출기에서 Zn 의 첨가 농도비는 약 10%에서 20% 정도이다. 또한 전극재료로는 하부전극으로 투명 전도성 박막인 ITO( Indium thin oxide)를 이용하였으며, 상부전극으로 Au를 선택하였으며, phosphor layer의 두께는 spin coating 방식으로 100 $\mu\text{m}$ 로 제작하였다. 시편제작을 위해 이용된 증착기는 자체설계 및 제작된 저항가열식 진공증착기로 증착시  $10^{-7}$  Torr의 진공도를 유지하였으며, 기판의 온도는 상온을 유지하였다. 준비된 coming glass는 아세톤, 에탄올 순으로 30 분간 초음파 세척을 하고, DI water로 세척 후 질소 gun으로 수분을 제거하였다. CdZnTe 증착속도는 120-160A/sec 로 증착된 두께는 7 $\mu\text{m}$ 로 증착하였다. CdZnTe layer가 형성후, CdZnTe층위에 유전층 증착시스템(SCS 社, PDS 2060)으로  $4\times 10^{-3}$  Torr에서 약 6-8 $\mu\text{m}$  정도의 두께로 증착하였다. I-V 측정을 위한 전극은 Au(Cerac, 99.99%) wire로  $10^{-6}$  Torr 정도에서 열 증착법으로 증착시켰으며, 증착된 Au 박막의 두께는 약 200 nm 정도로 측정되었다. phosphor layer의 두께는 spin coating 방식으로 100 $\mu\text{m}$ 로 제작하였다.

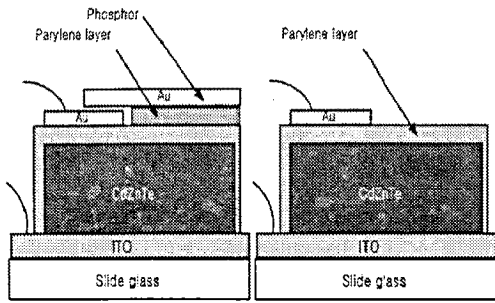


그림 1 2가지 type의 시편단면구조  
Fig1. two kind of type the fabricated samples.

## 2.2 실험장치

누설전류(Dark current) 측정은 고전압발생기(EG&G 558H, USA)를 이용하였으며 암실에서 시편의 양단에 고전압을 인가 후, 발생하는 전류를 Electrometer(Keithley 6517A, USA)를 이용하여 측정하였다.

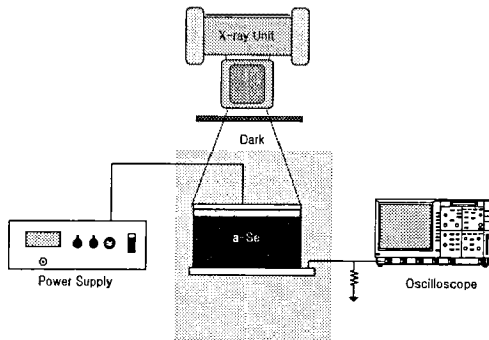


그림 2. X-ray sensitivity 측정을 위한 시스템 구성도.

Fig 2. The system schematic for X-ray sensitivity measurement.

그림 2.는 hybrid 형 다층구조의 X-선 sensitivity를 측정하기 위한 시스템 구성도를 도식화하였다.

본 실험에서 인가한 전압은 7V로 하였으며 X선 발생기는 Shimadazu 社 TR-500-125 를 사용하였다. X-선 조사 조건은 75kVp, 100mA,

30msec이며 조사선량은 3.66mR으로 측정되었다.

X선 민감도를 계산하기 위해 Oscilloscope를 통해 얻어진 전압값을 X선이 조사된 시간 영역에서 적분하고, 그 값을 사용된 저항치로 나누어 줌으로써 발생한 총 전하량을 계산할 수 있다. 총전하량(Q)와 전류(I)는 검출 회로 구성에 의해 다음의 수식으로 계산할 수 있다.

$$Q = \int Idt = \frac{2}{R} \int Vdt$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{2}{R} \frac{d}{dt} \int Vdt = \frac{2V}{R}$$

## 3. 결과 및 고찰

그림 3.은 CdZnTe 와 Hybrid 형 검출기 각각에 대해서 인가전압에 대한 누설전류를 그래프화 한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 누설전류는 대체적으로 유사한 값을 보였으나 Hybrid 구조의 시편이 조금 낮은 값을 보였다.

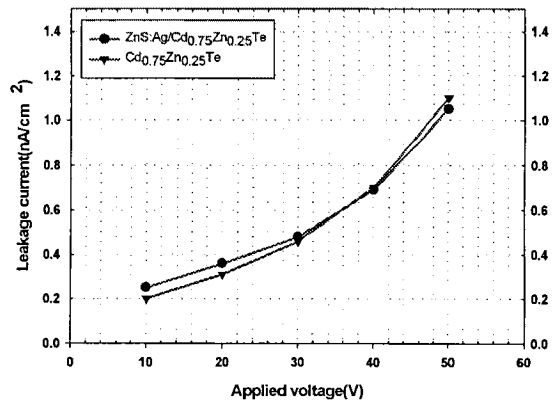


그림 3. 인가전압에 따른 누설전류

Fig 3. The leakage current as applied voltage.

그림 4.는 CdZnTe 와 Hybrid 형 검출기 각각에 대해서 인가전압에 대한 X선 조사시 발생하는 총 전하량을 나타낸 것이다.

Hybrid 형 검출기에서 발생된 총전하량은 상대

적으로  $Cd_{0.75}Zn_{0.25}Te$  시편보다 다소 높은 값이 측정되었는데, 이러한 결과는 입사하는 X선을 ZnS:Ag 층에서 흡수하여 방출한 가시광선이 CdZnTe층에 입사하여 야기된 전하량이 기여한 결과로 판단되어진다. 즉, ZnS:Ag/CdZnTe 구조의 혼합형 검출기는 CdZnTe 검출기에 비해 X선 흡수가 많아 형광층에서 발생한 빛과 CdZnTe에 직접 입사된 X선에 의해 발생한 전자-정공쌍에 의해 발생한 전하를 획득하기 때문에 직접형 검출기에 비해 X선 검출효율을 높일 수 있었다.

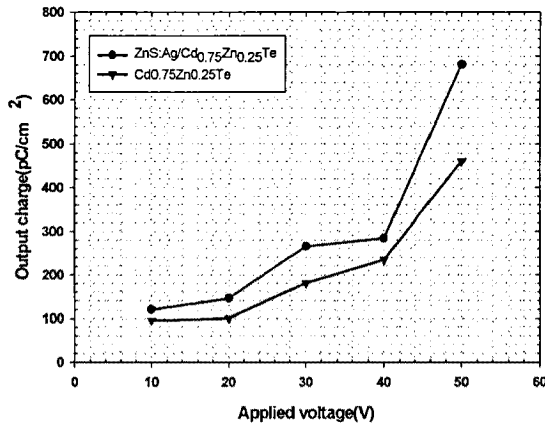


그림 4. 인가전압에 따른 총전하량

Fig 4. The total output charge as applied voltage.

#### 4. 결론

본 연구는 X선 receptor인 a-Se를 이용한 다층 구조의 X선 검출기의 설계시, 직접방식의 X선 검출기 구조에 ZnS:Ag와 같은 phosphor layer를 결합한 hybrid 형 X선 검출기에 관한 연구이다.

X선에 의해 가시광 영역의 빛을 발하는 phosphor layer를 기존의 직접방식의 X선 검출기 구조에 결합함으로써 전자 정공의 발생량을 증가시킬 수 있다. hybrid 형 다층구조의 X선 검출기의 설계시 phosphor layer에 의해 누설 전류가 증가하는 현상을 방지하기 위한 목적으로 Au 전극과 phosphor 박막 사이에 유전층을 삽입함으로써 유전층의 영향을 I-V 특성을 측정함으로써 평

가하였다.

Phosphor layer를 포함하는 hybrid 형 X선 검출기에서 Au 전극과 phosphor 박막 사이의 유전층은 누설 전류를 저감하는 효과가 있어 a-Se에서 발생된 신호대 잡음비(SNR)가 향상됨을 알 수 있다. 따라서 본 연구는 Hybrid DR 구조를 가진 디지털 평판형 X선 검출기의 가능성을 제시하고 향후 개발될 hybrid 형 X선 영상 검출기의 구조 설계시 기초 자료로 활용될 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 지원(M1-0104-00-0149)에 의하여 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] National Physical Laboratory, New Delhi-110, India "Effect of combinational doping on x-ray sensitivity of a-Se films
- [2] W. Q ue, and J. A. Rowlands. "X-ray Imaging using Amorphous Selenium : Inherent Spatial Resolution", Med. Phys., Vol. 22, No. 4, pp. 365-373, 1995
- [3] C. Haugen, S. O. Kasap, AND J. Rowlands. "Charge transport and electron-hole-pair creation energy in stabilized a-Se x-ray photoconductors", J. Phys. D: Appl. Phys. Vol. 32, pp. 200-207, 1999
- [4] Robert E. Johanson, S. O. Kasap, J. Rowlands, B. Polischuk. "Metallic electrical contacts to stabilized amorphous selenium for use in X-ray image detectors", J. Non-Crysta. Solids, Vol. 227-230, pp. 1539, 1998
- [5] A. Yu. Leiderman and M. K. Minbaeva. "Mechanism of Rapid Growth of the Direct Current in Semiconductor Diode Structures", Semiconductors, Vol. 30, No. 10, pp. 905, 1996