

CdTe 와 ZnS:AgCl phosphor를 이용한 Hybrid형 X선 검출기의 특성연구

석대우, 강상식, 김진영, 박지균, 문치웅*, 남상희*
인제대학교 의용공학과, 인제대학교 의료영상연구소*

The characteristic study of hybrid X-ray detector using CdTe and ZnS:AgCl phosphor
Dae-Woo Seok, Sang-Sik Kang, Jin-Young Kim, Ji-Koon Park, Chi-Woong Mun*, Sang-Hee Nam*
Department of Biomedical Engineering of Inje University, Medical Imaging Research center of Inje University*

Abstract

Photoconductor for direct detection flat-panel imager present a great materials challenge, since their requirement include high X-ray absorption, ionization and charge collection, low leakage current and large area deposition. CdTe is practical material. We report studies of detector sensitivity. That is an CdTe with $5\mu\text{m}$ thickness on glass. That is hybrid layer of depositing ZnS:AgCl phosphor with $100\mu\text{m}$ on CdTe. The leakage current of hybrid is similar to it of a-Se, but photocurrent is larger than a-Se. Both of them have high spatial resolution, but hybrid has higher sensitivity than a-Se at comparable bias voltage.

Key Words : Hybrid, CdTe, ZnS:AgCl, phosphor, photo & dark current, X-ray sensitivity

1. 서 론

비정질 셀레늄은 결정구조를 사용하는 다른 물질에 비해 일반적인 진공 열증착법에 의해서 대면적 구현이 가능하며 제작 비용이 싸기 때문에 가장 먼저 평판 X선 영상검출기의 광도전층으로 이용되고 있다. a-Se의 장점은 비저항이 약 $10^{15}\Omega\text{-cm}$ 로서 CdTe나 PbI_2 에 비해서 훨씬 크다. 따라서 a-Se의 누설전류는 다른 물질들에 비해서 아주 낮다. a-Se의 광전특성(photoconductivity)에 관한 연구가 1948년에 처음으로 보고되었고, 그 당시 광전특

성(photoconductivity), 누설전류(dark current), 빛의 흡수(optical absorption)와 이 물질의 구조에 관한 보고가 있었다. 셀레늄은 원자번호가 34인 물질로서 결정(crystalline)상태와 비정질(amorphous or vitreous)상태로서 존재하는데, 균일한 대면적의 구현을 위해서 X-선 영상에서는 비정질상태를 사용한다.

하지만 상온에서도 서서히 결정화되는 특성과 190℃에서 열처리를 할 경우 현저히 결정화되는 현상을 보인다. 또한 셀레늄을 증착하기 전 기판에 존재하는 유기화합물에 의해서 증착하였을 경우 결

정화가 더 셀레늄과 기판 표면에서 결정화가 더 잘 일어난다는 보고도 있다. 한편, 비정질 셀레늄에서 전자-정공쌍을 생성하는데 필요한 에너지(W)는 10 V/ μm 의 전기장이 인가되었을 경우 약 $W_e = 50 \text{ eV}$ 로서 다른 광도전물질에 비해 약 10배 이상 높다. 그러므로 동일하게 흡수된 에너지에 대해 발생하는 전자-정공쌍 생성효율은 이론적으로 10배 이상 낮게 된다. 또한 PbI_2 , HgI_2 와 CdTe 등과 같은 물질에 비해 유효 원자번호가 낮기 때문에 저지능(S)의 감소에 의해서 흡수에너지(E_{ab}) 또한 낮아서 이러한 낮은 변환효율 때문에 일반촬영, 특히 투시영상 적용시 x-ray 감도가 떨어지는 단점이 있다. 그러므로 원자번호가 높은 광도전체에 비해 상대적으로 변환층의 두께를 높여야 하고 X선 검출특성의 향상을 위해서 첨가되는 Cl(Chlorine) 및 As(Arsenic) 같은 불순물에 의한 내부 trap center가 형성되기 때문에 전하의 재결합 및 trap을 방지하여 전하수집효율을 높이기 위해서 μm 당 수십 V이상의 고전압을 인가해야 한다. 이러한 고전압에 의해 a-Se과 TFT array의 damage가 발생하여 검출기의 수명 저감의 요인을 초래한다. 이러한 문제를 극복하기 위한 좋은 접근은 높은 변환효율을 가지는 물질을 연구하는 것이다. X선 광도전층으로 높은 이득을 가지는 물질로서는 PbI_2 , HgI_2 , TlBr , CdTe , CdZnTe 등이다. 이러한 물질들은 높은 저지능뿐만 아니라 넓은 밴드갭 에너지를 지닌다.

지난 20년 동안 CdTe 의 결정특성, 검출성능 및 효율성은 많이 향상되었다. CdTe 는 X선과 감마선 검출기 제작을 위한 유망한 물질이었으며 최근 Cd(Zn)Te 는 새로운 소자 및 응용분야를 위해 연구되고 있다. Cd(Zn)Te 등의 광도전 물질은 매우 높은 X-ray sensitivity를 가지는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 물질의 X-ray 광전 흡수는 실효 원자번호(Z)의 5승에 비례한다. 예를 들면 Z가 34인 a-Se과 50인 CdTe 가 사용되었을 때 민감도에서 6.9배의 증가가 예상된다.

지금까지 연구개발 되어진 비정질 셀레늄(amorphous selenium)은 다른 광도전체에 비해 상대적으로 낮은 민감도와 전하수집을 위해서 고전압을 인가해야 하는 단점을 가지고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위한 새로운 광도전물질의 개발 필요성이 최근 대두되고 있다. 따라서 본 연구의 목표는 a-Se 에 비해 높은 X선 흡수와 동작전압이 낮은 CdTe 과 ZnS:Ag phosphor 물질의 시편제

작을 통하여 암상태에서 누설전류(leakage current) 및 X선 민감도를 측정하여 비교 분석함으로써 진단영역의 X선 에너지에 대해서 CdTe 의 반응 특성을 알고자 하였다.

표 1.은 다양한 광도전물질들의 물리적 특징을 설명하고 있다.

표 1. 방사선 검출 물질 특성

Material	Density [gcm^{-3}]	Band Gap [eV]	E_{pair} [W]	ρ [$\Omega\text{-cm}$]	$\mu\tau$ [cm^2/V]
HgI_2	80,53	0.23	4.2	10^{13}	1.0×10^{-4}
a-Se	34	2.2	50.0	10^{12-16}	2.0×10^{-7}
CdTe	48,52	1.5	4.4	10^9	3.5×10^{-4}
CdZnTe	48,30,52	1.5-2.2	5.0	10^{11-12}	1.0×10^{-3}

2. 실험

2.1 실험 시편

본 연구에서 제작된 CdTe 시편은 순도 99.999% (5N)으로 Thermal Evaporation 방식으로 증착을 하였다. 준비된 glass는 30 분간 초음파 세척을 하고, D.I water로 세척 후 질소 gun으로 수분을 제거하였다. CdTe 증착은 temperature controller (NP200, Hanyoung)로 시료온도를 일정하게 유지시켰으며, 증착속도는 120~160 Å/sec로 증착된 두께는 $5\mu\text{m}$ 으로 증착하였다. Thermal Evaporation System (표준진공) 증착기를 이용하여 진공도 10^{-6} Torr에서 Mo boat에 전류를 가함으로써 증착하였다. CdTe layer가 형성된 후 유전층은 SCS社의 PDS 2060 모델을 이용하여 4×10^{-3} Torr에서 약 6~8 μm 정도의 두께로 증착하였다.

CdTe 위에 증착되는 상부전극은 phosphor에서 발생된 빛이 CdTe 층으로 잘 전달되기 위해 투명한 ITO 전극을 자체 주문 제작한 sputtering 장비를 이용하여 증착하였다.

Hybrid 형태의 시편을 제작하기 위해 Spin coater 장비를 이용하여 $100\mu\text{m}$ 두께의 ZnS:AgCl

phosphor을 CdTe 위에 증착하였다. 조사되는 X선에 의해 ZnS:AgCl phosphor 층에서 발생하는 빛은 CdTe 층에서 흡수되어진다.

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. 또한 X선 조사에 의한 신호발생량을 측정하기 위한 회로를 그림 2와 같이 구성하였다.

본 실험에서 인가한 전압은 10-50V/μm로 하였으며 시편에 대한 X-ray의 조사조건은 차폐체(Al 및 Cu)를 이용하여 19.2mR의 균일 조사선량으로 측정하였다. X선 발생기는 도시바 社 DRX-3535HD를 사용하였다.

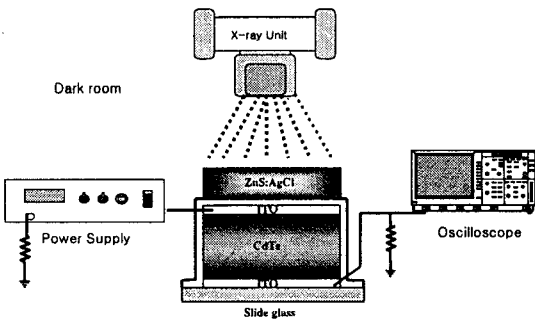


그림 2. X-ray sensitivity 측정을 위한 시스템 구성도

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

준비된 hybrid 형 시편(Hybrid-1,2,3) 모두 관전압이 상승할수록 발생된 전하량이 선형성

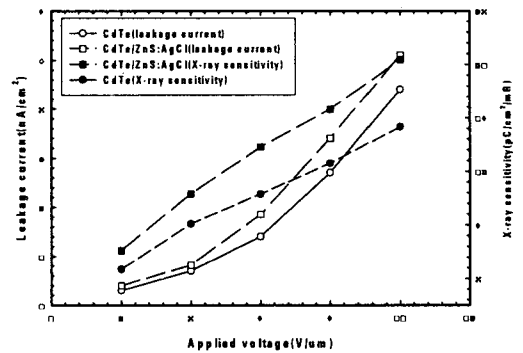
(linearity)을 가지는 것으로 나타난다.

두 타입의 시편에 대해 측정된 누설전류 및 광전류 그리고 민감도를 아래의 표에 나타내었다.

표 2. 10V/μm에서 측정된 누설전류와 광전하량

구분	누설전류 (nA)	광전하 (pC)	민감도 (pC/mR/cm ²)
CdTe (5μm)	9.9	661	15.3125
CdTe + ZnS:AgCl	11.475	879	20.36563

그림 3은 hybrid 방식의 시편과 직접 방식의 시편에 대한 dark-current와 X-선 민감도를 그래프화 하였다.



기존의 직접방식 보다 Hybrid 형 시편에서 높은 X-선 민감도를 보이는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 기존 a-Se를 이용한 X선 검출기를 대신해서 CdTe를 이용한 X선 검출기의 시편을 제조하였다. 생성되는 EHP 양을 증가시키기 위해 CdTe의 흡수 파장대와 동일한 빛을 방출하는 ZnS:AgCl phosphor를 CdTe 위에 도포시켜 민감도를 높이는 실험을 하였다. 기존 방식에 비해 높은 민감도를 보이는 Hybrid형 X선 검출기는 X선에 의한 EHP 이외에도 ZnS:AgCl phosphor 층으로부터 발생하는 빛을 흡수하여 높은 민감도를 나타내었다. 이러한 결과는 현재 셀레늄을 이용한 방사선 검출기의 높은 인가 전장 문제에 대해 해결

책을 제시해 줄 수 있을 것이라고 생각되며, 보다 우수한 성능의 검출기 개발을 위해 누설전류 저감에 대한 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] George C. Giakos, Senior Member, IEEE, N. Shah, and Samir Chowdhury, Student Member, IEEE, "A Novel Sensor for X-ray Imaging Applications"
- [2] S. O. Kasap, J. A. Rowlands, 2000 American Vacuum Society, "Photoconductor selection for digital flat panel x-ray image detectors based on the dark current"
- [3] A. Jahnke and R. Matz, 1999 Phys. Med. "Signal formation and decay in CdTe x-ray detectors under intense irradiation"
- [4] Satoshi Tokuda, SHIMADZU Co., SPIE Vol. 4320, "Experimental evaluation of a novel CdZnTe flat-panel X-ray detector for digital radiography and fluoroscopy"
- [5] M. Fiederle, Journal of Crystal Growth 197(1999) 635-640, "State of the art of (Cd,Zn)Te as gamma detector"
- [6] George C. Giakos, IEEE, 2000 "A Novel Sensor for X-ray Imaging Applications"
- [7] H. R. Moutinho, American Vacuum Society, 1995 "Investigation of polycrystalline CdTe thin films deposited by physical vapor deposition, closed-spaced sublimation, and sputtering"