

진공증착된 CdTe와 Cd_{0.85}Zn_{0.15}Te 필름의 X선 반응특성 비교

The Comparison of X-ray Response Characteristics of Vacuum Evaporated CdTe and Cd_{0.85}Zn_{0.15}Te Film

강상식*, 최장용*, 차병열*, 문치웅**, 김재형**, 남상희**
(S.S.Kang*, J.Y.Choi*, B.Y.Cha*, C.W.Moon**, J.H.Kim**, S.H.Nam**)

Abstract

The study of photoconductor materials is demanded for development for flat-panel digital x-ray Imager. In this paper, We investigated the feasibility of application as x-ray image sensor using Cd(Zn)Te compound with high stopping power on high radiation. These Cd(Zn)Te samples were fabricated by vacuum thermal evaporation method to large area deposition and investigated I-V measurement as applied voltage. The experimental results show that the additional injection Zn in CdTe film reduced the leakage current, for the Cd_{0.85}Zn_{0.15}Te detector, the net charge had the highest value as 144.58 pC/cm² at 30 V

Key Words : Cd_{0.85}Zn_{0.15}Te, Vacuum Evaporation, Flat-Panel X-ray Detector, leakage current

1. 서 론

X선 영상 검출을 위한 이상적인 광도전물질은 (1) 단위 입사 방사선에 대해 많은 전자-정공쌍을 생성시키기 위해서 높은 고유(Intrinsic) X선 민감도, (2) 환자의 피폭을 최소화하기 위해 광도전층의 X선 흡수, (3) 낮은 누설전류. 즉, 수집전극으로부터 광도전층으로의 전하 유입이 없어야 하며 bulk 내부의 다양한 밴드갭 상태나 결점으로부터 전하의 낮은 열적 여기, (4) 생성된 전자-정공쌍의 높은 전하수집효율, (5) 야기된 전하들의 deep trapping이 없어야 한다. 즉, $\mu\tau E \gg L$ 의 조건을 충분히 만족, (6) 연속되는 반복 조사와 시간에 대

한 충분한 안정성 및 내구성, (8) 대면적 구현이 용이 등의 조건들을 갖추어야 한다.

지난 20년 동안 CdTe의 결정특성, 검출성능 및 효율성은 많이 향상되었음에도 불구하고 결정성장의 제조 비용과 비저항에 의해 CdTe의 응용은 제한되어 왔다. 그 후, VBT(Bertical Bridgman Technique) 기술에 의해 보다 낮은 저항의 Cd_{0.96}Zn_{0.04}Te의 성장이 이루어졌으며, 1992년 Doty와 Butler가 HPB(High-pressure Bridgman Technique) 방법으로 처음으로 좋은 검출기 성능을 가지는 높은 비저항 물질인 10%에서 20%까지의 Zn 성분비를 가진 CdZnTe가 만들어졌다. CdTe는 X선과 감마선 검출기 제작을 위한 유망한 물질이었으며 최근 (Cd, Zn)Te는 새로운 소자 및 응용분야를 위해 연구되고 있다. Cd(Zn)Te등의 광도전 물질은 매우 높은 X-ray sensitivity를 가지는 것으로 알려져 있다. 일반적

* 인제대학교 의공학학과
(경남 김해시 어방동 607)
Fax: 055-325-7931
Email: pjok@drworks1.inje.ac.kr

** 인제대학교 의료영상연구소

으로 물질의 X-ray 광전 흡수는 실효원자번호(Z)의 5승에 비례한다. 예를 들면 Z가 34인 a-Se과 50인 CdTe가 사용되었을 때 민감도에서 6.9배의 증가가 예상된다.

본 연구의 목적은 기존의 결정성장법에 의해 제작되어온 Cd(Zn)Te 방사선 검출기를 의료영상장치에 적용하기 위해 필요한 대면적화를 구현하기 위해서 진공증착(Vacuum Evaporation) 기술로 CdTe 및 $Cd_{0.85}Zn_{0.15}Te$ 기반의 X선 센서를 제작하여 제작된 필름의 조성비를 조사하였으며 X선에 대한 누설전류 및 X선 민감도를 측정 및 비교를 함으로써 CdTe에 첨가된 Zn이 X선 반응특성에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

2. 실험

본 실험에 이용된 CdTe 및 $Cd_{0.85}Zn_{0.15}Te$ 증착원료는 Cerac社の 99.999% 순도의 pellet을 사용하였다. 시편제작을 위해 이용된 증착기는 자체설계 및 제작된 저항가열식(Resistive Thermal Evaporator) 진공증착기로서 이 장치는 mechanical pump와 diffusion pump로 구성되어 증착시 10^{-6} Torr의 진공도를 유지하였으며, 기관의 온도는 상온(room temperature)을 유지하였다.

Cd(Zn)Te 증착에 앞서 ITO(Indium Thin Oxide)가 rf-sputtering법에 의해 증착된 유리기관(corning glass, $2 \times 5 \text{ cm}^2$)이 acetone, methanol 순으로 초음파 세척하여 D.I. water로 헹군 후 질소 gun으로 건조시켰다. 또한 인가전압에 의해 전극으로부터 Cd(Zn)Te 층으로의 전하유입을 차단하기 위해 CeO_2 layer을 열증착법으로 수십 nm의 두께로 형성시켰다. CeO_2 layer가 코팅된 기관위에 Cd(Zn)Te pellet을 약 600°C 로 가열하여 면적이 $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 의 Cd(Zn)Te 층을 형성하였으며, 증착된 필름의 두께는 약 $20\mu\text{m}$ 였다. 인가전압에 의해 형성된 Cd(Zn)Te층의 미세과괴를 통한 누설을 방지하기 위해 유전층 증착시스템(PDS 2060, SCS社, USA)을 이용하여 Cd(Zn)Te층 위에 dielectric layer을 수 μm 정도의 두께로 형성시켰다. 상부전극으로 Au wire를 진공 열증착법으로 $1.5\text{cm} \times 1.5\text{cm}$ 면적으로 증착시켰다. 그림 1은 제작된 Cd(Zn)Te 시편의 단면구조를 나타낸 것이다.

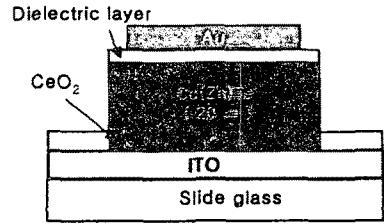


그림 1. 제작된 Cd(Zn)Te 시편의 단면구조
Fig. 1. The cross-section structure of fabricated sample

제작된 Cd(Zn)Te시편의 물성분석으로는 우선 XRD(RAD-3C, Rigaku, Japan)를 사용하여 결정구조를 측정하고 박막의 우선 성장 방향을 측정하였다. 또한 증착된 필름의 조성비를 분석하기 위해 EPMA(EPMA-1400, Shimadzu, Japan)를 이용하여 Cd/Zn/Te 각각의 구성비를 조사하였다.

반도체 검출기 자체가 가지는 누설전류는 신호 대잡음비(SNR)에 영향을 미치기 때문에 누설전류를 측정을 수행하였다. 문헌에 의하면 발생된 전자-정공쌍을 수집하기 위해 인가하는 전압은 $0.1 \sim 0.5 \text{ V}/\mu\text{m}$ 정도로 측정되었다. 본 연구에서는 시편의 두께와 유전층을 고려하여 $0.5 \sim 2.5 \text{ V}/\mu\text{m}$ 까지 $0.5 \text{ V}/\mu\text{m}$ 간격으로 인가한 후, 암상태에서 Cd(Zn)Te 시편에 흐르는 누설전류를 측정하였다. 측정에 사용된 장비는 전압인가를 위한 DC Power Supply(3033B, Protek), 파형획득을 위한 Oscilloscope(LC334AM, LeCroy) 그리고 측정의 정밀성을 기하기 위해 주문 제작된 probe station과 manipulator(Karl süss 120)를 이용하였다. 그림 2는 누설전류 측정을 위한 실험 개략도를 나타낸 것이다. 획득된 파형은 AcqKnowledge 3.0를 이용하여 신호처리를 한 다음,

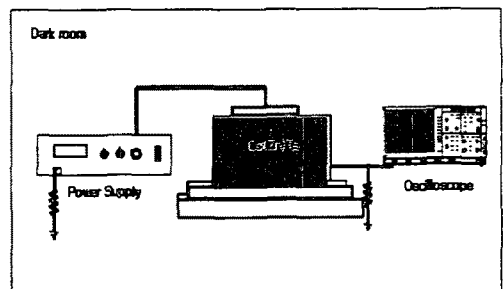


그림 2. 누설전류 측정을 위한 개략도
Fig. 2. The schematic diagram for leakage current measurement

평균 과도전압(transit voltage)를 측정하여 누설전류 (nA/cm^2)를 계산하였다.

X선 변환물질의 X선 민감도의 측정은 누설전류의 측정과 비슷한 구조를 가진다. 본 연구에 사용된 X선 발생기는 Shimadzu TR-500-125를 사용하였으며 신호획득을 위한 조사조건은 60 kVp, 150 mA와 0.1 sec의 조사시간으로 고정하였다. 또한 방사선량 검출기는 Ion chamber 2060(Radical Cooperation 社)을 이용하여 조사선량을 측정하였다. 조사 후, 유도전압 파형은 오실로스코프에 의해 획득되었으며 파형으로부터 총 전하량을 계산하기 위해 AcqKnowledge 3.0를 이용하였으며 유도 전압을 적분한 후, 다음의 수식에 의해 X선에 의해 발생된 전하량(Output charge, Q)을 계산하였다. 또한 총 전하량 대 누설전하량의 비로써 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio)가 계산되었다.

$$Q = \int I dt = \frac{2}{R} \int V dt$$

$$= \frac{2 \times 10^5 \times \int V dt}{1.5^2} \quad [\text{pC/cm}^2]$$

그림 3은 X선 민감도 측정을 위한 실험개략도를 나타낸 것이다.

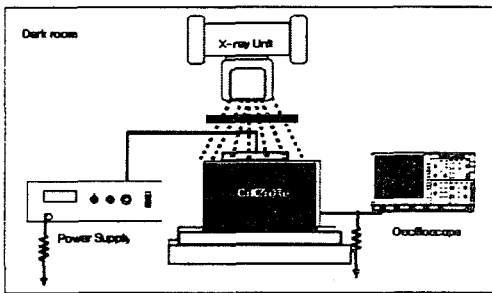


그림 3. X선 민감도 측정을 위한 개략도
Fig. 3. The schematic diagram for x-ray sensitivity

3. 결과 및 고찰

Table 1은 제작된 CdTe 및 $\text{Cd}_{0.85}\text{Zn}_{0.15}\text{Te}$ 필름에 대해 EPMA에 의해 분석한 조성비를 보여주고 있다. 화학양론적(stoichiometric) 박막형성은 중요한 제조 조건 중 하나로 Cd/Zn/Te의 비는 전기적 특성

에 큰 영향을 준다.

표 1. 제작된 $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ 필름의 화학적 조성비
Table 1. The schiometric ratio of fabricated Cd(Zn)Te sample

Composition of Raw Materials	Cd:Zn:Te[atomic %]
CdTe	46.73 : 0.03 : 53.24
$\text{Cd}_{0.85}\text{Zn}_{0.15}\text{Te}$	36.20 : 9.61 : 54.19

증착된 박막은 Zn 농도비에 관계없이 Cd에 비해 excess Te 및 Zn이 관찰되었는데, 이러한 결과는 기판상의 부착계수(sticking coefficient)와 증기압 차이 때문으로 분석된다.

그림 4는 인가전압에 따른 Cd(Zn)Te 시편의 누설전류를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, CdTe에 비해 $\text{Cd}_{0.85}\text{Zn}_{0.15}\text{Te}$ 시편이 훨씬 낮은 누설전류 값을 얻었다. 이것은 Zn이 CdTe에 첨가됨에 따라 Cd(Zn)Te의 밴드갭이 커지기 때문에 비저항을 높이는 결과에 따른 것으로 판단된다.

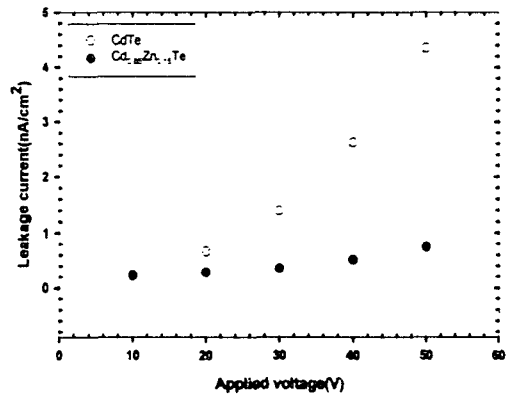


그림 4. 인가전압에 따른 누설전류
Fig. 4. The leakage current as applied voltage

그림 5는 인가전압에 따른 Cd(Zn)Te 시편의 신호대잡음비를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이, CdTe에 비해 $\text{Cd}_{0.85}\text{Zn}_{0.15}\text{Te}$ 시편이 CdTe에 비해 높은 SNR 값이 측정되었으며 30V의 인가전압에서 신호대 잡음비가 3.62로써 가장 높은 값이 측정되었다.

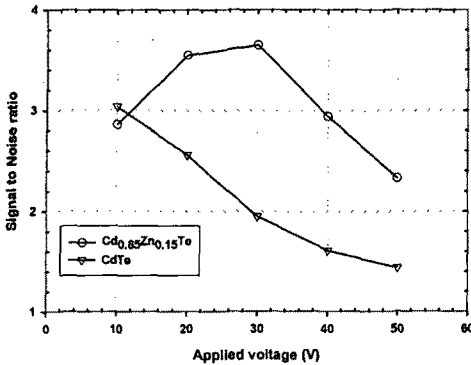


그림 5. 인가전압에 따른 신호대 잡음비
Fig. 5. The signal to noise ratio as applied voltage

4. 결론

본 연구에서는 차세대 디지털 X선 영상검출기 개발을 위한 광도전층인 Cd(Zn)Te를 진공증착법에 의해 형성하였다. 제작된 박막의 조성비 분석을 조사하였다. 제작된 시편에 대해 X선 검출특성을 조사한 결과 CdTe 필름에 첨가된 Zn은 CdTe의 누설전류를 크게 감소시켰으며 그 결과, X선에 대한 신호대 잡음비를 높일 수 있었다. 본 연구를 통해 CdZnTe 필름의 X선 영상검출기 적용을 위한 가능성을 제시하였으며 진공증착기술을 이용한 대면적 Cd(Zn)Te 필름의 제조기술은 차세대 평판형 디지털 X선 영상검출기 개발을 위한 기초자료로 활용될 것이다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] Experimental evaluation of a novel CdZnTe flat-panel X-ray detector for digital radiography and fluoroscopy, Satoshi Tokuda, Sharp Co.
- [2] State of the art of (Cd,Zn)Te as gamma detector, M. Fiederle, Journal of Crystal Growth
- [3] W. Que, and J. A. Rowlands. "X-ray Imaging using Amorphous Selenium : Inherent Spatial Resolution", Med. Phys., Vol. 22, No. 4, pp. 365-373, 1995
- [4] National Physical Laboratory, New Delhi-110,

India "Effect of combinational doping on x-ray sensitivity of a-Se films"

- [5] A. Jahnke and R. Matz, 1999 Phys. Med. "Signal formation and decay in CdTe x-ray detectors under intense irradiation"
- [6] Satoshi Tokuda, SHIMADZU Co., SPIE Vol. 4320, "Experimental evaluation of a novel CdZnTe flat-panel X-ray detector for digital radiography and fluoroscopy"
- [7] M. Fiederle, Journal of Crystal Growth 197 (1999) 635-640, "State of the art of (Cd,Zn)Te as gamma detector"
- [8] George C. Giakos, IEEE, 2000 "A Novel Sensor for X-ray Imaging Applications"