

진단 X선 영상을 위한 CsI:Na/a-Se 구조설계 및 신호특성

박지균, 허예지, 박정은, 박상진, 김현희*, 노시철**, 강상식

한국국제대학교 방사선학과, 한국국제대학교 소방방재학과*, 인제대학교 의용공학과**

The signal property and structure design of CsI:Na/a-Se for diagnostic x-ray imaging

Jikoon Park, Yeji Heo, Jeongeun Park, Sangjin Park, Hyunhee Kim*, Cichul No**, Sangsik Kang

Department of Radiological Science of Korea International Univ.,

Department of Disaster Prevention Engineering of Korea International Univ.,*

*Department of Biomedical Engineering of Inje Univ.***

요약

최근 의료영상분야에서 형광체와 광도전체 물질을 이용한 디지털 평판형 X선 영상검출기가 폭넓게 이용되고 있다. 본 연구는 CsI:Na 형광체층과 광민감도가 우수한 비정질 셀레늄(a-Se)층의 이중 접합구조로 구성된 변환구조 설계를 위한 몬테카를로 시뮬레이션과 X선에 대한 광학적 및 전기적 반응특성을 조사하였다. 먼저 CsI:Na의 발광스펙트럼과 a-Se의 광흡수 스펙트럼을 측정하여 X선에 의한 신호 변환특성을 분석하였다. 또한, 인가전기장의 함수에 따른 X선 민감도를 측정하여 상용화된 a-Se(500 μ m)의 직접변환 검출기와 비교 평가하였다. 측정결과로부터, 10 V/ μ m에서 CsI:Na(180 μ m)/a-Se(30 μ m) 변환센서의 X선 민감도는 7.31 nC/mR-cm² 이고, a-Se(500 μ m) 검출기는 3.95nC/mR-cm²로 약 2배 정도 높은 값을 보였다.

Abstract

Flat-panel x-ray detectors using a phosphor and photoconductor material have been used for application in various medical modalities. In this study, the monte carlo simulation, optical and x-ray response characteristics were investigated in the conversion structure obtained by a columnar CsI:Na scintillation layer with a photosensitive amorphous selenium layer. Firstly, from the measurement of luminescent spectrum of CsI:Na and absorption spectrum of a-Se layer, the signal conversion characteristics are analysed. And also, the x-ray sensitivity is measured and compared with conventional a-Se(500 μ m) as a function of electrical field. From the experimental result, the x-ray sensitivities of the CsI:Na(180 μ m)/a-Se(30 μ m) detector and the a-Se(500 μ m) detector were 7.31 nC/mR-cm² and 3.95nC/mR-cm² at an electric field of 10V/ μ m, respectively.

Key Word : diagnostic imaging, Amorphous selenium, sensitivity, phosphor, conversion efficiency,

진단 영상, 비정질 셀레늄, 민감도, 형광체, 변환효율

I. 서론

최근, 디지털 영상 처리를 통한 디지털 고해상도 X선 영상을 얻기 위해 다양한 방식의 새로운 평판형 X선 검출기(Flat Panel Detector; FPD)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1-3] 간접변환방식의 평판형 X선 영상 검출기는 형광체층과 a-Si 포토다이오드 어레이로 구성된다. 이러한 구조의 검출기에서 영상이 획득되는 원리는 입사하는 X선 광자들이 주로 형광체층에서 가시광으로 변환되고, 가시광은 TFT(thin film transistor) 어레이 각 픽셀에 형성되어 있는 PIN 구조의 a-Si 포토다이오드에 의해 전기적 신호로 획득하는 방식이다. 이러한 검출기는 우수한 DQE(detective quantum efficiency)와 동영상 획득이 용이한 장점이 있지만, TFT 어레이 제조공정의 어려움과 가시광 피침에 의한 낮은 공간해상도를 가지는 약점을 지니고 있다. 또한 직접변환방식의 평판형 X선 검출기는 현재 두꺼운 (>500 μm) a-Se 필름을 이용하고 있는데, X선 민감도가 낮고 10V/μm 이상의 높은 전기장에 의한 TFT 파손, 투시촬영의 어려움 등의 문제점이 보고되고 있다.^[4-5] 따라서 본 논문에서는 CsI:Na 형광체층과 a-Se 필름층으로 구성되는 변환구조에 대해 몬테카를로 시뮬레이션을 통한 구조설계와 신호검출 특성을 조사함으로써 새로운 구조의 평판형 X선 검출기를 개발하기 위한 기초연구를 수행하였다. 이러한 구조에서 X선은 두꺼운 CsI:Na 형광체층에서 변환된 빛 광자들이 얇은 a-Se 필름층에서 전기적 신호로 변환되어 검출된다. 이러한 구조는 TFT 어레이 각 픽셀 내에 형성된 a-Si를 a-Se 단일층으로 대체할 수 있어 제조비용을 낮출 수 있을 뿐만 아니라 형광체층과 광도전층의 두께를 적절히 조절함으로써 다양한 방사선영상시스템으로의 적용이 가능하다. 또한 Si 에 비해 제조가 용이한 얇은 a-Se 필름층을 이용하기 때문에 높은 전기장 형성이 가능하여 전자증폭이 가능하며 고전압에 의한 TFT 파손 등의 문제점을 해결할 수 있다.

II. 재료 및 방법

본 연구의 CsI:Na/a-Se 변환층의 구조에 대한 설계를 위해 MCNPX 코드를 이용하여 X선과 변환체와의 상호

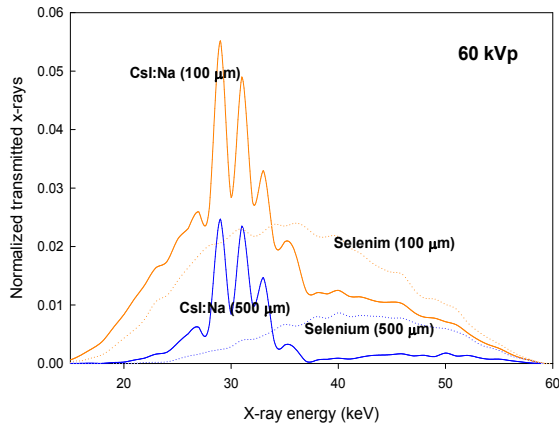
작용을 모의 추정하였다. 의료진단 영역의 연속 X선 에너지 광자들에 의해 CsI:Na 및 a-Se를 투과한 광자들의 에너지 스펙트럼 및 투과강도를 추정하여 CsI:Na 와 a-Se의 두께에 따른 X선 흡수도를 조사하였다. 이때 모든 X선 광자들은 변환체에 대해 수직으로 입사한다고 가정하였다.

또한 이러한 구조에서의 정량적인 신호검출 특성을 조사하기 위해 Cerac 社의 CsI:Na는 99.99% CsI와 99.9%Na를 혼합시킨 물질을 사용하였고 비정질 셀레늄(a-Se)은 Nippon rare metal 社의 0.3-wt% As와 30ppm의 Cl를 첨가하여 X선 검출센서에 최적화된 물질을 이용하였다. 시편제조 방법은 대면적화를 위해 10⁻⁶ Torr 정도의 고진공하에 열증착법으로 필름을 형성하였다. 시편의 구조는 전극 하부에 비정질 셀레늄(a-Se)을 형성하고, ITO의 전극 상부에는 CsI:Na를 접합 시켰다. ITO전극의 면적은 1.5×1.5cm²이며 CsI:Na의 면적과 비정질 셀레늄(a-Se)층의 면적은 2×2cm²이고 ITO전극을 제외한 각각의 두께는 180μm와 30μm이다. 또한 상용화된 a-Se 검출기와의 민감도 비교평가를 위해 500μm 두께의 a-Se 단일층으로 구성된 시편 또한 제작하였다.

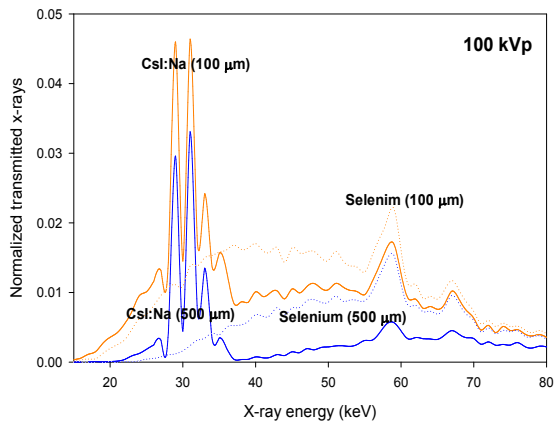
III. 결과

그림 1은 60 kV 및 100 kVp에서 CsI:Na 및 a-Se에 대해 상호작용한 후 투과한 X선 광자에 대한 에너지 스펙트럼을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 a-Se에서는 가파른 피크는 관찰되지 않았으며, 500 두께에서 저에너지 영역의 에너지 광자에 대한 높은 흡수율을 보였다. 반면 CsI:Na는 특정한 X선 피크(29 keV, 30.5 keV, 34 keV, 36 keV)가 나타났으며, 100 kVp의 X선 광자에 대해 59 keV에서 추가적인 피크가 나타났다. 또한 500μm의 두께에서 40 keV 이상의 고에너지 영역의 광자들이 대부분 흡수됨을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로부터 CsI:Na 단일층만으로는 특정한 X선 에너지에 대해 흡수가 거의 되지 않아 신호손실이 높아지는 것을 확인할 수 있었으며 저에너지 영역의 특정한 X선 피크는 셀레늄층에서 2차 흡수가 됨을 알 수 있었다. 그림 2는 CsI:Na와 a-Se의 두께에 따른 진단 영역의 X에너지에 대한 흡수율을 나타낸 것이다. CsI:Na의 경우 300μm에서 60 kVp의 경우

약 86% 와 100 kVp에서 75% 정도의 흡수율을 보였으며, a-Se의 경우 60 kVp의 경우 약 62% 와 100 kVp에서 50% 정도로 다소 낮은 값을 얻었다. 또한 X선 흡수도의 포화가 일어나는 두께는 a-Se의 500 μ m에 대해 CsI:Na는 약 180 μ m 정도임을 알 수 있었다.

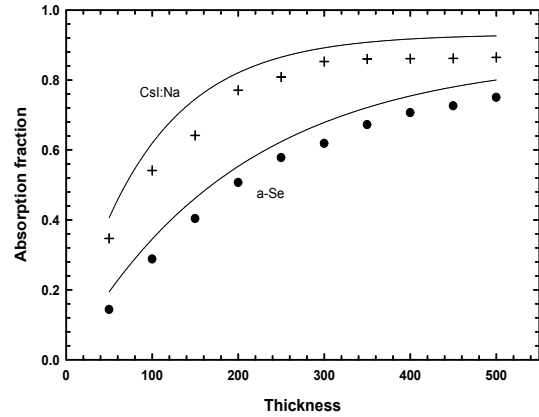


(a) 60 kVp

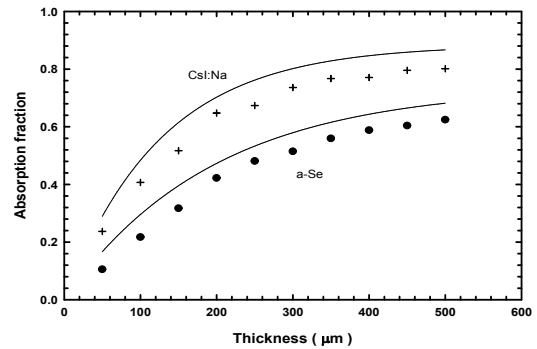


(b) 100 kVp

그림 1. (a)60 kVp와 (b)100 kVp 조사조건에서 CsI:Na와 a-Se의 X선 투과광자의 에너지 스펙트럼



(a) 60 kVp



(b) 100 kVp

그림 2. MCNPX 시뮬레이션에 의한 CsI:Na와 a-Se의 두께에 따른 X선 흡수율 : (a) 60 kVp, (b) 100 kVp

그림 3는 CsI:Na층의 발광 스펙트럼과 a-Se층의 흡수 스펙트럼을 보여준다. CsI:Na 층은 420nm 근처에서 발광 피크를 보였고, a-Se은 300-600nm 의 넓은 가시광 영역에서 좋은 광민감도를 보였다. 즉, X선에 의해 CsI:Na에서 방출된 빛 광자는 a-Se의 높은 광흡수율에 의해 대부분 전자-정공쌍으로 변환되어 높은 신호변환효율을 가질 수 있음을 확인할 수 있었다.

그림 4는 전기장 세기에 따른 X선에 의해 발생된 신호의 민감도를 보여준다. 그림에서와 같이, 두 시편에서 인가전기장이 증가함에 따른 민감도 값은 거의 지수적으로 증가함을 알 수 있었으며, 동일한 X선에 대해 a-Se 층에 높은 전기장을 인가해야 높은 발생신호를 얻을 수

있음을 알 수 있었다. 또한, CsI:Na/a-Se 검출기의 X선 민감도는 10 V/μm에서 7.31nC/mR·cm²으로 a-Se보다 2배 정도 높은 값을 얻었으며, 이러한 높은 신호는 얇은 a-Se층에서 생성된 전하 캐리어가 수집효율이 높은 결과에 기인한 것으로 분석되었다.

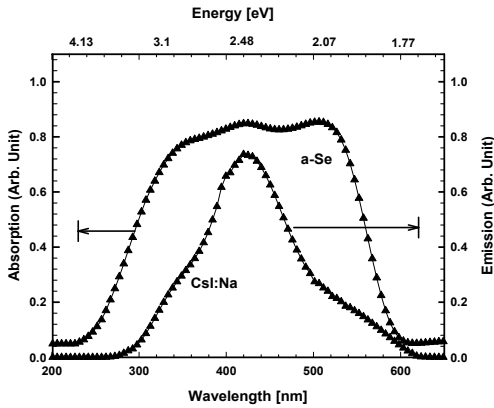


그림 3. CsI:Na의 발광 및 a-Se의 흡수 스펙트럼

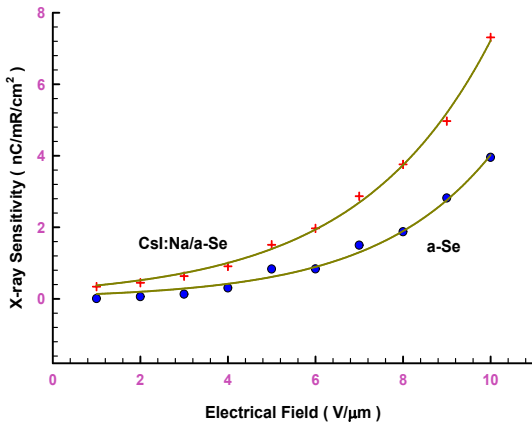


그림 4. 인가전기장에 따른 a-Se(500μm)와 CsI:Na(180μm)/a-Se(30μm)의 X선 민감도

IV. 고찰

본 연구에서는 CsI:Na 형광체와 a-Se 광도전체 필름으로 구성되는 새로운 형태의 평판형 X선 영상검출기를 제안하였다. CsI:Na와 a-Se에서의 X선에 대한 상호작용

모의추정 및 신호변환 특성을 분석하기 위해 시뮬레이션 한 결과, CsI:Na 층에서 방출되는 저에너지 영역에서의 특정한 X선 광자들이 a-Se 내에서 재흡수가 되어 전기적 신호로 검출되어 높은 X선 발생신호량을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 a-Se 필름은 가시광 전 영역에서 광에 민감하여 형광체층을 이용한 이러한 구조에서 종래의 a-Si TFT 어레이를 이용하는 구조보다 제조비용이 저렴하고 제작이 용이하여 향후 대체적용 가능성이 높을 것으로 생각된다.

또한 500μm의 두꺼운 a-Se를 이용하는 직접변환 방식의 검출기에 비해 약 2배 정도의 높은 민감도를 가짐으로써 저선량에서도 우수한 해상도를 갖는 영상획득이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.(No.2009-0088856)

참고 문헌

- [1] W. Que, and J. A. Rowlands., Med. Phys., Vol. 22, No. 4, pp. 365-373, 1995
- [2] C. Haugen, S. O. Kasap, AND J. Rowlands., J. Phys. D: Appl. Phys. Vol. 32, pp. 200-207, 1999
- [3] Robert E. Johanson, S. O. Kasap, J. Rowlands, B. Polischuk, J. Non-Crysta. Solids, Vol. 227-230, pp. 1539, 1998
- [4] 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
- [5] S. Tokuda, H. Kishihira, S. Adachi, T. Sato, Y. Izumi, O. Teranuma, Y. Yamane, and S. Yamada, Proceedings of SPIE, Vol 4682(2002), 30