

## 비정질 셀레늄 기반의 X선 검출 센서의 전하 수송 특성

강상식, 차병열, 장기원, 김재형\*, 남상희\*  
인제대학교 의용공학과, 인제대학교 의료영상연구소\*

### Charge Transport Characteristics of a-Se based X-ray Detector

Sang-Sik Kang, Byung-Youl Cha, Gi-Won Jang, Jae-Hyung Kim\*, Sang-Hee Nam\*  
Department of Biomedical Engineering of Inje University, Medical Imageing Research center of Inje University\*

#### Abstract

There has recently been a great deal of interest in amorphous selenium for application of digital x-ray image sensor. The initial number of the electron-hole induced by interaction a-Se with x-ray photons and the collection efficiency to surface of generated charges are important parameters for x-ray sensitivity of the a-Se. Therefore, in this paper, we analyzed that thickness of a-Se film and electric field is affected on the initial number of electron-hole and the collection efficiency. The experimental value of x-ray induced charge about the various thickness and the electric field is compared with estimated absorbed energy through MCNP 4C code to analyze the mechanism x-ray induced signal of a-Se. The experimental results showed that the electric field depends on initial escape coefficient and the thickness depends on collection coefficient than escape efficient.

**Key Words** : MCNP 4C, Amorphous selenium, X-ray sensitivity, Digital X-ray Detector,

### 1. 서론

진단영역의 X선 영상장치는 의료 및 산업분야에서 영상획득을 위한 주요장치이다. 디지털 방사선 영상 기술은 기존의 필름/스크린 방식의 아날로그 형태의 X선 영상을 디지털화시키는 것으로써 X선에 의한 영상정보를 전기적인 신호로의 변환, 획득 및 영상처리하여 화상을 구성하는 기술이다. 이러한 디지털 방사선 영상 기술 중 a-Se를 이용한 평판형 디지털 영상 검출방식은 X선을 흡수하여 직접 전자-정공쌍을 발생시키므로 공간해상도가 우수하며, 높은 비저항( $\sim 10^{12-16} \Omega\text{-cm}$ )과 대면적화가 용이한 장점이 있어서 많은 연구가 되고 있다.

a-Se 층에서 발생한 전하는 전기장에 의해 획득 되는데, 이러한 전하의 수집효율은 X선 민감도를 좌우하며 물질의 전하 이동도(mobility,  $\mu$ )와 평균수명(life time,  $\tau$ )에 의해 결정된다. 다시 말해서, 전하의 평균자유행로(MFP)는  $\mu \tau E$ 로 정의하는데 이 MFP가 검출기의 두께보다 커야 전하가 검출될 수 있다. 여기서 이동도는 물질의 고유한 값이며, 평균수명은 물질내의 결함(defect)에 영향을 받으며 전기장은 금속-반도체 성질에 의존한다. 한편, 비정질 상태의 셀레늄은 수백  $\mu\text{m}$ 의 Bulk 내에서 발생된 전자-정공쌍이 전기장에 의해 이동하면서 트랩 및 재결합에 의해 신호의 감소를 발생시킨다. 이러한 신호의 감소는 전하 수송자가 a-Se의 두께(d)를 횡단하

는 Maximum transit time( $T_R$ )에 기인되며 다음의 수식으로 표현된다.

$$T_R = \frac{d}{\mu_c E}$$

Transit time( $T_R$ )은 a-Se 내에서 전하 트래핑에 의해 통계적 요동이 발생하게 되며 이러한 영향에 의해 제한된 응답시간을 가지게 된다. 그러므로 본 논문에서는 a-Se bulk 내에서 전하들의 수송 현상 메커니즘을 분석하여 초기 전자-정공쌍의 생성 효율 및 전하수송 효율이 전기장 및 a-Se 층의 두께와의 상관관계를 정량적으로 분석하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 X선 발생 전하량(q) 측정

X선에 의해 발생된 전하량을 측정하기 위한 a-Se 시편은 0.3% As과 30 ppm의 Cl이 첨가된 a-Se(99.999%, Cerac) 시료를 자체 제작한 진공 열 증착기를 이용하여 2cm×2cm 면적의 시편을 제작하였다. 제작된 a-Se의 두께는 70 $\mu$ m, 110 $\mu$ m, 150 $\mu$ m, 190 $\mu$ m, 230 $\mu$ m였으며, 신호 측정을 위한 인가전압은 전기장이 2 V/ $\mu$ m에서 8 V/ $\mu$ m 2V/ $\mu$ m씩 증가하면서 인가하였다. 암상태에서 누설전류를 측정 후, SIMAZTU X선 발생장치를 이용하여 X선 민감도를 측정하여 순전하량을 계산하였다. X선 조사조건은 70 kVp, 30 mA이고, 2.5 mm Al 필터를 이용하였다. 그림 1은 X선 발생전하량 측정을 위한 실험장치를 나타낸 것이다.

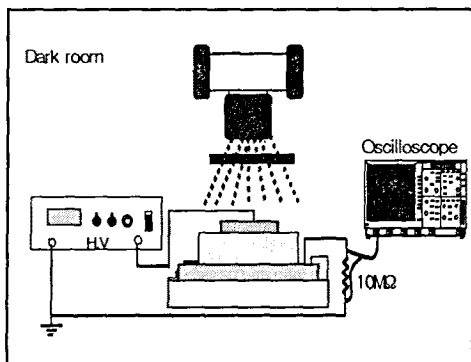


그림 1. X선 발생전하량 측정 장치

### 2.2 MCNP Code를 이용한 흡수에너지(E) 추정

강도(Intensity)  $I_0$ 인 단일 에너지 광자가 두께가  $x$ , 밀도가  $\rho$ 인 물질층에 입사하여 상호작용을 한 후, 투과되는 강도  $I$ 는 다음과 같은 지수감쇠법칙으로 표현된다.

$$I = I_0 \exp^{-(\mu/\rho)x}$$

여기서,  $\mu/\rho$ 는 질량감약계수로써 방사선과 물질과의 상호작용 확률을 의미하며, 방사선의 에너지에 의존한다. 진단 영역의 X선은 저 에너지로써 광전효과, 콤프턴 산란이 일어나며 광전효과가 지배적이다.

본 실험에서는 MCNP의 F1 Tally를 이용하여 X선이 다양한 두께의 a-Se의 한 표면에 입사하는 광자가 반대쪽 표면을 통과할 확률을 추정하였다. 50000개의 Source particle들을 샘플링하여 평균 투과도를 추정하여 a-Se에 흡수된 흡수 에너지를 계산하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 X선 발생장치의 관전압이 70 kVp인 조사조건에서 발생하는 에너지 스펙트럼에 대한 스펙트럼과 다양한 a-Se의 두께를 투과한 X선 광자의 투과 스펙트럼을 보여주고 있다.

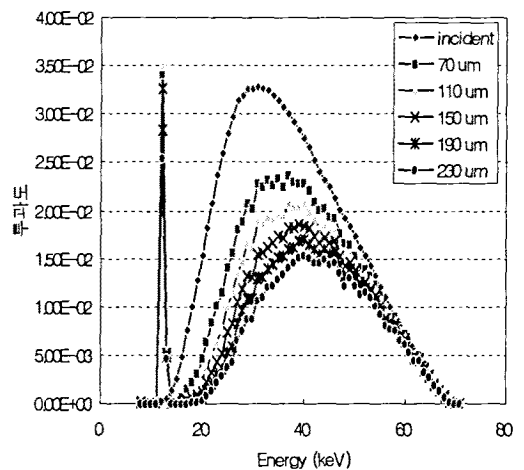


그림 2. MCNP 시뮬레이션 결과로 얻어진 a-Se의 두께에 따른 에너지 투과 스펙트럼

그림에서 알 수 있듯이, 입사 에너지의 흡수는 저 에너지에서 대부분 흡수됨을 알 수 있고, 두께가 증가할수록 스펙트럼의 피크치, 즉 유효에너지가 오른쪽으로 이동하는 것을 관찰 할 수 있다. 또한 a-Se의 특성 X선 에너지인 12 keV의 X선 광자가 많이 발생되었다.

그림 3은 a-Se의 두께별 70 kVp의 에너지에 대한 흡수도를 나타내고 있다. 그림과 같이 두께에 대해 에너지 흡수도는 선형적으로 증가함을 알 수 있으며 230 $\mu\text{m}$  두께의 a-Se에 대해 약 48%의 에너지가 흡수되었다.

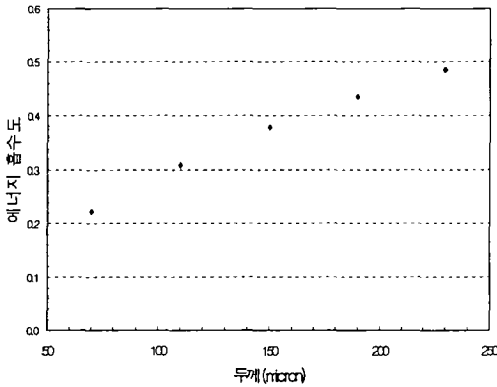


그림 3. a-Se 두께에 따른 70 kVp의 관전압에 대한 에너지 흡수도

그림 4은 다양한 전기장에 따른 a-Se의 두께별 X선에 의해 발생된 전하량( $q$ )과 MCNP 시뮬레이션 결과로 얻어진 흡수 에너지( $E_{ab}$ )의 비를 나타낸 그래프이다. 그림에서 보듯이, 70  $\mu\text{m}$  두께의 a-Se에 대해  $q/E_{ab}$  값이 전기장이 커짐에 따라 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과는 동일한 에너지 흡수에 대해 높은 전기장에서 전자-정공쌍의 초기 생성효율이 높아지기 때문이며, 상대적으로 낮은 두께에 대해 전하수송효율에 기인된 요인은 낮은 것으로 판단된다. 8 V/ $\mu\text{m}$ 의 전기장에 대해 두께의 증가에 대한  $q/E_{ab}$  값의 감소는 생성된 초기 전자-정공쌍이 양쪽 표면으로 이동하면서 트랩 및 재결합 확률이 a-Se의 두께에 비례하여 증가되기 때문으로 여겨진다. 이러한 전하수송효율의 두께 의존성은 낮은 전기장에서 그 영향은 훨씬 증가함을 알 수 있었다.

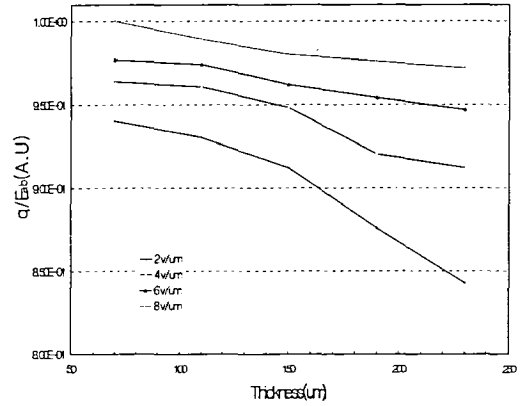


그림 4. a-Se의 두께 및 전기장에 대한  $q/E_{ab}$

#### 4. 결론

본 연구에서는 MCNP 4C code를 이용하여 a-Se에 입사된 X선 광자의 상호작용 현상을 모사하여 진단 영역의 X선 스펙트럼에 대한 흡수도를 추정하였다. 또한 a-Se의 전기장에 따른 X선 발생 전하량을 측정하여 a-Se bulk내에 발생된 전자-정공쌍의 초기생성효율 및 전하수송효율이 전기장 및 a-Se의 두께에 미치는 영향을 분석하기 위해 흡수율과 발생 전하량 사이의 상관관계 비교를 통해 그 메커니즘을 분석하였다. 실험 결과, a-Se의 X선에 의한 초기 생성효율은 전기장에 크게 의존하며, 전하수송효율은 전기장 뿐만 아니라 a-Se의 두께에도 높은 의존성을 가짐을 알 수 있었다. 본 논문의 결과를 기초로 하여 MCNP 시뮬레이션을 통하여 a-Se의 X선 신호 발생량을 추정하고, a-Se 검출기 개발을 위한 기초 자료로 개발된 MCNP code는 활용될 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

- [1] MCNP<sup>TM</sup>-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version 4C
- [2] 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

- [3] M Lachaine and B G Fallone, "Monte Carlo simulations of x-ray induced recombination in amorphous selenium", J. Phys. 33(2000) 1417-1423
- [4] W.Zhao, J.A.Rowlands. "A large area solid-state detector for radiology using amorphous selenium", SPIE, Phys. Med. Imaging IV 1992, 1651
- [5] J. H. Hubbell, S. M. Seltzer, Table of X-ray Mass Attenuation Coefficient and Mass Energy-Absorption Coefficients, Nist