

비정질 박막에 대한 도핑 조건의 영향 및 미세구조와 I-V 연구

Effect of Doping Conditions on a-Se Thin-Films : Microstructural and I-V Study

박성광*, 박지균*, 강상식*, 공현기*, 김진섭**, 남상희**

(S. K. Park*, J. K. Park*, S. S. Kang**, H. K. Kong**, J. S. Kim**, S. H. Nam**)

Abstract

Due to their better photosensitivity in X-ray, the amorphous selenium based photoreceptor is widely used on the X-ray conversion materials. It was possible to control the charge carrier transport of amorphous selenium by suitably alloying a-Se with other elements(e.g. As, Cl).

In this paper, We investigated dopants(As, Cl) composition rate to improve dark resistivity and transport properties of charge carrier in amorphous selenium using by direct X-ray conversion material. Alloying a-Se with As inhibits the recrystallization of a-Se but introduces undesirable deep hole traps. then doping with Cl(in the ppm range) compensates for the deep hole traps.

We investigated their composition rate in various doping conditions and then obtained optimum dopant composition rate. The result was Se-As 0.3%-Cl 30 ppm and X-ray Sensitivity was 0.57 pC/pixel · mR at 137 $\mu\text{m} \times 137 \mu\text{m}$ Pixel area.

Key Words : Photosensitivity, amorphous selenium, photoreceptor

1. 서 론

Cl(chlorine)과 As(arsenic)같은 적절한 dopants로 도핑된 비정질 셀레늄 광도전체는 다양한 영상검출 시스템에서 X선 변환물질로서 응용되어지고 있다. a-Se 내에서 X선 민감도를 향상시키기 위해서는 물질 내부의 미세구조(microstructure)에서 이러한 photoreceptor films의 물리적 현상을 이해하는 것이 필요하다. 결합상태, 전하 이동도, dopants 효과 그리고 a-Se의 민감도와 관련된 중요한 파라메타들에 대한 많은 근본적인 연구들이 이미 이루어졌다.

그러나, a-Se 필름의 민감도(S)는 pair당 필요한 전하발생 에너지(W)의 형태로 쉽게 이해될 수 있다. 즉, W 값은 Donovan에 의해 정의된 a-Se내에서 하나의 전자·정공을 발생시키는데 필요한 X선 에너지이다.[1]

그러나, 위의 중요한 관점에 대한 dopant 양에 따른 더욱 세부적인 연구보고서가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 다양한 dopant 양으로 제작된 비정질 셀레늄에 대해 Xerography discharge curve를 이용한 Potential decay technique method를 이용하여 비정질 셀레늄의 electron-hole pair creation energy W 값을 측정하였다.

또한 본 연구는 I-V를 이용하여 chlorine과 arsenic의 화학적 도핑 효과에 따른 a-Se의 X-ray sensitivity를 분석하였다.

* : 인제대학교 의용공학과
(경남 김해시 어방동 607,
Fax : 055-325-7931
E-mail : flash@drworks1.inje.ac.kr)
** : 인제대학교 의료영상연구소

2. 실험

1. 비정질 셀레늄 시편 제작

본 연구에서 사용한 시편의 제작은 열진공증착법에 의해 제작하였다. 최적화 셋팅된 source boat의 온도와 substrate 온도 제어를 통해 다양한 종류의 비정질 셀레늄 시편을 제작하였다. 먼저 ITO Glass 위층에 셀레늄을 열진공증착법으로 증착한 후, 그 위층에 고전압 인가에 따른 비정질 셀레늄 박막의 breakdown 현상을 방지하기 위한 목적으로 유전층을 형성시켰다. 제일 상층에 고전압 인가를 위한 금속전극을 형성하였다. 제작된 시편의 구조는 아래와 같다.

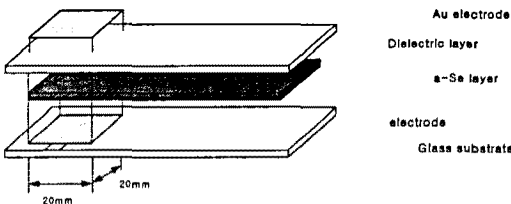


Fig 1. The structure of deposited sample

2. Electron-Hole pair creation energy 측정

Electron-Hole pair creation 측정에 대한 기존의 실험 모델들은 Xeroradiography Discharge Method 또는 X-Ray Induced Photocurrent Method를 이용하였으나, 최근에는 Pulse Height Spectroscopy Method를 이용한 실험에 관한 연구 결과가 선보이고 있으나, 기존의 모델을 이용한 실험과 유사한 경향을 보이고 있다.

먼저 Electron-Hole pair creation energy W 는 인가전압의 의존성과 시료 자체의 불순물에 의한 의존성을 가지고 있으므로 이의 측정은 인가전압과 불순물에 의한 변화에 대한 electron-hole pair creation energy의 변화에 대해 고려하였다. 본 연구에서는 측정에 앞서 인가전압에 대한 Electron-Hole pair creation energy의 의존성을 분석한 결과 기존 문헌상에서 제시하고 있는 $10V/\mu m$ 정도의 고전장 인가에서 각기 다른 불순물 농도를 포함하고 있는 시료에 대해 W 값을 측정하였으며, 결과적으로 도출된 최적의 W 값을 지닌 시료를 이용하여 이론적 신호 발생량 및 X선에 의한 전기적 신호 발생량을 획득하였다.

본 연구에서 사용한 실험 방법은 Chlorine(10 to 40 ppm)과 Arsenic(0.30%W)이 도핑된 $130 \mu m$ 두께의 Selenium을 ITO 전극이 올려진 Glass

Substrate위에 진공 증착하였으며 제작된 시편의 면적은 $100cm^2$ 크기이다. 전자-정공쌍 발생 에너지 측정 방법 중 본 연구에서는 Xeroradiography Discharge Curve를 이용한 Potential Decay Technique Method를 이용하였다. Xeroradiography Discharge Method는 먼저 Conductive Substrate 위에 a-Se layer를 형성한 후, 코로나트론(Coronatron)이란 대전장치를 이용하여 a-Se layer의 표면에 양전하를 고르게 대전시킨다. 그런 다음 X선을 조사하게 되면 a-Se layer에서 X선을 흡수하게 되고 a-Se bulk 내에서 생성된 전자에 의해 표면에 대전된 양전하를 소거시키게 되고, 남아있는 잔여 포텐셜의 변화에 의해 결정하는 방법이다. 먼저 시편은 Corona 방전을 이용하여 양전하의 Initial Potential(V_i)을 대전시킨 후, 관전압 50 kVp의 X선을 조사하였을 때, X선 조사 후 남아있는 Potential인 Residual Potential(V_r)을 Static Voltmeter(Tokyo electronics co. BVG-1770)을 이용하여 측정하였다.

순수 셀레늄 및 10~40 ppm 범위의 Chlorine과 0.30 %W의 Arsenic을 포함하는 다섯 가지 시편에 대해 측정을 수행 한 결과, 30 ppm의 Chlorine과 0.3%의 Arsenic이 도핑된 비정질 셀레늄 박막에서의 최소의 일함수가 도출되었다.

시편에 의해 얻어진 Potential은 어두운 상태(Dark State)에서 거의 일정하게 남아있지만, 미세한 Dark Decay를 고려하여 W 값을 계산하기 위해 X선 조사시간에 존재하는 Potential 값을 이용하여 아래의 Boag와 Donovan의 Equation을 이용하여 계산함으로써 Electron-hole pair creation energy를 도출할 수 있었다.

$$W = \frac{IEAB}{n} \quad (1)$$

E: 조사율, V_i : 조사시의 Initial Existing Potential, V_r : 조사후 남은 Potential, I: 입사 에너지, A: 시편 면적, B: 흡수율, $N=CV/E$: 초당 자유 운반자의 생성율, C: Capacitance, V_i-V_r , E: Electronic Charge

3. X선 Sensitivity 측정

3.1. 인가전장의 인가

디지털 방사선 검출기의 X선 변환물질로써의 비정질 셀레늄은 X선에 의해 발생한 전기적 영상 신호를 검출하기 위해 고압의 인가전압을 요한다. 일반적으로 기존 문헌을 조사하면 비정질 셀레늄의 절연 파괴 전압은 $35 V/\mu m$ 이상으로 보고되고

있다. 신호 검출을 위한 고전장의 인가 목적은 셀레늄 내에서 발생한 전하운반자인 전자-정공쌍의 효율적인 검출을 위함이라 할 수 있다. 앞서 기술한 바와 같이 전자-정공쌍을 발생시키는 고유 에너지인 고유 일함수는 5~7eV 이나 실질적으로 검출되는 전자-정공쌍은 최초의 발생량과는 같지 않다. 이러한 검출효율은 셀레늄 양단에 인가된 전장의 세기에 의존하게 된다. 즉 인가 전장의 세기가 클수록 셀레늄 내에서 발생한 전자-정공쌍의 수집효율은 높아지게 되는 것이다.

본 연구에서는 기존의 문헌상에서 최적의 신호를 검출할 수 있는 10 V/ μm 의 인가전장을 셀레늄 양단의 상하부 전극에 인가함으로써 누설전류 및 광전류를 측정하였다.

3.2. 누설전류의 측정

반도체 검출기 자체가 가지는 누설전류의 영향으로 신호대 잡음비의 감소를 초래하므로 반드시 누설전류를 측정하여야 한다. 암상태에서의 X선 변환물질에 대한 전기장의 인가는 셀레늄 층 내부의 전자-정공쌍의 흐름에 있어 중요한 의미를 가진다. 또한 전기장에 대한 누설전류의 발생은 실 발생 전기량 측정에서의 불필요한 신호이므로 이의 제어하는 것은 중요한 과제라 할 수 있다. 이러한 누설전류의 측정은 셀레늄 양단의 상하부 전극에 10 V/ μm 의 인가전장을 인가한 후, 암상태에서 셀레늄 내에서 미소하게 흐르는 누설전류를 측정하였다. 그 측정의 정밀성을 기하기 위해 주문 제작된 probe station과 manipulator(Karl suss 120)를 이용하였으며, 미소 누설전류의 측정을 위하여 Current amplifier(Model 428, Keithley, USA)를 사용하였으며, 고전장의 인가를 위하여 DC 12 kV 범위에서 동작하는 High Power supply를 사용하였다. 제작된 두께 500 μm 정도의 시편에 DC 5kV의 고전장을 인가함으로써 시편에 흐르는 누설전류를 측정할 수 있었다.

3.3 광전류의 측정

X선 변환물질의 X선 민감도의 측정은 암전류 대 광전류의 비로써 표현할 수 있다. 광전류의 측정의 구성은 기본적으로 누설전류의 측정과 비슷한 구조를 가진다. 먼저 X선 노출조건의 측면에서 살펴보면, 진단 영역 범위의 40~120 kVp에서 고전압압 흉곽 촬영에 사용되고 있는 120 kVp를 선택함으로써 기존의 문헌상의 출력값과 비교를 피하고자 하였다. 또한 mAs(관전류와 조사시간의

곱)로 표현되는 양은 기존의 고전압압 흉곽 촬영과 같은 설정인 3 mAs를 유지하기 위해 100 mA의 관전류와 0.03 sec의 짧은 조사시간을 설정하였다. 또한 셀레늄 층 표면에 조사되는 선량을 1mR으로 고정하기 위해 구리와 알루미늄을 이용하여 흡수체를 삽입하였다. 본 연구에서 사용된 방사선량 검출기는 Ion chamber 2060(Radical Cooperation 社)의 정교한 제품을 이용하여 검출기 표면에 도달하는 선량을 1 mR으로 제어하였다. 또한 제작된 시편에 적절한 방사선을 노출시키기 위해 콜리메이터를 이용하여 조사야를 제어하였다. 또한 X선에 의한 측정 장비의 오동작을 막기 위하여 납으로써 계측기기를 차폐하였다. 그 측정은 먼저 셀레늄 시편의 양단에 DC 5kV의 고전장을 인가한 후, X선을 조사한 다음 Current Amplifier의 출력 단자를 오실로스코프의 입력으로 하여 데이터를 수집하였다. 아래의 Fig 2와 Fig 3은 제작된 시편의 X선 Sensitivity를 평가하기 위한 방법으로 누설전류 및 광전류 측정의 블록도를 보여주고 있다.

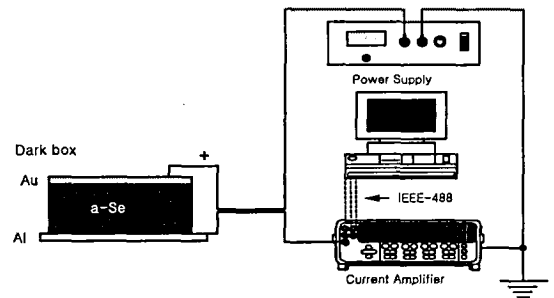


Fig 2.
The Schematic of Dark Current measurement

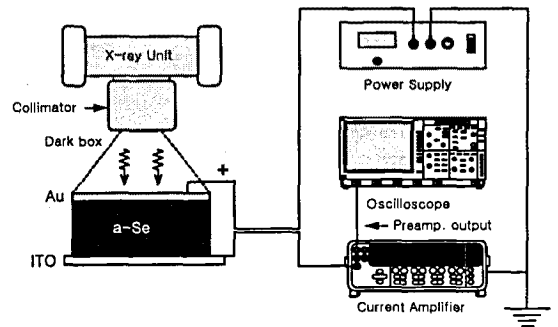


Fig 3.
The schematic of Photo Current measurement

3. 결과 및 고찰

1. 비정질 셀레늄 시편 제작

본 연구에서는 열진공증착법을 통하여 시료 보트 온도와 기판 온도를 조절하면서 최적의 증착조건으로 실험의 목적에 맞게 50~500 μm 두께의 다양한 시편을 제작 사용하였다. 먼저 Electron-hole pair creation energy 측정을 위한 비정질 셀레늄 시편은 100 cm^2 의 크기에 상부 전극을 형성하지 않았으며, 고전장 인가를 위해 셀레늄 층 위에 보호층을 형성하여 절연과피를 방지할 수 있도록 제작되었다. 또한 누설 전류 및 X선 신호량의 측정을 목적으로 한 시편의 경우는 강한 전기장에 의한 셀레늄 내의 전장 왜곡을 방지하기 위한 목적으로 동일한 면적의 상하부 전극을 형성하였으며, 강한 전장의 인가에 의한 셀레늄 층의 절연과피 현상을 방지하기 위한 목적으로 절연층을 셀레늄 층 위층에 삽입하여 제작하였다. 이러한 일련의 공정들은 표면 균일도 5% 이내로 제어하였다. 이렇게 제작된 시편의 두께를 SEM 측정을 통하여 측정하였다. Fig 4는 제작된 시편의 SEM 측정을 통한 표면 미세구조와 비정질 셀레늄과 ITO Glass 궤면을 관찰할 수 있으며, 확대한 SEM 사진에서는 박막의 두께는 390 μm 의 시편을 보여주고 있다.

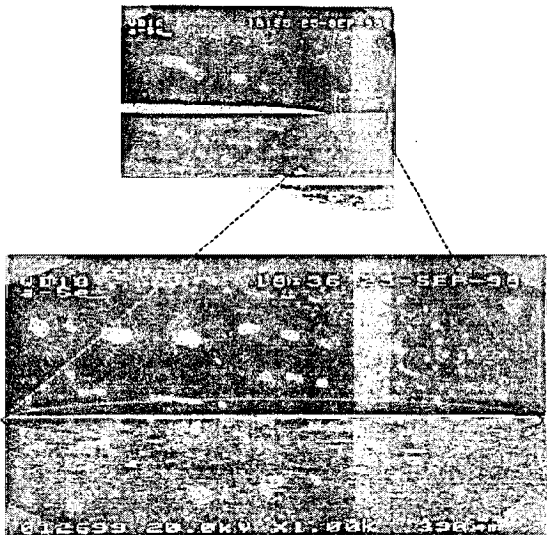


Fig 4. The SEM Measurement of a-Se film with 390 μm thickness

Fig 5는 16mm \times 16mm의 크기로 제작된 시편을 보여준다.

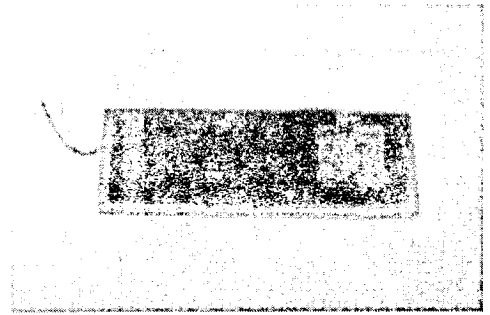


Fig 5. The fabricated sample

2. Electron-Hole pair creation energy

Xeroradiography Discharge Curve를 이용하여 Potential Decay Technique Method를 이용하여 최초 시편에 대전된 포텐셜(V_i)과 X선 조사 후 남아있는 잔류 포텐셜(V_r)을 측정할 결과 아래와 같은 값을 획득하였다. 또한 획득한 최초 포텐셜과 잔류 포텐셜을 이용하여 Boag와 Donovan이 제시한 수식을 이용하여 셀레늄의 X선 조사에 의한 전자-정공쌍 발생 에너지를 도출할 수 있었다.

각기 다르게 도핑된 시편들에 대한 V_i 과 V_r 의 값은 Table 1에서 주어진다. 광자 플루언스와 유효에너지 측정 결과를 이용하여 입사에너지를 산출하면, 50 kVp에서 29.04 keV의 유효에너지를 적용하면 입사에너지 I는 약 $2.12 \times 10^{14} \text{ eV cm}^{-2} \text{ R}^{-1}$ 이며, 130 μm 시편 두께에서 흡수율 B는 약 64%이다.

Table 1은 (Eq 1)에 여러 가지 parameter를 대입하여 10V/ μm 의 전기장에서 각각 다르게 도핑된 a-Se에 대한 W 값을 계산함으로써 도출하였다. Fig 6은 Table 1의 Data를 이용하여 그래프로 나타낸 것이다.

Table 1. The Change of Work Function as a function of Compound rate

X-ray Sensitivity Parameters of a-Se Films.				
No.	Doping levels in selenium	V_i (V)	V_r (V)	W [eV/pair]
1	No doping	1350	1040	43.0
2	10ppm, 0.30%	1350	890	29.0
3	20ppm, 0.30%	1350	760	23.0
4	30ppm, 0.30%	1350	710	21.0
5	40ppm, 0.30%	1350	740	22.0

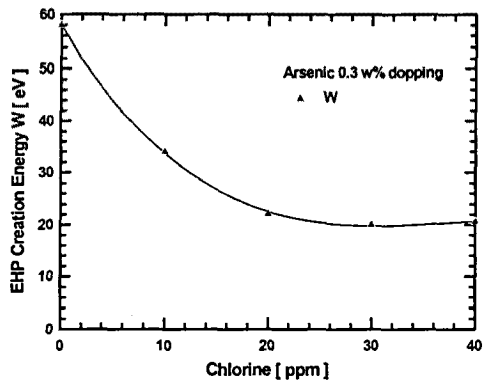


Fig 6. The Result of EHP Creation Energy as a function of Composition of Chlorine with fixed Arsenic composition

3. X선 Sensitivity 측정

Electron-Hole pair creation energy 측정으로 도출된 결과를 바탕으로 확장된 실험을 수행하였다. 최적의 첨가물 조성비인 As 0.3 %, Cl 30 ppm의 값을 변화시켜 신호 발생량에 대한 연구를 수행하였다. 그 결과 동일한 조사조건과 시편 두께에 대해 Table 2의 결과 값을 나타내었다. Fig 7은 Table 2에서 보인 결과 값들을 그래프로 나타낸 그림이다. 첨가물 조성비를 달리하여 제작한 각 시편에 대해 Photo current와 Dark current 측정을 통해 X선 Sensitivity를 평가하였다. 분석 결과 기존 문헌상의 값인 As 0.3 %-Cl 30 ppm의 조성비에서 가장 낮은 dark current를 도출할 수 있었으며, 또한 X선 조사에 의해 발생된 Maximum photocharge 값을 나타내었다. 이것은 이들의 비로써 정의할 수 있는 X선 Sensitivity가 최적의 값을 나타냄을 의미하는 것이다.

조성비 측정항목	As 0.1% Cl 10ppm	As 0.3% Cl 30ppm	As 0.5% Cl 50ppm	As 0.7% Cl 70ppm
Dark Current	155 pA	12 pA	197 pA	255 pA
Photo Current	376 pC	582 pC	402 pC	544 pC
Sensitivity (pC/pixel · mR)	0.37	0.57	0.4	0.54

Table 2. Dark Current and Photocharge as a function of Dopant

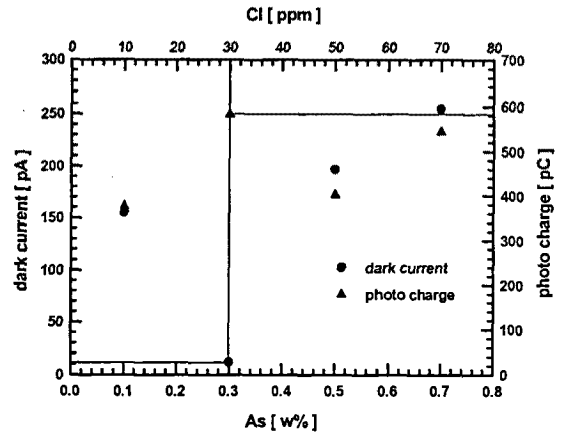


Fig 7. Dark Current and Photocharge as a function of Dopant

4. 결론

본 연구에서는 디지털 방사선 장치의 검출물질로 사용되고 있는 비정질 셀레늄 박막의 첨가물 조성비 의존성을 Electron-Hole pair creation energy W 값의 측정을 통하여 최적의 첨가물 조성비를 도출하였으며, 또한 최적의 첨가물 조성비에서 X선 조사에 의해 발생된 Photo Current와 Dark Current를 측정함으로써 X선 Sensitivity를 평가하였다. 향후 본 연구에서 W값 측정 방법으로 사용한 Potential discharge curve method 보다 고정도의 평가를 수행할 수 있는 PHS(Pulse Height Spectroscopy) 측정을 통하여 본 연구에서 측정된 결과값과의 비교 분석을 수행함으로써 디지털 방사선 장치의 검출물질로서의 최적화를 수행하고자 한다.

감사의 글

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

Reference

- (1) J. W. Boag, Xeroradiography, Phys. Med. Biol. 1973; 18:3-37
- (2) S. O. Kasap, Photoreceptors : The Selenium Alloys : Arthur S. Diamond : Marcel Dekker, 1991:329-372
- (3) W. Que, And J. A. Rowlands. X-Ray Imaging Using Amorphous Selenium: Inherent Spatial Resolution, Med. Phys. 1995:365-373