

Arsenic의 첨가량에 따른 방사선 검출센서(a-Se)의 전기적 특성 비교

석대우, 강상식, 이동길, 김재형*, 남상희*

인제대학교 의생명공학대학 의용공학과, 인제대학교 의료 영상 연구소*

The Comparison of Electric Characteristics of Radiation Detective Sensor(a-Se) with changing composition ratio of Arsenic

Dae-Woo Seok, Sang-Sik Kang, Dong-Gil Lee, Jae-Hyung Kim*, Sang-Hee Nam*

Department of Biomedical Engineering, College of Biomedical Science and Engineering, Inje University

Medical Imaging Research center of Inje University*

Abstract

There has recently been much interest and research in developing digital x-ray systems based on using amorphous selenium(a-Se) photoconductors as the image receptor. The amorphous selenium layer that is currently being studied for use as an x-ray photoconductor is not pure a-Se but rather amorphous selenium alloyed with arsenic. We fabricated samples using the selenium and arsenic alloy with various concentrations of the arsenic. In this work, x-ray photoconductor using amorphous selenium alloyed with arsenic were fabricated with different concentrations of the arsenic(0.1wt.%, 0.3wt.%, 0.5wt.%, 1wt.%, 1.5wt.%, 3wt.%, 5wt.%). The seven kind of samples was fabricated with a-Se alloyed with arsenic through vacuum thermal evaporation. We also investigate the arsenic concentration dependence on the device performance in radiation detector. The electric characteristics of radiation detector devices with changing additive ratio of the arsenic is performed by measuring the x-ray induced photocurrent and integrating it over time to find the total charge. The thickness of a-Se is $100\mu\text{m}$. Bias voltages $3\text{V}/\mu\text{m}$, $6\text{V}/\mu\text{m}$, $9\text{V}/\mu\text{m}$ are applied at the samples. As results, the net charge of a-Se : 0.3% As sample is $526.0\text{pC}/\text{mR}/\text{cm}^2$ at $9\text{V}/\mu\text{m}$ bias. The net charge is decreased as with the increasing additive ratio of arsenic.

Key Words : a-Se, arsenic, dopants, photoconductor, digital radiography, radiation detective sensor

1. 서론

X선 영상검출기의 개발을 위한 a-Se 기반의 광도전체 물질의 연구가 활발히 진행되고 있다. 직접 변환 방식 receptor로 쓰이는 광도전층의 요건으로는 대면적 증착이 용이해야하며 누설전류가 낮고 x-ray에 대한 민감도가 높아야 한다. Selenium은

다른 광도전 물질과 비교해서 누설전류가 적은 장점을 가지고 있으며 진공증착에 의해 비정질 상태의 대면적 구현이 가능하다. X-ray receptor로 쓰이는 대표적 광도전체 물질은 selenium(Se)이며 진공증착으로 박막을 형성시킬 때 selenium은 비정질(amorphous) 상태를 가지므로 a-Se과 같이 표기한다. 증착된 박막의 비정질 상태는 XRD 실험을 통해 알 수 있다.

문헌 조사에 따르면, 비정질 selenium에 첨가되는 dopants의 조성비에 따른 최적화 연구가 진행되고 있다. 이러한 a-Se는 첨가되는 dopants의 조성비에 따라 박막의 물리적 특성과 전기적 특성이 달라진다. 즉 순수한 selenium만을 이용하여 x-선 변환층을 제작할 때보다 전자 정공의 전달 특성을 개선할 수 있기 때문에 약간의 dopants를 첨가해 줌으로써 검출 효율을 높일 수 있다. Selenium에 첨가되는 대표적 dopants의 종류에는 5족 원소인 Arsenic(As)과 7족 원소인 Chlorine(Cl)이 있다. x-ray photoconductor로서 사용되는 비정질 selenium layer는 순수한 a-Se이 아니라 0.2 - 0.5% As (일반적으로 0.3% As)과 10-20ppm Cl이 doping된 Se를 사용한다. 문헌에 따르면 a-Se에 첨가된 As은 a-Se의 결정화(recrystallization)을 억제하지만 바라지 않는 deep hole traps을 야기하며, ppm 단위의 Cl을 doping하면 As 도핑으로 인한 deep hole traps을 보상한다고 보고되고 있다. [6].

본 연구에서 x-ray sensitivity는, 물질이 x-ray photoconductor로서 사용함에 있어서 얼마나 적당한지를 결정하는데 중요한 요소이다. 본 연구는 a-Se에 첨가된 As의 조성비에 따른 x-선 검출 센서의 전기적 특성을, x-ray sensitivity 측정을 통해서 조사하였다. 본 연구는 기존 x-ray receptor로서 사용되는 selenium의 dopants 조성비를 최적화하는데 그 목적이 있다.

2. 실험

2.1 실험시편

본 연구의 제작된 selenium 시편은 순도 99.999% (5N)으로 Arsenic 0.1wt.%, 0.3wt.%, 0.5wt.%, 1wt.%, 1.5wt.%, 3wt.%, 5wt.%을 첨가한 selenium (nippon rare metal corporation)을 이용하여 Vacuum Thermal Evaporation 방식으로 증착을 하였다.

준비된 ITO glass(2cm×5cm)는 30 분간 초음파 세척을 하고, DI water로 세척 후 질소 gun으로 수분을 제거하였다. a-Se 제작을 위하여 mechanical pump와 diffusion pump를 이용하여 챔버 내부 진공을 10^{-6} Torr 정도로 유지시킨 후 pallet 형태의 selenium 원료를 SUS boat로부터 증발시켜 두께 100 μm , 넓이 2cm×2cm의 a-Se

layer를 형성하였다.

형성된 a-Se 층위에 유전층 증착시스템(SCS 社, PDS 2060)으로 dielectric layer를 형성하였다. I-V 측정을 위한 전극은 Au(Cerac, 99.99%) wire로 10^{-6} Torr 정도에서 열증착법으로 증착시켰다.(두께 120nm, 넓이 0.28cm²). 그림 1.은 상기의 방법으로 제작된 시편과 그 단면 구조를 도식화했다.

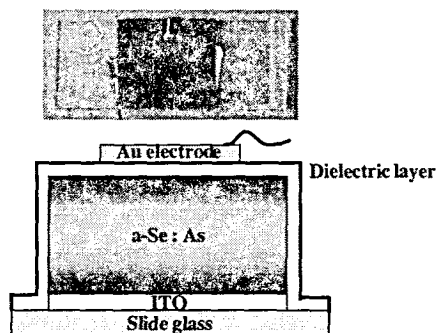


그림 1. 제작된 시편과 단면 구조

2.2 실험장치

그림 1.은 x-ray photocurrent를 측정하는데 사용된 시스템 구성도를 보여준다. 누설전류(Dark current)와 광전류 측정 시 시편 양단의 전극에 인가하는 고전압은 고전압 발생기(EG&G 558H, USA)를 이용하였으며 암실에서 시편의 양단에 고전압을 인가 후, 발생하는 전류를 Electro meter (Keithley 6517A, USA)를 이용하여 측정하였다. 사용된 X-ray 장치는 일반 촬영용 기기인 Radio-Texcx-s (Shimadzu TR-500-125, Japan)를 사용하였다. x-ray 조사 조건은 관전압, 70kVp, 관전류, 100mA, 조사시간은 30ms이다. x-ray 조건에 따른 선량은 Ion chamber 2060(Radical corp. USA)으로 측정 결과 12.5mR이었다. 파형 획득을 위해 Oscilloscope (LC334AM, Lecroy)을 이용하였다. 측정 시편의 x-ray sensitivity는 Oscilloscope에서 획득된 파형을 AcqKnowledge 3.0을 이용하여 30ms동안 integral하여 photo charge 값을 구하였다. 그림 1과 같이 고전압발생기와 시편, 저항을 차례로 연결하였으며, Oscilloscope는 저항양단의 전압변화를 측정하여 시편의 광전하량을 간접적으로 측정하였다. 다시 말하면, X-ray sensitivity를 계산하기 위해 Oscilloscope를 통해 얻어진 전압값을 X-ray가 조사된 시간 영역에서 적분하고, 그

값을 사용된 저항치로 나누어 발생한 총 photo charge를 계산하였다. 충전하량(Q)과 전류(I)는 검출 회로 구성에 의해 다음의 수식으로 계산할 수 있다.

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

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

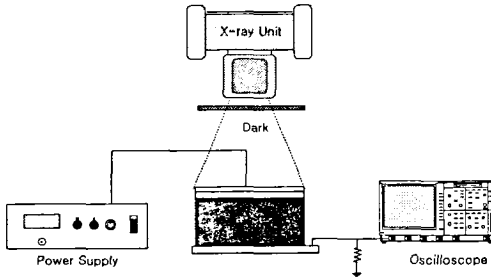


그림 2. x-ray sensitivity 측정을 위한 시스템 구성도

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 비정질 selenium에 첨가되는 dopants 중 Arsenic의 조성비에 따른 광도전체 물질의 전기적 특성을 I-V 측정을 통해 수행하였다. As이 첨가된 a-Se의 두께는 100 μm 이며 시편 양단의 전극에 인가한 전압은 3V/ μm , 6V/ μm , 9V/ μm 이다. x-ray의 조사 조건 70kVp, 100mA, 30ms에서 발생된 선량은 12.5mR으로 측정되었다. Selenium에 도핑된 As의 조성비는 0.1wt.%, 0.3wt.%, 0.5wt.%, 1wt.%, 1.5wt.%, 3wt.%, 5wt.%으로 일곱 종류의 다른 시편을 제작, 인가 전압에 따라 x-ray 민감도를 측정하였다.

표 1. a-Se : 0.3% As의 민감도 측정 결과

인가전압	광전하 (pC)	민감도 (pC/mR/cm ²)
3V/ μm	894.9	255.7
6V/ μm	1380.5	386.7
9V/ μm	1841.0	526.0

표 1.은 여러 농도로 As이 첨가된 a-Se 시편 중 가장 큰 광전하를 보인 0.3 wt.% As 시편의 x-ray 민감도를 인가 전압에 따라 나타내었다.

광전하(net charge)란 광전류에서 누설전류를 뺀 전류를 x-ray 조사시간으로 적분한 순수 전하량을 의미한다.

그림 1.은 a-Se에 첨가한 As의 조성비에 따른 net charge를 측정하여 그래프로 그렸다. 모든 인가 전압에서 As이 0.3% 첨가된 시편이 가장 큰 net charge를 보였으며 As의 첨가비가 커질수록 x-ray 민감도가 낮아지는 결과를 보였다. 9V/ μm 의 인가전압에서 As이 0.3% 첨가된 a-Se의 시편에서 가장 높은 net charge, 526.0 pC/mR/cm²를 나타낸다.

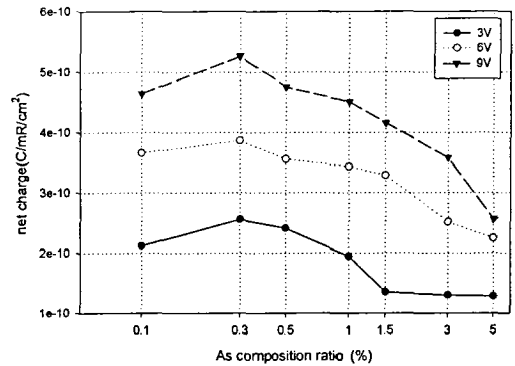


그림 3. Arsenic 첨가비에 따른 net charge 변화량.

4. 결론

최근들어 Digital flat panel x-ray detector system의 개발에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되고 있다. digital x-ray system 중 직접 변환 방식의 system은 x-ray image receptor로서 a-Se 광전도체를 사용한다. 본 연구에서는 순수한 selenium에 다양한 농도의 Arsenic이 첨가된 시편을 만들어 각 시편들의 전기적 특성을 I-V 측정을 통해 수행하였다. Selenium에 0.3%의 arsenic이 첨가된 시편에서 가장 많은 광전하가 발생하였다. 이는 문헌상의 앞선 여러 연구자들의 연구 결과와 동일한 조성비이다. 그리고 차후 보다 우수한 성능의 검출기 개발을 위해 selenium에 첨가되는 여러 dopants와 그것의 조성비에 대한 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] National Physical Laboratory, New Delhi-110, India" Effect of combinational doping on x-ray sensitivity of a-Se films"
- [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] C. Haugen, S. O. Kasap, AND J. Rowlands. "Charge transport and electron -hole-pair creation energy in stabilized a-Se x-ray photoconductors" , J. Phys. D: Appl. Phys. Vol. 32, pp. 200-207, 1999
- [4] Robert E. Johanson, S. O. Kasap, J. Rowlands, B. Polischuk. "Metallic electrical contacts to stabilized amorphous selenium for use in X-ray image detectors", J. Non-Crysta. Solids, Vol. 227-230, pp. 1359, 1998
- [5] 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
- [6] S. O. Kasap, in : A. Diamond (Ed.), The Handbook of Imaging Materials, Marcel Dekker, New York, 1991(Ch.8 and reference therein).
- [7] Aiyah V, Baillie A, Polischuk B, Bekirov A and Kasap S O J. Non-Cryst. Solids 137&138 1337, 1991
- [8] S. O. Kasap, Photoreceptors : The Selenium Alloys : Arthur S. Diamond : Marcel Dekker, 1991:329-372
- [9] D. L. Lee, L. K. Cheung, And L. S. Jeromin. A New Digital Detector For Projection Radiology, SPIE 1995;Vol. 2432:237
- [10] Wei Zhao And James Law. Digital Radiology Using Active Matrix Readout Of Amorphous Selenium : Detectors With High Voltage Protection , Med. Phys. April. 1988
- [11] John L. Donovan. X-Ray Sensitivity Of Selenium. American Institute Of Physics. April. 1974.