

# Study on the effect of DSSC(Dye Sensitizer Solar Cell) Material on the electrical properties of Mercuric Iodide

Gyu-Seok Cho,<sup>1</sup> Ji-koon Park,<sup>2</sup> Seung-Wook Heo,<sup>3</sup> Yong-keun Song,<sup>3</sup> Moo-Jae Han,<sup>3</sup> Kum-Bae Kim,<sup>1</sup> Sang-Hyun Choi<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiation Instrument, Korea Institute of Radiological and Medical Science

<sup>2</sup>Department of Radiological Science, Korea International University

<sup>3</sup>Department of Biomedical Engineering, Inje University

Received: October 27, 2017. Revised: November 23, 2017. Accepted: November 30, 2017

## ABSTRACT

As a photoconductive material with a high X-ray sensitivity, many researches about mercury iodide has been carried out to substitute for amorphous selenium. However, it has many limitations in commercialization because of the high leakage current. In this study, we fabricated HgI<sub>2</sub> unit-cells with mixed silicon oxide(SiO<sub>2</sub>) and titanium oxide(TiO<sub>2</sub>) to reduce a high leakage current and we evaluated an electrical properties of the fabricated unit-cells. As a result, we confirmed that both mixtures were effective in reduing the leakage current of the HgI<sub>2</sub> and x-ray sensitivity were significantly increased in fabricated HgI<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> unit-cell.

Keywords: Photoconductor, Mercuric iodide, Titanium oxide, Silicon oxide, Digital x-ray detector

## I. INTRODUCTION

디지털 방사선 검출시스템은 신호 입·출력을 위한 하드웨어와 입사된 방사선을 전기적신호로 변환하기 위한 변환물질로 구성되어 있으며, 변환 물질의 특성은 검출시스템의 효율에 상당한 영향을 미친다. 하지만 검출 기술의 발전에도 불구하고 검출시스템의 한계점이 여러 연구 문헌에서 보고되고 있고 관련분야를 연구함에 있어 그 한계점들을 직접 마주하고 있는 실정이다.<sup>[1-3]</sup>

디지털 방사선 검출시스템의 연구동향을 살펴보면 신호의 입·출력 및 검출 소자인 박막트랜지스터의 경우 이미 최상위 기술에 도달하여 향후 큰 기술개발이 있지 않은 한 현재의 기술적 성능과 큰 차이가 없을 것으로 예상됨에 따라, 디지털 방사선 검출시스템의 성능은 변환물질인 광도전체의 특성에 크게 좌우될 것으로 판단되며 실제로 많은 연구문헌에서 변환물질인 광도전체, 형광체와 같은 반도체 화합물의 성능향상 및 문제점 해결

에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>[4]</sup>

현재 직접 변환방식의 디지털 방사선 검출시스템에 상용화 되어 사용되고 있는 비정질 셀레늄은 공간 분해능이 높고 누설전류가 낮아 직접변환방식 물질로서 많은 연구가 진행되어 왔지만 타 변환물질에 비해 낮은 엑스선 민감도와 전하수집효율, 높은 일함수로 인한 고전압 인가 등의 한계점이 있다. 따라서 이러한 비정질 셀레늄의 한계점을 해결하기 위한 연구 및 새로운 대체물질 개발이 시급한 실정이다.<sup>[5]</sup>

최근 이러한 비정질 셀레늄을 대체하기 위한 후보물질로는 요오드화납, 산화납, 요오드화수은, 카드뮴텔루라이드 등이 있다.<sup>[6]</sup> 이 중, 요오드화수은은 누설전류가 높은 단점이 있지만 우수한 엑스선 민감도 특성을 가진 광도전체로 디지털 방사선 검출기에 실제로 많이 응용되고 있다.

본 연구에서는 요오드화수은의 단점인 높은 누설전류를 저감시키고 신호 대 잡음비를 향상시키

\* Corresponding Author: Sang-Hyun Choi

E-mail: shchoi@kirams.re.kr

Tel: +82-10-2631-2198

기 위해 염료감응태양전지에 사용되는 이산화규소와 이산화티타늄을 요오드화수은에 각각 혼합하여 그 특성을 비교·분석하였다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. Fabrication of the digital X-ray detector unit-cell

본 연구에서는 요오드화수은, 이산화티타늄과 이산화규소가 특정비율로 혼합된 요오드화수은의 전기적 특성을 비교·분석하기 위해 각각의 단위시편을 폴리비닐부티랄 바인더를 이용한 침전법을 이용하여 제작하였다.

하부 전극으로서 Indium-Tin Oxide(ITO)가 증착된 투명유리 기판에  $3 \times 3 \text{ cm}^2$  으로 요오드화수은, 이산화티타늄과 이산화규소가 특정비율로 혼합된 요오드화수은을 각각 증착하였으며  $70^\circ\text{C}$ 에서 약 6시간 건조 후, 상부전극으로 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 ITO전극을 증착하였다. 증착된 광도전체의 두께는 엑스선의 감약을 고려하여 약  $250 \sim 300 \mu\text{m}$ 가 되도록 하였다. Fig. 1과 2는 단위시편의 제작공정과 제작된 단위시편의 모식도를 각각 나타낸다.

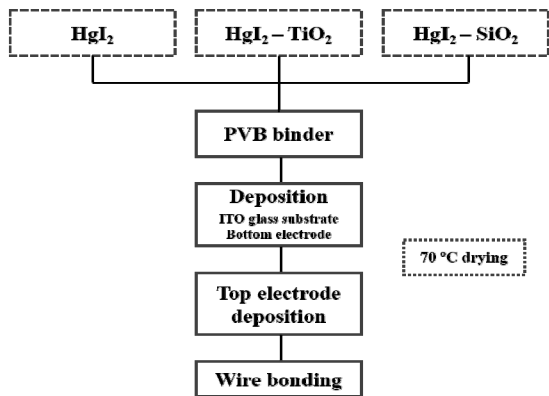


Fig. 1. A schematic diagram of the unit-cell fabrication process.

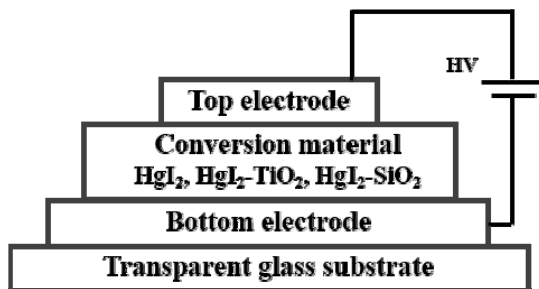


Fig. 2. A schematic diagram of the fabricated unit-cell.

### 2. Evaluation of the fabricated digital X-ray detector unit-cell

제작된 요오드화수은, 이산화규소가 혼합된 요오드화수은, 이산화티타늄이 혼합된 요오드화수은 단위시편의 전기적 특성을 분석하기 위해 전기장에 따른 누설전류와 엑스선 민감도를 측정하였다. 측정은 엑스선에만 반응한 신호를 검출하기 위해 암실에서 진행하였다. 조사된 엑스선 선량의 확인은 이온전리함(Radcal Corp.)을 이용하였다. Fig. 3은 측정을 위한 실험의 개략도를 나타낸다.

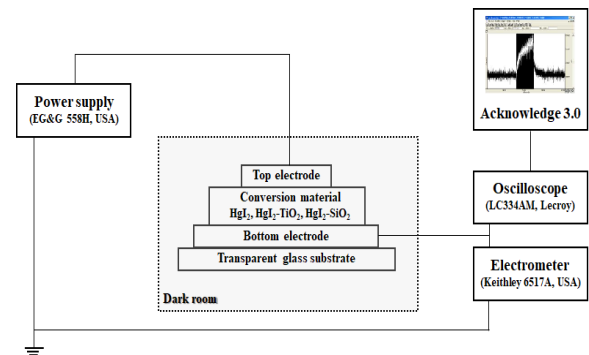


Fig. 3. A schematic diagram of the fabricated unit-cell.

## III. RESULT AND DISCUSSION

누설전류는 변환체의 전하수집효율에 많은 영향을 미치기 때문에 디지털 방사선 검출기의 중요한 변수 중 하나로 인식된다. 본 연구에서는  $0.2 \sim 1.5 \text{ V}/\mu\text{m}$  범위의 인가전압에 따라 제작된 각 단위시편의 누설전류를 측정하였다. Fig. 4는 각 단위시편의 누설전류측정 결과를 나타낸다.  $1 \text{ V}/\mu\text{m}$  인가전압 기준에서 요오드화수은 단위시편의 누설전류는  $5.6 \text{ nA}/\text{cm}^2$  으로  $1.9 \text{ nA}/\text{cm}^2$  의 결과를 보이는 이산화티타늄이 혼합된 요오드화수은 단위시편에 비해 약 3배 높은 결과를 나타내며, 이산화규소가 혼합된 요오드화수은에 비해 약 2.5배 높은 결과를 나타내었다. 이는 요오드화수은 외 이산화규소 및 이산화티타늄이 첨가되면서 물질의 비저항( $\Omega\text{cm}$ )에 영향을 주었을 것으로 판단된다. 또한, 요오드화수은에 비해 입자사이즈가 비교적 작은 이산화규소 및 이산화티타늄이 요오드화수은의 입자사이 공간을 채우면서 입자사이 폴리비닐부티랄 바인더와 입자사이 공간에 의한 누설전류가 감소되었을 것

으로 판단된다.<sup>[7]</sup> Fig. 5는 요오드화수은 단위시편과 이산화규소가 혼합된 요오드화수은 단위시편의 주사전자현미경 단면 비교영상을 나타낸다. Fig.5 (a)와 같이 요오드화수은의 경우 증발하지 못한 바인더가 입자사이를 메우고 있지만 이산화규소가 혼합된 요오드화수은 (b)의 경우 입자사이에 이산화규소가 메우고 있어 다공성이 적은 것이 확인되며 이산화티타늄이 혼합된 요오드화수은 역시 비슷한 형태임을 알 수 있다.

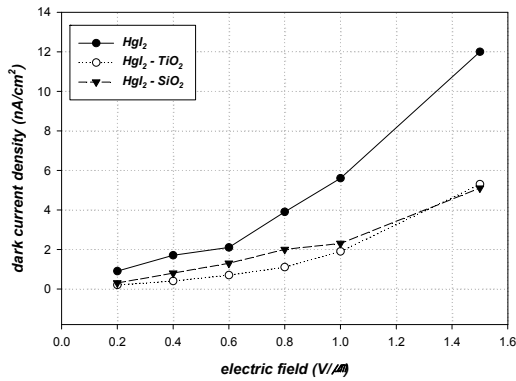
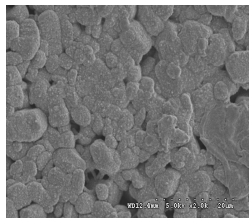
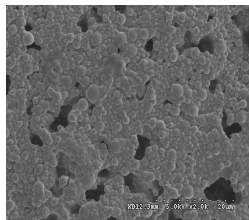


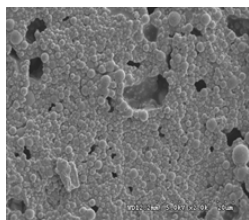
Fig. 4. Leakage current of the fabricated unit-cells.



(a) SEM image of the HgI<sub>2</sub>



(b) SEM image of the HgI<sub>2</sub> - SiO<sub>2</sub>



(c) SEM image of the HgI<sub>2</sub> - TiO<sub>2</sub>

Fig. 5. SEM images of the fabricated unit-cell

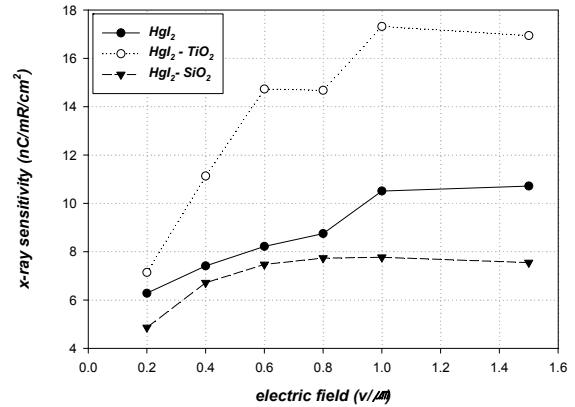


Fig. 6. x-ray sensitivity of the fabricated unit-cells.

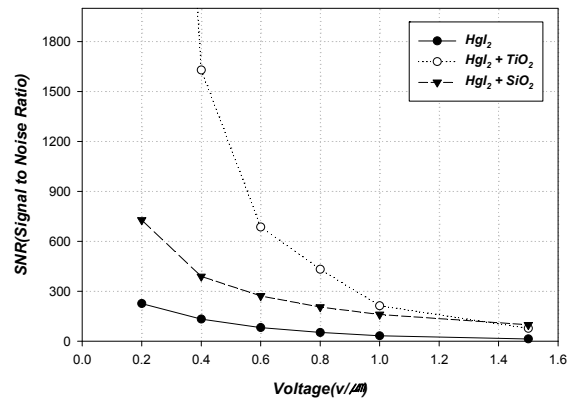


Fig. 7. SNR of the fabricated unit-cells.

변환체의 엑스선 민감도는 디지털 방사선 검출기의 공간 분해능, 선형성 및 동작범위 등의 특성을 간접적으로 나타내는 지표로 누설전류와 함께 중요한 변수중의 하나이다. Fig. 6은 제작된 각 단위시편의 엑스선 민감도 측정 결과를 나타낸다. 누설전류와 동일하게 0.2 ~ 1.5 V/μm 범위의 인가전압으로 100 kVp, 3mAs의 조사조건에서 측정하였다. 측정결과 이산화규소가 혼합된 요오드화수은 단위시편의 엑스선 민감도는 1 V/μm 기준에서 7.76 nC/mR/cm<sup>2</sup>으로 요오드화수은 단위시편에 비해 약 1.4배 낮은 결과를 보였다. 반면, 이산화티타늄이 혼합된 요오드화수은 단위시편의 경우 17.32 nC/mR/cm<sup>2</sup>으로 요오드화수은 단위시편의 엑스선 민감도에 비해 약 1.7배 이상 높은 결과를 보였으며 이산화규소가 혼합된 요오드화수은 단위시편에 비해 약 2배 이상의 차이를 보였다. 이산화규소와 이산화티타늄의 혼합으로 요오드화수은의 높은 누설

전류를 상당히 저감할 수 있다는 것을 확인하였다. 하지만 엑스선 민감도의 경우 이산화티타늄을 혼합한 요오드화수은에서만 증가하는 경향을 보였으며 이산화규소를 혼합한 요오드화수은에서는 오히려 특성이 저하되는 결과를 나타내었다. 이는 이산화규소와 이산화티타늄의 특성차이에 의한 결과로, 이산화티타늄은 일반적으로 반도체 물질로 사용되기 때문에 방사선이 조사되었을 때 일정한 양의 전하를 발생시켜 단위시편의 총 전하량에 영향을 미쳤을 것으로 판단되며 이에 따른 전하이동도 또한 상승한 결과로 판단된다. 반면, 이산화규소의 경우 큰 에너지 갭에 의해 절연체로 사용되기 때문에 다공성이 감소되었다고 하더라도 전하 생성 및 전하이동도에 큰 영향을 미치지 않았을 것으로 판단된다. Fig. 7은 제작된 각 단위시편의 신호 대 잡음비를 나타낸다. 1 V/ $\mu\text{m}$ 의 이하의 인가전압에서 이산화티타늄이 혼합된 요오드화수은 단위시편의 신호 대 잡음비 특성이 기존의 요오드화수은에 비해 10 배 이상 증가하여 가장 높은 특성을 나타내었다.

#### IV. CONCLUSION

요오드화수은의 높은 누설전류를 저감하기 위해 비교적 입자사이즈가 작은 이산화규소 와 이산화티타늄을 요오드화수은에 혼합해 단위시편을 제작하였으며 전기적 특성을 비교·분석하였다. 그 결과 혼합된 두 물질 모두 요오드화수은의 높은 누설전류를 상당히 저감하는 결과를 나타내었다. 엑스선 민감도 측정결과 이산화티타늄을 혼합한 단위시편에서 요오드화수은의 약 1.7배의 엑스선 민감도의 상승효과를 나타내었으나 이산화규소를 혼합한 단위시편에서는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 본 연구를 통해 침전법을 이용한 변환체 증착 시, 다공성은 물질의 특성을 변화시키는 중요한 변수로 증착된 변환체의 밀도는 전기적 특성에 많은 영향을 미치는 것을 확인하였으며 폴리머바인더의 잔재 량 또한 침전법에 있어 매우 중요한 변수가 된다는 것을 확인하였다.

#### Acknowledgement

This study was supported by a grant of the Korea

Institute of Radiological and Medical Science(KIRAMS), funded by Ministry of Science and ICT(MSIT), and the Nuclear Safety Research Program (Grant No.1603016) through the Korea Foundation of Nuclear Safety(KOFONS), granted financial resource from the Nuclear Safety and Security Commission(NSSC), Republic of Korea (1711045578;1711045556;1711045577;1711045576/50532-2017).

#### Reference

- [1] Paul R. Bennett, Kanai S. Shah, Yuri Dmitriev, "Polycrystalline lead iodide films for digital X-ray sensors," Nuclear instruments and methods in physics research A, Vol. 505, pp. 269-272, 2003.
- [2] Satoshi Tokuda, Hiroyuki Kishihara, Susumu Adachi, "Preparation and characterization of polycrystalline CdZnTe films for large area, high sensitivity X-ray detectors," Journal of materials science, Vol. 15, pp. 1-8, 2004.
- [3] R. A. Street, S. E. Ready, K. Van Schuylenbergh, "Comparison of  $\text{PbI}_2$  and  $\text{HgI}_2$  for direct detection active matrix X-ray image sensors" Journal of applied physics, vol. 91, pp. 3345-3355, 2002.
- [4] M. Schieber, H. Hermon, A. Zuck, A. Vilensky, L. Melekhov, R. Shatunovsky, E. Meerson, Y. Saado, M. Lukach, E. Pinkhasy, S. E. Ready, and R. A. Street, "Thick films of X-ray polycrystalline mercuric iodide detectors," Journal of Crystal Growth, pp. 118, 2001
- [5] G. Belev, S. O. Kasap, "Amorphous selenium as an X-ray photoconductor," Journal of Non-crystalline Solids, Vol. 345, pp. 484-488, 2004.
- [6] A. M. D. Ede, E. J. Morton and P. DeAntonis, "Thin film CdTe for imaging detector applications," Nuclear instruments and methods in physics research A, Vol. 408, pp. 7-11, 2001.
- [7] M. Simon, R.A. Ford, A.R. Franklin, "Analysis of lead oxide  $\text{PbO}$  layers for direct conversion X-ray detection," Institute of electrical and electronics engineering, pp. 4268-4272, 2004.

# 염료감응형태양열 물질이 요오드화수은의 전기적 특성에 미치는 영향에 관한 연구

조규석,<sup>1</sup> 박지균,<sup>2</sup> 허승욱,<sup>3</sup> 송용근,<sup>3</sup> 한무재,<sup>3</sup> 김금배,<sup>1</sup> 최상현<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>한국원자력의학원 방사선기기부

<sup>2</sup>한국국제대학교 방사선학과

<sup>3</sup>인제대학교 의용공학과

## 요 약

요오드화수은은 우수한 엑스선 민감도 특성을 가진 광도전체로 비정질 셀레늄을 대체할 수 있는 후보물질로 많은 연구가 진행되고 있지만 높은 누설전류로 인해 상용화에 많은 한계점을 나타내고 있다. 본 연구에서는 요오드화수은의 높은 누설전류를 저감하기 위해 요오드화수은에 비해 입자가 작은 이산화규소 및 이산화티타늄을 물리적으로 혼합하여 단위시편을 제작하였으며 제작된 단위시편의 전기적 특성을 비교·분석하였다. 그 결과 혼합한 두 물질 모두 요오드화수은의 높은 누설전류를 저감하는데 효과가 있었으며 요오드화수은-이산화티타늄 혼합물에서는 방사선 민감도 특성이 상당히 높아짐을 확인하였다.

중심단어: 광도전체, 요오드화수은, 이산화티타늄, 디지털 방사선 검출기