

Evaluation of High Absorption Photoconductor for Application to Auto Exposure Control Sensor by Screen Printing Method

Dae-Kuk Kim*, Kyo-Tae Kim**, Jeong-Eun Park***, Ju-Yeon Hong***, Jin-Seon Kim***, Kyung-Min Oh***, Sang-Hee Nam***

*Dept. of Medical Image and science, Inje University**, *Dept. of Health Science and Technology, Inje University***,
*Dept. of Biomedical Engineering, Inje University****

자동노출제어장치 센서적용을 위한 스크린 프린팅 제작방식의 고흡수율 광도전체 특성평가

김대국*, 김교태**, 박정은***, 홍주연***, 김진신***, 오경민***, 남상희***

인제대학교 의료영상과학*, 인제대학교 융합의과학**, 인제대학교 의용공학과***

Abstract

In diagnostic radiology, the use of automatic exposure control device is internationally recommended for diagnosis and optimization. However, if exposed to prolonged radiation is a complicated manufacturing process, there is a problem that occurs decrease of various performance overall brightness sensor, which is commercially available conventional. Therefore, in this study, absorption of X-ray is high, and I want to evaluate the AEC applicability of the sensor of the photoconductor-based production has an easy advantage. Experimental results confirms the possibility of fabrication of the sensor through an increase in the SNR, with the detection efficiency superior, accurate turn-off. In addition, it is confirmed that the experimental results of the transmittance and the latent image, Ghost effect by the light conductor does not appear, in the case of a photoconductor with the exception of the PbO, 80% - and it was confirmed good transmittance of 90%. Therefore, excellent mechanical stability and poor performance due to a change of the doping concentration than the existing products that have been put to practical use, the sensor easy photoconductor based, fabrication and can be applied as AEC sensor is expected.

Keywords : Auto Exposure Control, Screen Printing, Photoconductor, Parylene

요 약

진단방사선 분야에서는 진단 최적화를 위하여 자동노출제어장치의 활용이 국제적으로 권고되고 있다. 하지만, 기존의 상용화된 광도전체 센서는 제작 공정의 복잡하고 장시간 방사선에 노출될 경우 다양한 성능 저하가 발생하는 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 X-ray 흡수율이 높으면서도 제작이 용이한 장점을 가진 광도전체 기반 센서의 AEC 적용 가능성을 평가하고자 한다. 실험 결과, SNR 증가를 통하여 우수한 검출 효율을 가지는 센서의 제작가능성을 확인하였고, 정확한 턴-오프가 가능할 것으로 사료된

다. 또한 잠상 영상 및 투과율 실험 결과, 광도전체에 의한 Ghost effect가 나타나지 않음을 확인하였으며, PbO를 제외한 광도전체의 경우 80% - 90%의 우수한 투과율을 확인하였다. 그러므로 상용화된 기존 제품에 대비하여 도핑농도 변화에 따른 성능 저하 및 기계적 안정성이 뛰어나며 제작이 용이한 광도전체 기반의 센서는 AEC 센서로 적용이 가능할 것으로 기대된다.

중심단어 : 자동노출제어장치, 스크린 프린팅, 광도전체, 페럴린

I. INTRODUCTION

오늘날 진단방사선 분야의 영상수용체가 발전하면서 부적절한 노출 조건에서도 우수한 영상 품질 획득이 가능해지면서 환자에게 불필요한 피폭이 증가하고 있다^[1]. 이러한 이익과 위험의 적절한 균형이 유지 되지 않은 진단은 영상진단장치의 의존도가 높아지고 있는 현 시점에서 오히려 국민보건에 악영향을 미칠 수 있다^[2]. 이에 진단을 최적화하기 위한 연구가 다양하게 수행되고 있으며, 최소의 선량을 이용하여 고품질의 영상을 획득할 수 있는 자동노출제어장치(Automatic Exposure Control; AEC)의 활용이 국제적으로 권고되고 있다^[3].

자동노출제어장치는 단수 또는 다수의 이온전리조(Ion chamber)를 이용하여 영상의 농도에 필요한 적절한 X-ray 선량을 자동적으로 조절하고 피사체의 변화에 따라 일정한 농도가 되도록 하는 장치이다^[4]. 이러한 AEC 장비는 영상수용체 내부에 위치하여 선량에 비례한 전기적 신호를 발생시키고, 미리 설정된 영상의 농도 기준 값과 비교기 회로를 통하여 이상일 경우 X-ray 발생장치를 턴-오프 시키는 프로세서로 구성된다. 이러한 장치를 활용 시 환자선량의 감소뿐만 아니라 영상의 재현성이 우수해짐을 보고하고 있다^[5,6].

이와 같은 AEC 센서는 에너지 분해능과 신호 수집효율이 뛰어난 고체형 자동노출제어장치 센서는 엑스선을 흡수하여 전기적신호로 변환할 수 있는 광도전체를 이용하게 된다. 기존의 상용화된 센서로는 PIN 접합구조 실리콘이 주로 이용되고 있다. P접합 층과 N접합 층 사이의 I진성 층에서 발생한 전자-정공쌍이 전계에 의하여 전자는 N접합 층, 정공은 P접합 층으로 분리되어 수집되는데 이때 생성되는 캐리어의 수는 대체로 엑스선량과 전계의 강도와 비례하다. 이러한 PIN 접합구조 실리콘 기반의 자동노출제어장치는 캐리어 수집효율이 높고, 암전류(Dark Current) 및 노이즈가 적으며 빠른 캐리어 이동특성으로 검출소자로서 우수한 특성을 가지고 있다. 또한 실리콘의 낮은 원자번호로 엑스선을 이용한 영상구현 시, 영상에 센서가 나타나지 않아 별도의 필터링이 필요하지 않은 장점이 있다. 그러나 도핑에 대한 공정의 추가로 제

작공정의 복잡함과 단가의 상승을 초래하며 장시간의 방사선에 노출될 경우 유효 도핑 농도에 따른 동작전압의 변화, 캐리어의 생성 및 재결합으로 인한 누설전류 증가 및 전자포획에 따른 전하 수집효율 감소 등의 성능 저하가 발생한다^[7,8].

이에 본 연구에서는 현재 상용화 되어 있는 PIN 접합 실리콘에 비하여 X-ray 흡수율이 높은 장점을 가지면서도 제작이 용이한 광도전체 기반의 AEC 센서를 제작하여 적용가능성 및 성능 특성에 대하여 평가하고자 한다.

II. RESEACH METHOD

본 연구에서는 전하 수집 방식이라는 점에서 기존 검출 방식과 동일하지만 원자번호가 높은 광도전체 기반의 AEC 센서를 제작하여 X-ray 흡수율을 개선하고자 하였다.

1. Fabrication of Sample

본 연구에서는 AEC 센서로 활용되는 광도전체를 기존의 물리적 증기 증착(Physical Vapor Deposition; PVD) 방식이 아닌 생산 수율이 뛰어나고 두께 및 형태 조절이 용이한 스크린 프린팅(Screen printing mthoe)을 활용하였다. 이와 같은 스크린 프린팅 제작 공정을 Fig. 1에 나타내었다.

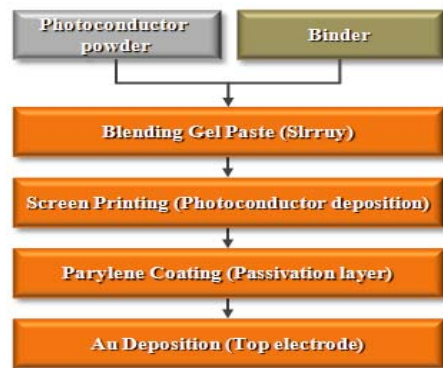


Fig. 1. producing process of auto-exposure control device sensor sample.

1.1 Bottom Electrode

본 연구에서 물질을 증착할 기판으로는 산화인듐(Indium tin oxide; ITO)가 코팅된 glass를 선정하였다. ITO의 면저항은 약 $10 \Omega/\text{cm}^2$ 이었다. 선정된 기판을 $2 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ 으로 자른 후, 메틸렌 알코올(Methylene alcohol)과 증류수를 혼합한 액체를 60°C 에서 약 100초 동안 초음파 세척 과정을 거쳐 표면의 이물질을 제거하였다.

1.2 X-ray Sensor layer

본 연구에서는 높은 엑스선 흡수효율의 광도전체로 의료 영상을 위한 검출기 분야에서 연구가 수행 중인 HgI_2 , PbI_2 , PbO 를 활용하였다^{9,10}. 파우더 상태의 광도전체를 스크린 프린팅 방법으로 제작하기 위해서는 바인더와 혼합하여 슬러리 상태로의 변환 과정이 필요하다. 이에 본 연구에서는 디에틸렌 글리콜 모노부틸 에테르(Diethylene glycol monobutyl ether; DGME)와 디에틸렌 글리콜 모노부틸 에테르 아세테이트(Diethylene glycol monobutyl ether acetate; DGMEA)을 섞은 용액에 폴리비닐부티랄(Polyvinyl Butyral; PVB)를 추가 후, 마그네틱 바를 이용하여 70°C 에서 12시간동안 혼합시켜 점성을 가진 폴리머 계열의 바인더를 제작하였다.

제작한 바인더와 앞서 언급된 광도전체 파우더를 혼합하여 슬러리(Blending gel Paste) 상태로 제작하였고, 이를 활용하여 ITO glass 기판에 도포 후 60°C 10시간동안 오븐에서 건조하였다. 이 때 의료 영상 구현 시 높은 원자번호로 인하여 AEC 센서에서 발생하는 Ghost effect를 최소화하기 위하여 광도전체 두께를 $30 \mu\text{m}$ 이하로 얇게 제작하였다.

1.3 Passivation layer

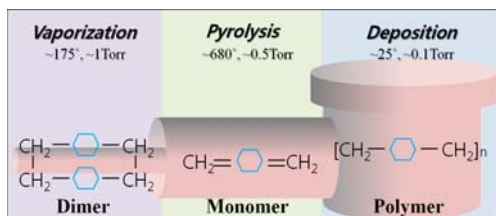


Fig. 2. Chemical vapor deposition process of parylene.

본 연구에서 제작된 광도전체는 박막(Thin film) 형태로 직접적인 상부 전극을 형성할 경우 래치업(Latchup)으로 인한 손상이 발생할 가능성이 있다. 이에 본 연구에서는 최근 반도체

분야에서 절연 박막으로 각광받고 있는 고분자형태의 페릴린(Parylene)을 Passivation layer 형태로 증착하여 전기적인 위험으로부터 안정성을 보완하였다. Fig. 2는 페릴린 증착 공정 모식도로 본 연구에서는 고온에서의 기화, 열분해, 진공 증착에 의한 화학적 증기 증착(Chemical Vapor Deposition; CVD) 프로세스를 활용하여 코팅하였다. 증착 후 주사전자현미경(Scanning electron microscope; SEM)을 이용하여 광도전체 상부 전면에 균일하게 코팅된 것을 확인하였다.

1.4 Top Electrode

마지막으로 제작된 광도전체의 캐리어를 수집하기 위한 상부 전극 제작을 금(Au)을 PVD 방식으로 증착하였다.

2. Evaluation of Sample

2.1 Electrical property

제작된 AEC 센서의 전기적 안정성을 평가하기 위하여 인가 전압(Bias Voltage)에 따른 암전류(Dark Current)를 측정하였다. 본 실험은 암실(Dark room)에서 수행하였고 암전류 측정을 위한 인가전압은 -30 V 에서 30 V 까지 5 V 단위로 설정하였으며 전위계(Electrometer, Keithley 6517A)를 활용하여 측정하였다.

또한 AEC 센서의 성능을 평가하고자 제작된 샘플에 $1 \mu\text{m}$ 당 1 V 전압을 인가하여 관전압(Tube Voltage)에 따른 민감도(Sensitivity)를 측정하였다. 본 실험은 관전류 및 조사시간을 각각 100 mA , 0.03 s 으로 고정하였고, 관전압을 20 kVp 부터 140 kVp 까지 20 kVp 단위로 설정하였으며 오실로스코프(Oscilloscope, LeCroy 62Xi)를 활용하여 생성된 전하량을 측정하였다.

2.2 Ghost image

영상 구현 시 X-ray 흡수에 의하여 발생할 수 있는 잔상(Ghost image)에 대하여 평가하기 위하여 본 연구에서는 CMOS 영상 센서(Rad I-con)를 활용하여 70 kVp , 100 mA , 0.03 s 조건에서 확인하였다. 이 때 관전압 조건은 정확성의 변동계수(Coefficient of variation; CV)가 가장 낮은 70 kVp 를 선정하였다.

2.3 Transmission

Ghost effect는 영상 구현 시 각각의 광도전체 물질에서 흡수하는 X-ray에 기인하여 발생하는 현상으로 이를 평가하기 위해서는 잠상 평가뿐 아니라 투과되는 정도를 확인하여야 한

다. 이에 본 연구에서는 각 각의 광도전체 물질의 투과율을 측정하기 위하여 Dose meter(Iba-magic max)을 활용하였다.

III. RESULT AND DISCUSSION

1. Fabrication of Sample

AEC 센서의 제작 결과, 넓이는 1.2 cm × 1.2 cm 제작되었고 광도전체의 두께는 20 μm ± 2 μm 이내로 제작되었다. 또한, SEM을 통하여 광도전체 상부에 코팅된 페릴린을 확인한 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

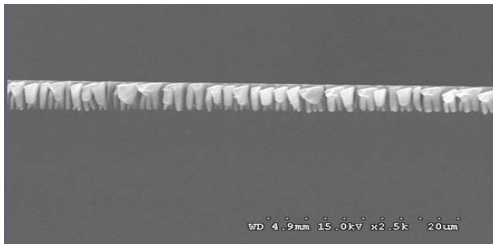


Fig. 3. Parylene coating image using Scanning electron microscope.

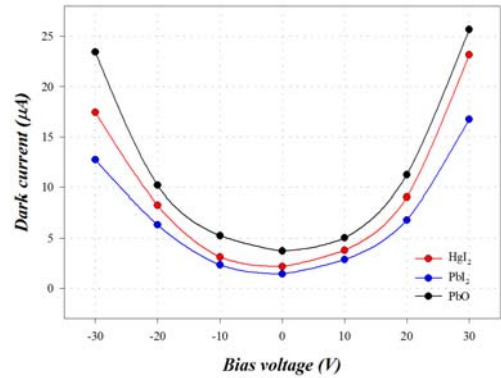
SEM 확인 결과, 광도전체 전면부에 약 3 μm 두께로 균일하게 코팅됨을 확인하였다.

2. Evaluation of Sample

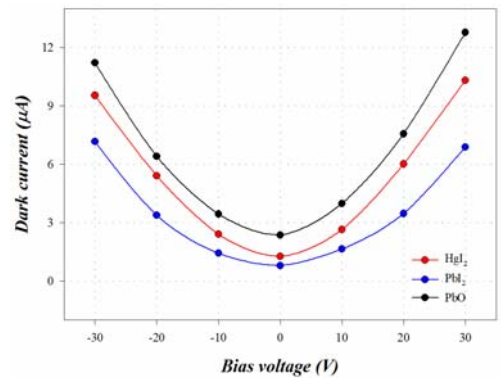
2.1 Electrical property

광도전체 기반의 AEC 센서를 박막으로 형성 시 인가전압에 의한 래치업 또는 전자사태(Avalanche)와 같은 문제가 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 안정성을 보완하기 위하여 페릴린을 Passivation layer로 활용하였고 안정성을 확인하기 위하여 전압에 따른 전류의 변형특성 실험을 수행하였다.

I-V 실험 결과, 페릴린을 Passivation layer으로 적용 시 전류의 변화를 감소하는 것으로 나타났으며, 전자사태의 임계 전압이 높아지는 것으로 나타났다. Fig. 4는 각 광도전체 물질에 인가전압에 따른 누설전류의 변형특성을 나타내고 있다. 이러한 결과는 페릴린이 인가전압에 대하여 완충역할을 수행하고 외부로부터 광도전체를 보호함으로써 래치업에 의한 손상을 최소화 시킬 수 있으며, 광도전체의 노이즈를 의미하는 암전류를 감소시켜 신호 대 잡음비의 효율을 높일 수 있을 것으로 사료된다.



(a) Non Coating Parylene



(b) Coating Parylene

Fig. 4. Dark current as a function of Bias voltage (a) Non Coating parylene (b) Coating parylene.

또한, AEC 센서는 기계적 안정성뿐만 아니라 턴-오프를 수행하여야 하므로 X-ray에 대하여 민감한 특성을 가지고 있어야 한다. 이에 본 연구에서는 제작된 AEC 센서에 대하여 관전압에 따른 민감도를 측정하였고, 이를 Fig. 5에 나타내었다.

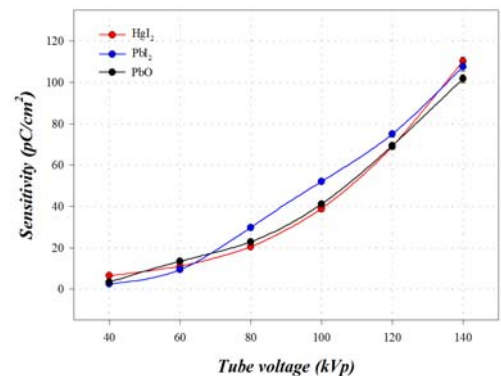
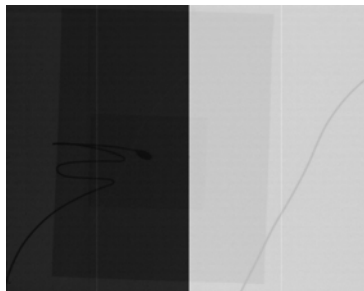


Fig. 5. Sensitivity as a function of tube voltage.

Fig. 5과 같이 관전압 상승에 따른 민감도의 선형적인 증가는 다음과 같은 선형성 함수를 통하여 확인할 수 있었다. 광도전체의 각 각에 대하여 Fit curve Error를 확인한 결과, HgI₂의 경우 1.91, PbI₂의 경우 2.89, PbO의 경우 1.93으로 전체적으로 3 이내로 평가되었다.

2.2 Ghost image

본 연구에서는 불필요한 영상정보를 최소화하고자 30 μm 이내의 박막으로 제작을 제어하였다. 이렇게 제작된 AEC 센서를 70 kVp, 100 mA 조건에서 CMOS 영상센서를 활용하여 영상을 획득하여 Fig. 6에 나타내었다.



[a] HgI₂ sensor



[b] PbI₂ sensor



[c] PbO sensor

Fig. 6. Ghost effect for AEC sensor using CMOS image sensor in the X-ray image.

Fig. 6과 같이 영상에 나타나는 것은 기관으로 나타나고 20 μm 두께의 광도전체 기반의 AEC 센서는 HgI₂를 제외한 PbO, PbI₂에서 상대적으로 높은 농도값으로 나타나는 것이 확인하였다. 그러므로 HgI₂ 기반의 AEC 센서는 X-ray 흡수에 따른 Ghost effect를 최소화할 수 있을 것으로 사료된다.

2.3 Transmission

Ghost effect를 정량적으로 평가하기 위하여 제작된 AEC 센서의 X-ray 투과율을 측정하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Transmission as a function of tube voltage

Tube Voltage (kVp)	Transmission(%)		
	HgI ₂	PbI ₂	PbO
40	80.97	80.02	76.74
60	86.95	86.00	81.11
80	90.92	90.1	84.63
100	93.9	92.7	87.21
120	95.36	94.54	89.7
140	96.27	95.27	91.53

투과율 측정 결과, 저관전압의 경우 투과율이 상대적으로 낮으나 PbO를 제외한 HgI₂, PbI₂은 80 kVp 이상부터 90%으로 상용화 되어있는 실리콘 기반의 AEC 센서와 유사한 투과율을 나타내었다.

V. CONCLUSION

오늘날 진단방사선 분야에서는 진단 최적화를 위하여 자동 노출제어장치의 활용이 국제적으로 권고되고 있다. 기존의 상용화된 센서로 PIN 접합구조 실리콘이 주로 이용되고 있으나, 도핑에 대한 공정의 추가로 제작공정의 복잡함과 단가의 상승을 초래하며 장시간의 방사선에 노출될 경우 유효 도핑 농도에 따라 다양한 성능 저하가 발생하는 문제점이 있다.

이에 본 연구에서는 기존 상용화 센서 제작 공정에 대비하여 간편함을 추구할 수 있을 뿐 만 아니라 높은 X-선 흡수효율을 가지는 광도전체를 활용할 수 있는 스크린 프린팅 방법을 활용하여 제작하였고, 기존 상용화된 센서에서 문제점으로 제시되고 있는 도핑 농도 변화에 따른 성능저하를 해결하기 위하여 도핑을 이용한 PIN 접합 구조가 아닌 광도전체 구조로 제작하였다. 또한 제작된 광도전체 기반의 자동노출제어장치 센서에 대하여 전기적 특성, 잠상 영상, 투과율에 대한 실험을 수행하였다.

전기적 특성 실험 결과, I-V 곡선의 임계점의 범위가 확장되어 래치업 방식을 통한 기계적 안정성이 뛰어난 것으로 평가되었고, 이는 SNR 증가를 통하여 우수한 검출 효율을 가지는 센서의 제작가능성을 확인하였다. 또한 제작된 센서는 X-ray 선량에 대하여 전하생성량이 선형 함수를 가지므로 정확한 턴-오프가 가능할 것으로 사료된다. 잡상 영상 및 투과율 실험 결과, 광도전체에 의한 Ghost effect가 나타나지 않음을 확인하였으며, PbO를 제외한 광도전체의 경우 80% - 90%의 우수한 투과율을 확인하였다.

이러한 결과를 바탕으로 제안된 광도전체 구조가 기존 상용화 제품에서 요구하는 다양한 요인에 대비하여 전기 및 기계적으로 안정성이 우수한 특성을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 우수한 검출 효율을 대비하여 Ghost effect가 발생하지 않는 특성을 가질 뿐 만 아니라 X-ray 선량에 선형적으로 반응하여 향후 광도전체 기반의 고효율 AEC 센서로 적용이 가능할 것으로 사료된다. 그리고 나아가 본 연구에서는 기판을 ITO glass를 사용하였지만 전도성 필름을 기판으로 대체한다면 엑스선에 대한 투과율을 더욱 높이고 flexible한 자동 노출제어장치 센서 개발이 가능할 것이라 본다.

Acknowledgement

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성 사업으로 수행된 연구결과임 (NRF-2012H1B8A2025866). 또한 이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2014R1A2A1A11052504).

Reference

[1] Ji-Koon Park, Kyo-Tae Kim, In-Chan Yoon, et al, "A Study on the Optimization of Exposure condition at Lumbar projection using Blind test", The Korean Society of Radiology, Vol 7, No 6, pp. 389 - 395, 2013

[2] Kyo-Tae Kim, Ye-Ji Heo, Jung-Wook Shin, et al, "A Study on the Improvement of Evaluation Methods and Standards for Simulation evaluation of Computed Tomography", The Korean Society of Radiology, Vol 7, No 5, pp. 339 - 345, 2013

[3] Soon-Mu Kwon, Chang-Hee Park, Jeong-Kyu Park, et al, " The Effect of Source to Image-Receptor Distance(SID) on Radiation Dose for Digital Chest Radiography", The Korean Society of Radiography, Vol. 8, No. 4, pp. 203-210, 2014

[4] Jin-Soo Lee, Seong-Jin Ko, Se-Sik Kang, et al, "Quantitative Evaluation of Image Quality using Automatic Exposure Control

& Sensitivity in the Digital Chest Image", Digital Contents Society, Vol. 13, No. 8, pp. 275-283, 2013

[5] P. Doyle, D. Gentle, C.J. Martin, "Optimising automatic exposure control in computed radiography and the impact on patient dose", Radiation Protection Dosimetry, Vol. 114, No. 1-3, pp. 236-239, 2005

[6] S. Mazzocchi, G. Belli, S. Busoni, et al, "AEC set-up optimisation with computed radiography imaging", Radiation Protection Dosimetry, Vol. 117, No. 1-3, pp. 169-173, 2005

[7] Yoshiura K, Nakayama E, Shimizu M, et al. "Effects of the automatic exposure compensation on the proximal caries diagnosis". Dentomaxillofac Radiol, Vol. 34, No. 3, pp. 140-144, 2005

[8] Elbakri IA, Lakshminarayanan AV, Tesic M, "Automatic exposure control for a slot scanning full field digital mammography system", Medical Physics, Vol. 32, No. 9, pp. 2763-2770, 2005

[9] Ji-Koon Park, In-Chan Yoon, Su-Rim Choi, et al, "Study on Improvement of Signal to Noise Ratio for HgI₂ Radiation Conversion Sensor Using Blocking Layer", The Korean Society of Radiology, Vol 5, No 2, pp. 97 - 101, 2011

[10] Suk-Hee Jung, Yoon-Suk Kim, Young-Bin Kim, et al, "The study of PbO's sintering effect for high efficiency x-ray detection sensor", The Korean Society of Radiology, Vol 3, No 3, pp. 37 - 40, 2009