

A Study on the Development of High-sensitivity AEC-sensor for Minimization of Dose Creep in Diagnostic Imaging System

Kyo-Tae Kim,¹ Moo-Jae Han,¹ Ye-Ji Heo,¹ Joo-Hee Kim,² Sang-Sik Kang,³ Ji-Koon Park,³ Sang-Hee Nam^{1,*}

¹Department of Biomedical Engineering, Inje University

²Department of Emergency and Disaster Management, Inje University

³Department Radiological Science, International University of Korea

Received: June 16 01, 2016. Revised: August 15 01, 2016. Accepted: August 31, 2016.

ABSTRACT

Dose creep is one of clinical errors that arises from the tester's inexperience or carelessness, and according to Task Group #116 of American Association of Physicists in Medicine, its continued occurrence is being reported in the digital method. At this point, the demand for an automatic exposure control device that minimizes the dose creep phenomenon and can improve reproducibility is increasing. In this study is to consider the automatic exposure control device sensor that can is not only easy to produce, but also reduce the dose creep phenomenon by conducting a research on high-efficient semiconductor sensor. As a result, the Intrinsic-type and PIN-type sensors have excellent optical property compared to Ref sensor, would have less shading effect, and have relatively low sensitivity, but would provide accurate feedback signals to automatic exposure control device with its consistent tendency according to exposure condition changes.

Keywords: Diagnostic imaging system, Dose creep, AEC-Sensor, Shading effect, Linearity

I. INTRODUCTION

최근 검출기의 경우 기존 아날로그 기술에 대비하여 대역폭이 넓은 특성을 이용하여 적절한 농도의 영상을 어려움 없이 획득하는 것이 가능하게 되었다.^[1] 하지만 기존 아날로그 방식에서 활용된 검사 조건에 대하여 정확한 피드백 없이 이용할 경우 선량크리프 현상이 발생할 가능성이 있으며, AAPM Task Group #116에서는 디지털 방식의 시스템에서 지속적인 발생을 보고하고 있다.^[2] 이 때, 선량 크리프는 방사선작업종사자에 의하여 불필요한 피폭이 발생하는 현상이다. 그러므로 현 임상에서는 X-ray를 활용한 진단 영상 획득 시 수검자 및 방사선작업종사자에게 불필요한 피폭 저감화 방안에 대한 관심이 대두되고 있다.^[3,4] 이에 필요한 선량을 자동 제어함으로써 선량 크리프 현상을 최소화할

뿐만 아니라 영상의 재현성을 개선할 수 있는 자동노출제어(AEC; Automatic Exposure Control) 장치의 사용이 권고되고 있다.^[5-7] AEC 장치는 이온 챔버와 반도체 센서가 적용되고 있으며, 특히 이온 챔버 센서 기반의 AEC 장치가 의료영상 시스템에 적용되고 있다. 하지만 이는 낮은 흡수효율로 인하여 출력되는 신호의 증폭을 위한 게이트 증폭이 높아져야 할 필요성이 있으므로 반도체 센서에 비해 부정확하다. 반면 반도체 센서는 두께 제어가 용이하고, X-ray에 대하여 높은 감도를 통하여 우수한 출력 신호를 제공할 수 있으며 낮은 게이트 증폭이 요구됨에 따라 안정적인 장점을 제공할 수 있다. 이러한 특성으로 인하여 반도체 센서 기반의 AEC 장치 방식으로 대체되고 있으나 상용화 제품의 경우 복잡한 공정 절차로 인해 가격이 비싸면서도 방사선에 장시간 노출 시 성능 저하에 대한 문제점

이 있다.^[8] 그러므로 제작이 쉬우면서도 X-ray에 대한 고감도 AEC 센서가 필요하다.^[9] 이에 본 연구에서는 제작이 용이하면서도 X-ray에 대하여 고감도 특성을 가지는 반도체 센서에 대한 연구를 수행함으로써 선량 크리프 현상을 저감할 수 있는 AEC 센서에 대하여 연구하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 샘플 제작

1.1 AEC-센서의 샘플 제작

본 연구에서는 Intrinsic형(이하 I형) 센서를 제작하기 위하여 Fig. 1, PIN형 센서의 경우 Fig. 2와 같은 공정을 통하여 제작하였다. I형 센서의 제작을 위하여 플로팅 존 공법으로 실리콘 웨이퍼(500 μm)를 제작하였다. 이후, 웨이퍼를 센서에 적합한 두께로 제작하기 위하여 연마 공정을 수행하였다. 이 때, 센서의 두께는 음영효과를 저감시키기 위하여 350 μm 로 제어하였다. 또한, 반도체 센서에서 발생하는 전자-정공 쌍을 수집하기 위하여 웨이퍼와의 부착성이 우수하고 전기 저항이 낮으면서도 높은 신뢰성을 가지는 전극 소재인 알루미늄을 물리적 증기 증착 방법으로 형성하였다. 이 때 기판의 온도는 350°C 이상, 전극의 두께는 0.5 μm 으로 제어하였다. 마지막으로 웨이퍼와 전극의 접합도 개선을 위하여 후처리 공정을 수행하였다.

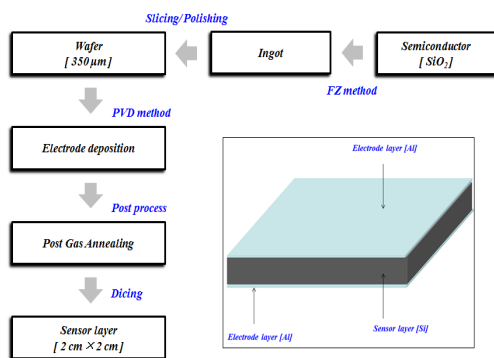


Fig. 1. Schematic diagram of Fabrication process of AEC-sensor for intrinsic-type.

또한, PIN형 센서의 경우 I형 센서 제작에 이용된 기판에 누설 전류의 주입을 차단하는 역할을 수행하는 도핑층을 형성하였다. 이 때, 기판 하부에는 결함이나

바람직하지 않은 불순물의 불성화를 위하여 이온 주입 방식으로 1.5 μm 의 인을 균일하게 도핑 후 0.5 μm 의 비소를 도핑하여 n+ 영역을 형성하였다. 또한, p+ 영역 형성을 위하여 붕소를 상부에 1.5 μm 도핑하였다. 이후, 영역 내 불순물 제거를 위하여 열처리를 수행하였고 알루미늄 전극을 형성하였다.

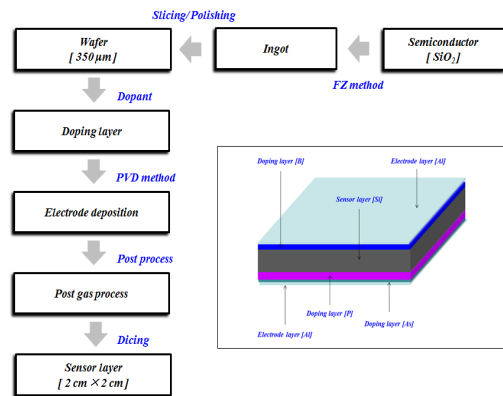


Fig. 2. Schematic diagram of Fabrication process of AEC-sensor for PIN-type.

1.2 전기적 특성 구현 검증

본 연구에서는 제작된 AEC 센서의 구조에 따른 전기적 특성의 구현 여부를 판단하고자 Fig. 3과 같은 측정 환경을 구축함으로써 인가전압에 따른 민감도를 평가하였다. 전압을 인가하기 위하여 Electrometer (6517 A, Keithley 社, USA)를 사용하였고, X-ray 조사에 의해 생성된 전기적 신호의 파형 획득을 위하여 Oscilloscope (62Xi, LeCroy 社, USA)를 사용하여 인가전압에 따른 민감도를 평가하였다. 이 때, 부가 여과 3.5 mmAl 조건 하에서 80 kVp, 100 mA, 0.1 s으로 X-ray 조건을 고정하고 인가전압 0 V를 기준으로 상대적인 감도를 평가하였다.

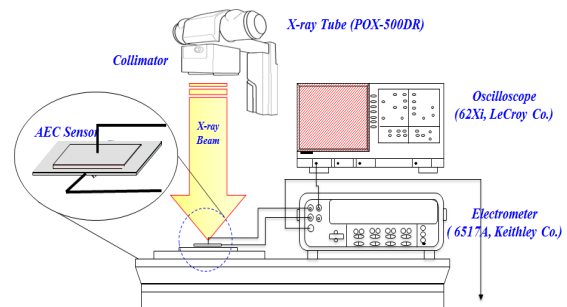


Fig. 3. Diagram for measurement of sensitivity.

2. 제작된 샘플의 특성 평가

2.1 투과효율

본 연구에서는 제작된 AEC 센서의 자동노출제어장치의 적용가능성을 평가하기 위하여 광학적 평가인 투과효율을 측정하였다. 이 때, 측정은 자동노출제어장치를 활용하는 진단용 X-ray 영역 60 - 120 kVp 까지 20 kVp 간격으로 측정하였으며, 관전류 및 조사 시간은 각각 100 mA, 0.1 s로 고정하였다.^[10] 이 때, 투과효율 실험 결과 중 80 kVp를 기준으로 정량적인 분석을 수행하였다.

2.2 선량에 대한 선형성

본 연구에서 제작된 센서는 임상에서 활용되고 있는 방사선 조사범위에서 반응해야할 뿐만 아니라 제작 구조에 따른 X-ray 선형성 특성이 필수적으로 검증되어야 한다. 이에 본 연구에서는 선량에 대한 선형성을 평가하였다. 이 때, 객관적인 특성평가를 위하여 반도체 센서의 상용화 제품인 C社 센서를 활용하였으며 1 μ Gy ~ 100 μ Gy에 대한 민감도를 평가하였다.

III. RESULT

1. 제작된 샘플의 전기적 특성 검증

본 연구에서 제작 구조에 따른 AEC 센서의 구현을 검증하고자 인가전압에 따른 X-ray를 평가하였다. 실험 결과, 제작된 I형 센서의 경우 Fig. 4에서 나타나듯이 인가전압 변화에 따라 매우 큰 변화가 나타났으며 PIN형 센서 및 상용화 센서의 경우 변화가 매우 작은 것으로 나타났다.

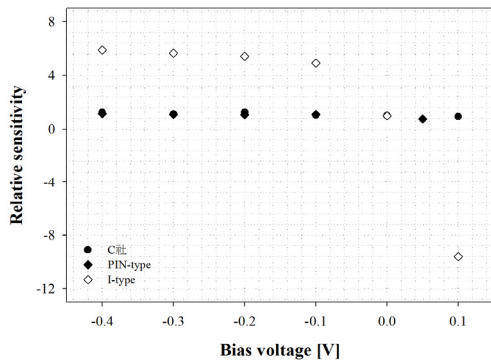


Fig. 4. Relative sensitivity as a function of voltage.

2. 제작된 샘플의 특성 평가

본 연구에서 제작된 AEC 센서의 적용가능성을 평가하기 위하여 투과효율을 분석하였다. 80 kVp를 기준으로 평가한 결과, Fig. 5에서 C社의 경우 94.6%, I형 센서는 95.4%, PIN형 센서는 95.3%로 나타났다.

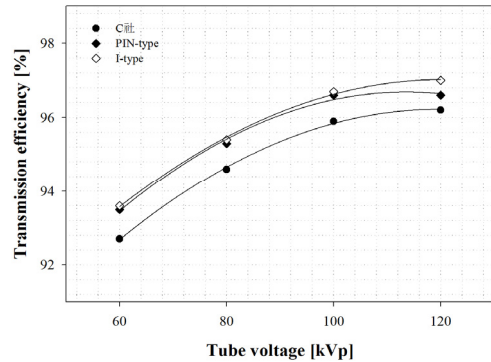


Fig. 5. Transmission efficiency as a function of tube voltage.

본 연구에서는 1 μ Gy ~ 100 μ Gy에 대한 생성된 전하량을 바탕으로 Fit curve를 평가함으로써 선형성을 평가하였다. 선형성 평가 결과, 선량에 따라 선형적으로 생성되는 전하량이 증가하는 것으로 확인되었다. 또한, 단위 선량 당 생성되는 전하량으로 정의되는 민감도에 대하여 분석한 결과, Fig. 6에서 나타나듯이 C社의 경우 5×10^{-5} , I형 센서는 4×10^{-5} , PIN형 센서는 7×10^{-5} 로 분석되었다. 이러한 결과를 C社와 비교하면 PIN형 센서는 40% 민감도가 높으나 I형 센서는 20% 낮은 것으로 평가되었다.

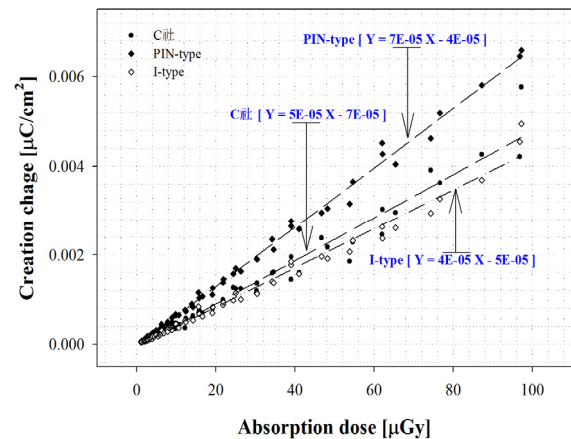


Fig. 6. Sensitivity as a function of absorption dose.

IV. DISCUSSION

본 연구에서 제작된 AEC 센서 샘플에 대한 전기적 특성을 평가한 결과, 목적하는 구조의 전기적 특성 구현이 잘 이루어졌음을 검증하였다. 투과효율 평가 결과, 본 연구에서 제작된 AEC 센서는 상용화 제품에 대비하여 80 kVp를 기준으로 약 0.7%p 이상 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 제작된 샘플이 상용화 센서 보다 음영효과 발생이 상대적으로 적게 나타날 것으로 사료된다. 또한, 선량에 대한 민감도 특성을 평가한 결과, I형 센서의 경우 기존 C社에 비하여 낮은 민감도 특성을 가지므로 AEC 장치에 적용 시 게이트 증폭이 높아져야 할 것으로 사료된다. 반면 PIN형 센서의 경우 C社 센서 보다 우수한 민감도 특성을 나타내었다.

V. CONCLUSION

본 연구에서 제작된 AEC 센서는 상용화 센서에 대비하여 투과효율 특성이 우수하여 음영효과가 적게 나타날 것으로 사료되며, 선량 변화에 따른 일정한 선형 함수 형태의 추세를 가짐으로써 정확한 피드백 신호를 제공할 수 있을 것으로 사료된다. 이와 같은 연구 결과를 바탕으로 제작된 센서는 기존 반도체 센서에 비해 공정 변수를 줄일 수 있어 공정이 간단함에 따라 낮은 가격으로 제품 생산이 가능할 것이며, 더 나아가 선량 크립 현상의 최소화를 통하여 국민보건에 이바지 할 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2014R1A2A1A11052504).

Reference

[1] J. K. Park, K. T. Kim, I. C. Yoon, I. H. Choi, H. J. Jung, S. S. Kang, S. C. Noh, B. J. Jung, "A Study on the Optimization of Exposure condition at Lumbar projection Using Blind Test", Journal of the Korean Society of Radiography, Vol. 7, No. 6, pp. 389-395, 2013.

[2] S. J. Shepard, J. Wang, M. Flynn, E. Gingold, L. Goldman, K. Krugh, D. L. Leong, E. Mah, K. Ogden, D. Peck, E. Samei, C. E. Willis, "An exposure indicator for digital radiography: AAPM Task Group 116 (Executive Summary)", Medical Physics, Vol. 36, No. 7, pp. 2898-2914, 2009.

[3] K. T. Kim, S. S. Kang, S. C. Noh, B. J. Jung, C. H. Cho, Y. J. Heo, J. K. Park, "Absorbed Spectrum Comparison of Lead and Tungsten in Continuous X-ray Energy using Monte Carlo Simulation", Journal of the Korean Society of Radiography, Vol 6, No 6, pp. 483-487, 2012.

[4] S. S. Kang, K. T. Kim, S. C. Noh, B. J. Jung, J. K. Park, "The Study on Design of Customized Radiation Protective Layer for Medical Radiation Dose Reduction", Journal of the Korean Society of Radiography, Vol. 8, No. 6, pp. 333-338, 2014.

[5] S. M. Kwon, C. H. Park, J. K. Park, W. H. Song, J. E. Jung, "The Effect of Source to Image receptor distance(SID) on radiation dose for digital chest radiography", Journal of the Korean Society of Radiography, Vol. 8, No. 4, pp. 203-210, 2014.

[6] P. Doyle, D. Gentle and 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.

[7] S. Mazzocchi, G. Belli, S. Busoni, C. Gori, I. Menchi, P. Salucci, A. Taddeucci, G. Zatelli, "AEC set-up optimisation with computed radiography imaging", Radiation protection dosimetry, Vol. 117, No. 1-3, pp. 169-173, 2005.

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

[9] D. K. Kim, K. T. Kim, J. E. Park, J. Y. Hong, J. S. Kim, K. M. Oh, S. H. Nam, "Evaluation of High Absorption Photoconductor for Application to Auto Exposure Control Sensor by Screen Printing Method", Journal of the Korean Society of Radiography, Vol 9, No 1, pp. 67-72, 2015.

[10] KRTA, "Normal scan of the patient dose recommendation amount of radiology guidelines", Radiation safety management series No. 30, 11-1470550-000299-01, 2012.

진단영상 시스템에서 선량크리프 현상의 최소화를 위한 고감도 AEC 센서에 관한 연구

김교태,¹ 한무재,¹ 허예지,¹ 김주희,² 강상식,³ 박지균,³ 남상희^{1,*}

¹인제대학교 의용공학과

²인제대학교 재난관리학과

³한국국제대학교 방사선학과

요 약

선량 크리프는 임상적 오류 중 하나로 검사자의 미숙 또는 부주의에 기인하여 발생하는 현상으로 AAPM Task Group #116에 의하면 디지털 방식의 시스템에서 지속적인 발생이 보고되고 있다. 이러한 현시점에서 선량 크리프 현상을 최소화할 뿐만 아니라 재현성 향상이 가능한 자동노출제어장치의 요구가 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 제작이 쉬울 뿐만 아니라 고효율 반도체 센서에 대한 연구를 수행함으로써 선량 크리프 현상을 저감할 수 있는 자동노출제어장치의 센서에 대하여 고찰하고자 하였다. 연구 수행 결과, 제작된 I형 센서 및 PIN형 센서의 경우 Ref 센서와 비교하면 광학적 특성이 우수하여 음영효과가 적게 나타날 것으로 사료되고, 대체로 낮은 민감도 특성이 나타나지만, 조사 조건 변화에 따른 일정한 추세를 가짐으로써 정확한 피드백 신호를 자동노출제어장치에 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

중심단어: 진단영상 시스템, 선량크리프, 자동노출제어 센서, 음영효과, 선형성