

논문 2012-49-9-37

PDP공정을 이용한 가스 방식의 디지털 X-ray 영상 센서

(Gas Typed Digital X-ray Image Sensor Using PDP Fabrication Process)

김창만*, 김시형**, 남기창***, 김상희**, 송광섭****

(Chang Man Kim, Si Hyung Kim, Ki Chang Nam, Sang Hee Kim, and Kwang Soup Song)

요약

마주보는 2개의 병렬전극을 이용한 스캔 방식의 디지털 X-ray 영상 센서는 많은 발전을 해왔으며 상업용으로 널리 이용되고 있다. 본 연구에서는 PDP(plasma display panel) 제조 공정에서 사용되고 있는 글라스 재질에 silver paste 전극을 이용하여 드리프트 전극과 픽셀 전극이 있는 챔버를 형성하고 챔버내에 X-ray와 반응하는 Xe 가스를 주입하여 스캔 방식의 1D X-ray 영상 센서를 제작하였다. 드리프트 전극의 바이어스 전압 크기에 따른 싱글 픽셀의 X-ray 신호 크기를 평가하였으며 납(Pb)을 이용하여 싱글 픽셀을 차폐하였을 경우와 차폐하지 않았을 때의 싱글 픽셀 신호 특성을 조사하였다. X-ray 흡수율(4%)은 소다 라임(soda lime, 1.1mm) 글라스에서 가장 낮았으며 센서에서 검출되는 전기적 신호는 드리프트 전극에 인가하는 전압이 클수록 증가하였다. 그리고 자체 제작한 DAS(data acquisition system) 및 센서 스캐닝 시스템을 이용하여 디지털 영상을 구현하였다.

Abstract

Parallel-plate-type scanning sensors have been commercially used for X-ray imaging sensors. In this study, we manufactured the scan typed 1D X-ray image sensor that can be used to obtain scanning images, by using the plasma display panel (PDP) fabrication process. We fabricated drift and pixel electrodes in the glass chamber and injected Xe gas at atmospheric pressure. We evaluated the intensity of a pixel signal depending on the bias voltage on the drift electrode and investigated the characteristics of shielding effect on the single pixel using lead (Pb). The adsorption rate of X-ray photon is low (4%) on the soda lime glass (1.1mm) and the electrical signal detected on the X-ray sensor was increased in the high bias voltage. We acquired digital X-ray scanning image with our DAS (data acquisition system) and sensor scanning system.

Keywords : 디지털 영상 센서, X-ray 영상 센서, 가스 방식 영상 센서, 스캔 방식 영상 센서, PDP

* 정회원, 구미전자정보기술원 IT의료융합기술사업단
(Biomedical IT Convergence Center, Gumi Electronics & Information Technology Research Institute)

** 정회원, 금오공과대학교 전자공학부
(School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

*** 평생회원, 세브란스병원 의료기기 임상시험 센터
(Clinical Trials Center for Medical Devices, Severance Hospital)

**** 정회원-교신저자, 금오공과대학교 메디컬IT융합공학과
(Medical IT Convergence Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

※ 본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

접수일자: 2012년7월18일, 수정완료일: 2012년8월29일

I. 서 론

디지털 방사선 촬영 시스템 (digital radiography system, DR)의 발전은 빠르게 진행 되고 있으며, X-ray 변환 매체로 가스를 이용한 방법 또한 많은 관심을 받고 있다^[1-2]. 가스를 이용한 디지털 방사선 센서 구조는 X-ray와 반응하고 감도가 높은 특정 가스를 밀봉된 챔버 안에 주입하여 제작한다. 챔버 내부 가스 원자는 X-ray 포톤 입자와 충돌에 의해 전자와 이온들로 이온화 된다. 챔버 내부에는 이온화된 전자와 이온들을 분리하기 위한 고전압 바이어스 전극인 드리프트 전극과 이와 마주보는 반대편에는 각 픽셀 영상을 구현을 위한 마이크로 패턴 전극이 형성되어 있다. 각 픽셀을 구현하기 위한 패턴 형태는 그 구조가 다양하게 연구되고 있으나 일반적으로 금속 전극을 이용한 cathode 및 anode 전극을 갖는 병렬 구조의 선형 스캔 방식 디지털 X-ray 센서가 널리 이용되고 있다^[2].

선형 스캔 방식의 디지털 X-ray 센서는 평판형 디지털 X-ray 센서 대비 많은 장점을 가지고 있다. 첫 번째로 선형 스캔 방식의 디지털 X-ray 센서는 평판형 디지털 X-ray 센서 대비 장비 구축에 필요한 공간이 작으며, 스캐닝 모드를 이용하여 넓은 면적의 피사체를 검사할 수 있는 장점을 갖고 있다^[3-4]. 두 번째로 스캔 방식의 경우 피사체 뒤에 있는 X-ray 센서에 도달하는 산란 선량이 평판형 디지털 X-ray 센서보다 감소하여 평판형 디지털 X-ray 센서 대비 높은 SNR(signal to noise ratio)을 구현할 수 있고 이로 인해 저선량의 디지털 X-ray 센서를 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다^[5]. 이러한 장점을 가지고 있는 선형 스캔 방식의 디지털 X-ray 센서를 제작하기 위하여 X-ray와 반응하는 물질로는 반도체 재질, scintillator 및 가스등을 이용하여 다양하게 연구 개발되고 있다^[6-9].

본 논문에서는 선형 스캔 방식의 디지털 X-ray 영상 센서를 제작하기 위하여 가스를 X-ray와 반응하는 물질로 사용하였다. 가스를 주입하고 밀봉하기 위한 챔버를 제작하기 위하여 기존에는 사용하지 못했던 PDP(plasma display panel) 공정을 이용하여 선형 스캔 방식의 1D(dimensional) X-ray 센서를 제작하였다. PDP제조 공정은 디스플레이 산업에서 평판 디스플레이를 제작하는 공정으로 그 신뢰성을 인정받고 있으며, 다른 공정대비 공정 비용이 저렴하며 대형 크기 패널 제작이 용이한 장

점을 가지고 있다^[1]. 기존 가스 챔버를 제작하는 방식은 알루미늄 재질의 금속 재질을 이용하였으나 금속 재질로 인해 챔버 무게가 무겁고, 챔버 크기에 한계가 있는 단점을 가지고 있다.

X-ray와 반응하는 가스로 순수 Xe 가스(99.999%)를 사용하였고, 고전압을 인가하기 위한 드리프트 전극과, 마이크로 크기의 픽셀을 구현하기 위한 마이크로 패턴 전극으로는 PDP 공정에서 사용하고 있는 silver paste 전극을 소성 및 에칭공정을 통해 챔버안에 형성하였다. PDP 공정을 이용해 제작한 선형 스캔 방식의 디지털 X-ray 센서의 영상을 구현하기 위해 자체 DAS(data acquisition system)보드를 제작하였고, AC 서보 모터를 이용한 스캔시스템을 제작하였으며 이러한 시스템을 바탕으로 테스트 영상을 구현하였다.

II. 실 험

1. PDP 센서 구조

PDP 공정으로 가스 챔버를 제작하기 위하여 PDP 공정에서 사용하고 있는 PD200 글라스 및 소다 라임(soda lime) 글라스, 광학용 B270글라스를 대상으로 각 글라스 두께에 따른 X-ray 흡수율 시험을 도시미터(dosimeter; iba Dosimetry, DOSIMAX plus)를 이용하여 진행하였고 그 결과를 표 1에 나타내었다. X-ray 튜브 관전압이 높을수록 조사되는 X-ray 에너지는 커지고 투과력이 높아져 상대적으로 높은 관전압에서 글라스에서 흡수되는 X-ray 흡수율이 감소됨을 알 수 있다. X-ray가 입사되는 쪽의 글라스는 글라스 재질 내에서

표 1. X-ray 튜브의 관전압 크기, 글라스 종류 및 두께, Ag전극 및 절연체에서의 X-ray 흡수율
Table 1. The adsorption rate of X-ray photon on the glass substrates as X-ray tube voltage.

전극 종류	X-ray 흡수율(%) (관전압: 40 kVp, 관전류: 200 μ A)	X-ray 흡수율(%) (관전압: 80 kVp, 관전류: 200 μ A)
PD200 2.8mm	80	77
Soda lime 2.8mm	69	21
Soda lime 1.1mm	51	4
B270 2.8mm	89	43
B270 1.1mm	65	14
Ag 전극 (2.5 μ m)	4	4
절연체(7.5 μ m)	1	1

흡수되는 X-ray 선량이 작을수록 글라스를 투과하는 X-ray 선량이 증가하고 챔버내 Xe 가스와 반응하는 X-ray 포톤 입자가 증가하기 때문에 상대적으로 X-ray 흡수율이 낮은 소다라임 글라스 1.1 mm를 이용하였다. X-ray에 의해 발생하는 전자와 이온을 분리하기 위해 고전압을 인가하는 드리프트 전극과 전자 또는 양이온을 감지하여 픽셀 영상을 형성하는 마이크로 픽셀 패턴 전극을 형성하는 상/하판 글라스는 X-ray 흡수율과 무관하므로 센서 자체 강도, 소성 및 스크린 프린팅 공정을 만족하기 위하여 상대적으로 강도가 높고 내열특성이 우수한 기존 PDP 제조공정에서 사용하는 PD200 2.8 mm 글라스를 사용하여 챔버를 제작하였다.

PDP 공정을 이용하여 제작한 스캔 방식의 X-ray 센서를 그림 1에 도시하였다. 고전압을 인가하는 드리프트 전극은 Ag 전극을 스크린 프린팅 방법으로 인쇄 및 건조 후 소성하여 전극을 형성하였으며, 마이크로 픽셀 전극은 소성한 Ag 전극을 DFPR(dry film photoresistor)를 이용하여 노광, 현상 공정 및 에칭 공정을 이용하여 형성하였다. 드리프트 전극 및 픽셀 전극의 Ag 두께는 평균적으로 2.5 μm 이고 전극에서 흡수되는 X-ray는 4% 미만 이었다. 고전압을 인가하는 상판 드리프트 전극과 픽셀을 형성하는 픽셀전극과의 거리는 2.8mm이고, 센서의 길이는 130 mm, 폭은 40 mm로 X-ray와 반응하는 가스가 주입되는 전체 체적은 14,560 mm³이다. 영상의 픽셀을 형성하는 픽셀 Ag 전극의 전극 폭은 120 μm , 전극간 간격은 380 μm 로 pitch size가 500 μm 이다. 따라서 센서 픽셀 전극은 하나의 픽셀 크기가

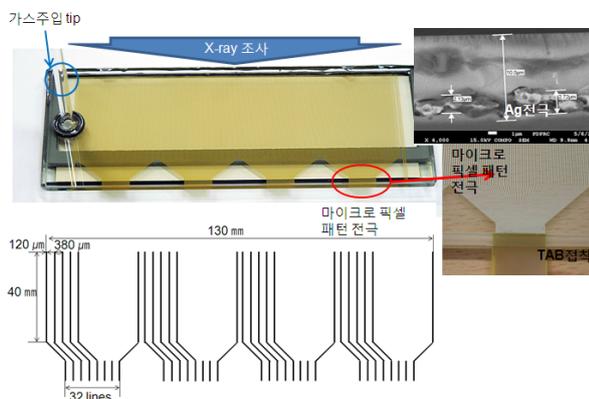


그림 1. PDP 공정을 이용하여 제작한 스캔 방식의 1D X-ray 센서 및 센서 내부 Ag 전극

Fig. 1. Scan typed 1D X-ray sensor and Ag electrode fabricated by PDP fabrication process.

500 μm 이고 총 128개의 픽셀 전극을 형성하였다. 드리프트 전극을 절연시키기 위해 사용한 절연체는 PDP제조에서 사용되고 있는 glass paste를 스크린 프린팅 방법으로 인쇄 및 건조 후 소성하여 사용하였으며 그 두께는 7.5 μm 이고 절연체에서 흡수되는 X-ray 양은 1% 미만으로 매우 미세하였다.

2. X-ray 신호 특성

X-ray에 의해 발생하는 전기 신호를 평가하기 위하여 소스미터(Keithley, 6517B)를 사용하였으며, 소스미터, 모터 제어 및 데이터를 처리하기 위하여 Labview 프로그램을 이용하였다. X-ray 소스는 마이크로 포커스 소스(Hamamatsu, L10321)를 사용하였으며, 해당 장비의 X-ray 튜브 관전압 범위는 20 kVp~100 kVp이고 관전류는 10 μA ~200 μA 범위이다. 본 연구에서 챔버내 X-ray 신호 평가를 위해 이용한 X-ray 튜브 관전압은 80 kVp, 관전류는 200 μA 이다. 본 실험에서 사용한 X-ray 소스는 기존 의료 및 산업용에 사용하는 X-ray 소스대비 상대적으로 관전류 크기가 낮아 X-ray 조사량이 작기 때문에 센서 신호 평가시 센서는 X-ray tube에서 10 cm 떨어진 위치에서 평가를 진행하였다.

PDP 공정을 이용해 제작한 스캔 방식의 X-ray 센서에서 검출한 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하고 디지털신호를 처리하기 위한 DAS(data acquisition system) 보드에는 아날로그 신호 노이즈를 제거하기 위해 필터를 사용하였으며, 미세한 신호를 4단 증폭하여 처리하였다. 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하기 위해서 20-bit ADC칩(analog-to-digital converter; DDC 232, Texas Instruments)을 이용하였으며, 해당 칩은 32 채널씩 사용이 가능하므로 128개의 마이크로 픽셀 패턴 전극의 신호를 처리하기 위하여 4개의 ADC 칩을 이용하였다. X-ray 센서 스캐닝을 위한 스캐닝 시스템은 AC 서보 모터(Panasonic MINAS motor 400 W)를 이용하였으며 데이터 신호처리 및 모터 드라이브를 동기화하기 위하여 메인 보드를 통해 각각 제어하였다.

III. 결 과

X-ray 포톤과 기체 원자의 충돌에 따른 이온화 현상에 의해 발생하는 전기적 신호를 측정하기 위해 본 논문에서는 픽셀 전극에서 이온화된 전자를 수집하여 그

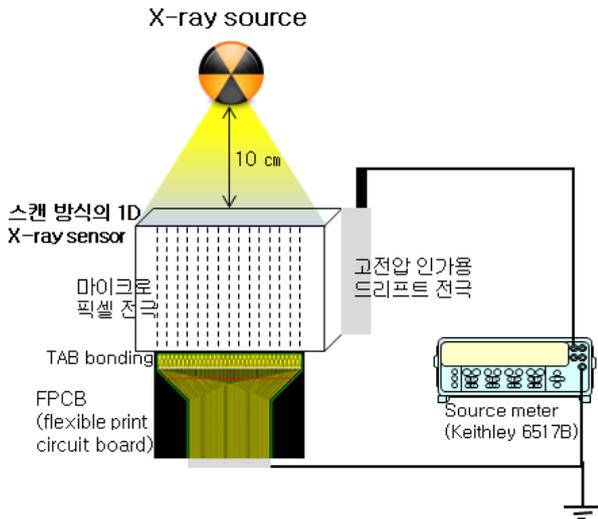


그림 2. X-ray 조사에 따른 스캔 방식의 1D X-ray 센서 신호 평가를 위한 측정 시스템

Fig. 2. Schematic diagram to evaluate the electrical signal on the scan typed 1D X-ray sensor.

크기를 측정하였다.

그림 2에서는 스캔 방식의 1D X-ray 센서 신호를 평가하기 위한 측정 시스템을 나타내고 있다. X-ray 포톤 입자와 챔버내 Xe 가스 원자간 충돌에 따른 이온화 현상에 의해 발생하는 전자를 측정하기 위해서 드리프트 전극에 -400 V를 인가하고 마이크로 패턴 픽셀 전극은 소스미터 프로브에 연결하였다. 드리프트 전극과 마이크로 패턴 픽셀 전극사이 인가한 고전압으로 인해 고전계가 형성되고 양이온은 드리프트 전극으로 끌려가고 상대적으로 전자는 마이크로 패턴 픽셀 전극으로 수집되게 된다. 마이크로 패턴 픽셀 전극에 수집된 전자는 소스미터 프로브에 의해 그 크기를 측정할 수 있어 각 조건에 따른 신호 크기를 평가할 수 있다.

그림 3에서는 드리프트 전극의 바이어스 전압 크기에 따른 싱글 픽셀에서 검출되는 전기신호(전류)의 크기를 나타내고 있다. 상판 글라스 내부에 형성되는 드리프트 전극과 하판 글라스 내부에 형성되는 마이크로 픽셀 전극간 거리가 2.8 mm 이므로 -400 V를 인가했을 때 두 전극 사이 전계는 143 V/mm이다. 그리고 이때 X-ray 조사에 따라 측정되는 피크 전류의 크기는 -3.7×10^{-8} A이다. 드리프트 전극에 -600 V 인가 시에는 두 전극간 전계 크기는 214 V/mm이고, X-ray 조사에 따라 측정되는 피크 전류는 -4.5×10^{-8} A이다. 전계가 클수록 X-ray 포톤 입자와 Xe 가스 원자간 충돌에 의해 발

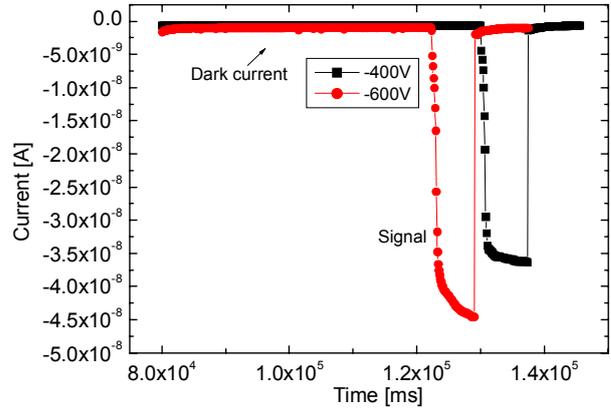


그림 3. 바이어스 전압에 따른 X-ray 조사 후 스캔 방식의 1D X-ray 센서의 싱글 픽셀 신호

Fig. 3. A pixel signal depending on the bias voltage as X-ray radiation on the scan typed 1D X-ray sensor.

생한 전자와 이온은 재결합하지 않고 이온은 드리프트 전극 쪽으로 이동하며 전자는 상대적으로 픽셀 전극쪽으로 이동하여 고전압 인가시 높은 전계로 인해 검출되는 신호는 증가하는 것으로 사료된다.

X-ray를 조사하지 않고 단지 바이어스 전극에 고전압을 인가했을 때 발생하는 누설전류(dark current) 크기는 -400 V에서는 -6.02×10^{-10} A이고 -600V에서는 -1.1×10^{-9} A의 누설전류가 흘렀다. 누설전류는 고전압을 인가할수록 드리프트 전극과 픽셀 전극간 전계 크기가 증가하고 전계에 의한 가스 원자의 이온화 현상에 의해 -600 V에서 크게 나타나는 것으로 간주된다. 두 조건의 바이어스 전압에 따른 누설전류 대비 신호크기인 SNR(signal to noise ratio)를 계산하면 인가전압이 -400 V에서는 61.5이고, -600 V에서는 40.9이다. 그림 3에서 보이지 않았지만, 바이어스 전압을 더 낮추거나 더 높이면 SNR이 나빠지는 문제를 야기하여 신호처리 및 영상의 질을 고려하여 바이어스 전압을 -400 V로 고정하여 실험을 진행하였다.

그림 4에서는 납(1.6 mm)을 이용해 X-ray 차폐에 따른 싱글 픽셀 신호 크기를 나타내고 있다. X-ray 튜브 관전류는 200 μ A, 관전압은 80 kVp, 드리프트 전극의 바이어스 전압은 -400 V일 때 싱글 픽셀의 신호 크기를 나타내고 있다. 원으로 표시된 빨간색 선은 납을 이용하여 싱글 픽셀에 들어오는 X-ray를 차단하고 해당 싱글 픽셀에서 검출되는 신호 크기를 나타내고 있으며 그 크기는 -1.48×10^{-8} A이다. 이 값은 납으로 차폐하지

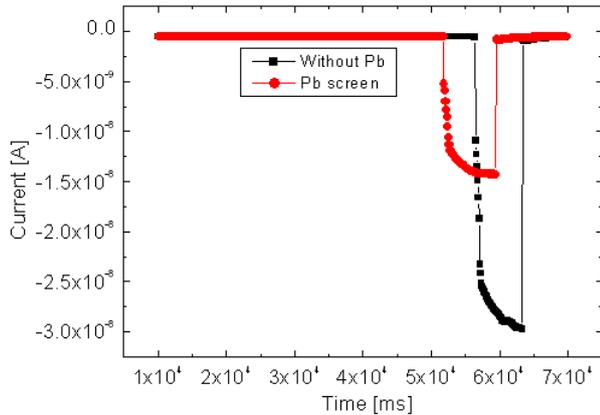


그림 4. X-ray 조사로부터 납(Pb)을 이용하여 싱글 픽셀을 차폐한 경우와 그렇지 않은 경우의 신호 크기

Fig. 4. Comparison of a pixel signal intensity between screened X-ray with Pb and does not.

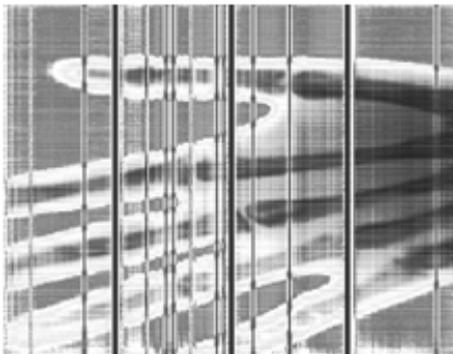


그림 5. PDP공정을 이용하여 제작한 스캔 방식의 1D X-ray 센서의 핸드 팬텀 디지털 영상 (X-ray tube voltage 80 kVp, tube current 200 μA)

Fig. 5. Digital hand phantom image using scan typed 1D X-ray sensor (X-ray tube voltage 80 kVp, tube current 200 μA)

얇은 픽셀 신호 크기의 절반에 미치지 못하는 값으로 픽셀을 납으로 차폐한 경우와 그렇지 않은 경우 신호를 명확히 구분할 수 있어 두 신호 차이를 이용하여 영상을 구현하였다.

싱글 픽셀을 납으로 차폐한 경우 X-ray가 해당 픽셀에는 조사되지 않기 때문에 신호가 검출되지 않아야 하지만, 드리프트 전극과 픽셀 전극간 고전계에 의해 주변 픽셀에서 발생한 전자들이 납으로 차폐된 픽셀 전극으로 끌려오면서 발생하는 신호로 간주된다. 이런 신호들은 차후 영상을 구현하는데 있어 각 픽셀간 간섭현상으로 전체 영상을 흐리게 하는 문제를 야기 시키는 원인이 될 수 있어 가능하면 작을수록 좋은 영상을 구현

할 수 있다.

그림 5는 Xe 가스를 주입하여 제작한 센서와 자체 제작한 DAS보드, 스캐닝 시스템을 이용하여 획득한 의료 영상용 손 팬텀(hand phantom) 영상을 나타내고 있다. 영상 촬영조건은 X-ray 튜브 관전압 80 kVp, 관전류 200 μA 그리고 X-ray 튜브와 팬텀 사이 거리는 10 cm이다.

센서와 FPCB와의 접촉 불량 및 픽셀 전극 형성을 위한 Ag 에칭공정에서 끊어진 픽셀(dead pixels)들로 인한 검은 선이 보이고 있으나, 센서 구조의 최적화 및 마이크로 패턴 전극의 최적화를 통해 향후 상업용으로 가능한 센서 제작의 가능성을 보여주고 있다.

IV. 결 론

추가적으로 SNR을 증가시키기 위해 고전압을 가하는 드리프트 전극에 유전층을 코팅 하였다. 유전체는 glass paste를 사용하였으며 스크린 프린팅 방법으로 드리프트 전극위에 인쇄하고 400 °C에서 소성하였다. 드리프트 전극에 유전층을 형성한 경우 신호의 크기는 동일한 조건에서 기존 센서 대비 싱글픽셀에서 검출되는 신호 크기가 50%로 감소하고 SNR은 68로 증가하였으나 감소되는 신호 크기 대비 SNR 증가가 미비하였다. SNR을 증가시켜 영상의 질을 향상시키는 방법에 대해서는 추후 꾸준한 연구가 필요할 것으로 예상된다. 또한, 영상의 질을 향상시키기 위해서는 차 후 마이크로 픽셀 전극의 폭 및 피치 크기를 최적화해야 한다. 그리고 향후 SNR을 개선하기 위한 방법 및 픽셀간 간섭현상을 제어 할 수 있는 방법에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 예상된다. 그리고 제조 공정 개선을 통해 dead pixel를 줄이는 것도 풀어야 할 문제이다.

일반적으로 가스를 이용한 스캔방식의 디지털 X-ray 센서를 제작하기 위해서는 3기압 이상의 가스를 금속성 챔버안에 주입하여 제작하고 있다. 이러한 제작 공정은 복잡하고 응용에 많은 제한을 가지고 있다. 본 연구에서는 표준화된 PDP 공정을 이용하여 글라스 재질의 챔버를 형성하고 가스 주입 후 밀봉하여 디지털 X-ray 센서를 제작하였으며 그 가능성을 평가하였다. 그 결과 PDP 공정을 바탕으로 제작한 디지털 X-ray 센서의 활용가능성을 보여주고 있으며 의료용 및 산업용으로 응용이 가능할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] M. Yun, S. Cho, K. Oh, M. Kim, S. Jung, G. Jang, S. Heo, C. Kwon, S. H. Nam, "Measurement of the properties of a flat-panel gas X-ray detector", Nucl. Instrum. Meth. A, Vol. 607, pp. 162 - 165, 2009.
- [2] 차보경, 이동훈, 김봉희, 황윤금, 전성채, 허영, "디지털 3D 투시 X-ray 영상 센서용 섬광체 연구개발", 대한전자공학회 2010년 하계학술대회, 제 33 권 제1호, 2025-2027쪽, 2010.
- [3] E.A. Babichev, S.E. Baru, A.G. Khabakhpashev, G.M. Kolachev, V.V. Neustroev, Y.N. Pestov, O.A. Ponomarev, G.M. Savinov, L.I. Shekhtman, D.J. Miller, "High pressure multiwire proportional and gas microstrip chambers for medical radiology" Nucl. Instrum. Meth. A, Vol.360, pp. 271-276, 1995.
- [4] H.-J. Besch, "Gaseous detectors for synchrotron radiation applications in medical radiology", Nucl. Instrum. Meth. A, Vol. 360, pp. 277-282, 1995.
- [5] V.R. Groshev, V.R. Kozak, V.I. Nifontov, S.M. Pishenuok, A.A. Samsonov, L.I. Shekhtman*, V.I. Telnov, "Digital mammography with multi-electrode ionization chamber", Nucl. Instrum. Meth. A, Vol. 454, pp 130-135, 2000.
- [6] E.A. Babichev, S.E. Baru, V.R. Groshev*, A.G. Khabakhpashev, V.V. Leonov, V.A. Neustroev, V.V. Porosev, G.A. Savinov, L.I. Shekhtman, "The new effective detector for digital scanning radiography", Nucl. Instrum. Meth. A, Vol. 513, pp. 57-60, 2003.
- [7] C. Iacobaeus, T. Francke, B. Lund-Jensen, V. Peskov, "An X-ray scanner prototype based on a novel hybrid gaseous detector", Nucl. Instrum. Meth. A, Vol. 573, pp. 61-64, 2007.
- [8] Mei Li, Madhu S. Dixit, Paul C. Johns, "Photon-counting digital radiography using high-pressure xenon filled detector", Nucl. Instrum. Meth. A, Vol. 471, pp. 215-221, 2001.
- [9] G.S. Cho, D.W. Kang, and K.H. Kim, "The Performance of X-ray Scanner Using Ceramic Scintillator Base Detector Module", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 55, No.3, pp.1321-1326, 2008.

저 자 소 개



김 창 만(정회원)

1997년 대전대 물리학과 학사
2001년 와세다대 전기전자정보
공학과 석사.
2007년 와세다대 전기전자정보
공학과 박사.

2007년~2011년 삼성테크윈

2011년~현재 구미전자정보기술원

<주관심분야 : 의용전자, 시뮬레이션, 고체전자물
성>



김 시 형(정회원)

2011년 금오공과대학교
전자공학과 학사 졸업.

2011년~현재 금오공과대학교
전자공학과 석사과정.

<주관심분야 : 디지털 X-ray 디텍터, 소자 시뮬
레이션>



김 상 희(정회원)

1983년 홍익대학교 전기공학과
학사 졸업.

1985년 연세대학교 전기공학과
석사 졸업.

1992년 Texas A&M Univ
Bioeng 박사 졸업.

2011년~현재 IT의료융합기술사업단 단장

<주관심분야 : 의용전자, 영상처리, 계측제어>

남 기 창(평생회원)

대한전자공학회 논문지

제 48권 SC편 제 2호 참조

송 광 섭(정회원)-교신저자

대한전자공학회 논문지

제 48권 SC편 제 2호 참조