

싱크로트론 방사선 영상 획득을 위한 Hybrid 기반의 X선 센서 제작 및 특성

차병열*, 강상식*, 김소영*, 윤경준*, 문치웅**, 남상희**
인제대학교 의용공학과 방사선 영상 연구실*, 인제대학교 의료 영상 연구실**

The Characteristic of Hybrid X-ray Sensor for Synchrotron Radiation image

(Byong-Yoel Cha, Sang-Sick Kang, So-Young Kim, Kyoung-Jun Yoon, Chi-Woong Mun, Sang-Hee Nam)
Radiation Imaging Reserch Center Department of Biomedical Engineering of Inje University*,
Medical Imaging Reserch Center of Inje University**

Abstract

본 연구는 싱크로트론 방사광의 단색광(monobeam)을 이용한 영상을 획득하였다. 영상센서로서 CMOS를 사용하였으며 센서 앞단에는 형광체(phosphor)를 이용하여 방사광에 대한 빛의 신호로서 영상을 획득하였다. 사용된 싱크로트론 방사광의 beam size는 5mm×2mm 이며 ion chamber를 통한 beam intensity는 $10 \times 10^{-7} \text{A}$ 이다. 형광체는 각각 ZnS(Cu:Al), ZnS(Ag,Al), BiTiO₃, Y₂O₂S(Tb)로서 4가지를 사용하였으며 여기에 사용된 형광체는 기계식 스크린 프린팅(Screen Printing) 방식으로 직접 제조하였다. 두께는 모두 동일하게 10 μm 이며 각각에 대한 PL(Photoluminescence)을 측정하여 분석하였다. object로는 물고기와 20linepair를 사용하였으며 CMOS센서를 이용하여 각각의 phosphor에 대하여 영상을 획득하였다. 영상의 평가는 20line pair 영상의 MTF를 이용하였다. 각각의 형광체에 대한 MTF는 5 lp/mm 에서는 0.5650, 0.2150, 0.7890, 0.3840 이며 10 lp/mm 은 0.4500, 0.0900, 0.2510, 0.1500이고 15 lp/mm 는 0.1900, 0.0300, 0.1430, 0.0500이며 마지막으로 20 lp/mm 은 0.0810, 0.004, 0.0500, 0.0320의 MTF 값을 나타내었다. 10 μm 두께에 대하여 ZnS(Cu:Al)이 가장 좋은 MTF의 값을 나타내었다.

Key Words : Screen printing, Imaging, CMOS, phosphor, Synchrotron

1. 서 론

오늘날 디지털 기술의 발달과 함께 세계적으로 의료영상의 분야에 있어서 가장 관심을 가지고 개발되고 있는 분야중 하나는 고해상도를 가지는 의료영상의 획득이다. 하지만 현재 임상에서 주로 사용되는 일반 X-선 장치와 X선 단층촬영의 경우 수백 마이크로(μm)의 해상도를 가지며 X-선 유방촬영기(Mammography) 경우 35 마이크로미터(μm)의 해상도를 가지기에 그 이하의 병변은 확인하기 어려운 한계를 가지고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 현재에는 방사광(Synchrotron)을 이용한 의료영상에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

방사광 X-선이란 거의 빛의 속도로 움직이는 상대론적 전자가 가속될 때 발생하는 강한 X-선을 말한다. 초기 입자 가속장치에서 파생적으로 발생되던 방사광 X-선은 가속장치의 기술적 혁신과 더불어

불어 재래식 X-선보다 최대 수 억 배 이상 큰 휘도(flux)를 가지는 강한 X-선으로 발전되었으며 이를 이용하여 물리, 화학 등 기초과학뿐만 아니라 생명과학, 환경과학, 의학연구 등 응용분야에 획기적인 발전을 기대할 수 있게 되었다[1]. 국내의 경우 포항방사광가속기연구소가 1995년 설립된 이후 IB2, 5C1등 꾸준히 빔라인(beam line)이 증설되며 많은 연구에 이용되고 있다. 백색광과는 달리 단색광의 경우 위상차(phase contrast) 효과를 극대화함으로써 기존에 영상에서는 볼수 없었던 미세한 부분까지도 영상획득이 가능하기에 의학 및 임상, 산업분야에 걸쳐 다방면으로 크게 연구되고 있다 [2-3].

싱크로트론 방사광을 이용한 고해상도 영상 획득 시스템을 위해 기존에 사용된 센서로는 CCD(charge coupled device)가 일반적으로 널리

이용되어져 왔다[4]. 이는 영상의 재현성(dynamic range)과 감도면에서 좋은 특성을 가진다. 그러나 방사광에 대한 센서의 보호를 위해 거울(mirror)을 통한 간접적 영상획득 방식을 이용해야 함으로 영상의 퍼짐(blurring) 현상이 불가피한 실정이다. 그러나 CCD와 함께 연구 개발되고 있는 CMOS의 경우 방사선에 대한 높은 내구성을 가지고 있으며 산업적 측면에서의 반도체 공정상의 제조과정으로 인한 가격 및 생산성에서 CCD에 비하여 높은 잇점을 가지고 있다[5]. 이러한 영상센서와 함께 혼합형 구조를 이루는 광변환 물질로서 다양한 형광체가 개발 및 연구되고 있는데 이러한 형광체 층의 종류 및 특성에 따라서 방사광에 대한 영상의 획득 시 많은 영향을 받게 된다.

따라서 본 연구에서는 싱크로트론 방사광에 대하여 CMOS 센서를 이용한 영상획득 시스템을 구성하였으며 그에 사용되는 형광체로서 기존에 사용하고 있는 크리스탈 구조의 CdWO₄가 아닌 파우더 형태의 형광체를 이용하여 검출기로서의 가능성(feasibility)를 검증하였다[6].

2. 실험

영상 획득을 위한 장치는 포항 방사광 가속기 연구소(PAL)의 제 3세대 방사광 가속기를 이용하여 다. 시스템의 구성은 1B2 백색광(Whitebeam)/마이크로프로브 빔라인(Microprobe Beamline)을 사용하였으며 이때 사용된 단색광(monobeam)은 파장의 분산 폭이 수 %이내이며 빔라인에서 나오는 백색광(whitebeam)을 실리콘 웨이퍼 표면에서 발생하는 브래그 회절(Bragg diffraction)현상에 의하여 변환하였다. 이때의 단색광은 X-선의 흡수도 차이와 특히 연조직내의 물질과 물질의 경계면 부분에서 위상차 혹은 위상이동 효과에 의한 고대조도의 영상을 얻을 수 있으며 사용된 임계에너지(critical energy)는 2.8KeV이고 빔의 크기는 δx 에서 160 μm , δy 에서 60 μm 가진다.

싱크로트론 X선 영상 획득시스템 세부장치로는 알루미늄 차폐막(Al attenuator), 모터제어(motor control unit), 형광체-ZnS:Cu,Al, ZnS:Ag,Al, BiTiO₃와 Y₂O₂S(Tb), CMOS센서(pixel plus 社), 유리, USB cable을 사용하였다. 형광체는 기계식 스크린 프린팅 방법을 사용해 유리 기판위에 코팅하였다. 형광체(scintillator) 플레이트의 광특성 평가를 위해 광발광(PL, photoluminescence) 스펙트

럼을 분석하였다. PL 측정을 위한 조건으로 여기 광원(excitation light source)으로는 200nm에서 900nm 영역의 Xe 램프를 사용하였으며 분광계(monochromator)를 이용하여 여기 파장을 선택하였다. 그림 1은 본 실험에 사용되어진 시스템 구성도를 나타내었다.

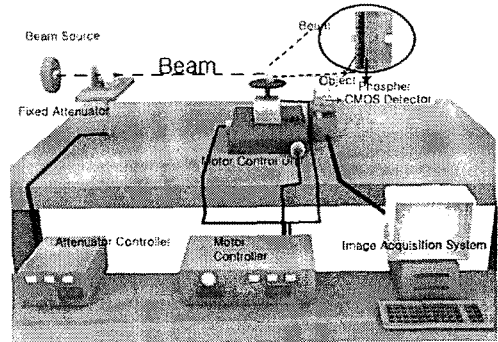


그림 1. Schemetic of experimental setup

영상 정보의 획득을 위한 광원(Source)으로는 단색광(8KeV)을 사용하였으며 이때의 조사선량은 전리함-ion chamber(adves 社)로 측정하였다. 단색광의 크기는 5mm×2mm 였으며 object를 투과한뒤 그에 따른 신호량만큼 형광체를 통하여 빛으로 변환하였다. 이때 발생된 빛은 유리 glass를 지나 최종 CMOS 센서에서 도달하게 된다. 여기서 사용되어진 CMOS 영상센서는 640×480 픽셀 어레이와 5.2 μm ×5.2 μm 픽셀 사이즈로 되어있으며 초당 30 프레임의 시분해성을 가진다.

실험에 사용된 형광체는 파우더형으로 기계식 스크린 프린팅 방식을 이용하여 직접 제조하였고 형광체와 바인드와의 비율은 각각 1:1로 하였다. 4종류의 형광체는 모두 10 μm 로 두께를 일정하게 제작하여 CMOS 센서와 함께 최적화된 영상을 획득하였다. 영상평가를 위해 사용된 object로서 20 line Pairs Phantom(Nuclear Associates An Inovision Company)와 물고기(Neontetra fish)를 사용하였다.

획득된 팬텀 영상으로부터 검출기의 성능을 물리적, 정량적으로 평가하기 위해 각 두께별 영상에 대한 변조전달함수(MTF: Modulation Transfer Function)를 측정하였다[7].

$$MTF(f) = (L_{MAX} - L_{MIN}) / (L_{MAX} + L_{MIN})$$

L_{MAX}는 최대값을 가지는 휘도의 평균값이고 L_{MIN}은 최소값을 가지는 휘도의 평균값이다.

3. 결과 및 고찰

일정두께를 가지는 4가지 형광체에 대하여 물고기 영상과 line pair 패턴 영상을 획득하였다. 물고기 영상의 경우 몸통부위에서 갈비뼈가 보이는 곳을 기준으로 각각의 형광체에 대하여 영상을 획득하였으며 20 line pair의 경우 종류마다 5 line에서 20 line까지 각각에 대하여 영상을 획득하였다. 획득한 영상을 비교하여 볼 때, ZnS(Cu,Al)-Green 계열의 형광체에서 가장 좋은 영상을 획득함을 확인할 수 있었다.

그림 2는 실험에 사용된 4가지 형광체의 발광스펙트럼-PL(Photoluminescence)을 나타낸 것이다. ZnS(Cu,Al)의 경우 450nm ~ 650nm의 가장 많은 영역을 포함한 광특성을 가지며 BiTiO₃와 Y₂O₂S(Tb)모두 550nm에서 최고의 intensity를 가졌다.

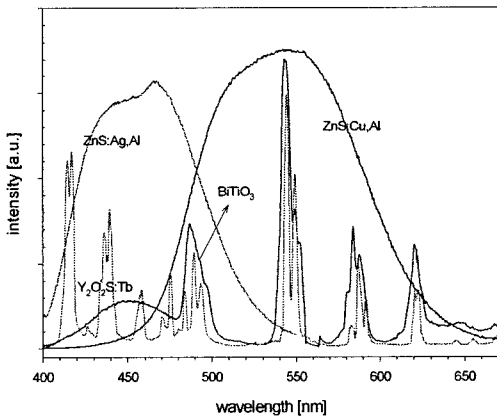


그림 2. Photoluminescence spectrum of Phosphor prepared by screen printing

그림 3은 각각의 형광체에 대한 line pair 패턴에서 10 line pair에 대한 영상을 나타낸다. a는 4가지 형광체중 가장 좋은 영상을 획득할수 있었으며 b의 경우 line pair와 물고기 모두 가장 구분하기 힘든 영상을 획득하였다. d의 경우는 가장 많은 광량으로 밝게 나타남을 볼수 있지만 상대적으로 퍼짐(blurring)현상이 나타나서 line pair의 경우 b 다음으로 알아보기 힘든 영상을 획득하였다.

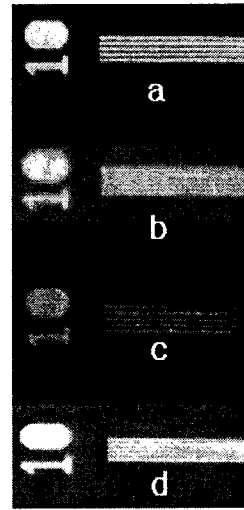


그림 3. Test pattern images obtained by various phosphor(a-ZnS:Cu,Al, b-ZnS:Ag,Al, c-BiTiO₃, d-Y₂O₂S(Tb))

그림 4는 테스트패턴 영상을 이용하여 각각의 종류에 대한 MTF를 구하여 비교하였다.

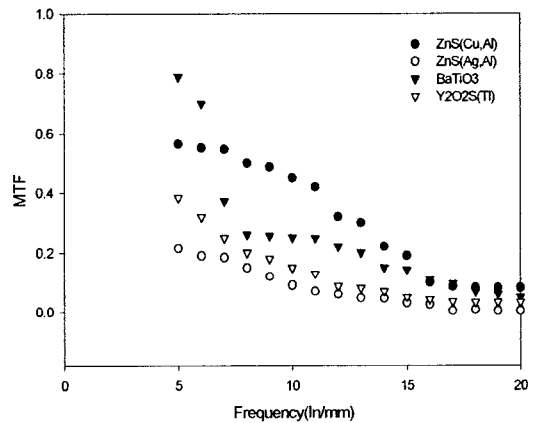


그림 4. MTF vs. various Phosphor (a-ZnS:Cu,Al, b-ZnS:Ag,Al, c-BiTiO₃, d-Y₂O₂S(Tb))

각각의 형광체에 대하여 5line pair에서 부터 20line pair까지의 MTF값을 나타내었으며 정량적 분석을 통한 그래프를 나타내었다. 테스트패턴의 영상과 함께 MTF값의 변화가 나타남을 확인하였다. 5 line의 경우 각각의 형광체의 MTF 값은

a-0.5650, b-0.2150, c-0.7890, d-0.3840 이며 c에서 가장 높은 값을 가짐을 볼수 있다. 10 line의 경우 a-0.4500, b-0.0900, c-0.2510, d-0.1500 로서 가장 높았던 c의 값이 급격히 떨어지고 a값이 가장 높은 값을 가짐을 볼수가 있다. 15 line의 경우 a-0.1900, b-0.0300, c-0.1430, d-0.0500이며 마지막으로 20 line에서는 a-0.0810, b-0.004, c-0.0500, d-0.0320의 값을 나타낸다. 전체적으로 볼때에 낮은 공간주파수를 가지는 영역에서는 형광체 BiTO₃에서 가장 높은 MTF 값을 가지지만 점차 높은 주파수로 갈수록 그 값이 급격히 감소하게 됨을 볼수가 있는데 이는 빛의 퍼짐현상으로 인하여 발생하는 것을 확인할 수 있으며 그에 반하여 ZnS(Cu,Al)의 경우 높은 주파수로 갈수록 완만하게 값이 감소하는 것을 확인할 수가 있었다. 그리고 4가지 형광체 모두 15 line 이상에서부터는 값이 거의 일정하게 낮아짐을 볼수가 있다. 그림 4는 각각의 형광체에서 물고기에 대한 영상을 나타낸다.

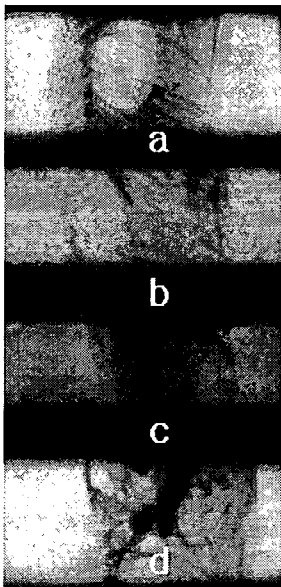


그림 5. fish images obtained by various phosphor(a-ZnS:Cu,Al, b-ZnS:Ag,Al, c-BiTiO₃, d-Y₂O₂S(Tb))

위 물고기 영상에서 육안으로 확인할수 있듯이 그림 3과 그림 4에 보는 결과와 비슷한 영상을 획득할 수가 있었으며 마찬가지로 a에서 가장 명확한 물고기의 영상을 획득할수 있었다.

결론

본 연구를 통하여 CMOS센서를 이용한 영상 획득 시 4가지 형광체중 ZnS(Cu,Al)에서 가장 좋은 영상을 획득할 수 있었다. 이를 기준으로 ZnS(Cu,Al) 제조상에서의 형광체의 두께 및 바인드와의 비율을 달리 함으로써 보다 다양한 연구가 이루어 질수 있을 것이며 이는 방사광에서의 혼합형 센서를 이용한 영상 획득 시스템의 발전에 많은 도움을 줄 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 지원(M1-0104-00-0419)에 의하여 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] W. Thomlinson, "Synchrotron Radiation Applications in Medical Research. Medical Applications of Synchrotron Radiation", Springer-Verlag Tokyo 1998:2-9
- [2] D. Champman, W. Thomlinson, R. E. Johnston, D. Washburn, E. Pisano, N. Gmur, Z. Zhong, R. Menk, F. Arfelli, and D. Sayers, Diffraction enhanced X-ray Imaging. Phys. Med. Biol. 1997;42:2015-2025
- [3] S. W. Wilkins, T. E. Gureyev, D. Gao, A. Pogany, and A. W. Stevenson, "Phase-contrast imaging using polychromatic hard X-rays", Nature, 1996;384:335-338
- [4] Beynon, et al., Charge-Coupled Devices and Their Applications, McGraw-Hill, Berkshire, England, 1980, ISBN 0-07-084522-0.
- [5] S. Kleinfelder, S. Lim, X. Liu, A. El Gamal, "A 10k frames/s 0.18 μ m CMOS Digital Pixel Sensor", IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol. 36, No. 12, December 2001.
- [6] H.Washida and T.Sonoda, "High Resolution Phosphor Screen for X-ray Image", Adv. Electron Phys. Vol. 52. 1979:201-207
- [7] P. B. Greer and T. van Doorn, "Evaluation of an algorithm for the assessment of the MTF using an edge method", Med. Phys., Vol. 27, No. 9, 2048-2059, 2000.