

싱크로트론을 이용한 ZnS:(Cu,Al) 형광체의 특성 평가

장기원¹, 박지균¹, 최장용¹, 남태우¹, 김재형², 남상희²

인제대학교 의용공학과 방사선 영상 연구실¹, 인제대학교 의료 영상 연구실²

Characterization of ZnS:(Cu,Al) phosphor using synchrotron radiation

Gi-Won Jang¹, Ji-Koon Park¹, Jang-yong Choi¹, Tae-Woo Nam¹, Jae-Hyung Kim², Sang-Hee Nam²

Radiation Imaging Reserch Center Department of Biomedical Engineering of Inje University¹,

Medical Imaging Reserch Center of Inje University²

Abstract

본 논문은 스크린 프린트 방식을 이용하여 두께 18 μm 의 ZnS:(Cu,Al) 필름을 제조하여 미세구조와 결정성을 분석하고 형광체로서의 특성을 평가하였다. 영상획득에는 포항 가속기 연구소의 싱크로트론을 이용하였으며 CMOS 영상 센서를 사용하여 DR의 간접방식을 구현하였다. 특성 평가를 위해 SEM 측정, 발광 강도 측정을 하였고, 단색광(Beam size 5mm \times 2mm)을 사용하여 test phantom 영상과 물고기 영상을 획득하였다. 획득한 영상의 평가를 위해서 test phantom 영상의 MTF 측정을 하였다. 제조된 ZnS:(Cu,Al) 필름의 표면은 육방정계 구조를 가졌으며, 5lp/mm는 73.8%, 10lp/mm는 38.9%, 15lp/mm는 15.4%, 20lp/mm는 12.2%의 MTF를 가졌다. 물고기 영상을 통하여 ZnS:(Cu,Al) 필름을 이용한 고해상도 미세구조영상 획득의 가능성을 확인하였다.

Key words : ZnS:(Cu,Al), 소성의 유무, 형광체 밀도, X선 반응특성, 스크린 프린트

1. 서론

디지털 기술의 발달과 함께 국내외 의료 영상 분야에 있어서 가장 관심을 가지고 개발되고 있는 분야 중 하나는 고해상도 의료 영상의 획득이다. 그러나 현재까지의 획득 영상의 해상력은 수 마이크로의 고해상도 의료영상을 얻기에는 한계성을 가진다. 최근에 이를 타개하기 위해 여러 나라에서 연구되어지고 있는 분야는 싱크로트론 방사선(synchrotron radiation)을 이용한 의료 영상획득이다. 지금까지 방사광을 이용하여 고해상도 영상을 획득하기 위해 CCD가 일반적으로 이용되어져 왔다. CCD는 높은 양자효율과 낮은 잡음을 가진다는 좋은 특성을 가지나 높은 발광강도를 가진 방사광 에너지에 대한 손상을 고려하여야 함으로 거울을 통해 간접적으로 영상을 획득하여야 하며 이로 인해 영상의 퍼짐(blurring) 현상이 불가피한 실정이다. 방사광에 대한 높은 내구성을 지닌 CMOS는

일반적인 X선에 대해 디지털 방사선 영상의 검출기로써 이용되고 있으며, CCD와의 특성 비교가 여러 측면에서 고려되고 있다. 게다가 CMOS의 최근 기술동향을 살펴보면 가격 면에서 효율적인 화소 크기의 빠른 진보가 이루어지고 있어 고성능의 0.25 μm 의 화소 크기가 표준 CMOS 공정에서 제작 가능할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 CMOS를 이용하여 영상을 획득하였으며, 획득된 영상의 평가를 통해 방사광 영상 검출기로서의 실용성을 검증하였다. 또한 CMOS 앞단의 광 변환 부분에 발광효율이 높은 ZnS(Cu,Al)을 제작하여 그 특성을 평가하였다.

본 연구는 2000년부터 포항 방사광 가속기 연구소의 1B2 line에서 형광체를 이용한 CMOS의 방사광의 의학적 이용가능성을 확인하고 최적화된 형광체의 제조 조건을 알아내고자 연구되었다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 연구는 포항 가속기 연구소 1B2 Whitebeam/Microprobe Beamline을 이용하여 그림 1과 같이 간단한 영상획득 장치를 구현하였다.

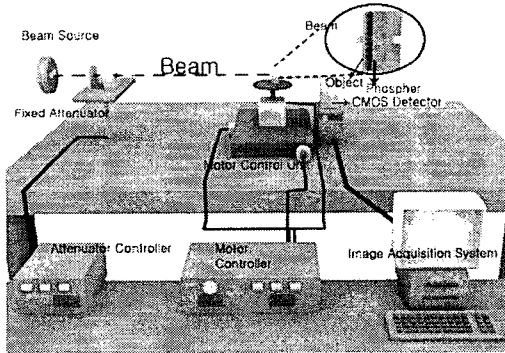


그림 27. 실험 구성도

포항 가속기 연구소에서 사용되어진 critical energy는 2.8KeV at 2GeV operation (5.5KeV at 2.5GeV)이고 Source size는 $\delta x=160\mu m, \delta y=60\mu m$ 가진다. 여기서 2~2.5GeV 전자 에너지와 180mA 전류로 회전한다.

싱크로트론 X선 영상 획득시스템 세부장치는 그림에서 보는 바와 같이 X, Y, Z linear stage control unit, Phosphor ZnS:(Cu, Al), CMOS sensor (pixel puls 社), USB cable, 영상 정보 저장 시스템(컴퓨터)으로 구성하였다.

본 연구에서는 640×480 픽셀 배열과 5.2 μm ×5.2 μm 픽셀크기, 30 frames/sec의 영상획득 능력을 가지는 CMOS 영상센서를 이용하였다.

영상 정보의 획득은 저장실에서 1B2line 으로 나오는 White beam을 monochromator를 통해 단색광 (8KeV) 으로 만들었다. 사용되어진 단색광 Beam 크기는 5mm×2mm이다. Monochromator beam 은 hutch 외부에 설치되어 있으며, 싱크로트론 방사선의 이온 챔버(adves 社)로 측정된 조사선량은 $10 \times 10^{-7} A$ 였다.

2.2 실험방법

실험에 사용된 형광체는 분말형으로 스크린 프린트 방법으로 유리위에 코팅하여 제작된 ZnS:(Cu,Al)로써 형광체와 바인더(binder) 비율이 1:1인 시편을 450℃의 온도에서 한 시간을 소성(燒成) 하여 제조하였다.

이렇게 제조된 형광체와 CMOS sensor를 이용하여 단색광에 대하여 최적화된 영상을 획득하였다.

형광체의 두께는 18 μm 로 두께에 대한 번짐 효과를 최대한 고려한 후 최적의 두께를 결정하였다.

형광체의 미세구조 및 정성·정량분석을 위해 SEM(Jeol(JSM-820))영상을 촬영하였고, 결정성 및 화학 결합 상태 등을 평가하기 위해 XRD (Rigaku(RAD-3C))를 촬영하였다. XRD 측정 조건은 Scan step(step size) : 0.05, Scan range : 5 - 90, Scan speed : 5/min 로 실시하였다.

CMOS 센서에서 검출된 영상정보는 디지털 신호로 USB cable 통해 컴퓨터로 보내어지며 영상처리 프로그램을 사용하여 저장하였다.

형광체를 이용한 영상의 평가를 위해 test phantom 영상과 물고기(네온테트라, 길이 1.5cm, 너비 0.4cm) 영상을 획득하였고, 획득된 test phantom 영상을 이용하여 최적의 형광체 제조 조건에 대한 영상의 질(quality)을 정량적으로 평가하기 위해 변조 전달 함수(MTF: Modulation Transfer Function)를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

형광체 ZnS:(Cu,Al) 이용하여 X선 파장을 가시광선으로 변환 후 test phantom과 물고기 영상을 CMOS sensor로 획득하였다.

그림 2는 형광체 ZnS:(Cu,Al) 표면을 촬영한 사진으로써 형광체의 입자 크기가 3 μm 에서 10 μm 까지 매우 불균일하였으며, 형광체와 바인더의 비(比)를 1:1로 하여 스크린 프린트 방식으로 유리에 코팅하였으나 소성(燒成)시키는 과정에서 바인더는 제거되고 형광체 물질만 남아있음을 확인할 수 있다.

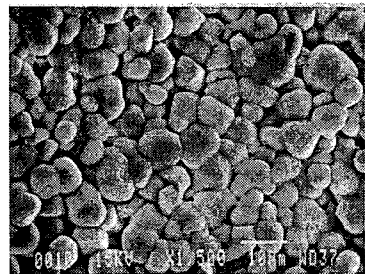


그림 2. 제조된 ZnS:(Cu,Al)필름의 표면 SEM영상.

그림 3은 제작된 ZnS:(Cu,Al) 필름에 대한 XRD 회절 패턴을 보여주고 있다.

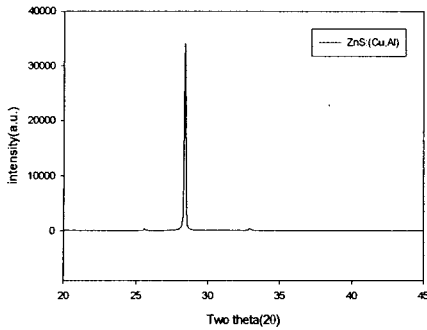


그림 3. 제조된 ZnS:(Cu,Al) 필름의 X선 회절 패턴.

ZnS:(Cu,Al)이 (1,1,1) 방향으로 성장하였으며, 육방정계 구조를 가진다는 것을 그래프를 통하여 알 수 있었다.

그림 4는 ZnS:(Cu,Al)의 PL(Photoluminescence) 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

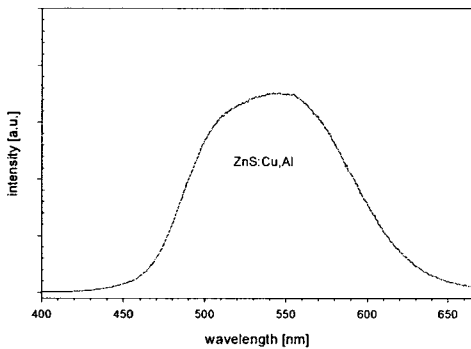
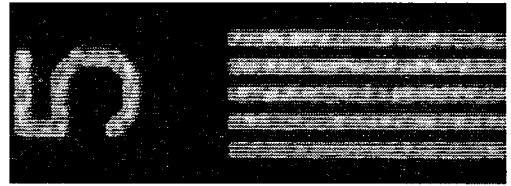


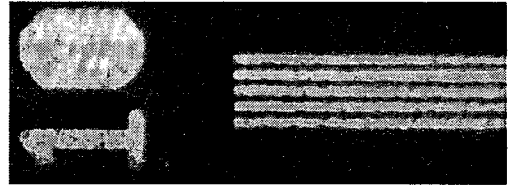
그림 4. 제조된 ZnS:(Cu,Al) 필름의 PL, 발광 스펙트럼

그림에서 보는 것과 같이 450nm에서 650nm에 이르는 넓은 파장대를 가졌으며, 대부분의 영역이 green 영역에 포함되어 있음을 확인 할 수 있었다.

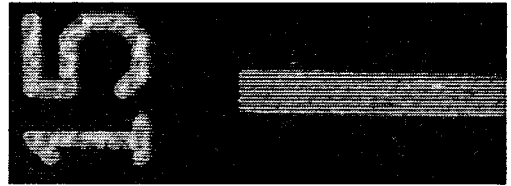
그림 5는 제조된 ZnS:(Cu,Al) 필름과 CMOS를 이용하여 획득한 test phantom 영상이다. 그림에서 보는바와 같이 고주파수로 갈수록 형광체 발광영역의 검침으로 인하여 번짐 현상이 일어났으나, 육안으로 선의 구분을 할 수 있을 정도의 영상을 획득하였다.



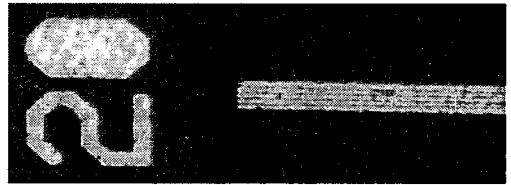
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. 제조된 ZnS:(Cu,Al) 필름과 CMOS를 이용하여 획득한 test phantom 영상. (a) 5lp/mm, (b) 10lp/mm, (c) 15lp/mm, (d) 20lp/mm

그림 6은 CMOS와 ZnS:(Cu,Al)을 이용하여 촬영한 물고기 영상이다. 물고기의 길이가 1.5cm이고 너비가 0.4cm인데 비해 빔 크기는 0.5cm×0.2cm로 물고기의 전체 촬영이 불가능하였다. 그래서 물고기의 부분을 촬영한 후에 영상을 합하여 전체 영상을 획득하였으며, 물고기의 등뼈 및 가느다란 뼈까지도 육안으로 확인 할 수 있었다.



그림6. 제조된 ZnS:(Cu,Al) 필름과 CMOS를 이용하여 획득한 물고기 영상

영상의 질(quality)을 정량적으로 표현하기 위하여 획득한 test phantom 영상을 이용하여 MTF 측정하였다. 그림 7은 제조된 ZnS:(Cu,Al) 필름으로 얻어진 test phantom 영상의 MTF 이다.

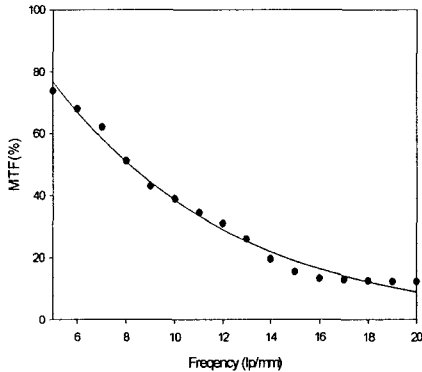


그림 7. 제조된 ZnS:(Cu,Al) 필름과 CMOS를 이용하여 획득한 test phantom 영상의 MTF

5lp/mm는 73.8%, 10lp/mm는 38.9%의 MTF를 가졌으며, 15lp/mm, 20lp/mm는 각각 15.4%, 12.2%의 MTF를 가졌다. 고주파수 영역으로 갈수록 급속히 MTF가 낮아짐을 확인 하였다. 이는 번짐 현상으로 인한 영상 질(quality)의 저하로 추정되며, MTF의 값이 다소 불규칙적인 이유는 싱크로트론 방사광의 강도가 불안정하여 촬영하는 동안 미세하게 변화하였기 때문이다. 하지만 이를 보완할 경우 개선된 MTF를 기대할 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 ZnS:(Cu,Al) 파우더와 바인더를 사용하여 스크린 프린트 방식으로 유리위에 ZnS:(Cu,Al)을 코팅한 후 소성(燒成)시켜 필름을 제작하였다. 싱크로트론 방사광의 단색광(Beam size 5mm×2mm)을 사용하여 test phantom 영상과 물고기 영상을 획득하였다. 영상획득에는 CMOS를 사용하였으며, 획득한 영상의 평가를 위해서 test phantom 영상의 MTF 측정을 하였다. 5lp/mm는 73.8%, 10lp/mm는 38.9%, 15lp/mm는 15.4%, 20lp/mm는 12.2%의 MTF를 가졌다. 같은 방법으로 획득한 물고기(길이 1.5cm, 너비 0.4cm) 영상에서는 높은 대조도를 보였으며, 물고기의 등뼈 등 미세구조를 육안으로 확인할 수 있었다. 본 연구를 토대로 형

광체 ZnS:(Cu,Al)을 이용하여 임상적인 미세구조영상을 획득할 경우 영상의 질(quality)이 많이 향상될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실(NRL) 지원(M1-0104-00-0149)에 의하여 수행 되었습니다.

참고 문헌

- [1] W. Thomlinson, "Synchrotron Radiation Applications in Medical Research. Medical Applications of Synchrotron Radiation", Springer-Verlag Tokyo 1998;2-9
- [2] James E. Harvey, Kristin L. Lewotsky, and Anita Kotha, "Effects of surface scatter on the optical performance of x-ray synchrotron beam-line mirrors", Applied Optics, Vol.34 No. 16, 1 June 1995
- [3] 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.
- [4] N. Stevanovic, M. Hillegrand, B. J. Hostica, A. Teuner, "A CMOS Image Sensor for High Speed Imaging", ISSCC Digest of Technical Papers, page 104-105, San Francisco, CA, Feb. 2000.
- [5] H.Washida and T.Sonoda, "High Resolution Phosphor Screen for X-ray Image", Adv. Electron Phys. Vol. 52. 1979;201-207
- [6] P. B. Greer and T. van Doom, "Evaluation of an algorithm for the assessment of the MTF using an edge method", Med. Phys., Vol. 27, No. 9, 2048-2059, 2000.