

X-Ray 영상 장치의 CsI(Tl) 섬광체와 마이크로 렌즈 접합에 관한 모사 실험 및 광학 시뮬레이션

김현기 · 배준형 · 차보경 · 이채훈 · 김종열 · 김형택 · 조규성*
의료 영상 및 방사선 계측 실험실 · KAIST 원자력 및 양자공학과
E-mail: gscho@kaist.ac.kr

중심어 (keyword) : X-ray; CsI(Tl) scintillator; 광학 시뮬레이션; 마이크로 렌즈; Light Tools; plano convex lens

서론

최근 마이크로 CT(Computed Tomography)의 분해능 향상을 위한 노력의 일환으로 Indirect X-ray Digital Imaging 에 쓰이는 CsI(Tl) 섬광체 대한 연구가 진행되고 있다. 위의 섬광체를 이용한 X-ray 영상 측정의 원리는 물체를 투과해 온 X-ray를 550nm 파장대의 가시광선으로 바꿈으로써, 포토다이오드가 빛을 측정 할 수 있게 하는 것이다. 이때 광자의 섬광 현상에서 생성된 가시광선은 Isotropic한 방향으로 재 방출되어 나가게 되므로 포토다이오드 픽셀에 이미지의 번짐 현상을 만들게 된다. 그러나 이를 방지하기 위하여 CsI(Tl)박막을 더욱 얇게 만들게 되면 광량의 저하로 CMOS를 기반으로 하는 회로에서 필요로 하는 빛의 양에 못 미치게 되어 또한 어려움이 생기게 된다.

이번 연구에서는 이러한 상호 배타적인 문제의 새로운 해결 방안으로 CsI(Tl) 섬광체와 마이크로 렌즈를 접합하여 CMOS 영상센서의 각 픽셀의 포토다이오드당 광 전압 이득을 증가 시키는 방법을 제안하였다.

이의 실험적 입증을 위하여 두가지 단계가 진행되었다. 첫째로는 광 시뮬레이션 프로그램을 이용하여, 마이크로렌즈가 접합되지 않은 한 픽셀 내 포토다이오드에 도달한 섬광된 가시광선의 분포를 파악하였다. 이를 통하여 포토다이오드 크기의 감소에 따라 각 픽셀의 광 전압이 적어도 감소하지는 않음을 보였다. 두 번째 단계로서, 마이크로 렌즈와 같은 기하학적 구조를 갖는 plano-convex 렌즈위에 CsI(Tl) 섬광체를 열

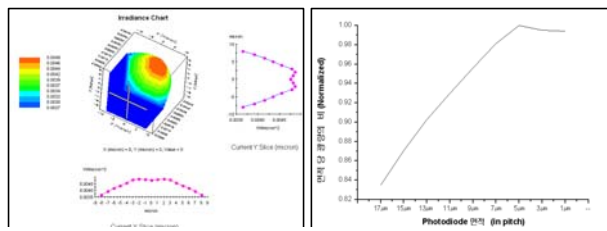


그림 1 한 픽셀에 도달한 빛의 분포(좌)와 photodiode의 면적 감소에 따른 면적당 광량의 비(우)

증착시킨 후 섬광된 가시광선의 분포를 파악하여 빛의 Focusing 현상을 모사 분석 하였다. 위의 두가지 단계가 모두 성립함을 보임으로써 CsI(Tl) 섬광체와 마이크로렌즈를 접합할 경우 CMOS 센서의 각 픽셀당 광 신호가 증가함을 예측할 수 있었다.

재료 및 방법

서론에서 제시한 바와 같이, 첫째로 조명광학 설계 프로그램인 Light Tools를 통하여 포토다이오드에 도달한 빛의 분포를 확인하였다.[1] 위 시뮬레이션을 구동하기 위하여 미세기둥구조로 증착된 CsI(Tl) 섬광체와 10 μ m 두께의 Oxide층을 가지는 CMOS 이미지 센서, CMOS 센서의 Oxide층에 빛이 전파할 때 금속층에 한번도 충돌하지 않은 섬광된 가시광선, 그리고 17 μ m X 17 μ m 면적의 픽셀이 가정되었다. 위의 시뮬레이션 결과로서 그림 1에서 나타난 바와 같이 픽셀의 중앙부분으로 갈수록 빛의 도달량은 증가하였고, 이에 따라 각 면적당 광량의 비가 증가함을 볼 수 있었다.

두 번째 단계로는 그림 2에서 제시된 지름이 확인

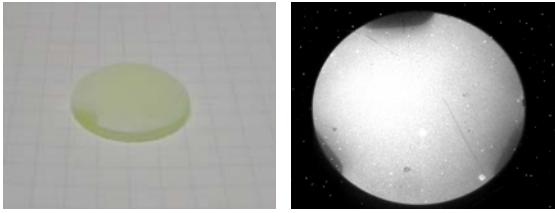


그림 2 미세 기둥형식의 CsI(Tl) 섬광체가 증착된 plano-convex렌즈(좌) 와 이의 X-ray 영상(우)

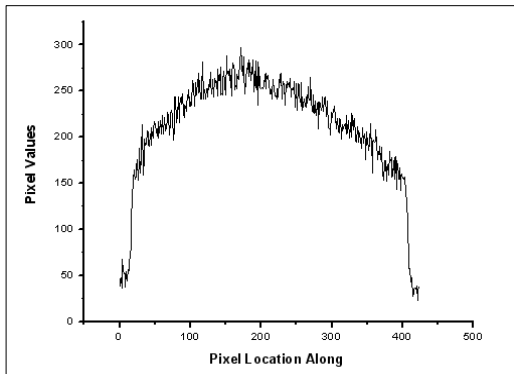


그림 3 초점 거리가 25mm인 plano-convex렌즈위에 증착된 CsI(Tl) 섬광체의 X-ray영상 단면 Profile.

25mm인 plano-convex렌즈 위에 미세기둥구조로 된 CsI(Tl) 섬광체를 열 증착하여 빛의 Focusing현상을 하였다. 위의 Focusing현상이 plano-convex렌즈의 곡률에 따라 변화함을 확인하기 위하여, 초점거리가 100mm, 25mm인 plano-convex렌즈와 같은 구조의 평평한 원형 유리 plate를 비교하여 실험을 진행하였다. 위의 실험 결과로써 섬광체가 증착된 렌즈에 X-ray영상 촬영을 시행하여 섬광된 가시광선이 한 렌즈 내부의 분포 형상을 확인하였다. 위 결과를 그림 3 에 도시하였다.

결과 및 고찰

첫 번째 단계인 광 시뮬레이션을 통하여 단위 면적당 가시광선의 도달량이 포토다이오드의 면적을 감소시킬수록 증가함을 알게 되었다. 이를 통하여 마이크로 렌즈의 접합을 시도하지 않고, 각 픽셀당 포토다이오드의 크기만 줄일 시에도 광 전압 이득이 증가될 것임을 예측할 수 있었다.

Focal length of plano-convex lens	Center to Edge Pixel value Ratio
F = infinity (flat plate)	1
F = 100mm	1.274
F = 25mm	1.428

표 1 렌즈의 곡률의 변화에 따른 렌즈 가운데와 가장자리의 센서 픽셀 값의 비를 나타내었다. 이를 통하여 F=25mm인 경우 섬광된 빛이 가장 모여 있음을 알 수 있다.

두 번째 단계인 25mm지름을 가지는 plano-convex 렌즈와 미세 기둥구조의 CsI(Tl)섬광체를 증착시킴으로써 섬광된 빛이 렌즈의 가운데에 모여 있음을 확인할 수 있었다. 이의 결과로써 렌즈의 곡률을 변화시켜가며 가장자리 지역과 가운데 지역의 비율을 표 1에 정리하였다. 이러한 결과로 인하여 동일한 양의 CsI(Tl)섬광체를 증착하더라도, 렌즈위에 증착 할 경우 가운데에 더 빛이 모이는 결과를 얻어낼 수 있었다. 이러한 현상이 나타나게 된 이유는 크게 두가지로 예측 되었다. 첫째로는 렌즈의 광학적 Focusing효과로 인한 섬광된 빛의 Focusing효과이며, 둘째로는 렌즈의 굴곡으로 인한 렌즈 중심부 지역의 섬광체 절대량의 증가 효과이다. 이에 대한 규명은 후속 연구로 진행될 예정이다.

결론

이상의 연구를 통해 미세 기둥구조로 증착된 CsI(Tl)과 마이크로렌즈의 접합으로 인한 X-ray 영상센서의 신호 이득 효과에 관한 결과를 예측하여 보았다. 이를 위하여 첫째 단계로 위의 시뮬레이션 결과 포토다이오드의 면적 감소에 따른 전압 이득의 증가를 확인 하였고, 이에 더하여 마이크로 렌즈를 접합할 경우 가운데에 빛이 더욱 많이 수렴할 것임을 섬광체가 증착된 25mm직경의 plano-convex렌즈에 대한 X-ray 영상 실험을 통하여 간접적으로 확인하였다.

참고 문헌

1. Optical Research Associates, Light Tools, available : (<http://www.opticalres.com/>).
2. Hyunki Kim et al., "The Effect of Surface Roughness of CsI(Tl) Micro-columns on the Resolution of the X-ray Image Optical Simulation Study", Journal of radiation protection, Vol.34, 2009