<<한국방사선학회논문지>> 2019년 11월 제13권 6호 별쇄본

Development of X-ray Detector using Liquid Crystal with Front Light

Bong Gyu Rho,[1] Sam Hak Baek,[1] Seok Jun Kang,[2] Jong Mo Lee,[2] Byung Seong Bae[2,]

[1]Sesim Photonics Technology

[2]School of Electronics and Display Engineering, Hoseo University

Journal of the Korean Society of Radiology Volume 13 Number 6 November 2019

pISSN : 1976-0620, eISSN : 2384-0633
https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.6.831 "J. Korean Soc. Radiol., Vol. 13, No. 6, November 2019"

Development of X-ray Detector using Liquid Crystal with Front Light

Bong Gyu Rho,[1] Sam Hak Baek,[1] Seok Jun Kang,[2] Jong Mo Lee,[2] Byung Seong Bae[2,]

[1]Sesim Photonics Technology

[2]School of Electronics and Display Engineering, Hoseo University

Received: September 06, 2019. Revised: November 25, 2019. Accepted: November 30, 2019

ABSTRACT

The X-ray detector by liquid crystal with front light was proposed and verified by a X-ray image. The proposed detector utilizes the visible light instead of the electric signal by transistor. Therefore, it shows low noise and can be fabricated at low cost. The liquid crystal detector uses the orientation change of the liquid crystal molecule by conductivity change of the photoconductive layer. We can get the X-ray image from the transmitted light through the liquid crystal. The X-ray dose was calibrated from the measured transmittance of the visible light after comparison to the reference transmittance curve of the liquid crystal. The amorphous Se was used for photo con ducting layer and parylene was used for the liquid crystal alignment instead of the conventional alignment layer which needs high-temperature process over 200 ℃. The proposed X-ray detector can decrease the X-ray dose by high sensitivity which was verified by simulation. After the fabrication of the X-ray detector, the X-ray image was obtained as a function of the bias voltage to the liquid crystal. 10 lines/mm resolution was obtained from the line pattern and we will apply it to the 17inch diagonal liquid crystal X-ray detector with 3π retardation.

Keywords: X-ray, detector, liquid crystal

Ⅰ. INTRODUCTION

의료 진단에 X선 검출기가 널리 사용이 되고 있고 필름 방식에서 디지탈방식으로 변화 되면서 여러 가지 X선 검출기가 개발되었다. 평판형 검출기로서 X선을 직접 전기신호로 변화하는 방식과 X선을 가시광으로 변환한 다음 가시광을 검출하는 간접 방식이 있다.[1] 두 경우 모두 매트릭스로 구성이 되는 박막 트랜지스터 배열의 기판이 필요하며 공정의 복잡성과 낮은 수율이 원가의 상승 요인이다.

액정(Liquid Crystal; LC)을 사용하여 트랜지스터 배열 없이 X선을 검출하는 방식이 제안되어 연구들이 진행되어 왔으며 액정 X선 검출기는 입사 X선량에 따라 액정 배열의 변화를 유도하여 액정 층을 통과하는 빛의 투과량을 조절하도록 하고 있다. Fig. 1은 액정 X선 검출기의 기본 구조를 나타낸다.

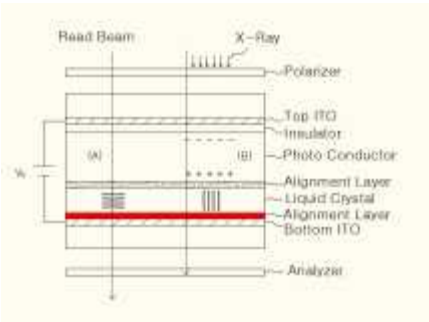


Fig. 1. Operation principle of liquid crystal X-ray detector.

액정 X선 검출기는 편광판과 검광판 사이에 광도전체와 액정층이 적층된 구조인 감지 패널이 놓인 구조이다. 광도전체에 X선을 쪼여주면, 전자와 정공이 만들어지는데, 상하 ITO (Indium Tin Oxide;ITO)막 사이에 DC (Direct Current; DC) 전기

* Corresponding Author: Byung Seong Bae E-mail: bsbae3@hoseo.edu Tel: +82-10-3326-2658
Address: Hoseoro-79, Asan city, Chungnam 31499, Korea

장을 걸어서, 전자와 전공을 분리하여 반대 극성의 ITO막으로 모이게 한다. 액정층에 접하는 광도전체 경계면에는 정공이, 대향하는 광도전층 경계면에는 전자가 분포한다. 분리된 전하량에 따라서 액정층의 배열이 달라지므로, 액정층을 지나는 읽는-빔(Read Beam)의 편광투과특성을 재면 광도전층의 전하밀도를 알 수 있고 광도전층의 전하밀도는 X선량에 따라 변하므로 X선량을 측정할 수 있다.

액정 X선 검출기의 기본 아이디어는 1983년 Jean-Pierre Huignard 등이 발표한 니메틱 또는 니메틱 콜레스테릭 혼합 액정층 구조였다.[2] 1998년 반사형 TN (Twist Nematic; TN) 모드와 2008년 선주사(line scan) 방식을 이용한 액정 X선 검출기의 기본 특성을 John Rowlands가 발표했다.[3,4] 그러나 2,000년부터 FPD (Flat Panel Display; FPD) 기판을 기본으로 하는 DR (Digital Radiography; DR)의 기술이 발전하여 상용화되면서 액정 X선 검출기는 큰 관심을 받지 못했다.

액정 X선 검출기는 액정, 광도전체, 구동, 측정광학계, 교정(Calibration)등의 기술이 필요한 융합분야로 여러 분야의 기술이 필요하다. 액정 X선 검출기를 주된 테마로 연구하는 그룹은 두 곳 정도이다. 국외에서는 캐나다 토론토대학의 Rowlands 교수팀에서 창업한 XLV Diogonistics사, 국내에서는 세심광전자기술이다.[5,6]

액정 X선 검출기는 빛을 이용하므로 잡음이 적고, 액정층이 전압을 유지하는 동안 여러 번 영상을 잴 수 있고, 액정층 설계를 달리하여 X선 감도를 높일 수 있다.[7] 또한 LCD (Liquid Crystal Display; LCD)의 재료 및 공정기술 발전으로 제작비용을 낮출 수 있다. 그러나 검출광학계를 비롯한 교정 부분과 비정질 셀레늄으로 구성된 광도전층 위에 피막되는 배향막의 높은 공정온도에 의한 셀레늄의 온도 안정성 문제로 아직 상용화가 되지 않았다. 이러한 온도 안정성은 셀레늄의 낮은 유리전이 온도에 기인한다. 본 연구에서는 상온에서 증착이 가능한 패럴린 (Parylene) 을 배향막으로 적용하는 공정을 개발 하여 셀레늄의 온도 안정성 문제를 해결하였다. 또한, 구조가 복잡해지는 점광원 대신 전면광원 (Front Light Source)를 사용하여 구조를 간단히 한 X선 검출기를 개발하고 검출기의 특성을 연구하였다.[8-10]

Ⅱ. X-RAY DETECTOR

1. 액정 X선 검출기의 광학계

Fig. 2는 점광원을 쓴 액정 X선 검출기의 광학계이다. 점광원에서 나온 빛이 반사판에서 반사되어, 감지패널을 지나는 구조이다.

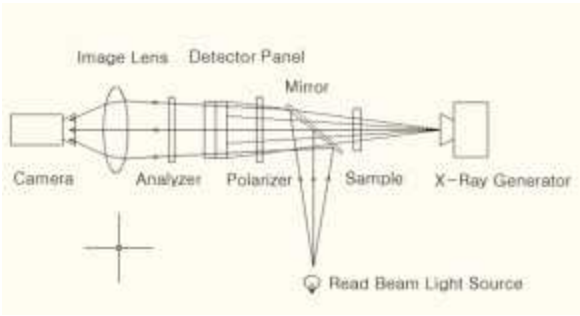


Fig. 2. LC X-ray detector with point light source.

읽는 빔이 발산하는 경우에는 영상렌즈(image lens)가 감지패널보다 커야 한다. 영상렌즈의 비용문제를 극복하기 위하여 작은 영상렌즈와 카메라를 여러 개 결합하거나 한 대로 이동하면서 찍는 광학계가 있다.[11] 이러한 광학계는 복잡한 기구와 이동 스테이지를 써야 하므로 이에 따른 비용의 증가가 단점이다.

PBS (Polarizing Beam Splitter; PBS)를 사용하는 반사형 광학계를 사용하여 감지패널에 수직으로 리드빔을 조사하여 라인 스캔하는 방식으로 유방촬영술(Mammography)에 적용한 보고가 있다.[5] 스캔 시간은 약 5초 정도이며 스캔하는 동안에 광도전층에서 전하가 퍼지는 것과, 액정층에 계속 가해지는 DC 전압에 의한 배향막의 러빙 결점(Rubbing Defect)과 액정의 이온 이동 등의 문제로 영상이 왜곡될 수 있고, X선 영상을 여러 번 찍을 수가 없는 것이 단점이다.

X선을 균일하게 투과하는 면광원을 쓰면 영상렌즈를 작게 할 수 있다. 면광원은 Fig. 3과 같이 도광판과 확산판 그리고 LED로 구성된다. 도광판 측면

에 LED를 나란히 배열한다. 도광판의 두께는 1.2 mm, 흠집은 크기 50 ㎛, 깊이 20 ㎛ 정도로 만든다. 도광판 앞에는 확산판을 두어 읽는 빔의 밝기를 균일하게 한다. 이와 같은 면광원 구조는 노트북에 쓰이는 TFT (Thin Film Transistor; TFT) LCD의 백라이트와 매우 비슷하다. 도광판은 보통 투과율이 좋은 PMMA (Poly Methyl Methacrylate; PMMA)계열로 만든다.

Table 1은 X선의 관전압에 따른 X선이 50% 흡수되는 PMMA의 반폭치이다.[12] 관전압이 클수록 X선의 투과도가 높아진다. 흉부 촬영의 경우 보통 관전압은 100 kV이므로, 두꺼운 부분과 홈이 깊게 파진 가장 얇은 쪽으로 투과되는 X선량은 91.17 %와 91.32 %로, 도광판 두께의 차이에서 오는 X선의 투과 균일도는 99.84 %이다.

Table 1. Half absorption thickness of PMMA as a function of tube voltages

Tube voltage (kV)	Half absorption thickness (mm)
20	2.5
30	4.8
50	6.9
80	8.0
100	9.0

또한, 이런 차이가 나는 영역이 X선 영상의 해상도 보다 작으므로 Fig. 3과 같은 면광원을 리드빔으로 채택하면, 100 kV 관전압의 X선 투과는 균일하다고 볼 수 있다. 관전압이 작을수록 도광판을 얇게 만들고, 또한 홈을 얇고 작게 만들어야하며 광도전층을 투과하는 파장대로 LED를 골라야한다.

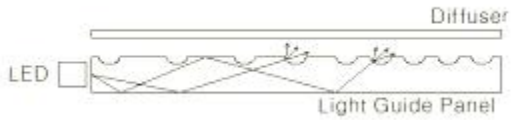


Fig. 3. The Structure of the front light.

Fig. 4는 전면광원을 쓴 액정 X선 검출기의 광학계로, 전면광원에서는 빛이 모든 방향으로 나오므로, 영상렌즈를 작은 것을 쓸 수 있다.

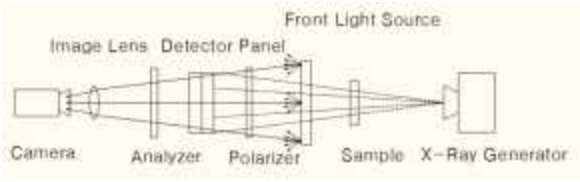


Fig. 4. LC X-ray detector with the front light.

2. 광도전체 : 비정질 셀레늄

액정 X선 검출기의 광도전체는 비저항이 높아야 여러 번 X선 영상을 찍을 수 있다. 직접형 DR에서는 광도전층으로 비정질 셀레늄을 많이 채택한다. 액정 X선 검출기는 광도전체의 표면상태나 두께의 균일도가 중요하다. 비정질 셀레늄은 과거 복사기 드럼에 많이 사용했고, 피막 공정온도가 300 ℃ 정도이다. 대각 400 mm 면적에서 두께 균일도를 1 % 이내, 거울 면으로 만들 수 있다. Table 2는 셀레늄의 물성을 정리한 것이다. 액정의 비저항은 약 10^{12} Ω•㎝으로, 비정질 셀레늄의 비저항이 더 높다.

Table 2. The properties of the amorphous Se

Item	Value
Dielectric constant	7
Specific gravity	4.3
Resistivity (Ω•㎝)	10^{12}～10^{14}
X-ray Attenuation length(㎛)	48 (20 kV)
	976 (60 kV)
Melting point (℃)	230
Glass transition(℃)	50

Fig. 5는 두께가 120 ㎛인 비정질 셀레늄의 투과도 곡선이다. 광흡수가 적고 투과율이 높은 850 nm 이상인 NIR (Near Infrared Radiation; NIR)이 읽는 빔으로 이상적이나, NIR 편광판의 가격은 가시광선에 비하여 매우 높고, 500 mm x 500 mm 이상의 크기로 만들기가 어렵다. LCD에 쓰이는 일반 편광판의 편광효율은 760 nm 이상에서는 급격히 떨어지므로 주파장이 730 nm인 LED를 읽는 빔의 광원으로 채택하였다.

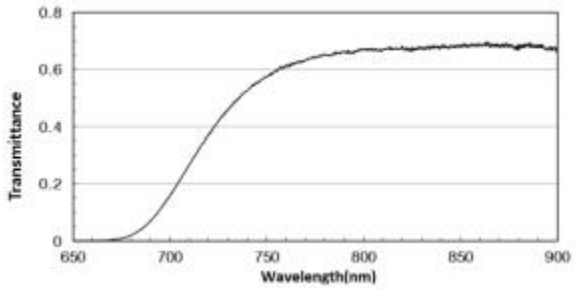
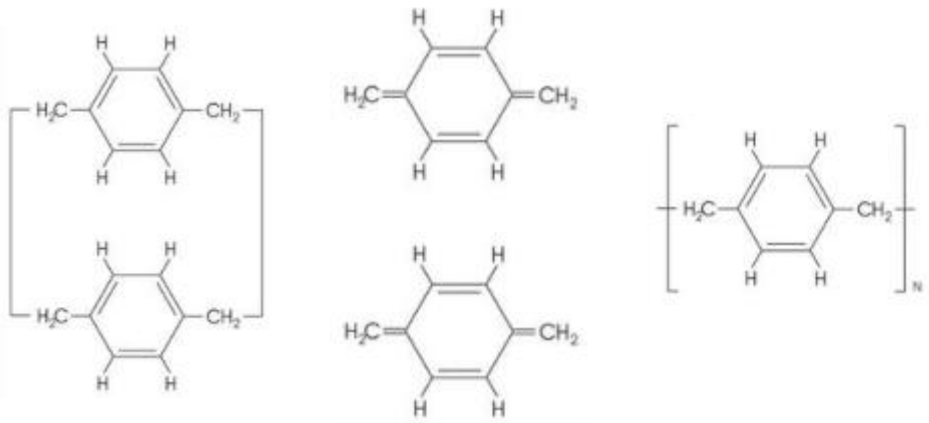


Fig. 5. Transmittance of the amorphous Se (Thickness : 120 ㎛).

비정질 셀레늄의 유리 전이 온도는 Table 2에서와 같이 약 50 ℃ 정도로, 이 온도 이상에서는 비정질에서 다결정으로 상변화가 일어난다. 다결정 상태에서 셀레늄 박막은 비저항이 낮아져 누설전류로 영상이 흐려진다. 비정질 셀레늄은 다른 광도전체에 비하여 온도에 취약하다. 2～3 mm 알갱이형태로 된 5N**(99.999%)** 순도의 셀레늄을 진공 300 ℃에서 균일하게 녹인 후 280 ℃에서 분당 약 1 ㎛ 정도로 증착하였다. 기판의 온도는 45 ℃로 고정하였으며 기판을 돌리고, 보트에서 셀레늄이 기화되어 증착되는 구멍의 모양과 위치를 조절하여 대각 400 mm 영역에서 두께의 편차가 1 % 미만이 되도록 하였다.

Table 3. Parylene process

Steps	Vaporization	Decomposition	Deposition
Temperature	175 ℃	700 ℃	25 ℃
Pressure	1 Torr	0.5 Torr	0.1 Torr
State	Dimer	Monomer	Polymer
Structure			

3. 비정질 셀레늄을 광도전체로 쓴 액정 패널의 구조 및 제작방법

일반 LCD 공정에서는 PI (Poly-Imid; PI)계 배향막을 러빙하거나 또는 UV 편광된 빛을 조사하는 광배향법을 주로 쓴다. 두 경우 솔벤트를 증발하거나 유기막을 소결하는 온도가 100 ℃ 이상이므로 현재 액정공정에 쓰이는 배향기술로는 50 ℃ 미만으로 공정을 진행할 수 없으며 비정질 셀레늄 막에 위에 패럴린을 입히고, 러빙하여 배향막으로 쓸 수 있는 공정을 개발하였다. 패럴린은 분말 형태의 유기 단분자지만, 온도를 가해 열가소성 중합체들을 진공상태에서 기화시킨 후, 셀레늄 위에 증착한다. 패럴린은 상온의 진공상태에서 고분자(폴리머)가 되면서 비정질 셀레늄 위에 피막된다. 패럴린 막은 균일한 두께, 응력에 의한 스트레스가 없고, 절연성이 높고, 내화학성, 내습성이 우수한 특징이 있다.

비정질 셀레늄 위에 패럴린 약 0.5 ㎛ 두께로 증

착한다. 패럴린 피막 공정은 Table 3과 같이 3단계로 분리된 진공로에서 진행한다. 1단계 "원기료화"에서는 다이머로 된 분말을 기화시키고, 2단계 "분해" 단계에서는 약 700℃ 고온으로 다이머를 모노머 상태로 열분해한다. 3단계인 "증착" 단계를 진행하는 공정에 셀레늄이 피막된 유리기판을 둔다. "증착" 단계에서 온도는 25 ℃ 상온으로, 셀레늄 박막은 온도에 대한 영향을 받지 않는다.

Ⅲ. RESULT AND DISCUSSION

Fig. 6은 셀레늄 박막 위에 페럴린을 피막하여 평행배향된 ECB (Electrically Controlled Birefringence, ECB)셀에, 러빙방향으로 편광판의 투과축을 맞추고 검광판 투과축을 평행, 수직으로 두었을 때의 사진이다. Fig. 6의 오른쪽 사진과 같이 편광판과 검광판을 수직으로 두었을 때 빛이 완전히 차단되는 것으로 보아, 평행배향 되어 있음을 알 수 있다.

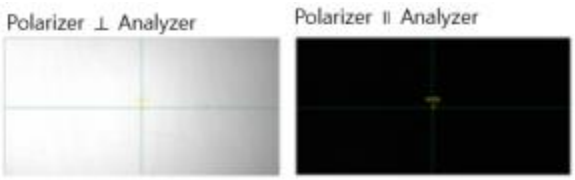


Fig. 6. Penetration (the left) and blocking (the right) of the light.

액정패널을 두께 0.55 mm 유리기판으로 만들고, 유리를 40 ㎛ 정도의 두께로 갈아낸 후 셀레늄을 두는 구조로 액정 X선 감지 패널을 만들어 특성을 검사하였다.[6] 이 경우에는 액정공정이 진행된 다음 비정질 셀레늄을 피막하기 때문에, 일반 LCD에서 쓰이는 PI막을 액정 배향막으로 쓸 수 있다. 광도전체의 전하 분포로 생기는 전기장이 연마 유리기판에 차단되거나 퍼지게 되므로 감도와 분해능이 동시에 떨어진다. 또한, 면적이 커지면 균일하게 연마하기 어렵다.

Fig. 3과 같이 상하 ITO전극에 걸어주는 바이어스 전압을 Vb, 액정층과 접하는 광도전체의 전하밀도를 σ, 광도전체와 액정층의 축전용량을 각각 C(Ph)와 C(LC)라면 액정층의 전압 V(LC)는 Eq. (1)과 같다.[6]

$$V(LC) = \frac{C(Ph)}{C(Ph) + C(LC)} \cdot Vb + \frac{\sigma}{C(Ph) + C(LC)} \quad (1)$$

첫 번째 항은 축전용량의 임피던스에 따라서 바이어스 전압을 분할하는 것이고, 두 번째 항은 광도전체의 전하분포로 변화가 생기는 액정층의 전압변화를 나타낸다. X선에 대한 감도를 높이려면 Eq. (1)에서 알 수 있듯이 광도전층에 전하를 많이 생기게 하거나 또는 액정층을 두껍게 만들어 같은 전하밀도에 대하여 반응하는 액정층의 전압을 크게 해야 한다.

X선 조사 없이 X선 감지패널 상하 ITO전극에 교류파형을 걸어주고 투과도를 측정하여, 전압-투과도 곡선을 알아낸다. 이 곡선을 기준 투과도 곡선이라 부른다. X선을 조사하고, X선 감지 상하 ITO 전극에 전자와 전공을 분리하는 분리전압(Vs)을 걸고, 전자와 정공의 분포가 안정되면, 액정에 문턱치 전압 이상이 걸리도록 측정전압(V(m))을 걸어주고, 일정 시간이 지난 다음에 투과도를 잰다. 측정전압(V(m))을 걸고 잰 화소의 투과도와 같은 기준투과도 곡선의 전압을 V(ref)이라고 하면, 액정에 걸리는 전압이 같으므로, X선에 여기 된 전하밀도(σ)는 Eq. (2)와 같다.

$$\sigma = C(Ph) \cdot [V(ref) - V(m)] \quad (2)$$

X선이 인가되지 않는 상태에서 기준투과도 곡선을 재고, X선을 조사한 다음 측정전압(V(m))을 걸고 잰 화소의 투과도를 알면, X선 영상정보를 바로 결정할 수 있다. 이러한 정량적인 분석방법이 알려지지 않아 과거에는 투과도 곡선이 단순 증가하거나 단순 감소하는 액정층의 위상변화가 π보다 작은 영역에서만 액정 X선 검출기를 동작하게 하였다.[4-6] 감지패널의 액정층의 위상변화를 π보다 크게 하여 위상을 구하면, X선 감도를 높일 수 있다. 이러한 접근은 저선량 X선 촬영이 요구되는 유방촬영술에서 매우 중요한 요소이다.

Fig. 7은 액정층 양단에 전압을 걸었을 때의 시뮬레이션한 전압(V)-전기용량(C) 곡선이고, Fig. 8은

전압-전하량(Q) 곡선으로 액정층 양단에 축적된 전하량이다. 액정층 전하는 전기용량과 양단 사이에 걸린 전압을 곱한 값이다.

문턱치 전압을 경계로 전압-전하량 곡선의 기울기가 달라지는 걸 알 수 있다.

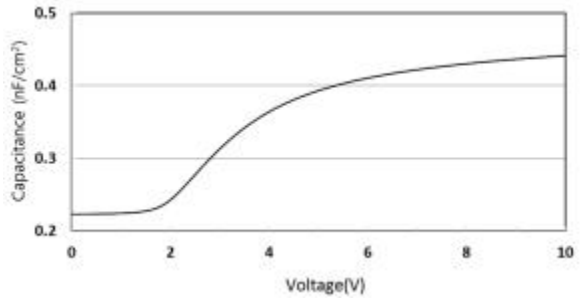


Fig. 7. Voltage-capacitance curve of the liquid crystal layer.

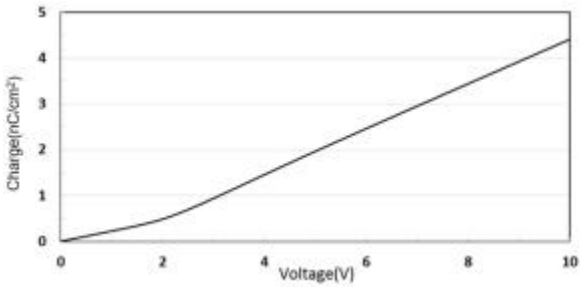


Fig. 8. Voltage-charge curve of the liquid crystal layer.

Table 4 는 Fig. 8의 시뮬레이션에 사용한 액정 감지 패널 물성값이다. Fig. 8과 같이 문턱치 전압 이상에서 전압-전하량 곡선의 직선성은 액정의 모드에 관계없이, TN, ECB, VA(Vertical Alignment; VA), OCB(Optically Compensated Bend; OCB)에서 모두 나타난다.

Table 4. LC parameters for simulation.

Item	Value
Extrodinary refractive index (ne)	1.517
Ordinary refractive index (no)	1.777
Parallel dielectric constant (ε∥⊥)	3.0
Vertical dielectric constant (ε∥⊥)	5.5
Cell Gap (㎛)	10
Twist Angle (degree)	0

액정층 양단 전극에 전압을 걸어주거나 전하를 주어 기동하는 것은 동일한 효과를 준다. 광도전층이 액정층에 비하여 두께가 충분히 크다는 전제하에, X선을 조사하여 광도전층에 전하분포가 달라지는 것을 유도하고 투과도를 재서, 이를 기준투과율 곡선에 대응되는 전압을 찾아 X선 강도를 결정하면, Fig. 8에서 보듯이 문턱치 전압 이상에서 전압-전하 곡선이 일직선이 되어 선형성이 유지된다.

액정 X선 검출기의 감도는 전압-전하 곡선의 기울기와 액정층의 전압-투과율 변화 곡선에 따라 달라진다. 평행배향된 ECB 액정셀의 위상(δ)은 Eq. (3)과 같고 투과도 T는 Eq. (4)와 같다.

$$\delta = 2\pi \frac{\Delta n \cdot d}{\lambda} \tag{3}$$

d : 액정셀두께
Δn : 액정굴절률 이방성
λ : 파장

$$T \propto \sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right) \tag{4}$$

Fig. 9은 Table 4의 ECB형 액정셀의 730 nm 파장에 대한 투과도 곡선이다. 위상의 변화가 π보다 작으면, X선을 조사한 다음 잰 투과도와 기준투과도 곡선의 투과도가 1:1 대응되기 때문에 바로 X선 강도를 결정할 수 있다. 액정 감지패널의 위상변화가 π보다 크면, 임의 투과도에 대응되는 기준투과도 곡선의 전압이 여러 개가 있으므로, 두 개 이상의 파장을 쓰거나 바이어스 전압을 바꿔서 여러 번 측정하거나 액정 변조판을 쓰는 방법이 있다.

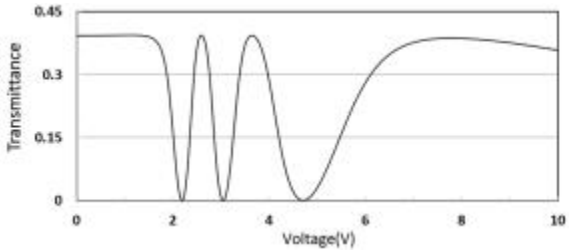


Fig. 9. Voltage-transmittance curve.

액정 X선 검출기의 감도는 액정의 굴절률 이방성(Δn)과 액정층의 두께(d)에 따라서 달라진다. 단

위 면적(㎠)의 광도전체에서 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9과 같이 0～5 nC 전하가 생성되는 경우, 감지패널의 위상변화의 폭은 최대 6π 이다. π 정도의 위상변화를 추적할 수 있으면 1 nC 정도의 전하를 만드는 방사선으로 X선 영상을 결정할 수 있다.

Table 5는 흉부 및 유방촬영술용 DR 검출기에 요구되는 일반 특성표이다.[14] 비정질 셀레늄을 광전도체로 쓸 경우 흉부촬영용과 유방촬영술용 두께는 각각 500과 200 ㎛이다.

Table 5. The incident dose of the DR

Items	Chest	Mammography
X-ray tube voltage(kV)	80~120	20~30
Average dose(mR)	0.3	12
Dose range(mR)	0.03~3	0.6~240

흉부촬영용 DR에서는 1 mR 조사 시 단위 ㎠당 약 3 nC, 유방촬영술 경우에는 1 mR 조사 시 단위 ㎠당 약 0.35 nC 정도의 전하가 생긴다.[4,5] 리드빔의 안정성, 고성능 카메라 등이 뒷받침되면 1 nC의 전하량으로, X선 영상을 안정적으로 얻을 수 있다. 즉 현 조사 방사선량의 10 % 정도로도 X선 영상을 얻을 수 있다.

Fig. 10은 유리기판의 두께가 40 ㎛, 액정층의 두께가 5 ㎛, 비정질 셀레늄의 두께가 120 ㎛인 기준 투과도 곡선이다. Table 4의 액정이 주입된 것이다.

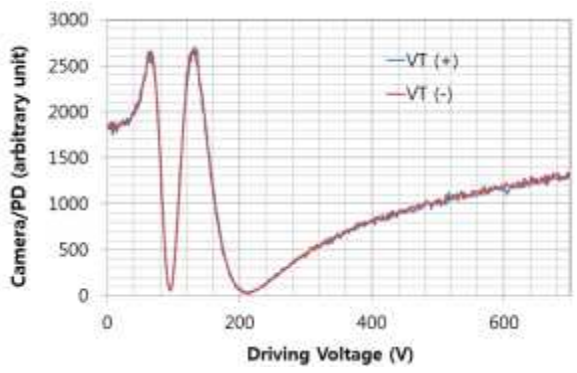


Fig. 10. The reference voltage-transmittance curve (glass substrate 40 ㎛, liquid crystal layer 5 ㎛, amorphous Se 120 ㎛).

본 연구에서 측정용 X선 검출기 샘플은 유리 기판을 사용하여 제작되었으며 크기는 가로 130 mm 세로 130 mm 의 정사각형이다. Fig. 11은 X선을 조사하고 바이어스 전압을 달리했을 때의 선패턴 영상이며 바이어스 전압을 인가하고 16.7ms 후에 측정한 것이다. 그림에서 4.6 글자 주변으로 나타나는 검은 점은 유리기판의 두께가 얇아서 액정이 눌리거나 이물에 의해 나타난 결함으로 본 X선 검출기의 제작 공정에서 유의해야 하는 부분이다. 전압에 따른 대비비의 차이가 나타나고 있으며 이것은 액정에 걸리는 전압에 따른 투과율의 변화에 기인하는 결과이다. Fig. 10 에서 투과율이 100 V에서 가장 작아지는 것을 볼 수 있고 50 V 에서는 투과율이 증가하는 것을 알 수 있는데 가장 높은 대비비를 얻기 위해서는 가장 낮은 투과율을 주는 바이어스가 필요하며 이것은 Fig. 11에 잘 나타나 있다. Fig. 12는 바이어스 전압을 50 V로 고정하고 시간에 따라서 잰 영상이다. 시간에 따른 이미지 변화는 측정광이 들어가 광도전층에서 전자와 정공의 결합을 촉진한 것으로 추정된다.

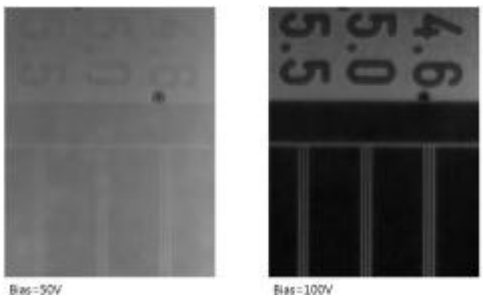


Fig. 11. The line pattern image as a function of the bias voltages.

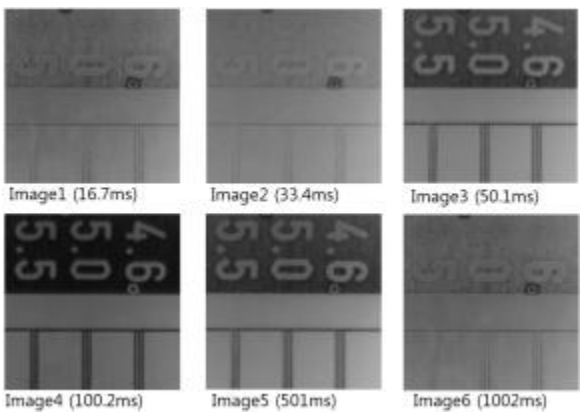


Fig. 12. The line pattern image as a function of the time under the constant bias voltage.

모두 Fig. 4와 같은 전면광원을 채택한 광학계에서 잰 것이다. 교정하지 않는 감지패널의 영상사진이다. 이러한 액정 방식은 해상도를 올리기가 쉬운데 X선을 빛으로 변환하고 이 빛을 감지하는 X선 검출기와는 달리 X선에 의한 전기장의 변화를 빛을 이용하여 읽어내는 전면광원을 적용하는 액정 X선 검출기의 원리 때문이다. 사용되는 빛은 X선에 의한 셀레늄의 저항변화를 투과도의 변화로 읽어내는 광원으로 사용되기 때문에 빛의 산란이 이미지를 결정하지 않는다는 것이 장점이다. 카메라의 초점 면인 액정층의 전기장의 분포가 해상도를 결정하게 되며 이것이 본 액정 X선 검출기의 장점이며 영상사진으로 10 lines/mm의 선패턴을 구별할 수 있었다. 패럴린 배향막을 쓰면 연마 유리기판의 두께로 생기는 전기장 퍼짐이 없으므로 해상도를 15 lines/mm 이상 실현하는 것이 가능하다.

그러나 본 액정 검출기는 액정을 사용하기 때문에 액정이 가지는 일반적인 단점인 시야각의 문제가 있어 카메라를 액정 패널에 가깝게 하면 시야각에 따른 대조비의 변화가 생길 수가 있는 것이 단점이다. 이러한 시야각의 문제는 일반 LCD에서는 보상필름 등의 다양한 방법으로 개선이 되고 있는데 이러한 방법을 적용하여 시야각을 개선한 패널이 앞으로의 연구개발 방향이다.

Ⅳ. CONCLUSION

전면광원을 적용한 액정 X선 검출기 광학계를 제안하였고, X선 영상을 찍어 작동을 확인하였다. X선을 조사하고 잰 투과율과 이것에 대응되는 기준투과율 곡선의 전압을 찾아, 이로부터 X선 조사량을 교정하는 과정을 정립하였다. 비정질 셀레늄 광도전체 위에 패럴린 배향막을 쓰는 액정 X선 검출기의 경우, 방사선량을 획기적으로 줄일 수 있다는 것을 시뮬레이션으로 보였고 제작 된 검출기로 선패턴 이미지를 얻었으며 10 lines/mm의 선패턴 구분이 가능하였다. 이러한 실험을 바탕으로 검출패널의 위상이 3π 정도인 17인치 시제품에 적용하여 저선량 액정 X선 검출기의 상용화를 추진할 예정이다.

Acknowledgement

이 논문은 중소벤처기업부 '중소기업연구인력지원사업'의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 연구임. (2019년 기업연계형연구개발인력양성사업, 과제번호 : S2755592)

Reference

[1] K. T. Kim, M. J. Han, J. S. Kim, Y. J. Heo, K. M. Oh, J. K. Park, S. H. Nam, "Structural design of digital radiography detector using hybrid method for the improvement of response property by X-ray," Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 9, No. 6, pp. 363-367, 2015.

[2] J. -P. Huignard, S. Le Berrre, C. Mayeux, F. Micheron, "Liquid-Crystal image converter device," United States Patent 4368386, 1983.

[3] P. K. Rieppo, J. A. Rowlands, "X-Ray imaging with amorphous selenium: Theoretical feasibility of the liquid crystal light valve for radiography," Medical Physics, Vol. 24, No. 8, pp. 1279-1291, 1997.

[4] T. C. Szeto, C. A. Webster, I. Koprinarov, J. A. Rowlands, "The X-Ray Light Valve: A potentially low-Cost, digital radiography imaging system - a liquid crystal cell design for chest radiograpy," Medical Physics, Vol. 35, No. 3, pp. 959-967, 2008.

[5] S. Marcovici, V. N. Sukhovatkin, P. Oakham, "X-ray light valve (XLV): a novel detectors' technology for digital mammography," SPIE Conference on Medical Imaging 2014, San Diego, CA; Physics of Medical Imaging, Vol. 9033, Part 2, 2014.

[6] B. G. Rho, "A new X-ray image sensor utilizing a liquid crystal panel," Korean Journal of Optics and Photonics, Vol. 19, No. 4, pp. 249-254, 2008.

[7] P. M. Rieppo, J. A. Rowlands, "Method of generating multiple X-ray images of an object from a single X-ray exposure," United States Patent 6052432, 2000.

[8] B. G. Rho, "Liquid crystal x-ray detector", Korea Patent,10-2018-0046208, 2018.

[9] B. G. Rho, "Method for detecting x-ray image of liquid crystal x-ray detector", Korea Patent, 10-2018-0050460, 2018.

[10] B. G. Rho, "Liquid crystal x-ray detector and manufacturing method thereof", Korea Patent, 10-2018-0046212, 2018.

[11] J. A. Rowlands, C. A. Webster, I. Koprinarov, P. Oakham, S. Germann, J. A. R. Stiles, "X-ray light valve based digital radiographic imaging systems," United States Patent 7687792B2, 2010.

[12] NIST Standard Database 126, X-Ray Mass Attenuation Coefficient

전면광원(Front Light)을 적용한 액정 X선 검출기 개발

노봉규,[1] 백삼학,[1] 강석준,[2] 이종모,[2] 배병성[2,*]

[1]세심광전자기술
[2]호서대학교 전자디스플레이 공학부

요 약

액정을 이용하는 X-선 검출기에서 전면광원을 적용하는 액정 X선 검출기를 제안하였고 X선 영상을 찍어 작동을 확인하였다. 제안한 방식은 빛을 이용하므로 트랜지스터를 이용하는 방식에 비해 잡음이 적고 제작 비용을 낮출 수 있다. 액정을 이용하는 검출기는 광도전층을 이용하여 입사 X선을 액정의 분자 배열 변화로 유도하고 액정을 통과하는 빛의 변화량을 읽도록 한다. X선을 조사하고 잰 빛의 투과율과 이것에 대응되는 기준투과율 곡선의 전압으로부터 X선 조사량을 교정(Calibration)하는 과정을 정립하였다. 비정질 셀레늄을 광도전층으로 적용하였으며 200℃ 이상의 고온 처리가 필요한 배향막 공정 대신 패럴린 배향막을 사용하는 공정을 확립하였다. 제안된 액정 X선 검출기의 경우, 방사선량을 획기적으로 줄일 수 있다는 것을 시뮬레이션으로 보였다. 제안된 방식의 X-선 검출기를 제작하고 액정 바이어스 전압을 조절하며 X-선 라인 영상을 비교하였으며 고정 바이어스에서 시간에 따른 이미지 변화를 관찰하였다. 영상사진으로 10 lines/mm의 선패턴을 구별할 수 있었다. 이러한 실험을 바탕으로 검출 패널의 위상이 3π 정도인 17인치 시제품에 적용하여 저선량 액정 X선 검출기의 상용화를 추진할 예정이다.

중심단어: X선, 검출기, 액정

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	노봉규	세심광전자기술	연구소장
(공동저자)	백삼학	세심광전자기술	수석연구원
	강석준	호서대학교	석사과정
	이종모	호서대학교	박사과정
(교신저자)	배병성	호서대학교	교수