

새 구조의 액정 엑스선 감지기

노봉규[†]

세심광전자기술 액정광센서 연구소

☎ 437-821 경기도 의왕시 오전동 196-5 벽산신영테크노피아 903호

(2008년 7월 28일 받음, 2008년 8월 18일 수정본 받음, 2008년 8월 19일 게재 확정)

반사형 액정 모드를 쓰는 새 구조의 액정 엑스선 감지기를 만들고, 이를 시험하고자 인쇄회로기판(Printed Circuit Board: PCB)의 영상을 얻었다. 과거의 액정 엑스선 감지기는 유리판에 광전도층을 입히고, 그 위에 액정층을 올리므로, 액정이 광전도층과 바로 닿아 있었다. 새 구조의 액정 엑스선 감지기에서는 액정판을 먼저 만들고 유리판을 연마하여 두께 약 60 μm 정도로 줄인 다음, 그 위에 파장 630 nm인 빛을 반사시키는 유전체 반사판과 비정질 셀레늄 광전도층 그리고 전극을 연속하여 입혔다. 새 구조의 장점은 첫째 넓이가 큰 판으로 만들기 쉽고, 둘째 반사형 액정판의 반사도 곡선의 기울기가 가파르므로 감도가 좋아 다른 엑스선 감지기와 비교할 때 20% 이하의 조사선량으로 선명한 영상을 얻을 수 있으며, 셋째 CCD를 함께 써서 실시간 동영상을 쉽게 얻을 수 있다. 이 논문에서는 이 새 액정 엑스선 감지기 감지기의 구조와 특성을 설명한다.

주제어: X-ray, Photo-conductor, Liquid crystal, Digital radiography

I. 서 론

1.1. 액정표시소자와 액정감지기

액정표시소자는 액정 화소에 걸어진 전압에 따라 그 화소의 투과/반사 특성이 달라지는 것을 써서 화소의 색깔과 밝기를 조절하여 화면에 그림을 보여준다. 액정 감지기는 액정 표시소자의 작동원리를 뒤집어 액정 화면의 투과/반사 특성을 재서 이로부터 낱알의 화소에 걸린 전압이나 전하 분포를 알아낸다. 액정표시소자는 기본 구조는 그림 1과 같이 위아래 전극 사이에 액정층이 있지만, 액정 감지기의 기본 구조는 그림 2와 같이 기준 전극 하나만 있다. 액정 감지기는 주로 전압과 전하 분포를 재는데, 액정층에 걸리는 유효전압은 모두 문턱전압(V(10))과 포화전압(V(90))사이에서 오도록 조절해야 한다. 액정표시소자는 거의 대부분이 투과형으로서 붉은색(red: R), 녹색(green: G), 파란색(blue: B) 화소를 묶어 천연색을 나타내지만, 액정 감지기는 주로 반사형으로 단색광을 쓴다. 화면의 결함 밀도는 액정 감지기에서 더 많이 허용되는데, 그 까닭은 측정할 다음에 결함이 있는 곳을 찾아, 이웃 화소의 측정값을 바탕으로 보정할 수 있기 때문이다. 표

1은 액정표시소자와 액정 감지기의 주요 차이점을 요약한 것이다.

액정 감지기의 장점은 빛을 쓰는 비접촉 방식이고, 액정 감지기가 절연체이므로 측정 대상물체에 전기적 영향을 적게 주므로 정밀한 측정을 할 수 있다. 또한 전기광학곡선의 기울기를 달리하여, 동작범위(dynamic range)를 선택 조절할 수 있다.

액정 감지기로 현재 활용되는 유일한 사례는 액정 전압 감지기로써 박막 트랜지스터(Thin Film Transistor: TFT)가 배열된 기판에서 화소전극에 걸린 전압을 재서 불량 화소를 찾아내는 쓰이고 있다.^[1] 액정 전압 감지기는 TFT 기판 위에서 이동할 때는 높이 약 100 μm를 유지하고, 어떤 화소의 전압을 잴 때는 그 화소에서 높이 약 30 μm를 유지한다. TFT가 배열



그림 2. 액정 감지기의 기본 구조.

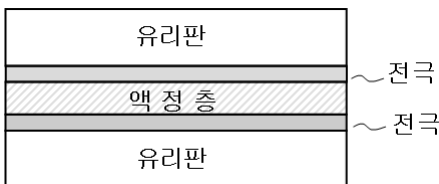


그림 1. 액정 표시소자의 기본 구조.

표 1. 액정표시소자와 액정 감지기의 특성 비교

항목	액정표시소자	액정 감지기
전극 개수	2	1
광원 모드	투과형	반사형
화소구조	R, G, B	단색
결함정도(화소수)	0-2	<20
액정종류	Nematic	Nematic, PDLC
기판의 두께	400-700 μm	20-80 μm

[†]E-mail: bgrho@sesimlcd.co.kr

된 기관의 불량 화소를 찾아내는데 쓰는 액정 전압 감지기는 크기가 130×130 mm 정도이다. 미국의 PDI(Photon Dynamic Inc.)사에서 반사형 PDLC모드를 써서 상용화했고, 현재는 TFT LCD 분야에서 검사장비로 널리 쓰이고 있다. 세심광전자에서도 2008년 6월에 꼬인 네마틱(twisted nematic: TN) 모드를 써서 전압을 재는 액정 전압 감지기를 개발하였다(그림 3).

1.2. 액정 엑스선 감지기 현황

액정 엑스선 감지기는 액정을 써서 엑스선을 감지하는 장치로서 1983년 휘냐르(Huignard) 등이 처음으로 생각해낸 광전도층에 콜레스테릭 액정층을 둔 구조에서 비롯된다.^[1] 그 뒤 로울랜드(J. A. Rowlands) 등이 비정질 셀레늄과 네마틱 액정을 쓴 엑스선 액정감지기를 발표하였고,^[2] 비정질 셀레늄과 폴리머분산액정을 쓰는 감지기에 관한 연구도 진행되었다.^[3] 그러나 박막 트랜지스터 기관을 쓰는 직접 또는 간접 촬영 방식의 디지털 엑스선 감지기가 상품으로 나오면서, 액정 엑스선 감지기는 주목을 받지 못했다. 현재 크기가 3×3 cm이고, 해상도는 10선/mm 정도의 성능을 보이고 있다.^[4,6]

액정 엑스선 감지기는 값이 싸고 엑스선 조사량이 낮은 점 등의 장점이 있는데도, 상업화가 계속 지연되는 주된 까닭은 액정의 시야각 의존성, 응답특성, 전압 보전을 그리고 구동 전압파형과 같은 액정의 전기광학적 특성에 관한 기초적인 연구가 뒷받침되지 않았기 때문이다. 또한 광전도층을 입히고 평탄하게 만든 뒤 배향막을 올리는 등의 작업을 할 때 고온 공정이 어려운 것도 제약 요소였다. 광전도층은 주로 비정질 셀레늄으로 만드는데, 이 물질의 유리화 천이 온도(glass transition temperature) $T_{유리}$ 는 40°C 정도로, 일반적인 액정공정 온도인 200°C 보다 훨씬 낮아서 두께가 고른 막을 만들기 어렵다. 또한 액정층의 두께를 고르게 하려면 광전도층이 고르게 평평해야하는데, 비정질 셀레늄막은 경도가 낮아 평평하게 만들기 어렵다.

이 논문에서는 이러한 공정상의 문제점을 풀고자, 액정판을 먼저 만들고, 액정판의 유리판을 얇게 연마하고, 얇은 유리막 위에 광도전막을 입혀, 제작 공정을 단순화한 새로운 구조의 액정 엑스선 감지기를 소개한다. 반사형 액정판을 쓰는 액정 엑스선 감지기의 설계와 액정층에 걸리는 전압분포 그리고 감도특성을 분석한다.^[7]



그림 3. 전압분포를 재는 액정광 감지기 사진.

II. 본 론

2.1. 엑스선 액정광센서의 구조 및 동작 원리

그림 4는 종래의 액정 엑스선 감지기의 구조이다. 광전도층에 직류전압을 걸 상태에서 엑스선이 들어오면, 광전도층에 전자와 양공이 생겨 각각 반대 극성을 갖는 전극 쪽으로 분리되어 쌓인다. 이렇게 쌓인 전하 때문에 액정층의 분자배향이 국소적으로 달라지고, 그 결과 편광 반사율도 국소적으로 변화한다. 그림 5는 전하가 분리된 상태에서 액정층의 배향분포가 달라지는 것을 나타낸 것이다. 이러한 변화를 CCD와 같은 영상소자를 써서 영상정보로 기록한다. 광전도막의 재질은 주로 비정질 셀레늄이다. 비정질 셀레늄은 유리전이 온도 $T_{유리}$ 가 낮아서 열 충격을 조금만 받아도 다결정구조로 바뀌고 그 결과 엑스선 감도가 달라지는 문제가 있다. 액정 엑스선 감지기의 구조는 광밸브(light valve)와 같다.^[8] 광밸브에서는 영상을 기록하는데 쓰는 빛이 가시광이므로 광전도막 두께가 20 μm 정도이지만, 액정 엑스선 감지기는 엑스선 광자가 충분히 흡수되도록 광전도막 두께를 수백 μm 로 만든다. 광밸브의 광전도층 재질은 주로 황화 카드뮴(CdS)과 황화아연(ZnS)이었다. 읽어내는 빛의 에너지가 광전도체의 띠간격 보다 작으면 검은 띠(black matrix: BM)를 둘 필요가 없다. 그림 3에서 편광판의 파장범위와 광전도체의 띠간격, 그리고 BM의 적용여부에 따라서 읽어내는 엑스선의 파장이 결정된다. 비정질 셀레늄의 띠간격이 2.3 eV이므로 이것을 광전도체로 쓴다면 검은 띠 없이 600 nm 이상의 빛으로 읽을 수 있다.

TN 모드 액정판의 응답시간은 대략 20~30 ms 정도이다. 응답시간은 계조 단계에 따라서 다르다. 계조 차이가 클 때는 응답시간이 5 ms 미만이지만, 중간 계조에서는 20~30 ms 정

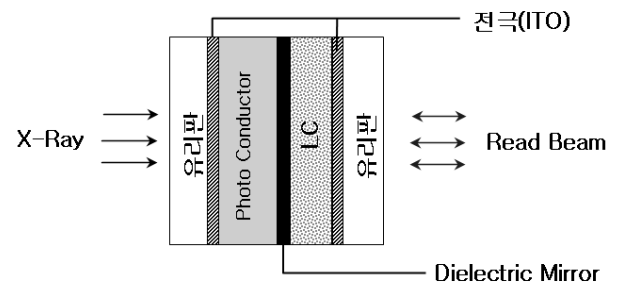


그림 4. 종래의 액정 엑스선 감지기 구조.

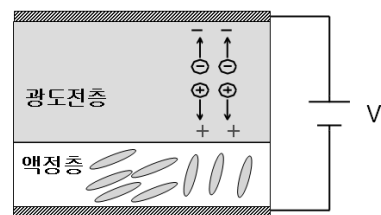


그림 5. 액정 엑스선 감지기의 기본 동작원리.

도이다. 액정의 응답시간은 액정판의 두께와 액정의 회전점도에 가장 영향을 많이 받는다. 광전도체의 시정수가 액정의 응답시간(τ_{LC})보다는 길어야 신호를 안정하게 얻을 수 있다. 광전도체의 최소 비저항(ρ_p)은 아래 식으로부터 알 수 있다.

$$\rho_p \geq \frac{\tau_{LC}}{\epsilon_p} \quad (1)$$

광전도체는 단물질과 혼합물로 구분할 수 있다. 단물질로는 비정질 셀레늄과 비정질 규소, 혼합물로는 이 요드화 납(PbI_2)와 이 요드화 수은(HgI_2) 그리고 텔루르화 카드뮴 아연($CdZnTe$)이 대표적이다. 혼합물은 대부분이 다결정상태이다. 아래 표는 광도전체의 비저항 값을 나타낸 것이다.^[9]

(1) 식으로부터 광도전체의 비저항은 $10^{11} \Omega\text{cm}$ 이상이어야 하는데, 화합물 반도체의 경우 공정의 재현성과 안정성과 그리고 제조 공정에서 유해문제 등의 문제가 있어, 액정 엑스선 감지기로는 비정질 셀레늄이 가장 좋다. 비정질 셀레늄은 유기 광 전도체(Organic Photo Conductor: OPC)가 나오기 전에 복사기 드럼의 재료로 널리 쓰였고, 직접 방식의 DR (Digital Radiography)에서 광전도층으로 쓰인다.

2.2. 액정층에 걸리는 전압 분포

표 3과 같이 광전도층과 액정층의 각각의 특성을 기호로 나타내고, 전체에 걸린 전위차를 V 라고 하자.

전체 전위차 V 는 광전도층에 걸린 전위차와 액정층에 걸린 전위차의 합이므로 아래 식과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} V &= \Delta V_1 + \Delta V_2 \\ V &= d_1 E_1 + d_2 E_2 \end{aligned} \quad (2)$$

액정층과 광전도층의 가운데에서는 자유전하가 없으므로 대체 전기장은 (3) 식과 같다.

표 2. 광도전체 종류에 따른 비저항 범위

광전도체	비저항(Ωcm)
a-Si	10^{8-10}
a-Se	10^{12-16}
PbI_2 (p)	10^{12}
HgI_2 (p)	10^{13}
$CdZnTe$ (p)	10^{9-11}

표 3. 액정 엑스선 감지기를 이루는 각 부분의 전기적 특성을 나타내는 기호

	두께 d	유전상수 ϵ	전기장 E	대체전기장 D	유도 전하	전위차 ΔV	축전용량 C
광전도층	d_1	ϵ_1	E_1	D_1	$\pm\sigma$	ΔV_1	$C_1 = \frac{\epsilon_1}{d_1}$
액정층	d_2	ϵ_2	E_2	D_2		ΔV_2	$C_2 = \frac{\epsilon_2}{d_2}$

$$\frac{dD_i}{dz} = 0 \Rightarrow D = \begin{cases} D_1 & \text{광전도층} \\ D_2 & \text{액정층} \end{cases}$$

광전도층/액정층 경계에는 자유전하가 밀도 $+\sigma$ 로 깔려 있으므로

$$D_2 = D_1 + \sigma \quad (3)$$

액정층과 광전도층 각각에서 대체전기장과 전기장의 관계는 (4) 식과 같다.

$$\begin{aligned} D_i &= \epsilon_i E_i \quad (i = 1, 2) \\ E_1 &= \frac{1}{\epsilon_1} D_1, \quad E_2 = \frac{1}{\epsilon_2} (D_1 + \sigma) \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)을 (2) 식에 모으면

$$\begin{aligned} V &= \frac{d_1}{\epsilon_1} D_1 + \frac{d_2}{\epsilon_2} (D_1 + \sigma) = \left(\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2}\right) D_1 + \frac{d_2}{\epsilon_2} \sigma \\ D_1 &= \left(V - \frac{d_2}{\epsilon_2} \sigma\right) \left(\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2}\right)^{-1} = (V - C_2^{-1} \sigma) (C_1^{-1} + C_2^{-1})^{-1} \\ &= \left(V - \frac{\sigma}{C_2}\right) \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \\ &= \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} V - \frac{C_1}{C_1 + C_2} \sigma \end{aligned} \quad (5)$$

액정층과 광전도층에 걸리는 전위차는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta V_1 &= \frac{C_2}{C_1 + C_2} V - \frac{\sigma}{C_1 + C_2} \\ \Delta V_2 &= \frac{C_1}{C_1 + C_2} V + \frac{\sigma}{C_1 + C_2} \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서 알 수 있는 것은 엑스선에 대한 감도를 높이려면 광전도층에서 전하가 많이 생기게 하거나, 또는 액정층을 두껍게 만들어 똑같은 표면전하에 대해서 반응하는 액정층의 전위차를 크게 해야 한다는 것이다. 그렇지만 액정층을 두껍게 만들면 액정의 응답특성이 떨어진다. 광전도층의 시상수에 따라서 최대 응답시간을 조절하여 액정판의 두께를 결정한다. 비정질 셀레늄의 경우에는 시상수가 커서 액정 응

답시간이 수백 밀리초(ms)여도 광도전체가 전하 정보를 보전하므로 액정층을 두껍게 만들어 감도를 높일 수 있다.

2.3. 액정판 설계 및 제작

2.3.1 액정판 설계

액정판은 전압을 걸지 않은 상태에서 파장 630 nm인 빛에 대해 반사가 최소가 되도록 설계하였다. 반사형 액정판의 Δn 를 회전 변환각이 180° 가 되도록 정하면, 편광판을 1장만 써도 전압을 걸지 않은 상태에서 화면이 어둡게 보이도록 만들 수 있다. 파장 630 nm인 빛에 대해서 회전 변환각이 180° 가 되게 하려면 액정층의 두께는 $5.3 \mu\text{m}$, 액정분자의 꼬임각을 $90^\circ\sim 180^\circ$, Δn 를 0.65에서 0.75사이에 두면 된다.^[10] 액정은 Merck사의 MAT-07-1034를 주입하였다. 표 4는 MAT-07-1034의 물성값이다.

2.3.2 액정판 제작 방법

액정판의 크기는 $75 \times 75 \text{ mm}$ 이다. 액정 엑스선 감지기를 만들 때 종래에는 유리기판 위에 광전도층을 입히고 평탄화하고, 배향막 등과 같은 고온 액정 공정을 진행하므로 광전도층을 입힌 유리기판으로 액정공정을 진행하였다. 비정질 셀레늄의 유리 전이 온도 $T_{\text{유리}}$ 는 40°C 정도이고, 일반적인 액정 공정온도가 200°C 정도이므로, 액정공정에서 비정질 셀레늄이 다결정 구조 바뀌어 불량품이 생기기 쉽다. 또한 액정층의 두께를 고르게 하려면 광전도층이 균일한 평탄도를 유지해야하는데, 비정질 셀레늄막은 경도가 낮아 평탄화가 어렵다. 이와 같은 어려움을 피하기 위하여, 액정판을 먼저 만들고, 액정판의 유리기판을 연마하여 얇게 한 다음 그 위에 광전도층을 입혔다. 먼저 연마공정에서 액정판이 휘지 않도록, 액정판의 전극이 있는 유리기판면을, 두께 35 mm 유리평판에 붙이고, 액정판 앞면의 유리판을 갈아서 두께를 $60 \mu\text{m}$ 정도까지 줄인 다음, 광택 연마하여 조도를 높였다. 유리판을 갈 때, 액정층이 상하지 않도록 연마속도를 분당 $1\sim 2 \mu\text{m}$ 이하로 유지했다. 액정판을 얇게 하는 연마 공정에서 액정판의 간극제(spacer)들이 진동으로 서로 뭉치기 때문에, 액정판을 만들때 고착형을 썼다. 그림 6은 이 논문의 액정 엑스선 감지기의 단면 모양이다. 그림 7은 액정판의 분광 반사도 곡선이다. 엑스선 감지기는 Dark와 Bright 상태의 광투과도 차이와 명암대비율이 클수록 좋은 영상을 얻을 수 있다. 명암 대비율이 10이상인 것을 알 수 있다. 그림 8은 전기광학적 반사특성을 전산시뮬한 것이다.

표 4. MAT-07-1034 액정

광특성	ne	1.6367
	no	1.4984
유전특성	ϵ_{\parallel}	8.4
	ϵ_{\perp}	3.7
상전이온도	60°C	

그림 9는 얇은 유리판의 분광반사곡선인데, 골이 생기는 까닭은 얇은 유리판의 앞면에서 다중반사가 일어나 간섭하기 때문이다. 이 분광반사곡선에서 이웃한 두 봉우리의 파장을 결정하면 유리판의 두께를 알 수 있다.^[11] 얇은 유리판의 두께는 전압이 걸리지 않는 상태에서 분광반사곡선으로부터 결정했다. 골이 많을수록 두껍다. 얇은 유리판의 두꺼운 부분을 두께를 더 두어 두께를 $\pm 3 \mu\text{m}$ 이하로 맞출 수 있었다. 두께를 일정하게 유리판을 갈 다음에는 그 위에 파장 $600\sim 700 \text{ nm}$ 인 빛을 반사시키는 유전체 반사막을 입히고,

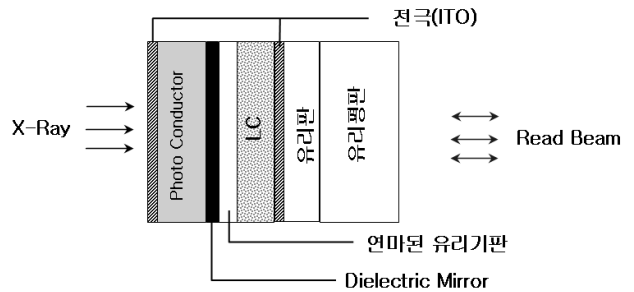


그림 6. 이 논문의 액정 엑스선 감지기 구조.

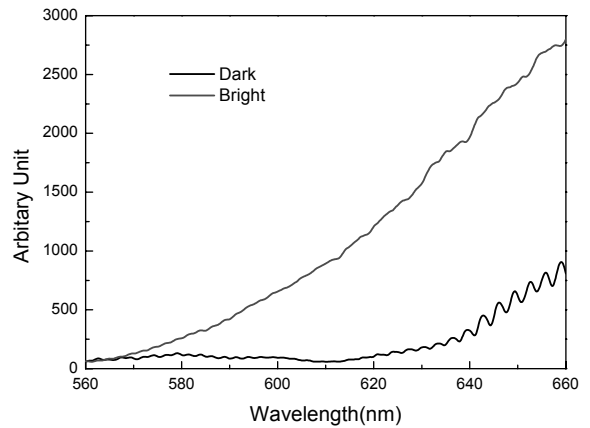


그림 7. 파장에 따른 반사분광분포.

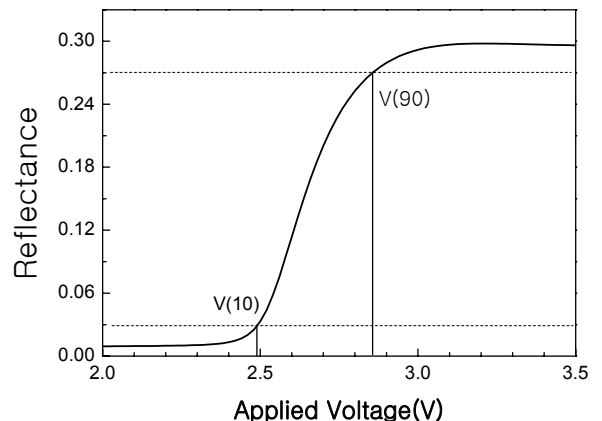


그림 8. 전산시뮬한 반사형 액정판의 전기광학반사곡선.

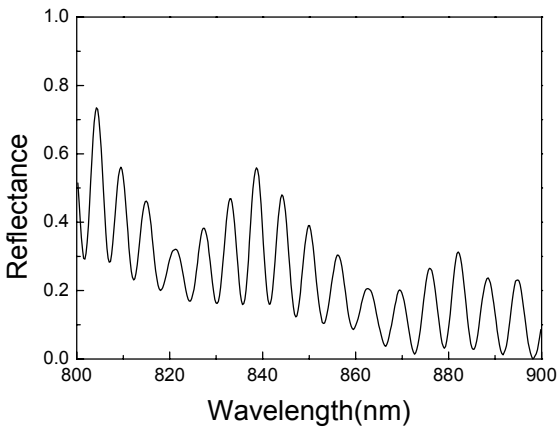


그림 9. 액정판의 두께를 재는 분광투과곡선.

비정질 셀레늄막을 두께 약 300 μm 정도 입힌 다음, 그 위에 투명전극(ITO)을 입혔다.

2.4. 실험결과 및 토의

2.4.1 영상 및 해상도

그림 10은 이렇게 만든 액정 엑스선 감지기를 써서 얻은 인쇄회로기판의 엑스선 영상이다. 회로기판의 구멍의 지름은 약 2 mm이다. 해상도는 광전도층과 액정층 사이에 있는 유리판의 두께가 영향을 준다. 유리판에 모인 자발분극 때문에 수평방향으로 전기장이 유도되고, 그 때문에 해상도가 낮아진다. 현재의 유리 식각 기술로는 370×470 mm에서 유리판의 두께를 40 μm까지 얇게 만들 수 있다. 광원과 구동파형이 최적화되면, 얇은 유리판의 두께와 액정층의 두께를 더한 값이 해상도를 결정한다. 얇은 유리판이 두꺼우면 유리판의 유도전하 때문에 수평방향의 전기장이 생겨서 해상도를 떨어뜨린다.

구동파형은 두 단계로 구성된다. 첫 단계에서는 전자와 정공을 분리하는 바이어스 전압을 걸어주고, 둘째 단계에서는 액정층에 문턱전압 V(10)을 걸어준다. 액정은 문턱전압 V(10)과 포화전압 V(90) 사이에서 비교적 선형성이 유지된다. 구동전압에 대해서는 다음 논문에서 상세히 설명하겠다.

2.4.2 감도 분석

두께 300 μm인 비정질 셀레늄층에 전기장을 10 V/μm 걸어준 상태라면, 50 KV 엑스선 광자 하나가 들어올 때 약 1,000 개의 전자와 양공이 생긴다. 50 KV에서, 1 mR(milli-Roentgen)의 광자의 수는 $2.8 \times 10^{13} / \text{m}^2$ 이므로, 엑스선 1 mR/m²가 만들어내는 전하는 0.45 nC/cm²이다.^[5]

문턱전압에 둔 상태에서 포화전압까지의 필요한 전하량은 아래 식으로 계산할 수 있다.

$$\Delta q = (\epsilon_{V(90)} \cdot V(90) - \epsilon_{V(10)} \cdot V(10)) \cdot \frac{\epsilon_o}{d} \quad (7)$$



그림 10. 엑스선 액정감지기로 얻은 PCB 영상.

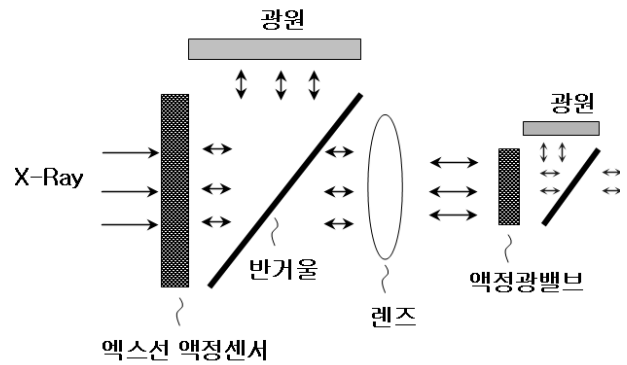


그림 11. 액정 감지기를 써서 엑스선 조사량을 줄인 엑스선 측정 장치 구성도.

액정판은 포화전압(2.86 V)과 문턱전압(2.47 V)에서의 액정의 유전상수가 각각 5.1과 4.3이다. 액정판의 두께가 5.3 μm이므로, 문턱전압에 둔 상태에서 포화전압까지의 필요한 전하량은 약 0.7 nC/cm²이다. 실험의 액정 엑스선 감지기는 1.5 mR에서 충분한 검출력을 보일것으로 본다.

셀레늄층을 500 μm으로 만들고, 120 KV 엑스선 광자를 조사하면, 1 mR/m²가 만들어내는 전하는 1.7 nC/cm²이다. 이러한 조건에서는 0.5 mR에서 충분히 검출할 수 있다. 현재 DR에서 흉부촬영시 조사량이 약 3 mR이므로, 약 20% 정도 조사선량을 줄일 수 있다.

그림 11은 조사선량을 최대 줄이는 액정 엑스선 감지기의 개요도로서 액정판을 2장 겹친 구조인데, 첫째 액정판은 엑스선 감지기의 구실을 하여 엑스선 영상을 가시광 영상으로 바꾸어주고, 둘째 액정판은 광밸브 구실을 하여 영상신호를 증폭한다. 액정 엑스선 감지기에서 반사율 변화폭이 작아도, 액정 광밸브에서 그것을 증폭하므로 감도가 더 높아질 수 있다. 액정 엑스선 감지기의 명암대비(contrast ratio CR)는 전체의 감도를 결정하는 중요한 변수이다. 시야각 ±20도 범위에서 반사형 수직배향 모드는 명암대비 100을 구현할 수 있다. 액정 엑스선 감지기에서 반사도 0.5% ~ 3.0% 사이에서 변조하고, 액정 광밸브에서 증폭된 밝기를 영상검출기로 쬐다. 두 액정판이 빛으로 연결된 구조이므로, 증폭과정에서 생기는 잡음은 최소화된다. 이와 같은 방법으로 광학계를 겹

쳐 구성하면, 엑스선량을 현재의 1~2%까지 크게 줄일 수 있을 것이다.

2.4.3 공정기술 분석

여기에서 제안한 액정 엑스선 감지기를 만드는데 꼭 필요한 공정기술 가운데, 유리 식각 공정은 휴대폰용 TFT LCD 분야에서 이미 개발되어 널리 쓰이고 있고, 비정질 셀레늄막은 열증착 방식으로 현재 휴대 직접 촬영 방식에 쓰는 디지털 엑스선 감지기를 만드는 공정에서 쓰이고 있다.^[12] 유리판 식각 기술과 셀레늄 증착 기술을 넓은 기판에 대해 할 수 있도록 개량하여 융합하면 대면적 액정 엑스선 감지기를 비교적 쉽게 만들 수 있을 것이다.

III. 요약

새 구조의 액정 엑스선 감지기를 만들었다. 이것은 액정판을 만들고 유리판을 얇게 식각한 다음, 그 유리판 위에 반사막과 광전도층을 연속하여 입힌 구조이다. 새 구조의 액정 엑스선 감지기는 공정의 안정성, 대면적화, 감도 등에서 이미 상품화된 엑스선 감지기와도 충분히 경쟁할 수 있으며, 따라서 성공적으로 상용화 할 수 있음을 확인했다.

감사의 글

이 논문은 중소기업청의 “기업부설연구소 설치 지원사업”으로 수행되었습니다. 또한 많은 관심과 지원을 해주신 경기

지방중소기업청 시험지원과 김복원과장님, 이종섭박사님께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] X. Chen, New-Generation Electro-Optic Modulator for TFT Array Testing, *SID Symposium Transactions*, 1792, 2005.
- [2] Huignard et al., United States Patent 4,368,386, 1983.
- [3] Mark J. Foley et al., “Development of image receptor for use in Digital Mammography,” *Proc. of SPIE* 4876 54, 2002.
- [4] P. -K. Rieppo, J. A. Rowlands, X-Ray imaging with amorphous selenium *Med. Phys.* 24(8), 1279, 1977.
- [5] J. A. Rowlands et al., Low Cost digital radiographic imaging system: The x-ray light Valve, *Proc. of SPIE* 6142 1, 2006.
- [6] T-C. Szeto et al., The X-Ray Light Valve: A potentially low-Cost, digital radiography imaging system - a liquid crystal cell design for chest radiography, *Med. Phys.* 35(3), 959, 2008.
- [7] 노봉규, 대한민국특허출원, 10-2007-0006709, 2007.
- [8] Birendra Bahadur, *Liquid Crystals Applications and Uses* (World Scientific, Singapore, 1990).
- [9] 박건식 외, “방사선 영상 장치용 반도체 검출기”, 전자통신동향분석 제22권 제5호 95, 2007.
- [10] 양병관, 박사학위 논문, 전북대학교, 2000.
- [11] 노봉규 외 17인 공저, *LCD Engineering*(성안당, 서울, 2000).
- [12] 디알텍 홈페이지(www.drtech.co.kr).

A New X-Ray Image Sensor Utilizing a Liquid Crystal Panel

Bong Gyu Rho[†]

Sesim Photonics Technology Co. Ltd., Byuksan-Seonyoung Technopia 903, Ojeon-dong 196-5, Euwang-si, Kyunggi-do

[†]*E-mail: bgrho@sesimlcd.co.kr*

(Received July 28, 2008; Revised manuscript August 18, 2008; Accepted August 19, 2008)

We developed a new x-ray image sensor utilizing a reflection-mode liquid crystal panel as its sensitive element, and tested its functionality by using it to obtain an x-ray image of a printed circuit board. In the liquid crystal x-ray image sensors hitherto reported, the liquid crystal layer is in direct contact with the photoconductive film which is deposited on a glass substrate. In the fabrication of the new x-ray image sensor, a liquid crystal panel is fabricated in the first step by using a pair of glass plates of a few centimeters thickness. Then one of the glass substrates is ground until its thickness is reduced to about 60 μm. After polishing the glass plate, dielectric films for high reflectance at 630 nm, a film of amorphous selenium for photoconduction, and a transparent conductive film for electrode are deposited in sequence. The new x-ray image sensor has several merits: primarily, fabrication of a large area sensor is more easily compared with the old fashioned x-ray image sensors. Since the reflection type liquid crystal panel has a very steep response curve, the new x-ray sensor has much more sensitivity to x-rays compared with the conventional x-ray area sensor, and the radiation dosage can be reduced down to less than 20%. By combining the new x-ray sensor with CCD camera technology, real-time x-ray images can be easily captured. We report the structure, fabrication process and characteristics of the new x-ray image sensor.